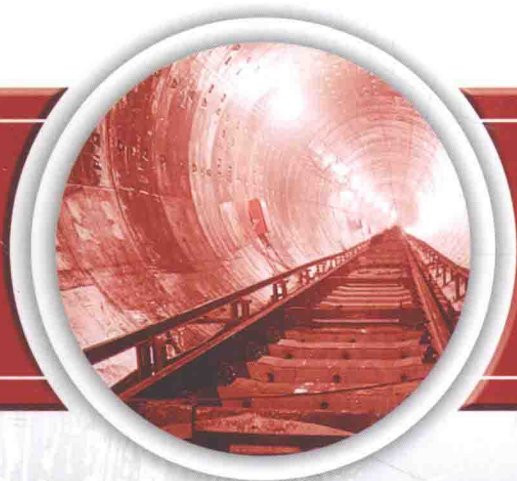




“十二五”国家重点图书出版规划项目
中国重大隧道及地下工程建设项目技术总结

NINGBO YUWANGLING METRO TUNNEL
CONSTRUCTION TECHNOLOGY

宁波育王岭地铁隧道 施工技术



朱瑶宏 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

“十五”国家重点图书出版规划项目

——大型隧道及地下工程建设项目技术总结

NINGBO YUWANGLING METRO TUNNEL
CONSTRUCTION TECHNOLOGY

宁波育王岭地铁隧道 施工技术

朱瑶宏 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书以现行的地铁隧道设计、施工、验收、风险评估规范等为依据,以宁波育王岭地铁隧道为工程实例,系统地阐述了地铁隧道设计、施工、风险控制、超前预报等基本理论。本书共七章,内容有绪论、新奥法隧道设计、隧道施工关键技术、爆破施工动力响应与控制措施、风险评估和风险控制措施、超前地质预报、隧道监控量测关键技术。

本书概念清晰、简明扼要,可作为从事地铁隧道设计、施工、风险评估、超前预报、监测等工作人员的参考用书,也可作为高等院校隧道工程专业高年级学生选修用书。

图书在版编目(CIP)数据

宁波育王岭地铁隧道施工技术/朱瑶宏编著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.3

ISBN 978-7-114-13647-4

I. ①宁… II. ①朱… III. ①地铁隧道—隧道施工—宁波 IV. ①U231.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第010232号

书 名: 宁波育王岭地铁隧道施工技术

著 者: 朱瑶宏

责任编辑: 吴燕伶

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

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: 16.25

插 页: 1

字 数: 351千

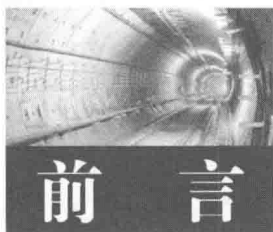
版 次: 2017年3月 第1版

印 次: 2017年3月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-13647-4

定 价: 80.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)



本书写作想法起源于宁波育王岭地铁隧道的成功贯通，希冀将其中建设之经验作为总结。

宁波育王岭地铁隧道作为宁波市轨道交通1号线二期的重点控制性工程，以矿山法工法施工，全长1380m，于2014年9月30日上午正式贯通。该隧道周边环境特殊，处于萧甬铁路和全国重点文物保护单位阿育王寺附近，施工难度大，安全风险高。

本书以宁波育王岭地铁隧道施工关键技术为主线，增添必要的理论知识作为支撑，使之看上去简洁明了、逻辑清晰而又不失完整性。

本书主要从隧道设计及施工过程中的关键性技术和施工重难点出发，对育王岭地铁隧道设计施工全过程做了详细阐述，可以作为该类型隧道施工典范。第一章主要介绍了育王岭地铁隧道的工程概况以及当前的隧道设计方法。第二章介绍了新奥法在育王岭地铁隧道施工中的具体应用。第三章介绍了爆破方案的确定、穿越断层破碎带的施工和阿育王寺建筑物保护关键技术。第四章研究了爆破施工对阿育王寺主要建筑物的影响，并对建筑物的动力响应特性进行数值模拟分析。本书后三章则对施工过程中风险评估体系、超前地质预报、监控测量做了详细阐述。

本书从理论知识出发，后附之育王岭隧道施工实践，可谓深入浅出，是一本很好的施工技术实用书籍。希望本书的出版能为我国隧道建设者提供宝贵的经验。

本书由宁波市轨道交通工程建设指挥部朱瑶宏编著，在编写过程中得到了浙江华东工程安全技术有限公司、湖南科技大学、中铁十六局集团有限公司、郑州大学等单位的支持，在此表示感谢。

欢迎批评和指正。

编者
2016年10月



第一章 绪论	1
第一节 隧道工程发展现状.....	2
第二节 育王岭隧道工程概况.....	3
第三节 工程地质水文条件.....	4
第四节 当前隧道设计方法和施工工艺.....	11
本章参考文献.....	17
第二章 新奥法隧道设计	19
第一节 设计的依据和要求.....	22
第二节 隧道施工工法的确定.....	23
第三节 隧道门洞形式的选择.....	27
第四节 隧道过渡段地基不均匀沉降的处理.....	29
第五节 隧道防排水方案的确定.....	31
第六节 隧道初支与二次衬砌结构设计.....	38
第七节 建筑物保护.....	48
第八节 小结.....	49
本章参考文献.....	50
第三章 隧道施工关键技术	51
第一节 隧道技术参数及施工标准化.....	54
第二节 爆破设计方案.....	59
第三节 穿越断层破碎带施工方案.....	70
第四节 隧道工法转换.....	76
第五节 隧道中隔墙施工方案.....	79
第六节 隧道控制测量.....	80
第七节 阿育王寺建筑物保护关键技术.....	82

第八节 小结	93
本章参考文献	94
第四章 爆破施工动力响应与控制措施	95
第一节 爆破震动特性	96
第二节 结构动力响应与振型分析	106
第三节 隧道爆破施工控制技术	116
第四节 小节	128
本章参考文献	129
第五章 风险评估和风险控制措施	131
第一节 风险概率体系概述	134
第二节 风险评估所使用方法及标准	136
第三节 风险辨识结果	142
第四节 风险评估结果	147
第五节 相关风险控制及应对措施	161
第六节 重大风险源列表	168
第七节 重大风险源对应风险事故预防及应急措施	168
第八节 小结	174
本章参考文献	174
第六章 超前地质预报	177
第一节 超前地质预报的目的与内容	179
第二节 超前预报方法	182
第三节 超前预报成果	194
第四节 预报成果验证	200
第五节 小结	208
本章参考文献	209
第七章 隧道监控量测关键技术	211
第一节 隧道监控量测	213
第二节 监控体系运行管理	215
第三节 爆破震动监测结果及其分析	232
第四节 小结	252
本章参考文献	253



第一章 绪论

第一节 隧道工程发展现状

我国隧道及地下工程事业自 20 世纪 80 年代以来,特别是进入 21 世纪以来,得到了快速发展。随着经济的持续发展、综合国力的不断提升及高新技术的不断应用,我国隧道及地下工程得到了前所未有的迅速发展。近年来,由于城市人口的急剧增长以及复杂的国际局势和我国周边态势,为解决人口流动与就业点相对集中给交通、环境等带来的压力,满足国家环境和局势变化需求,修建各种各样的隧道及地下工程(如城市地铁、公路隧道、铁路隧道、水下隧道、市政管道、地下能源洞库等)成为必然趋势,这给隧道及地下工程的发展建设带来了机遇。隧道及地下工程事业的发展有利于国土资源的充分开发利用,具有环保和节能优势,特别是在改变我国水资源条件及油气能源储备等方面,具有重要的作用,但是同样面临着诸多严峻的挑战^[1]。

近 10 年来,我国隧道及地下工程建设事业有了较快的发展,不仅表现在隧道数量、隧道长度的增长上,而且在技术上也得到了快速发展,在各种工法的应用方面也有不断突破。钻爆法是隧道工程传统的开挖方法,已经有近 200 年的历史。由于隧道掘进钻爆法施工具有经济、高效以及对地质适应能力强的明显优势,所以至今仍是我国隧道掘进施工中最重要和最常用的技术手段^[2]。

钻爆法也称钻孔爆破法,是通过钻孔、装药、爆破来开挖岩石的方法。最原始的岩石破碎是先用锤击岩石,然后根据热胀冷缩的原理,用木材烧热岩石,随后再用冷水浇淋,造成岩石碎裂。随着黑火药在军事上的发展使用,1627 年 Kasper Weinde 首先在匈牙利使用黑火药进行了矿山岩石巷道的爆破,这是爆破法第一次应用于隧道工程施工。经过 100 多年的发展,钻爆法得到了迅猛发展,先后出现了喷锚支护、控制爆破、新奥法等技术,使得隧洞施工迈向全断面、大断面、机械化、高效率的发展方向^[3]。

经过多年的基础工程建设和研究,采用钻爆法施工的隧道及地下工程结构设计理论正逐步形成一门完善的学科理论。到目前为止,结构设计的发展大致经历了古典压力理论、弹塑性力学理论、新奥法理论、能量支护理论几个阶段。

新奥法是应用岩体力学理论,以维护和利用围岩的自承能力为基点,采用锚杆和喷射混凝土为主要支护手段,及时进行支护,控制围岩的变形和松弛,使围岩成为支护体系的组成部分,并通过对围岩和支护的量测、监控来指导隧道施工和地下工程设计施工的方法和原则。Rabcewicz 最早把新奥法思想应用于奥地利阿尔卑斯山深埋硬岩隧道建设,采用柔性支护旨在充分利用“拱效应”——地层的自承能力;20 世纪 60 年代中期, Muller 把新奥法应

用于城市地铁软岩(土)隧道,认为新奥法用于硬岩隧道和软岩(土)隧道开挖时应有所区别;1964—1969年,Rabczewicz提出了岩石压力下隧道稳定性的理论分析,强调采用薄层支护,并及时修筑仰拱以闭合衬砌的重要性,根据试验证实,衬砌应按剪切破坏进行设计计算。我国在20世纪70年代引入新奥法,并得到迅速推广,取得了良好的技术经济效果。在软岩(土)隧道新奥法施工中,提出了既全面又科学的“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”的十八字方针,避免了照搬硬岩隧道新奥法经验的弯路^[3]。

据中国铁路总公司工程设计鉴定中心统计:截至2015年年底,全国在建铁路隧道3784座,总长8692 km;规划隧道4384座,总长9345 km;运营隧道13411座,总长13038 km。2015年新增开通运营铁路隧道1316座,总长2160 km,其中10 km以上隧道18座,总长245 km。

截至2016年年底,中国大陆建成投运地铁的城市已达28个,分别为:北京、天津、上海、广州、武汉、深圳、南京、成都、沈阳、佛山、重庆、西安、苏州、昆明、杭州、哈尔滨、郑州、长沙、宁波、无锡、大连、青岛、南昌、福州、东莞、南宁、合肥,总里程超过3500 km。在开通运营的地铁线路上,客流量基本“爆满”。北京、上海、广州、深圳、重庆、成都、南京等城市,基本形成多线网络运营,其中,北京、上海的地铁运营里程均已超过500 km^[4]。

随着我国隧道及地下工程建设事业的较快发展,隧道修建技术水平有了明显的提高^[5, 6],表现在项目规划、勘测设计、施工建造和运营管理等各个方面,特别是应用领域全方位拓展,建设方法及手段也是“不拘形式、实效为主”。隧道及地下工程不再是“单一工程设计”概念,任意一项隧道或地下工程的规划与设计,必须要结合环境保护、工程风险与造价、运营舒适度以及全生命周期进行系统性的评价。

第二节 育王岭隧道工程概况

宁波市轨道交通1号线二期工程育王岭隧道为宝幢站—乌隘站区间的一部分,两侧与高架区间连接,线路出宝幢站后,采用高架形式沿既有北仑铁路支线南侧向东敷设,上跨天宝公路后,经过育王公墓三墓园,在其北侧进洞,穿越育王岭山脊,出洞后再次以高架形式上跨既有北仑铁路支线。

隧道进口里程为K30+730,出口里程为K32+110,全长1380m。隧道最大埋深约137m,除洞口段外均为深埋隧道。隧道设置人字坡,坡度分别为12‰和-5‰。隧道采用钻爆法进行开挖施工,衬砌结构采用新奥法原理设计,复合式衬砌。隧道采用单洞双线结构,结构外轮廓为11.7m×10.3m(宽×高)。

育王岭隧道进洞口西侧为居民区及工厂,南侧分布较多的墓地,有一条排水沟沿进口段通过,总体走向为南北向,宽度1.5m左右,深度1m左右,在进洞口顶部K30+784~K30+800处有一通信塔。

育王岭隧道南侧为沙堰村、沙堰三墓园、在建小型水库等,北侧依次为萧甬铁路北仑支

线、329 国道、阿育王寺。萧甬铁路附近存在军用光缆。隧道出口经高架桥跨越既有铁路。育王岭隧道与阿育王寺核心保护区、北仑铁路支线的平面位置关系见图 1-1。



图 1-1 育王岭隧道平面图

萧甬铁路北仑支线是 1984 年修建的单线货运铁路线。育王岭隧道主方向与铁路大致平行,但中间段为了远离阿育王寺文物而适当绕行,同时也远离了铁路,隧道出洞口距离既有铁路北仑支线较近,最近处大约 64m,铁路高程比隧道底板低 20m 左右。隧道中间段距铁路最远处约 340m。

育王岭隧道进洞口距离国家级文物保护单位阿育王寺核心保护范围最小距离约 99m,出口方向逐渐远离阿育王寺。阿育王寺是我国禅宗名刹,“中华五山”之一。由于寺内珍藏着一座名闻天下的佛祖舍利宝塔而享誉中外佛教界。阿育王寺也是国内现存的唯一以印度阿育王命名的千年古刹,1983 年被国务院确定为汉族地区佛教全国重点寺院,2006 年 6 月被国务院公布为第六批全国重点文物保护单位。

第三节 工程地质水文条件

隧道所处地理位置属丘陵地貌,地形起伏较大,路线横穿山脊,沿线地形地势特点纵向为中间高、两侧低,横向为北侧高、南侧低,高程为 20 ~ 175m。本项目地处我国东部沿海地区,属亚热带季风湿润气候区,季风显著,四季分明,雨量充沛,日照充足,无霜期长,夏秋季受台风灾害性天气影响频繁,海平面 10m 高度百年一遇设计风速为 46.5m/s。年平均气温 16.9 ~ 17.6℃,8 月最热,1 月最冷,年平均温差较小。极端最高气温 39.0℃,极端最低气温 -5.2℃。多年平均降水量 1558.4mm,降水与蒸发基本平衡。降水集中在 5 ~ 7 月梅雨季节和 8 ~ 9 月台风季节,冬季少雨。年平均日照 1900 多小时。

一、地质构造

1. 大断裂

根据区域地质资料,对隧道区内构造性质、规模及发育程度起控制作用的主要断裂为镇海—宁海大断裂(F9)。该断裂北起镇海,往南经奉化、宁海终止一带,为正断层,总体走向 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 左行断裂逆冲走滑断层构成。该断裂破碎带在隧址区西南侧通过,本次在宝幢站—育王岭隧道入口区间段揭露该断裂,距拟建隧道最近距离约500m,走向与线路斜交,未通过隧道区,对隧道岩体完整性、稳定性影响较小。该断裂为区内主要的断裂,该断裂层为非全新活动断裂。

2. 断层破碎带和节理裂隙密集带

经工程地质调绘,结合物探成果,钻探揭示,隧址区内发现的对隧道开挖有一定影响的次级断层和节理裂隙密集带共有10条,断层性质不明;受区域断裂及次级断层的影响,区内节理,裂隙发育,产状变化较大。断层破碎带与节理裂隙密集带的主要区别在于,断层两个盘岩层顺破裂面发生明显的位移,其对围岩的稳定性影响更大。

断层破碎带:青灰色、灰绿色、灰紫色,熔结凝灰岩或流纹斑岩,受断层破碎作用影响,呈碎裂结构,风化较为强烈,节理裂隙发育,多为共轭节理,岩芯多为岩粉、碎块状、块状,岩体破碎,有渗水现象,沿破碎带基岩普遍发育铁锰质薄膜,可见方解石细脉充填。岩石可见绿泥石化、碳酸盐化、绿帘石化等。

F2断层:位于洞身K31+205~K31+230地段,物探发现此处存在低电阻,推测为一北西向断层,断层产状近直立,宽约8m,斜交通过隧道,根据物探推测情况推算,在该区域附近的Q4-2XZ9号钻孔在深度85m左右揭露,但该钻孔深度 $82.50\text{m} < 85\text{m}$,未能揭露。从工程安全角度考虑,F2断层破碎带对隧道施工有一定的影响,施工时应引起注意。

F6断层破碎带:在出洞口K32+011~K32+110地段,物探成果显示该区域为低阻带,在该区域Q4-2XZ15号钻孔揭露深度范围31.30~32.80m,Q4-2XZ18号钻孔揭露深度范围8.00~13.00m。综合物探、钻探和区域地质资料分析,F6断层破碎带的产状为 $320^{\circ} \angle 60^{\circ}$ 与隧道近平行并通过隧道,根据钻孔揭露的断层岩芯表明,在F6断层破碎带通过地段的基岩破碎,以青灰色、灰绿色为主,碎裂结构,风化较为强烈,节理裂隙发育,多为共轭节理,岩芯多为岩粉、碎块状、块状,少量短柱状,岩体破碎,有渗水现象,沿破碎带基岩普遍发育铁锰质薄膜,可见方解石细脉充填。对隧道开挖影响较大,爆破施工时易坍塌或崩塌。

F7断层破碎带:位于K31+850~K32+110地段,物探成果显示该区域为低阻带,在该区域Q4-2XZ13号钻孔揭露深度范围7.80~14.30m、Q4-2XZ16号钻孔揭露深度范围10.00~14.30m。综合物探、钻探和区域地质资料分析,断层破碎带的产状为 $110^{\circ} \angle 55^{\circ}$,根据钻孔揭露的断层岩芯表明,在F7断层破碎带通过地段的基岩破碎,多以青灰色、灰绿色为主,碎裂结构,风化较为强烈,节理裂隙发育,多为共轭节理,岩芯多为岩粉、碎块状、块状,少量短柱状,岩体破碎,有渗水现象,沿破碎带基岩普遍发育铁锰质薄膜,可见方解石细脉充

填。F7 断层破碎带在 Q4-2XZ14 号钻孔北侧附近被本区域主要断层破碎 F8 错断,与隧道近平行,与出口段的 F6 近平行。该断层破碎带与 F6 性质相近,对隧道开挖影响较大,施工时易坍塌或崩塌。

F8 断层破碎带:物探成果显示在 Q4-2XZ14 号钻孔处沿两侧冲沟方向延伸的区域为低阻带,影响里程范围 K3+965 ~ K3+011,在该区域 Q4-2XZ14 号钻孔揭露深度范围 12.80 ~ 17.40m、Q4-2XZ22 号钻孔揭露深度范围 22.80 ~ 41.10m。综合物探、钻探和区域地质资料分析, F8 断层破碎带的产状为 $260^{\circ} \angle 65^{\circ}$,该断层破碎带为隧址区主要断层,与隧道大角度斜交,其斜切 F7 断层破碎带。钻孔揭露的断层岩芯表明,在 F8 断层破碎带通过地段岩芯破碎,灰紫色、青灰色、灰绿色,碎裂结构,风化较为强烈,岩芯多为岩粉、碎块状、块状,少量短柱状, Q4-2XBZ22 号钻孔揭示的 22.80 ~ 41.10m 破碎带由构造角砾或透镜体、糜棱岩等组成,破裂的岩块间具摩擦镜面、擦痕等,局部片理化或发育绿泥石化蚀变,对隧道开挖影响较大,施工时易造成双拱顶或侧壁坍塌。

节理裂隙密集带:青灰色,灰绿色,灰紫色,基岩主要为熔结凝灰岩或流纹斑岩,受节理密集带影响,基岩呈碎裂结构,节理裂隙发育,多为共轭节理,岩芯多为碎块状、块状,局部为短柱状,岩体较破碎,有渗水现象,沿节理面普遍发育铁锰质薄膜,可见方解石细脉充填,岩石可见绿泥石化、碳酸盐化、绿帘石化等。

J1 节理裂隙密集带:位于洞身 K30+995 ~ K31+015 地段,物探发现此处存在低电阻,推测为节理裂隙密集带,倾角多为 $65^{\circ} \sim 80^{\circ}$,与隧道大角度相交,在该区域 Q4-2XZ8 号钻孔揭露深度范围 66.00 ~ 76.00m。根据钻孔揭露的岩芯表明,在 J1 通过地段岩芯较破碎,青灰色,碎裂结构,岩体呈中等风化状态,节理裂隙较发育,多为共轭节理,岩芯多为块状,少量短柱状。因此,该区段受节理裂隙密集带影响,隧道开挖时岩体易形成楔形体,施工时易碎掉。

J3 节理密集带:位于隧道洞身 K31+240 ~ K31+253 处,物探测试存在低电阻,推测为节理裂隙密集带,倾角多为 65° 左右,与隧道斜交,因此,该区段受节理裂隙密集带影响,推测在该段隧道开挖时,岩体易形成楔形体,施工时易碎掉。

J4 节理密集带:位于洞身 K31+625 ~ K31+690 地段,物探发现此处存在低电阻,推测为节理裂隙密集带,倾角多为 $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$,与隧道斜交,根据物探资料, J4 在该区域 Q4-2XZ11 钻孔南侧附近通过,但 Q4-2XZ11 号钻孔受 J4 的影响在 33.90 ~ 38.70m 和 52.40 ~ 58.40m 段岩芯较为破碎,节理较发育,根据钻探情况预估 J4 节理裂隙密集带通过地段,岩芯多为碎块状,岩体破碎。因此,该区段受节理裂隙密集带影响,隧道开挖时岩体易形成楔形体,施工时易掉块。

J5 节理密集带:位于洞身 K31+730 ~ K31+760 地段,物探发现此处存在低电阻,推测为节理裂隙密集带,倾角多为 $65^{\circ} \sim 85^{\circ}$,与隧道大角度相交,根据物探资料, J5 在该区域 Q4-2XZ12 号钻孔附近出露,主要影响范围在 Q4-2XZ12 号钻孔北侧。该区域受节理裂隙密集带影响,推测在该段隧道开挖时岩体易形成楔形体,施工时易掉块,并伴有滴水。

区域地震资料及现场测绘结果表明:上述断层均为非全新活动断层。

3. 节理与裂隙

隧道区内基岩主要为晶屑玻屑熔结凝灰岩和流纹斑岩,节理、裂隙较发育,受不同期次构造运动的影响,节理产状变化较大。

根据测点节理裂隙测量统计结果及节理玫瑰画图综合分析,该区域岩体节理裂隙总体以 $250^{\circ} \sim 270^{\circ} \angle 40^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 和 $0^{\circ} \sim 15^{\circ} \angle 53^{\circ} \sim 86^{\circ}$ 两组最为发育,间距以 $2 \sim 80\text{cm}$ 为主,节理裂隙面铁锰质渲染强烈,局部裂隙充填有方解石脉,岩体较破碎。该区节理多为剪节理,以陡倾角为主,节理面光滑垂直,通常是闭合的,局部裂隙呈张开状,以方解石细脉充填,延伸较长,剪切节理多成群出现,构成平行排列或雁形排列的节理组成,或有两组剪切节理形成共轭的“X”形节理,该两组节理裂隙相互切割成楔形体。

二、地层岩性

根据地表工程地质调绘及钻孔揭露,结合《宁波市轨道交通1号线二期工程勘察KC1201标段》初勘岩土工程勘察报告地层划分标准:隧址区隧道进、出口部分被第四系上新统残积物及坡积的含碎石黏性土覆盖,下伏基岩主要为晚侏罗纪西山头组熔结凝灰岩和流纹组岩,局部揭露安山玢岩及灰绿玢岩岩脉。揭示深度范围内,各岩土层基本特征由上至下(由新至老)如下:

1. 第四系(Q)

〈10-1〉层:含碎石粉质黏土(dl-elQ):黄褐色,含碎石 $20\% \sim 40\%$,一般粒径为 $20 \sim 50\text{mm}$,最大可达 200mm ,碎石主要由熔结凝灰岩组成,次棱角状,局部风化强烈,无光泽,切面粗糙,干强度中等,韧性中等,可塑。隧道出口厚度约 2m ,进口处较厚,可达 19m 左右。层顶高程为 $20.11 \sim 140.73\text{m}$,层厚为 $0.20 \sim 19.80\text{m}$ 。

2. 晚侏罗纪西山头组(J3x)

〈13-1〉层全风化晶屑玻屑熔结凝灰岩(J3x):黄褐色,原岩结构残存,节理裂隙极为发育,岩芯呈砾砂状或土状,手捏易碎。节理裂隙面铁锰质渲染强烈,局部节理裂隙连通性较好,有漏水现象,层顶埋深为 $0.8 \sim 2.10\text{m}$,层顶高程为 $28.35 \sim 75.37\text{m}$,层厚为 $2.70 \sim 5.30\text{m}$ 。

〈13-2〉层强风化晶屑玻屑熔结凝灰岩(J3x):黄褐色、青灰色,主要矿物成分为长石、石英,熔结凝灰结构,块状构造,节理、裂隙发育,岩芯呈碎块状及块状,锤击易碎。普遍发育 $2 \sim 5$ 组节理,倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$,局部 85° 以上,节理裂隙面铁锰质渲染强烈,局部节理裂隙连通性较好,有漏水现象,层顶埋深为 $0.20 \sim 19.80\text{m}$,层顶高程为 $0.31 \sim 140.03\text{m}$,层厚为 $1.30 \sim 6.00\text{m}$ 。

〈13-3〉层弱风化(中等风化)晶屑玻屑熔结凝灰岩(J3x):紫褐色、青灰色,主要矿物成分为长石、石英,溶解凝灰结构,块状构造,节理、裂隙较发育,锤击声清脆。普遍发育 $1 \sim 3$ 组节理,倾角 $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 不等,局部 90° 左右,节理裂隙面局部充填有石英细脉或方解细脉,岩芯呈短柱状及长柱状,局部呈块状,RQD为 $35\% \sim 80\%$ 。层顶埋深为 $25.60 \sim 75.70\text{m}$,层顶高程为 $7.67 \sim 96.73\text{m}$,层厚为 28.10m 。

(13-1a)层全风化流纹斑岩(J3x):灰绿色,原岩结构残存,构造基本破坏,节理裂隙极为发育,岩芯呈砾砂状或土状,手捏易碎。节理裂隙面铁锰质渲染强烈,局部节理连通性较好,有漏水现象,层顶埋深为2.00m,层顶高程为41.68m,层厚为6.80m。

(13-2a)层强风化流纹斑岩(J3x):灰绿色,球状结构,局部为微粒结构,流纹构造,斑晶成分主要为石英和钾长石,少量斜长石,基质成分以长英质纤维为主,微粒状石英和霏细状长英矿物少量,节理裂隙发育,发育3~4组节理裂隙,倾角一般为 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$,局部近 90° ,节理裂隙面铁锰质氧化强烈,岩芯呈块状或碎块状,锤击易碎。局部有辉绿岩岩脉侵入,侵入面叶腊石化,围岩较破碎,有渗水现象。层顶埋深为1.10~8.80m,层顶高程为27.75~69.49m,层厚为0.70~5.80m。

(13-3a)层弱风化(中等风化)流纹斑岩(J3x):灰绿色,球状结构,局部为微粒结构,流纹构造,斑晶成分主要为石英和钾长石,少量斜长石,基质成分以长英质纤维为主,微粒状石英和霏细状长英矿物少量,发育1~2组节理裂隙,倾角一般为 $40^{\circ} \sim 80^{\circ}$,局部近 86° ,节理面闭合,延伸较长,充填方解石细脉,岩芯以柱状为主,少量块状。RQD为60%~80%。该层仅在Q4-2XZ12号钻孔揭露,层顶埋深为46.50m,层顶高程为28.99m。

以上所述地层情况,详见隧道纵断面图(图3-27),其中流纹斑岩局部分布于两个地段:

(1)大致以Q4-2XZ13钻孔为中心,以Q4-2XZ12号钻孔为北界限(Q4-2XZ12号钻孔33.50m以下分布有流纹斑岩),以补1钻孔为南界限。

(2)在出洞口段Q4-2XZ16、Q4-2XZ18号钻孔范围内分布,以Q4-2XZ15及Q4-2XZ16号钻孔为界。本次在Q4-2XZ16号钻孔揭露辉绿玢岩呈脉状侵入,初勘时部分钻孔也有揭露,辉绿玢岩为中性偏基性火成岩,是中性或基性岩浆侵入浅成,温度迅速下降,来不及充分结晶所致,呈灰绿色,长期暴露遇水易风化,施工时遇此岩性应及时防护。

三、水文条件

1. 地表水

隧址区低山丘陵地带的山麓沟谷地带分布有溪流和季节性河流(如瓔珞河、宝幢河系、后塘河系、明伦河等,但沙堰村附近河流目前是断流),流量不大,其水位及流量受大气降水季节影响,在枯水期局部季节性河流断流,山脚下分布较多小水池,蓄水量随季节变化较大。在雨季,隧道山坡会形成山洪,产生地表水流,对山坡产生冲刷作用。

2. 地下水含水岩组、地下水类型

隧址区地下水受基底构造、地层岩性和地形、地貌、气象及周边河流等综合因素的影响,根据区域水地质资料、现场调查及钻探资料分析。地下水类型主要为松散类孔隙含水岩组和基岩裂隙水。勘察期间为枯水季节,除Q4-2XZ1、Q4-2XZ2、Q4-2XZ3、Q4-2XZ4号钻孔遇见地下水外,其他钻孔都未见地下水。勘察期间测得进洞口区段(K30+680~K30+745)地下稳定水位埋深3.00~5.00m,相当于高程15.01~22.00m,根据本次勘察结果及区域水地质资料,该场地进洞口段孔隙潜水稳定水位变化幅度可按1.00~5.10m考

虑。地下水属于非承压水,水位随地形变北较大,其隧道纵断面图(图 3-27)上标识的水位线为推测水位线,可参考每个孔的水位为设防水位,以方便设计使用,其实际水位应根据施工中量测的水位进行调整,进行动态设计和施工。孔隙含水地层主要储存于坡残积含碎石粉质黏土中,其含水性能与碎石的形状、大小、颗粒级配及颗粒含量等有密切关系,隧道出门处厚度约 2m,进洞口处较厚,一般为 2.0 ~ 15.0m,局部可达 19.0m 左右。属于中等富水地层,具有透水性强、给水度大、水量丰富的特征,且与地表水水力联系十分密切,受大气降水补给,地下水位随季节变化,为暂时性水。隧址区基岩主要为上侏罗纪山岩(本场地主要为熔结凝灰岩和流纹斑岩)以及燕山期侵入岩(安山玢岩、辉绿岩等),基岩裂隙水主要储存于强、弱风化(中等风化)岩带的基岩裂隙中,微风化岩带节理裂隙发育程度一般。场地基岩裂隙以风化节理裂隙为主,多呈闭合状,且裂隙多被泥质填充,故其地下水在基岩中的储存量较小,渗流条件差,透水性弱。根据区域资料,结合本场地的水下地质试验成果,本场地裂隙发育一般,透水性差,水量贫乏,地下水性与地形、降雨量、植被覆盖程度有关。

3. 地下水补给,径流和排泄

隧道区地下水属于典型的渗入-径流型循环系统,地下水的补给来源主要为大气降水及地表沟谷水,隧道沟谷区较发育,这些沟谷一般都分别构成一个小的、相对独立的地下水循环系统,山脊、各支沟的分水岭地段为各流域地下水的补给区,各系统之间或有微弱水力联系。地下水主要赋存于基岩裂隙中,沿地形自然斜坡渗流运动,就近于溪沟中排出地表,部分沿沟谷渗入水塘。基岩裂隙水和松散岩类孔隙水由于其水层的透水性弱,水力梯度大,径流途径短,受最低级水岭控制明显,为近源排泄,斜坡地形使大气降水很快以片流形式向地表排泄;枯水期地表水虽然向地下水补给,由于地下水径流量有限,对地下水补给有限。

4. 含水层富水性和渗透性

根据水文地质调查,以及岩性和构造、水文地质计算,同时考虑勘测时受季节因素影响,将隧址区地下富水分成三层。

坡残积含碎石粉质黏土层:可塑状,一般含 10% ~ 30% 的碎石及角砾,局部含量较高,碎石含量较少地段属弱水层,属弱富水区;碎石含量较高地段属中等透水层,属中等富水区。

基岩裂隙水中等富水区:主要分布在隧道南侧的水沟沟谷,富水界限与断层和节理裂隙密集带边界近于一致,隧道洞身断层,软硬岩及岩性分析段为地下水的主要富水区,岩体的裂隙发育,连通性较好,是隧道开挖过程中可能产生涌水的主要通道,因此在施工过程中,应做好地质超前预报工作,加强排水设施。

岩基裂隙水弱富水区:除断层破碎带和节理裂隙密集带外,基岩的节理裂隙发育一般,岩体较完整,地下水不发育,属弱透水层。

5. 隧道涌水量预测

经过钻孔压水试验表明,并结合场地地质资料分析,基岩透水率为 0.2 ~ 5.62Lu,洞身围岩大部分为弱透水岩体,全强风化基岩为孔隙性透水基岩,钻进时不返水,为强透水性岩体,根据线路工程地质条件分析,可定性为节理裂隙性涌水。隧道通过全强风化基岩岩体时也可能产生涌水,在明洞开挖和洞口工程施工时,为防止隧道发生集中涌水,可根据具体情

况,选用排水或注浆堵水、控制爆破、管棚超前支护、布置适当深度与密度的先导孔等措施,以保证隧道安全通过。根据育王岭隧道各段的水文地质条件,采用大气降水渗透量法对育王岭隧道进行涌水量估算,根据详勘报告,隧道每延米平均最大涌水量为 $0.34 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

6. 水文地质条件评价

根据隧道区水文地质计算所划分的涌水量及隧道水文地质特征所划分的中等富水段、弱富水段,对隧道工程水文地质条件下作如下评价。

(1)进口 K30+680 ~ K31+120 段为明挖段和暗埋段,上部主要为残积含碎石粉质黏土层,为弱透水层,下部基岩埋深地段,岩体受构造影响较小,节理裂隙较发育,地下水主要储存于岩体层间节理裂隙及岩性中,计算预测该段隧道涌水量 $36.61 \sim 61.64 \text{ m}^3/\text{d}$,每米涌水量 $0.083 \sim 0.140 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(2)K31+120 ~ K31+380 段为隧道深埋地段,岩体受构造的影响较为严重,节理裂隙发育,地下水主要储存于岩体层间断层破碎带及风化基岩裂隙中,预测该段隧道涌水量 $52.89 \sim 89.04 \text{ m}^3/\text{d}$,每米涌水量 $0.203 \sim 0.342 \text{ m}^3/\text{d}$,受断层破碎带影响,存在发生突水的可能。

(3)K31+380 ~ K31+620 段为隧道深埋地段,岩体受构造的影响较为严重,节理裂隙发育,地下水主要储存于岩体层间断层破碎带及风化基岩裂隙中。预测该段隧道涌水量 $34.87 \sim 58.71 \text{ m}^3/\text{d}$,每米涌水量 $0.145 \sim 0.245 \text{ m}^3/\text{d}$,受断层破碎带影响,存在发生突水的可能。

(4)K31+620 ~ K31+810 段为隧道深埋地段,岩体受构造影响较小,节理裂隙较为发育,地下水主要储存于岩体层间节理裂隙及岩性中。预测该段隧道涌水量 $27.31 \sim 45.99 \text{ m}^3/\text{d}$,每米涌水量 $0.144 \sim 0.242 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

(5)出口 K31+810 ~ K32+120 段为隧道暗埋和明埋地段,本段为两条平行与隧道走向的断层破碎带,岩体受构造的影响严重,节理裂隙很发育,地下水主要储存于断层破碎带及风化基岩裂隙中,预测该段隧道涌水量 $47.07 \sim 79.26 \text{ m}^3/\text{d}$,每米涌水量 $0.152 \sim 0.256 \text{ m}^3/\text{d}$,受断层破碎带影响,存在发生突水的可能。

(6)进出洞口分布有较多的坡残积土,长期浸水状态下,状态较差,根据场地附近正在施工的安山隧道施工经验,山体地表径流会在进出洞口开挖时出现涌水现象,雨季时水量更大,设计、施工时应引起重视,洞身部分开挖时以淋水和滴水为主,雨季施工时水量较大,滴水速度较快,旱季施工时水量很小,滴水速度很小。

(7)水的腐蚀性评价。按照《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001, 2009 年版)规定,拟建场地属于湿润区,且浅部地层属弱水层,场地浅部孔隙潜水环境类型为 II 类,沿线孔隙潜水和基岩裂隙水水质对混凝土结构中的钢筋具微腐蚀性。

四、地震

根据《铁路工程抗震设计规范》(GB 50111—2006, 2009 年版),判定本工点场地类别进洞口 K30+730 ~ K30+745 段、K31+190 ~ K31+240 段,以及 K31+730 ~ K32+110 段为

II类;K30+745~K31+190和K31+240~K31+730段场地类别为I类。

拟建育王岭隧道抗震设防类别为重点设防类(乙类),设计基本地震加速度为0.05g,抗震设防烈度为6度,场区所属的设计地震分组为第一组,进洞口K30+730~K30+745段、K31+190~K31+240段,以及K31+730~K32+110段特征周期为0.35s,K30+745~K31+190和K31+730~K32+110段特征周期为0.25s。

五、不良地质与特殊岩土

隧址区附近有小滑坡1处,为瓔珞村滑坡。该滑坡位于北仑区瓔珞村南100m铁路旁缓坡处,发生于2006年“麦莎”强台风期间,由于“麦莎”强台风连降暴雨,产生山体小滑坡,残坡土沿风化基岩层滑动,滑坡体800m³左右,岩性以含碎石亚黏土为主。活动后铁路部门及时进行治疗,由于方量较小已清除,现基本稳定,未见滑动迹象,该滑坡离场地较远,且已治理,对拟建工程影响不大。

根据本次钻探物探成果,隧道轴线K30+995~K31+015、K31+625~K32+690、K31+760~K31+790地段为节理裂隙密集带,K31+205~K31+230地段、K31+790~K32+110地段为断层破碎带,隧道出口K31+850~K32+120段既有暗挖又有明挖施工,且有平行隧道走向的断层破碎带通过隧道,受破碎带影响,造成岩体切割剧烈,岩体破碎,风化不均,呈碎裂状,岩芯多为岩粉、碎石状、块状等。在隧道施工过程中,上述地段易产生坍塌和崩塌,对隧道开挖稳定性较为不利。

本隧道上部分布残积含碎石粉质黏土,全风化与强风化凝灰岩,残积含碎石粉质黏土,遇水易软化;全风化与强风化基岩多呈散体状结构或碎裂状结构,无自稳能力。根据建筑经验,含碎石粉质黏土与风化岩对边坡稳定性、地基稳定性均有较大影响,尤其在斜坡附近,存在软弱夹层或互层时,当软弱结构与坡面一致时,对边坡的稳定性极为不利,同时由于残坡积土及风化岩石渗透性较好,在雨季易积水,而地下水浸泡产生围岩软化,故对隧道洞口开挖存在不利影响,设计施工时应予以足够的重视。

第四节 当前隧道设计方法和施工工艺

一、隧道设计方法

隧道采用钻爆法进行开挖施工,衬砌结构采用新奥法原理设计,复合式衬砌。新奥法是现代隧道工程先进的施工技术和管理方法之一,育王岭隧道工程在施工过程中贯彻了新奥法的施工理念,使其逐一落到实处。育王岭隧道工程采用了新奥法原理设计,根据该隧