



高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

Underground Engineering Construction Technology

地下工程施工技术

· 地下工程方向 ·

主编 付厚利 王清标 赵景伟
主审 李海燕 贾致荣



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

地下工程施工技术

主 编 付厚利 王清标 赵景伟
主 审 李海燕 贾致荣



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地下工程施工技术/付厚利,王清标,赵景伟主编. —武汉:武汉大学出版社,2016.1
高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材
ISBN 978-7-307-15816-0

I. 地… II. ①付… ②王… ③赵… III. 地下工程—工程施工—施工技术—高等学校—教材 IV. TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 103145 号

责任编辑:邓 瑶 责任校对:李嘉琪 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:湖北睿智印务有限公司

开本:880×1230 1/16 印张:23.5 字数:749千字

版次:2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷

ISBN 978-7-307-15816-0 定价:48.00元

高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

学术委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:周创兵

副主任委员:方志 叶列平 何若全 沙爱民 范峰 周铁军 魏庆朝
委员:王辉 叶燎原 朱大勇 朱宏平 刘泉声 孙伟民 易思蓉
周云 赵宪忠 赵艳林 姜忻良 彭立敏 程桦 靖洪文

编审委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:李国强

副主任委员:白国良 刘伯权 李正良 余志武 邹超英 徐礼华 高波
委员:丁克伟 丁建国 马昆林 王成 王湛 王媛 王薇
王广俊 王天稳 王曰国 王月明 王文顺 王代玉 王汝恒
王孟钧 王起才 王晓光 王清标 王震宇 牛荻涛 方俊
龙广成 申爱国 付钢 付厚利 白晓红 冯鹏 曲成平
吕平 朱彦鹏 任伟新 华建民 刘小明 刘庆潭 刘素梅
刘新荣 刘殿忠 闫小青 祁皓 许伟 许程洁 许婷华
阮波 杜咏 李波 李斌 李东平 李远富 李炎锋
李耀庄 杨杨 杨志勇 杨淑娟 吴昊 吴明 吴轶
吴涛 何亚伯 何旭辉 余锋 冷伍明 汪梦甫 宋固全
张红 张纯 张飞涟 张向京 张运良 张学富 张晋元
张望喜 陈辉华 邵永松 岳健广 周天华 郑史雄 郑俊杰
胡世阳 侯建国 姜清辉 娄平 袁广林 桂国庆 贾连光
夏元友 夏军武 钱晓倩 高飞 高玮 郭东军 唐柏鉴
黄华 黄声享 曹平周 康明 阎奇武 董军 蒋刚
韩峰 韩庆华 舒兴平 童小东 童华炜 曾珂 雷宏刚
廖莎 廖海黎 蒲小琼 黎冰 戴公连 戴国亮 魏丽敏

出版技术支持

(按姓氏笔画排名)

项目团队:王睿 白立华 曲生伟 蔡巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。


本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录 www.stmpress.cn 下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

丛书序

土木工程涉及国家的基础设施建设,投入大,带动的行业多。改革开放后,我国国民经济持续稳定增长,其中土建行业的贡献率达到1/3。随着城市化的发展,这一趋势还将继续呈现增长势头。土木工程行业的发展,极大地推动了土木工程专业教育的发展。目前,我国有500余所大学开设土木工程专业,在校生达40余万人。

2010年6月,中国工程院和教育部牵头,联合有关部门和行业协(学)会,启动实施“卓越工程师教育培养计划”,以促进我国高等工程教育的改革。其中,“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划”由住房和城乡建设部与教育部组织实施。

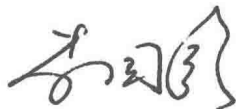
2011年9月,住房和城乡建设部人事司和高等学校土建学科教学指导委员会颁布《高等学校土木工程本科指导性专业规范》,对土木工程专业的学科基础、培养目标、培养规格、教学内容、课程体系及教学基本条件等提出了指导性要求。

在上述背景下,为满足国家建设对土木工程卓越人才的迫切需求,有效推动各高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,促进高等学校土木工程专业教育改革,2013年住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会启动了“高等教育教学改革土木工程专业卓越计划专项”,支持并资助有关高校结合当前土木工程专业高等教育的实际,围绕卓越人才培养目标及模式、实践教学环节、校企合作、课程建设、教学资源建设、师资培养等专业建设中的重点、亟待解决的问题开展研究,以对土木工程专业教育起到引导和示范作用。

为配合土木工程专业实施卓越工程师教育培养计划的教学改革及教学资源建设,由武汉大学发起,联合国内部分土木工程教育专家和企业工程专家,启动了“高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材”建设项目。该系列教材贯彻落实《高等学校土木工程本科指导性专业规范》《卓越工程师教育培养计划通用标准》和《土木工程卓越工程师教育培养计划专业标准》,力图以工程实际为背景,以工程技术为主线,着力提升学生的工程素养,培养学生的工程实践能力和工程创新能力。该系列教材的编写人员,大多主持或参加了住房和城乡建设部高等学校土木工程学科专业指导委员会的“土木工程专业卓越计划专项”教改项目,因此该系列教材也是“土木工程专业卓越计划专项”的教改成果。

土木工程专业卓越工程师教育培养计划的实施,需要校企合作,期望土木工程专业教育专家与工程专家一道,共同为土木工程专业卓越工程师的培养作出贡献!

是以为序。



2014年3月于同济大学四平路校区

前 言

地下工程施工技术是土木工程专业、城市地下空间工程专业、矿井建设专业、水利水电工程专业等主干专业的课程之一。通过本课程的学习,学生应掌握地下工程施工技术的基本理论、方法和手段,具备独立分析和综合运用专业知识解决实际问题、从事地下工程施工的初步能力。在本书编写过程中,编者结合我国当前建筑业、施工企业的发展状况,吸收了国内外地下工程施工技术学科的最新理论和成果,取材面广,内容丰富,尽量反映当前地下工程施工的主要工艺与技术,先进性、实用性较强。

本书的主要内容分为5篇:第1篇是地下工程掘进技术,第2篇是地下工程装岩与排矸技术,第3篇是地下工程支护技术,第4篇是地下工程施工监测技术,第5篇是施工组织设计。本书的特点是:以开挖、运输和支护三项地下工程施工的基本作业为主线,全面介绍了不同工程领域和不同施工条件下的地下工程施工技术与工艺方法,注重理论联系实际,以地下工程施工技术内容为主,系统地介绍了与施工技术关系密切的施工监测、施工对环境的影响、施工管理等内容。

本书可作为土木工程类专业的教材,不仅适用于矿山、铁路、公路、水利水电、城市地下空间等方向开设地下工程课程的高等学校使用,还可供相关行业的工程技术人员学习、参考。

本书由临沂大学付厚利,山东科技大学王清标、赵景伟担任主编;山东科技大学李惠担任参编。

全书共分为5篇21章,具体编写分工如下:前言、第1篇由付厚利编写,第2篇由李惠编写,第3篇由王清标编写,第4~5篇由赵景伟编写。

全书由付厚利教授统稿。山东大学李海燕教授和山东理工大学贾致荣教授担任本书主审,详细审阅了编写大纲和全部书稿,并提出宝贵的修改意见,特此感谢。

由于编写时间和水平有限,本书难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2015年10月

目 录

第 1 篇 地下工程掘进技术

1 隧道钻爆法施工技术	(3)	2.5.2 钻井机机型的选择	(57)
1.1 隧道爆破的基本概念	(4)	2.5.3 立井钻井机凿井的工艺流程	(58)
1.2 钻爆法隧道开挖方法	(5)	2.5.4 井筒钻进的工艺流程	(59)
1.2.1 开挖方法	(5)	2.6 反井施工法	(59)
1.2.2 影响开挖方法的因素	(6)	2.6.1 普通反井法	(60)
1.3 隧道爆破技术	(7)	2.6.2 吊罐反井法	(60)
1.3.1 隧道爆破常用炸药	(7)	2.6.3 爬罐反井法	(63)
1.3.2 隧道爆破器材及起爆方法	(8)	2.6.4 钻进反井法	(63)
1.3.3 凿岩爆破基本参数	(12)	2.7 沉井法	(65)
1.3.4 钻爆施工程序	(18)	2.7.1 沉井分类	(65)
1.3.5 布孔技术	(20)	2.7.2 不淹水沉井	(66)
1.3.6 光面(预裂)爆破技术	(26)	2.7.3 淹水沉井	(67)
1.3.7 隧道爆破设计	(37)	2.7.4 沉井结构	(68)
本章小结	(41)	2.7.5 井壁施工	(70)
独立思考	(42)	2.7.6 井壁防偏与纠偏	(72)
2 立井施工	(43)	2.7.7 封底与固井	(74)
2.1 概述	(44)	本章小结	(75)
2.2 表土施工	(44)	独立思考	(76)
2.2.1 井帮围护方法	(44)	3 斜井施工	(77)
2.2.2 井筒的挖掘方法	(45)	3.1 概述	(78)
2.2.3 井壁的砌筑方法	(46)	3.2 斜井表土施工	(78)
2.2.4 表土施工方法的选择	(47)	3.2.1 斜井井口明槽施工	(78)
2.3 钻眼爆破	(47)	3.2.2 井筒表土施工	(81)
2.3.1 钻眼工作	(47)	3.3 斜井基岩施工	(82)
2.3.2 爆破工作	(48)	3.4 由下向上施工斜巷	(84)
2.4 施工作业方式	(53)	本章小结	(84)
2.4.1 掘砌单行作业	(53)	独立思考	(84)
2.4.2 掘砌平行作业	(54)	4 盾构法施工技术	(85)
2.4.3 短段掘砌(喷)混合作业	(54)	4.1 概述	(86)
2.4.4 施工作业方式的选择	(55)	4.2 盾构机基本构造	(86)
2.5 钻井法	(56)	4.3 盾构法施工	(87)
2.5.1 机械破岩机理	(56)	4.3.1 施工准备工作	(87)
		4.3.2 盾构的安装与拆卸	(92)

4.3.3 盾构掘进	(92)	7 沉管隧道施工	(126)
4.3.4 盾构法施工地面沉降机理、 预测和防治	(96)	7.1 概述	(127)
本章小结	(99)	7.2 沉管隧道施工工艺	(128)
独立思考	(99)	7.2.1 沉管法施工的前期调查 工作	(128)
5 隧道掘进机施工技术	(100)	7.2.2 临时干坞的构造与施工	(129)
5.1 概述	(101)	7.2.3 管段制作	(130)
5.1.1 隧道掘进机法的基本原理	(101)	7.2.4 管段浮运	(132)
5.1.2 隧道掘进机的分类与 优缺点	(101)	7.2.5 沟槽浚挖	(132)
5.2 采用隧道掘进机法的基本条件	(102)	7.2.6 管段沉放	(134)
5.2.1 工程地质条件	(102)	7.2.7 水下连接	(135)
5.2.2 机械条件	(104)	7.2.8 基础施工	(136)
5.2.3 开挖长度	(104)	7.2.9 覆土回填	(137)
5.2.4 工程所在地的设施条件	(105)	7.3 沉管隧道施工的特点	(138)
5.3 隧道掘进机的附属设施	(105)	本章小结	(139)
5.3.1 掘进机附属设备的设置 原则	(105)	独立思考	(139)
5.3.2 附属设备的种类	(105)	8 冻结法施工技术	(140)
5.3.3 集尘及通风设备	(107)	8.1 冻结法的原理与适用条件	(141)
5.3.4 洞内超前钻孔设备	(107)	8.1.1 冻结法的原理	(141)
5.4 隧道掘进机法的辅助工法	(107)	8.1.2 冻结法的适用条件	(142)
5.4.1 采用辅助工法的地质条件	(108)	8.2 立井冻结法凿井方案设计	(142)
5.4.2 事故类型	(108)	8.2.1 准备工作	(142)
5.4.3 辅助工法的类型	(109)	8.2.2 立井井筒冻结深度确定的 一般原则	(143)
本章小结	(110)	8.2.3 立井井筒冻结施工方案	(143)
独立思考	(110)	8.2.4 立井井筒冻结壁厚度的 计算	(149)
6 顶管施工技术	(111)	8.2.5 立井井筒冻结施工冻结孔和 观测孔的布置	(154)
6.1 顶管施工的基本原理	(112)	8.2.6 立井井筒冻结壁位移与段高 的控制	(156)
6.2 常用顶管施工技术	(113)	8.3 立井冻结法施工	(157)
6.2.1 人工式顶管施工	(113)	8.3.1 冷冻站安装	(157)
6.2.2 泥水平衡式顶管施工	(114)	8.3.2 冻结钻孔和冻结器的安装	(159)
6.2.3 土压平衡式顶管施工	(116)	8.3.3 井筒冻结	(159)
6.3 顶管施工及进、出洞技术	(117)	8.3.4 井筒掘进	(160)
6.3.1 顶进前的施工准备	(117)	8.3.5 井筒砌壁	(161)
6.3.2 顶管出洞段施工	(118)	8.3.6 收尾工作	(161)
6.3.3 顶管正常顶进施工	(118)	8.3.7 施工组织	(161)
6.3.4 顶管进洞段施工	(119)	8.4 斜井井筒冻结施工技术	(162)
6.4 顶管施工的主要技术问题	(120)	本章小结	(164)
本章小结	(125)	独立思考	(164)
独立思考	(125)		

9 注浆法施工技术	(165)	为主的机械化作业线	(208)
9.1 注浆法的原理	(166)	11.6.2 以全液压钻车和侧卸式装岩机	
9.1.1 浆液扩散机理	(166)	为主的机械化作业线	(209)
9.1.2 注浆作用机理	(167)	11.6.3 其他机械化作业线	(211)
9.2 注浆材料及其选择	(168)	11.6.4 机械化作业线的选择	(213)
9.2.1 注浆材料	(168)	本章小结	(214)
9.2.2 注浆材料的选择	(170)	独立思考	(214)
9.3 注浆参数	(171)		
9.4 施工程序及施工要点	(172)	12 立(竖)井施工装运技术	(215)
9.4.1 施工程序	(172)	12.1 概述	(216)
9.4.2 施工要点	(174)	12.2 表土段装岩提升	(216)
9.5 注浆设备	(179)	12.3 基岩段装岩工作	(218)
本章小结	(180)	12.3.1 抓岩机械	(218)
独立思考	(180)	12.3.2 抓岩机的选择	(220)
		12.4 基岩段提升与悬吊	(220)
10 混凝土帷幕法	(181)	12.4.1 提升方式	(221)
10.1 概述	(182)	12.4.2 凿井井架	(221)
10.2 槽孔施工	(183)	12.4.3 提升吊桶	(222)
10.2.1 造孔设备	(183)	12.4.4 钢丝绳	(223)
10.2.2 槽孔施工要点	(184)	12.4.5 提升机(卷扬机)	(224)
10.3 灌注混凝土	(186)	12.4.6 凿井绞车	(226)
本章小结	(188)	12.4.7 天轮	(227)
独立思考	(188)	12.5 基岩段排矸	(227)
		12.6 钻井法施工中的排矸技术	(228)
第2篇 地下工程装岩与排矸技术		12.6.1 洗井方式	(228)
11 水平巷(隧)道施工装运技术	(191)	12.6.2 洗井液	(229)
11.1 概述	(192)	12.6.3 泥浆	(230)
11.2 装岩工作	(192)	12.6.4 压气排液器	(230)
11.2.1 渣量计算	(192)	12.6.5 洗井液的净化	(231)
11.2.2 出渣设备配置数量计算	(192)	12.6.6 废弃泥浆处理技术	(232)
11.2.3 出渣时间计算	(193)	12.7 井筒施工机械化配套及设施	
11.2.4 装岩方式	(193)	布置	(232)
11.2.5 装岩机械	(193)	12.7.1 机械化配套作业线	(232)
11.3 运输工作	(199)	12.7.2 立井施工设施及布置	(233)
11.3.1 有轨式运输	(199)	本章小结	(238)
11.3.2 无轨式运输	(201)	独立思考	(238)
11.4 调车工作	(202)		
11.4.1 固定错车场调车	(202)	13 斜井(巷)施工装运技术	(239)
11.4.2 活动错车场调车	(203)	13.1 概述	(240)
11.4.3 运输轨道和运输组织	(205)	13.2 斜井(巷)表土施工装运	(240)
11.5 矸石转载	(207)	13.2.1 斜井井口明槽施工装运	(240)
11.6 岩巷掘进机械化作业线与快速		13.2.2 斜井井筒表土施工装运	(241)
施工技术	(208)	13.3 斜井(巷)基岩施工装运	(241)
11.6.1 以气腿式凿岩机和耙斗式装岩机		13.3.1 装岩工作	(241)

13.3.2 提升与运输工作	(242)	15.2.2 锚杆施工前的准备工作	(293)
13.4 上山施工斜巷装运	(246)	15.2.3 锚杆孔施工要求	(294)
13.4.1 装岩工作	(246)	15.2.4 普通水泥砂浆锚杆施工 要点	(295)
13.4.2 提升与运输工作	(247)	15.2.5 早强水泥砂浆锚杆的 施工要点	(296)
13.5 斜井(巷)机械化快速施工	(248)	15.2.6 早强药包内(树脂)锚头 锚杆的施工要点	(296)
13.5.1 我国斜井(巷)机械化快速 施工概况	(248)	15.2.7 缝管式摩擦锚杆的施工 要点	(296)
13.5.2 机械化配套	(249)	15.2.8 楔缝式内锚头锚杆的 施工要点	(297)
本章小结	(251)	15.2.9 胀壳式内锚头钢绞线预应力 锚索的施工要点	(297)
独立思考	(252)	15.3 喷射混凝土施工	(297)
第3篇 地下工程支护技术		15.3.1 喷射混凝土的基本原理及 特点	(297)
14 基坑工程支护技术	(255)	15.3.2 喷射混凝土的工艺流程 种类	(297)
14.1 常见的深基坑支护技术	(256)	15.3.3 喷射混凝土的施工要点	(299)
14.2 连续钢板桩支护	(257)	15.4 钢拱架支护施工	(302)
14.3 水泥土搅拌桩挡墙	(259)	15.5 二次衬砌施工	(302)
14.4 钻孔灌注桩支护结构	(260)	15.6 联合支护	(304)
14.5 土层锚杆(索)支护	(261)	15.6.1 锚喷支护	(304)
14.6 地下连续墙	(263)	15.6.2 锚网喷支护	(304)
14.6.1 地下连续墙的分类	(264)	15.6.3 锚喷钢架支护	(305)
14.6.2 地下连续墙的优缺点	(264)	15.6.4 钢筋网壳锚喷支护	(305)
14.6.3 地下连续墙施工工艺	(265)	15.6.5 锚注喷射混凝土支护	(306)
14.7 土钉支护技术	(270)	15.7 连续式衬砌支护	(306)
14.7.1 土钉的分类及施工方法	(270)	15.7.1 砌筑式支护	(306)
14.7.2 土钉支护结构的施工技术	(270)	15.7.2 现浇混凝土衬砌施工	(307)
14.8 SMW 工法	(275)	本章小结	(308)
14.9 逆作拱墙	(276)	独立思考	(309)
14.10 逆作法施工	(277)	16 立井井筒支护	(310)
14.11 冻结法基坑围护工艺要点	(278)	16.1 立井临时支护	(311)
14.12 锚喷网支护	(279)	16.1.1 立井井筒冻结	(311)
本章小结	(280)	16.1.2 工作面预注浆	(311)
独立思考	(280)	16.2 立井的永久支护	(314)
15 水平隧道(岩巷)支护技术	(281)	16.2.1 模板	(314)
15.1 隧道的临时支护	(282)	16.2.2 立井井壁衬砌施工	(315)
15.1.1 小管棚法	(282)	本章小结	(316)
15.1.2 大管棚法	(283)	独立思考	(316)
15.1.3 棚室支护	(285)		
15.1.4 掘进机机载临时支护作业 工程	(286)		
15.1.5 注浆法	(287)		
15.1.6 超前锚杆	(290)		
15.1.7 水平旋喷预支护	(293)		
15.2 锚杆支护施工	(293)		
15.2.1 锚杆施工的一般规定	(293)		

17 斜井(巷)支护施工	(317)
17.1 斜井表土支护施工	(318)
17.2 斜井基岩支护施工	(320)
17.3 由下向上斜巷的支护工作	(322)
本章小结	(322)
独立思考	(322)
18 盾构法支护施工	(323)
18.1 管片的拼装支护	(324)
18.2 盾构隧道的二次衬砌	(324)
本章小结	(326)
独立思考	(326)
19 隧道掘进机(TBM)法支护技术	(327)
本章小结	(329)
独立思考	(329)

第4篇 地下工程施工监测技术

20 地下工程监测技术	(333)
20.1 概述	(334)
20.1.1 监测的意义	(334)
20.1.2 监测范围	(335)
20.1.3 地下巷(隧)道围岩监测内容、 项目及适用范围	(336)
20.2 监测方案设计	(336)
20.2.1 观测项目的确定	(336)
20.2.2 观测布置	(338)
20.2.3 主要量测项目的量测方法	(341)

20.2.4 观测频度的确定	(344)
20.3 监测数据的整理与分析、反馈	(345)
20.3.1 观测资料的整理	(345)
20.3.2 观测资料的分析与反馈	(346)
本章小结	(348)
独立思考	(348)

第5篇 施工组织设计

21 施工组织设计	(351)
21.1 概述	(352)
21.1.1 施工组织设计的作用	(352)
21.1.2 施工组织设计的编制内容	(352)
21.1.3 施工组织设计的编制步骤	(353)
21.1.4 施工组织设计的编制依据、 原则及程序	(354)
21.2 施工方案	(355)
21.2.1 施工方法的选择	(355)
21.2.2 选择施工方案的原则	(356)
21.2.3 施工方案的主要内容	(356)
21.3 施工进度计划	(358)
21.3.1 施工作业方式	(358)
21.3.2 施工进度计划的表现形式	(359)
21.3.3 施工进度计划的编制	(361)
本章小结	(361)
独立思考	(362)
参考文献	(363)

第 1 篇

地下工程掘进技术

隧道钻爆法施工技术

课前导读

□ 内容提要

本章主要介绍隧道钻爆法施工技术，隧道的开挖方法、爆破技术、布孔技术等。

□ 能力要求

通过本章的学习，学生应掌握爆破设计的方法、爆破技术，了解隧道爆破的基本概念等。

1.1 隧道爆破的基本概念 >>>

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,其次是周边孔光面爆破。隧道爆破程序是:先按设计在掌子面上布置炮眼,再根据设计的炮眼位置、深度、方向钻眼,最后根据设计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。较理想的隧道爆破效果,应该是开挖深度达到预定的进尺,轮廓壁面及掌子面平整,岩渣块度适宜装运,对围岩的扰动小。

隧道爆破涉及的主要名词如下。

掏槽:在开挖断面的中部(适当偏下),钻一定数量的炮眼,超量装药,最先起爆,以破碎抛掷岩石,形成一个槽腔,增加自由面,为其他炮眼的爆破创造条件。

光面爆破:在开挖轮廓线上按设计的炮眼密集系数,布置比普通爆破更为密集的炮眼,并采用少量、不耦合装药的特殊装药结构,在主爆孔爆破后同时起爆,使被爆岩体沿开挖轮廓线爆除,并使围岩最大限度少受损伤的爆破技术。

预裂爆破:按设计的密集炮眼和装药形式,在开挖断面轮廓线上钻眼、装药,并将周边炮眼在断面上的所有其他炮眼爆破之前同时起爆。当装药量和炮眼间距选择适当时,周边各炮眼在爆炸荷载作用下,形成一个相互贯穿的预裂面,成为主炮眼爆破所产生的爆炸应力波的屏障,隔阻或减小主炮眼爆破对周围岩体的破坏影响。

循环进尺:一次开挖爆破的隧道进尺。

炮眼间距:同一排两相邻炮眼的中心距离。

抵抗线:药包中心至自由面的最小距离。

炮眼利用率:实际循环进尺与炮眼深度之比。

掏槽眼:开挖断面中部偏下,最先起爆的炮眼。

辅助眼:掏槽眼之外、周边眼之内的所有炮眼。

周边眼:周边轮廓线上的炮眼。

底板眼:隧道底边上的炮眼。

炸药的敏感度:炸药在外能作用下起爆的难易程度,称为炸药的敏感度,简称感度。某一炸药起爆所需的外能小,则该炸药的感度高;反之,则该炸药的感度低。同一种炸药对于不同的外能,感度是不一样的。在实际工作中,必须综合炸药对各种外能作用所表现的感度,全面评价该炸药的敏感度。

炸药的威力:通常用爆力和猛度表示。

爆力:在某一介质体内,炸药爆炸破坏一定量的介质的能力,用体积单位来表示。炸药的爆力是表示炸药爆炸做功的一个指标。它表示炸药爆炸所产生的冲击波和爆轰气体作用于介质内部,对介质产生压缩、破坏和抛移的做功能力。炸药的爆力越大,破坏岩石的能量就越大。爆力的大小取决于炸药的爆热、爆温和爆炸生成气体的体积。炸药的爆热、爆温越高,生成气体体积就越大,则爆力就越大。

猛度:炸药爆炸瞬间,爆轰波和爆炸产物直接对与之接触的固体介质局部产生破碎、压缩的能力。炸药猛度大小用长度单位来表示。猛度大小主要取决于爆速。爆速越高,猛度越大,介质被粉碎、压缩得越厉害。

炸药爆炸的稳定性:爆轰波在炸药中稳定传播的速度简称爆速。炸药起爆后,爆轰波以最大的速度稳定传播的过程,称为理想爆轰。在一定的条件下,炸药达不到理想爆轰,但还能以相应的某一常速度稳定传播爆轰波的过程,称为稳定传爆。炸药理想爆轰时,才能充分释放出其固有能量,否则爆轰不稳定,会降低爆炸效果,甚至发生拒爆。为充分利用炸药的爆炸能,提高爆破效果,保障施工安全,必须保证炸药的稳定传爆,争取达到理想传爆。影响爆炸稳定性的主要因素有药包直径、密度、径向间隙约束条件等。

1.2 钻爆法隧道开挖方法 >>>

目前,钻爆法是一种使用最普遍的岩石隧道开挖方法。由于其具有适用于各种岩性、各种断面的隧道开挖施工的优点,因此得到了广泛的应用。

1.2.1 开挖方法

根据不同的地质条件和断面面积,钻爆法隧道开挖方法可归纳为如下几种类型,如图 1-1 所示。

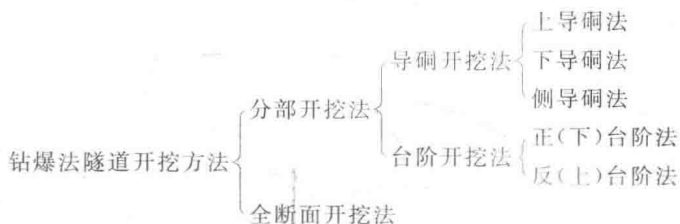


图 1-1 钻爆法隧道开挖方法

(1) 全断面开挖法

当岩石坚固性在中等以上,节理裂隙不甚发育,围岩整体性较好,断面面积小于 100 m^2 时,可采用全断面开挖法。采用该法时,整个工作面基本上一次向前推进,在开挖工作面上只有一个垂直作业面,凿岩、爆破依次进行。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。

该法的优点是: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。如日本大成公司在云南鲁布革工程直径 8.8 m 引水隧道中使用该法,月成洞达 250 m 以上。因此,在岩层条件允许的情况下,应尽量选择该施工方法。但该方法也有缺点,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。

(2) 台阶开挖法

采用台阶开挖法时,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,则称为正台阶工作面;若下部工作面超前时形成倒台阶,则称为反台阶工作面。

正台阶法:采用正台阶法开挖时,将洞室断面分成两部分,先掘上部断面使上部工作面超前而出现台阶。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(图 1-2)。此外,根据洞室大小也可将断面分成几个部分,但在施工中一般采用两个台阶。

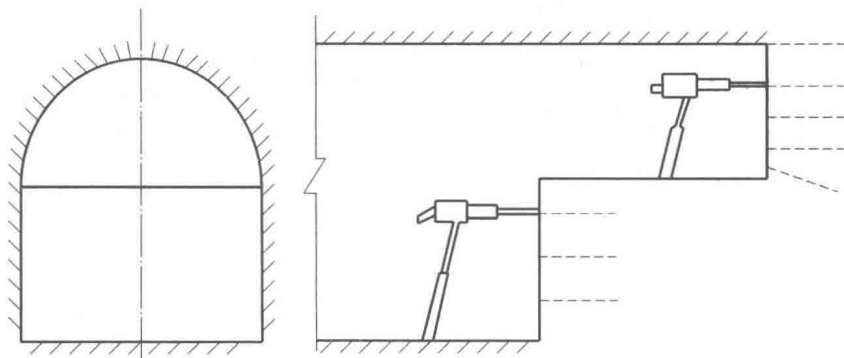


图 1-2 正台阶法开挖示意图