

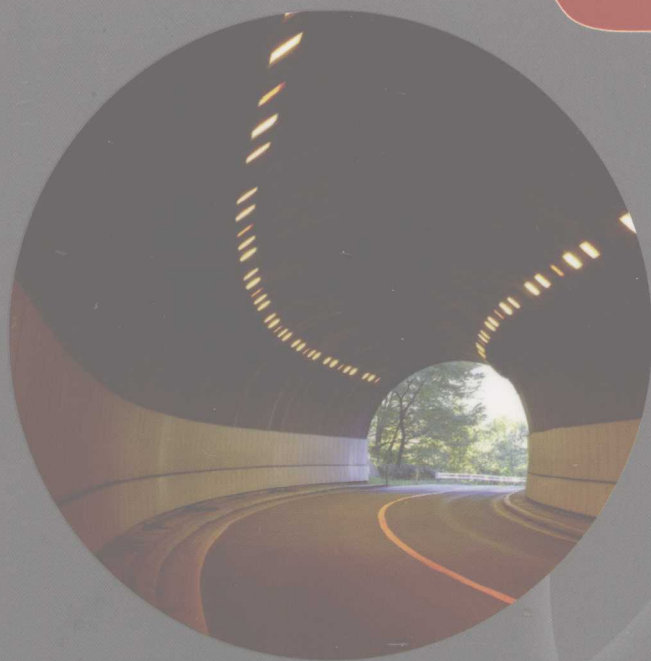


21世纪技术与工程著作系列·土木工程

Mechanical Behaviour of Large Span Tunnel
during Construntion and Crack Mechanism of Lining

大跨隧道施工力学行为及 衬砌裂缝产生机理

傅鹤林 郭 磊 欧阳刚杰 闻 生 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



大跨隧道施工力学行为 及衬砌裂缝产生机理

科学出版社

北 京

内 容 简 介

大跨度隧道施工力学行为及衬砌裂缝产生机理是困扰隧道科技工作者的一个难题。作者借助于数值分析,针对工程中常见的Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ级围岩中大跨度单拱和边拱隧道施工的力学行为进行了较深入研究。通过研究得到了不同级别围岩中大跨度隧道的合理开挖顺序。隧道渗透水是影响隧道安全运营和结构稳定的主要不利因素,而初砌开裂是引起渗漏水的主要原因。本书结合沙坝隧道分析了倾斜岩层中衬砌开裂机理及其承载能力,并提出了相应的处治措施。

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

大跨隧道施工力学行为及衬砌裂缝产生机理/傅鹤林等著. —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 978-7-03-024334-8

I. 大… II. 傅… III. ①大跨度地下建筑物-隧道工程-工程力学-研究
②大跨度地下建筑物-隧道工程-衬砌-研究 IV. U45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 048641 号

责任编辑:任加林/责任校对:柏连海

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:13 1/4

印数:1—2 000 字数:254 500

• 定价:38.00 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(HA08)

前 言

随着高速公路和高速铁路的飞速发展,大跨度隧道越来越多,而大跨度隧道设计、施工和运营遇到的问题也不少。其中施工力学行为及衬砌裂缝产生机理是困扰隧道科技工作者的一个难题。作者借助于数值分析,针对工程中常见的Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ级围岩中大跨度单拱和连拱隧道施工的力学行为进行了较深入研究。通过研究提出了不同级别围岩中大跨度隧道的合理开挖顺序。隧道渗透水是影响隧道安全运营和结构稳定的主要不利因素,而衬砌开裂是引起渗漏水的主要原因。本书结合沙坝隧道分析了倾斜岩层中衬砌开裂机理及其承载能力,并提出了相应的处治措施,为大跨度隧道的设计、施工和运营管理提供了技术支持。

本书所述内容是历时多年联合攻关和集成创新的结果,先后依托浙江省交通厅项目、武广客专项目、韶赣高速公路项目、渝怀铁路及一系列具体工程项目,并将研究成果在各实体工程中得到成功推广应用。本书是在完成下面项目及实体工程的基础上,为解决具体工程中存在的问题写成的:

1)浙江省交通厅科技项目“连拱隧道建设的关键技术”研究。

2)浙江省交通厅科技项目“不同隧道围岩类别和环境条件下三车道单拱和连拱隧道断面几何参数优化与设计荷载确定研究”。

3)湘潭发电有限责任公司循环进排水管设计方案研究。

4)湘潭发电有限责任公司二号皮带廊道设计方案研究。

5)渝怀铁路沙坝隧道衬砌开裂原因分析。

6)渝怀铁路第十八段拱涵开裂原因分析。

7)铁道部课题“中铁五局武广客运专线 XXTJIV 标隧道施工超前预测预报”。

8)韶赣高速公路粤境段梅关隧道监控量测和超前地质预报。

9)浏阳河水下隧道监测。

此外,通过项目研究,先后还有 8 名博士生、硕士生参与有关课题的完成,取得了系列研究成果。

本书由傅鹤林、郭磊、欧阳刚杰、闻生共同完成,引用了傅鹤林、郭磊、欧阳刚杰、闻生等人的科研课题的部分研究成果,还引用了傅鹤林所指导的博士研究生和硕士研究生董辉、刘金松、邓尚平、许国平、郭明香、沈弘、吕建兵、李园园、向俊宇的学位论文的部分研究成果。硕士生谭鑫、吴小策、黄陵武、谢启东、张聚文、杨甲豹等在本书成稿的整合过程中进行了校对、绘图、打印工作。本书得到了国家自然科学基金委员会、交通部西部项目管理中心、教育部、铁道部、湖南省交通厅、湖南省

高速公路管理局、浙江省公路管理局、湖南省自然科学基金委员会、韶赣高速公路粤境段管理处、中南大学和有关合作单位的悉心指导与大力支持,得到刘宝琛院士、曾庆元院士、李亮教授和朱汉华教授级高工等的热情指导,在此一并感谢!

由于作者水平所限,书中难免存在不妥之处,敬请指正。

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 国内外发展现状	3
1.2.1 大跨度隧道国内外发展现状	3
1.2.2 衬砌裂缝国内外发展现状	6
第二章 不同断面大跨度隧道的力学特性	8
2.1 简述	8
2.1.1 岩体自重应力	8
2.1.2 岩体构造应力	9
2.2 大跨度隧道基本力学特性	10
2.3 不同断面形式的隧道力学特性	10
2.3.1 圆形断面隧道的应力分布	10
2.3.2 椭圆形断面隧道的应力分布	12
2.3.3 矩形断面隧道的应力分布	14
2.3.4 卵形断面隧道的应力分布	15
2.4 扁平率对大跨隧道力学特性影响	15
2.5 仰拱对大跨隧道力学特性的影响	18
2.6 小结	19
第三章 大跨度隧道围岩稳定性分析	20
3.1 影响隧道围岩稳定的有关因素	20
3.1.1 地质及地质结构因素	20
3.1.2 初始应力状态	21
3.1.3 岩体力学性质因素	22
3.1.4 地下水影响	22
3.1.5 工程因素	22
3.1.6 时间因素	23
3.2 基于人工神经网络的隧道围岩判别	23
3.2.1 人工神经网络原理	24
3.2.2 梅关隧道围岩判别的 BP 神经网络实现	30

第四章 大跨度隧道施工方法研究	34
4.1 大跨度隧道基本施工方法	34
4.2 大跨度隧道适用施工方法分析评价	35
4.2.1 全断面法	35
4.2.2 台阶法	36
4.2.3 台阶分部开挖法	37
4.2.4 双侧壁导坑法(眼镜法)	37
4.2.5 中壁法(CD工法和CRD工法)	38
4.2.6 施工方法比较	38
4.3 大跨度隧道施工辅助措施	39
4.4 小结	40
第五章 隧道施工数值模拟的思想	41
5.1 隧道施工过程数值模拟方法	41
5.1.1 基本模拟思想	41
5.1.2 实现卸载过程的具体方法	41
5.2 数值模拟计算方法——拉格朗日差分法	43
第六章 大跨单拱隧道施工力学动态数值模拟与施工方法比选	47
6.1 V级围岩数值分析模型概况	47
6.1.1 V级围岩上下台阶法开挖支护的动态数值模拟	48
6.1.2 V级围岩上下台阶留核心土法开挖支护的动态数值模拟	51
6.1.3 V级围岩CD法(中隔壁法)开挖支护的动态数值模拟	56
6.1.4 V级围岩CRD法(交叉中隔壁法)开挖支护的动态数值模拟	63
6.1.5 V级围岩双侧壁导坑法(眼镜法)开挖支护的动态数值模拟	71
6.2 IV级、III级、II级围岩上下台阶法和CD法开挖支护的数值模拟	79
6.2.1 IV级围岩上下台阶法和CD法开挖支护的数值模拟	79
6.2.2 III级围岩上下台阶法和CD法开挖支护的数值模拟	81
6.2.3 II级围岩上下台阶法和CD法开挖支护的数值模拟	84
6.2.4 两种施工方法的比较	86
第七章 大跨连拱隧道施工力学动态数值模拟与施工方法比选	87
7.1 简述	87
7.2 连拱隧道结构断面形式	87
7.2.1 连拱隧道结构断面形式	87
7.2.2 连拱隧道的开挖方式	90
7.3 双连拱公路隧道不同围岩类别开挖方法的数值模拟	94
7.3.1 模型的建立	94

7.3.2	计算模型的选用	94
7.3.3	计算范围的确定	95
7.3.4	围岩参数的确定	95
7.3.5	喷射混凝土参数计算及模型受力计算	96
7.3.6	V级围岩中双联拱隧道施工数值模拟分析	96
7.3.7	IV级围岩中双联拱隧道施工数值模拟分析	114
7.3.8	III级围岩中双联拱隧道施工数值模拟分析	128
7.3.9	I级、II级围岩施工方法的选择	141
第八章	爆破震动对隧道的结构影响分析	142
8.1	国内外研究现状与进展	142
8.1.1	理论研究	142
8.1.2	经验判据法	143
8.1.3	其他判据	147
8.1.4	现状概述	148
8.2	爆破震动对单拱隧道的结构作用能量机制的数值分析	149
8.3	爆破震动对连拱隧道的中隔墙结构影响分析	154
8.3.1	隧道的工程概况和地质情况	155
8.3.2	动力分析模型及参数选定	156
8.3.3	爆破加载模型的确定	156
8.3.4	计算结果	157
第九章	隧道衬砌极限荷载分析	158
9.1	隧道衬砌上的极限围岩压力	158
9.1.1	非均质岩体强度	158
9.1.2	倾斜层状岩层中隧道极限围岩压力	162
9.2	衬砌结构内力计算	165
9.2.1	计算模型	165
9.2.2	拱圈衬砌内力	165
9.2.3	边墙内力及变形	168
第十章	衬砌开裂机理及其承载能力分析	175
10.1	裂缝机理分析	175
10.1.1	黏结-滑移法	175
10.1.2	无滑移法	177
10.1.3	综合分析	180
10.1.4	缝宽度计算	183
10.2	断裂理论分析开裂衬砌的稳定性	184

10.2.1	混凝土断裂理论	185
10.2.2	受拉伸的 Griffith 裂纹	185
第十一章	隧道衬砌裂纹的整治措施	193
11.1	衬砌裂纹的整治原则	193
11.2	加固围岩的整治措施	193
11.2.1	锚固注浆法	193
11.2.2	深孔压浆法	193
11.2.3	支挡加固和治水稳固围岩	194
11.3	加固衬砌的整治措施	194
11.3.1	喷锚加固裂损衬砌	194
11.3.2	嵌补衬砌裂纹	196
11.3.3	钢筋混凝土套拱	196
11.3.4	拆除重建法	198
11.3.5	隧道底部加固	199
11.3.6	增设仰拱	199
11.4	小结	199
参考文献		200

第一章 绪 论

1.1 引 言

当代国家中的经济发展都离不开交通这一重要基础设施。交通的支柱是交通功能,尤其是陆上交通担当着主要任务。陆上交通的发展,尤其是在多山地区,必然伴随着大量隧道的出现。所谓“隧道”,是指在保留上部地层前提下,开挖出能够提供某种用途的地下空间。由于经济、交通和隧道技术的发展,隧道的定义范围也相应扩大,隧道已不仅存在于铁道、公路、航运之中,而且近年来随着城市建设的高速发展,各种城市道路隧道的建设也越来越多。

我国是一个发展中国家,正在进行大规模的基础建设活动,尤其是西部大开发进行得如火如荼,西部正是我国高原多山地带。由于隧道在缩短线路长度、穿越不良地质地段、提高道路的可靠性和安全性及在运营阶段比路堑因滑坡、落石等病害维修费用少等方面的优点和国防意义上的隐蔽性,因此在未来的几十年内我国必将修建大量的铁路、公路等各种交通隧道。据最新的不完全统计资料表明,我国已建成的公路隧道总数达到 1782 座,总延长超过 1000km;在建公路和铁路隧道 2982 座,延长达到 4708km,特长隧道 68 座,延长 947km。近几年,随着交通需求量的急剧增加,高速公路隧道的建设规模也越来越大,出现了大量的三车道大跨(大断面)交通隧道,其开挖断面为 $113\sim 170\text{m}^2$,比一般的双车道隧道断面大 1.5~2.0 倍。

大跨度隧道,作为较新型的隧道结构,适用于以下几种情况:

- 1) 地形复杂,线路布置极为困难。
- 2) 地质条件复杂,布线严格受限制。
- 3) 占地面积尤其耕地面积严格限制。
- 4) 减少洞口边坡加固工作量。
- 5) 便于运营管理。

同时多连拱隧道可保持线路线型流畅,如在城市中修建三车道单拱和连拱隧道可以大大减少拆迁,还可以增加隧道洞口美观,因而愈来愈被广泛采用。

目前三车道单拱和连拱隧道设计施工过程中存在如下问题:

1) 按照公路隧道设计规范,围岩类别分成六级,岩体级别不同,其受力产生变形的力学模式亦不同。

2) 三车道单拱和连拱隧道断面有马蹄形、圆形、矩形和椭圆形,每一种隧

道断面有其独特受力变形特点。

3) 环境条件包括岩层、岩性、地应力场、地下水, 隧道对应的地表有建筑物等, 在不同隧道围岩类别和环境条件下, 设计动、静荷载也不相同。

4) 隧道设计中荷载的计算公式中包含了围岩的级别和跨度影响系数, 但由于实际工程中, 围岩分级时对于地下水不做定量规定, 且很少考虑隧道开挖对围岩性能的动态影响, 势必引起围岩分级不准确, 自然会影响荷载计算的准确性, 会影响隧道的结构设计。

5) 此外, 荷载计算是以 8m 基本跨度为基准, 三车道连拱隧道中间有一道或几道中隔墙, 中隔墙的受力复杂, 且其墙体材料和力学性能与边墙不可能相同, 因此采用常规的荷载计算公式势必得不到正确的计算结果。

6) 三车道单拱和连拱隧道施工工序多, 相互之间干扰大, 洞室开挖引起围岩应力的多次重分布, 容易造成围岩失稳。

7) 由于洞室开挖跨度大, 且有些三车道单拱和连拱隧道埋深浅, 容易造成地表及地表建筑物塌陷、开裂, 进而造成隧道渗水、涌水及影响建筑物的使用。目前对出现建筑物开裂尚没有一个安全评价规程和加固措施的规范, 这个问题已成为隧道科技工作者面临的迫切需要解决的难题。

8) 在施工过程中支护体系受力不断变化、调整, 围岩也经过多次扰动, 变形多次叠加, 同时采用钻爆法施工爆破对已成型结构影响也是未知数。

9) 隧道设计均以类比法为主, 对于 IV、V、VI 级稳定性较差的破碎围岩及特殊地质围岩, 应及时采用类似隧道盾构施工原理的强预支护或改良地层的设计方法, 预支护抗力参照围岩压力量测, 强预支护设计参数按工程类比法和曲墙式衬砌计算法求得参考值; 预支护力也可按照普氏理论和太沙基理论计算预估围岩压力, 然后乘以折减系数作为预支护力, 用结构力学方法来估算强预支护设计参数, 设计缺乏依据。

10) 目前规范中对三车道单拱和连拱隧道设计, 主要根据《公路隧道设计规范》(JTGD70—2004) 和交通部文件公路法(1996) 447 号来进行三车道单拱和连拱隧道结构设计, 而这些规范和文件主要是为单拱隧道结构设计而制定的, 对于三车道单拱和连拱隧道更谈不上实用性。所有以上这些问题都需要在设计和施工过程中正确处理。

随着我国国民经济的快速发展和用地的日益紧张, 基础设施建设投入不断加大, 隧道与地下工程也在迅猛发展。由于大部分隧道结构设计基准为 100 年, 因此, 对其承载能力、使用安全性要求很高。然而, 由于运营年限、地质条件、气候条件、设计、施工及造价、维修管理等方面的原因, 致使病害隧道数量越来越多。具体表现在: 开裂、渗漏水、变形侵限、掉块、坍塌、基底翻浆冒泥、下沉、底鼓、冻胀等, 其中, 开裂是比较严重的病害之一。有的隧道开裂以后因没

有及时治理,致使突然掉块和坍塌,影响了承载能力,危及使用安全。

1972年我国铁道部工务局及基建总局对全国20世纪30~70年代在不同地质(坚硬、软岩、黄土)条件下修建不同类型(单心圆拱、三心圆拱、直边墙和曲边墙、单线和双线断面)的隧道混凝土衬砌裂缝情况进行了调查分析,其调查隧道94座,总长80.7 km,约有93.2%的隧道衬砌开裂,裂缝长度占隧道总长19.2%。1997年我国对铁路隧道技术状态进行统计,全路有运营隧道5000余座,共计2500 km,其中,由于开裂、渗漏水等原因影响隧道运营的达1502座,占隧道总数的30.04%。由此可见,隧道衬砌开裂情况普遍存在于已建和新建隧道中,对其稳定性及治理技术的研究是至关重要的。

1.2 国内外发展现状

1.2.1 大跨度隧道国内外发展现状

高速公路隧道一般都修建在山区,由于地球的地质构造再加上同一隧道在山区所处的地理位置的不同,围岩的岩性和力学性质也有较大的不同,因此,隧道开挖和支护所需的方式也有较大的差异。

目前,在大跨度隧道设计及施工工法的研究方面,北欧的瑞典、挪威、奥地利和我国的邻国韩国、日本已经走在了世界的前列,并在过去三十多年间的大跨度公路隧道建设中积累了丰富的经验,新奥法设计与施工技术、上半断面超前短台阶法、CD法、CRD法、围岩动态分析技术、单侧壁导坑法、双侧壁导坑法(眼镜工法)、中隔墙法、TBM法等得到广泛应用。

国外,1981年德国在慕尼黑地铁的施工中首创了CD工法,并成功地应用了双侧壁导坑法(眼镜工法)等先进施工工艺。1984年日本人成功地将德国人首创的CD工法应用于大跨度扁担状的真米公路隧道施工,之后在岩土工程界迅速推广。20世纪80年代末期,日本在改扩建东(京)名(古屋)高速公路静冈县御殿场至神奈川县大井松田段期间,应用了双侧逼导坑法、上下短台阶法、上段面一次封闭法、中壁工法、CRD工法等多种施工工法,修建总长达5268 m的9座三车道公路隧道,三车道和紧急停车带开挖面积分别达到 133m^2 和 170m^2 ,开挖断面的宽、高为 $14.530\text{m}\times 8.464\text{m}$,高跨比达到了0.64。韩国清溪隧道开挖面积为 186.42m^2 ,净宽为17.94 m,拱高为9.785 m,采用三心圆扁平拱式断面。1995年开挖面积达 265m^2 的德国最大的三车道高速公路隧道——恩格贝格山底公路隧道开始采用拱部、台阶和仰拱三层七部暗挖-复合衬砌技术施工。

国内近几年来建成的大跨度隧道有:北京一张家口的石佛市1号—2号—3号隧道、潭峪沟隧道、八达岭隧道;昆玉高速公路的山心坡隧道;沪宁高速公路的南京市中山门隧道;京珠高速公路广东省的大宝山隧道、靠椅山隧道;长涪高

速公路的铁山坪隧道；渝黔高速公路的蚌壳山隧道、义学大山隧道、真武山隧道、三王岗隧道；香港西营盘至九龙的双洞三车道海底隧道；广东省的白云山隧道、虎背山隧道、白花山隧道，以及杭新景高速公路群建德段的窑山顶隧道、设岭隧道、鸡毛坞隧道等 8 座隧道均为三车道隧道。贵州凯里市大隔山隧道全长 496m，为单洞双向四车道隧道，其最大开挖宽度达 21.04m，高度 11.5m，净跨 18m，为国内尤其是在市区目前罕见的大跨度隧道；沈（阳）—大（连）高速公路上的韩家岭单洞四车道隧道，全长 521m、宽 23m，最大开挖深度超过 30m，于 2002 年 3 月完成设计，2003 年 9 月主体工程结束；深圳南坪快速公路雅宝隧道单洞开挖跨度达 21.1m，高度 13.68m。广州龙头山隧道全长 1016m、宽 21.47m，最大开高度 13.58m。表 1.1 和表 1.2 分别列举出了国外和国内部分大跨度隧道的修建情况。

表 1.1 国外部分大跨度隧道施工实例

序号	隧道名称	线路名称	隧道断面开挖情况	地质条件	施工工法
1	横滨地铁车站	—	埋深 20m，开挖面积 146m ² ，宽 16.796m，高 10.97m	地层主要为暗蓝灰色粉砂质泥岩与中细粒砂岩互层，局部夹火山碎屑薄层	双侧壁导坑法
2	机场隧道	成田新干线	埋深 0~100m，开挖面积 120~140m ² ，宽 14.3m，高 11.82m	细砂、中砂、及凝灰质黏土	双侧壁导坑法
3	舞子隧道	日本神户鸣门线	埋深 11~50m，开挖面积 148~186m ² ，宽 16.38~19.05m，高 11.37~12.37m	未固结砂砾层	四（六）分部 CD 工法
4	真米公路隧道	日本某公路	埋深 10~15m，开挖面积 120m ² ，宽 13.6m，高 10.5m	第四纪洪积层，砂砾与粉土质层	CD 工法
5	第一武田尾隧道车站	国铁福山线	埋深 0~100m，开挖面积 130m ² ，宽 19m，高 10.24m	流纹石英鞍山岩，较破碎	侧壁导坑法，中央导坑先行的方法
6	慕尼黑黑地铁	德国慕尼黑地铁过渡段	最大开挖面积 176m ² ，宽度 13.2m，高宽比最小为 0.5	土层主要为含承压水的砂层、粉土质层、黏土质和泥灰质地层	CD 法及双侧壁导坑法
7	赫斯拉奇 2 号公路隧道	德国 B14 号公路	开挖断面宽 15.75m，高 12.05m	埋深 12~15m，土层为晚三叠纪石膏、粉砂岩断层破碎带	双侧壁导坑法

表 1.2 国内部分大跨度隧道施工实例

序号	隧道名称	线路名称	隧道断面开挖情况	地质条件	施工工法
1	石佛寺一号公路隧道	京张高速公路	开挖断面宽 13.1m, 高 7.3m	粗粒花岗岩为主, 间插二长岩脉, 洞体岩体呈弱风化~微风化状态, 发育三组节理	台阶法、弧形导坑法
2	铁山坪公路隧道	长涪高速公路	开挖断面宽 13.6m, 高 7.3m, 三车道	中厚长石石英砂夹少量泥岩、粉砂质泥岩、页岩	双侧壁导坑法
3	东港城市公路隧道	浙江舟山	开挖断面宽 14.9m, 高 7.57m, 三车道	II~IV 类围岩, 节理发育	导洞法、台阶法及全断面法施工
4	五龙岭公路隧道	京珠高速公路	最大开挖跨度 32.5m, 连拱隧道, 双向六车道	岩层为断层破碎带, 强风化泥质砂岩夹页岩	三导洞先拱后墙法, 主洞采用台阶法开挖
5	清水沟一号隧道	昆明—玉田高速公路	开挖跨度 32.468m, 双向六车道	泥质白云岩、粉砂岩、长石石英砂岩	三导洞先墙后拱法施工
6	清水沟二号隧道	昆明—玉田高速公路	开挖跨度 32.468m, 双向六车道	白云质灰岩	三导洞先墙后拱法施工
7	象山公路隧道	福州二环路	宽 35.4m, 高 8.9m, 四联拱结构	主体为花岗岩, 局部为辉绿岩脉, 节理发育	墙洞法施工
8	木强隧道	广州北二环高速公路	断面开挖面积达 280 m ² , 开挖跨度达 31.8m, 高 10.6m, 双向六车道	中~弱风化花岗岩, 洞口段为残坡积层	三导洞先墙后拱
9	莲花山公路隧道	广东江鹤高速公路	最大开挖宽度 23.4m, 高的 8.17m, 双向四车道	微风化花岗岩	全断面开挖左右主洞, 中墙岩柱跳槽开挖
10	车坡路隧道	广州东郊城市快速路	开挖宽度 20.8m, 高的 6.006m, 平拱结构	冲积砂层	三导洞施工, 导洞与正洞采用 CRD 法施工
11	天鹿园隧道	广州北二环高速公路	净宽 30m, 双向六车道	弱风化花岗岩, 洞口段强风化花岗岩	三导洞先墙后拱法
12	相思岭隧道	福建福泉高速公路	开挖宽度达 23.67m, 高 7.05m, 双向四车道	弱风化花岗岩和凝灰岩与砂岩	洞口段采用三导坑开挖, 主洞全断面开挖
13	广州龙头山隧道	广州东二环	长 1016m, 宽 21.47, 最大开高度 13.58m	弱风化黑云二长花岗岩	三导洞先墙后拱法施工

由表 1.1、表 1.2 中所介绍的工程实例可以看出,目前在开挖大跨度隧道时主要采用的施工方法有台阶法、分部开挖法、CD 法、CRD 法和双侧壁导坑法等。

台阶法:适用于软弱、节理发育的围岩。

分部开挖法:适用于软弱围岩,隧道跨度较大、地表沉陷较难控制时多采用分部开挖法。

CD 法:此法适用于隧道跨度大、地表沉陷难于控制的软弱松散围岩中的浅埋隧道。

CRD 法:此法具有台阶法及侧壁导坑法的优点,与侧壁导坑法相比具有较快的施工速度,适用于软弱围岩、浅埋大跨度或特大跨度隧道。

双侧壁导坑法:适用于断面跨度大、地表沉陷要求严格,围岩条件特别差的浅埋隧道。

1.2.2 衬砌裂缝国内外发展现状

在统计的病害隧道中,开裂和渗漏水是主要病害,其次为变形侵限和掉块,而翻浆冒泥隧道和二衬厚度不够及强度不足也占有相当大的比例,应引起高度重视。调查中发现,许多隧道往往不止一种病害,而是多种病害同时发生,如掉块的隧道几乎都存在开裂问题,开裂的隧道及翻浆冒泥的隧道大都存在着渗漏水现象,而二衬强度不足,厚度不够的隧道一般均出现了不同程度的开裂问题。而几乎所有的病害形式都与隧道开裂有关,所以开展隧道裂缝形成机理的研究就显得十分迫切了。

目前对于混凝土裂缝的开展和工程结构裂缝的控制研究比较多,有代表性的研究者有王铁梦、方利成、杜彬、张晓峰、蒋元驹、韩素芳、关宝树等。他们的研究对象主要针对除隧道之外的混凝土工程结构,这些研究对象的材料参数和受力情况比较清楚。由于隧道修属于半隐蔽工程,影响因素比较复杂,难度很大,这方面的研究比较少。

对于结构开裂的研究工作,王铁梦对工程结构裂缝进行了详细的研究,从工程结构物裂缝的基本概念、温度对裂缝的影响、应力松弛和各种条件下对各种工程结构裂缝的控制进行了系统的研究,提出了许多很好的思路(如对裂缝控制采取“抗”与放的原则),并具有十分丰富的工程事例,但他对公路隧道衬砌的开裂问题涉及较少。方利成、杜彬、张晓峰等结合现场裂缝实际,通过图文形式直观的描述了隧道裂缝,为全面认识和防治裂缝做了铺垫。蒋元驹、韩素芳从混凝土结构出发,对工程病害与修补加固技术进行了研究。关宝树从力学角度对隧道进行了探讨。林伍湖、邱榕木以福建省漳龙高速公路龙门隧道为例,分析了龙门隧道施工过程中出现的掌子面和拱顶坍塌、地表凹陷开裂、拱脚与煤洞采空区走

向平行、初期支护变形侵入二次衬砌范围、二次衬砌开裂等多种病害,并对施工中的成功经验和教训进行了总结,提出了不良地质条件下隧道病害治理的方法。顾军,魏宝存针对翅膀沟隧道复杂的地质条件,分析了施工过程中隧道出现的多种病害原因,提出了翅膀沟隧道加固整治措施,确保了隧道病害得到有效的控制。吴胜、邓梦春以川藏公路二郎山隧道西引道滑坡病害整治工程为例,介绍了其治理工程措施:预应力锚索框架、锚索墩、路面压浆、自钻式压浆锚杆、挡墙基础压浆、锚索桩等防护措施及施工技术,并对施工质量保证措施进行了总结。张大伟通过对大秦铁路隧道的衬砌渗漏水及路基翻浆冒泥等病害进行调研和对重点隧道的实地考察,结合隧道设计、施工、运营等各方面的资料提出了对病害进行综合整治的建议和措施。赵国旗分析了衬砌开裂的成因,归纳出衬砌开裂的性质和特点,提出了整治衬砌开裂病害的原则,措施和施工方法,对铁路隧道衬砌开裂病害整治其有借鉴与指导作用。何远祥通过实验室试验,对隧道裂纹漏水情况进行了研究,并应用于工程施工防水处理中。沈巍、姚占奎对景荣山隧道出日段的渗漏水病害整治进行了研究,并应用于隧道施工中。赵永明、邓松华对云南某隧道衬砌裂损原因及整治措施进行了分析。郝庆桃对梁家山隧道衬砌裂缝及渗漏水进行了研究,提出了相应的整治措施。陈荣魁对福建霞浦赤岭隧道因地质条件导致的病害进行了研究,并提出了处治措施。徐发俊对洋条公路隧道病害进行了分析,并提出了整治意见。蒋正才对沙子坡隧道病害整治进行了研究。此外,傅鹤林对多洞同时平行开挖时围岩中应力和位移的动态效应进行了研究,提出了洞室顶板“卸荷”效应,并提出了如何利用“卸荷拱”合理安排开挖顺序,还研究了由地下洞室开挖引起围岩应力重分布的地压规律,根据地压规律对地下洞室支护结构进行了设计,保证了隧道受力的合理性,减少了隧道结构建成后产生各种病害的可能性。综上所述,目前对隧道衬砌病害的研究主要是针对运营的某隧道某种原因导致开裂而开展的,对隧道衬砌开裂机理及开裂衬砌稳定性的研究还很系统。

第二章 不同断面大跨度隧道的力学特性

2.1 简 述

地下硐室一般都修建在天然岩体之中,在岩体工程开挖之前的岩体或者在岩体工程影响区之外的岩体中都存在着初始地应力场。在岩体内开挖地下硐室必然扰动或破坏原先处于相对平衡状态的初始地应力场,从而在一定范围内引起地应力的重新分布,并且导致岩体发生某种程度变形。在岩体内开挖地下硐室,由于破坏了已有的地应力平衡状态,而引起地应力重新分布,致使围岩将在径向、切向分别发生引张及压缩变形,因此使得原来的径向压应力降低,而切向压应力升高,这种压应力降低和升高现象随着远离硐室壁而逐渐减弱,以至于达到一定距离后消失。通常,将这种应力重分布所波及的岩石称之为围岩,围岩中的初始地应力状态叫一次应力,重分布后的地应力状态叫二次应力或围岩应力。

依据岩体中初始地应力场产生的主要因素,可以将岩体中初始地应力场划分为两大组成部分,即自重应力场和构造应力场,二者叠加起来变构成岩体初始地应力场的主体。

2.1.1 岩体自重应力

岩体自重应力是由岩体自重产生的三维应力场,如图 2.1 所示。在计算岩体自重应力时,通常引用连续介质理论中岩体为各项均匀同性连续介质的假定。因此,在无外荷载作用下,深度为 z 处的铅垂方向自重应力分量 σ_z 为

$$\sigma_z = \gamma \cdot z \quad (2.1)$$

式中, γ ——岩体容重, kN/m^3 ;

z ——计算点处距地表深度, m ;

σ_z ——铅垂应力分量, MPa 。

在半无限体中的任一微元体上正应力均是主应力,如图 2.1 所示。对于各向同性岩体而言,在 x 、 y 方向的应力是相同的,并考虑半无限体中的任一微元体不可能产生侧向变形,则有

$$\sigma_x = \sigma_y \quad (2.2)$$

$$\epsilon_x = \epsilon_y = 0 \quad (2.3)$$

由式 (2.3) 得