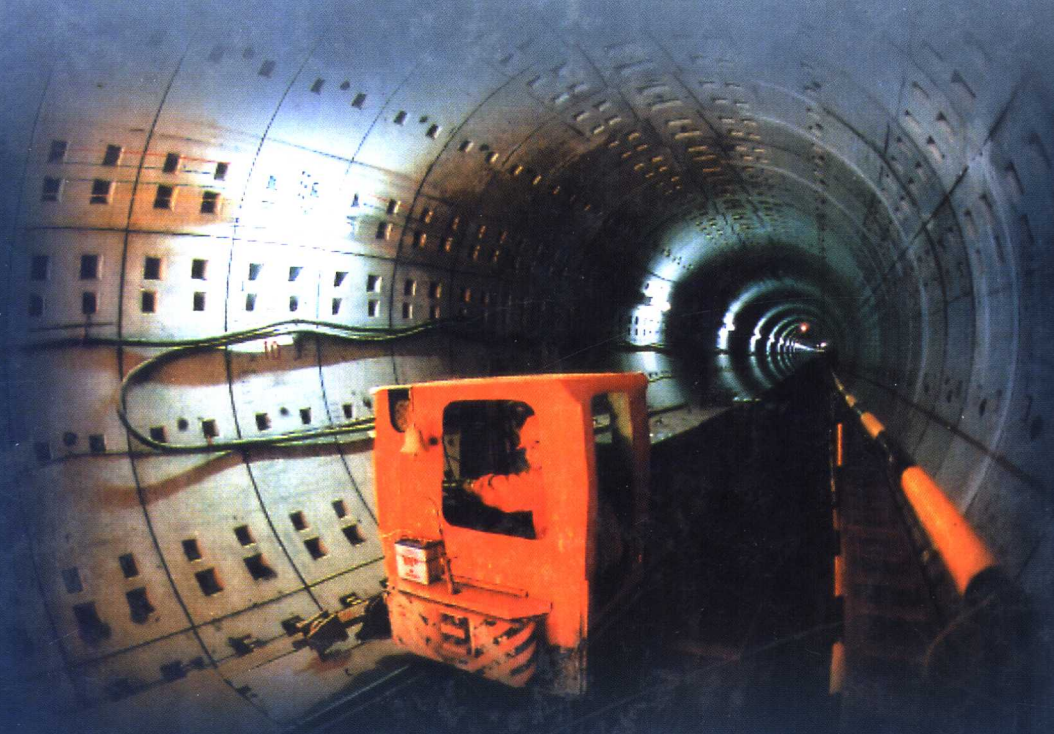


Shield Tunnelling Method

盾构隧道

张凤祥 朱合华 傅德明 编著



人民交通出版社

China Communications Press

Dungou Suidao

盾 构 隧 道

张凤祥 朱合华 傅德明 编著



人民交通出版社

内 容 提 要

本书共 27 章,全面系统地阐述了盾构隧道(盾构工法构筑的隧道)的建造原理、设计与施工方法、施工设备、质量管理等内容。

全书理论联系实际,突出一个新字,在讲述新理论、新技术、新工法的同时还介绍实证试验、现场施工实例,对实际工程有较大的借鉴价值,不仅可以帮助解决当前我国地铁、污水排放、引水供水工程、江河湖海底隧道、电力、电信洞道等工程项目中的难题,同时还可从本质上加强读者对盾构隧道的认识,从而提高工程质量、缩短工期、降低工程造价。

本书可作为广大盾构科研人员、设计人员、施工人员、监理人员、工程勘察人员及高校教师的业务参考书,更可作为博士生、硕士生、高年级本科生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

盾构隧道/张凤祥,朱合华,傅德明编著.—北京:
人民交通出版社,2004.8
ISBN 7-114-05174-3

I.盾… II.①张…②朱…③傅… III.隧道工
程-盾构(隧道) IV.U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 078994 号

书 名:盾构隧道

著 者:张凤祥 朱合华 傅德明

责任编辑:曲 乐

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:71

插 页:1

字 数:1774 千

版 次:2004 年 9 月第 1 版

印 次:2004 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-114-05174-3

印 数:0001—3000 册

定 价:128.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

从 Brunel 于 1843 年首次用盾构工法建造横穿英国泰晤士河河底隧道成功,至今已有 162 年。盾构工法属暗挖法,存在如下一些优点。

1. 对环境影响小:①出土量少,周围地层沉降小,对周围构造物的影响小;②不影响地表交通及商店营业,无需切断、搬迁地下管线等各种地下设施;③对周围居民生活、出行影响小;④无空气、噪声、振动污染问题。

2. 盾构掘进不受地形、地貌、江河水域等地表环境条件的限制。

3. 地表占地面积小故征地费用少。

4. 适于大深度、大地下水压施工,相对而言施工成本低。

5. 施工不受天气(风、雨、……)条件限制。

6. 挖土、出土量少,利于降低成本。

7. 盾构工法构筑的隧道的抗地震性好。

8. 适用地层范围宽,软土、砂卵土、软岩、直到岩层均可使用。

目前盾构工法已在城市隧道(如地铁隧道,污水排放隧道,引水、供水隧道,江河湖海底隧道,电力、电讯、供气及共同沟工程等隧道)建造中确立了绝对的统治地位,故有人将其称为城市隧道工法。

近十几年来,随着土工技术(土力学解析技术、勘察测量技术)、机电一体化技术、计算机技术、自动控制技术、电子技术、材料科学等科学技术的飞速发展,盾构技术无论从盾构机的设计、制造、运行控制技术,还是衬砌设计、制作方法,施工设备,施工管理方法等等均有较大的突破。就盾构机的掘削断面而言,已不再是以往的只能掘削圆形断面的工法,近年业已推出了双圆搭接、三圆搭接断面盾构工法,矩形断面、椭圆断面、马蹄形断面,自由断面等工法;2002 年推出了摆动掘削式自由断面工法,打破了以往的只能旋转掘削的统治历史;从功能上讲近年还推出了球体多功能盾构(原则上三维空间内任意角度的转向)、母子盾

构、扩径盾构、地中可分可合扭曲盾构、地中分岔盾构、推进中变径盾构等工法；从适应各种复杂地层（高地下水压、砂砾层、大卵石层等等）方面讲，近几年推出了大卵石、岩层复合泥水盾构、加泥盾构、气泡盾构、纸浆盾构、硅溶胶盾构、注浆栓盾构、风化岩中掘进的复合泥土盾构；适应长距离掘进的换刀盾构；适于地中对接、侧接的盾构工法；从盾构进出井工法而言，近年推出了 NOMST 工法、电蚀直接进出井工法；从竖井构筑技术而言，近年推出了抗震构造竖井、深 73.5m、 $\phi 36.6\text{m}$ 、壁厚 4.6m 的大深度盾构竖井、SS 沉井、自动化沉井、自动化大深度大直径沉箱等多种新工法；盾构机位置、姿态测量及控制方面推出了电子速测仪测量系统、陀螺自动测量系统、模糊方向控制系统、纽拉尔网络方向控制系统、人工智能自动方向控制系统；全自动掘进综合管理系统、故障自诊断系统等等，由于篇幅关系这里不能再无限制的列举下去，详见正文。

上述新工法、新技术均源于工程实践，均系最新的研究成果。这些新工法、新技术的特点是创立了新的原理，开辟了新的领域，解决了以往无法解决的技术难题。客观效果实现了提高工程质量、降低成本、缩短工期的作用。也就是说，实用价值极大，特别是对我国当前的城市重大设施建设极具指导、借鉴和促进作用，所以当前急需传播扩展这些新工法、新技术。

但是，目前全面融入近 10 年新工法、新技术阐述盾构隧道技术原理、优点、用途、勘察、设计、盾构选型、施工方法、施工设备、盾构掘进施工监测管理系统、自动测量控制系统、施工事故诊断、预测、应急措施及工程实例等等全面系统的技术专著，无论是国外还是国内均属空白，鉴于上述状况，我们编著了本书

本书取材立足于一个新字。理论联系实际，侧重于施工的成功率。在阐明理论的同时，还给出实证试验、工程现场施工实例。书中给出的实例有时可以套用。

总之，本书内容新颖、资料丰富、全面系统。本书的出版对我国当前的地铁工程、穿越江河湖底的交通隧道工程、海湾高速交通隧道、江河长距离引水隧道、城市污水排放隧道、供水隧道、通信电缆洞道、电力

电缆洞道、气体管道、输油管道、共同沟工程、地下蓄水池、地下车库、地下油库、地下商场、地下住宅等设施建设工程均有指导和促进作用。

本书编写分工如下：

张凤祥，第 1、2、3、4、5、6、8、9、14、15、16、17、18、20、21、24、25、26、27 章。

朱合华，第 10、11、12、13、22、23 章。

傅德明，第 7、19 章及 8.15.4 节。

本书的编写承得到孙钧院士、王梦恕院士、施仲衡院士、杨我清教授级高工的支持和肯定。

此外，同济大学地下建筑与工程系廖少明、胡向东两位副教授及于宁、徐前卫两位博士生分别参与了本书部分章节的编写工作；上海隧道股份公司杨宏燕副总工（高工），同济大学马险峰副教授，隧道研究所张冠军、顾德琨、吴兆宇、李炯等高工，也分别对书稿提出过宝贵的意见，这里一并致以深切的谢意。

由于作者水平有限，书中难免存在错误和不足，恳请读者批评指正。

作者

2004 年 7 月 27 日于上海

目 录

第1章 盾构隧道技术进展概况

1.1 盾构工法进展综述	1
1.1.1 盾构工法	1
1.1.2 盾构工法的开发过程综述	2
1.2 对我国盾构技术发展的一些看法	7
1.2.1 我国盾构技术概况	7
1.2.2 对我国盾构技术发展的一些看法	7

第2章 勘察内容

2.1 勘察目的及内容	14
2.1.1 目的	14
2.1.2 内容	14
2.2 规划勘察	15
2.2.1 场地条件勘察	16
2.2.2 障碍物勘察	16
2.2.3 地形和土质勘察	16
2.2.4 周围环境勘察	17
2.2.5 以往施工实例的勘察	17
2.3 设计勘察	17
2.3.1 基本勘察	19
2.3.2 详细勘察	19
2.4 施工勘察	21
2.4.1 确认勘察	21
2.4.2 管理勘察	22

第3章 勘察方法

3.1 静触试验	23
3.1.1 静力触探	23
3.1.2 电锥静触试验	23
3.1.3 RI 静触试验	33
3.2 旋转贯入切削声音识别土质的适用性	45
3.2.1 小型试块的旋转贯入试验	45

3.2.2	模块地层中的旋转贯入试验	48
3.2.3	神经网络的数值解析	49
3.2.4	自然地层中的适用试验	52
3.3	土中有害气体的勘察评价方法	54
3.3.1	引言	54
3.3.2	土中甲烷气体的性质、产生的主要原因及地层内的存在状态	54
3.3.3	勘察方法简介	56
3.3.4	BAT 系统土中气体定量测定法	59
3.4	环境勘察	71
3.4.1	探测地下管道及埋设物体的必要性	71
3.4.2	无损探测法	71

第4章 盾构隧道断面、线形规划

4.1	盾构隧道种类、断面、线形	77
4.1.1	种类	77
4.1.2	断面形状	77
4.1.3	线形	78
4.2	铁路隧道、公路隧道	79
4.2.1	内空断面形状	79
4.2.2	单线盾构隧道的内空断面	79
4.2.3	复线盾构隧道的内空断面	83
4.2.4	双圆搭接复线盾构隧道内空断面	83
4.2.5	站盾构隧道的内空断面	83
4.2.6	线形	85
4.2.7	公路隧道	85
4.3	下水道盾构隧道	86
4.3.1	断面形状	86
4.3.2	内径及坡度	86
4.3.3	曲线段的曲率半径	87
4.4	供水隧道	90
4.5	电力、通信电缆隧道	90
4.6	煤气管道隧道	90
4.7	共同沟隧道	91

第5章 盾构的基本构造

5.1	盾构机体的构造	92
5.1.1	外壳	92
5.1.2	盾构机尺寸、质量的确定	94
5.1.3	尾封	95

5.1.4	中折装置	96
5.2	推进机构	96
5.2.1	概述	96
5.2.2	设计推力	97
5.2.3	装备推力	107
5.2.4	盾构千斤顶的推力、条数及布设方式	109
5.3	挡土机构	110
5.4	掘削机构	111
5.4.1	刀盘的构成及功能	111
5.4.2	刀盘与切口的位置关系	111
5.4.3	刀盘形状	111
5.4.4	掘削刀具	113
5.4.5	刀盘的支承方式	115
5.4.6	驱动机构	116
5.4.7	装备掘削扭矩	116
5.4.8	土砂密封	119
5.5	添加材注入装置(土压盾构)	119
5.6	搅拌机构	120
5.7	排土机构	121
5.7.1	螺旋输送机	122
5.7.2	排土控制器	122
5.8	泥水盾构的送排泥水机构	123
5.9	管片拼装机构	124
5.9.1	举重臂	124
5.9.2	真圆保持器	125
5.10	油压机械和电气设备	125
5.10.1	油压机械	125
5.10.2	电气设备	126
5.11	特种工法盾构机构造上的一些特征	126
5.11.1	适于长距离掘进的盾构机的构造特征	127
5.11.2	高速施工时盾构机的构造特征	127
5.11.3	大深度(高地下水压)时的盾构机的构造特征	127
5.11.4	大断面时盾构机的构造特征	127
5.11.5	小曲率半径盾构机的构造特征	128
5.11.6	大坡度施工时的盾构机的构造特征	128
5.11.7	地中对接盾构的构造特征	128
5.12	盾构机的设计、组装及维护概要	128
5.12.1	设计概要	128
5.12.2	制造	130
5.12.3	维护和检查	132

第6章 盾构机的种类

6.1 盾构机的种类	134
6.1.1 按地层的种类分类	134
6.1.2 按盾构机横截面的形状分类	134
6.1.3 按盾构机横截面的大小分类	137
6.1.4 按掘剖面的敞开程度分类	138
6.1.5 按出土器械的机械化程度分类	140
6.1.6 按掘剖面的加压平衡方式分类	140
6.1.7 按刀盘的运动形式分类	140
6.1.8 按盾构机的特殊构造分类	141
6.1.9 按盾构机的功能分类	142
6.1.10 按盾构隧道衬砌的施工方法分类	142
6.1.11 综合分类	148
6.1.12 小结	148
6.2 矩形无盖全敞开盾构工法	148
6.2.1 矩形无盖全敞开盾构工法简介	148
6.2.2 施工步骤	149
6.2.3 地层变形测量及控制变形的措施	151
6.2.4 工法特点	152
6.2.5 施工实例	153
6.3 全敞式盾构工法	162
6.3.1 人工式盾构机	162
6.3.2 半机械式盾构机	163
6.3.3 机械式盾构机	164
6.4 全敞半机械盾构工法急弯施工	164
6.4.1 工程概况	164
6.4.2 地质概况	165
6.4.3 施工方法的选择	165
6.4.4 盾构机的概况	165
6.4.5 设计盾构机的注意事项	166
6.4.6 衬砌概况	167
6.4.7 竖井	167
6.4.8 竖井和一次衬砌施工状况	169
6.5 全敞马蹄形半机械盾构工法	169
6.5.1 工程概况	169
6.5.2 施工方案讨论	170
6.5.3 施工	171
6.6 窗闸盾构工法	175

第7章 泥水盾构工法

7.1 原理	178
7.2 泥水的作用及其性能的要求	180
7.2.1 泥水的作用	180
7.2.2 对泥水基本性能的要求	181
7.3 泥水特性	181
7.3.1 物理稳定性	181
7.3.2 化学稳定性	181
7.3.3 相对密度	181
7.3.4 粘性	182
7.3.5 脱水量	183
7.3.6 渗透成膜状态	183
7.3.7 静、动态泥膜	184
7.4 可渗比	184
7.4.1 可渗比定义	184
7.4.2 可渗比与泥膜的关系	184
7.5 过剩地下水压与泥水最佳特性参数	185
7.5.1 过剩地下水压的测量	185
7.5.2 过剩地下水压与可渗比的关系	186
7.5.3 过剩地下水压与相对密度的关系	187
7.5.4 过剩地下水压与粘度的关系	188
7.5.5 泥水的最佳特性参数	189
7.6 泥水配料及配比确认方法	189
7.6.1 泥水配料	189
7.6.2 配比确认方法	190
7.7 泥水性能测试及质量调整	190
7.7.1 稳定性测定	190
7.7.2 相对密度测定	190
7.7.3 粘度测定	191
7.7.4 粒度分布测定	191
7.7.5 滤水量及泥膜形成性的测定	191
7.7.6 砂分测定	191
7.7.7 泥水质量调整	191
7.8 泥水压力的设定	192
7.8.1 地下水压力	192
7.8.2 土压力	193
7.8.3 预压	194
7.8.4 不同地层的泥水压基准	194
7.8.5 掘剖面上泥水压的分布	195

7.9 泥水输送系统及设备	195
7.9.1 泥水输送系统	195
7.9.2 泥水输送设备	196
7.10 泥水处理	198
7.10.1 泥水处理系统	198
7.10.2 泥水处理设备	199
7.11 掘削面稳定系统	201
7.11.1 系统构成	201
7.11.2 掘进机构	201
7.11.3 送排泥机构	202
7.11.4 泥水处理机构	202
7.11.5 掘削面稳定管理	202
7.11.6 确认掘削面稳定的方法	202
7.12 泥水压管理	204
7.12.1 掘削面泥水压指示调节装置	204
7.12.2 输入泥水压指示调节装置	205
7.12.3 掘削面泥水压力的管理	205
7.13 掘土量管理	205
7.13.1 测量和管理	205
7.13.2 掘削量	206
7.13.3 干砂量(排泥干砂量 - 送泥干砂量)	206
7.13.4 统计处理管理	206
7.13.5 测量中的注意事项	207
7.14 泥水盾构的其它装置	207
7.15 泥水盾构工法的优缺点	209
7.16 大卵石岩层复合泥水盾构掘进实例	210
7.16.1 工程概况	210
7.16.2 工程计划	210
7.16.3 施工实绩	214

第8章 土压盾构

8.1 土压盾构掘削面的稳定	221
8.1.1 掘削面稳定机理	221
8.1.2 泥土压的设定	222
8.1.3 泥土的功能和特性	222
8.1.4 确认掘削面稳定的方法	222
8.2 掘削面稳定系统	222
8.2.1 系统的构成	222
8.2.2 掘削推进机构	223
8.2.3 添加材注入装置	223

8.2.4	搅拌机构	223
8.2.5	排土机构	223
8.2.6	稳定掘削面的施工管理	223
8.3	泥土压的管理	224
8.3.1	泥土压指示调节装置	224
8.3.2	掘削面的压力管理	224
8.4	泥土的质量管理	224
8.4.1	塑流性管理	224
8.4.2	添加材的种类和特征	225
8.4.3	添加材的用量	227
8.5	掘土量的管理	228
8.5.1	掘土的运出设备	228
8.5.2	掘土量的测量方法	229
8.6	稳定掘削面的其它装置	230
8.6.1	土压计及其更换装置	230
8.6.2	盘形滚刀	230
8.6.3	掘削刀具磨耗探查装置	230
8.6.4	掘削面坍塌探查装置	231
8.6.5	后退防止装置和尾封装置	232
8.7	掘削土砂的改良处理	232
8.8	加泥盾构工法	232
8.9	气泡盾构工法	233
8.9.1	气泡盾构的概况及优点	233
8.9.2	发泡材和灭泡材	234
8.9.3	适用地层	235
8.9.4	气泡注入量	235
8.9.5	气泡设备	236
8.9.6	气泡土性状经时变化试验	236
8.9.7	施工实例	238
8.10	气泡盾构工法的应用实例	240
8.10.1	气泡盾构工法在共同沟工程中的应用实例	240
8.10.2	巨砾层中掘进的气泡盾构实例	250
8.11	纸浆渣盾构工法	257
8.11.1	工法概述	257
8.11.2	纸浆渣特性	257
8.11.3	施工实例	259
8.12	硅溶胶盾构工法	260
8.12.1	引言	260
8.12.2	添加材硅溶胶	260
8.12.3	试验概况	261

8.12.4	土性改良试验和考察	263
8.12.5	提高施工性实验和考察	266
8.12.6	硅溶胶的添加率	269
8.12.7	硅溶胶安全性的讨论	272
8.12.8	结论	273
8.13	注浆栓盾构工法	273
8.14	树脂盾构工法	274
8.15	复合土压盾构	275
8.15.1	引言	275
8.15.2	工作原理	276
8.15.3	施工注意事项	278
8.15.4	广州地铁2号线工程实例	279
8.15.5	含风化岩复杂地层中泥土盾构的掘进实例	285
8.16	土压盾构工法的优缺点	297

第9章 盾构选型

9.1	正确选定机型的原则及重要性	298
9.2	按用途确认盾构机的断面形状	298
9.3	按土质状况确定稳定掘削面的机型	298
9.3.1	冲积粘土	300
9.3.2	洪积粘土	301
9.3.3	砂质土	301
9.3.4	砂砾及巨砾层	302
9.3.5	泥岩	304
9.3.6	小结	308
9.4	特种机型的选择	308

第10章 衬砌的种类

10.1	概述	311
10.1.1	管片单层衬砌	311
10.1.2	二次衬砌	312
10.2	管片的种类	312
10.2.1	钢筋混凝土管片	313
10.2.2	铸铁管片	314
10.2.3	钢管片	314
10.2.4	复合管片	314
10.2.5	特殊管片	315
10.3	接头	315
10.3.1	引言	315

10.3.2 管片接头的种类及特点	316
10.3.3 管环接头的种类及特点	317
10.3.4 管片接头的力学性能	319
10.4 设置二次衬砌的目的	322

第11章 衬砌设计

11.1 单圆衬砌管片设计	324
11.1.1 设计条件的设定	324
11.1.2 荷载的设定	325
11.1.3 管片结构设计	331
11.1.4 应力校核	334
11.1.5 构造计算	335
11.2 单圆衬砌管片设计实例	338
11.2.1 设计条件	338
11.2.2 平板型钢筋混凝土管片的设计	339
11.2.3 箱型管片的设计	344
11.3 双圆搭接管片的设计	350
11.3.1 双圆搭接管片的设计思想	350
11.3.2 双圆盾构管片模型实例	350
11.4 其它截面盾构隧道管片的设计	351
11.4.1 矩形截面盾构管片设计	351
11.4.2 其它异形截面管片设计	352
11.5 二次衬砌设计	352
11.5.1 一般规定	352
11.5.2 衬砌厚度	352
11.5.3 材料	352
11.5.4 养护时间	353
11.5.5 二次衬砌结构设计思想	353
11.5.6 二次衬砌结构设计法	353
11.5.7 截面安全度验算	354

第12章 管片制作

12.1 制作管片的材料	355
12.2 制作精度要求	355
12.3 制作程序	362

第13章 衬砌的防水措施

13.1 衬砌结构的自防水措施	370
13.1.1 隧道漏水的原因	370

13.1.2	一次衬砌的止水措施	371
13.1.3	二次衬砌的止水措施	374
13.2	管片水胀封材止水设计	375
13.2.1	封材材质、形状及尺寸	375
13.2.2	水胀封材的种类	377
13.2.3	水胀封材的止水机理	378
13.2.4	水胀封材的设计考虑	378
13.2.5	水胀封材止水性能的确认证验	379

第 14 章 盾构工法中的背后注浆

14.1	背后注浆的目的	383
14.2	背后注浆工法的设计	383
14.2.1	背后注浆填充加固的机理	383
14.2.2	凝胶时间	387
14.2.3	注入压力	388
14.2.4	注入量的估算	388
14.2.5	固结强度	390
14.2.6	背后注浆现状调查及分析	391
14.2.7	背后注入浆液的耐久性	397
14.2.8	注入浆液完全硬化前后的物理性质	400
14.2.9	背后注入浆液的选定	405
14.3	背后注浆的施工	405
14.3.1	土质条件和背后注浆浆液的选择	405
14.3.2	注入时期和注入方法	405
14.3.3	注入量和注入压力	409
14.3.4	防止泄漏的措施	409
14.3.5	二次注入	409
14.3.6	背后注浆的设备	410
14.3.7	背后注浆的施工	424
14.3.8	背后注浆的施工管理	430
14.4	新型背后注浆浆液	431
14.4.1	常温水中固化沥青类新型复合浆液	431
14.4.2	可塑性水泥粘土浆液	442

第 15 章 辅助工法

15.1	辅助工法概述	445
15.1.1	稳定地层的辅助工法	445
15.1.2	保护环境的辅助工法	448
15.2	压气盾构工法	450

15.2.1	压气盾构工法的原理	450
15.2.2	不同土质的压气效果	451
15.2.3	气压的设定	451
15.2.4	气体消耗量的估算	452
15.2.5	防止漏气的措施及停气	452
15.2.6	压气盾构工法的适用范围	453
15.2.7	压气盾构工法海底取水隧道施工实例	453
15.3	降低地下水位法	459
15.3.1	井点法	460
15.3.2	深井法	460
15.3.3	先期隧洞法	461
15.4	注浆工法	462
15.4.1	浆材	462
15.4.2	注入工法	475
15.4.3	注浆的设计及施工的考虑	486
15.4.4	注浆效果	497
15.5	高压喷射搅拌工法	502
15.5.1	高压喷射搅拌工法的优缺点	502
15.5.2	X-Jex 工法	502
15.5.3	JACSMAN 工法	509
15.5.4	RJP 工法	511
15.5.5	MJS 工法	517
15.6	冻结工法	519
15.6.1	冻结工法简述	519
15.6.2	工程实例	521

第 16 章 施工计划报告书

16.1	施工计划书	525
16.2	编写施工计划的程序	525
16.3	施工计划书的编写例	527
16.3.1	目录构成例	527
16.3.2	书写的注意事项	527

第 17 章 施工设备

17.1	设备分类及配置规划	533
17.1.1	设备分类	533
17.1.2	配置规划	534
17.1.3	材料堆放场地和仓库	536
17.2	稳定掘削面设备	537