



高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

总主编 何若全

# 地下工程施工

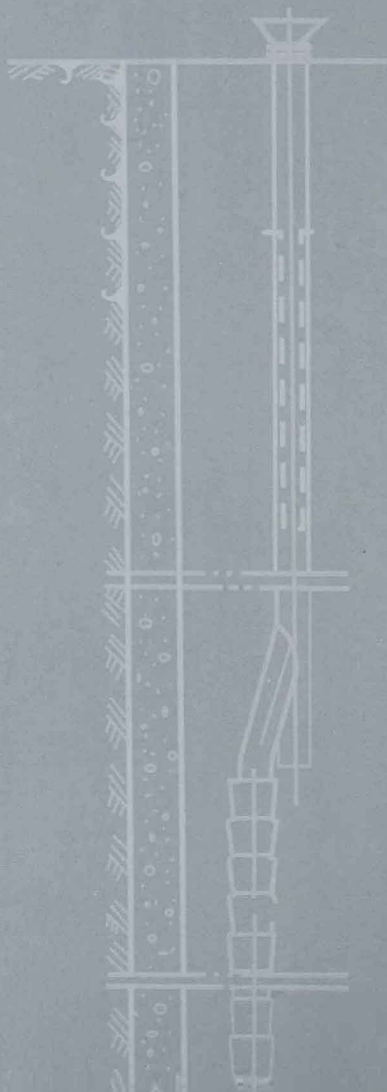
DIXIA GONGCHENG  
SHIGONG

主 编 姜玉松  
副主编 张志红  
陈海明



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>





高等学校土木工程本科指导性专业规范

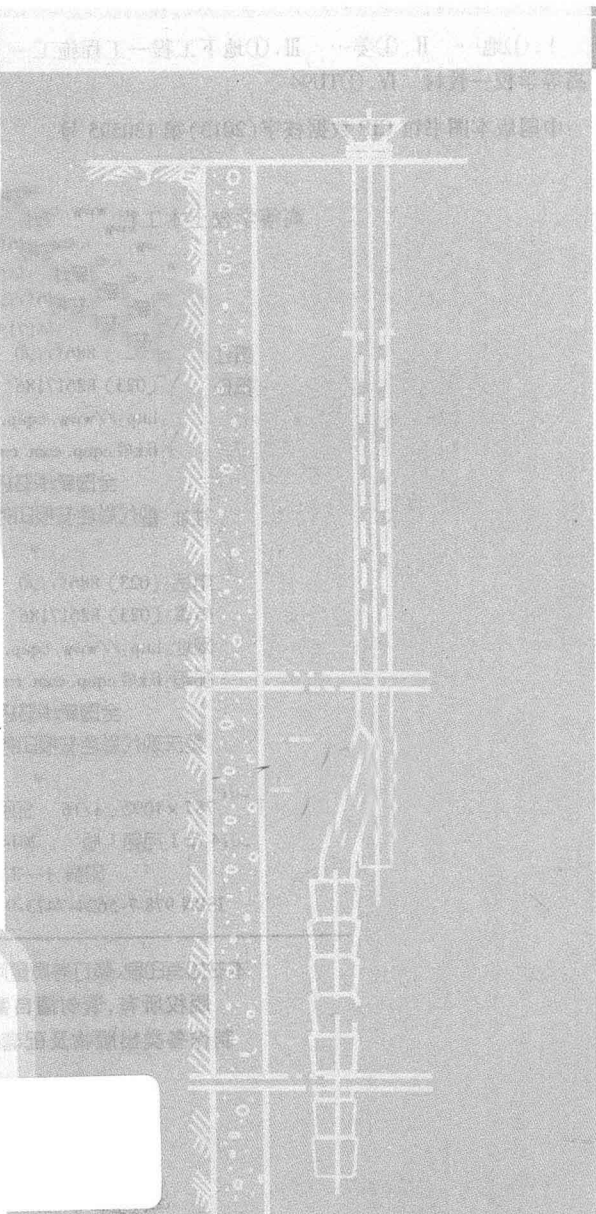
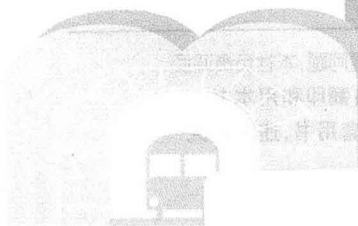
总主编 何若全

# 地下工程施工

DIXIA GONGCHENG  
SHIGONG

主 编 姜玉松  
副主编 张志红  
          陈海明  
参 编 蔡海兵  
          李栋伟

重庆大学出版社



## 内 容 提 要

《地下工程施工》是一门实践性很强的专业课程,是土木工程专业岩土与地下工程方向的核心课程之一。本书按高等学校土木工程指导委员会 2011 年编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的要求进行编写,遵照拓宽专业口径、核心内容最低标准的原则,重点介绍了交通、矿山、水利水电、城市地下空间等领域的地下工程中,普遍采用的、以暗挖为主的基本施工方法与工艺,内容包括:岩石平洞钻爆法施工、平洞支护施工、倾斜坑道施工、立井施工、岩石掘进机施工、盾构法施工、顶管法施工、沉管法施工、地下工程辅助工法等。

本书可作为高等院校土木工程有关方向的专业教材,也可供从事交通工程、矿山工程、水利水电工程、城市地下空间工程等领域的施工人员参考学习以及作为相关专业继续教育、培训教材使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

地下工程施工/姜玉松主编. —重庆:重庆大学出版社,2013.12

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材  
ISBN 978-7-5624-7473-9

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 130595 号

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

### 地下工程施工

主 编 姜玉松

副主编 张志红 陈海明

责任编辑:王 婷 钟祖才 版式设计:莫 西

责任校对:刘 真 责任印制:赵 晟

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆现代彩色书报印务有限公司印刷

\*

开本:787×1092 1/16 印张:13.5 字数:337 千

2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

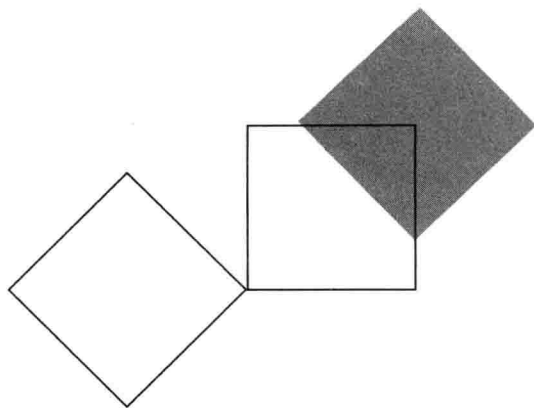
ISBN 978-7-5624-7473-9 定价:25.00 元

---

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究



# 编委会名单

总 主 编：何若全

副总主编：杜彦良 邹超英 桂国庆 张永兴

编 委（按姓氏笔画为序）：

卜建清	王广俊	王连俊	王社良
王建廷	王雪松	王慧东	仇文革
文国治	龙天渝	代国忠	华建民
向中富	刘 凡	刘 建	刘东燕
刘尧军	刘俊卿	刘新荣	刘曙光
许金良	孙 俊	苏小卒	李宇峙
李建林	汪仁和	宋宗宇	张 川
张忠苗	范存新	易思蓉	罗 强
周志祥	郑廷银	孟丽军	柳炳康
段树金	施惠生	姜玉松	姚 刚
袁建新	高 亮	黄林青	崔艳梅
梁 波	梁兴文	董 军	覃 辉
樊 江	魏庆朝		

# 总 序

进入 21 世纪的第二个十年,土木工程专业教育的背景发生了很大的变化。“国家中长期教育改革和发展规划纲要”正式启动,中国工程院和国家教育部倡导的“卓越工程师教育培养计划”开始实施,这些都为高等工程教育的改革指明了方向。截至 2010 年年底,我国已有 300 多所大学开设土木工程专业,在校生达 30 多万人,这无疑是世界上该专业在校大学生最多的国家。如何培养面向产业、面向世界、面向未来的合格工程师,是土木工程界一直在思考的问题。

由住房和城乡建设部土建学科教学指导委员会下达的重点课题“高等学校土木工程本科指导性专业规范”的研制,是落实国家工程教育改革战略的一次尝试。“专业规范”为土木工程本科教育提供了一个重要的指导性文件。

由“高等学校土木工程本科指导性专业规范”研制项目负责人何若全教授担任总主编,重庆大学出版社出版的《高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材》力求体现“专业规范”的原则和主要精神,按照土木工程专业本科期间有关知识、能力、素质的要求设计了各教材的内容,同时对大学生增强工程意识、提高实践能力和培养创新精神做了许多有意义的尝试。这套教材的主要特色体现在以下方面:

(1) 系列教材的内容覆盖了“专业规范”要求的所有核心知识点,并且教材之间尽量避免知识的重复;

(2) 系列教材更加贴近工程实际,满足培养应用型人才对知识和动手能力的要求,符合工程教育改革的方向;

(3) 教材主编们大多具有较为丰富的工程实践能力,他们力图通过教材这个重要手段实现“基于问题、基于项目、基于案例”的研究型学习方式。

据悉,本系列教材编委会的部分成员参加了“专业规范”的研究工作,而大部分成员曾为“专业规范”的研制提供了丰富的背景资料。我相信,这套教材的出版将为“专业规范”的推广实施,为土木工程教育事业的健康发展起到积极的作用!

中国工程院院士 哈尔滨工业大学教授

沈世钊

# 前 言

21 世纪,人们将向地下要空间、要资源、要效益、要生存、要环境。据预测,今后数十年将是我国地下工程开发利用的突出时期。未来的时代是地下时代,人类将重返地下。因此,人们普遍认为,21 世纪将是开发地下工程的世纪。

从近十年看,地下工程的发展势头已初显端倪,交通、能源、水电、市政等地下工程建设的领域越来越广、数量越来越多、规模越来越大、埋藏越来越深。与日俱增的工程建设速度,增大了对地下工程建设人才的需求,不仅原具有地下工程建设强势的交通、矿业等院校加大了培养力度,同时许多综合性大学也纷纷开始涉足地下工程领域。为了迎接和满足这种需求,特编写了这本《地下工程施工》教材。

地下工程,顾名思义,是建设在地下的工程。它不仅容易受到地面环境因素的影响,而且更容易受到地下工程地质与水文地质条件的制约,同房屋、道路等地面工程相比,地下工程的建设更为艰难和复杂。因此,对每一位未来(或现在)的地下工程工作者来说,学习和掌握必要的地下工程施工技术,对保证施工安全,提高经济效益是十分重要的。

作为地下工程,工程规划与设计、结构设计与计算、施工工艺与技术是必修的三门核心专业课,这三者相辅相成,构成了地下工程设计与施工的完整体系:规划—设计—施工。本书讲述的主要是各种地下工程的施工方法与工艺,有关规划设计、结构设计等知识需在其他两门课程中学习。

地下工程是一个较为广阔的范畴。它泛指修建在地面以下岩层或土层中的各种工程空间与设施,是地层中所建工程的总称,通常包括交通山岭隧道工程、城市地铁隧道工程、矿山井巷工程、水工隧洞工程、水电地下硐室工程、地下空间工程、军事国防工程等,这些工程分属于不同的行业领域。从现有关于地下工程施工的教材看,行业特征比较明显,针对性较强,不符合当前教育体系的“大土木”精神。随着市场经济的发展,过去从事矿山、铁路、公路、水电、市政等建设施工的企业已逐渐打破了原有行业界限,纷纷跨出部门、行业,走向市场,承担着各种不同类型、不同领域的工程建设任务。对高等院校的人才培养而言,也应迅速适应这种市场变化,培养出能适应不同行业施工需要的人才。事实上,就地下工程而言,本质上只有两大工序:挖掘和支护,其他工作都是围绕这两大工序而开展的,所以不论哪一领域或行业,其基本施工原理和方法都是相通的。因此,本书尽量打破行业界限,淡化行业特征,重点讲述施工技术、施工工艺和施工方法,力求使本书打造成一本不具行业特征、以施工技术为主导体系的通用性教材。

地下工程种类繁多,分类不一。按空间位置分,有水平式、倾斜式和垂直式;按断面与长度的比例关系分,有厅房式(断面相对较大、长度较短)和洞道式之分;按领域分,有矿山、交通、水电、军事、建筑、市政等;按用途分,有交通、采掘、防御、储存、制造、加工、商贸、种植、养殖、居住、旅游、娱乐等;按形状分,有圆形、椭圆形、马蹄形、梯形、直墙拱形等;按埋藏深度分,有深埋式和浅埋式;按所处位置的介质分,有岩石、土和水。尽管分类繁多,但从施工角度看,最主要的是所处位置的介质、空间位置和形状,因为它们直接决定着施工方案与方法、施工工艺与设备的选择。岩石中与土层中、垂直的与水平的、圆形的和矩形的,所采用的施工设备和开凿方法差别很大。所以,本书在编写内容的安排上突出了这些特点,前4章按地下工程的空间状态及采用钻眼爆破法开挖编写(平洞、斜洞和立井);第5章至第8章则是按照地层的不同及采用机械法施工为主编写,如岩石掘进机法、土层盾构机法和顶管法、水中的沉管法等。

岩石平洞是最为常见的地下工程,如公路与铁路山岭隧道、城市地铁隧道、地下矿山巷道、水工隧洞、人防坑道等,很多都设置在岩石中,且为呈水平布置的洞道式工程。岩石平洞的施工方法是地下工程施工最基本、最为常用的方法,因此要求学生必须牢固掌握。岩石平洞施工包括开挖和支护两个方面,考虑到篇幅的平衡,将其分别列章编写。但是,这里需要说明的是,对于平洞工程,不同行业领域有不同的称谓。公路及铁路部门称为隧道,矿山中称为巷道,水利水电部门称之为隧洞,而军事部门则称为坑道或地道,在市政工程中又称通道或地道。对此不同行业诸多的称谓,作为一本通用性教材,编者深感莫衷一是(在其他方面也存在类似问题)。因此,只好将其概念化,统称为平洞。但是,由于某种方法可能在某一领域使用较多,在叙述时又存在兼顾行业特点的称谓(如盾构主要用于隧道,书中不称平洞而仍称隧道),故在各章的叙述中又显得不够统一。好在名称的称谓不影响内容的理解,所以也就只好入行随俗了。

立井是地下矿山中的重要工程,也是过去矿山建设专业的重点教学内容。立井施工比平洞施工要复杂得多,技术性更强,而在通常的隧道工程书籍及地下工程书籍中却很少提及。近年来,随着山岭隧道长度的不断加大,通风立井、措施立井的施工项目越来越多,学习和掌握立井的施工技术显得十分必要。因此,本书将立井施工单独成章且做了重点叙述。

“无地铁,不城市。”我国目前发展最快的是城市地铁,全国已有36个城市拥有地铁、正在建设地铁和获准建设地铁。随着徐州、常州等“中等规模”城市地铁规划的获批,也让更多的二、三线城市看到了希望。预计今后10~20年将是我国地铁建设的兴盛时期。由于地铁必建于人口密集、商贸发达的地域,故其建设环境十分复杂,对其安全性要求极高,再加之考虑地层松软含水的因素,越来越多的地铁隧道采用了盾构法施工。为此,书中对盾构法做了较为详尽的论述,是学生学习的重点内容。

本书按高等学校土木工程指导委员会2011年编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》进行编写,遵照拓宽专业口径、核心内容最低标准的原则,全书正文约30万字,按40学时讲授。由上述可知,地下工程门类多、行业领域多、施工方法多、工艺性强,在如此紧缩的字数和学时控制中难以做到面面俱到、事无巨细。按照编委会“留点空间给老师、留点时间给学生”的指示精神,在叙述上尽量做到言简意赅,在内容上尽量做到选精择要。“课本有限,网络无垠”,目前网络已经普及,为充实教学内容带来了极大的便利。因此,在教材的使用中,教师可在保证完成本书基本内容的前提下,根据各自情况通过网络查询有关内容,有补充地进行教学;学生应充分利用课余时间,上网查阅更多的专业知识和资料,深入了解各领域的技术发展现状。期待

以此教学相长、课内外结合、“变本加厉”的方式,达到掌握地下工程施工技术的目的。

本书取材面广,内容精炼,尽量反映当前地下工程施工的主要工艺与技术,先进性与实用性结合,不同行业兼顾,不仅适用于矿山、铁路、公路、水利水电、城市地下空间等领域开设地下工程课程的高等学校使用,也可供这些行业的工程技术人员学习参考以及作为培训教材。

本书由安徽理工大学姜玉松教授担任主编并统稿,北京工业大学张志红副教授(博士后)和安徽理工大学陈海明副教授(博士后)任副主编。全书共分9章。第1、2章由姜玉松编写,第3、4章由安徽理工大学蔡海兵副教授(博士)编写,第5、6章由张志红编写,第7、9章由安徽理工大学李栋伟教授编写,第8章由陈海明编写。教材大纲规划承蒙系列教材总主编何若全教授、岩土与地下工程方向负责人刘东燕教授把关,教材编写参考了许多其他书籍及资料(详见参考文献)。在此谨向上述同志及书中引用文献的相关作者表示诚挚的谢意。

本书免费提供了配套的电子课件,包含各章的授课ppt课件、课后习题参考答案,放在重庆大学出版社教学资源网上供教师下载(网址:<http://www.cqup.net/edustrc>)。为方便教学,从网络上下载和书店里购买的资料中,选取了部分视频录像也一并提供,如顶管施工原理演示、沉管隧道施工、盾构施工、山岭隧道施工等。这里向这些视频资料的制作者们表示衷心感谢。

本书得到了重庆大学出版社的大力支持和资助,特别感谢重庆大学出版社的编辑为本书付出的心血。

受编者水平所限,书中缺点和错误在所难免,恳请读者提出宝贵意见,编者将不胜感激!

作者信箱:chm818@163.com(陈海明)、dwli@aust.edu.cn(李栋伟)、ysjiang@aust.edu.cn(姜玉松)

编者

2013年7月



# 目 录

1	岩石平洞钻爆法施工	1
1.1	基本施工方案	2
1.2	钻眼爆破作业	10
1.3	岩石装运工作	19
1.4	不良地质条件下的施工	24
	本章小结	30
	习 题	30
2	平洞支护施工	31
2.1	棚式支架	31
2.2	锚喷支护	33
2.3	模筑混凝土衬砌	44
2.4	新奥法	48
	本章小结	51
	习 题	51
3	倾斜坑道施工	52
3.1	由上向下施工	52
3.2	由下向上施工	61
	本章小结	66
	习 题	66
4	立井施工	67
4.1	立井施工的基本工艺	67
4.2	表土施工	69
4.3	基岩钻眼爆破施工	73
4.4	装岩与排矸	78
4.5	提升与悬吊	81
4.6	井筒衬砌	84

4.7	凿井设备布置	88
	本章小结	94
	习 题	94
5	岩石掘进机施工	95
5.1	全断面岩石掘进机	95
5.2	悬臂式掘进机	105
	本章小结	111
	习 题	111
6	盾构法施工	112
6.1	盾构法简介	112
6.2	盾构始发接收技术	121
6.3	盾构掘进管理	127
6.4	隧道衬砌	133
	本章小结	140
	习 题	140
7	顶管法施工	141
7.1	顶管法简介	141
7.2	顶管施工	147
7.3	顶管工程计算	159
	本章小结	162
	习 题	162
8	沉管法施工	163
8.1	沉管隧道简介	164
8.2	管段制作	166
8.3	沉管作业	171
8.4	基础处理及回填	179
	本章小结	181
	习 题	181
9	辅助工法	182
9.1	人工冻结法	182
9.2	注浆法	190
	本章小结	199
	习 题	199
	参考文献	200



# 岩石平洞钻爆法施工

## 本章导读:

对于呈水平布置、断面相对较小、长度较大的洞道式地下工程,不同行业或部门有不同的称谓,例如,公路与铁路交通行业称其为隧道,矿山行业称其为平巷(巷道)或平硐,水利水电行业称其为隧洞,军事部门称其为坑道、通道等。为方便叙述,不失其通用性,本章将其统称为平洞。岩石平洞是最为常见的地下工程,其掘进施工方法大多为钻眼爆破法。钻眼爆破是地下工程开挖最基本也是应用最多的技术,要求学生牢固掌握。

- **主要教学内容:**以钻眼爆破法为主的开挖施工工艺与技术,包括开挖的基本方案、钻眼设备、炮眼的布置、爆破参数的选择、岩石装运设备以及不良地层的施工方法特点与要求。

- **教学基本要求:**掌握地下工程的基本开挖方案;了解常用的钻眼设备类型,能较为合理地选择钻眼机具;掌握开挖面炮眼的布置方法,能够编制出较为合理的爆破图表;熟悉岩石装运的设备和调车方法。

- **教学重点:**平洞开挖的基本方案,爆破参数的选择,岩石装运设备的选择。

- **教学难点:**爆破参数的合理选择及爆破图表的编制。

- **网络资讯:**网站:[www.stec.net](http://www.stec.net), [www.cnksjxw.com](http://www.cnksjxw.com)。关键词:岩石巷道,平巷,隧道开挖,隧道施工,钻眼爆破,装渣机,装岩机,爆破图表,循环图表。

## 1.1 基本施工方案

### 1.1.1 全断面一次开挖法

全断面一次开挖法是按整个设计掘进断面一次向前挖掘推进的施工方法。在整个工作面上钻眼,然后同时爆破,使整个工作面推进一个进尺。

该法的优点是可最大限度地利用洞内作业空间,工作面宽敞,能使用大型高效设备,加快施工进度;断面一次挖成,施工组织与管理比较简单;能较好地发挥深孔爆破的优越性;通风、运输、排水等辅助工作及各种管线铺设工作均较便利,故条件许可时应优先被考虑。其缺点是施工时要使用笨重而昂贵的钻架,一次投资大;多台钻机同时工作时的噪声极大。

该法可用钻孔台车钻孔,一次爆破成洞,用大型装岩机及配套的运载车辆将渣石运出(图 1.1)。掘进断面较小时,一般先登渣进行拱部锚喷支护,渣石出完后再进行墙部支护。断面较大时,通常需先进行初次支护(用钢拱架及锚喷),再进行二次混凝土支护。

一般认为,该法主要用于围岩稳定、坚硬、完整、开挖后不需临时支护的 I ~ II 类围岩的石质工程以及高度不超过 5 m、断面不超过 30 m<sup>2</sup> 的中小型断面平洞。但随着大型施工设备的不断出现、施工机械化程度和施工技术的不断提高,全断面一次施工法用得越来越多,即使地质条件比较差时,由于新奥法、锚杆喷射混凝土、注浆加固、管棚支护及防排水等新技术的应用,也能够采用。日本施工的五里峰隧道,开挖断面 70 m<sup>2</sup>,采用了 3 m<sup>3</sup> 大型电铲、6 臂龙门式凿岩台车及 25 t 自卸汽车等大型设备,采用此法实现了快速施工。

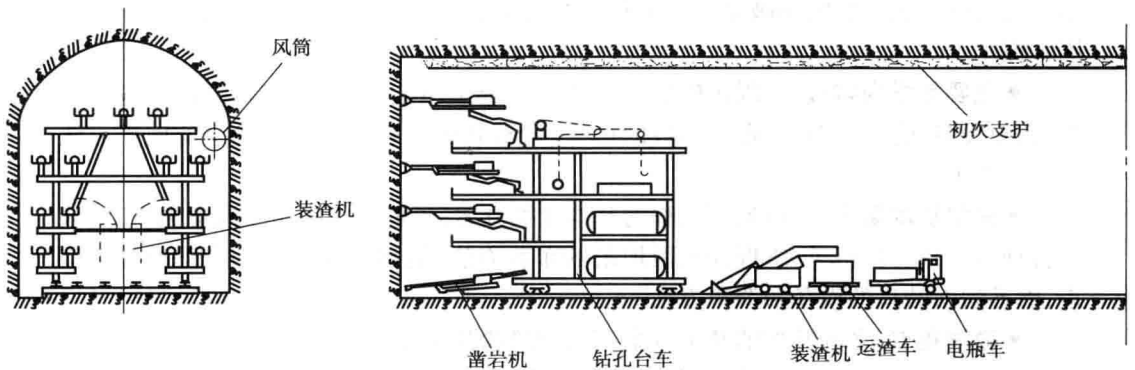


图 1.1 全断面一次开挖法

### 1.1.2 分断面两次开挖法

该法是将整个平洞断面分成两部分,在全长范围内先开挖好一个部分,再开挖另一部分。它适合于稳定岩层中断面较大、长度较短(数百米)或者要求快速施工以便为另一平洞探清地质情况的平洞施工。

### 1) 上半断面先行施工法

该法是将平洞上半断面在全长范围内开挖完毕,然后再开挖下半断面。上下断面面积的比值取决于所采用的开挖设备和岩石的稳定性。开挖上半断面时,先进行顶部支护。下分层可采取垂直、倾斜或者水平的炮眼进行爆破开挖,钻孔和装渣可同时进行;开挖的同时进行两侧墙部支护。

该法与全断面一次开挖相比,开挖面高度不大;混凝土衬砌不需要笨重的模板,可降低造价;不需笨重的钻架;下分层开挖时运渣和钻孔可平行作业,进度快;下分层爆破有两个临空面,效率高、成本低。但由于上下分层施工循环各自独立,与全断面一次开挖相比,工期增长;必须在两个平面上铺设道路和管道。此法在长度较短的公路山岭隧道中应用较多。

### 2) 下半断面先行施工法

该法是将平洞的下半断面在全长范围内开挖完,然后再开挖上半断面。下半断面全宽开挖并进行衬砌。上半断面可站在岩堆上钻孔或从底板向上钻垂直孔。该法上部施工有两个临空面,钻爆成本低;开挖上部时钻孔和装岩可平行作业;涌水大时可有效地排水。但在岩堆上钻孔不方便也不安全;下分层施工时顶部需要支护,上分层施工时又需将其爆除或拆除,费工费时且不经济,故使用不多。

### 3) 先导洞后全断面扩挖法

该法先沿平洞的中线,按全长开挖导洞,然后再扩挖至设计断面的施工方法。导洞的位置,可根据具体条件位于平洞的底板、顶板或中部(拱基线水平)。导洞可用掘进机或钻爆法挖掘。

该法可对洞内地质进行连续的调查,能进行涌水和瓦斯的预防及连续排放,能在扩挖之前预先加固岩体,能使岩体中的高应力预先释放,有利于扩挖期间的通风,便于增加一些中间入口实施多头同时扩挖,缩短整个平洞的开挖时间。

扩挖时,由于导洞提供了第二个临空面,可使用深孔爆破,提高爆破效果,被认为是一种能提高掘进速度的好方法。如秦岭铁路Ⅱ线隧道,为了对Ⅰ线隧道进行地质预报及为全断面掘进机提供通风、排水、运输等辅助条件,在隧道的中线沿底板先掘一导洞,设计掘进断面 $26\text{ m}^2$ (宽 $4.8\text{ m}$ 、高 $5.9\text{ m}$ ),直墙半圆拱形,采用钻爆法施工。待Ⅰ线隧道完工后再进行扩挖。南昆铁路米花岭隧道是利用平导通过数个横通道与正洞相连后,不扩大工作面而进行下导洞快速开挖,然后进行全断面扩挖,设备布置如图1.2所示。

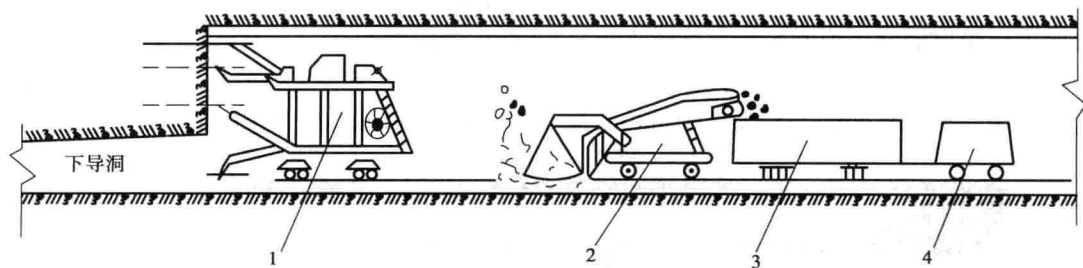


图 1.2 米花岭隧道先导坑后全断面扩挖设备布置

1—TH568-5 型门架式四臂凿岩台车;2—KL-20E8 型挖装机;

3— $14\text{ m}^3$  梭式矿车;4—蓄电池电机车

用掘进机掘进导洞是意大利广为采用的方法,故称“意大利施工法”。即先用小直径(3.5~5 m)全断面掘进机沿隧道中线掘一贯通导洞,然后用钻眼爆破法扩挖。

### 1.1.3 台阶工作面法

该法是将平洞断面分成2或3个分层,各分层在一定距离内呈台阶状推进。这种方法的特点是缩小了断面高度,不需笨重的钻孔设备;后一台阶施工时有两个临空面,爆破效率高。按台阶长度不同,可分为长台阶(一般大于5倍洞宽)和短台阶(小于2倍洞宽);按台阶布置方式不同,可分为正台阶和反台阶两种方法。

#### 1) 正台阶法

该法为上部分层超前施工,故又称下行分层施工法。施工时首先掘上部弧形断面(高度一般为2~2.5 m),然后逐一挖掘下面各部分。图1.3为3个分层的情况,其施工顺序(图中开挖用阿拉伯数字表示,衬砌或其他支护结构用罗马数字表示,二者续编,本节以下各图同)是:先开挖①部,其次开挖②部,最后再挖出③部。等断面全部挖出后,便浇筑边墙Ⅳ及拱圈Ⅴ。

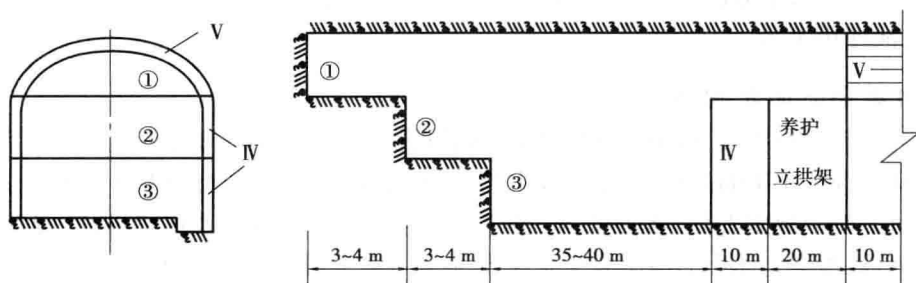


图 1.3 正台阶施工法

采用正台阶施工法要注意以下几点:

第一,要根据具体条件合理确定上、下分层的错距。距离过大,上分层出岩困难;过小,上分层钻眼不便。分层数目少、分层断面大、使用较大型的施工机械时,错距可适当加大。

第二,装岩、钻孔机械能力足够时,应尽量减少分层数。台阶较短(3~5 m)时可采用上下分层同时钻眼、一次爆破的开挖法。

该法工序少,干扰小,上部钻孔可与下部装岩同时作业,不需支撑和棚架,可节省大量木材,必要时可以喷射混凝土或砂浆作为临时支护,故实践中采用较多。

该法不仅适用于围岩稳定性较好、开挖后不需或局部仅需临时支护的隧道,在土层隧道中也同样可用。如南京地铁1号线某区间隧道为土质隧道,采用单台阶开挖(图1.4)。上下台阶

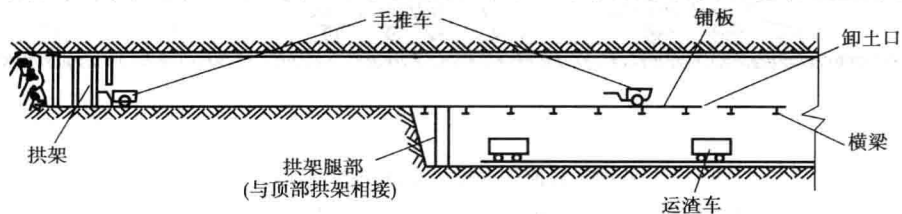


图 1.4 土质隧道长台阶工作面施工方法

工作面相距 30 ~ 50 m。上台阶挖掘时,进行拱部的钢拱架和锚喷支护;下台阶掘进时,进行墙部及底部的钢拱架施工,并与拱部的钢拱架接好,同时进行锚喷支护。下台阶掘进时,每隔 1 ~ 2 m 在位于上台阶底板水平安装一道横梁,横梁上面铺设复合压缩板,作为上台阶的出土运输平台。

如果顶部围岩不好时,上台阶施工应采用环挖预留核心土法,即先进行顶部环形开挖,并进行初次支护,再挖去中心土,施工顺序如图 1.5 所示。

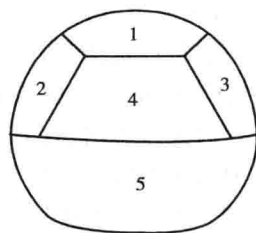


图 1.5 上部台阶环挖法

## 2) 反台阶法

反台阶法又称为上行分层施工法。即先挖掘最下部分层,再逐一向上挖掘其余各分层。该法能使施工工序减少,干扰小,下部断面可一次挖至设计宽度,空间大,便于出岩运输和布置管线。较适合于围岩稳定、不需临时支护、无大型装岩设备的情况。由于安全性比较差,后面台阶施工对前面施工有影响,故应用很少。

## 1.1.4 导洞施工法

导洞法即先以一个或多个小断面导洞超前一定距离开挖,随后逐步扩大开挖至设计断面,并相机进行砌筑的方法。该方法主要用于地质条件复杂或断面特大的地下硐室或隧道工程。

### 1) 中央下导洞施工法

导洞位于断面中部并沿底板掘进。导洞掘至预定位置后,再开帮挑顶,完成永久支护。

#### (1) 中央下导洞先墙后拱法

该法的施工顺序是下导洞掘进后,先挑顶后开帮,在开帮的同时完成砌墙工作。根据围岩条件、断面大小可采用六部开挖法或三部开挖法。六部开挖法如图 1.6 所示,施工工艺为:先开挖下导坑①部,考虑到爆破作业安全、存放渣车及探明地质,下导坑宜超前一定距离。随后架设漏斗棚架,向上开挖②(称为拉槽)和③部(挑顶)。挑顶时要挖至拱部设计轮廓线,并考虑一定的预留沉降量。③部开挖完后立即进行刷帮,开挖④、⑤、⑥部。最后按先墙后拱的顺序衬砌浇筑。

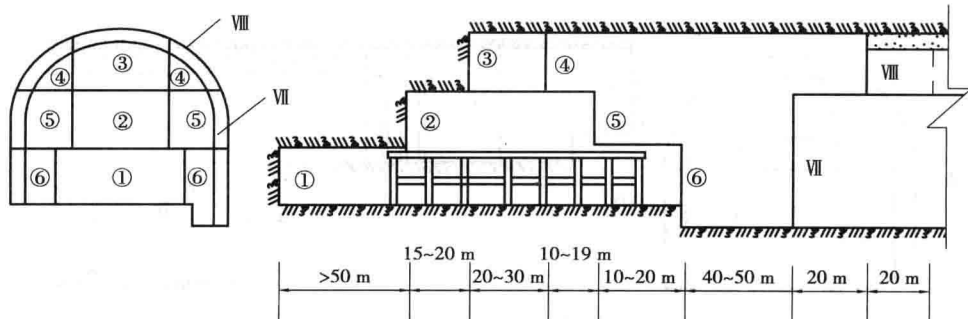


图 1.6 下导洞漏斗棚架法

该法除下导坑和左右两帮(①部和⑥部)外,其余各部位的石渣均可经由漏斗漏到棚下的斗车内,再运出洞外。围岩条件允许时,可将①部与②部合并、③部与④部合并、⑤部与⑥部合

并,即成为三部开挖法,使工序大为简化。

该法特点是:将断面分成若干部分进行开挖,可容纳较多人员同时施工;除下导洞外,均有较多的爆破临空面,爆破效果好;可利用棚架及岩堆完成整个断面的钻眼爆破作业;棚架上石渣由漏斗口漏入车内,省力、速度快;衬砌是先墙后拱连续施工,整体性好。

但由于需要几十米长的棚架,需用大量木材、钢轨,棚架也易因爆破而损坏。

### (2) 中央下导洞先拱后墙法

该法的施工程序如图 1.7 所示。以下导洞①领先,②部开挖的断面一般高 2.0 m、宽 2.0 m 左右。开挖时要多布孔,少装药,尤其应控制离排架较近炮眼的装药量。④部扩大开挖距③部一般 20 m 左右,不宜太长,开挖的渣石不立即拉走,用其填平②部拉槽,作为衬砌工作平台。③、④部开挖后可立即用锚杆进行支护。扩大开挖完后,应立即灌注拱部混凝土。最后拆除棚架,开挖⑥部,并立即进行砌墙。

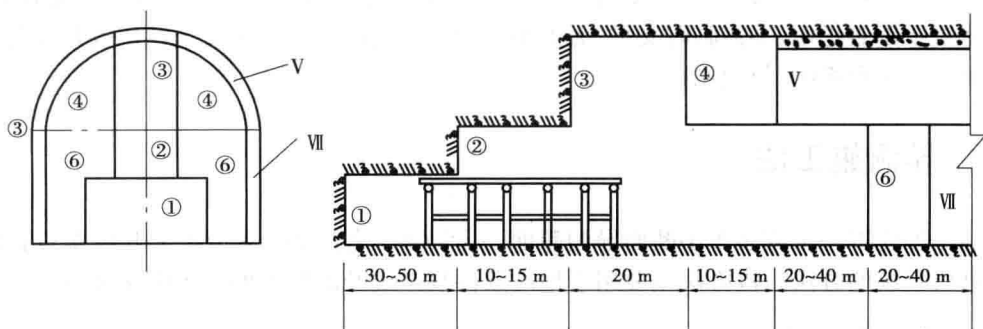


图 1.7 下导洞先拱后墙法

该法施工效率高、速度快、施工安全好,地层变化时改换其他方法比较容易。但消耗木材和钢材较多,爆破易损坏棚架,衬砌整体性差。在条件允许时,也可将①、②部合并,③、④部合并,与⑥部形成三部开挖法,以使工序简化。

### 2) 中央上导洞施工法

该法适用于需随挖随砌的围岩稳定性较差的石质或土质隧道,施工程序如图 1.8 所示。导坑①超前开挖并架临时支撑,随后落底②,更换导坑支撑。最后依次扩大两侧③,并立即进行砌筑。松软、含水、易坍的土层,应将导坑再分成几个小断面进行挖掘,先挖顶部后挖两帮并进行

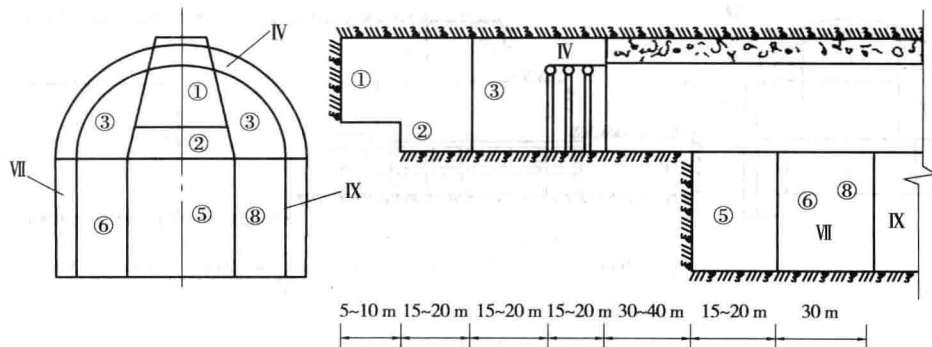


图 1.8 中央上导洞施工法



临时支撑,最后挖掉中间部分。土质隧道中,中间部分⑤可分三层进行。为防止拱脚内移,可在拱脚处架设横撑梁;为防止两侧内移,在断面⑤的中上部也应设横撑。两侧墙⑥、⑧交替开挖,每侧开挖完成后立即砌墙。

### 3) 侧壁导洞施工法

#### (1) 单侧壁导洞法

该法是将断面分成3块(图1.9),首先开挖导洞1,并进行钢拱架支撑和锚喷支护,待导洞向前掘进一定距离后,再在后面进行断面2和3部分的开挖,并进行初次支护。2、3部分采用正台阶法开挖,并进行侧壁初次支护。掘至导洞位置后,再逐步拆除支撑,施工仰拱。最后浇筑全圈的二次衬砌。如果围岩条件许可,2、3部分也可不设台阶,一步开挖;如果围岩较差,断面很大,还可设更多的台阶。导洞尺寸依据施工设备和施工条件而定,其宽度不超过全洞宽的一半,其高度以到起拱线为宜。

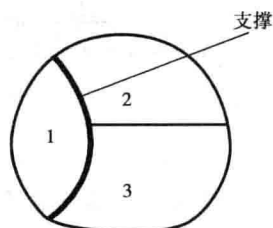


图1.9 单侧壁导洞法

该法适用于断面跨度较大的松散软弱地层、顶板难以控制的双线交通隧道。其特点是施工安全度较高,控制地层变形较好,但施工进度较全断面法和台阶法慢,造价略高。

#### (2) 双侧壁导洞法(眼镜法)

该法在浅埋大跨度隧道,地表下沉量要求严格,围岩条件特别差,单侧壁法难以控制围岩变形时采用。该法一般将断面分成4块,如图1.10所示。根据围岩情况,两侧导坑可同时施工,也可顺序施工。导洞宽度不宜超过隧道最大宽度的1/3。左右导洞开挖面错开的距离,应根据开挖一侧导洞所引起的围岩应力重新分布的影响不致波及另一侧已成导洞的原则确定。如果侧向变形大,也可在导洞的中部设置横撑,形成双眼镜。

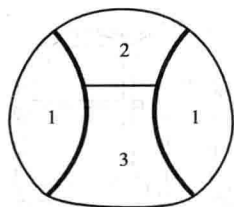


图1.10 双侧壁导洞法

施工顺序:开挖一侧导洞1并及时进行初次支护;相隔一定距离后开挖另一导洞并进行初次支护;开挖中间部分的上半断面2,进行拱部初次支护;拱脚支承在两侧导洞的初次支护上;开挖下部3并进行底部初次支护,使初次支护全断面闭合;拆除导洞部分的内侧初次支护,施作二次衬砌。

该法的特点是:虽然开挖断面分块多,扰动大,初次支护全断面闭合的时间长,但每个分块在开挖后立即各自闭合,所以在施工中变形很小(现场实测表明,地表沉陷仅为短台阶法的一半);施工速度

较慢,成本较高。

#### 【工程实例1.1】北京地铁西单车站施工

该工程是在繁华地区修建的大跨度、超浅埋、特大型地下工程,为三联拱双层岛式站台结构,如图1.11所示。车站通过的地层十分松散,自稳能力极差,埋深最大为6.0 m。车站全长260 m,高13.5 m,开挖宽度26.14 m。设计要求下沉值不得超过30 mm。

施工方案:在对施工方法进行比较后,决定采用如图1.12所示的眼镜法。其主要特点是:将车站主体结构分为三个洞,两侧洞分别采用眼镜法施工,形成空间,施作完二次衬砌,而后再用正台阶法施作中洞。采取“眼镜超前,化大为小,先侧后中,连环封闭”的施工原则,最大限度地控制地表下沉和对周边环境及结构物的影响。