

当代科技重要著作·交通领域

侯学渊 钱达仁 杨林德 主编

软土工程 施工 新技术

RUANTU
GONGCHENG
SHIGONG
XIN JISHU

安徽科学技术出版社

软土工程施工新技术

侯学渊 钱达仁 杨林德 主编

安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

软土工程施工新技术/侯学渊等主编.-合肥:安徽科学技术出版社,1999.7

ISBN 7-5337-1482-2

I. 软… II. 侯… III. 软土地基-地基处理
IV. TU471.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 30161 号

*

安徽科学技术出版社出版

(合肥市跃进路 1 号新闻出版大厦)

邮政编码:230063

新华书店经销 中国科技大学印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:13.75 字数:329 千

1999 年 7 月第 1 版 1999 年 7 月第 1 次印刷

印数:3 000

ISBN 7-5337-1482-2/TU·76 定价:21.00 元

(本书如有倒装、缺页等问题请向本社发行科调换)

当代科技重要著作丛书

总 序

科学技术作为生产力，在人类社会的发展过程中，越来越发挥着日益重要的作用。而作为人类生产实践、科学实验的积累和结晶的现代科学技术著作，则是科学技术知识潜在的生产力。它们所传播的正确的、先进的科学技术内容，一旦为人们所掌握，并运用到社会生产实践中去，便会变化成现实的、巨大的社会生产力，起着推动社会物质文明和精神文明迅猛发展的重大作用。

在当今世界新技术革命迅速发展的形势下，要振兴我国的国民经济，缩短我们在经济技术上同发达国家之间的差距，促进我国经济向前发展，就必须积极引进、吸收国外的先进科学技术，并使之同国内的科学研究和生产实践密切结合起来，而在我国及时翻译出版世界重要科技著作，并使之在国内广为传播，就是其中一个重要方面。

有鉴于此，中国出版工作者协会科技出版工作委员会，本着科技出版工作要面向世界、面向未来、面向现代化的方针，为使科技出版工作在吸收引进外国先进科学技术方面作出应有的贡献，于1986年在全国科技出版社社长总编辑第四届年会上发出倡议，要求发挥科技出版社的优势，协作出版《当代科技重要著作丛书》，在国内系统地翻译出版当代世界有重大影响的科技著作。

这一有建设性的倡议，得到全国各家科技出版社的大力支持。在中国出版工作者协会科技出版工作委员会和各科技出版社的共同努力下，这一工作得到了国内科技界专家、学者的广泛注意和热情支持，各项工作正在逐步开展。

根据我国科学技术研究和发展的总体规划，考虑到国家的现行体制和专业门类，经统筹安排，该套大型丛书划分为两大类共36个单元。第一类为高科技领域图书，主要包括的学科有生物技术、信息工程、航天航空、自动化、能源、激光、新材料等；第二类为应用科学领域图书，主要包括的学科有地质、煤炭、石油、冶金、机械、化学、建筑、水利、电力、交通、铁道、邮电、轻工、纺织、农业、林业、医学、海洋科学、气象学、环境科学、国防科学、数学、力学、物理、化学、天文、地理、生物学、交叉科学、培训图书等。

《当代科技重要著作丛书》的出版工作，数量大，时间长，涉及面广，是一项非常复杂而又艰巨的工作，需要国内科技界的专家、学者以及全国各科技出版社的共同努力，并且需要有志于祖国建设的海外侨胞和人类共同进步事业的外国学者的大力支持。中国出版工作者协会科技出版工作委员会，为此专门成立了《当代科技重要著作丛书》总编委员会各单元编委会，负责协调丛书的出版工作和各单元出版计划的具体实施。

尽管丛书的出版工作是非常艰巨的，但我们相信，为了祖国的科技进步，为了中华民族的繁荣昌盛，经广大同仁携手努力，丛书必定陆续付梓，以飨国内读者。

中国出版工作者协会
科技出版工作委员会

当代科技重要著作丛书（交通领域）

序 言

为了及时总结、推广国内专家、学者的科研成果，系统地引进吸收国外先进科学技术，遵照中国出版工作者协会科技出版工作委员会的工作布置，由人民交通出版社和机械工业出版社牵头，联系大连海运学院出版社、大连理工大学出版社、天津大学出版社、同济大学出版社、上海交通大学出版社、天津科学技术出版社、安徽科学技术出版社、广东科学技术出版社、四川科学技术出版社等十一家出版社，于1988年6月在京共同组成了《当代科技重要著作丛书（交通领域）》出版工作协调小组，以统筹规划实施该套丛书的出版工作。由于丛书涉及的专业面广，而每一出版社又具有不同专业的出版优势，为了充分发挥各出版社的特长，经出席协调小组成立大会的代表共同商议，决定按照学科专业优势将交通领域当代科技重要著作丛书划分为六个单元，分别组成相应的六个评委会，具体负责选题评定和出版工作。六个评委会及其分工如下：

一、公路、桥梁工程和工程机械单元评委会，由同济大学出版社牵头，安徽科学技术出版社、东南大学出版社、四川科学技术出版社参加，共同负责；

二、港口、航道工程单元评委会，由天津大学出版社牵头，大连理工大学出版社和天津科学技术出版社参加，共同负责；

三、船舶设计、制造单元评委会，由上海交通大学出版社牵头，大连理工大学出版社和天津大学出版社参加，共同负责；

四、船舶运输和营运管理单元评委会，由大连海运学院出版社牵头，广东科学技术出版社和人民交通出版社参加，共同负责；

五、汽车、起重搬运和港口装卸机械单元评委会，由机械工业出版社牵头，天津大学出版社和人民交通出版社参加，共同负责；

六、交通运输管理和交通工程单元评委会，由人民交通出版社牵头，安徽科学技术出版社、同济大学出版社和东南大学出版社参加，共同负责。

出版这套丛书是一项艰巨复杂的系统工程，需要广大专家学者和十一家出版社同仁持续不断的共同努力。为了我国交通运输业的发展，为了我国科技出版事业的繁荣兴旺，我们深信这一工作将会得到社会各界的大力支持。这套丛书必将融入发展我国交通运输业的同一范畴，对我国交通运输科学技术的发展起到积极的推动作用。

当代科技重要著作丛书（交通领域）

出版协调小组

一九九〇年十一月二十日

前 言

本书是《当代科技重要著作丛书》中代表一个专业门类的著作，旨在向读者介绍软土工程施工的新技术。近20年来，土中隧道和地下工程的施工技术有了较大的发展。本书系统总结了国内外对这类技术的研究取得的新成果，内容不仅包括新工艺和新设备，而且还有诸多成功的工程应用实例，可供读者参考。

我国位于亚洲的东部、太平洋的西岸。东部和南部的大中城市大多位于软土地层展布的地区，如北京、天津、连云港、常州、无锡、苏州、上海、宁波、福州等。此外，南京、杭州、温州、广州和深圳等城市的市区在部分地区也存在软土地层，或分布有由填土造地形成的地层。沿海地区物产丰富，交通方便，有利于人类的生存和发展。在我国国民经济发展的历史进程中，沿海城市的发展曾发挥过重大的作用。当今，我国正处在坚持改革开放和发展经济的关键时期，沿海特区和城市的发展将具有更大的意义，使软土工程施工技术的发展将有更大的价值。

与岩相地层相比较，软土地层有承载力低、含水量高、可塑性强、开挖后易于发生变形等特点。加上位于市区的工程常需在周围建筑物密集或地下管线密布的场地上建造，环境受到限制，软土工程的施工常有较大的难度。软土工程施工新技术构思的形成，起初大多以特定工程遇到的具体情况为背景。发展各类新技术需要现代土力学理论的指导，并需以机械制造技术等的发展和工程技术经验的累积为前提。实际上，这类技术的出现与岩土工程前

沿学科的发展相辅相成，并可对现代土力学理论的发展起积极的促进作用。

70年代以前软土工程施工的基本方法已经形成，如明挖回填法、沉井法、沉管法、盾构法、顶管法、地下连续墙和逆作法等。这些方法采用的基本施工技术大多已为人们所熟知，已被视为常规方法。80年代以来，随着现代化城市建设规模的逐渐扩大和城市地下空间利用的日益发展，上述方法又都相继面临新的课题，如在房屋密集的地区进行大型深基坑开挖，深沉井施工，长距离顶管和微型顶管的顶进，以及控制由盾构推进引起的地层扰动，以保护周围环境等。在针对这些情况进行的新技术研究中，最为突出的是新型盾构的研制，以及以控制地层变形为出发点的监测技术的发展。后者起源于新奥法技术，目前已开始在软土工程施工中推广，用于保护周围建筑物和地下管线的安全。新型盾构主要有泥水盾构和土压平衡盾构两类，分别采用泥水压力和碴土压力使开挖面土体保持稳定，取代以压缩空气平衡开挖面土水压力的传统方法，以减少地层扰动和地面沉降。这些技术的发展有重要意义，因为现代化城市基础设施的建设和城市地下空间利用的发展需要这类技术。

本书共分十章。第一章概括介绍我国软土地层的地区分布，以及软土工程施工技术的发展历程与实践。第二、第三章集中介绍软土工程施工的常规方法及其辅助施工方法。迄今为止已趋成熟的方法甚多，内容涉及面也广，然而由于其中多数已为人们所熟知，故将其浓缩后集中介绍。第四、第五章介绍新型盾构机械，其中第四章为泥水加压盾构，第五章为土压平衡盾构。第六章介绍新型顶管技术，重点介绍长距离顶管技术的机具和工艺。新型盾构和顶管机具的研制是岩土工程技术获得发展的重要标志，故将有关内容予以专章叙述。第七章介绍目前在软土工程施工中已广

为采用的监控技术。第八章介绍地层加固技术。第九章介绍软土工程的环境保护技术。其中第八章所述的内容主要是用于形成基坑工程围护的新技术,其余两章内容都与实现软土工程施工的环境保护有关,也都是现代土力学和岩土工程技术发展的重要标志。最后一章介绍目前正处于研究推广阶段的“眼镜”式盾构、挤压混凝土衬砌盾构、曲线顶进、微型顶管和用于软土工程施工的新奥法技术等。书中所述内容对从事大中城市建设的设计、施工技术人员有较大的参考价值。

本书由侯学渊、钱达仁、杨林德主编,由杨林德对全书作统一校阅。书中第一章由钱达仁编写;第二章由杨林德(第一节)、李象范(第二、三节)、傅德明(第四、五节)、夏明耀(第六节)等编写;第三章由项兆池编写;第四章由潘国庆编写;第五章由傅德明编写;第六章由李象范编写;第七章由夏明耀编写;第八章由白云、程晓编写;第九章由杨林德编写;第十章由侯学渊编写。

限于水平,有些问题研究得不够,论述也未必适当,疏漏甚至错误之处在所难免,热切希望专家和读者批评指正。如蒙赐教,请寄上海同济大学地下建筑与工程系,作者不胜感激!

侯学渊 钱达仁 杨林德

内 容 简 介

软土工程施工技术的发展对沿海城市的建设有着重要意义。本书对国内外有关各界就这类技术的研究取得的新成果作了系统总结。

书中内容主要由四个部分组成：第一部分为软土工程施工的常规方法（第二章）及其辅助施工方法（第三章）；第二部分为以减少地层扰动为目的的新工艺、新设备，主要介绍泥水加压盾构（第四章）、土压平衡盾构（第五章）、长距离顶管技术（第六章）和地层加固技术（第八章）；第三部分为以现代土力学理论为指导的岩土工程技术，主要介绍施工监控技术（第七章）及环境保护技术（第九章）；第四部分（第十章）介绍目前正在研究的眼镜式盾构、挤压混凝土衬砌盾构、曲线顶进和微型顶管等。上述第一部分内容多数已为读者所熟知，叙述时作了浓缩。

本书可供在建筑、交通、水利、市政建设和人防等部门从事施工、设计和研究工作的工程技术人员参考，也可用作岩石工程、地下建筑工程、地下铁道和水工结构等专业大专院校师生的教学参考书。

目 次

第一章 引 言	1
1.1 软土地层的特点及我国软土地区的分布	1
1.1.1 软土地层的特点	1
1.1.2 我国软土的分布	1
1.2 软土工程及其施工技术	3
1.2.1 软土隧道及地下工程的发展	3
1.2.2 软土隧道的施工技术	4
1.2.3 软土地下工程的施工技术	5
1.3 我国软土工程施工技术发展的实践	6
1.3.1 上海地区的软土工程	6
1.3.2 北京地铁及其他地下工程	10
1.3.3 天津地铁及其他地下工程	12
1.3.4 广州地铁工程	13
第二章 软土工程施工的基本方法	15
2.1 概 述	15
2.2 明挖法	16
2.2.1 概 述	16
2.2.2 基坑支护结构类型	17
2.3 沉管法	23
2.3.1 概 述	23
2.3.2 管段制作	24
2.3.3 管段浮运	26

2.3.4	管段沉放	26
2.3.5	水下连接	28
2.3.6	基础处理	29
2.4	逆筑法	30
2.4.1	概 述	30
2.4.2	逆筑法施工的围护结构	32
2.4.3	混凝土内衬逆筑施工法	32
2.4.4	混凝土顶板逆筑施工法	36
2.5	盾构法	38
2.5.1	概 述	38
2.5.2	盾构掘进机	40
2.5.3	衬 砌	44
2.5.4	盾构掘进中的辅助施工	47
2.6	地下连续墙	48
2.6.1	概 述	48
2.6.2	墙体形式	49
2.6.3	壁式地下墙的构造	50
2.6.4	护壁泥浆	55

第三章 辅助施工方法 58

3.1	概 述	58
3.2	降水法	59
3.2.1	概 述	59
3.2.2	作用原理	63
3.2.3	降水法的分类及其适用范围	63
3.2.4	轻型井点降水	65
3.2.5	喷射井点降水	74
3.2.6	电渗降水	76
3.2.7	深井井点	78

3.3 冻结法	98
3.3.1 概 述	98
3.3.2 冻结方式及其作用原理	99
3.3.3 冷冻设备	100
3.3.4 施工工序和要求	101
3.4 气压法	105
3.4.1 概 述	105
3.4.2 气压大小的确定	106
3.4.3 压缩空气消耗量的计算	107
3.4.4 闸墙和气闸	108
3.4.5 漏气和喷发的预防	110
3.4.6 气压法施工的安全技术	111
3.5 注浆法	112
 第四章 泥水加压盾构	 115
4.1 概 述	115
4.2 盾构构造	117
4.2.1 刀盘构造	118
4.2.2 进土槽口	119
4.2.3 刀盘扭矩	120
4.2.4 盾构推力	121
4.3 盾构操作	123
4.3.1 泥水压力控制	123
4.3.2 排土量计算与开挖面稳定条件	125
4.3.3 泥水处理	128
4.4 盾构进出洞	131
4.4.1 盾构出洞	131
4.4.2 盾构进洞	136
4.5 泥水加压盾构的施工实例	136

4.5.1	工程概况	136
4.5.2	盾构构造	139
4.5.3	泥水处理	139
4.5.4	盾构推进	143
第五章	土压平衡盾构	148
5.1	原理和适用范围	148
5.1.1	土压平衡盾构的原理	148
5.1.2	土压平衡盾构的适用范围	151
5.2	土压平衡盾构掘进机	152
5.2.1	削土加压式盾构	152
5.2.2	加泥式土压平衡盾构	156
5.2.3	加水式土压平衡盾构	159
5.2.4	高浓度泥水加压盾构	162
5.3	日本东京都营地铁 12 号线大断面隧道的土压 平衡盾构掘进——工程实例之一	164
5.3.1	工程概况	164
5.3.2	隧道构造	165
5.3.3	盾构掘进机	165
5.3.4	盾构掘进施工管理	168
5.3.5	构筑物保护	172
5.3.6	地层沉降监测	174
5.4	上海地铁 1 号线区间隧道的土压平衡 盾构掘进——工程实例之二	175
5.4.1	工程概况	175
5.4.2	盾构掘进机	176
5.4.3	盾构掘进施工管理	176
5.4.4	盾构施工时的土体变形及环境保护	178

第六章 新型顶管技术	181
6.1 概 述	181
6.2 顶管工程的静力计算	189
6.2.1 使用阶段设计荷载的确定	189
6.2.2 施工阶段设计荷载的确定	192
6.3 泥水平衡式顶管	196
6.3.1 泥水平衡式工具管的作用原理	197
6.3.2 密闭泥水平衡式工具管	198
6.3.3 敞开式泥水平衡式工具管	199
6.3.4 有破碎功能的泥水平衡式工具管	200
6.4 土压平衡式顶管	202
6.4.1 封闭式螺旋输送排土掘进机	203
6.4.2 多刀盘切削式土压平衡掘进机	203
6.4.3 大刀盘土压平衡式顶管掘进机	206
6.5 微型顶管	210
6.5.1 压密式小口径顶管	210
6.5.2 螺旋式小口径顶管	215
6.5.3 水平钻式小口径顶管	219
6.6 长距离顶管	223
6.6.1 减摩措施	224
6.6.2 降低开挖面正面顶进阻力的措施	229
6.6.3 中继环(间)	229
第七章 地层移动理论与施工监控	232
7.1 开挖面稳定分析	232
7.1.1 泥浆沟槽稳定性的验算	233
7.1.2 基坑失稳的形态	238
7.1.3 基坑稳定性验算与支撑入土深度的确定	240
7.1.4 盾构法施工时开挖面的稳定条件	248

7.2	开挖面稳定措施	251
7.2.1	基坑稳定措施	251
7.2.2	盾构法施工时的稳定措施	254
7.3	地层移动机理	255
7.3.1	地层移动的过程	255
7.3.2	地层移动的影响因素	260
7.3.3	地层移动的影响范围	267
7.4	地层移动预测	271
7.4.1	经验法预测	272
7.4.2	模型试验预测法	276
7.4.3	理论预测法	277
7.5	施工监控技术	281
7.5.1	施工监控流程	281
7.5.2	施工监控方法	281

第八章 地层加固技术 288

8.1	注浆加固技术	288
8.1.1	概 述	288
8.1.2	注浆加固地层的原理	296
8.1.3	注浆施工	298
8.1.4	工程实例	314
8.2	旋喷加固	318
8.2.1	概 述	318
8.2.2	原 理	324
8.2.3	旋喷注浆施工工艺	327
8.2.4	工程应用实例	333
8.3	深层搅拌法	334
8.3.1	概 述	334
8.3.2	原 理	335