



TEXTBOOK
FOR EDUCATION

高等学校“十二五”规划教材

地下工程施工技术

主编 任建喜

西北工业大学出版社

高等学校“十二五”规划教材

地下工程施工技术

主 编 任建喜

副主编 郑选荣

编 者 任建喜 郑选荣 李金华

于远祥 朱 彬 冯晓光

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书为高等学校“十二五”规划教材。主要内容有地下工程概述、岩体隧道钻爆法施工技术、土质隧道施工技术、盾构法施工技术、隧道掘进机施工技术、井巷工程施工技术、基坑工程施工技术、地下连续墙施工技术、顶管法施工技术、沉管法施工技术、冻结法施工技术、注浆法施工技术和地下工程施工组织与施工监测等。

本书可作为土木工程、工程力学、工程管理相关专业或专业方向学生的教材,也可供从事有关土木工程设计、施工、监理、监测等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下工程施工技术/任建喜主编. —西安:西北工业大学出版社,2012.1

高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5612-3268-2

I. ①地… II. ①任… III. ①地下工程—工程施工—施工技术—高等学校—教材
IV. ①TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 273912 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西向阳印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:20.25

字 数:491 千字

版 次:2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

定 价:40.00 元

前 言

土木工程是建造各类工程设施的科学技术的总称。它主要包括工程设施的勘测、设计、施工、保养和维修等。土木工程的主干学科是结构工程、岩土工程、桥梁与隧道工程；相关学科有市政工程，供热、供燃气、通风及空调工程，防灾、减灾及防护工程，水工结构工程，港口、海岸及近海工程等。目前，土木工程专业按照专业方向进行教学，2010年中华人民共和国住房和城乡建设部制定的《土木工程专业规范(讨论稿)》推荐的三个专业方向是建筑工程、桥梁与隧道工程和地下工程。“地下工程施工技术”是土木工程专业地下工程方向推荐的专业课之一，属于施工原理与方法的知识单元。本书包含了该规范建议的地下工程施工技术课程的知识要点。

随着大学扩招，土木工程本科教育已经从精英教育转向大众教育，培养高级工程应用型人才成为土木工程专业教学的任务。特别是2010年教育部启动了“卓越工程师教育培养计划”，强调培养学生的动手实践能力。本书的编写适应了国家对土木工程人才培养的要求。

本书的主要内容包括地下工程概述、岩体隧道钻爆法施工技术、土质隧道施工技术、盾构法施工技术、隧道掘进机施工技术、井巷工程施工技术、基坑工程施工技术、地下连续墙施工技术、顶管法施工技术、沉管法施工技术、冻结法施工技术、注浆法施工技术和地下工程施工组织与施工监测。本书的内容反映了地下工程领域施工的新技术、新设备、新工艺和先进的管理理念。本着科研与教学相互促进、科研成果融入本科教学的宗旨，本书的许多内容来自于作者的最新科研成果。为提高学生的学习效果，便于学生学习和复习，本书每章均给出了思考题。

本书由任建喜担任主编，郑选荣担任副主编。全书共分13章。具体编写分工如下：第1，7，8，11章和第13章的13.1~13.4节由任建喜编写，第2，3，12章由郑选荣编写，第4，5章由李金华编写，第6章由远祥编写，第9，10章由冯晓光编写，第13章的13.5节由朱彬编写。本书的出版得到西安科技大学教材建设委员会的立项支持，衷心感谢西安科技大学对本书提供的支持！

由于水平有限，本书存在的缺点和不足请读者批评指正。

编 者

2011年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 地下工程的定义	1
1.2 地下工程的作用	1
1.3 地下工程的发展方向	1
1.4 地下工程施工技术新进展	2
1.5 本书涉及的内容	3
1.6 本门课程的学习方法	3
思考题.....	3
第 2 章 岩体隧道钻爆法施工技术	4
2.1 钻爆法隧道开挖方法	4
2.2 爆破破岩作用机理及有关概念	8
2.3 隧道爆破技术.....	11
2.4 装渣和运输.....	33
思考题	40
第 3 章 土质隧道施工技术	41
3.1 浅埋暗挖法.....	41
3.2 盖挖法.....	48
思考题	52
第 4 章 盾构法施工技术	53
4.1 盾构法施工技术要点和其适用范围.....	53
4.2 盾构类型及选择.....	57
4.3 盾构法施工.....	74
思考题	87
第 5 章 隧道掘进机施工技术	88
5.1 隧道掘进机法基本原理及其分类和优缺点.....	88
5.2 隧道掘进机的基本构成和性能.....	89
5.3 采用隧道掘进机法的基本条件.....	95

5.4	隧道掘进机的附属设施	98
5.5	隧道掘进机法的支护技术	101
5.6	掘进机开挖隧道的经济分析与施工管理	102
5.7	隧道掘进机法的辅助工法	104
	思考题	107
第 6 章	井巷工程施工技术	108
6.1	斜井施工技术	108
6.2	立井施工技术	121
6.3	平巷施工技术	145
	思考题	154
第 7 章	基坑工程施工技术	155
7.1	概述	155
7.2	基坑放坡开挖施工	156
7.3	基坑支挡施工	159
7.4	土层锚杆施工	167
	思考题	173
第 8 章	地下连续墙施工技术	174
8.1	概述	174
8.2	地下连续墙施工设计	176
8.3	地下连续墙施工工艺	178
	思考题	199
第 9 章	顶管法施工技术	200
9.1	基本原理	200
9.2	顶管法施工	200
9.3	顶管机及其选型	204
9.4	常用顶管施工技术	208
9.5	顶管工程设计计算	213
9.6	顶管法施工主要技术问题	216
	思考题	221
第 10 章	沉管法施工技术	222
10.1	基本原理	222
10.2	沉管隧道结构	222

10.3	沉管隧道施工工艺	227
10.4	沉管隧道施工的特点	237
	思考题	238
第 11 章	冻结法施工技术	239
11.1	冻结法原理与适用条件	239
11.2	立井冻结法凿井方案设计	239
11.3	立井冻结法施工	257
11.4	斜井井筒冻结技术	261
11.5	地下铁道工程冻结施工技术	264
	思考题	269
第 12 章	注浆法施工技术	270
12.1	注浆法原理	270
12.2	注浆材料及选择	272
12.3	注浆参数	276
12.4	施工程序及施工要点	277
12.5	注浆设备	285
	思考题	286
第 13 章	地下工程施工组织与施工监测	287
13.1	施工组织设计	287
13.2	施工方案	290
13.3	工程进度计划	294
13.4	施工场地设计	300
13.5	施工监测	305
	思考题	313
	参考文献	314

第 1 章 绪 论

本章主要介绍地下工程的定义、作用和发展方向,概述了地下工程施工技术的新进展,简述本书涉及的内容,介绍本门课程的学习方法。

1.1 地下工程的定义

地下工程是指深入地面以下为开发利用地下空间资源所建造的地下土木工程,地下工程涉及的内容很多,主要有地下房屋、地下铁道、公路隧道、水下隧道、上下水道、电力及燃气管道、地下商业街、地下停车场、地下水力发电站、地下能源发电站、地下工厂、地下核能发电设施、各种通道工程、地下共同沟、过街地下通道、人防避难工程和各种储备设施等。

1.2 地下工程的作用

地下工程的作用主要有:

- (1)隧道可供给城市地区的用水、排出雨污水,对环境保护起重要作用。
- (2)地下可提供储藏空间和其他空间,使土地利用面积倍增。
- (3)城市地下人防工程可成为战时避难的场所。
- (4)地下空间可提供放射性废物(核废料)或其他有害废弃物唯一安全的储存场所。
- (5)隧道可提供安全的、高速而经济的交通手段。
- (6)地下停车场是解决城市停车难的重要方式之一。
- (7)食料、液体、瓦斯和二氧化碳的地下储存是社会的发展趋势。

地下空间的利用是多方面的,已渗透到人类生活的各个领域,形成了功能广泛的工程系统和科学体系,并发展成为对国民经济发展具有重要意义的产业。它是一个具有横跨岩土、地质、结构、计算机科学和灾害防御等学科领域的大学科,也是 21 世纪重大的技术领域。在规划我国 21 世纪的学科发展领域时,它的形成和发展是不容忽视的,必须给予应有的重视。

1.3 地下工程的发展方向

目前,各国都把地下空间利用的重点放在城市建设上。如前所述,地下空间作为城市的重要资源,得到了多方面的应用,如地下街、地下停车场、交通设施、通讯设施等。这些地下设施与地面设施一起构成了城市的立体空间网络。

为了更好地开发利用城市地下空间,培养地下空间方面的技术人才,国家在高校设立了“城市地下空间工程”本科专业。各高校在土木工程专业下设置了地下工程专业方向。

从城市地下空间利用的现状看,主要发展重点在联络城市各处设施的地下通道,如地下商

业街、地下联络通道和城市有轨道交通系统(地下铁道和轻轨)。目前,日本在全国 20 多个城市,共拥有 150 多处地下街,总建筑面积为 1 200 000 m²;法国、英国等发达国家也在修建地下街。如加拿大的最大城市蒙特利尔已提出以地下铁道车站为中心,建造联络城市 2/3 设施的地下街网的宏伟规划。

城市有轨交通系统(包括地铁、轻轨、单轨等运送系统),作为城市的基础设施和灾害防御设施,得到了巨大的发展。这是城市地下空间利用的第二个方面。许多国家都针对城市发展规模的特点,在人口超过 50 万的大、中城市纷纷修建和发展大量(>40 000 人/高峰小时)、中量(25 000~40 000 人/高峰小时)、小量(<25 000 人/高峰小时)有轨交通系统,这是城市国际化、现代化的一个重要标志。一些国家也正在研究城市道路地下化的交通系统,如日本东京的地下环形道路的建设,极大地减轻了地面交通的压力。我国近几年掀起的“地铁和轻轨热”方兴未艾。继北京开通地铁之后,上海、广州、深圳已经投入运营。南京、青岛、哈尔滨、成都等城市的地铁都在建设中。西安市地铁规划有 15 条线路,2008 年开始修建地铁 2 号线,2011 年 9 月试运营。总之,利用地下空间,开辟交通通道是解决城市交通拥堵的根本性措施之一。

21 世纪将是开发地下空间的世纪。目前,主要利用地下 20 m 左右的空间,接着利用地下 20~50 m 的空间,以后将逐步发展到地下 100 m 以内的空间。地下空间利用在社会可持续发展中占据着重要的地位;地下空间是国家重要的社会资源,必须加以充分利用;地下空间的利用应作为国家的基本国策,予以技术支持,推进其健康发展;地下空间利用的重点是城市地下空间的综合利用,是建立防灾型城市的基础。需要指出的是,降低地下空间的造价是当务之急,也是发展地下空间的瓶颈问题。

1.4 地下工程施工技术新进展

进入 21 世纪以来,随着科学技术的进步,特别是先进的施工机械的出现,地下工程的施工水平越来越高。地下工程施工技术的新进展主要体现在以下 5 个方面:

(1)地下工程施工机械的自动化水平不断提高。隧道掘进机、盾构机、煤矿巷道掘锚一体机等自动化程度高的大型施工设备得到普遍使用,这些设备的使用极大地提高了劳动效率,降低了工人的劳动强度,使得施工速度不断提高,施工质量不断改善。

(2)以锚杆、锚索联合支护技术为代表的主动支护方法的理论和实践水平不断提高,锚杆、锚索联合支护技术在地下工程一次支护中得到广泛使用,先进的支护技术的使用提高了地下工程施工的速度。

(3)地下工程施工中新的工法不断出现,提高了地下工程施工的水平。如浅埋暗挖法施工,由于具有造价低、拆迁少、灵活多变、无需太多专用设备及不干扰地面交通和周围环境等特点,该工法已经在复杂条件下的城市地铁站及区间施工中得到广泛应用;如盾构法施工具有围岩扰动小、地面沉降小、对地表构筑物影响小等优点,目前在地铁区间隧道工程施工中已经得到普遍使用。

(4)地下工程信息化施工的水平不断提高。由于地下工程施工条件的复杂性,特别是多为隐蔽工程,为保证施工质量和安全,监控预测信息反馈指导地下工程施工已得到广泛的应用,如深基坑工程施工监测、隧道工程施工监测和地铁工程施工监测等。

(5)地下工程项目管理的理论和实践不断发展,进度、质量和成本三大控制在地下工程项

目管理方面得到普遍使用,提高了施工管理水平。

1.5 本书涉及的内容

面对 21 世纪我国城市地下空间开发利用以及能源、交通、水利水电建设的需要,地下工程的领域越来越广、数量越来越多、规模越来越大,对地下工程施工技术的掌握显得越发重要。

由于地下工程涉及的领域多,工程类型多,因此其施工手段及施工技术多样。本书介绍了岩体隧道钻爆法施工技术、土质隧道施工技术、盾构法施工技术、隧道掘进机施工技术、井巷工程施工技术、基坑工程施工技术、地下连续墙施工技术、顶管法施工技术、沉管法施工技术、冻结法施工技术、注浆法施工技术和地下工程施工组织与施工监测。

1.6 本门课程的学习方法

“地下工程施工技术”这门课程需要理论与实践相结合进行学习,作为一门实践性很强的课程,现场实践是学好本门课程的重要手段。学生应首先学习课本的理论知识,尤其是学习施工方法和施工设备的使用方法,然后结合认识实习、生产实习、毕业实习、课程设计和参观等手段进行现场观摩,了解具体的施工过程,巩固课堂上学习的施工机械设备、施工工艺和施工难点,最后通过课后的思考题巩固所学知识。

思 考 题

1. 地下工程的定义是什么?
2. 地下工程的作用是什么?
3. 地下工程的发展方向是什么?
4. 地下工程施工技术有哪些新进展?

第 2 章 岩体隧道钻爆法施工技术

本章主要介绍岩体隧道钻爆法施工技术,主要涉及钻爆开挖、装渣和运输等环节,同时讲述主要施工作业的施工要点、所需设备和材料等。

2.1 钻爆法隧道开挖方法

钻爆法是一种使用最普遍的岩体隧道开挖方法,因其具有适用于各种岩性断面的隧道开挖施工的优点,而得到广泛的应用。

2.1.1 开挖方法

根据不同的地质条件、断面面积及断面形状,钻爆法隧道开挖方法可归纳为如图 2.1 所示的几种类型。

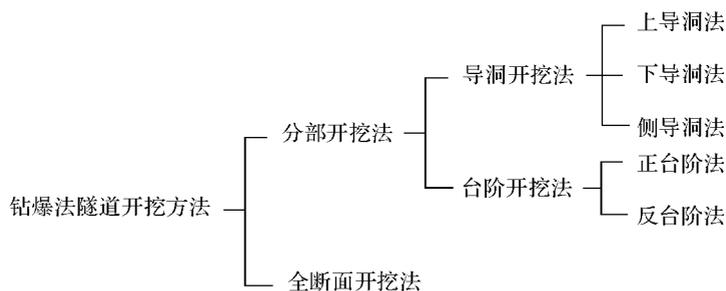


图 2.1 钻爆法隧道开挖方法

一、全断面开挖法

1. 施工特点

当岩石坚固性中等以上,节理裂隙不太发育,围岩整体性较好,断面小于 100 m^2 时,可采用全断面开挖法。采用该法,整个工作面基本上依次向前推进,在开挖工作面上只有一个垂直作业面,凿岩、爆破依次进行,其施工流程如图 2.2 所示。目前,矿山巷道断面小,施工多使用小型凿岩和装运机械,钻凿上部炮孔常采用蹬渣作业,装药连线借助梯子进行,因而多采用全断面开挖法。

应用全断面开挖法开挖洞室的优点是开挖面大,能发挥深孔爆破的优点;作业集中,便于施工管理;工作面空间大,易于通风,适合选用以大型机械为主的机械化作业线,施工进度快。在岩层条件允许的情况下,尽量选择该施工方法。但该施工方法也有缺点,在设备落后、使用小型机械时,凿岩、装药、装岩等比较麻烦,难以提高生产效率。

全断面开挖机械化施工的三条主要作业线是:

(1) 开挖作业线。钻孔台车、装药台车、装载机配合自卸汽车(无轨运输时)、装渣机配合

矿车及电瓶车或内燃机车(有轨运输时)。

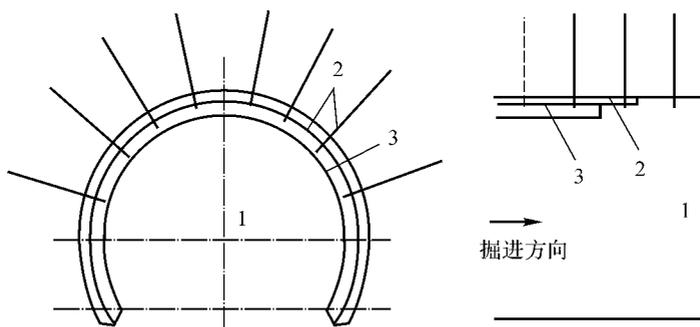


图 2.2 全断面开挖法施工流程

1—全断面开挖;2—锚喷支护;3—灌注混凝土衬砌

(2) 锚喷作业线。混凝土喷射机、混凝土喷射机械手、锚喷作业平台、进料运输设备及锚杆注浆设备。

(3) 模注混凝土衬砌作业线。混凝土拌和工厂、混凝土运输车及输送泵、施作防水层作业平台、衬砌模板台车。

2. 施工注意事项

(1) 为确保施工安全和施工进度,应加强对开挖面前方的工程地质和水文地质的调查,对不良地质情况,要及时预测、预报、分析研究,随时准备好应急措施。

(2) 新奥法施工机械化程度高,各种机械功效匹配。如各工序机械设备要配套:钻眼、装渣、运输、模筑、衬砌支护使用主要机械和相应的辅助机具(钻杆、钻头、调车设备、气腿、凿岩钻架、注油器、集尘器等),在尺寸、性能和生产能力上都要相互配合,施工才不会彼此影响,能充分发挥各种机械设备的使用效率,加快掘进速度。

(3) 注意对各种辅助作业及辅助施工方法的设计与施工检查。如软弱破碎围岩中使用全断面法开挖时,应重视支护前后围岩的动态测量与监控工作。各种辅助作业的三管两线(即高压风管、高压水管、通风管、电线和运输路线)应保持良好的工作状态。

(4) 加强施工生产第一线人员的技术培训。因为新奥法技术性较强,机械设备种类多,需加强施工管理和协调,保证施工安全、质量和进度。

(5) 选择支护类型时,应优先考虑锚杆和锚喷混凝土、挂网等主动支护形式。

二、导洞开挖法

借助辅助巷道(导洞)开挖大断面洞室的方法称为导洞开挖法。先行开挖的导洞可用于洞室施工的通风、行人和运输,并有助于进一步查明洞室范围内的地质情况。这种导洞具有临时性,一般断面 $4\sim 8\text{ m}^2$,在中等稳定岩层中不需临时支护。采用本法施工时不需要特殊设备和机具,并能根据不同地质条件、洞室断面和支护形式变换开挖方法,灵活性大,适用性强。导洞开挖法可根据导洞在主洞室的位置分为上导洞、下导洞和侧导洞等几种开挖法。如图 2.3 所示为上导洞开挖法施工示意图。

三、台阶法

用台阶法开挖时将工作面分成上、下两部分。若上部工作面超前时形成正台阶,称正台阶工作面;若下部工作面超前时形成倒台阶,称反台阶工作面。

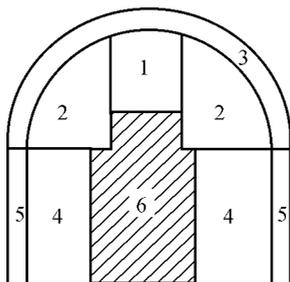


图 2.3 上导洞开挖法施工顺序图

1—上导洞;2—拱部扩大;3—浇灌混凝土拱顶;4—开挖边墙;5—浇灌混凝土边墙;6—挖取中心岩柱

正台阶法:采用正台阶法开挖时,如图 2.4 所示,将洞室断面分成两部分,先掘上部断面使上部超前而出现台阶。爆破后先将拱部用喷射混凝土进行支护,出渣后在上、下断面同时进行凿岩。此外,根据洞室大小及围岩级别可将断面分成几个部分。

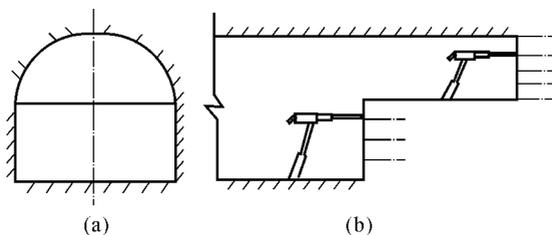


图 2.4 正台阶法开挖示意图

(a)横断面;(b)纵断面

采用正台阶开挖法,当下部台阶开挖时由于开挖工作面具有两个自由面,因此炮眼的钻凿也可以采用向下钻立孔的方式进行。但有时由于凿岩深度不够会出现底板欠挖的现象,此时必须及时纠正。

在整个洞室完成爆破开挖后,自下而上先墙后拱进行浇灌混凝土工作。若采用锚喷支护,拱部锚杆的安设随上部断面的开挖及时进行,而喷射混凝土则可视具体情况分段完成。

正台阶开挖法在施工中需经常调整上、下台阶的进度,且往往由于上部出渣速度慢而影响下部凿岩工序的进行,致使开挖不能按正规循环进行作业。在一般情况下,上部工作面要超前 3~5 m,但在施工中还应根据具体条件调整工艺参数,才能取得良好效果。

反台阶法:采用反台阶法开挖洞室,如图 2.5 所示,先开挖下部断面 I,然后在下部开挖面开挖一段距离后再开挖上部断面 II。在开挖上部断面时,由于有良好的爆破自由面,可适当减少炮孔数量。

在整个洞室开挖后,自下而上先墙后拱浇灌混凝土,若采用锚喷支护、拱顶支护与上部断面开挖平行作业,随后完成墙部支护。

采用反台阶法开挖洞室的主要优点是上部断面爆破时岩渣直接落到洞室底板上,减少了上部工作面人力搬运岩渣的工序,并使上、下两个工作面的作业相互干扰少,平行作业的时间长,工作效率高且管理方便。

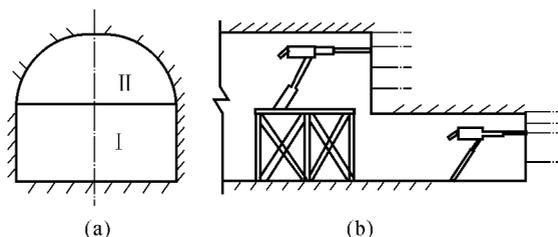


图 2.5 反台阶法开挖示意图

(a)横断面；(b)纵断面

此外,为减少搭设凿岩台架的工作,也可将下部工作面Ⅰ一直掘至洞室的端墙,然后再开挖上部断面Ⅱ,此时凿岩和支护均可利用渣堆做工作台,这样便将全断面反台阶工作面开挖法改变为先拉底后挑顶的两部开挖法。实践证明,该法也是一种行之有效的方法。

采用全断面开挖法和台阶法布置工作面的开挖均具有以下优点:

- (1)开挖空间大,有利于提高施工机械化程度和劳动生产率。
- (2)作业地点集中,施工管理方便。
- (3)轨道和管线路可以一次铺成,并可铺双轨提高出渣效率。
- (4)通风条件好,有利于改善劳动条件。

2.1.2 影响开挖方法的因素

开挖大断面洞室的方法有多种,施工条件各异,因此,为达到施工可靠、速度快、效率高以及保证工程质量、经济效果好等要求,必须综合考虑地质条件、断面面积、支护形式、运输条件及施工队伍与设备条件等有关影响因素,才能合理选择开挖方法。

一、地质因素

洞室的开挖与支护方法、施工速度、工程费用都与围岩的地质条件和地下水情况有关,尤其是开挖方法和支护形式,在很大程度上取决于地质条件。因此,在确定洞室开挖方法时,首先应根据洞室围岩的地质构造、岩石坚固性、地下水情况等,判断洞室围岩的整体稳定性。并根据这种分析,判断围岩的允许暴露面积和暴露时间,以便选择与其相适应的开挖方法。

在复杂地质条件下,施工中有时还需要随着岩石地质条件的变化及时变更开挖方法。另外,为保证洞室顺利施工和投产后设备正常运转,在确定洞室位置时除考虑生产系统的需要外,还应尽量避开断层和软弱夹层较多的不稳定岩层,若难以避开时也应使洞室轴线与岩体软弱结构面的走向尽量接近垂直相交,以保证洞室围岩的稳定性。

在围岩坚固和稳定的情况下,地下水尚不致影响洞室的稳定性,主要是解决施工期的排水问题。但当岩石破碎、松软及遇水膨胀时,地下水有可能造成开挖过程中的冒顶和片帮事故,给施工带来极大困难。因此,规划洞室的位置时应尽量避开复杂的地质构造。

二、断面面积

洞室也因断面面积不同而采用不同的施工方法。这主要是从稳定围岩角度考虑的,其次考虑开挖进度、便于凿岩和装运岩石等因素。因此,针对不同的洞室跨度和高度,就有不同的开挖方法。当岩石条件差时,选择合适的开挖方法尤为重要,许多情况下,这关系到洞室开挖是否顺利甚至能否成功的问题。

在围岩坚固稳定且开挖后的施工期内无需大量的临时支护的条件下,若洞室断面面积小于 100 m^2 ,应采用全断面开挖法施工,这样能有效地提高施工进度。

三、支护形式

洞室的支护形式较多,就其作用可分为临时支护和永久支护(在新奥法中又分别称初次支护和二次支护)。临时支护常用锚喷(网)、钢拱架和格栅拱加模喷支护,其特点是:快速封闭围岩、支护速度快、成本较低。

常用的永久支护有混凝土整体式浇筑和锚喷支护两大类。由于不同的类型,有其不同的工艺特点,就同一类型也因具体条件的差异使施工方法和顺序亦不一样,这就要求开挖方法与之相适应。

在采用整体式混凝土支护时,一般采用先墙后拱的施工顺序较多,这是由于使用先墙后拱的施工方法能获得良好的整体性。然而在某些破碎、松软岩层中,不允许有较大暴露面积的情况下,采用整体式混凝土支护洞室时,为了施工安全采用先拱后墙施工顺序是合理的。

四、装运条件

选择洞室开挖方法,除考虑稳定围岩外,尽量提供便于装运岩石的条件。例如,如使岩渣集中,既便于装运,也便于大型设备施工,减少转车和其他工序等。

五、施工队伍与设备条件

在确定洞室开挖方法时,必须从现实条件出发,尽量利用单位现有的设备和机具,并考虑充分发挥施工队伍的技术特长。

大断面洞室开挖队伍必须是具备经验的专业化施工队伍,该队伍应熟悉洞室开挖方法并配备与要求相适应的设备和机具。

2.2 爆破破岩作用机理及有关概念

2.2.1 爆破破岩作用机理

炸药的爆炸反应是有机物的氧化还原反应,具有高温、高压和高速度的特点。炸药的爆炸过程是爆轰波的传播过程,也是爆炸生成气体和初始做功的过程。当炸药在岩(土)体中爆炸时,爆炸波轰击岩面,以冲击波形式向岩体内部传播,形成动态应力场。冲击波作用时间短,能量密度很高,使炮孔周围岩石产生粉碎性破坏。爆炸气体静压和膨胀做功,有使岩石质点作远离药包中心运动的倾向,岩石受切向拉力,其强度达到岩石抗拉强度时,则岩石破坏,产生径向裂隙。在爆炸结束的瞬间,随着温度下降,气体逸散,介质又为释放压缩能而回弹,从而又可能产生环向裂隙。在爆破力作用下,在偏离径向 45° 的方向上还可能产生剪切裂隙。在这些裂隙的交错切割和剩余爆破力的作用下,岩石即被破碎和移位。

一、无限介质中的爆破作用

假定将药包埋置在无限介质中进行爆破,则在远离药包中心不同的位置上,其爆破作用是不相同的。爆破作用大致可以划分为 3 个区域,如图 2.6 所示。

(1) 压缩粉碎区。它是指半径为 R_1 范围的区域。该区域内介质距离药包最近,受到的压力最大,故破坏最大。当介质为土壤或软岩时,压缩形成一个环形体孔隙;当介质为硬岩时,则产生粉碎区破坏,故称为压缩粉碎区。

(2) 破裂区。 R_1 与 R_2 之间的范围叫破裂区。在这个区域内介质受到的爆破力虽然比压缩粉碎区小,但介质的结构仍然被破坏成碎块。

(3) 震动区。 R_2 与 R_3 之间的范围叫震动区。在此范围内,爆炸能量只能使介质发生弹性变形不能产生破坏作用。

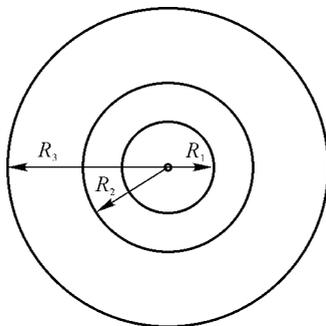


图 2.6 爆破的内部作用

R_1 —压缩粉碎区半径; R_2 —破裂区半径; R_3 —震动区半径

二、临空面与爆破漏斗

临空面又叫自由面,是指暴露在大气中的开挖面。在假定的无限介质中爆破,抛掷和松动是无法实现的。而在有临空面存在的情况下,足够的炸药爆炸能量就会在靠近临空面一侧实现爆破抛掷,其结果是形成一个圆锥形的爆破凹坑,此坑就叫爆破漏斗。爆破抛起的岩块,一部分落在爆破漏斗之外形成爆破堆积体或飞石,另一部分回落到爆破漏斗之内,掩盖了真正的爆破漏斗,形成看得见的爆破坑,叫做可见爆破漏斗,如图 2.7 所示。

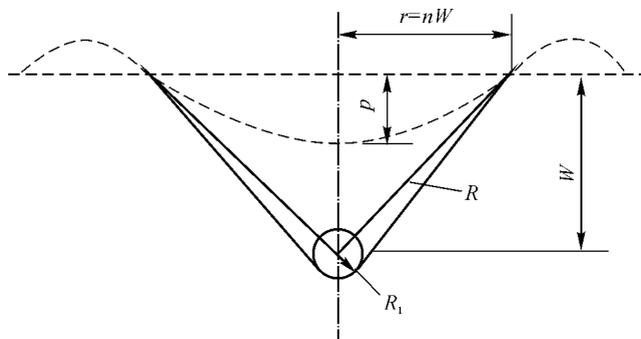


图 2.7 可见爆破漏斗

爆破漏斗由以下几何要素组成:①药包中心到自由面的最短距离,叫最小抵抗线(W);②最小抵抗线与自由面交点到爆破漏斗边沿的距离,叫爆破漏斗半径(r);③药包中心到爆破漏斗边沿的距离叫破裂半径(R);④可见漏斗深度(p);⑤压缩圈半径(R_1)等。

爆破漏斗半径 r 与最小抵抗线 W 比值 n ($n=r/W$),称为爆破作用指数,这是一个描述爆破漏斗大小、爆破性质、抛掷堆积情况等因素的相关系数。通常把 $n=1$ 的爆破称为标准抛掷爆破,其漏斗称为标准抛掷爆破漏斗; $n>1$ 的爆破称为加强抛掷爆破或扬弃爆破; $0.75 < n < 1$ 的爆破称为加强松动或减弱抛掷爆破; $n \leq 0.75$ 的爆破称为松动爆破。平坦地形的松动爆破结果,只能看到岩土破碎和隆起,并没有看见爆破漏斗。

临空面数目多少对爆破效果有很大影响,增加临空面是改善爆破状况,提高爆破效果的重要途径。

三、柱状药包爆破特点

当炮眼装药长度远大于横截面的直径时,形成圆柱状延长药包,简称柱状药包。它是工程爆破中应用最为广泛的药包。球形药包爆炸应力波的传播方向,是以药包中心为圆心成球面状向四周传播。当炮孔方向垂直于临空面,即最小抵抗线与炮孔装药轴线重合时,柱状药包爆炸作用力的方向是平行于临空面而指向岩体内部,即爆破作用受到岩体的挟制作用,但一般仍能形成倒圆锥漏斗,易残留炮窝。

2.2.2 岩石爆破相关名词的含义

在岩石爆破技术中,隧道的掘进受到了特别的重视。隧道爆破是单自由面条件下的岩石爆破,其关键技术是掏槽,其次是周边光面爆破。隧道爆破的原则是:先做出设计,在掌子面上布置炮眼,而后根据设计的炮眼深度和方向钻眼,然后根据设计的装药量及起爆顺序将炸药及不同段别的雷管装入炮眼,待做好安全防护工作后,连接回路并起爆。按照爆破顺序,最初的几个炮眼要形成一个槽腔,破岩深度取决于掏槽效果。成功的隧道爆破,应该是达到预定的进尺,掌子面较平整,岩渣块度适宜装运,轮廓壁面平整,超欠挖在预定的范围之内,围岩稳定。

隧道爆破开挖涉及的主要名词是:

(1)掏槽:即在开挖面的中部,钻一定数量的眼,并且超量装药,以破碎抛掷岩石,首先形成一个槽腔,增加自由面,为其他炮眼的爆破创造条件。

(2)光面爆破:即在开挖轮廓线上布置比普通爆破更为密集的炮眼,并采用装少量炸药的特殊装药结构,周边炮眼间距与抵抗线之比大约为0.8,且在主爆体爆破后同时起爆,使岩体沿开挖轮廓线爆除,使围岩最大限度少受损伤的爆破技术。

(3)预裂爆破:与光面爆破相比,炮眼还要密一些,装药量也要多一些,爆破从开挖断面轮廓线开始,即周边炮眼在断面上的其他炮眼爆破之前同时起爆,其工艺与光面爆破基本一样。当装药量和间距选择适当时,在各炮眼的爆破作用力相互作用下,使周边炮眼之间形成一连续的预裂破裂面,成为随后其余炮眼爆破所产生的爆破冲击波的屏障,使传到破裂面外侧围岩处的爆破作用力减到最小,以使围岩所受到的扰动和破坏达到最小程度。

(4)循环进尺:一次开挖爆破的隧道进尺。

(5)炮眼间距:同一并排同段号爆破两相邻炮眼的中心距离。

(6)抵抗线:药包中心至自由面的最小距离。

(7)炸药单耗:爆破 1 m^3 岩石所需要的炸药量。

(8)炮眼利用率:实际循环进尺与炮眼深度之比。

(9)掏槽眼:开挖断面中部,最先起爆的一些炮眼,为其他炮孔创造有利的爆破条件。

(10)周边眼:周边轮廓线上的炮眼。

(11)底板眼:隧道底边上的炮眼。

(12)炸药的敏感度:炸药在外能作用下起爆的难易程度称为该炸药的敏感度。

(13)炸药的威力:通常用爆力和猛度表示。

(14)爆力:炸药爆炸时对周围介质做功的能力称为爆力(或威力)。炸药的爆力越大,其破坏能力越强,破坏的范围及体积也越大。一般地,爆炸产生的气体物质越多或爆温越高,则其