

复杂地质条件下 隧道施工安全保障技术

林才奎 杨红军
方建勤 廖树忠 等编著

FUZA DIZHI TIAOJIANXIA
SUIDAO SHIGONG ANQUAN BAOZHANG JISHU



人民交通出版社
China Communications Press

复杂地质条件下隧道施工 安全保障技术

林才奎 杨红军
方建勤 廖树忠 等编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书论述了隧道不良地质体及其引起的地质灾害、隧道地质超前预报综合技术、隧道施工中不良地质体的评价策略和评价方法、隧道施工中不良地质预警及保障体系、隧道不良地质体及地质灾害处治措施数据库管理系统。详细介绍了隧道工程台阶法施工时的合理台阶长度、隧道二衬合理支护时机的确定方法、隧道围岩变形预警指标及保障措施、隧道不良地质体对隧道施工的影响等隧道施工工艺中的关键技术,以及隧道施工灾害应急预案。

本书密切结合工程实际,主要内容来自广东省交通厅科研项目“复杂地质条件下隧道施工安全保障技术研究”研究成果,反映了该领域的最新研究成果和技术进展,可供从事隧道工程设计、施工、科研、监理和建设管理的技术人员和高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

复杂地质条件下隧道施工安全保障技术/林才奎等
编著. —北京:人民交通出版社,2010. 4

ISBN 978-7-114-08310-5

I. ①复… II. ①林… III. ①复杂地层—隧道工程—
工程施工—安全技术 IV. ①U458. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 050666 号

书 名:复杂地质条件下隧道施工安全保障技术

著 作 者:林才奎 杨红军 方建勤 廖树忠

责任编辑:刘永芬

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:12.75

字 数:315 千

版 次:2010年4月 第1版

印 次:2010年4月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08310-5

定 价:30.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《复杂地质条件下隧道施工安全保障技术》

编写单位和编写人员

编 著:林才奎 杨红军 方建勤 廖树忠

编著单位:广东省长大公路工程有限公司

广东云梧高速公路有限公司

参加编写人员:

蔡兆秋	黄水泉	徐一鸣	邓百洪	孙耀波
洪伟鹏	黄瑞武	胡居义	雷 鸣	张 羽
夏 兼	康良祯	郭伟海	吴章华	李 琦
曾 治	赖培良	黄永茂	吴勋华	周 毅
周玉祥	李伟彬	黄福军	张巍巍	

序 言

广梧高速公路(河口至平台段)是国家高速公路“7918”网第十八横——广州至昆明高速公路的组成部分,同时也是广东省高速公路规划网中的一横——惠州至(广西)梧州高速公路的一段。它的建设能加强广东省西部城镇与珠江三角洲的联系,并对加强广东省与广西、云南、贵州的运输往来,促进“泛珠江三角洲”经济发展,促进社会发展及对完善国家高速公路网和广东省高速公路网都具有重要意义。本项目为广东省交通厅首批科技示范工程,其中双凤至平台段被列入部省联合实施的公路勘察设计典型示范工程。

广梧高速公路地处粤西山岭重丘区,桥隧比例大,地质条件复杂。本项目有广东省在建高速公路中最长的石牙山隧道,有广东省高速公路建设中迄今地质条件最为复杂的茶林顶隧道等。根据本项目隧道建设的特点,项目建设者们根据省交通厅科技示范工程的有关精神,积极开展科技创新,取得了一大批科技成果,攻克了一道道技术难关,保证了本项目所有隧道安全、高质量地顺利贯通。

广东省高速公路建设正不断往山区推进,将涉及越来越多的隧道工程,需要隧道工程建设者们不断学习总结与提高。现在广梧建设者们本着“积极进取,锐意创新”的精神,将隧道建设中取得的科技成果与经验编制成书正式出版,希望在同行中相互交流,共同提高,为广东省乃至全国的隧道建设作出应有的贡献。这是一件好事,我衷心祝愿该书出版后能达到编者们的初衷。在此,谨向《复杂地质条件下隧道施工安全保障技术》一书的正式出版表示祝贺。

广东省交通运输厅厅长: 

目 录

第一章 绪论	1
第二章 广梧高速公路隧道工程概况	4
第一节 地理和地质概况	4
第二节 隧道设计	7
第三章 隧道不良地质体的超前预报方法	10
第一节 概述	10
第二节 隧道地质超前预报的主要物探方法	11
第三节 隧道地质超前综合预报方法	23
第四节 隧道工程中不良地质的评定方法	30
第五节 隧道不良地质及地质灾害处治措施数据库管理系统	36
第六节 工程应用	38
第四章 隧道施工关键工艺参数	44
第一节 概述	44
第二节 隧道台阶法施工的合理台阶长度	44
第三节 隧道二衬合理支护时机	48
第四节 围岩变形预警指标及预警体系	78
第五章 不良地质体对隧道施工的影响及预警体系	98
第一节 隧道施工中的不良地质与地质灾害	98
第二节 不良地质体对洞口边坡稳定性的影响	100
第三节 断层破碎带对隧道稳定性的影响	106
第四节 岩溶对隧道稳定性的影响	109
第五节 隧道施工中不良地质体预警体系	110
第六章 隧道施工灾害应急预案	123
第一节 概述	123
第二节 应急策划	124
第三节 应急准备	126
第四节 应急响应程序	127
第五节 恢复生产及应急抢险总结	128
第六节 隧道施工主要灾害的应急预案	129
后记	142
附录 A 公路隧道施工二衬及仰拱合理支护时机确定指南	145
A.1 总则	145
A.2 支护时机的确定准则及方法	145
A.3 二衬合理支护时机的确定	147

A. 4	爆破控制措施	150
附录 B	复杂地质条件下隧道施工不良地质及地质灾害处治技术指南	154
B. 1	总则	154
B. 2	不良地质段的开挖方案和预支护措施	154
B. 3	隧道穿越岩溶段的预处治技术	158
B. 4	隧道穿越富水地层的预处治技术	164
B. 5	隧道穿越断层破碎带的预处治技术	166
B. 6	隧道穿越膨胀性围岩的预处治技术	168
B. 7	隧道塌方的处治技术	170
附录 C	超前小导管和管棚设计与施工技术	176
C. 1	一般规定	176
C. 2	超前小导管的设计	176
C. 3	超前小导管的施工	177
C. 4	超前管棚的设计	179
C. 5	超前管棚的施工	180
C. 6	注意事项	181
附录 D	注浆设计与施工技术	183
D. 1	一般规定	183
D. 2	注浆堵水总体原则	183
D. 3	注浆方式的选择	184
D. 4	注浆材料的选择	185
D. 5	注浆参数的确定	186
D. 6	注浆施工	187
D. 7	注浆效果评估	188
D. 8	异常情况处理	189
参考文献		190

第一章 绪 论

广梧高速公路是国家重点公路规划(2001.12)第十五横向路线广东省汕尾至云南清水河的一段,其中的河口至平台段起点位于云浮市云城区河口镇,接广梧一期高速公路,终点位于郁南县平台镇古同村,与广西苍梧至郁南高速公路相连,起止桩号为 K36+867.301~K136+071.319,路线全长 99.20km,有隧道 18 座,长约 21km,占整个路线的 21%。沿线地形陡峭,以山地、丘陵为主,约 90%属山岭重丘区,且植被茂密。地质条件复杂,地质构造发育,有罗定—广宁断裂带、罗镜—云浮断裂带,区内褶皱构造十分发育,特别是在震旦系—志留系变质岩地区,褶皱构造更为发育。有岩溶、风化层较厚的花岗岩和层状的砂岩、泥岩及页岩。

隧道穿越段地质条件复杂,勘察、设计和施工难度大、工期长。如茶林顶隧道通过地段,褶皱相对发育,在 K73+010~K73+060 遇断层 F7 破碎带,溶洞发育,岩体破碎,地表有泉水溢出。又如旗山顶隧道所遇岩石为志留系浅变质砂岩、粉砂岩,褶皱、断裂发育,构造相对复杂。石炭系、中泥盆系地层广泛分布可溶性灰岩,是产生岩溶等不良地质问题的主要地层。在潮湿地区,地下水能够充分补给,在岩石裂隙极其发育和裂隙交汇处为岩溶易发地区,可能出现岩溶塌陷、涌水、突水等地质灾害。

为了有效避免或减少隧道施工中发生大规模的塌方、突水等地质灾害,以及为隧道施工中不良地质的处治提供技术指导,2007 年 7 月广东广梧高速公路有限公司确定了“复杂地质条件下隧道施工安全保障技术研究”研究课题,并列入“广东省交通运输厅科技项目(2005-18)”。开展的主要研究工作有:广梧高速公路双凤至平台段隧道地质灾害的类型及分布特征研究、隧道施工关键工艺参数研究、不良地质体的准确超前预报技术及评价方法研究、隧道施工不良地质及地质灾害预警及保障体系研究、隧道施工灾害应急预案的研究、不良地质及地质灾害处治措施数据库管理系统开发。重点攻克了不良地质灾害体的准确超前地质预报组合物探技术、隧道二衬和仰拱合理支护时机及其二衬及仰拱与掌子面的合理间距、隧道围岩变形预警指标的基准值等关键技术。

课题的总体研究思路如图 1-1 所示,取得的主要创新性成果有:

(1)提出了 TSP 法、地质雷达法或瞬变电磁法相结合的公路隧道超前地质预报组合物探技术和工程地质勘察成果、掌子面观察和物探相结合的公路隧道超前地质综合预报方法。梧广高速公路隧道的实践证明,这是适应于公路隧道的较准确且经济合理的超前地质预报方法。

(2)提出了用地质雷达信号衰减程度和 TSP 中弹性波速预报隧道围岩级别的判定依据,并系统总结了地质雷达和 TSP 对典型不良地质的评价方法。

(3)首次提出了隧道台阶法施工的合理台阶长度和上下台阶留核心土法施工的核心土合理尺寸。

(4)首次从二衬支护时机和二衬及仰拱与掌子面的间距两方面确定各级别围岩中隧道二衬及其仰拱的合理支护时机,并提出了考虑各种影响因素的合理支护时机的具体取值或修正公式。

(5)提出了隧道围岩变形预警指标基准值,并提出了预警等级及相应的应急措施和安全保障体系。

(6)全面分析了典型的不良地质对隧道稳定性的影响,为设计和施工处理不良地质体提供了依据。

(7)对不同的不良地质体(岩溶、断层破碎带、富水地层)按其规模、特征以及对隧道施工可能的危害程度进行了分级,首次建立了不良地质的预警和保障体系。

(8)建立了隧道灾害应急预案,提出了隧道典型不良地质和地质灾害处治技术。

(9)首次开发了不良地质及地质灾害处治措施数据库管理系统,并实现了网络化。

根据研究成果,编制了《公路隧道施工二衬及仰拱合理支护时机确定指南》和《复杂地质条件下隧道施工不良地质及地质灾害处治技术指南》,详见本书附录 A 与附录 B。

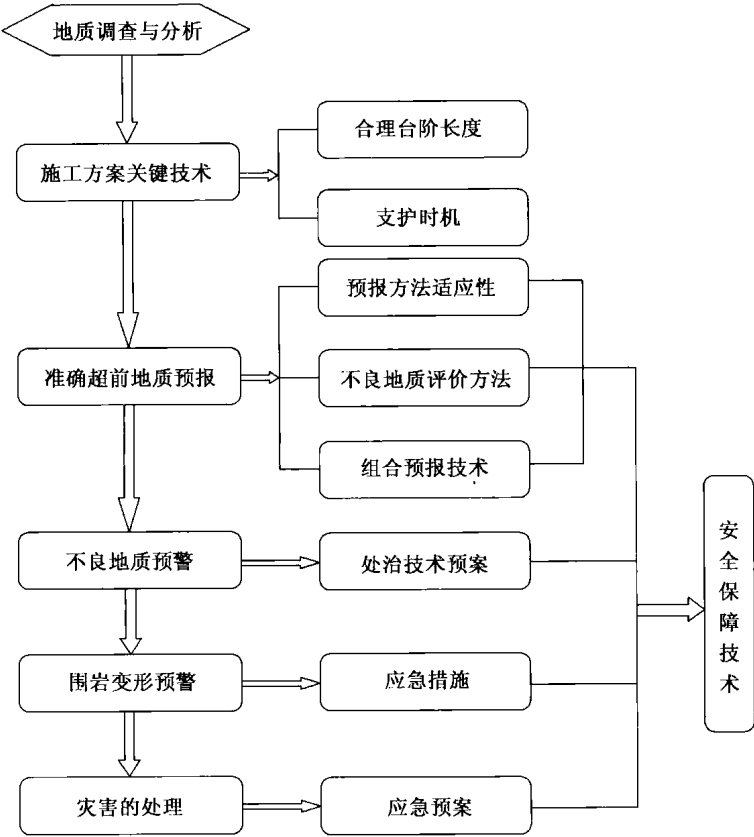


图 1-1 课题的总体研究思路

研究工作紧密结合广梧高速公路隧道建设的实际问题,根据该工程地质条件复杂的特点,通过理论分析、力学计算以及数值模拟计算,对隧道施工中可能出现的灾害进行预测,为后期施工中的预报、处治和预警提供了科学依据。通过理论分析、数值计算等多种手段提出了上下台阶法核心土留置的合理长度和大小,二衬及仰拱合理支护时机及与掌子面的合理的间距,从而避免了前期隧道施工过程中因上下台阶留核心土法核心土留置太小、仰拱与掌子面距离太长、二衬没及时跟上而导致掌子面坍塌、围岩变形过大等情况,有效地减少了因施工不合理而出现的灾害。针对隧道施工中实际揭示的围岩和地勘提供的围岩状况差别较大、不良地质较多、围岩级别变更频繁的问题,对隧道施工准确超前预报组合物探技术进行了系统的研究,建立了不良地质灾害体的评价方法,并用综合超前地质预报方法预报围岩级别,对整个依托工程

的围岩级别进行了全过程的预测,准确性达 62.5%,并成功预报了多处溶洞和破碎带等不良地质段落。根据地质预报长短结合方法,提出了不良地质的三级预警,并提出了相应的管理预案和技术预案,使现场施工人员对掌子面前方不良地质引起足够的重视,并采取积极的预防和应急措施,有效地指导了不良地质段的施工。通过开发的网络版“不良地质及地质灾害处治措施数据库管理系统”,管理人员、施工人员及其他现场人员可以通过查询国内外典型隧道施工不良地质及地质灾害的处治措施,从而可以结合隧道的现场地质特点和灾害的具体情况选择适合的处治措施。研究过程中,针对实际施工中遇到的工程问题,及时地提出相应的处治措施,主要有:①茶林顶隧道洞口处治措施;②茶林顶溶洞处治措施;③次步小净距隧道施工技术;④次步隧道膨胀性围岩施工措施;⑤茶林顶隧道右洞 RK73+870 处突水的处治措施;⑥茶林顶隧道加快施工进度施工方案等。

本科研工作确保了广梧高速公路隧道的施工安全,推动了隧道工程的技术进步,达到减少隧道施工地质灾害、保证人民生命财产安全、构建和谐社会的目的。该科研成果对类似工程具有良好的工程参考价值和较强的理论指导作用,所形成的一系列复杂地质条件下隧道施工安全保障技术均具有较强的实用性和较高的推广应用价值,应用前景十分广阔,必将取得显著的经济效益和社会效益。

第二章 广梧高速公路隧道工程概况

第一节 地理和地质概况

一、自然地理

广梧高速公路河口至平台段分为河口至双凤以及双凤至平台段。鉴于双凤至平台段工程地质条件复杂,因此把双凤至平台段隧道作研究本课题的依托工程。双凤至平台段起讫里程 K71+400~K136+071.319,全长 64.67km。总体呈南东—北西走向,起点位于郁南县东坝镇双凤管理区,向东通过河口至双凤段,接广梧一期高速公路终点,经双凤、茶林顶(隧道)、逍遥口(连滩互通立交、南江大桥)白芒林场、旗山顶(隧道)、中里、鹅公髻(隧道)、大用、宝珠、牛车顶(隧道)、建城(建城互通立交)、息村大山(隧道)、都城(郁南互通立交),终点位于平台镇古同村,与广西苍梧至郁南高速公路相连。

1. 地形地貌

路线东起郁南县东坝镇双凤管理区,西至郁南平台以西粤桂边界。沿线地貌单元可分为山地丘陵、河谷盆地(平原)两大类型,并以低山丘陵为主(约占 90%)。河流主要发源于大云雾山及其余脉,略呈辐射状,多直接或间接汇入西江。较大的河流有南江、建城河等,流向均从南(南西)向北(北东)。

山地丘陵属粤桂边界的云雾山脉部分,千米以上的山岭有大绀山(1 085.5m)、大云雾山(1 140m)等,但更多的为低山(500~1 000m)和丘陵(低于 500m)。山体展布多呈北东~南西走向,并总体由西南向东北倾斜,与路线多为近于垂直关系。地表侵蚀切割强烈,地形相对起伏大,地势较为陡峻。

河谷平原主要为茶林顶西麓—连滩逍遥口(K74~K78)、大用—宝珠(K97~K101)、建城(K118~K126)等地。这些河谷盆地为西江 1~3 级支流冲积而成。盆地中地形平缓,地势略有起伏,河流两岸河漫滩与阶地发育,其中分布第四系松散沉积物,沉积物多为地表水流冲、洪积而成的砂砾和粉砂质黏土,沉积厚度一般小于 20m,连滩盆地中的第四系厚度达 30 余米。

2. 气候

路线区属亚热带季风气候,平均气温 20℃,1 月平均气温 13℃,7 月平均气温 28℃。年降雨量 1 400mm,多集中于夏秋季。春旱、秋末的寒露风和局部的洪涝是主要自然灾害,根据《中华人民共和国公路自然区划图》,本区属于武夷南岭山地过湿区(IV₆ 区)。

3. 水文

河流多发源于大云雾山及其余脉,略呈辐射状,多直接或间接汇入西江。北界、南江、建城河等从南向北注入西江。河流切割强烈;东、西、南三面多高山急流,水力资源丰富。

二、区域地质

1. 区域地质构造

整个区域地质构造包括断裂构造和褶皱构造。

1) 断裂构造

区内断裂构造发育,以北东走向的断裂构造规模较大,其次为北西走向和近东西走向断裂。在北东走向断裂中,延伸较远、影响范围较宽的有罗定—广宁断裂带和罗镜—云浮断裂带,这两条断裂为区域上吴川—四会断裂带和罗定—悦城大断裂的组成部分。

(1)罗定—广宁断裂带。沿罗定盆地北部边缘向北东方向延伸,主要一支经宋桂、佛子坑、南乡,北至西江北岸的悦城、广宁;另一支经连滩、南江口至西江北岸。该断裂带在遥感图像上表现为明显的线性构造特征:直线形、宏观连续、延伸远,并且控制着山体 and 盆地的边界,影响水系的流向,显示其在新生代具有一定的活动性。沿该断裂带,古生界和海西~印支期花岗岩中形成了很宽的韧性剪切糜棱岩带;在云安田心西侧的五指山东坡,见中泥盆统信都组砂岩(西盘)沿断层 F5 逆冲于白垩系红层(东盘)之上。该断裂带对地貌的控制明显,常成为盆地(如罗定盆地、双凤盆地、连滩盆地)与周边山岭之间的界线。断裂早期活动主要表现为逆断层和韧性剪切,晚期主要表现为正断层和脆性变形。断层面倾向南东或北西,倾角 $45^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。

(2)罗镜—云浮断裂带。沿罗定盆地南部边缘罗镜—船步一线分布,向北东方向经茶洞延伸至云浮一带。该断裂带主要表现为逆冲活动,上盘老地层(震旦系和下古生界)推覆于由泥盆系~石炭系组成的下盘之上。断层面平缓起伏,倾向南东或北西,倾角一般小于 30° ,局部 40° 或更陡。

(3) 断层情况如下:

F7:分布于郁南茶林顶,地貌上表现为沟谷,大致在右线 K72+980 处遇该断层,影响带宽 20~30m。断层走向 $NE40^{\circ}\sim 45^{\circ}$,倾向 NW,倾角 $75^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。受断层影响,中泥盆统东岗岭组白云质灰岩破碎,形成构造角砾岩和密集节理带,地表沟谷中有泉水溢出。钻孔岩心显示断层角砾呈棱角、次棱角状,为方解石脉胶结,脉中晶洞及自形方解石发育,反映其晚期活动为张性和正断层特征。

F8:分布于郁南东坝镇虎岩与连滩镇逍遥口之间,大致在 K78+485~K78+520 段遇该断层。断层走向 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$,倾向 NW,倾角 80° 。西盘为志留系板状页岩、粉砂岩等,东盘为泥盆系白云岩、白云质灰岩和粉砂岩,性质上主要表现为逆断层。断层带中岩石破碎,构造片理发育,影响宽度 20~30m。

F9:分布于郁南下用口一带,大致在 K94+070~K94+150 段遇该断层。断层走向 $NE15^{\circ}$ 左右,主断层面倾向 SE,倾角 85° 。断层切割寒武系变质岩地层,破碎带宽 50~58m,其中碎裂岩、硅化、片理化及次一级小断裂发育,主要表现为压扭性和逆断层性质,晚期叠加了正断层活动。

F10:分布于郁南建城陈屋以北,大致在 K107+200 处遇该断层,此外, K106+580~K106+760 段和 K107+050~K107+220 段与该断层平行或小角度斜交。断层走向总体呈 $NE30^{\circ}$ 左右(局部走向 NNW),倾向以 NW 为主(局部倾向 NE),倾角 $60^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。断层带中构造角砾岩发育,并有硅化现象。断层东盘为寒武系,西盘为上白垩统,主要表现为正断层性质。

F11:分布于郁南建城以西,出露于左线 K115+575~K115+582 段。切割寒武系地层,表现为 5~6m 宽的断层硅化带。走向 $NNE5^{\circ}$ 左右,倾向 SEE,倾角 45° 左右。

上面两断裂由若干条断层组成(如 F7、F11 等),宏观上表现为断裂束,且多与路线近于垂直,因断裂经过路线地段岩石破碎、片理等发育,部分可能成为地下水通道,对工程产生一定影响。

根据《广梧高速公路河口至平台段工程场地地震安全性评价报告》,上述断裂控制着地形地貌及岩浆活动,并形成断陷盆地,但“断裂带在第四纪以来活动有所减弱”,因此,对上述断裂可不考虑其活动性。

2)褶皱构造

区内褶皱构造十分发育,特别是在震旦系~志留系变质岩地区,褶皱构造更为发育。并且,常见紧闭型和同斜倒转背、向斜构造,褶皱轴向主要为北东向,两翼岩层倾向北西或南东,倾角 50°~75°,较大规模的有郁南中里~下用口之间的以寒武系为核的胭脂岭背斜。泥盆系~石炭系地层往往形成开阔型褶皱,局部为紧闭型褶皱,较大的褶皱如郁南双凤地区发育的以中泥盆统东岗岭组白云质灰岩为核的向斜,向斜轴向北东,北西翼岩层倾向南东,南东翼岩层倾向北西,倾角 40°~50°。上三叠统和白垩系地层往往构成开阔型和平缓型褶皱。如云安金子窝一带由上三叠统小云雾山组煤系地层构成的向斜,北西翼岩层倾向南东,南东翼岩层倾向北东,倾角一般 30°~45°。郁南建城盆地的白垩系则形成一个平缓的向斜,南东翼岩层倾向北东,北西翼岩层倾向南东,倾角 20°~25°。由于褶皱总体走向为 NE 向,总体与路线大致垂直,轴部与路线相交处,多表现为破碎或出现一些挤压片理,甚至虚脱部位可能成为地下水通道,对工程产生一定影响。

2. 地层岩性

路线所在区域各种地层发育,自老而新依次有寒武系、志留系、中~上泥盆统、白垩系和第四系;其岩性多变,包括片岩、千枚岩、板岩、炭质板岩和砾岩、砂岩、粉砂岩、页岩、泥岩及灰岩、白云质灰岩、泥灰岩,此外还有火山碎屑岩(具体地层层序及岩性见表 2-1)。所遇岩浆岩体包括海西~印支期花岗岩和燕山期花岗岩类。地表的岩石风化普遍强烈,灰岩溶蚀明显。对工程影响较大的岩层主要为中泥盆统白云质灰岩、下石炭统灰岩和煤系、部分上三叠统的泥岩和炭质页岩,以及较厚的第四系残积土。

双凤至平台地段地层层序及岩性表 表 2-1

系	统	群(组)	符号	岩 性 简 述
第四系			Q	冲、洪积粉砂、黏土及砂、砾石,残坡积粉砂、黏土,湖沼沉积淤泥、黏土等
白垩系	上统	闸江群	K ₂	紫红色凝灰质砂页岩及砂砾岩、暗绿色火山角砾岩
泥盆系	上统	榴江组	D _{3l}	下部为灰岩、泥质灰岩,上部为页岩、粉砂岩夹硅质岩、砂岩
	中统	东岗岭组	D _{2d}	块状白云岩、白云质灰岩夹细砂岩、薄层灰岩
志留系	下统	连滩组	S ₁	灰黑色致密含炭质板状页岩、薄层黄灰色粉砂岩及灰白色细砂岩等
寒武系		八村群	Є	底部为炭质板岩,向上变为浅变质砂岩、粉砂岩、千枚岩、云母片岩等

3. 水文地质

路线所在区地下水赋存类型,有基岩裂隙水及松散层孔隙水。基岩裂隙水分布于丘陵区,地下水位随地形及季节有较大变化,一般埋深较大,仅坡脚偶尔有出露,涌水量小。松散层孔隙水,分布于平原区,含水层为砂砾层及坡残积层。其中砂砾层为弱承压水,坡残积层为潜水,涌水量中等,地下水受大气降雨直接补给,以渗流的形式向沟谷排泄。

第二节 隧道设计

一、隧道分布

广梧高速公路按双向四车道高速公路修建,设计速度为 80km/h。双凤至平台段(K71+400~K136+071.319)全长 64.67km,全线共设置 13 座隧道,隧道总长约 12.69km,占道路总长的 19.6%。隧道分布情况见表 2-2。隧道通风卫生标准:对于 CO 允许浓度,隧道内车辆正常运行时为 258ppm,交通阻塞,短时间内(20min)为 300ppm;烟尘允许浓度为 0.007mg/m³。

双凤至平台段各合同段隧道情况 表 2-2

编号	隧道名称	隧道起讫桩号	备 注
1	茶林顶隧道	左线 LK71+562~LK74+253,长 2 691m 右线 RK71+640~RK74+240,长 2 600m	分离式隧道
2	三家寨隧道	K82+524~K82+650,长 126m	连拱隧道
3	旗山顶隧道	左线 LK84+678.56~LK86+630.15,长 1 951.59m 右线 RK84+674.46~RK86+625.15,长 1 950.69m	洞口小净距,中间分离式
4	石排口隧道	LK90+444~LK90+548,长 104m	半路半隧,隧道位于左线
5	鹅公髻隧道	左线 LK90+619.24~LK93+749.9,长 3 130.66m 右线 RK90+628.26~RK93+741.38,长 3 113.12m	洞口小净距,中间分离式
6	白石坑隧道	左线 LK94+423.818~LK94+575.381,长 151.563m 右线 RK94+414~RK94+557,长 143m	连拱隧道
7	黄茅村隧道	K94+882.09~K95+085,长 202.91m	连拱隧道
8	牛车顶隧道	左线 LK100+740~LK103+243,长 2 503m 右线 RK100+775~RK103+232.9,长 2 457.9m	洞口小净距,中间分离式
9	亚婆髻隧道	左线 LK106+320~LK106+785,长 465m 右线 RK106+317.32~RK106+780.26,长 462.94m	分离式隧道
10	息村大山隧道	左线 LK114+696.42~LK115+324.58,长 625.16m 右线 RK114+753~RK115+380,长 627m	分离式隧道
	百路须隧道	左线 LK115+613~LK115+823.64,长 210.64m 右线 RK115+620~RK115+840.64,长 220.64m	小净距隧道
	正涌隧道	K116+698.58~K116+970,长 271.42m	连拱隧道
11	次步隧道	左线 LK132+759~LK133+015,长 256m 右线 RK132+765~RK133+005,长 240m	小净距短隧道

二、内轮廓设计

根据建筑限界要求,充分考虑衬砌结构受力特性、工程造价、装饰厚度及富余空间、运营设施的安装空间等因素,设计的隧道建筑限界及内轮廓为:隧道净宽为 0.75m+0.5m+2×3.75m+0.75m+0.75m=10.25m;建筑限界高为 5.0m;内轮廓净高为 6.97m;内轮廓净宽为 10.86m。隧道内轮廓如图 2-1、图 2-2 所示。

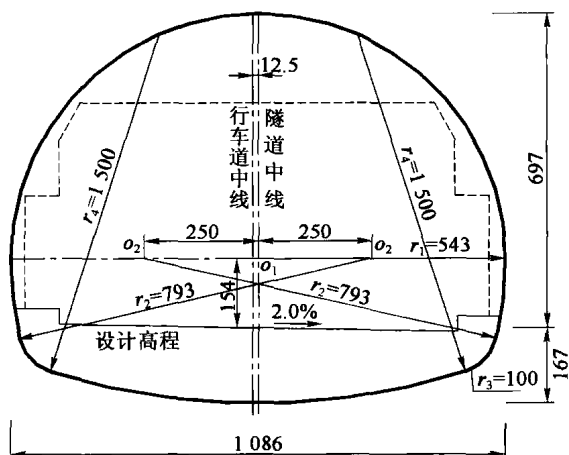


图 2-1 隧道内轮廓(带仰拱)

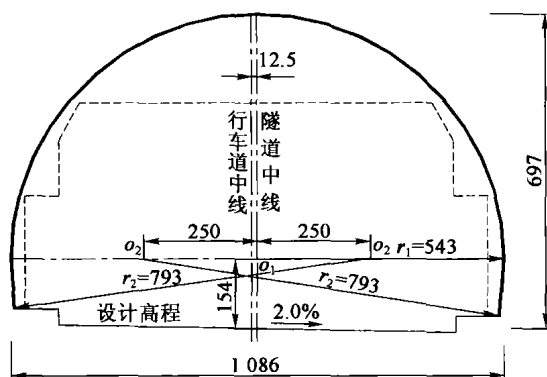


图 2-2 隧道内轮廓(不带仰拱)

三、洞口和洞身结构设计

根据洞口地质、地形情况,结合环保景观需要,洞口设计主要采用削竹式洞门和端墙式洞门。

隧道洞身结构按新奥法原理采用复合式衬砌,初期支护采用喷锚支护,二次衬砌采用模筑混凝土曲墙式衬砌。支护参数见表 2-3。

隧道支护参数表

表 2-3

围岩 级别		初 期 支 护							二次衬砌(cm)		预留 变形量 (cm)	超前 支护
		C20 喷 混凝土 (cm)	锚杆				钢筋网 (cm×cm)	格栅或 工字钢架 (m)	拱墙	仰拱		
			直径 (mm)	长度 (m)	位置	间距 (m)						
V		25 (含仰拱)	φ25 中注式	3.5	拱墙	1×0.75	φ6 20×20	格栅 (0.75)	45	45	12	小导管
IV		21	φ22 药卷式	3.0	拱墙	1.2×1	φ6 25×25	格栅 (1.0)	40	40	8	钢插管
III		10	φ22 药卷式	2.5	拱墙	1.2×1.2	φ6 25×25	—	35	—	5	—
II		5	φ22 药卷式	2.5	局部	—	—	—	30	—	—	—
偏 压	V	26 (含仰拱)	φ25 中注式	3.5	拱墙	1×0.5	φ8 20×20	I20a (0.5)	50	50	—	小导管
	IV	23 (含仰拱)	φ25 中注式	3.0	拱墙	1.2×0.75	φ8 20×20	格栅 (0.75)	50	50	—	钢插管

四、防排水设计

隧道防排水遵循“防、排、截、堵相结合,因地制宜,综合治理”的原则,保证隧道结构物和营运设备的正常使用和行车安全。

1. 洞内防水

衬砌混凝土采用防水混凝土,其抗渗强度等级不小于 S8。隧道洞身、行人、行车横通道及其他各种附属洞室,衬砌背后均设置防水层,防水层采用 PVC 复合防水板(300g/m²无纺布+1.2mm 厚 PVC 防水板)。隧道衬砌管沟盖板底以上的所有纵、横施工缝,有仰拱地段,仰拱与边墙及仰拱与仰拱间横向施工缝均设置钢板止水带。

2. 洞内排水

洞内设双侧排水沟,管沟与排水沟分开独立设置。在侧沟两侧沟壁上设置泄水孔,将衬砌背后及路面下地下水引入侧沟排除,侧沟每间隔 50m 设置沉砂井一处。在两侧边墙底部,衬砌混凝土与喷射混凝土之间沿隧道纵向全长各设置一根 $\phi 80\text{mm}$ 圆形盲沟排水管。隧道环向按 20m 一处,在围岩与喷射混凝土之间设置横向 140mm $\times$ 30mm 扁形排水盲沟,集中出水处间距适当加密。隧道二次衬砌环向施工缝,在其背后喷射混凝土与防水板之间设置 140mm $\times$ 30mm 扁形排水盲沟。在隧道路面基层下设置纵横向 60mm $\times$ 50mm 扁形排水盲沟。对于沥青混凝土路面地段,横向盲沟的间距从 9m 加密到 3m。衬砌背后集中出露的股水,可用聚氯乙烯管将其直接引入侧沟内排除。

3. 洞外排水

隧道洞口仰坡外设截水沟,截水沟离开坡顶距离不小于 5.0m。

五、路面、内装及紧急停车带设计

1. 路面设计

隧道进洞口 300m 范围与洞外一致,采用沥青混凝土路面,其余路段采用水泥混凝土路面。隧道洞内水泥混凝土路面厚度为 30cm,路面下铺设 15cm 厚混凝土基层。有仰拱地段,基层铺设在仰拱填充上;无仰拱地段,基层铺设在 10cm 厚 C20 混凝土的整平层上。隧道洞内沥青混凝土路面 10cm 厚沥青层与洞外一致,沥青层下铺设 24cm 厚水泥混凝土面板。有仰拱地段,基层铺设在仰拱填充上;无仰拱地段,基层铺设在 C20 混凝土的整平层上。隧道内混凝土路面设纵向刻槽抗滑。

2. 内装设计

隧道高度由路面起 4m 以下两侧边墙内壁铺状浅色瓷砖。拱部喷涂深色防水涂料,耐火极限为 3h。

3. 紧急停车带设计

对长、特长隧道在行车方向的右侧设置紧急停车带。紧急停车带的设置间距不大于 750m。紧急停车带有效长度 30m,全长 41m,宽度较正常地段加宽 2.75m。紧急停车带与正常地段衬砌断面的连接,为便于正常施工,采用直角错台增设堵头墙连接方式。

第三章 隧道不良地质体的超前预报方法

第一节 概述

隧道超前地质预报关心的主要地质问题有三个：一是地质构造软弱带问题，包括断裂、溶洞、破碎带等不良地质的性质、规模、位置及产状等；二是含水体问题，包括含水断裂、含水溶洞、含水松散体等的位置、规模、水压大小等；三是掌子面前方岩土介质级别的变化问题。这三个问题都是工程物探的难点问题。

超前地质预报的具体内容主要包括：

(1)不良地质体及灾害地质体的探测和预报，如掌子面前方一定范围内有无突水、突泥、岩爆及有害气体等，并查明其范围、规模、性质。

(2)不良水文地质条件预报。

(3)断层及其破碎带的探测和预报，如断层位置、性质、宽度、产状、充填物状态，是否充(含)水。

(4)围岩级别及其稳定性预报。

相对于地面物探而言，隧道超前探测一般距离目标体较近，有利于探测精度和准确性的提高。但是由于隧道内空间的限制和许多干扰因素的存在，使得很多物探方法不能得到有效的应用，因此，探测方法的选择、现场观测方式的布置以及信号最佳激发方式和接收方式的确定等方面成了超前地质预报的难点。多年的应用实践表明，合理运用地震反射波法、电磁波透视法、地质雷达法、直流电法、瑞雷波法等探测方法，可以有针对性地解决一些具体的地质问题，但在探测精度、准确性和探测距离等方面仍然存在许多问题。

目前，地质超前探测研究的发展趋势是探测方法综合化，仪器设备安全、轻便化，理论模拟三维化，资料处理可视化，在不断提高超前探测精度和准确性的前提下，试图增大超前预报的距离，为地质灾害的预防和隧道方案优化设计提供科学依据。

超前地质预报工作是隧道施工中必须要做且必不可少的工作。通过对掌子面前方进行地质预报，探测到围岩不良地质与软弱围岩的范围，并进一步划分围岩级别，及时提出调整支护参数或加固措施建议，在好的围岩段减弱支护节省工程投资，而在差的围岩段加强支护确保安全，真正实现隧道的动态信息化施工管理，尽量避免或减少工程事故以及由此所造成的不必要的人力、物力、财力浪费，使隧道建设的投资分配更加合理，保证施工安全和工程质量，加快施工进度，缩短工期。

综上所述，为了适应复杂的地质环境需要和克服多种不利因素的影响而诞生出多种地质超前预报方法，但是要想选用适当的预报方法进行隧道不良地质体的精确超前预报，掌握隧道各主要预报方法和特性是开展地质超前预报的前提和基础。