



21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

地下工程施工

主 编 江学良 杨 慧

提供电子课件



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

地下工程施工

主 编 江学良 杨 慧
副主编 王 军 李珍玉



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书介绍了地下工程施工的基本理论和方法,主要涉及大开挖基坑工程、深基坑工程、地下连续墙、地下工程逆作法、新奥法隧道、全断面岩石隧道掘进机、盾构法隧道、沉管法隧道、顶管法等的施工和地下工程特殊施工技术,以及地下工程的排水、降水与防水,施工组织与管理,施工监测,施工环境影响与保护等内容。

本书依据国家最新规范及行业发展趋势编写,力求反映当前地下工程施工技术发展的最新成果,注重理论与实践相结合,突出实用性,可作为土木工程专业地下工程方向与城市地下空间工程专业的教材,也可作为开设有地下工程课程的其他土建类专业的教材,还可作为相关专业的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地下工程施工/江学良,杨慧主编. —北京:北京大学出版社,2017.5

(21世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-28276-2

I. ①地… II. ①江… ②杨… 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(2017)第 098109 号

- 书 名** 地下工程施工
DIXIA GONGCHENG SHIGONG
- 著作责任者** 江学良 杨 慧 主编
- 策划编辑** 吴 迪 卢 东
- 责任编辑** 伍大维
- 数字编辑** 孟 雅
- 标准书号** ISBN 978-7-301-28276-2
- 出版发行** 北京大学出版社
- 地 址** 北京市海淀区成府路 205 号 100871
- 网 址** <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社
- 电子信箱** pup_6@163.com
- 电 话** 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667
- 印 刷 者** 北京富生印刷厂
- 经 销 者** 新华书店
- 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 24 印张 560 千字
2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷
- 定 价** 54.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子信箱:fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话:010-62756370

前 言

随着地下空间开发利用高潮的到来，地下工程所涉及的领域与行业越来越广泛，其成就包括交通隧道、水工隧道、市政隧道、城市轨道交通（地铁、轻轨、地下捷运系统等）、地下厂房、地下商业街、地下城市综合体、地下贮存库、地下综合管廊、市政管道（给排水、电力、热力、通信、输油与输气管道）、地下污水处理系统，以及人防、国防与军事等领域的地下工程设施。人们普遍认为，21世纪是人类开发利用地下空间的世纪，国外的工程实践与近年来国内的地铁与地下综合管廊建设热潮，一次又一次地证明了这一点。

地下空间的开发与利用离不开地下工程施工技术的进步，近年来，这些技术有了显著的发展。本书的编写立足于扩充和更新地下工程施工的内容，力求反映当前地下工程施工技术发展的最新成果，并注重理论与实践相结合，突出实用性。在教材结构上，力争做到章节安排合理、叙述简练、层次分明、条理清晰，以利于读者理解和掌握。

本书由中南林业科技大学江学良、杨慧担任主编，由湖南工程学院王军、中南林业科技大学李珍玉担任副主编。本书具体编写分工如下：江学良编写第1章、第5章、第6章、第7章、第8章，并负责全书统稿；杨慧编写第4章、第12章、第13章、第14章与第15章；王军编写第9章、第10章与第11章；李珍玉编写第2章与第3章。

本书在编写过程中参考了许多书籍、技术标准、规范、规程、论文及其他资料，主要参考文献列于书末，特向相关作者表示衷心感谢。

限于编写水平，不足与疏漏之处在所难免，恳请各位专家、同行与读者指正，以便不断完善此书。

编 者

2016年12月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.5 基坑边坡失稳防治	24
1.1 地下工程的概念与分类	1	2.5.1 大开挖基坑土方开挖 注意事项	24
1.1.1 地下工程的概念	1	2.5.2 基坑边坡失稳的防治 措施	25
1.1.2 地下工程的分类	2	本章小结	26
1.2 地下工程施工技术的现状与 发展	3	思考题	26
1.2.1 地下工程施工技术的 分类与发展	3	第 3 章 深基坑工程施工	27
1.2.2 地下工程施工技术的 发展	5	3.1 概述	28
1.3 地下工程施工课程的任务、 特点与学习方法	6	3.2 基坑围护结构选型	28
1.3.1 地下工程施工课程的 任务	6	3.2.1 围护结构的类型	28
1.3.2 地下工程施工的特点	6	3.2.2 围护结构的选型	30
1.3.3 地下工程施工课程的 学习方法	7	3.3 深基坑土方施工	32
本章小结	8	3.3.1 基坑土方开挖施工 组织设计	32
思考题	8	3.3.2 土方施工前准备工作	33
第 2 章 大开挖基坑工程施工	9	3.3.3 土方开挖的分类	33
2.1 概述	10	3.3.4 土方开挖的方式与顺序	34
2.2 大开挖基坑工程施工的地质勘察与 环境调查	10	3.3.5 基坑土方开挖施工 注意事项	36
2.2.1 地质勘察	10	3.4 锚杆施工	37
2.2.2 环境调查	11	3.4.1 概述	37
2.3 基坑开挖施工	11	3.4.2 锚杆围护结构的构造	37
2.3.1 机械挖土	12	3.4.3 土层锚杆施工	39
2.3.2 土方运输方法	15	3.4.4 土层锚杆试验	41
2.4 基坑边坡稳定计算	16	3.5 水泥土重力式围护墙施工	42
2.4.1 基坑边坡失稳的破坏 形式和原因	16	3.5.1 水泥土重力式围护墙的 概念和类型	42
2.4.2 基坑边坡稳定性计算	17	3.5.2 水泥土重力式围护墙的 施工	43
		3.6 排桩施工	45
		3.6.1 排桩的种类与特点	46

3.6.2	柱列式灌注桩施工	46	5.1.1	逆作法施工原理	87
3.6.3	人工挖孔桩施工	48	5.1.2	逆作法施工优点	87
3.6.4	钻孔压浆桩施工	48	5.1.3	逆作法施工中存在的 问题	89
3.6.5	桩-锚支护结构施工	49	5.2	逆作法施工程序	90
3.7	型钢水泥土搅拌桩施工	49	5.2.1	封闭式逆作法	90
3.7.1	型钢水泥土搅拌墙施工 顺序	50	5.2.2	开敞式逆作法	90
3.7.2	型钢插入和拔除施工	51	5.2.3	中顺边逆法	91
3.8	钢板桩施工	52	5.3	盖挖逆作法	91
3.8.1	钢板桩施工前的准备	53	5.3.1	盖挖逆作法的特点与 施工程序	91
3.8.2	钢板桩沉桩设备及其 选择	53	5.3.2	盖挖逆作法的适用条件与 施工步骤	92
3.8.3	钢板桩的沉桩方法	55	本章小结		94
3.8.4	钢板桩的拔除	56	思考题		94
3.9	内支撑系统施工	57	第6章 新奥法隧道施工		95
3.9.1	支撑施工总体原则	58	6.1	概述	96
3.9.2	钢筋混凝土支撑	58	6.1.1	新奥法施工的基本 原则	96
3.9.3	钢支撑	61	6.1.2	新奥法施工程序	97
3.9.4	支撑立柱的施工	63	6.2	新奥法的基本施工方法	98
3.10	旋喷桩施工	63	6.2.1	全断面法	98
3.10.1	旋喷桩分类	64	6.2.2	分断面两次开挖法	99
3.10.2	旋喷桩检验	65	6.2.3	台阶法	100
本章小结		66	6.2.4	分部开挖法	102
思考题		66	6.3	新奥法开挖技术	105
第4章 地下连续墙施工		67	6.3.1	钻眼机具	105
4.1	概述	68	6.3.2	炮眼掏槽与布置	106
4.2	地下连续墙施工工艺流程	69	6.3.3	炮眼控制爆破	109
4.3	地下连续墙施工过程	71	6.4	出渣运输	111
4.3.1	导墙施工	71	6.4.1	装渣	112
4.3.2	泥浆护壁	73	6.4.2	运输	114
4.3.3	槽段开挖	76	6.5	新奥法支护技术	117
4.3.4	钢筋笼加工与吊放	78	6.5.1	预支护	117
4.3.5	水下混凝土浇筑	80	6.5.2	初期支护	121
4.3.6	槽段间的接头处理	81	6.5.3	模筑混凝土衬砌	125
本章小结		85	本章小结		130
思考题		85	思考题		130
第5章 地下工程逆作法施工		86			
5.1	概述	87			

第 7 章 全断面岩石隧道掘进机施工 131

7.1 概述 132

7.1.1 全断面岩石隧道掘进机的发展 132

7.1.2 全断面岩石隧道掘进机的优点 133

7.1.3 全断面岩石隧道掘进机的缺点 134

7.2 隧道掘进机的分类、构造与选型 134

7.2.1 掘进机的分类 134

7.2.2 掘进机的构造 138

7.2.3 掘进机的选型 144

7.3 隧道掘进机施工 148

7.3.1 施工准备 148

7.3.2 TBM 的运输、组装与调试 150

7.3.3 掘进作业 150

7.3.4 支护作业 153

7.3.5 出渣与运输 154

7.3.6 通风与除尘 155

本章小结 156

思考题 156

第 8 章 盾构法隧道施工 157

8.1 概述 158

8.1.1 盾构法隧道施工的优点 158

8.1.2 盾构法隧道的发展历史 160

8.2 盾构的构造、分类与选型 161

8.2.1 盾构的构造 161

8.2.2 盾构的分类 172

8.2.3 盾构的选型 177

8.3 盾构施工 179

8.3.1 出洞进洞技术 179

8.3.2 盾构推进作业 182

8.4 盾构隧道衬砌 187

8.4.1 衬砌管片类型与结构尺寸 187

8.4.2 管片拼装 190

8.4.3 衬砌防水 192

本章小结 194

思考题 195

第 9 章 沉管法隧道施工 196

9.1 概述 197

9.1.1 沉管隧道修建历史及发展动态 198

9.1.2 沉管法隧道施工的特点 200

9.1.3 沉管隧道的分类与断面选型 201

9.2 沉管隧道施工流程 203

9.3 管段制作与浮运 204

9.3.1 干坞 204

9.3.2 混凝土管段制作 206

9.3.3 管段浮运 211

9.4 管段沉放与连接 212

9.4.1 管段沉放 212

9.4.2 管段连接 217

9.5 基槽浚挖与基础处理 219

9.5.1 基槽浚挖 219

9.5.2 基础处理 221

本章小结 225

思考题 225

第 10 章 顶管法施工 226

10.1 概述 227

10.1.1 顶管法的历史与发展 227

10.1.2 顶管法施工的原理 228

10.1.3 顶管法施工的特点、分类及适用范围 229

10.2 顶管机构造与选型 231

10.2.1 手掘式顶管机 231

10.2.2 泥水平衡式顶管机 232

10.2.3 土压平衡式顶管机 233

10.2.4 顶管机的选型 235

10.3 工作井形式、选择与布置 236

10.3.1 工作井的形式 236

10.3.2 工作井的选择 237

10.3.3 工作井的布置 238

10.4	顶管施工技术	242	12.1.1	地下水的分类	288
10.4.1	顶管施工准备	242	12.1.2	水对地下工程的有害作用	289
10.4.2	顶管出洞段施工	242	12.2	地下工程施工排水	290
10.4.3	顶管正常顶进施工	243	12.2.1	普通明沟和集水井排水法	291
10.4.4	顶管进洞段施工	244	12.2.2	分层明沟排水	292
10.4.5	施工测量	245	12.2.3	深沟降排水法	292
10.5	长距离顶管施工技术	246	12.2.4	综合降排水法	292
10.5.1	注浆减摩技术	246	12.2.5	工程集水、排水设施降排水法	292
10.5.2	中继间技术	247	12.2.6	板桩支撑集水井排水法	293
10.6	曲线顶进技术	248	12.3	地下工程施工人工降水	293
10.6.1	曲线顶进施工方法	249	12.3.1	人工降低地下水位原理	293
10.6.2	曲线顶进主要技术措施	250	12.3.2	轻型井点降水	295
10.7	管节接缝防水	252	12.3.3	喷射井点降水法	296
10.7.1	钢筋混凝土管节接缝的防水	252	12.3.4	管井井点降水法	297
10.7.2	钢管顶管的接口形式	254	12.3.5	电渗井点降水	298
本章小结		254	12.3.6	回灌井点	299
思考题		254	12.4	地下工程防水	300
第 11 章	地下工程特殊施工技术	255	12.4.1	地下工程防水原则与防水等级	300
11.1	注浆法施工技术	256	12.4.2	地下工程混凝土结构主体防水	302
11.1.1	概述	256	本章小结		307
11.1.2	注浆材料	258	思考题		307
11.1.3	注浆法施工	262	第 13 章	地下工程施工组织与管理	308
11.2	冻结法施工技术	264	13.1	概述	309
11.2.1	概述	264	13.2	施工准备	309
11.2.2	冻结制冷设备	266	13.2.1	施工准备的内容	309
11.2.3	冻结法施工	269	13.2.2	施工准备工作计划	312
11.3	沉井法施工技术	274	13.3	施工组织设计	312
11.3.1	概述	274	13.3.1	施工组织设计的分类	312
11.3.2	沉井的分类	275	13.3.2	施工组织设计的内容	313
11.3.3	沉井的构造	278	13.4	施工方案	314
11.3.4	沉井法施工	281	13.4.1	施工方案编制依据	314
11.3.5	沉井的防偏与纠偏	284	13.4.2	施工方案的主要内容	314
本章小结		286			
思考题		286			
第 12 章	地下工程排水、降水与防水	287			
12.1	概述	288			

13.5 施工进度计划	316	14.4.7 地下管线变形监测	354
13.5.1 编制依据和编制程序	316	14.5 施工监测资料的整理与分析	355
13.5.2 施工项目划分	316	14.5.1 资料采集	355
13.5.3 计算工程量和确定项目 延续时间	316	14.5.2 采集质量控制	355
13.5.4 流水作业组织	317	14.5.3 误差与检验方法	355
13.5.5 网络计划技术	318	本章小结	356
13.5.6 施工进度计划的执行与 调整	321	思考题	356
13.6 施工平面图	321	第 15 章 地下工程施工环境影响与 保护	357
13.6.1 施工平面图设计要求	321	15.1 概述	358
13.6.2 施工平面图的主要 内容	322	15.2 深基坑工程施工环境影响与 保护	358
13.6.3 施工平面图设计步骤	322	15.2.1 深基坑施工的影响 范围	358
13.7 质量管理与现场管理	327	15.2.2 深基坑工程施工的环境 保护措施	360
13.7.1 质量管理	327	15.3 公路、铁路隧道施工环境影响与 保护	361
13.7.2 现场管理	331	15.3.1 新奥法隧道施工引起的 地表沉降	361
13.8 合同管理与风险管理	333	15.3.2 新奥法隧道施工引起土体 变形与地表沉降的影响 因素	362
13.8.1 合同管理	333	15.3.3 新奥法隧道施工的环境 保护措施	363
13.8.2 风险管理	334	15.4 城市地铁施工环境影响与 保护	364
本章小结	334	15.4.1 盾构施工的地层移动过程与 地表变形预测	364
思考题	335	15.4.2 盾构施工地层移动的 影响因素	367
第 14 章 地下工程施工监测	336	15.4.3 盾构施工的环境保护 措施	368
14.1 概述	337	本章小结	368
14.2 施工监测方案的编制	337	思考题	369
14.3 施工监测的组织与实施	339	参考文献	370
14.3.1 监测的前期准备	339		
14.3.2 监测实施	340		
14.4 施工监测项目与方法	342		
14.4.1 沉降监测	342		
14.4.2 水平位移监测	344		
14.4.3 支护结构变形监测	345		
14.4.4 支护结构内力监测	347		
14.4.5 地下水土压力和 变形监测	348		
14.4.6 建筑物变形监测	351		

第1章

绪论

教学目标

本章主要讲述地下工程施工技术的分类、现状与发展情况。通过学习应达到以下目标：

- (1) 掌握地下工程的概念与分类；
- (2) 掌握地下工程施工技术的分类；
- (3) 了解地下工程施工技术的发展；
- (4) 掌握地下工程施工课程的任务与特点，理解相应学习方法。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
地下工程的概念与分类	(1) 掌握地下工程的概念； (2) 掌握地下工程的分类	(1) 地下工程与地下空间的概念； (2) 地下工程的类型
地下工程施工技术的现状与发展	(1) 掌握地下工程施工技术的分类； (2) 掌握信息化施工技术的概念； (3) 理解地下工程施工技术的发展	(1) 地下工程施工技术的分类； (2) 信息化施工技术的概念； (3) 地下工程施工技术的发展
课程任务、特点与学习方法	(1) 掌握地下工程施工课程的任务与特点； (2) 理解地下工程施工技术的学习方法	(1) 课程的任务与特点； (2) 课程学习方法



基本概念

地下工程；地下空间；地下工程施工技术；信息化施工技术

1.1 地下工程的概念与分类

1.1.1 地下工程的概念

地下工程 (Underground Engineering) 泛指修建在地面以下岩层或土层中的各种工程设施，是地层中所建工程的总称，通常包括矿山井巷工程、城市地铁隧道工程、水工隧洞

工程、交通山岭隧道工程、水电地下硐室工程、地下空间工程、军事国防工程、建筑基坑工程等。地下工程与地下空间（Underground Space）是两个密切相关的基本概念，后者是在岩层或土层中天然形成或经人工开发形成的空间。天然地下空间，是与溶蚀、火山、风蚀、海蚀等地质作用有关的地下空间资源，按其成因分为喀斯特溶洞、熔岩洞、风蚀洞、海蚀洞等，天然地下空间可作为旅游资源加以开发利用，也可用作地下工厂、地下仓库、地下电站、地下停车场等，战时亦可作为防空洞使用；人工地下空间包括两类，一类是因城市建设需要开发的地下交通空间、地下物流空间、地下贮存空间等，另一类是开发地下矿藏、石油而形成的废旧矿井空间。改造利用已经没有价值的废旧矿井，用作兵工厂、军火库、储油库等，相对来说投资少、见效快，可以变废为宝，是充分利用地下空间资源的好途径。

1.1.2 地下工程的分类

随着国民经济的发展，地下工程的范围越来越广泛，其分类也越来越复杂。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、贮存、工业、商业、农业、居住、旅游、娱乐、物流等；按空间位置分，有水平式、倾斜式和垂直式；按形状分，有洞道式和厅房式；按埋藏深度分，有深埋式和浅埋式；按照工程周围介质分，有岩石地下工程与土层地下工程等。

在洞道式和厅房式的分类中，洞道式是指长度较大、径向尺寸相对较小的地下工程；厅房式又称硐室式（也有的称硐室），是指长度相对较短、径向尺寸较大的地下工程。两者在支护上有不同的要求，在开挖方式的选择上有着一定的差异。对洞道式工程，不同的行业领域有不同的称谓，如公路及铁路部门称之为隧道，在矿山中称之为巷道，水利水电部门称之为隧洞，而军事部门则称之为坑道或地道，在市政工程中又称之为通道或地道。下面按照用途，介绍一些主要的地下工程类型。

（1）地下交通工程：包括地下铁路、地下公路（含车行立交）、地下人行通道、地下停车库等。在有些发达国家，如日本正在向地下悬浮列车、地下飞机场等新领域进军。

（2）地下民用建筑：主要包括地下公共建筑和居住建筑。地下居住建筑是供人们起居生活的场所，如突尼斯的地下聚居点、中国的窑洞民居、美国的覆土住宅等；地下公共建筑主要指用于各种公共活动的单体地下空间建筑，涉及办公、娱乐、商业、体育、文化、学校、托幼、广播、邮电、旅游、医疗、纪念等建筑，小型地下街及集散广场也属于地下公共建筑。

（3）地下市政管线工程：一般应包括供水、能源供应、通信和废弃物的排除四大系统，涉及给水管道、排水沟管、电力线路、电信线路、热力管道、城市垃圾输送管道、可燃和助燃气体管道、空气管道、液体燃料管道、灰渣管道、地下建筑线路及工业生产专用管道等。在发达国家，通常将设在地面、地下或架空的各类公用管线集中设置在留有供检修人员行走通道的隧道结构中，该隧道结构被称为“城市地下管道综合走廊”，又名“共同沟”或“公共沟”。在我国，广州大学城（小谷围岛）综合管沟是广东省规划建设的第一条共同沟，也是目前国内距离最长、规模最大、体系最完善的综合管沟，它的建设是我

国城市市政设施建设及公共管线管理的一次有益探索和尝试。2015年国家出台了《国务院办公厅关于推进城市地下综合管廊建设的指导意见》，将极大地推进我国城市地下综合管廊建设的发展。

(4) 地下贮库工程：在20世纪60年代以前，地下贮库一般仅用于军用物资与装备、石油与石油制品的贮存，类型不多。但在近几十年中，新类型不断增加，使用范围迅速扩大，涉及人类生产与生活的许多重要方面。到目前为止，地下贮库可大体上概括为五大类，即地下水库，包括饮用水库和工业水库；地下食物库，如地下粮库、地下食油库、地下冷冻库和地下冷藏库等；地下能源库，如地下化学能库、地下电能库、地下机械能库和地下热（冷）能库；地下物资库，如用以存放车辆、武器、装备、军需品、商品等；地下废物库，如地下核废料库、地下工业废料库和城市废物库等。

(5) 地下街：是指修建在大城市繁华的商业街下或客流集散量较大的车站广场下，由许多商店、人行通道和广场等组成的综合性地下建筑，也被称为“地下综合体”。城市地下街具体可划分为地下商业街、地下娱乐文化街、地下步行街、地下展览街及地下工厂街等，目前建设较多的为地下商业街和娱乐文化街，其他各种类型的地下街不久也会出现。随着城市地下空间建设规模的发展，把各种类型地下街与其他各种地下设施进行组合并连接起来，将发展成为“地下城”。

(6) 其他城市地下建筑：包括地下工业工程与地下人防建筑等。

1.2 地下工程施工技术的现状与发展

1.2.1 地下工程施工技术的分类与发展

地下工程施工技术可分为基础技术和应用技术两大类，基础技术一般不能单独地用于修建地下设施，而是作为应用技术的一部分来应用。基础技术可分为地层改良技术、锚固技术、支挡技术、衬砌技术、爆破技术与量测技术等，如图1-1所示。

地下工程的施工技术是结合土木工程基础技术与地下工程的特点而形成的。地下工程的施工方法，大致可按表1-1分类。

目前我国城市地下工程中，盾构法、新奥法和浅埋暗挖法等应用较为广泛，其中盾构法是地铁和市政隧道采用的主要方法，已取得较好的效果，并具备自主创新的能力，处于国际先进水平。此外还有一些其他方法，如顶管法、沉管法、沉箱法、TBM法、非开挖技术法、盖挖法和明挖法等。从地下工程相对于地面工程的特点出发，可将其施工方法和技术总结为“一个中心，两个基本点”，一个中心就是岩土体和工程结构的稳定与和谐，两个基本点是指开挖和支护，这三者之间联系密切、息息相关。因此，无论是何种特定的施工方法，除了必须包括最基本的开挖技术和支护技术外，还必须具有相应的辅助技术。

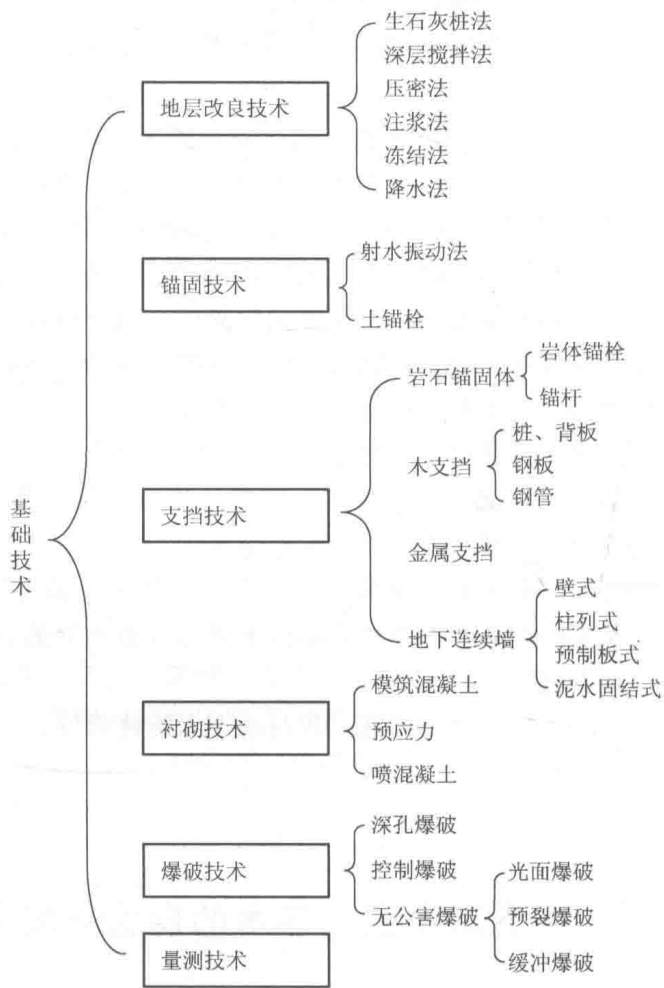


图 1-1 基础技术分类

表 1-1 地下工程施工方法的分类

大分类	小分类		细分类
明挖法	基坑开挖法		—
	盖挖法		逆作法
	沉管法		顺作法
暗挖法	钻爆法	矿山法	传统矿山法
			新奥法
	非钻爆法	盾构法	—
		掘进机法	全断面隧道掘进机 (TBM)
			悬臂式隧道掘进机
	顶管法	—	

与地面建筑相比,地下工程处于岩土介质之中,其最大的特点就是地质环境复杂,影响因素众多,基础信息匮乏,是涉及岩土力学、结构力学、基础工程、原位测试和施工技术等多学科的复杂系统工程。这使得地下工程在变形特性、结构特征、初始应力场分布、温度和地下水作用效应等方面都表现出明显的非均质性、非连续性、离散性和非线性等特点,令地下工程在施工、运营阶段表现出相当独特和复杂的力学特征,其变形规律和受力特点无论是理论分析、数值模拟或室内外试验,均难以对其准确把握。为此,在地下工程施工中提出了“信息化施工技术”。所谓信息化施工技术,是指在施工过程中以质量控制为目标,通过对大量施工监测信息的采集、分解、分类及处理,提取施工参数中影响施工质量的控制变量及其对应的信息因子,通过渐进逼近的方法将控制变量进行全过程调整和优化,指导整个施工过程,同时依据前步施工监测信息及施工参数的变化规律,推断下一步施工工况及其对策。施工影响与控制贯穿整个施工过程,是一个动态跟踪的过程。信息化施工技术可以贯穿在前述任何类型的地下工程施工技术当中,它不是一门独立的地下工程施工技术,而属于辅助施工技术,在地表工程如边坡工程、地基工程等施工中,也有广泛的应用。

1.2.2 地下工程施工技术的发展

随着我国地下空间开发与利用高潮的到来,地下工程施工技术发展十分迅速,主要表现在以下方面。

(1) 重视 TBM 和盾构机施工技术的引进、消化、应用和开发。当前技术开发的方向应当是降低成本,提高施工质量与速度,并延长机械使用寿命。此外让盾构技术产品化、系列化,盾构管片设计和施工自动化、省力化、高速化及经济化,也是重要的发展方向。

(2) 对 TBM 隧道掘进机和混合型盾构掘进机的研制和应用。通过研发,使其更好地适应复杂的地质条件,使掘进机向着机械、电气、液压和自动控制一体化、智能化方向发展。

(3) 对异形断面盾构掘进机的研究,如双圆盾构、自由断面盾构、局部扩大盾构等,推广应用 ECL(挤压成型混凝土衬砌)施工技术。

(4) 大力发展浅埋暗挖技术、沉管技术、沉井技术、非开挖技术,促进中小口径顶管掘进机的标准化、系列化和推广应用。

(5) 开发多媒体监控和仿真系统、三维仿真计算机管理系统,实现管理信息化和智能化。

(6) 深入研究并充分利用信息技术,重视隧道动态设计与动态施工,提高施工技术水平。充分利用先进的监测技术和方法特别是 3S 技术(遥感技术 RS、地理信息系统技术 GIS、全球定位系统 GPS)来建立地表、地层变形与位移数据库,并开发相关的自动评判分析系统。

(7) 制定相应的地下工程规划、勘察、设计、施工等技术和经济方面的法规、标准等,以保证有法可依、有章可循;引进、消化、吸收国外先进管理方法和经验,进行本土化改造和自主创新研发,从制度上给地下工程技术以科学合理的保证。

(8) 努力实现城市地下工程施工新技术(新材料、新机械、新工艺)与规划勘察技术、设计计算技术、安全防灾与管理技术等配套化、系列化、规范化和国际化。

1.3 地下工程施工课程的任务、特点与学习方法

1.3.1 地下工程施工课程的任务

“地下工程施工”是城市地下空间工程专业或土木工程专业地下工程方向的一门专业课,它的任务在于使学生通过本课程的学习,了解和掌握地下工程的基本施工工艺、技术、方法和理论,培养地下工程施工与组织管理的能力。

1.3.2 地下工程施工的特点

地下工程施工所形成的地下结构物与地面结构物相比,两者在赋存环境、力学作用机理等方面都存在着明显的差异。地面结构体系一般都是由上部结构和地基组成,地基只在上部结构底部起约束或支承作用,除了自重外,荷载都是来自于结构外部;而地下结构是埋入地层中的,四周都与地层紧密接触,其承受的荷载来自于洞室开挖后引起周围地层的变形和坍塌而产生的力,同时结构在荷载作用下发生的变形又受到地层的约束。

地下结构周围的地层是千差万别的,地下开挖形成的洞室是否稳定,不仅取决于岩土体强度,也取决于地层构造的完整程度。相比之下,周围地层构造的完整性对于洞室稳定有更大的影响。各类岩土地层在洞室开挖之后都具有一定程度的自稳能力,当地层自稳能力较强时,地下结构将不受或少受地层压力的荷载作用,否则地下结构将承受较大的荷载甚至独立承受全部荷载作用。因此周围地层能与地下结构一起承受荷载,共同组成地下结构体。地层既是承载结构的基本组成部分,又是形成荷载的主要来源,且洞室周围的地层在很大程度上是地下结构体系中承载的主体。地下结构的安全性,首先取决于地下结构周围的地层能否保持稳定,并应充分利用和更好地发挥围岩的承载能力。在需要设置支护结构时,支护结构能够阻止围岩的变形,并使其达到稳定,这种合二为一的作用机理与地面结构是完全不同的。所以在地下工程施工中,必须根据地下结构所具有的这些显著特点采取合适的施工方法与施工设备。

随着国民经济的快速发展,地下工程尤其是城市地下工程进入了蓬勃发展阶段,预计21世纪初至中叶将是我国大规模建设地铁及其他地下工程的年代。目前,我国城市地下工程埋深多在20m以内,由于埋深较浅又地处城市,所以城市地下工程施工具有以下特点。

1. 地质条件差

在城市地下工程埋深范围内大多为第四纪冲积或沉积层,或为全、强风化岩层,地层

多处在松散无胶结状态,存在上层滞水或潜水。同时我国部分城市如武汉、南京、杭州、上海等,部分区域承压水位高,承压水含水层顶板埋藏浅,对地下工程施工影响巨大。

2. 施工环境复杂

城市地铁工程多建在建筑物已高度集中的地区,一般在城市道路下面及各种管线附近通过。施工往往引起地层变形和地表沉降,这些变形和沉降对邻近固有建(构)筑物和设施的损伤不可忽视。例如,地铁施工将产生一定范围的地表沉降,当沉降过大时会引起建筑物的倾斜、开裂等,甚至导致建筑物功能丧失。因此研究地下工程在施工过程中对周围环境的影响及其控制技术就显得尤为重要。

3. 结构埋深浅且与邻近结构相互影响

城市地下的管网设施、商业街、停车场等十分集中,它们相互影响,相互制约,给工程的修建带来众多设计与施工技术方面的难题。例如,新建地铁工程与既有建筑物或构筑物的基础紧邻,产生相互作用;处于较浅位置的地下管线结构,与深部的大型停车场或地铁工程形成上、下位置的邻接关系;多条隧道形成平面上的邻接问题等。在施工中如何控制邻近建筑物的变形以及建筑结构的内在反应,是城市地下工程施工应该着重考虑与解决的问题。

4. 围岩稳定性难于判断

地下工程的围岩稳定问题,一直是地下工程设计与施工研究的重点问题。对于城市地下工程而言,其地质、环境以及结构方面的特殊性又给这一问题的研究增加了特殊的内容。围岩稳定性理论认为在地下工程施工过程中,地下工程周围岩体发生应力重分布,当这种重分布应力超过围岩的强度极限时,将造成围岩的失稳破坏。在浅埋条件下是否存在承载拱,对其稳定性判别非常重要,有必要通过监测与研究解决。

1.3.3 地下工程施工课程的学习方法

地下工程施工是在材料力学、结构力学、土力学、岩石力学与结构设计原理等课程之后开设的后续课程,在学习过程中,要在掌握力学原理与结构设计原理的基础上,理解各种地下工程施工的原理、方法、工艺流程与设备选择。

本课程涉及的知识十分广泛,在老师讲授的基础上要加强自学,多方查找资料,包括相关图书、期刊、施工实例,加强对各类施工方法特点、适用范围、选择依据与施工组织等方面的掌握与理解。

地下工程施工是一门实践性很强的课程,可通过施工过程视频教学、参观、实习等手段加深感性认识,通过理论教学与工程实践的良性互动,加深对地下工程施工方法与技术的认识与理解。

本章小结

通过本章学习，应深化对地下工程施工技术在概念、内容、分类等方面的认识，以及地下工程施工这门课程在任务、特点与学习方法等方面的理解，使得在学习之初就如何学好本课程有一个明确的认识。

思考题

1. 什么是地下工程？按照用途分类，地下工程有哪些主要类型？
2. 什么是地下空间？地下空间分为哪两类？
3. 地下工程主要的施工方法有哪些？如何分类？
4. 地下工程施工中包含哪些基础技术？
5. 什么是信息化施工技术？
6. 地下工程施工具有哪些特点？