

**SL**

中华人民共和国行业标准

**P**

**SL 48—94**

---

# 水工碾压混凝土 试验规程

1994—03—31 发布

1994—07—01 实施

---

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利行业标准

水工碾压混凝土试验规程

SL 48—94

主编单位：中国水利水电工程总公司  
批准部门：中华人民共和国水利部

中华人民共和国水利部  
关于发布《水工碾压混凝土试验规程》  
SL48—94 的通知

水建[1994]97 号

为适应我国水工碾压混凝土试验技术进步的需要，我部委托中国水利水电工程总公司为主编单位，对《水工碾压混凝土试验规程》SDS10—86 进行了修订。经审查，现批准为中华人民共和国水利行业标准，其编号为 SL48—94，自一九九四年七月一日起施行。

各地在执行中应注意总结经验，如有问题请函告水利部建设司和主编单位。

本规程由水利部建设司负责解释，水利电力出版社出版发行。

一九九四年三月三十一日

目 次

1 原材料 .....	(3)
2 碾压混凝土拌和物 .....	(9)
3 碾压混凝土试验 .....	(16)
附录 A 碾压混凝土配合比设计方法 .....	(32)
名词解释 .....	(34)
附加说明 .....	(34)

# 1 原材料

## 1.1 胶凝材料

### 1.1.1 水泥试验方法

水泥试验按有关国家标准及《水工混凝土试验规程》SD 105—82 的规定方法进行。

### 1.1.2 掺合料试验方法。

掺合料试验按《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB 1596—91 和《水工混凝土试验规程》SD 105—82 的规定方法进行。

### 1.1.3 胶凝材料水化热试验方法(直接法)。

**1.1.3.1 目的及适用范围。**在热量计周围温度不变的条件下,直接测定热量计内胶凝材料胶砂温度的变化,计算热量计内积蓄和散失热量的总和,从而求得胶凝材料水化热。本方法适用于 7 d 内的胶凝材料水化热测定。

### 1.1.3.2 仪器设备。

(1)热量计。

1)保温瓶:可采用备有软木塞的 2.27 kg 广口保温瓶,内深 220 mm,内径为 85 mm。

2)截锥形圆筒:用厚约 0.5 mm 的黄铜(或白铁皮)制成,高 170 mm,上口直径 75 mm,底直径 65 mm,带盖,盖的中心有一个直径为 8 mm 的小孔。

3)长尾温度计:0~50 °C,刻度精确至 0.1 °C,温度计水银球至 0°C 的间距约 150 mm。

4)温度计套管:可用直径较温度计水银球大 2 mm,长约 120 mm 的玻璃管或同尺寸的铜管。

(2)恒温水槽。容积大小可根据安放热量计的数量,以及温度易于控制的原则确定。水槽内水的温度应准确控制在  $20 \pm 0.1$  °C,水槽内应装有下列附件:①搅拌器;②温度自动控制装置;可采用低压电热丝及电子继电器等;③温度计,精确度为  $\pm 0.1$  °C;④固定热量计的支架和夹具。

(3)其他搅拌锅、搅拌铲、电炉、封口用的胶泥(或石蜡、火漆)、橡皮垫片、塑料薄膜等。

### 1.1.3.3 试验步骤。

(1)准备工作。

1)温度计须在 15、20、25、30、35、40 °C 的范围内与标准温度计进行校正,给出校正曲线。

2)软木塞:为防止软木塞透水或吸水,应用石蜡涂封,软木中如有较大孔洞可先用胶泥堵封后再涂石蜡。在封蜡前先将软塞中心钻一个小孔(插温度计用),并称质量,封蜡后再称质量以求得蜡质量。然后在小孔中插入长尾温度计,使温度计水银球离软木塞底面约 12 cm,最后再用蜡封严软木塞与温度计之间的空隙。

3)保温瓶、软木塞、截锥形圆筒、温度计等均需编号并称质量,每套仪器部件不宜互换,否则需重新计算热量计的平均热容量。

(2)热量计的平均热容量按(1.1.3—1)式计算

$$C = 0.84 \times \frac{g}{2} + 1.89 \times \frac{g_1}{2} + 0.84 g_2 + 0.399 g_3 + 3.31 g_4 + 1.66 g_5 + 0.33 g_6 + 1.932 V \quad (1.1.3-1)$$

式中  $C$ ——不装胶砂时热量计的平均热容量, J/°C;

$g$ ——保温瓶质量, g(0.84 为玻璃的比热);

$g_1$ ——软木塞质量, g(1.89 为软木的比热);

$g_2$ ——套管质量, g (0.84 为玻璃的比热, 如铜管则为 0.399);

$g_3$ ——截锥形圆筒质量, g (0.399 为铜的比热, 如用白铁皮制, 比热为 0.462);

$g_4$ ——软木塞底面的蜡质量, g (3.318 为蜡的比热);

$g_5$ ——塑料薄膜质量, g (1.68 为塑料薄膜的比热);

$g_6$ ——橡皮垫片质量, g (0.033 为橡皮的比热);

$V$ ——温度计伸入热量计的体积,  $\text{cm}^3$  [1.932 为玻璃的容积比热,  $\text{J}/(\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ].

### (3) 热量计散热常数的测定。

1) 试验前热量计各部件和试验用品应预先在  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  下恒温 24 h。

2) 在截锥圆筒上面盖一块  $16\text{ cm} \times 16\text{ cm}$ 、中心带有圆孔的塑料薄膜, 边缘向下折, 用橡皮筋箍紧, 然后放置于热量计中, 并固定防止摇动。用漏斗向圆筒内注入 550 mL 约  $35^\circ\text{C}$  的温水, 再准备好插有温度计 (带玻璃套管或铜套管) 的软木塞盖紧, 并在保温瓶与软木塞之间用蜡或胶泥密封, 防止透水, 然后将热量计垂直固定于恒温水槽的热量器支架上夹好。

3) 恒温水槽内的水温应始终保持  $20 \pm 0.1^\circ\text{C}$ , 试验开始经 6 h 测定第一次温度  $T_1$  (宜为  $30^\circ\text{C}$  左右), 经 44 h 测定第二次温度  $T_2$  (宜为  $21^\circ\text{C}$  左右)。

4) 热量计的散热常数按 (1.1.3—2) 式计算

$$K = (C + W) \frac{\log \Delta T_1 - \log \Delta T_2}{0.434 \Delta t} \quad (1.1.3-2)$$

式中  $K$ ——散热常数,  $\text{J}/(\text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$W$ ——水的热容量, 为  $550 \times 4.1868, \text{J}/^\circ\text{C}$ ;

$C$ ——热量计的平均热容量,  $\text{J}/^\circ\text{C}$ ;

$\Delta T_1$ ——试验开始 6h 后热量计与恒温水槽的温度差,  $^\circ\text{C}$ ;

$\Delta T_2$ ——试验经 44h 后热量计与恒温水槽的温度差,  $^\circ\text{C}$ ;

$\Delta t$ ——自  $T_1$  至  $T_2$  时所经过的时间, h。

注: 此公式是根据测定过程中, 热量计散失的热量  $Q$  与该测定过程中的平均温度差  $\Delta T$  和时间间隔  $\Delta t$  成正比推算, 其比例常数为散热常数  $K$ 。

即

$$Q = K \Delta T \Delta t$$

$$K = \frac{Q}{\Delta T \Delta t}$$

式中:  $Q = (C + W)(T_1 - T_2)$ ;

$$\Delta T = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

热量计散热常数应测定两次, 取其平均值; 两次结果差值应小于  $4.2\text{J}/(\text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ 。每年必须测定一次。  $K$  值应小于  $168\text{ J}/(\text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ , 否则说明保温瓶质量不佳, 应更换。

### (4) 胶砂水化热的测定。

1) 为了保证热量计中温度均匀, 采用胶砂进行试验。砂子采用《水泥胶砂强度检验方法》GB 177—85 用的标准砂。胶砂比为 1:1.0~1:2.0。

2) 胶砂的加水等于胶凝材料标准稠度用水量。

3) 试验前水泥、粉煤灰、砂子、水等材料和热量计各部件均应预先在  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  下恒温。试验时

胶凝材料与砂子干混合物总质量为 800 g,按选择的胶砂配比,计算胶凝材料与标准砂用量。分别称量后,倒入搅拌锅内干拌 1 min,然后移入已用湿布擦过的搅拌锅内。按上述步骤计算的胶砂加水量加水,湿拌 3 min 后,将胶砂迅速装入内壁已衬有牛皮纸的截锥圆筒内(牛皮纸的热容量可忽略不计)。粘在锅和勺上的胶砂,用棉花擦净,一起放入截锥圆筒中,并在胶砂中心钻一孔深约 12 cm,放入玻璃套管或铜套管,以备插入温度计。然后盖上中心有一圆孔的塑料薄膜,并用橡皮筋箍紧,置于热量计中。在截锥圆筒下垫橡皮垫片,再将插有温度计的软木塞盖紧。

从加水时起,至软木塞盖紧应在 5 min 内完成。自加水起 7 min 时记录初始温度  $t_0$  及时间,然后在软木塞与热量计接缝之间涂蜡或胶泥密封,封好后即将热量计放入恒温水槽的支架上夹好。水槽内水面应高出软木塞顶面约 2 cm。

4)热量计放入恒温水槽后,温度上升过程中,每小时记录温度一次,温度下降过程中,每两小时记录温度一次,当温度变化不大时,可改为 4 h 或 8 h 记录一次。试验从读初温时起进行 168 h。

#### 1.1.3.4 试验结果处理。

(1)根据所记录的时间与对应的水泥胶砂温度,以时间为横坐标(1 cm=5 h),温度为纵坐标(1 cm=1 °C),在坐标纸上作图,并画出 20 °C 水槽恒温线。恒温线与胶砂温度曲线间的总面积(恒温线以上的面积为正面积,恒温线以下的面积为负面积)  $\Sigma F_{0-x}$  (h·°C),可按下列计算方法求得:

1)用求积仪求得。

2)把恒温线与胶砂温度曲线间的面积按几何形状划分为较小的三角形、抛物线、梯形面积  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3 \dots$  (h·°C)等,分别计算,然后将其相加,因为 1 cm<sup>2</sup> 等于 5 h·°C,所以总面积乘 5 即得  $\Sigma F_{0-x}$  (h·°C)。

3)近似矩形:在胶凝材料水化热曲线图横坐标上,以每 5 h(1 cm)作为一个计算单位,并作为矩形的宽度。矩形的长度(温度值)是通过面积补偿确定的。如图 1.1.3 所示。在矩形底边  $t_1 t_2$  处分别作两根平行于纵坐标的直线,与曲线相交于 A 和 B 两点,在曲线段 AB 间选一点 P,过 P 点作横坐标的平行线,此线与  $t_2$  B 线交于 B',与  $t_1$  A 线的延长线交于 A'。此时如曲线下方画斜线的面积  $PBB'$  与曲线上空白面积  $PAA'$  相等时,则此时 P 点的高度(°C)即可作为矩形的长度,长宽相乘即得矩形的面积,以此类推,将划分的各矩形面积相加则得曲线下方的面积,再乘以 5,即得  $F_{0-x}$  (h·°C)的数值。如  $PBB'$  与  $PAA'$  面积不相等,则按上述方法重找 P 点,直到面积相等为止。

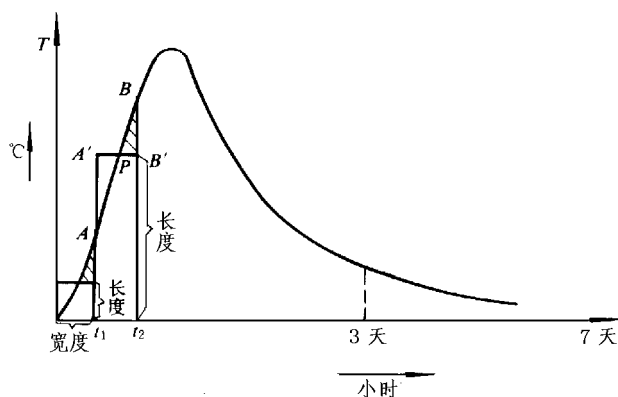


图 1.1.3 水泥水化热曲线

4)用电子仪器自动记录计算。

5)其他方法。

(2) 根据水泥、粉煤灰、砂、水的质量及热量计平均热容量按(1.1.3—3)式计算装入胶砂后热量计的热容量

$$C_p = 0.84 G_c + 0.84 G_s + 4.2 G_w + 0.84 G_F + C \quad (1.1.3-3)$$

式中  $C_p$ ——装水泥胶砂后热量计的热容量, J/°C;  
 $G_c$ ——水泥质量(0.84 为水泥的比热), g;  
 $G_s$ ——砂的质量(0.84 为砂的比热), g;  
 $G_w$ ——水的质量(4.2 为水的比热), g;  
 $G_F$ ——粉煤灰质量(0.84 为粉煤灰的比热), g;  
 $C$ ——热量计的平均热容量, J/°C。

(3) 试验经一定龄期  $X$  小时, 所用胶砂发放出的总热量, 为热量计中积蓄热量加散失热量的总和。按(1.1.3—4)式计算

$$Q_x = C_p(t_x - t_0) + K \sum F_{0-x} \quad (1.1.3-4)$$

式中  $Q_x$ ——胶砂经  $X$  小时龄期的总发热量, J;  
 $C_p$ ——装胶砂后热量计的热容量, J/°C;  
 $t_x$ ——胶砂经  $X$  小时龄期的温度, °C;  
 $t_0$ ——胶砂的初始温度, °C;  
 $K$ ——热量计的散热常数, J/(h·°C);  
 $\sum F_{0-x}$ ——在 0 至  $X$  小时恒温水槽温度直线与胶砂温度曲线间的面积, h·°C。

(4) 在一定龄期  $X$  时胶凝材料水化热按(1.1.3—5)式计算

$$q_x = \frac{Q_x}{G_B} \quad (1.1.3-5)$$

式中  $q_x$ ——一定龄期  $X$  时, 胶凝材料水化热, J/g;  
 $Q_x$ ——龄期为  $X$  时胶凝材料放出的总热量, J;  
 $G_B$ ——胶凝材料的质量, g。

(5) 胶凝材料水化热试验必须测定两次, 取其平均值, 两次结果差值应小于 12.6 J/g。

## 1.2 细骨料

### 1.2.1 细骨料常规试验方法。

一般性能测定按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 规定的方法进行。

### 1.2.2 细骨料振实容重及空隙率测定。

#### 1.2.2.1 目的及适用范围。测定细骨料振实容重和空隙率, 评定细骨料品质。

#### 1.2.2.2 仪器设备。

(1) HGC—1 型维勃工作度仪, 其中:

振动台: 频率  $50 \pm 3.3$  Hz, 空载振幅  $0.5 \pm 0.1$  mm;

容量筒: 内径 240 mm, 内高 200 mm;

透明塑料压板及滑杆: 质量  $2.75 \pm 0.05$  kg。

(2) 套模: 内径 240 mm、高 100 mm 的金属套模(可固定于容量筒上口), 或用 5 mm 厚的橡皮板加工成与容量筒外径一致、高 100 mm 的套模。

- (3)配重法码:质量 5 kg。
- (4)磅秤:称量 50 kg,感量 50 g。
- (5)其他:拌和板、平口铁铲、金属直尺、秒表等。

### 1.2.2.3 试验步骤。

- (1)用铁铲把饱和面干砂样拌匀,装入附有套模的容量筒内,砂料应高出筒口约 5 cm。
  - (2)将装满砂料的容量筒固定于振动台上,将透明塑料压板、滑杆连同配重砝码(质量 7.75 kg)一起置于砂料表面。松开滑杆,使压板端正地压于砂料表面上。
  - (3)开动振动台,同时按动秒表计时,振动 40 s 后取下容量筒,用直尺从筒口中心线向两侧方向刮平砂样,称质量  $G_2$ 。
  - (4)测定容量筒容积  $V$  及容量筒质量  $G_1$ 。
- 试验应平行作两次。

### 1.2.2.4 试验结果处理。

- (1)按(1.2.2—1)式计算细骨料振实容重(准至 1 kg/m<sup>3</sup>)

$$V_s = \frac{G_2 - G_1}{V} \times 1000 \quad (1.2.2-1)$$

式中  $V_s$ ——细骨料振实容重,kg/m<sup>3</sup>;  
 $G_1$ ——容量筒质量,kg;  
 $G_2$ ——容量筒及砂样质量,kg;  
 $V$ ——容量筒容积,L。

以两次测值的平均值作为试验结果。当两次测值相差超过 20 kg/m<sup>3</sup> 时,应重作试验。

- (2)按(1.2.2—2)式计算细骨料振实空隙率(准至 0.1 %)

$$V_{os}(\%) = (1 - \frac{V_s}{\rho_s}) \times 100 \quad (1.2.2-2)$$

式中  $V_{os}$ ——细骨料振实空隙率,%;  
 $V_s$ ——细骨料的振实容重,kg/L;  
 $\rho_s$ ——饱和面干砂的视密度。

## 1.3 粗骨料

### 1.3.1 粗骨料常规试验方法。

一般性能测定按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 规定的方法进行。

### 1.3.2 粗骨料振实容重及空隙率测定。

**1.3.2.1 目的及适用范围。**测定粗骨料的振实容重及空隙率,供选择粗骨料级配及碾压混凝土配合比设计中计算砂浆盈余度用。

#### 1.3.2.2 仪器设备。

- (1)振动台:频率 50±3.3 Hz,振幅 0.5±0.1 mm。最大承载能力不小于 200 kg。
- (2)磅称:称量 100 kg,感量 50 g。
- (3)容量筒:内径与净高相等,规格见表 1.3.2。
- (4)压重块:直径略小于容量筒直径,质量 5、10 kg 各一块(分别与容积 10、30 L 的容量筒对应使用)。
- (5)其他:尼龙网布(50 cm×50 cm)、直尺等。

## 1.3.2.3 试验步骤。

(1)根据粗骨料最大粒径确定容量筒的大小(最大粒径 40 mm 时用 10 L,80 mm 时用 30 L)。称质量得  $G_1$ 。

(2)取具有代表性的气干试样或一定级配比例的气干粗骨料,搅拌均匀,用平铲将试样

从离筒口 5 cm 处自由落入筒内,粗骨料装至与筒口齐平,注意用 5~10 mm 的小粒径粗骨料填平。

(3)把装有粗骨料的容量筒固定于振动台上,粗骨料表面加上相应的压重块(质量按压强 980 Pa 计算)。

(4)开动振动台,振 60 s,取下压重块,在试样上面铺上尼龙绸布。用已知容重  $\gamma$  的标准砂均匀地从 5 cm 高处倒入绸布中,直至标准砂略高于筒口。然后用直尺沿容量筒上边缘刮平,称取标准砂质量  $G_2$ ,计算所填入标准砂的体积  $V_2$ ,取下容量筒,称得筒加试样质量  $G_3$ 。

试验平行进行两次。

## 1.3.2.4 试验结果处理。

(1)按(1.3.2—1)式计算粗骨料振实容重(准至 1 kg/m<sup>3</sup>)

$$V_g = \frac{G_3 - G_1}{V_1 - V_2} \times 1000 \quad (1.3.2-1)$$

式中  $V_g$ ——粗骨料振实容重,kg/m<sup>3</sup>;

$G_1$ ——容量筒质量,kg;

$G_3$ ——容量筒加试样质量,kg;

$V_1$ ——容量筒容积,L;

$V_2$ ——所填标准砂体积,L。

以两次试验的平均值作为试验结果,两次试验结果相差超过 20 kg/m<sup>3</sup> 时,试验应重作。

(2)按(1.3.2—2)式计算粗骨料的振实空隙率(准确至 1 %)

$$V_{og}(\%) = (1 - \frac{\gamma_g}{\rho_g \times 1000}) \times 100\% \quad (1.3.2-2)$$

式中  $V_{og}$ ——粗骨料的振实空隙率,%;

$\gamma_g$ ——粗骨料振实容重,kg/m<sup>3</sup>;

$\rho_g$ ——粗骨料视密度。

(3)按(1.3.2—3)式计算标准砂体积

$$V_2 = \frac{G_2}{\gamma} \quad (1.3.2-3)$$

式中  $V_2$ ——标准砂体积,L;

$G_2$ ——所填标准砂质量,kg;

$\gamma$ ——标准砂松散容重,kg/L。

## 1.4 外加剂

## 1.4.1 外加剂性能测定。

外加剂性能测定按《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB 8077—87 的规定进行。

表 1.3.2 容量规格表

骨料最大粒径 (mm)	容量筒容积 (L)	容量筒内部尺寸(mm)	
		直 径	高 度
40	10	234	234
80	30	337	337



## 1.5 水

### 1.5.1 拌和及养护用水。

水质检验方法按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 的规定进行。

## 2 碾压混凝土拌和物

### 2.0.1 碾压混凝土拌和物室内搅拌方法。

#### 2.0.1.1 目的及适用范围。为室内试验提供碾压混凝土拌和物。

#### 2.0.1.2 一般规定。

(1)拌制碾压混凝土拌和物时,拌和间温度应保持  $20 \pm 5$  °C。

(2)用以拌制碾压混凝土的各种材料,应提前 1 d 放入拌和间。

(3)骨料计量一律以饱和面干状态为标准,材料用量以质量计。称量精度:水泥、粉煤灰及水为  $\pm 0.3$  %,骨料为  $\pm 0.5$  %。外加剂(干料)准确至 0.01 g,水剂准确至 0.5 g。

(4)搅拌机应预先搅拌少量与碾压混凝土水胶比相同的砂浆,使搅拌机内壁湿润。各种用具在拌制前也应保持湿润。

#### 2.0.1.3 仪器设备。

(1)混凝土搅拌机:容量 50~100 L,转速 18~22 r/min。

(2)钢板:平面尺寸不小于 1.5 m×2.0 m,厚 5 mm 左右。

(3)磅称:称量在 50~100 kg,感量 50 g。

(4)台秤:称量 10 kg,感量 5 g。

(5)托盘天平:称量 1 kg,感量 0.5 g。

(6)天平:称量 100 g,感量 0.01 g。

(7)其他:盛料容器和铁铲等。

#### 2.0.1.4 操作步骤。

(1)根据工程技术要求进行配合比设计(推荐的设计方法见附录 A)。按顺序将称好的砂、水泥、粉煤灰(水泥和粉煤灰预先拌均匀)倒入搅拌机,搅拌 1 min。再按顺序把称量好的水(外加剂事先与水混匀),大石、中石、小石倒入搅拌机中,搅拌 2 min。也可以采用经过试验论证的、能搅拌均匀的投料顺序及拌和制度。

(2)将搅拌好的碾压混凝土拌和物倒出,卸在钢板上,刮出粘结在搅拌机上的拌和物,并一起翻拌均匀。

### 2.0.2 碾压混凝土拌和物工作度(VC 值)测定。

2.0.2.1 目的及适用范围。用于实验室及现场测定碾压混凝土拌和物的 VC 值,以评定拌和物的工作度,为配合比设计及施工质量控制提供依据。本方法适用于 VC 值为 5~35 s 的碾压混凝土拌和物。

#### 2.0.2.2 仪器设备。

(1)HGC—1 型维勃工作度仪,该仪器由以下各部分组成(见图 2.0.2);

1)振动台:台面 380 mm×260 mm,振动频率  $50 \pm 3.3$  Hz,空载(含筒)振幅  $0.5 \pm 0.1$  mm。

2)容量筒:金属制成,内径 240 mm,内高 200 mm,能固定于振动台上。

3)透明塑料压板、砝码及滑杆:压板直径  $230 \pm 2$  mm,厚  $10 \pm 2$  mm。砝码及滑杆的质量为 2.75

±0.05 kg。

4) 捣棒: 直径 16 mm, 长 600 mm, 一端为弹头形。

(2) 筛子: 孔径 40 mm。

(3) 配重砝码: 7.5±0.05 kg 两块。

(4) 其他: 秒表等。

### 2.0.2.3 试验步骤。

(1) 试验前将容量筒、压板等擦净润湿。

(2) 将拌和物筛去大于 40 mm 粒径的粗骨料, 拌和均匀, 摊平。用四分法将拌和物分成四份。取其对角线方向的两份, 分两层装入容量筒, 下层应超过半筒, 上层装至与筒口齐平。每装一层用捣棒从容量筒周边开始向中心螺旋形均匀插捣 25 次。插捣深度: 底层穿透该层, 上层插入下层表面以下 1~2 cm。上层插捣完毕后, 将表面整平。

(3) 将装料的容量筒固定于振动台上。把透明塑料压板、砝码滑杆及配重砝码加到拌和物表面(总质量 17.75 kg)。松动滑杆紧固螺栓, 开动振动台同时计时。记下从振动开始到圆压板周边全部出现水泥浆所需的时间(读数精确到 0.5 s)。

(4) 工作度试验应在拌和物拌和完毕 20 min 内做完。未进行试验的拌和物应用塑料薄膜或湿麻袋遮盖以免水分蒸发。

试验进行两次。

### 2.0.2.4 试验结果处理。

以两次测值的平均值(精确到 0.5 s)作为拌和物的工作度(即 VC 值)。当混凝土拌和物的 VC 值处于 5~15 s、16~25 s、26~35 s 范围内, 两次测试结果分别不得超过 3、5、7 s, 否则试验必须重作。

## 2.0.3 碾压混凝土拌和物容重测定。

**2.0.3.1 目的及适用范围。**测定碾压混凝土拌和物单位体积的质量, 为配合比设计计算材料用量提供依据, 校核设计容重。当已知所用材料密度时, 还可以计算出拌和物的近似含气量。在获得现场实测压实容重的基础上, 可用以计算相对压实度。

### 2.0.3.2 仪器设备。

(1) 容量筒: 金属制圆筒, 筒壁应具有足够的刚度, 使之不易变形, 规格见表 1.3.2。

(2) 振动台: 振动频率 50±3.3 Hz, 振幅 0.5±0.1 mm, 承载能力不小于 200 kg, 能在接通电源后 4 s 内达到正常工作状态, 附有固定容量筒的装置。

(3) 筛子: 孔径 80 mm、40 mm 各一个。

(4) 其他: 弹头捣棒、磅秤(称量 100 kg, 感量 50 g)、玻璃板(尺寸稍大于容量筒筒口, 厚 5 mm)、金属直尺、容量筒套模(内径与容量筒内径同, 高 150 mm, 能固定于容量筒上)、压板(直径比容量筒内径小 5 mm, 厚 5~10 mm, 压板中心附有长 400 mm、直径 10~20 mm 的垂直圆杆)、压重块(连同压板一起的总质量按压强 4900 Pa 计算)。

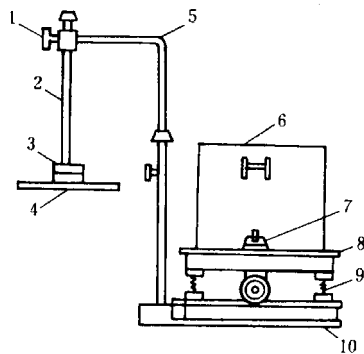
### 2.0.3.3 试验步骤。

(1) 根据拌和物中最大骨料粒径选定相应的容量筒, 测定容量筒容积  $V$ 。

(2) 拌制碾压混凝土拌和物。

(3) 擦净容量筒, 称质量  $G_1$ 。

(4) 把容量筒固定于振动台上, 加上套模, 把拌和物装入容量筒。分层装料, 每层装料厚度不大



1—螺栓; 2—滑杆; 3—砝码; 4—圆盘;  
5—转向弯杆; 6—容量筒; 7—固定螺栓;  
8—台面; 9—弹簧; 10—底座

图 2.0.2 HGC-1 型维勃工作度  
测定仪简图

于 20 cm(上层应装至高出容量筒顶面约 5 cm)按每 100 cm<sup>2</sup> 插捣 12 次进行分层插捣。放上相应质量的压重块。分层振动。下层振动时间等于该拌和物的 VC 值,顶层振动时间为该拌和物 VC 值的两倍。必要时可考虑 3 倍。

(5)取下套模及压重块,沿筒口刮除多余的拌和物,用抹刀及玻璃板抹平表面。将容量筒外部擦净,称质量  $G_2$ 。

试验进行两次。

#### 2.0.3.4 试验结果处理。

(1)按(2.0.3—1)式计算碾压混凝土拌和物的容重(准确至 1 kg/m<sup>3</sup>)

$$\gamma_b = \frac{G_2 - G_1}{V} \times 1000 \quad (2.0.3-1)$$

式中  $\gamma_b$ ——碾压混凝土拌和物的容重,kg/m<sup>3</sup>;

$G_1$ ——容量筒质量,kg;

$G_2$ ——试样与容量筒质量,kg;

$V$ ——容量筒的容积,L。

以两次测值的平均值作为试验结果,当两次测值相差超过 20 kg/m<sup>3</sup> 时,试验应重做。

(2)按下式计算拌和物的近似含气量

$$V_a = \frac{\gamma_0 - \gamma_b}{\gamma_0} \times 100 \quad (2.0.3-2)$$

$$\gamma_0 = \frac{\frac{G_c}{\rho_c} + \frac{G_f}{\rho_f} + \frac{G_s}{\rho_s} + \frac{G_g}{\rho_g} + \frac{G_w}{\rho_w}}{\frac{G_c}{\rho_c} + \frac{G_f}{\rho_f} + \frac{G_s}{\rho_s} + \frac{G_g}{\rho_g} + \frac{G_w}{\rho_w}} \times 1000 \quad (2.0.3-3)$$

式中  $V_a$ ——碾压混凝土拌和物的含气量,%;

$\gamma_0$ ——拌和物不含气时的理论容重,kg/m<sup>3</sup>;

$\gamma_b$ ——拌和物的实测容重,kg/m<sup>3</sup>;

$G_c$ 、 $G_f$ 、 $G_s$ 、 $G_g$ 、 $G_w$ ——分别为每立方米拌和物中水泥、粉煤灰、砂、石及水的质量,kg;

$\rho_c$ 、 $\rho_f$ 、 $\rho_s$ 、 $\rho_g$ 、 $\rho_w$ ——分别为水泥、粉煤灰、砂、石、水的密度或视密度。

现场质量检查时,为方便起见,可在测定拌和物工作度之后延长施振时间至该拌和物 VC 值的两倍,求得振实后试样的质量和体积,计算经过湿筛的碾压混凝土拌和物容重,并按下式近似计算未经过湿筛的碾压混凝土拌和物的容重。

$$\gamma_{原} = \gamma_b \left(1 - \frac{G_3}{1000 \rho_g}\right) + G_3 \quad (2.0.3-4)$$

式中  $\gamma_{原}$ ——未经过湿筛的碾压混凝土拌和物的容重,kg/m<sup>3</sup>;

$G_3$ ——每立方米碾压混凝土中大于 40 mm 的石料用量,kg/m<sup>3</sup>;

$\rho_g$ ——大石的视密度;

$\gamma_b$ ——经过湿筛的混凝土拌和物的容重,kg/m<sup>3</sup>。

未经过湿筛碾压拌和物的容重也可按 1.03  $\gamma_b$  估算。

#### 2.0.4 碾压混凝土砂浆振实容重试验。

2.0.4.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土砂浆单位体积质量。用于碾压混凝土配合比参数的选择。

**2.0.4.2 仪器设备。**

(1) 砂浆容量筒: 规格尺寸与 2.0.2“碾压混凝土拌和物工作度测定”的容量筒容积相同, 上口平整, 试验前其容积应率定。

(2) 压重块及承压板: 总质量 11 kg, 压板直径 230±2 mm。

(3) 振动台: 与 2.0.2“碾压混凝土拌和物工作度测定”的有关要求相同。

(4) 套模: 套模的内轮廓尺寸与容量筒相同, 高度 50~100 mm, 不易变形并能固定于容量筒上。

(5) 磅秤: 称量 50~100 kg, 感量不大于 50 g。

(6) 其他: 秒表、捣棒等。

**2.0.4.3 试验步骤。**

(1) 用 5 mm 方孔筛从碾压混凝土拌和物中筛取砂浆约 20 kg。

(2) 称容量筒质量。通过套模将砂浆分两层装入容量筒中, 每装一层用捣棒插捣 25 次。

(3) 将容量筒固定于振动台上, 砂浆试样表面加承压板及压重块。开启振动台对砂浆试样施加振动(振动时间等于碾压混凝土拌和物的 VC 值, VC 值未知时可取用 15 s)。

(4) 刮去容量筒表面多余的砂浆, 抹平表面、擦净容量筒, 称容量筒及砂浆的总质量。试验进行两次。

**2.0.4.4 试验结果处理。**

碾压混凝土砂浆振实容重按(2.0.4)式计算(准至 10 kg/m<sup>3</sup>)

$$\gamma_M = \frac{G_1 - G_0}{V} \times 1000 \quad (2.0.4)$$

式中  $\gamma_M$ ——碾压混凝土砂浆振实容重, kg/m<sup>3</sup>;

$G_0$ ——容量筒质量, kg;

$G_1$ ——容量筒及砂浆总质量, kg;

$V$ ——容量筒的容积, L。

以两次测值的平均值作为试验结果。

**2.0.5 碾压混凝土拌和物含气量测定。**

**2.0.5.1 目的及适用范围。** 测定碾压混凝土拌和物的含气量, 选定或检验引气剂掺入量, 以便控制碾压混凝土质量。本方法适用于含气量不大于 7 % 的碾压混凝土拌和物。

**2.0.5.2 仪器设备。**

(1) HGC—1 型维勃工作度仪的振动台。

(2) 混凝土含气量测定仪(CA—2 型, 建议选用 CA—2 型的换代产品, 直读式 CA—3 型)。

(3) 套模: 套模内径与含气量测定仪量钵内径相同, 高度 60 mm。

(4) 含气量测定仪固定卡具。

(5) 压重块及导杆(总质量 15 kg)。

(6) 其他: 磅秤(称量 50 kg, 感量 50 g)、玻璃板(250 mm×250 mm、厚 5 mm)、捣棒、秒表、抹刀、打气筒、漏斗等。

**2.0.5.3 试验步骤。**

(1) 含气量测定仪(图 2.0.5)率定。

1) 预先称量含气量测定仪量钵加玻璃板质量。量钵加满水, 用玻璃板沿量钵顶面平推, 使钵内盛满水而玻璃板下无气泡。擦干钵体外表面后连同玻璃板一起称质量。两次质量的差值除以该温度下水的密度即为量钵的容积( $V_0$ )。

2)将橡皮密封圈置于量钵顶面的凹槽内,盖上钵盖,扭紧紧固螺栓 5。

3)打开排气阀 6 和进水阀 3,将漏斗放入进水阀孔内,向量钵内注水直至排气阀的排水孔出水为止。旋紧钵盖上的所有阀门,用打气筒经进气阀 1 向气室充气。使压力表指针所指压力稍大于 0.1 MPa,然后再微松进气阀排气,调整压力使其为 0.1 MPa。

4)松开操作阀 2 使气室的压力气体进入量钵内,测读压力表读表(读至 0.001 MPa),此时指针所指压力相当于含气量为 0。

5)打开排气阀放气,由进水阀孔内抽出等于量钵容积 1 % 的水。关闭钵盖上的所有阀门,然后重新向气室充气、调整压力为 0.1 MPa。重复(4)的试验步骤。此时压力表指针所指压力相当于含气量 1 %。同样方法可测含气量 2 %, 3 %, ..., 8 % 等。

6)以压力表读数为横坐标,含气量为纵坐标,绘制含气量与压力表读数关系曲线。

(2)碾压混凝土拌和物含气量的测定。

1)取拌和物约 15 L,用湿筛法筛除大于 40 mm 粒径的骨料,拌和均匀,用磅秤称取质量为  $G_b$  的试样

$$G_b = \frac{\gamma_b V_0}{1000} \quad (2.0.5-1)$$

式中  $G_b$ ——碾压混凝土拌和物试样用量,kg;

$\gamma_b$ ——混凝土拌和物(经过湿筛的)容重,kg/m<sup>3</sup>;

$V_0$ ——混凝土含气量测定仪量钵容积,L。

2)把套模置于量钵上,将称取的试样( $G_b$ )分两层装入量钵内。每层高约 10 cm,用捣棒从量钵周边开始向中心螺旋形均匀插捣 25 下,插捣上层时捣棒应插入下层 1~2 cm。

3)将量钵置于固定卡具上,然后用 4 根螺杆和压板将量钵连同套模一并固定在振动台上,再将压重块和导杆轻轻置于套模内混凝土表面上。

4)开动振动台同时计时,振动时间按三倍该拌和物的  $VC$  值控制。

5)将量钵从振动台上取下,用抹刀将顶面大致抹平,擦净量钵上边缘,把密封圈放于凹槽内,再将钵盖盖上,旋紧紧固螺栓 5(见图 2.0.5)。

6)打开排气阀 6 和进水阀 3,通过漏斗从进水阀向量钵内注水,直至排气阀的排气孔出水为止。关闭钵盖上的所有阀门,用打气筒经进气阀 1 向气室充气,使压力表指针所指压力为 0.1 MPa。

7)打开操作阀 2,待压力表指示的压力稳定后读取压力表读数(读至 0.001 MPa)。从压力表读数与含气量关系曲线上查得含气量  $V_{bl}$ 。测试完毕后打开进水阀 3 排除量钵内气体。

(3)测定骨料校正常数  $K$ ,  $K$  随骨料种类不同而变化。

1)按式(2.0.5-2)和式(2.0.5-3)计算出装入量钵中的砂石质量

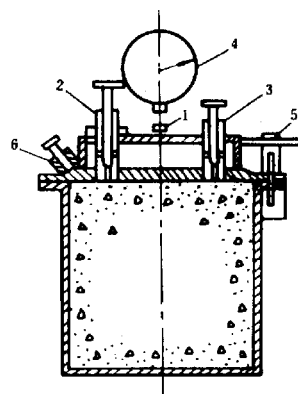
$$G_{sl} = \frac{G_s V_0}{1000} \quad (2.0.5-2)$$

$$G_{gl} = \frac{(G_1 + G_2) V_0}{1000 - G_3 / \rho_g} \quad (2.0.5-3)$$

式中  $G_{sl}$ 、 $G_{gl}$ ——分别表示装入量钵中的砂、石质量,kg;

$G_s$ ——每立方米碾压混凝土用砂量,kg/m<sup>3</sup>;

$V_0$ ——量钵容积,L;



1—进气阀;2—操作阀;3—进水阀;  
4—压力表;5—紧固螺栓;6—排气阀

图 2.0.5 CA-2 型水压式含气量  
测定仪结构图

$G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$ ——分别为每立方米碾压混凝土中 5~20 mm、20~40 mm 及大于 40mm 的石料用量, kg/m<sup>3</sup>;  
 $\rho_g$ ——大于 40 mm 石料的视密度。

由上面两式计算出的砂、石用量以饱和面干状态为准, 实际用量还需根据砂石料的含水情况进行修正。按修正后的砂、石用量称取砂、石料。

2) 量钵中先盛 1/3 高度的水, 将称取的砂石料混合物逐步加入量钵中, 不断搅拌以排气。每当骨料层厚增加 4.5 cm 时, 用捣棒捣 10 次。砂、石料全部加入水至满。放上橡皮密封圈套, 并盖上钵盖, 扭紧紧固螺栓 5。

3) 按测定拌和物含气量步骤(6)至(7)进行, 根据压力表读数由曲线查得含气量即为骨料校正常数  $K$ 。

#### 2.0.5.4 试验结果处理。

按下式计算拌和物含气量

$$V_b = V_{bl} - K \quad (2.0.5-4)$$

式中  $V_b$ ——拌和物的含量, %;

$V_{bl}$ ——由含气量测定仪测得的含气量, %;

$K$ ——骨料校正常数, %。

以两次测值的平均值作为试验结果。若两次含气量测值相差大于 0.5 %, 应找出原因重做试验。

#### 2.0.6 碾压混凝土拌和物凝结时间测定(贯入阻力法)。

2.0.6.1 目的及适用范围。用于室内及施工现场测定碾压混凝土拌和物的初凝和终凝时间。

##### 2.0.6.2 仪器设备。

- (1) 贯入阻力仪(见图 2.0.6—1)
- (2) 碾压混凝土拌和物现场初凝时间测定仪。
- (3) 试模: 边长 15 cm 的立方体试模(要求不漏浆且附有套模)。
- (4) 筛子: 孔径 5 mm 的方孔筛。
- (5) 振动台、秒表、抹刀、压重块等。

##### 2.0.6.3 试验步骤。

(1) 碾压混凝土拌和物室内凝结时间测定。

1) 从碾压混凝土拌和物中筛取砂浆试样约 22 L。

2) 通过套模将砂浆平均分装于 6 个边长 15 cm 的立方体试模中(分两层装模, 每层插捣 25 次)。将试模固定于振动台上, 砂浆表面加压重(按砂浆表面压强 2450 Pa 计算)。开启振动台使试样振动密实(施振时间等于该碾压混凝土拌和物的  $VC$  值), 随后去掉压重块和套模, 刮去试模表面多余砂浆, 抹平表面。

3) 试样成型后立即在贯入阻力仪上用 0.2 cm<sup>2</sup> 截面积的测针测定贯入阻力, 以后从砂浆拌和加水时算起每小时(测试时间间隔可视初凝时间长短进行调整, 但初凝前及初凝后宜分别有 6 次以上的测试数值)测定贯入阻力一次(以不在同一试模中的三个测点贯入阻力的平均值作为该时刻的贯入阻力值), 直至砂浆试样的贯入阻力大于 30 MPa 为止。

4) 测试时, 按照先周边后中心的顺序进行, 测点间及测点与试模间距离应不小于 25 mm。

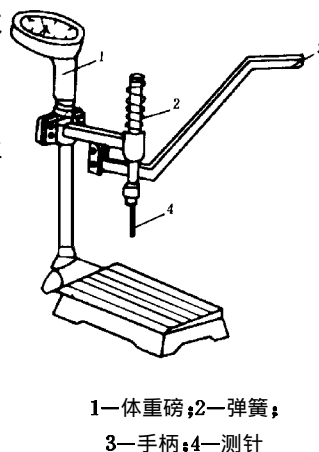


图 2.0.6—1 贯入阻力仪示意图

5)测试时将砂浆试模置于磅秤上,读记砂浆与试模总质量作为基数。然后使测针端部与砂浆表面接触,按动贯入阻力仪手柄,徐徐加压,经 10 s 使测针贯入砂浆深度 25 mm,读记磅秤在加压过程中的最大指示值,此值扣除基数即为贯入压力。将贯入压力除以测针截面积即得贯入阻力值。每次测试完毕,应将测针上粘附的砂浆擦净。将试样移放于  $20 \pm 3$  °C 的恒温室中并用橡皮或玻璃板遮盖。

6)以贯入阻力为纵坐标,以砂浆拌和加水至测定贯入阻力时所经历的时间为横坐标,将测试结果点绘于图上。根据测点的具体分布情况,在转折点处将测点划分为两组(测点划分合适与否,可用两直线的相关系数是否均为最大进行判断)。用“最小二乘法”或“平均法”将两组测点分别用直线或直线方程表示,两直线的交点对应的时间即为混凝土拌和物的初凝时间。

7)从贯入阻力—历时第二段直线上查得贯入阻力为 27.5 MPa 对应的时间为该碾压混凝土拌和物的终凝时间。

#### (2)碾压混凝土拌和物现场初凝时间测定。

1)从运到施工现场的碾压混凝土拌和物中筛取砂浆试样 40~50 L。

2)在平仓后的碾压混凝土层的某一预定位置挖面积 40 cm×40 cm,深 20~25 cm 的坑。将砂浆试样填入坑内,刮平砂浆表面(此时要求试样表面略高于碾压混凝土表面)。

3)在砂浆试样表面覆盖一层尼龙编织物,让砂浆试样与混凝土拌和物一起承受碾压。碾压完后除去覆盖物,并与碾压混凝土一起进行同样条件的养护。

4)将碾压混凝土拌和物室内试验初凝时对应的贯入压力扣除现场初凝时间测定仪承重盘及滑杆质量作为现场施测时的附加压重,测定砂浆试样在已知贯入压力作用下 10 s 的贯入深度。

5)施测时将现场初凝时间测定仪(图 2.0.6—2),置于待测砂浆试样上,调整支架升降螺丝使测针竖直(此时水平尺气泡居中),转动卡环把滑杆锁住,调整测杆螺丝使测针端部与试样表面接触。转动卡环松开滑杆,同时将附加压重在 10 s 内逐渐加于承重盘上(10 s 加完)。超过 10 s 立即除去附加压重,测读测针的贯入深度。每次施测三个点,以三个贯入深度的平均值作为该次测试结果。

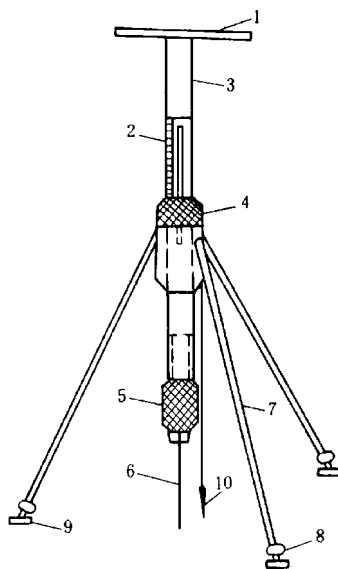
6)从碾压混凝土拌和加水至贯入深度为 25 mm 所经历的时间即为碾压混凝土拌和物在当时环境条件下的初凝时间。当贯入深度大于或小于 25 mm 时,即表示拌和物未初凝或已超过初凝时间。

7)若使用手持式现场初凝时间测定仪进行施测,测试时应保持测针竖直。将测针端部与砂浆试样表面接触,通过手把徐徐加压,使测针在 10 s 内贯入砂浆 25 mm,从贯入阻力显示屏(或显示表)上读记施测过程中的最大贯入阻力。当最大贯入阻力达到碾压混凝土拌和物室内初凝时对应的贯入阻力时所经历的时间即为该碾压混凝土拌和物在当时环境条件下的初凝时间。

#### 2.0.7 碾压混凝土拌和物拌和均匀性检验。

2.0.7.1 目的及适用范围。检验碾压混凝土拌和物的拌和均匀性,用以评定搅拌机的拌和质量 and 选择合适的拌和时间。

2.0.7.2 仪器设备、试验步骤和结果处理。按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土拌和



1—承重盘;2—刻度尺;3—滑杆;  
4—卡环;5—测针升降螺丝;6—测杆;  
7—三脚架;8—支架升降螺丝;  
9—支架垫板;10—垂球

图 2.0.6—2 碾压混凝土现场初凝时间测定仪

物均匀性检验”的方法进行。

3 碾压混凝土试验

3.1 物理力学性能

3.1.1 碾压混凝土立方体抗压强度试验。

3.1.1.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土立方体试件的抗压强度。

3.1.1.2 仪器设备

(1)振实机具。

1)振动台法:振动频率  $50 \pm 3.3$  Hz、振幅  $0.5 \pm 0.1$  mm 的振动台,并且有固定试模的装置。

2)平板振捣器法:改制的 ZW—5 型表面振捣器(如图 3.1.1 所示),其质量不超过 25 kg,频率 47 Hz 左右,振幅  $0.8 \pm 0.1$  mm。附有各类可拆卸的轻质合金试模压板(压板应具有一定的刚度,其边长或直径比试模尺寸约小 5 mm)。

3)维勃试验振动台法:HGC—1 型维勃仪振动台。

(2)试模:规格视骨料最大粒径按表 3.1.1 确定。

(3)成型套模:套模的内轮廓尺寸应与试模相同,高度 50~100 mm,不易变形并能固定于试模上。

(4)成型压重块及承压板:形状与试件表面形状一致,尺寸略小于试件表面尺寸。根据不同试模尺寸,将压重块和承压板的质量调整至碾压混凝土试件表面压强为 4900 Pa。

(5)试验机、养护室及其他工具要求与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土立方体强度试验”相同。

3.1.1.3 试验步骤和结果处理。

(1)拌制碾压混凝土拌和物。

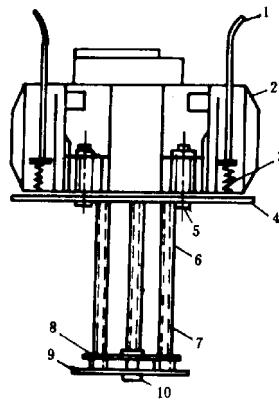
(2)按下列步骤成型试件:

1)将试模擦净,拼装好,模内涂一薄层矿物油。

2)若碾压混凝土拌和物中骨料最大粒径超过表 3.1.1 的规定,则用湿筛法筛除过大粒径骨料。

3)将碾压混凝土拌和物拌均匀后分二层装入试模。插捣次数对边长 100、150、300 mm 的试模分别为 15、25 和 40 次,插捣时从试模周边开始,螺旋形进行。插捣上层时捣棒应插入下层 1~2 cm,每层插捣完毕后用平刀顺模边插一遍。将模内拌和物表面整平。

4)用振动台成型时,试模应固定于振动台上,加上套模,放上承压板及压重块(按压强为 4900 Pa 计算出压重块的总质量)。由人工扶正压重块或用导向杆导向。用表面振捣器成型时,将装有压板(形状与试件表面形状相同)的振捣器垂直置于试模内的拌和物表面,用手扶正,不要人为加压或提起。



1—扶手;2—振捣器;3—弹簧;4—底板;5—螺栓;6—套管;7—螺杆;8—弹簧成型板;9—成型压板;10—压板连接螺栓

图 3.1.1 改制的 ZW—5 型表面振捣器

表 3.1.1 骨料粒径与试模规格表 mm

骨料最大粒径	试 模 规 格
20	100×100×100
40	150×150×150
80	300×300×300



5) 试件高度为 100、150 mm 时, 一次加压振动成型, 试件高度为 300 mm 时, 分二次加压振动成型。振动时间, 底层为拌和物 VC 值的 2 倍, 上层为拌和物 VC 值的 3 倍。

6) 试件成型后马上进行抹面, 要求沿模口抹平, 然后编号。

(3) 成型后的带模试件宜用塑料布遮盖, 并移至养护室养护 24~48 h 后拆模。拆模后的试件仍放于养护室中养护, 直至试验龄期。

(4) 抗压强度试验步骤和结果处理按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土立方体抗压强度试验”的方法进行。

### 3.1.2 全级配碾压混凝土容重测定方法。

3.1.2.1 目的及适用范围。测定全级配碾压混凝土单位体积的质量, 为坝体稳定设计和评定施工碾压密实性提供依据。

3.1.2.2 仪器设备。碾压混凝土容重试件成型所需设备与 3.1.1“碾压混凝土立方体抗压强度试验”相同。

#### 3.1.2.3 试验步骤。

(1) 拌制碾压混凝土。

(2) 按 3.1.1“碾压混凝土立方体抗压强度试验”的有关规定成型全级配碾压混凝土试件。

(3) 用抹刀抹平试件并编号, 送至养护间养护 3 d 后拆模, 量测试件尺寸(准确至 0.1 mm), 称质量(准确至 0.02 kg)。

#### 3.1.2.4 试验结果处理。

容重按(3.1.2)式计算(准确至 0.01 kg/L)

$$\gamma = G/V_0 \quad (3.1.2)$$

式中  $\gamma$ ——碾压混凝土容重, kg/L;

$G$ ——碾压混凝土质量, kg;

$V_0$ ——试件体积, L。

以三个试件的平均值作为试验结果。单个试件测值与平均值相差不应超过  $\pm 0.5\%$ 。

### 3.1.3 碾压混凝土劈裂抗拉强度试验。

3.1.3.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土立方体试件的劈裂抗拉强度。

3.1.3.2 仪器设备。与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土劈裂抗拉强度试验”所用的仪器设备相同。

#### 3.1.3.3 试验步骤和结果处理。

(1) 拌制碾压混凝土拌和物, 并按 3.1.1“碾压混凝土立方体抗压强度试验”的有关规定制作、养护试件。

(2) 其余试验步骤和结果处理按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土劈裂抗拉强度试验”的方法进行。

### 3.1.4 碾压混凝土的轴向拉伸试验。

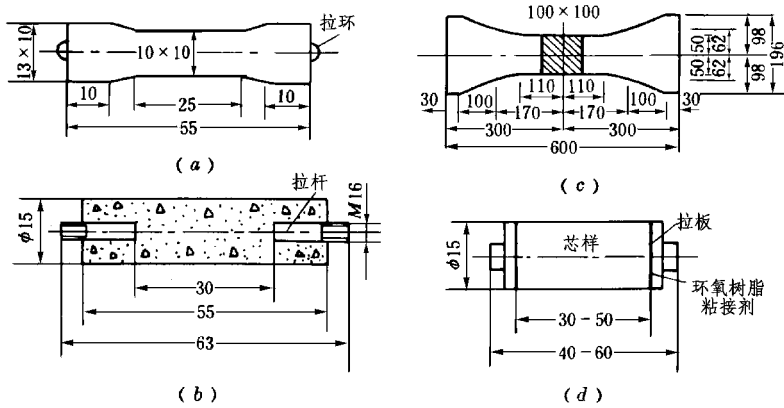
3.1.4.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土的轴向抗拉强度, 拉伸断裂时的拉伸应变能力(或称极限拉伸值), 以及抗拉弹性模量。

#### 3.1.4.2 仪器设备。

(1) 试验机: 50 kN 拉力试验机或伺服程控万能试验机, 其拉伸间距在 800~1000 mm 以内。

(2) 试模及埋件见图 3.1.4—1, 其图中 (a)、(b)、(d) 的单位为 cm; (c) 的单位为 mm。

(3) 应变测量装置: 千分表式引伸计、杠杆引伸计、电阻应变片或位移传感器等均可用于测定试



(a)、(b)、(c) 室内成型试件; (d) 钻芯试件

图 3.1.4—1 碾压混凝土轴向拉伸试件及埋件

件的变形。采用千分表或位移传感器时应备有变形测量架(见图 3.1.4—2),试件的变形通过变形测量架传递到千分表或位移传感器。采用电阻应变片测量试件变形时应配置电阻应变仪一台;采用位移传感器测量试件变形时应备有与其相匹配的放大器和记录仪。应变测量装置的测量精度不低于  $5 \times 10^{-6}$ 。

(4)其他:拉环(或拉杆、拉板)、应变片、胶水、环氧树脂粘结剂等。

3.1.4.3 试验步骤。

(1)拌制碾压混凝土拌和物,按 3.1.1“碾压混凝土立方体抗压强度试验”的有关规定制作试件。拌和物最大骨料粒径不得超过 40 mm。以 4 个试件为一组。

成型前埋件的安装:当采用图 3.1.4—1(a)型试件时,将拉环紧紧夹持在试模两端上、下拉环夹板的凹槽中,注意检查拉环位置是否水平,必要时用若干层纸垫在前夹板或后夹板上,以调整拉环水平的位置。当采用图 3.1.4—1(b)型式试件时,上、下拉杆的埋设靠端板定位,端板与试模内径采用动配合精度,以保证埋杆与试件轴线同心。

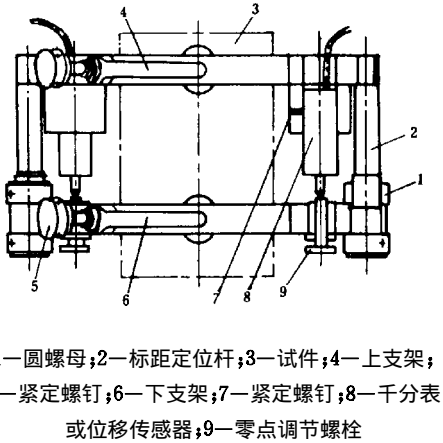


图 3.1.4—2 变形测量架

(2)到达试验龄期时,将试件从养护室取出,安装在试验机上。试验机应具有球面拉力接头,试件的拉环(或拉杆、拉板)与拉力接头连接。球面拉力接头用以调整试件轴线与试验机施力轴线可能产生的偏心。

(3)将千分表或位移传感器固定在变形测量架上(见图 3.1.4—2),测量标距(150~200 mm)由标距定位杆定位。然后将变形测量架通过紧固螺钉固定在试件中部。

当采用电阻应变仪测量变形时,在试件从养护室取出后,应尽快在试件的两侧中间部位贴电阻片,电阻片的长度不小于骨料最大粒径的 3 倍。从试件取出至试验完毕,不宜超过 4 h 并注意试件保湿。应提前作好变形测量的准备工作。

当采用杠杆引伸仪测量变形时,将杠杆引伸仪借助测架安装在试件的两侧中间部位(测距不小于骨料最大粒径的 3 倍)。

(4)开动试验机,进行两次预拉,预拉的荷载约相当于破坏荷载的 15 %~20 %。预拉时,应测

读应变值,需要时调整荷载传递装置使偏心率不大于 15 %。

计算偏心率的公式为

$$e(\%) = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \times 100$$

式中  $\varepsilon_1$  和  $\varepsilon_2$  分别为试件两侧的应变值。

(5) 预拉完毕后,重新调整测量仪器,进行正式测试,拉伸时的荷载速度控制在每分钟 0.4 MPa, 每加荷 0.5 kN 或 1 kN,测读并记录变形值,直至试件破坏(当荷载加到破坏荷载的 90 % 左右时,为防止仪器受损应将杠杆引伸仪从试件上卸下)。记录破坏荷载和断裂位置。

当采用位移传感器测量变形时,试件测量标距内的变形由位移传感器经放大器送入 X—Y 记录仪,荷载—应变曲线自动绘制。试件断裂时试验机自动断电,停止试验。

#### 3.1.4.4 试验结果处理。

(1) 轴向抗拉强度按(3.1.4—1)式计算(准至 0.01 MPa)

$$R_t = \frac{P}{A} \times 10 \quad (3.1.4-1)$$

式中  $R_t$ ——轴向抗拉强度,MPa;

$P$ ——破坏荷载,kN;

$A$ ——试件断面面积,cm<sup>2</sup>。

(2) 拉伸应变能力(极限拉伸值)的确定:采用位移传感器测定应变时,荷载—应变曲线由 X—Y 记录仪自动给出,见图 3.1.4—3。破坏荷载所对应的应变值即为该试件的拉伸应变能力(或称极限拉伸值)。采用其他测量变形的装置时,以应变为横坐标,应力为纵坐标,给出每个试件的应力—应变曲线。过破坏应力坐标点,作与横坐标平行的线为渐近线,将应力—应变曲线外延,其切点即为该试件的拉伸应变能力(或称极限拉伸值)。

如曲线不通过坐标的原点时,需延长曲线起始段使与横坐标相交,并以此交点作为拉伸应变能力(或称极限拉伸值)的起始点。

(3) 抗拉弹性模量按(3.1.4—2)式计算(准至 100 MPa)

$$E_a = \sigma_{0.5} / \varepsilon_{0.5} \quad (3.1.4-2)$$

式中  $E_a$ ——抗拉弹性模量,MPa;

$\sigma_{0.5}$ ——50%的破坏应力,MPa;

$\varepsilon_{0.5}$ ——相当于  $\sigma_{0.5}$  所对应的应变值。

抗拉弹性模量取应力从 0~0.5  $R_t$  的割线弹性模量。

(4) 轴向抗拉强度,拉伸应变能力(或称极限拉伸值)、抗拉弹性模量均以 4 个试件测值的平均值作为试验结果。当试件的断裂位置与变截面转折点或埋件端点的距离在 2 cm 以内时,该测值应剔除,按余下测值的平均值作为试验结果。如可用的测值少于两个时,须重做试验。

在试验报告中应注明试件形状、尺寸和变形测量仪器。

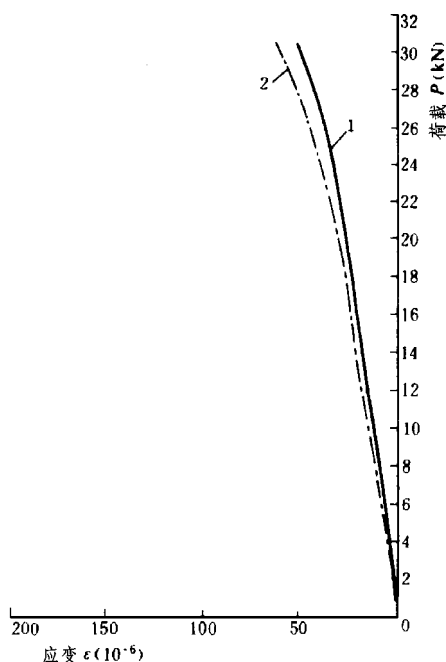


图 3.1.4—3 电测式引伸计测定碾压混凝土荷载—应变曲线

### 3.1.5 碾压混凝土弯曲试验。

**3.1.5.1 目的及适用范围。**用简支梁三分点加荷法测定碾压混凝土的弯曲抗拉强度,亦可同时测定弯曲拉伸应变能力以及抗弯弹性模量。

#### 3.1.5.2 仪器设备。

(1)试验机:小吨位的万能试验机或带有抗折试验架的压力试验机,其要求与 3.1.1“碾压混凝土立方体抗压强度试验”的有关规定相同。

(2)试验加荷装置:双点加荷的钢制加压头,要求能使两个相等的荷载同时作用在小梁的两个三分点处,与试件接触的两个支座头和两个加压头应具有直径约为 15 mm 的弧形端面,其中一支座头及两个加压头宜既能滚动又能前后倾斜。试件受力情况见图 3.1.5。

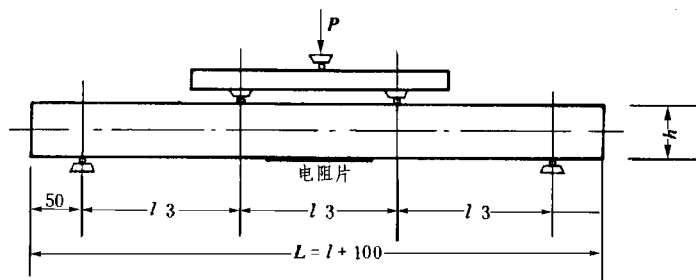


图 3.1.5 弯曲拉伸示意图

(3)试模:金属制成,规格视骨料最大粒径按表 3.1.5 确定。

表 3.1.5 骨料最大粒径与试模规格

骨料最大粒径(mm)	20	40
试模规格(mm)	100×100×400	150×150×550

(4)应变测量仪器:电阻应变仪一台,测量精度为  $5 \times 10^{-6}$ 。

(5)其他:应变片(5 mm×100 mm)及 502 胶水等。

#### 3.1.5.3 试验步骤。

(1)拌制碾压混凝土拌和物,并按 3.1.1“碾压混凝土立方体抗压强度试验”中的成型方法制备试件,每个龄期以三个试件为一组,压重块质量按 4900 Pa 的表面压强计算求得。

(2)试验前,试件准备和在试验机上安放及加荷速度等,按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中的混凝土抗折强度试验方法进行。

(3)测试弯曲拉伸应变能力时,在小梁底面中间三分点处受拉侧部位用电吹风烘干表面,然后用 502 胶水粘贴电阻片,见图 3.1.5。电阻片的长度应不小于骨料最大粒径的三倍。试件取出至试验完毕,不宜超过 8 h。

(4)开动试验机,进行两次预弯,预弯时荷载约相当于破坏荷载的 15 %~20 %。预弯完毕后重新调整应变仪,使应变值指示为零,然后进行正式测试。以每分钟 0.4 MPa 加荷。每加荷 500 N 或 1000 N 测读并记录应变值,直至试件破坏。记录破坏荷载和断裂位置。

#### 3.1.5.4 试验结果处理。

(1)弯曲抗拉强度按《水工混凝土试验规程》SD 1—5—82 中的混凝土抗折强度试验方法中的公式计算。

(2)弯曲拉伸应变能力的确定:以应变为横坐标,应力为纵坐标,绘出每个试件的应力—应变曲线。破坏应力相对应的应变值即为该试件的弯曲拉伸应变能力(准确至  $5 \times 10^{-6}$ )。

(3)若某试件破坏时的应变未测到,可将应力—应变曲线延长求得。

(4)如曲线不通过坐标原点时,需延长曲线起始段使与横坐标相交,并以此交点作为弯曲拉伸应变能力的起始点。

(5)应力按下式计算(准至 0.01 MPa)

$$\sigma = \frac{Pl}{bh^2} \times 10 \quad (3.1.5-1)$$

式中  $\sigma$ ——弯曲应力,MPa;  
 $P$ ——弯曲荷载,kN;  
 $l$ ——支座间距(即跨度),cm;  
 $b$ ——试件的平均宽度,cm;  
 $h$ ——试件的平均高度,cm。

(6)抗弯弹性模量按(3.1.5—2)式计算(准至 100 MPa)

$$E_b = \frac{\sigma_{0.5}}{\epsilon_{0.5}} \quad (3.1.5-2)$$

式中  $E_b$ ——抗弯弹性模量,MPa;  
 $\sigma_{0.5}$ ——50%的破坏应力,MPa;  
 $\epsilon_{0.5}$ —— $\sigma_{0.5}$  所对应的应变值。

抗弯弹性模量取应力从 0— $\sigma_{0.5}$  的割线弹性模量。

(7)弯曲抗拉强度、弯曲拉伸应变能力、抗弯弹性模量均以三个试件测值的平均值作为试验结果。当单个试件的测值与平均值之差超过平均值的±15 %时,该测值应剔除,取余下两个试件测值的平均值作为试验结果。如一组试件中可用测量少于两个时,该组试验须重做。

### 3.1.6 碾压混凝土抗剪强度试验。

3.1.6.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土及层面的抗剪强度,为评定碾压混凝土结构物的整体性、稳定性提供依据。

#### 3.1.6.2 仪器设备。

(1)直剪仪,包括法向和剪切向的加荷设备,如图 3.1.6 所示。

(2)测量法向和剪切位移的千分表或位移计及磁性千分表架。

(3)稳压装置。

(4)试模:150 mm×150 mm×150 mm 立方体。

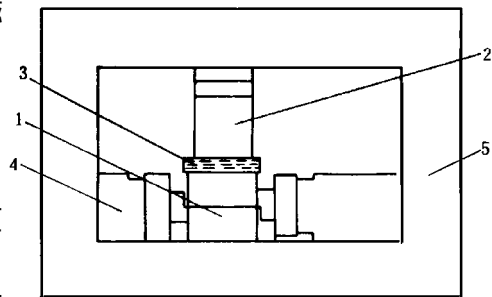
#### 3.1.6.3 试验步骤。

(1)制做 15 个试块,养护至要求龄期,进行碾压混凝土本身抗剪强度试验。

(2)用于层间结合的抗剪试件,分两次成型。按配合比要求拌制碾压混凝土,称取试件 1/2 高度所需要的碾压混凝土质量装入试模(振实后应为试模深度的 1/2),放入养护室养护至要求的间隔时间后,取出试模,按施工要求进行表层处理,再成型上半部,并养护至试验要求龄期。

(3)对于混凝土和岩石胶结面的试件,必须先测定岩石的起伏差,绘制岩石沿剪切方向的高度变化曲线,然后按配合比要求在岩石上铺筑混凝土。

(4)将试件置于剪力盒中,放上传力板和滚轴排,安装法向和剪切向的加荷系统时,应保证法向



1—剪力盒;2—加荷千斤顶;3—滚轴排;  
4—传力垫块;5—刚性架

图 3.1.6 室内混凝土剪切试验仪简图

力和剪切力的合力通过剪切面的中点。

(5) 安装测量法向和剪切向位移的仪表, 测杆的支点必须设置在剪切变形影响范围之外, 测杆和表架应具有足够的刚度。

(6) 法向荷重按设计的法向最大荷载等分为 4~5 级施加。

(7) 在试件剪切过程中, 宜用恒压装置使法向应力保持恒定。

施加剪切荷载的速率为 0.4 MPa/min。

(8) 试件剪断后, 调整剪切位移表, 在相同法向应力下按上述规定进行摩擦试验。必要时可改变法向应力进行单点摩擦试验。

(9) 对剪切面进行描述, 测定剪切面起伏差、骨料及界面破坏情况, 绘制剪切方向的断面高度变化曲线, 量测剪断面积。

#### 3.1.6.4 试验结果处理。

(1) 按下式计算各级法向荷载下的法向应力和剪应力

$$\sigma_i = (P/A) \times 10 \quad (3.1.6-1)$$

$$\tau_i = (Q/A) \times 10 \quad (3.1.6-2)$$

式中  $\sigma_i$ ——作用于剪切面上的法向应力, MPa;

$\tau_i$ ——作用于剪切面上的剪应力, MPa;

$P$ ——作用于剪切面上的总法向荷载, kN;

$Q$ ——作用于剪切面上的剪切荷载(应扣除滚轴排摩擦阻力), kN;

$A$ ——剪切面面积, cm<sup>2</sup>。

三个试件测值的平均值为本级法向荷载下的剪应力。

(2) 按(3.1.6—3)式计算剪切面上极限抗剪强度

$$\tau = \sigma f' + c' \quad (3.1.6-3)$$

式中  $\tau$ ——剪切面上极限抗剪强度, MPa;

$\sigma$ ——作用于剪切面上的法向应力, MPa;

$f'$ ——摩擦系数;

$c'$ ——粘聚力, MPa。

(3.1.6—3)式中的  $f'$  和  $c'$  可用最小二乘法或作图法求得。

#### 3.1.7 碾压混凝土原位直剪试验(平推法)。

3.1.7.1 目的及范围。检测碾压混凝土坝体部位抵抗剪切的性能, 以评价碾压混凝土的碾压质量, 提供校核坝体抗滑稳定的参数。适用于坝体碾压混凝土自身、层间结合及混凝土与岩体接触面的原位抗剪强度试验。

##### 3.1.7.2 主要仪器设备。

试验采用加荷、传力、量测系统的仪器、设备及其计量与滚轴排摩擦系数率定等, 按《水利水电工程岩石试验规程》DLJ 204—81、SLJ 2—81 规定进行。

##### 3.1.7.3 试验步骤。

(1) 试验布置。在碾压混凝土构筑物上选定具代表性部位与试验层面, 宜在碾压试验施工试验体或坝体顶部若干层面上选定, 选定试验区的面积应不少于 2 m×8 m, 试件布置需在同一层面上, 数量 5~6 块。每块试验体的剪切面积应不小于 500 mm×500 mm, 试体间净距应不少于试体最小边长的 1.5 倍, 高度则以试体边长 2/3 为宜。进行试验布置时, 施加试体面上的水平推力方向, 应

与结构受力方向相一致。

(2)试体开挖制备与养护。试体开挖时混凝土龄期应不少于 21 d。采用人工挖凿试验区内试体外围混凝土,严防试体扰动。

试体开挖深度应至试验层面,但受水平推力的面下开挖深度需至层面以下,并以适合安装水平千斤顶为宜。试体开挖后的尺寸误差宜不大于  $\pm 2$  cm,并用与试块强度相近的水泥砂浆抹平。在做层缝抗剪时,在剪切面周边留约 10 mm 宽的剪切缝。

完成试体与试验区开挖后,应向试坑充水或回填湿砂,作好试体养护与保护,直至规定试验龄期前,开始仪器设备安装时,再行清除。同时应有继续保持试体及其剪切面处于水饱和状态的措施。

(3)仪器设备安装与试验方法。试体承载面的表面处理,加荷、传力、量测系统的设备、仪器安装、布置、调试、检查与具体试验方法,按《水利水电工程岩石试验规程》DLJ 204—81、SLJ 2—81 规定进行。

#### 3.1.7.4 试验结果处理。

(1)试验结果,按《水利水电工程岩石试验规程》DLJ 204—81、SLJ 2—81 规定处理。主要整理层面抗剪断强度,即  $f'$ 、 $c'$ 。

(2)进行试验结果的整理,必需搜集并给出剪切面上、下层混凝土的配合比、拌和物质量、碾压质量的检测结果;施工层厚、铺碾方式、设备型号、碾压遍数、层面处理、间歇时间、混凝土入仓温度、施工日期、气候等。以及试区布置图、剪切面描述图、试验装置及典型剪切面破坏状况拍片等,以利成果分析与采用。

#### 3.1.8 碾压混凝土静力抗压弹性模量试验。

3.1.8.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土圆柱体的静力抗压弹性模量。

3.1.8.2 仪器设备。与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土静力抗压弹性模数试验”的仪器设备相同。

#### 3.1.8.3 试验步骤和结果处理。

(1)拌制碾压混凝土拌和物,并按 3.1.1 碾压混凝土立方体抗压强度试验的有关规定成型试件。按压强为 4900 Pa 计算加重重,每次称 6.5 kg 试料。分两次装料和加压振实。每一龄期试验以 4 个试件为一组。

(2)其余试验步骤和结果处理按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土静力抗压弹性模数试验”的方法进行。

#### 3.1.9 碾压混凝土抗压徐变试验。

3.1.9.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土圆柱体在恒定的荷载(一般为破坏荷载的 30 %左右)作用下,随时间增长的变形,即碾压混凝土的徐变变形。

适用于碾压混凝土在恒温(20 ℃)绝湿条件下,单向受压的徐变试验。

3.1.9.2 仪器设备。与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土抗压徐变试验”的仪器设备相同。

#### 3.1.9.3 试验步骤和结果处理。

(1)检查和率定应变计,合格后方能使用。

(2)碾压混凝土拌和按 2.0.1“碾压混凝土拌和物室内搅拌方法”进行,拌和物中超过允许最大骨料粒径的骨料需用湿筛法筛除,并记录试件灰浆率。成型时将拌和物分三层装入试模内,按压强 4900 Pa 计算压重块质量,分三次振实。

当采用应变计测量时,应在埋设应变计的位置,插入一个比应变计外径略大的棒体,待第二层压振后,轻轻拔出,然后将应变计埋入,再装填第三层试料,进行加压振实。碾压混凝土初凝前(一般经 4~6 h),试件顶面填以少量的干硬水泥净浆,用玻璃板抹平表面。成型前后应检查应变计或千分表预埋件是否完好。

(3)其余试验步骤和结果处理均按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土抗压徐变试验”的方法进行。

### 3.1.10 碾压混凝土强度快速试验(压蒸法)。

**3.1.10.1 目的及适用范围。**快速测定碾压混凝土 90 d(或 180 d)龄期立方体试件的抗压强度。可作为快速确定碾压混凝土配合比及控制碾压混凝土施工质量的措施。

#### 3.1.10.2 仪器设备。

(1)材料试验机:测力计表盘最大读数不超过 20 kN,刻度读数不超过 0.05 kN。

(2)压蒸设备:医用 JC8—SG280 型手提式压力器,压力 150000 Pa 蒸汽温度相当于 126 °C。

(3)筛分成型机:JC80—11 型混凝土湿筛砂浆振动筛分成型两用机。

(4)试模:试模结构如图 3.1.10 所示,为可装卸的三联钢模,并配有相同尺寸的套模及压板。

(5)砂浆搅拌锅两个。

(6)拌和铲和小割刀。

(7)促凝剂 CS 或 CAS。

(8)捣棒:硬质钢材制成,方头,捣压面尺寸为 20 mm×20 mm,全长为 160 mm。

(9)台称:称量 1000 g,感量 0.5 g。

(10)托盘天平:称量 100 g,感量 0.1 g。

(11)钢盖板:125 mm×70 mm×10 mm。

#### 3.1.10.3 试验步骤。

(1)将试模擦净,紧密装配、内壁均匀刷一薄层机油。

(2)从现场混凝土搅拌机口均匀取有代表性的碾压混凝土约 4 kg,将试样放于振动筛(孔径 5 mm)内进行湿筛筛去粗骨料,湿筛完的砂浆应立即拌和均匀,称取 500 g 砂浆放于用湿布擦过的搅拌锅内。

(3)将砂浆试样摊平,均匀撒入 1 %CS 或 CAS 促凝剂,立即用湿布擦过的拌和铲进行翻拌 30 s,并拨压 3~4 次。

(4)把试模置于振动机上,将拌均匀的砂浆分两层装模,每层用捣棒依次捣压 9 次后,抹平砂浆面,并高出试模约 5 mm。加上 125 mm×70 mm×10 mm 钢压板,振动时间为拌和物的 VC 值。

(5)用小刀将高出试模的砂浆轻轻刮掉,试件表面抹平并盖上涂有机油的钢盖板。

(6)从加入促凝剂起至 5 min 后,将带模试件放至水已烧沸的压蒸器的蒸栅上,加盖并旋紧螺帽,关紧压力阀,使压力保持在 140~150 kPa,记录压蒸养护始末时间。

(7)试件压蒸 1.5 h 后(误差不超过 2 min)关闭电源,打开放气阀,压力降至 0 时,开盖取出试件,立即进行抗压试验。

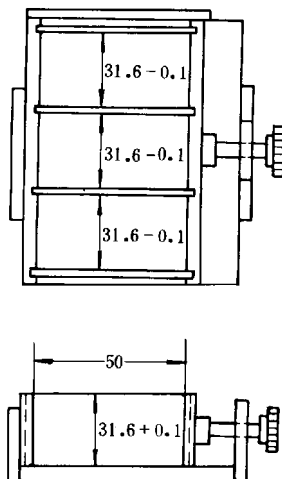


图 3.1.10 试模(单位:mm)



(8)以试件 31.6 mm×31.6 mm 的断面为受压面,将试件放于加压板中心,以每秒约 3 MPa 加荷速度加荷,直至试件破坏。

#### 3.1.10.4 试验结果处理。

(1)记录试验的破坏荷载,按下列公式计算湿筛砂浆快速强度

$$R_{1.5h} = (P/S) = 0.1P \quad (3.1.10-1)$$

式中  $R_{1.5h}$ ——碾压混凝土湿筛砂浆压蒸养护 1.5 h 的快速强度,MPa;

$P$ ——破坏荷载,kN;

$S$ ——受压面积,10 cm<sup>2</sup>。

强度值计算到 0.01 MPa,每组以三个试件的平均强度作为试验结果。单个试件测值与平均值相差不应大于平均值的 15 %。

(2)推定碾压混凝土强度。根据工程需要,选用 5 种不同的水胶比(如 0.3、0.4、0.5、0.6、0.7),配制与施工材料相同的配合比,测定标准养护龄期强度及湿筛砂浆压蒸养护强度,反复测定 5 次,将测得  $R_{90}$  或  $R_{180}$  标准强度值及对应的快速砂浆强度值( $R_{1.5h}$ ),用最小二乘法求出  $R_{1.5h}$  与  $R_{90}$  或  $R_{180}$  的回归直线式

$$R_{90} = a + bR_{1.5h} \quad (3.1.10-2)$$

式中  $R_{90}$ ——试件标准养护 90d 龄期的抗压强度推定值,MPa;

$R_{1.5h}$ ——湿筛砂浆压蒸强度值,MPa;

$a$ 、 $b$ ——由试验求得的系数(与原材料性质有关)。

相关系数不应小于 0.90。

#### 3.1.11 现场碾压混凝土压实容重测定。

3.1.11.1 目的及适用范围。测定现场碾压混凝土的压实容重,以评定碾压密实度。本条适用于层厚不大于 50 cm 刚碾压完毕的碾压混凝土层的容重测定。

##### 3.1.11.2 仪器设备。

(1)表面型核子水分密度仪。

(2)铁锤。

(3)试模 450 mm×450 mm×450 mm。

##### 3.1.11.3 检测步骤。

(1)标准计数的测量,应在每班正式测定前,按仪器说明书要求,进行标准计数测量,并做好记录。其值必须在仪器规定的范围内,否则应重新计数,直至满足要求。

(2)仪器室内标定。

1)将施工使用的碾压混凝土拌和物按 2.3 规定成型 450 mm 立方体试件三块。试块必须端正,检测面平整。

2)量测试件体积及质量,并计算碾压混凝土容重。

3)把导向板放在试件表面上,用钻杆在试件中点造一个与试件表面垂直的放射源插入孔,孔深 350~400 mm。

4)将仪器放射源对准测孔,把放射源插入至预定位置,插入时不得扰动孔壁。

5)每孔按不同深度测量 4 个碾压混凝土容重值,并求其平均值。

6)计算测值平均值与试件容重差值。

7)以三次差值的平均值对仪器进行校正。

(3)现场碾压混凝土容重测定。

1)将仪器预热约 10 min。

2)求仪器标准体计数率。

3)测试应在碾压完后 5~20 min 内进行,并对测点附近进行表面整平处理。

4)将导向板放于碾压层表面上,导向板应与碾压混凝土面接合,用钻杆造一个与层面垂直的放射源插入孔,孔深与碾压层厚相近。

5)将仪器放射源对准测孔,把放射源插至预定位置,插入时不得扰动孔壁。

6)放射源放入孔内测读时间不得小于 1 min,每个测孔以不同深度测三点,取其平均值。

#### 3.1.11.4 测试结果处理。

(1)在仪器不能直接调整时,应将测试前后的标准体计数率  $S_1$ 、 $S_2$  及测点的平均计数率  $n$  用 (3.1.11—1) 式求每个测点的容重  $\gamma_p$

$$\gamma_p = \frac{n}{(s_1 + s_2)/2} \quad (3.1.11-1)$$

(2)计算碾压层容重

$$\gamma_a = \frac{\gamma_{p1} + \gamma_{p2} + \dots + \gamma_{pn}}{n} K \quad (3.1.11-2)$$

(当仪器能自动校正时,可事先将校正值输入仪器,此时  $K=1$ )

(3)计算相对压实度  $K_1$

$$K_1 = \frac{\gamma_a}{\gamma} \times 100(\%) \quad (3.1.11.-3)$$

上述三式中  $\gamma_p$ ——用表面型水分密度仪测定的容重;

$\gamma_a$ ——经过修正后的碾压层混凝土容重;

$\gamma$ ——标准试块碾压混凝土容重;

$K$ ——标准试块用表面型密度仪测得的容重与称重法测得的容重比值;

$K_1$ ——碾压层混凝土容重与标准试块容重的比值。

## 3.2 耐久性

### 3.2.1 碾压混凝土抗渗性试验(逐级加压法)。

#### 3.2.1.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土的抗渗标号。

#### 3.2.1.2 仪器设备。

本试验所用仪器设备与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土抗渗试验(逐级加压法)”所用仪器设备相同。

#### 3.2.1.3 试验步骤及试验结果处理。

(1)拌制碾压混凝土拌和物,并按 3.1.1“碾压混凝土立方体抗压强度试验”中的有关规定成型渗透试件。每个龄期以 6 个试件为一组。

(2)其他试验步骤及试验结果处理按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土抗渗试验(逐级加压法)”的有关规定进行。

### 3.2.2 碾压混凝土渗透系数测定。

#### 3.2.2.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土的渗透系数。

#### 3.2.2.2 仪器设备。

(1) SK—50 型混凝土渗透系数测定仪, 包括: ①在给定压力下向试件供给液体的单元; ②固定试件的容器; ③测量流过试件液体的量筒。

(2) 凡能够向试件供给 3.0~3.5 MPa 水压力, 而且能够保持压力波动在 ±0.1 MPa 以内, 并符合试验要求的渗透仪, 皆可用于测定碾压混凝土的渗透系数。

(3) 试模:  $\phi 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 、 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 、 $\phi 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ 。试模直径和高度应不小于最大骨料粒径的 3.5 倍。

(4) 密封材料: 沥青、塑料(橡胶)板(厚度 3~5 mm)。

(5) 其他: 电炉、温度计、搅拌铲、抹刀等。

### 3.2.2.3 试验步骤。

(1) 拌制碾压混凝土拌和物, 并按 3.1.1“碾压混凝土立方体抗压强度试验”中的有关规定成型试件。对  $\phi 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  和  $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  试模, 一次装料振实; 采用  $\phi 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$  试模时, 两次装料两次振实。

振实时间为三倍 VC 值。每个龄期以三个试件为一组。

(2) 试件拆模后, 用钢丝刷刷去试件两端面的水泥浆膜, 以露出石子为准。然后送入养护室养护。

(3) 到达试验龄期时, 由养护室取出试件, 擦干表面。将试件装入容器中, 要做好密封, 试件底部用塑料(或橡胶)板与容器底部法兰密封。容器的内壁与试件周边有 15 mm 的净间距, 用以填充密封材料。将沥青加热到 175~200 °C 至水分蒸发完为止, 浇注到容器与试件四周的空隙内, 宜分 2~3 次灌注以保证充填全部间隙。

(4) 启动电源开关, 开始试验, 额定试验压力 3 MPa 直接作用在试件顶面上, 并保持长期恒定, 压力波动在 ±0.1 MPa 范围内。

(5) 从第一天开始, 要经常检查压力表上的额定试验压力和由试件流出的水量, 要细心观察试件底部, 以确定流出水量的准确时间, 和记录流出的水量。以后每天检测两次, 在直角坐标纸上绘制流出累积水量—历时过程线。当过程线变成一条直线而且直线斜率不变时, 此时达到流量恒定不变, 停止试验。

(6) 试验结束后, 试件容器从试验单元取下, 并加热软化沥青密封材料, 将试件取出。

### 3.2.2.4 试验结果处理。

(1) 每个试件测得一条累积流出水量过程线, 在过程线的直线段上, 横坐标截取 100 h 时段, 其斜率即为通过试件的恒定流量。三个试件的平均流量为试验所要确定的恒定流量。

(2) 按(3.2.2)式计算碾压混凝土渗透系数

$$K = \frac{QL}{AH} \quad (3.2.2)$$

式中  $K$ ——碾压混凝土渗透系数, cm/s;

$Q$ ——通过碾压混凝土的平均流量, cm<sup>3</sup>/s;

$A$ ——试件面积, cm<sup>2</sup>;

$L$ ——试件高度, cm;

$H$ ——作用水头(额定试验压力 3 MPa=300 m 水头), cm。

### 3.2.3 碾压混凝土抗冻性试验(慢冻法)。

3.2.3.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土在水和负温共同反复作用下的抵抗能力, 以确定碾压混凝土的抗冻标号。适用于以抗压强度作为评定指标的碾压混凝土抗冻性试验。

**3.2.3.2 仪器设备。**本试验所用仪器设备与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土抗冻性试验(慢冻法)”所用仪器设备相同。

**3.2.3.3 试验步骤及试验结果处理。**

(1)拌制碾压混凝土拌和物,并按 3.1.1“碾压混凝土立方体抗压强度试验”的有关规定成型试件。当设计没有特殊龄期要求时,试验龄期为 90 d。

(2)所需试件数量、其他试验步骤及试验结果处理与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土抗冻试验(慢冻法)”的有关规定相同。

**3.2.4 碾压混凝土抗冻性试验(快冻法)。**

**3.2.4.1 目的及适用范围。**测定碾压混凝土在水和负温共同反复作用下的抵抗能力,以确定碾压混凝土的抗冻标号。适用于以弹性模量、质量损失和相对耐久性指数作为评定指标的碾压混凝土抗冻性试验。

**3.2.4.2 仪器设备。**与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土抗冻性试验(快冻法)”的仪器设备相同。

**3.2.4.3 试验步骤和结果处理。**

(1)按 3.1.5“碾压混凝土弯曲试验”的试件成型方法成型抗冻试件。试验以三个试件为一组。如无特殊要求,试验龄期一般为 90 d,到达试验龄期前 4 d,将试件放在  $20 \pm 3$  °C 的水中浸泡(对于水中养护的试件,到达试验龄期即可直接用于试验)。

(2)其余试验步骤和结果处理按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土抗冻性试验(快冻法)”方法进行。

**3.2.5 碾压混凝土动弹性模量试验。**

**3.2.5.1 目的及适用范围。**测定碾压混凝土棱柱体试件的横向或纵向自振频率,计算动弹性模量,用以确定碾压混凝土的抗冻标号。适用于长度与断面最大边长比为 3~5 的试件。

**3.2.5.2 仪器设备。**与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土(砂浆)动弹性模量试验”的仪器设备相同。

**3.2.5.3 设备步骤和结果处理。**

(1)拌制碾压混凝土拌和物,并按 3.1.1“碾压混凝土立方体抗压强度试验”的有关规定成型试件和养护试件。

(2)其余试验步骤和结果按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土(砂浆)动弹性模量试验”的方法进行。

### 3.3 体积变形和热物理性能

**3.3.1 碾压混凝土自生体积变形试验。**

**3.3.1.1 目的及适用范围。**测定碾压混凝土在恒温绝湿条件下,仅仅由于胶凝材料的水化作用引起的体积变形即自生体积变形(它不包括碾压混凝土受外荷载,温度、湿度和碱—活性骨料反应等影响所引起的体积变形)。

碾压混凝土自生体积变形的相对比较试验可采用本方法。

**3.3.1.2 仪器设备。**除制备一根比应变计直径、长度稍大的木棒(或金属棒)外,其余的与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土自生体积变形试验(试行)”的仪器设备相同。

**3.3.1.3 试验步骤和结果处理。**

(1)按 3.1.9 碾压混凝土抗压徐变试验有关规定检查和率定应变计。

(2) 试件桶在试验前应进行严格检查, 要求密封桶不渗水不透气。试验前在密封桶内壁衬一层厚约 1~2 mm 的橡皮并涂抹一层厚约 0.3~0.5 mm 沥青隔离层。

(3) 将应变计垂直固定在试模中心, 并注意在成型时不使应变计损坏。

(4) 其余试验步骤和结果处理均按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土自生体积变形试验(试行)”方法进行。

### 3.3.2 碾压混凝土干缩(湿胀)试验。

3.3.2.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土在无外荷载和恒温条件下干、湿引起轴向长度变形, 以比较不同碾压混凝土的干缩和湿胀性能。

3.3.2.2 仪器设备。本试验所用仪器设备与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土干缩(湿胀)试验”所用的仪器设备相同。

#### 3.3.2.3 试验步骤及试验结果处理。

(1) 拌制碾压混凝土拌和物, 并按 3.1.1“碾压混凝土立方体抗压强度试验”的有关规定成型试件。

(2) 其他试验步骤及试验结果处理按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土干缩(湿胀)试验”的有关规定进行。

### 3.3.3 碾压混凝土导温系数测定。

3.3.3.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土导温系数。

3.3.3.2 仪器设备。与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土导温系数测定”的仪器设备相同。

#### 3.3.3.3 试验步骤和结果处理。

(1) 拌制碾压混凝土拌和物。如果骨料粒径大于 40 mm 时, 应用湿筛法剔除。将拌和物分三层装入试模内, 分三层振实, 压重质量按压强为 4900 Pa 计算求得。第一层振实后, 安上支架, 将铁杆插入试模中, 并固定在中心部位, 再装第二层和第三层试料, 然后分别振实。每层插捣 25 次, 振时按底、中、上层分别为 1、2、3 倍 VC。

(2) 其余试验步骤和结果处理按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土导温系数测定”方法进行。

### 3.3.4 碾压混凝土导热系数测定。

3.3.4.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土的导热系数。

3.3.4.2 仪器设备。与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土导热系数测定”的仪器设备相同。

#### 3.3.4.3 试验步骤和结果处理。

(1) 拌制碾压混凝土。如果骨料粒径大于 40 mm 时, 用湿筛法剔除。将拌和物分三层装入试模内, 每层用捣棒插捣 25 次。分三层振实, 压重质量按压强 4900 Pa 计算求得。振动时间控制在 2~3 VC 值以内。每组两个试件。

(2) 其余试验步骤和结果处理按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土导热系数测定”方法进行。

### 3.3.5 碾压混凝土比热测定(绝热法)。

3.3.5.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土的比热。

3.3.5.2 仪器设备。与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土比热测定(绝热法)”的仪器相同。

### 3.3.5.3 试验步骤和结果处理。

(1) 碾压混凝土拌和及试件成型与 3.3.3“碾压混凝土导温系数测定”相同。试验以两个试件为一组。

(2) 其余试验步骤和结果按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土比热测定(绝热法)”方法进行。

### 3.3.6 碾压混凝土绝热温升试验。

**3.3.6.1 目的及适用范围。**在绝热条件下,测定水泥水化所产生的热量使碾压混凝土升高的温度和温升—历时关系。

#### 3.3.6.2 仪器设备。

(1) 绝热温升测定仪:仪器的绝热室要求达到绝热试验条件,即水泥水化所产生的热量与外界不发生热交换。绝热室温度跟踪试样中心温度,相差不大于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。试验温度 $10\sim 80^{\circ}\text{C}$ ,温度读数精度 $0.1^{\circ}\text{C}$ 。凡满足上述技术条件的绝热温升测定仪皆可用于碾压混凝土的绝热温升试验。

(2) 容器:容器用镀锌铁皮制成,顶盖具有橡胶圈密封。容器尺寸应大于最大骨料粒径的三倍。

(3) 恒温室: $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

#### 3.3.6.3 试验步骤。

(1) 试验前应根据仪器使用说明书检查仪器工作是否正常,温度跟踪精度是否满足 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 要求。在容器内盛入比室温高 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 的水,至离上口 $2\text{ cm}$ 处。按正常试验规定将容器放入绝热室内,然后开始试验。如仪器工作正常,48 h 或更长时间水温应保持在跟踪精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内。如果超出 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ,则应按仪器使用说明书规定,对仪器进行调整。重复上述试验,直至满足要求。

(2) 试验前 24 h 应将碾压混凝土拌和用料,放在 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的室内,使其温度与室温一致。如对拌和物浇筑温度有专门要求时,则按要求控制拌和物的初始温度。

(3) 拌制碾压混凝土拌和物,量测机口拌和物温度,然后分两层装入容器中,用平板振捣器振实容器中的碾压混凝土,每层振捣到泛浆为止。在容器中心和周边用手锤分别打入两支紫铜测温管,然后盖上容器上盖,全部密封。测温管中盛入少许变压器油。

(4) 将试件容器送入绝热室内,按仪器使用说明书规定,将测温元件(温度传感器,或温度计)装入测温管中。

(5) 开始试验,控制绝热室温度与试样中心温度相差不大于 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。每 0.5 h 记录一次试样中心温度,历时 24 h 后每 1 h 记录一次,7 d 后可 3~6 h 记录一次。试验历时 28 d(或根据需要确定天数)结束试验。

#### 3.3.6.4 试验结果处理。

(1) 绝热温升过程线。试验结束后,根据不同历时实测试样中心温度绘制绝热温升—历时过程线。

(2) 绝热温升—历时表达式。

绝热温升—历时关系可用(3.3.6—1)式表示

$$T = T_0(1 - e^{-at^b}) \quad (3.3.6-1)$$

式中  $T$ ——碾压混凝土绝热温升, $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_0$ ——最终绝热温升推算值, $^{\circ}\text{C}$ ;

$t$ ——试验历时,d;

$a$ 、 $b$ ——由试验确定的系数。

最终绝热温升推算值可用(3.3.6—2)式推断

$$T = T_0 t / (n + t) \quad (3.3.6-2)$$

式中  $T_0$ 、 $n$  由试验确定。

(3.3.6—1)式和(3.3.6—2)式经变量转换,转化为线性方程,用最小二乘法拟合此线性方程。由实测绝热温升值,可求得最终绝热温升推算值  $T_0$  和待定系数  $n$ 、 $a$  和  $b$ 。

### 3.3.7 碾压混凝土热膨胀系数测定。

#### 3.3.7.1 目的及适用范围。测定碾压混凝土线膨胀系数。

3.3.7.2 仪器设备。与《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土线膨胀系数测定(试行)”的仪器相同。

#### 3.3.7.3 试验步骤和结果处理。

(1)按 3.3.1“碾压混凝土自生体积变形试验”方法进行试件的制作和养护,每组试件为两个。测完混凝土自生体积变形的试件,也可用于本试验。

(2)其余试验步骤和结果处理按《水工混凝土试验规程》SD 105—82 中“混凝土线膨胀系数测定(试行)”方法进行。

## 附录 A 碾压混凝土配合比设计方法

### A1 总则

**A1.1 目的。**在满足设计要求的强度、耐久性和施工要求的和易性条件下,通过选择设计参数、计算、试拌和必要的调整,经济合理地确定碾压混凝土单位体积中各种组成材料的用量。

**A1.2 设计时应考虑的因素。**

- (1)碾压混凝土的配合比应满足工程设计的各项指标及施工工艺要求。
- (2)碾压混凝土的工作度(VC 值),机口值以 5~15 s 为宜。
- (3)碾压混凝土必须掺用粉煤灰或其他活性掺合料。
- (4)碾压混凝土必须掺用外加剂,以满足可碾性、缓凝性及其他特殊要求。
- (5)对于大体积建筑物内部的碾压混凝土,其总胶凝材料用量(水泥、粉煤或其他有活性的材料之和)不宜低于 130 kg/m<sup>3</sup>。
- (6)为了确保工程质量,碾压混凝土的水胶比宜小于 0.7。
- (7)碾压混凝土易产生离析,其粗骨料宜采用连续级配,砂率宜比相同材料的常态混凝土大 3%~5%。

### A2 配合比设计

碾压混凝土配合比设计可采用填充包裹理论法、绝对体积法或最大密度近似法。本附录推荐绝对体积法。

**A2.1 设计依据和基本资料。**

(1)设计对碾压混凝土的要求:碾压混凝土的设计标号(强度等级);强度保证率;抗渗、抗冻标号。

(2)施工对碾压混凝土要求和施工控制水平:施工部位及容许采用的石子最大粒径;碾压混凝土工作度(VC 值);机口碾压混凝土强度的均方差或变异系数。

(3)原材料特性:水泥品种、掺合料和外加剂种类以及砂、石骨料的选择应进行专门论证。配合比设计时,对已选定的原材料应提供以下物理性质:水泥密度  $\rho_c$ ;掺合料密度  $\rho_f$ ;砂面干饱和视密度  $\rho_s$ ;石面干饱和视密度  $\rho_g$ 。

**A2.2 配合比设计参数选定。**

(1)水胶比选定:根据设计要求的强度和耐久性,选定水胶比。在水泥、掺合料用量一定的条件下,通过试验建立水胶比与 90 d(或 180 d)龄期抗压强度的关系,根据配制强度确定所需水胶比。下式可供初选配合比时参考。

$$R_{90} = AR_{c28} \left( \frac{C+F}{W} - B \right) \quad (A1)$$

式中  $R_{90}$ ——90 龄期混凝土的抗压强度,MPa;  
 $R_{c28}$ ——水泥和掺合料 28 d 胶砂强度,MPa;  
 $W$ 、 $C$ 、 $F$ ——分别为每立方米碾压混凝土中水、水泥、掺合料的用量,kg;  
 $A$ 、 $B$ ——回归系数,由试验确定,无试验资料时可参考表 A1。

(2)掺合料掺量:根据水泥品种、标号(强度等级)、掺合料的品质、设计对碾压混凝土提出的技术要求及碾压混凝土在工程上的使用部位的具体情况选择适当的掺量。



(3)用水量选定:根据施工要求的工作度和粗骨料最大粒径,测定用水量—容重和用水量—强度关系,由试验选定最优用水量。初选时可参考表 A2。

表 A1 A、B 系数参考表

骨料类别	A	B
卵石	0.733	0.789
碎石	0.811	0.581

表 A2 用水量参考值

kg/m<sup>3</sup>

粗骨料最大粒径(mm)	20	40	80
天然砂石料	100~120	90~115	80~110
人工砂石料	110~125	100~120	90~110

(4)砂率选定:在满足碾压混凝土施工工艺要求的前提下,选择最佳砂率。最佳砂率的评定标准为:(a) 骨料分离少;(b) 在固定水胶比及用水量条件下,拌和物 VC 值小,混凝土容重大、强度高。碾压混凝土砂率宜为:用天然砂石料,三级配为 26 %~32 %,二级配为 32 %~37 %;用人工砂石料,砂率应增加 4 %~6 %。

### A2.3 配合比设计方法。

配合比设计的 4 个参数是用水量、水胶比、掺合料掺量和砂率。

由 4 个设计参数和单位材料绝对体积为 1 m<sup>3</sup> 五个条件,可建立 5 个方程式,求解 5 个方程式可得每立方米碾压混凝土中各组成材料用量  $W$ 、 $C$ 、 $F$ 、 $S$  和  $G$ 。

$$W = \text{由试验选定最优用水量} \quad (\text{A2})$$

$$\frac{W}{C+F} = K_1 \quad (\text{A3})$$

$$\frac{F}{C+F} = K_2 \quad (\text{A4})$$

$$\frac{S}{S+G} = K_3 \quad (\text{A5})$$

$$W + \frac{C}{\rho_c} + \frac{F}{\rho_f} + \frac{S}{\rho_s} + \frac{G}{\rho_g} = 1000 - 10V_a \quad (\text{A6})$$

式中  $C$ ——水泥用量,kg/m<sup>3</sup>;  
 $W$ ——用水量,kg/m<sup>3</sup>;  
 $F$ ——掺合料用量,kg/m<sup>3</sup>;  
 $S$ ——砂用量,kg/m<sup>3</sup>;  
 $G$ ——石用量,kg/m<sup>3</sup>;  
 $V_a$ ——碾压混凝土含气量(%);

$\rho_c$ 、 $\rho_f$ 、 $\rho_s$ 、 $\rho_g$ ——分别为水泥、掺合料、砂和石子的密度,kg/L;

$K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ ——选定配合比设计参数。

A2.4 试拌、调整和现场复验。经过试拌调整和现场复验后,最后确定碾压混凝土配合比提交工程使用。

## 名词解释

容 重——单位体积材料的质量,  $\text{kg}/\text{m}^3$  或  $\text{t}/\text{m}^3$ 。

掺 合 料——指在现场掺入碾压混凝土中作为胶凝材料组成部分的活性和无活性的矿物材料。

胶凝材料——碾压混凝土中水泥和掺合料的总和。

水 胶 比——碾压混凝土中水与胶凝材料的质量比。

### 附加说明

主 持 单 位:水利部建设开发司

主 编 单 位:中国水利水电工程总公司

参 加 单 位:中国水利水电科学研究院

武汉水利电力大学

成都勘测设计院科学研究所

长江科学院

广西壮族自治区水电科学研究所

主要起草人:姜福田 方坤河 黄绪通 周守贤 蔡继勋 冯运鸾