



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材



高等学校重点教材

高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材

城市隧道盾构法 施工技术

Civil Engineering

杨平 王源 主编
周顺华 主审

中国建筑工业出版社

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
“十三五”江苏省高等学校重点教材（编号：2016-2-069）
高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材

城市隧道盾构法 施工技术

杨 平 王 源 主编
周顺华 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市隧道盾构法施工技术/杨平, 王源主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 10

高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材
ISBN 978-7-112-21370-2

I. ①城… II. ①杨… ②王… III. ①城市隧道-隧道施工-盾构法-高等学校-教材 IV. ①U455. 43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 256560 号

本书按城市隧道盾构法施工前后关系, 介绍了城市隧道盾构法施工的相关技术, 主要包括城市隧道工程发展趋势、分类, 盾构机选型、刀盘刀具及布置, 盾构始发、掘进、接收, 联络通道施工、盾尾刷渗漏防治与更换, 施工监测, 隧道施工引起的环境岩土工程问题等。本书力求以各类工程问题为基线, 注重实际应用兼顾理论研究, 适当吸收了最新研究成果, 并进行了一些必要的讨论。本书阐述简明, 图文并茂, 层次分明, 重点突出。全书共 8 章, 包括: 绪论、盾构机选型及参数确定、盾构始发与接收技术、盾构隧道推进技术、盾构隧道联络通道施工技术、盾构隧道施工对周边环境预测方法及控制技术、盾构推进盾尾刷渗漏防治与更换技术、盾构隧道施工监测与风险管理技术。

本书主要作为普通高等学校土木工程、城市地下空间工程等专业高年级的专业选修课教材或研究生相关课程的参考教材, 亦可供其他相关专业师生及工程技术人员参考。

为更好支持本课程的教学, 本书作者制作了多媒体教学课件, 有需要的读者可以发送邮件至 jiangongkejian@163.com 索取。

* * *

责任编辑: 仕 帅 吉万旺 王 跃

责任设计: 韩蒙恩

责任校对: 芦欣甜 李欣慰

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
“十三五”江苏省高等学校重点教材 (编号: 2016-2-069)
高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材

城市隧道盾构法施工技术

杨 平 王 源 主编

周顺华 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22½ 字数: 557 千字

2017 年 12 月第一版 2017 年 12 月第一次印刷

定价: 48.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-21370-2

(31076)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材
编委会成员名单
(按姓氏笔画排序)

顾 问：王 超 王景全 吕志涛 刘德源 孙 伟

吴中如 顾金才 钱七虎 唐明述 缪昌文

主任委员：刘伟庆 沈元勤

副主任委员：吕恒林 吴 刚 金丰年 高玉峰 高延伟

委 员：王 跃 王文顺 王德荣 毛小勇 叶继红

吉万旺 刘 雁 杨 平 肖 岩 吴 瑾

沈 扬 张 华 陆春华 陈志龙 周继凯

胡夏闽 夏军武 童小东

出版说明

近年来,我国高等教育教学改革不断深入,高校招生人数逐年增加,相应对教材质量和数量的需求也在不断提高和扩大。随着我国建设行业的大发展、大繁荣,高等学校土木工程专业教育也得到迅猛发展。江苏省作为我国土木工程大省、教育大省,无论是开设土木工程专业的高校数量还是人才培养质量,均走在了全国前列。江苏省各高校土木工程专业教育蓬勃发展,涌现出了许多具有鲜明特色的创新型人才培养模式,为培养适应社会需求的合格土木工程专业人才发挥了引领作用。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会(以下简称江苏分会)是经中国土木工程学会教育工作委员会批准成立的,其宗旨是为了加强江苏省具有土木工程专业的高等院校之间的交流与合作,提高土木工程专业人才培养质量,促进江苏省建设事业的发展。中国建筑工业出版社是住房和城乡建设部直属出版单位,是专门从事住房城乡建设领域的科技专著、教材、技术规范、职业资格考试用书等的专业科技出版社。作为本套教材出版的组织单位,在教材编审委员会人员组成、教材主参编确定、编写大纲审定、编写要求拟定、计划交稿时间以及教材编写的特色和出版后的营销宣传等方面都做了精心组织和专门协调,目的是出精品,体现特色,为全国土木工程专业师生提供一个全新的选择。

经过反复研讨,《高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材》定位为高年级本科生选修课程或研究生通用课程教材。本套教材主要体现创新,充分考虑诸如装配式建筑、新型建筑材料、绿色节能建筑、新型施工工艺、新施工方法、安全管理、BIM技术等,选择18种专业课组织编写相应教材。本套教材主要特点为:在考虑学生前面已学知识的基础上,不对必修课要求掌握的内容过多重复;介绍创新知识时不要求过多、过深、过全;结合案例介绍现代技术;体现建筑行业发展的新要求、新方向和新趋势。为满足多媒体教学需要,我们要求所有教材在出版时均配有多媒体教学课件。

本套《高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材》是中国建筑工业出版社成套出版体现区域特色教材的首次尝试,对行业人才培养具有非常重要的意义。今年正值我国“十三五”规划的开局之年,本套教材有幸入选《住房和城乡建设部土建类专业“十三五”规划教材》。我们也期待能够利用本套教材策划出版的成功经验,在其他专业、在其他地区组织出版体现区域特色的土建类教材。

希望各学校积极选用本套教材,也欢迎广大读者在使用本套教材过程中提出宝贵意见和建议,以便我们在重印再版时得以改进和完善。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会

中国建筑工业出版社

2016年12月

前 言

本书力求以各类工程问题为基线，注重实际应用兼顾理论研究，适当吸收了最新研究成果，并结合编写人员多年的教学经验编写而成，是普通高等学校土木工程、城市地下空间工程等专业高年级或研究生的选修课教材。本书系统地介绍了隧道工程发展趋势、分类，盾构机选型、刀盘刀具及布置，盾构始发、掘进、接收，联络通道施工、盾尾刷渗漏防治与更换，施工监测，隧道施工引起的环境岩土工程问题等基础知识和相关技术。

本书在编写过程中，除强调反映本学科的传统知识外，力求反映国内外隧道盾构法施工技术及相关理论的发展水平，如对复杂地层条件下的冻结法施工技术及盾构施工对周边环境影响的预测理论及数值模拟等均作了系统介绍。本书内容全面，覆盖隧道盾构法施工技术的全过程，既满足土木工程及城市地下空间工程等专业高年级或研究生选修教学的要求，又可供从事隧道及地下工程设计和施工的专业技术人员及科研人员自学参考。

本书由南京林业大学杨平教授、解放军理工大学王源教授主编，全书由杨平统稿，具体编写人员分工如下：杨平编写第1、3、5、7章，王源、李二兵编写第8章，中南大学张学民副教授编写第2、4章，南京林业大学张永兴副教授编写第6章。全书由同济大学博士生导师周顺华教授主审，提出了许多宝贵意见和建议，在此表示衷心的感谢！

本书是由中国建筑工业出版社及中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会共同立项而组织编写的，得到中国建筑工业出版社的大力支持，在此一并表示衷心感谢。本书作者要特别感谢南京林业大学刘健鹏、吴繁、朱伟煦、李志远等研究生为本书相关文字、图表所做的大量工作。本书引用了大量的发表于各类期刊的论文及教材、专著的资料成果，并将引用的文章、教材、专著列入参考文献中，但难免会有疏漏，如有遗漏敬请谅解！在此表示感谢！

限于编者的水平，错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者
2017.9

目 录

第1章 绪论	1	2.2.2 盾构机的选型	28
本章要点及学习目标	1	2.3 盾构刀盘、刀具及布置	30
1.1 引言	1	2.3.1 盾构机刀盘及刀具	30
1.2 城市隧道工程发展趋势	2	2.3.2 盾构机刀盘选型及基本参数的 确定	33
1.2.1 特长隧道将成为“新常态”	2	2.3.3 盾构机刀具配置分析	39
1.2.2 地铁工程持续发展	2	2.3.4 国内盾构机刀盘选型工程实例	42
1.2.3 城市铁路地下化	2	2.4 盾构机选型工程实例——长沙 地铁1号线下穿湘江盾构 隧道	42
1.2.4 城市地下公路悄然兴起	2	2.4.1 工程背景	42
1.2.5 城市排蓄水工程	2	2.4.2 盾构机选型	47
1.2.6 地下空间开发与地下管廊工程	3	2.4.3 盾构机参数配置	47
1.2.7 三大海峡通道	4	2.4.4 盾构刀盘刀具设计	48
1.2.8 互联互通的国际通道建设	4	2.4.5 盾构机适应性特点	49
1.2.9 技术方面	4	本章小结	51
1.3 城市隧道分类及常用的施工 方法	4	思考与练习题	51
1.3.1 城市隧道分类	4	第3章 盾构始发与接收技术	52
1.3.2 城市隧道常用的施工方法	7	本章要点及学习目标	52
1.4 城市隧道施工引起的环境岩土工程 问题	18	3.1 盾构始发与接收常用技术	52
1.4.1 地表沉降	18	3.1.1 常规盾构始发与接收技术	53
1.4.2 建筑物损坏	19	3.1.2 盾构钢套筒始发与接收技术	53
1.4.3 地下空间利用问题	20	3.1.3 水中接收技术	55
本章小结	21	3.1.4 玻璃纤维钢筋混凝土围护接收 技术	56
思考与练习题	21	3.2 盾构隧道端头加固方式及综合 比较	57
第2章 盾构机选型及参数确定	22	3.2.1 盾构始发与接收封门形式	57
本章要点及学习目标	22	3.2.2 盾构隧道端头加固方式的分类	60
2.1 盾构隧道施工原理及发展 趋势	22	3.2.3 常用盾构隧道端头加固方式的 加固特点和控制	64
2.1.1 盾构施工的基本原理	22	3.2.4 各种工法技术经济分析比较	66
2.1.2 盾构隧道施工的发展趋势	24	3.3 不同地层和周边环境条件下 端头加固方式选择	67
2.2 盾构机类型及选型	27		
2.2.1 盾构机的分类	27		

3.3.1	软土地层加固方法	68	4.3.3	盾构掘进主要参数	103
3.3.2	砂性土层与承压水地层加固方法	69	4.3.4	掘进轴线控制	105
3.3.3	岩石地层或特殊地层加固方法	70	4.3.5	刀具管理和换刀	106
3.4	加固土体稳定性研究	71	4.3.6	管片拼装	108
3.4.1	板块强度分析设计理论	71	4.3.7	盾构掘进壁后注浆	112
3.4.2	砂性土静力理论验算方法	71	4.3.8	渣土改良	116
3.4.3	黏性土滑移失稳理论验算方法	72	4.4	盾构换刀技术	117
3.4.4	土体扰动极限平衡理论	72	4.4.1	盾构刀具磨损及更换标准	117
3.5	盾构隧道端头加固范围确定	74	4.4.2	盾构换刀时机和位置选择	120
3.5.1	化学加固范围确定	74	4.4.3	盾构掘进换刀技术方式	120
3.5.2	解析解确定端头加固范围	74	4.4.4	盾构常压换刀技术研究	122
3.5.3	数值解确定端头纵向加固范围	74	4.4.5	盾构带压换刀技术研究	123
3.5.4	软弱富含水端头地层加固范围讨论	75	4.5	盾构特殊段推进施工	126
3.5.5	水平杯形冻结加固范围确定	77	4.5.1	盾构穿越地面建(构)筑物施工	126
3.6	富含水砂性土层盾构始发与接收技术	82	4.5.2	盾构穿越铁路施工	130
3.6.1	钢套筒始发与接收技术	82	4.5.3	盾构穿越地下管线施工	135
3.6.2	水中接收技术	84	4.5.4	盾构穿越地下障碍物施工	136
3.6.3	富含水砂性土层盾构接收实例	85	4.5.5	盾构穿越江河施工	138
本章小结		89	4.5.6	盾构穿越小半径曲线段施工	142
思考与练习题		89	4.5.7	特殊地层盾构穿越施工	145
第4章 盾构隧道推进技术		90	本章小结		147
本章要点及学习目标		90	思考与练习题		147
4.1 盾构施工准备		90	第5章 盾构隧道联络通道施工技术		148
4.1.1 一般性要求		90	本章要点及学习目标		148
4.1.2 前期调查		91	5.1 概述		148
4.1.3 技术准备和人员培训		91	5.1.1 国内外联络通道设置情况		148
4.1.4 生产准备		92	5.1.2 联络通道结构形式		150
4.1.5 设备、设施准备		92	5.2 联络通道加固与开挖常用方法		151
4.1.6 施工作业准备		93	5.2.1 联络通道明挖法		151
4.2 盾构100m试掘进		93	5.2.2 联络通道暗挖法		152
4.2.1 试掘进长度及目的		93	5.2.3 联络通道竖井暗挖法		153
4.2.2 盾构始发方式		94	5.2.4 各种工法技术经济分析比较		155
4.2.3 盾构试掘进准备		95	5.2.5 联络通道加固措施		156
4.2.4 盾构试掘进施工控制		97	5.3 联络通道矿山法施工		157
4.2.5 盾构试掘进结束工作		98	5.3.1 盾构区间隧道加固		157
4.3 盾构正常段掘进施工		99	5.3.2 联络通道开口		158
4.3.1 盾构掘进施工工艺		99	5.3.3 联络通道开挖支护		159
4.3.2 盾构掘进模式		100	5.3.4 联络通道防水施工		162

5.3.5	联络通道衬砌施工	162	影响机理	229	
5.3.6	工程实例	164	6.4.3	桩基的作用机理	230
5.4	联络通道冻结法施工	169	6.4.4	盾构施工引起邻近桩基沉降的 理论分析法	232
5.4.1	联络通道冻结设计	169	6.4.5	盾构法施工对单桩竖向 影响计算	234
5.4.2	联络通道冻结加固施工	178	6.4.6	盾构法施工对单桩水平向 影响计算	235
5.4.3	联络通道冻结加固实例	182	6.4.7	盾构动态施工对邻近桩基的 影响规律	237
本章小结		187	6.5	盾构隧道施工对管线的影 响	238
思考与练习题		188	6.5.1	地下管线的破坏模式及允许 变形值的研究	239
第6章	盾构隧道施工对周边环境 影响预测方法及控制技术	189	6.5.2	地下管线的破坏形式	239
本章要点及学习目标		189	6.5.3	盾构隧道施工影响下地下管线 变形的研究	241
6.1	盾构隧道施工对周边环境影 响数值分析理论与方法	189	6.5.4	地下管线受隧道施工影响的 受力	242
6.1.1	地层变形的理论及经验预测	190	6.5.5	地下管线的受力计算	244
6.1.2	解析、半解析数值方法	197	6.5.6	基于 Winkler 模型的管线受力 和变形计算	246
6.1.3	有限元法	198	6.6	盾构隧道施工引起周围环 境灾变的控制技术	247
6.2	盾构隧道施工对周围土体变 形影响	202	6.6.1	土体变形的控制	247
6.2.1	盾构施工对周围土体的影响	202	6.6.2	浅地基控制	248
6.2.2	地层变位的起因	206	6.6.3	桩基控制	253
6.2.3	引起地层变位的因素	207	6.6.4	地下管线的保护控制	254
6.2.4	盾构施工引起地层变位及 机理	208	本章小结		256
6.2.5	盾构隧道下穿施工对地层 扰动分区	211	思考与练习题		256
6.2.6	地层变位的特点	212	第7章	盾构推进盾尾刷渗漏防治与 更换技术	257
6.2.7	盾构隧道施工地层变形预测 解析解	213	本章要点及学习目标		257
6.3	盾构隧道施工对浅基础的 影响	218	7.1	盾尾刷渗漏与防治技术	257
6.3.1	影响浅基础稳定的因素	219	7.1.1	盾尾渗漏原因分析	258
6.3.2	盾构开挖对浅基础危害	221	7.1.2	盾尾渗漏预防措施	260
6.3.3	盾构施工对浅基础影响范围的 确定	222	7.1.3	盾尾渗漏应急措施	263
6.3.4	邻近建筑安全控制指标	223	7.1.4	盾尾渗漏封堵工艺	264
6.3.5	荷载法的建立及求解	224	7.2	盾尾刷更换常用止水技术及 选用	265
6.4	盾构隧道施工对桩基础的 影响	227	7.2.1	化学注浆止水	265
6.4.1	桩基础的分类及受力	227	7.2.2	冻结法止水	265
6.4.2	盾构隧道施工对临近桩基的				

7.2.3 止水方案对比分析·····	268	8.1 概述·····	291
7.3 盾尾刷更换化学加固止水 技术·····	270	8.2 盾构施工测量·····	292
7.3.1 化学注浆材料·····	270	8.2.1 控制测量·····	292
7.3.2 盾尾更换注浆止水加固方案·····	273	8.2.2 联系测量·····	293
7.4 盾尾刷更换冻结止水方案 设计与施工·····	275	8.2.3 地下控制测量·····	296
7.4.1 水土压力计算·····	275	8.2.4 盾构推进测量·····	297
7.4.2 冻结加固体厚度确定·····	276	8.2.5 其他测量·····	306
7.4.3 冻结参数设计·····	277	8.2.6 施工测量关键技术·····	307
7.4.4 测温系统布置·····	280	8.3 盾构施工监控量测技术·····	310
7.4.5 强制解冻设计·····	280	8.3.1 监测项目·····	310
7.4.6 盾尾刷更换条件·····	280	8.3.2 测点布设和测试方法·····	311
7.4.7 盾尾刷更换冻结施工工艺·····	280	8.3.3 监测周期与警戒值·····	316
7.5 盾尾刷更换冻结止水工程 应用·····	281	8.3.4 数据分析·····	317
7.5.1 工程概况·····	281	8.4 隧道工程施工安全风险管 理·····	320
7.5.2 冻结方案设计·····	282	8.4.1 概述·····	320
7.5.3 液氮冻结施工工艺·····	284	8.4.2 风险辨识·····	324
7.5.4 温度场实测分析·····	286	8.4.3 风险评价·····	329
本章小结·····	290	8.4.4 风险控制·····	337
思考与练习题·····	290	8.4.5 隧道施工安全风险监 控·····	338
第8章 盾构隧道施工监测与风险 管理技术 ·····	291	本章小结·····	345
本章要点及学习目标·····	291	思考与练习题·····	345
		参考文献 ·····	346

第 1 章 绪 论

本章要点及学习目标

本章要点:

- (1) 城市隧道工程发展趋势;
- (2) 城市隧道分类及常用施工方法;
- (3) 城市隧道施工引起的环境岩土工程问题。

学习目标:

- (1) 了解城市隧道工程发展趋势;
- (2) 熟悉城市隧道分类及常用施工方法;
- (3) 了解城市隧道施工引起的环境岩土工程问题。

1.1 引言

自 20 世纪 80 年代以来,特别是进入 21 世纪以来,随着经济的持续发展、综合国力的不断提升及高新技术的不断应用,我国隧道及地下工程事业得到了前所未有的迅速发展。

我国正处于社会主义经济发展的重要时期,而基础设施建设在国民经济中一直占有举足轻重的地位。近年来,由于我国经济的迅速发展、城市人口的急剧增长以及复杂的国际局势和我国周边态势,为解决人口流动与就业点相对集中给交通、环境等带来的压力,满足国家环境和局势变化需求,修建各种各样的隧道及地下工程(如城市地铁、公路隧道、铁路隧道、水下隧道、市政管道、地下能源洞库等)成为必然趋势,这给隧道及地下工程的发展建设带来了机遇。隧道及地下工程事业的发展有利于国土资源的充分开发利用,具有环保和节能优势,特别是在改变我国水资源条件及油气能源储备等方面,具有重要的作用,但是同样面临着诸多严峻的挑战。目前,我国进行城市快速轨道交通建设的一般都是人口超过 300 万的大城市。2003 年国务院 81 号文件规定,城市的 GDP 要超过 1000 亿元,财政收入要超过 100 亿元,市区主城区人口超过 300 万人以上,预测的客流强度每公里要 3 万人以上才能够修建地铁。截至 2015 年 6 月,已经有 22 个城市开通了轨道交通,运营里程 2764km,其中北京、上海都已经超过 500km,在全世界名列前茅。2015 年全国城市轨道交通总投资达 3000 亿元,超过 2014 年的 2857 亿元。随着我国城镇化的加快发展,未来城镇规模也会不断扩大,轨道交通将是解决交通拥堵问题的必然选择。这不仅是指一线城市,现在除北上广,很多二三线城市也出现了交通拥堵的现象,并且根据预测,到 2020 年城镇化率将达到 60%以上,城镇人口将增加 1 亿人,超过 100 万以上人口

的城市将超过 200 个。预计到 2020 年,符合国家建设地铁标准的城市也将从已经批准的 39 个增加到 50 个左右,地铁里程数将达 6000km,1km 地铁大概能提供 60 个就业岗位,预计增加十几万个就业岗位。轨道交通的投资尤其地铁的投资比较大,每千米造价现在已经从 5 亿元上升到 7~8 亿元,北京甚至超过 10 亿元,筹资需求量很大。

1.2 城市隧道工程发展趋势

1.2.1 特长隧道将成为“新常态”

埋深大、隧道长、修建难度大是目前及今后较长时期隧道及地下工程建设普遍面临的问题,有众多的新难题需要攻克。随着我国铁路、公路进一步向西部地区延伸,不仅隧道数量与总长度会不断提升,而且大于 10km 的公路隧道、大于 20km 的铁路隧道将会越来越多。

1.2.2 地铁工程持续发展

我国现已规划拟发展城市轨道交通的城市总数已经超过 54 个,全部规划线路超过 400 条,总里程超过 15000km。到 2020 年,将有 50 个城市建有地铁,总里程可达 6000km。我国城市地铁建设方兴未艾,已经从一线城市延伸至二三线城市。

1.2.3 城市铁路地下化

目前,高速铁路远离城市中心,给人民出行带来了不便,但城际铁路正在兴起,城市铁路地下化将给隧道及地下工程带来机遇与挑战。我国新建和拟建的铁路地下化工程有:京石客运专线的石家庄市段、广深港高速铁路的深圳市区和香港段、北京地下直径线、天津地下直径线、海南东环铁路美兰机场站。城市铁路地下化,可以节省地面空间,减少地面噪声。

1.2.4 城市地下公路悄然兴起

人性化的城市发展,居住、就业、休闲区域一体的统筹,适合人居环境要求,城市地下公路必将有广阔的发展前景。如杭州紫之隧道(长 14.4km),如图 1-1 所示;在建的长沙桐梓坡-鸭子铺全地下通道(长 12.2km)。



图 1-1 杭州紫之隧道

1.2.5 城市排蓄水工程

城市规模快速扩张,致使原有的排水和净化能力不能满足要求,城市内涝频发;老城区溢流污染严重。现代城市建设排水系统,必须尽量避免引起占道、拆迁等问题。广州深层隧道排水系统值

得推广,见图 1-2。广州市深层隧道排水系统布局规划为 1 主 7 副 1 厂。隧道系统总长度 87.8km,埋深 40~50m,最大断面 10m,最小断面 6m。

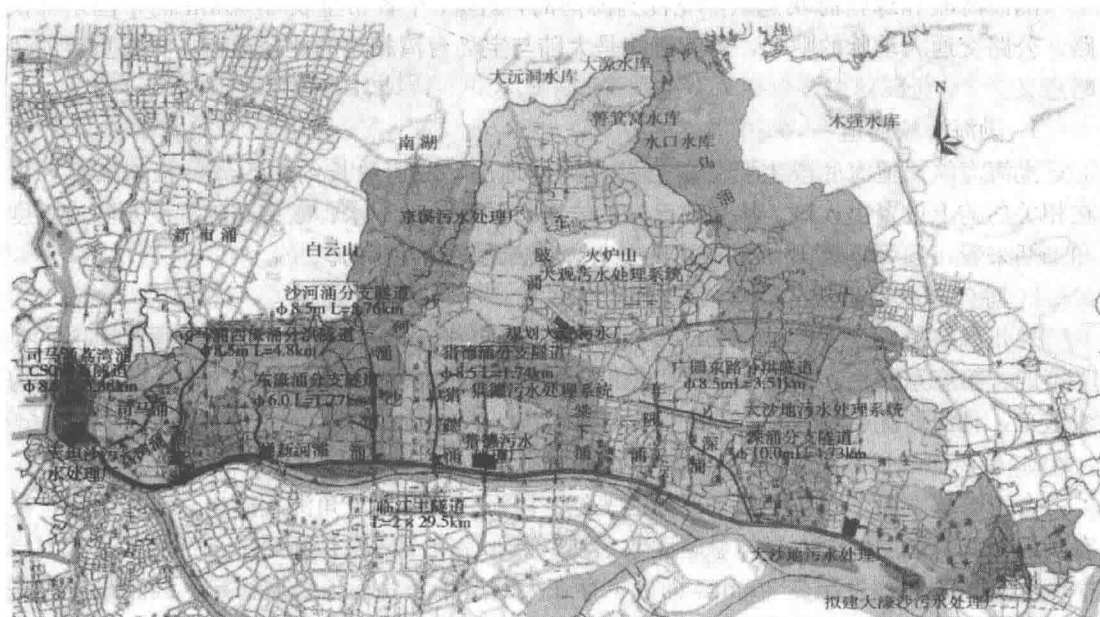


图 1-2 广州深层隧道排水系统

1.2.6 地下空间开发与地下管廊工程

我国城市的各种管线“各自为政、冲突不断”,地下空间开发受到制约。2015年7月国务院总理李克强召开国务院常务会议,部署推进城市地下综合管廊建设。会议指出,针对长期存在的城市地下基础设施落后的突出问题,要从我国国情出发,借鉴国际先进经验,在城市建造用于集中敷设电力、通信、广电、给水排水、热力、燃气等市政管线的地下综合管廊,作为国家重点支持的民生工程。会议确定,各城市政府要综合考虑城市发展远景,按照先规划、后建设的原则,编制地下综合管廊建设专项规划,在年度建设中优先安排,并预留和控制地下空间。在全国开展一批地下综合管廊建设示范,在探索取得经验的基础上,城市新区、各类园区、成片开发区域新建道路要同步建设地下综合管廊,老城区要结合旧城更新、道路改造、河道治理等统筹安排管廊建设。已建管廊区域,所有管线必须入廊;管廊以外区域不得新建管线。加快现有城市电网、通信网络等架空线入地工程。

在城市总体规划中,地下空间的开发利用已经由原来的“单点建设、单一功能、单独运转”,转化为现在的“统一规划、多功能集成、规模化建设”的新模式。城市地下空间是一个十分巨大而丰富的“空间资源”。一个城市可发展利用的地下空间资源量一般是城市总面积乘以开发深度的 40%。如北京地下空间资源量为 1193 亿 m^3 ,可提供 64 亿 m^2 的建筑面积,将大大超过北京市现有的建筑面积。大连市城市地下空间可提供建筑面积 1.94 亿 m^2 ,超过现有大连市房屋建筑面积 (5921 万 m^2)。

1.2.7 三大海峡通道

渤海海峡和琼州海峡是从黑龙江到海南岛,经 11 个省市全长 5700km 的中国东部铁路、公路交通大动脉的咽喉,台湾海峡是大陆与宝岛台湾相连的捷径通道,具有重要的战略意义。

1. 渤海海峡通道

渤海海峡通道海底段主要是板岩及花岗岩地层,隧道总长约 125km。根据需要,可在相关岛屿上设置出入口。从目前已知的岩石可钻性、地下水、断层破碎程度及隧道长度和工期来看,选用直径 10m 的 TBM 法+钻爆法是比较可行的。

2. 琼州海峡通道

琼州海峡最小宽度为 18.6km,海水深度在 20~117m,海床下 200m 范围内地层主要为第四、第三系黏土、粉土和砂层。目前,中线隧道方案被认为是最优方案,可采用盾构法施工,且深埋优于浅埋。

3. 台湾海峡通道

台湾海峡主要是由新生代(部分白垩纪)浅海、滨海、三角洲相砂岩、页岩组成,夹有多层玄武岩为主的火山岩,总厚度数千到 1 万 m。其中,未受断层带干扰的水平状岩层(砂岩、页岩)厚度至少 300m,而且不存在大断层带。北通道地质稳定,线路最短,是优选方案,采用深埋方案风险最小,可选用开敞式 TBM+钻爆法施工。

1.2.8 互联互通的国际通道建设

随着北京 APEC 峰会落下帷幕,“互联互通”已成为当下家喻户晓的热门词语,助推亚太地区发展,全面开启“互联互通”时代也成为了当下最受关注的话题。规划了许多对外、特别是通往欧洲的铁路通道,其中隧道工程将会很多,也会遇到很多挑战。

1.2.9 技术方面

钻爆法和浅埋暗挖法仍是我国隧道施工的主要方法,但进一步提升其机械化水平是其占据舞台中心的助推剂。盾构与 TBM 施工应用的领域将不断扩展,目前在地铁、跨江越海通道工程中处于绝对主导地位,特长隧道(洞)将会首选盾构与 TBM 施工。

1.3 城市隧道分类及常用的施工方法

1.3.1 城市隧道分类

1970 年 OECD(世界经济合作与发展组织)隧道会议从技术方面将隧道定义为:以任何方式修建,最终使用于地表面以下的条形建筑物,其空间内部净空断面在 2m^2 以上者均为隧道。从这个定义出发,隧道包括的范围很大。从不同角度区分,可得出不同的隧道分类方法。如按照地层分,可分为岩石隧道(软岩、硬岩)、土质隧道;按所处位置分,可分为山岭隧道、城市隧道、水底隧道;按施工方法分,可分为矿山法隧道、明挖法隧道、盾构法隧道、沉埋法隧道、掘进机法隧道等;按埋置深度分,可分为浅埋和深埋隧

道；按断面形式分，可分为圆形、马蹄形、矩形隧道等；按国际隧道协会（ITA）定义断面数值划分标准分，可分为特大断面（ 100m^2 以上）、大断面（ $50\sim 100\text{m}^2$ ）、中等断面（ $10\sim 50\text{m}^2$ ）、小断面（ $3\sim 10\text{m}^2$ ）、极小断面（ 3m^2 以下）；按车道数分，可分为单车道、双车道、多车道。

一般认为按用途分类比较明确，可分为交通隧道、水工隧道、市政隧道。

1. 交通隧道

交通隧道是应用最广泛的一种隧道，其作用是提供交通运输和人行通道，以满足交通线路畅通的要求，一般包括以下六种。

1) 公路隧道——专供汽车运输行驶的通道。过去，在山区修建公路为节省工程造价，常常选择盘山绕行，宁愿延长距离而避开修建隧道昂贵的费用。随着社会经济和生产的发展，高速公路的大量出现，对道路修建技术提出了较高的标准，要求线路顺直、坡度平缓、路面宽敞等，因此，在道路穿越山区时出现了大量的隧道方案。隧道的修建在改善公路技术状态，缩短运行距离，提高运输能力，以及减少事故等方面起到重要作用。我国修建的秦岭终南山隧道长 18.1km ，它的建成使翻越秦岭的道路缩短约 60km ，时间减少 2 个多小时。

2) 铁路隧道——专供火车运输行驶的通道。铁路穿越山岭地区时，需要克服高程障碍，由于铁路限坡平缓，最大限坡小于 2.4% （双机牵引），这些山岭地区限于地形而无法绕行，常常不能通过展线获得所需的高程。此时，开挖隧道穿越山岭是一种合理的选择，其作用可以使线路缩短，减小坡度，改善运营条件，提高牵引定数。如宝成线宝鸡至秦岭段线路密集地设有 48 座隧道，占线路总延长的 37.75% ，可见山区铁路隧道的作用了。

3) 水底隧道——修建于江、河、湖、海、洋下的隧道。供汽车和火车运输行驶的通道。当交通线路跨越江、河、湖、海、洋下时，可以选择的方案有架桥、轮渡和隧道。但架桥受净空的限制，轮渡限制通行量，如果这些矛盾得不到有效的解决，水底隧道是一种很好的方案。其优点是不受气候影响，不影响通航，引道占地少，战时不暴露交通设施目标等优点，越来越受到人们青睐。在我国上海跨越黄浦江、广州穿越珠江都修建了跨江的水底隧道，水底隧道的缺点是造价高。

4) 地下铁道——修建于城市地层中，为解决城市交通问题的火车运输的通道。地下铁道是在大城市中解决交通拥挤、车辆堵塞的有效途径之一。由于地下铁道能快速、安全、准时地大量输送乘客，成为大城市解决交通矛盾的有力手段。我国北京、上海、广州等城市已经建成的地下轨道交通系统，为改善城市的交通状况，减少交通事故起到了重要的作用。

5) 航运隧道——专供轮船运输行驶而修建的通道。当运河需要跨越分水岭时，克服高程的有力手段是修建运河隧道，其优点是：缩短航程，减少运营费用，河道顺直，航运条件大大改善。

6) 人行隧道——专供行人通过的通道。一般修建于城市闹区穿越街道，或跨越铁路、高速公路等行人众多，往来交错，车辆密集，以及偶有不慎便会发生交通事故的场合。人行隧道的作用是缓解地面交通压力，减少交通事故，方便行人。

2. 水工隧道

水工隧道是水利工程和水力发电枢纽的一个重要组成部分。水工隧道包括以下四种。

1) 引水隧道——它是将水引入水电站的发电机组或水资源的调动而修建的孔道。引水隧道引入的水是水电站的发电机组的动力资源,因此,引水隧道作为引水的建筑工程,一般是要求内壁承压,但有时只是部分过水,内壁受大气压力而水压较小,甚至无水压,引水隧道可分为有压隧道和无压隧道。

2) 尾水隧道——为将水电站发电机组排出的废水送出去而修建的隧道。

3) 导流隧道或泄洪隧道——为水利工程中疏导水流并补充溢洪道流量超限后的泄洪而修建的隧道。它是水利工程的一个重要建筑,其作用主要是泄洪。

4) 排沙隧道——它是用来冲刷水库中淤积的泥沙而修建的隧道。它是水库建筑物的一个组成部分,其作用是利于排沙隧道把泥沙裹带送出水库。同时也用来检查或修理时,放空水库里的水。

3. 市政隧道

在城市建设和规划中,充分利用地下空间,将各种不同市政设施安置在地下而修建的地下孔道,称为市政隧道。市政隧道与城市中人们的生活、工作和生产关系十分密切,对保障城市的正常运转起着重要的作用。其类型主要有:

1) 给水隧道——为城市自来水管网铺设系统修建的隧道。在城市中,有序合理的规划和布置与人们生活和生产息息相关的给水管路,是城市市政基础设施的重要任务,要求不破坏市容景观,不占用地面,避免遭受人为的损坏。因此,修建地下孔道来容纳安置这些管道是一种合理的选择。

2) 污水隧道——为城市污水排送系统修建的隧道。城市的污水,除部分对环境污染严重的采用净化返用或排放外,大部分的污水需要排放到城市以外的河流中去,这就需要有地下的排污隧道。这种隧道一般采用本身导流排送,此时隧道的形状多采用卵形,也可能是在孔道中安放排污管,由管道排污。排污隧道的进口处,多设有拦渣隔栅,把漂浮的杂物拦在隧道之外,不致涌入造成堵塞。

3) 管路隧道——为城市能源供给(燃气、暖气、热水等)系统修建的隧道。城市中的管路隧道是把输送能源的管路放置在修建的地下的孔道中,经过防漏及保温措施处理,能源就能安全地输送到生产和居家的目的地。

4) 线路隧道——为系统修建的隧道。在城市中,为了保证电力电缆和通信电缆不被人们的活动所损伤或破坏,避免悬挂高空影响市容景观,都修建专门的地下孔道安置它们。

5) 共同管沟。在现代化的城市中,将以上4种具有共性的市政隧道,按城市的布局和规划建成一个共用隧道,称为“共同管沟”。共同管沟是现代城市基础设施科学管理和规划的标志,是合理利用城市地下空间的科学手段,是城市市政隧道规划与修建发展的方向。

6) 人防隧道——是为战时的防空目的而修建的防空避难隧道。城市中建造的人防工程,是为了预防战争空袭的需要。人防工程是在紧急情况下,人们避难所用的,因此,在修建时应考虑人生活环境的一般要求,除应设有排水、通风、照明和通信设备以外,还应考虑贮备饮水、粮食和必要救护设备。在洞口处还需设置防爆、防冲击波装置等。

1.3.2 城市隧道常用的施工方法

城市隧道常用的施工方法有矿山法、明挖法、TBM 掘进机法、盾构法、沉管法、管棚法、逆作法、不良和特殊地质地段的隧道施工方法。

1. 矿山法

矿山法是暗挖法的一种，主要用钻眼爆破方法开挖断面而修筑隧道及地下工程的施工方法。因借鉴矿山开拓巷道的方法，所以得名。用矿山法施工时，将整个断面分部开挖至设计轮廓，并随之修筑衬砌。当地层松软时，则可采用简便挖掘机具进行，并根据围岩稳定程度，在需要时应边开挖边支护。分部开挖时，断面上最先开挖导坑，再由导坑向断面设计轮廓进行扩大开挖。分部开挖主要是为了减少对围岩的扰动，分部的大小和多少视地质条件、隧道断面尺寸、支护类型而定。在坚实、整体的岩层中，对中、小断面的隧道，可不分部而将全断面一次开挖。如遇松软、破碎地层，须分部开挖，并配合开挖及时设置临时支撑，以防止土石坍塌。喷锚支护的出现，使分部数目得以减少，并进而发展成新奥法。

按衬砌施工顺序，可分为先拱后墙法及先墙后拱法两大类。后者又可按分部情况细分为漏斗棚架法、台阶法、全断面法和上下导坑先墙后拱法。在松软地层中，或在大跨度洞室的情况下，又有一种特殊的先墙后拱施工法——侧壁导坑先墙后拱法。此外，结合先拱后墙法和漏斗棚架法的特点，还有一种居于两者之间的蘑菇形法。

1) CRD 法

CRD 法（十字隔墙法）是针对大跨度超浅埋隧道的一种施工方法，该工法把大断面化成小断面，步步成环，每个阶段施工都是一个完整的受力体系，受力明确，变形小，沉降量小。CRD 法遵循“小分块、短台阶、多循环、快封闭”的施工原则，自上而下步步为营，分块成环，随挖随撑，及时做好初期支护，并待初期支护结构的拱顶沉降和收敛已经稳定后，自下而上拆除初期支护结构中的临时中隔壁墙及临时仰拱，再施作外包防水层，施作二次衬砌结构。施工工艺流程如图 1-3 所示。

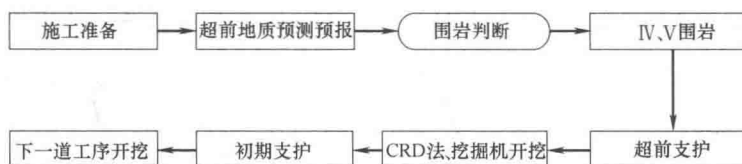


图 1-3 施工工艺流程

施工要点如下：

(1) 合理开挖支护步序

开挖支护步序（图 1-4）为：①→③→②→④。

(2) 合理施工步长

① 台阶步长：考虑到台阶的开挖高度及围岩稳定滑移面角度（45°），确定合理的台阶开挖长度为 3~5m；

② 各开挖面施工步长：8~10m；

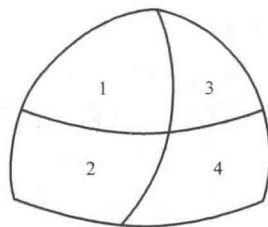


图 1-4 开挖支护步序