

二十一世纪路桥施工技术研究中心 联袂主编
二十一世纪路桥施工设计组

陈云彪 编写

路桥施工现场十大员 技术操作标准规范

· 施工员 ·

当代中国音像出版社

路桥施工现场十大员技术操作标准规范——施工员

文本编著者：二十一世纪路桥施工技术研究中心

二十一世纪路桥施工设计组

出版发行：当代中国音像出版社

出版时间：2004年3月

版次：2004年3月第1次印刷

本 版 号：ISBN CN - E27 - 03 - 613 - 00/V . G4

定 价：1380.00 元(CD - ROM 及配套手册)

路桥施工现场十大员 技术操作标准规范

编委会

主 编：二十一世纪路桥施工技术研究中心
二十一世纪路桥施工设计组

分册主编：

施工员分册	陈云彪
质量员分册	边庆华
安全员分册	张国水
资料员分册	邓小军
定额员分册	廖永刚
器材员分册	田 洁
试验员分册	葛文刚
机械员分册	张永清
现场电工分册	张建宏
测量员分册	王彦华

总 策 划 王思远

总 序

进入 21 世纪,随着改革开放步伐的加快和现代化建设的不断发展,我国的路桥建设也有长足的进步,特别是上世纪 80 年代以来,以高速公路建设为标志的高等级公路项目建设,取得了令世人瞩目的巨大成就。路桥工程建设的特点是:工程浩大,工程质量要求高,施工工艺复杂,建设周期短,施工战线长,投资回收快。为了适应现代化建设的要求,达到提高施工质量、加快施工进度、降低施工成本的预期目标,必须建立一支现代化的高素质技术施工建设队伍。

活跃在施工现场最基层的技术管理人员(十大员),其业务水平和管理的水平,已经成为所有工程项目能否有序、高效、高质量完成的关键。现阶段基层管理人员的文化水平、业务水平普遍还不高,其中还有不少是新近从工人中提上来的,他们十分需要培训、学习,也迫切需要一些可供实际工作参考的知识性、资料性读物。

《路桥施工现场十大员技术操作标准规范》正是在这样的背景下编写而成的,21 世纪路桥施工技术研究中心和 21 世纪路桥施工设计组根据自身多年的施工和研究经验,联袂编写了本套丛书。从书包括《路桥施工现场施工员技术操作标准规范》、《路桥施工现场质量员技术操作标准规范》、《路桥施工现场安全员技术操作标准规范》、《路桥施工现场资料员技术操作标准规范》、《路桥施工现场定额员技术操作标准规范》、《路桥施工现场器材员技术操作标准规范》、《路桥工程施工现场试验员技术操作标准规范》、《路桥施工现场机械员技

术操作标准规范》、《路桥施工现场电工技术操作标准规范》、《路桥施工现场测量员技术操作标准规范》,书中主要介绍各工种技术管理人的工作职责、专业技术知识、业务管理和质量管理细则、技术施工的标准规范等,这套丛书在编写的过程中,注重二点:第一是实际操作需要,可操作性强,便于使用,同时观点鲜明,重点突出;第二是全面务实,荟萃新颖。和其他建设工程一样,路桥建设工程的施工及其有效的组织管理是确保工程建设质量,降低工程费用,加快工程建设进度的关键环节。路桥建设质量的提高对工程建设在材料、特性、机械设备性能、施工技术工艺诸方面均提出了更高的要求,本丛书结合我国路桥建设的实际需要,总结了近几十年路桥建设的实践经验,同时借鉴和学习国外先进经验,从规范化、科学化的角度,阐述了施工现场十大员在路桥施工中的施工原则、内容和方法。是一套拿来即教、即学、即用的实用工具书。

编者

二〇〇四年二月

内 容 提 要

本书为施工现场十大员技术操作标准规范丛书之一,主要介绍施工现场施工员应掌握的基本知识,本书共分施工准备和施工测量、路基结构与施工、底基层与基层施工、灌注桩施工、沉井施工技术规范、地下连续墙施工、沥青路面施工、水泥混凝土路面面层施工、砌块路面、市政道路工程挡土墙、人行道(盲道)步行街广场施工、道路附属设施施工、桥梁基础工程施工、大跨梁施工、钢桥制作、预应力混凝土斜拉桥施工、拱桥施工、城市地道桥施工、人行天桥施工等十九个部分,编写顺序按施工进度,结合新时期各类施工项目及新的施工技术要求,从现场施工、工种协调、交接检、文明施工、安全生产等方面进行了全面介绍。本书可供公路、桥梁、隧道工程施工单位领导、现场技术人员学习参考,也可做为交通职业高等教育相关专业教材。

路桥施工现场十大员技术操作标准规范

(施工员分册)

第一章	施工准备和施工测量	(1)
第一节	施工准备	(1)
第二节	施工测量	(2)
第二章	路基结构与施工技术	(7)
第一节	施工前的准备与测量工作	(7)
第二节	填方路基	(10)
第三节	挖方路基	(14)
第四节	路基压实技术	(16)
第五节	雨季与冬季施工技术要点	(20)
第六节	软土地基处理技巧	(22)
第七节	路基排水	(34)
第三章	底基层与基层施工技术规范	(37)
第一节	石灰稳定土	(37)
第二节	石灰粉煤灰底基层	(48)
第三节	石灰粉煤灰土底基层	(53)
第四章	灌注桩施工技术规范	(59)
第一节	钻孔灌注桩	(59)
第二节	钻孔施工	(61)
第三节	清孔	(65)
第四节	灌注水下混凝土	(67)
第五节	挖孔灌注桩	(72)
第五章	沉井施工技术规范	(75)
第一节	沉井的制作	(75)
第二节	沉井基底检验与封底	(80)
第六章	地下连续墙施工技术规范	(82)
第一节	施工技术规定	(82)
第二节	导墙施工	(83)

第三节	地下连续墙施工	(84)
第七章	沥青路面施工技术规范	(90)
第一节	沥青混凝土面层	(90)
第二节	改性沥青混凝土面层施工	(95)
第三节	透层、粘层和封层技术	(100)
第八章	水泥混凝土路面面层	(103)
第一节	水泥混凝土面层与钢筋混凝土面层	(103)
第二节	纤维混凝土面层施工	(115)
第三节	碾压混凝土路面施工技术	(117)
第九章	砌块路面施工技术规范	(119)
第一节	石材路面施工	(119)
第二节	混凝土预制块路面施工	(121)
第十章	市政道路工程挡土墙施工技术规范	(124)
第一节	扶壁式钢筋混凝土挡土墙	(124)
第二节	浆砌块(料)石挡土墙施工	(126)
第三节	加筋挡土墙施工	(130)
第十一章	人行道(盲道)步行街广场施工技术规范	(134)
第一节	施工技术一般规定	(134)
第二节	施工	(135)
第十二章	道路附属设施施工技术规范	(140)
第一节	侧石、缘石施工	(140)
第二节	收水井、雨水支管	(141)
第十三章	桥梁基础工程施工技术规范	(145)
第一节	明挖基础	(145)
第二节	沉入桩基础	(153)
第十四章	大跨梁施工技术规范	(163)
第一节	支架法施工	(163)
第二节	悬浇法施工	(167)
第三节	悬拼法施工	(170)
第四节	顶推法施工	(173)
第十五章	钢桥制作技术规范	(176)
第一节	钢桥制作技术	(176)
第二节	钢桥的拼装和架设	(178)

第三节	钢桥防腐技术.....	(183)
第四节	钢桥桥面铺装.....	(184)
第五节	钢—叠合梁.....	(185)
第十六章	预应力混凝土斜拉桥施工技术规范.....	(188)
第一节	技术要点.....	(188)
第二节	索塔.....	(189)
第三节	主梁施工技术规范.....	(191)
第四节	斜拉索的技术与安装.....	(193)
第十七章	拱桥施工技术规范.....	(197)
第一节	概述.....	(197)
第二节	拱架施工技术.....	(198)
第三节	拱圈施工技术规范.....	(201)
第十八章	城市地道桥施工技术规范.....	(207)
第一节	工作坑.....	(207)
第二节	后背施工技术规范.....	(209)
第十九章	人行天桥施工技术规范.....	(211)
第一节	钢筋混凝土人行天桥.....	(211)
第二节	钢箱梁结构人行天桥.....	(213)
第三节	空间球网架结构人行天桥.....	(214)

第一章

施工准备和 施工测量

第一节 施工准备

一、技术要点

1. 应根据招、投标文件，施工合同，设计文件及关规范编报施工组织设计。
2. 应做好施工现场准备，修建施工临时设施，安装调试施工机具及标定试验机具，进行施工测量及复核测量资料，做好材料的储存和堆放，做好开工前的试验检测工作。
3. 施工组织设计宜包括以下内容：编制说明，施工组织机构，施工平面布置图，施工方法，施工详图，资金计划，总进度计划和进度图，质量管理，安全生产，环境保护。
4. 施工单位必须建立健全质量保证体系。主要内容为：质量方针、质量目标、质量保证机构、质量保证程序、质量保证措施。

二、技术准备

1. 熟悉、审查施工图纸和有关的设计资料，进一步了解和设计文件
 - (1) 对施工现场补充调查和复核，根据新掌握的资料，结合施工单位的经验、技术和设备条件，对设计中需要变更、改进的地方向有关单位提出建议，并通过协商进行解决。对投标时所拟定的施工方案、施工计划、技术措施等重新评价和研究。
 - (2) 进一步了解桥位处的地质、水文和气象资料。
 - (3) 了解设计标准、构造细节的质量要求。
 - (4) 详细了解设计中拟采用的施工方法。
 - (5) 了解施工监理的有关文件、要求和程序。
2. 原始资料的调查分析
 - (1) 施工现场的调查、复核和施工测量。
 - (2) 施工现场的地形地物；用水用电；生活、生产物资及自采材料；当地可利用的劳动力；可租赁的机具及运输问题；复核勘测标志的交点，进行施工测量。

- (3) 编制施工图预算和施工预算。
- (4) 原材料试验。
- (5) 试验器具及张拉设备的检验与标定。

三、施工现场准备

- (1) 做好施工场地的控制网测量。
- (2) 搞好三通一平。
- (3) 做好施工现场的补充勘察。
- (4) 修建施工临时设施。
- (5) 安装调试施工机具。
- (6) 做好材料的储存和堆放。
- (7) 做好开工前的试验工作。
- (8) 搞好文明施工管理。
- (9) 严格执行国家的法律、法规，保护和改善施工现场的环境。采取措施防止大气污染、水源污染、噪声污染。
- (10) 建立安全组织系统，制定安全生产制度和安安全职责，遵守国家和当地政府的有关安全生产的法律规定，进行安全教育，采取安全技术措施，加强安全检查和考核。

四、实施性施工组织设计

实施性施工组织设计是指导全过程施工活动的技术、经济文件，它根据设计文件及有关资料、施工合同文件资料及投标书、施工技术规范及有关的技术标准、规程进行编制。

五、质量保证体系

质量保证体系的主要内容是根据 ISO 9000 标准的有关规定拟定的。

第二节 施工测量

一、技术要点

1. 根据桥梁的型式、跨径及设计要求的施工精度，确定利用原设计网点加密或重新布设控制网点。
2. 补充施工需要的水准点、桥涵轴线、墩台控制桩。

3. 桥涵放样测量及要求

1) 当有良好的丈量条件时可采用直接丈量法进行墩台施工定位。直接丈量，应对尺长、温度、拉力、垂度和倾斜度进行改正计算（改正计算公式见附录 A）。

2) 大、中桥的水中墩、台和基础的位置，宜用校验过的电磁波测距仪测量。桥墩中心线在桥轴线方向上的位置中误差不应大于 $\pm 15\text{mm}$ 。

3) 曲线上的桥梁施工测量，应按照设计文件参照公路曲线测定方法处理。

4) 涵洞测量放样时，应注意核对涵洞纵横轴线的地形剖面图是否与设计图相符，应注意涵洞长度、涵底标高的正确性。对斜交涵洞、曲线上和陡坡上的涵洞，应考虑交角、加宽、超高和纵坡对涵洞具体位置、尺寸的影响，并注意锥坡、翼墙、一字墙和涵洞墙身顶部和上下游调治构造物的位置、方向、长度、高度、坡度，使之符合技术要求。

二、控制测量有关名词

为了便于对条文公式的理解，补充有关控制测量的名词。

(1) 三角网测角中误差：在三角网测角中，根据测角闭合差或观测值改正数，计算出角度观测值的中误差。

(2) 权：表示各观测值标准偏差平方之间比例关系的数字特征，是衡量观测值和其导出值相对可靠程度的指标。

(3) 先验权：平差前对观测值设定的权。

(4) 单位权中误差：权等于 1 的观测值中误差。

(5) 测距中误差：对一段距离进行多次测量，按中误差计算公式计算的距离中误差。

(6) 高差偶然中误差：根据各测段往返高差不符值和测段长度而计算的中误差。

(7) 高差全中误差：根据环线闭合差和相应环的水准路线周长而计算的中误差，也称水准测量每千米距离的高差中数的全中误差。

三、关于确认设计测量数据所属的坐标系统

在此提醒施工单位在进行施工测量之前一定要了解设计单位所采用的坐标系统，否则会造成施工放样的错误。如某高速公路测量的控制点是本省大地测量队提供的，勘测设计是另外两家公路勘察设计单位。因为施工单位不了解设计的坐标系统，施工放样时发现线位误差不符合要求，给施工带来困难。后与业主、监理、设计单位多次协商才解决。问题的根源是坐标系统，控制点是高斯直角坐标，进行施工放样时应当先进行归化，不经归化就用来放样，在跨带时，有时出现较大的误差是必然的。但当时技术交底时没有确认坐标系，所以出现以上问题。

四、桥梁控制网精度的确定方法

(一) 墩台的放样精度确定

桥梁墩台的放样精度确定以后，可以用它推算控制网的必要精度。控制点误差所引起的改样点位的误差，相对于施工放样的误差来说，小到可以忽略不计，此为今后的放样工作创造有利条件。

设 M 为放样后所得点位的总误差；

m_1 为控制点误差所引起的误差；

m_2 为放样过程中所产生的误差。

则有下式：

$$M = \pm (m_1^2 + m_2^2)^{1/2} = \pm m^2 [1 + m_1^2/m_2^2]^{1/2}$$

显然 $m_1 < m_2$ ，故 $(m_1/m_2) < 1$

将上式的二项式展开为级数，并略去高次项，则有：

$$M = m_2 [1 + m_1^2 / (2m_2^2)]$$

若使 $M = m_2 [1 + m_1^2 / (2m_2^2)]$ 式中 $m_1^2 / (2m_2^2) = 0.1$ ，亦即控制点误差的影响仅占总误差的 10%，即得下式

$$m_1^2 = 0.2m_2^2$$

将式上两式联合解算，可求得

$$m_1 \approx 0.4M$$

由以上推导可见，当控制点误差所引起的误差 m_1 为放样点位总误差 M 的 0.4 倍时，则 m_1 使放样点位总误差仅增加 10%。在确定了所需放样点位的总误差后，应用式 (3-7) 来确定桥梁施工控制网的精度时，须根据具体情况作具体分析。

通常以 2 倍中误差作为允许极限误差，则墩台中心放样的允许点位误差为 $2 \times (\pm 15) = \pm 30\text{mm}$ ，换算为横桥向和顺桥向方向，也就是墩台的轴线偏位允许偏差为 $\pm 30/\sqrt{2} = \pm 21\text{mm}$ 。

桥梁网宜采用桥轴线独立坐标系，桥轴线相对精度的估算可按墩、台定位精度和相对定位精度求得：

$$m_e/L = 0.4 (\sqrt{2} \cdot \Delta D) / (2L) = 0.28 (\Delta D/L)$$

式中： ΔD ——墩台定位限差，一般为 20mm，上面的计算为 21mm；

L ——桥轴线长；

0.4——按式 (3-7) 取值。

(二) 桥梁三角网必要精度的确定

(1) 根据跨越结构架设的误差（它与桥长、桥跨及桥式有关）来确定三角网的必要精度

三角网的精度与桥长有关，但不是惟一的决定因素。另外，还应考虑桥跨大小以及跨越结构的形式。对于钢梁而言，其制造误差、桥墩支座上垫板的安装误差以及温度变化所引起的杆件的伸缩等，都影响桥跨的距离。根据《钢梁验收规范》的规定，钢梁各杆件长度的误差，不超过其设计长度的 $1/5000$ ，可将此误差视为极限误差，支座垫板的安装限差为 $\pm 5\text{mm}$ 。由于温度变化而引起的杆件伸缩有一定的规律，可以认为是系统性的，在桥梁设计时应根据桥跨的大小和桥梁结构的形式以及桥梁所在地区的温度变化幅度进行计算，从而确定梁端应该留有的钢梁伸缩空隙。若预留的空隙比设计上要求的大，它可以吸收上述钢梁的制造误差、支座垫板的安装误差以及测量或其它施工误差。若预留的空隙完全与设计一样，这时测量人员必须精确地控制两桥台间的距离，以使钢梁的安装工作进行顺利，保证工程质量。为了确定三角网的精度，可按钢梁制造的误差和支座垫板安装的误差推算每联或每孔的极限误差，然后再利用误差传播定律计算全桥钢梁架设的极限误差。设极限误差等于二倍中误差，即可求得全桥钢梁架设的中误差。要使测量误差不致于影响工程质量，可取三角测量误差为钢梁架设误差的 $1/\sqrt{2}$ ，以求得三角网在桥轴线上的边长相对中误差。

五、平面位置测量放样的放样点精度的计算

1. 用电磁波测距仪测量

把仪器立在已知的控制点上，通过控制点与测点的坐标计算出距离及方位角，以极坐标法进行测量，测量点的点位精度：

$$m = [S^2 (m_a / \rho)^2 + m_s^2]^{1/2}$$

$$m_s = a + bD$$

式中： m ——测点的点位精度；

m_s ——测距中误差；

S ——控制点与测点的水平距离；

ρ ——1 弧度秒值；

m_a ——测角中误差 $''$ ；

2. 用全站仪测量

利用边角后方交会定点测量站的点位精度：

$$m_p = (2 [(X_T - X)^2 + (Y_T - Y)^2] / (2n - 4))^{1/2}$$

式中： m_p ——测站的点位精度，电子手簿上显示；

X_T, Y_T ——控制点经全站仪变换后的计算坐标；

X, Y ——控制点原始坐标；

n ——控制点数。

测点的点位精度包括测站和坐标测量的精度，即：

$$M = (m_p^2 + S^2 (m_a / \rho)^2 + m_s^2)^{1/2}$$

六、GPS 测量控制网设置

GPS (Global Positioning System) 即全球定位系统, 由 24 颗 GPS 卫星分布在 6 个轨道面上, 全球任何时间, 在任何气象条件下都能进行连续实时的导航和定位。导航和定位的绝对精度可达几米, 相对定位精度可达毫米, 能满足各种精度的大地测量和高精度工程测量的需要。GPS 除具有精度高的优点外, 还具有工作效率高、费用少、操作简单、不受视线限制等特点, 在用别的测量方法有困难的情况下, 更显得有利。因此把 GPS 这一新测量技术在本次修定中纳入了本规范。本条款仅作了简单的规定, 使用时请参照《公路全球定位系统 (GPS) 测量规范》(JTJ/T 066—98) 的规定执行。

第二章

路基结构与 施工技术

第一节 施工前的准备与测量工作

一、施工前的准备工作

根据设计图纸和资料进行沿线调查，并做好施工现场的准备工作，主要为：

(1) 核实施工范围内需征地、拆迁的各种建筑物和构筑物的确切位置、结构和数量，需拆迁的各种公用设施的杆、线、管道和附属设备的情况、类别和数量以及农作物等的情况和数量、进行清点、丈量。对各种地下管线等隐蔽设施，应在施工前与有关单位联系，查清具体种类、尺寸、位置、高度，重要管缆应插牌标示，并于必要时请所属单位派人监护，层层交待清楚，落实到人，并做好原始记录。

(2) 查明沿线附近下水道的管径、流向或可供排水的沟渠情况和以往暴雨后的积水情况，以便考虑施工期间的排水措施。

(3) 了解施工现场的给水、供电、电讯设备及场内外运输路线等情况。

(4) 绘制总平面图，以备申请临时占地，总平面图应包括：

- ①工棚、仓库、铁木加工、机修及生活设施的位置；
- ②存放材料场地和拌和场地；
- ③施工现场运输路线；
- ④水源、电源的线路和配电室的位置；
- ⑤临时排水的布局。

(5) 交通运输路线必须断交通时，应事先向有关部门申报，并做好断行、绕行准备，必要时修建辅道，以便维持交通。

二、测量工作

(一) 测量交底

路基开工前，施工单位应在全面熟悉设计文件的基础上，约请设计人进行现场测量交底，按设计图认清现场水准基点、导线桩和栓桩，做好桩位交接记录，对位于施工范

围内的测量标志，必须采取妥善保护措施。

（二）施工测量

（1）路基开工前应做好施工测量工作，其内容包括导线、中线、水准点复测、横断面检查与补测、增设水准点等。

（2）导线复测

①当原测的中线主要控制桩由导线控制时，施工单位必须根据设计资料认真做好导线复测工作。

②导线复测应采用红外线测距仪或其他满足测量精度的仪器。

③原有导线点不能满足施工要求时，应进行加密，保证在道路施工的全过程中，相邻导线点间，能互相通视。

④导线起讫点应与设计单位测定结果比较，测量精度应满足设计要求。

⑤复测导线时，必须和相邻施工段的导线闭合。

（3）中线复测

①路基开工前应全面恢复中线并固定路线主要控制桩，如交点、转点、圆曲线和缓和曲线的起讫点等。对于快速路、主干路应采用坐标法恢复主要控制桩。

②恢复中线时应注意与结构物中心、相邻施工段的中线闭合，发现问题应及时查明原因。

③如发现原设计中线长度丈量错误或需局部改线时，应作断链处理，相应调整纵坡。

（4）校对及增设水准基点

①使用设计单位设置的水准点之前应仔细校核，并与市区水准点闭合，市区道路的水准点闭合差为 $\pm 12\sqrt{L}$ mm，L为水准路线长度，以km计。

②拟用的永久水准点应与设计水准点一致。

③沿线隔相当距离（以便利施工为原则）一般不大于200m，设临时水准点一个。临时水准点位置，应设于坚实、不下沉、不碰动的地物上或永久性建筑物的牢固处。亦可设置于外加保护的深埋木桩或混凝土桩上，并做出明显标志。

④长距离引测水准点要用尺垫和校核的水准尺、水准仪并以正、副平对测或往返复测，闭合差应符合要求，并与相邻路段水准点闭合。

⑤临时水准点应每月复核一次，在暴雨、地震、春融、冰冻时应及时复核。

（5）路基放样

①路基施工前，应根据恢复的路线中桩、设计图表、施工工艺和有关规定钉出路基用地界桩和路堤坡脚、路堑顶、边沟、取土坑、护坡道等的具体位置桩。在距路中心一定安全距离处设立控制桩，其间隔，市区不宜大于20m，郊区不宜大于50m，桩上标明桩号与路中心填挖高。

②在放完边桩后，应进行边坡放样，对深挖高填地段，每挖填5m应复测中线桩，测定其标高及宽度，以控制边坡的大小。

③机械施工中，应在边桩处设立明显的填挖标志。快速路和主干路在施工中，宜在不大于 100m 的段落内，距中心桩一定距离处设置能控制标高的控制桩，进行施工控制。

④边沟、截水沟和排水沟放样时，每隔 10 ~ 20m 在沟内外边缘钉木桩并注明里程及挖深。

三、施工前的复查和试验

1. 路基施工前，施工人员应对路基工程范围内的地质、水文情况进行详细调查，通过取样，试验确定其性质和范围，并了解附近既有建筑物对特殊土的处理方法。

2. 施工人员应根据设计文件提供的资料，对取自挖方、借土场、料场的路堤填料进行复查和取样试验。

3. 挖方、借土场和料场用作填料的土应进行下列试验项目，其试验方法按《公路土工试验规程》办理。

- (1) 液限、塑限、塑性指数、天然稠度或液性指数；
- (2) 颗粒大小分析试验；
- (3) 含水量试验；
- (4) 密度试验；
- (5) 相对密度试验；
- (6) 土的击实试验；
- (7) 土的强度试验 (CBR 值)；
- (8) 快速路、主干路应作有机质含量试验及易溶盐含量试验。

对特殊土，除进行以上试验外，还应结合对各种土定名的需要，辅以相应的专门鉴别试验，以确定其种类及处置方法。

4. 使用新材料（如工业废渣等）填筑路堤时，除应按相关规范作有关试验外，还应作对环卫有害成份的试验。

四、试验路段

1. 快速路、主干路以及在特殊地区或采用新技术、新工艺、新材料进行路基施工时，应采用不同的施工方案做试验路段，从中选出路基施工的最佳方案指导全线施工。

2. 试验路段位置应选择在地质条件、断面型式均具有代表性的地段，路段长度不宜小于 100m。

3. 试验所用的材料和机具应与将来全线施工所用的材料和机具相同。通过试验来确定不同机具压实不同填料的最佳含水量、适宜的松铺厚度和相应的碾压遍数、最佳的机械配套和施工组织。对于快速路、主干路应按松铺厚度 30cm 进行试验，以确保压实层的匀质性。

4. 试验路段施工中及完成以后，应加强对有关指标的检测；完工后，应及时写出试验报告。

第二节 填方路基

一、一般要求

填方路基施工前应做好场地清理工作，路基用地范围内的树木、灌木丛等均应在施工前砍伐或移植，原地面应进行表面清理，清理深度应根据种植土厚度而定，并在清理地表面后，整平压实到规定要求。对其基底，还应按下列规定处理：

(1) 应做好原地面临时排水设施并与永久排水设施相结合，排走的雨水不得流入农田、耕地，亦不得引起水沟淤积和路基冲刷，市区施工应为雨水找好出路，使排入下水管道内。当地下水位较高时，应采取疏导、堵截、隔离等措施。

(2) 路堤修筑范围内，原地面的树穴、坑洞等，应用原地的土或砂性土回填，并按规定进行压实。

(3) 路堤基底原状土的强度不符合要求时，应进行换填。换填深度应不小于 30cm，并予以分层压实，压实度应符合规定。

二、路堤填料应符合下列规定

1. 路堤填料，不得使用淤泥、沼泽土、冻土、有机土、含草皮土、生活垃圾、树根和含有腐朽物质的土。

2. 液限大于 50、塑性指数大于 26 的土，以及含水量超过规定的土，不得直接作为路堤填料。需要应用时，必须采取满足设计要求的技術措施，经检查合格后方可使用。

3. 钢渣、粉煤灰等材料，可用作路堤填料。粉煤灰烧失量宜小于 12%，粒径应在 0.001~2mm 之间。为便于压实，小于 0.075mm 的颗粒含量宜大于 45%。其他工业废渣在使用前应进行有害物质的含量试验，避免有害物质超标、污染环境。

4. 捣碎后的种植土，可用于路堤边坡表层。

5. 路基填方材料，应有一定的强度。快速路及主干路的路基填方材料，应经野外取土试验，符合强度的规定时，方可使用。

三、土方路堤的填筑

1. 土方路堤应分层填筑压实，用透水性不良的土填筑路堤时，应控制其含水量在最佳压实含水量 $\pm 2\%$ 之内。

2. 土方路堤，必须根据设计断面，分层填筑、分层压实。每层经压实符合规定之后，再填筑上一层。分层的最大松铺厚度不应超过 30cm，填筑至路床顶面最后一层的最小压实厚度，不应小于 8cm。

3. 路基填土宽度每侧应宽于填层设计宽度，压实宽度不得小于设计宽度，最后削坡。

4. 填筑路堤宜采用水平分层填筑法施工。即按照横断面全宽分成水平层次逐层向上填筑。如原地面不平，应由最低处分层填起，每填一层，经过压实符合规定要求之后，再填上一层。

5. 原地面纵坡大于 12% 的地段，可采用纵向分层法施工，沿纵坡分层，逐层填压实。

6. 地面横坡不陡于 1:5，且基底符合要求时，路堤可直接修筑在天然的土基上；地面横坡陡于 1:5 时，原地面应挖成台阶（台阶宽度不小于 1m），并用小型夯实机加以夯实。填筑应由最低一层台阶填起，并分层夯实。然后逐台向上填筑，分层夯实。所有台阶填完之后，即可按一般填土进行。

7. 若填方分几个作业段施工，两段交接处，不在同一时间填筑，则先填地段，应按 1:1 坡度分层留台阶。若两个地段同时填，则应分层相互交叠衔接，其搭接长度，不得小于 2m。

8. 不同土质混合填筑路堤时，应符合下列规定：

(1) 以透水性较小的土填筑于路堤下层时，应做成 4% 的双向横坡。

(2) 不同性质的土应分别填筑，不得混填。每种填料层累计总厚不宜小于 0.5m。

(3) 凡不因潮湿或冻融影响而变更其体积的优良土应填在上层，强度较小的土应填在下层。

9. 河滩路堤填土，应连同护道在内，一并分层填筑。可能受水浸淹部分的填料，应选用水稳性好的土料。河槽加宽、加深工程应在修筑路堤前完成。

10. 机械作业时，应根据工地地形，路基横断面形状和土方调运图等，合理地规定机械运行路线。土方集中地点，应有全面、详细的机械运行作业图据以施工。

11. 两侧取土，填高在 3m 以内的路堤，可用推土机从两侧分层推填，并配合平地机分层整平。土的含水量不够时，用洒水车洒水，并用压路机分层碾压。

12. 填方集中地区路堤的施工，可按以下方法进行：

(1) 取土场运距在 1km 范围内时，可用铲运机运送，辅以推土机开道，翻松硬土，平整取土段，清除障碍和助推等。

(2) 取土场运距超过 1km 范围时，可用松土机械翻松，用挖掘机或装载机配合自卸汽车运输，用平地机平整填土，配合洒水车、压路机碾压。

四、粉煤灰路堤的填筑

1. 用粉煤灰填筑路堤时应将凝固的粉煤灰块打碎，同时清除腐殖质等有害物质。

2. 湿润粉煤灰的用水，应采用人或牲畜可饮用的水。遇有可疑水源时，应进行试验鉴定。

3. 粉煤灰路堤宜用机械施工，机具主要有自卸汽车、推土机、平地机、洒水车或其他洒水设备，20~50t的中型和重型振动压路机或自行式、拖式羊足碾。机械性能应良好，并作好检修和保养工作。

4. 凡粉煤灰与桥涵等混凝土结构、金属结构接触处，宜在结构物表面均匀涂刷一层沥青，以防腐蝕。

5. 粉煤灰含水量的调节宜在堆场或灰池中进行。过湿的粉煤灰应堆高沥干，过干的粉煤灰应在摊铺前2~3d在堆场中洒水闷料，视运输距离和气候条件将含水量调节到略高于最佳含水量范围。

6. 运输方式要因地制宜，宜采用自卸汽车运输和机械化装车，减少中转环节，降低运输成本。应防止运输途中的扬尘或流失污染，必要时应采取覆盖措施。

7. 中转站堆灰场地宜为硬地面，以利机械作业和排水。大型灰场需设置雨水沉淀池，防止粉煤灰流失并减少污染。堆场应设有洒水设备，以利控制、调节粉煤灰的含水量，并防止干灰扬尘污染环境。

8. 粉煤灰的颗粒组成以及最大干密度和最佳含水量有显著差别的灰源应分别堆放，分段填筑，分段检测。

9. 按设计要求铺筑土质或粒料隔离层，隔离层底的路拱横坡度宜大于3%，碾压应达到规定的压实度。

10. 摊铺粉煤灰前应先放样，划出路堤边线、土质护坡线、盲沟位置等。边线要准确、顺直、弯道要圆顺。摊铺长度应以当天摊铺，当天碾压结束为原则。

11. 粉煤灰路堤采用水平分层填筑法施工。当分成不同作业段填筑时，先填地段应分层留台阶，使每个压实层相互重叠搭接，搭接长度应大于150cm，保证相邻作业段接头范围内的压实度。

12. 土质护坡应与粉煤灰填筑同步进行。土质护坡摊铺宽度应保证削坡后的净宽满足设计要求，同时应按设计要求作好土质护坡的排水盲沟。

13. 摊铺前应在路堤中心、路堤边缘等处设置松铺厚度控制桩，控制松铺厚度。粉煤灰的松铺系数应通过试验确定，无实测资料时，可按下列数值选用并在施工中予以调整。

人工摊铺：1.5~1.7

推土机摊铺：1.2~1.3

平地机摊铺：1.1~1.2

14. 粉煤灰的含水量宜在灰场调节后再运到工地直接摊铺、碾压，以达到提高工效的目的。已摊铺的粉煤灰因故造成过湿或过干，应晾晒或喷洒水分，调整含水量，以达到1.0~1.1倍要求的含水量为度。

五、农田地段及水稻田地段路基施工

1. 路基基底为农田时，应先清除有机土、种植土，平整后按规定要求压实。在深耕地段，必要时，应将松土翻挖、土块打碎，然后回填、整平、压实。

2. 水稻田地段施工前，应在沿线两侧筑埂。在埂内挖纵、横排水沟、沟底应保持不小于0.5%的坡度并接通出水口，沟深应保证能及时排除地面水以疏干表土。地表疏干后，地基含水量接近最佳含水量时，应清除表层不良土层，经碾压密实后在上面填筑路堤。

3. 由于路基基底土壤含水量大，不能疏干，碾压弹软，达不到压实度要求时，可采用下列浅层处理方法：

(1) 翻松晾晒法 当气候干燥、天气炎热，用铧犁将土层大面积翻松，使水分蒸发，待接近最佳含水量时进行压实。

(2) 挖换好土法 适用于附近有含水量适宜的好土地段。

可用机械挖深60cm，挖去湿土后，换填好土，分层回填压实。若底层以下地下水位高，应采用降低地下水措施，以降低下层土的含水量。

(3) 掺石灰处理法 掺石灰处理的方法适用于气候潮湿、多雨、蒸发量小、工期紧迫和无好土改换的地段。于土中掺入4%的生石灰粉或5%的较干的消石灰，处理深度可达60cm，用推土机推出40cm土层，分为三层加灰拌和均匀、回填压实。亦可根据土的含水量的量增加用灰量。

4. 原地面为淤泥时，可抛填砂砾、碎石、片石等挤淤，经碾压稳定后再填路堤。

5. 跨越水田的路基应不影响农田排灌。

6. 修建快速路、主干路时，除按上述规定筑埂排水疏干外，还应对原地面进行清理，如为软土，则应按2.6节“软土地基处理”的规定处理。

六、坑塘积水地段路基施工

1. 河滩路堤施工，应连同护道在内，一并分层填筑。可能受水淹部分的填料，应选用水稳性好的土料。河槽加宽、加深工程应在修筑路堤前完成。

2. 在路基范围内有大片低洼积水地段时，可先做土埂排除积水，并将杂草、淤泥以及不适宜的材料清出路堤之外，按要求的深度将此地面翻松，经处理后再进行压实。如两侧坑塘积水较深，应采用打坝、抽水、清淤的施工方法，坝址选定在路线外2~3m处，设抽水机向坝外抽水，清淤至原状土后，进行回填工作。

3. 对于水塘、洼地排水清淤后，填土不能上碾或因下层含水量大，碾压达不到压实度要求，可采用粒料加固法进行加固。用块石、混凝土块加固下层，最好先铺筑一层不大于25mm的小粒径碎石、砂砾厚度不小于15cm作为垫层，防止填土加荷后块石挤入泥中，使路面产生变形。铺筑块石应码放整齐，不得驾空，并用碎石灌满空隙，每层

厚度不得大于 30cm，并应碾压密实。

4. 当路基填筑穿越积水的坑塘时，可用粒料挤淤，填筑成路基下层。应选用水稳性好、无杂物、其最大粒径为 30cm 的粒料，且其通过 20mm 的材料不大于 10%，填筑材料可选用块石、砾石、矿渣等。

填筑方法为：当路线穿过坑塘时，从坑塘一侧岸边起沿路基中线超高卸料，随后用 20t 以上推土机先向前方，再向两侧边推挤、边排压，并保持填料呈箭头形渐近至对岸，以利淤泥挤出路基之外。如路基一侧在陆地，另一侧位于水中，则填筑方向为陆地向水中。填至水面以上 50cm 后，用重型振动压路机振压 6 遍，以无明显沉陷变形为度，表面应用最大粒径为 80mm 的碎石或矿渣灌缝，其最小厚度为 10cm，再经找平后，用重型三轮压路机压实，即可以素土分层回填压实。

七、加宽旧路堤

1. 加宽旧路堤时所用填土宜与旧路相同或选用透水性较好的土。

2. 清除地基上的杂草等，并沿旧路堤边坡挖成向内倾斜的台阶，台阶宽度应不小于 1m。每层台阶的高度为一层填土厚度。

3. 加宽旧路堤施工处如为河道、水塘，应在打坝、抽水、清淤后，换填石料至水面以上 50cm，压实后再分层填土。

4. 旧路堤开蹬处，应将槽边切齐，使压路机压轮能靠边碾压，以保证边角部分的压实度，必要时再以夯锤补打密实，对每层填料的松铺厚度及压实度亦应加强检查，保证压实度完全符合要求。

第三节 挖方路基

一、一般要求

1. 挖方路基施工前应作好下列准备工作：

(1) 复查施工组织设计、核实（或编制）调整土方调运图表。

(2) 施工现场应按规定进行清理工作。

(3) 开挖前应以木桩标明线位及高程。

2. 路基开挖前应按本章 2.1.3.3 条的规定对沿线土质进行检测试验。

3. 路堑的排水设施，应按下列规定办理：

(1) 在路堑开挖前作好截水沟，并视土质情况作好防渗工作，土方工程施工期间应修建临时排水设施。

(2) 临时排水设施应与永久性排水设施相结合，流水不得排入农田、耕地、污染自然水源，也不得引起淤积和冲刷。

4. 根据施工组织设计，成套配备各种必要的施工机械，并作好保修准备。

二、挖方施工

1. 已开挖的适用于种植草皮和其他用途的表土，应储存于指定地点。

2. 对开挖出的适用材料应用于路堤填筑，各类材料不得混杂。不适用的材料应作为弃土进行处理。

3. 土方开挖应自上而下进行，严禁掏洞取土。

4. 路堑开挖中，如遇土质变化需修改施工方案及边坡坡度。

5. 路堑路床的表层下为有机土、难以晾干压实的土，CBR 值不符合规定的土或不宜作路床的土，均应清除换填符合规定的土。

6. 挖土接近设计标高时，应考虑因压实的下沉量，留出虚高，其值应通过试验确定，并根据中线检查两侧路基宽度，以防偏移。

7. 插牌标示地下管线种类、尺寸、位置和覆土深度，煤气管线管顶覆土深度不足 1m，上下水道覆土深度不足 50cm，不得使用机械开挖，重要管线应请主管部门派人现场监护。

8. 挖方运距在 100m 以内可使用推土机推土，视路面宽度，人行道或路肩宽度，土方量及存土条件采用下列不同的操作方法。

(1) 纵向推土法 当路面宽度较窄，路边无存土条件，推土机可沿平行中线方向，将土推向指定地点堆存。

(2) 横向推土法 当道路较宽，两侧有存土条件，推土机与中线垂直或呈一适当角度，由路中向路两侧路边外推土。

(3) 混合推土法 当路两旁无存土条件，推土机从相对两端采用纵向推土法，将土推至指定地点或路口，然后垂直路中线将堆存的土方推至有条件存土的路边堆存。

(4) 多机并列推土法 采用几台推土机并列推土，推土机之间保持 15 ~ 30cm 间距，此法可减少土壤从推土板两侧流失，提高机械效率。

9. 当运距超过 100m，以挖作填，土方量较大时，可采用铲运机挖运土，作业时要保持施工现场道路畅通，并应注意维护电杆、地上结构物及周围的人身安全。有条件时宜配备一台推土机（或使用铲运推土机）配合铲运机作业。铲运机作业面的长度和宽度应能使铲斗易于达到满载。

铲运机卸土场的大小应满足分层铺卸的需要，并留有回转余地，填方卸土应边走边卸，防止成堆，行走路线外侧边缘至填方边缘的距离不宜小于 20m。

第四节 路基压实技术

一、一般要求

1. 路堤、路堑和路堤基底均应进行压实、土质路堤的压实度应不低于表 2-1 的标准。

土质路堤压实度标准

表 2-1

填挖类型		路面底积计起 深度范围 (cm)	压实度 (%)		
			快速路、主干路	次干路	支路
路	上路床	0 ~ 30	≥95	≥93	≥90
	下路床	30 ~ 80	≥95	≥93	≥90
堤	上路堤	80 ~ 150	≥93	≥90	≥90
	下路堤	> 150	≥90	≥90	≥87
零填及路堑路床		0 ~ 30	≥95	≥93	≥90

2. 路基土的压实最佳含水量及最大干密度以及其它指标应在路基修筑半个月前，在取土地点取具有代表性的土样进行击实试验确定。击实试验的操作方法按现行部颁《公路土工试验规程》(JTJ 051—93) 进行。

3. 土质路基的压实度试验方法可采用灌砂法、环刀法、蜡封法、灌水法(水袋法)或核子密度湿度仪(简称核子仪)法。采用核子仪法时，应先进行标定和对比试验。

4. 每一压实层均应检验压实度，合格后方可填筑其上一层。否则应查明原因，采取措施进行补压。检验频率每 2000m² 每压实层测 4 处(8 点)，不足 2000m² 时至少检验 1 处(2 点)，检验标准，必须每点都符合表 2-1 的规定，必要时可根据需要增加检验点。

5. 土质路床顶面压实完成后，应进行弯沉检验。检验汽车的轴重及弯沉允许值按设计规定执行。检验频率应为每一幅双车道每 50m 四点，左、右两后轮隙下各一点。路床顶面的检测弯沉值在考虑季节影响之后应符合设计要求。

二、土路基的击实试验

土路基的击实试验应按《公路土工试验规程》(JTJ 051) 中“击实试验”(T0131—93) 试验方法所规定的仪器设备、准备试验方法、试验步骤、进行试验以取得最大干密

度和最佳含水量。土路基的击实实验方法：

目前土路基击实标准按建设部规定，标准击实有轻型击实和重型击实两种，适用于各种细粒土及含砾土等，轻型击实仅允许用于低级路面及土基过湿或缺乏重型压实机具情况。轻、重型击实实验方法见表 2-2。

击实试验方法种类

表 2-2

试验方法	类别	锤底直径 (cm)	锤质量 (kg)	落高 (cm)	试筒尺寸			层数	每层 击数	击实功 (kJ/m ³)	最大粒径 (mm)
					内径 (cm)	高 (cm)	容积 (cm ³)				
轻型 I 法	I .1	5	2.5	30	10	12.7	997	3	27	598.2	25
	I .2	5	2.5	30	15.2	12	2177	3	59	598.2	38
重型 II 法	II .1	5	4.5	45	10	12.7	997	5	27	2687.0	25
	II .2	5	4.5	45	15.2	12	2177	3	98	2677.2	38

三、填方路堤基底的压实

路堤基底应在填筑前进行压实。快速路、主干路和次干路路堤基底的压实度不应小于 85%；当路堤填土高度小于路床厚度（80cm）时，基底的压实度不宜小于路床的压实度标准。

四、填方路堤的压实

1. 填方路堤的压实不论采用何种压实机械，均应在各种土的最佳含水量 $\pm 2\%$ 以内压实。当土的实际含水量不位于此范围内时，应均匀加水或将土摊开、晾晒，使达到要求后方可进行压实。运输上路的土在摊平后，其含水量如接近于压实最佳含水量时，应迅速碾压。

2. 当需要对土采用人工加水时，达到压实最佳含水量所需要的加水量可按下式计算：

$$m = (\omega - \omega_c) \frac{Q}{1 + \omega_c}$$

式中 m —— 所需加水量 (kg)；

ω_c —— 土原来的含水量 (以小数计)；

ω —— 土的压实最佳含水量 (以小数计)；

Q —— 需要加水的土的质量 (kg)。

需要加的水宜在将土运至路堤上后，用水车均匀、适量的浇洒在土中，并用拌和设备拌和均匀。

3. 用铲运机、推土机和自卸汽车推运土料填筑路堤时，应平整每层填土，且自路中线向两边设置 2% ~ 4% 的横向坡度，及时碾压，雨季施工更应注意。

4. 压路机碾压路基时应按下列规定进行：

(1) 碾压前应对填土层的松铺厚度、平整度和含水量进行检查，符合要求后方可进行碾压。

(2) 压实应根据现场压实试验提供的松铺厚度和控制压实遍数进行，若控制压实遍数超过 10 遍，应考虑减少填土层厚度。经压实度检验合格后方可转入下道工序。不合格处应进行补压后再做检验，一直达到合格为止。

(3) 快速路和主干路路基填土压实宜采用振动压路机或 35 ~ 50t 轮胎压路机进行。采用振动压路机时，第一遍应不振动静压，然后先慢后快，由弱振至强振。

(4) 各种压路机的碾压行驶速度开始时宜用慢速，最大速度不宜超过 4km/h；碾压时直线段由两边向中间，小半径曲线段由内侧向外侧，纵向进退式进行；横向接头对振动压路机一般重叠 0.4 ~ 0.5m。对三轮压路机一般重叠后轮宽的 1/2。前后相邻两区段宜纵向重叠 1.0 ~ 1.5m。应达到无漏压，无死角，确保碾压均匀。

使用夯锤夯实时，首遍各夯位宜紧靠，如有间隙，则不得大于 15cm，次遍夯位应压在首遍夯位的缝隙上，如此连续夯实直至达到规定的压实度。

五、挖方路基的压实

零填及路堑路床的压实，应符合表 2-1 “土质路堤压实度标准” 的规定。

六、管槽、检查井及构筑物等处的回填与压实

1. 管道回填土不得带水回填，应均匀分层填筑，并严格控制含水量，对称夯实，每层松铺厚度不宜大于 20cm。当采用小型夯具时，松铺厚度则不宜大于 15cm。

2. 检查井周围的回填，应在井身四周同时均匀回填夯实。

3. 在填筑范围内，填筑至管顶 50cm 以上，方可采用机械压夯实。

4. 构筑物处的回填，应按图纸要求进行，回填时圬工强度的具体要求及回填时间，应按《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041) 有关规定执行。构筑物的回填与压实应遵照下列要求：

(1) 回填材料宜选用透水性材料如砂砾、碎石、矿渣、碎石土等或半刚性材料如石灰土等，填料最大粒径不得大于 50mm。

(2) 台背填土顺路线方向长度，顶部为距翼墙尾端不小于台高 2m，底部距基础内缘不小于 2m，拱桥台背填土长度不应小于台高的 3 ~ 4 倍，涵洞填土长度每侧不应小于 2 倍孔径长度。

(3) 桥台背后、涵洞两侧与顶部、锥坡与挡土墙等构造物背后的填土均应分层压实，分层检查。检查频率每 50m² 检验 1 点，不足 50m² 时至少检验 1 点，每点都应合

格。每一压实层松铺厚度不宜超过 20cm。

涵洞两侧的填土与压实和桥台背后与锥坡的填土与压实均应对称或同时进行。

(4) 各种填土的压实尽量采用小型的手扶振动夯或手扶振动压路机；但涵顶填土 550cm 内应采用轻型静载压路机压实，以达到规定的压实度为准。

(5) 快速路和主干路的桥台、涵身背后和涵洞顶部的填土压实度标准，从填方基底或涵洞顶部至路床顶面均为 95%，其他道路为 93%。

七、粉煤灰路堤的压实

1. 摊铺后的粉煤灰必须及时碾压，做到当天摊铺，当天碾压完毕，以防止水分蒸发而影响压实效果。碾压时，应使粉煤灰处于最佳含水量范围内。

2. 粉煤灰路堤应分层填筑，分层碾压，宜采用振动压路机碾压。压实厚度应根据压实机械的种类和压实功能的大小而定，事先应进行碾压试验。一般 20~30t 的中型振动压路机，每层压实厚度应不大于 20cm，中型振动羊足碾或 40~50t 的重型振动压路机，每层压实厚度不得大于 30cm。

3. 粉煤灰碾压，应遵循先轻后重原则，对人工排铺的灰层宜先用履带式机具或 8~12t 轻型压路机静压 1~2 遍，稳压后，用振动压路机振碾 3~4 遍。机械摊铺的灰层可直接用 20t 以上的中型或重型振动压路机碾压 3~4 遍，振动压路机压后再以静作用压路机静碾 1~2 遍。碾压完毕应及时检验压实度，符合表 2-3 “粉煤灰路堤压实标准”规定要求后方可继续填筑土层。

粉煤灰路堤压实标准

表 2-3

路堤类型	距路槽底深度 (cm)	压实度 (%)			
		快速路、主干路		次干路、支路	
		重型	轻型	重型	轻型
纯灰路堤	0~30 封顶层	95	—	93	98
	30~80	93	—	90	95
	80~150	92	—	87	92
	>150	90	—	87	92

4. 对不能使用压路机碾压的部位，应采用小型手扶式振动压路机、蛙式夯实机进行碾压夯实并达到规定的压实度。

5. 每层粉煤灰碾压结束后，应在压实层中间部位用环刀法检验压实度。也可用灌砂法、核子密度仪等方法检验压实度，但应建立相关关系。

6. 铺筑上层时，应控制卸料汽车的行驶方向和速度，不得在下层灰面上调头、高

速行驶、急刹车等，以免造成压实层松散。

第五节 雨季与冬季施工技术要点

一、雨季施工

1. 雨季路基施工地段宜选择砂类土和路堑的弃方地段，如为重黏土地段则不宜在雨季施工。

2. 对选择的雨季施工地段，应进行详细的现场调查研究，编制实施性的雨季施工组织计划。

3. 雨季施工应适当缩小工作面，土方采用随挖、随运、随排铺、随压实的方法，尽量做到当天施工、当天成活，应修建施工便道保持晴雨畅通。

4. 修建临时排水设施，保持雨季作业场地不被雨水淹没，并能及时排除地面水。

5. 储备足够的工程材料和生活物资。

6. 雨季填筑路堤应按下列规定进行：

(1) 填筑路堤前应在填方坡脚以外挖排水沟，保持场地不积水，如原地面松软应采取换填等措施。

(2) 宜选用砂类土等透水性良好的土作为填料，利用挖方土作为填料时，应随挖随填，及时压实，含水量过大无法晾干的土，不得作为雨季施工填料。

(3) 路堤应分层填筑，每一层的表面应做成 $2\% \sim 4\%$ 的排水横坡。当天填筑的土层应当天完成压实。

(4) 填土施工中遇雨，要立即用机械摊平排压并做出横坡或将土堆成大堆，存于高处，以免雨水浸泡。

7. 雨季开挖路堑应按下列规定进行：

(1) 路堑开挖前在路堑边坡坡顶 2m 以外开挖截水沟，并接通出水口流出路外或流入下水道内，收水井应凿出泄水孔，竣工后修复。

(2) 施工地段低洼又无排水设施，应设临时泵站将水排出施工地段。

(3) 雨季开挖路堑宜分层开挖，每挖一层均应设置排水纵横坡，挖方边坡不宜一次挖到设计标高，应沿坡面留 30cm ，待雨季过后再整修到设计坡度。

(4) 雨季开挖路堑挖至路床设计标高以上 $30 \sim 50\text{cm}$ 时应停止开挖，并在两侧挖排水沟，待雨季过后，再挖至路床设计标高，平整压实。快速路、主干路，如土的强度低于规定时，应超挖 50cm ，其他道路超挖 30cm ，用粒料分层回填，并按路床要求压实。

二、冬季施工

1. 昼夜平均气温在 -3°C 以下, 连续 10 天以上时进行路基施工, 称为路基冬季施工, 当昼夜平均气温升到 $\sim 3^{\circ}\text{C}$ 以上, 但冻土未完全融化时, 亦应按冬季施工办理。

2. 路基工程不宜于冬季施工的项目如下:

- (1) 快速路、主干路的土路堤和地质不良地区的次干路、支路的土路堤。
- (2) 挖掘填方地段的台阶。
- (3) 整修路基边坡。
- (4) 在河滩低洼地带将被水淹的填土路堤。

3. 路基冬季施工前应进行下列准备工作:

- (1) 对冬季施工项目, 编制实施性的施工组织计划。
- (2) 冬季施工项目在冰冻前应进行现场放样, 保护好控制桩并树立明显的标志, 防止被冰雪掩埋。

(3) 冰冻之前应全部清除路基范围内的树根、草皮和杂物, 修通现场的施工便道。

(4) 冰冻前应挖好坡地上填方的台阶。

(5) 维修保养冬季施工需用的车辆、机具设备、充分备足冬季施工期间的工程材料。

(6) 准备施工队伍的生活设施、取暖照明设备、燃料和其他越冬所需的物资。

4. 冬季施工的路堤填料, 应选用未冻结的砂类土、碎卵石土等透水性良好的土。禁用含水量过大的粘性土。禁止用冻结填料填筑路堤。

5. 冬季填筑路堤应符合下列规定:

(1) 冬季填筑路堤, 应按横断面全宽填筑、每层最大松铺厚度不得大于 30cm , 压实度不得低于正常施工的要求, 当天填的土, 必须当天完成碾压。

(2) 当路堤高距路床底面 1m 时, 应碾压密实后停止填筑。在上面铺一层松土保温待冬季过后整理复压, 再分层填至设计标高。

(3) 挖填方交界处, 填土低于 1m 的路堤都不应在冬季填筑。

(4) 冬季填筑的路堤, 每层每侧应较正常施工的宽度超填, 待冬季过后修整边坡。

6. 冬季开挖路堑应符合下列规定:

(1) 当冻土层被开挖到未冻土后, 应连续作业、分层开挖, 中间停顿时间较长时, 应覆盖松土保温, 避免重复被冻。

(2) 挖方边坡不应一次挖到设计线, 应预留 30cm 厚台阶, 待到正常施工季节再削去预留台阶, 整修达到设计边坡。

(3) 路堑挖至路床面以上 1m 时, 挖好临时排水沟后, 应停止开挖并在表面覆以松土, 待到正常施工时, 再挖去其余部分。

(4) 冬季开挖路堑必须从上向下开挖, 严禁从下向上掏洞。

(5) 每日开工时选挖向阳处, 气温回升后再挖背阴处, 如开挖时遇地下水源, 应及

时挖沟排水。

第六节 软土地基处理技巧

一、一般要求

软土在我国滨海平原、河口三角洲、湖盆地周围及山涧谷地均有广泛分布。所谓软土上,从广义上说,就是强度低、压缩性高的软弱土层;以孔隙比及有机质含量为主,软土也基工程地质勘察应按表 2-4 的特征指标综合地鉴别软土,并提出有效的处理措施。

软 土 鉴 别 表

表 2-4

特指标名称	天然含水量 (%)	天然孔隙比	十字板剪切强度 (kPa)
指标值	≥35 与液限	≥1.0	< 35

注:表 2-4 中十字板剪切强度 (S_u) 35kPa 所对应的静力触探总贯入阻力 (Pa) 约为 750kPa。

二、排水砂垫层

1. 材料要求

(1) 砂、砂石垫层的材料,宜采用级配良好、质地坚硬的粒料,其颗粒的不均匀系数最好不能小于 10,宜采用洁净、透水性良好的中、粗砂,含泥量不应大于 5%,并将其中植物、杂质除尽。如用作排水固结地基的砂、石材料,含泥量不宜超过 3%,渗透系数 $K \geq 5 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 。

(2) 也可采用天然级配砂砾料,其最大粒径不应大于 5cm,砾石强度不低于四级(即洛杉矶法磨耗率小于 60%)。

2. 主要施工方法

(1) 将砂料运送到准备摊铺的土基上,用平地机或小型推土机摊铺、整平,摊铺后适当洒水,分层压实,压实厚度宜为 15~20cm。如采用砂砾石,应无粗细粒料分离现象。

(2) 砂垫层宽度应宽出路基边脚 0.5~1.0m,两侧端以片石护砌或采用其他方式防护,以免砂料流失。

(3) 砂垫层的压实度,按技术规范重型击实法,须达到相对压实度的 90% 以上。因此要调整控制最佳含水量(一般为 8%~12%)。道路工程砂垫层均采用碾压法施工,找平后,先用推土机排压,然后用 100kN 以上压路机往复碾压。人工配合找平和修理边坡。

3. 注意事项

(1) 环刀取样法 用容积不小于 200cm^3 的环刀压入垫层中取样,测定其干密度,以不小于砂料在中密状态时的干密度数值为合格,如中砂一般为 $15.5 \sim 16\text{kN/m}^3$ 。

(2), 钢筋贯入测定法 检查时应先将表面的砂刮去 3cm 左右,并用贯人仪、钢筋等以贯入度大小检查砂垫层的质量。钢筋贯人工具是用直径为 20mm ,长度为 1250mm 的平头钢筋,落距为 700mm ,自由下落。钢筋的插入深度,可根据砂的控制干密度预先进行小型试验确定。

三、土工合成材料铺垫

1. 材料类型及材质要求

(1) 材料类型

① 编型土工纤维——由单股线或多股线编织而成。

② 织型土工纤维即机织物——类似民用纺织品,由经纱和纬纱两组平行的纱线在纺机上交织而成。

③ 纺型土工纤维——由合成纤维原料加工的连续长丝以不规则的排列连接起来而成。是当前世界上应用最广的一种土工纤维。

④ 组合型土工纤维——由前三类组合而成的土工纤维。

⑤ 其它

随着聚合物在土工应用中的发展,为适应道路及岩土工程不同应用的要求,不断开发新的品种,如土工网、土工垫、土工格栅以及各种土工膜和复合组合材料等。

(2) 材质要求

① 土工合成材料应具有质量轻、整体连续好、抗拉强度较高、耐腐蚀和抗微生物侵蚀性好、施工方便等优点;非织型的土工纤维应具备当量孔隙直径小、渗透性好、质地柔软能与土很好结合的性质。

② 应根据出厂单位提供的幅宽、质量、厚度、抗拉强度、顶破强度和渗透系数等测试数据,选用满足设计和规范要求的土工合成材料。

2. 主要施工方法

应在平整好的下承层上按路堤底宽全断面铺设,摊铺时应拉直平顺,紧贴下承层,不使出现扭曲、折皱、重叠。在斜坡上摊铺时,应保持一定的松紧度(可用 U 型钉控制)。

(2) 铺设土工聚合物,应在路堤每边各留足够的锚固长度,回折覆裹在压实的填料面上,平整顺适,外侧用土覆盖,以免人为破坏。锚固长度应满足设计要求。

(3) 应保证土工合成材料的整体性,当采用搭接法连接时,搭接长度宜为 $30 \sim 90\text{cm}$;采用缝接法时,缝接宽度应不小于 5cm ;采用粘接法时,粘接宽度不应小于 5cm ,粘合强度应不低于土工合成材料的抗拉强度。

(4) 现场施工中发现土工合成材料有破损时必须立即修补好。

(5) 土工合成材料在存放以及施工铺设过程中应尽量避免长时间曝晒或暴露，以免其性能劣化。

(6) 双层土工合成材料上、下层接缝应交替错开，错开长度不应小于 0.5m。

3. 材料的试验和检测

(1) 一般特征。描述产品的形态，包括纤维材料的成分和制造方法，单位面积质量、厚度、孔隙尺寸，成卷特征。上述内容一般由生产厂家通过产品检测试验提供，作为材料性能规格说明。

(2) 鉴别和分类参数以标准试验确定。包括力学特性参数，水力特性参数，以及耐久性和老化特性，抗化学和生物腐蚀性等，提供产品特性和分类依据。

(3) 土与土工织物的相互作用性质，如强度与变形特性、土与土工织物之间的摩擦和粘聚力、反滤性能等。

应用时应根据设计要求和实际情况，加以分析，选择材料和试验方法。

四、袋装砂井

1. 材料要求

(1) 砂料采用渗水率较高的中、粗砂，粒径大于 0.5mm 的砂的含量宜占总重的 50% 以上，含泥量不应大于 3%，渗透系数不应小于 $5 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 。

(2) 砂袋为聚丙烯或其他适用的编织料缝合而成。要求具有良好的透水性，装砂后砂袋的渗透系数应不小于砂的渗透系数，良好的耐水性，韧性好及抗拉强度能保证承受砂袋自重，其物理力学指标符合规范要求。

2. 主要施工方法

(1) 施工机械：普遍采用轨道门架式振动打桩机，及履带臂架式吊机导架式等。

(2) 施工：门架打桩机就位，在空心套管下端插入混凝土桩尖，开动振动锤将套管沉入土中，达设计深度后停止，将已装好的砂袋从套管侧孔中徐徐送入管中，达设计深度，然后将套管拔出到砂垫层以上，砂袋留在土孔中，埋砂袋头。移动套管至下一桩位，依照上述程序继续施工。

3. 注意事项

(1) 每段施工前所需砂袋长度应经试验确定，另加埋入砂垫层的长度。

(2) 编织袋的直径，由于聚丙烯材料有约 20% 的伸长率，应提前试装以确定合适的砂袋直径。

(3) 砂料应用经风干后的材料，含水量应控制在 1% 以下，装足后用麻绳将袋口绑扎牢固。

(4) 聚丙烯材料抗紫外线能力低，砂袋在现场存放应加覆盖物，避免阳光曝晒和雨淋，存放期不应超过一周。

(5) 施工中要经常检查桩尖与导管口的密封情况，避免导管内进泥过多，影响加固深度。

(6) 将砂袋送入套管时, 导管口应装设滚轮, 减少对砂袋的摩阻力, 以防袋子破裂, 缩颈和断裂。

(7) 导轨应垂直, 钢套管不得弯曲, 沉管时应用经纬仪或线锤控制垂直度。

(8) 砂袋留出孔口长度应保证伸入砂垫层至少 30cm, 并不得卧倒。

(9) 袋装砂井灌砂率及施工允许偏差应符合规范要求。

五、塑料排水板

1. 材料要求

(1) 塑料排水板应具有耐腐蚀性和足够的柔性, 保证塑料排水板在地下的耐久性并在土体固结变形时不会被折断或破裂。

(2) 塑板材料经 180°反复弯折(弯心直径 8.5cm)不得出现破裂, 抗拉强度不应小于 130N/cm²。滤套应具有隔离土颗粒和渗透功能, 应等效于 0.025mm 孔隙, 其最小自由透水表面积为 1500cm²/m, 渗透系数应不小于 5×10^{-3} cm/s。

(3) 当周围土体压力在 15m 深度范围内不大于 250kPa 或在大于 15m 范围不大于 350kPa 条件下, 其排水能力应不低于 30cm³/s。

2. 主要施工方法

(1) 施工机械: 塑料排水板的施工机械, 基本上可与袋装砂井打设机械, 同类只是将圆形套管改为矩形套管, 套管下口扁为扁嘴形。

(2) 移动插板机就位, 调正套管垂直度, 对准桩位。在空心套管中插入塑料板并引至套管下口, 将塑板穿入钢靴钢条, 再将塑板回插入套管下口嘴中, 长约 15cm, 拉紧塑板使钢靴紧贴套管下口, 以免在套管下沉过程中挤进泥砂。

(3) 将套管以振动加压方式沉入土层, 至设计要求深度。

(4) 拔出空心套管, 由于土对钢靴及塑板的粘结力而使钢靴及塑板留在土中。

(5) 套管上口留出塑板埋入砂垫层的长度(不小于砂垫层的厚度, 一般为 50cm), 将塑板剪断, 移动导管至下一桩位, 依次施工。

3. 注意事项

(1) 每批塑板到场后生产厂必须提供出厂质量检验合格单, 经承包商抽样复测。达到要求的质量标准。

(2) 施工现场堆放的塑料排水板盘带应加以适当覆盖, 以防暴露在空气中老化。

(3) 插入过程中导轨应垂直, 钢套管不得弯曲, 透水滤套不应被撕破和污染; 排水板底部应有可靠的锚固措施, 以免拔出套管时将芯板带出。

(4) 塑料排水板留出孔口长度应保证伸入砂垫层不小于 50cm, 使其与砂垫层贯通; 并将其保护好, 以防机械, 车辆进出时受损, 影响排水效果。

(5) 塑料排水板搭接应用滤套内平接的方法, 芯板对扣, 凹凸对齐, 搭接长度不少于 20cm; 滤套包裹, 用可靠措施固定。

(6) 施工中防止泥土等杂物进入套管内, 一旦发现须及时清除。

(7) 塑料排水板施工允许偏差应符合规范规定。

六、挤密碎石桩

1. 材料要求

(1) 应使用未风化的干净砾石或轧制符合级配的碎石。料径宜为 20 ~ 50mm，不得混有有机质及杂物，含泥量不应大于 10%，渗透系数不得小于 $1 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 。

(2) 水：一般可饮用水均可使用。

2. 重要施工方法

(1) 施工机械：可选用振动沉管打桩机械施工，要求导杆必须满足高度要求，最少应富余 1 ~ 1.5m；按设计桩径选择厚壁空心钢管；桩尖为三片活瓣，能自由开启。

(2) 施工工序

1) 每段施工前应绘制布桩图并编号，按布桩图放线，用木桩定位。

2) 桩架就位，调整导杆的垂直度，提升振动锤和钢管，将桩尖活瓣闭合。

3) 加压并开动振动锤将钢管沉入土中至设计要求深度。

4) 根据桩长按松方系数 1.3 计算每根桩的用料量，分两次上料，第一次上料为总需量的 70%，并同时加适量的清水，当振动提管到 4 ~ 5m 高度时，再上足全部材料，加水量以使粒料达到饱和含水量为度，加水量太少和过多都影响成桩的密实度，实际用水量约为粒料的 30%。

5) 为提高碎石桩的密实度，采用逐步拔管法施工。不能将钢管一次连续拔出，而要分阶段缓匀上拔。每次振动拔山 1m（速度 30s/m），停止上拔继续振动 30s，再上拔 1m 停止，继续振动 30s。依次操作直至将钢管全部拔出地面为止。

6) 移动桩架至下一桩位，重复以上步骤。

7) 为达到挤实土层的目的，施工顺序应先打四周围的桩，向中心扩展最后打中间的桩。

3. 注意事项

(1) 按照规范要求，开工前施工单位要先做 5 根试验桩，考查设备能力、沉入桩管速度、成桩直径及碎石桩密实度情况。符合质量标准后，方可正式施工。

(2) 施工时应保证套管竖直，以免成桩倾斜。

(3) 碎石桩施工允许偏差应符合规范要求。

(4) 碎石桩密实度检验，一般情况下抽查 5%，要求用重 II 型动力触探测试，贯入量 10cm 时，击数不小于 5 次。

七、水泥搅拌桩

1. 材料要求

(1) 水泥：水泥宜采用 32.5 号（国家新标准水泥强度等级）普通水泥或矿渣水泥，

严禁使用过期、受潮、结块、变质的劣质水泥。对进场水泥应分批提供有关强度，安定性等试验报告，并分批取样送试，试验合格后方可使用。

(2) 水：供饮用的水，使用时可不经试验。其他如河水源，经试验，符合规范要求后方可使用。

2. 主要施工方法

(1) 施工机械

主机为深层搅拌机，有双搅拌轴中心管输浆方式和单搅拌轴叶片喷浆方式两种；配套机械主要有灰浆拌制机，集料斗、灰浆泵，控制柜及计量装置。一般常用的有 SJB-1 型深层搅拌机和 GZB-600 型深层搅拌机等。

(2) 施工工艺

①定位：将深层搅拌机移至加固位置，调整导轨垂直度，钻头对中桩位。

②预搅下沉：启动电机，放松起吊钢丝绳，空压机送气，使搅拌机沿导轨下沉进至设计深度。注意工作电流不应大于额定电流。

③提升喷浆搅拌：深层搅拌机下沉到达设计深度后，开启灰浆泵将水泥浆压入地基中，并且边喷浆，边旋转，同时严格按设计确定的提升速度提升深层搅拌机。

④重复上、下搅拌：深层搅拌机提升至设计加固深度的顶面标高时，集料斗中的水泥浆应正好排空。为使软土和水泥浆搅拌均匀，可再次将搅拌机边旋转边沉入土中，至设计加固深度后再将搅拌机提升出地面。

⑤清洗：向集料斗中注入适量清水，开启灰浆泵清洗全部管路中残存的水泥浆，直至基本干净。并将粘附在搅拌头的软土清洗干净。

⑥移位：重复上述步骤，进行下一根桩的施工。

3. 注意事项

(1) 室内工艺配方试验：按设计要求确定水泥掺加量。水泥土强度必须符合设计要求。一般情况下水泥掺加量，按湿土容重 $1.8\text{t}/\text{m}^3$ 计，水泥掺加量为 15%，水灰比 0.45~0.5。必须通过室内配比试验的检验，符合设计要求。

(2) 施工前应先做试验桩，试验桩数不少于 5 根。检验满足设计要求的各种技术参数，如钻进速度、提升速度、搅拌速度、喷气压力、单位时间喷入量及搅拌的均匀性。

(3) 施工前应丈量钻杆长度，并标上显著标志，以便掌握钻杆钻入深度、复搅深度，保证设计桩长。

(4) 施工中应随时检查起吊设备的平整度和导向架的垂直度，使垂直度偏差值不超过 1%。

(5) 施工中由专职施工技术人员，跟班检查并做的详细原始记录：输灰泵输浆量（含管道压力），水泥浆经输浆管达到搅拌机喷浆时间以及预搅下沉速度，喷浆搅拌提升速度，重复搅拌下沉及提升速度等施工参数，复搅拌桩桩长及施工中有无异常现象等。

(6) 水泥浆不得离析：水泥浆要严格按设计的配合比配置，要预先筛除水泥中的结块。为防止水泥浆发生离析，可在灰浆拌制机中不断搅动，待压浆前才缓慢倒入集料斗

中。

(7) 供浆必须连续，拌和必须均匀。一旦因故停浆，为防止断桩和缺浆，应使搅拌机下沉至停浆面以下 0.5m 待恢复供浆后再喷浆提升。如因故停机超过 3h，为防止浆液硬结堵管，应先拆卸输浆管路清洗后备用。

(8) 搅拌机提升至地面以下 1m 时宜用慢速；当喷浆口即将出地面时，应停止提升，搅拌数秒以保证桩头均匀密实。

(9) 水泥搅拌桩施工完成后，必须对地基进行静载测试和抽芯取样测试，用以检验水泥搅拌桩施工质量。检验频率按设计及规范要求执行。

①用现场静载荷试验方法进行工程加固效果检验。所得承载力符合设计要求。

②采用桩体钻孔取芯方法进行检验，应在桩体三等分段各钻取芯样一个，一根桩取三个试块进行强度测试。必须达到设计要求。

(10) 深层水泥搅拌桩施工允许偏差应符合规范要求。

八、水泥粉喷桩

1、主要施工方法

(1) 施工机械：主要是由钻机，粉体发送器、空气压缩机，搅拌钻头等配套组成。

(2) 施工工艺

①定位：调正导轨垂直度，钻头对中桩位。

②预搅下沉：启动电机，放松起吊钢丝绳，空压机送气，使钻头沿导轨下沉钻进至设计深度。注意工作电流不应大于额定电流。

③钻杆提升：粉体发送器送灰至喷灰口，按规定的提升速度，边喷、边搅拌、边提升直至桩顶。一般表层 50cm 土层侧向约束软弱，成桩不利，因此停灰面宜在离地面 50cm 处。

④复拌：关闭粉体发送器，为保证软土与水泥搅拌均匀，再次将钻杆下沉至设计要求深度，再搅拌提升至地面。

⑤将钻机移至下一桩位，重复上述步骤施工。

2. 注意事项

(1) 施工前进行室内配合比及强度试验和现场成桩试验，及时确定出搅拌机的输灰量、喷灰时间、预搅下沉及提升速度等参数，都要在施工前做好标定。

(2) 粉喷桩施工应根据成桩试验确定的技术参数进行；由专职施工技术人员，跟班检查并做好详细原始记录：压力、喷粉量、钻进速度、提升速度等有关参数的变化。

(3) 严格控制喷粉标高和停粉标高，不得中断喷粉，确保桩体长度；严禁在尚未喷粉的情况下进行钻杆提升作业。

(4) 当钻头提升到地面以下不足 50cm 时，送灰器应停止喷灰，并用人工回填粘性土压实。

(5) 桩身根据设计要求在一定深度即在地面以下 $1/2 \sim 1/3$ 桩长并不小于 5m 的范围

内必须进行重复搅拌，使固化料与地基土均匀拌和。

(6) 施工中，发现喷粉量不足，应整桩复拌，复拌的喷粉量应不小于设计用量。复拌重叠孔段应大于 1m。

(7) 施工机具设备的粉体发送器必须配置粉料计量装置，并记录水泥的瞬时喷入量和累计喷入量。严禁无粉料喷入计量装置的粉体发送器投入使用。

(8) 储灰缸容量应不小于一根桩的用灰量加 50kg；当储量不足时，不得对下一根桩开钻施工。钻头直径的磨损量不得大于 1cm。

(9) 粉喷搅拌桩施工完成后，必须对地基进行静载测试和抽芯取样测试，用以检验粉喷搅拌桩施工质量。检验频率按设计及规范要求执行。

①用现场静载荷试验方法进行工程加固效果检验，所得到承载能力应符合设计要求。

②采用桩体钻孔取芯方法进行检验，应在桩体三等分段各钻取芯样一个，一根桩取三个试块进行强度测试。必须达到设计要求。

(10) 粉喷搅拌桩施工允许偏差应符合规范要求。

九、生石灰土桩

1. 材料要求

(1) 石灰应该是细磨的。在搅拌过程中，为了防止桩体中石灰聚集，石灰最大粒径应小于 0.2cm。

(2) 石灰应尽量纯净无杂质。石灰中氧化钙和氧化镁的总和至少应为 85%，其中氧化钙含量不低于 80%。

(3) 生石灰粉的流性指数不低于 70%。

2. 主要施工方法

(1) 施工机械：主要是由钻机、粉体发送器、空气压缩机、搅拌钻头等配套组成。

(2) 施工工艺

①定位：调正导轨垂直度，钻头对中桩位。

②预搅下沉：启动搅拌钻机，钻头边旋转边钻进。为了不致堵塞喷射口，此时并不喷射生石灰粉，而是喷射压缩空气。钻进时喷射压缩空气，可使钻进顺利，负载扭矩小。随着钻进，准备加固的土体在原位受到搅动。

③钻进结束：钻至设计标高后停钻。

④钻杆提升：启动搅拌钻机，钻头呈反向边旋转，边提升，同时通过粉体发送器将生石灰粉喷入被搅动的土体中，使土体和生石灰粉充分拌和。当钻头提升至距离地面 50cm 处发送器停止向孔内喷射粉料，一般表层 50cm 土层侧向约束软弱成桩不利，同时粉料也不会溢出地面。

⑤复拌：关闭粉体发送器，为保证软土与固化剂搅拌均匀，再次将钻杆下沉至设计要求深度，再搅拌提升至地面。

⑥将钻机移至下一桩位，重复上述步骤施工。

3. 注意事项

(1) 外观检查：施工结束后，对开挖出来的桩体，测量其直径应符合设计要求，桩身应连续匀称，灰土拌和应均匀，用打击物冲击应有坚实感。

(2) 室内外试验

①在开挖出来的桩体上，试用钻取岩芯方法切取试件，在保持养生的条件下送试验室进行立方强度和无侧限抗压强度试验。试验结果应满足设计要求

②对试件进行压缩试验，其变形模量应满足设计要求。

③开工前按设计要求喷搅试验桩，经过养生后进行现场荷载试验。试验结果应满足设计要求。

(3) 生石灰土桩施工允许偏差应符合规范要求。

十、换填法

1. 换填材料

采用人工或机械挖除路堤下全部软土，换填强度较高的黏性土或砂、砾、卵石、片石等渗水性材料。适用于软土层较薄且易于排水施工的情况，换土深度一般不宜超过2m。

2. 主要施工方法

(1) 开挖

采用机械开挖，一般可使用索铲挖土机，抓斗等。开挖时若用水泵抽水，容易引起边坡坍塌，如果用不需压实的良好换填材料，并及时换填，以不排水为宜。

(2) 抛石挤淤

抛石挤淤是强迫换土的一种形式，它不必抽水挖淤，施工简便。这种方法用于湖塘或河流等积水洼地，常年积水且不易抽干，表层无硬壳，软土液性指数大，厚度薄，片石能沉至下卧硬层的情况。一般用于软土厚度为3~4m，石块的大小视软土稠度而定，一般不宜小于0.3m。抛填片石时，应自中部开始渐次向两侧展开，使淤泥向两边挤出，待抛石露出水面后用重型压路机碾压，其上铺设反滤层，再进行填土。当下卧层面具有明显横向坡度时，片石抛填应从高向低的一侧进行，并在低的一侧多填一些，以求稳定。

(3) 爆破排淤

爆破排淤也是换土的一种形式。利用炸药爆炸时的张力作用，使软土扬弃或压缩，然后填以强度较高的渗水土或一般黏性土，达到换土的目的。

采用爆破排淤的施工方法换填深度较大，工效较高，适用于软土层较厚，稠度大，路堤较高及施工期紧迫的情况。

爆破排淤又可分先填后爆和先爆后填两种施工方法。前者适用于稠度较大的软土，先填的路堤随爆随沉，避免回淤。后者适用于稠度小的软土。

十一、反压护道

1. 作用

反压护道是在路堤两侧填筑一定宽度和一定高度的护道。它运用力学平衡以保持路基的稳定。

反压护道一般采用单级形式，由于反压护道本身的高度不能超过极限高度，所以反压护道适用于路堤高度不大于极限高度的 $1\frac{2}{3}$ 倍的情况，单级反压护道的高度宜采用路堤高度的 $1/3 \sim 1/2$ 。

2. 填料

反压护道填料材质应符合设计要求，一般和路堤使用同一填筑材料。

3. 主要施工方法

(1) 施工时要求，软土地基处理按一次全宽施工，然后铺砂垫层，填土时路堤与反压护道视为一体，整体分层摊铺压实，以提高两者的整体性，有利于发挥稳定路堤的作用最后填筑路堤填料。

(2) 反压护道压实度应达到“公路土工试验规程”(JTJ 051—93) 重型击实试验法测定的最大干密度的 90%，或满足设计提出的要求。

十二、预压及超载预压

1. 作用

预压是最常用的软土地基处治方法，适用于容许工后沉降标准较低或路堤填土高度不大的一般路段。如果工期不紧，可以先填筑一部分或全部，使地基经过一段时间固结沉降，然后再填足和铺筑路面，在拟建涵洞或桥台等结构物处，先填土预压，待地基强度提高到一定程度后，挖去填土，再建造结构物。在工期限制较严，预压时间较短时，也可采用超载预压的方法来加快预压期的沉降量。作为预压或超载预压的荷载以路堤材料为宜。

2. 预压期

预压期可根据要求的土后沉降量来定，也可根据要求的地基固结度来定。一般以满足路基工后沉降小于 30cm，桥头引路为 10cm 作为预压期控制指标。

预压加荷的速率应保证地基只产生沉降而不致丧失稳定。预压期一般都要半年至一年，如结合竖向排水体进行超载预压，可缩短预压期，但必须满足设计要求。

3. 预压高度及超载预压

(1) 由于预压过程中地基的下沉，路堤的实际填筑高度（预压填土高度）要大于路堤的设计高度，实际路堤填筑高度应等于路堤设计高度与预压期间的沉降量之和。由于路面结构材料与路堤填料的单位质量不同，因此在用填料预压时应进行替代质量的换算，而最终确定路堤填筑高度。

(2) 超载预压高度受到路堤稳定性的制约,同时预压结束后剩余土方的处理也会造成困难。为了缩短预压期,除了通常宜结合竖向排水体进行超载预压外,其填料超载高度一般不大于 1m,并按设计要求进行施工,确保路堤的稳定。

十三、路堤沉降与稳定观测

1. 意义

软土地基路堤的施工应注意观测填筑过程或以后的地基变形动态,对路堤施工实行动态观测。

2. 路堤沉降观测

(1) 沉降板应在软土地基处理之后埋设,根据设计文件要求确定测点位置,并应设在观测数据容易反馈的部位。

(2) 一般情况下,沉降板埋置于路中心,路肩及坡趾的基底。沉降板由钢底板、金属测杆和保护套管组成。底板尺寸不小于 50cm×50cm×3cm,测杆直径以 4cm 为宜,保护套管尺寸以能套住测杆并使标尺能进入套管为宜。随着填土的增高,测杆和套管亦相应接高,每节长度不宜超过 50cm。接高后的测杆顶面应略高于套管上口,套管上口应加盖封住管口,避免填料落入管内而影响测杆下沉自由度,盖顶高出碾压面高度不宜大于 50cm。

(3) 沉降板观测应采用 S_1 、 S_3 型水准仪,以二级中等精度要求的几何水准测量高程,观测精度应小于 1mm。

(4) 在施工期间应严格按设计或合同文件要求同步进行沉降和稳定的跟踪观测。每填筑一层应观测一次,如果两次填筑间隔时间较长时,每 3d 至少观测一次。路堤填筑完成后,堆载预压期间观测应视地基稳定情况而定,一般半月或每月观测一次,直至预压期结束。

(5) 填筑过程中地面沉降速率的控制:要求中线表面日沉降量不大于 10mm,当出现异常情况,应立即停止加载并采取果断措施,待路堤恢复稳定后,方可继续填筑。

(6) 所有观测沉降资料应绘制成果曲线图,应有:①荷载—时间—沉降(地面综合沉降或分层沉降)过程线。②路基横向沉降盆图(不同观测时间,相应的沉降盆线)。

3. 水平位移观测

(1) 观测点位置

一般路段沿纵向每隔 100~200m 设置一个观测断面,桥头路段应设置 2~3 个观测断面,沿河等特殊路段均应酌情增设观测点。

(2) 水平位移观测边桩的埋设与观测

①边桩的埋设:应埋设在路堤两侧趾部,以及边沟外缘与外缘以远 10m 的地方,一般在趾部以外设置 3~4 个位移边桩。同一观测断面的边桩应埋在同一横轴线上。

边桩一般采用钢筋混凝土预制,混凝土强度等级不小于 C25,长度应不小于 1.5m,断面可采用正方形或圆形,其边长或直径以 10~20cm 为宜,并在桩顶预埋不易磨损的

测头。

边桩的埋置深度以地表以下不小于 1.2m 为宜，桩顶露出地面的高度不应大于 10cm。埋置方法可采用打入或开挖埋设，要求桩周围回填密实，桩周上部 50cm，用混凝土浇筑固定，确保边桩埋置稳固。

②观测：严格按设计或合同文件要求和沉降观测同步进行。在地势平坦、通视条件好的平原地区，水平位移观测可采用视准线法，地形起伏较大或水网地区以采用单三角前方交会法观测为宜。要求日水平位移不超过 5mm。

观测仪器：当采用视准线法观测时，观测仪器宜采用光电测距仪，当采用单三角前方交会法观测时，观测仪器宜采用 J_1 或 J_2 经纬仪。

观测精度：测距仪误差 $\pm 5\text{mm}$ ，方向观测水平角误差为 $\pm 2.5''$ 。

(3) 土体水平位移观测：土体水平位移量是在观测点埋设测斜管，由测斜仪测得。

4. 地基孔隙水平压力观测

(1) 观测仪器：孔隙水压测试系统，由孔隙水压力计和量测仪器两部分组成。孔隙水压力值由频率仪测得的频率值换算得出。

(2) 埋设位置：孔隙水压力计的平面布点宜集中于路中心，并与沉降、水平位移观测点位于同一观测断面上。孔隙水压力测点沿深度布设应根据试验分析需要而确定，一般每种土层均应有测点，土层较厚时一般每隔 3 ~ 5m 设一个测点，埋置深度应及至压缩层底。

(3) 孔隙水压力计的埋设方法及要点

①孔隙水压力计宜采用钻孔埋设法，埋设关键是封孔、封孔目的是隔断水压力上下水源。埋设时，以采用一孔单只孔压计埋设方法为宜。

②钻孔埋设时，应作好钻孔的详细记录。

③保护孔压计外引电缆完好不受损坏，保证孔隙水压力准确传递。

④每一只孔压计埋设后，应及时采用接收仪器检查孔压计是否正常，如发现异常应查明原因及时修正或补埋。

⑤埋设后，待钻孔完全填实和埋设时的超孔隙水压力消散时，才可测读孔压计的初始读数，一般需要 3 ~ 4d 的稳定时间。初读数时需连续测读数日，直至读数稳定为止，以稳定的读数作为初始读数。要求孔隙水压力不超过预压荷载应力的 50% ~ 60%。

(4) 在路堤施工过程中孔隙水压力计观测时间与频率应与沉降和水平位移观测要求相同。

(5) 所有观测资料应绘制成果曲线图，应有：

1) 荷载—孔隙水压力—时间关系曲线。

2) 孔隙水压力等值线（视必要或可能）。

第七节 路基排水

一、一般要求

1. 路基内的水，源自地面水和地下水。地面水主要由降水形成的地面径流。地下水为从地面渗入并滞留于上层的滞流水和地下含水层内的潜水。
2. 路基排水的目的是通过采取有效的措施，使路基内含水量保持在允许范围内，保证路基经常处于稳定状态，满足使用要求。
3. 施工前应据设计图纸、核准全线排水构筑物是否构成完整的排水体系，不足之处应与设计协商解决。
4. 施工中宜首先施作排水工程及必要的临时排水设施，再做主体工程。二者也可同步进行，排水工程随工程进展逐步完成、工程后期、临时排水工程应予恢复。

二、地面排水

1. 边沟：设置在挖方路基路肩外侧和填方路堤下坡角趾部的外侧，用以汇集和排除路基范围内的地面水。

(1) 断面形式：边沟的断面形式土质边坡一般可采用梯形、底宽和深度一般不小于 0.4m。石质边沟可做成矩形或三角形，当流量较大时横断面应根据水力计算确定。边沟的边坡：土质一般为 1:1 ~ 1:1.5，石质边沟可为 1:0.5 或直立。

(2) 边沟沟底纵坡一般不小于 0.2%，且沟深不宜超过 1.2m。要求沟底平整、排水通畅无冲刷阻水现象。

(3) 平曲线处边沟沟底纵坡应与曲头曲尾沟底相衔接，要求外侧边沟排水通畅，曲线内侧边沟不积水或外溢现象发生。

(4) 边沟应有出水口、平原地区 500m，山区 300m 设出水口，以防水流滞留沟内或漫溢影响路基稳定。

(5) 边沟的加固：采用干砌片石或浆砌片石砌筑边沟。

干砌片石要求砌石穿插嵌紧。浆砌要求座浆砌筑、片石交错嵌接无通缝、砂浆饱满、沟身不漏水。

2. 截水沟

(1) 当路基挖方上侧山坡汇水面积较大时应设置截水沟，截水沟的设置应能迅速排除地面水，对土质地区的截水沟必要时应采取加固措施、防止因水流冲刷或渗漏引起山坡滑坍。

(2) 截水沟距路堤的距离：截水沟的边缘离挖方路基坡顶的距离视土质而定，以不影响边坡稳定为原则。如系土质路基至少离开 5m。山坡路基上方的截水沟离开路堤坡脚至少 2m，并用挖截水沟的土填在路堤与截水沟之间，修筑向沟倾斜坡度为 2% 的护坡和土台，使路堤内侧地面水流入截水沟排出。

(3) 截水沟的断面一般为梯形，底宽不小于 0.5m，深度按设计流量确定，但不应小于 0.5m，边坡坡度可视土质而定。

(4) 截水沟的加固，对于地质条件较差的地段如土质不良、透水性较大或岩石裂隙较多，为防止水流下渗影响路基稳定或纵坡较大为防冲刷的土质截水沟等均应加固，加固方法视地质情况和设计流量可考虑干砌或浆砌片石。

(5) 截水沟出水口：截水沟长度超过 300m，应选择适当地点设出水口。将水引入排水沟，作好沟口的衔接。

三、地下排水

将地面下流向路基的地下水汇集起来，排到路基范围以外。使路基保护干燥稳定、不致因地下水成害，通常采用排水沟、渗沟（盲沟）的方法。

1. 排水沟：当地下水位较高潜水层埋藏不深时，可采用排水沟截流地下水，降低地下水位。排水沟沟底应低于地下水位或潜水层标高，并应埋入不透水层。排水沟应沿路线走向布置，可兼排地面水。在寒冷地区不宜用于排除地下水。

排水沟采用圬工砌筑时应在沟壁与含水层接触的高度设置单排或多排渗水孔，渗水孔的沟壁外侧应填筑反滤层，沿沟长每 15~20m 设一道沉降缝。

2. 渗沟（盲沟）

渗沟有填石渗沟和管式渗沟两种形式

(1) 渗沟（盲沟）的设置应符合以下规定：

① 渗沟的平面布置：除设置在路基边沟下或边沟旁的渗沟按路线走向布置外，用于拦截地下水的渗沟的轴线宜布置成与渗流方向垂直。

② 渗沟的断面尺寸：当深度 H 为 2m 时，宽度 b 为 0.6~0.8m，渗沟的纵坡不宜小于 1%，管式渗沟不小于 0.5%，沟底应埋入不透水层，沟底视条件可做成浆砌片石或水泥混凝土基础。当用于拦截地下水时、渗沟一侧作反滤层汇集水流，另一侧做成不透水层。

③ 渗沟内填充的料石可采用碎石、卵石、使用前应经筛选和清洗，其外包反滤层选用一层砾石、一层砂，层厚不小于 15cm、分层界面应清楚。严格控制施工质量。

(2) 填石渗沟：

适用于流量不大，渗沟不长的地段。渗沟断面一般为矩形或梯形。

沟中填筑 3~5cm 碎石或卵石，其外包反滤层可采用砾石、粗砂，也可选用土工织物包裹。

(3) 管式渗沟：

适用于地下水流量较大，引水距离较长的地段。管式渗沟采用的泄水管管壁应透水良好，泄水管与沟壁之间设反滤层，其作法可参照前文有关内容。当管式渗沟长度超过100m时，其末端宜设横向泄水管、分段排除地下水。

(4) 石灰稳定土用做基层时，颗粒的最大粒径不应超过 37.5mm。

级配碎石、未筛分碎石、砂砾、碎石土、砂砾土、煤矸石和各种粒状矿渣等均适宜做石灰稳定土的材料。石灰稳定土中碎石或其他粒状材料的含量应在 80% 以上，并应具有好的级配。

(5) 石灰稳定土中碎石或砾石的压碎值应符合下列要求：

基层：

次干路 不大于 30%

支路 不大于 35%

底基层：

快速路和主干路 不大于 35%

次干路和支路 不大于 40%

(6) 硫酸盐含量超过 0.8% 的土和有机质含量超过 10% 的土，不宜用石灰稳定。

3. 应尽量缩短石灰的存放时间，石灰在野外堆放时间较长时，应覆盖防潮。

第三章

底基层与基层 施工技术规范

第一节 石灰稳定土

一、一般要求

1. 按照土中单个颗粒的粒径大小和组成，将土分为下列三种：

细粒土：颗粒的最大粒径小于 9.5mm，且其中小于 2.36mm 的颗粒含量不少于 90%；

中粒土：颗粒的最大粒径小于 26.5mm，且其中小于 19mm 的颗粒含量不少于 90%；

粗粒土：颗粒的最大粒径小于 37.5mm，且其中小于 31.5mm 的颗粒含量不少于 90%。

2. 在粉碎的或原来松散的土（包括各种粗、中、细粒土）中，掺入足量的石灰和水，经拌和、压实及养生后得到的混合料，当其抗压强度符合规定的要求时，称为石灰稳定土。

用石灰稳定细粒土得到的强度符合要求的混合料，称为石灰土。

用石灰稳定中粒土和粗粒土得到强度符合要求的混合料，原材料为天然砂砾土或级配砂砾时，称为石灰砂砾土；原材料为碎石土或级配碎石时，称为石灰碎石土。

3. 石灰剂量以石灰质量占全部粗细土颗粒干质量的百分率表示，即石灰剂量 = 石灰质量 / 干土质量。亦可用本地区仍在使用的计算方式以石灰质量占全部石灰稳定土混合料干质量的百分率表示，即石灰剂量 = 石灰质量 / 干石灰稳定土质量。

4. 在冰冻地区的潮湿路段以及其他地区的过分潮湿路段，不宜采用石灰土做基层。当只能采用石灰土时，应采取措施防止水分浸入石灰土层。

5. 石灰稳定土层应在春天和夏季组织施工。施工期的日最低气温应在 5℃ 以上，并应在第一次重冰冻（-3 ~ -5℃）到来之前一个月到一个半月完成。稳定土层宜经历半月以上温暖和热的气候养生。多雨地区，应避免在雨季进行石灰土结构层的施工。

6. 石灰稳定土层施工时，应遵守下列规定：

(1) 细粒土应尽可能粉碎，土块最大尺寸不应大于 15mm。

(2) 配料应准确。

(3) 路拌法施工时，石灰应摊铺均匀。

(4) 洒水、拌和应均匀。

(5) 应严格控制基层厚度和高程，其路拱横坡应与面层一致。

(6) 石灰稳定土基层施工时，严禁用薄层贴补的办法进行找平。

(7) 应在混合料处于最佳含水量或略小于最佳含水量（1%~2%）时进行碾压，直到达到质量标准要求的按重型击实试验法确定的压实度。

基层：

次干路和支路

石灰稳定中粒土和粗粒土 97%

石灰稳定细粒土 93%

底基层：

快速路和主干路

石灰稳定中粒土和粗粒土 97%

石灰稳定细粒土 95%

次干路和支路

石灰稳定中粒土和粗粒土 95%

石灰稳定细粒土 93%

(8) 石灰稳定土结构层应用 12t 以上的压路机碾压。用 12~15t 三轮压路机碾压时，每层的压实厚度不应超过 15cm；用 18~20t 三轮压路机和振动压路机碾压时，每层的压实厚度不应超过 20cm；对于石灰稳定土，采用能量大的振动压路机碾压时，或对于石灰土，采用振动羊足碾与三轮压路机配合碾压时，每层的压实厚度可以根据试验适当增加。压实厚度超过上述规定时，应分层铺筑，每层的最小压实厚度为 10cm，下层宜稍厚。对于石灰土，应采用先轻型、后重型压路机碾压。

(9) 石灰稳定土层宜在当天碾压完成，碾压完成后必须保湿养生，不使稳定土层表面干燥，也不应过分潮湿。

(10) 石灰稳定土层上未铺封层或面层时，禁止开放交通；当施工中断，临时开放交通时，应采取保护措施，不使基层表面遭破坏。

7. 在采用石灰土做基层时，必须采取措施防止表面水透入基层，同时应经历一个月以上的温暖和热的气候养生。作为沥青路面的基层时，还应采取措施加强基层与面层的联结。

8. 对于支路，石灰稳定土基层和底基层可以采用路拌法施工。对于次干路，宜采用专用的稳定土拌和机路拌或采用集中厂拌法拌制混合料。

9. 对于快速路和主干路，直接铺筑在土基上的底基层下层可以用专用稳定土拌和机进行路拌法施工，如土基上层已用石灰或固化剂处理，则底基层的下层也应用集中拌和法拌制混合料。其上的各个稳定土层都应用集中厂拌法拌制混合料并宜用摊铺机摊铺混合料。

二、材料

1. 塑性指数为 15~20 的黏性土以及含有一定数量黏性土的中粒土和粗粒土均适宜用石灰稳定。

用石灰稳定无塑性指数的级配砂砾、级配碎石和未筛分碎石时，应添加 15% 左右的黏性土。

塑性指数在 10 以下的砂性土用石灰稳定时，提高石灰剂量，7d 浸水抗压强度亦难于达到规定要求，如土源困难，必需使用时，宜采用石灰和水泥综合稳定土。

路拌法施工，塑性指数偏大的黏性土，应加强粉碎，粉碎后土块的最大尺寸，不应大于 15mm，如经批准，15~25mm 土块含量不大于 5%，即可达到要求，可采用两次拌和法，第一次加 70% 以上预定剂量的石灰拌和后闷放 1~2d，再加入其余石灰，进行第二次拌和。

使用石灰稳定土时，应遵守下列规定：

2. 石灰稳定土用做快速路和主干路的底基层时，颗粒的最大粒径不应超过 37.5mm，用做次干路和支路的底基层时，颗粒的最大粒径不应超过 53mm。

3. 凡饮用水（含牲畜饮用水）均可用于石灰稳定土施工。

三、机具设备

1. 现场消解石灰设备

- (1) 消解石灰用抽水机 1 台。
- (2) 消石灰装车用装载机 1~2 台。
- (3) 运送消石灰自卸汽车，按需定数。

2. 每个石灰稳定土施工段需用设备

(1) 摊铺、排压设备

推土机 2 台。

(2) 路拌设备

① 稳定土拌和机拌和

稳定土拌和机（拌和效率 1500~2000m²/h）1 台，配备拖拉机牵引铧犁 1~2 台。

② 集中厂拌法拌和

稳定土厂拌设备 2 台。

沥青混凝土摊铺机或稳定土摊铺机 2 台。

③ 整型设备

平地机 1 台。

④ 碾压设备

压路机 8t 1 台、14~18t 1 台、振动压路机 1 台。

⑤洒水设备

洒水车（3t 以上）1 台。

四、混合料组成设计

1. 一般要求

(1) 石灰稳定土的组成设计应根据强度标准，通过试验选取最适宜于稳定的土，确定必需的或最佳的石灰剂量和混合料的最佳含水量，在需要改善混合料的物理力学性质时，还应确定掺和料的比例。

(2) 采用综合稳定土时，如水泥用量占结合料总量的 30% 以下，则按技术要求进行组成设计。

(3) 石灰稳定土的各项试验应按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057) 进行。

2. 混合料的设计步骤

(1) 按下列以石灰质量占干土质量的百分率表示的石灰剂量配制同一种土样、不同石灰剂量的混合料：

①做基层用

砂砾土和碎石土：3%，4%，5%，6%，7%

塑性指数小于 12 的黏性土：10%，12%，13%，14%，16%

塑性指数大于 12 的黏性土：5%，7%，9%，11%，13%

②做底基层用

塑性指数小于 12 的黏性土：8%，10%，11%，12%，14%

塑性指数大于 12 的黏性土：5%，7%，8%，9%，11%

(2) 确定混合料的最佳含水量和最大干密度（压实）密度，至少应做三个不同石灰剂量混合料的击实试验，即最小剂量、中间剂量和最大剂量，其余两个混合料的最佳含水量和最大干密度用内插法确定。

(3) 按规定的压实度，分别计算不同石灰剂量的试件应有的干密度。

(4) 试件在规定温度下保湿养生 6d，浸水 24h 后，按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057) 进行无侧限抗压强度试验。

(5) 工地实际采用的石灰剂量应比室内试验确定的剂量多 0.5% ~ 1%。

采用集中厂拌法施工时，可只增加 0.5%；采用路拌法施工时，宜增加 1%。

(6) 石灰稳定不含黏性土的级配碎石、未筛粉碎石和级配砂砾用做高级沥青路面的基层时，碎石和砂砾的颗粒组成应符合级配碎石或未筛粉碎石或级配砾石基层和底基层所规定的级配范围，并应添加黏性土，碎石或砾石在混合料中的质量应不少于 80%。

(7) 采用石灰和水泥综合稳定土的组成设计与上述步骤相同。

五、施工前准备

1. 准备下承层

石灰稳定土的下承层表面应平整、坚实、具有规定的路拱，下承层的平整度和压实度应符合质量标准的规定。

①对土基必须用 12~15t 三轮压路机或等效的碾压机械进行 3~4 遍碾压检验。在碾压过程中，如发现土过干、表层松散，应适当洒水；如土过湿，发生“弹簧”现象，应采用挖开晾晒、换土、掺石灰等措施进行处理。

②对于底基层，应进行压实度检查、对于柔性底基层还应进行弯沉值检验。凡不符合设计要求的路段，必须根据具体情况，采取措施，使之符合设计要求。

③对于老路面，应检查其材料是否符合底基层材料的技术要求，如不符合要求，应翻松老路面并采取必要的处理措施。

④底基层或老路面上的低洼和坑洞，应仔细填补和压实；搓板和辙槽应刮除；松散处，应耙松洒水并重新碾压，达到平整密实。

⑤新完成的底基层或土基，必须按土基的质量标准的规定进行验收。凡验收不合格的路段，必须采取措施，使其达到标准后，方可铺筑石灰稳定土层。

在槽式断面的路段，两侧路肩上每隔一定距离，交错开挖泄水沟。

2. 施工放样

(1) 在上基或老路面上进行恢复中线测量，直线段每 15~20m 设一桩，平曲线段每 10~15m 设一桩，并在两侧边线外设指示桩。

(2) 进行水平测量，在两侧指示桩上用明显标记标出路面中心设计标高。

3. 备料

(1) 备土

①利用老路面或土基上部材料

a. 必须首先清除干净老路面上或土基表面的石块等杂物。

b. 每隔 10~20m 挖一小洞，使洞底标高与预定的石灰稳定土层的底面标高相同，并在洞底做一标记，以控制翻松及粉碎的深度。

c. 用犁、松土机或装有强固齿的平地机或推土机将老路面或土基的上部翻松到预定的深度，土块应粉碎到符合要求。

d. 应经常用犁将土向路中心翻松，使预定处沿层的边部成一个垂直面，防止处沿宽度超过规定。

e. 用专用机械粉碎黏性土，在无专用机械的情况下，也可以用旋转耕作机，圆盘耙粉碎塑性指数不大的土。

②利用料场的土（包括细粒土、中粒土和粗粒土）

a. 采集土前，应先将树木、草皮和杂土清除干净。

b. 应在预定的深度范围内采集土，不应分层采集，不应将不合格的土采集一起。

入使用。短期存放可于路侧架设木板堆存，以苫布苫盖。存放时间较长或雨季应存贮在防雨棚中，并于棚内架设木板堆存。

1. 厂拌法施工见图 3-1 厂拌石灰土拌和工艺流程图。

2. 厂拌法施工，在中心站用厂拌机械集中拌制石灰稳定土混合料，采用的厂拌机械可为带有旋转刀片的分批式拌和机、转筒式拌和机或为连续式拌和机等。拌和机应具备下列机具系统：

- (1) 土块破碎与筛分系统—控制土块粒径与含量；
- (2) 土料贮备供给系统—土料计量供应；
- (3) 石灰给料系统—石灰计量供应；
- (4) 供水系统—定量供水；
- (5) 拌和系统—拌和混合料；
- (6) 控制系统—总体控制操纵；
- (7) 传送系统—输送配料及成品料。

3. 集中拌和场地应清理平整，不同粒径的碎石或砾石和细集料应隔离分散堆放。

4. 集中拌和时，应符合下列要求：

- (1) 土块应粉碎、过筛、最大尺寸不得大于 15mm；
- (2) 配料应准确，拌和应均匀；
- (3) 含水量宜略大于最佳值，使混合料运到现场摊铺后碾压时的含水量不小于最佳值。

5. 在拌和机械内加入石灰时，应是在进行拌和时均匀地分布到土或集料中。

6. 应根据集料和混合料含水量的大小，及时调整加水量。

7. 分批式拌和机每批加料数量或连续式拌和机的进料速度，不要超过他们能达到充分拌和时的材料数量。在拌和机内材料得不到充分搅动及拌和的死角，应予以调整。

8. 当采用连续式拌和机拌和时，应保证集料的最大粒径和级配符合要求。

9. 在正式拌制混合料之前，必须先调试所有的设备，使混合料的颗粒组成和含水量都达到规定的要求。集料的颗粒组成发生变化时，应重新调试设备。

10. 应即将拌成的混合料运送到铺筑现场，车上的混合料宜根据天气或环境的情况，需要时予以覆盖。

11. 如为生石灰粉拌制的混合料，拌和后应堆放一天，第二天运到现场摊铺。

12. 宜采用沥青混凝土摊铺机或稳定土摊铺机摊铺混合料，按要求的松铺厚度均匀地摊铺在要求的宽度上，摊铺时混合料的含水量宜高于最佳含水量 1% ~ 2%。如下承层是稳定细粒土，应先将下承层顶面拉毛，再摊铺混合料。

13. 拌和机与摊铺机的生产能力应互相匹配，对于快速路和主干路，摊铺机宜连续摊铺，拌和机的产量宜大于 400t/h。如拌和机的生产能力较小，在用摊铺机混合料时，应采用低速摊铺，减少摊铺机停机待料的情况。

14. 在摊铺机后面应设专人清除粗细集料离析现象，并铲除粗集料“窝”，用新拌

混合料填补。

15. 次干路和支路可用自动平地机按以下步骤摊铺混合料。快速路及主干路如经批准亦可用自动平地机摊铺。

(1) 根据石灰稳定土层的厚度和要求达到的压实干密度，计算每车混合料的摊铺面积。

(2) 按计算的每车混合料的堆放距离，将混合料卸在路幅中央，路幅宽时，也可将混合料卸成两行。

(3) 用平地机将混合料按松铺厚度摊铺均匀。

(4) 设专人小组跟在平地机后面，及时铲除粗集料“窝”和粗集料“带”，补以新拌的均匀混合料，或补撒拌匀的细混合料，并与粗集料拌和均匀。

(5) 然后进行整形工作。平地机摊铺混合料后的整形和碾压工作均与路拌法施工相同。

16. 厂拌法施工路段的横向接缝处应在每日最后一个石灰稳定土层碾压段的末端压成斜坡，接缝时将此横向接缝处末端切成垂直于路面及路中心的横向断面，再进行下一施工段混合料的摊铺。

17. 采用摊铺机摊铺混合料应避免纵向接缝，快速路和主干路的稳定土层应分两幅摊铺，宜用两台摊铺机一前一后相隔约 5 ~ 10m 同步向前摊铺并一起进行碾压。在不能避免纵向接缝的情况下，纵缝必须垂直相接，可将已压实的纵缝处的末端切成立面，然后铺筑第二幅混合料。

七、养生与交通管制

1. 石灰稳定土在养生期间应保持一定的湿度，不应过湿或忽干忽湿。养生期不宜少于 7d。每次洒水后，应用两轮压路机将表层压实。石灰稳定土基层碾压结束后 1 ~ 2d，当其表层较干燥（如石灰土的含水量不大于 10%，石灰粒料土的含水量为 5% ~ 6%）时，可立即喷洒透层沥青，然后做下封层或铺筑面层，但初期应禁止重型车辆通行。

2. 在养生期间未采用覆盖措施的石灰稳定土层上，除洒水车外，应封闭交通。在采用覆盖措施的石灰稳定土层上，不能封闭交通时，应限制车速不得超过 30km/h，禁止重型卡车通行。

3. 养生期结束后，在铺筑沥青面层前，应清扫基层并喷洒透层沥青或做下封层。如面层是沥青混凝土，在喷洒透层沥青后，应撒布 5 ~ 10mm 的小碎（砾）石，小碎（砾）石应均匀撒布约 60% 的面积。如喷洒的透层沥青能透入基层，其上作业车辆不会破坏沥青膜时，可以不撒小碎（砾）石。

在喷洒沥青时，石灰稳定土层的上层不宜过分干燥，可在其表面少量洒水，并俟表面稍干后，喷洒沥青。

4. 石灰稳定土分层施工时，下层石灰稳定土碾压完成后，可立即铺筑上一层石灰

稳定土，不需专门的养生期。

5. 石灰稳定土底基层养生期结束后，应尽快铺筑基层。
6. 石灰稳定土层完工后，如于冬季停止施工，应覆土防护过冬。

八、施工注意事项

1. 石灰稳定土层施工宜选择适宜的施工季节，冬季不宜进行石灰稳定土层施工。
2. 应选用优质石灰，尤宜选用钙质生石灰粉。其有效钙加氧化镁含量应不低于Ⅲ级石灰的技术指标。石灰放置时间过久，其有效钙加氧化镁含量会有很大损失，因此要尽量缩短石灰的存放时间。石灰于使用前应进行检验，如低于要求应适当增加石灰用量。施工中应对混合料的石灰含量严加控制，消解后的石灰含水量要均匀，以保证灰堆内消石灰干松容重的一致性。
3. 应精心做好混合料组成设计，根据要求的强度标准，通过试验选取最适宜稳定的土，确定必需的或最佳的石灰剂量。此剂量的室内试验结果的平均抗压强度应满足公式 $\bar{R} \geq R_d (1 - Z_a C_v)$ 的要求。在施工中应按组成设计的石灰剂量增加 0.5% ~ 1% 的用量。
4. 混合料应拌和均匀、土块破碎合于要求，拌和深度达到拌和层底部，无夹灰层和夹土层现象，且水分合适和均匀。
5. 厂拌法施工，应配料准确，土块过筛后最大尺寸不大于 15mm，集料的最大粒径和级配符合要求。拌和均匀，含水量略大于最佳值，且运到现场摊铺后，碾压时含水量不小于最佳值，横向工作接缝应在每天最后一段末端压成斜坡，接缝时将此工作缝衔接处末端切成垂直于路面及路中心线的横向断面，再进行下一施工段的摊铺及碾压，形成一个平顺的接缝。应尽量避免纵向接缝，如必须分两幅施工，纵缝亦需垂直相接，平整密实。
6. 做好整形工作，严格控制石灰稳定土层的厚度和高程，其坡度和路拱都应符合规定。严禁用薄层贴补的方法进行整形，整形时全幅路宽应刮出硬面。
7. 在混合料处于最佳含水量或略小于最佳含水量时进行碾压，直至达到要求的压实度。碾压过程中，如有“弹簧”、松散、起皮等现象，应及时进行处理，使其达到质量要求。
8. 做好养生与交通管制工作。石灰稳定土层在养生期间应保持一定的湿度，不应过湿或忽干忽湿，养生期不宜少于 7d。石灰稳定土底基层养生期结束，应尽快铺筑基层，石灰稳定土基层碾压结束后 1 ~ 2d，宜立即喷洒透层沥青，然后做下封层或铺筑面层。

九、防裂措施

1. 石灰土的缩裂性质与用土的粘性有关，用土愈黏则缩裂愈强，故对塑性指数偏

大的黏性土，不宜采用，宜采用塑性指数不大的土，或在黏土中掺入砂类土以改善缩裂性质，但调换一部分土壤，不够经济。

2. 实践表明在大于最佳含水量压实的石灰土，具有较大的缩裂性质，增多裂缝产生的机会，故石灰土应在含水量不大于，最好略小于最佳含水量条件下压实。当石灰土的含水量为最佳含水最 80% 时，施工碾压并不困难，且能改善石灰土的缩裂性质并对石灰土的强度形成的不良影响亦甚微小。

3. 在石灰土基层的加固强度形成产生收缩裂缝后，再铺筑沥青面层，这种分期铺筑的方法，可以大大减少面层开裂，是一个简单而有效的措施，在条件许可时可以采用。但应注意，如在石灰土基层碾压完成后，晾晒一段时间，由于水分蒸发，表层产生大量干缩裂缝，铺沥青面层后，虽可减少开裂，但石灰土基层的加固强度损失太大，会导致整体路面破坏，这一防裂措施，不可采用。较好的方法是在石灰土基层碾压完成后，加强洒水养生和交通管制工作，待强度形成后再予晾晒。

4. 安排好施工进度，使石灰稳定土层的上层结构层，尽快铺筑勿使稳定土层受到多日晾晒。

第二节 石灰粉煤灰底基层

一、一般要求

1. 在一定数量的粉煤灰中掺适量的石灰，再加适量的水，拌和均匀在最佳含水量的条件下压实及养生所得到的混合料，抗压强度达到规定标准时，称石灰稳定粉煤灰，用石灰粉煤灰混合料铺筑的路面底基层称为石灰粉煤灰底基层。简称二灰底基层。

2. 石灰粉煤灰底基层宜在春末和夏季进行施工。施工期的日最低气温应在 5℃ 以上，并应在第一次重冰冻（-3 ~ -5℃）到来之前一个月到一个半月完成。

3. 一般城市道路二灰底基层可采取路拌法和场地拌和法施工（即采取场地拌和石灰粉煤灰混合料运至施工路段摊铺）、找平、压实成活。如设计和招标文件中技术规范另有规定可按其要求施工。

4. 石灰粉煤灰底基层施工时要配料准确、拌和均匀、该底基层厚度、高程、横坡和压实度应符合设计要求。

5. 根据压实层厚度分别选用 12 ~ 20t 三轮压路机和振动压路机进行碾压，每层压实厚度不应超过 20cm，超过时应分层铺筑，每层最小压实厚度为 10cm。

6. 必须保湿养生，石灰粉煤灰底基层不应开放交通。

二、材料

1. 石灰

石灰质量应符合《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034—2000)中所规定的Ⅲ级以上的生石灰或消石灰的技术要求。

对于快速路和主干路宜采用磨细生石灰粉。

2. 粉煤灰

粉煤灰是火力发电厂燃烧煤粉产生的粉状灰渣,粉煤灰中 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的总含量应大于70%,粉煤灰的烧失量不应超过20%;粉煤灰的比表面积宜大于 $2500\text{cm}^2/\text{g}$,干粉煤灰和湿粉煤灰都可应用,湿粉煤灰的含水量不宜超过35%。

3. 水

凡饮用水(含牲畜饮用水)均可使用,可疑水源经试验合格后使用。

三、材料准备

1. 备石灰

(1)石灰应在施工前备齐或在不影响使用的情况下陆续准备,备灰一般采用在路外选择临近水源、地势较高而宽敞的场地堆放。

(2) 消解石灰

生石灰在施工前,一般多采用水消解的方法,在场外集中堆放时可采用花管射水法,或小堆洒水粉化,无论采取哪种方法都要在开工前7~10天消解完毕。消解石灰应严格控制用水量保持一定湿度但不得扬尘不能过湿成团。经消解的石灰应为粉状,不应有残留的生石灰块。每吨生石灰一般用水量约为600~800kg左右。

(3)消解石灰宜过孔径10mm的筛,磨细的生石灰可直接使用。应尽量缩短石灰的存放时间,如存放时间较长应采取覆盖封存措施,妥善保管。

2. 备粉煤灰

一般采取大堆存放的方法,粉煤灰含水量大,可提前堆存沥水,降低含水量,使用时的含水量在20%~25%为宜,在干燥和多风季节粉煤灰材料含水量小(或过干)时向其表面喷水或覆盖以免遇风扬尘。

四、混合料组成设计

1. 一般要求

(1)石灰粉煤灰混合料的7天浸水抗压强度应符合设计规定。

(2)采用石灰粉煤灰做底基层时,石灰与粉煤灰的质量比例可以是1:2~1:9。

(3)各种混合料的各项试验应按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ057—94)进行。

(4) 原材料试验

- ①石灰的有效钙和氧化镁含量和生石灰粉的细度。
- ②粉煤灰的 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 的总含量、烧失量。

2. 混合料的设计步骤

(1) 按不同比例的石灰粉煤灰混合料（比例可以在 1:2~1:9 范围内选取），制备同一种粉煤灰的 4~5 种不同石灰用量的配合比。

(2) 用重型击实法确定二灰混合料的最佳含水量和最大干密度。

(3) 按设计规定的压实度，分别计算不同石灰剂量的二灰试件应有的干密度。

3. 工地实际采用的石灰剂量应较室内试验确定的剂量多 1%

五、路拌法施工

1. 测量

(1) 采取木桩定线，土基上恢复中线，在两侧路面边线外设边桩，纵向桩距 10~20m，宜为 10m。

(2) 在两侧边桩上按设计路面高，在木桩前进方向一侧设铁钉给高。

(3) 施工班组操作时在铁钉上栓尼龙线拉紧用钢板尺量测，测量人员应经常复核所给高程和线位。

2. 施工机具（每施工段所用机具）

机 具 名 称	型 号	数 量	用 途
推 土 机	可根据本单位自有设备机型实际安排配备	2	摊铺粉煤灰
稳定土拌和机		1	拌和混合料
平 地 机		1	找 平
双轮压路机		1	排 压
振动压路机		1	压 实
轮胎压路机		1	压 实
洒水汽车		3~4	洒水、养生

3. 现场准备

(1) 验收路基面符合质量指标，局部有问题的地段修整合格后方可施工二灰底基层。

(2) 清扫路基面和洒水，然后用石灰粉画出该底基层施工边线。

4. 操作要点

(1) 计算材料用量

根据各路段石灰粉煤灰底基层的宽度、厚度及预定的干密度，计算各路段需要的干混合料数量，根据混合料的配合比、材料的含水量和松容重以及所用运料车的吨位，计算石灰或粉煤灰每车的堆放距离。

(2) 摊铺

①采用层铺法施工。粉煤灰运到路上，应按事先通过试验段确定的粉煤灰的松铺系数，用推土机摊平在预定的宽度上，并摊铺均匀，表面力求平整、具有规定的横坡。设计厚度 15cm 时机铺厚度 17~19cm（视材料的含水量而定）此时机铺系数在 1.2~1.4。用人工按桩号挂线量高，每个断面量 5~7 点撒上石灰作为找平标志，平地机依此控制高程进行刮平，刮平后每 40m 检查一个断面，用尺量不够要求厚度时应立即补足。

②在粉煤灰层上打格，运卸石灰人工铺石灰。

(3) 拌和

①层铺粉煤灰和消石灰后用稳定土拌和机拌和。如果使用生石灰粉先用拖拉机带铧犁翻拌一遍，将生石灰粉翻扣于粉煤灰内，拖拉机（或轻碾）排压，用洒水车将水均匀地喷洒在混合料上，调整含水量后静闷 8~12 小时，使生石灰粉得到充分消解。

②专用稳定土拌和机自路边向路中拌和，每幅拌和宽度 2.2m，幅与幅之间拌和要重叠 30cm 以上以免产生漏拌现象，拌和深度直到路基面，司机严格按所定标尺拌和，防止拌和过深而过多地破坏路基表面，拌和时破坏路基面小于 1cm 为宜。

③实测和调整含水量，如水少用洒水车将水均匀地喷洒，要防止混合料局部水量过大，继续拌和至均匀为止，一般需要拌和 2~3 遍。

④拌和过程中和拌和终了要检查混合料的含水量，并每隔 40m 按拌和段全宽挖坑检查拌和质量，有无夹层，严禁在底基层和路基面之间残留夹层，为防止局部出现夹层最后用多铧犁再翻拌一遍，以杜绝夹层的出现。

(4) 整形与压实

①整形

a. 用大型拖拉机（或双轮压路机）排压一遍后，操作者按断面在木桩上挂线量高（每个断面量 5~7 个点）撒灰点作标记用平地机找粗平，平地机由每侧路边向路中方向进行刮平，需要时再返回刮一遍。

b. 用平地机或压路机快速碾压 1 遍此时留虚高 2cm。

c. 再一次量高给点平地机找细平留 1cm 虚高。找平阶段出现局部低洼时，用平地机镗齿或齿耙将表面豁松用新拌混合料找补平整。在找平整形过程中力争只刮不垫严禁在底基层低洼处贴补。

②碾压

a. 当混合料处于最佳含水量的 +1% 时开始碾压，用振动压路机、轮胎压路机进行组合碾压，振动压路机在前轮胎压路机在后，由路边一侧向路中压实，碾压时后轮重叠 $\frac{1}{2}$ 轮宽一般压 2~3 遍，轮胎压路机紧跟碾压应重叠一个轮胎宽碾压 3~4 遍。碾压速度头两遍采用一档，以后用二档速度碾压至规定的压实度。

b. 该基层在碾压过程中逐渐表面风干，为防止表面边压边松散故在碾压过程中适当洒水补足表面水分散失，宜利用轮胎压路机自喷水功能，边喷水边碾压，以使在碾压

过程中混合料表层始终保持湿润。碾压过程中出现的局部弹软采取翻晒、拌和、找平的方法施工。

c. 底基层路边两侧要多碾压 2 遍。

d. 严禁压路机在已完成的或正在碾压的路段上调头和急刹车以保证石灰粉煤灰层不受破坏。

(5) 接茬

两个工作段的搭接部分，采用对接形式。当拌和段完成时预留长 2m 不进行整形待相邻段拌和时加适量石灰重新拌和以保证接茬的施工质量。

六、养生与交通控制

1. 该底基层成活后养护工作至关重要，石灰粉煤灰底基层表面易风干，如果养护跟不上，不但影响强度增长，而且表层松散扬尘，所以碾压完成后的第二天开始养生，一般采用洒水车洒水养生的方法。每天洒水至少六次以上或视气候条件而定，应始终保持表层潮湿。养生期不宜少于 7 天。

2. 在养生期间，除洒水车外应封闭交通，在已经成活的二灰底基层地段禁止各种车辆通行，并进行封闭管理。

七、质量标准

1. 基本要求

(1) 石灰粉煤灰材料质量符合设计要求，混合料配合比准确，拌和必须均匀，色泽一致，无松散夹层现象。

(2) 压实度符合要求，表面坚实平整无坑洼、弹软现象。用 12t 以上压路机碾压无明显轮迹。

(3) 保持一定湿度养生，养生期要符合规范要求。

2. 实测项目见表 3-1。

石灰粉煤灰底基层实测项目

表 3-1

项次	检查项目	规定值和允许偏差	检查方法和频率
1	压实度 (%)	重型击实标准 ≥ 95	每 1000m ² 检查 1 处，用环刀法
2	平整度 (mm)	≤ 10	每 200m ² 处 $\times 10$ 尺，3m 直尺量
3	厚度 (mm)	+15 -0	每 200m 每车道 1 点，挖验
4	宽度	不小于设计值	每 200m ⁴ 处，用尺量
5	纵断高程 (mm)	+0 -15	每 200m ⁴ 断面，水准仪测量
6	横坡 (%)	± 0.3	每 200m ⁴ 断面，水准仪测量

项次	检查项目	规定值和允许偏差	检查方法和频率
7	强度 (MP _a)	符合设计要求	每 200m 检查 1 处

第三节 石灰粉煤灰土底基层

一、一般要求

1. 将一定数量的石灰和粉煤灰与土相配合，加入适量的水，经拌和、压实及养生得到的混合料，当抗压强度符合规定要求时，称为石灰粉煤灰土，简称二灰土。

2. 用石灰粉煤灰土铺筑的路面底基层，称为石灰粉煤灰土底基层，简称二灰土底基层。

3. 石灰粉煤灰土路面结构层施工时应遵守下列规定

(1) 配料应准确。

(2) 石灰等各种材料应摊铺均匀。

(3) 洒水拌和应均匀。

(4) 应严格控制基层厚度和高程，其路拱横坡应与路面一致。

(5) 应在混合料处于或略小于最佳含水量的 1% 左右进行碾压，直到下列按重型击实试验法确定的要求压实度：

基层：次干路与支路：

石灰粉煤灰稳定中粒土和粗粒土 97%；

石灰粉煤灰稳定细粒土 93%。

底基层：

快速路和主干路：

石灰粉煤灰稳定中粒土和粗粒土 97%；

石灰粉煤灰稳定细粒土 95%。

次干路和支路：

石灰粉煤灰稳定中粒土和粗粒土 95%；

石灰粉煤灰稳定细粒土 93%。

(6) 二灰土应用 12t 以上的压路机碾压。用 12t ~ 15t 三轮压路机碾压时，每层的压实厚度不应超过 15cm；用 18 ~ 20t 三轮压路机和振动压路机碾压时，每层的压实厚度不应超过 20cm，对于二灰土，采用振动羊足碾与三轮压路机配合碾压时，每层的压实厚度可以根据试验适当增加。压实厚度超过上述规定时应分层铺筑，每层的最小压实厚度

为 10cm，下层宜稍厚。应采用先轻型、后重型压路机碾压。

4. 石灰粉煤灰土底基层施工时，严禁用薄层贴补的方法进行找平工作。

5. 石灰粉煤灰底基层应在春末和夏季组织施工。施工期的日最低气温应在 5℃ 以上，并在第一次重冰冻（-3~ -5℃）到来之前一个月到一个半月完成。稳定土层宜经历半月以上温暖和热的气候养生。多雨地区，应避免在雨季进行二灰土结构层的施工。

6. 在雨季施工二灰土层时应采用排除表面水的措施，并作出排水沟保证排水，并应采取措施保护石灰等材料免遭雨淋。

7. 二灰稳定土层宜在当天碾压完成，碾压完成后必须保湿养生，不使稳定土层表面干燥，也不应过分潮湿。

二、材料

1. 土

塑性指数 12~20 的黏性土，易于粉碎便于碾压成型。有机质含量超过 10% 的土不宜选用。含有硫酸盐 0.8% 的土类不宜选用。塑性指数偏大的黏性土，应加强粉碎，粉碎后的土块的最大尺寸不应大于 15mm。

2. 石灰

3. 粉煤灰

4. 水

凡饮用水（含牲畜饮用水）均可使用。如遇可疑水源时须经化验合格后方可使用。

三、准备工作

1. 材料准备

(1) 石灰

粉煤灰的准备工作第二节均有介绍。

(2) 准备土

① 塑性指数合格的土可以直接使用。

② 塑性指数偏大的黏性土可在正式拌和混合料之前选择一块平整的场地或在施工地段铺土用稳定土拌和机（或用拖拉机带多铧犁、重耙）将土块打碎至颗粒尺寸小于 15mm。

③ 采用二次拌和法拌和混合料，第一次加部分石灰拌和后闷放 1~2 天再加入其余石灰进行第二次拌和，使土颗粒达到规定要求。

2. 施工机具

(1) 消解、运输石灰设备

① 消解石灰用抽水机 1 台；另带注水用扁嘴花管和一定数量的胶管；

② 推攒石灰用推土机 1 台；

③装消石灰用装载机 1 台；

④运送石灰至施工地段，用自卸汽车数量视材料数量和运输距离决定。

(2) 施工地段用设备

①摊铺和排压土和粉煤灰用推土机 2 台。

②路拌设备

a. 专用稳定土拌和机 1 台。

b. 拖拉机 2 台，多铧犁 1 台，重耙 2 台。

(3) 集中厂拌设备

①稳定土拌和设备 1~2 台；

②稳定土摊铺机 2 台，装载机 3 台。

(4) 整形设备

平地机 1 台。

(5) 碾压设备

①双轮压路机 1 台；

②振动压路机 1 台；

③轮胎压路机 1 台。

(6) 养生设备

洒水汽车 3~4 台。

四、混合料组成设计

1. 一般规定

(1) 石灰粉煤灰稳定土的组成设计应根据石灰粉煤灰土混合料的 7 天浸水抗压强度 (MPa) 标准，通过试验选取最适宜于稳定的土，确定石灰与粉煤灰的比例，确定石灰粉煤灰与土的质量比例，确定混合料的最佳含水量。

(2) 对二灰土做基层或底基层时，石灰与粉煤灰的比例可用 1:2~1.4 (对于粉土以 1:2 为宜)，石灰粉煤灰与细粒土的比例可以是 30:70~90:10。

(3) 各种混合料的各项试验按《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057—94) 进行。

(4) 原材料试验

在石灰粉煤灰稳定土施工前，应取有代表性的样品进行下列试验：

①土的颗粒分析；

②液限和塑性指数；

③有机质含量 (必要时做)；

④石灰的有效钙和氧化镁含量；

⑤粉煤灰的化学成分、细度、和烧失量试验。

2. 混合料的设计步骤

(1) 参照上述一般规定，制备同一种土样的 4~5 种不同配合比的二灰土混合料进行试验。

(2) 用重型击实试验法确定二灰土混合料的最佳含水量和最大干密度。

(3) 按设计（或技术规范）要求达到的压实度分别计算不同配合比时二灰土试件应有的干密度。

(4) 按最佳含水量和计算得的干密度制备试件。进行强度试验时，作为平行试验时试件数量应符合规定。如试验结果的偏差系数大于表中规定值，则应重做试验，并找出原因，加以解决。如不能降低偏差系数，则应增加试件数量。

(5) 试件在规定温度下保湿养生 6 天，浸水 24 小时后，《按公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTJ 057—94）进行无侧限抗压强度试验。计算试验结果的平均值和偏差系数。

(6) 根据上述强度标准，选定二灰土混合料的配合比。

第四章

灌注桩 施工技术规范

第一节 钻孔灌注桩

一、施工平台与护筒

1. 施工平台

场地为浅水时，宜采用筑岛法施工。筑岛的技术要求应符合本规范的有关规定。筑岛面积应按钻孔方法、机具大小等要求决定；高度应高于最高施工水位 0.5~1.0m。

场地为深水时，可采用钢管桩施工平台、双壁钢围堰平台等固定式平台，也可采用浮式施工平台。平台须牢靠稳定，能承受工作时所有静、动荷载。平台的设计与施工可按本规范的有关规定执行。

(1) 钢管桩施工平台施工质量要求：

- ① 钢管桩倾斜率在 1% 以内；
- ② 位置偏差在 300mm 以内；
- ③ 平台必须平整，各联接处要牢固，钢管桩周围需要抛砂包，并定期测量钢管桩周围河床面标高，冲刷是否超过允许程度；
- ④ 严禁船只碰撞，夜间开启平台首尾示警灯，设置救生圈以保证人身安全。

(2) 双壁钢围堰平台，应符合本规范相关的规定。

2. 护筒设置

(1) 护筒内径宜比桩径大 200~400mm。

(2) 护筒中心竖直线应与桩中心线重合，除设计另有规定外，平面允许误差为 50mm，竖直线倾斜不大于 1%，干处可实测定位，水域可依靠导向架定位。

(3) 旱地、筑岛处护筒可采用挖坑埋设法，护筒底部和四周所填粘质土必须分层夯实。

(4) 水域护筒设置，应严格注意平面位置、竖向倾斜和两节护筒的连接质量均需符合上述要求。沉入时可采用压重、振动、锤击并辅以筒内除土的方法。

(5) 护筒高度宜高出地面 0.3m 或水面 1.0~2.0m。当钻孔内有承压水时，应高于稳定后的承压水位 2.0m 以上。若承压水位不稳定或稳定后承压水位高出地下水位很

多，应先做试桩，在此类地区采用钻孔灌注桩基的可行性。当处于潮水影响地区时，应高于最高施工水位 1.5~2.0m，并应采用稳定护筒内水头的措施。

(6) 护筒埋置深度应根据设计要求或桩位的水文地质情况确定，一般情况埋置深度宜为 2~4m，特殊情况应加深以保证钻孔和灌注混凝土的顺利进行。

有冲刷影响的河床，应沉入局部冲刷线以下不小于 1.0~1.5m。

(7) 护筒连接处要求筒内无突出物，应耐拉、压，不漏水。

二、钻孔场地要求

1. 场地为旱地时，应清除杂物、换填软土并整平夯实，清除面积应满足钻孔需要；
2. 场地为陡坡时，可用枕木、型钢等材料搭设工作平台，其高度应高于工作水位；
3. 场地为深水时，如水流平稳，水位升降缓慢，全部钻机、灌注工序可在船舶或浮箱上进行，但浮体必须锚固稳定，整个工序中桩位应准确无移位；如流速较大，但河床可以整理平顺时，可采用钢板或钢丝网水泥薄壁浮运沉井，就位后灌水下沉到河床，然后在其顶部搭设工作平台，在其底部安设护筒进行钻孔，浮运沉井的技术要求应按本规范有关规定办理；当流速较大，河床亦无法平整时，可采用于钢板桩围堰内沉放桩位架和工作平台施工。

三、变截面桩护筒设置技术要求

上部变直径桩的护筒一般先设置钻到底的小直径护筒，完成此工序后，再依次设置上端较大直径桩的护筒，而将原设小直径护筒拨除。

四、护筒底端埋置深度要求

1. 冰冻地区冬期施工时应埋入冻层以下 0.5m；
2. 深水及河床为软土、淤泥层较厚处，应尽可能深入到不透水层粘质土内 1~1.5m；当不透水层很深时，应沉入到漂石、卵石层内 1~1.5m；当漂、卵石层亦很深时，护筒底端沉入砂类土的深度应使护筒顶端到河床底部之间的距离与自河底的入土深度相等，但不得小于 4.0m。

五、补充事项

1. 采用正反循环回转法钻孔或其他方法钻孔时，均应设置泥浆回收循环净化使用系统。一般应备有泥浆池、沉淀池或搅拌池、循环槽等，有条件时可采用机械净化法。在水域钻孔施工时，其泥浆循环净化系统可设于浮船上，或仍置于岸边，泥浆净化后泵入钻孔中。

2. 应防止净化后的废浆钻渣污染环境，宜采取下列措施：

(1) 采用泥水分离设备将其含水量降低为 50% 以下的湿土，运往低洼处；

(2) 采用絮凝剂进行絮凝沉淀，将其中固相物运走；

(3) 上述二法联合处理,先使泥、水分离再絮凝;

(4) 设置数个沉淀池,利用重力使固相物沉淀,然后将其运走。

3. 泥浆的质量直接影响钻孔的进度,特别是岩石的钻进应注意采用适宜钻进的泥浆如 PHP 泥浆,具体使用参见附录 C-1 泥浆原料和外加剂的性能要求及需要量计算方法。

4. 大直径钻孔灌注桩,宜采用高标准的泥浆。

直径大于 2.5m 的桩界定为大直径钻孔灌注桩,因为随着钻机功率的增加,钻孔灌注桩的孔径在向加大的方向发展,所以对大直径桩的界定全国各地不统一,随时间的发展也不同。目前暂定 2.5m 作为本规范的界定标准。

从收集全国各地在大直径钻孔灌注桩的施工经验来看,大直径桩一般设计深度较深,钻孔时间较长,为提高钻孔进度,使用高质量的泥浆,如石油钻探使用的泥浆(PHP 泥浆),可以提高钻孔速度,缩短工期,提高经济效益。所以在推荐大直径钻孔灌注桩钻孔时宜采作高标准的泥浆,泥浆配置时参考资料如下:

(1) PHP 泥浆的主要成分:膨润土、碳酸钠、聚丙烯酰胺的水解物、锯木屑、稻草、水泥或有机纤维复合物。

(2) PHP 泥浆的配比应通过试验确定,参考配比如下:

① 膨润土为水质量的 6% ~ 8% ;

② 碳酸钠为膨润土质量的 0.3% ~ 0.5% ;

③ 羧甲基纤维素(CMC)为膨润土质量的 0.5% ~ 0.1% ;

④ 聚丙烯酰胺(PHP)为泥浆量的 0.003% ;

⑤ 孔内有渗漏时,加锯木屑为水质量的 1% ~ 2% ,稻草末或水泥填加量为每立方米泥浆 17kg;孔内有承压水或地下水位高,渗漏严重时,加重晶粉、珍珠岩粉及方铝矿粉,填加量为每立方米泥浆 17kg。

(3) 应设置泥浆制造、循环、净化系统。

第二节 钻孔施工

一、钻孔机具选择

无论采用何种钻孔方法,对钻机扭矩功率、钻锥型式、钻杆截面、钢丝绳规格、泥浆泵泵量、泵压、真空泵真空度、吸泥泵吸量、气举法压缩空气的压力、排气量等应按钻孔直径与深度、地层情况、工期、设备条件认真研究选择。

1. 用螺旋钻钻孔时宜选择配备有伸缩式钻杆的短螺旋钻机。

2. 用机动推钻(钻斗钻)钻孔的钻机,可选择国产带伸缩式钻杆的潜水钻机或附着式短螺旋钻机,将短螺旋钻头换成回转钻锥(钻斗),钻锥应按地层土质软硬、颗粒粗细选择适当型式。

3. 用正循环钻机钻孔时应按钻孔直径、深度和地层情况等因素计算选择钻机扭矩、泥浆泵的泵量、泵压和钻锥型式。正循环钻机的钻杆截面强度须适应多种因素产生的弯曲应力和扭转应力，对大直径、深孔的钻杆应进行应力验算。

4. 用反循环钻机钻孔时，其钻杆内径宜大于 127mm，吸泥泵所需泵量可按水流（泥浆）在钻杆孔内上升速度达到 3m/s 时计算确定。反循环采用气举法排渣时，压缩空气所需的压力与钻孔深度有关，需要的排气量与每小时净出土量、钻杆内孔的直径等因素有关，宜计算确定，其风管宜设在排渣管外两侧。

5. 用反循环潜水钻机旋转钻进时，若不产生反扭矩且钻机本身具有钻进导向装置时，可采用软管装在钻机顶排渣钻进。若钻锥旋转时产生扭矩，则必须使用钻杆连接钻机，用作排渣和传递扭矩，并由井口钻台承受扭矩的反作用力。当潜水钻机本身无导向装置，虽然用软管排渣，仍须在钻机中心连接实心钻杆至孔口钻台，作为钻进导向用。

6. 选用的冲抓锥钻机应既能配合全护筒钻孔，也能配合顶护筒钻孔；冲抓锥的提绳应采用自挂钩单绳式；冲抓锥的锥瓣不宜超过 4 瓣；锥径（抓瓣张开时）应为孔径的 85%~90%，松散地层采用低限，较稳定地层采用高限；冲抓宜采用较重的锥；锥的高度不宜小于孔径的 1.5 倍。

7. 用实心锥冲击钻孔时，应选择提升速度较快、起重能力较大的钻机和质量较大的钻锥；钢丝绳与冲击钻锥之间必须设置自动转向装置并连接牢靠，钢丝绳应选用同向捻制、纤维芯柔软、无死褶痕迹和断丝者，其抗拉安全系数不应小于 12，锥径不宜小于孔径的 95%。孔径大于 1.5m 时，应分两级钻进，应准备不同直径的钻锥。

8. 使用管锥冲击钻孔时，应选择能调节冲击高度（即冲程）和冲击频率能调节的钻机；当孔径大于 0.7m 时，应分级钻进，应准备不同直径的管锥。

9. 当桩身上部采用变截面大直径桩身时，可先设置桩身下部小直径护筒及钻锥，钻孔到底之后，利用该孔作为导孔，再设置大直径护筒与钻锥，扩大上部孔径，亦可先钻完上部桩孔之后，将钻机的钻锥换成小直径，完成下部钻孔。大直径钻孔机目前采用的有气举式反循环回转钻机和潜水冲击钻机，国内国外有很多钻机的型号可供选择。

二、钻孔施工的一些要求

1. 在河水或潮水涨落较大时，应采取连通式、虹吸管式或泥浆船式自动稳定钻孔内水头的措施。

2. 升降钻锥时应平稳，钻锥提出井口时应防止碰撞护筒、孔壁或钩挂护筒底部，拆装钻杆应力求迅速。

3. 因故停钻机时孔口应加护盖，严禁将潜水钻机或钻锥留在孔内。

4. 群桩用冲抓或冲击法钻孔时应待邻孔混凝土灌注完毕并达到一定强度后方可开钻。

5. 使用专用钻机钻孔时，应按该钻机的操作说明书操作。

三、钻孔注意事项

1. 用钢丝绳起吊钻锥的机动推钻钻进时，应适当放松起吊钻锥的钢丝绳，机动推

钻（钻斗钻）的钻杆顶端不得降到扶钻平台下面。

2. 正循环钻机开孔时，应先启动泥浆泵和转盘，待泥浆进入钻孔一定数量后方可开始钻进，进尺应适当控制。

在粘质土中，宜用尖底鱼尾式或圆笼式钻锥，以中等转速、大泵量、稀泥浆钻进。

在砂类土中，宜用平底圆笼式钻锥，以轻压、低档慢速、大泵量、稠泥浆钻进。

在较硬的卵石土中，宜用低档慢速、优质泥浆、慢进尺钻进。必要时可分两级钻进，第一级先钻进孔中心面积的一半，至适当深度后再扩孔按设计孔径钻进。

接长钻杆时，应先将钻锥提离孔底，待泥浆循环 3~5min 后，再拆卸接长钻杆。

3. 用泵吸式反循环钻进时，各处管线和钻杆应连接可靠，不漏气、不堵塞，钻锥应距孔底 0.15~0.25m，不得使吸渣口堵塞。

在硬粘质土中，宜低速钻进、自由进尺。

在一般粘质土中，宜用中、高速钻进、自由进尺。

在砂类土和砾类土中，宜中、低速钻、控制进尺。

接长钻杆时，应暂停钻进，将钻锥提离孔底 0.1m，维持泥浆循环 1~2min，待孔底清洗干净，钻杆内钻渣排净后，再停泵加接钻杆。

以上各类土层可采用三翼空心钻锥或带环圈的三翼钻锥或封闭式四翼形括刀钻锥钻进，在软岩中宜采用牙轮钻锥低速钻进，控制进尺。

反循环钻进时，必须连续补充护筒内水量（泥浆），维持应有的水头，不得使孔壁坍塌。

4. 用气举式反循环钻进时，必须先换成正循环开孔或用泵吸式反循环开孔，待钻杆能埋入护筒内泥浆中达 5~6m 后，才可送入压缩空气扬水排渣。

气举式反循环在各种地层中的钻进转速、进尺控制等要素的要求与泵吸式反循环相同。

5. 用全护筒法钻进时，如采用冲抓钻机在软弱及粉质土地层中钻进时，护筒应深于抓土平面 1~1.5m；在中等硬度地层中钻进时，护筒应深于抓土平面 0.3m 左右；在紧密的砾石土或卵石土层中钻进时，抓锥应预掘到护筒底端以下 0.2~0.3m 后，再下压护筒，继续钻进。

在硬层（漂石土或风化岩石层）钻进时，应换用十字形冲击锥进行冲击，使硬层破碎，再以抓瓣抓渣，如硬层较薄必须穿过时，可预掘 1~1.5m，再下压护筒，继续钻进。

在粘质土与软岩层中钻进时，如不坍塌，可不下压护筒。

护筒压入地面总深度应根据土层紧密情况和上拔护筒功率而定。

6. 用顶护筒冲抓锥钻进时，在开孔或护筒内冲抓，应采用 1~1.5m 的小冲程，稳而准的开孔，待钻锥全部进入护筒后再进行正常冲抓。提锥应缓慢，落锥高度可增大至 1.5~2.5m。

在粘质土中可采用中冲程冲抓；若土质较为松软，宜用小冲程；当土质较密实时，可采用 2~3m 的大冲程；当全孔均为紧密粘质土时，可不用泥浆，只用清水水头护壁。

在砂类土中应采用 0.5~1.0m 低冲程冲抓，并投入适量粘质土和水，保持泥浆相对

密度和护筒内水头。

在疏松的砾、卵石土中可采用在砂类土中类似方法冲抓，当砾、卵石土层较密实时可加大冲程，并可采用连续冲击再收瓣抓土方法，泥浆相对密度可采用 1.1 左右。

在漂石土中冲程不宜太大，宜连续多次低冲程。

7. 冲抓和冲击钻锥起吊进出钻孔口时，严禁孔口附近站人，防止发生人身事故。

8. 用冲击锥造孔时，应采用 1~1.5m 小冲程开孔，使孔壁坚实、竖直、圆顺起导向作用。当钻锥穿过护筒底 3m 以后，可根据地层情况加大冲程。冲击操作时应防止打空锤和大松绳。

在粘质土、风化泥岩地层冲击时，宜向孔内送入清水，自然造浆，选用十字小刃角形冲锥，以中、小冲程 0.6~1.0m 钻进。在粘性很大的粘质土中，应边冲边投入适量的粗砂，并在抽筒捞渣的同时向孔内泵入清水。

在砾类土层中冲击时，宜使用粘度较高、相对密度适中的泥浆并保持足够的水头，在冲击时向孔内投入粘质土。当遇到砂类土层时，应停钻向孔内投放足量的掺入片石或碎石的粘质土，改用小冲程冲击，孔内泥浆相对密度宜保持在 1.3 左右。

在卵石土、漂石土中冲击时，宜选用带侧刃的大刃脚一字形冲锥，重力要大。冲击时冲程应高但不得大于 4~6m，并投入粘质土，注意保持孔内水头。当发现冲孔倾斜时，应暂停冲击，提起冲锥向孔内倾斜段填满粘质土掺石块，再用低冲程冲击，控制钢丝绳放绳量。若仍不能纠正钻孔倾斜，宜改用回转钻进法穿越斜孔段。

在裂隙岩溶地层冲孔时，冲击锥操作应平稳，尽量不碰撞孔壁，选圆形钻锥，冲程宜小，钻锥重力宜大。遇裂隙可边投入粘质土，边冲击，直到穿过裂隙。当遇到深洞时，可边冲边向孔内投放片石或碎石，稳定填充物。

遇起伏不平的岩面和溶洞底板时，应投入粘质土掺石块，将孔底填平，用十定形冲锥以小冲程反复冲击，慢慢穿过。

四、钻孔故障及处理方法

1. 坍孔，其表征是孔内水位突然下降又回升，孔口冒细密水泡，出渣量显著增加而不见进尺，钻机负荷显著增加等。坍孔多由泥浆性能不符合要求、孔内水头未能保证、机具碰撞孔壁等原因造成。应查明坍孔位置后进行处理，坍孔不严重时，可回填土到坍孔位以上，并采取改善泥浆性能、加高水头、深埋护筒等措施，继续钻进；坍孔严重时，应立即将钻孔全部用砂类土或砾石土回填，无上述土类时可采用粘质土并掺入 5%~8% 的水泥砂浆，应等待数日方可采取改善措施后重钻。坍孔部位不深时，可采取深埋护筒法，将护筒填土夯实，重新钻孔。

2. 钻孔偏斜、弯曲，常由地质松软不均、岩面倾斜、钻架位移、安装未平或遇探头石等原因造成。一般可在偏斜处吊住钻锥反复扫孔，使钻孔正直。偏斜严重时，应回填粘质土到偏斜处顶面，待沉积密实后重新钻孔。

3. 扩孔与缩孔，扩孔多系孔壁小坍塌或钻锥摆动过大造成，应针对原因采取防治措施。钻锥缩孔常因地层中含遇水能膨胀的软塑土或泥质页岩造成；钻锥磨损过甚，亦能使孔径稍小。前者应采用失水率小的优质泥浆护壁，后者应及时焊补钻锥。缩孔已发

生时，可用钻锥上下反复扫孔，扩大孔径。

4. 钻孔漏浆，遇护筒内水头不能保持时，宜采取护筒周围回填土夯筑密实、增加护筒沉埋深度、适当减小护筒内水头高度、增加泥浆相对密度和粘度、倒入粘土使钻锥慢速转动、增加孔壁粘质土层厚度等措施，用冲击法钻孔时，可填入片石、卵石，反复冲击，增加护壁。

5. 梅花孔（或十字孔），常由冲击钻锥的自动转向装置失灵、泥浆相对密度和粘度太大、冲程太小等原因造成。应针对上述原因采取改善措施。已发生的梅花孔，应采用片石或卵石土掺粘质土混合回填孔内，重新冲击钻孔。

6. 糊钻、埋钻，多系正循环（含潜水钻机）回转钻进时，遇软塑粘质土层，泥浆相对密度和粘度过大，进尺快、钻渣量大，钻杆内径过小，出浆口堵塞而造成。应改善泥浆性能，对钻杆内径、钻渣进出口和排渣设备的尺寸进行检查计算，并控制适当进尺。若已严重糊钻，应停钻提出钻锥，清除钻渣。

冲击钻锥糊锥时，应减小冲程，降低泥浆相对密度和粘度，并在粘土层回填部分砂类土和砾类土。遇到坍方或其他原因造成埋钻时，应使用空气吸泥机吸走埋锥的泥砂，提出钻锥。

7. 卡钻常发生在冲击钻孔时，多因先形成了梅花孔，或钻锥磨损未及时焊补、钻孔直径变小，而新钻锥又过大，冲锥倾倒，遇到探头石，或孔内掉入物件卡住等。卡钻后不宜强提，可用小锥冲击或用冲、吸的方法将钻锥周围的钻渣松动后再提出。

8. 掉落钻物宜迅速用打捞叉、钩、绳套等工具打捞。若落体已被泥沙埋住时，宜按前述各条，先清泥沙，使打捞工具能接触落体后打捞。

9. 在任何情况下，严禁施工人员进入没有护筒或无其他防护设施的钻孔中处理故障。当必须下入护筒或其他防护设施的钻孔时，应在检查孔内无有害气体，并备齐防毒、防溺、防坍塌等安全设施后方可进行。

第三节 清 孔

一、清孔要求

1. 钻孔深度达到设计标高后，应对孔深、孔径进行检查，符合要求后方可清孔。
2. 清孔方法应根据设计要求、钻孔方法、机具设备条件和地层情况决定。
3. 在吊入钢筋骨架后，灌注水下混凝土之前，应再次检查孔内泥浆性能指标和孔底沉淀厚度，如超过规定，应进行第二次清孔，符合要求后方可灌注水下混凝土。
4. 清孔方法有换浆、抽浆、掏渣、空压机喷射、砂浆置换等，可根据具体情况选择使用。
5. 不论采用何种清孔方法，在清孔排渣时，必须注意保持孔内水头，防止坍塌。
6. 无论采用何种方法清孔，清孔后应从孔底提出泥浆试样，进行性能指标试验，

试验结果应符合规定。灌注水下混凝土前，孔底沉淀土厚度应符合规定。

清孔泥浆性能指标的规定系指大直径桩及有特定要求的钻孔桩，对于一般钻孔桩的清孔泥浆性能指标可仍采用原规范的规定值，即相对密度 1.08 ~ 1.2，粘度 17 ~ 20，含砂率 < 4%。

7. 不得用加深钻孔深度的方式代替清孔。

二、清孔的方法如下

1. 换浆清孔法适用于正循环回转钻孔，在完成钻孔深度后，提升钻锥至距孔底钻渣面 0.1 ~ 0.3m，以大泵量泵入符合清孔后性能指标的新泥浆，维持正循环 4h 以上，直到清除孔底沉渣、减薄孔壁泥皮、泥浆性能指标符合要求为止。本法清孔进度慢，对大直径、深孔可将正循环机具迅速拆除，改用抽浆法。

2. 抽浆法清孔较彻底迅速，适用于各种方法的钻孔，对于反循环回转钻孔完成后，可停止钻具回转，将钻锥提离孔底钻渣面 10 ~ 30cm，维持泥浆的反循环，并向孔中注入清水。应经常测量孔底沉渣厚度和孔中泥浆性能指标，满足要求后立即停止清孔。对大直径、深孔可配合气举法清孔。应注意在清孔过程中，必须始终保持孔内原有水头高度。

3. 掏渣清孔法是用抽渣筒、大锅锥或冲抓锥清掏孔底粗钻渣，适用于机动推钻、冲抓和冲击钻孔的初步清孔。掏渣前可投入水泥 1 ~ 2 袋，再以冲锥冲成钻渣和水泥的混合物，提高掏渣工效。当要求清孔质量较高时，可用高压水管插入孔底射水，降低泥浆相对密度。对大直径、深孔应在掏渣清孔后，再用气举抽浆法清孔。

4. 喷射清孔法只宜配合换浆法或抽浆法清孔后使用，该法是在灌注水下混凝土前，对孔底进行高压射水或射风数分钟，使孔底剩余少量沉淀物漂浮后，立即灌注水下混凝土。

5. 砂浆置换清孔法适宜于掏渣清孔后使用。该法按下述工序进行：(1) 用掏渣筒尽量清除钻渣；(2) 以高压水管插入孔底射水，降低泥浆相对密度；(3) 以活底箱在孔底灌注 0.6m 厚的以粉煤灰与水泥加水拌和并掺入缓凝剂的特殊砂浆，砂浆初凝时间应延长到 6 ~ 12h；(4) 插入比孔径稍小的搅拌器，慢速旋转，将孔底残渣搅入砂浆中；(5) 吊出搅拌器；(6) 吊入钢筋骨架；(7) 灌注水下混凝土，搅入残渣的沙浆被混凝土置换后，一直被顶托在混凝土面以上而被推到桩顶后，再予以清除。

该特殊砂浆常用配合比为：水泥：粉煤灰：砂：加气剂 = 1:0.4:1.4:0.007（质量比）。

第四节 灌注水下混凝土

一、钢筋骨架的制作、运输及吊装就位的技术要求

1. 长桩骨架宜分段制作，分段长度应根据吊装条件确定，应确保不变形，接头应错开。
2. 应在骨架外侧设置控制保护层厚度的垫块，其间距竖向为 2m，横向圆周不得少于 4 处。骨架顶端应设置吊环。
3. 骨架入孔一般用吊机，无吊机时，可采用钻机钻架、灌注塔架。起吊应按骨架长度的编号入孔。
4. 钢筋骨架的制作和吊放的允许偏差为：主筋间距 $\pm 10\text{mm}$ ；箍筋间距 $\pm 20\text{mm}$ ；骨架外径 $\pm 10\text{mm}$ ；骨架倾斜度 $\pm 0.5\%$ ；骨架保护层厚度 $\pm 20\text{mm}$ ；骨架中心平面位置 20mm ；骨架顶端高程 $\pm 20\text{mm}$ ，骨架底面高程 $\pm 50\text{mm}$ 。
5. 变截面桩钢筋骨架吊放按设计要求施工。

二、灌注水下混凝土时应配备的主要设备及备用设备

1. 灌注水下混凝土的搅拌机能力，应能满足桩孔在规定时间内灌注完毕。灌注时间不得长于首批混凝土初凝时间。若估计灌注时间长于首批混凝土初凝时间，则应掺入缓凝剂。
2. 水下灌注混凝土的泵送机具宜采用混凝土泵，距离稍远的宜采用混凝土搅拌运输车。采用普通汽车运输时，运输容器应严密坚实，不漏浆、不吸水，便于装卸，混凝土不应离析。其途中运输与灌注混凝土温度有关时，可参照本规范第 11 章、第 14 章有关规定执行。
3. 水下混凝土一般用钢导管灌注，导管内径为 200~350mm，视桩径大小而定。

三、水下混凝土配制

1. 可采用火山灰水泥、粉煤灰水泥、普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，使用矿渣水泥时应采取防离析措施。水泥的初凝时间不宜早于 2.5h，水泥的强度等级不宜低于 42.5。
2. 粗集料宜优先选用卵石，如采用碎石宜适当增加混凝土配合比的含砂率。集料的最大粒径不应大于导管内径的 $1/6 \sim 1/8$ 和钢筋最小净距的 $1/4$ ，同时不应大于 40mm。
3. 细集料宜采用级配良好的中砂。
4. 混凝土配合比的含砂率宜采用 0.4~0.5，水灰比宜采用 0.5~0.6。有试验依据

时含砂率和水灰比可酌情增大或减小。

5. 混凝土拌和物应有良好的和易性，在运输和灌注过程中应无显著离析、泌水现象。灌注时应保持足够的流动性，其坍落度宜为 180 ~ 220mm。混凝土拌和物中宜掺用外加剂、粉煤灰等材料，其技术条件及掺用量可参照本规范第 11 章有关规定办理。

6. 每立方米水下混凝土的水泥用量不宜小于 350kg，当掺有适宜数量的减水缓凝剂或粉煤灰时，可不少于 300kg。

混凝土拌和物的配合比，可在保证水下混凝土顺利灌注的条件下，按照本规范第 11 章有关混凝土配合比设计方法计算确定。

7. 对沿海地区（包括有盐碱腐蚀性地下水地区）应配制防腐混凝土。

四、灌注水下混凝土的技术要求

1. 首批灌注混凝土的数量应能满足导管首次埋置深度（ $\geq 1.0\text{m}$ ）和填充导管底部的需要。

2. 混凝土拌和物运至灌注地点时，应检查其均匀性和坍落度等，如不符合要求，应进行第二次拌和，二次拌和后仍不符合要求时，不得使用。

3. 首批混凝土拌和物下落后，混凝土应连续灌注。

4. 在灌注过程中，特别是潮汐地区和承压力地下水地区，应注意保持孔内水头。

5. 在灌注过程中，导管的埋置深度宜控制在 2 ~ 6m。

6. 在灌注过程中，应经常测探井孔内混凝土面的位置，及时地调整导管埋深。

7. 为防止钢筋骨架上浮，当灌注的混凝土顶面距钢筋骨架底部 1m 左右时，应降低混凝土的灌注速度。当混凝土拌和物上升到骨架底口 4m 以上时，提升导管，使其底口高于骨架底部 2m 以上，即可恢复正常灌注速度。

8. 灌注的桩顶标高应比设计高出一定高度，一般为 0.5 ~ 1.0m，以保证混凝土强度，多余部分接桩前必须凿除，残余桩头应无松散层。

在灌注将近结束时，应核对混凝土的灌入数量，以确定所测混凝土的灌注高度是否正确。

9. 变截面桩灌注混凝土的技术要求

对变截面桩，应从最小截面的桩孔底部开始灌注，其技术要求与等截面桩相同。灌注至扩大截面处时，导管应提升至扩大截面下约 2m，应稍加大混凝土灌注速度和混凝土的坍落度；当混凝土面高于扩大截面处 3m 后，应将导管提升至扩大截面处上 1m，继续灌注至桩顶。

10. 使用全护筒灌注水下混凝土时，当混凝土面进入护筒后，护筒底部始终应在混凝土面以下，随导管的提升，逐步上拔护筒，护筒内的混凝土灌注高度，不仅要考虑导管及护筒将提升的高度，还要考虑因上拔护筒引起的混凝土面的降低，以保证导管的埋置深度和护筒底面低于混凝土面。要边灌注、边排水，保持护筒内水位稳定，不至过高，造成反穿孔。

11. 在灌注过程中，应将孔内溢出的水或泥浆引流至适当地点处理，不得随意排放，污染环境及河流。

五、使用的一些注意事项

1. 当骨架需要长距离运输时,应采用平板车配合托架运输,不得使骨架发生变形;近距离运输,可使用大型自行式吊机,吊住一端竖直运行。无条件时可采用人工抬运。

2. 变截面桩钢筋骨架吊放技术要求如下:最小桩截面的钢筋应先吊放;其高度宜伸入大截面内约 1m;随后依次吊放大截面的钢筋骨架。变截面桩钢筋骨架的技术要求与单截面桩的相同。

3. 配备搅拌机数量时应考虑发生故障时的备用数量。灌注的首批混凝土拌和物的初凝时间不得早于灌注桩全部混凝土灌注完成的时间,当桩身混凝土数量较大,灌注需用时间较长时,应通过试验在首批混凝土中掺入缓凝剂。测定混凝土拌和物的初凝和终凝时间,可将拌和物中的砂浆筛出,用测针求出贯入阻力,当贯入阻力为 3.5MPa 时的时间为初凝时间;达到 28MPa 时的时间为终凝时间,测定仪器可用水电部《水工试验规程》(SD105—82)规定的贯入阻力仪。

4. 在水下灌注混凝土的运输机具中,除混凝土泵可直接提升混凝土外,采用其他运输机具时,在孔口处应设置斜坡道支架、吊机或扒杆提升装混凝土的吊斗,在水域上要设置驳船高架平台和吊装设备。

5. 导管上口应设置储料斗、溜槽、漏斗等设备,各设备的尺寸大小构成的总容量,应能满足灌注水下混凝土首批储备量的需要。

6. 水下混凝土导管多采用壁厚为 4~6mm 的钢板卷管,亦可用 8~11mm 的无缝钢管。可用法兰、丝扣或卡口连接,连接后导管的轴线偏斜不得超过其长度的 0.1%,管底偏距不得超过 20mm。

若采用硬球作隔水栓时,还应做通过试验。

每节导管应在上端适当部位焊上对称的一对吊环。升降导管的吊机应具备起吊全部导管和导管内充满混凝土拌和物时的总重力及导管壁与导管内外混凝土间的摩擦阻力的能力,并应有一定的安全储备,同时保证导管升降高度准确。

7. 灌注混凝土前应在漏斗底口处设置提板软垫和阀门隔水设施,该设施要严密不漏浆,启动迅速方便,不梗阻拌和物的下落,不防碍拌和物向四周流动扩散,制作容易,使用经济,无条件时,可使用硬球塞或柱栓。

8. 灌注水下混凝土期间应配备保持井孔水头和及时处理故障的水泵、吸泥机和高压射水管等设备。

9. 水下混凝土的灌注技术要求如下:

(1) 灌注混凝土前应检测孔底沉淀土厚度,若大于设计规定,应进行处理。

(2) 灌注前应将漏斗插入导管内,漏斗底口宜高于井孔内水面 30cm,并于该处安置隔水设施,经检查稳妥后,可开始将首批混凝土拌和物灌入漏斗和储料斗内,待数量满足要求后,方可开启隔水设施。首批混凝土拌和物下落后,应立即检查导管高程是否符合要求,导管内是否有水涌上来,如发现导管提升过高,管内并有水涌上来,则灌注失败,应进行处理。

(3) 灌注开始后,应连续地灌注,并应尽可能缩短拆除导管的间隔时间。当导管内

混凝土不满时，应徐徐地灌注，禁止在导管内形成高压气囊。

(4) 在灌注过程中，特别是潮汐地区和有关承压地下水地区，应特别注意保持孔内水头。

(5) 在灌注过程中，可采用测深锤探测。锤宜为锥形，锤重力不宜小于 40N，并采用轻质、遇水不伸缩、抗张拉的测尺或测绳系挂探测。

当有条件时，宜采用可靠测深仪探头，探测并孔内混凝土面高度，并及时地提升和拆卸应拆除的导管。

(6) 须嵌入承台内的桩头及锚固钢筋长度应符合设计要求。

(7) 桩身混凝土灌注工作结束后，处于地面及桩顶以下并口的整体式刚性护筒应立即拔出；处于地面上并能拆卸的护筒，应待混凝土抗压强度达到 5MPa 后方可拆除。

六、灌注中发生的故障及处理方法

1. 初灌导管进水

首批混凝土拌和物下落后，导管进水，应将已灌注的拌和物用吸泥机（可用导管作吸泥管）全部吸出，再针对进水的原因，改正操作工艺或增加首批拌和物储量，重新灌注。

2. 中期导管进水

多在提升导管且底口超出已灌混凝土拌和物表面时发生。遇到该种故障时，可依次将导管拔出，用吸泥机或潜水泥浆泵将原灌混凝土拌和物表面的沉淀土全部吸出，将装有底塞的导管压重插入原混凝土拌和物表面下 2.5m 深处，然后在无水导管中继续灌注，将导管提升 0.5m，继续灌注的拌和物即可冲开导管底塞流出。

3. 初灌导管堵塞

多因隔水硬球栓或硬柱塞不符合要求被卡住而产生。可采用长杆冲捣，或用附着于导管外侧的振动器振动导管，或提升导管迅速下落振冲，或用钻杆上加配重冲击导管内混凝土。若上述方法无效，应提出导管，取出障碍物，重新改用其他隔水设施灌注。

4. 中期导管堵塞

多因灌注时间过长，表层混凝土拌和物已初凝产生；或因某种故障，拌和物在导管内停留过久而发生堵塞。处理方法是将导管连同堵塞物一齐拔出，若原灌混凝土表层尚未初凝，可用新导管插入原灌拌和物内 2m 深，用潜水泥浆泵下入导管孔底，将底部水泵出，再用圆杆接长的小掏渣桶下入管底，升降多次将残余渣土掏除干净，然后在新导管内继续灌注，但灌注结束后，此桩应作为断桩予以补强。

5. 灌注坍孔

大的坍孔表征与钻孔期间近似，可用测深仪和或测锤探测，如探头达不到混凝土面高程时即可证实发生坍孔。产生原因是：①护筒底脚漏水；②潮汐区未保持所需水头；③地下水压超过原承压力；④孔内泥浆相对密度、粘度过低；⑤孔口周围堆放重物或机械振动。如坍塌数量不大，采取措施后可用吸泥机吸出混凝土表面坍塌的泥土，如不继续坍孔，可恢复正常灌注。

如坍孔仍不停止，且有扩大之势，应将导管和钢筋骨架拔出，将孔内用粘土或掺入

5%~8%的水泥填满，待数日后孔位周围地层已稳定时，再钻孔施工。

6. 钢筋骨架上升

除去一般被勾挂上升的原因外，主要是由于混凝土拌和物冲出导管底口后向上的顶托力造成的。辅助方法是钢筋骨架顶端焊固在护筒上，或将钢筋骨架中4根主筋伸长至桩孔底；当设计许可时，骨架下端2m范围内的箍筋间距布置应大一些。

7. 埋管

灌注过程中导管提升不动，或灌注完毕导管拔不出，统称埋管。常因导管埋置过深所致。若已成埋管故障，宜插入一直径稍小的护筒至已灌混凝土中，用吸泥机吸出混凝土表面上泥渣，派潜水工下至混凝土表面在水下将导管齐混凝土面切断，拔出安全护筒，重新下导管灌注，此桩灌注完成后，上下断层间应参照相关节的方法予以补强。

若桩径过小，潜水工无法下去工作，可在吸出混凝土表而上泥渣后，采用输送管直径100~150mm且水下连接一段钢管的混凝土泵，泵送余下的混凝土桩身。

8. 灌短桩头

灌注结束后，桩头高程低于设计高程，属桩头灌短事故。多由灌注过程中，孔壁断续发生小坍方，施工人员未发觉，未处理，测探锤达不到混凝土表面造成。预防方法是应严格参按照前面相关规定办理。

事故已发生时，可依照处理埋管的办法，插入一直径稍小护筒，深入到原灌混凝土内，用吸泥机吸出坍方土和沉淀土，拔出小护筒，重新下导管灌注，此桩灌注完成后，上下断层间应予以补强。

9. 夹层断桩

多为以上各种事故的次生结果。有些是在灌注完成后，钻取桩身混凝土岩芯或无破损检测法检验时发现混凝土中夹泥砂层的情况，称为夹层断桩事故。多因首批混凝土隔离层上升、（或第二、三批）已近初凝，流动性降低，在导管埋深较小时，续灌混凝土拌和物顶破隔离层上升，将原灌混凝土表面的沉淀土覆盖在混凝土拌和物下面造成。在灌注中不易发觉，多系在桩身质量检验时才发现。

10. 混凝土严重离析

多由导管漏水引起水浸、地下水渗流等造成。

预防方法：灌注前应严格检验导管的水密性，灌注中应注意防止导管内发生高压气囊，在承压地下水地区应测验地下水的压力高度和渗流速度，当其速度超过12m/min时，应注意在此地区进行钻孔灌注的施工措施。

七、灌注桩的补强方法和技术要求

1. 钻孔灌注桩经桩身质量检测后，如发现有夹层断桩、混凝土严重离析、空洞等事故时，经设计代表及监理工程师的同意后补强处理。

2. 可采用压入水泥浆补强。先钻两小孔，分别作压浆和出浆用。深度应达补强处以下1m，对于柱桩应达基岩。

3. 用高压水泵向孔内压入清水，使夹层泥渣从出浆孔被冲洗出来。

4. 用压浆泵先压入水灰比为0.8的纯水泥浆，进浆口应用麻絮填堵在铁管周围，

待孔内原有清水从另一孔全部压出来之后，再用水灰比 0.5 的浓水泥浆（宜用 52.5 水泥）压入。

5. 浓浆压入时应使其充分扩散，当浓浆从出浆口冒出时停止压浆，用碎石将出浆口封填，并以麻袋堵实。

6. 最后再用水灰比 0.4 的水泥浆压入，压力增大到 0.7~0.8MPa 时关闭进浆阀，稳压压浆 20~25min，压浆补强工作结束。

7. 待水泥浆硬化后，应再钻孔取芯检查补强效果。

第五节 挖孔灌注桩

一、技术要求

1. 适用范围 挖孔灌注桩适用于无地下水或少量地下水，且较密实的土层或风化岩层。若孔内产生的空气污染物超过现行《环境空气质量标准》（GB 3095）规定的三级标准农度限值时，必须采取通风措施，方可采用人工挖孔施工。

2. 挖孔直径 应按照设计规定。挖孔过程中，应经常检查桩孔尺寸、平面位置和竖轴线倾斜情况，如有偏差应随时纠正。

3. 挖孔施工应根据地质和水文地质情况，因地制宜选择孔壁支护方案报批，并应经过计算，确保施工安全并满足设计要求。

4. 孔内遇到岩层须爆破时，应专门设计，宜采用浅眼松动爆破法，严格控制炸药用量并在炮眼附近加强支护。孔深大于 5m 时，必须采用电雷管引爆。

孔内爆破后应先通风排烟 15min 并经检查无有害气体后，施工人员方可下井继续作业。

5. 挖孔达到设计深度后，应进行孔底处理。必须做到孔底表面无松渣、泥、沉淀土。如地质复杂，应钎探了解孔底以下地质情况是否能满足设计要求，否则应与监理、设计单位研究处理。

二、注意事项

1. (1) 设计桩长大于 15m 时，应加强通风和安全措施。

(2) 同一墩台各桩孔开挖顺序

应视地层松紧、桩孔布置而定。地层紧密、地下水不大的可同时开挖，但渗水量较大的孔，应超前开挖，集中抽水，降低其他孔的水位；地下水较大者宜对角开挖；若桩孔为梅花式布置，宜先挖中孔。

(3) 因地制宜地选择合适的孔壁支护类型。一般可选用木框架、竹篱、柳条、荆笆、现浇混凝土井圈支护，也可采用喷射混凝土护壁。

(4) 摩擦桩支护，摩擦桩的非永久性支护（如木框架、竹篱、柳条、荆笆），应在

灌注混凝土时逐步拆除。无法拆除的非永久性支扩，不得用于摩擦桩。

(5) 混凝土护壁，以混凝土护壁作为桩身一部分时，只能用于桩身截面不出现拉应力的桩摩擦桩或柱桩)，其混凝土等级不得低于桩身混凝土等级。

(6) 挖孔时如有水渗入应及时支护孔壁。根据渗水量大小可应用水桶或水泵排走，应保证工人施工安全。地质条件适宜时，可采用井点法降低孔中地下水位。

(7) 挖孔时应注意施工安全。挖孔工人必须配备安全帽、安全绳，必要时应搭设掩体。提取土渣的吊桶、吊钩、钢丝绳、卷扬机等机具，必须经常检查。井口围护应高出地面 0.2~0.3m，不得使土、石、杂物滚入孔内伤人。挖孔工作暂停时，孔口必须覆盖。

挖孔时应经常检查孔内的二氧化碳含量，如超过 0.3% 或孔深超过 10m 时应采用机械通风。

(8) 当孔底岩层倾斜时，应凿成水平或台阶。

(9) 在多年冻土地区，当季节融化层处于冻结状态且不受地层和水文地质的影响时，可采用挖孔桩施工，在孔底热融时开挖。在夏季融化的季节融化层地区，不宜采用挖孔桩施工。

2. 空气中灌注混凝土

当从孔底及孔壁渗入的地下水上升速度很小，孔内无积水，可采用在空气中灌注混凝土桩的方法，其技术要求除应符合有关规定外，还应注意下列事项：

(1) 混凝土坍落度，当孔内无钢筋骨架时宜小于 65mm；当孔内设置钢筋骨架时，宜为 70~90mm。如用导管灌注混凝土，可在导管中自由坠落，导管应对准桩位中心。开始灌注时，孔底积水不宜超过 50mm；灌注速度应尽可能加快，应使混凝土对孔壁压力尽快地大于渗水压力。

(2) 桩顶或承台、连系梁底部 2m 以下灌注的混凝土，可依靠自由坠落沉实，不必再用人工振捣，在此线以上灌注的混凝土应以振捣器捣实。

(3) 孔内的混凝土应尽可能一次连续灌注完毕。若施工接缝不可避免时，应按照关于施工缝处理规定处理，并一律设置上下层的锚固钢筋，锚固钢筋的截面积应根据施工缝的位置确定，无资料时可按桩截面积的 1% 配筋。施工缝处若设有钢筋骨架，则骨架主筋截面积可在 1% 配筋面积内扣除；若骨架主筋截面积超过桩截面积的 1%，则可不设锚固钢筋。

(4) 混凝土灌至桩顶以后，应将表面已离析的混合物和水泥浮浆等清除干净。

3. 水中灌注混凝土

当孔底有渗入的地下水时，应视为有水机。应按有关规定用导管法在水中灌注混凝土。灌注混凝土之前，应向孔内灌水，至少与孔外稳定地下水位同样高度，若孔壁土质易坍塌，应使孔内水位高于稳定的地下水位 1~1.5m。渗水量较大时，严禁采用边抽水边灌注混凝土的方式。

4. 支护拆除

在空气中灌注的摩擦桩，当地层较紧密，短期无支护，孔壁不致坍塌时，宜在灌注过程中，逐步由下至上拆除支护。

在水中灌注的摩擦桩，应伴随灌注混凝土的升高，孔内水位相应上升，应逐层拆除支护，利用水头护壁。

5. 钢护筒或钢筋混凝土护筒拆除

无论是在空气中或水中灌注混凝土，拆除上述护筒时，应在逐步拆除护筒过程中始终维护混凝土顶面比护筒底端高出 1.5~2.0m。

6. 拆除支护的注意事项

应尽量减少灌注混凝土与拆除支护间的干扰，拆除支护时，不得使钢筋骨架被移动或变位。

7. 柱桩支护的拆除

对柱桩支护，如设计无拆除要求，且支护内桩身净截面积大于或等于设计截面，宜尽可能不予拆除；若系采用可拆式钢护筒或钢筋混凝土护筒支护，且地质条件可拆除时，则应予以拆除，拆除时应按上述注意事项中的 4 处理。

第五章

沉井施工 技术规范

第一节 沉井的制作

一、一般规定

1. 沉井施工前，应根据设计单位提供的地质资料决定是否增加补充施工钻探，为编制施工技术方案提供准确依据。
2. 沉井下沉前，应对附近的堤防、建筑物和施工设备采取有效的防护措施，并在下沉过程中，经常进行沉降观测，观察基线、基点的设置情况。
3. 沉井施工前，应对洪汛、凌汛、河床冲刷、通航及漂流物等做好调查研究，需要在施工中渡汛、渡凌的沉井，应制订必要的措施，确保安全。

二、沉井的制作

1. 沉井位于浅水或可能被水淹没的岸滩上时，宜就地筑岛制作；沉井在制作至下沉过程中位于无被水淹没可能的岸滩上时，如地基承载力满足设计要求，可就地整平夯实制作，如地基承载力不够，应采取加固措施。在地下水位较低的岸滩，若土质较好时，可开挖基坑制作沉井。

2. 筑岛沉井的制作与下水

(1) 制作沉井的岛面、平台面和开挖基坑施工的坑底标高，应比施工最高水位高出0.5~0.7m，有流冰时，应再适当加高。

在施工期内，水流受压缩后，应保证岛体稳定，坡面、坡脚不被冲刷，必要时应采取防护措施。

在斜坡上筑岛时应进行设计计算，应有防滑措施；在淤泥等软土上筑岛时，应将软土挖除，换填或采用其他加固措施。

(2) 筑岛沉井一般采用钢筋混凝土厚壁沉井，制作前应检查沉井纵、横向中轴线位置是否符合设计要求。

(3) 在支垫上立模制作沉井时，应符合下列要求：

①支垫布置应满足设计要求及抽垫方便。

②支垫顶面应与钢刃脚底面紧贴，使沉井重力均匀分布于各支垫上。

③模板及支撑应具有足够的强度和较好的刚性。内隔墙与井壁连接处支垫应联成整体，底模应支承于支垫上，以防不均匀沉陷；外模与混凝土面贴接一侧应平直并光滑

(4) 刃脚部分采用土模制作时，应符合下列要求：

①刃脚部分的外模，应能承受井壁混凝土的重力在刃脚斜面上产生的水平分力。土模顶面的承载力应满足设计要求，土模顶面一般宜填筑至沉井隔墙底面。

②土模表面及刃脚底面的地面上，均应销筑一层 20~30mm 的水泥砂浆，砂浆层表面应涂隔离剂。

③应有良好的防水、排水设施。

(5) 沉井分节制作高度，应能保证其稳定，又有适当重力便于顺利下沉。底节沉井的最小高度，应能抵抗拆除支垫或挖除土模时的竖向挠曲强度，除土条件许可时，宜高些。

(6) 筑岛沉井底节支垫的抽除应符合以下要求：

①沉井混凝土强度满足沉井抽垫受力的要求时方可抽垫。

②支垫应分区、依次、对称、同步地向沉井外抽出，随抽随用砂土回填捣实。抽垫时应防止沉井偏斜。

③定位支点处的支垫，应按设计要求的顺序尽快地抽出。

(7) 拆除土模应符合下列要求：

①底节混凝土达到设计要求强度后方可拆除土模。

②自中心向四周分区、分层、同步、对称挖土，防止沉井发生倾斜。

③拆除土模时，不得先挖沉井外围的土，刃脚斜面及隔墙底面粘附于土模的残留物应清除干净，防止影响封底混凝土质量。

三、沉井浮运到位

1. 浮运前应进行下列工作：

(1) 各类浮式沉井均须灌水下沉，各节沉井均应进行水密性检查，底节还应根据其工作压力，进行水压试验，合格后方可下水。

(2) 应对所经水域和沉井位置处河床进行探查，所经水域应无妨碍浮运的水下障碍物，沉井位置处河床应基本平整。

(3) 检查拖运、定位、导向、锚锭、潜水、起吊及排、灌水设施。

2. 浮式沉井的底节可采用滑道、起重机具、涨水自浮、浮船等方法下水。

浮式沉井底节入水后，悬浮接高时的初步定位位置，应根据下水方法，底节沉井的高度、大小、形状与水深、流速、河床土质及沉井接高和下沉过程中墩位处河床受冲淤的影响，综合分析确定。

3. 沉井浮运就位

(1) 浮式沉井必须对浮运、就位和灌水着床时的稳定性进行验算。

(2) 浮运和灌水着床应在沉井混凝土达到设计要求的强度后，并尽可能安排在能保

证浮运工作顺利进行的低水位或水流平稳时进行。

(3) 沉井浮运宜在白昼无风或小风时,以拖轮拖运或绞车牵引进行。对水深和流速大的河流,为增加沉井稳定,可在沉井两侧设置导向船,沉井下沉前初步锚锭于墩位的上游处,在沉井浮运、下沉的任何时间内,露出水面的高度均不应小于 1m。

(4) 就位前应对所有缆绳、锚链、锚锭和导向设备进行检查调整,使沉井落床工作顺利进行,并注意水位涨落时对锚锭的影响。

布置锚锭体系时,应使锚绳受力均匀,锚绳规格和长度应相差不大,边锚预拉力要适当,避免导向船和沉井产生过大摆动或折断锚绳。

(5) 准确定位后,应向井孔内或在井壁腔格内迅速、对称、均衡地灌水,使沉井落至河床。在水中拆除底板时,应注意防止沉井偏斜。薄壁空腔沉井着床后,可对称、均衡地灌水、灌筑混凝土和加压下沉。

(6) 沉井着床后,应随时观测由于沉井下沉的阻力和压缩流水断面引起流速增大而造成的河床局部冲刷,必要时可在沉井位置处用卵、碎石垫填整平,改变河床上的粒径,减小冲刷深度,增加沉井着床后的稳定。

(7) 沉井着床后,应采取措施使其尽快下沉,并加强对沉井上游侧冲刷情况的观测和沉井平面位置及偏斜的检查,发现问题时立即采取措施并予调整。

四、沉井除土下沉

1. 沉井下沉

(1) 沉井宜采用不排水除土下沉,在稳定的土层中,也可采用排水除土下沉。采用排水除土下沉时,应有安全措施,防止发生人身安全事故。

(2) 下沉沉井时,不宜使用爆破方法,在特殊情况下,经批准必须采用爆破时,应严格控制药量。

(3) 下沉过程中,应随时掌握土层情况,做好下沉观测记录,分析和检验土的阻力与沉井重力的关系,选用最有利的下沉方法。

(4) 下沉通过粘土胶结层或沉井自身重力偏轻下沉困难时,可采用井外高压射水、降低井的水位等方法下沉。在结构受力容许的条件下,亦可采用压重或接高沉井下沉。

(5) 正常下沉时,应自中间向刃脚处均匀对称除土。对于排水除土下沉的底节沉井,设计反承位置处的土,应在分层除土中最后同时挖除,由数个井室组成的沉井,为使下沉不发生倾斜,应控制各井室之间除土面的高差,并避免内隔墙底部在下沉时受到下面土层的顶托。

(6) 下沉时应随时注意正位,保持竖直下沉,至少每下沉 1m 检查一次。沉井入土深度尚未超过其平面最小尺寸的 1.5~2 倍时,最易出现倾斜,应及时注意校正。但偏斜时的竖直校正,一般都会引起平面位置的移动。

(7) 合理安排沉井外弃土地点,避免对沉井引起偏压。在水中下沉时,应注意河床因冲淤起的土面高差,必要时可用沉井外弃土来调整。

(8) 采用吸泥吹砂等方法在不稳定的土或砂土中下沉时,必须备有向井内补水的设施,保持井内外的水位相平或井内略高于井外水位,防止翻砂。吸泥器应均匀吸泥,防

止局部吸泥过深，造成沉井下沉偏斜。

(9) 下沉至设计标高以上 2m 左右时，应适当放慢下沉速度并控制井内除土量和除土位，以使沉井平稳下沉，正确就位。

五、补充事项

1. 挖土下沉

挖土下沉时，须避免隔墙受到土的支承。井内除土应分层、均匀、对称地进行，使其能均匀垂直下沉。一般情况下不应从刃脚踏面下挖土。如土质松软，沉井的下沉系数较大时，应先挖锅底中间部分，保留沉井周围土堤，使沉井在白重下挤土下沉；如土质坚实，沉井下沉系数较小时，应采取其他措施，使沉井继续下沉，中间不得有较长的停歇，也不得将锅底开挖过深。

在软土层中以排水法下沉的沉井，当沉至距设计标高约 2m 时，应加强对下沉与挖土情况的观测，如沉井尚不断下沉时，则应向井内灌水，改用不排水下沉，或采取其他使沉井稳定的措施。

2. 使用泥浆套技术下沉沉井

(1) 泥浆润滑套的制作，应符合下列要求：

① 泥浆润滑套应设地表围圈，保证泥浆润滑套有正确厚度，防止地面土坍入泥浆中，地表围圈可用木和钢制作，其高度为 1.5~2.5m，顶部高出地面约 0.5m，并应牢固地锚拉于锚栓上，底部埋入地层内；埋设时位置应正确，与井壁距离应均匀一致，地表围圈外围应回填不透水土，分层夯实，其顶部应加顶盖、以防土石落入或流水冲蚀；

② 压浆管的布置可采用内管法和外管法两种。内管法是在井壁内预留孔道形成的，其间距为 3~4m，一般用于厚壁沉井；外管法是将压浆管布置在井壁内侧或外侧的墙上，间距为 3~4m，一般用于薄壁沉井；

③ 采用内管法或井内外管法应设置压浆孔道，其射口宜设在底节沉井台阶顶部处，射口方向与井壁周边须成 45°斜角；在射口处应设置射口围圈，防止压浆时直接冲射上壁和减少压浆孔出口处的填塞，射口围圈一般可用短角钢制作。

(2) 泥浆润滑套的泥浆，应具有良好的固壁性、触变性、胶体率和一定的防冻、防干涸、抗稀释性能，以适应不同地质情况和具体的施工条件。

常用配合比为：膨润土 35%~45%（可用较好土代用）；水 65%~55%。另加化学处理剂碳酸钠（ Na_2CO_3 ）0.4%~0.6%（按泥浆总重计）。

各种土层对泥浆指标要求的区别：砂夹卵石层宜用粘度大，静切力大，比重小的泥浆；粘土层宜用比重大，失水量小的粘土；各种砂土层宜用粘度大、静切力大的泥浆。

(3) 利用泥浆润滑套下沉沉井时，应满足下列要求：

① 设计若考虑摩擦力因素，不宜使用泥浆润滑套的施工方法；沉井下沉到设计标高或接近设计标高就位后，应压注清水清洗泥浆；当设计对沉井与土的固着作用有特殊要求时，可在沉井外围局部冲刷线以下压注凝结剂（如水泥、水玻璃双液浆等）予以处理，若沉井设计没有考虑土的固着作用时，可不考虑。

② 沉井下沉时应及时补充泥浆，保持浆面不低于地表围圈底面，同时应注意使井内

外水位相近，或井内水位略高。

③沉井下沉过程中，应随时注意调整偏斜，防止偏斜过大，挤坏泥浆套；弃土不得过于靠近，防止产生不均衡土压，挤垮地表围圈或造成土壁坍塌。

④不宜过多掏空刃脚下的土，防止造成通路，漏失泥浆。

⑤当泥面迅速下降，有漏失现象时，应压入流动度小，粘度及静切力大的泥浆，以稳定其流失现象；若泥浆仍继续流失，应使沉井下沉切断其通路后，再压稠浆。

⑥沉井底置于上层土时，应根据泥浆套实际效果及地层情况，提前停止压入泥浆，防止沉井已达设计标高后进行清底时，仍继续下沉难以控制。

(4) 对于孔隙大、易漏失泥浆的卵石、级配良好砾石和易于翻砂、坍塌而破坏泥浆的地层，不宜用泥浆套下沉沉井。

3. 用空气幕下沉沉井

空气幕的原理是从预先埋设在井壁四周的气管中压入高压空气，此高压空气由设在井壁上的喷气孔喷出，并沿井壁外表面上升溢出地面，从而在井壁周围形成一层松动的含有气体与水的液化土层，此一含气土层围绕沉井如同幕帐一般，故称之为空气幕。其主要构件有：

(1) 气龛，气龛凹槽的形状通常多用棱锥形。喷气孔则均为直径为 1mm 的圆孔。气龛的数量以每个气龛分担或作用的有效面积计算求得，其布置应上下层交错排列。气龛的有效作用面积可用 $1.3\text{m}^2/\text{个}$ （下部） $\sim 2.6\text{m}^2/\text{个}$ （上部）这一经验数字作为设计依据。

(2) 气管，为了安装与操作便利，常将井壁内的气管分成环形水平分配气管与垂直供气管两种。每层气龛宜设环形分配管一圈，每圈又宜分成 2 段或 4 段，以利高压空气直接通过气龛吹出井外。每根垂直供气管可连接两圈（层）环形分配管，将供气系统的压缩空气供给环形分配管。不论分配管还是供气管通常均用 25~30mm 的聚氯乙烯管或钢管。

(3) 压缩空气供气系统，压缩空气机、贮风筒及送风管道等的布置与一般压缩空气站相似。压缩空气的压力可按 1.6~2.5 倍的气龛最大入土深度的静水压力计算。供气量则按每个气龛耗气量 $0.02\sim 0.03\text{m}^3/\text{min}$ 计算确定。

空气幕的作用方式与泥浆套不同，它只在送气阶段才起作用，故只有当井内土挖空后沉井仍不下沉的情况下才压气促使沉井下沉。送风的顺序是由上而下的逐层开启气阀送风。而停止送风的顺序则与此相反，是自下而上的逐层关阀停风。

最近国外尚有用帷幕法下沉沉井的，其法是在沉井外壁预先埋设成卷的高分子强化薄膜，利用沉井的下沉力拉起展开薄膜，从而形成一贴紧井壁的帷幕。

第二节 沉井基底检验与封底

一、基底检验

1. 沉井沉至设计标高后，应检验基底的地质情况是否与设计相符，排水下沉时，可直接检验、处理；不排水下沉时，应进行水下检查、处理，必要时取样鉴定。
2. 基底应符合下列要求：
 - (1) 不排水下沉的沉井基底面应整平，且无浮泥。基底为岩层时，岩面残留物应清除干净，清理后有效面积不得小于设计要求；岩基底倾斜时，应符合 7.4.3 条的规定。井壁隔墙及刃脚与封底混凝土接触面处的泥污应予清除。
 - (2) 排水下沉的沉井，应满足基底面平整的要求，还应符合本规范的有关规定。
3. 沉井下沉至设计标高时，应进行沉降观测，满足设计要求后，方可封底。

二、沉井封底

1. 基底检验合格后，应及时封底。对于排水下沉的沉井，在清基时，如渗水量上升速度小于或等于 $6\text{mm}/\text{min}$ ，可按普通混凝土浇筑方法进行封底；若渗水量大于上述规定时，宜采用水下混凝土进行封底。
2. 用刚性导管法进行水下混凝土封底时，应满足如下要求：
 - (1) 混凝土材料可参照钻孔灌注桩水下混凝土有关规定，混凝土的坍落度宜为 $150\sim 200\text{mm}$ 。
 - (2) 灌注封底水下混凝土时，需要的导管间隔及根数，应根据导管作用半径及封底面积确定。
 - (3) 用多根导管灌注时的顺序，应进行设计，防止发生混凝土夹层。若同时浇注，当基底不平时，应逐步使混凝土保持大致相同的标高。
 - (4) 每根导管开始灌注时所用的混凝土坍落度宜采用下限，首批混凝土需要数量应通过计算确定。
 - (5) 在灌注过程中，导管应随混凝土面升高而徐徐提升，导管埋深应与导管内混凝土下落深度相适应。
 - (6) 在灌注过程中，应注意混凝土的堆高和扩展情况，正确地调整坍落度和导管埋深，使每盘混凝土灌注后形成适宜的堆高和不陡于 $1:5$ 的流动坡度，抽拔导管应严格使导管不进水。混凝土面的最终灌注高度，应比设计值高出不小于 150mm ，待灌注混凝土强度达到设计要求后，再抽水凿除表面软弱层。
3. 沉井封底，若为水下压浆混凝土时，应按设计要求施工。

第六章

地下连续墙
施工技术规范

第一节 施工技术规定

一、施工流程

1. 单元节段式地下连续墙宜按下列工艺流程进行施工：

划分单元节段、挖导沟、筑导墙、在导墙内充入护壁泥浆、机械挖槽、清底、吊放接头管（箱）、吊放钢筋骨架、安放导管、灌注水下混凝土、拔出接头管（箱）、邻段挖槽、邻段清底、邻段灌注水下混凝土，如此循环完成地下连续墙，最后回收及处理废泥浆。

2. 桩排式地下连续墙的工艺流程应按桩的构成方法和桩排间的土层处理方法确定。

二、设计文件

墙体深度超过 30m 时，应根据土层情况、槽沟形状、长度、宽度、护壁泥浆性能和施工方法等因素验算沟槽开挖临界深度。当缺乏经验和进行现场试验有困难时，可按下列式估算：

$$H_{cr} = NC_u / (K_0 r' - r'_1)$$

式中： H_{cr} ——沟槽的临界深度，m；

N ——条形基础的承载力系数，对于矩形沟槽 $N = (1 + B/L)$ ；

B ——沟槽宽度；

L ——沟槽的平面长度，m；

C_u ——土的不排水抗剪强度，MPa；

K_0 ——静止土压力系数；

r' ——土扣除浮力后的重度， kN/m^3 ；

r'_1 ——泥浆扣除浮力后的重度， kN/m^3 。

沟槽的坍塌安全系数，对于粘质土为：

$$K = (NC_u) / (P_{0m} - P_{1m})$$

对于无粘性的砂类土（内聚力 $C = 0$ ）的安全系数：

$$K = [2 (\gamma \gamma_1)^2 \text{tg} \phi] / (\gamma - \gamma_1)$$

式中： P_{0m} ——沟槽开挖面外侧的土压力和水压力，MPa；

P_{1m} ——沟槽开挖面内侧的泥浆压力，MPa；

γ ——砂类土的重度， kN/m^3 ；

γ_1 ——泥浆的重度， kN/m^3 ；

ϕ ——砂类土的内摩擦角， $(^\circ)$ 。

计算出的结果要求安全系数大于 1，否则，应采取如改变泥浆原料、调整外加剂类别和数量、提高泥浆性能指标等措施。

地下连续墙在灌注水下混凝土前必须以泥浆护壁挖掘槽坑，槽坑的横截面是两条直线，只靠护壁泥浆平衡部分土压力，故条文规定须作现场试验或进行槽坑临界深度的验算，验算结果不能通过时，可先进行改善提高泥浆性能指标，重新验算，如仍不能通过，则须作现场挖槽深度试验。

如设计方面已进行过挖槽临界深度验算，或施工单位过去在同类地层，用同样性能的泥浆，有挖掘同样槽坑深度的经验，可不进行挖掘临界深度的验算。

三、地下连续墙施工

地下连续墙应根据地质和邻近构造物情况、机械挖槽能力、起重吊装能力、灌注水下混凝土时混凝土扩布能力划分若干个单元节段，分段施工。一般单元节段长度宜为 5~8m；各单元节段之间，应设接头装置，应有保证地下连续墙承受荷载的整体性和防渗能力。每个单元节段可由 2~3 个开挖段组成。

各单元节段间的接头装置，应避免设在地下墙平面转角处或地下墙与内部结构的连接处。

第二节 导墙施工

一、导墙技术要求

1. 用泥浆护壁挖槽构成的地下连续墙应先构筑导墙。导墙应能满足地下连续墙的施工导向、蓄积泥浆并维持其表面高度，支承挖槽机械设备和其他荷载，维护槽顶表土层的稳定和阻止地面水流入沟槽。

2. 导墙的材料、平面位置、型式、埋置深度、墙体厚度、顶面高度应符合设计文件要求。当设计文件未规定时，应符合以下要求：

(1) 导墙宜采用钢筋混凝土材料构筑。混凝土等级不宜低于 C20。

(2) 导墙的平面轴线应与地下连续墙轴线平行，两导墙的内侧间距宜比地下连续墙体厚度大 40~60mm。

(3) 导墙型式根据土质情况可采用板墙形、□形或倒 L 形。墙体厚度应满足施工要求。

(4) 导墙底端埋入土内深度宜大于 1m。基底土层应夯实，遇有特殊情况须作妥善处理。导墙顶端应高出地面，遇地下水位较高时，导墙顶端应高于地下水位，墙后应填土与墙顶齐平，全部导墙顶面应保持水平，内墙面应保持竖直。

(5) 导墙支撑应每隔 1~1.5m 距离设置。

3. 导墙施工除按照本规范有关规定执行外，还应符合下列要求：

(1) 导墙要求分段施工时，段落划分应与地下连续墙划分的节段错开。

(2) 安装预制导墙块时，必须按照设计施工，保证连接处质量，防止渗漏。

(3) 混凝土导墙在浇筑及养护时，重型机械、车辆不得在附近作业行驶。

二、导墙的质量标准

导墙平面轴线应与地下连续墙的平面轴线平行，允许偏差为 10mm。导墙内墙面应竖直，顶面应水平。两导墙内墙面间的距离允许偏差为 5mm，导墙顶面高程允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

1. 导墙的作用是保证槽坑从开挖到浇筑混凝土全过程中不坍塌、不漏浆，否则施工将难以进行。所以导墙的设置要稳定、不下沉、不变形，施工过程中钻机要避免碰撞导墙。在土质差的情况下，埋置深度应适当加深，放置机械的地方应换填土，表面用草袋装土码放，用垫木分散机械的重力，以免应力集中，破坏孔口土体的稳定。导墙有时还要用来固定钢筋笼，承受钢筋笼的重力，所以设置导墙时对导墙的可靠性上要留有余地。

2. 安装预制导墙块时，必须按照设计施工，保证连接处质量，满足传递应力、防止渗漏的要求。其他工序施工要求和注意事项与现浇导墙相同。

3. 地下连续墙墙体混凝土浇筑完成后，导墙是否需要继续保存或予以拆除应按照设计文件执行。

第三节 地下连续墙施工

一、技术要点

1. 地下连续墙的沟槽施工，应根据地质情况和施工条件选用能满足成槽要求的机

具与设备。

2. 桩排式地下连续墙的主要施工工艺和技术要求可按本规范有关规定执行。桩排间的土层可压注化学溶液或水泥浆予以加固和防渗透,可按本规范有关规定执行。

3. 槽壁式地下连续墙的沟槽开挖应符合下列要求:

(1) 开挖前应按已划分的单元节段,决定各段开挖先后次序。挖槽施工开始后应连续进行,直到节段完成。

(2) 成槽机械开挖一定深度后,应立即输入调制好的泥浆,并宜保持槽内泥浆面不低于导墙顶面 300mm。配制优质泥浆,起到良好的护壁作用是成槽的关键,重复使用的泥浆若性质变化,应进行再生处理或舍弃。

(3) 挖掘的槽壁及接头处应保持竖直,接头处相邻两槽段的挖槽中心线在任一深度的偏差值不得大于墙厚的 $1/3$ 。槽底高度不得高于墙底设计高度。

(4) 挖槽时应加强观测,如槽壁发生坍塌时,应查明原因,采取相应措施,妥善处理。对于严重大面积坍塌,应提出挖槽机械后,填入较好的粘质土,必要时可掺拌 10%~20% 的水泥,回填至坍塌处以上 1~2m,待沉积密实后再进行挖掘。对局部坍塌,可加大泥浆相对密度和粘度,已坍入的土块宜清理后再继续挖掘。

(5) 挖掘时如遇到槽沟偏斜等故障,应查明原因,采取措施,予以排除。

(6) 槽段开挖达到槽底设计标高后,应对成槽质量进行检查,符合有关规定后,方可进行下一工序清底、换浆。

(7) 挖槽施工应做好施工记录,妥善处理废弃泥浆及钻渣,防止环境污染。

4. 槽段清底工作应在吊放接头装置之前进行。清底工序包括清除槽底沉淀的泥渣和置换槽中的泥浆,清底应按下列技术要求办理:

(1) 清底之前应检测节段平面位置、横截面和竖面。如槽壁竖向倾斜、弯曲和宽度不足等超过允许偏差时,应进行修槽工作,使其符合要求。节段接头处应用刷子或高压射水清扫。

(2) 清底工作宜根据设备条件采用抓斗排渣法、反循环泥浆泵排泥法、潜水电泵排泥法、空气升液排泥法等。

(3) 清理槽底和置换泥浆工作结束 1h 后,应进行检验,槽底以上 200mm 处的泥浆相对密度不应大于 1.15,槽底沉淀物厚度应符合设计要求。

5. 施工接头应符合设计要求,当设计无规定时,可按下列规定办理:

(1) 对受力和防渗要求较小的施工接头,宜采用接头管式接头。当初期的单元节段开挖完成并清底后,应用吊机将钢制接头管竖直吊放入槽内,紧靠单元节段两端,接头管底端应插入槽底以下 100~150mm,管长应略大于地下连续墙设计值。接头管可分节于管内用销子连接固定。管外平顺无突出物,管外径宜比墙厚小 50mm。此后可进行吊放钢筋骨架、灌注水下混凝土工序。灌注水下混凝土时,应经常转动及小量提升接头管。待混凝土初凝后将接头管拔出,拔管时不得损坏接头处的混凝土。

(2) 对受力、防渗和整体性要求较大的接头装置宜采用接头箱式或隔板式接头。接

头箱式其吊放的钢筋骨架一端带有堵头板，堵头钢板向外伸出的水平钢筋可插入接头箱管中，灌注混凝土时，由堵头板挡住，使混凝土不流入接头箱管内。混凝土初凝后，逐步吊出接头箱管，先灌节段骨架的外伸钢筋可灌入邻段混凝土内。

(3) 当地下连续墙设计与梁、承台或墩柱连接时，应于连接处设置结构接头。结构接头的型式应按照设计规定。施工时应在连接处按照设计文件埋设连接钢筋，待墙体混凝土灌注并凝固后，开挖墙体内侧土体，并凿去混凝土保护层，露出预埋钢筋。将其弯成所需形状，与后浇的梁、承台或墩柱的主钢筋连接。

6. 地下连续墙钢筋骨架的制作和吊放除应按规定办理外，还应符合下列规定：

(1) 钢筋骨架应根据设计图和单元节段的划分长度制作，并宜在工地的工作台上试装配成型，骨架中间应留出上下贯通的导管位置。

(2) 吊放钢筋骨架时，必须使骨架中心对准单元节段中心，竖直不变形并准确地下放插入槽内，不得使骨架发生摆动。

(3) 全部钢筋骨架入槽后，应固定在导墙上，并使骨架顶端高度符合设计要求。

(4) 当钢筋骨架不能顺利插入槽内时，应重新吊起，查明原因，解决后，重新放入，不得强行压入槽内。

7. 灌注水下混凝土时，应符合下列要求：

混凝土拌和物应采用导管法灌注。单元节段长度小于 4m 时，可采用 1 根导管灌注；单元节段长度超过 4m 时，宜采用 2 或 3 根导管同时灌注。采用多根导管灌注时，导管间净距不宜大于 3m，导管距节段端部不宜大于 1.5m。各导管灌注的混凝土拌和物表面高差不宜大于 0.3m。导管内径不宜小于 200mm。

二、补充条例

1. 地下连续墙的沟槽必须采用成槽机械施工，根据地质情况和施工条件可选用挖斗式、冲击式或回转式挖槽机。

2. 采用挖斗式挖槽机施工时，宜选用挖斗上部安装有导向装置的。整机宜装设在履带式起重机上。挖斗的放落、上提可采用钢索式、油压式或导杆式。挖斗宜采用蚌式抓斗，抓斗的宽度应与墙体设计宽度相适应，一般为 0.45 ~ 1.2m，抓斗张开时，斗齿距离宜为 2.5 ~ 2.7m。

蚌式抓斗挖槽机适用于一般土层，对卵石、漂石紧密地层不适用。挖槽前应先于槽底钻两个导孔，孔径、深度与地下连续墙的厚度、深度相同，两孔中心距离与抓斗张开时的齿距相同。

对于直径小于 0.6m、深度小于 20m 的导孔，宜采用螺旋钻机；直径大于 0.6m、深度大于 20m 的导孔，宜采用反循环单钻头回转钻机施工。冲击挖槽机适用于卵石、漂石或软岩层。

3. 冲击式挖槽机分为实心锥式、管锥式和带泥浆循环吸渣式。

实心锥式成槽机适用于包括大卵石、漂石、岩石的各种地层，冲碎的碴屑需用掏渣

筒掏出来。管锥成槽机适用于除上述三种地层外的一般地层，锥管外切刃的直径与地下墙的厚度相同。先挖单孔到底后，将锥头移位 $2/3$ 的孔距，从地面往下冲挖，直到单元节段内的沟槽挖成。

带泥浆循环吸渣式挖槽机，系将正、反循环系统装设在冲挖锥头系统上部。下部的冲击锥将地层破碎成细块渣土后，利用上部循环系统将泥渣夹在泥浆中悬浮出槽（正循环）或经管道由地面的吸泥泵或由空气吸泥机抽吸上升出槽。适用于一般土层。每次钻挖沟槽长度与前两种冲击式挖槽机相同。

4. 回转式挖槽机分为单头钻锥和多头钻锥两种，均采用潜水电钻反循环出渣。前者适用于除卵、漂石地层外的一般地层，多用于钻导孔。后者装设 $5 \sim 7$ 个牙轮钻锥，按直线双层排列。锥头上部装设有导向板，并设有电子测斜纠偏和自动进成槽装置。适用于一般地层和卵石地层。一次能钻挖槽孔的宽度、长度为 $0.6 \sim 1.2\text{m}$ 、 $2.0 \sim 3.5\text{m}$ 。

5. 槽壁式地下连续墙的沟槽开挖时应按下列技术要求办理：

(1) 开挖前应按已划分的单元节段，确定各段开挖先后次序。一般是按一、三、五和二、四、六段的次序开挖。每单元节段可根据采用的成槽机械类别，再分为若干个开挖段先后开挖或同时开挖。挖槽施工开始后应连续进行，直到节段完成。

(2) 采用蚌式成槽机挖槽时，一般需先钻两个导孔，采用其他成槽机械时，无需先钻导孔，可按照机械能挖掘的沟槽长度，一次将挖掘段挖到地下墙设计深度，再移位到下一开挖段挖掘，如此连续进行，直到完成单元节段。

(3) 两导墙间的临时支撑在节段开挖前应予以拆除。

(4) 成槽机械开挖一定深度后，即可输入调制好的泥浆。随着挖掘的深入应随时补充泥浆，使泥浆在导墙内达到规定的高度。采用循环式成槽机械挖掘时，应按前述规定先完成泥浆循环系统所需的泥浆池、沉淀池和相应的渠道或振动筛、旋流器等机械分离设备。

(5) 挖槽施工应做好施工记录，内容包括地下连续墙位置、挖槽机械、地下连续墙墙底高程、墙体宽度、单元节段编号、节段长度、本班挖槽长度、竖直度等。

6. 地下连续墙挖槽施工对泥浆的要求比钻孔灌注桩高，槽壁的稳定主要靠泥浆来实现。使用泥浆护壁注意事项如下：

(1) 地下连续墙挖槽时的护壁泥浆主要材料宜选用膨润土、外加剂，使用前应进行泥浆配合比试验。

如采用其他粘质土时，应对其进行物理、化学分析和矿物鉴定。其粘粒含量应大于 50% ，塑性指数大于 20 ，含砂量小于 5% ，二氧化硅与三氧化二硅含量的比值宜为 $3 \sim 4$ 。

(2) 根据地质和水文情况，泥浆中除主要原料和水外，尚应按照需要添加分散剂、增粘剂、防漏剂和加重剂等外加剂。各种外加剂的性能和掺入数量见本规范附录 C-1。

(3) 地下连续墙挖槽护壁泥浆的试验方法见本规范附录 C-2。

(4) 挖槽前泥浆储备的数量宜按沟槽总体积、超挖数量和由于泥浆发生质变而废弃

的损失数量等确定，据此经过试配后确定泥浆原料和外加剂数量。

(5) 挖槽施工期间，槽内泥浆面必须高于地下水位 0.5m 以上，亦不宜低于导墙顶面 0.3m。

(6) 如地下水含有盐分或泥浆受到化学污染，应掺入分散剂，维护泥浆性能。

(7) 在挖槽过程中每一节段内，静止泥浆每挖深 5m 时，应从槽内上、中、下三处抽取泥浆试样；循环泥浆应从沉淀池或浆、渣分离后的入槽处取泥浆试样，对相对密度、粘度、含沙率、失水量和泥皮厚度进行试验；必要时还应对稳定性、pH 值进行试验。当试验的结果不符合规定时，应采取掺入不同的外加剂或膨润土粉粒等方法进行处理，处理后仍不符合要求时，该部分泥浆应予废弃，更换合格泥浆。

(8) 泥浆循环回收后，应采用沉淀池、振动筛、旋流器等将土渣与泥浆分离，使泥浆净化再生处理后重复使用。

(9) 无法回收使用的废泥浆不得随地淌流，应使用化学方法或机械方法进行泥、水分离处理。

三、注意事项

1. 应注意对地下连续墙使用的施工接头，在插放前进行检查，如管、箱构件的尺寸、形状、竖直度、长度等，这些项目应符合设计要求，插放、连接应顺利，吊装、拔起设备的能力应满足吊、拔要求，否则应修改或更换。

接头管、箱插放到位后，应检查并保证其插放平面位置和深度正确，接头管连接处顺直无偏斜；接头管、箱外面靠墙壁处紧密，否则应予修正或拔出重新插放。

采用拔出式接头管接头时，应做水下混凝土凝结状态试验，制定拔、转接头管的适当时间表。

2. (1) 在放入钢筋骨架之前，必须清除槽底沉淀至规定要求，并认真刷除节点连接处吸附的泥皮。

(2) 钢筋骨架应在胎具上制作，并应在吊运时不致产生不可恢复的变形。钢筋交错点数的 50% 宜用点焊固定。钢筋笼的临时绑扎铁丝在入槽前必须全部拆除，避免在绑扎铁丝上凝成泥球而影响混凝土质量。

(3) 钢筋骨架宜按节段长度和墙体深度制成整体。当受设备的起重能力限制时，可分层制作、分层吊放、连接，起吊时应配置好起吊的辅助钢筋（型钢）骨架，以确保钢筋不变形。

(4) 分层制作的钢筋骨架，其下层骨架应先竖直悬挂在导墙上，然后将上层骨架竖直吊起，将上下两层骨架的竖向主筋对准后，应成直线焊接或采用连接器连接。焊接时应采用搭接焊，搭接长度应符合钢筋焊接规程有关规定。

(5) 钢筋骨架的纵向主筋宜设在横向箍筋的内侧。竖向主筋底端应稍向内弯折，吊放时，底端应距槽底面 0.1~0.2m。竖向各主筋之间，应焊有斜撑钢筋。钢筋外围的混凝土保护层垫距，采用钢筋环时应焊在纵向主筋上，亦可采用混凝土块及泡沫苯乙烯塑

料块捆扎在主筋上作垫距。

(6) 钢筋骨架横向端面与接头钢管间或与混凝土接触面之间应留出 0.15 ~ 0.20m 空隙。主筋保护层厚度宜为 70 ~ 80mm。保护层垫层厚宜为 50mm，垫块与墙面之间应留出 20 ~ 30mm 空隙。

(7) 起吊钢筋骨架应使用横吊梁或吊架。吊点布置和起吊方式要合理，应避免起吊时引起骨架变形。骨架下端可系以曳引绳，引导骨架入槽。

(8) 吊放钢筋骨架时，必须使骨架中心对准单元节段中心，竖直并准确地放入槽内，不得使骨架发生摆动。

(9) 全部钢筋骨架入槽后，用横杆穿搁在导墙上，并应使骨架顶端高度符合设计要求。

第七章

沥青路面 施工技术规范

第一节 沥青混凝土面层

一、概述

1. 沥青路面是用沥青混合料铺筑的各种类型的路面，按不同道路的等级分类，面层的层数不同。一般快速路、主干路采用三层式面层，其上层为抗滑层，各层均采用热拌沥青混合料。主干道以下道路为二层式或一层式面层。可采用热拌沥青混合料或沥青碎石。无论何等级路面至少设一层Ⅰ型密级配沥青混合料，以防止雨水下渗。

2. 沥青面层大体可以分成四种类型：热拌沥青混合料路面、沥青表面处治路面、沥青贯入式路面和乳化沥青碎石混合料路面。热拌沥青混合料路面多用于快速路，主干道的二、三层式路面；沥青表面处治路面用于防滑面层、支路及旧沥青路面、人行道罩面或磨耗层；沥青贯入式路面用于次干路沥青路面的联结层；乳化沥青碎石混合料路面可作为支路面层和整平层。无论使用哪种类型，都必须严格按照规定的气候分区选择沥青标号及结构形式。

3. 热拌沥青混合料的形式又分为：微粒式、细粒式、中粒式、粗粒式等。

二、沥青

沥青质量严格要求进行控制，任一指标不满足要求可视为不合格产品。

三、沥青混合料设计

1. 目标配合比设计马歇尔方法

目标配合比设计是采用已经选定的原材料，进行满足施工技术规范及设计要求的配合比设计。

对所采用的集料按四种材料规格划分进行筛分，并进行矿料级配计算，用计算的配合比例来进行室内试验，确定最佳油石比（混合料中沥青与矿料用量的重量比）。

2. 生产配合比

生产配合比设计是根据目标配合比设计的各种集料的百分率及最佳油石比，用到达现场的原材料来调整冷料仓进料比例，以达到供料均衡的目的。

因此我们依据目标配合比确定级配比例和最佳油石比，按照级配比例确定冷料仓调速电机转数比，保证各种规格矿料以均匀速度上料，通过拌和机滚筒加热至规定的温度 $165 \sim 185^{\circ}\text{C}$ 。经再拌和机的二次筛网筛分，进入拌和楼的四个热料仓，通过筛分提取热料仓材料，进行各热料仓的筛分，计算出各热料仓的百分比例，用目标配合比设计的最佳油石比用量，进行三个沥青用量的马歇尔试验，以验证目标配合比是否满足设计的要求。

四、沥青混合料生产

1. 生产控制

(1) 冷料控制

- ①对各冷料仓的调速电机转数比进行标定，找出各上料比例的关系曲线。
- ②设定冷料仓开口尺寸，开口尺寸要保持一致。
- ③装载机上料操作手培训上岗。

(2) 拌和控制

- ①开机前首先标定集料秤、沥青秤和填料秤，使其达到要求规定的精度。
- ②操作手应经培训上岗。
- ③电脑自动操作，切忌手动打料。
- ④每盘料要附有打印记录。

(3) 拌和温度控制

沥青加热温度 $150 \sim 170^{\circ}\text{C}$ ，集料加热温度 $160 \sim 180^{\circ}\text{C}$ ，沥青混合料出厂温度 $140 \sim 165^{\circ}\text{C}$ ，运输到现场温度不低于 120°C 。

(4) 拌和时间

沥青混合料在拌和过程中，拌和时间短，集料不能被沥青完全裹附，出现花白现象，时间过长容易使沥青老化，因此选择最佳的拌和时间为 $30 \sim 50\text{s}$ （其中干拌时间不得少于 5s ）为宜。

2. 影响沥青混合料质量的因素

(1) 集料质量与规格的稳定一致是沥青路面质量关键保证。

(2) 拌和设备的性能与状态是影响沥青混合料质量的关键因素之一，需重点检查的部位：

①冷料输出量的检查，对每个冷料仓进料器和开口处要经常检查，以防有大块石料堵住阀门口而影响集料的流速比例。

②沥青输出量的检查，在沥青喷出口接一根导管，使沥青喷入已知重量的称量缸内，称出质量，实际输出量与计量器数量比较，调整计量器误差。

③对计量秤的检查，在开机前要求对集料秤、结合料秤、填料秤进行标定，一般对

沥青秤和填料的计量标定可加载 20kg，加载或卸载多次，对集料秤的检定可加载 600kg 以上。

④温度计的检查，温度计是进入振动带入口处的温度检测，对装置在沥青缸的沥青温度测量器和热料仓溜料口处的温度测量器经常检查和标定，以保证温度读数的正确性。

五、沥青面层施工技术

1. 施工准备

(1) 沥青面层施工前要完成基层的检查验收工作，检验项目包括纵横断高程、横坡、路面宽度、中线偏位、平整度，作好原始记录。

(2) 基层存在有松散、高程偏高或偏低的情况应采取相应的铣刨、补衬等修整处理。

(3) 机具配置

机具配置包括全部机械设备和机具的配制，机具配置需要根据工程的特点、规模，工程情况及设计要求而定。如路面设计宽度是标准断面，可选用熨平板为拼装加长组合式摊铺设备。路面设计宽度变化频繁，路口较多的城市道路，可选择可调节熨平板的摊铺设备。

碾压设备的配置要依据沥青混合料施工摊铺效率，合理安排调配碾压设备的类型，通过计算合理确定需配置设备的数量，从而保证碾压机具能够满足所有摊铺面碾压密实。同时要有小型的碾压机具，补充边角和结构物处的碾压，辅助设备有：沥青洒布机、装载机、油车和水罐车，其他施工检测工具有：竹筓、油刷、夯板、方孔筛（13.2mm）、扫帚、方锹、3m 直尺、温度计、盒尺等。

2. 沥青混合料运输

(1) 根据施工现场到混合料拌和厂的运距远近来确定混合料 10t 吨位的自卸运输车辆的配制数量，以保证不间断施工。

(2) 混合料运输前，运输车辆车厢要保证清洁。装料前在厢底部喷洒适量的柴油水（柴油与水的比例通常为 1:3）做隔离剂（车厢底部不得有积液），运输过程中加盖苫布保温，混合料运到现场温度不低于 120℃。

(3) 全部运输车辆应选择性能良好的优质车，勿用带病车辆，谨防超载运输，以免在运输过程中车辆出现故障，延误时间，使得混合料降温。

(4) 在摊铺施工过程中，运输车应在距行走中的摊铺机 10~30cm 地方停机挂空档，不得撞击摊铺机，有专人指挥，待摊铺机接触到运料车车尾时，开始起斗卸料，运料车由摊铺机推行前进。

(5) 开始摊铺时在现场等候的车辆不宜少于 5 辆，以保证连续摊铺。

3. 摊铺

(1) 摊铺方法：根据路面设计宽度选择摊铺机的类型，并设定摊铺机的台数，确定

每台摊铺机的摊铺宽度。对快速路与主干道等宽度较大的路面宜用两台或两台以上摊铺机呈阶梯作业。摊铺方法视具体情况而定，一般情况下，下面层施工宜采用弦线法，双侧或单侧布设基准钢丝线，控制摊铺厚度，调整高程。在基层表面平整度较好的情况下，下面层摊铺可用基准平衡梁，控制摊铺厚度和平整度，中上面层施工可用移动平衡梁，保证摊铺厚度，削减路面不平度。当混合料供应能满足不间断摊铺时，也可采用全宽度摊铺机一幅摊铺，表面层尤宜采用。

①弦线法

- a. 从施工段起点开始，当断面设计距为 25m，每 6.25m 打设一根铁支架，分别在上下口边线外侧 30cm，将铁支架大打入地下，使其牢固。
- b. 挂线时，要把每根钢丝线与铁支架近似在一条直线上。
- c. 用水准仪给出上下口铁支架横杆的路面设计高程（加上一个定值），观测误差值不能超过 2mm，铁支架横杆的高程全部给定后，旋紧螺栓张力钢丝，钢丝线张拉后将两端牢固固定，张拉力为 80~100kg。
- d. 将张紧的钢丝线挂在铁支架横杆端点的凹槽里，并用细铁丝将其绑扎横杆上，以防钢丝脱落。
- e. 按摊铺机布置的位置，打设一条或两条摊铺机行走的导向线，引导摊铺机铺筑沥青混凝土层线形保持不偏移。

②基准平衡梁

- a. 打出一条或两条白灰线，作为摊铺机行走引导线，一台摊铺机摊铺需要两组平衡梁，两台摊铺机需要三组平衡梁。
- b. 平衡梁安装必须保持与熨平板成直角。
- c. 行走轮与混合料的接触面要涂抹隔离剂。

(2) 摊铺

①对选定的摊铺机在作业前要全面试车检查，重点检查熨平板预热情况及电脑传感装置等，如若发现问题应及时抢修和调整，在整个施工过程中，应尽量做到全部施工设备机械性能处于良好状态，保证工程的施工质量。

②摊铺机就位后，根据确定的松铺系数，给出摊铺层的松铺厚度，用多层木垫板垫起熨平板。沥青混合料的松铺系数应根据实际的混合料类型、施工机械和施工工艺等，由试铺试压方法或根据以往实践经验确定。

③调整摊铺机横坡度控制仪，使其与路面设计横坡一致，依据两侧基准线，将电脑传感器上的“弓”字架放置在张紧的钢丝线上。

④摊铺机熨平板预热就绪后，待运料车等足一定数量（根据摊铺速度、宽度、厚度、运距等参数，一般 5~10 辆）现场有专人指挥运料车喂料，开动输料器待两侧熨平板前喂足料后开始摊铺，以 3~5m/min 的速度匀速前进。在确定摊铺速度时应考虑与拌和能力、碾压效率相匹配。

⑤每天施工摊铺开始运行 2~3m 后，检测人员要快速检测横坡、高程、厚度等参

数，以便及时调整摊铺机的工作状态，以能够达到最佳的摊铺效果。

⑥摊铺机的熨平手应始终注意熨平板的工作状态，若发现摊铺高程有问题时，需要重新调整摊铺厚度，但应在一定的距离范围调整，保证满足 $< 3\%$ 的纵坡差，在摊铺过程中，尽量使用摊铺机的自动调平装置。

⑦对于局部混合料碾压后明显离析、摊铺后有明显纵缝或是有拖痕的地方后，可由人工做局部处理或筛细料点补，情况严重时要清除更换新料，若两台摊铺机摊铺，相隔间距不要过大，应保持在 30m 以内，摊铺带应重叠 5 ~ 10cm，保证摊铺混合料纵缝全部热接。

⑧摊铺过程中尽量避免停机待料，停机时间过长，混合料冷却时应抬起熨平板，来料后重新开始施工，上下两层摊铺施工纵缝要错开 15cm 以上。

⑨在摊铺过程中，料斗进料口应完全打开，摊铺机螺旋送料器应不停顿地转动，速度不宜太慢，并保持有不少于送料器高度 $2/3$ 的混合料，保证在摊铺机全宽度断面上不发生离析，熨平板仰角调整正常后，不易随便改变。

⑩用机械摊铺的混合料，不应用人工反复修整。只有当出现下列情况时，可用人工做局部修整或更换混合料：

- a. 横断面不符合要求时；
- b. 构筑物接头部位缺料时；
- c. 摊铺带边缘局部缺料时；
- d. 表面明显不平整；
- e. 局部混合料明显离析；
- f. 摊铺机后有明显拖痕。

人工修整时要有技术主管人员指导下进行，缺陷较严重时，应予以铲除更换新料，工人不宜站在热混合料层面上操作。

4. 碾压

碾压工作分三个阶段来完成：初压、复压和终压。

①初压：初压应在混合料摊铺后较高温度下进行，并不得产生推移、裂纹，用双钢轮振动压路机碾压，前进时不挂振（在不用料情况下适时可挂振），后退时挂振，碾压速度 25 ~ 35m/min，最大速度不得超过 80m/min，若用钢胶组合压路机，可前后挂振碾压。

②复压：复压紧接初压进行，用双钢轮振动压路机往返振动碾压，碾压速度为 80m/min，碾压两遍，根据摊铺层的厚度采用适当的振幅和振频，在用轮胎压路机碾压两遍，碾压速度为 70m/min，最大不超过 130m/min，根据碾压压实情况适当增加碾压遍数。复压要紧跟初压进行，复压应在混合料温度 90°C 以上完成全部碾压工作，碾压遍数为 4 ~ 6。

③终压：用双钢轮压路机静压 1 ~ 2 遍，碾压速度 80 ~ 100m/min，终压主要是消除轮胎压路机的碾压轮迹，追加混合料的密实度，同时尽量修整路面的不平度，必要时局

部碾压可加振。钢轮压路机的碾压终了温度应不低于 70℃。

5. 工作缝

(1) 横缝：每天施工结束时，摊铺机熨平板慢慢抬起，驶离现场，用机械和人工将端部混合料铲齐后再碾压，然后用 3m 直尺检查平整度，将端部平整度不好、厚度不足的部分垂直刨除预留立茬横接，以便第二天摊铺作业。继续施工时，摊铺前先用检测工具检查平整度和压实厚度不合格的部位仍继续切割清除。相邻两幅及上下层的横向接缝均应错位 1m 以上为加强新旧混合料的粘结，应在摊铺前在端部涂刷粘层沥青。

摊铺机就位后，由测量人员给出虚铺高度，用木垫板垫起熨平板，开始摊铺时挂微振，速度放慢，待摊铺一切正常后，可按设定的摊铺速度摊铺。

碾压横缝一般先横压、后纵压，在施工中常采用纵向碾压后再横向碾压或是斜向“八字”压法，有一定效果。

(2) 纵缝：用两台摊铺机施工时纵缝应全部采用热接，前面摊铺机铺筑部分应留下 10~20cm 暂不碾压，作为后面摊铺机摊铺高程和厚度控制的基准面，双幅摊铺后一起碾压。

第二节 改性沥青混凝土面层施工

一、概述

随着国民经济的不断发展，国家对交通运输的需求不断增加。我国在道路建设上取得了令人瞩目的成就，也取得了长足发展，但整体上仍不能满足社会经济发展的需求，道路质量的通病仍没有根除，我们仍看到不少道路沥青路面使用不久就出现了损坏。

新建道路沥青路面产生早期损坏的原因，主要是由于筑路材料和施工方面的原因而导致。20 世纪 80 年代以来，我国陆续从国外引进先进的施工机械如拌和机、摊铺机、压路机、甚至大型运输车辆，并已经在工程施工中大量使用，使得道路工程施工水平有了很大提高，可以说与世界先进水平的差距正在缩小。但是从目前我国高等级道路面层设计与施工的现状来看，普通沥青混合料的性能已不能满足高等级道路的要求，因此使用改性沥青混合料成为提高路面质量和使用寿命的重要手段。

所谓改性沥青，是指“掺加橡胶，树脂，高分子聚合物，磨细的橡胶粉或其他填料等外掺剂（改性剂），使其性能加以改善而制成的沥青”，“改性剂是指在沥青中加入的天然的或人工的有机或无机物材料”，可熔融、分散在沥青中，改善或提高沥青性能的材料。

1. 改性沥青混合料的面层施工，关键掌握一点：即通过试验提供所使用改性沥青的粘温曲线指导沥青混合料的生产及摊铺、压实，通常在规定的普通沥青混合料施工温

度的基础上提高 10 ~ 20℃。

2. 改性沥青混合料面层正式开工前，必须铺筑 100 ~ 200m 试验路段，进行改性沥青混合料的试拌，试铺和试压，并据此制定正式的施工程序。

试验路试验应开展如下工作：

确定拌和温度、拌和时间、验证矿料级配和沥青用量。

确定摊铺温度和摊铺速度。

确定初压温度、复压温度和终压温度，压路机类型组合，压实工艺及压实遍数。

检测试验路施工质量，不符合要求时及时找出原因，采取纠正措施，重新铺筑试验路，直到满足要求为止。

3. 气温低于 10℃时，不得进行改性沥青混合料面层施工。

二、材料

1. 基质沥青

(1) 改性沥青混合料中沥青必须采用符合重交通道路沥青技术要求的沥青，以保证有足够的高温稳定性和低温韧性。

(2) 选择基质沥青的标号时，应根据当地气候条件，交通情况。主要希望提高高温性能的路段，基质沥青的标号宜为当地同类道路使用的沥青标号，希望提高低温性能的路段，基质沥青的标号宜为针入度大一等级的沥青。

2. 改性剂

道路改性沥青使用的改性剂，一般分为三类。

(1) 热塑性橡胶类，又称热塑性弹性体，兼具橡胶的弹性和热塑性，主要是聚氨酯，聚醚——聚酯共聚物，聚丙烯，苯乙烯类嵌段共聚物四大类，其中苯乙烯嵌段共聚物作为道路沥青的改性剂具有最大潜力。其代表性产品苯乙烯——丁二烯——苯乙烯 (SBS) 由于具有良好的弹性，成为目前世界上最为普遍使用的道路沥青改性剂。

(2) 橡胶类，如天然橡胶 (NR) 丁苯橡胶 (SBR) 氯丁橡胶 (CR) 丁二烯橡胶 (BR) 异戊二烯 (IR) 乙丙橡胶 (EPDM) 丙乙烯异戊二烯橡胶 (SIR) 等等，其中 SBR 是应用广泛的改性剂之一。

(3) 树脂类：热塑性树脂，如乙烯——乙酸乙烯酯共聚物 (EVA) 聚乙烯 (PE) 无规聚丙烯 (APP) 聚氯乙烯 (PVC) 聚苯乙烯 (PS) 等。

3. 改性剂的选择应遵循如下原则：

(1) 根据拟改善的路面性能，作如下初步选择。

①为提高抗永久变形能力，宜使用热塑性橡胶类或热塑性树脂类改性剂。

②为提高抗低温开裂能力，宜使用热塑性橡胶类或橡胶类改性剂。

③为提高抗疲劳开裂能力，宜使用热塑性橡胶类、橡胶类或热塑性树脂类改性剂。

④为提高抗水损害能力，宜使用各类剥落剂等外掺剂。

(2) 考虑改性剂处理与贮存条件，生产与施工方法的难易程度及对基质沥青与集料的要求。改性剂供应商应提供产品的名称、代号、标号与质量检验单及运输、贮存、使用方法和涉及健康、环保、安全等有关资料。

目前 SBS 改性沥青的效果主要用针入度，软化点，黏度，脆点，弹性恢复率等描述，欧洲的研究表明，在沥青中掺入 3% ~ 10% 的 SBS，可改进沥青的一系列性质。它可使沥青的软化点和黏度提高，但 150℃ 以上施工温度的黏度却与原样的沥青相近。它还可以在低于脆点温度时仍具有柔性，使沥青的韧性增加，改善低温性能采用搅拌方法混溶 SBS 在 177℃ 下需 2h，如采用高剪切混溶器可缩短到数分钟，从而避免沥青长时间高温加热，而且 SBS 不会降解，如果在高温下长时间贮存，应采用 1% 左右的抗氧化剂。

4. 集料与填料

改性沥青混合料应用的集料、填料的技术要求与普通沥青混合料的技术要求相同。但我国常将改性沥青混合料用于抗滑面层，此时粗集料宜选用玄武岩、安山岩等磨光值高于 44 的硬质石料。细集料宜用此类岩石加工的人造砂。

(1) 粗集料

① 用于沥青混合料面层的粗集料宜采用碎石或破碎砾石，其粒径规格按《公路沥青路面施工技术规范》要求。

② 粗集料应洁净、干燥、无风化、无杂质、具有一定硬度和强度其质量应符合《公路沥青施工技术规范》的规定。

③ 粗集料应具有良好的颗粒形状，沥青路面的抗滑性能与沥青结合料的粘附性和粗集料的棱角性有很大关系。因此，破碎砾石用于快速路、主干路面层时应采用较大颗粒的砾石破碎，并至少有两个以上的破碎面，碎石则不宜采用颚式破碎机加工。

④ 石料中的粉尘通过烘干降尘进入石粉仓对沥青混合料的指标有一定的影响，而目前我国大多数沥青混合料拌和设备的生产情况还不能做到彻底不用回收粉尘，所以必须控制石料中的泥土含量。

⑤ 用酸性石料要进行其与沥青的粘附性的试验。一般来说，采用改性剂可改善结合料与酸性石料的粘附性。

(2) 细集料：细集料采用坚硬、洁净、干燥、无风化、无杂质并有适当级配的优质天然砂或机制砂，若条件不具备，也可用硬质石料（玄武岩、安山岩等）生产的机制砂替代天然砂，细集料应与沥青有良好的粘结能力，与沥青粘结性很差的天然砂及花岗岩、石英岩等酸性石料破碎的机制砂不能用于沥青混凝土面层。

(3) 填料：填料采用石灰岩或岩浆岩中可强基性岩石等憎水性石料，经磨细得到的矿粉，原石料中不含有泥土等杂质。

① 采用回收粉尘的填料时，回收粉尘必须洁净，无杂质，塑性指数小于 4，其用量不得超过填料总量的 50%。

② 填料应洁净、干燥。

③填料经检验合格后方可卸车，在罩棚内存放，保持干燥洁净。

三、改性沥青制备

1. 改性沥青制备方法可归纳为下面的方式

(1) 母体法 母体法的原理是先采用一种适当的方法制备加工成高剂量聚合物改性沥青母体，再在现场把改性沥青母体与基质沥青掺配调稀成要求剂量的改性沥青使用，又称二次掺配法。

(2) 直接投入法，是直接将改性剂投入沥青混合料拌和锅与矿料、沥青拌和制作改性沥青混合料的工艺。

(3) 胶体磨和高速剪切法。较普遍采用的是这两种方法。改性剂通过机械的研磨和剪切力强制将改性剂打碎，使改性剂充分分散到基质沥青中。

2. 改性剂的掺量和储存

改性沥青宜在施工现场随产随用，需要短时间贮存时应转入贮存罐并进行不间断的搅拌或泵送循环。掺入适宜的稳定剂，存放时间可达半年，但使用前应取样进行质量检验。

四、改性沥青路面施工

对于公路改性沥青路面的施工，与普通的热拌沥青混合料路面除了在施工温度上应根据改性沥青的黏度适当提高之外，没有其他区别，至于温度提高要视改性剂的品种和剂量确定。

由于改性沥青的成品冷却后黏度增大，保证施工温度成了施工的最重要的技术关键，如果温度不够，混合料不可能拌和均匀，摊铺无法平整，碾压不可能达到压实度，施工质量就无法保证。

1. 施工前准备

(1) 施工前对改性沥青混合料下承层进行全面质量检测，下承层表面平整、清洁、无松散部位，并按规定喷洒透层油或粘层油。检测合格后方能进行沥青混合料施工。

(2) 确定改性沥青混合料生产厂家，并确定运行车辆数量，摊铺，碾压设备，运输车辆的数量应与摊铺能力运输距离相适应，在摊铺机前形成不间断的供料车流。

(3) 编制好详细的施工方案，并对施工人员做好技术交底，各工序设专人负责，施工前对摊铺、碾压设备进行全面检修，确保施工中正常运行。

2. 混合料的摊铺

改性沥青混合料黏度较高，摊铺温度高，摊铺阻力要比普通混合料大，当下层洒布黏层油时，一般的轮胎式摊铺机可能顶不动运料车，产生打滑现象，所以改性沥青一般

需要使用履带式摊铺机摊铺，而且摊铺机的摊铺宽度也不能像普通混合料那样伸长太多，摊铺采用雪橇或摊铺厚度控制法。

为了保证路面平整度，要按照规范要求做到缓慢均匀，连续不间断地摊铺，摊铺中不得随意变换速度或中途停顿。摊铺速度一般控制在 $2 \sim 4\text{m}/\text{min}$ 。如果摊铺机停顿，一方面摊铺机下存留的混合料温度下降，使摊铺层的压实厚度受到影响；同时摊铺机摊铺时，熨平板都向前倾斜一个角度，如果速度为均衡，熨平板的倾斜角也跟着发生变化，势必对平整度就会有影响。为了尽量减少摊铺机的停顿次数，拌和机与摊铺机的能力必须匹配，一般要求在摊铺机前至少要有 5 台以上的运行车等候。必须做到宁可运料车等候摊铺，也不能摊铺机等候料车。

如果改性沥青混合料的温度降低，将会使沥青混合料的摊铺作业产生困难，这种情况很可能发生在运料车跟不上，摊铺机不得不停顿等料的过程中，如果等料时间过长，混合料温度迅速降低，表面会结硬成为硬壳，继续摊铺时冷却的混合料和硬壳不能打碎，只能跟着往前摊着走，这将严重影响继续摊铺，如果摊铺时遇到这种情况，必须将硬壳除去才行，所以在摊铺过程中，如果不能连续供料时，摊铺机应该将剩余的混合料都摊铺完，抬起摊铺机，做好临时接头，将混合料压实，避免出现冷却结硬的情况。

改性沥青混合料在摊铺过程中，突然遇到降雨的情况在夏季雷降雨天气也是经常有的，这种情况千万要避免。如遇到这种情况，必须立刻停止摊铺，将已经摊铺的混合料迅速碾压，如碾压成型有困难时，必须毫不留情的铲除掉。

3. 混合料的碾压

改性沥青混合料的压实工艺，除了提高碾压温度外与普通沥青混合料没有太大的区别，对压实机具没有特别的要求，在高温下碾压显得特别重要，温度降到一定程度时碾压将会显得无能为力。改性沥青一般都在表面层中使用，厚度较薄，混合料温度下降较快，尤其要注意不能在温度下降以后才碾压，工程上一般掌握的碾压成型的最低温度 130°C 。

碾压工作必须在混合料完成摊铺后立即进行，只有高温碾压，压实效果和平整度方能满足要求，碾压时距摊铺机 $3 \sim 5\text{m}$ 左右折返，要保持均衡的进行，速度要慢，不超过 $5\text{km}/\text{h}$ 以免对热料产生推移，出现裂纹，影响内在质量和平整度，同时保持匀速不能急刹车，中途停留，转向制动，压路机必须沿原路返回，压路机不能在未冷却结硬的路面上停留。

压路机碾压应从外侧向中心碾压，在有超高的路段施工时，应先从低的一边开始，逐步向高的一边碾压。碾压过程分初压，复压、终压三个阶段完成，每个碾压段一般在 30 分钟内完成，对压路机碾压不到的部位应及时用板夯等小型碾压器具及时补压，确保压实度，同时还要满足平整度的要求。

具体技术要求为：

(1) 碾压温度应严格控制，初压不低于 150°C ，保持碾压终了温度不低于 100°C （规范要求混合料温度降到 120°C 前结束碾压作业，但在北方秋季施工很难保证），由

此决定压路机数量。

(2) 改性沥青混合料摊铺后应立即执行碾压，距摊铺机 3 ~ 5m 左右折返，要保持均衡的进行，碾压速度：有的文献建议值与《公路沥青路面施工技术规范》有差异，应通过试验路段的试验，参照规范规定确定。

(3) 压路机每次从两端的折返位置不得在同一固定位置上，要呈阶梯形向前推进。

(4) 采用振动压路机，压路机轮迹的重叠宽度不应超过 20cm。

(5) 压路机碾压时从外侧向中心碾压，在有超高的路段施工时，应从低的一边开始，逐步向高的一边碾压。

(6) 在碾压过程中如有粘轮现象，对于自动喷雾的压路机，向水箱中加入洗涤剂，以减轻粘轮，严禁洒水。胶轮压路机在连续碾压一段时间轮胎发热后，停止向胶轮喷水。喷水过量会加速沥青混合料的温度下降，必须控制。

4. 接缝处理

改性沥青的接缝处理要比普通混合料困难一些，如果在第二天处理接缝，将会发现改性沥青混合料非常坚硬，不仅镐刨很困难，即使用切割机切缝隙也很困难，所以无论如何要想办法防止出现冷接缝。

接缝一般分纵缝和横缝两种，纵缝一般是由于摊铺路面较宽，用一台摊铺机不能完成整幅铺筑，纵向接缝变成冷接缝的情况肯定会发生。

边缘部分在压实后边部很容易陷下去，再继续摊铺时必须将边缘部分切去，切缝又特别困难，在这种情况下，摊铺机最好在边部设置挡板，冷接缝就不必另行处理了。

改性沥青大都是用在表面层，横向接缝做的好不好，对平整度影响很大，为了提高平整度，一般采用切割成垂直平面的方法，不过改性沥青混合料的切割比较困难，要在改性沥青每天施工完成后稍稍停一停，在其尚未冷却之前就切割好，并利用水将接缝冲洗干净，第二天，涂刷黏层油，即可接下去铺新混合料，在接缝施工过程中，都必须利用 3m 直尺对平整度进行检查，防止接头不好影响全路的平整度。

第三节 透层、粘层和封层技术

一、概述

1. 透层适用于沥青面层与非沥青面层材料基层之间，为稳定基层表面不可避免的尘粒使其良好地结合，在基层上喷洒乳化沥青、煤沥青、或液体沥青，透入基层表面，形成一层薄层。

2. 粘层用于沥青层与沥青层之间、沥青层与水泥混凝土路面之间，为使其粘结一体而洒布的沥青薄层。下列情况之一可进行沥青黏层施工：

(1) 双层式或三层式热拌热铺沥青混合料路面，在铺筑上层前，其下承层已被污染。

(2) 旧沥青路面上加铺沥青层。

(3) 与新铺沥青混合料衔接的侧石、路缘石、雨水进水口、检查井等侧面。

3. 封层是封闭沥青层表面空隙，防止水分浸入面层和基层而铺筑的沥青薄层。封层分上封层和下封层，铺筑在沥青表面的称上封层，铺筑在沥青面层下面（基层上面）的称下封层。符合下列情况之一，可铺筑上封层：

(1) 沥青路面已形成龟状和网状裂纹，但表面平整，强度仍符合使用要求。

(2) 沥青面层表面空隙较大，透水严重。

(3) 需加铺磨耗层和改善行车条件、抗滑性能的旧沥青路面。

(4) 需铺筑磨耗层或保护层的新建沥青路面。

符合下列情况之一，可铺筑下封层：

(1) 位于多雨地区且沥青面层空隙较大，渗水严重。

(2) 在铺筑基层后，不能及时铺筑沥青面层，而且需要开放交通。

二、材料

1. 对酸性石料，在低温下施工或在石料潮湿状态下，宜采用阳离子乳化沥青；对于碱性石料、水泥、石灰、粉煤灰共同使用时，宜采用阴离子乳化沥青。乳化剂的用量为沥青质量的 0.3% ~ 0.8%。

乳化剂的水溶解温度为 40 ~ 70℃，石油沥青的加热温度为 120 ~ 160℃。

2. 乳化石油沥青、液体沥青、煤沥青贮存期不宜过长，乳化石油沥青以不离析、不冻结、不破乳为度；液体沥青、煤沥青若存放时间过长，使用前要进行抽样检验。

3. 封层选用的细集料和粗集料，洁净、干燥、无风化、无杂质，粗集料具有一定的强度，细集料有适当的颗粒组成。

三、透层

1. 所有水泥稳定级配碎石、石灰粉煤灰土等无机结合稳定土材料铺筑的基层，在浇洒透层沥青前要进行基层检验，若局部需要修整，修整合格后再进行透层施工。

2. 基层表面密实的可用渗透性强的较稀释的透层沥青或乳化沥青，沥青含量 50% ~ 70%，乳化沥青宜取低值，稀释沥青宜取高值。级配碎石等粒料基层可用较稠的透层沥青。

3. 喷洒沥青前，应将基层表面清扫干净，待基层表面干燥以后喷洒沥青，若基层过分干燥应洒水，表面稍干燥后喷洒沥青，使得基层中保留一定的水分养护。

4. 透层沥青采用洒布车喷洒，或用手工沥青洒布机喷洒，喷洒要均匀适量，要制定对构造物和附属物的防污染措施，透层沥青用沥青洒布车喷洒，喷洒量应遵照设计要

求的喷洒量，喷洒后不要有流淌现象，有漏洒的地方用人工补齐，渗入基层的深度一般为 3mm。

5. 在气温高于 10℃，风力小于 4 级，无雨条件下进行透层喷洒。
6. 透层洒布 24h 后，可进行沥青面层施工。

四、粘层

1. 热拌沥青混合料二层式或三层式摊铺或旧沥青路面罩面时，应喷洒沥青粘层。粘层沥青可使用规定的沥青材料。

2. 粘层的沥青宜采用快裂的洒布型乳化沥青和中、快凝的石油沥青，其规格和质量指标应符合要求。

3. 粘层沥青要均匀洒布和涂抹，漏洒的地方要补涂上，浇洒量过多的地方要刮除。

4. 乳化沥青作粘层时，应在破乳、水分蒸发后铺筑。沥青面层在沥青混合料与水泥混凝土结构物、收水井等衔接的位置涂抹一层粘层。

5. 浇洒黏层要将沥青混凝土层清扫干净，污染严重时要用水冲刷，待表面干燥后浇洒乳化沥青，浇洒时不得污染其他结构物和附属物。

6. 当气温低于 10℃或路面潮湿时，不得浇洒黏层沥青。

7. 浇洒粘层后，禁止一切车辆通行和施工污染。

8. 若双层混合料连续施工，且保持表面清洁、干净，亦可不浇洒粘层。

五、封层

1. 适用上封层及下封层的沥青材料、沥青标号选用，应根据当地的气候情况而定。

2. 上封层及下封层采用拌和法或层铺法的单层式沥青表面处治，也可采用乳化沥青稀浆封层。封层沥青洒布量一般为 0.8~1.0kg/m²。

3. 拌和法沥青表面处治可铺筑上封层及下封层，当铺筑下封层时，宜采用 AC-5（或 LH-5）砂粒式沥青混凝土，厚度宜为 1.0cm。采用乳化沥青稀浆封层作为上封层及下封层时，稀封层的厚度宜为 3~6mm。

4. 封层施工应符合下列要求：

(1) 当在已破坏的路上铺筑稀浆封层时，施工前应先修补坑槽，整平路面。

(2) 稀浆封层施工应在干燥情况下进行。

(3) 稀浆封层施工应采用稀浆封层摊铺机，该机应具有储料、送料、拌和、铺筑和计量控制等功能。

(4) 稀浆封层铺筑机工作时应匀速前进，铺筑厚度应均匀，表面应平整。

(5) 稀浆封层铺筑后，应待乳液破乳、水分蒸发、干燥成型后，开放交通。

(6) 稀浆封层的施工气温不得低于 10℃。

第八章

水泥混凝土 路面面层

第一节 水泥混凝土面层与钢筋混凝土面层

一、概述

1. 混凝土路面的施工，必须根据设计文件、施工条件及水文、地质、气象等不同情况，采取相应的技术措施，以保证工程质量。

2. 混凝土路面原材料的选用，应贯彻因地制宜、就地取材的原则。

3. 混凝土路面的施工，应采用机械操作，并积极采用新技术、新材料和新工艺。

4. 混凝土路面的基层与垫层应符合下列要求。

(1) 基层与垫层的厚度，宽度，纵横坡度，强度等，均应符合设计要求。

(2) 现场应有良好的排水设施。

(3) 基层与垫层应坚实稳定，均匀，压实度强度和平整度应符合设计要求。

(4) 基层与垫层施工完成后，经验收合格，各项资料齐全，才可进行水泥混凝土面层施工。

二、材料

1. 水泥

(1) 应采用强度高，收缩性小，耐磨性强，抗冻性好的水泥。其物理性能和化学成分应符合国家有关标准的规定。

(2) 城市次干路，支路，厂矿道路应采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥（简称普通水泥），水泥强度等级不应低于 32.5 级（国家新标准水泥等级）。当条件受限制时，可采用矿渣水泥，其等级不应低于 32.5 级，并应严格控制用水量，适当延长搅拌时间，加强养护工作。

(3) 民航机场跑道和城市快速路，主干路，必须采用等级不低于 32.5 级的硅酸盐水泥，一般采用 42.5 级硅酸盐水泥。

(4) 水泥进场时，应有产品合格证及试验单。并应对品种、标号、进场数量、出厂

日期等进行检查验收，分堆架高苫盖堆存，以免混杂受潮，使用时按出厂日期择先使用。

(5) 不同等级、厂牌、品种、出厂日期的水泥，不得混合堆放，严禁混合使用。出厂期超过三个月或受潮的水泥，必须经过试验，按其试验结果决定正常使用或降级使用。已经结块变质的水泥不得使用。

2. 砂

应采用洁净，坚硬，符合规定级配，细度模数在 2.5 以上的粗、中砂。

3. 碎（砾）石

(1) 碎（砾）石应质地坚硬，并应符合规定级配，最大粒径不应超过 40mm。

(2) 不同料源规格的石料应分别堆放，分别使用。

4. 水

混凝土搅拌和养护用水应清洁，宜采用饮用水。使用非饮用水时，应经过化验，并应符合下列规定：

(1) 硫酸盐含量（按 SO_4 计）不得超过 2700mg/L。

(2) 含盐量不得超过 5000mg/L。

(3) pH 值不得小于 4。

5. 外加剂

混凝土掺用的外加剂，应经配合比试验符合要求后方可使用。掺用外加剂，可按下列规定选用。

(1) 为减少混凝土拌和物的用水量，改善和易性，节约水泥用量，提高混凝土强度，可掺入减水剂。目前常用的有木质素减水剂（简称 M 剂），萘系减水剂（NF，MF 等），水溶性树脂（蜜胺树脂）类减水剂（SM）等。

(2) 夏季施工或需要延长作业时间时，可掺入缓凝剂，如羧酸盐类（酒石酸等），多羟基碳水化合物类（糖蜜等）和无机化合物类（ Na_3PO_4 等）等。

(3) 冬季施工为提高早期强度或为缩短养护时间，可掺入早强剂；为了防冻，还可采用“冷混凝土”施工方法，通常采用的有三乙醇复合早强剂等。

(4) 为了提高混凝土抗冻融性，可掺入引气剂，目前常用的引气剂有松香热聚物，烷基磺酸钠和烷基苯碳酸钠等阴离子表面活性剂。

6. 钢筋

(1) 钢筋的品种、规格应符合设计要求。

(2) 钢筋应顺直，表面洁净，无严重锈蚀、裂纹、断伤和刻痕，表面油污和颗粒状或片状锈蚀应消除。

(3) 传力杆钢筋断口毛茬必须磨平。

7. 滑动套

(1) 可用镀锌铁皮制作或采用有足够强度的硬塑料管及多层油毡管，规格及尺寸应符合设计要求。

(2) 套管使用中不得变形，端头应灌入溶化混匀的黄油锯末混合物。

8. 胀缝板

(1) 胀缝板宜用软木板（白杨木板等）或海绵泡沫树脂板木纤维板，经沥青加工处理后制成。

(2) 板厚 2cm，其钢筋孔位置、尺寸、数量应符合设计规定，适用于胀缝的下半部分。

9. 填缝材料

常用填缝材料有：常温施工式填缝料，加热施工式填缝料、预制多孔橡胶条制品等。城市道路宜使用树脂类、橡胶类的填缝材料及其制品。

(1) 常温施工式填缝料主要有聚（氨）酯，硅树脂类，氯丁橡胶，乳化沥青橡胶类等，其技术指标应符合设计要求。

(2) 加热施工式填缝料主要有沥青玛蹄脂类，聚氯乙烯胶泥类和橡胶沥青等，其技术指标应符合设计要求。

(3) 使用常温和加热施工式灌筑型填缝材料填缝时，宜使用背衬垫条控制填缝形状系数。背衬垫条材半有聚（氨）酯橡胶或塑料微孔泡沫等，其形状应为圆柱形，直径应比接缝宽度大 2~3mm。

(4) 用于制造预制橡胶嵌缝条的胶料性能应满足设计要求。

(5) 润滑粘结剂是安装预制橡胶嵌缝条专用材料，可选用的粘结剂有氯丁胶粘剂、聚（氨）酯胶粘剂、改性环氧树脂胶粘剂等。

(6) 常用填缝料分类如下：

① 灌入式填缝料

a. 聚氯乙烯胶泥

分工厂预先配制和现场临时调制两种：

工厂配制的聚氯乙烯胶泥，为用橡胶煤沥青，聚氯乙烯树脂，硫磺，稳定剂等材料配制而成。在工厂整批配制，装桶储运使用。其使用性能，与混凝土有良好的粘结力，耐热、耐寒性能好，适用于寒冷地区和温热地区的缩缝和胀缝上部。使用时缓缓加热至 130℃，保持恒温 15min 并不断搅拌，灌筑后冷却成型。加热最高温度不得超过 160℃，否则树脂将炭化失效。

现场调制的聚氯乙烯胶泥，为煤焦油聚氯乙烯树脂，粉煤灰和二盐或三盐（稳定剂）等材料调制而成。使用时必须在现场调制，调制好即用，不能久放。其使用性能，低温时性能好，常温，高温时粘结力差，适用于寒冷地区的缩缝和胀缝上部。使用时，先将脱水煤焦油倒入锅内，加热至 60℃ 拌匀，再加入其他材料，边加边搅拌，加热至 140℃ 后，恒温塑化 10~20min 即灌筑。加热最高温度不得超过 150℃。

b. 沥青橡胶

使用时将油-10 沥青加热脱水，温度升到 180~220℃，加入柴油拌匀，再加入经预热的石粉和石棉粉的混合物，最后加入橡胶粉，边加边搅拌，慢火升温到 180~

220℃，恒温 1 ~ 1.5h，使具有较大流动性时，即可灌筑。

②预制嵌缝条

- a. 胀缝板宜用软木板，木纤维板泡沫树脂板或沥青浸制的油毛毡压制而成，适用于胀缝的下半部分；
- b. 沥青橡胶嵌缝条，采用沥青，石棉粉，石粉按比例配合压制成板条，适用于缩缝、纵缝及胀缝的上半部分。
- c. 有孔氯丁橡胶嵌缝条，采用氯丁橡胶原料，按设计图形用橡胶挤出机挤压成型，然后放在硫化罐内硫化而成，适用胀缝的上半部。

三、施工准备

1. 施工单位应根据设计文件及施工条件确定施工方案，编制施工组织设计。
2. 施工前应解决水电供应、交通道路、搅拌和堆料场地、办公生活用房、工棚仓库和消防等设施。
3. 有碍施工的建筑物、灌溉渠道和地下管线等，均应在施工前拆迁完毕。
4. 根据施工进度计划，在施工前分批备好所需要的各种材料（包括水泥、砂、石料、外加剂、钢筋及必要的填缝料），并在实际使用时核对调整。各项材料进场前须经严格检测，各项技术质量指标必须符合设计要求。
5. 混凝土配合比设计检验与调整
混凝土施工前必须检验其设计配合比是否合适，否则，应及时调整。
6. 基层的检验
施工前应及时对已完成的基层进行质量检验。检查项目有：当量回弹模量值或计算回弹弯沉值，压实度、平整度、宽度、厚度、纵横坡坡度及高程等须符合设计及规范规定的要求。基层完成后，应加强养护，控制行车，不使出现车槽。

7. 测量放样

测量放样是水泥混凝土路面施工的一项重要工作。首先应根据设计文件放出路中心线及路边线，在路中心线上一般每 20m 设一中心桩，同时应设胀缩缝，曲线起迄点和纵坡转折点等中心桩，并相应在路边各设一对边桩。主要控制桩应分别固定在路旁稳固位置。设临时水准点于路线两旁固定建筑物上或另设临时水准桩，每隔 100m 左右设置一个，不宜过长，以便于施工时就近对路面进行标高复核。根据放好的中心线及边线，在现场核对施工图纸的混凝土分块线。对测量放样必须经常进行复核，包括在浇捣混凝土过程中，要做到勤测，勤核，勤纠偏。控制桩测量的精度，应符合国家有关标准，规范的规定。

四、施工方法

1. 常规机械化施工法

(1) 机械选型和配套

施工需用机械配套设备应在施工前准备齐全，并检查运转完好情况。

①后方搅拌及供料等系统

a. 容量为 400L 以上双卧轴强制式拌和机或配有自动控制配料系统的混凝土拌和站 1 套；

b. 装载机 (ZL30, ZL40) 2 台；

c. 供水泵 (3.5kW) 1 台；

d. 散装水泥泵车 2 辆；

e. 计量水泵 (外加剂用) 1 台；

f. 移动式发电机 (120kW) 1 台 (备用)；

g. 运送混合料自卸汽车 (按运距选定数量) 或混凝土搅拌车 (按运距选定数量)。

②前方灌筑、振捣、抹面、成型等系统

a. 振捣器：分插入式振捣器与平板式振捣器两种。

插入式振捣器：功率为 1.1kW 时，用于模板，并边四周和平板振捣器不易振实的地方。

平板振捣器：用于振实和振平混凝土，功率不小于 2.2kW 时。

b. 振动夯板：其作用为振动和整平混凝土，长度应比混凝土板宽度加长 30cm，在两端 1/4 处各安装 1.1kW 时振动机一台 (二台振动机必须同向安装)。

c. 滚浆筒：用于滚压修整混凝土表面，压下分别突出的骨料，提起砂浆。采用 $\phi 150\text{mm}$ 无缝钢管制成，长度比混凝土板宽度加长 30cm。

d. 纹理制作机：1 台。

e. 调速调厚切缝机：2 台。

f. 灌缝机：2 台。

g. 真空吸水机组：包括真空泵机组，气垫薄膜吸水装置和振动梁，抹光机等组成 1 套。

h. 养生剂喷洒器：2 台。

i. 养护用洒水车：2 辆。

j. 移动式发电机 (60kW) 1 台 (备用)。

(2) 模板支拆

模板宜采用钢模板，模板的制作与立模应符合下列规定：

a. 钢模板的高度应与混凝土板厚度一致。

b. 木模板应选用质地坚实、变形小、无腐朽扭曲裂纹的木料。模板厚度宜为 5cm，其高度应与混凝土板厚度一致。模板内侧面，顶面要刨光，拼缝紧密牢固，边角平整无缺。

c. 模板高度的允许误差为 $\pm 2\text{mm}$ 。企口舌部或凹槽的长度允许误差，钢模板为 $\pm 1\text{mm}$ ，木模板为 $\pm 2\text{mm}$ 。

d. 立模的平面位置与高程，应符合设计要求，并应支立准确稳固，接头紧密平顺，不得有离缝，前后错茬和高低不平等现象。模板接头和模板与基层接触处均不得漏浆。模板与混凝土接触的表面应涂隔离剂。

e. 模板拆除应符合下列规定

拆除时间应根据气温和混凝土强度增长情况确定，采用普通水泥时，一般允许拆模时间见表 8-1。

允许拆模时间

表 8-1

昼夜平均气温 (°C)	允许拆模时间 (h)
5	72
10	48
15	36
20	30
25	24
30 以上	18

注：1. 允许拆模时间，自混凝土成型后至开始拆模时计算。

2. 使用矿渣水泥时，允许拆模时间宜延长 50% ~ 100%。

(3) 拌和与运输

①混凝土拌和物应采用机械搅拌施工，其搅拌站宜根据施工顺序和运输工具设置，搅拌机的容量应根据工程量大小和施工进度配置。施工工地宜有备用的搅拌机和发电机组。

②投入搅拌机每盘的拌和物数量，应按混凝土施工配合比和搅拌机容量计算确定，并应符合下列规定。

a. 进入拌和机的砂，石料必须准确过秤。磅秤每班开工前应检查校正。

b. 散装水泥必须过秤。袋装水泥，当以袋计量时，应抽查其量是否准确。

c. 严格控制加水量。每班开工前，实测砂、石料的含水量，根据天气变化，由工地试验确定施工配合比。

d. 混凝土原材料按质量计的允许误差、不应超过下列规定：

(i) 水泥 $\pm 1\%$ ；

(ii) 粗细骨料 $\pm 3\%$ ；

(iii) 水 $\pm 1\%$ ；

(iv) 外加剂 $\pm 2\%$ 。

③搅拌第一盘混凝土拌和物前，应先用适量的混凝土拌和物或砂浆搅拌，拌后排弃，然后再按规定的配合比进行搅拌。

④搅拌机装料顺序，宜为砂、水泥、碎（砾）石或碎（砾）石、水泥、砂。进料后，边搅拌边加水。

⑤混凝土拌和物每盘的搅拌时间，应根据搅拌机的性能和拌和物的和易性确定。混凝土拌和物的最短搅拌时间，自材料全部进入搅拌鼓起至拌和物开始出料止的连续搅拌时间，应符合有关规定。搅拌最长时间不得超过最短时间的三倍。

⑥混凝土拌和物的运输，宜采用自卸机动车运输。当运距较远时，宜采用搅拌运输。混凝土拌和物从搅拌机出料后，运至铺筑地点进行摊铺、振捣、做面，直至浇筑完毕的允许最长时间，由试验室根据水泥初凝时间及施工气温确定。

⑦装运混凝土拌和物，不应漏浆，并应防止离析。夏季和冬季施工，必要时应有遮盖或保温措施。出料及铺筑时的卸料高度，不应超过 1.5m。当有明显离析时，应在铺筑时重新拌匀。

（4）摊铺与振捣

①混凝土拌和物摊铺前，应对模板的间隔、高度、润滑、支撑稳定情况和基层的平整润湿情况，以及钢筋的位置和传力杆装置等进行全面检查。

②混凝土拌和物的摊铺，应符合下列规定：

a. 混凝土的厚度不大于 22cm 时，可一次摊铺，大于 22cm 时，可分二次摊铺，下部厚度宜为总厚的 3/5。

b. 摊铺厚度应考虑振实预留高度。

c. 采用人工摊铺，应用锹反扣，严禁抛掷和耨耙，防止混凝土拌和物离析。

③混凝土拌和物的振捣，应符合下列规定：

a. 对厚度不大于 22cm 的混凝土板，靠边角应先用插入式振捣器顺序振捣，再用功率不小于 2.2kW 平板振捣器纵横交错全面振捣。纵横振捣时，应重叠 10~20cm，然后用振动梁振捣拖平。有钢筋的部位，振捣时应防止钢筋移位。

b. 振捣器在每一位置振捣的持续时间，应以拌和物停止下沉，不再冒气泡并泛出水泥浆为准，并不宜过振。用平板式振捣器振捣时，不宜少于 15s；水灰比小于 0.45 时，不宜少于 30s。用插入式振捣器时不宜少于 20s。

c. 当采用插入式与平板式振捣器配合使用时，应先用插入式振捣器振捣，后用平板式振捣器振捣。分二次摊铺的，振捣上层混凝土拌和物时，插入式振捣器应插入下层混凝土拌和物 5cm，上层混凝土拌和物的振捣必须在下层混凝土拌和物初凝以前完成。插入式振捣器的移动间距不宜大于其作用半径的 1.5 倍，至模板的距离不应大于振捣器作用半径的 0.5 倍，并应避免碰撞模板和钢筋。

d. 振捣时应辅以人工找平，并应随时检查模板。如有下沉、变形或松动，应及时纠正。

e. 混凝土拌和物整平时，填补板面应选用碎（砾）石较细的混凝土拌和物，严禁用纯砂浆填补找平。经用振动梁整平后，可再用滚浆筒进一步整平。设有路拱时，应使用路拱成形板整平。整平时必须保持模板顶面整洁，接缝处板面平整。

f. 混凝土板的摊铺振实工作应连续进行，不得中途间断，若遇特殊原因，被迫临时停工，中断施工的一块混凝土板，应用湿布覆盖，在初凝时间内恢复施工时，应将此处混凝土耙松补浆后再继续浇筑。若停工超过混凝土初凝时间，应作施工缝处理，施工缝应设在缩缝处，若无法设在缩缝处，其位置应设在板的正中部位。

g. 超过初凝时间的混凝土混合料，严禁使用，严禁分散铺于混凝土板底层，已经摊铺的必须予以清除。

h. 干硬性混凝土搅拌时可先增大水灰比，浇筑后采用真空吸水工艺再将水灰比降低，以提高混凝土在未凝结硬化前的表层结构强度，能有效地防治表面缩裂和防冻等性能，缩短整平，抹面，拉毛，拆模工序的间隔时间，为混凝土施工机械化连续作业创造条件。

(5) 混凝土板真空吸水施工

①真空吸水设备

包括真空泵机组，气垫薄膜吸水装置和振动梁、抹光机等。

②真空吸水施工

a. 采用真空吸水的混凝土拌和物，按设计配合比适当增大用水量，水灰比可为 0.48~0.55 之间，其他材料用量维持原设计不变。

b. 混凝土拌和物经振实整平后进行真空吸水。真空吸水时间 (min) 宜为板厚 (cm) 的 1~1.5 倍，并应以剩余水灰比米检验真空吸水效果。

c. 真空吸水的作业深度不宜超过 30cm。

d. 开机后真空度应逐渐增加，当达到要求的真空度 (500~600mm 汞柱) 开始正常出水后，真空度要保持均匀。结束吸水工作前，真空度应逐渐减弱，防止在混凝土内部留下出水通路，影响混凝土的密实度。

e. 混凝土板完成真空吸水作业后，用抹光机抹面，并进行拉毛或压槽等工作。

(6) 表面修整与压槽

①混凝土板做面，应符合下列规定：

a. 当烈日曝晒或干旱风吹时，做面宜在遮阴棚下进行；

b. 做面前，应做好清边整缝，清除粘浆，修补掉边、缺角。做面时严禁在面板混凝土上洒水，撒水泥粉；

c. 做面宜分二次进行。先找平抹平；待混凝土表面无泌水时，再作第二次抹平。混凝土板面平整、密实。

②机械抹面

a. 真空吸水完成后。可即进行机械抹面，先用重量不小于 75kg 带有浮动圆盘的重型抹面机粗抹一遍，几分钟后再用带有振动圆盘的轻型抹面机或人工用抹子光抹一遍。

b. 抹面时需注意以下事项：板块表面如仍有凹坑，要及时铲毛补浆。补浆须用原浆，边、角修饰宜用手工操作。采用真空吸水作业，板面一般不易产生裂纹，如果有收缩裂纹时，须先铲毛抹压 3~4 遍，再用抹面机抹平。

c. 如遇个别脱水不足过于湿软的表面,要待混凝土晾干到一定程度(即行走有轻微脚印义不下陷)方能抹面;如遇过于干硬的表面,可用喷壶均匀喷洒少量水,迅速抹面补救。

d. 对于压缝条,胀缝板及模板的四周要特别加强抹压,必要时可用抹面机圆盘骑压在模板上进行抹面;对于有曲线的拱型面板,抹面机要由边部向中间推行;对于已浇面板相接处,可将抹面机置于两块路面之上抹压,以减少邻板高差。

e. 抹面时随时用 3m 直尺各方向检查其平整度。超出要求处需及时重新修整抹压。至平整度合格为上。

③压槽

抹平后沿横坡方向拉毛或采用纹理制作机具压槽。城市道路,厂矿道路的拉毛和压槽深度应为 1~2mm。民航机场跑道表面拉毛的平均纹理深度(填砂法):跑道高速出口滑行道不得小于 0.8mm;滑行道停机坪不得小于 0.4mm。

(7) 钢筋设置

①混凝土面层的钢筋有边缘钢筋、角隅钢筋、井边加固钢筋及钢筋网等类型。加工预制和安放必须进行隐蔽工程质量检验,并做好检验记录。

②安放边缘钢筋时,应先沿边缘铺筑一条混凝土拌和物,拍实至钢筋设置高度,然后安放边缘钢筋,在两端弯起处,用混凝土拌和物压住。

③安放角隅钢筋时,应先在安放钢筋的角隅处摊铺一层混凝土拌和物,摊铺高度应比钢筋设计位置预加一定的沉落度。角隅钢筋就位后,用混凝土拌和物压住。

④钢筋混凝土板钢筋网片的安放:

a. 钢筋网片的安放应符合设计要求。不得踩踏钢筋网片;

b. 安放单层钢筋网片时,应在底部先摊铺一层混凝土拌和物,摊铺高度应按钢筋网片设计位置预加一定的沉落度。待钢筋网片安放就位后,再继续浇筑混凝土;

c. 安放双层钢筋网片时,对厚度不大于 25cm 的板,上下两层钢筋网片可事先用架立筋扎成骨架后一次安放就位。厚度大于 25cm 的,上下两层钢筋网片应分两次安放;

d. 钢筋网所用钢筋的型号、直径、间距位置均应符合设计要求。钢筋的绑扎、点焊必须牢固,钢筋焊接的型式和质量均应符合规范要求,钢筋网的长度,宽度,方格间距,网片平整度,上下网片位置和上下保护层厚度等的允许偏差均符合规范规定标准。

(8) 接缝施工

①胀缝的施工方法:

a. 胀缝应与路面中心线垂直;缝壁必须垂直;缝隙宽度必须一致;缝中不得连浆;缝隙上部应浇灌填缝料,下部应设置胀缝板。

b. 胀缝传力杆的活动端,可设在缝的一边或交错布置。固定后的传力杆必须平行于板面及路面中心线,其误差不得大于 5mm。传力杆的固定,可采用顶头木模固定或支架固定安装的方法。

②缩缝的施工方法,应采用切缝法。当受条件限制时,可采用压缝法。民航机场道

面和城市快速路、主干路必须采用切缝法。

a. 切缝法施工：当混凝土达到设计强度 25% ~ 30% 时，应采用切缝机进行切割。切缝用水冷却时，应防止切缝水渗入基层和土基层。施工工艺如下：

i. 切缝机具：采用调速调厚切缝机。切缝机应有良好的静态和动态稳定性。

ii. 切缝施工工艺：

切缝前应检查电源、水源及切缝机组试运行运转的情况，切缝机刀片应与机身中心线成 90°角，并应与切缝线成直线。

开始切缝前，应调整刀片的进刀深度，切割时应随时调整刀片切割方向。停止切缝时，应先关闭旋扭开关，将刀片提升到混凝土板面以上，停止运转。

切缝时刀片冷却用水，水的压力不应低于 0.2MPa。

采用切缝机切缝的混凝土，宜采川 32.5 级以上普通水泥浇筑。碎石混凝土的最佳切割抗压强度为 6.0 ~ 12.0MPa，砾石混凝土为 9.0 ~ 12.0MPa。当气温突变时，应适当提早切缝时间，防止产生不规则裂缝。

切缝后，应尽快灌筑填缝料。

b. 压缝法施工：当混凝土拌和物做面后，应立即用振动压缝刀压缝。当压至规定深度时，应提出压缝刀，用原浆修平缝槽，严禁另外调浆。然后，应放入铁制或木制嵌条，再次修平缝槽，待混凝土拌和物初凝前泌水后，取出嵌条，形成缝槽。

③施工缝的位置宜与胀缝或缩缝设计位置吻合。施工缝应与路面中心线垂直；多车道路面及民航机场跑道的施工缝应避免设在同一横断面上。施工缝传力杆长度的一半锚固于混凝土中，另一半应涂沥青，允许滑动。传力杆必须与缝壁垂直。

④纵缝施工方法，应按纵缝设计要求确定，要点如下：

a. 平缝，对已浇混凝土板的缝壁应涂刷沥青，并应避免涂在拉杆上。浇筑邻板时，缝的上部应压成规定深度的缝槽；

b. 企口缝，宜先浇筑混凝土板凹榫的一边；缝壁应涂刷沥青。浇筑邻板时应靠缝壁浇筑；

c. 整幅浇筑的切缝或压缝做法，同上述缩缝规定。

纵缝设置拉杆时，拉杆应采用螺纹钢筋，并应设置在板厚中间。设置拉杆的纵缝模板，应预先根据拉杆的设计位置放样打眼。

⑤填缝：混凝土板养护期满后，缝槽应及时填缝。在填缝前必须保持缝内清洁，防止砂石等杂物掉入缝内。

⑥灌入式填缝的施工，要点如下：

a. 灌筑填缝料必须在缝槽干燥状态下进行，填缝料应与混凝土缝壁粘附紧密不渗水；

b. 填缝料的灌筑深度宜为 3 ~ 4cm。当缝槽大于 3 ~ 4cm 时，可填入多孔柔性衬底材料。填缝料的灌筑高度，夏天宜与板面平，冬天宜稍低于板面；

c. 热灌填缝料加热时，应不断搅拌均匀，直至规定温度。当气温较低时，应用喷

灯加热缝壁。施工完毕，应仔细检查填缝料与缝壁粘结情况，在有脱开处，应用喷灯小火烘烤，使其粘结紧密。

⑦预制嵌缝条的施工，要点如下：

a. 预制胀缝板嵌入前，缝壁应干燥，并应清除缝内杂物，使嵌缝条与缝壁紧密结合；

b. 缩缝、纵缝、施工缝的预制嵌缝条，可在缝槽形成时嵌入。嵌缝条应顺直整齐。

(9) 混凝土板养护

①混凝土板做面完毕，应及时养护。养护应根据施工工地情况及条件，选用湿治养护和塑料薄膜养护等方法。

②湿法养护要点如下：

a. 宜用草袋、草帘等，在混凝土终凝以后覆盖于混凝土板表面，每天应均匀洒水，经常保持潮湿状态；

b. 昼夜温差大的地区，混凝土板浇筑后 3d 内应采取保温措施，防止混凝土板产生收缩裂缝；

c. 混凝土板在养护期间和填缝前，应禁止车辆通行。在达到设计强度的 40% 以后，方可允许行人通行；

d. 养护时间应根据混凝土强度增长情况而定，一般宜为 14~21d。养护期满方可将覆盖物清除，板面不得留有痕迹。

③混凝土板塑料薄膜养护工艺

塑料薄膜养护是将几种化工原料按一定比例配制成油状溶液，用喷洒机具喷（或刷）在拉毛后的混凝土表面，等溶液中挥发物挥发后形成一层较坚韧的纸状薄膜，利用薄膜不透水的作用，将混凝土中的水化热和蒸发水大部分积蓄下来自行养护混凝土的方法。这种养护方法节约用水，在干旱地区或施工用水困难地区较为适用。

目前常用的为过氯乙烯树脂和氯偏乳液薄膜。

④开放时间应以混凝土板达到设计强度 100% 作为依据，并完成灌缝后才允许正式开放交通。当遇特殊情况需要提前开放交通时（不包括民航机场跑道和高速公路），混凝土板应达到设计强度 80% 以上，其车辆荷载不得大于设计荷载。

(10) 施工的季节注意事项

①混凝土板在抗折强度尚未达到 1.0MPa 或抗压强度尚未达到 5.0MPa 时，不得遭受冰冻；

②冬季施工水泥应采用 42.5 号以上硅酸盐水泥或普通水泥，水灰比不应大于 0.45；

③混凝土拌和物搅拌站应搭设工棚或其他挡风设备；

④混凝土拌和物的浇筑温度不应低于 5℃。当气温在 0℃ 以下或混凝土拌和物的浇筑温度低于 5℃ 时，应将水加热搅拌（砂，石料不加热）；如水加热仍达不到要求时，应将水和砂、石料都加热。加热搅拌时，水泥应最后投入；

⑤材料加热应遵守下列规定；

在任何情况下，水泥都不得加热；

加热温度应为：混凝土拌和物不应超过 35℃，水不应超过 60℃，砂、石料不应超过 40℃；

水、砂、石料在搅拌前和混凝土拌和物出盘时，每台班至少测四次温度；室外气温每 4h 测一次温度；混凝土板浇筑后的头两天内，应每隔 6h 测一次温度；7d 内每昼夜至少测两次温度。

⑥混凝土板浇筑时，基层应无冰冻，不积冰雪，模板及钢筋积有冰雪时，应清除。混凝土拌和物不得使用带有冰雪的砂，石料，且搅拌时间应比规定的时间适当延长；

⑦混凝土拌和物的运输，摊铺，振捣，做面等工序，应紧密衔接，缩短工序间隔时间，减少热量损失；

⑧混凝土板浇筑完毕开始做面前，应搭盖遮阴棚。混凝土终凝后，可改用草帘等保温材料覆盖养护，洒水时应移去保温材料，洒水后覆盖；

⑨冬季养护时间不应少于 28d。允许拆模时间也应适当延长；

⑩混凝土拌和物浇筑中应尽量缩短运输，摊铺，振捣，做面等工序时间，浇筑完毕应及时覆盖，洒水养护；

⑪（v）气温过高时，宜避开中午施工，可在夜间进行。

2. 滑模式摊铺机施工

（1）原材料

①水泥

a. 特重、重交通水泥混凝土路面应采用旋窑生产的道路硅酸盐水泥，硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。中、轻交通的路面，可采用旋窑生产的矿渣硅酸盐水泥。冬季施工、有快通要求的路段可采用快硬早强 R 型水泥，一般情况宜采用普通型水泥。

b. 施工单位选用水泥时，水泥的各项路用品质必须合格，并应通过混凝土配合比试验，根据其试配弯拉强度、耐久性和工作性确定可使用水泥的品种、标号及厂家。

c. 滑模摊铺水泥混凝土路面宜采用散装水泥。在散装水泥供应不上时，可采用吨包装或袋装水泥。

d. 无论气温多高，散装水泥出厂温度均应限制在 55℃ 以内，混凝土搅拌时的水泥温度不得高于 50℃，冬季施工水泥温度不宜低于 10℃。

②粉煤灰

a. 滑模摊铺水泥混凝土路面可掺用质量指标符合规定电收尘的Ⅰ、Ⅱ级干排或磨细粉煤灰。Ⅲ级粉煤灰除非经过试验研究论证，方可用于水泥混凝土路面，否则不得使用。

b. 在水泥混凝土路面中使用Ⅰ，Ⅱ级粉煤灰时，应确切了解所用水泥中已经掺加混合材料的种类和数量。

c. 粉煤灰进货应有等级检验报告。滑模施工宜采用散装干粉煤灰。使用粉煤灰的搅拌楼应增加 1 个水泥罐仓装粉煤灰。水泥混凝土路面工程不得使用湿排或潮湿粉煤

灰，禁止使用已结块的湿排干燥粉煤灰。

③粗集料

a. 粗集料可使用碎石，破碎砾石和砾石。粗集料应质地坚硬、耐久、洁净。岩石的抗压强度一般不应小于所配混凝土的 1.3 倍。技术要求应符合表 5-22 的规定。

b. 滑模施工水泥混凝土路面砾石最大粒径不得大于 20mm，破碎砾石和碎石最大粒径不得大于 30mm，超径，逊径含量均不得大于 5%，粒径小于 0.15mm 的石粉含量不宜大于 1%。

④细集料

a. 细集料可采用质地坚硬、耐久、洁净的河砂、机制砂、沉积砂和山砂，细集料的技术要求应符合表 8-2 的规定。

b. 滑模水泥混凝土路面用砂的级配曲线应在 I、II 区，并符合级配要求，宜为细度模数在 2.3~3.2 范围内的中砂或偏细粗砂。

细集料技术要求

表 8-2

项 目	技 术 要 求
颗粒级配	见表 8-3
含泥量（冲洗法）	≤3%
硫化物及硫酸含量（折算为 SO ₃ ）	≤1%
有机物含量（比色法）	不深于标准溶液的颜色
云母含量	≤2%

⑤粗细集料中当怀疑有碱活性集料或夹杂有碱活性集料时，应进行碱集料反应检验，确认无碱集料反应后方可使用。

第二节 纤维混凝土面层施工

一、概述

混凝土是一种优良的建筑材料，它的发展和应用已有 100 多年的历史。但是它有一个主要的缺陷，即材料的脆性。它的抗压强度很高，但其抗拉、抗弯、抗冲击性能比较差，容易产生裂纹，一旦产生裂纹，就造成结构的破坏。纤维混凝土就是将短而细的分散性纤维，均匀地散布在混凝土基体中，从而改善混凝土性能的一种新型建筑材料。

这种复合材料比普通混凝土具有许多良好的物理力学特性，它主要反映在下列两方

面：

高的抗裂性——即高的抗拉、抗弯、抗疲劳性能

良好的韧性——即高的抗冲击力

纤维一般可分为两类。一类为高弹性模量的纤维，包括玻璃纤维、石棉纤维、钢纤维、碳纤维；另一类为低弹性模量的纤维，如尼龙、聚丙烯、人造丝以及植物纤维等。就目前大量实验和工程应用中看，高弹性模量纤维中钢纤维较其他纤维易于施工，价格便宜应用最多。低弹性模量纤维虽然不能提高混凝土硬化后的抗拉强度，但由于其价格较低，特别是能显著提高混凝土的抗冲击强度，也得到了广泛的应用，其中聚丙烯纤维的应用较多。

纤维混凝土因具有良好的抗裂和抗冲击性能，在工程中得到广泛的应用。钢纤维混凝土因具有较高的强度主要用于道路改建、物流中心、工厂地坪、机场路面、公路地道等，而聚丙烯纤维网因较高的抗冲击强度主要用于制动、启动频繁的公交站、收费站和受高程控制的公路地道等。

二、钢纤维混凝土面层的施工

钢纤维混凝土在施工中的重点是保证钢纤维在混凝土中均匀分布。

1. 钢纤维混凝土搅拌的关键是必须防止纤维结成团。自落式搅拌机出料慢，流动时纤维易结成团，应尽量选用强制式搅拌机。在搅拌过程中为保证分布均匀，搅拌机的加料程序，宜先加石子，边搅拌边加入钢纤维，待大致均匀后，再加入砂、水泥，重搅2min后，最后加入水湿搅拌1min，按这种程序拌出的混凝土较为均匀，基本上没有成团现象。

混凝土运输为了防止混凝土离析和坍落度损失过多，运输距离不能过长，要就近搅拌，尽快铺筑。

2. 浇筑与振捣

使用插入式振捣棒插入混凝土内进行振捣，会使钢纤维朝振动着的振捣棒聚集，产生聚束效应。为确保钢纤维的二维分布，宜使用平板振捣器振捣成型。钢纤维混凝土的流动性差，边角处易产生蜂窝，宜先用钎子捣实，再利用插入式振动器顺路方向插入，钢纤维成纵向状集束，使钢纤维的排列有利于抵抗板体收缩应力，温度应力及载荷的传递。

3. 表面修整

钢纤维混凝土具有粗骨料细、砂率大，纤维乱向分布的物点，采用真空吸水工艺，机械抹平，阻止纤维外露。采用压纹工艺可以避免拉力产生的纤维外露现象。

4. 切缝

钢纤维混凝土收缩小，抗裂性能好，有条件封闭交通的施工路段，采用混凝土摊铺机可做成整幅式，不设纵缝。养生达到设计强度的50%后，可每隔15m切一道缩缝。

5. 养护

养护时间 14~21 天，养护间禁止车辆通行。在达到设计强度 40% 后，可允许人通行。养护方法同一般混凝土路面。

三、聚丙烯纤维混凝土面层

聚丙烯纤维网混凝土就是在普通混凝土中加入一定量的聚丙烯纤维网，纤维网是专门设计的，纤维网加入到混凝土中经搅拌，成束的纤维网被撕裂分散成大量的单独纤维，加强混凝土的抗冲击，耐磨损能力，并能抑制混凝土裂纹的产生。纤维网混凝土强度高于普通混凝土略低于钢纤维混凝土，但材料费比钢纤维混凝土低 20%~50%，降低了工程成本。

1. 拌和与运输

因混凝土坍落度较小，而且采用了聚丙烯纤维网，在投料时可将纤维网与混凝土混合料一起投入到搅拌机共同搅拌，搅拌时间控制在 4min 左右，搅拌机必须采用强制式搅拌机，才能把网状体拉成单根纤维，起到次要加强的作用。

为防止混凝土发生离析或坍落度损失过大，宜就近搅拌，并尽快铺筑。

2. 其他工序施工和钢纤维混凝土施工方法相同。

第三节 碾压混凝土路面施工技术

一、概念

碾压混凝土 (RCC) 是采用沥青混凝土施工设备进行摊铺、碾压成型的水泥混凝土，其命名充分体现了工艺上的特点。和普通水泥混凝土路面相比，碾压混凝土路面 (RC-CP) 具有水泥用量少、不用模板、施工速度较快、能较早开放交通等特点，并且保持了水泥混凝土比沥青混凝土经久耐用的性能。由于其平整度差、抗滑性能和耐磨性能不良等性能上的不足，使其难以单独成为高等级路面的面层结构。采用碾压混凝土作为底面层，上覆以作为功能层使用的沥青混凝土 (AC) 表面层形成的复合式路面结构 (RCC-AC)，则有效地发挥了两者的优势，现已成为高等级公路上的一种新型结构。

RCC-AC 复合式路面是近年来兴起的一种新型路面结构，RCC 是一种水灰比小，零坍落度，通过碾压成型，达到高密度、高强度的碾压水泥混凝土，具有施工进度快、开放交通早、节省水泥等特点。我国优质沥青短缺，在高等级公路上修筑沥青混凝土路面需进口大量沥青，耗资巨大；水泥混凝土作为高速公路的路面有其使用期长、养护费用低等优点。RCC-AC 复合式路面既大大减少了沥青用量，又克服了普通水泥混凝土路面施工速度慢、开放交通晚，横向缩缝对行车造成不舒适等不足，集刚柔路面优点于

一身，具有广阔的发展前景。

这种结构受到世界各国道路工程界广泛关注，许多国家在高等级公路上修筑了试验路。我国在河南、陕西、安徽、江苏、广东等地也修建了此种路面。于 1996 年在唐津高速公路上修筑了约 2km 的试验路，通车运行后，路面状况良好。

二、对各结构层的要求

碾压混凝土路面（RCCP）对路基、垫层、基层的要求应符合普通水泥混凝土路面结构设计规范，要求碾压混凝土（RCC）层和 AC 层的厚度应满足强度和功能要求：

1. 路基：要求必须密实、稳定和均质。对路基必须有足够的压实度。对于软土地区，路基含水量较高，应按照规定有关规定，加强对路基处理。路基的高度、宽度、纵横坡度、边坡、排水系统等均应符合设计要求。

2. 垫层：在水文状况不良路段的路基与基层之间宜设置垫层。垫层应具有一定的强度和较好的水稳性，在冰冻地区还需具有良好的抗冻性。

3. 基层：应具有足够的强度和稳定性，以防止冲刷、唧泥和错台，并且断面正确、表面平整。基层材料应根据交通等级、当地条件和经济性等选用不同的材料。

4. RCC 层厚度由公路等级、交通级别、轴载作用和自然因素等通过计算确定，它在路面结构中为主要承重层，其厚度不宜过薄，从国内外修筑的实体工程来看，其厚度一般在 20 ~ 29cm。

5. AC 层的厚度应考虑其功能来决定。AC 层的功能主要特点是提高路面表面的平整度、耐磨、抗滑性能，同时 AC 层还有减少车轮对路面的冲击振动，扩散荷载及便于养护维修等功能，取决于 AC 层混合料级配及摊铺工艺，其厚度以不小于 5cm 为宜。

第九章

砌块路面 施工技术规范

砌块路面包括石材（天然花岗岩石）路面和混凝土预制块路面。石材路面由石块铺砌而成，可根据工程要求加工成不同形状、尺寸。混凝土预制块路面由混凝土预制路面砖铺砌而成，可组成不同形状、色彩，分为嵌砌式和连锁式两类。

第一节 石材路面施工

一、一般规定

1. 适用范围：石材路面一般选用花岗岩石材，它具有坚硬、耐酸、耐磨、吸水少、强度高特点，可根据需要选择不同色彩、不同块形、不同功能与周围环境协调的各色花纹图案。适用于新建和改造的车行道、人行道、步行街、商业街及各类广场。

2. 路面结构：路面结构一般由面层、基层、底基层组成。面层由石材板（花岗岩荒料经锯、磨、切、烧等工序加工成不同规格尺寸）、垫层（半干硬性水泥砂浆）和接缝组成；基层一般可采用刚性基层（水泥混凝土）或半刚性基层（二灰碎石）；底基层一般采用石灰稳定类材料。

采用水泥混凝土基层时其力学强度指标应符合下列要求：非机动车道混凝土强度等级为 C20，28 天抗折强度 $\geq 3.5\text{MPa}$ ，车行道及停车场混凝土强度等级为 C30，28 天抗折强度 $\geq 4.5\text{MPa}$ ，混凝土基层应按水泥混凝土路面规定设置缩缝、纵缝及胀缝。采用二灰碎石基层或石灰土类底基层时，技术要求同沥青路面。

3. 石材的规格尺寸

分类：按表面加工程序分为：细面材料，即表面平整、光滑；镜面板材，表面平整，具有镜面光泽；粗面板材，表面平整、粗糙。按加工条纹分为：机刨、剁斧、锤击和烧毛板等。

4. 石材强度要求

饱和抗压强度 $100 \sim 120\text{MPa}$ ；

饱和抗折强度不小于 9MPa 。

5. 路面排水应根据设计要求及路面的具体现状设置排水设施，一般排水坡度为（1~2）%。

二、基层

基层应符合下列要求：

1. 强度和刚度符合设计要求。
2. 基层横坡与面层一致，表面平整、密实。
3. 检查验收应对基层的厚度、高程、压实度、平整度、横坡、强度进行检验，达到质量标准后方可铺砌石板砖。

三、石材路面施工

（一）施工准备

1. 根据施工要求及现场情况，编制施工组织设计。
2. 根据设计图纸进行路面的定位和检查高程。
3. 将石材按批量、颜色、块形、厚度分别堆放。
4. 垫层砂、接缝砂、水泥应分别堆放，并应采取防雨淋措施。
5. 对基层表面进行清理，不符合要求进行整修。

（二）石材的铺装

1. 按设计图纸进行定位，放线，用测量仪器打格。设定石材砖基准线，根据道路中线、边线及横坡按整模数设置纵横间距，定出中心十字轴线，确定石材面层标高。
2. 根据设计图纸设计板块排列方式，弹出墨线所挂小线均为石材板块间的缝中线，并根据桩号随时复测。
3. 水泥干硬性砂浆垫层虚铺厚度应由试验确定。厚度控制在 $35\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 。
4. 拌制砂浆应按设计规定的强度进行配合比设计，用重量比计算出每盘搅拌机的拌和材料重量。水泥砂浆拌和物的密度不宜小于 $1900\text{kg}/\text{m}^3$ ，拌和时间自投料结束算起不小于 120s 。
5. 在基层上刷一层稠状素水泥浆，然后铺干硬性水泥砂浆垫层，用靠尺检测，试铺石材砖，用木夯夯实板块中心及四角，使砂浆挤满，找平并达到铺设标高为止。然后将石材抬起，在压实的垫层上浇素水泥浆，稍干后铺稳石材砖，夯实。每铺筑一块石材，必须用 3 米直尺控制平整度，并保证纵横缝一致。
6. 石材砖的接缝宽度应控制在 $5 \pm \frac{3}{2}\text{mm}$ 内。
7. 铺砌石材的方法由逆铺法和顺铺法两种。顺铺法是站在已砌好的块石路面上，面向整平层边砌边进，逆铺法是站在整平层上，面向已铺好的路面边砌边退，在陡坡和弯道超高路段，应由低处向高处铺砌。
8. 灌缝：路面砖之间的接缝处应采用 1:3 水泥细砂分三次灌满填实。第一次灌缝，

距石材表面 8cm 左右，用薄板加水夯实，然后洒水养护一昼夜；在水泥砂浆达到一定强度，第二次灌缝，距表面 1.5cm 左右，用压板压实，洒水养护；第三次采用防水材料灌，厚度控制在 1cm 以上，低于石材表面 2mm。

防水材料可采用聚氨酯类防水材料，背衬材料可采用泡沫塑料或海绵条，其作用是防止材料与下部灌缝材料粘结。由温度变化影响防水材料的胀缩，也可用澳大利亚生产的单组分聚氨酯波士胶灌缝。

9. 养护：要求结合层水泥砂浆达到强度的 70% 以上时，可在磨光板部分擦草酸，打蜡、磨光，最后铺干净的防水防碾压材料保护。

10. 成品保护，如：路口开放交通，应注意采用必要的保护措施。如，先用塑料布，然后上铺木板，严禁铺洒锯末；草袋等有色制品。

第二节 混凝土预制块路面施工

一、一般规定

混凝土预制块路面是指在有一定强度的基层上铺筑混凝土预制块而形成的路面。应具有高强度、抗冻融、耐久性强、防滑、装饰性强等特点。

1. 使用范围

由于混凝土预制块路面施工工艺简单，预制块的色彩、形状、尺寸多种多样，可结合环境铺筑不同颜色的各种图案、花纹等，常用于铺筑人行道、车行道、商业区、步行街、广场、停车场等。

2. 路面结构

路面结构一般由面层、基层、底基层组成。

面层由混凝土砖和砂浆垫层组成。

基层可采用刚性基层（水泥混凝土）和半刚性基层（二灰碎石）或石灰土类材料。

底基层一般采用石灰土类材料。

3. 水泥混凝土砖的规格尺寸、定义、分类及等级、标准

定义：水泥混凝土路面砖是指以水泥和集料为主要材料，经加压、振动加压或其他成型工艺制成的块、板产品，其表面可以有面层（料）或无面层料的本色或彩色的，有强振挤压半干硬性和水泥混凝土振捣成型两种。

一般要求

①路面砖表面应有必要的防滑功能，以保障行人及车辆的安全。

②路面砖的外露表面应平整，宜有倒角。

③路面砖饰面层的厚度不应小于 4cm；表面花纹图案的沟槽深度不得超过面层

(料)的厚度。

二、混凝土面砖对基层的要求

1. 强度和刚度符合设计要求。

水泥混凝土基层或石灰土类基层均需满足其养生的要求。

2. 基层的横坡应符合要求，表面平整。

3. 实测实量项目包括基层厚度、高程、压实度、平整度、横坡、强度达到质量标准方可进行铺筑。

三、施工

1. 普通水泥混凝土面砖的施工

(1) 根据设计图纸及现场情况，编制施工方案。施工方案应包括人员、机械、材料、施工部位、时间及各项措施。

(2) 高程复测，按设计用测量仪器打格放样。

(3) 拌制砂浆，按设计要求，石灰、粗砂要过筛，配比按重量比用搅拌机拌和，从拌和到铺筑应控制在3小时以内。

(4) 修整基层。当高程或不平整处 $\leq 1\text{cm}$ 时可用砂浆填筑；当 $> 1\text{cm}$ 时可用硬粒料填筑。灰土基层应刨毛茬 $2\sim 2.5\text{cm}$ ，然后用同样混合料补实。

(5) 铺筑砂浆。在干净的基层洒水一遍使之湿润，然后铺筑砂浆。厚度为 2cm 用刮板找平，随铺随砌。

(6) 圈箱法。铺筑砖一般采用圈箱法，即按桩撅高程横向和纵向格铺砖 $1\sim 2$ 行样板砖，然后横线不动纵线平移铺砖，间隔一般为 $5\sim 10\text{m}$ ，大于 5m 要考虑中间挂线。

(7) 路面砖的接缝应控制在 $3\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 之内。

(8) 砌筑要求砂浆饱满，不得有空隙，不得在砖下填硬料。

(9) 和其他构筑物相接时应用水泥砂浆填满压平，要求美观。

(10) 灌缝扫壘。用 $1:3$ （体积比）水泥细砂干砂浆灌缝，第一次灌满后浇水沉实，二次灌砂扫壘，壘平后适当加水直全缝隙饱满。

(11) 养护：水泥砖灌缝后洒水养护。

2. 连锁砌块水泥混凝土砖的施工

(1) 定义：连锁砌块是指砖的边上有凸起的锁定条，可防止水平方向位移的水泥混凝土砖。

(2) 由于连锁砌块条狭块小，因此对基层的平整度要求更高，可采用砂进行粗找平，再用 $1\sim 3\text{t}$ 压路机碾压，要求平整密实。

(3) 其垫层可采用细度模数为 $2.3\sim 3.2$ 的中粗砂直接铺筑，虚铺厚度可由试验确定，厚度控制在 $30\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 内。

(4) 摊铺垫层的方法可采用刮板法、耙平法、摊铺机摊铺法等。

(5) 铺砌采用圈筋法施工,不得站在已铺好的垫层上作业,可以在刚铺筑的面砖上垫上一块 0.3m^2 左右的木板,站在木板上进行铺筑。铺筑时要求相嵌紧密,不留空隙。

(6) 路面砖的接缝宽度应控制在 $3\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 内。

(7) 铺完路面砖后,宜使用专用手扶振动胶轮碾压机由低向高碾压 $2 \sim 3$ 次。一字形铺筑时,振动碾压机前进方向应与路面砖长度方向垂直,前进速度应与步行速度相当,并不宜使路面砖受到扰动。

(8) 路面砖之间的接缝处应采用 $1:3$ 水泥细干砂分多次灌满填实,适当洒水至缝隙饱满。

(9) 在振动较激烈的部位铺筑路面砖时,砂垫层选用 $1:3$ 水泥砂浆,铺砂浆应随砌砖同时进行,用胶锤轻击稳实。

(10) 在路面边界或交界处等特殊部位不能使用整砖时,可将砖切断后使用,割段的最小尺寸应大于 20mm 。在侧石边缘或井边有空隙处可用同色水泥浆填满镶边。

(11) 路面砖铺设完成后应洒水养护,设专人对施工质量进行验收,包括:①路面面层外观质量,②路面平整度,③接缝宽度,④接缝灌砂应灌满填实,⑤相邻两块路面砖的高差,⑥路面与构筑物接顺等,并对废料及时清除干净。

第十章

市政道路工程 挡土墙施工技术规范

第一节 扶壁式钢筋混凝土挡土墙

墙面板通常为等厚的竖直板，与扶壁和墙踵板固结相连，其厚度，低墙决定于板的最小厚度，高墙则根据配筋要求决定。

扶壁式钢筋混凝土挡土墙浇筑的钢筋混凝土是整体结构，故以现浇为宜，但近年来，城市快速路修建中，为加快施工进度，采取了装配式结构，其墙面板、扶壁为一体，与底板先行预制，现场基础处理平整后，安装底板，再将墙面板扶壁预制件插入榫口，用预埋钢筋板与底板连接，浇筑榫口混凝土，完成挡土墙结构的装配。

一、施工工艺流程（现浇）及要点

扶壁式钢筋混凝土挡土墙（现浇）施工工艺流程为：施工准备→基底处理→底板浇筑→立壁钢筋绑扎→立壁支模→立壁混凝土浇筑→墙背回填。

1. 施工准备

(1) 测量放样：恢复路基中线，精确测定挡土墙基底主轴线和起讫点位置，并进行水准测量。

(2) 熟悉设计文件，对人、机、材作具体安排，做好水泥、砂石、钢筋等原材料的检测，提前做好混凝土及模板设计工作。

2. 钢筋工程

(1) 钢筋加工：调直、切断、弯钩、绑扎成型均采用冷加工的方法进行，钢筋冷弯采用手工或机械方法进行，其延伸率与弯曲角度和钢筋直径有关。

(2) 弯曲某种型号第一根钢筋时，应按设计尺寸、技术标准进行核实，确认无误后，以此为样板，进行成批加工。钢筋应平直，无局部弯折，成盘的钢筋和弯曲的钢筋均应调直。冷拉调直时，I级钢筋冷拉率不宜大于2%，II、III级钢筋不宜大于1%。

(3) 钢筋的接头一般采取焊接，螺纹钢可采用挤压套管接头，纵向焊接应采用闪光对焊，当无条件时，也可采用电弧焊。

(4) 钢筋应按类型、钢号直径分别挂牌堆放，宜架空地面30cm以上，并妥善遮盖，

避免锈蚀和污染。

3. 模板工程

模板宜采用通用化组合钢模，如用木模应在内侧加钉镀锌钢板，以保证混凝土表面平整光洁，材质不得低于Ⅲ等材。

(1) 制作木模板时，事先应熟悉图纸核对各部尺寸，其类型应尽量统一，以便于重复使用，但始终须保持表面平整、形状正确，有足够强度和刚度，安装模板时，须考虑浇筑混凝土的工作特点与钢筋安装绑扎和混凝土浇筑方法相适应，在必要的地方可以设置活板或天窗，以便于混凝土的灌筑、振捣及模板内杂物的清扫。

(2) 墙体模板一般由侧板、立挡、横挡、斜撑和水平撑组成，斜撑的下端须有垫板。当墙模较高时，也可以用对拉螺栓固定或与斜撑结合使用，但斜撑与模板横挡水平交角不宜大于45度。

(3) 墙模施工时，为保证墙体混凝土厚度，一般情况均加撑头或内撑，为便于拆模和混凝土表面平整光洁，应在模板上涂刷隔离剂，施工中搭设的脚手架与模板不应发生联系。

(4) 挡墙的模板，须待墙体混凝土抗压强度达到2.5MPa以上时方可拆除，以免造成混凝土表面及棱角因拆模损坏。

4. 混凝土工程

(1) 扶壁式钢筋混凝土挡土墙一般分为二次浇筑，先浇底板，然后再浇立墙。底板应做施工缝处理，并待混凝土强度达2.5MPa以上时，方可进行凿毛冲洗及安装立壁模板、钢筋焊接绑扎等工序。

(2) 为便于分段分层浇筑和混凝土振捣，宜在墙模侧面设置不小于30cm高的门或洞做浇筑口，以便装溜槽浇筑，门或洞的上下间距不宜超过2.0m，采用输送泵时可另做考虑。扶壁的浇筑与墙身同步进行，分层浇筑振捣。为防止混凝土发生离析，从高处向模板内卸混凝土时，自由倾落高度不宜超过2.0m，如超过2.0m，应使用分节导管或串筒。

(3) 浇筑混凝土时，一般采用振捣器振实，振捣时间应适当，一般的标准是达到混凝土不再下沉、无显著气泡上升、顶面平坦一致、并开始浮现灰浆为止。当发现表面浮现水层，应立即设法排除，并须检查发生的原因，或调整混凝土配合比。

(4) 混凝土运输须与浇筑进度相适应，做到相互配合不致因脱节而影响进度和质量，如发现有离析、泌水或坍落度损失过大时，必须进行二次搅拌或调整外加剂掺量及其掺加方法等。

(5) 立壁顶面混凝土应严格控制高程，并进行二次抹面，以防松顶。

(6) 浇筑长度以挡土墙的伸缩缝或沉降缝为一节段，一般在15m左右，墙身立壁应严格分层，分层厚度不宜超过表7-2的规定，并以水平分层为宜。混凝土浇筑工作宜连续进行，一次浇完，应在前层所浇的混凝土尚未初凝以前，即将此层混凝土浇筑捣实完毕，若浇筑时发生中断，必须按施工缝处理。

(7) 混凝土浇筑完成后一般在 10h 左右即叫覆盖浇水养护, 当气候炎热或有风的天气时, 2~3h 后即可浇水养护以保持充分的湿润状态, 当气候变化较大, 内外温度差异较大时, 拆除模板后宜用草帘、塑料布等遮盖并浇水养护, 以防产生膨胀和收缩裂缝。

(8) 关于混凝土的冬季施工和炎热气候下的施工可参照有关资料进行。

二、施工主要工序的质量要求

1. 钢筋加工及安装

(1) 基本要求

① 钢筋、焊条品种规格和技术性能应符合国家现行规定标准和设计要求。

② 冷拉钢筋的机械性能必须符合规范要求, 钢筋顺直、无局部弯折、表面不应有裂皮和油污。

③ 受力钢筋同一截面的接头数量、搭接长度和焊接, 机械接头质量应符合规范要求。

(2) 实测项目。

2. 混凝土浇筑

基本要求

① 所用的水泥、砂石、水、添加剂的质量规格必须符合有关规范的要求, 按规定的配合比施工。

② 不得出现露筋和空洞现象。

③ 混凝土基础的地基承载力必须满足设计要求, 严禁超挖回填虚土。

第二节 浆砌块(料)石挡土墙施工

一、材料要求

1. 石料

石砌挡土墙石料按开采方法与加工深度分为片石、块石和料石三种。

(1) 片石: 一般指用爆破法或楔劈法开采的石块, 厚度不小于 15cm, 其宽度及长度不小于厚度的 1.5 倍。用作镶面的片石应表面平整, 尺寸较大, 并稍加修整, 其强度不小于 30MPa, 并严禁大面立砌。

(2) 块石: 其形状大致为正方体, 上下面也大致平整, 厚度不小于 20cm, 宽度约为厚度的 1.0~1.5 倍, 长度约为厚度 1.5~3.0 倍。块石用做镶面时, 应由外露面四周向内稍加修凿, 强度不小于 30MPa。

(3) 料石：外形方正，成六面体，厚度 20~30cm，宽度为厚度的 1~1.5 倍，长度为厚度的 2.5~4 倍，表面凹陷深度不大于 20mm，用作镶面的粗料石，丁石长度应比相邻顺石宽度至少大出 15cm。修凿面每 10cm 长须有凿路 4~5 条，正面凹陷深度不超过 1.5mm，外露面应有细齿边缘，宽度为 3~5cm，强度应不小于 30MPa。

2. 砌筑砂浆

(1) 砂浆强度以 70.7mm×70.7mm×70.7mm 的试件在温度 20℃±3℃ 的标准养护条件下 28d 的抗压强度为准，单位为 MPa，其强度、类别应符合设计规定，并宜采用洁净的中砂或粗砂。当用于浆砌片石时，砂的最大粒径不宜超过 5mm，砌筑块石或粗料石时不宜大于 2.5mm。在适当增加水泥用量的条件下也可采用细砂。

(2) 砂浆必须具有良好的和易性，其适宜的稠度（以标准锥体沉入度来表示）为 5~7cm，气温较高时，可适当增大。为改善砂浆和易性可掺入塑化剂或粉煤灰等，其掺量可视品种经试验而定。

(3) 当采用水泥、石灰砂浆时，所用石灰除应符合 GB 1594 技术标准外，还应保证成分纯正，煅烧均匀透彻，一般宜熟化成消石灰粉或石灰膏使用，其中 CaO 和 MgO 的含量应符合规定的要求。

(4) 砂浆的配合比须通过试验确定，当更换砂浆的组成材料时，其配比应重新试验确定。砂浆应随拌随用，保持适当的稠度，一般宜在 3~4h 用毕。如在运输过程中发生离析、泌水，应重新拌和，已开始凝结的砂浆不得使用。砂浆所用水泥、砂等材料质量应符合规范要求。

二、施工工艺流程及要点

浆砌块（料）石挡土墙施工工艺流程为：施工准备→基础施工→浆砌石料→勾缝→墙背填料。

1. 施工准备

(1) 测量放样，恢复路基中线，精确测定挡土墙基座主轴线和起讫点，每端的衔接是否顺直，并按施工放样的实际需要增补横断面桩，测量中桩和挡土墙各点的地面标高，并设置施工水准点。

(2) 熟悉设计文件，做好人、机、材安排及现场三通一平工作，做好各种试验准备工作，施工前应做好地面排水和安全生产的准备工作。

2. 基础施工

(1) 基础的各部尺寸、形状埋置深度均按设计要求进行施工。当基础开挖后若发现与设计情况有出入时，应按实际情况调整设计。并向有关部门汇报

(2) 基础开挖大多采用明挖，在松软地层或坡基层地段开挖时，基坑不宜全段贯通，而应采用跳槽办法开挖以防止上部失稳。当基底土质为碎石土、砂砾土、砂性土、黏性土等时，将其整平夯实。但遇有特殊水文、地质情况时，也可采用桩基。

(3) 当遇有基底软弱或土质不良地段时，应通过变更设计程序，采取措施后方可施

工。若岩基有裂缝，应以水泥砂浆或小石子混凝土灌筑至饱满。若基底岩层有外露的软弱夹层，宜于墙趾前对此层作封面保护，以防风化剥落后基础折裂而使墙身外倾。

(4) 任何土质基坑挖至标高后不得长时间暴露，扰动或浸泡，而削弱其承载能力。基底尽量避免超挖，如有超挖或松动应将其夯实，基坑开挖完成后，应放线复验，确认位置无误并经监理签认后，方可进行基础施工，基坑抽水应保证砌体砂浆不受水流冲刷。当基础完成后立即回填，以小型机械进行分层压实，并在表层稍留向外斜坡，以免积水渗入浸泡基底。

3. 浆砌石料

砌筑前应将石料表面泥垢清扫干净，并用水湿润。砌筑时必须两面立杆挂线或样板挂线，外面线应顺直整齐、逐层收坡，内面线可大致适顺以保证砌体各部尺寸符合设计要求，浆砌石底面应卧浆铺砌，立缝填浆补实，不得有空隙和立缝贯通现象。砌筑工作中断时，可将砌好的石层孔隙用砂浆填满，再砌时表面要仔细清扫干净、洒水湿润。工作段的分段位置宜在伸缩缝和沉降缝处，各段水平缝应一致，分段砌筑时，相邻段的高差不宜超过 1.2m。砌筑砌体外皮时，浆缝需留出 1~2cm 深的缝槽，以便砂浆勾缝，其标号应比砌体砂浆提高一级，隐蔽面的砌缝可随砌随抹平，不另勾缝。

(1) 浆砌片石

① 片石宜分层砌筑，以 2~3 层石块组成一工作层，每工作层的水干缝大致平齐，竖缝应错开，不能贯通。

② 外圈定位行列和转角石选择形状方正、尺寸相对较大的片石，并长短相间地与里层砌块立交接成一体，上下层石块也应交错排列，避免竖缝重合，砌缝宽度一般不应大于 4cm。

③ 较大的砌块应使用于下层，石块宽面朝下，石块之间均要有砂浆隔开，不得直接接触，竖缝较宽时可在砂浆中塞以碎石块，但不得在砌块下面用小石子支垫。

④ 砌体中的石块应大小搭配、相互错叠、咬接密实并备有各种小石块，作挤浆填缝之用，挤浆时可用小锤将小石块轻轻敲入缝隙中。

(2) 浆砌块石

① 用做镶面的块石，表面四周应加修整，尾部略微缩小，易于安砌，丁石长度不短于顺石宽度的 1.5 倍。

② 块石应平砌，要根据墙高进行层次配料，每层石料高度做到基本齐平。外圈定位行列和镶面石应一丁一顺排列，丁石伸入墙心不小于 25cm，灰浆缝宽为 2~3cm，上下层竖缝错开距离不应小于 10cm。

(3) 料石砌筑

① 每层镶面料石均应事先按规定灰缝宽及错缝要求配好石料，再用铺浆法顺序砌筑和随砌随填立缝，并应先砌角石。

② 当一层镶面石砌筑完毕后，方可砌填心石，其高度与镶面石齐平。如用水泥混凝土填心，则可先砌 2~3 层后再浇筑混凝土。

③每层料石均应采用一丁一顺砌法，砌缝宽度均匀，一般为 1.0~1.5cm，相邻两层的立缝应错开不小于 10cm，在丁石的上层和下层不得有立缝。

预制混凝土块砌筑同料石。

4. 勾缝

勾缝有平缝、凹缝和凸缝等，勾缝具有防止有害气体和风、雨、雪等侵蚀砌体内部，延长构筑物使用年限及装饰外形美观等作用。在设计无特殊要求时，勾缝宜采用凸缝或平缝，勾缝宜用 1:1.5~1:2 的水泥砂浆，并应嵌入砌缝内约 2cm。勾缝前，应先清理缝槽，用水冲洗湿润，勾缝应横平竖直、深浅一致，不应有瞎缝、丢缝、裂纹和粘结不牢等现象。片石砌体的勾缝应保持砌后的自然缝。

5. 墙背填料

(1) 需待砌体砂浆强度达 70% 以上时，方可回填墙背填料，并应优先选择渗水性较好的砂砾土填筑。如确有困难采用不透水土时，必须做好反滤层及泄水孔，并与砌体同步进行，浸水挡土墙背应全部用水稳性和透水性较好的材料填筑。

(2) 墙背回填要均匀摊铺平整，并设不小于 3% 的横坡逐层填筑，逐层夯实，严禁使用膨胀性土和高塑性土，每层压实厚度不宜超过 20cm，根据碾压机具和填料性质应进行压实试验，确定填料分层厚度及碾压遍数，以便正确地指导施工。

(3) 压实时应注意勿使墙身受较大的冲击影响，临近墙背 1.0m 的范围内，应采用蛙式打夯机、内燃打夯机、手扶式振动压路机、振动平板夯等小型压实机具碾压。

(4) 墙后地面横坡陡于 1:3 时，应作基底处理（如挖成台阶），然后再回填。

(5) 浆砌挡土墙的墙顶，可用 M5 砂浆抹平，厚 2cm，干砌挡土墙墙顶 50cm 厚度内，用 M2.5 砂浆砌筑，以利稳定。

三、施工质量要求

1. 质量要求

- (1) 石料规格应符合有关规定；
- (2) 地基必须满足设计要求；
- (3) 砂浆配合比符合试验规定；
- (4) 砌石分层错缝。浆砌时坐浆挤紧，嵌填饱满密实，不得有空洞；
- (5) 墙背填料符合设计和施工规范要求；
- (6) 沉降缝、泄水孔数量应符合设计要求，沉降缝整齐垂直，上下贯通，泄水孔坡度向外，无堵塞现象；
- (7) 砌体紧实牢固，勾缝平顺，无脱落现象。

2. 质量标准

(1) 当挡土墙平均墙高 $H \geq 6\text{m}$ ，且墙身面积 $A \geq 1200\text{m}^2$ 时，为大型挡土墙，应作为分部工程进行评定，分部工程可分为基础和墙身两个分项工程。

(2) 当 $H < 6\text{m}$ 且 $A < 1200\text{m}^2$ 的一般挡土墙，作为分项工程进行评定。

第三节 加筋挡土墙施工

一、材料和构件的要求

加筋挡土墙由基础、墙面板、筋带及加筋上填料等三个部分组成。

1. 加筋土填料为加筋结构的主体材料，选择填料的原则是要保证填料与加筋之间有足够的摩擦力。最好采用有一定级配的砾类土和砂性土；也可采用碎石土、黄土、中低液限黏性土、稳定土及满足质量要求的工业废渣；在采取可靠技术措施后方可采用高液限粘性土及其他特殊土，禁止采用腐殖土、冻结土、白垩土及硅藻土等。

2. 筋带是与填土产生摩擦力承受水平力作用而维持结构物内部稳定的重要构件，要求筋带具有足够的抗拉强度，不易脆断，延伸率低，同时与填料能产生较大的摩擦力，而且抗老化，防腐蚀。

筋带可选用扁钢带、钢筋混凝土带、聚丙烯土工带、塑钢带等材料，也可选用土工格栅作为加筋挡土墙筋带。

3. 墙面板

墙面板主要是为了挡住紧靠墙背附近的填土和保护土工合成材料筋带免受日光照射。因此其强度只要满足构造要求及运输堆码中的受力要求即可。在市政工程中一般采用混凝土预制件，厚度不应小于 8cm ，混凝土面板外形可选用十字形、槽形、六角形、工形、矩形等，墙顶和角隅处可采用异形面板和角隅面板。

面板与拉筋的连接采用预留孔或预埋件处理。面板四周宜设企口搭接，上下面板的联结宜采用 $\Phi 14$ 钢筋插销处理。

二、施工工艺流程

加筋挡土墙的施工工艺流程为：基底处理→基础浇筑→预制墙面板→安装、调整墙面板→铺设筋带→填料碾压。

1. 基底处理

基槽（坑）应按设计图纸要求开挖到设计标高，槽（坑）底平面尺寸一般大于基础外缘 30cm ，开挖时一定要做好防、排水工作。基槽（坑）底土质为碎石土、砂性土、粘性土等时应整平，碾压，达到设计要求。如特殊土地基，见“公路加筋土工程施工技术规范”。

2. 基础浇筑

基础的砌（浇）筑应按交通部颁布的《公路桥涵施工技术规范》（JTJ 041）有关规定进行。基础砌（浇）筑时，按设计要求预留沉降缝，并必须严格控制基础线型，顶面标高和平整度以及规定的各部分尺寸符合要求，以利面板安装。

3. 预制墙面板

预制墙面板采用专用钢模板，模板要求有足够的刚度和强度，几何尺寸误差应控制在 $0\sim 2\text{mm}$ 之间，组装拆模方便，并具有一模多用特点，预制时要求混凝土配合比准确、振捣密实、无裂纹、墙板外侧平整、墙板内侧要粗糙。养护 28d 其强度应达到设计要求。

4. 安装、调整墙面板

面板安装是保证墙体稳定性和外观质量的重要环节。第一层面板的安装是控制全墙的关键。在清洁的条形基础顶面上，先确定外缘线和进行水平测量，这些工作可借助龙门桩来完成。沿海条伸缩缝设龙门桩，用经纬仪确定面板安装轴线（外缘线），在龙门桩钉子上进行第一层面板安装的水平测量。按要求的垂度、坡度挂线，方向统一，先从伸缩缝处安装，由一边到另一边。面板到位后底座处用低标号砂浆嵌填调整标高，通常同层相邻面板水平误差不大于 10mm ，轴线偏差每 20m 不大于 10mm 。同时用主线控制内倾度，内倾度一般在 $1/100\sim 1/200$ 范围内，作为预留填料压实时面板外倾出现的水平位移，具体数值应综合面板高度、填料性。质和压实机械而定，为防止相邻面板错位，宜用夹木螺栓或斜撑固定。当两个端块面板初步安好后，即挂线安装中间块件，以后各层面板安装要做到面板中心对齐安装缝中心以保证安装整齐。相邻面板的错位用树脂粘软木条或低强度砂砾进行调整，水平误差及前后错位应及时解决，不能将误差积累几层后调整。

面板外倾时，先挖出板后局部填土至露出锚固带，收紧锚固带，使面板回复原位后，一直埋入夯实，再在筋带尾部将其收紧拉直，当面板内倾时，用一根长约 $50\sim 80\text{cm}$ 的木棒，一端顶住面板背面中间位置，用手锤轻轻锤木棒，使面板徐徐外倾，直到准确位置，校正后的墙面应严整顺直。安装缝（水平、竖直缝）一般不作处理，当缝宽较大时，可采用砂浆填塞，不得用坚硬石子及铁片支垫，以免造成应力集中而损坏面板。

5. 填料的摊铺碾压

加筋土填料应根据筋带竖向间距进行分层摊铺和压实，其中应注意：卸料时机具与面板的距离不应小于 1.5m ，同时机具不得在未覆盖填料的筋带上行驶，并不得扰动下层筋带。填料可用人工或机械摊铺，摊铺机械距面板不应小于 1.5m 。 1.5m 范围内采用人工摊铺。

填料的压实一般要求碾压前应先进进行压实试验，用以确定填料采用及机械压实遍数和分层摊铺厚度，作为指导施工的参考。压实掌握先轻后重和不得使用羊足碾的原则，并应注意压路机不得在未经压实的填料上急剧改变运行方向或急刹车。在碾压程序上，应先从筋带中部开始，逐步碾压至筋带尾部，再碾压靠近面板部位，但距面板距离不得

小于 1m，以保证面板不受影响，在距面板 1m 范围内采用轻型压实机械压实，或人工夯实。

三、施工要点

1. 加筋土挡土墙的关键问题是排水和防水，一定要防止水浸入挡墙，对亚黏土和黏性土尤其重要。同时，对所有与填土接触的部件均应采用严密的防水措施，面板拉环及钢带必须做防锈处理，拉环与聚丙烯带不得直接接触，应有衬垫。拉筋的钢断头用沥青胶封口；对墙板内侧面涂刷防水剂等。

2. 铺设拉筋时务必拉紧，这是保证墙板稳定在设计位置，确保墙板安装质量的重要一环。填土时，距离墙板 1m 处可用 12~15t 压路机进行碾压，装运填土时，重型自卸汽车要经常距离墙板 2~4m 内操作，机械的压力和振动对墙板向外推移影响较大，如拉筋未拉紧，墙板向外移势必偏大。在施工中，一经检查发现墙板超出设计位置，应责令立即返工。

3. 严格控制填料的分层摊铺，分层压实，碾压程序要符合工艺规定既要保证墙体稳定，又要达到填料的压实标准。

4. 加筋挡墙的模板一定要用钢模板，尺寸一定要准确，这样预制成的面板拼装时纵、横缝才能符合标准，使面板间接缝受力均匀，拼出的挡墙使用寿命长且美观。

5. 加筋挡墙的成败关键是筋带的强度与耐久性，如果筋带质量不过关，加筋挡墙的寿命就无法保证，甚至会出现工程质量事故。加强进货质量检验，择优选用至关重要。施工中，一定要精心组织施工，加强施工现场指导，严格把守工序质量，才能使这种安全、经济、实用、美观的工程设计得以完美地实现。

四、施工的质量标准

1. 质量要求

- (1) 地基应符合设计要求；
- (2) 预制板的强度和符合混凝土工程的质量要求，经检验合格后才可安装；
- (3) 筋带的强度和规格，应符合规范及设计的要求；
- (4) 筋带的长度、根数不得小于设计要求。筋带需理顺、放平拉直。筋带与面板、筋带与筋带应牢固连接；
- (5) 使用钢筋带时，应进行防护处理；
- (6) 填料的规格和压实度，必须严格按照规范及设计要求进行；
- (7) 墙面板光洁无破损，平顺美观，板缝均匀；
- (8) 墙面直顺，线形顺畅；
- (9) 沉降缝贯通、顺直。

2. 质量标准

(1) 墙高 $H \geq 6\text{m}$ ，墙长 $L \geq 200\text{m}$ 或墙身面积 $A \geq 1000\text{m}^2$ 的大型加筋土挡土墙分部工程可划分为基础、面板预制、面板安装及加筋土挡土墙总体等分项工程。面板预制的质量标准。

(2) 一般加筋土挡土墙可按加筋土挡土墙总体的质量标准检查评定。

(3) 距加筋土挡土墙面板 1m 范围内的路基压实度，可采用现行《公路加筋土工程施工技术规范 (JTJ 035)》的规定值检查评定。

第十一章

人行道（盲道）步行街 广场施工技术规范

第一节 施工技术一般规定

一、定义及用途

人行道为城市道路两侧，里弄及居住区、广场、步行街供行人使用的设施。在人行道中设一定宽度可指引盲人行走的道路为盲道。道路两侧的人行道为城市道路的组成部分，人行道与绿化带相连时应按设计要求埋设路缘石、侧石或水泥砖。步行街、公园道路、广场以及停车场等，除设计另有规定外可参照本章所述。

二、人行道的种类和结构

1. 按材料划分的种类：人行道面层按材料可分为：沥青混凝土面层、水泥混凝土面层。水泥混凝土面层有现浇水泥混凝土面层和水泥混凝土预制块（花砖）面层。目前较多的使用预制块铺设的人行道面层，且品种繁多，包括：普通水泥混凝土人行道方砖、连锁砌块水泥混凝土预制块、彩色花块预制块以及其他异形花砖预制块。

另外，其他材料制成的预制块，也被广泛使用。其中有缸砖、陶瓷、人工和天然石材以及其他装饰用预制块等逐渐在重要道路人行道、广场和步行街使用。

2. 结构：人行道结构由面层、基层、必要时加设隔温垫层（如煤渣层）构成。人行道基层通常使用煤渣石灰土或石灰土以及其他章节所述的基层用稳定土均可。其结构的层次、厚度由设计确定。

第二节 施 工

一、材料选用

(一) 沥青混凝土面层

应采用细粒式或微粒式沥青混凝土，最大粒径为 10mm 的沥青混合料。沥青混凝土混合料要均匀一致，无花白、无粗细料分离和结团成块现象。

(二) 现浇水泥混凝土

抗折强度应不低于 3.5MPa，粗骨料尺寸不应大于厚度的 1/2。所用水泥、石料、砂和水等材料施工，见有关章节。

(三) 预制块

1. 特点：预制块是根据需要的块型、强度、颜色、质地工厂化预制出来的成品块。在施工现场直接铺砌，施工技术简单、快捷。

2. 一般水泥混凝土预制块，厚度不低于 5cm。居住区道路或停车场等面层应不低于 8cm。表面应有一定的粗糙度以防滑，表面有花纹的应线路清晰，外观无蜂窝、露石、脱皮、裂缝等现象。

3. 彩色花砖：必须表面平整，色泽均匀一致，且表面有一定的防滑性能。线路清晰，棱角整齐，彩色表层采用耐候性好，不易褪色的颜料。彩色表层厚不宜小于 8mm。

4. 连锁砌块：形状不限，但必须整齐统一，混凝土强度 28d 不低于 40MPa，必须表面平整、棱角无缺，颜色一致有光泽且表面均匀细致，无麻面掉皮现象。

5. 各种形状的路面预制块，顶面四周应用 $5\text{mm} \times 45^\circ$ 的倒角，有利于施工（高档石材地砖除外）。

6. 人工石材预制块：人工石材是用石材集料和颜料生产模拟高档天然石材的铸石砌块，块型与水泥混凝土预制块相似，色彩和质感较好。多用于步行街、广场及主要人行道。

7. 天然石材：用天然大理石和花岗岩根据需要块型制成的板块，其厚度小于水泥混凝土预制块，常用厚度为：2~3cm，是色彩质地较高档的地砖。多用于步行街、广场及主要人行道。料石：是天然岩石加工而成的条石或块石，顶面粗琢平整，适用于人行道、堆料场、公园、风景区道路或仿古建筑道路。

(四) 基层材料

1. 土（应首选当地上源）及石灰（ \geq 三级石灰标准）：材料技术要求同道路基层有

关章节。

2. 煤渣：系煤经燃烧后的残渣，属低活性的火山灰质材料。颗粒疏松多孔，一般松密度 $0.7 \sim 1.1\text{t}/\text{m}^3$ ，比重 $1.7 \sim 2.4$ ，主要化学分为 SiO_2 和 Al_2O_3 用煤渣宜选用不含杂质，粗细颗粒均匀，细灰较少为佳，拌和后其最大粒径不应大于 30mm （方筛）。

3. 煤渣石灰土混合料的组成设计：包括根据强度标准，通过试验选取最适于（或现场土源）稳定的土。确定煤渣石灰与土的比例（重量比）确定混合料的最佳含水量。

二、基槽施工

1. 施工准备：应根据施工组织设计设置好行人及车辆通行与绕行路线的标志且施工前须先了解地下设施的铺设情况，做好标志，以免施工误毁。

2. 测量放线：按设计图纸进行实地放线，标定高程，一般为 10m 一桩，曲线段适当加密。在桩橛或建筑物划出预定标高“红平”。若人行道外侧已按高程埋设侧石，则以侧石顶高为标准按设计横坡放线。

3. 施工：可采用人工或机械按槽底的标高填挖土方，清理出槽底，经找平（根据土质预留虚高）用平碾或夯具夯实槽底直至达到密实度要求，轻型击实 $\geq 95\%$ 。槽底弹软地段可按《路基土改善与处理方法》有关章节、处理。如填土方 $> 20\text{cm}$ 应符合路基土填土基本要求。如有地下管线等设施同时施工，应做好沟槽还填处理。当管线埋设覆土深度 $< 50\text{cm}$ 厚时，为保障地下设施不受毁坏可采用反开槽施工，先修筑基层后开槽。基槽完工后外观不得弹软、积水，无明显轮迹。

4. 垫层施工

（1）垫层：是介于基层与土层之间的结构层。在土基的水温状态不良情况下可以改善土基的水温状况，提高路面结构的水稳定性及抗冻能力，并可分散荷载，减小土基变形，一般可采用煤渣做垫层材料。

（2）铺煤渣层按设计标高，结构厚度加虚铺系数，人工（ $1.5 \sim 1.6$ ）机械（ $1.1 \sim 1.2$ ）。将煤渣摊铺于合格的槽底，大于 50mm 的渣要打碎，粗细料宜摊铺均匀。

（3）检验：根据不同季节及含水情况适当洒水碾压成活之后，检查标高、横坡，平整度应控制在 20mm 之内（ 3m 直尺量取最大值，每 20m 取一点）。

三、基层施工

1. 沥青混凝土人行道常采用煤渣石灰土基层以减少沥青混凝土人行道基层反射裂缝。水泥混凝土及水泥预制块人行道，可采用石灰土基层或其他混合料基层，石灰土基层施工要求可参照有关章节。

2. 人工拌和煤渣石灰土。配料：按换算体积比配料，分层摊铺、拌和。拌和土需通过 25mm 方筛，煤渣大于 50mm 的块要随时打碎。拌和过程中必须随拌和随洒水。质量要求：外观要求拌和均匀配比准确，严禁有未消解石灰颗粒，不能有夹层和漏拌。

3. 摊铺：将拌和好的混合料按摊铺厚度均匀摊开找平（用人工或平地机）。
4. 碾压：含水量检验合格后（最佳含水量 $\pm 2\%$ ），即可进行压实工作。采用平碾压实时，应错半轴碾压至压实度符合要求。对边缘处及碾压不到之处，应用火力夯或振动夯板夯实。火力夯夯实必须一环扣一环。
5. 养护：碾压或夯实达到密实度要求，检测高程横坡度和平整度，应有不少于一周的洒水养护，保持基层表面经常湿润，并按质量标准检验。
6. 人行道基层如果使用机械拌和或场外预制石灰土等混合料施工：施工方法具体内容可参照《石灰稳定土》等有关章节。

四、面层施工

1. 沥青混凝土面层施工

(1) 准备：清除表面松散颗粒及杂物，覆盖侧石及建筑物以防污染，喷洒透层油一道，可增加基层与沥青面层面的结合，增强基层的防水性能。透层沥青的规格和质量应符合《公路沥青路面施工技术规范》（JTJ 032—94）中附录 C，表 C-3 和表 C-5 的要求。

喷洒透层油，可用喷油机（人工）或沥青洒布机完成，见有关章节。

次要道路人行道可不用透层油，但也应清除浮土杂物，喷水湿润。与面层沥青混凝土接触的侧石、井壁、接茬等部位应刷结合油（粘层油）一道，以利结合。结合油用材料可与面层沥青混凝土所用沥青种类标号相同的沥青。

(2) 铺筑面层：先检查沥青混凝土到达工地的种类、温度、拌和质量等。冬季运输应苫盖保温。人工摊铺应计算用量，分段卸料。一般虚铺系数为（1.2~1.3），上料应扣锹操作，且不要踩在新铺混合料上。注意轻拉慢推，搂平注意粗细均匀，不使大料集中。

(3) 碾压：用平碾（宽度不足可用火轴碾压）错半轴碾压，并随时用 3m 直尺检查平整度，随时进行修整、点补、趁热压实，碾压不列位处用热夯式振动夯板夯实。

(4) 接茬：油面接茬应采用立茬涂油热料温边的方法。低温施工应适当采取喷油皮一道，并铺热砂，以保护人行道面层，防止掉渣。沥青混凝土人行道质量要求：表面平整坚实，没有松散、裂纹、掉渣、积水、粗细料集中等，接茬紧密平顺，与其他构筑物应接顺。

(5) 沥青混凝土人行道面层铺筑厚度为 2.5~4cm。一般为单层式施工，多层施工可参照有关章节。

2. 现浇水泥混凝土面层施工：

- (1) 现浇混凝土面层的强度、厚度应符合设计要求。
- (2) 所用有关材料及混凝土的配合比设计应符合《水泥混凝土路面》要求。
- (3) 其施工工艺除表面按设计要求刻缝或滚花外其余均同于《水泥混凝土路面》要求。

3. 普通水泥混凝土预制块

(1) 普通预制块一般为方形或长方形（称方砖或花砖）。

以上为施工尺寸，花砖实际尺寸长宽均应小 2mm。

(2) 复测、定位、给高

按设计图纸复核放线，用测量仪器打方格，并以对角线检验方正，定出基准线，每方格应根据路面砖块型尺寸及道路宽度确定，一般以 5m 左右为宜。然后在桩橛上标注设计高程，如有路缘石应先砌筑路缘石并以此为基准线。路缘石应与侧石平行，距离应以整数花砖尺寸（含缝宽）为宜。

(3) 装卸水泥花砖应轻装轻卸，以免损坏。运输前应确定好每方格内所需数量，按所需数量、颜色、强度分别堆放整齐。减少额外搬运，砖间缝宽为 2mm。

(4) 砂浆和砂垫：一般人行道采用 1:3 石灰砂浆偶尔有过车的路段及水毁路段，可设 1:2.5~1:3 水泥砂浆（体积比），配料要准确，石灰、粗砂要过筛，砂浆和易性要好，所用材料要符合有关章节规定。铺筑：应于清理干净的基础上洒水，使基层表面湿润然后铺筑拌和好的砂浆或砂垫，厚度一般为 2cm。按虚高用刮板找平，铺垫层应随砌砖同时进行。

(5) 铺砌普通水泥预制块：按放线高程，在方格内按线按标准缝宽砌第一行样板砖，然后以此挂纵横线，纵线不动，横线平移，依次按线及样板砖砌筑。直线段纵线应向远处延伸，以保持纵缝直顺。曲线段可砌筑成扇形状，空隙部分用切割砖或细石混凝土填筑、并刻缝与花砖相仿以保美观，也可按直线顺延铺筑，然后填补边缘处空隙。

砌筑时，砖要轻放。用木锤或胶锤轻击砖的中心，不得向砖底塞灰或支垫硬料，必须使砖平铺在满实的砂浆上稳定，无任何空隙。铺砌时为保证平整度应随时用直尺检验平整度，出现问题及时修整。砌筑时应避免与侧石出现空隙，如有空隙应用在建筑物一侧，当建筑物一侧及井边出现空隙可用切割砖填平，必要时也可用细石混凝土补齐并刻缝与花砖相仿，以保美观。

(6) 灌缝用 1:2~1:3（体积比）水泥细砂干浆灌缝，分多次灌入扫埽，直至缝隙饱满。

(7) 清理，检测完工后应将分散在各处物料集中，保持工地整洁。对完工后的面层根据质量要求进行检测和维修。

4. 盲道：用砖砌筑方法相同。盲道砖应在人行道路中设置，避开树穴、检查井等障碍物。设置宽 $\geq 50\text{cm}$ ，其花砖表面凹凸纹理清楚，以指引盲人行走辨认、拐弯和商场门口应以相应凹凸纹理花砖相指引。盲道用砖应用黄色以醒目，避免其他占压。

5. 连锁砌块及其他异型砖施工

(1) 连锁型路面砖形状各异，但边呈多边形或曲线型，铺筑后砖之间能相互咬合，形成拱壳以增加路面强度及整体性。

(2) 砌筑路缘石根据设计边线放线，首先砌筑路缘石和侧石防止砂垫层流失，并在

缘石边设定铺设路面砖基准点（起始铺筑点）。根据铺砖的方向通过基准点设置两条互相垂直的基准线。顺缘石铺砖，缘石即为一条基准线，当人字形铺砖时基准线与路缘石夹角为 45° 。

需设两个及以上路面砖基准点同时铺筑路面砖时，根据形状尺寸计算好两基准点之间距离。两基准点距离不宜过大，不宜超过 10m 如距离较大，根据工程规模及块型尺寸宜加设间距为 5~10m 的纵横平行路面砖的基准线，以控制铺筑精度。

（3）铺垫层、连锁砌块一般使用砂垫层厚度为 $2.5 \sim 3\text{cm} \pm 5\text{mm}$ 垫层用砂质量要求通过 5mm 筛孔的累计筛余量不大于 5%，且含泥量 $< 5\%$ ，泥块含量 $< 2\%$ 。

砂的虚铺系数一般为 1.1~1.2，大面积施工虚铺厚度应由试验所确定，摊铺砂垫可用刮板法，已摊铺的砂垫不得扰动，也不应站在砂垫上作业，否则会影响路面质量。

（4）路面砖铺筑

铺筑连锁路面砖从基准点开始沿基准线铺筑，基准线可视为路面砖接缝边线，也可视为路面砖相互垂直的顶角连线。

连锁路面砖铺筑只将砖准确平放在砂垫层即可，当路面砖接触到砂垫层不宜横向移动。多个基准点同时铺筑，应把握好各基准点向外延伸的路面砖组合，避免产生面砖不能交汇，各种组成形式。

（5）特殊部位施工：包括检查井的边缘，转角处，人字形铺筑路面边缘。出现不足整块砖的孔隙时应采用切断砖块、补齐，必要时也可用 C20 细石混凝土补齐。但应在边角部位砂垫层上垫一层水泥纸袋，以防跑浆而损失强度，其色彩应与地面一致。

（6）灌砂和碾压：连锁砌块铺筑完毕要进行碾压及灌缝。碾压宜使用专用手扶胶轮振动碾。碾压方向应与路面砖长度方向垂直，灌缝用细砂，灌砂与振动碾压要反复进行，直至灌满填实。当遇有常受浸蚀的地面，如水、油等应用 1:2 水泥砂细、干浆灌缝，分多次灌入和浇水沉实并养护。

（7）检验：路面施工完毕，清扫干净后，应对路面人行道面层各项标准全面检查。连锁路面砖成活后，外观不应有污染、空鼓、翘动、掉角及路面砖断裂等缺陷。

五、其他路面砖施工

1. 彩色花砖：彩色花砖是指各种颜色的水泥混凝土预制块，可以铺砌成各种图案。砌筑办法同普通水泥混凝土预制块，但应注意图案排列要整齐、颜色要一致与附近建筑物及环境相协调。

2. 人工石材和天然石材。

3. 种草预制块：异型块可制成带有各种形状空洞的植草砌块，留出规则的空隙，空隙内植草，形成能行人的草皮，一般可铺筑在居民区道路、行车场、树穴有绿化要求的地带等。能减轻太阳辐射，美化城市环境，施工方法相同。

第十二章

道路附属设施 施工技术规范

第一节 侧石、缘石施工

一、一般规定

1. 定义及用途：侧石（平石）系位于城市道路两侧或分隔带、中心岛四周、高出路面和分隔车行道与人行道、车行道与分隔带、车行道与中心岛、车行道与安全岛等设施以维护交通安全的设施。侧石与平石可综合使用通常设置在沥青类路面边缘。

缘石系位于道路车行道与路肩之间，高级路面与低级路面之间或预留路口的沥青路面接头处，顶面与路面齐平，以维护路面边缘不被损坏的设施。

2. 侧缘石的种类、规格：

一般有水泥混凝土预制，也有天然石材（花岗岩）等琢成及水泥混凝土就地浇筑侧石，侧石有直线型和弧线型，前者用于直线及大半径曲线上，后者用于小半径曲线，如路口、分隔带端及小半径圆岛等。

3. 侧石、缘石预制与检验：侧石（平石）缘石的制作多由预制厂加工制造，应符合图纸尺寸，混凝土强度应符合要求，混凝土浇筑按有关章节规定办理，出厂前及现场施工前对成品应做质量检验，合格后方可使用。

二、侧石（平石）、缘石、施工

1. 通常柔性路面侧石（平石）、缘石的施工应在铺筑沥青面层前，水泥混凝土路面应在路面完工后施工。施工准备：

（1）侧、缘石一般在道路基层完工后施工，可安装在基层结构上，也可利用底基层结构自然加宽的部分作为侧、缘石的基础。

（2）测量放线：根据设计核对道路中心线无误后，放出路面边线定出边桩及高程、直线部位设 10m 桩，曲线部位边桩应加密，保证曲线圆弧尺寸。

2. 刨槽

（1）人工刨槽：按边桩的位置拉线或打灰线，以线为准。按要求宽度向外刨槽，一

般为一锹宽（约 30cm）。

刨槽深应比设计加深 1~2cm，且槽底要修理平整。

(2) 机械刨槽：使用刨槽机，刀具宽应较侧、缘石宽出约 1~2cm，深度应比设计加深 1~2cm，槽底修理平整。

(3) 刨槽后应采用基层用混合料或石灰土（3:7）（体积比）铺筑到要求高程，且夯实，厚度至少 15cm、密实度 $\geq 95\%$ （轻型击实）。

3. 安装

(1) 铺垫层：安装时先拌制 1:3（体积比）石灰砂浆（或水泥砂浆）做垫层，厚 1~2cm 铺于侧石底部，缘石也可用松散过筛的石灰土代替找平基础。

(2) 安装：按桩橛线及侧、缘石顶面标高拉线绷紧码砌侧、缘石。每段长度应为侧、缘石的块数（含缝宽）的整数倍，以防多处砌筑出现较大空档。曲线处应注意侧石、缘石外形圆滑，相邻侧石缝隙为 0.8cm 可用木板条控制侧石的缝隙，缘石不留缝，侧石与平石共同使用时，可直缝相接，也可错缝对中相接，缝宽同侧石。侧石要安正，忌前倾后仰。成活侧石、缘石顶角线圆滑平顺无凹进凸出，高低错牙现象，符合标高要求，平石没有阻水现象。

(3) 还填：外侧后背可用基层剩余混合料或拌制 2:8（体积比）石灰土回填夯实，应两侧同时分层还填夯实，回填过程中要不断调整侧、缘石线，使之顺直圆滑。里侧还填与道路基层相接，外侧还填宽：不小于 30cm，高：缘石外侧与顶石齐平，侧石外侧还填高度应保证侧石稳固，外侧有人行道可与人行道基础齐平。必要时可根据设计增加水泥混凝土后戗。（即在侧石后直接使用较低强度等级混凝土，现场浇筑振实成三角形面的后戗）以稳固侧石。

(4) 勾缝：将侧石缝内的杂物及土清除干净，用水湿润，然后用 1:2~1:2.5 的水泥砂浆灌缝填实勾平缝或凹缝，砂浆初凝后，扫除多余灰浆，达到整齐、美观，并适当洒水养护，不少于 3 天。

4. 里程碑：重要的道路可设有道路里程标志（里程碑）一般用金属铸制而成，按里程标志固定在安装好的侧石上，一般安装在侧石外露的内面或侧石顶面。

5. 现场浇筑：当特殊部位难以适用预制的侧石、缘石时，可现场支模、浇筑。水泥混凝土等级不低于 C30，施工方法同《水泥混凝土路面》。

第二节 收水井、雨水支管

一、收水井

1. 一般规定

(1) 城市道路收水井是城市道路必要设施，其作用是：能及时将路面地表水排入雨水支管。

(2) 收水井构造：收水井是带有进水格栅（由铸铁制成的进水井算）的矩形井。由井算、井身和连接管组成，井身多用砖砌体，（砖材不得低于 MU10）也有水泥混凝土预制井身。基础一般采用大于 C10 强度等级的水泥混凝土，底板厚 $\geq 10\text{cm}$ 。

(3) 收水井形式：收水井可根据雨水井算的尺寸分为：大、中、小型。又可根据井算的布置方向不同分为：平算、立算和联合式收水井。城市道路多使用平算大型收水井。

2. 施工

(1) 准备：收水井施工放线宜在顶面基层完工后进行。

按设计要求放出侧石边线，钉好井位桩橛及收水井高程，注意井算与道路方向顺直吻合。

(2) 按位置及高程人工开槽，井周每侧应大于 30cm，以利施工。计算和控制槽深、槽宽并清平、夯实，注意槽底不应超挖，如有超挖不得用土回填。可用粒料回填或用加厚基础方法。

(3) 基础：一般为大于 C10 强度等级的水泥混凝土底板，厚 10~15cm。若槽底土质软可增做 15cm 厚 8% 石灰土加固土基后，再浇筑水泥混凝土底板、捣实、养护到一定强度方可砌筑井体。

(4) 井墙砌筑：在基础底板上铺砂浆一层（座浆），可砌筑井墙，按图纸做井底并用水泥砂浆抹出坡向支管的泛水，有沉泥槽可抹成平底（预制井身，可直接砌筑预制井身）注意井墙四角应在同一水平面上，并检查边线与侧石边线。砌砖应做到井壁平直，边角整齐，符合图纸尺寸且砖面对齐吻合方可砌筑，上下错缝内外搭接，砌砖砂浆要饱满（砂浆一般可用 C10）常温砌墙用砖块必须洒水浸湿。井身墙体砌筑到一定高度随砌随采用 1:2~1:2.5 水泥砂浆抹面（墙内侧），要抹两遍，总厚 1.5cm。外墙用 1:4 水泥砂浆搓缝，要随砌随搓使外墙严密。

随墙身的砌筑还应还槽，可采用基层用混合料，随还填随夯实，也可用碎砖等粒料还槽并灌 1:4 水泥砂浆，还可用 C10 水泥混凝土回填，做到回填密实以免回填不实使路面产生局部沉陷。当砌筑支管顶时，应将管头与井算内口接平，用水泥砂浆将井口与井算接好抹平抹严。墙身砌筑达到要求标高时，用水泥砂浆座浆安装井框和井算，井框和井算必须顺畅。收水井砌完后，应清除一切杂物，拆除管堵，按标准检验。

预制混凝土井身：预制井身尺寸与井算相配套箱体常用于单算式收水井，一般因井深过长可为分段拼装，每段长 40~50cm，根据井深拼装 2~3 段可直接在基础上座浆砌筑，每段之间接口要抹严、抹平、压实至要求标高时用水泥砂浆安装井框和井算，其他施工同前。

(5) 采用多算式收水井时砌筑方法同单算式收水井，水泥混凝土过梁位置必须要放准确。

二、雨水支管

1. 一般规定：雨水支管是将收水井内的集水流入雨水管、检查井内的构筑物，其管径与埋设坡度应按设计图纸。常用管径为 20~30cm 为防止杂物进入管道造成阻塞，天津地区一般采用管径为 30cm，支管埋设应顺直，坡度一般为 3%~5%，在与各种管线交叉的困难地段不应小于 1%。支管的覆土深度应不小于 70cm 以满足冻融的需要。管材：一般为水泥混凝土预制管材，多为平口管。

2. 施工

(1) 挖槽：为防道路各工序施工造成支管损坏常采用反开槽（即根据道路结构层和支管覆土要求确定在路槽或一步底基层反开槽施工）。其开槽位置，管底高程，按设计图纸放线，槽底宽应满足施工需要，一般管外径每侧应加宽 >30cm，挖至槽底高程后挂中线，检查宽度和高程是否平顺，合格后可支基础模板浇筑混凝土基础，当采用 90°基础四合一管时可按混凝土基础的要求，立茬挖土制成土模以备浇筑混凝土基础。

(2) 四合一施工（即基础混凝土、铺管、八字混凝土、抹箍同时施工）

①基础：浇筑强度为 C10 水泥混凝土基础，将混凝土表面作成弧形并进行捣固，混凝土表面要高出弧形槽 1~2cm，靠管口部位应铺适量 1:2 水泥砂浆，以便稳管时挤浆形成底箍以防漏水。

②铺管：将洒水湿润的支管稳在混凝土基础表面，轻轻揉动至设计高程，可用挂边线控制下管高程及顺直度。注意保持对口和中心位置的准确。雨水支管必须顺直不得错口，管间留缝 <1cm，灰浆如挤入管内要及时除净。铺管应从检查井一端开始与预埋支管相接，如果检查井没有预埋支管或预埋支管位置不准确，按正确位置在检查井上凿孔，将支管接入检查井。支管口与检查井内壁齐平，用砂浆严堵管周缝隙，并将管口与井内壁抹严、抹平、压光检查井外壁与支管周围衔接处应用水泥砂浆抹严。

③八字混凝土：当管平稳好后按要求抹出混凝土八字。

④抹管箍：管座八字混凝土灌好后，立即用 1:2 水泥砂浆抹箍（水泥宜采用 32.5 级以上标准，砂要用中砂过筛）。抹箍前先将管口刮净，并洒水湿润。抹箍先用砂浆填满管缝压实略低于管外皮，如砂浆挤入管内要随时刷净，然后刷水泥素浆一层宽 8cm~10cm，再抹箍压实，并用弧型抹子赶光压实。为保证管箍和管基、八字成一体，四合一施工应连贯宜在每道工序水泥初凝前即进行下道工序施工。管箍抹完初凝后应覆盖洒水养护，注意勿损坏管箍，且雨天不宜管箍施工，必要时应有防雨措施。

(3) 因地下管线造成支管埋设深度不能满足基层施工重碾碾压时（覆土 <50cm），应做 360°包管加固，即四合一管后管箍可做平箍于次日按设计要求做水泥混凝土包管。水泥混凝土须插捣振实，并养护。

(4) 支管沟槽回填：回填应在混凝土强度达到 50% 以上进行，应在支管两侧同时回填。回填材料可用底基层混合料或拌制石灰土分层回填，管顶 40cm 范围内用人工夯实，还填至底基层高度时应使用同层材料配比。压实度要与道路结构相同，冬季施工不

得回填冻块。

三、升降各型检查井

城市道路在道路内常有雨、污水等各种检查井，在道路施工中要加以保护防止施工机械碰损。检查井位应做明显标志，井周采用人工开挖和拌和。当井顶面高程与道路设计高程不相符时应将井面高程进行调整升或降，应在基层完工后进行。

升降检查井先取下井圈，按设计高程升降井筒。如升降不大（一般 $< 20\text{cm}$ ）可直接砌筑井筒或拆除原井井筒砌体至所需高程，然后再将井圈用水泥砂浆稳好。如升降检查井高差较大井脖部位不能满足需要，应将旧井拆除到一定高度再重新砌筑收口。检查井升降完毕应将新砌筑部位，井内壁用 $1:2.5$ 水泥砂浆抹平、压光。外壁用 $1:4$ 水泥砂浆搓缝密实，还应将井内杂物清净。稳井圈：按设计高程挂线在顺路方向井两侧 2m ，垂直顺路方向井两侧各 1m 挂十字线稳好井圈、井盖。井周加固：对井四周可进行加固，水泥混凝土路面井周除用基层材料填齐夯实外，为保证井周四周路面不沉陷，可用水泥混凝土现浇 20cm 宽，与混凝土路面等厚的井圈强度与混凝土路面相同，沥青混凝土路面为保证路面完整，检查井外皮与基层之间四周浇筑一圈厚 20cm 、 C30 水泥混凝土加固，标高要低于井圈，以便铺筑沥青混凝土面层。

第十三章

桥梁基础工程 施工技术规范

第一节 明挖基础

一、基坑开挖

1. 概述

随着国家的发展,根据市政工程速度的加快,基坑工程越来越多,大深度的基坑周围复杂的地下设施,使得放坡开挖这一传统技术不再能满足现代城镇建设的需要,因此基坑工程引起了各方面的广泛重视。

基坑工程是个临时性工程,安全储备相对小些。但根据不同地区和地质条件,多种复杂因素交互影响,在理论上也是一项需要发展和完善的综合技术学科。

基坑工程造价较高,但又是临时性工程,一般不愿投入较多资金,特别在软土和地下水位较高的地区开挖基坑,由于方法选择不合理,很容易产生土体滑坡、基坑失稳、桩体变位、坑底隆起,支撑结构严重漏水、漏土,对周边建筑物、地下设施及管线的安全造成很大威胁。在基坑开挖中,挡土、支护、防水、降水、挖土等许多紧密联系的环节,其中的某一环节失效将会导致整个工程的失败,处理十分困难,造成的经济和社会影响往往十分严重。

2. 基础资料

基坑工程与自然条件较为密切,设计施工中必须全面考虑气象、工程地质及水文地质条件,充分了解工程周围环境与基坑开挖的关系。在基坑安全及周围环境的保护下,合理地满足施工的易操作性和工期要求,准确选用支护结构和各类设计参数。根据工程的特点,选择合理的设计施工方案,充分吸取当地施工技术和工程成功及失败的经验,并要有经济对比,做到安全可靠、经济合理、便利施工、缩短工期的要求。经调研收集有关资料汇总以全面掌握设计依据。

工程地质及水文地质资料

一般在施工前都要先掌握工程地质报告,对基坑所处的位置,相应地查找地层构造,土层的分类、土的参数、地层描述地质剖面图以及勘探点地质柱状图。地质勘探深度,一般在软土地层中要达到开挖深度的2~3倍。

①水文地质调查

基坑支护方案和开挖施工方案中，必须查清基坑处的水文地质条件，为此在基坑设计施工前作如下水文地质调查：

- a. 地下各层含水层（包括上层滞水）的地下水位的高度及升降变化规律。
- b. 地下各层土层竖向和水平向渗透系数。
- c. 潜水、承压水的水质、水压及地下贮水层流向。
- d. 特别要注意可能导致基坑失稳的流砂和水土流失问题，要注意调查研究关于黏性土中的薄砂层流动的可能性。

②地下障碍物勘探调查

基坑开挖前必须对基坑围护范围及外周边以内地层中的地下障碍物进行勘探调查，以便采取必要的措施，勘探调查内容如下：

- a. 是否存在旧的建筑物基础和柱。
- b. 是否存在废弃的地下室、人防工程、废井、废管道及其他管线。
- c. 是否存在工业和建筑垃圾。
- d. 是否存在有木桩和块石驳岸的暗流，暗流和老的河道，其深度、范围及走向。

3. 工程周围环境调查

基坑的开挖卸载带来地层的地下水位下降和水平位移会对周围建筑物、构筑物、道路管线及地下设施带来影响，因此在基坑支护结构、支撑及开挖施工设计时，必须对周围环境进行周密调查，采取措施将基坑施工对周围环境的影响限制在允许范围内，为此需调查如下内容：

(1) 基坑周围邻近建筑的状况

- ①周围建筑物分布状况（地形现状图）。
- ②周围建筑物与基坑边线的平面距离。
- ③周围建筑物性质，结构形式及各建筑物在不同沉降下的反应，则需收集此方面资料并作标记、照像和绘图形成原始资料并对其承受变形的性能做出分析鉴定。

(2) 周围管线及地下构筑物设施状态

- ①场地内和邻近地区地下管道资料：包括管道使用功能，管道与基坑相对位置、埋深、管径、埋设年代、构造及接头形式等，主要管线有煤气、上水、电缆、下水等。
 - a. 煤气管道：管材、接头、管节长度、管内径、管内压力、闸阀井位。
 - b. 上水管道：管材、接头距离、管内径、埋深、闸阀井位、内水压力及渗漏量。
 - c. 下水管道：管道、接头防水构造、基础形式、每个管节长度、外径、埋深、内水压、管井距离。
 - d. 热力管道：查明规格型号参照上述煤气管道。

②各种电缆线：查明规格型号，使用要求，保护装置，外径、地下埋深或地上架设、电杆高度及荷载状况、电杆基础类型，电缆类别有：A. 高压电缆；B. 通讯电缆；C. 路灯电缆；D. 交通信号电缆；E. 军用电缆；F. 广播、电视电缆；G. 防御设备电

缆。

③地下构筑物及设施（人防、共同沟、地铁隧道、公路隧道、地铁车站、地下车库、地下商场、地下通道、地下油库）的建筑结构平面及剖面资料，基础形式与基础坑相对位置。

（3）周围道路状况

①周围道路性质、类型、宽度。

②交通状况（交通流量、车载重量）。

③交通通行规则（单行道、双行道、禁止停车）。

④道路路面结构、道路基础及损坏的修复方法。

（4）邻近地区对地面沉降很敏感的建筑设施资料和要求

烟囱、变电站、气柜、锅炉、电视塔、医疗手术设施、化工装置、精密仪表设备、铁路道轨、铁路信号机柱及基础、铁路道岔、铁路上的信号电话通讯电缆。

江堤、防洪墙水闸、河岸加固板桩墙的有载锚杆、地桩。桥梁基础（尤其是拱桥基础）人行桥基础、无轨电车接触网线支柱。

（5）地下障碍

废旧管道的管径、长度、埋深、贮水量、管道结构状况、废弃的水井、废旧桥梁驳岸基础、工业或建筑垃圾坑。

4. 工程的施工条件

（1）基坑现场的施工条件也是重要的基坑工程设计依据，主要有以下几个方面：

①根据施工现场所处地段的交通、行政、商业及特殊情况，了解是否允许在整个施工期间进行全封闭施工或阶段性封闭施工。如工地处于交通要道处等，政府部门给予场地的封闭时间是有限的、阶段性的，则基坑开挖施工必须采用具体措施，以满足交通要求。

②了解所处地段是否对基坑围护结构及开挖支撑施工的噪声和振动有限制、以决定是否采用锤击式打入或振动式打入进行围护桩施工和支撑拆除。

③了解施工地段是否有场地可供钢筋加工制作、施工设备停放、施工车辆进出和土方材料堆放。如场地不能满足，则必须选择土方侧运和其他场地。

④了解当地的常规施工方法、施工设备、施工技术，在安全可靠经济合理的前提下，因地制宜确定设计方案，使设计施工方法适应当地的情况。

（2）有关设计依据

①基坑支护设计必须依据国家及地区现行有关的设计、施工技术规范或规程，如地下连续墙、钻孔灌注桩、搅拌桩等设计施工技术规范、规范和钢筋混凝土结构、钢结构等设计规范。因此设计前必须调研和汇总有关规程，并注意各类规范的统一和协调。

②积极调研和吸取当地相似基坑工程的成功与失败的原因、经验和教训，在基坑工程设计中应以此为重要依据，特别在进行异地设计、施工时更须注意。

（3）设计标准

在基坑方案设计中，必须根据周围环境要求、工程功能要求等制定出安全而合理的设计标准，使周围的建筑和构筑物及管线达到原有的功能。依据当地有关标准来控制因基坑开挖引起地面下沉和水平位移。为确保周围建筑物安全，必须拆迁到位，以使工程顺利施工。原则控制地面下沉量是基坑深度的 0.1%，围护结构水平位移应小于基坑深度的 0.14%。

二、基坑支护

（一）支撑围护结构的布置

基坑的围护结构主要承受基坑开挖卸载所产生的土压力和水压力并将此压力传递到支撑，是稳定基坑的一种施工临时挡墙结构。

（二）支撑结构的选定

1. 支撑材料和类型

应根据当地的地质、周围环境及施工技术和材料设备条件，因地制宜地选择安全而经济的支撑材料和支撑类型。

在软土地区，如当地开发商、施工单位已有钢支撑材料的，则首先考虑用钢支撑，而在建筑物密集市区的深基坑工程中，钢支撑要根据需要可做装配式钢支撑。没有钢支撑施工能力的可采用现浇混凝土支撑。

对于地质条件较好的地区，应首先考虑打设锚杆的方案。我国东北、西南地区使用锚杆较广泛。

除了比较各种支撑类型的技术性能外，支撑材料和形式的选择，还要做综合经济比较。要考虑租用、运输、安装、拆除等费用。

2. 支撑道数

竖向的支撑道数、支撑点标高的确定，应考虑在一定地质条件下，满足基坑围护和支撑结构的稳定和控制变形的要求。还要根据实际情况做好换撑、倒撑设计相协调。

在软土地区第一道支撑设于地面下 1.0~2.5m，每道支撑的竖向间隔一般介于 2.5~4.5m 之间，为减少基坑开挖后的围护结构变形，最下道支撑的布置尽量落低，但应高出基础或底板 60cm 以上，以便于施工。

3. 支撑体系的平面布置

对于软弱地层、周围环境复杂、控制基坑变形要求严格的深大基坑，应选择平面直交式或井字形集中式，支撑水平间距钢支撑一般 6~8m，混凝土支撑 8~10m。腰梁要与围护钢桩密贴，有空隙的地方应用钢板填实。

4. 支撑立柱桩

尽量要错开承台和墩柱的位置，必要时可设吊点，保证支撑正常工作。

基坑降水和钢桩计算就不详细介绍，请参见其他资料。

三、基底处理

(一) 还填处理

1. 素土垫层先挖去基坑下的部分土层或全部土层（一般是挖掉软土），然后回填素土，分层夯实。素土垫层一般适用于处理湿陷性黄土和杂填土地基。一般是根据垫层底部土层的承载力决定。应使垫层传给软弱土层的压力不超过软弱土层顶部承载力，一般不宜大于 3m。要根据应力扩散角来确定土垫层的宽度。

$$B' = B + 2h \operatorname{tg}\theta$$

式中 B' ——垫层底部宽度 (m)；

B ——基底宽度 (m)；

h ——垫层厚度 (m)；

θ ——应力扩散角（一般为 $22^\circ \sim 25^\circ$ ）。

2. 砂垫层和砂石垫层地基，宜采用颗粒级配良好、质地坚硬的中砂、粗砂、砾砂、卵石和碎石。一般按设计要求规定处理，石子最大粒径不宜大于 5cm。

砂石垫层应按级配拌和均匀，再铺填捣实，厚度一般 25cm 一层，底面宜铺设在同一标高上，多层分段施工，每层接头锚开 0.5~1m，要充分捣实，有条件可采用压路机往复碾压，达到密实度为准。

3. 灰土垫层地基，是用石灰和黏性土拌和均匀，然后分层夯实而成，体积配合比一般宜用 2:8 或 3:7（石灰:土）。灰土的土料可尽量采用地基槽挖出的土。凡有机质含量不大的黏性土都可以作灰土的土料，表面耕植土不宜采用。土料应过筛，粒径不宜大于 15mm。

用作灰土的熟石灰应过筛，粒径不宜大于 5mm，并不得夹有未消化的生石灰块和含有过多的水分。

灰土施工时，应适当控制其含水量，可用手紧握土料成团，两指轻捏能碎为宜，如土料水分过多或不足时，可以晾干和洒水润湿。灰土应拌和均匀，颜色一致，拌好后应及时铺好夯实。

(二) 坑底加固处理

1. 砂桩加固地基。砂桩一般用于加固饱和软土层的地基，也有用于加固松散杂填土地基。后者只起到挤密作用，前者则有排水固结及挤密两种作用。

砂桩可用天然级配的中砂、粗砂或其他代用材料，粒径以 0.3~3mm 为宜，含泥量不宜超过 5%，具有良好透水性的材料均可作为砂桩材料用。

砂桩可采用 $\phi 220 \sim \phi 320$ 桩径，桩长较短（7~8m）。在非饱和水的土层能形成直立的桩孔时，则可采用钢管打入土中成孔，然后拔出钢管或木桩，填砂捣实即成。在饱和水层和软黏土层（淤泥），则成孔灌砂方法可按混凝土灌注桩做法进行，并应注意如下各点：

(1) 打砂桩时基底可提高 0.5 ~ 1m 的覆土，待打完砂桩后，将覆土挖至设计标高。如坑底的不够密实，可铺以人工夯实。

(2) 在砂桩顶铺设一层厚度不小于 20cm 的砂垫层，设整个基底作为排水通道，使土壤受挤压时，水分沿砂桩上升至砂垫层，并经砂垫层向外排泄。

(3) 砂桩施工顺序，应由两侧向中间进行。

(4) 一般可采用振动桩机，将活瓣桩尖的钢筋沉下，灌砂、拔管即成。可采用灌水，使砂桩更密实。

(5) 灌砂时砂的含水量可控在 7% ~ 9%。

2. 旋喷法基底加固，是用高压泵将水泥浆液，通过钻杆端头的特别喷头，以高速水平喷入土体，借助液体的冲击力钻头切削土层，同时钻杆一面以一定的速度（20r/min）旋转，一面缓缓提升（一般为 15 ~ 20cm/min），使土体与水泥浆充分搅拌混合凝固，完成搅拌桩后，桩顶用压顶板把桩身压实，形成具有一定强度（可达 0.5 ~ 8MPa）的圆柱固结体（旋喷柱），从而使地基得到加固处理。

桩径一般为 $\phi 50\text{cm}$ ，深度根据土质情况确定，桩的含灰量在 12% 左右，强度达到要求后，要进行单桩承载力的抽测，以满足设计的要求。间距一般在 7.5m，三角形布置。注意桩长和含灰量的控制。

（三）岩层基底处理

1. 风化的岩层，应挖至满足地基承载力要求或其他方面的要求为止。

2. 在未风化的岩层上修建基础前，应先将淤泥、苔藓、松动的石块清除干净，并洗净岩石。

3. 坚硬的倾斜岩层，应将岩层凿平，倾斜度较大、无法凿平时，则应凿成多级台阶，台阶的宽度宜不小于 0.3m。

四、钢筋混凝土基础

（一）模板

1. 一般规定

基础模板制作、安装、拆卸等，应根据工程结构的性质混凝土浇筑方法，事先做出施工设计和施工方案。

基础模板要符合下列要求：

(1) 具有足够的刚度和强度，能承受浇筑混凝土侧压力，及施工中可能产生的各项荷载。

(2) 保证工程结构设计形状和几何尺寸。

(3) 模板面要平整、接缝严密、不漏浆，有条件的情况下尽量采用整体模板施工。

(4) 有基础混凝土垫层的基础，要保证垫层混凝土表面平整。

(5) 混凝土浇筑速度要根据实际计算模板侧压力和混凝土初凝时间来控制。

(6) 木模和其他易燃模板要远离火源，应符合消防要求规定，同时应设置消防设施。

2. 模板的制作与安装

(1) 目前施工单位使用的模板类型较多，有散拼的、有整体的、有木制的、有钢木结合的，钢模板等多种形式都要符合模板质量标准。

(2) 木模一般采用变形小的红、白松，含水率不宜大于 25%。

(3) 定型钢模板配置异型模板时，其不足部分可采用木模板加衬铁皮填补。

(4) 对大体积基础，可采用定型模和大型整体模板，规格尺寸的配合误差，应按机械加工的质量标准执行，使用单位要建立验收制度。

(5) 重复使用的模板应始终保持其表面平整，任何翘曲、隆起或损坏的模板在重复使用前必须修整，达到质量要求方可使用。

(6) 木模铁皮衬里和纤维板衬里，表面要平整、不起鼓、钉迹整齐。雨季采用纤维板衬里，要注意防雨，以免模板变形，混凝土要求一次完成，不留中间施工缝。

3. 模板拆除

(1) 模板拆除期限应根据结构物特点、气温及混凝土强度来确定。

(2) 模板拆除首先要保证混凝土表面及棱角不致拆模而受损坏。

(3) 模板拆除时，不许猛烈敲打或用撬棍在混凝土表面撬模板，防止模板弯曲变形。

(4) 拆除后的模板要清理干净，钢模涂油后要分类存放。

(5) 模板损坏要专人修理，注意模板养护。

(二) 钢筋

1. 材料

(1) 基础钢筋混凝土所用的钢筋，其钢号及规格均应符合设计的规定，钢筋的力学性能和化学性能必须符合国标的规定。

(2) 现场所进的钢筋应具有出厂质量证明或试验检测报告，对进口的钢筋应按照设计要求办理。

(3) 工程使用钢筋前，应做力学性能和化学分析复验，需要焊接的钢筋还应作焊接试验，无复试合格的不能使用在正式工程中。

(4) 钢筋要分批、分规格存放，不得混放，要做标识。

(5) 存放钢筋不能接触地面，一般要架离地面 30cm，存放期较长，露天经过雨季应遮盖并保证钢筋不要锈蚀。

2. 准备工作

(1) 钢筋下料前，应熟悉设计图纸，了解设计意图，根据图纸要求放实样。

(2) 计算下料的长度，注意混凝土保护层厚度。

(3) 如钢筋规格不符合设计要求时，可采用同钢号、同截面代用，但一定要经设计同意后，方可使用。

(4) 如发现钢筋间距和钢筋位置有问题的时候, 必须要与设计商定后方可改动。

(5) 钢筋加工应设专用场地, 以满足工程的需要, 合理布置机具和数量, 尽量减少场内多次搬运。

3. 钢筋调直与除锈

(1) 钢筋下料时必须清除污锈, 弯曲钢筋应调直。

(2) 成盘的钢筋采用调直机上调直后, 表面伤痕不得使钢筋截面积减少 50% 以上。

(3) 采用冷拉方法进行调直, 冷拉时按引伸率控制, I 级钢不宜大于 2%, II、III 级钢不宜大于 1%。

(4) 钢筋使用过程中, 如发生脆断、焊接性能不良、弯钩外侧有裂纹, 应停止使用, 加倍进行化学成分分析。

4. 钢筋加工

(1) 钢筋下料长度应考虑下列各项因素:

① 根据实际尺寸不能满足设计长度, 要根据搭接方式增加需要长度。

② 下料时应按不同直径钢筋的不同形式弯钩需要的长度及由弯曲时所伸长的钢筋计算下料长度。

弯钩部分全长: 对弯 180° 弯钩为 6.25 倍钢筋直径; 对弯 90° 弯钩为 5.75 倍钢筋直径。

(2) 各种钢筋要按设计编号顺序, 填写配料表, 做到统一配料。

(3) 配料时应注意同一断面内的接头数量, 不得超过下列规定:

① 对绑扎接头, 在受拉区光圆钢筋接头不得超过总面积的 25%, 螺纹钢筋不得超过 50%, 在钢筋弯曲及弯矩最大处不得有接头。

② 对电弧焊及对头焊的接头, 在同一断面内接头不得超过总面积的 50%, 在弯曲处不允许有焊口。

(4) 利用弯钩机弯曲钢筋时, 中心撇要等于 2.5 倍的钢筋直径。

(5) 弯折钢筋的弯起部分应变成平顺的曲线, 圆弧半径为钢筋直径的 15 倍, 弯起的位置和角度应符合设计图纸的规定。没有特殊要求, 一律用冷弯。

5. 钢筋接头

(1) 钢筋接头应采用焊接, 对直径小于 25mm 的钢筋, 在没有焊接条件时, 可采用绑扎接头, 对受拉构件的主筋应焊接, 不能采用绑扎接头。

(2) 钢筋一般采用搭接焊, 钢筋焊接前, 必须先进行试焊, 试焊合格后方可正式施焊, 焊工必须有考试合格证及安全培训证。

(3) 搭接焊尽量做成双面焊缝, 当有特殊条件限制不能双面焊时, 才允许采用单面焊缝。焊缝长度要满足规范的规定。

(4) 钢筋电弧焊所采用的焊条, 其性能应符合低碳钢和低合金钢电焊条标准的有关规定, 其牌号应符合设计要求, 若设计未作规定时。

(5) 电弧焊接后, 焊缝表面应是均匀细致的鱼鳞状, 不得有凹凸气孔、熔渣、氧化

块、间断、残穴、咬肉等，如有发现上述情况时，应进行处理。

- ①气孔、熔渣、氧化块及裂纹等均应铲去重焊。
- ②间断、残穴处可加焊填满。
- ③咬肉深度超过规定时，应补焊修正。

(6) 施焊场地有适应防风、雪、寒措施，环境温度低于 -20°C 时不得作业。

(7) 有条件的地方钢筋可采用锥螺纹接头连接。

6. 钢筋绑扎和安装

(1) 绑扎钢筋前认真熟悉图纸，核对各部位尺寸、规格、编号，对加工的半成品要检查核对。

(2) 具体绑扎程序

- ①可利用基础垫层混凝土的表面画线确定主筋的位置。
- ②按画线位置进行摆筋。
- ③绑扎固定已摆好钢筋。
- ④大型基础应设架立筋，架立筋固定后，再绑上层筋。
- ⑤水泥垫块要有固定钢丝，防止垫块移动和掉落，确保钢筋保护层的厚度，水泥垫块要与混凝土中的砂浆相同，并且强度达到要求时，方可使用。
- ⑥钢筋绑扎后，根据实际情况，可在适当的位置加一个电焊焊点，以免钢筋变形。
- ⑦预埋的钢筋根数和位置要准确，必要时可点焊固定。

第二节 沉入桩基础

一、锤击沉桩

(一) 施工要点及注意事项

沉桩前，应对桩架、桩锤、动力机械、射水管路、蒸汽或压缩空气管路、电缆等主要设备部件进行检查。

桩已吊插于桩位并检查符合要求后：可将桩帽、桩锤轻落于桩顶。

开锤前应检查桩锤、桩帽或送桩与桩的中轴线是否一致。在松软土中沉桩，将桩锤放在桩顶上时，为防止下沉量过大，先不解开钢丝绳，待安好桩锤再慢慢放长吊锤和吊桩的钢丝绳，使桩均匀缓慢地向土中沉入。同时还要继续检查桩锤、桩帽或送桩的中心是否同桩的中轴线一致，桩的方向有无变动，随时进行改正。经检查无误后即可进行锤击。

锤击沉桩开始时，应严格控制各种桩锤的动能；用坠锤和单动汽锤时，提锤高度不

宜超过 50cm（控制单动汽锤的落锤高度调整装置）；用双动汽锤时，可少开汽阀降低汽压和进汽量，以减少每分钟的锤击数；用柴油机桩锤时，可控制供油量以减少锤击能量。以后视桩沉入土中的情况，逐渐加大冲击能量；至达到桩的入土深度和贯入度都符合设计要求时为止。锤击时，坠锤的落距不得大于 2m，单动汽锤的落距不宜大于 0.6m，以免损坏桩身。

如桩尖已沉入到设计标高，但沉入度仍达不到要求时，应使桩继续下沉至达到要求的贯入度为止。

如设计文件未规定桩的最小入土深度，施工时应以满足桩的承载力为准。但桩的入土深度或低桩承台的底面以下至少应有 4m，如有冲刷时，则高桩承台的设计冲刷线（局部冲刷线）以下至少也应有 4m。

沉斜桩时，桩架的龙门挺（导杆）应符合斜桩的倾斜度。插完桩，将桩锤压于桩上，应复查一次，如每米倾斜误差大于 3mm 时，须进行校正。

接桩力求迅速，尽量缩短停锤时间。如停顿过久，土壤恢复，即难以打下。就地接桩宜在下接桩头露出地面至少 1m 以上时进行。必须使两桩的中轴线重合。

如桩架高度、起吊设备能力和桩的结构强度等条件都许可，可在制桩场地，预先接好桩，一次起吊沉桩。接好的两节桩必须与中轴线重合。如接头处不平、不垂直于桩的轴线，造成桩在接头处弯曲，弯曲处弯曲度大于 10mm 者，该桩禁止使用。

沉桩时，如遇到下述情况之一者，应即刻停止锤击，查明原因，采取措施后方可继续施工：

- （1）贯入度突然发生急剧变化；
- （2）桩身突然发生倾斜、移位；
- （3）桩不下沉，桩锤有严重回弹现象；
- （4）桩顶破碎或桩身开裂、变形；
- （5）桩侧地面有严重隆起现象；
- （6）其他不正常现象。

沉桩时，桩帽内的硬木垫块要经常换，特别是在桩帽倾斜时应及时更换。

蒸汽锤的蒸汽压力应不小于 0.7MPa。沉完一根桩后，应立即进行检查，确认桩身无问题后，再移动桩架。

沉好的基桩在未经过验收和必要的冲击试验以前，不得截锯桩头。如因特殊原因，必须截下时，其截下部分应编号保存，以备核查。

已沉好的各类空心管桩，应在桩顶临时加盖，以防止人或物掉入。

（二）常见问题处理方法

1. 桩贯入度突然减小，一般是桩由软土层进入硬土层，或桩尖遇到石块等障碍物。此时不可硬打以免桩身被打坏。查明原因后，可用射水配合沉桩将障碍物冲开，或改用能量较大的桩锤。

2. 桩身突然急剧下沉，有时还会发生倾斜或移位。这一般是由于桩身破断，接头

断裂或桩尖劈裂，多产生于木桩或管桩。应查明情况，再决定处理措施。对管桩的探查可采取以下几种方法：

(1) 灌水探查：向桩内灌水，如水面迅速下降；说明桩壁或接头必有破损处，但尚难查明位置和破损情况。

(2) 圆桶探查：可用木料或铁皮做成圆桶形状，吊入桩内探查管桩内壁的混凝土块被打坏处的钢筋向内屈曲的情况，以破损处的标高；并可探测桩内水位及泥面的标高。

3. 桩不下沉，桩身颤动，桩锤回跳：为桩尖遇到障碍物、或桩身弯曲、或接桩后自由长度过大。可根据障碍物的位置和类别，采取偏移桩位、加装铁靴，射水配合等方法穿过或避开障碍物。桩身过长可加夹杠。桩身弯曲过大，需要换过新桩。

4. 桩身涌起：在软黏土中沉桩，先沉的桩能随土的隆起而上涌。涌起的桩的承载力将降低。应选择涌起量较大的桩作冲击试验，如合格可不复打，如不合格，除该桩应复打外，并应将其他涌起的桩同样再作冲击试验和必要的复打。

5. 桩顶破损或桩身开裂，其原因有多种：桩顶部分混凝土浇筑质量太差、桩顶面与桩轴线不垂直、未安置桩帽或虽已安置桩帽但桩帽内无缓冲垫或缓冲垫使用已久失去效用、连接上下两节桩的轴线不在一条直线上、贯入度已很小，仍用重锤猛打等。

处理方法，应先查明原因采取相应措施：对木桩的顶面打毛、打裂或打歪时，可锯掉损裂的一段，加桩箍后继续施打。木桩的桩身发生轻微裂缝时，可用 $\phi 3 \sim \phi 4\text{mm}$ 镀锌钢丝将裂缝处缠绕多道捆扎加固，继续施打，并随时观察裂缝有无发展。

钢筋混凝土管桩的桩顶靠近法兰盘部分的管壁混凝土发生裂损，甚至混凝土剥落露筋，其原因常由于桩的制造、装运或施工不良造成：

(1) 属于制造原因：

① 混凝土水灰比控制不严，集料规格不合技术要求，混凝土拌和不匀；在离心灌注时混凝土发生离析，管桩内壁形成厚层浮浆，影响混凝土的匀质性。

② 混凝土和易性不良混凝土与法兰盘接触处产生缝隙。

③ 蒸汽养护控制不严，温度调节不当，拆模时强度不够或拆模受振动。

④ 法兰盘焊接不良，多数是加劲板角焊缝和盘面板与圆筒连接处的角焊缝焊接不好。

⑤ 主筋与法兰盘焊接不良，咬边、焊接长度不够，主筋烧伤，法兰盘平面与桩身中轴线不垂直或法兰盘偏心。

⑥ 主筋与桩尖焊接不良，桩尖与桩身中轴线方向不一致形成偏心。

(2) 属于装运原因：

① 装卸或吊运时碰伤。

② 吊点或支点不合规定，悬臂过长或中跨过大。

③ 堆码时上、下层支点未对正相互错位。

(3) 属于施工原因：

① 插桩不正，接桩不直。

②打桩时，桩的自由长度过大，产生较大的纵向挠曲和振动。

③在紧密的土中打桩，由于盲目地猛锤猛打，桩身弹跳振动过大。

④河床土质软硬不均或岩面不平，打桩时向较软方向偏移或桩尖沿岩面滑动，使桩身产生弯矩。

⑤锤击偏心或打斜锤击力不顺桩轴方向，产生弯矩。

⑥沉桩时中途停歇，土质恢复，阻力增大，复沉时锤击或振动过甚。

针对以上原因，在施工时应预先采取有力措施，以防止桩的断裂。

（三）断桩处理

对于沉入后已经断裂破损的桩，较为严重的应拔出重打或另补新桩外，其他可根据具体情况，作如下修补加固处理：

1. 河床以上部分，桩身露筋、混凝土脱落及裂纹较多的，可用薄钢板制成拼装式套筒，由潜水员安装于破损处桩的外围，套筒的长度应使套筒下端能放在河床上和视桩身破损部分的高度而定。

2. 在河床以下桩已断裂时，如仅管壁混凝土破损，而钢筋未变形时，可将混凝土浇筑至顶部。如钢筋已变形弯曲时，可用通桩器将弯曲钢筋冲开，加置钢筋骨架后填充混凝土。通桩器应用直径大小不同的，由小至大逐步替换冲击，以扩大桩心通路。如钢筋弯曲均在上部，而桩的下端有足够锚固力时，可考虑用拔桩设备适当地将钢筋拉直，但应避免将桩的下段拨动，再进行填充加固处理。

加固处理后的基桩，应进行静载试验。经试验合格，方可使用；如不合格，则加打新桩。

对于用射水法沉入的桩，当发现断桩时，可进行填充加固处理后，用静载试验。如承载力不合要求时，可用静载重将桩压入至一定深度，直至承载力合格，方可使用。

坏桩要拔除时，可使用双动汽锤、振动锤、拔桩汽锤进行。

二、射水沉桩

（一）适用性

1. 在砂夹卵石层或坚硬土层中射水沉桩时，一般以射水为主，锤击或振动为辅的施工方法，以免桩身打坏或振坏，并可加快下沉速度。

2. 在亚黏土和黏土中射水沉桩时，为避免降低承载力，一般以锤击或振动为主，射水为辅，并应适当控制射水时间和水量。

3. 下沉空心桩，一般用单管内射水。当桩下沉较深，或土层较密实，可用锤击或振动，配合射水。下沉至要求深度仍有困难时，如在砂质土层中，可再加外射水，以减小桩周的摩阻力，加快沉桩进度。

4. 下沉实心桩，将射水管对称安装在桩的两侧，并能沿着桩身上下自由移动，以便在任何高度上冲土。当在流水中沉桩或下沉斜桩时，应将水管固定于桩身上。

5. 射水沉桩配合锤击沉桩，可加快施工进度，效率高。桩不易打坏。
6. 该施工不适合沉斜桩，设备较多只能配合锤击或振动沉桩，不能单独用射水沉桩。
7. 射水沉桩不适用于承受水平推力及上拔的锚固桩或离建筑物较近的桩。
不论采取任何射水施工方法，在沉入最后阶段 1 ~ 1.5m 至设计标高时，应停止射水，单用锤击或振动沉入至设计深度。

(二) 设备

1. 水泵：为了减小射水压力的损失，应尽可能将水泵设在沉桩地点附近，在河流中，可将水泵设在船上。
2. 水源：尽可能用清水，以免堵塞射水嘴。水源地点较远，可按水渠或用水泵管路将水输送至沉桩附近贮水池中备用。
3. 输水管路：管路应尽量减少弯曲，力求顺畅。为了排除管内积水，管路应不小于 0.2% 的纵坡。管路支垫宜设在接头附近，接头间距大于 15 ~ 20m 时，应在管路中段设支垫。接头应紧密不漏水。每台水泵出水口应设止回阀、闸阀及压力表。高压水、干管内并应设保险用的放水阀，以免在射水嘴被土堵塞时导致水泵设备损坏。
4. 射水管：内射水的长度 L 应为：

$$L = L_1 + L_2 + L_3$$

- 式中 L_1 ——桩长，从桩尖至桩顶；
 L_2 ——射水嘴伸出桩尖外的长度，一般为 15 ~ 20cm；
 L_3 ——射水管高出桩顶以上的高度（包括弯管）。

(三) 施工工艺

采用内射水结合锤击下沉钢筋混凝土管桩的施工步骤：

1. 按照计算长度配好射水管，将各接头连接牢固，装上弯管，并与输水胶管接通，进行通水检验，在施工现场配备输水管道，做好排水系统。
2. 射水管装上导向环插入即将起吊的管桩，然后在桩顶接上钢送桩。
3. 吊插管桩：随着管桩的起吊，要注意及时引送输水胶管，防止拉断。
4. 管桩插正立稳后，压上桩帽及桩锤，吊桩钢丝绳暂不解下，即开启水阀，开始射水冲刷桩尖下的土层，使桩靠自重下沉。开始用较小水压，其具体水压力视土质软硬而定。
5. 初期应控制桩身不要下沉过快，以免阻塞射水嘴，并随时控制和校正桩的方向。
6. 下沉渐趋缓慢时，可开锤轻击，射水仍继续进行；下沉转快时，停止锤击。
7. 桩已沉入一定深度（8 ~ 10m）已能保持桩身稳定以后，可解下吊桩钢丝绳，并逐步加大水压和锤的冲击动能。必要时可增设桩外射水。但桩的自由长度仍较大时，则不宜过于加大锤击动能。

8. 就地接桩同时接长射水管时，为了防止停水导致泥砂涌入，造成桩内堵塞或卡住射水嘴，可在停水前先将射水管吊起约 50cm，继续不停地射水，待桩顶涌出较清的水时，停止射水，拆除弯管，进行接管、接桩。接好桩后，开启水阀，并将射水嘴放下到伸出桩尖以下的位置。

9. 桩下沉到距设计标高一定距离（1m 以上时，根据土质和下沉情况由现场主管技术人员决定）时，应立即停止射水，拔出射水管，进行锤击或振动使桩下沉至设计要求为止。

射水进行中，水阀不宜突然大开，以免射水水量、水压突然降低，涌入泥砂堵塞射水嘴。射水沉桩现场，必须挖好排水沟。

冬季施工时，应以防寒材料如草袋、草绳、锯末、麻袋等包扎射水管路，在停止射水时及时开启放水阀，排净管内存水。如遇严寒，应特别注意阀门部位，可用小火、电炉不停地烘烤，以防冻裂。管桩内亦应及时排出积水随即填充混凝土，否则应采取防冻措施。

严冬深夜施工时应加强照明。桩架上工作平台以及桩架附近的脚手板应铺设草垫防止滑倒。

（四）常见问题处理方法

1. 桩下沉发生困难，有两种不同情况：一种是由正常下沉突然变为不易下沉，在锤击时桩身颤动，桩捶有回弹现象。这可能是桩遇到障碍物或坚硬土层。可以适当地延续锤击，可能会穿过障碍物，切忌硬打，如仍无效时，可将桩拔出，检查桩尖有无碰撞障碍物的痕迹，必要时改移桩位。

另一种情况是桩的下沉逐渐缓慢，最后除桩身颤动，桩捶回弹外无其他现象。一般是桩周土层摩阻力过大，此时不宜硬打，应增大射水量及水压，并可增加外射水，或改用锤击动能较大的桩捶。

2. 桩突然急剧下沉：如桩位正直无变化，在开始急剧下沉可能是桩穿过密实土层后进入软弱土层，也可能是射水时间过长，桩尖下已冲空较大。一般可继续下沉，加强观测，但如在桩已经接近设计入土深度时发生这种情况，应考虑改变设计将桩加深或增加桩数。

如桩是经过大量猛烈锤击以后突然下沉，或桩有偏斜现象，则可能桩已断裂弯折，应即停止下沉，分析情况，采取措施，考虑拔出换桩重打，或另加桩。

3. 桩周停止翻水：水从桩顶空心内翻出或从邻桩处涌出。这是桩身周围已披土挤塞密实现象，桩下沉行将缓慢或难于下沉。具原因是射水水压、水量不足，或是曾用锤击使桩尖强行穿过密实土层。可加大射水压力、水量和延长射水时间并配合轻慢锤击或振动，或另加外射水，引水沿桩身周围上翻。如对桩下沉无大阻碍时，可不作处理。

4. 内射水管被顶起，且桩顶大量向外涌水时，是因为射水嘴已被顶起缩入桩内而产生的现象，应立即停捶，继续射水，并摇动射水管，使劲下插，如桩入土不深时可将桩上拔少许，使射水管落出桩尖。如仍不能解决，可将射水管拔起改作外射水或单用

锤击或振动。

5. 桩不下沉，桩内涌出大量清水：可能是射水管在桩内断裂或漏水。可吊出射水管检修。

6. 涌水由浑变清：可能是射水时间过长，或桩已沉入卵石或砾石层，应适当地加强配合锤击。

7. 停止涌水，有下列几种不同情况：

(1) 桩突然下沉，使桩尖撞击在硬层或孤石上，将射水嘴堵塞或砸扁。这时射水管无流水声音和感觉，胶管胀紧并发生颤动，水压表指针上升、摆动。可将射水管提起少许，如仍不通则进行检修。

(2) 由于桩管身弯折，使水管亦弯折压扁，水流不通。应吊出射水管检修。

(3) 停水后，射水嘴涌入泥砂堵塞，可能是停水过急或接桩时停水时间过长所致。

(4) 射水管内流水正常，压力表指针正常稳定，但不向上涌水，是因为水由渗水层流失。这时桩身周围的土未被扰动，可能逐渐沉积，增加摩阻力。如下沉困难，可加用外射水管辅助或增大射水量。

8. 射水管拔不出：停水后桩内下端被淤塞，挤住射水管。如加力硬拔，易将水管拔断。可在桩内另行插入射水管射水冲击淤积后，射水管即能拔出。

9. 水量与水压不足，常出现涌水量小、涌出泥砂量少、桩周围不涌水、桩下沉极慢或下沉停止等现象。其原因可能是水泵设备能力不足，可从水压表看出。管路有渗漏，管路内有障碍使水不畅通，或是吸入空气进入水管或泵壳内等。可查明情况后，适当采取下列措施：

(1) 随时检查维修管路和机械设备。

(2) 保持水源清洁和适当水位。

(3) 开放水泵的放气阀，放出空气。

(4) 如使用的管路不适合土质情况，将使水量或水压得不到预期的效果。如在砂土或砂夹砾石土层内，需要较大水量时，应使用稍大的水管；反之在坚硬黏土层内，需要较大水压时，则应使用稍小的水管或射水嘴。

10. 涌水后地面下沉是由于砂土大量随水流失所致。这将影响安放在地面的沉桩设备下沉，应事先估计到土层下沉影响范围而布置脚手平台。施工中应随时检查，加固和修理。桩架下的垫木应采用长木料，或加设钢轨加固之。

11. 射水不均衡造成沉桩的倾斜或移位：使用外射水时，两边对称的射水管中的水量、水压不均衡，或两侧土质较硬不均，均可能使基桩走向软弱的一侧。先下沉的基桩一侧土受破坏较大，虽经恢复仍有差别，从而导致后下沉桩的偏斜。或在下沉斜桩时土被冲松，由于桩身自重亦将使其斜度变更。可作如下处理或预防：

(1) 对称地安设外射水管，并注意掌握水量、水压的均衡。

(2) 插拔时预先偏向较坚实的一侧，具体偏移尺寸应根据土质和实际经验确定，并在施工过程中不断验证和修正。

(3) 在已偏斜的反方向增加射水的水量、水压，进行校正。

三、振动沉桩

(一) 振动沉桩施工的适用性

振动沉桩不适宜打斜桩及有接头的木桩，宜用于松软的或塑态的黏质土或饱和的砂类土层中，对于密实的黏性土、风化岩、砾石效果较差，基桩入土深度小于 15m 时，单用振动沉桩机即可，除此情况外宜采用射水配合振动沉桩。该施工法具有沉桩速度快、施工操作简易安全、能辅助拔桩的优点。

振动配合射水下沉管桩的施工方法：

(1) 初期可单靠桩自重和射水下沉。

(2) 吊装振动沉桩机和机座（桩帽）与桩顶法兰盘联结牢固。在射水下沉缓慢或不下沉时，可开动振动沉桩机并同时射水，以振动力强迫管桩下沉。振动持续一段时间后，当桩下沉又趋缓慢或桩顶大量涌水时，即停止振动，只用射水冲刷。经过相当时间射水后，再行振动下沉。如此交替下沉，沉至接桩高度时，拆去振动打桩机及输水管，在接桩的同时接长射水管，再装上振动打桩机，然后继续沉桩。

(3) 沉桩至最后阶段离设计标高尚有适当距离时，提高射水管，使射水嘴缩入桩内，停止射水，立即进行干振。将桩沉入至设计标高，并且最后下沉速度不大于试桩的最后下沉速度、振幅符合规定时，即认为合格，并拆除沉桩设备。

(4) 一个基础内的桩全部下沉完毕后，为了避免先沉下的桩周围的土被后来沉桩射水所破坏，影响其承载力，应将全部基桩再进行一次干振，使其达到合格要求。

(二) 施工要点及注意事项

1. 施工要点

(1) 振动时间的控制；每次振动时间应根据土质情况及振动机能力大小并通过实地试验决定，一般不宜超过 10~15min。振动时间过短，则对土的结构尚未彻底破坏，振动时间过长，则振动机的部分零件易于磨损。

在有射水配合的情况下，振动持续时间可以减短。一般当振动下沉速度由慢变快时，可以继续振动；由快变慢，如下沉速度小于 54cm/min 或桩头冒水时，即应停振。当振幅很大（一般不应超过 14~16mm）而桩不下沉时，则表示桩尖端土层坚实或桩的接头已振松，应立即停振，而继续射水，或另作处理。

停振后的射水时间亦应适当控制，过短影响下沉，过长不必要、浪费电力。其适当时间须根据已沉的基桩的下沉量与振动射水时间关系曲线进行比较，以得出适当的控制的时间。

(2) 管桩改用开口桩靴振动吸泥下沉：当桩基土层中含有大量卵石或碎石成破裂岩层，如采用高压射水振动沉桩尚难下沉时，可将锥形桩尖改为开口桩靴，并在桩内用吸泥机配合吸泥。

2. 振动沉桩时注意事项

(1) 振动沉桩机与接头法兰盘连接螺栓必须拧紧，不能有微小间隙或松动，否则振动力不能向下传递，管桩不下沉，接头也易振坏。

(2) 每一根基桩的下沉应一气呵成，不可中途停顿或较长的间歇，以免桩周土恢复，继续下沉困难。接桩、接管和停水干振的间歇时间应力求缩减。

(3) 振动沉桩机的齿轮、偏心锤各部件的螺栓、偏心锤轴承、电动机的轴承和炭刷、电线路以及电动机、振动机机座和桩顶等各部件之间的连接螺栓，在施工中均应经常检查。

第十四章

大跨梁施工 技术规范

第一节 支架法施工

一、适用范围或地段

支架法作为桥梁上部结构的施工手段，对于桥梁高度不大，结构梁比较简单的梁式桥同时整座桥梁均在旱地，或部分在旱地部分在河滩地，甚或部分在浅水河床中的各种类型的梁式均能适用。但由于地段的的不同，对所经过的地表须作必要的处理，使其承托住由支架传递下来的桥梁上部结构荷载，以保证支架不致发生大量的沉陷，保证桥梁上部结构的工程质量。

二、地基处理

1. 支架的设计与构造

设计支架时要考虑箱梁自重及模板脚手等施工设备与操作人员以及必要的运输车辆等施工荷载。一般根据施工现场的需要，以及施工单位现有的设备，现场的施工环境等情况，可采用满堂支架，支柱或桁梁体系，在施工环境中不能全部封闭交通时还需采用门架支撑以解决现场交通。所有支架均应能方便的调整箱梁底高程以符合设计要求。为梁板浇筑后便于拆除支架，在支柱顶部或底部采用可调高低的螺旋装置。同时在支架设计时，应另设宽度为 60~120cm 的坡度不大的上下走道，走道板应钉有防滑条。如果支架过高，最好安装带人的升降设备（临时电梯）。禁止攀登支架作上下脚手的手段。

2. 支架的载荷能力与试验

支架的荷载按上节要求考虑到其全部重量再加倾倒混凝土的冲击力以及各种振捣机械的附加力，一般经验值约为混凝土本身重量的 120% 左右。故在支架搭设完工后，应以 120% 混凝土的重量（可以砂袋或其他重物代替）采用堆载的方法均布的压于支架上，并设观测点进行观测。荷载的持荷时间应不少于 3 昼夜，如此一方面观察地基的承载力是否满足要求，另一方面可减少或消除支架的构造变形，以保证浇出的梁身不发生过大的挠度变形和开裂。

3. 支架地基的处理

支架地基的处理方法，根据工程所在地区的地质条件不同而选用不同的处理方法，以期达到承托支架传下来的压力，保证工程质量。概括说来，可分为下列几种类型。

(1) 在城市中有时支架底脚落于已建成的路面上或者地表坚硬的土层上，通过简单的试验或观察，可直接承受支架的压力，则可无须处理或简单碾压找平即可。

(2) 在地表土质较软而且松散者，则可采用碾压灰土的程序进行一步到两步的灰土层，如此一方面加大地耐力，同时避免养护水的侵袭变软。

(3) 在比较软的低洼地区，可以采用换填硬料；在换填硬料时，最好采用级配比较好的粒料，分层铺筑分层夯实。

(4) 在河滩附近，可根据地耐力情况浇筑低强度等级混凝土条基，以减少排架发生沉陷。

(5) 在河道浅水区，可采用打入短桩，于桩顶铺设横纵排木以作支架支撑。有时河内软泥层过深也可采用灌筑桩作底层排架桩，于其上再支设排架。但此法应在无航运的区域使用，以免拆除时困难，给航运造成影响。

(6) 在冬季或冻土地区搭设支架时，应考虑到在表层冻土融化后的情况或表层即将终冻的地表的变化，故在初冬或已封冻的地区，在支架施工前，应根据当地的冰冻线厚度进行开挖基坑，在保证正温的情况下对支架地基进行处理。此类地区根据气温变化情况可在夯实土基后进行灰土处理或浇筑贫混凝土条基处理比较理想。当然在处理过程中应考虑防冻问题。

三、支架类别与要求

1. 支架类别：支架类别很多，根据施工单位现有材料或在施工地区就地取材，目前支架发展成工具化，现仅就通用的或有特殊需要的介绍于后。

(1) 木柱支架：一般多为库存现成材料，在支架高度根据施工单位现有材料长度的情况下，跨径多不大于4.0m，个别地区或施工单位尚有使用者，但已趋于淘汰。使用此种支架在架脚多垫以平顺的横木，顶部根据架高度要求进行截锯找平再铺以横纵木楞，其上支架模板，为了直立稳妥牢固，再用螺栓或扒钉加横纵交叉的十字斜撑。顶部或底部多垫以木楔，以利拆模。

(2) 钢木混合支架：为加大支架跨径、减少排架数量，支架的纵梁可采用工字钢，其跨径可根据要求以增加排架及搭接纵向工字钢以解决。

2. 万能杆件拼装支架：用万能杆件拼装支架可拼装成各种跨度和高度的支架，其跨度最好与杆件长度成倍数。为了保证万能杆件拼成的支架稳定不变形，其腹杆可拼为三角形、菱形，支架过高时可拼成多斜杆的形式。

用万能杆件拼装的支架，在荷重作用下可能有较大的变形，由于杆件多为螺栓连接，故难以估计其变形量。因此在支架完成后，应按前述的方式作120%混凝土的重量进行预压。

3. 装配式公路钢桥桁节拼装支架：用装配式公路钢桥桁节，可拼装成较长的桁架梁以加大桁架梁孔径，直接架于桥梁墩台的承台上，也可拼成八字斜撑以支撑桁架梁，在桁架梁与梁之间用抗风拉杆进行横向连接，以保稳定。不过装配式公路钢桥拼装的支架，在荷载作用下变形较大应进行预压。

4. 轻型钢支架：桥下地面较平坦，有一定的支承能力，为节省木料，可采用轻型钢支架。用轻型钢支架焊接成立柱，其上以工字钢、槽钢作纵横梁以支架模板。支架的底脚最好用低强度混凝土作基础，支架立柱之间应加斜拉杆或斜撑以保证主柱稳定。为便于支架和模板的拆卸，纵梁支点处应设置木楔。

5. WDJ 齿碗扣式脚手架：WDJ 齿碗扣式脚手架是近年来新开发的一种多功能脚手架，由于其支撑能力强，对于桥梁模板的支架及各种结构的要求颇为适合，故近年来用在桥梁施工中运用十分广泛，它的主要优点有以下几点：

(1) 操作简便，安装速度快，劳动强度低。

(2) 所有杆件的连接，均为轴心连接，提高了支架的稳定性，同时承载能力可根据结构的要求适当的改变。

(3) 杆件种类少，多为定型杆件，使用方便，易于变更，不致因配件繁杂，难于配装。

(4) 杆件的碗扣及限位锁无螺栓结合，搭设时仅用手锤敲紧即可，故可快速而简捷的拆装，同时零件亦不易丢失。

(5) 支架的荷载能力，根据支架高度及横杆的步距，在安全的要求下，当支架高度在 10m 以下时，横杆步距为 1.2m 时，按每根立杆设计荷载为 30kN，并不计支撑架自重。如果支架高在 10m 以上，横杆步距仍为 1.2m 时，每根立杆设计荷载减为 2.7t，同时加支撑架自重 $1.6\text{kN}/\text{m}^2$ 。

(6) 支撑架立杆步距的确定：根据各部位下的总荷载和每根立杆可支撑面积，及支撑架支撑的面积荷载，确定立杆步距。

(7) WDJ 齿碗扣式脚手支架的立杆上下端均为螺旋调节装置，下螺旋可在局部高差的地面上调整立杆的底高度，上螺旋可调整模板底楞的高度，虽其调整高度不大于 34cm，但足以适应模板预拱度及局部高差问题。

(8) 使用 WDJ 齿碗扣式脚手支架时，对支架较高者应加纵横十字撑，以使整体稳定。对施工处地基处理，应根据支架形式按相关条款要求进行处理，必要时作荷载试验。以免地基稍有不均沉陷，而影响结构物的质量。

四、不同类型梁混凝土的浇筑要求

(一) 基本要求

1. 混凝土拌和场应尽可能使得运距短，转载少，以缩短运输时间，满足浇筑速度，并保持混凝土的塑性要求。使用商品混凝土时，应考虑运输路线的交通情况，必要时调

整浇筑时间，或根据必要的运输时间，适当加些缓凝外掺剂，总之要保证混凝土运到浇筑地点时，能保持施工要求的条件。

2. 施工现场就地设拌和厂时，可采用简单的，不漏浆的运输斗车；如购用商品混凝土，则必须用专用的混凝土运输罐车，运输过程中应不断搅拌混凝土。

3. 混凝土提升入模时，应具备有提升能力适宜的输送泵或其他相应设备。

（二）混凝土的浇筑

1. 混凝土浇筑速度：为达到桥跨结构的整体性要求和防止浇筑上层时破坏下层，须使次一层的浇筑能在先浇筑的一层混凝土初凝以前完成。

2. 在支架上浇筑悬臂梁混凝土时，应从简支跨中间向两端墩台进行，同时其邻跨悬臂梁应从悬臂梁端向墩台进行。

3. 在满堂红支架上浇筑连续梁或较大跨径简支梁或悬臂梁混凝土时，为防止支架不均匀沉降，而使混凝土开裂，应按下列操作程序之一进行浇筑。

（1）加快浇筑作业，使全梁混凝土在终凝前浇筑完成。

（2）根据浇筑混凝土的数量、浇筑速度、配制适合浇筑时间的缓凝混凝土。

（3）将梁分成数段，按适当顺序分段浇筑，各分段间设置施工缝，以消除支架变形不均的影响。尤其悬臂梁桥及连续梁桥的上部构造，须通过桥墩成为整体连续结构。桥墩是刚性支撑，而支架为弹性支撑，在浇筑混凝土后，将发生不均匀沉陷，因此在浇筑悬臂梁及连续梁混凝土时，均于桥墩上设置临时工作缝，待梁体混凝土浇筑完成，支架稳定，上部结构沉降停止后，再以混凝土将此工作缝填筑起来。

（4）工作缝设置的位置外，一般多加些钢筋，同时工作缝的位置应设在主梁拉应力与剪应力最小的部位。

4. 箱形梁的浇筑顺序：箱形梁的浇筑顺序一般有两种：其一为悬臂拼装箱梁块件的浇筑或在满布或支架上浇箱梁、多分两步浇筑，第一步先浇底板与侧墙，第二步拆去立墙侧模板或不拆侧模板，借侧模支顶模浇顶板，墙与顶板混凝土接缝处在箱外正好留在立墙与顶板交线处，主要是为美观，箱内模板待箱体完成后，留人孔或块件端部拆除。采用两次浇筑时，支架的跨距应 $< 5h$ 。否则要采取相应措施；其二为悬臂浇筑箱形梁时，为了加快箱梁浇筑速度，整体箱梁一次浇完，如此施工时，箱梁侧墙内模底边应支出最少50cm左右，浇混凝土时，先浇底板，待底板混凝土稍见定浆再浇立墙同时堵顶模人孔，立墙浇完后即浇顶板。混凝土应采用缓凝措施，混凝土浇筑时间应小于缓凝时间。如此既节省时间，箱体整体性又好。为了避免底板有加厚现象，可分节加设底板压模（可用短段卷帘式模板）。

第二节 悬浇法施工

一、适用范围

1. 当桥梁跨越深山峡谷同地又无航行条件或虽然地处平川，而河道中水位变化剧烈，难以维持通航，或桥梁跨越多股铁路线，桥下不能通行任何车辆，设计通常采用悬浇梁方案。以解决施工问题。
2. 悬浇法的施工方法适用于预应力钢筋混凝土箱型连续梁桥，T型刚构桥，悬臂简支体系的箱形梁桥，斜拉桥等。

二、主墩及0号块的施工要点与工艺

施工测量

- (1) 除各个墩台身的工程测量应符合设计整桥的纵横轴线外，另在两桥台外侧各20~30m以外搭设测量纵轴的测量高台或高架，其高程应考虑桥梁的拱度，悬浇挂篮的高度等不能影响测量仪器的视线（需能直接照准桥面的测点或特制的观测架，测量仪器最好用全站测量仪）。
- (2) 高程测量方面应在桥梁两端（河两岸）及桥梁两侧设4个半永久性水准点，水准点的位置需能照顾到全桥，每周与现场的保护很好的临时工地水准基点作一次闭启校正。
- (3) 墩帽开始浇筑起，对墩身、墩顶、梁身支座垫石及0号块上、下高程均须逐步仔细观测，各点误差应在5mm以内，不得有累积差；支座垫石的高差应不超出1mm，同墩上的支座垫石相对误差应小于0.5mm，不能达此要求须仔细加工处理。
- (4) 在施工过程中，对已悬浇的节段，在天气温度变化不大同时又无日照影响的期间（最好在早晨太阳未出来前一短时间内）作一次已完成的悬浇节段的检测，以此结果与设计数据进行对比，检查已浇块件有无误差，以便更正。
- (5) 0号块件的轴线点与四角点的方位与高程，是后期悬浇进程的准绳，因此要求各相应点的误差应在2~3mm以内，以防后期出现问题不便纠正。

三、挂篮的构造及施工工艺流程

1. 挂篮的构造

预应力混凝土桥梁悬臂浇筑的施工工艺发展很快，悬臂施工挂篮的构造形式也逐渐发展为多样化，朝着结构轻型、受力合理、施工方便的方向发展。尤其大跨悬臂的施工

技术发展很快，修建数量发展迅速，悬臂挂篮已由早期的型钢杆件的拼制逐渐改进为专用施工设备，目前仅就了解到的几种挂篮的构造介绍于后。

(1) 利用万能杆件为主桁组拼的平行桁架式挂篮；有的在桁架尾部加平衡重，以抵消新浇块件的倾覆力矩；有的则以锚固设施锚于前两段已浇的块件上，取消了平衡重；在主桁上部增设前后上横梁，根据需要，挂篮可沿主桁利用钢轨及四氟板纵向滑移，并于主桁横梁上吊住底模平台及侧模支架，主桁前端吊张拉挂篮。此种挂篮的重量比块件本身重的多，优点就是可利用现成的万能杆件，无须专项制作。

(2) 三角形桁架挂篮也是在平行桁架式挂篮的基础上，为了减小平行式桁架的平行杆件的截面加大其受弯强度，而将受弯桁架改为三角形组合梁结构，以减小挂篮的自重。

(3) 菱形型钢挂篮，是在平行桁架式挂篮的基础上简化而来，其上部结构为菱形，前后伸出两伸臂小梁作为底模挂篮平台和侧模前移的滑道，在菱形结构后端锚结固于已浇的箱梁顶板上以代替平衡重，前端伸出部分作为张拉平台的悬吊设施，如此其结构简单，自重减轻。

(4) 滑动斜拉式挂篮，挂篮是以斜拉带和锚固螺栓为主要受力构件，以主导梁系统和底模板系统为体力构件，通过斜拉带及后锚固点锚固悬挂于前一段已浇的箱梁段上，通过设置在已完箱梁段底板上的剪力销抵抗底模板纵梁传递的纵向剪力，为箱梁段施工提供度侧模板及张拉工作平台，施工完毕后，拆除斜拉带，底侧模板通过前后吊带及上下横梁悬臂挂于主导梁上，以上锚压螺栓平衡挂篮自重，通过千斤顶提供的顶推力，使挂篮整体滑移至下一箱梁段施工位置就位。

2. 悬浇法挂篮施工工艺流程：按滑动斜拉式挂篮的施工工艺顺序。

(1) 1号块件施工

① 0号箱梁段施工完成后，两端1号箱梁段位置同时开始组装挂篮。首先吊装主导梁并锚固，随即安装前后横梁、斜拉梁及联结系统。

② 通过前后横梁利用吊链起吊前后底横梁，并悬挂固定于前后上横梁上。用吊车和吊链配合安装底纵梁及模板。

③ 吊装外侧模板。

④ 安装固定剪力销。

⑤ 安装内外侧斜拉带。

⑥ 调整方位，对称张拉四根斜拉带使之受力均匀。

⑦ 绑钢筋，立内模。

⑧ 两侧1号箱梁段同时浇筑混凝土并养护。

⑨ 张拉预应力钢丝束、灌浆。

(2) 2号块件施工

① 拆除斜拉带。

② 拆除底后横梁在0号箱梁底板上的后锚固点及剪力销。

- ③拆除内侧模板，放松外模板。
- ④放松前后横梁吊带，使底侧模板整体下落脱模。
- ⑤主墩两端分别同时用千斤顶顶推挂篮整体前移至 2 号箱梁段位置就位。
- ⑥挂篮前移就位后，立外模板。
- ⑦拉紧前后吊带，固定底后横梁并安装剪力销。
- ⑧安装斜拉带，并按计算好的施工高程对称调高拉紧。
- ⑨绑钢筋、支内模板，浇筑混凝土。
- ⑩张拉预应力钢筋束、灌浆。

(3) 其他箱梁块件如此往复循环施工直至跨中。

3. 三角形上斜拉式挂篮，结构亦比较简单，各结点杆件受力明确，杆件数量少，杆件之间，主要受力部分为销孔连接，加工精度要求不高，易于加工制作。另一优点是挂篮的斜拉钢带不需穿过箱体，减去很多麻烦。惟有其主梁长度较长，竖向高度较大，施工时 0 号块件的两端 1 号块件必须采用支架方法提前浇筑并张拉，以使挂篮尾端锚固于 0 号块件上，另在吊篮前移时虽采用滚轮式，但在挂篮尾端需加相应配重，以使挂篮前移平稳。至于浇箱梁混凝土及张拉等等工艺流程与上节基本相同。现仅将三角形上斜拉式挂篮基本结构情况介绍于后。

4. 端跨的施工工艺要求及注意事项。

(1) 端跨的施工工艺：端跨为就地现浇箱梁段，施工采用满堂红支架法，由于它与悬挂浇筑法相连，故对支架的牢固及可能发生的下沉量应特别注意，对普通基础在支架完成后应以混凝土箱梁重量 1.2 倍进行预压，预压时间应不少于 3 天，以保证就地浇筑的箱梁段高程与设计要求相符。

(2) 注意事项：在浇筑端跨梁段前，应考虑到该段箱梁在施加预应力张拉时，箱梁身有微量向主墩侧移动的倾向，为了保证该段箱梁梁身能均匀的受到预压力，箱梁底板与下面主支架接触部加一层摩擦力系数小的滑动设施或释放支架的纵向约束，以使该段箱梁能自由滑移。

四、施工控制

1. 高程控制：为保证箱形连续梁结构在跨中正确位置合拢，符合设计竖曲线高程要求，各箱梁段施工中间的梁端的高程控制是施工中关键问题之一。各节段施工高程受以下四个因素控制：一是各箱梁段在自重作用之下产生的挠度应符合设计要求，因而各箱梁段浇筑混凝土量应与设计要求相符；二是各节段施加预应力的大小误差应在设计要求范围内，同时要注意不要发生同号的累积差；三是各节段在挂篮及施工机具重量要严格控制在，不宜忽大忽小；四是各节段原设计的竖曲线标高要逐日在温度平均时进行检查，并同设计要求进行核对。

2. 悬臂箱梁段挂篮施工控制

悬臂箱梁的施工，主跨与边跨应同时对称施工，要求主墩两侧箱梁施工位置，挂篮

停放位置，钢筋、混凝土浇筑等各施工工序必须同步一致，对可能产生的施工工序时间差误差所造成的不平衡力矩必须控制在主墩固结及抗不平衡措施所能够提供的抗不平衡力矩范围之内，以确保悬臂挂篮浇筑混凝土施工工艺的安全稳定。

第三节 悬拼法施工

一、适用范围

1. 施工地形条件的要求：悬拼法施工的大跨度桥梁的施工环境主要是桥下有运输重型块件的条件，例如跨越宽的河流、湖泊或者允许创造运输块件的道路条件。

2. 几种结构的桥梁形式：悬拼法的施工方法适用于预应力钢筋混凝土箱型连续梁桥、T型刚构桥、悬臂筒支体系的箱形梁桥，斜拉桥及设计要求采用预制块件悬臂拼装施工工艺的桥梁。

二、悬拼法工艺流程

1. T型刚构，变截面连续箱梁及悬臂筒支变截面箱形梁等的施工工艺流程。

上列的几种结构形式的桥梁，采用悬臂拼装法施工时，其工艺流程基本相似，只有T型刚构的0号块件无辅助固定工序及桥梁成形时无拆除辅助固定0号块垫块的过程，其他工艺流程基本相同，现将变截面连续箱梁的工艺流程示于后。

2. 斜拉桥悬拼法的工艺流程

斜拉桥悬拼法的施工工艺流程根据桥梁的结构要求，具体情况与T构箱梁有所不同，斜拉桥在悬拼块件阶段，斜拉桥的桥塔已先期完成，塔上各个拉索的锚固设施亦已按设计要求的位置施工完毕，在悬拼过程中主要是0号块件的浇筑，按设计要求安装四棵拉索悬挂0号块件，并对0号块件做临时锁定，以便在吊装各块件及张拉索时不使0号块发生位移。其他块件在桥塔两侧对称逐块吊装，安装拉索。在施工过程中两侧每吊装一块，即时作好接缝处理并及时张拉该块拉索。拉索张拉时除由千斤顶控制索力外，应用频率仪检测该索频率核查索力。同时与前吊装的3~5个块件的索力值与设计提供的索力值逐根对照，应使张拉时索力值与设计提供的数值接近或相同。同时再检查已装完块件段的线形。不论是线形或是索力值必要时均须作适当调整。如有过大的差值，则施工人员与设计人员同时查找原因进行调整。经检查无问题或符合设计要求时，则可撤去吊机，使吊机前移一个块段，作下一个块件的吊装准备工作。在整个桥身全部拼装完毕。如设计桥梁为悬浮体系，则可将0号块的临时锁定转换为阻尼设施。

三、主墩及 0 号块的施工要点及工艺要求

1. T 形刚构桥梁的主墩与 0 号块件为整体浇筑的，在施工程序上除设计要求外无其他特殊要求。主要是桥梁纵轴线及 0 号块件上平四角高程与端截面的竖直度必须测量精确，与设计要求无误。另在 0 号块件前两端截面必须与预制件 1 号及 1' 号相应截面完全一致，尤其是预应力管道位置必须吻合；一般该截面的模板与相应块件用同一套、以免预应力束管道间发生较大误差，影响下道工序施工或影响预应力束的张拉。

2. 变截面箱形连续梁及变截面箱形悬臂筒支梁的主墩及 0 号块的施工要点及工艺要求。

上列几种结构形式的桥梁，由于主墩与 0 号块之间有各种支座，且当用悬拼方施工时，主墩与 0 号块之间必须先有牢固的连接，竣工后将此临时的连接设施拆除，故在主墩与 0 号块件的施工程序上有下列一些施工要点和工艺上的要求，现分述于后。

(1) 支座垫石与设计的支座，在墩顶浇筑并达到预期的强度，墩顶部位的支座垫石，为了支座（一般大跨度桥梁均用盆式支座）能灵活的起到其应有的作用，支座垫石的混凝土强度比墩身混凝土强度要高，预留有支座的地脚螺栓孔，支座上平高程要用精密水准仪观测，支座平面，四角高差应不大于 0.5mm，如有超出的误差，应用磨石机加工使之达到要求。

(2) 墩顶 0 号块件临时垫块，垫块与墩顶及 0 号块该处底板须用塑料薄膜隔开，以便拆除。其厚度应与 0 号块件底板相平。为了便于拆除，可在垫块中部加一层硫磺胶泥垫块内埋电阻丝以便拆除时通电熔化。以便拆除临时垫块。

(3) 根据施工需要，在吊装块件时 0 号块需与墩身固结在一起，一般均用预应力方法，在 0 号块前后两端用预应力张拉方法使之达到上述目的。预应力钢筋或群锚钢绞线均在末端作锚头埋于承台中。其上部用埋设管道方法直到 0 号块顶部，再通过千斤顶按计算压力张拉钢丝束，以使 0 号块与墩身连成整体，保证悬拼施工的安全。钢丝束的数量根据施工阶段可能产生最大不平衡弯矩计算，待整桥转换结构体系后再放开上锚头拆除。

(4) 0 号块件在支模及浇筑混凝土过程中，对块件的纵横轴应严格校对，前后边线位置及四角高程均应反复测量，以免发生失误造成严重的质量事故。

四、各节段预制块件的浇筑方法

1. 当桥梁上部结构为变截面箱形梁，块件的预制方法用长线台座法浇筑是比较合适的，长线台座施工方法步骤介绍于后。

(1) 测量定线

①在长度足够全桥或半桥、于平整压实后的地面上放出桥梁的纵轴线并按设计划分的阶段定出分段线。

②选择一个明显而坚实的固定点作为临时水准点，其高程可根据地形假设一个高程数值，最好此数值的0点低于顶制块1号块的最低点，将来再测定块件的高程时均以此点相对高程为准。注意保护此临时水准点，直到块件全部拼装完毕后此点方可废除。

③以临时水准点高程为准，换算成设计图示的高程值，在浇筑块件时即以此水准点的高程为准，施放预制块件的各相应点高程，设计的预留拱度值亦应计入在内。

(2)按计算的相对高程及设计要求的桥梁底部的线形搭设满堂支架或砌筑砖垛，于其上按要求线形铺设底板。

(3)支箱形梁两侧的外模板，但不按设计划分节段，以使浇出块件外形美观。

(4)分块卡挡的端模板其竖直度应以与块件顶面垂直为准。注意预留预应力索的孔位及装块时剪力楔的模板。

(5)浇筑混凝土按1、3、5、……的顺序隔块浇筑，单号块浇完后达拆模时可将卡挡模拆除，并在与之相邻端面刷隔离剂；预应力束孔道波纹管接口要紧密，以防浇筑混凝土时漏入砂浆。

(6)按浇筑顺序，每块的钢筋绑完、预应力管道装完后，可支块件内模。立墙内模采用垫墩支垫法或箱顶吊挂法，立墙内模须按设计形式，下脚水平探出60cm左右，形成L形，内模上口应与箱梁内侧相平。浇筑混凝土时先浇底板，待底板混凝土稍定浆后浇立墙，立墙浇筑高度与箱顶板底平，待边墙混凝土有一定强度后，支顶模板并留有人孔。绑钢筋、安设预应力管道，浇筑顶板混凝土。

(7)顶板混凝土按高度浇筑后，应于四角安装定位器，另在距四角两进线5cm×5cm处埋置侧钉，侧钉应比混凝土面高10mm。以备安装块件时作高程测量标准。

(8)浇筑混凝土时除立墙外在底板与顶板均须用平板振捣器振实找平，保持平面平整无凹凸不平之处。

(9)混凝土的浇筑量应逐块详细记录同时与计算量对比，以保吊装安全。

2.当桥梁上部结构外形为相同截面的箱梁时，浇筑块件可采用短线浇筑法，例如斜拉桥或顶推施工的桥梁及整孔支架拼装的简支梁桥，其块件选用短线浇筑法可节省占地，工艺变化少而且节省模板，具体方法简单介绍于后。

(1)短线法预制块件的浇梁台座固定，由于台座反复使用，其基础的荷载相当大，对基础的承载能力要有保证，以避免基础产生不均匀沉降，影响块件的浇筑质量，以造成拼装的麻烦。

(2)台座的数量可根据工程进展情况而定。由于台座位置固定，故可搭设比较好的防雨棚或保温棚。

(3)箱块外模要用较厚的钢板及型钢制作，不致因使用过程中变形，故侧模与底模要用牢固的销、轴连接。箱块内模可用拼接式钢模或木模支架。箱块的前后端板因有预留孔位关系，对孔位应能可封堵或敞开，但在浇制过程中，块件应有统一编号，以使各块件端部前后匹配，保证拼装时穿预应力束。

(4)对斜拉桥的箱块模板最少有两种，一为标准块件，一为带有挂索销头的块件。

作工艺，在边孔桥台处集中设置一套顶推设备，将梁顶推到对岸桥台即可。

(2) 两岸对顶方法：此法是在桥型受到一定限制时，如桥中间高，两侧均有一定纵坡，最好采用此种方法施工，两边对顶中间合拢，施顶时也比较安全。

(3) 多点式顶推法：当桥梁较长或为多跨连续梁桥时，由于梁身过重，顶推阻力过大，为了减小单机的顶推能力，桥梁在始点设顶推设备外，在桥梁中墩上也相应设置顶推设备，以加大总的顶推能力；中间的顶推设备可逐墩设置，也可隔若干墩设置一套，主要依据梁身重量与顶推能力及摩阻力情况而定。

梁的多点顶推，如何使各个桥墩上的千斤顶同步工作，而且各千斤顶的施力大小还应适应各顶点的摩阻力变化，并完全保证一致，是比较困难的。前几年柳州机械厂曾研制成功自动顶推锚具，有助多点顶推方法。但顶推梁过程中，摩阻力（摩擦系数）是不固定的，尤其动静摩擦系数有一定的差异，因而顶推力亦须相应变化，由此关系，每倒一次千斤顶，就发生一次静摩擦力，当滑动起来，摩阻系数变小，相应顶力亦减小，如此则无形中给桥墩一个水平力的变化，在柔性墩设计中，墩身则相应会前后晃动，虽然晃动幅度小，时间短暂，但在墩上的操作人是会感觉到的。因此采用多点顶推施工时，最好能使千斤顶的施力大小追踪摩阻力变化，使两者保持一致，一方面操作人员亦免去危险感，同时墩身可减小水平力，更好的保证工程质量。

(4) 主梁的前导梁：顶推施工的桥梁跨径一般不能过大（约在 60m 左右），为了减少主梁悬臂长度，在第一段预应力混凝土箱前端安装相应顶跨度 $2/3$ 倍长度的变高度钢导梁。钢导梁须有足够的刚度，同时与被顶推的箱梁连接时，应能承受该断面所发生的最大弯矩和剪力。

2. 顶推法施工的工艺流程工艺流程的安排，视现场施工场地大小及施顶方法的不同有所变化，如现场在桥头有足够的场地，可以就地浇箱体的台座浇筑梁身，养护达设计强度后进行张拉灌浆作业随后开始顶推；如现场地势小，则可另在其他地方按箱梁节段的长度利用短线台座逐段浇筑梁身，运到施顶台座进行拼接张拉，作好接头处理后进行顶推。附列工艺流程示意图是就地拼装箱梁，多点顶推的施工程序介绍的。

二、顶推施工注意事项

1. 浇筑箱梁梁体时，外模表面要有良好的加工精度，尤其是梁底模要平整光滑，在箱梁分段接缝处绝对不允许有错台。为了尺寸精确，梁体无变形，梁的模板应保证刚度。

2. 为考虑箱段的连接及抵抗顶推过程中截面的应力变化，应加大轴向预应力筋。块件接头位置应考虑设置在桥梁结构运营状态下，应力较小的部位。

3. 如果发生临时支墩有较大的下沉量时，则应利用竖直千斤顶予以调整，防止梁体而发生裂纹。

4. 在顶推时所用之滑道长度在顺桥方向应能放下三块滑板；滑道的宽度应为滑板的 $1.2 \sim 1.5$ 倍。滑道上平高程应比支座垫石上平高出一定高度，以便在梁下放竖直千

斤顶，为偏差调整及在梁身就位后撤除滑板与滑道，安装梁的正式支座。

5. 主桥跨度较大时，为减小箱体悬臂过长，可在跨中设临时支墩，临时支墩可用万能杆件拼装，也可用贝雷桥拼装或用型钢拼制，但应拼装牢固，基础应能承受该段梁身的压力和顶推过程中的水平力。墩上设竖直千斤顶，以调整临时墩下沉时使用。在水平抗力不足时可用拉杆与两边的主墩相连。

顶推工作前，应将桥墩及临时支墩按设计纵坡调顺，在同一墩上两端的滑道上平应在同一高程，如果设计要求在帽梁上设横坡时，应在顶推就位后用竖向千斤顶调坡，以免在顶推过程中发生过大偏位或不安全的事故。

6. 滑板的构造是中间一层钢板，上下各粘一层硬质橡胶，最下面一层压粘一层四氟板。滑板的尺寸不宜过大，重量可在 10kg 左右。滑板具体尺寸是以两块滑板的四氟板面积在顶推时压应力大小而定，四氟板承受压应力在 10MPa 左右时，每一块滑板顶推滑行达 60m 左右时，滑板即可能产生变形，影响磨阻系数加大。滑板的数量在每一块滑道处应有五块滑板，以便倒替使用。

7. 箱梁的顶推力在桥梁无纵坡时，梁的顶推力不会有也不应该有变化，但当桥梁有纵坡时则顶推力随纵坡的变化而有增减，理论上应符合下列的计算公式。

总的顶推力 = 计算摩阻力 ± 箱梁的水平分力（上坡时加下坡时减）

8. 桥梁在顶推时，首先要保持箱梁两侧的顶推力相等，但由于滑道与滑板之间有不洁物或其他原因使桥墩两侧顶推力不同，导致顶推箱梁的方向走偏，为此，在施顶过程中应以相应措施如吹风或用柔软物擦拭滑道，或在填喂滑板时，不使其间发生间隙，尤其在暂停推顶期间更应注意。虽然如此，但仍有些不可预料的因素，而使被顶大梁有偏斜问题，可按指定示意位置于导向装置上加楔片进行校正，如仍有困难则可于梁身加竖向千斤顶，将梁体略顶起一点（估计不应超过 0.5mm），用楔片校正。

9. 被顶大梁的前导梁在安装时，应使前端比预计高度上翘 4 ~ 5cm，同时两侧相应滑道位置上各加一台千斤顶，对导梁挠度进行调整。

10. 在大梁顶推过程中，由于不能连续顶进，梁身在滑道上将有停顿时间，虽然时间可能很短，但是再开始顶进滑移时，则必有一由静变动的过程，则顶力必有一加大而又减小的过程。墩身将因水平推力变化而产生晃动，因此在顶进过程中，尤其是多顶顶进，则应对墩身加以观测和检查，以防墩身发生问题。

第十五章

钢桥制作 技术规范

第一节 钢桥制作技术

一、准备工作

1. 概述

钢桥施工通常是在钢桥制造厂将钢材加工制造成桥梁构件、杆件再运往工地进行安装，在工厂加工时，要经过切割下料、抛丸除锈、矫正、制孔、组装、焊接等工序，每道工序都有严格要求，必须满足允许偏差要求。

以下内容适用于高强螺栓连接或焊缝连接的钢桥制作。

2. 原材料的检验

所用材料必须符合生产厂家的生产合格证和材质单并符合设计要求和现行相关标准的规定，进厂后还要按有关标准对其化学成分进行复验；同时所选用的钢板要平直，厚度均匀，不能有翘曲，锈蚀或受过冲击。

3. 焊接工艺评定试验

焊接工艺评定试验是确保钢构件制造质量的前提，是制定工艺技术文件的依据，即从焊接工艺角度出发，保证焊接接头使用性能的重要措施，是按照所拟定的焊接工艺，根据标准所规定的焊接试件，检验试样测定焊接接头是否具备所要求的性能。

焊接工艺评定所选用的设备、仪表与辅助机械均应处于正常工作状态，钢材与所有焊接材料必须符合相应标准。

凡以下情况应进行工艺评定试验：

- (1) 结构钢材首次应用；
- (2) 焊条、焊丝、焊剂的型号改变；
- (3) 焊接方法改变或由于焊接设备的改变引起焊接参数改变；
- (4) 焊接形式，坡口形式等工艺改变；
- (5) 需要预热、后热或焊后要作热处理。

工艺试验的钢材及焊接材料要与工程上所用材料相同。

4. 工艺装备制作

为保证钢构件加工制造精度，确保构件形、位尺寸公差，需要根据构件不同结构、工艺要求，制作相应工装。以保证结构件制作精度。

5. 施工图设计及编制

施工图是施工准备工作的核心部分，是工程施工生产活动的基础，施工图应全面反映设计意图，图纸中各组成部分应协调对应，相互一致，并标有详细的技术要求。

二、加工制作

1. 钢材预处理

钢构件材料验收后，一般整板进入抛丸机进行抛丸除锈，除锈等级严格符合施工要求，除锈后 24 小时内涂刷底漆或车间过程漆。

2. 号料放样

(1) 放样和号料应根据施工图和工艺要求进行，预留制作和安装时的焊接收缩余量及切割、刨边和铣平的加工余量；

(2) 对于形状复杂的零部件中根据图纸不易确定的尺寸，应通过放样校对后确定；

(3) 样板、样杆、样条制作的；

(4) 号料前应检查钢料的牌号、规格、质量，如发现钢料不平直，有锈蚀等污物，应矫正清理后再号料；号料外形尺寸允许偏差为 $\pm 1\text{mm}$ 。

3. 切割下料

(1) 切割应优先采用数控、自动、半自动切割，手动切割仅适用于次要零件或切割后仍需加工的零件；

(2) 剪切钢板厚度不宜大于 12mm，剪切边缘应平整，无毛刺、反口、缺肉等缺陷。剪切长度允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$ ，边缘缺棱 1mm，型钢端不垂直度 $\leq 2.0\text{mm}$ ；

(3) 下料完成，应清除切割边缘的飞刺、熔渣。

4. 铣刨边及坡口制备

(1) 应根据预留加工量和平直度要求，进行边缘加工，已有孔的零件应按其中心线找正边缘。

(2) 坡口采用机加工或精密切割，坡口尺寸及允许偏差应有焊接工艺确定。

5. 组装

(1) 组装前，零部件应经检查合格；连接接触面和焊缝边缘每边 30~50mm 范围内的铁锈、毛刺、油污等应清理干净，露出钢材的金属光泽；

(2) 杆件的组装应在工作平台或工艺装备内进行，组装时焊缝应错开；

(3) 组装时用冲钉将绝大多数孔就位，每组孔应打入 10% 的冲钉，但不得少于 2 个；

(4) 组装时，在任何方向每隔 320mm，至少有一个螺栓用来紧固似保证零件、杆件相互密贴。组装螺栓的数量不得少于孔眼数的 30%。

第二节 钢桥的拼装和架设

一、拼装架设工艺流程

钢桥施工分为制造和安装两大部分。目前，钢桥杆件、构件多以焊缝连接形式在工厂内制造。然后运输到工地再进行安装，安装时分铆接和高强度螺栓连接和工地焊接三大类。铆接已逐渐淘汰。故本文只对高强度螺栓和工地焊接进行阐述。

1. 场地要求

根据制作和架设的桥梁的具体情况要准备足够的场地，包括加工厂内的场地和现场安装的场地。杆件预制时一般都是在加工车间内进行，故此处不详细论述这部分内容。

对于安装现场应组织以下存放场地：杆件存放场地，组装台座，杆件油漆及堆放地点，组装后的杆件存放地点，装卸、组拼杆件的运输路线及起吊设备。大型安装工程中，还应考虑需用的动力站、机械车间、紧固件库房及其他附属设备需用的场地。

2. 杆件运输

根据构件长度和重量，配备相应的载重量的运输汽车和起吊设备进行运输。构件下垫枕木，枕木间隔以 3m（可根据实际情况进行），上下叠放成直线。对于小型但较长的构件应用倒链牢固，以保证构件不变形及运输安全。

3. 杆件存放

桥梁杆件存放应尽可能接近组拼场地，并选在地势较高处，避免浸水。并应避免靠近易燃、易爆物品，及附近石方爆破，高压线等的施工干扰。

杆件除分类存放外，并按安装顺序排列。杆件应置于垫木上或混凝土枕上。堆放时应注意下列要求：杆件底与地面应留有一定空间，一般为 10~25cm；杆件支点应设在自重作用下杆件不致产生永久变形处。同类杆件多层堆放时，各层间垫块应在同一垂直线上主桁架、斜、竖杆叠放不宜超过三层。如杆件截面小，亦可增加层次，但最多不得超过 5 层；每堆杆件的附近应有排水沟，防止地基沉落不匀引起杆件侧向歪斜倾倒；防止雨水积存于杆件表面；放置时应将杆件刚度较大的一面竖立。多片排放时，应设支撑及螺栓把各杆件彼此联牢。杆件间应留有适当空隙以便起用操作及查对杆号。

4. 场地要求

钢桥安装采用先在地面上将杆件组装成扩大单元（构件）可以减少高空安装工作量。对容易变形的构件进行强度和稳定性验算，可防止构件在吊装过程中局部受力大而变形。需要时应采取临时加强措施，如增加起吊桁架、铁扁担或滑轮组等。

清除螺栓表面的附着物是为了防止增加施拧时的摩阻力。钢桥构件对温度差的影响特别敏感，天气变化使杆件时冷时热发生温差，如日照、焊接，这些温差变化不仅使钢

材产生局部应力，而且影响构件安装尺寸，应采取相应的调整措施。

5. 高强螺栓连接

(1) 人员的准备

明确现场管理人员与操作者对栓接施工各工序的责任人。

(2) 材料的准备

①将质量符合设计要求和国家规范的高强螺栓、螺母和垫片准备齐全。

②将高强螺栓连接副按不同批次和规格单独存放，在储存、运输和施工过程中轻装、轻放，防止受潮、生锈、沾污和碰伤。

(3) 机具的准备

①初拧用扭力扳手；终拧用电动扳手。

②施工人员应掌握施拧工具的正确使用方法，严格按使用说明书进行操作。

③施拧工具应设专人妥善保管，使用中应轻拿轻放，并且每天使用前都须标定并控制在 $\pm 3\%$ 以内。

(4) 操作工艺

总体操作工艺流程：

对需要进行栓接的部位进行检查→扭矩系数 K 值的确定→施工扭矩的确定→进行初拧→进行终拧施工→施工中注意事项→检查。

①高强螺栓连接必须对构件栓接板面（摩擦面）进行喷丸（或喷砂）除锈、打毛和喷漆防锈层处理（具体采用处理方法，应根据设计要求进行）。处理后的摩擦系数应符合设计要求。在安装螺栓前应按照图纸及设计文件要求进行检查。

②施拧方法，高强螺栓施拧分为初拧、终拧两步，由于转角法施工较麻烦，且施工时螺栓预拉力也难以控制，现一般均采用扭矩法施工。

③终拧经检查合格后涂不同颜色油漆做标识。

(5) 质量标准

①设专职高强螺栓施工检查质量员，检查扳手的标定和螺栓施拧质量，并做检查记录。

②质量检查员对终拧的节点逐个检查，以防漏拧，每个节点抽检数量不小于该节点螺栓总数的30%。

检查方法：先通过螺栓圆心划一细直线至螺母，然后将螺母拧松 60° 。再经标定的扭力扳手将螺母均匀连续地拧至原来位置，使所划细直线重合，并测扭矩值，该检查扭矩与终拧扭矩的误差小于5%方为合格。

③检查合格后的节点用绿色油漆做好标识，并做好检查记录。

6. 工地焊接

钢桥构件在工厂焊接后运到工地，再全部用焊接组装成钢桥，称为工地全焊连接。钢桥构件安装在工地以焊缝连接较以高强螺栓连接的困难大些。受环境条件的制约；对焊工技术要求严格；施焊时对焊缝两边构件的固定工作也较麻烦。

拱肋各段工地对接焊接时，为确保高空作业安全和焊接质量，施工人员应搭设稳固的焊接平台，以便于施焊。

现场焊接时应有必要的防风措施，以保证焊接质量。

焊接环境湿度 $\leq 80\%$ ，阴雨天不能操作。

施工现场应准备充足的机具设备，如电焊机；角向磨光机；空压机；气焊工具；气刨工具；恒温干燥箱；手提干燥箱；液压千斤顶等。

操作工艺

(1) 为了保证现场对接焊缝焊接质量，钢管拱上下平板对接时可采用陶质焊接衬垫单面焊双面成形，这样就可以避免上下平板出现仰焊。

(2) 钢管拱两侧半圆弧板采取双面不等边坡口手工电弧焊，并配用碳弧气刨清除杂质。

(3) 每拱段对接坡口需打磨干净，表面不能潮湿。

(4) 拱肋空中安装到位后，需对拱肋进行轴线和水平方向微调，以确保两段管拱对接准确。

(5) 现场用焊条必须严格按焊接工艺评定中规定的烘干条件进行烘干。施焊过程中焊接参数应按焊接工艺评定中的规定进行（可根据现场具体条件适当调整，但必须征得技术人员和现场监理的认可）。

(6) 按规范要求对焊缝进行焊接探伤检查。

二、拼装架设方法

1. 支架法

在支架上拼装钢梁时，因钢梁自重支撑在支架上，故冲钉和粗制螺栓总数不少于孔眼总数的 $1/3$ 即可，其中冲钉占 $2/3$ 。此处冲钉承受剪力作用，粗制螺栓只起夹紧板束的作用。

以下是天津金刚桥架设施工过程：

钢管拱安装支架选用 WDJ 碗扣式多功能脚手架，组架方式采用 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 支撑为主，支撑结构横向间距 60cm ，支撑柱间使用 60cm 横杆连接，每个分段支撑架使用 16 个支撑柱，柱间横、纵向使用 60cm 横杆，顶桥向全桥支撑框架进行连接。协撑布置使用普通脚手管管卡连接纵横双向设置。跳一布一、斜杆布置在框架的节点上，提高整体稳定性。

支架搭设完毕后，进行钢管拱的安装，使用 40t 拖车运至岸边，由浮吊起吊，摆放在下层桥上，下层桥上 40t 吊车将管拱分段吊装就位调整，调整时用 3t 跨顶先调线位，在加强托撑面上垫四氟板以利滑动，线位调整后，使用 30t 螺旋千斤顶调整高程，管拱顶起后，调整加强上托到位。线位高程均达标后，将下脚与前段焊接。每段安装完毕后安装风撑横撑、钢横梁。全桥管拱合拢后安装风撑横撑。风撑安装完毕，穿吊杆，即可安装系杆，系杆贯通全桥，穿过支架，使用原有支架支撑，没有支架的部位，可用碗

扣式支架搭设临时支墩。拼装完毕后，进行钢管混凝土浇筑工序，浇筑前支架各支点落下，脱离钢管。钢管混凝土浇筑按对称浇筑工艺，两头同时浇筑，使用泵送顶升浇灌法，在钢管灌注分段下端按设计进灰口，设计一个带闸门的进料管，直接与泵送车输送管连接，由泵车将混凝土持续灌入钢管，无需振捣，混凝土配合比进行专门设计。除满足强度指标外，应控制粗骨料粒径，可采用 0.5 ~ 3cm。水灰比不大于 0.45，坍落度控制 15 ~ 18cm，为减小收缩量应掺入适当膨胀剂，同时控制初凝时间，保证混凝土在全部浇筑完前不致初凝。当混凝土浇至顶端时，使用振捣棒对顶端进行适当振捣，混凝土溢出后，将封顶板紧压排气孔上，随即进行点焊，待达到同设计值的 50% 后，进行补焊。管内混凝土的浇筑质量，可用敲击钢管的方法进行初步检查，如有异常，应用超声波检测，对不密实的部分，采用钻孔压浆法进行补强，然后将钻孔补焊封固。管拱混凝土浇筑顺序为先拱腹，后下弦杆，最后浇筑上弦杆。钢管拱浇筑完毕，达到设计规定强度后，分次张拉系杆。

2. 拖拉法

拖拉法架设钢桥时一般采用采取纵向拖拉移动钢梁，并且按移梁时可能发生的竖向压力和施工期内风力检算钢梁杆件和临时连接杆件的强度和稳定。钢梁的倾覆稳定系数不得小于 1.3。必要时，在钢梁端设置导梁。

上滑道设在纵梁，弦杆节点板底部，采用满布或间断式，按下滑道布置及计算确定。上滑道轨面一般做成一平面，如果纵拖较大跨度的钢梁且采用在纵梁下满布式滑道时，为消除悬臂挠度的影响，上滑道轨面应做成与设计拱度同值的反拱度，使上滑道在拖拉中接近水平状态，滚轴受力均匀。为顺利地使钢梁拖拉到前方墩台，除应考虑悬臂挠度外，还须采取外导措施，便于滚轴喂到悬臂端的滑通内。

下滑道可为水平或有向下的坡度。为减少拖拉钢梁的阻力，使用斜坡下滑道为宜，坡度一般为 2‰ ~ 4‰，视下滑道基础情况而定。滑道应在全长范围内做成同一坡度。

拖拉钢梁采用同型号绞车（手动或电动）和钢丝绳滑车组，在钢梁两侧对称地施加牵引力，并设置制动设备。拖拉钢梁时，应及时而正确地防置滚轴，随时注意上，下滑道的中心线是否偏斜，钢梁中线对设计中线的偏移限度为 $\pm 5\text{cm}$ ，且钢梁两端不偏向于设计中线的一侧。钢梁中线一般可用敲击辊轴至斜前位置随时校正。

钢梁设在曲线上采用拖拉架设应注意以下事项：

(1) 拖拉中线应采取梁跨设计中线（单孔），或取钢梁各孔设计中线平均值（多孔），也可采用接近梁跨中线，拖拉完毕，移梁就位。应视桥头增加土石方数量和临时结构工程量进行比较，并结合施工技术条件等确定。

(2) 墩台应力和顶帽宽度需满足架梁要求。

(3) 桥心如需采用临时结构增加横向宽度时，应考虑临时结构和部分桥台施工同时受力时的不同弹性压缩的影响及非弹性压缩、事前采取措施。

3. 悬臂拼装法

悬臂施工法解决了大跨径拱桥无支架施工的问题，在桥高、跨大、通航、水深、流

急的桥位上，宜采用悬臂法拼装钢梁。但由于成桥后拱的受力是受压为主的压弯结构，因此悬臂施工时只能将拱作为施工过程悬臂梁的下弦，需要有较多的临时设施（主要是受拉构件）作为悬臂梁的上弦。

悬臂拼装时应注意悬臂挠度、临时支座和拼梁坡度、预拱度的保证和落梁及横纵移等几个主要问题。

4. 浮运法

浮运法一般是在能够通航的河上进行拱桥的施工，他要求具备拱肋在水上运输的工具（大型船只）和水上起吊设备。浮运法应根据施工季节、水文变化、河床断面、两岸地形等条件进行选择，一般分为以下几种方法：纵移、横移、半浮运、半横移、浮拖拉。

钢梁采用纵移法上浮船，钢梁由桥长度方向向前移出，浮船在桥跨中托住，钢梁边浮边拖，使钢梁前端到达前一个桥墩就位安装。

5. 缆索拼装法

缆索拼装施工方法是我国修建大跨度拱桥的主要方法之一。在支制作时根据吊装能力，可将拱肋分成若干段，以便现场进行吊装。一般情况下，应该双肋吊装、双肋合拢，两肋之间设临时横撑，或将横撑临时固定；但双肋吊装、双肋合拢的吊装质量较大，段与段之间的拼装难度也较大，若拱肋宽度较大（如桁架式），则可采用单肋合拢。在合拢之前各段之间的接头为上开口，要注意接头的传力情况；为合拢方便，各段应略有上抬，合拢后逐步落下，调至设计标高（留预拱度）；连接各接头和横撑，封拱脚成无铰拱，然后进行管内混凝土浇筑。当跨径较大，钢管劲性骨架节段多、质量大时，缆索吊装方法需在传统方法的基础上加以改进，采用一些新技术、新工艺。

在两岸各建立临时塔架，于两塔架顶部之间张挂一对缆索从缆索上挂吊若干吊索吊住钢梁杆件，利用牵引索牵引杆件逐节向前拼装至中间合拢的方法称为缆索拼装架设法。可用于架设钢拱桥、钢梁桥和钢斜腿刚构桥的V形墩等结构。

缆索架设方法可分为直吊法和斜吊法。

直吊法与吊桥的结构和承载方式类似。先在缆索上吊挂若干吊索吊住支架梁或钢梁的横梁，然后在支架梁上或横梁两侧逐节组拼杆件，适用于支座不承受水平推力的各种拱式桥。其杆件在无应力状态下组拼。本法在钢梁合龙和调整拱度方面较方便。因全桥重力和施工荷载全部由缆索承受，故所用的架梁设备如缆索、塔架、锚旋等均须经过详细计算，远用足够的尺寸、规格以保证安全。

斜吊法（扣索挂吊法）缆索只承受一根杆件荷载，吊起来牵引到设计位置就位后，一端与先就位的杆件塔接，另一端用扣索扣挂在缆索塔架或另建的扣索架上。本法适用于支座能承受水平推力的钢拱桥、钢梁桥、钢斜腿刚构桥、V形钢桥墩等结构。本法缆索荷载较直吊法小，但计算繁杂，施工技术要求较高，闭合时受施工误差、施工温度变化等影响较大。

6. 转体架设法

转体架设施工法是将拱圈分为两个半跨在两岸制作，通过转体合拢的一种施工方法。拱圈绕拱座做竖直旋转合拢的称为竖向转体架设施工法，拱圈绕拱座做水平旋转的称为平面转体施工法。

竖向转体施工法先在国外出现，它是在竖向位置利用地形或搭支架浇筑拱肋混凝土，然后再从两边逐渐放倒预制拱肋搭接成桥的施工方法。50年代国外就采用这种方法修筑了跨径达70m的拱桥；采用此法修建的跨径最大的是德国的一个大桥，跨径达150m；我国用竖转施工法修建了跨径达60m的四川杨家沟桥和三滩沟桥。竖转施工法当跨径增大以后，拱肋过长，则竖向转动不易控制，施工中容易出现問題，因此一般只在中小跨径拱桥中应用。

平面转体施工法是我国首创的施工方法。1977年在四川省遂宁市采用该法建成1孔70m钢筋混凝土箱肋拱。随后，这一方法在我国的钢筋混凝土拱桥中得到推广应用。平面转体施工法根据是否采用平衡块来防止转体过程中的倾覆，又分为平衡重转体和无平衡重转体。平衡重转体主要由平衡体系、转动体系（转轴、环道）和位控体系三部分组成。其平衡体系一般利用桥台或配重来平衡悬臂主拱，主拱与桥台一起转动。

平衡重转体施工方法，跨径增大后，因平衡重而大大增加了转体质量，给转轴的设计制造和转动、控制都带来很大困难，而且增加了材料的费用，因此，随后又发展了无平衡重转体施工方法。

无平衡重转体施工法采用锚碇体系平衡悬臂主拱，取消平衡重。锚碇体系通常由作为压杆的立柱、作为撑梁的引桥主梁以及后锚等部分组成。

转体架设施工法在钢管混凝土拱桥的应用中，除了因钢管混凝土拱桥自身的优势使跨径有很大突破外，在转体质量、施工工艺、施工方法等方面均有新的突破。

第三节 钢桥防腐技术

一、杆件表面处理

钢梁杆件在全部组拼、高强螺栓栓接受当，架设安装完毕并经过检验、除锈、洗刷并干燥后，再进行全部涂装工作。涂装前应对杆件表面进行质量检查，如有未涂底漆或已涂而部分脱落者补涂底漆，待底漆干燥后，方可进行涂装施工。

二、涂装

1. 涂层性能

涂层性能必须符合紧密不透水、不粉化、不龟裂、耐磨、附着力、黏结力良好和不

含侵蚀钢料的化学成分的要求。

2. 面漆涂装

涂装工序如下：

清除面层间锈污→刮嵌腻子→打磨→第一道面漆→打磨→第二道面漆→打磨→第三道面漆。

为了减少高空作业量，可在预拼场内喷涂部分面漆。桁梁组拼时如受到污损，拼装完毕后仍需全面或部分再喷涂一次。

3. 涂装的气候条件

(1) 温度：涂漆时温度应在 5 ~ 35℃ 之间，钢材表面温度大于 50℃ 时不得涂漆。

(2) 湿度：相对湿度 > 80% 时，不得涂漆。

(3) 风力 > 5 级时，应停止刷涂，风力 > 4 级时，应停止喷涂。

4. 涂装的质量验收

(1) 涂装表面应有颜色均匀并有光泽，无露底、漏涂、涂层剥落、起泡、划伤及咬底等缺陷。手工涂刷的不得有明显刷痕。

(2) 每层油漆质量检验应在涂漆一昼夜后进行，全部涂漆完成两昼夜后进行验收工作。如发现严重缺陷应返工重涂。

(3) 在喷涂时应及时检查涂层厚度是否符合设计要求足够，不足时采取适当措施补救。

(4) 油漆质量检查包括外观检查和漆膜厚度检查，可采用眼看、刀刮、测厚度等方法进行。

第四节 钢桥桥面铺装

一、特点

桥面铺装即行车道的铺装。它的作用在于保护桥面板防治车轮、履带的直接磨损，并免受雨水的侵蚀，且对车辆轮重的集中载荷起分布作用。

二、材料

行车道的铺装有多种材料：有沥青混凝土、水泥混凝土、沥青表面处治和泥结碎石等。水泥混凝土和沥青混凝土桥面铺装用的最为广泛，能满足各项要求。沥青表面处治和泥结碎石铺装，耐久性较差，仅在低等级公路桥梁中使用。

三、施工

1. 沥青混凝土桥面铺装

沥青混凝土铺装质量轻、维修省时、养护方便，但是易老化和变形。桥面铺装采用沥青混凝土铺筑时，为防治沥青混凝土中的骨料损坏防水层，宜在防水层上先铺一层沥青砂作保护层。

2. 水泥混凝土桥面铺装

水泥混凝土铺装的造价低，耐磨性能好，适应重载交通，但养生期长，日后修补较麻烦。

桥面铺装采用水泥混凝土铺筑时，有两种方式：一种方式是全桥铺装防水混凝土，其厚度一般为 6~8cm；另一种方式是在桥面铺装上再设置 7cm 厚的防水混凝土。

防水混凝土铺筑完成后，须即使覆盖和养护，并在混凝土达到设计强度后才能通车。

第五节 钢—叠合梁

一、剪刀键焊接

1. 施工单位对其采用的剪力键和钢材焊接必须进行焊接工艺评定，其结果应符合设计要求和国家现行有关标准的规定。瓷环应按其产品说明书进行烘焙。

检查数量：全数检查

检查方法：检查焊接工艺评定报告和烘焙记录

2. 剪力键焊接后应进行弯曲试验检查，其焊缝和热影响区不应有肉眼可见的裂纹。

检查数量：每批同类构件抽查 10%，且不少于 10 件，被抽查构件中，每件检查焊钉数量的 1%，但不少于 1 个。

检查方法：焊钉弯曲 30°后用角尺检查和观察检查。

3. 剪力键跟部焊角应均匀，焊角立面的局部未熔合或不足 360°的焊角应进行修补。

检查数量：按总焊钉数量抽查 1%，且不应少于 10 个。

检查方法：观察检查。

二、预制桥面板及湿接头施工

要准备一个足够进行桥面板预制和板梁存放的施工场地，预制场地布置应考虑以下因素：

1. 尽量将预制场地接近桥梁施工现场，减少二次运输的距离。

2. 根据地质、水文条件，选择合理的基础方案和排水措施，防止由于排水不利影响桥面板的质量。

3. 预制场地的布置应综合考虑到其他辅助设施的位置，要尽量保证合理。

预制桥面板的工艺流程为：(1) 模板的预制，根据实际施工的要求，预制出符合设计图纸要求的桥面板的模板，一般为钢结构模板；(2) 在预制场地上进行模板的铺设；(3) 桥面板钢筋的绑扎，应严格按照设计的要求进行；(4) 混凝土的浇筑，须根据相关的国家标准规定进行浇筑和养护。

预制的桥面板采用合理的方式吊运到钢梁上，将相邻的桥面板周边预留钢筋绑扎点焊牢固，准备桥面板接头的施工。待接头处的模板支好后进行混凝土的浇筑，采用合理的混凝土配比，同时可适当加入一定的添加剂，达到控制混凝土的浇筑质量要求。

三、桥面施工

1. 桥面防水

(1) 桥面防水层应按设计要求设置。

(2) 防水层材料应经过检查，在符合规定标准后方可使用。

(3) 防水层通过伸缩缝或沉降缝时应按设计规定铺设。

(4) 防水层应横桥向闭合铺设，底层表面应平顺、干燥、干净。沥青防水层不宜在雨天或低温下铺设。

(5) 水泥混凝土桥面铺装层当采用油毛毡织物与沥青粘合的防水层时，应设置隔断缝。

2. 伸缩缝安装

(1) 梳形钢板伸缩缝装置

采用梳形钢板伸缩装置安装时的间隙，应按安装时的梁体温度决定，一般可按下列公式计算：

$$\Delta_1 = l - l_1 + l_2$$

式中 Δ_1 ——安装时的梳形板间隙；

l ——梁的总伸缩量；

l_1 ——施工时梁的伸长量，应考虑混凝土干燥收缩引起的收缩量，预应力混凝土梁还应考虑混凝土徐变引起的收缩量；

l_2 ——富裕量。

梳形伸缩装置，施工前必须认真做好伸缩装置部位的清理工作。施工中应加强锚固系统的锚固，防止锚固螺栓松动，螺帽脱落，注意养护。应设置橡胶封缝条防水。

(2) 橡胶伸缩装置

①采用橡胶伸缩装置时，材料的规格、性能应符合设计要求。根据桥梁跨径大小或

连续梁（包括桥面连续的简支梁）的每联长度，可分别选用纯橡胶式、板式、组合式橡胶伸缩装置。对于板式橡胶伸缩装置，应有成品解剖检验证明。安装时根据气温高低，对橡胶伸缩体进行必要的预压缩。气温在 5°C 以下时，不得进行橡胶伸缩装置的施工。

②采用后嵌式橡胶伸缩体时，应在桥面混凝土干燥收缩完成徐变也大部完成后再进行安装。

③伸缩装置安装时应注意下列事项

A. 检查桥面板端部预留空间尺寸、钢筋，注意不受损伤，若为沥青混凝土桥面铺装，宜采用后开槽工艺安装伸缩缝，以提高与桥面的顺适度。

B. 根据安装时的环境温度计算橡胶板伸缩装置的模板宽度与螺栓间距。将准备好的加强钢筋与螺栓焊接就位，而后浇筑混凝土与养生。

C. 将混凝土表面清洁后，涂防水胶粘材料。利用调整压缩的工具，将伸缩装置安装就位。

D. 橡胶伸缩装置应符合现行《公路桥梁橡胶伸缩装置》（JT/T 327）标准的规定。伸缩装置的位置、构造应按设计规定办理。安装各种伸缩装置时，定位值均应通过计算决定。

E. 向伸缩装置螺栓孔内灌注防腐剂后，注意及时盖好盖帽。

（3）模数式伸缩装置

①伸缩装置由异型钢梁与橡胶密封带组合而成的称为模数式伸缩装置。它使用于伸缩量为 $80\sim 1200\text{mm}$ 的桥梁工程。

②伸缩装置中所用异型钢梁沿长度方向的直线度应满足 $1.5\text{mm}/\text{m}$ ，全长应满足 $10\text{mm}/10\text{m}$ 的要求。伸缩装置钢构件外观应光洁、平整，不允许变形扭曲。

③伸缩装置必须在工厂进行组装。组装钢构件应进行有效的防护处理。吊装位置应用明显颜色标明。出厂时应附有效的产品质量合格证明文件。

④伸缩装置在运输中应避免阳光直接暴晒，雨淋雪浸，并应保持清洁，防止变形，且不能与其他物质相接触，注意防火。

第十六章

预应力混凝土斜拉桥 施工技术规范

第一节 技术要点

一、施工工艺不断完善

斜拉桥主塔施工一般采用爬模施工工艺，爬模设计、起重设备布置、选型、安全措施等都有了成熟的经验，平均日浇筑速度可达 0.9m。

主梁施工一般采用悬臂浇筑法（混凝土梁）、悬臂预制拼装法（钢梁），由于前支点牵索式挂篮施工技术的开发研制，使斜拉桥施工索距 8m、梁宽 31m 的全断面一次浇筑成为现实。由于挂篮利用斜拉索作为前支点，挂篮重量与浇筑混凝土重量比可达 0.4 以下，降低了工程造价。

二、高强度低松弛钢绞线的应用

随着跨度的增大，斜拉索长度随之增大，采用高强钢丝成品索最大重量已达几十吨，无法进行运输。用强度高的钢绞线取代钢丝已成为一种趋势。另外钢绞线的优点是安装、张拉“化整为零”，单束安装、张拉，然后再用大吨位、小行程的千斤顶进行索力调整，施工简单。

三、成品索生产、保护已实现专业化、工厂化

现在成品索的两层 PE 护套已实现同步挤压成型，保证了成品索的质量。目前国内有些厂家正在开发 PE 表面为凹凸形式的花纹以抗风雨振动的成品索，解决了高强钢丝成品索易抖动的缺陷。

四、施工监测

施工工艺的成熟及实践积累，在施工过程中可精确地计算出各种状况下的荷载分布，通过计算机反向模拟，使大多数斜拉桥已实现了单根斜拉索张拉到位后，全桥无需

再进行调索，极大地简化了施工工序。

第二节 索塔

一、起重设备的选择

索塔施工属高空作业，空间狭小，作业面容，其施工进度快慢影响着主桥的工期，在制定索塔施工方案时，起重设备的选择和布置，是索塔施工重点考虑的问题。

起重设备的选择视索塔的结构形式、高度、桥位地形等条件而定。起重设备除必须满足施工的垂直运输、起吊高度、起吊半径等要求外，还应考虑装拆简便、安全可靠、费用低廉等因素。目前索塔施工起重设备包括塔吊和人货两用升降机两大部分，其中塔吊起重控制吨位在 100kN 以下，人货两用升降机采用单笼或双笼式，起吊重量控制在 10kN 以下。

1. 塔吊

(1) 塔吊设备选型原则

- ①性能参数能满足施工要求；
- ②起重能力和使用频率满足施工进度要求，各项指标功能大小适当；
- ③便于进退场和安装、拆除方便。

(2) 索塔施工常用塔吊起重能力为 600kN·m、800kN·m、1000kN·m、1250kN·m、1600kN·m，起吊范围在 50m 以内。

2. 人货两用升降机

人货两用升降机分单笼、双笼两种类型，每种类型由轨道架、轿厢、驱动机构、安全装置、电动系统、提升接高系统等几大部分组成，特点是构造简单、适用性广、性能可靠，它的利用极大地方便了施工人员的上下及小型机具与材料的运输。升降机一般布置在顺桥向外侧（另一侧一般为塔吊位置），靠近索塔，最好从地面开始。除非万不得已，升降机不要布置在桥面正中侧，那样会导致主桥边、中跨两侧重量不平衡，进而影响索塔的精度的。

(1) 升降机安装：升降机一般分两次安装，第一次从地面安装至桥面，第二次安装至中横梁，如地势不允许，也可从下横梁外侧预留钢牛腿，升降机直接从下横梁开始至中横梁。

安装顺序如下：浇筑升降机基础→安装基架→安装轨道架与顶部天轮架→安装附着设施、脚手架支托同步跟上→安装电缆导向→安装登高平台→轿厢上、下试运行调整→安装保护装置、试车。

(2) 升降机的附着：升降机的附着不同于塔吊，必须利用脚手架作为辅助附着架的

平面外支座，保证其自重及附着倾斜引起的垂直力的传递和平面稳定。附着杆采用标准附着杆加辅助附着杆，它们与塔柱之间的连接可采用螺栓连接或焊接。

(3) 拆除：按常规从上至下逐节拆除，此项工作在塔吊拆除前完成。

二、模板

斜拉桥塔柱多为变截面结构，根据结构形式的不同采用不同的施工方法。一般来说下塔柱、上塔柱采用翻模施工工艺，中塔柱采用带爬架的爬升模板施工工艺，而滑模施工工艺只适用于等截面的垂直塔柱，在斜拉桥中并不适用。

塔柱模板一般采用钢板或竹胶板加工制作，模板骨架采用型钢。为确保模板结构安全、可靠，模板必须具有足够的强度和刚度，在施工中不变形、不错位、不漏浆，且结构简单合理，便于制作、安装、调整和重复使用。加工时严格控制几何尺寸和平整度，保证焊接质量，使用前要进行整体组装，合格后才能使用，所有模板均应编号便于组装识别。

下塔柱翻模采用大块钢模板，骨架用槽钢和角钢制成。肢腿部分根据塔柱的截面形式，设计两套收分模板。模板除保证强度、刚度外，还要便于安拆，施工中不变形，不漏浆。模板固定于骨架上，内模板用对拉螺栓连接。

中塔柱模板采用钢模板，模板相互间用螺栓连接固定。为保证接缝混凝土光洁平滑，模板采用三块 2.25m 模板倒模法施工，施工中始终有一块作为基准接口模，两块作为模板使用。根据塔的断面尺寸，塔柱纵桥向制作成收分模板，使之适应尺寸变化，将模板上的横楞和竖楞连接后组成大块模板，钢模板面经常喷涂聚乙烯醇成膜以保证混凝土外观光洁。

外模设计尽量减少穿过塔柱混凝土的内外模板对拉螺栓数量，在模板设计时，力求增强水平钢楞的刚度，减少对拉螺栓，借以达到简化模板支拆工作，保持塔柱混凝土良好外观的目的。

三、塔柱施工关键工艺

斜拉桥塔柱分为下塔柱、中塔柱、上塔柱三个区，下塔柱通常采用倒模结合平衡架施工工艺，中上塔柱采用爬模施工工艺。

下塔柱通常为“V”字形，施工时受到外倾荷载，当塔柱混凝土分段浇筑时，上一段混凝土的浇筑势必造成已浇筑段混凝土向外倾覆，使已经浇筑完的各段混凝土根部产生拉应力，当累计拉应力超过混凝土的抗拉强度时可导致混凝土根部开裂。为保证施工过程中每段下塔柱的稳定，控制其变形和消除施工给塔柱结构的次应力，结合混凝土的分段块数，下塔柱设 2~4 道拉杆，拉杆由预应力钢筋或型钢组成，拉杆施加的拉力大小需对下塔柱整体稳定进行验算后确定。根据工艺要求，每道拉杆的拉力可按照下一段塔柱混凝土的施工情况分级施加上去。拉杆直到下横梁施工完毕并张拉永久预应力筋后

才能解除。

另外为了有效地对下塔柱模板进行加固，必须在塔柱之间设置平衡架，平衡架采用强度设计，刚度校核。

中塔柱一般为“八”字形，现在一般采用爬摸法施工，由于中塔柱的斜率而在悬臂状态下由混凝土自重和施工荷载等产生的水平分力会在中塔柱根部形成较大的弯矩，使中塔柱根部外侧混凝土出现较大的拉应力而引起开裂，因此在施工过程中必须设置一定的支撑来减少水平力的影响。通常做法为：利用悬臂爬模施工浇筑至一定高度（一般12~15m）加设一道顶撑主动施力，克服悬臂状态下的附加应力，再继续悬臂浇筑一定高度加第二道顶撑，如此类推完成中塔柱施工，中横梁完成后拆除所有横撑。

第三节 主梁施工技术规范

一、悬臂浇筑法

1. 施工特点和适用范围

采用此法施工仅需少量支架，不影响桥下交通，不受季节、汛期水位影响，适用于任何跨径的斜拉桥主梁施工。挂篮可周转使用，但一次性投入大，施工周期长。

2. 施工工艺

斜拉桥悬臂浇筑法施工工艺与普通预应力连续梁悬臂浇筑方法基本相同，但由于斜拉桥为多次超静定结构，受力反复变化，桥梁线形较难控制。另外桥梁宽度一般在30m左右，挂篮形式与普通预应力连续梁悬臂挂篮构造原理有明显区别。

（1）悬臂长度划分

一个块件长度一般取一个索距，6~8m之间。

（2）挂篮构造

斜拉桥与一般桥梁相比，主梁高跨比小，梁体纤细，抗弯能力差，当进行悬浇施工时，如果仍采用传统的挂篮，挂篮自重将很大，会加大工程造价。所以目前施工中普遍利用斜拉桥结构自身特点，充分发挥斜拉索的特点，减少挂篮自重。

前支点挂篮也称牵索式挂篮，工作原理是：将挂篮后端锚固在已浇梁段上，将待浇梁段斜拉索锚固在挂篮主梁前端，提前发挥斜拉索的作用，由斜拉索和已浇梁段共同承担待浇梁段的混凝土荷载。待混凝土达到一定强度后，进行体系转换，使混凝土荷载转换到斜拉索上，再前移挂篮。前支点挂篮的优点是它使普通挂篮主梁悬臂受力变成简支梁受力，减少主梁断面。缺点是施工节段混凝土时，索力反复变化，调整索力麻烦。

在浇筑主梁混凝土之前，前支点挂篮通过牵索系统与斜拉索临时连接在一起，其主要作用是使挂篮和块件混凝土的重量由斜拉索承担一部分，减少挂篮主梁上的荷载；它

的另一个作用是完成体系转换，即将浇筑块件混凝土之前临时锚固在挂篮上的斜拉索在浇筑后转移锚固到斜拉桥主梁上。

挂篮系统主要构件有：两片主梁、连接主梁的次梁、两个 C 型挂腿、两个行走机构、两个水平止推机构。为保证质量，主要焊缝需经 X 光探伤检查。

挂篮与块件重量比为 0.4 左右。

现在对于空间索面的斜拉桥，由于索体位置在空间变动，挂篮主梁前端体系转换机构内应设置一特殊的转动锚座以满足索体能在三维空间移动。

正式悬浇之前，为确保挂篮的使用安全，需对挂篮进行荷载试验。荷载试验的另一个作用是消除挂篮加载后的非弹性变形，并测定挂篮的弹性变形值，便于立模时给出预留值。

(3) 施工程序

挂篮安装就位并锚固试压；

安装模板，安装斜拉索并与牵索系统进行连接；

绑筋、安装预应力管道；

预拉斜拉索到一定数值，控制挂篮前端标高；

从前端向后分层浇筑混凝土；

第二次张拉斜拉索，浇筑顶板及横隔梁混凝土；

养护混凝土、张拉预应力；

张拉牵索系统的锚固螺栓，解除牵索系统与斜拉索的连接，将牵索系统转换到梁体结构上，实现体系转换；

解除挂篮前后约束，使梁体与挂篮脱离；

挂篮行走至下一梁段。

二、悬臂拼装法

预应力混凝土斜拉桥悬臂拼装法是先塔柱区完成一段放置起重设备的梁段，然后用起重设备从塔柱两侧依次对称安装预制块件，使悬臂不断伸长直至合拢。

1. 特点和适用范围

悬臂拼装法由于主梁是预制的，索塔与主梁可平行施工，因此可以缩短施工周期，加快施工速度。主梁预制混凝土周期较长，收缩和徐变影响小，主梁内外质量容易得到保证。但该方法需配备足够的起重设备和运输设备，要有足够的预制场地和运输方式，安装精度要求较高。

2. 块件的预制、运输

主梁台座按设计要求设置预拱度，各块件依次串联预制，以保证各块件相对位置及斜拉索与预应力孔道的相对尺寸。预制块件的长度划分以梁上水平索距为标准，并根据起重能力，采用一个索距梁段预制安装。块件的预制、移运与一般预制构件相同。

3. 块件安装施工工艺

将一个预制块件运至主梁挂篮起重设备下方；
 提升块件至已完梁段 3m 处；
 吊放另一个预制块件到位，反过来将前块件安放到位；焊接预埋在梁上的钢铰；
 挂索并第一次张拉，此时拉索的水平推力由钢铰传递；
 焊接钢筋，立模浇筑纵横接缝混凝土；
 混凝土达到设计要求后，第二次张拉斜拉索；
 前移挂篮起重设备，进行下一节段悬拼工作。

4. 钢梁的安装

主要安装工艺同混凝土梁一样。但钢梁的连接采用高强螺栓，此处为结构的薄弱点，因此高强螺栓的连接是钢梁悬臂安装的关键工序。高强螺栓的安装分为：初拧及初拧检查，终拧及终拧检查。

初拧螺栓的顺序是从螺栓群中央向四周逐渐扩展施拧，初拧扭矩为终拧扭矩值的 60% ~ 70%。初拧检查主要是检查螺栓安装的外观质量以及有无漏拧情况，外观检查是指查看有没有将螺栓与垫圈装反，查看螺栓的朝向是否一致。

终拧是使高强螺栓的轴向预应力达到并保持设计值重要的施工步骤，终拧一般在初拧 2 小时后进行。终拧的施拧顺序为先中间，再向四周扩展，终拧过的螺栓都应做好标记，以免漏拧或重复施拧。终拧检查是在每个节点内高强螺栓全部施拧完成之后，由专检人员进行检查，终拧时检查所用的扳手时带有功表盘的专用检查扳手。对超拧的螺栓应及时换下来，重新安装并做终拧检查。

第四节 斜拉索的技术与安装

一、斜拉索制作工艺

拉索按材料和制作方式不同分为四种：平行钢筋索、平行（半平行）钢丝索、平行（半平行）钢铰线索、封闭式钢缆，其中平行（半平行）钢丝索、平行（半平行）钢绞线索最为常见，应用最广。

钢丝索易于挠曲，便于长途运输，现我国已有数家专门生产钢丝索的工厂，平行钢丝索的生产已经专业化，技术已成熟。建设部颁布了《塑料护套半平行钢丝索》的制作标准，交通部颁布了《斜拉索热挤聚乙烯拉索技术条件》。这种钢丝材料采用镀锌或不镀锌的 $\varphi 5$ 或 $\varphi 7$ 预应力钢丝，钢丝的标准强度不低于 1570MPa。

钢铰线索由钢铰线组成，通常由 7 根 $\varphi 5\text{mm}$ 的钢丝组成公称直径为 15mm 的钢丝股，同时也有由 7 根 $\varphi 4\text{mm}$ 的钢丝组成公称直径为 12mm 的钢丝股。

由于斜拉桥的跨径越来越大，拉索长度、数量相应增加，对拉索的制作水平要求越

来越高，为保证质量，拉索尽可能在工厂制作。半平行钢丝索以其长度大、承载力高、运输方便的优势，被广泛地采用。它的断面排列为正六边形或缺角六边形，需进行大捻距同心左旋扭绞。同时缠包一层或两层纤维增强聚酯带，这样就能保证拉索不松散，能顺利通过热挤工序。

成品拉索的制作工艺流程为：钢丝粗下料（设计索长 + 施工作业长度）→编束→钢束扭绞成型→下料齐头→分段抽检→焊接牵引钩→缠绕包带→热挤 PE 护套→水槽冷却→测量护套厚度及偏差→精下料（计算长度 + 墩头长度）→端部入锚部分去除 PE 套→锚板穿丝→分丝墩头→装冷铸锚→锚头养生固化→出厂检验→打包运输。

工艺流程的技术要求为：钢丝成束后同心左向扭绞，最外层钢丝扭绞 20 ~ 40 转，捻距 40 ~ 60D；热挤机各加热温度为：低密度料 180 ~ 200℃；高密度料 230 ~ 250℃；护套厚度偏差为 +1mm，-0.5mm；精下料切割断面应垂直于钢丝轴线，偏差 ≤ 2°。

成品索的外表面不能有深于 1mm 的划痕，不能有面积大于 3cm² 的损伤。

每根拉索出厂前必须进行超张拉，超张拉取 1.2 ~ 1.4 倍设计索力，其弹性模量不小于 1.95×10^5 MPa。

出厂前，每根拉索应有合格标牌，上面应表明：拉索编号、规格型号、长度、质量、制造厂名、工程名称、生产日期等。

二、斜拉索的安装

1. 放索

斜拉索（含冷铸锚）由专业厂家在工厂制造并进行防护处理，经检测合格后成卷运至现场，斜拉索以盘索或捆索形式运到现场，因此在挂索前需进行放索工作。对于 100m 长以内的索，可以直接在地面上放索，方法是：利用塔柱的 1250kN·m 塔吊直接将斜拉索的张拉端向上提吊，抽出全部拉索后转臂上桥面。但本桥多数拉索长大于 100m，塔吊无法一次将索整个吊起，为此我们利用大型吊车配合塔吊将其吊至桥面。

放索时，对于盘索先用手拉葫芦将卡在索盘的锚头拉紧，使卡箍不受力，然后拆除卡子螺栓，缓慢放松手拉葫芦，使锚头离开盘索，平卧在拖索小车上，将锚头固定。拖索前，在拖索小车前进方向每 4m 布置钢滚轮一只，钢滚轮高 50cm，拖索小车跨下径高 60cm，拖索小车可以从滚轮上经过。挂篮前端，上下行方向各配 1 台 50kN 慢速卷扬机。卷扬机拖动拖索小车，带动索盘转动，向梁端前进，直到将锚头拖到待浇梁端的锚管旁。在挂篮的张拉腔内安装牵引头，此时再把锚头与牵引头连接，通过牵引头将锚头穿过锚管与挂篮前支点连接好再进行下一工序。对于捆索，直接将其吊放在桥面上可转动的放索盘子，拆除卡子，将锚头向梁端牵引。其他同前。

2. 斜拉索的牵引、挂设

(1) 施工前机具准备

梁端软牵引设备：在梁端主跨、边跨各布置 2 台 50kN 卷扬机，使四根斜拉索能同时同步牵引，主跨、边跨各准备 14 束 12m 长的 7Φ5 钢绞线，所有钢绞线的一端均用索

头器夹紧，另外在主、边跨各布置 2 台 YCW—250 千斤顶，2 台油泵及软牵引张拉用的两个操作平台。

塔上挂索设备：在 0 号根部主跨，边跨各布置一台 50kN 卷扬机，卷扬机通过钢箱梁吊耳予以固定，在塔顶上设置两套固定的动滑轮组使其起吊能力达到 20t，此吊点可根据需要改变放在索盘上的斜拉索的桥面位置。

张拉设备：在塔柱内我们布置了 2 台 YCW—600 千斤顶，两台油泵，两根 600t 级的 1.5m 长张拉杆，并准备了六种规格斜拉索锚头连接器，通过连接器将张拉杆与斜拉索连接起来。

(2) 斜拉索的挂设

斜拉索塔上挂设见图：斜拉索上桥后，在距锚头 3m 左右的位置安装了特制夹具，将冷铸锚端头的盖板打开，装上一根 2m 长的 $\Phi 21$ 的起吊钢丝绳，塔吊直接起吊夹具，斜拉索起吊至所挂设索道管附近后，将塔顶上 5t 卷扬机钢丝绳从塔内放下，在塔内转向（转向后钢丝绳的受力方向应与索道管的方向一致）从塔内穿出要挂索的索道管口，与锚头的起吊钢丝绳连接，然后派专人指挥，塔吊缓缓起钩，卷扬机也慢慢收紧钢丝绳，同步上升，通过卷扬机钢丝绳与塔吊慢慢调整斜拉索锚头方向使锚头准确进入索道管，在锚头穿过索道管后，旋上大螺帽，在锚头露出大螺帽 4 扣螺纹时，即可放松卷扬机，完成塔端挂索。

斜拉索梁端牵引就位：塔上挂索完毕后，通过塔上 20t 的吊点将余下斜拉索起吊翻身放在索盘上，使梁端锚头露在斜拉索最上层。在距锚头 1.5m 的位置装上夹具，利用梁端 5t 卷扬机带动夹具将斜拉索缓慢向梁端牵引，为保护 PE 套不受损坏，在放索沿途按间距 4 至 6m 布置滚轮。待斜拉索牵引至索道管口 9m 时，将 12m 长的 7 束 7 $\Phi 5$ 钢绞线有索头器的一端与斜拉索锚头连接，钢绞线的另一端穿过索道管、牵引张拉用的撑脚和放在牵引支架上的 250t 千斤顶连接，通过千斤顶张拉来完成斜拉索的软牵引；当锚头靠近索道管口时，利用 5t 卷扬机在牵引支架上的受力方向的转换来调整斜拉索锚杯的角度，使锚杯准确居中进入索道管，用千斤顶将锚头牵引至梁端索道管口，将螺帽按设计位置旋在锚杯上予以锚固。在斜拉索牵引过程中，四根索严格同步进行。

(3) 斜拉索张拉

索塔顺桥向及上、两侧对称的张拉斜拉索采取同步张拉。同步张拉时的斜拉索，张拉时不同步拉力的相差值不得大于张拉力的 10%。

斜拉索的张拉工作在塔内进行。因此在塔内需设置吊式张拉平台，平台的正中留出 1m \times 1.2m 的孔洞供操作人员和吊装机具的出入。

本桥最大索 211 丝，最小索 121 丝，选用 4 台 YCW800 型千斤顶、4 台 ZB800 型油泵、0.5 级油表并配 1.6m 长的张拉杆进行张拉施工。

在挂篮前端配 YCW500 型千斤顶 4 台进行索力转换。

张拉前对千斤顶、油泵和油表进行成套校准。斜拉索索力控制非常严格，为因千斤顶突然受损或其他原因需重新校准时不延误工期，在施工现场应有足够的备用设备。

(4) 第一次张拉

当拉索与挂篮前支点连接好，且挂篮止推及微调等机构均已调节好，就可以进行第一次张拉。第一次张拉的目的是用斜拉索作挂篮前支点，对挂篮的标高进行调节和控制，在斜拉索张拉时需对同一挂篮上的两根索同步张拉。第一次张拉到设计索力后，如挂篮的标高未达设计值，一般采用挂篮微调系统，微调后将拉索调整至设计索力。

(5) 第二次、第三次张拉

当梁混凝土浇筑至 $1/3$ 、 $2/3$ 量时，依据现场监测数据进行第二次张拉、第三次张拉，张拉是控制本节段梁板的标高即本节段的线型。张拉工作应在混凝土初凝前完成。

(6) 第四次张拉

主梁混凝土达到设计强度 90% 即进行预应力施工，斜拉索张拉完成后，首先进行挂篮前支点受力转换，使原来拉索作用力由挂篮转换至已成梁肋混凝土锚板上。在体系转换时，应尽可能的对拉索的锚头外露梁进行调整，使锚头能锚在最佳受力位置，具体做法是：先张拉挂篮处 YCW500 型千斤顶，使锚头大螺母拉离垫板 $3 \sim 4$ 丝，在旋紧螺母，撤除拉索与挂篮连接，完成索力转化，最后在塔内同时张拉两对拉索至控制吨位。张拉过程中，必须同时进行梁段和索塔变位观测，以便与设计变位值校核，必要时进行适当的控制调整。

3. 索力调整、减振器安装

每根索在张拉后都进行一次检测，视检测结果进行必要的索力调整，使拉索索力误差控制在设计允许范围内。调整索力时必须同时观测梁段控制点标高，务使其标高误差亦在允许范围内；同时对索塔和相应梁段进行应力测试，并对索塔位移进行观测。

全桥合拢后，若需调整索力，则按施工控制单位和监理工程师指令进行索力调整，然后在拉索与锚管之间安装减振装置。减振器一般为高阻尼橡胶制品，安装时使减振器的减振环与拉索外圈和锚管的内圈紧密结合在一起，以保证其起到相应的效果。

第十七章

拱桥施工 技术规范

第一节 概述

一、工艺流程

用拱圈或拱肋作为主要承重结构的桥梁被称为拱桥。在垂直荷载作用下，其拱圈主要受压，支承拱圈的墩台不仅承受垂直力，而且还要承受水平力，称为推力式拱桥；如果拱圈（拱肋）两端间有系杆相连承受水平力，而墩台只承受垂直力，则称无推力式拱桥又称系杆拱桥。

拱桥以其特有性能适用于大、中、小跨径公路和铁路桥，尤其跨越峡谷。因其造型美观，也常建于城市、风景区。

当今科技进步迅速，拱桥的形式日新月异，施工与架设手段日趋先进。

拱桥施工大体上分为三个阶段。第一阶段为拱架施工，（无支架施工实质上为施工设备与机具的架设），第二阶段施工拱圈（拱肋），第三阶段为拱上结构，包括桥面系、泄水管、伸缩缝和附属工程等施工。

二、简要方法

自 19 世纪中叶以来，随着钢铁和混凝土建筑材料的出现，砖石拱桥已逐步为钢拱和钢筋混凝土拱桥所代替。拱桥向结构轻型化发展，并逐步打破传统的上承式石拱桥形式，创造出新型的拱桥。拱桥的拱圈发展成为分离式肋拱，桥面发展成轻型板梁式结构，借立柱支承于拱肋之上（上承式），或用吊杆悬挂于拱肋之下（下承式），当地势或桥梁建筑高度限制时，还可作成中承式拱桥。拱桥有单跨，亦可作成多跨。

拱圈结构以其材料分有砖、石拱桥、钢拱桥，混凝土拱桥、钢筋混凝土拱桥和钢管混凝土拱桥等。接受力图分有无铰拱，双铰拱和三铰拱。无铰拱拱圈两端固结于桥台（墩），结构最为刚劲，变形小，比有铰拱经济；但桥台位移、温度变化或混凝土收缩等因素对拱的受力会产生不利影响，因而修建无铰拱桥要求有坚实的地基基础。两铰拱因拱脚可转动，可减弱桥台位移等不利因素的影响。三铰拱则拱顶设一铰，结构的刚度较

差，但可避免各种因素对拱圈的受力产生不利影响。

科技水平的提高，使得拱桥施工的能力有很大的增强，方法多种多样。拱桥施工的规模与跨度都有很大增长。世界上最大的钢拱桥为美国新峡谷拱桥，于 1977 年建成，拱跨 518.2m，桥长 921m。世界最长的钢筋混凝土拱桥为南斯拉夫的克拉克拱桥，于 1980 年建成，拱跨 390m。

施工拱桥方案多种多样，一般有支架施工、无支架施工和少支架施工。通常按桥型与结合实际情况，利用本单位的优势和条件选择施工方案，并做相应的设计与计算。主要原则为稳定可靠、结构简单，受力情况清楚、明了，施工方便和能重复使用。

拱圈施工是拱桥施工中最重要工艺，施工中必须掌握对称与均匀，注意拱的平衡，表现在各部位变形对称。浇筑间隔混凝土和拱的合拢尤需注意。

钢管拱，应特别注意钢管内混凝土密实和管与混凝土结合密实。

上部结构施工方法与其他桥型相同，但安装或施工结构的程序，应符合拱构施工中的对称、平衡原则。

第二节 拱架施工技术

设计与安装拱架，应结构桥型与实际施工条件进行多方面的技术经济比较。主要原则为稳定可靠，结构简单，受力明确，装卸方便和能重复使用。

一、拱架形式与制作工艺

1. 木拱架

(1) 形式

木拱架多用于可设中间支点的桥孔。一般有排架式，撑架式，扇形式及木桁架式等；

(2) 结构与特点

- ①排架式拱架，其排架间距小，结构简单且稳定性好。
- ②斜撑式木拱架，支点间距较大，结构较复杂。
- ③木拱架杆件连接，连接力求紧密可靠，可用铁夹板，硬木夹板和螺栓拉杆等铁件连接。

2. 工字钢拱架

(1) 工字钢活用拱架的特点与组成

- ①此类拱架结构简单，拼装方便，可重复使用，是比较常用的钢拱架。
- ②拱架由工字钢（分成几种不同长度）、楔形插节、拱顶铰及拱脚铰等基本构件组成。

③上述方法适用于不同曲率和距离的拱。

④拱架片数可根据拱圈宽度和重量来确定。拱片间可用角钢连接。

(2) 拱架架设工艺流程。

3. 钢桁架拱架

(1) 结构类型与特点。

①拼装式

此类拱架由标准节、拱顶节、拱脚节及连接杆等以钢销连接组成。纵横向连接系将两拱架连接组成一组，即可作浇筑或吊装一片拱肋的支架。调整拱的曲度和跨度由变换连接杆长度来确定。

②装配式公路钢桥节拼装拱架

装配式公路钢桥桁架上弦接头处加上一个不同长度的钢铰接头，就可拼成用于多种曲度和跨度的拱架。拱架两端应另外加设拱脚节及支座，以构成双铰拱架。为使完工后卸架方便，应在弧形木下设置木楔。拱架的横向稳定则需依靠各片拱架间的抗风拉杆、撑木以及风缆等设备。

③万能杆件拱架

万能杆件经补充一部分带钢绞的连接短杆后，可拼装拱架。拼装时，先拼成桁节，再用长度不同的连接短杆连成折弧形。

④装配式公路钢桥或万能杆件组成桁架与木拱盔组合拱架

此种拱架系由桁架及其上面的帽木、立柱、斜撑、横梁及弧形木等组成。较适用双曲拱。其挠度可通过试验或进行预压实测。

(2) 架设

架设工艺与前述工字钢适用钢拱架相似，因施工方法不同，在各施工法中介绍。

二、拱架安装

1. 拱架安装前的准备

(1) 支架基础必须稳固，承重后应能保持均匀沉落且沉落值不得超过预计范围。

基础为石质时，应挖去表土，将柱根处岩面凿低、凿平。

基础为土质时，如在施工期间不致被水冲刷，可采用枕木、石块铺砌等基础加固措施；如施工期可为流水冲刷的，或为松软土时，须采用桩基或框架结构或其他加固措施。

基础承重后的预计下沉值可按荷载试验确定，但应不大于计算建筑拱度时可采用的基础下沉值。

(2) 水、电、交通与场地必须很好的满足拱架施工要求。

(3) 有洪水的河道要密切注意导流设施，特别是多孔拱桥更为重要。

(4) 对被安装的构件质量与测量的检查。

①安装前，应对全部杆件详细检查。对于木制构件看是否有节疤、柱孔等，有问题

者应更换；钢制构件要看是否有腐蚀、锈污、有无严重扭曲，缺焊、漏焊或少焊处。更不允许由于焊接程序不对而产生的内应力破坏。

②对拱架立柱与拱架支承面要详细检验，准备调整拱架支承面与顶部高程，并复测跨径，无误后、方可安装。制作木拱架、木支架时，长杆件接头应尽量减少，两相邻立柱的连接不应在同一水平。

2. 安装特点

拱架必须按设计要求进行严格设计、计算，留好预拱度，放好拱架曲线。在放好的拱架大样及拱脚铰位，可以定出墩台缺口、模板、弧形木及横梁的位置和尺寸。但拼接板的底面与拱圈内弧线间一般须留出 30 至 50cm 的间隙，以放置弧形木及模板等构件。

拱架可就地拼装或根据起吊设备能力，预拼成组件后再进行安装。

拱架拼装过程中必须注意各节点，各杆件的受力平衡，并做好拱顶拆拱设备，以使拱装拆自如。

拱架安装后应进行预压消除非弹性变形，使设计预拱度正确，保证拱桥完成后符合设计拱曲线。

为此安装时要缜密考虑以下特点。

①各片拱架在同一节点处的标高应尽量一致，便于拼装和平联杆件。有大风地区，应设风缆增加稳定性。

②拱架和支架应稳定、坚固，能抵抗施工中可能发生的偶然冲撞和振动。支撑地基坚实。在特殊地区施工，要先对支撑处附近地基进行适当处理。

③在设计好的拱架制作、安装均要严格操作，安装时设专人检查。

④安装中应有较高的架设技术和一定的吊装设备，安装中逐步加固拱架和支架纵向联系，保证支架安全坚固可靠。

3. 安装注意事项

安装中单片拱架的稳定极为重要，做好稳定工作，并注意对称安装。合拢时，拱顶拆拱设备安装受力均匀、结构可靠。

拱片安装成片后经检验，轴线正确、顺直、连接可靠。拱片稳定设备连接可靠方能进行第二片安装。

高空作业，注意遵守高空作业施工的一切安全操作规程，包括电器安全操作。

(1) 支架立柱必须安装在有足够承载力的地基上。立柱底应设垫木来分布和传递承载力，保证浇混凝土后不发生超设计的允许沉降和位移。

(2) 脚手架和便桥不应与模板支架相连，以免振动影响混凝土浇筑质量。

(3) 在有船或汽车通行的支架通道，应加设护桩，以免冲撞拱架，夜间应用灯光标明行车方向，做好交通标志。河道中，对有漂流物冲撞支架的应对支架设坚固防护设备。

(4) 拱架或支架安装完毕，对平面位置，顶面标高等作全面检查。符合要求后，方可继续施工。

4. 工字钢拱架安装

(1) 拼装

工字形钢拱架，一般是将每片拱架先组成两片半拱片，然后再安装就位。半个拱片可在桥下的地面或驳船上拼装，拼后应防扭曲，节间螺母应拧紧。插接应先安装在一个基本节上，拼接好的两个半片拱应在其被吊离地面 1.5m 时，检查、拧紧其所有螺母并安装拱顶卸拱设备，并做好稳定工作。拼接第二片拱架时，应附带将横向连接用角钢装上并用绳子捆好。所需螺栓等零件应装入布袋、随同拱架起吊。

(2) 架设

架设工作分片进行。架设每片拱片时，应同时将左、右半片拱片吊至一定高度，并将拱片脚纳入墩台缺口或预埋的工字钢支点上与拱座铰连接，然后安装拱顶卸拱设备进行合拢。拱片的吊装，可用设在墩顶的人字摇头扒杆或半球形轴承活动吊杆进行，用摇头扒杆吊装时，应将扒杆的底部置于墩面预留孔中。

(3) 横梁，弧形木及支撑木安装、横梁、弧形木及支撑木应按拱架大样统一制作。安装应先安弧形木再安支撑、横梁、及模板。弧形木上应通过操平以检查标高准确，当误差过大时，可在弧形木上加铺垫木或刻槽。横梁应严格按设计安放。

5. 钢桁架拱架安装

(1) 半拱旋转法

架设方法与工字形钢拱架相似，但起吊前拱脚先安支在支座上，然后用拉索使半拱架向上旋转合拢。

(2) 竖立安装法

在桥跨内两端拱脚上，垂直地拼成两半孔骨架，再以绕拱脚铰旋转的方法放至设计位置进行合拢。

(3) 浮运安装法

在水流比较平稳的河流上，可采用浮运安装法，其主要程序如下：

①在浮船支架上拼装拱架：用数只木船联成整体，在其上安装满布式支架，在支架上即可拼装钢拱架。

②拱架安装就位：为便于拱架进孔与就位，拱架拼装时的矢高，应稍大于设计矢高（即预留沉降值）。在拱架进孔后，用挂在墩台上的大滑车和放置在支架上的千斤顶来调整矢高，并用水压舱，以降低拱架，使拱架就位。安装时，拱顶铰须临时捆紧，拱脚铰和铰座位置须稍加调整，以使铰座密合。

第三节 拱圈施工技术规范

拱桥是我国具有民族传统的桥型。由墩台、拱圈、拱上建筑和附属结构等组成。拱

圈是拱桥的主要承重构件；拱上建筑是由拱圈支承的桥面各种建筑物。

一、砖石拱砌筑要点

1. 砖砌拱圈施工要点

(1) 拱圈和拱上结构所用材料应符合设计规定，施工时应按设计留置施工预拱度。

(2) 砌筑拱圈工作开始前，应先详细检查拱架和模板，在质量和安全等各方面均应符合要求后方可开始砌筑。

(3) 砌筑拱圈前，根据拱圈的跨径、矢高、厚度及拱架的情况设计砌筑程序。砌筑时，随时注意与观测拱架变形，必要时调正砌筑程序，以控制拱的变形。

跨径大于 25m 时砌筑程序应符合设计要求。一般均为分段砌筑或分环分段相结合的方法进行砌筑，必要时对拱架进行预压一定的力。

分环浇筑，应待先砌环合拢，砂浆强度达到设计标号 70% 以上，再砌下环。

(4) 砌筑前对所用砖用水浸润，砌筑时砖应具有足够湿度。

(5) 砌筑砖结构时，横竖砌缝应填满砂浆；外露面需勾缝的其所留槽缝的深度应为 1 ~ 1.5cm。

(6) 砌筑工作中断时，应将砌完不久的部位进行覆盖并洒水养护。再砌前应先已将砌部位的表面清理干净并洒水润湿。

(7) 当拱座及其以下 6 ~ 7 层的墩台砌缝砂浆的强度达到设计强度的 50% 以上后，方可开始砌拱圈。

(8) 用普通砖砌拱圈时，辐射方向的砌缝愈向外愈宽，内圈缝应 0.5 ~ 0.8cm，外圈缝不得大于 2cm。当拱圈较厚，宜采用分环砌筑法，以保上述缝宽要求。分环砌筑，每环高为一砖宽（侧砌丁砖），全拱分成偶数拱段，每段长 1.5m 左右。在各段连接处则改砌 3 ~ 5 层竖砌砖以连接上下环层，各环中相邻两行侧砌丁砖的竖缝应相互错开。

(9) 拱圈的辐射缝应垂直于拱轴线，辐射缝两侧相邻两行拱石的砌缝应互相错开（同一行上下层砌缝可不错开），错开距离不应小于 10cm。

(10) 砌筑拱圈时，应在拱脚、拱顶石两侧、分段点等部位临时设空缝；小跨径拱分段砌筑时，应在拱脚附近临时设空缝。设置和填塞空缝应注意；

①空缝的宽度，在拱圈外露面应与类别砌块的一般缝相同；缝宽 3 ~ 4cm，沿空缝的拱石，应按图 12.3.2.3 设置，靠空缝一而应加凿平。

为保证空缝宽度，当拱圈跨径 $\geq 16\text{m}$ 时，拱脚部位附近的空缝宜用铸铁块垫隔；其他部位空缝可用 20 号水泥砂浆块垫隔。

②空缝的填塞，应在砌缝砂浆强度达到设计强度的 70% 后进行，填塞时应分层捣实。

③填塞空缝应使用 20 号以上水泥砂浆（半干硬），水泥与矿体积比为 1:1，砂子宜用细砂或筛除大颗粒的中砂。

④填塞顺序视具体情况定，一般由拱脚逐次向拱顶填塞，亦有把所有空缝同时填塞

的。

(11) 拱圈封拱合拢时的温度, 砂浆强度和封拱方法应符合设计规定。无规定时, 则应符合下列规定:

①封拱合拢气温宜在当地年平均气温或 $5 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 时进行;

②分段砌筑的拱圈应待填塞空缝的砂浆达到设计强度 50% 后进行。对采用楔形封顶的拱圈应待砂浆强度达到设计强度 70% 后进行;

③封拱合拢前用千斤顶加压力的方法来调整拱圈应力时, 砂浆强度必须达到设计标号。

(12) 砖筑拱顶, 中心线中分拱顶砖, 保证没有中缝。

2. 石砌拱圈施工要点

(1) 浆砌石拱圈时, 当用粗料石其砌缝宽应为 $1 \sim 2\text{cm}$, 用块石砌其缝宽不应大于 3cm , 片石砌缝宽不应大于 4cm 。若用小石子混凝土砌块时砌缝宽不应大于 5cm , 砌片石时可为 $4 \sim 7\text{cm}$ 。

(2) 砌筑浆砌拱时, 对不太陡的辐射缝, 应先在侧面已砌拱石上铺砂浆, 再放拱石挤砌; 辐射缝较陡时, 可在拱石间先嵌入木条, 再分缝填塞并捣实砂浆。

3. 拱上结构砌筑对拱圈要求

(1) 拱上结构在拱架卸架前砌筑时, 应待拱圈合拢后砂浆强度达到设计规定强度 30% 后进行。

(2) 先松拱架后砌拱上结构时, 应待砂浆强度达到设计强度的 70% 后进行 (此处强度指合拢后合拢砂浆强度)。

(3) 采用分环砌筑的拱圈, 应待上环合拢砂浆强度达到设计强度 70% 后再进行。

(4) 拱圈采用施加压力调整时, 应待封拱砂浆强度达到设计规定强度后, 才能砌筑拱上结构。

(5) 拱上结构一般应由拱脚至拱顶两半跨对称、均匀地砌筑。

(6) 最后一块拱顶石 (拱心石) 封顶, 使拱中心线分拱心石, 不得有中心缝, 且不得有通缝。

二、钢筋混凝土拱圈施工

1. 现浇钢筋混凝土拱圈施工

现浇钢筋混凝土拱圈除应符合一般钢筋混凝土结构施工要求外, 对在支架上浇筑钢筋混凝土拱圈, 还应按拱圈跨度不同情况, 遵循以下施工要点:

(1) 拱圈跨度不同

①跨度小于 16m 的拱圈或拱肋混凝土, 应按全宽度从两端拱脚向拱顶对称地连续浇筑, 并在混凝土凝结前全部完成。

②拱圈或拱肋跨径 $\geq 16\text{m}$ 时, 应沿拱桥跨度方向对称分段浇筑。

a. 分段位置应能使拱架受力均匀, 对称和变形小为原则, 对拱式拱架, 应设在反

弯点、拱架节点、拱顶和拱脚等处；对满布式拱架言，应在拱顶、拱脚和四分之一部位。

b. 各段的接缝面应与拱轴线垂直。

c. 各分段点应预留间隔槽，其宽度一般为 50~100cm，有钢筋接头的，其宽度应满足钢筋接头规定的需要。

d. 分段浇筑程序应预先做出设计，分段浇筑时，各段内混凝土应一次连续浇筑完成，因故中断，应浇筑成垂直于拱轴线的施工缝；并按施工缝处理。

e. 浇筑大跨拱圈混凝土时，为减轻拱架负荷，采用分环分段法浇筑，浇筑及养护时间应根据拱架荷载设计和下环负荷条件通过计算确定，并符合设计要求。

(2) 间隔槽混凝土（俗称预留段）

① 间隔槽混凝土，应待拱圈分段混凝土浇筑完成、强度达到设计强度 70% 以上和结合部位施工缝处理完毕后再浇筑。拱顶及两拱脚间隔槽混凝土应在最后封拱时浇筑，混凝土需用微膨快凝混凝土。合拢温度按设计要求，若设计无规定按本节 21.3.2.1 条 11 之规定执行。

② 浇筑大跨度钢筋混凝土拱圈（拱肋）时，纵向钢筋接头应按规范和设计规定焊接接通，并立即把混凝土填塞，设计若有间隔缝施工有所要求，应按相应要求处理。但应对拱架拆除后拱圈的稳定性进行验算。

对双曲拱桥其拱坡，应在拱肋的整体强度（包括间隔缝混凝土）超过 50% 后才能开始安装。

③ 下承、中承式拱桥

分成安装拱肋、桥面系及吊杆三个阶段进行浇筑，注意事项如下：

a. 吊杆的钢筋或钢丝束、锚环应在上弦混凝土浇筑前穿挂于上弦钢筋骨架上。

b. 悬挂式的桥面系，应在上弦拱架拆除后才能浇筑混凝土。

c. 当桥面混凝土达到能承受荷载强度后，拆除支架（吊架）横梁下的木楔，降落支架，变为由吊杆的钢筋骨架式钢丝束系吊挂状态。然后在桥面上加上全部设计荷载，使吊杆钢筋或钢丝束产生应有的应力，以减小吊杆混凝土的拉应力。

d. 吊杆钢筋或钢丝束产生应有的应力后，即可浇筑吊杆混凝土。吊杆混凝土应对称浇筑，强度达到设计规定的 100%，才能进行钢丝束张拉工作。混凝土结构桥的浇筑程序。

(3) 系杆拱桥

先浇筑杆（下弦）和桥面系混凝土，再在桥面上安装拱架，浇筑拱肋混凝土，最后浇筑吊杆混凝土。吊杆钢筋应在浇筑拉杆和拱肋混凝土前安装完毕，并在浇筑吊杆混凝土前能承受全部设计荷载。

另一种程序为在全部拉杆钢筋安装完毕并连接两支点的情况下，首先浇筑两支点端节和拱肋，在拱架的卸落与拉杆钢筋受力后，再浇筑拉杆和桥面系混凝土，最后浇筑吊杆混凝土。吊杆钢筋的安装和受拉条件与前同。

当桥面系为预制梁与预制板结构时，则程序为先浇两支点端节和拱肋。强度达到设计要求后，安装拉杆索进行张拉，使拱成整体，最后卸拱架安装吊杆挂预制梁施工桥面系。

由于吊杆与拉杆均用特制防锈的 PVC 高强预应力钢索。当预应力张拉力较大时锚固力是可靠的，当拉索预应力较小时，特别要注意锚固力的可靠性，各锚箱内锚头的维修与养护。

拱部浇筑方法如下：

(1) 连续浇筑

跨度小于 15m 的拱圈（拱肋）混凝土，应自两侧拱脚向拱顶对称与连续浇筑，并在拱脚处混凝土初凝前完成。如预计不能完成的，则应在拱脚处留设间隔缝于最后浇筑。对薄壳拱，浇筑混凝土应四周向中央。

(2) 分段浇筑

跨度大于 15m 的拱圈（拱肋），应采用分段浇筑法施工混凝土浇筑，以减小混凝土收缩应力和拱架变形所产生的裂缝。拱段长 6~15m。以拱顶为准，保持两侧对丝。分段点宜设在拱架支点、节点等处并适当留间隔缝。间隔缝应避开横撑、隔板、吊杆及刚架节点处。间隔缝宽要便于施工操作和连接钢筋要求长度为标准，一般在 30 至 100cm。间隔缝用混凝土标号比拱圈高一级半干硬微膨混凝土。

拱段的浇筑程序应符合设计规定，在拱顶两侧对称进行，保持变形均匀与最小。

拱圈（拱肋）按前述间隔缝处理，填充合拢时，应由拱脚向拱顶进行。间隔缝与拱段接触面应按工作缝处理。填充间隔缝合拢应具备下列条件：

(3) 箱形截面拱圈或拱肋的浇筑

一般采用分段、分环的浇筑方法，分段方法与前述方法相同。分环的方法一般分成二环或三环。

分环浇筑可采用分环填充间隔缝合拢和全拱完成后一次填筑间隔缝合拢。分环合拢时，已合拢的环层可产生拱架作用。在浇筑上面环层时可减少拱架负荷，但工期较长。采用最后一次合拢法时，仍必须一环一环地灌筑，但不是浇完一环合拢一环，而是留待于最后一一起填充各环间隔缝合拢。此时，上下环的间隔缝应互相对应和贯通，其宽度一般为 2m 左右，有钢筋接头的间隔缝为 4m 左右。

(4) 拱圈连接系浇筑

当各拱肋同时浇筑和卸落拱架施工时，拱肋横向连接系应与拱肋浇筑同时施工卸落拱架；若各拱肋非同时浇筑和卸落拱架，则应在各拱肋卸落拱架后再浇筑横向连接系。

(5) 拱圈和拱肋钢筋绑扎

拱上的立柱柱脚、接头钢筋、横板底座和拉杆和接头钢筋或钢丝束的穿孔，均应按设计位置留置，当检查无误且合乎质量标准方可浇筑混凝土。

2. 拱圈无支架施工

(1) 搭架法

以临时设立在桥台上的搭架为支柱，将拱圈（拱肋）浇筑一段系吊一段的浇筑施工方法。塔架的高度和受力大小按拱的跨径、矢跨比、桥宽等来确定。斜吊杆可使用预应力钢筋或吊带，其数量视所系吊拱段长度和位置而定，要很好的进行工艺设计与计算。灌筑拱圈混凝土施工一般用设在已浇筑完拱段上的悬臂吊篮，进行逐段浇筑。亦可用吊架浇筑，吊架后端固定在已完成拱段上，前端系吊在塔架上。由拱脚两个牛拱对称地施工，最后在拱顶合拢。

（2）钢筋骨架法

先将拱圈的全部钢筋骨架按设计形状和尺寸制成并安装在拱圈相应位置，然后用系吊在它上面的吊篮逐段浇筑混凝土。由两侧拱脚开始，对称地逐段浇筑。那样，即使钢筋骨架受力均匀对称又减少混凝土的收缩应力。最后在拱顶合拢。用此法施工，钢筋骨架不但满足拱圈需要，而且起到临时拱架作用，因此要求钢筋骨架有相应的刚度，施工时要把设计的拱圈混凝土重量对钢筋骨架进行预压，以防浇筑混凝土后变形，破坏已浇筑混凝土与钢筋结合。

第十八章

城市地道桥 施工技术规范

第一节 工作坑

工作坑是为预制和顶进箱涵而设置。工作坑的大小，基坑的深度，工作坑设置的位置要根据现场的实际情况、箱涵的规模、顶进箱涵的长度和箱节的数量、顶进的方式、出土的方式确定。

一、工作坑的平面布置

1. 工作坑布置要求

(1) 通常工作坑设在铁路正线的另一侧（铁路股线多的情况下），以减少对铁路正线运行的干扰。工作坑靠近铁路端的上边缘距铁路钢轨要有足够的安全距离、最少上边缘距钢轨的距离不得少于 2.5m。

(2) 城市、铁路的管线对工作坑的设置影响很大，尤其是自来水管、排水管道、高压架空线等影响更大、工作坑应设在城市、铁路管线少的一侧。

(3) 当地道桥有纵坡时，工作坑应设在高的一侧。

(4) 工作坑的位置还应考虑出土方便、运输的条件等。

(5) 对于相邻建筑物而言，工作坑应设在建筑物的层数较少、重要性较次的一侧。

总之，工作坑平面位置，要根据现场的实际情况、施工条件等因素综合考虑而定。

2. 工作坑的平面尺寸

(1) 工作坑底部取决于滑板的大小。而滑板的大小又与顶进方式有关。特别是多节箱体顶进时，要通过施工方案而确定。单节箱涵时，滑板的前端和两侧要留出不小于 1m 的施工空间。滑板的尾部，与顶进后背相接。顶进后背至顶进箱涵底板尾端要有不小于 2.2m 的空间，用于安设顶进后背梁、千斤顶、横梁的需要。

(2) 基坑的底部尚须按出土的方式留出出土通道。

(3) 基坑上部尺寸取决于基坑支护形式。如采用放坡的方式，靠近铁路端部则应依据铁路的有关规范结合现场土质放坡和设置平台。

(4) 出土通道的布置，当顶进箱体的宽度大于 20m 时，出土通道可设在中间；否

则出土通道要设在顶进后背的一侧。

二、工作坑边坡、支护与开挖

1. 工作坑的边坡

工作坑如采用放坡明挖，其坡度根据地质及基坑的深度决定。

(1) 铁路一侧，坡度 1:1.5 ~ 1:2；

(2) 基坑两侧，坡度 1:0.75 ~ 1:1；

(3) 在淤泥质软土地区（塘沽、汉沽），当基坑深度大于 6m 时，铁路一侧在根据土质放坡的同时，还必须做在动载的情况下作土体稳定验算。

2. 基坑支护

城市地道桥，通常位于城市区域内，为减少对城市生活的干扰和减少拆迁量，基坑开挖不宜放坡施工。板桩、工字钢桩等材料作为基坑支护。由于顶进箱涵工作坑有其特殊性，工作坑内不能设支撑；因此工作坑的支护形式有如下几种可供选用。

(1) 悬臂桩 悬臂桩的高度与土质、型钢或板桩的型号有关。例如天津地区土质、55 号 I 钢桩，桩间距为 1m 时，其悬臂高度可达 4.5m。悬臂桩的入土深度应大于悬臂高度的 1.5 倍。通常要根据支护桩的型号，桩的类型、间距、悬臂高度和土的物理指标计算确定。

常用的计算方法可按下述顺序进行。

①按土的地质资料计算出主动土压力及被动土压力。压力分布图可按古典库伦公式计算。

②通过试算求插入深度 t_1 ，计算绕 e 点的力矩时，要使被动土压力 def 所产生的对 e 点的抵抗力矩与主动土压力 acd 所产生的对 e 点的力矩之比大于 1.2。这是满足抗倾覆的安全性所必须的。在计算主动土压力和被动土压力时要考虑降低地下水位的影响。

③求出 t_1 后，桩的入土深度 $t = 1.15t_1$ 。

④用试算法求出剪力为零的一点，再算出零点处的弯矩值即是最大弯矩值，即可核算所需要桩的截面、间距等。

(2) 锚式桩 通过经济比较，或悬臂桩不能满足受力要求，现场条件又许可，则可采用锚式桩。

三、常用滑板结构和构造

滑板是施工、顶进作业所必须的临时设施，既是顶进箱体浇筑的基础，又是箱体顶进时的滑道。它须有一定的强度、刚度和较高的平整度。为保证箱体能顺利启动使箱体脱离滑板、在滑板顶面要设置润滑隔离层。由于滑板是临时设施、设计可由设计院完成，也可由施工单位根据工程、地质的情况自行设计、施工。滑板的设计施工应注意如下事项：

(1) 滑板要有适当的强度和刚度。

待挖土至设计标高后，按设计要求先施做排水系统的盲沟和排水管网。随后浇筑10cm混凝土垫层。天津地区的地层通常滑板的厚度为20cm并按构造配筋。

(2) 要适当增加滑板底部与土层的摩阻力，以防止箱体起动时带动滑板。其通常的做法是在滑板的底部相隔一定的间距设置反梁。

(3) 保证必要的平整度。由于顶进箱体直接在滑板上浇筑，尽管设置了润滑隔离层，箱体在浇筑过程中仍然与滑板紧贴，如滑板不平整，箱体起动时就会产生错动增大摩阻力。从经验总结出的平整度的要求为 $1\text{mm}/\text{m}^2$ 。

(4) 做好润滑隔离层。滑板完成并干燥后，在滑板的面层喷涂石蜡。为便于操作，在石蜡中按1:0.25的比例掺加机油。凝固后，在石蜡层上铺一层有一定强度的塑料薄膜保护层。

(5) 滑板中的纵向钢筋要与混凝土后背梁相连。利于后背梁与滑板共同作用。

(6) 简易气垫的设置、比较大型的顶进箱涵、在底板浇筑过程中、箱体底板与滑板之间形成真空现象、这会导致起动阻力的增加，为克服此现象、可在滑板施工过程中埋入带孔的寸管。在浇筑混凝土及作隔离层时为防止孔被堵死，要预先将孔用木塞塞住，待隔离层完成后在铺设塑料薄膜前将木塞拔除。在箱体起动前通入压缩空气，待箱底下四周冒出气泡，即可起动箱体。采取这措施后，起动箱体的顶力约为箱体总重的0.4~0.5左右。

(7) 在天津地区软土上施工地道立交桥时，顶进过程中，当箱体的重心接近滑板前端时，“扎头”的趋向比较严重。箱体顶进高程较难控制。为改善“扎头”的这一趋势，宜将滑板做成与纵坡相反的倒坡。倒坡坡度可 $0.5\% \sim 1\%$ 考虑。

第二节 后背施工技术规范

一、后背的选择原则和要求

后背承受城市地道桥箱涵顶进时的水平顶力，位于滑板的尾端。后背由后背墙及后背梁共同组成。后背虽是临时结构、但它必须满足顶进时最大顶进阻力的要求、要安全可靠，在千斤顶荷载反复作用下不能出现过大的弹性变形。

在设计后背时，要注意下列几点：

(1) 后背是临时结构，要经济合理，便于施工和拆除。

(2) 后背要满足设计的最大顶力，并有必要的安全储备。

(3) 后背要满足稳定和强度的要求。

(4) 后背在顶力作用下，不能有过的弹性变形、尤其是天津软土地层，后背应尽

量密封，防止后背后的土体流出，必要时对后背土要做加固处理。

二、后背施工的注意事项

1. 后背梁与传力柱的接触面要垂直于滑板顶面，以防止在顶进过程中传力柱上抬失稳。
2. 后背梁与后背之间要用砂浆填实。为便于拆卸在砂浆层的两侧用水泥袋或油毡做好隔离层。
3. 在拆除后背时，要先去掉后背部分土体，以防止拆除后背过程中土体坍塌导致伤害事故。

第十九章

人行天桥 施工技术规范

人行天桥，能使行人与车辆分别在两个平面上活动，互不干扰，避免了彼此直接冲撞，从而达到改善交通管理状况、保障行人安全的显著效果。人行天桥投资少、收益大，兴建一座车行立交桥的费用，可以建几座甚至几十座人行天桥。由于活载小，人行天桥的主梁可以建造的非常轻巧雅致，梁的宽度较窄，对街道的覆盖面不大，在美化市容方面，与车行立交桥相比，更易获得较好的景观效果。

从已建成的人行天桥来看，主结构采用钢结构，其制作、架设均方便，减少桥面的建筑高度，使立面造型轻盈明快，在经济和美观方面都有较大的优越性。现场安装时，可以在不影响正常交通的情况下，利用夜间架梁。一旦将来道路拓宽，钢梁拆除也无大的困难。

第一节 钢筋混凝土人行天桥

一、钢筋混凝土人行天桥的特点

人行天桥是为了把人群和高速行驶的车辆分离减少交通事故而专门建造的专供行人行走的桥梁。钢筋混凝土人行天桥具有混凝土坚固耐用的特性；其造型可以根据不同的地理位置设计建造出各种不同形式的人行天桥，即适用于繁华的城市也适用于乡村；从结构形式来说它结构比较简单，维修起来方便；由于它结构形式比较简单施工起来也较方便；从工程造价来讲因为它施工比较方便所需要的建筑材料来源广泛价格相应比较低，工程的成本低也使得工程造价随着降低；它区别于钢结构人行天桥的一点是它不仅具有混凝土坚固耐用的特性，它还具有维修方便，一次性维修费用低，从长远利益来看经济效益较为显著。

二、钢筋混凝土人行天桥的结构形式

1. 按照大梁的断面形式来分可分为箱形梁、T形梁和门形梁。
2. 按照支座形式来分可分为简支梁式、连续梁式、拱形、斜拉式人行天桥。

三、钢筋混凝土人行天桥的施工

钢筋混凝土人行天桥的施工要严格按照交通部颁布的施工规范标准进行施工。

1. 施工前施工技术和管理人员要对设计图纸进行细致的检查核对，要将各部位的材料进行计算并做好材料需用计划，编写施工组织设计文件；工程管理人员要与有关单位联系到现场进行实地勘察，调查并确定地下设施和地上结构物、树木、电线杆等障碍物的具体位置。确定原材料加工、堆放和施工单位。

2. 在做以上工作的同时进行现场的施工测量放线工作，确定下部结构混凝土桩基础的位置，确定标高。

3. 选择适用的施工机械设备进行现场，特别是在市区环境下应采用环保条件好、振动小的机械设备；原材料进场后及时进行原材复验和所需用的混凝土试配工作，做好施工，前的一切准备。

4. 桩基施工时一定要注意地下构筑物，在郊区特别要注意地下通信电缆和动力电缆；在市区要注意地下通信电缆和动力电缆，以及自来水管、污水管道和煤气管道。

5. 如果采用灌注桩基础时，混凝土粗骨料最大粒径不超过导管直径的 $1/5$ ，坍落度要求在 $20 \pm 2\text{cm}$ 。为保持良好的和易性，粘聚性和保水性，可以增加外加剂，为降低成本减少水泥用量可以采用掺入粉煤灰。混凝土浇筑时泥浆相对密度应在 $1.1 \sim 1.2$ 之间不易过大，这样可以顺利地排浆；第一斗混凝土料下去后导管在混凝土中的埋入深度应不小于 1m 的要求，浇筑混凝土时每斗混凝土的间隔时间不易过久，时间过长容易产生抱管就有断桩的危险。

6. 完成桩基施工后要剔除桩头作承台或系梁基础。

7. 接柱的外面是外露部分，施工时要选择钢度大和表面光滑清洁、平整度好的模板，作为接桩模板表面要经过多次的打磨清洁，打磨清洁后刷上隔离剂再使用；接柱的混凝土要求坍落度在 $3 \sim 5$ 之间，浇筑时要使用串桶或软塑料管作为混凝土与混凝土浇筑面之间的中介物这样可以有效地防止浇筑时混凝土浆溅到接柱模板上，拆除模板后能够保证接柱外表光滑亮洁给人一个漂亮的外观。

8. 帽梁施工可以借鉴接柱施工的方法，但帽梁的下部支撑一定要牢固。

9. 大梁部分可以是预制也可以是现场浇筑。现场浇筑的大梁部分在支撑底模板时可，以采用扣碗脚手架，也可以是绑扎的脚手架，还可以是方木垫起来的架子，不管是什么式样的架子一定要支撑牢固，浇筑混凝土后不得松动。模板根据大梁设计形式进行加工，混凝土根据情况可加入缓凝剂。

10. 桥面铺装层和桥栏杆工序施工先铺桥面铺装层，然后安装栏杆。浇筑桥面铺装层混凝土前先在大梁上按照设计高程固定控制高程用的角钢，角钢固定后浇筑混凝土，用振捣梁进行振捣，振捣后用平杠找平，初凝前用木抹压一遍钢抹压两遍，最后进行拉毛。最终栏杆，栏杆安装要焊接牢固。

第二节 钢箱梁结构人行天桥

一、工厂预制

钢箱梁结构人行天桥常采用抛物线形，厂内分段或整跨预制，现场拼装后焊接或高强螺栓连接，材质多为 Q235。

详细的加工工艺和防腐处理工艺与钢桥相同。

二、下部结构施工

1. 测量放线

(1) 放线前首先对设计院交给的桩位及水准点进行复验。复验无误后方可进行施放。

(2) 基线采用毫米刻划普通钢卷尺，钢卷尺改正数为北京测绘处地面鉴定的改正值，基线测量要求往返三个测回，量具精度控制在 $1/2000$ 以内。

(3) 角度测量采用 T_2 经纬仪，测角误差控制在 $\pm 10''$ 。

(4) 水准测量采用水准仪，普通铝合金塔尺，往返两个测回，其精度控制在 $\pm 5\text{mm}$ 。

2. 钻孔灌桩施工

(1) 钻孔前准备：钻孔平台搭设 $600\text{cm} \times 20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 方木，平台高度定为 1m ，护筒按桩位埋好后，两侧用土填充夯实。

(2) 灌筑桩钻孔：钻机安装就位后，确认安放平稳，钻进过程中不会出现位移或沉陷，即可开钻，钻进过程中随时对钻泥浆进行实验，不合要求时随时改正。钻孔速度保持中速运转，每到钻至设计标高时，开始清孔，清孔后泥浆指标符合规范要求，孔底回淤量小于设计要求 20cm ，方可进行灌桩。

(3) 钢筋笼成型及吊装：本桥钢筋笼长为 19.5m ，可一次吊装。钢筋笼吊装时为保证不变形，起吊前应在骨架内部、绑扎杉木加强刚度。

(4) 水下混凝土浇筑：钢筋笼安放完毕后，再次检查回淤量，符合设计要求，方可进行浇筑。混凝土可用商品灰或自拌，混凝土应符合配比，并且保证浇筑连续性。埋管长度严格控制最大不超过 6m ，最小不超过 2m 。

3. 台阶及承台施工

(1) 承台施工：由测量人员根据设计图纸，放出基坑开槽线，使用人工开挖至承台

底标高。人工清理 10cm 至垫层底，如地下高出承台底标高，可在基坑内部置集水井若干，基坑开挖完毕后，浇筑 10cm 垫层混凝土，待 24 小时后开始凿除桩头，保留垫层以上 5cm，绑扎承台筋。墩上钢筋预埋时，除保证设计锚固长度外，还应与承台上下层钢筋焊接牢固，防止浇筑时位移。承台模板采用钢模板，木支撑，要求模板支撑平整，牢固，保证浇筑不会发生变形，根据现场土质情况，可酌情采用土模板。浇筑完毕 8 ~ 12h 开始浇水养护，待混凝土强度达到设计要求 70% 后拆模，回填素土，分层夯实。

(2) 台阶施工：台阶施工应标高准确，连接处的钢筋应绑扎牢固，其模板采用木模，支撑必须牢固。

三、运输与拼装架设

用运行车将各节钢箱梁运至桥位后进行现场安装（钢箱梁的制造见本书第 19 章），采用吊车安装，由于各节钢梁重量较轻可用一台 50t 吊车。先装支腿，测量定位后焊接。然后安装与支腿连接的各节钢梁，调整好各项数据后焊接钢梁与支腿的对接焊缝。最后安装、焊接中间合拢段。对接处每道顶板、底板及腹板的对接焊缝均错开规定距离，防止环形焊缝。因为定位支腿和与支腿连接的钢梁涉及中间合拢段能否顺利安装，因此该部位安装定位最重要，施工时尤应注意。运输与安装宜选在晚上施工，既便于大件运输又有利于断行安装。

四、油漆及色彩

厂内抛丸除锈后应在 6h 内涂漆，抛丸除锈应达到 2.5 级，涂漆后标识。底漆、面漆的厚度与颜色及材质按设计要求进行。

五、桥面、扶梯铺装

六、栏杆及附属设施

栏杆的形状有立柱式、无柱式及壁式，材料采用钢不锈钢、铝合金、铸铁及钢筋混凝土。