



21世纪技术与工程著作系列·土木工程

Construction Technology of Meiguan Tunnel

梅关隧道工程施工技术

傅鹤林 李 凯 彭学军 郭明香 编著



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪技术与工程著作系列·土木工程



梅关隧道工程施工技术

傅鹤林 李 凯 彭学军 郭明香 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

梅关隧道是广东韶关至江西赣州高速公路南雄至大余段的一个关键性控制工程。隧道穿越数条大断层横切的地质复杂的板岩地段,且隧道大部分属于浅埋大跨偏压,对设计、施工有一定影响。施工过程中,设计、施工、监理和监控单位紧密配合,采取了先进的施工技术和科学的管理方法,较好地攻克了各施工难点,取得了满意的效果。本书对该复杂地质条件下浅埋大跨偏压隧道的施工各个环节进行了总结,旨在为类似工程提供参考和借鉴。

本书通俗易懂,实用性强,可供隧道工程界的工程技术人员、科技人员及高校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

梅关隧道工程施工技术/傅鹤林等编著. —北京:科学出版社,2009
(21世纪技术与工程著作系列·土木工程)
ISBN 978-7-03-024257-0

I. 梅… II. 傅… III. 公路隧道-隧道工程-施工技术 IV. U459.2
中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第036386号

责任编辑:任加林/责任校对:赵燕
责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年5月第一版 开本:B5(720×1000)
2009年5月第一次印刷 印张:11 1/2
印数:1—1 500 字数:220 000

定价:36.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<环伟>)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026(HB08)

前 言

梅关隧道是广东韶关至江西赣州高速公路南雄至大余段的一个关键性控制工程。隧道穿越数条大断层横切的地质复杂的板岩地段，且隧道大部分处于浅埋大跨偏压，对设计、施工有一定影响。为确保工程的顺利进行，设计、施工、监理和监控单位紧密配合，采取了先进的施工技术和科学的管理方法，较好地攻克了各施工难点，取得了满意的效果。为了总结较复杂地质条件下浅埋大跨偏压隧道的施工经验，以达到与同行交流的目的，我们特意编写了本书，旨在为类似工程提供参考和借鉴。

本书由具有丰富经验的专家和一线工程技术人员编写而成，内容丰富，对隧道工程技术人员具有较好的参考价值。由于水平有限，不妥之处，敬请指正。

本书得到韶赣高速粤境段管理处罗立峰、刘伟泉、罗文涛、张志定、董仁德、靳士宗和中铁十二局梁金瑞、仲辉等的大力支持，此外研究生向俊宇、沈弘、李园园、傅正华、黄陵武、谢启东等在隧道施工监控量测中做了大量工作，为本书提供了第一手素材，本书还参考了邓江于 2002 年撰写的《猫山公路隧道工程技术》（人民交通出版社）的部分内容，在此一并表示衷心感谢。

目 录

前言

第一章 总论	1
1.1 梅关隧道左线工程概况	1
1.2 隧道工程地质概况	1
1.3 施工概况	3
1.4 施工注意事项	4
1.5 在施工中贯彻新奥法的做法	5
第二章 梅关隧道支护结构设计	7
2.1 隧道支护设计思想和方法简介	7
2.1.1 荷载-结构设计模式	7
2.1.2 信息化设计模式	7
2.1.3 连续介质模型——岩石力学解析法和数值法	7
2.1.4 典型类比分析法	8
2.2 梅关隧道的支护设计	8
第三章 洞口施工和隧道开挖	13
3.1 简述	13
3.2 开挖方法	16
3.2.1 公路山岭隧道常用开挖方法	16
3.2.2 梅关隧道开挖方法	20
3.3 洞口浅埋段施工工法三维数值模拟	20
3.3.1 主洞结构及设计参数	21
3.3.2 计算模型及计算参数	21
3.3.3 计算结果分析	22
3.3.4 两种施工工法对比分析	29
3.4 V级围岩洞身段施工工艺	33
3.4.1 开挖方法	33
3.4.2 施工工序	33
3.4.3 初期支护	34
3.4.4 出渣	34
3.4.5 施工注意事项	34

3.5	钻爆设计与施工	34
3.5.1	简述	34
3.5.2	光面爆破	40
3.6	梅关隧道的超欠挖控制	45
3.6.1	超欠挖的概念和允许值	45
3.6.2	造成超欠挖的因素	46
3.6.3	梅关隧道超欠挖的控制措施	50
3.6.4	梅关隧道超欠挖的处理	52
第四章	辅助施工方法与行人、行车横洞及紧急停车带施工	53
4.1	辅助施工方法	53
4.1.1	简述	53
4.1.2	梅关隧道采用的辅助施工措施	63
4.2	行人、行车横洞及紧急停车带施工	66
4.2.1	行人、行车横洞施工	66
4.2.2	紧急停车带	66
第五章	在施工中核实隧道围岩级别的方法	67
5.1	简述	67
5.2	围岩分级与标准	67
5.3	施工前调查与判定围岩级别的方法	68
5.3.1	调查与判断方法	68
5.3.2	围岩预测精度要求	70
5.4	施工中的地质调查	70
5.4.1	地质超前预报	70
5.4.2	开挖工作面,地质调查的主要内容	73
5.5	基于人工神经网络的梅关隧道围岩判别	73
5.5.1	神经网络原理	74
5.5.2	梅关隧道围岩判别的BP神经网络实现	80
第六章	复合衬砌施工	84
6.1	简述	84
6.2	锚喷支护	84
6.2.1	简述	84
6.2.2	锚杆施工	87
6.2.3	喷射混凝土施工	91
6.2.4	喷射混凝土质量监控	96
6.2.5	钢架	98
6.3	二次模筑混凝土衬砌施工	101

6.3.1	施作时机	101
6.3.2	灌注混凝土前的准备工作	102
6.3.3	模板台车	102
6.3.4	混凝土浇筑作业	102
6.3.5	二次衬砌防排水	103
6.3.6	关于脱模时间	103
6.3.7	二次衬砌施工质量的控制	104
第七章	施工监控量测	105
7.1	概述	105
7.2	施工监控量测的目的及任务	105
7.2.1	量测的目的	105
7.2.2	隧道现场量测的任务	106
7.3	监控量测项目选择	106
7.3.1	隧道内目测观察	107
7.3.2	隧道位移量测	107
7.3.3	支护的应力应变变量测	109
7.3.4	围岩应力应变和围岩与支护间接触应力量测	109
7.4	梅关隧道监控量测	110
7.4.1	地表沉降观测	110
7.4.2	周边位移量测	110
7.4.3	围岩位移量测	114
7.4.4	钢支撑内力量测	115
第八章	基于位移量测围岩参数反分析的实现	117
8.1	概述	117
8.2	围岩参数位移反分析概念及基本原理	117
8.2.1	位移反分析	117
8.2.2	位移反分析的基本原理	117
8.3	量测数据优化及弹塑性位移反分析	120
8.3.1	量测数据优化	121
8.3.2	量测数据的概率分布(概型)估计	122
8.3.3	随机模糊理论	125
8.3.4	围岩材料弹塑性理论	128
8.4	梅关隧道围岩参数反分析	132
8.4.1	施工方法及量测数据优化处理	132
8.4.2	反分析确定围岩参数	135

第九章 信息化施工在梅关隧道的实现	139
9.1 概述	139
9.2 反演正算的基本思路与一般方法	139
9.3 应力场分析	140
9.4 位移场分析	145
9.5 梅关隧道信息化预测	149
9.6 小结	150
第十章 防排水系统	151
10.1 隧道防排水	151
10.1.1 水对隧道工程衬砌结构的影响	151
10.1.2 公路隧道防水等级划分	152
10.1.3 隧道工程防排水原则	152
10.1.4 隧道工程防排水的基本形式	153
10.1.5 混凝土抗侵蚀措施	153
10.2 梅关隧道防排水概况及措施	153
10.2.1 隧道内外总的防排水措施	154
10.2.2 防排水系统施工质量控制	159
第十一章 隧道施工监理	162
11.1 概述	162
11.2 施工准备阶段的监理	162
11.3 工程质量监理	163
11.4 工程进度监理	165
11.5 工程费用监理	166
11.6 合同管理	166
11.7 几点体会	167
附录 A 新奥法的特点及理论基础	168
A.1 新奥法的基本概念	168
A.1.1 简述	168
A.1.2 要点	168
A.2 新奥法设计特点	169
A.3 新奥法施工特点	170
A.3.1 施工程序	170
A.3.2 施工基本原则和要点	170
附录 B 挪威法	172
参考文献	176

第一章 总 论

1.1 梅关隧道左线工程概况

梅关隧道工程位于江西省与广东省两省交界处,是韶赣高速公路的重要构筑物。该隧道连接江西省大余县洋坑村和广东省南雄市红梅村,为上下行分离式三车道高速公路长大隧道,本隧道左右线平面均位于直线上,左右洞净距约40 m。本书主要介绍隧道左线工程施工,左线起讫桩号为GK55+405~GK57+780,洞高约8.5 m,宽14.5 m,设计纵坡为0.95%、-0.8%的人字坡,隧道全长2 375 m。

梅关隧道左线工程由韶赣高速公路粤境段管理处投资建设,中交第二公路勘察设计院与江西省赣南公路勘察设计院共同设计,中铁第十二工程局施工,北京华宏路桥咨询有限公司监理,中南大学土木工程检测中心承担地质超前预报和监控量测。2006年11月21日开工,2008年4月贯通。

1.2 隧道工程地质概况

本隧道区处于由震旦系砂质板岩构成的构造剥蚀中低山区,隧道区最高峰标高为560.77 m,最底标高为239.67 m,相对高差约321.1 m。隧道进出口自然坡度较缓,区内植被发育,主要为松树、毛竹、杂草等,通视条件差。隧道区地表径流沿地势由东向西流入山间小沟,地表水径流量随季节而变。

根据开挖前地质勘测所揭露及区域地质资料,表明本隧道通过的地段地层结构较为简单。表层均为第四系全新统残坡积碎石土,下部为震旦系(Z_21)含炭质板岩和砂质板岩组成。其岩性特征简述如下。

(1) 第四系全新统残坡积层(Q_4^{el-dl})

碎石土:灰色,稍湿,松散~稍密,由碎石和亚黏土组成,碎石成分主要为强风化板岩,粒径多在2~5 cm之间,表层含植物根系,TCR=75%~77%。推荐 $[\sigma_0]=280$ kPa, $\tau_i=120$ kPa。

(2) 震旦系砂质板岩(Z_21)

主体岩石为浅灰色、青灰色,层状结构,层理发育,裂隙较发育,碳酸盐充填。进洞口岩层产状为 $195^\circ\angle 41^\circ$ 。

1) 全风化砂质板岩: 灰色、黄褐色, 原岩结构、构造已破坏, 干钻可钻进, 局部见残余结构, $TCR=70\% \sim 75\%$ 。推荐 $[\sigma_0] = 350 \text{ kPa}$, $\tau_i = 120 \text{ kPa}$ 。

2) 强风化砂质板岩: 褐黄色为主, 原岩结构、构造已基本破坏, 岩芯呈碎块状少量呈短柱状, 裂隙发育, 裂隙面见铁锰质染, 岩质较软, 合金可钻进, 该层在钻孔中均有揭露, 厚度性较大, $TCR=61\% \sim 67\%$ 。推荐 $[\sigma_0] = 450 \text{ kPa}$, $\tau_i = 120 \text{ kPa}$ 。

3) 弱风化砂质板岩: 青灰色, 成分主要为微粒石英、绢云母及岩屑等, 岩体较破碎, 碎裂状结构, 岩芯呈短柱状及少量柱状, 裂隙发育, 硅质充填, 岩质较硬。 $TCR=75\% \sim 77\%$, $RQD=50\% \sim 55\%$, 推荐 $R_b = 35\ 000 \text{ kPa}$ 。

4) 微风化砂质板岩: 青灰色, 成分主要为微粒石英、绢云母及岩屑等, 岩体完整性高, 岩芯呈长柱状及少量短柱状, 裂隙不发育, 碳酸岩及石英质充填, 岩质硬, 锤击声脆。 $TCR = 85\% \sim 90\%$, $RQD = 65\% \sim 68\%$, 推荐 $R_b = 40\ 000 \text{ kPa}$ 。

隧道位于震旦系 (Z_2l) 砂质板岩出露区, 区内发育有四条规模较大断裂构造, 现分述如下:

1) 裂隙密集带 F1 在 GK55+785、FK55+760 附近穿过, 宽约 10~15 m, 其走向为 140° 左右, 倾向北东, 倾角 60° 左右, 推测该构造未穿隧道洞身。

2) 裂隙密集带 F2 在 GK56+220、FK56+225 附近穿过, 宽约 20~25 m, 推测富含基岩裂隙水, 其走向为 130° 左右, 倾向南西, 倾角 70° 左右, 推测该构造未穿隧道洞身。

3) 裂隙密集带 F3 在 GK56+955、FK57+030 附近穿过, 宽约 20~25 m, 推测富含基岩裂隙水, 其走向为 40° 左右, 倾向东南, 倾角 70° 左右, 推测该构造未穿隧道洞身。

4) 裂隙密集带 F4 在 GK57+535、FK57+680 附近穿过, 宽约 10~15 m, 其走向为 35° 左右, 倾向南东, 倾角 70° 左右, 推测该构造穿越隧道洞身。

隧道区以基岩裂隙和第四系岩类孔隙水为主。第四系岩类孔隙水主要赋存于地表残积层中; 基岩裂隙水主要赋存于下伏基岩裂隙中, 裂隙较发育, 赋水性较好, 连通较好, 与大气降水有直接水力联系, 水位埋深一般较大。

根据在大梅关隧道进出口和洞身水质分析报告结果表明: 隧道区水质为重碳酸型淡水, 对钢有复合型弱腐蚀性。

区内地下水较丰富, 以基岩裂隙水为主, 在 GK55+420、GK56+220、GK56+950、FK57+020、GK57+400、FK57+500 等里程附近的沟谷内, 有地下水常年出露; 这些区域在隧道施工过程中有可能出现点滴状或淋雨状出水状态, 作为一种不良地质现象, 在施工过程中应予以重视。区内其他不良地质现象

主要有风化剥蚀。

隧道进、出洞口自然坡度角较小，覆盖层薄，岩体破碎，施工时应及时加强支护措施。进洞口左轴线与地层等高线小角度相交，可能会造成洞壁偏压，出洞口轴线与岩层走向的夹角近正交，岩层倾角为 41° ，山体自然坡度 31° ，可能会产生仰坡失稳，施工时应注意防范。

根据《江西省地震动峰值加速度区划图》（赣州部分），沿线未来 50 年内地区动参数为 $0.05g$ ，为地震烈度 VI 度区。因此，沿线区内构造物设计考虑简易抗震设防。

隧道进洞口岩层产状为 $120^\circ \angle 66^\circ$ ，表层为碎石土和全风化板岩为主，厚度较大，呈松散结构，岩土的稳定性和较差，开挖时极易造成坍塌，左洞轴线与地形等高线小角度相交，可能会造成洞壁偏压，建议早进洞，采用导洞法施工成洞较妥，并对洞口的边坡进行加固处理。出洞口岩层产状为 $195^\circ \angle 41^\circ$ ，表层为碎石土和强风化板岩为主，呈松散结构，稳定性较差，岩层倾角与坡面基本一致，为顺向坡，倾角 41° ，山体坡度 30° 左右，可能会产生仰坡失稳，建议晚出洞，采用导洞法施工并对洞口的边坡进行加固处理。

根据《公路隧道设计规范》（JTG D70—2004）中有关围岩分级的规定，结合实地调查、钻孔揭露、钻孔波速测试、浅层地震和大梅关隧道穿越和可能穿越的地层岩性特征及其物理力学指标等资料，以及区内地质构造、地下水等不良地质因素，确定该隧道围岩级别主要为 III、IV、V 级。

1.3 施工概况

（1）总体方案

掘进采取进口（江西端）和出口（广东端）同时推进方案。

1) 明洞段的施工在山坡截水沟施工完成后进行，边坡防护与明洞开挖同步进行。隧道洞口地质较差，所以避开雨季施工，明洞衬砌及洞门结构施工完成后及时回填、绿化。

2) 洞身施工按新奥法组织施工，主要工序采用机械化作业。V 级围岩段设计采用双侧壁导坑法施工，后经优化，V 级围岩地段采用了三台阶法施工，IV 级及以下围岩地段采用台阶法施工。

(2) 隧道主体工程施工主要程序 (图 1.1)

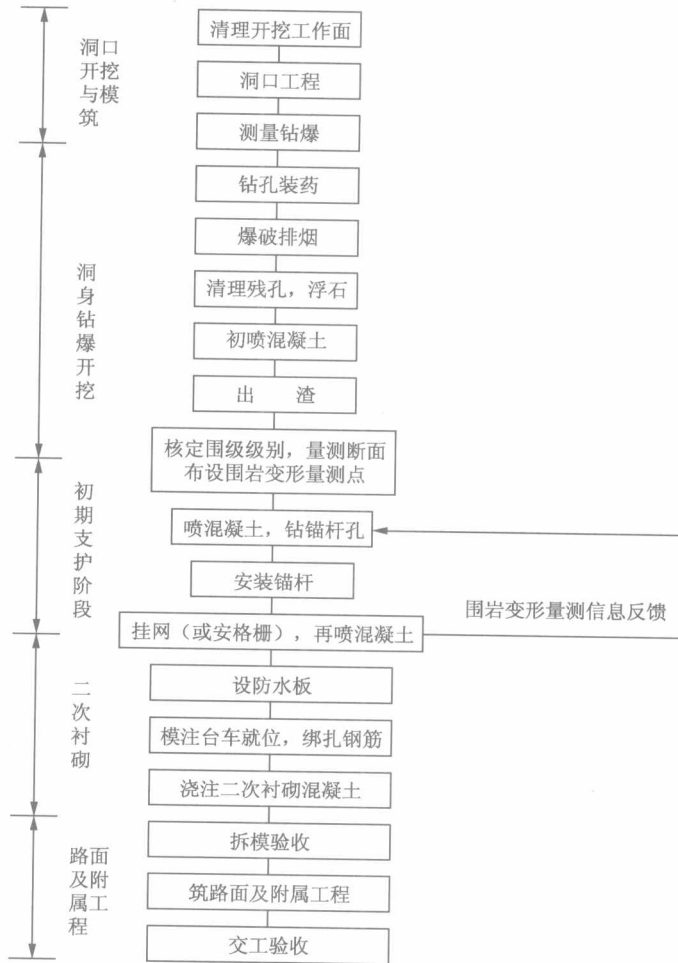


图 1.1 施工程序图

1.4 施工注意事项

梅关隧道施工注意事项如下:

1) 洞口施工应注意边坡修整圆顺, 铺砌整齐。洞门应严格按照设计要求施工, 以达到设计效果。

2) 对于洞口浅埋段应尽快施作二次衬砌, 距离掌子面不应超过 30 m。对于其他地段也应根据量测信息适当提前施作二次衬砌, 以保证初期支护, 发挥二次

衬砌的承载能力。

3) 复合衬砌施工应认真执行新奥法的原则,拱部采用光面爆破,边墙采用预裂爆破,加强监测,减少施工过程对围岩的扰动,尽量发挥围岩的自身承载能力。当发现初期支护能力不够时,除应及时加强初期支护外,也可修改二次衬砌支护参数后提前施作二次衬砌。

4) 施工中应注意钢拱架及钢筋网与围岩的密贴,二次衬砌施作完成后应检查其背后与喷层之间的空隙,一旦发现,应及时回填。

5) 铺设防水板前应裁除出露的锚杆端部,修整喷设混凝土表面过大的凹凸不平处,以防刺破防水板,铺设过程中应注意防水板的塔接良好。

6) 施工过程中若发现有较大的地下涌水,则需另外采取对策,如超前预注浆等方法。

7) 本书未含隧道内通风、照明、消防、监控及供配电工程,施工时应注意相关部分的预留洞室及预埋件的位置。

8) 隧道施工要重视保护生态环境,实行文明施工,提高机械化水平,尽量减少对隧道附近环境的破坏。

1.5 在施工中贯彻新奥法的做法

梅关隧道在长达 600 余天的紧张施工中,施工单位在施工过程中贯彻了新奥法的施工理念,未出现任何事故,各项经济技术指标均达到优良水平,隧道的防排水解决最好。在 2008 年 6、7 月两月内连续下了 20 多天的大雨,发生多次山洪暴发,而隧道内无一处渗水。

(1) 全面深入学习新奥法的原理,搞清基本概念

新奥法是现代隧道工程先进的施工技术和管理方法之一,采用新奥法不但是梅关隧道争创优质工程的必须,而且是队伍自身建设的必须。根据当前隧道工程建筑市场的形势,特别在我国加入 WTO 之后,我国隧道工程施工队伍如不能在现实中全面提高现代施工管理和施工技术水平,将失去竞争条件和生存能力。所以,施工队伍进入梅关隧道工地之后,始终把贯彻新奥法的宣传教育和思想发动工作放在第一位,使广大员工深入了解和掌握新奥法的理论基础、精神实质、内容和要求。比如,新奥法“三大技术措施”(即光面爆破、喷锚支护、围岩变形量测)的内容是什么,重要性在哪里等,都要求广大施作人员深入了解,以提高他们贯彻新奥法的自觉性和主动性。有了群众的自觉行动,再加上领导和监督的督促检查,使新奥法逐一落到了实处。

(2) 采用光面爆破技术,提高爆破效果

梅关隧道每个单洞长 2375 m,共需挖出石方约 $32 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。要开挖这样巨

大的石方量,应用好光面爆破技术,对于节约投资、保证工期、保证质量和保证施工安全意义特别重大。由于措施具体,工作到位,使整个爆破作业很少出现哑爆,人员无一伤亡,硬岩光面爆破炮眼痕迹保存率及超欠挖指标基本达到规范要求。由于爆破控制得当,对围岩的扰动小,围岩较为稳定,对后续工序、喷锚支护,二次初砌的施工质量均起了有力的保证作用,所以梅关隧道支护结构基本未出现过开裂现象。

(3) 做好围岩变形监控量测,保证施工安全

梅关隧道的参建人员深深懂得,围岩变形量测是新奥法的核心,是保障施工安全的耳目和哨兵,监控单位长期驻扎在工地进行现场监控量测,按规定的频率量测隧道拱顶沉降量和两边墙的收敛值,共获得数千个数据,并对量测数据进行了回归整理分析,为领导决策提供科学依据。由于量测及时,摸清了各类围岩变形情况和支护结构的稳定规律,从量测的时态曲线中几次发现围岩出现塌方先兆,及时发出险情预报,作了处理,避免了塌方的发生。同时用量测信息进行反分析,发现个别地段的初期支护有不足和过于保守的现象,及时提出了整改建议。总之,梅关隧道围岩变形量测工作受到重视,效果明显,对整个隧道施工安全起到了重要作用。

(4) 引进先进技术,解决施工难题,提高施工水平

复合衬砌参数系首先根据围岩级别、工程地质水文地质条件、地形及埋置深度、结构跨度及施工方法等以工程类比为主拟定,然后应用平面及三维有限元综合程序对施工过程进行模拟分析,定性的掌握围岩及结构的应力发展与变形破坏过程,进一步调整支护参数,最后应用“FUHL 隧道结构综合计算程序”对初期支护及二次衬砌内力进行计算确定,施工过程中严格进行相关围岩监控量测。

第二章 梅关隧道支护结构设计

2.1 隧道支护设计思想和方法简介

目前隧道设计还没有统一的模式。在国际隧道学会归纳的隧道结构设计模型的基础上,从中国地下工程实际出发,我国目前隧道支护设计主要采取以下四种模式。

2.1.1 荷载-结构设计模式

这种模式是假定已知地压荷载和地层对结构变形的约束抗力(前者在浅埋松散岩土荷载条件下为已知,后者均为假定)的条件下,按弹性地基上杆件系统的结构力学原理进行衬砌内力计算,这种设计方法的概念与地面结构设计相近,容易理解,计算也比较简单,受力明确,容易被设计人员接受,具有一定的使用性。这个方法在一个相当长的时间内是我国中、小隧道及浅埋隧道的主要设计方法。但经过长期实践发现,这种设计模式不能反映实际情况,致使支护结构厚,材料浪费很大。

2.1.2 信息化设计模式

20世纪60~70年代,隧道设计支护原则已逐渐被新奥法取代,逐渐演化变出信息化模式,其特点是:隧道开挖后,把围岩和支护系统力学形态的变化动态作为判定围岩稳定的依据,把施工监测所获得的信息加以处理并与工程类比相结合,建立一些必要的判断准则,据此利用量测结果进行现场反馈、修改支护设计。这种设计、施工、现场量测为一体,并通过量测信息反馈进行安全施工决策和支护系统设计的方法就是信息化设计方法。目前我国《公路隧道设计规范》(JTGD70—2004)规定衬砌结构设计通过工程类比和结构计算综合分析确定。

2.1.3 连续介质模型——岩石力学解析法和数值法

解析法难以适应隧道工程复杂的地质条件,目前应用较少。常用的数值计算方法主要是岩石力学有限元法,其次是边界元法。

2.1.4 典型类比分析法

典型类比分析法是当代新奥法隧道工程支护设计的一种新技术,是在中国新奥法隧道工程实践经验基础上对信息化设计技术的应用和发展。在隧道开挖前,应用此法对围岩的变形特性和破坏形态作出定量分析和预测,在施工中利用围岩量测数据进行位移反分析,修正设计,应用变形速率比值判别法对围岩稳定性效果作出定量判别。

由于地质条件的千变万化,上述各种方法各有适用的场合和局限性,因此重要隧道在进行支护结构设计时应多种设计方法进行比较,经验方法和理论方法综合应用。专家指出,对隧道支护这类尚不能完全弄清的复杂问题来说,将经验与理论相结合,即半经验半理论的方法是科学的。地下结构设计不能完全依赖计算,在目前的情况下很大程度上仍需依据经验和实测,这是当今隧道工程支护设计最基本的指导思想和原则。

2.2 梅关隧道的支护设计

梅关隧道属于长大隧道,依据现代隧道设计理论,采用信息化设计模式,应用多种方法进行比较,力求作出既安全又经济的设计方案。在预设计中,对隧道主体工程应用工程类比法,初步确定了支护参数后,根据新奥法原理和有关典型工程的经验参数等,对各类围岩预设计参数进行了校核计算,并且应用典型类比分析法对预设计的围岩破坏变形状态进行了初步分析。然后应用平面及三维有限元综合程序对施工过程进行模拟分析,定性掌握围岩和结构的应力发展与变形破坏过程,进一步调整支护参数,应用“FUHL 隧道结构综合计算程序”对初期支护及二次衬砌内力进行计算确定。最后通过施工量测得到围岩和支护结构变形的信息进行反分析,校核围岩和支护结构的稳定性。

根据隧道埋深及荷载类型的不同共设计了七种衬砌形式(复合式衬砌)(表 2.1):S5A、S5B、S4A、S4B、S3、S2、ST(紧急停车带)。

除明洞结构外,其余衬砌均按照新奥法原理设计,采用复合式衬砌,以锚杆、喷混凝土或钢筋网喷混凝土、钢拱架为初期支护,模筑混凝土或钢筋混凝土为二次支护,在两次衬砌之间设一层 EVA 复合防水板作为防水层(图 2.1~图 2.4)。

表 2.1 复合衬砌各类支护参数

衬砌类型	围岩级别	初期支护				次衬砌	辅助施工
		锚杆	钢筋网	喷射混凝土	钢拱架		
S5A	V 浅埋	D25 中空注浆锚杆, $L=4$ m, 100 cm \times 50 cm	$\phi 8$ 钢筋网 20 cm \times 20 cm	C20 喷射混凝土厚 28 cm	20b 工字钢 间距 50 cm	拱部 60 cm, 仰部 60 cm (钢筋混凝土)	超前长管棚, 超前小导管, 双壁测导坑
S5B	V 深埋	D25 中空注浆锚杆, $L=4$ m, 100 cm \times 75 cm	$\phi 8$ 钢筋网 20 cm \times 20 cm	C20 喷射混凝土厚 28 cm	20b 工字钢 间距 75 cm	拱部 60 cm, 仰部 60 cm (钢筋混凝土)	超前小导管, 双壁测导坑
S4A	IV 较差	D25 中空注浆锚杆, $L=3.5$ m, 120 cm \times 75 cm	$\phi 8$ 钢筋网 20 cm \times 20 cm	C20 喷射混凝土厚 26 cm	18b 工字钢 间距 75 cm	拱部 50 cm, 仰部 50 cm (钢筋混凝土)	超前锚杆
S4B	IV 较好	D25 中空注浆锚杆, $L=3.5$ m, 120 cm \times 100 cm	$\phi 8$ 钢筋网 20 cm \times 20 cm	C20 喷射混凝土厚 26 cm	18b 工字钢 间距 100 cm	拱部 50 cm, 仰部 50 cm (钢筋混凝土)	超前锚杆
S3	III	$\phi 22$ 药卷锚杆, $L=3.0$ m, 120 cm \times 120 cm	$\phi 8$ 钢筋网 20 cm \times 20 cm	C20 喷射混凝土厚 15 cm	无	拱部 45 cm	无
S2	II	$\phi 22$ 药卷锚杆, $L=2.5\sim 3.0$ m, 局部设置	局部 $\phi 8$ 钢筋网 20 cm \times 20 cm	C20 喷射混凝土厚 10 cm	无	拱部 40 cm	无
ST	III	$\phi 22$ 药卷锚杆, $L=3.5$ m 及 $\phi 25$ 预应力锚杆, $L=5$ m	$\phi 10$ 钢筋网 20 cm \times 20 cm	C20 喷射混凝土厚 15 cm	无	拱部 50 cm (钢筋混凝土)	无