

# 新奥法隧道开挖围岩级别快速判定方法

郭立军<sup>1</sup>, 宋永能<sup>2</sup>

(1. 中铁四局集团第一工程有限公司, 安徽 合肥 230041; 2. 安徽省地震局分析预报中心, 安徽 合肥 230001)

**摘要:**隧道开挖对岩层的级别判定, 历来都存在不确定性和多解性, 文章通过在高速公路隧道施工断面上划分9个分区, 对每个分区确定级别加权系数, 9个分区的系数之和为1, 再与图纸设计的围岩级别相加, 取代数和, 得出初期支护所需的级别, 避免了盲目估算围岩级别而产生偏差的现象。

**关键词:**隧道工程; 围岩; 支护参数; 加权系数; 地质构造

**中图分类号:** U4521.2    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-9889(2008)05-0059-04

## Fast Grade Determination for Surrounding Rock Excavated with New Austrian Tunnelling Method

Guo Lijun<sup>1</sup>, Song Yongneng<sup>2</sup>

(1. The First Engineering Co., Ltd of CTCE Group, Hefei 230041, China;

2. Anhui Earthquake Analysis and Forecast Center, Hefei 230001, China)

**Abstract:** The judgment of surrounding rock grade is indeterminacy and multi-separation for a long time during the process of tunnel excavating. In this paper, construction section of expressway tunnel is divided into 9 branch zones and each branch zone has a grade weighting coefficient and the sum of these 9 branch coefficients is 1. Then adding the surrounding rock grade of the designing drawing with the coefficients, the grade of initial supporting demand is got. In this way, the deviation of surrounding rock grade estimation could be avoided.

**Key words:** tunnel engineering; surrounding rock; supporting parameter; weighting coefficient; geological structure

隧道开挖中的围岩支护是按设计图纸的支护参数施工的, 而图纸参数来源于测绘、钻探、物探、测试等勘察资料。但是, 现场勘察的范围是有限的, 地下岩层产状千变万化, 很难用一个类别去代表某一段围岩的等级。而要使隧道支护安全高效, 经济环保, 必须准确判定断面围岩级别, 使初期支护方式与围岩等级相适应。本文以新奥法施工的3车道隧道为例探讨对掌子面围岩级别进行快速判定。

### 1 工程概况

安徽省黄山至塔岭(皖赣界)和小贺至桃林(皖浙界)高速公路是获国务院批准的国家高速公路网“7条北京放射线、9条南北纵线、18条东西横线”的重要组成部分; 是杭州至瑞丽必经之路, 也是安徽省两山(黄山、九华山)一湖(太平湖)旅游胜地的运输通道。该项目的建设对构建国家高速公路网, 提升周边旅游经济, 促进国防建设都有着深远意义。

因此, 该项目被交通部列为2006年度全国典型示范工程。

该项目位于皖南山区休宁县境内, 为了实现“安全、环保、舒适、和谐”的目标, 选线时采用了许多先进的理念, 如多设隧道避免了对山体的高挖深填, 采用高架路桥减少了对农田的侵占, 适当绕行保护了古村落和人文景观。全线采用双向6车道, 路基宽度33.5m, 设计时速100km/h, 汽车荷载为公路I级。全线设大桥、特大桥57座, 隧道15处共30条, 以及数处通道、互通和分离立交, 路线全长51.2km。本文选取地质条件最差的长干1号隧道和竹下隧道为研究对象。

### 2 隧道围岩工程地质与水文地质概况

项目区处在扬子板块的下扬子台块南缘与江南被动陆缘隆起带接壤过渡部位, 中南部为元古代古老陆块, 北部有中、新生代盖层, 断裂构造发育,

其构造特点具有多期性与继承性。

本项目区共有 19 条,规模不同的断裂,其中  $F_{1-1}$ 、 $F_{1-3}$ 、 $F_{1-4}$  多次斜穿路线,分别以平行或左右方向展布,均形成于第三纪以前,属古老地质断裂,且大部分有不同程度的花岗岩和石英脉充填,破碎岩体有胶结与重结晶特征。现分述如下:

### (1) 长干 1 号隧道

隧址区发育 2 条断裂,  $F_{1-2}$  和  $F_{1-12}$ , 均通过全新世地层。  $F_{1-2}$  在左隧与右隧之间,属覆压扭性断裂,产状  $310^\circ \angle 67^\circ \sim 70^\circ$ ,宽度为几米至十几米不等,断裂带内由构造角砾岩,构造片理化英安岩和蛇曲状石英岩脉构成,且胶结致密(见图 1)。



图 1 长干 1 号隧道断面岩照片

$F_{1-12}$  断裂在隧道左线进口段以  $50^\circ \sim 230^\circ$  走向展布,产状  $140^\circ \angle 69^\circ$  交于  $F_{1-2}$  断裂,开挖掌子面可见明显角砾岩被石英脉胶结,断层可见明显压扭与拖拽现象(见图 2)。

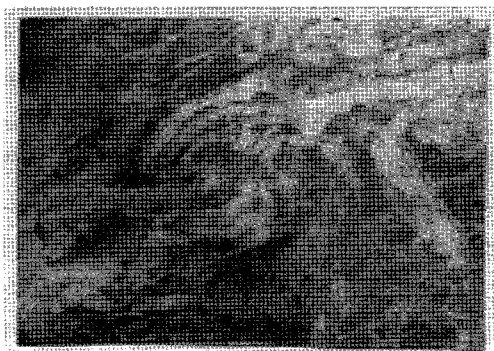


图 2 长干 1 号隧道断面岩层照片

隧址区裂隙发育的有张性和闭合性,在强烈地质作用下,密集的裂隙与节理为地下水提供了赋存条件,反过来又加速了岩层的滑动和风化。

隧址区地层主要出露有上元古界浅变质碎屑岩、火山岩、昌前组千枚状粉沙质板岩,井潭组( $P_{2-3}$ )英安岩,深灰绿色,薄层至中厚层状,岩层产状  $350^\circ \angle 60^\circ$ ,岩质较坚硬。

地表及山坡上多为第四系残坡积层,成份主要为粉砂质千枚状板岩,强风化,厚度不均,约在几十厘米至几米厚。整个地层岩性界线明显,矿物成份较为简单。

### (2) 竹下隧道

根据地质测绘资料,隧址区构造发育 2 条断裂,即  $F_{1-2}$  和  $F_{2-4}$ ,两断裂通过全新世地层,  $F_{1-2}$  断裂长约 10 km,位于右线进口西侧,产状  $310^\circ \angle 67^\circ$ ,洞内连续切割长度约 20 m,掌子面可见构造角砾,构造片理化英安岩和蛇曲状石英岩,胶结致密。  $F_{2-4}$  断裂在洞内延续约 10 m,多为片理化英安岩及构造岩块,未胶结,对隧道开挖有直接影响。

洞内裂隙节理十分发育,多数呈闭合~微张型,节理与坡面倾向一致,构成了不利结构面,围岩一经爆破震动,极易滑塌冒顶。

该隧道地层与长干 1 号隧道相同,同属上元古界。

## 3 国内外围岩分类方法现状

文献[1]给出了我国现行的围岩分级方法,即在隧址区地层、岩性和结构特征确定后,按岩石的破碎程度,抗压强度等指标划分为 6 大类,最好的为 I 级,最差的为 VI 级。按划此分标准,同一种岩性的围岩,在不同的工程上则确定的等级就不一样,即使是围岩产状不变,场地不变,则不同的人去判别结果也不一样,也就是说,围岩分类存在较大的可塑性。

文献[2]给出了国内公路隧道围岩分类参照细则,即:岩石等级(主要是饱和抗压强度 MPa 值);受构造影响程度;裂隙与节理状况;风化作用;地下水情况;围岩稳定状态。

文献[1]列出了岩石等级层厚划分、节理裂隙发育程度标准的主要内容,这些都是工程勘察与设计参照的重要依据。文献[2]介绍了挪威岩土所 Barton 等人根据 249 条隧道的工程实践研究出的将围岩分类与支护设计集于一体的方法,即  $Q$  系统分类法,可用如下公式表示:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

式中:  $Q$  为 N. Barton 岩质评定系数;  $RQD$  为岩体质量指标;  $J_n$  为岩体组数;  $J_r$  为节理粗糙度;  $J_a$  为节理蚀变系数;  $J_w$  为节理水折减系数;  $SRF$  为应力折减系数;

上述分类法虽然比较全面,但求取的试验参数

较多,其中通过给定性描述赋权值的方法在实施中也难免带有人为因素,现场操作不便。总之,隧道施工中快速准确地判定围岩类别等级是一个不可回避的难题,我国水电工程、铁路工程和公路工程都在探索各自的有效途径。

#### 4 围岩级别变更依据探讨

以本项目的长干1号隧道为例,地质条件如前述极为复杂,进洞口十几米即遇上断层破碎带,也是千枚岩与英安岩的地质接触带,其中一段浅埋(埋深1~3 m),洞出口又遇上偏压段。设计上虽然做了初期支护级别区分,但开挖后不是超前就是滞后,施工中若死搬图纸硬套,则会出现两种情况。

一种情况是不良地质体在标示桩号之前或之后就出现,例如长干1号隧道ZK13+700桩号V级已经结束,进入IV级围岩,而此时的围岩仍然破碎,强风化,地下水线滴。若按IV级支护,则不能起到承载不良地质体的作用,随着时间推移,围岩内部应力调整势必引起初期支护承受不了拱顶荷载和侧向位移压力,导致初期支护损坏或塌方。

另一种情况是不断的施爆开挖,强烈的爆炸将加速本来已破碎的岩体失稳,若不及时增强支护,也会导致塌方。

为了能及时、准确、客观地将掌子面的围岩条件转化为具体的数量概念,再为变更提供依据,可采取如下措施:将上台阶开挖(清渣之后)的掌子面划分成9个分区(如图3所示),每个分区赋予不同的权值系数 $\sigma$ ,系数总和为1,每个权值系数根据所处位置重要与否,决定权值的大小,最大为0.30,最小为0,拱顶部位权值系数 $\sigma$ 都较大。

现场使用时,将权值系数分布图投影在掌子面上,虚线间的距离按比例在掌子面上用钢尺测量出,然后画出草图;接着观察每个分区的裂隙、节理条数、严重风化面面积和地下水渗滴状况,然后按表1和表2确定权值系数 $\sigma$ 。

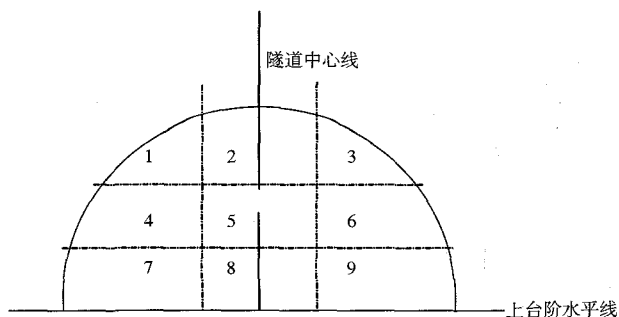


图3 上台阶开挖掌子面岩层权值系数分区示意图

表1 各分区权值系数分配

分区	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sigma$ 值	0.15	0.30	0.15	0.10	0.10	0.10	0.05	0.00	0.05

表2 各分区权值系数 $\sigma$ 选取方法

掌子面构造状况	状况占掌子面 0~25 %	状况占掌子面 25~60 %	状况占掌子面 60~100 %
风化面、破碎带	取权值系数的0倍	取权值系数的1/4倍	取权值系数的1/2倍
滴渗条带与涌水点、小股泉水	取权值系数的0倍	取权值系数的1/4倍	取权值系数的1/2倍
单条裂隙与多条节理	取权值系数的0倍	取权值系数的1/2倍	取满权值

当一个掌子面的 $\sigma$ 值统计完成后,可按式(2)计算该掌子面往后应采取几级支护。

$$H=M+\sum_{i=1}^9 \sigma_i \quad (2)$$

式中: $H$ 为表示该掌子面往后一段围岩应采用的初期支护等级; $M$ 为表示图纸设计的初期支护等级; $\sigma$ 为表示掌子面每个分区的权值,9个分区的 $\sigma$ 值总和为1。

说明:(1)当一条裂隙或风化面、破碎带贯穿几个分区,最末一个分区不足其面积的1/2时,则 $\sigma$ 值为0,具体方法视破碎程度参考表3来确定。(2)当 $\sigma$ 总和为0~0.5时,不需增加支护级别,当 $\sigma$ 总和为0.6~1时,则需增加1级支护(即5舍6入法)。例如:当图纸设计某段隧道为IV级支护,掌子面计算 $\sigma$ 为0.75时, $H=4+0.75=4.75$ ,则往后一段应采用V级支护。当图纸设计某段隧道为III级支护,掌子面计算 $\sigma$ 值和为0.45时, $H=3+0.45=3.45$ ,则往后一段仍然按III级支护。

以长干1号隧道为例,对6个掌子面围岩支护等级变更进行权值验算,验算结果见表3,权值最大为1.0,最小为0.77,均达到变更指标要求,此方法在竹下隧道变更中也取得了较好的效果。

变更后的初期支护必须承受2种考验,一是围岩自身应力调整产生的压力,二是爆破产生的强大冲击波,上述2种作用力都有可能致使支护损毁,甚至造成人身伤亡事故。本项目单行线是3车道,隧道单洞净宽(开挖跨距)为17.5 m,拱顶高度7 m,此种情况在公路中应属大跨度隧道,由于地质前提十分复杂,为安全起见,施工组织设计中引入动态管理模式,根据监控量测提供的围岩变化数据和地质超前预报信息,及时修正围岩级别,果断变更支护方案,从而保证了隧道全过程安全开挖。例如在开

挖长干 1 号隧道至 ZK13+690 位置时, 已进入断层带, 岩层受挤压普遍破碎, 上盘岩层皱曲, 断层角砾明显, 层间滞水沿裂隙渗流。此时岩层因开挖引起局部应力调整, 地表监控于 06-18 测量出地面下沉

20 mm, 于是立即停止开挖, 20 d 后, 下沉趋于稳定, 地表监控未再出现异常, 洞内位移在许可范围内, 于是继续施工。

岩石分类考虑了多种地质因素组合, 为支护提

表 3 6 次围岩级别变更情况统计

桩号	围岩状况	变更长度/m	权值系数	变更情况
ZK13+709	千枚岩、斜交断层、角砾已胶结、拱顶风化严重	10	1.00	Ⅳ → Ⅴ
ZK13+719	千枚岩、中部受压扭皱曲、裂隙贯通、滴渗	10	0.89	Ⅲ → Ⅳ
ZK13+729	中厚千枚岩、层位严重皱曲、拱顶强风化、滴渗	10	0.94	Ⅲ → Ⅳ
ZK13+750	英安岩、千枚岩互层、拱顶风化、严重线流	10	0.77	Ⅲ → Ⅳ
ZK13+760	英安岩、一横三纵裂隙贯通、中下部稍好	10	0.90	Ⅲ → Ⅳ
ZK13+770	英安岩、块状裂隙纵横贯通、中下部稍好	10	0.95	Ⅳ → Ⅴ

供稳定性依据在支护完成后应接受时间的检验, 即在某一设定时间内支护不开裂、不变形。从监控量测数据看, 1 个月后, 长干 1 号隧道周边位移曲线明显收敛, 说明变更后的初期支护对围岩稳定起到了加固作用。

## 5 结语

围岩分类涉及因素多, 现场判定难度较大, 应熟悉址区的地质概况, 了解洞内围岩的特性。摸清地下水分布情况, 各种不良地质体的位置、规模、危害程度及治理方案, 充分发挥监控量测和地质超前预前预报的作用。

通过该项目 2 条隧道围岩级别判定方法的研究, 为进一步进行不同开挖方法下的隧道掌子面围岩级别判定方法研究奠定了基础。

## 参考文献

- [1] JTG D70—2004 公路隧道设计规范[S].
- [2] 静天文. 公路隧道围岩分类与支护优化设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [3] 李国峰. 特殊地质公路隧道动态设计施工技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [4] 长安大学监控量测组. 黄塔(桃)高速公路隧道施工监控量测报告[R]. 2006.

(收稿日期: 2008-03-25)

(上接第 58 页)

(3) 封底开始的时间不能选择在涨潮或落潮流速最大时, 应尽量选择涨落潮之间的平潮时间, 否则由于水流过快, 在钢护筒与底板之间的缝隙中水冲击力很大, 有可能将堵缝的麻袋冲掉, 或者水流将封底混凝土的水泥冲洗掉, 造成封底失败。

(4) 在封底过程中, 如发现存在混凝土面上升速度同浇灌方量不吻合的异常情况, 应安排潜水员下水检查, 看护筒同底板间的钢环及麻袋是否被水冲开, 查明原因, 及时采取处理措施。

(5) 墩位处由于潮汐影响, 水流中携带大量的泥沙, 故在第 2 次封底前, 应对第 1 次封底混凝土表面进行吸泥处理, 并安排潜水员下水检查, 确保第 1 次封底混凝土表面无泥沙及松散碎石等杂物, 以免影响封底质量。

(6) 围堰内封底完成后, 在侧舱内浇灌 6 m 高的水下混凝土, 以防抽水时围堰内外压力差太大引起围堰壁破坏。围堰内封底混凝土达到设计强度

后, 围堰抽水, 拆除吊挂系统, 进行承台施工。

## 6 结语

随着我国桥梁建设技术的提高, 大跨、重载及跨海大桥的建设越来越多, 这些桥梁的基础特点往往是处于深水中且承台尺寸大, 故复杂水文地质条件下大型超重围堰的应用将越来越广泛。瓯江特大桥主墩大型超重围堰的施工方法, 解决了施工各个环节中所面临的一些技术难题, 对类似工程的施工具有一定的借鉴意义。

## 参考文献

- [1] TZ213—2005 客运专线铁路桥涵工程施工技术指南[S].
- [2] J462—2005 铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范[S].
- [3] TZ210—2005 铁路混凝土工程施工技术指南[S].
- [4] GB50017—2003 钢结构设计规范[S].
- [5] J162—2002 铁路桥涵施工规范[S].

(收稿日期: 2008-05-09)