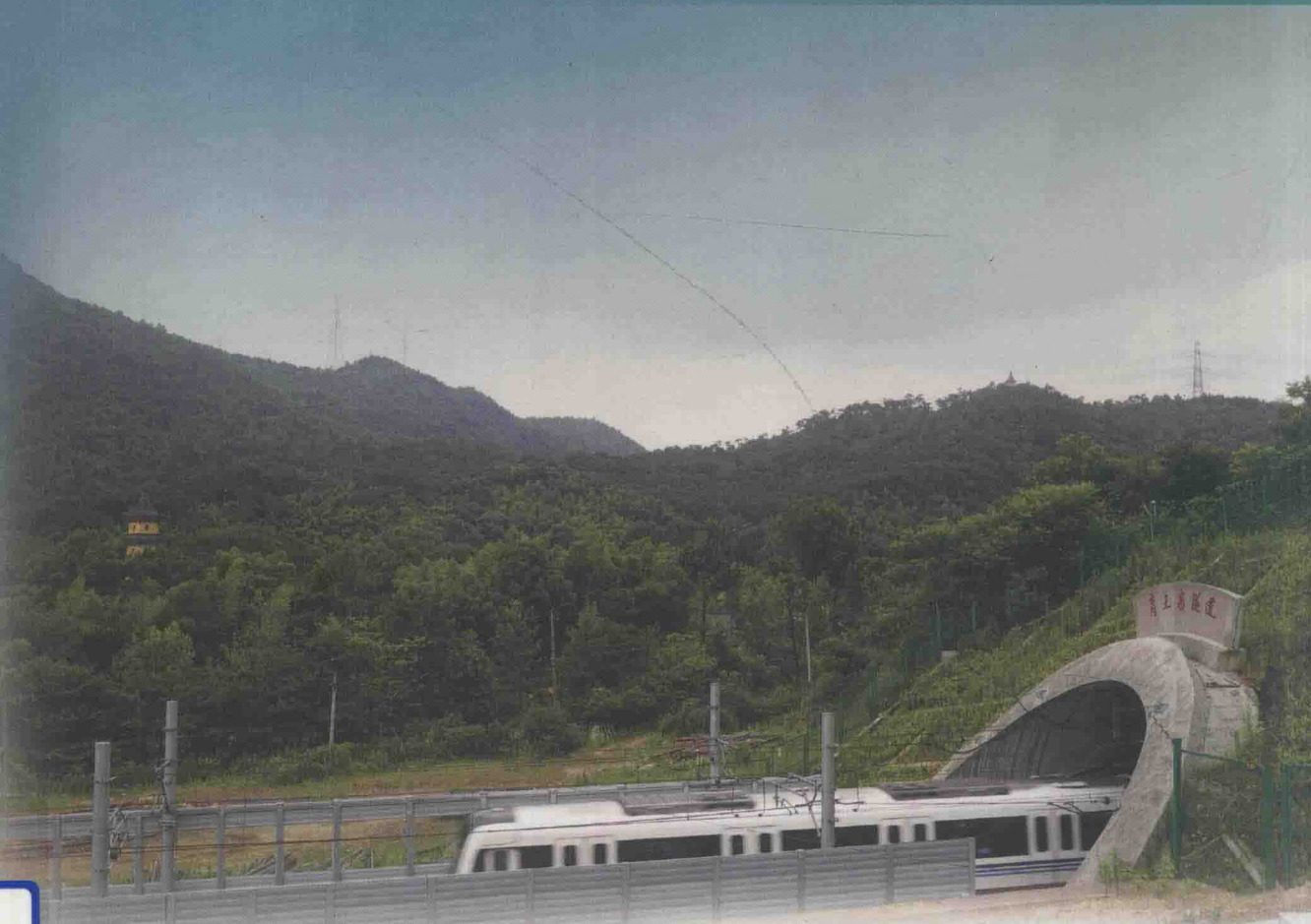


宁波市轨道交通 山岭隧道勘察技术

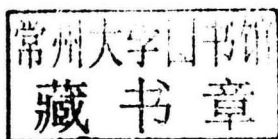
张俊杰 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

宁波市轨道交通山岭隧道 勘察技术

张俊杰 编著



中国铁道出版社

2017年·北京

内 容 简 介

本书系统总结了宁波市轨道交通山岭隧道勘察的经验,主要包括轨道交通山岭隧道的特点,主要岩土工程问题,主要施工方法,勘察程序、方法以及山岭隧道勘察报告的编写,施工阶段的地质工作和宁波市轨道交通1号线二期工程育王岭隧道勘察的主要经验总结等,同时针对宁波市区域水文、气象、区域地质构造、岩性及物理力学性质指标以及岩体的分级进行了系统的分析和研究,针对性地提出了勘察、设计和施工方法的相关建议。

本书可供岩土工程勘察、设计、施工、监测、工程物探等单位的科技人员、管理人员以及高等院校有关专业的师生参考,也可作为轨道交通、市政工程、公路铁路等投资管理者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

宁波市轨道交通山岭隧道勘察技术/张俊杰编著. —北京:
中国铁道出版社, 2017. 9

ISBN 978-7-113-23391-4

I. ①宁… II. ①张… III. ①城市铁路-山岭隧道-隧道
工程-工程地质勘察-宁波 IV. ①U452.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第171521号

书 名:宁波市轨道交通山岭隧道勘察技术
作 者:张俊杰

策 划:傅希刚
责任编辑:张 瑜
封面设计:崔 欣
责任校对:焦桂荣
责任印制:高春晓

编辑部电话:010-51873017

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:虎彩印艺股份有限公司

版 次:2017年9月第1版 2017年9月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:12.75 字数:309千

书 号:ISBN 978-7-113-23391-4

定 价:70.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

编 委 会

编著单位: 宁波冶金勘察设计研究股份有限公司

宁波市轨道交通集团有限公司

编 著: 张俊杰

审 查: 陈 斌 朱敢为 邵再良 陈建荣

编 委: (排名不分先后, 以姓氏笔划为序)

王和坤 叶荣华 叶俊能 齐炎林 许浙浩

张子江 张春进 姚燕明 徐 军 郭 斌

郭 桢 唐 江 唐 聃 章凯骅 潘旭东

作者介绍

张俊杰,男,1966年4月生,浙江省东阳市人,1989年毕业于南京建筑工程学院水文地质与工程地质专业,大学本科学历,学士学位,2004年通过国家第一批注册岩土工程师考试,2005年评为教授级高级工程师。毕业后一直在冶金工业部宁波勘察研究院(现宁波冶金勘察设计研究股份有限公司)工作,任总工程师职务,从事岩土工程勘察、水文地质勘察、地基基础设计和施工、地质灾害防治等工作。至今已担任了宁波轨道交通4条线路的岩土工程勘察项目负责人,获得了3项发明专利并发表了10余篇论文,《宁波轨道交通软土工程特性研究及应用》获得了浙江省科技进步二等奖等荣誉。参加了国家《冶金工业建设岩土工程勘察规范》、浙江省《城市轨道交通岩土工程勘察规范》、宁波市《轨道交通岩土工程勘察技术细则》等近10本规范的编制工作;2015年获得宁波市优秀勘察设计师称号,在岩土工程行业具有一定的知名度。



前 言

随着经济发展和城市化进程的加速,城市的建设空间在迅速拓展,城市空间形态在轨道交通的影响下经历了由“步行城市”到“轨道城市”的发展,而轨道交通又具有良好的延展性,有利于多中心结构的形成,为中心城区和周边县市区之间形成良好的经济互补起到积极的作用。宁波作为长江经济带的港口枢纽城市,根据人口的快速增长和经济发展的需要,轨道交通已经逐步向奉化、余姚、慈溪、宁海、象山等县市(区)延伸。

工程勘察行业发展至今已历经六十余载,在国内良好的宏观经济环境、持续增长的固定资产投资、快速推动的城镇化进程等因素的带动下,勘察行业有了长足发展。近十年来快速崛起的城市轨道交通工程给勘察行业带来巨大商机的同时,也带来了极大的挑战。随着国家标准《城市轨道交通岩土工程勘察规范》(GB 50307—2012)的发布和实施,给轨道交通勘察指明了方向,2013年宁波市住房和城乡建设委员会、宁波市城市管理局联合发布了由宁波市轨道交通工程建设指挥部主编,宁波冶金勘察设计研究股份有限公司等6家单位参编的《宁波市轨道交通岩土工程勘察技术细则》(2013甬SS-02),对宁波市轨道交通勘察技术和质量的提升起到了重要的作用。2016年宁波冶金勘察设计研究院股份有限公司参编的《浙江省轨道交通岩土工程勘察技术规范》又提升了轨道交通勘察的技术水平。然而,无论是国家规范、浙江省规范还是宁波市地方标准,对轨道交通山岭隧道勘察的技术和指导还远远不能满足山岭隧道勘察精细化管理的要求。宁波冶金勘察设计研究股份有限公司在宁波市轨道交通1号线二期工程中,承担完成了宁波市轨道交通工程第一座山岭隧道的岩土工程勘察工作,在育王岭穿山隧道及其对比线的勘察中积累了较为丰富的经验和教训,通过对该线路的勘察实践验证和总结以往公路隧道的勘察经验,结合国家和地方的相关规范、规程、规定,以及编者的经验和认知,编制了本书,目的是为宁波市轨道交通的山岭隧道勘察提供技术指导,本书也可作为其他山岭隧道勘察、设计和施工的技术参考书。

本书共分11章,主要内容包括:轨道交通山岭隧道的特点,山岭隧道主要岩土工程问题,山岭隧道主要施工方法,山岭隧道的主要勘察程序、方法,山岭隧道

勘察报告的编写,山岭隧道施工阶段的地质工作以及宁波市轨道交通1号线二期工程育王岭隧道勘察案例和山岭隧道勘察的主要经验总结等。

在本书的编制中,也吸纳了大量的其他山岭隧道勘察的经验并引用参考了大量的著作、论文等相关文献资料,在此向文献的作者们表示衷心的感谢。

由于水平有限,本书存在的不足和错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2017年7月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 轨道交通山岭隧道的特点	1
1.2 山岭隧道主要岩土工程问题	4
1.3 山岭隧道主要施工方法	6
1.4 山岭隧道岩土工程勘察基本要求	12
1.5 山岭隧道岩土工程勘察主要内容	14
第2章 宁波市丘陵山区地质概况	16
2.1 自然地理	16
2.2 地形地貌	18
2.3 地质构造与地震	19
2.4 地层岩性	23
2.5 地下水	27
2.6 地质灾害	28
第3章 勘察工作布置	33
3.1 勘察等级与勘察阶段	33
3.2 勘察工作量布置原则	34
3.3 勘察工作量	34
第4章 工程地质调查与测绘	39
4.1 工程地质调查与测绘基本要求	39
4.2 工程地质调查与测绘主要内容	40
4.3 工程地质调查与测绘方法	40
4.4 工程地质调查与测绘资料整理	42
第5章 地球物理勘探	44
5.1 浅层地震法	45
5.2 高密度电阻率法	49
5.3 探地雷达法	52
5.4 声波测井法	54
5.5 电视测井法	57
5.6 氦气测量法	60

第6章 钻探和原位测试	63
6.1 钻探技术	63
6.2 原位测试技术	67
第7章 水文地质试验	71
7.1 试验技术要求	71
7.2 地下水位观测	72
7.3 注水试验	72
7.4 压水试验	73
7.5 抽水试验	76
第8章 室内试验	81
8.1 混合土	81
8.2 残积土、风化岩	82
8.3 滑带土	82
8.4 一般性土	83
8.5 岩石	83
8.6 土和水的腐蚀性试验	84
第9章 勘察报告的编写	85
9.1 勘察报告编写的基本要求	85
9.2 勘察报告主要内容	86
9.3 资料整理和数理统计	88
9.4 岩土工程分析	90
第10章 施工阶段的地质工作	100
10.1 隧道地质编录	100
10.2 超前地质预报	102
10.3 隧道施工监测	110
第11章 育王岭隧道勘察案例	122
11.1 工程背景	122
11.2 工程概况	124
11.3 隧址区工程地质条件	126
11.4 主要勘察方法及工作量布置	138
11.5 岩土工程分析	156
11.6 勘察取得的成果和对工程的建议	173
11.7 工程效果验证	175
11.8 勘察主要经验	183
参考文献	191

第1章 绪 论

1.1 轨道交通山岭隧道的特点

轨道交通系统在解决城市交通问题的过程中已有相当长的历史,自 1863 年世界第一条地铁在英国伦敦建成通车开始,建设轨道交通已成为世界各大城市改善城市交通问题的一种重要手段。1863 年~1914 年共有 14 个城市建设了地铁。1915 年~1949 年,因第二次世界大战对世界经济的破坏,仅有 8 个城市建设了地铁。1950 年以后,世界经济逐步恢复,由于小汽车的过量使用,造成城市交通问题日益严重,因此轨道交通重新得到了推广和发展。截至目前,世界上机动化水平较高的城市大多有比较成熟与完整的轨道交通系统,有些城市的轨道交通运量占城市公交运量的比重达 50% 以上,有的高达 70%。

我国轨道交通建设事业起步较晚,改革开放以来,随着国民经济的不断发展,我国的城市化进程也在逐步加快。经济的发展,人们生活水平的提高,城市规模的扩大,城市人口的急剧增加,居民出行和物资交流的高度频繁,使得城市交通面临着严峻的局势。伴随着我国城市现代化、工业化进程,城市轨道交通这种动力大、不占用地面空间的交通运输设施正在大中城市建设中悄然兴起,并成为解决城市交通问题的最佳选择。早在 20 世纪 80 年代中期,国家就推出在百万人以上的大城市中逐步发展地铁交通的政策。随后在 80 年代末,国家制定的产业政策再次明确其在基本建设中的重要地位。地铁交通以其速度快、运能大、污染少等优点,越来越受到人们的青睐。新世纪开始,国家首次把“发展地铁交通”列入国民经济“十五”计划发展纲要,并作为拉动国民经济持续发展的重大战略。截至 2017 年初,我国已有 43 个城市的轨道交通规划获批,总规划里程约 8 600 km。获批的 43 个城市包括:北京、上海、天津和重庆 4 个直辖市;深圳、厦门、宁波、青岛、大连 5 个计划单列市;大部分的省会城市;苏州、东莞、佛山、无锡、常州、徐州、南通、芜湖、洛阳、包头等经济、人口规模较大的城市,徐州、南通、芜湖、绍兴、洛阳这些传统意义上的三线城市也已经入列。这一系列迹象说明,城市轨道交通建设正在向二三线城市延展。根据相关行业资料分析,未来 5 年内,每年或将新批 1~2 个符合国家地铁建设标准的城市,保定、唐山、银川、海口、西宁、襄阳的轨道交通规划都有望获批。预计到 2020 年,我国城市轨道交通运营里程将达到 6 000 km 左右。

宁波城市轨道交通线网规划于 2003 年 8 月编制完成,线网由“三主三辅”六条线形成放射状格局,全长 247.5 km,以此线网规划为基础,至 2020 年城市轨道交通线网由 7 条线组成,整体结构呈放射状,线网规模 271.6 km,控规阶段和工程实施阶段存在局部优化调整可能。中心城区线网密度为 0.36 km/km^2 ,绕城高速公路内线网密度为 0.44 km/km^2 ,核心区内线网密度达到 1.27 km/km^2 。7 条线分别为 1 号线(高桥—霞浦)、2 号线(栎社机场—小港)、3 号线(澥浦—陈婆渡)、4 号线(慈城—东钱湖)、5 号线(布政—谢家)、6 号线(古林—新碶)、7 号线(北部产业功能区—云龙)。2020 年即将建设完成 5 条线、172 km 的城市轨道交通网络,从

而有效缓解城市交通拥堵、提升城市品质提供坚实的支撑。但随着城市规模的增长、空间格局的优化,宁波需加快发展公共交通,进一步提高轨道交通服务水平,衔接轨道交通线网近远期建设并预留空间,市域轨道交通将逐渐进入规划建设行列,市域轨道以中心城区为中心,形成放射状网络,规划4条市域轨道交通线路,分别为北部余姚—杭州湾新区线、慈溪线、南部奉化—宁海线、象山线,其中宁海、象山线为规划远景线网。2020年宁波市轨道交通线网方案图如图1-1所示,宁波市轨道交通远景年线网概念方案图如图1-2所示。

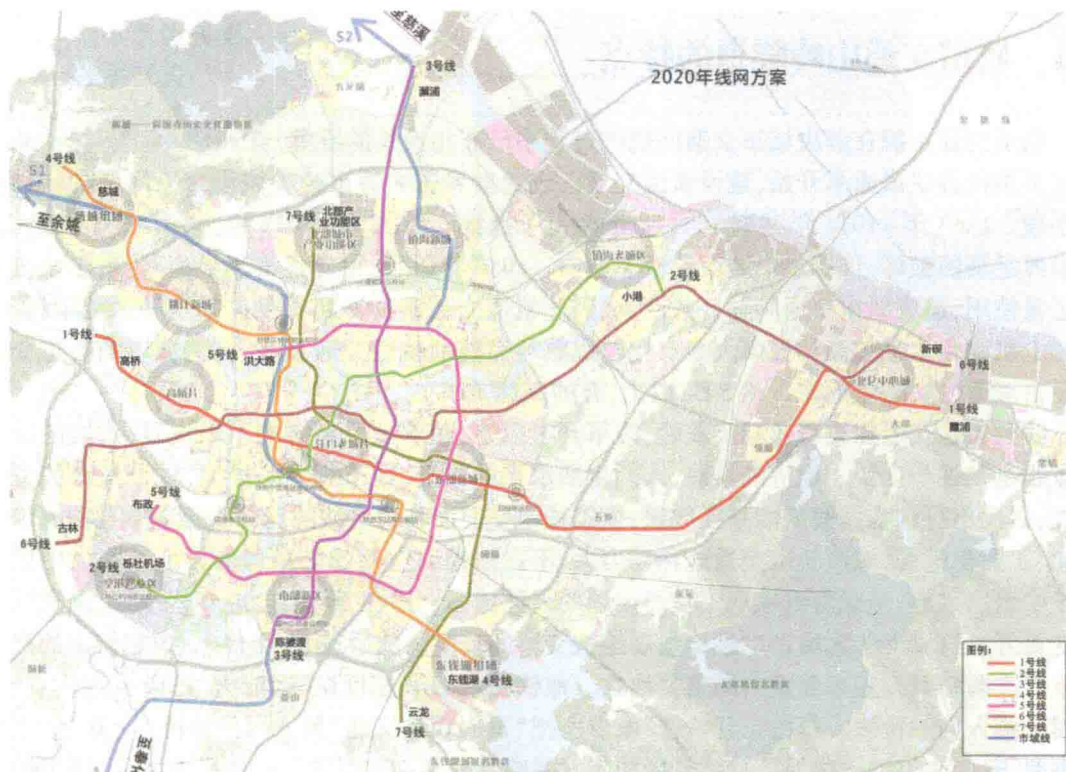


图 1-1 2020 年宁波市轨道交通线网方案图

宁波市区内轨道交通建设施工中,软土是影响设计、投资控制、施工安全的主要因素,经过第一、二轮共4条轨道交通建设,在基坑围护设计、盾构设计及安全施工措施方面都积累了丰富的经验,所以在今后的线路建设工作中软土已经不是设计、施工的最难点。随着城市中心区线网骨架日渐完善,在满足缓解中心区交通压力的基础上,为了引导城市向外围副中心发展,线网将逐渐向市域外围延伸,此类线路长度一般较长,其穿(跨)越范围内可能在地势上存在较大起伏,对于宁波部分低山丘陵区域,不可避免地将涉及山岭隧道问题。相较于市区软土区域轨道交通工程,山岭隧道工程在赋存环境、力学作用机理等方面都存在着明显的差异。轨道交通山岭隧道工程包括施工、运营以及工期长短、投资多少等,无一不与隧道所在区域的地质环境息息相关。山岭隧道在开挖施工期间可能产生大规模塌方、涌水、突水等现象,造成施工困难,甚至使工程报废;而有些隧道在运营期间则出现洞体开裂破坏,涌水、突水形成水帘洞,严重影响轨道交通行车安全,要求采取复杂的治理措施。上述这些问题往往都是由地质环境因素所造成的,因此了解和认识隧道工程地质环境、水文地质环境,研究其在工程建设活动中的变化,制定有力的工程措施,是隧道工程勘察、设计、施工与维修养护的头等大事。

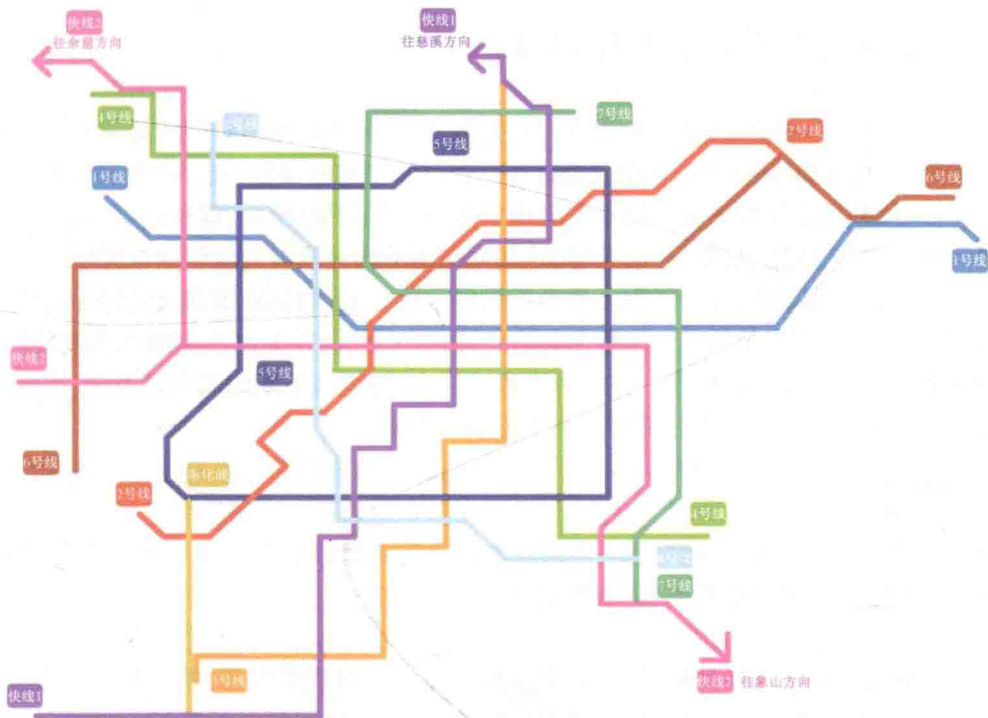


图 1-2 宁波市轨道交通远景年线网概念方案图

宁波地处浙东低山丘陵区东北部,整体呈箕形地势,南西向北东倾斜,海岸曲折,港湾纵深。轨道交通穿越范围内重大地质构造不发育,但次一级断裂构造发育较强烈,因此山岭多为丘陵,隧道所处地层多为砾质黏土层,全风化岩层、强风化岩层较厚,上部土质坡段稳定性较差,下部岩质坡段岩体较破碎,碎裂结构,风化较为强烈,节理裂隙发育,自稳能力差。分析现有宁波轨道交通 1 号线二期山岭隧道相关资料,其隧道断面较一般公路隧道要小,多为双线单洞复合式衬砌断面,隧道结构外轮廓一般为 11.7 m (宽) $\times 10.3\text{ m}$ (高);隧道长度一般大于 500 m ,小于 $3\,000\text{ m}$,属中长隧道,在整条地铁线路中,山岭隧道段线路占比一般为 1.5% 左右,虽然线路占比较小,但其地质条件较复杂,不良地质作用较强烈,勘察、设计、施工难度较大,其工程投资及施工工期占比一般要远大于线路占比,往往决定了整条线路的运营时间和总投资的大小,由此可见山岭隧道对轨道交通工程建设的重要性。

山岭隧道具有下列特点:

- (1) 地形条件复杂,周边环境影响因素多,勘察作业难度大。
- (2) 场地工程地质、水文地质条件复杂,地质构造往往发育,岩土种类多样且不均匀。
- (3) 勘察采用多种手段,勘察结果往往既相互印证又可能矛盾,勘察精度难以把控。
- (4) 设计支护措施具有动态性。
- (5) 施工作业具有循环性、隐蔽性。
- (6) 施工作业空间狭小、作业环境恶劣、作业风险大。
- (7) 组成隧道的岩体其物理力学指标具有动态变化特性。
- (8) 隧道断面不大,但衬砌和开挖方式多样。
- (9) 施工工期长,工程投资大、占比大。

1.2 山岭隧道主要岩土工程问题

在山岭隧道工程中,隧道围岩地质情况复杂多变,各种不良地质条件所导致的岩土工程事故屡见不鲜,因此解决不良地质条件引起的隧道岩土工程问题是隧道工程设计和施工的关键环节,同时也是关系工程成败的关键。不良地质条件是指崩塌、滑坡、偏压地层、岩溶、高应力、高强度地层、坡前松散地层、断层、岩爆等,这些问题都给山岭隧道的设计和施工带来了较大的困难,所以在勘察过程中应准确辨别不良地质作用,结合隧道的基本走向及埋深等初步设计情况,对施工过程中可能引起的岩土工程问题进行评价与分析,并提出相应的预防及应对措施,从而为隧道施工图设计提供依据。在山岭隧道设计中,隧道施工期的涌水量及进、出洞口段的边坡稳定性分析也是岩土工程分析评价中不可缺少的内容。

1.2.1 不良地质作用

宁波山区的基岩都为非可溶性岩,不存在与岩溶有关的地质灾害,常见的影响隧道设计和施工的不良地质作用主要是断层、滑坡和崩塌。

1. 断层

断层会导致岩体出现各种破碎岩面,例如断裂面及层间裂隙面等,使岩体发生破碎,渗透性增加,地表水和降水发生下渗。当隧道需要穿越断层时,由于断层带附近岩性松软,隧道施工时容易出现塌方,若处理不当,在地铁运营时隧道易产生不均匀沉降,引起隧道结构开裂、漏水,洞口附近仰坡在雨季有滑坡、错落等危险。

在隧道施工中,穿越断层带时存在一定的工程风险,主要来源于断层的发育程度、断层内的填充物质、断裂带的宽度及含水率、断层的活动情况、断层构造与隧道的空间组合关系等,决定了施工中穿越断层时所面临的风险等级,勘察中应定性分析评价断层对工程的影响,以便设计时采取合理的施工措施,使工程风险降到最低,当采取措施的费用超出投资概算较多时,也可以采取线路方案调整的措施。

2. 崩塌、滑坡

崩塌、滑坡是山区常见的地质灾害,尤其在进、出洞口的边坡段,是边坡破坏的最常见形式。在进、出洞口施工是隧道工程的重点,隧道洞口一般要穿过山体的覆盖层,而覆盖在基岩上除基岩本身的风化物外,尚有第四系的坡积物,基岩的风化程度、第四系坡积物的相对密度都会影响洞口开挖时的安全性。洞口开挖因破坏了原有山体坡面的平衡状态,易导致边坡、仰坡出现滑坡,所以在山岭隧道工程中,进、出洞口现状边坡稳定性分析、结合初设定性分析预测开挖后的边坡稳定性分析是勘察的重点。

1.2.2 浅埋和偏压

当隧道埋藏较浅、洞顶距离自然地表较近时,不能形成卸载拱,通称浅埋隧道。当傍山设置隧道、地面坡度较陡峭时,衬砌结构将受到不对称地压力,此时为偏压隧道。

浅埋隧道由于覆盖薄,接近地表,受自然影响大,因此浅埋隧道上覆一般多为风化破碎岩层、坡积层、冲积层、残积层等比较松散的地层,在隧道开挖时容易产生临空面,破坏山体的静力平衡。而偏压隧道由于受不对称地压,造成隧道结构两侧荷载不对称,当采用矿山法修建

时,更易发生山体和衬砌变形甚至滑塌的不良事故,衬砌变形更为严重。

一般情况下,隧道的浅埋和偏压结构往往存在于隧道的进、出洞口以及沟谷地段,并且常常由于隧道工程所处特殊地质条件复杂性、岩土体结构偏压不对称性和工程结构规模决定了隧道工程不允许采用明洞处理的方式,而是要求偏压段采用平衡压重填土,挖除土体,减轻偏压力,隧道边墙设置混凝土基础,采用外墙尺寸加厚的钢筋混凝土拱圈,甚至设置仰拱等措施,或浅埋洞口段的隧道其工程做相应的加固,提高整体稳定性的设计及施工处理;甚至具有偏压和浅埋结构的洞口段设计及施工处理是否妥当决定了整个隧道工程施工能否顺利贯通。所以,施工前必须对偏压和浅埋隧道围岩岩土体做好精确的力学参数量测,透彻分析岩土力学特征并建立其破坏模型。

1.2.3 岩爆

岩爆是高地应力条件下洞室开挖过程中,因开挖卸荷而引发的周围脆性围岩产生强烈的应力分异作用,储存在围岩中的弹性应变能突然释放,且产生爆裂松脱、剥离、弹射甚至抛掷等现象的一种动力失稳、破坏性的地质灾害。根据国内相关隧道施工的经验,发生岩爆的隧道其岩石单轴抗压强度大于 60 MPa,其中多数超过 100 MPa。坚硬、脆性的岩石易发生岩爆,即岩爆的发生与岩质和岩性有关,岩石脆性指数与岩爆强度的关系详见表 1-1。

表 1-1 岩石脆性指数与岩爆强度的关系

岩石脆性指数	0~4.0	3.5~5.5	5.0~7.8	>7.8
岩爆发生强度	无	弱	中等	严重

完整或基本完整的岩体易发生岩爆。因为完整或基本完整的岩体能够积聚很大的弹性应变能量,弹性应变能量的积聚是发生岩爆的必要条件之一。

岩爆发生时,特点如下:

- (1) 开挖的坑壁,岩块迅速飞出,严重时整个掌子面严重压坏。
- (2) 多发于埋深较深的隧道中。
- (3) 不同岩质情况发生的方式不同,与地层的方向、节理、夹层等强烈相关。
- (4) 掌子面岩爆多发。

在施工中,若发生岩爆,将直接威胁施工人员和机械设备的安全,并影响工程进度,所以勘察时应针对是否发生岩爆进行定性的评价,以便设计和施工中采取相应的防治措施。在宁波地区,由于处在低地应力区且山体高度不大,岩爆问题在实际施工中所见不多,隧道整体埋深大于 100 m 的也可以预防措施为主。在实际工程中,若围岩新鲜完整,裂隙极少或仅有隐裂隙,属坚硬脆性介质,能够储存能量,而其变形特性属于脆性破坏,应力解除后,回弹变形很小,这类围岩应注意其可能会发生岩爆。

1.2.4 涌水突水

隧道涌水是隧道工程施工过程中,围岩含水层的地下水在水头压力和其他压力的综合作用下,克服了隔水层、断层、裂隙带等的阻力,以突然的方式涌入隧道的现象,因而又称之为突水。涌水突水给隧道施工甚至运营带来了极大的危害,轻则掩埋、淹没设备,堵塞坑道,重则造成人身伤亡,影响施工进度,使工程建设蒙受巨大损失。

通过查明隧道含水围岩中地下水的分布及赋存规律,分析隧道开挖区的水文地质及工程地质条件,依据钻探、物探、水化学及同位素分析、水温测定等手段,确定地下水的富集带或富集区,以及断裂构造带、裂隙密集带等可能的地下水涌水通道,并且用均衡法估计隧道涌水量的大小,可以定性地分析隧道地下水的涌水特征。

隧道涌水的定量评价与计算主要体现在隧道涌水位置的确定和涌水量预测两方面。在隧道涌水位置的确定方面,通过对隧道围岩水文地质及工程地质条件的定性分析,可得出影响隧道涌水量的一些基本因素。

由于受目前的勘测手段、勘测时间及工期等限制,人们对水文地质条件的了解和掌握往往是不够全面的,即使能够比较全面正确地掌握隧道的工程地质和水文地质条件,但由于计算公式或方法选择不恰当,也可能使计算出来的涌水量和实际测量结果有较大出入。正确的工作方法是:在进行涌水量具体计算之前,应搞清楚隧道通过地段的区域地质及水文地质条件,并按水文地质条件进行分段,针对各段的具体情况,选择适当的计算方法和公式估算预测。所以说,查清隧道通过地段的地质及水文地质条件和富水状况,是估算与预测涌水量的基础和前提。

涌水量的预测是一个十分复杂、尚未完全解决且仍处在不断探索阶段的重要研究课题,目前采用的方法主要有数理统计法、系统理论法、水均衡法、比拟法、稳定流和非稳定流解析法、数值模拟法和施工超前预报法等。

1.3 山岭隧道主要施工方法

山岭隧道施工方法依据工程地质、水文地质条件,结合隧道的断面尺寸、长度、衬砌类型、使用功能、施工技术水平等因素综合研究确定,主要考虑的因素是围岩稳定性。围岩是隧道的主要承载体,隧道施工的技术原则是在施工中充分保护围岩,避免过度破坏和损伤遗留围岩的强度,使暴露的围岩尽量保留既有的质量,为了充分发挥围岩的结构作用,应容许围岩有可控的变形。山岭隧道施工方法主要分为矿山法(钻爆法)和掘进机法。山岭岩质隧道的开挖技术随着科学技术的发展大体经历了四个发展阶段——第一阶段:钢钎大锤;第二阶段:手持风钻;第三阶段:凿岩台车;第四阶段:隧道掘进机(TBM)法。第一阶段~第三阶段均属于矿山法(钻爆法);第四阶段为目前较为先进的隧道掘进机(TBM)法,其在隧道施工中的应用越来越广泛。岩质隧道开挖技术发展示意图如图 1-3 所示。

1.3.1 矿山法(钻爆法)

山岭隧道的常规施工方法称为矿山法,因最早应用于采矿坑道而得名,而多数情况下需要采用钻眼爆破进行开挖,因此也常称为钻爆法。矿山法根据围岩的级别主要采用的方法有全断面开挖法、上下台阶法、中隔墙法、交叉中隔墙法、双侧壁导坑法等,在同时考虑施工进度及工程投资时,施工方法优先选择顺序一般为:①全断面法;②上下台阶法;③中隔墙法(CD);④交叉中隔墙法(CRD);⑤双侧壁导坑法,上述 5 种施工方法的安全性和投资一般是依次逐步增大的,其施工的进度是逐步减慢的。各施工方法的适用性具体如下:

1. 全断面开挖法

全断面开挖法是指将整个隧道开挖断面一次钻孔、一次爆破成型、一次初期支护到位的隧



(a) 第一阶段: 钢钎大锤时代



(b) 第二阶段: 手持风钻时代



(c) 第三阶段: 凿岩台车时代



(d) 第四阶段: TBM时代

图 1-3 岩质隧道开挖技术发展示意图

道开挖方法。全断面开挖法的优点是:洞内施工作业空间较大,工序少,利于大型配套机械化作业,施工效率较高,施工操作简单,利于施工组织和管理,同时全断面开挖减少了爆破振动次数,降低了对围岩的扰动。缺点是:由于开挖面较大,围岩相对稳定性降低,且每个循环工作量较大,每次深孔爆破引起的振动较大,因此要求具有较强的开挖、出渣能力和相应的支护能力。一般在围岩等级为 I ~ II 级硬岩地层时采用该方法,在开挖时可根据具体围岩情况,调整开挖进尺,增加施工安全度。浅埋段、偏压段和洞口段不宜采用全断面法开挖。全断面法开挖示意图如图 1-4 所示。

2. 上下台阶法

上下台阶法是将断面分成上、下两个台阶开挖,上台阶长度一般控制在 1~1.5 倍洞径,上台阶开挖好后必须在地层失去自稳能力之前尽快开挖下台阶,使支护形成封闭结构。当开挖中发现围岩较差时,为了稳定工作面,可辅以前小导管支护、预留核心土法等措施。预留核心土法是在上下台阶法的基础上,遇到围岩较差时,采用上台阶取 1 倍洞径左右环形开挖,留核心土,用小导管超前支护并预注浆以稳定工作面,必要时可用网构钢拱架作初期支护,拱脚、墙脚设置锁脚锚杆。上下台阶法开挖示意图如图 1-5 所示。

上下台阶法施工,其优点是灵活多变、适用性强,能保证足够的作业空间且施工速度较快,并能使支护体系较早的闭合,利于开挖面的稳定性和控制其结构变形以及由此引起的地面沉降。缺点是上、下部作业互相干扰,尤其是短台阶干扰较大,应注意下部作业对上部稳定性的影响,并注意台阶开挖会增加对围岩的扰动次数等。另外,上下台阶法施工时,围岩稳定性愈

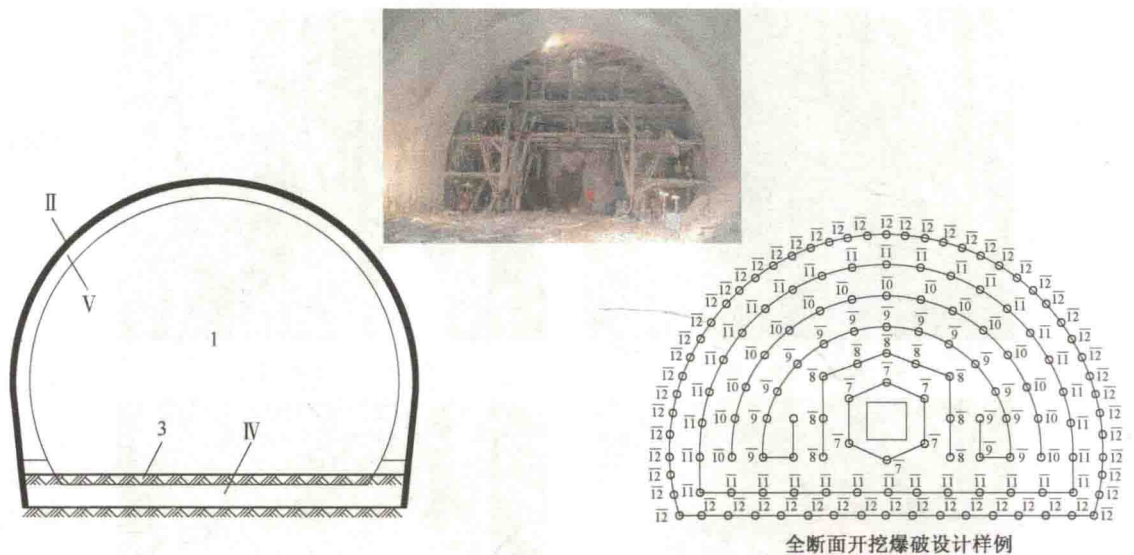


图 1-4 全断面法开挖示意图

1—全断面开挖；Ⅱ—初期支护；3—隧道底部开挖；Ⅳ—底板（仰拱）浇筑；Ⅴ—拱墙二次衬砌

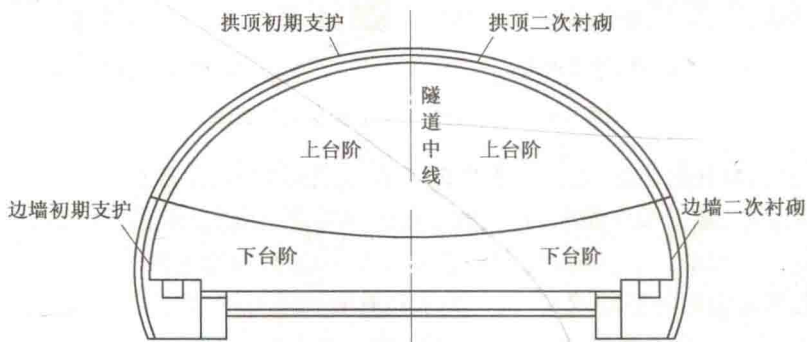


图 1-5 上下台阶法开挖示意图

差,闭合时间要求愈短,对施工的组织设计影响较大,所以开挖过程中对围岩等级及风险预估能力的要求较高。

上下台阶法在Ⅱ、Ⅲ级围岩地层中使用较为广泛。

3. 中隔墙法

中隔墙法也称 CD 工法 (Center Diaphragm), 是以台阶法为基础, 沿着隧道的一侧, 从上往下分两部分或三部分进行开挖, 将隧道断面从中间分成左、右两部分, 每一部分开挖并支护后形成独立的闭合单元。通过隧道断面中部的临时支撑隔墙, 将断面跨度一分为二, 减小了开挖断面跨度, 使断面受力更合理, 从而使隧道开挖更加安全、可靠。

采用该法进行隧道开挖时, 台阶长度一般为 1~1.5 倍洞径 (此处洞径取分部高度和跨度的大值)。先开挖一侧断面与后开挖断面的间距一般按 1~1.5 倍洞径进行控制。为了稳定工作面, 可采取超前大管棚、超前锚杆、超前小管棚、超前预注浆等辅助施工措施进行超前加固。

中隔墙法主要适用于地层较差的Ⅳ、Ⅴ级围岩地层、不稳定岩体和浅埋段、偏压段、洞口