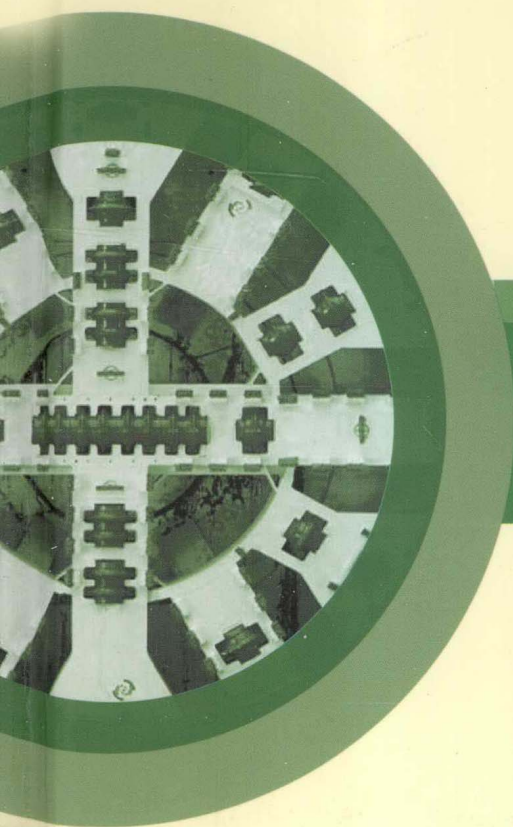


TECHNOLOGY for SHIELD TUNNELLING  
CONSTRUCTION in SAND & SANDY PEBBLE STRATUM



# 砂与砂砾地层 盾构工程技术

主 编：黄威然 杨书江  
副主编：裘水根 刘 玮  
主 审：王世友 林世友 易 觉

中国建筑工业出版社

# 砂与砂砾地层盾构工程技术

主 编：黄威然 杨书江  
副主编：裘水根 刘 玮  
主 审：王世友 林世友 易 觉

中国建筑工程工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

砂与砂砾地层盾构工程技术/黄威然等主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 8

ISBN 978-7-112-14481-5

I. ①砂… II. ①黄… III. ①砂-地层-隧道施工-盾构法②砾石-地层-隧道施工-盾构法 IV. ①U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 147172 号

盾构隧道工程不可避免面临砂和砂砾地层的挑战。砂和砂砾地层的特性不尽相同,其风险点也不一样。砂砾地层中,主要风险是盾构设备的过度磨损;富水粉细砂层中,主要风险是涌水涌砂(包括始发到达端头和联络通道)。本书撰写正是根据这一特点展开,以地质特点分析和地质风险判别为开篇,按照“盾构选型、设备维修、辅助工法、掘进技术、附属工程”为主线论述应对砂和砂砾地层工程风险的措施。本书着重分析了大开口率盾构、渣土改良剂、松动了土压力、水土平衡始发到达等技术,在论述中力求资料翔实,借用国内各大盾构工程的 25 个典型案例进行引证。本书可供盾构工程技术人员参考。

\* \* \*

责任编辑:曾 威 赵晓菲

责任设计:赵明霞

责任校对:党 蕾 王誉欣

## 砂 与 砂 砾 地 层 盾 构 工 程 技 术

主 编:黄威然 杨书江

副主编:裘水根 刘 玮

主 审:王世友 林世友 易 觉

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

\*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:16 $\frac{3}{4}$  字数:418 千字

2013 年 2 月第一版 2013 年 2 月第一次印刷

定价:48.00 元

ISBN 978-7-112-14481-5

(22555)

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)

# 《砂与砂砾地层盾构工程技术》\*

## 编审委员会

主 编：黄威然 杨书江  
副主编：裘水根 刘 玮  
主 审：王世友 林世友 易 觉  
编 委：付军国 朱劲峰 李宏安 杨木桂 杨 翼 郑 石  
洪成泼 郭广才 梁闽东 蒋军军（按姓氏笔画排序）  
鸣谢个人：吕晓明 江招胜 佐佐木清美(日) 南好人(日) 赵又宏 黄钟晖  
辜思达 韩亚丽 赖伟文 黎向平(按姓氏笔画排序)

### 主要编写单位：

广州轨道交通建设监理有限公司  
中铁隧道股份有限公司  
广州地铁设计研究院有限公司盾构技术研究所

### 协助编写单位：

上海市机械施工有限公司  
广东华隧建设股份有限公司  
天津城建隧道股份有限公司  
广东水电二局股份有限公司  
罗宾斯(广州)地下工程设备有限公司

### 鸣谢：

广州市地下铁道总公司  
南宁轨道交通有限责任公司  
小松(中国)投资有限公司  
中铁隧道装备制造有限公司

---

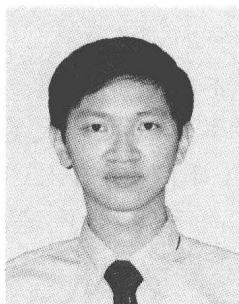
\* 本书为“复合地层盾构工程技术系列丛书”之一

## 本书编写者简介

**黄威然**

高级工程师，广东省土木建筑学会地下工程专业委员会副秘书长，广州地铁设计院有限公司盾构技术研究所副总工程师

**本书主编**



**杨书江**

教授级高级工程师，中铁隧道股份有限公司副总经理，中国土木工程学会隧道及地下分会隧道掘进机专业委员会秘书长

**本书主编**



**裘水根**

高级工程师，上海市机械施工有限公司二分公司副总经理。

**本书副主编**



**刘 玮**

高级工程师，广东华隧建设股份有限公司第二项目部经理。

**本书副主编**



## 本书审查者简介

### 王世友

教授级高级工程师，天津城建隧道股份有限公司总经理兼总工程师。天津市第十二届政协委员，天津市市政工程专家委员会专家。

### 本书主审



### 林世友

高级工程师，广东水电二局股份有限公司副总工程师、广东水电二局股份有限公司盾构研究所所长。

### 本书主审



### 易 觉

高级工程师，广东华隧建设股份有限公司总工程师。

### 本书主审





## “复合地层盾构工程技术”丛书 编写者和审查者简介

### 竺维彬

教授级高级工程师，广州市地下铁道总公司副总经理。曾获国家科技进步奖、詹天佑土木工程大奖、广东省科技进步奖等奖项。

### 丛书主编



### 米晋生

高级工程师，广州轨道交通建设监理有限公司总经理。

### 丛书主审



### 鞠世健

高级工程师，广州地铁设计院有限公司盾构技术研究所、广州轨道交通建设监理有限公司顾问。

### 丛书主编



### 钟长平

高级工程师，广州轨道交通建设监理有限公司书记兼副总经理

### 丛书主审



### 史海欧

教授级高级工程师。广州地铁设计研究院有限公司总工程师，广东省土木建筑学会地下工程专业委员会主任，广州地铁设计研究院有限公司盾构技术研究所所长。

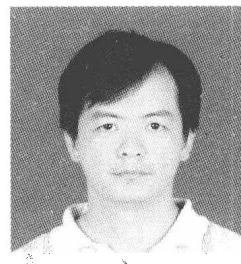
### 丛书主编



### 王 晖

教授级高级工程师，广州轨道交通建设监理有限公司副总经理兼总工程师，广东省土木建筑学会地下工程专业委员会秘书长，广州地铁设计院有限公司盾构技术研究所副所长。

### 丛书主审



## 序

欣闻广州地铁为迎亚运，在三个月的时间内，将在原开通线路的基础上，相继开通四号线北延段、三号线北延线、二/八号线拆解段、二号线北延线和广佛线首通段等六条线累计共 236 公里<sup>注1</sup>的惊世之举时，陆续收到广州地铁同仁们对其中的盾构工程的研究成果初稿，令我们这些早期指导过广州地铁建设的老一辈专家感动。广州地铁在地质环境非常复杂的条件下，顺利地实现了既定的地铁建设目标，说明他们在盾构工程管理和技术上已走上成熟的道路，他们踏踏实实的科学精神值得学习和推广。



中国工程院院士 施仲衡

广州地铁经过十几年的积累和沉淀，培养了一批人才，并以老带新，不断壮大。在出版《复合地层中的盾构施工技术》、《盾构施工监理指南》、《广州地铁三号线盾构隧道工程施工技术研究》和《地铁盾构施工风险源及典型事故的研究》几本专著的基础上，建设一条线，总结一条线，提升一条线，坚持不懈、持之以恒地使他们总结出来的盾构施工理论（“地质是基础，盾构机是关键，人是根本”）经过在新线建设中的应用和创新，更加完善和充实。

本书是作者编著“复合地层盾构施工技术系列丛书”的组成部分，通读全书，反映出以下几个特点及创新点：

（1）进一步强调了地质在盾构施工中的基础作用，在每一个施工案例中都首先较为详细地介绍了地质环境特征；

（2）特殊地质条件下的盾构施工技术创新：花岗岩球状风化体的爆破清除技术（已获专利）、盾构穿越岩溶地区的施工及岩溶的处理方法，等等。

（3）盾构机到达和始发新技术的应用：

- ① 工作井端头围护结构采用玻璃纤维混凝土或合成纤维块材混凝土，盾构机直接破除法；
- ② 预制盾构机始发箱体，回填土后，模拟原状土环境的始发技术；
- ③ 采用套筒法接收盾构机到达技术。

（4）开挖面不稳定条件下盾构机维修换刀技术的创新：

- ① 先制泥膜，后气压作业方法；
- ② 土压平衡盾构密封舱回填注浆开仓作业方法。

（5）特殊地层盾构掘进纠偏技术的应用。

（6）本工程建设中基本稳定了在十分复杂的复合地层中盾构机的“类型”和“模式”

---

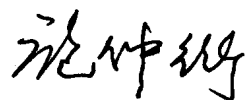
注 1：2010 年开通的广州轨道交通新线，包含了二号线延长段、三号线北延段、四号线北延段、八号线、珠江新城旅客自动输送系统和广佛线等线路，全长 86 公里。至此，广州地铁开通运营总共 8 条线路、总长 236 公里的线网。



的选择；刀盘形式及其开口率、刀具类型及其组合的选择已形成一项成熟的技术；盾构机的超前钻机、盾壳预留径向孔等建议已被制造商普遍采纳。

广州地铁自 20 世纪 90 年代使用盾构工法以来，为在全国推广和使用该工法做出了特殊贡献。本书的出版进一步丰富了他们复合地层盾构施工系列丛书的内容，也为广大科技人员提供了可贵的参考资料和类似工程经验。

深表祝贺，并祝不断进步！



2012 年 08 月 23 日

## 前 言

砂和砂砾地层包括了土层和岩层两个大方面,从其成因而言可以分成水成和风成。本书所述为特定范围内的砂和砂砾地层,即主要以水成为主,仅是土层方面,因为这是目前盾构技术应用的主要方面。古人逐水草而居,中外名城大都依水而建。有水就有砂,城市盾构隧道工程多面临砂和砂砾地层的挑战。近年来,随着盾构技术在轨道交通、公路、水务、燃气等领域的推广,业界越发关注该领域的盾构工程技术。在工程实践中碰到的主要问题包括:

(1) 对砂和砂砾地层的地质特征认识不足。因为目前的工程地质勘察没有专门为盾构隧道工程特点度身订造,而是按照工民建或矿山法等工程勘察方法来析地质特征对盾构工程的影响,其结果无法让人满意。而且部分工程人员的地质知识不足,知其然不知其所以然,对地层的结构及成因了解不深,仅仅是根据地勘报告的数据作出一知半解的判断。

(2) 对泥水盾构与土压盾构的比选认识不足。在一段时间内,存在着凡是砂和砂砾地层就要选用泥水盾构的认识,导致盾构选型的盲动性,例如北京某 12 米直径泥水盾构工程就遇到了较大的挑战。

(3) 对刀盘、刀具的选型认识不足。在砂砾地层中,过分强调滚刀的破岩作用,盾构刀盘和刀具选型不当,导致过度磨损。

(4) 对盾构掘进参数设置不当。过分强调水土压力平衡,导致掘进困难,甚至引起掘进中的水土压力反复波动(呼吸效应)。

(5) 对盾构进仓技术认识不全面。盾构进仓方案或预案不全面,使得进仓工作面临较大风险。

(6) 未能有效控制盾构始发到达的风险。近年来,盾构始发到达事故不绝于耳,反映了部分工程技术人员对该工序的风险和应对措施认识不足的问题。

地下工程是一门实践性和经验性很强的工程学科,以其地质复杂多变和隐蔽性为特点。本书的编审者来自大江南北,皆奋战在盾构工程一线,在攻坚克难的工程实践中不断探索和解决上述盾构工程的技术难题,将工程经验与理论相结合,在实践中完善理论,用理论去指导实践。例如在对土压盾构大开口率刀盘认识方面;又例如对传统“欠土压”掘进经验的理论认识方面。本书是在编审者们攻克了一系列科研课题的基础上编制完成的,这些科研课题、专利和获奖包括:

(1) 复合地层盾构施工关键技术创新与实践,2012 年度广东省科学技术奖二等奖;

(2) 富水含大漂石砂卵石地层盾构法施工关键技术研究,2009 年度中国铁路工程总公司科学技术奖三等奖;

(3) 一种盾构机密闭始发及到达的施工方法,ZL 2009 1 0040235.2;

(4) 一种用于盾构机密闭始发及到达的装置,ZL 2009 2 0058408.9;

(5) 富水砂卵石地层土压平衡盾构施工工法, 国家级工法, GJYJGF074—2010;

(6) 应用盾构密闭接受装置的到达接收工法, 广东省省级工法 GDGF112—2010。

本书从盾构对地质适应性的角度出发, 系统分析了盾构隧道工程风险, 按照“盾构选型、掘进控制、附属工程”的次序逐一论述应对风险的措施。本书共分4篇13章。第一篇为地质风险篇, 包括1~3章, 叙述了砂和砂砾地层的地质特性和判别标准, 从水和颗粒大小两个方面入手, 分析了不同地质因素下的工程风险, 并对地层沉降规律进行探讨。第二篇盾构选型篇, 包括4~7章, 首先对比了土压盾构和泥水盾构的优缺点, 在引入渣土改良剂的基础上, 分别叙述了土压盾构和泥水盾构的选型和维修改造技术。第三篇掘进控制篇, 包括8~11章, 分别叙述了土压和泥水盾构在不同地层中掘进控制技术。第四篇附属工程和特殊工法技术篇, 包括12~13章, 重点叙述盾构始发到达的新工法, 穿越重要建构筑物的辅助工法, 以及较为罕见的明挖法修复盾构隧道的技术。

本书主要创新的观点和技术如下:

(1) 从颗粒和水这两个关键因素入手分析砂和砂砾地层的特性, 系统剖析两个因素不同组合下的各种风险。砂和砂砾地层的特性不尽相同, 风险点也不一样。其关键因素主要是水和颗粒(颗粒结构、大小和成分)。在颗粒方面, 其中的颗粒结构和颗粒大小较为重要。颗粒较大的砂砾层, 主要风险是盾构刀盘和刀具的过度磨损; 颗粒较小的粉细砂层, 如果地下水丰富, 就成为富水砂层, 主要风险是涌水、涌砂(始发到达端头和联络通道)和土压盾构螺旋机喷涌。

(2) 结合工程案例分析了砂砾地层中土压盾构和泥水盾构的使用特点, 指出在埋深较浅且地下水位较深的砂砾地层中, 使用大开口率刀盘和配置加强型先行刀的土压盾构具有一定的优势。

(3) 结合工程案例分析了“松动土压力”理论, 叙述了“欠土压”掘进的理论基础, 指出采用小于“静止土压力”和“主动土压力”的“松动土压力”施工的可行性。

(4) 综合叙述了盾构进仓技术: 辅助加固、盾壳外止水、土压盾构泥膜制备、压气进仓等。

(5) 针对盾构始发到达风险, 创新地提出了水土压力平衡式盾构始发到达技术, 系统叙述各种相关工法, 如玻璃纤维筋和竹筋围护结构, 混凝土箱体和钢套筒的应用等。

有人曾问雕刻大师米开朗基罗, 你怎么使你的作品变得这么美? 米开朗基罗说, 我只是去掉了我不需要的那部分。伟大的艺术作品正是这样, 除了美没有任何多余的部分。

盾构工程宏大纷繁, 资料浩瀚繁杂, 在成书过程中, 各位编审者始终执著于米开朗基罗的艺术精神, 不断进行着痛苦的筛选和研究工作, 历经寒暑风雨, 终得此正果。科学实践和发展是永无止境的, 本书尚有许多待完善之处, 希望本书的出版能起到抛砖引玉的作用, 与工程界同仁共同努力, 不断创新和提高盾构隧道工程技术。

编者

2012年7月17日

# 目 录

## 第一篇 砂和砂砾地层地质特性和工程风险分析

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| <b>第 1 章 砂和砂砾地层地质特性</b>     | 2  |
| 1.1 地质历史成因                  | 2  |
| 1.1.1 河流上游地区                | 2  |
| 1.1.2 河流中下游地区               | 5  |
| 1.2 工程地质特性                  | 6  |
| 1.2.1 地层的稳定性                | 7  |
| 1.2.2 地层的互层性                | 10 |
| 1.2.3 地层的可开挖性               | 11 |
| 1.3 地层判别的标准                 | 14 |
| 1.3.1 按照颗粒粒径分析的判别标准         | 14 |
| 1.3.2 [案例] 砂砾层颗粒分析(成都)      | 15 |
| 1.3.3 其他判别指标                | 17 |
| 1.4 小结                      | 18 |
| <b>第 2 章 砂和砂砾地层盾构工程风险综述</b> | 19 |
| 2.1 砂砾地层地表沉降的风险             | 19 |
| 2.2 盾构机设备的风险                | 19 |
| 2.2.1 刀具的磨损                 | 19 |
| 2.2.2 刀盘的磨损                 | 20 |
| 2.2.3 螺旋输送机的磨损              | 22 |
| 2.2.4 泥水盾构循环系统的磨损           | 22 |
| 2.2.5 小结和导读                 | 23 |
| 2.3 盾构掘进施工的风险               | 23 |
| 2.3.1 盾构推力扭矩超过机械极限值         | 23 |
| 2.3.2 换刀困难                  | 24 |
| 2.3.3 粉细砂层盾构密封失效            | 24 |
| 2.3.4 泥水盾构泥水压力波动风险          | 25 |
| 2.3.5 粉细砂层中的成型隧道漂移          | 25 |
| 2.3.6 小结和导读                 | 25 |
| 2.4 附属工程的风险                 | 26 |
| 2.4.1 盾构始发和到达风险             | 26 |

|            |                       |           |
|------------|-----------------------|-----------|
| 2.4.2      | 盾构联络通道塌陷风险            | 27        |
| 2.4.3      | 小结和导读                 | 27        |
| <b>第3章</b> | <b>地层沉降规律研究</b>       | <b>29</b> |
| 3.1        | 盾构对周边地层扰动机理           | 29        |
| 3.2        | 短期沉降机理                | 31        |
| 3.2.1      | 地面隆沉的横向沉陷槽和影响范围       | 31        |
| 3.2.2      | 地面建筑沉降                | 31        |
| 3.2.3      | 地下管线沉降                | 31        |
| 3.2.4      | 深层土体水平位移              | 33        |
| 3.2.5      | [案例] 中粗砂层的地层沉降(佛山)    | 35        |
| 3.3        | 长期滞后沉降机理              | 36        |
| 3.3.1      | 砂砾地层特点                | 36        |
| 3.3.2      | 盾构掘进扰动地层的缝隙原理(GAP 原理) | 36        |
| 3.3.3      | 盾构选型和注浆控制的原因          | 39        |
| 3.3.4      | 长期滞后沉降引发坍塌过程          | 39        |
| 3.4        | 小结                    | 40        |

## 第二篇 盾构机选型及改造维修

|            |                     |           |
|------------|---------------------|-----------|
| <b>第4章</b> | <b>泥水盾构与土压盾构的比选</b> | <b>42</b> |
| 4.1        | 经典的选型理论             | 42        |
| 4.1.1      | 根据土层的渗透系数选择         | 43        |
| 4.1.2      | 根据岩土颗粒分析选择          | 44        |
| 4.2        | 实践的比较               | 44        |
| 4.2.1      | 成都盾构工程对比            | 44        |
| 4.2.2      | 沈阳盾构工程对比            | 47        |
| 4.2.3      | 成都与沈阳的对比分析          | 49        |
| 4.3        | 敞开式盾构适应性分析          | 50        |
| 4.4        | 小结                  | 52        |
| <b>第5章</b> | <b>渣土改良剂原理与配套设备</b> | <b>54</b> |
| 5.1        | 渣土改良剂原理和分类          | 54        |
| 5.1.1      | 膨润土                 | 54        |
| 5.1.2      | 泡沫                  | 55        |
| 5.1.3      | 高分子聚合物              | 58        |
| 5.2        | 渣土改良剂注入设备           | 58        |
| 5.2.1      | 膨润土注入设备             | 59        |
| 5.2.2      | 泡沫注入设备              | 61        |
| 5.2.3      | 聚合物注射设备             | 63        |
| 5.2.4      | 注入口的设计              | 63        |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| <b>第 6 章 土压盾构选型和改造维修</b>            | 65  |
| 6.1 刀盘的选型                           | 65  |
| 6.1.1 刀盘开口率                         | 65  |
| 6.1.2 刀盘剖面形状和厚度                     | 67  |
| 6.1.3 刀盘参数                          | 68  |
| 6.2 刀具的配置                           | 69  |
| 6.2.1 滚刀体系的破岩机理和选型                  | 69  |
| 6.2.2 切削刀体系的破岩机理和选型                 | 76  |
| 6.2.3 滚刀与切削刀系的实践效果比较                | 79  |
| 6.2.4 铲刀选型                          | 82  |
| 6.2.5 刀具体系选型                        | 83  |
| 6.3 砂砾层中刀盘和刀具磨损情况对比                 | 85  |
| 6.3.1 刀具的检查和维修                      | 85  |
| 6.3.2 [案例] 面板式(开口率 22%)刀盘的磨损和维修(北京) | 87  |
| 6.3.3 [案例] 面板式(开口率 26%)刀盘的磨损和维修(成都) | 91  |
| 6.3.4 [案例] 辐条式(开口率 63%)刀盘的磨损和维修(沈阳) | 94  |
| 6.4 螺旋机选型和维修                        | 98  |
| 6.4.1 富水粉细砂层                        | 99  |
| 6.4.2 砂砾地层                          | 100 |
| 6.4.3 [案例] 砂砾地层螺旋机选型和维修(成都)         | 102 |
| 6.5 气压设备选型                          | 106 |
| 6.5.1 MASS 控制器的构成                   | 107 |
| 6.5.2 MASS 控制器的动作原理                 | 107 |
| <b>第 7 章 泥水盾构选型和改造维修</b>            | 108 |
| 7.1 刀盘选型和维修                         | 108 |
| 7.1.1 泥水盾构刀盘维修                      | 108 |
| 7.1.2 [案例] 刀盘局部解体和修复(广州)            | 111 |
| 7.2 碎石机选型和维修                        | 112 |
| 7.2.1 碎石机的结构组成                      | 112 |
| 7.2.2 碎石机的工作原理                      | 112 |
| 7.2.3 碎石机故障及处理                      | 113 |
| 7.2.4 [案例] 砂砾地层碎石机维修改造(成都)          | 113 |
| 7.3 泥水平衡系统建立压力模式选型                  | 117 |
| 7.3.1 日本式泥水压力模式                     | 117 |
| 7.3.2 欧洲式泥水压力模式                     | 118 |
| 7.4 泥浆输送系统理论参数设计                    | 119 |
| 7.4.1 泥浆输送系统流量计算                    | 119 |
| 7.4.2 泥浆输送系统流量选择                    | 120 |
| 7.5 泥水循环系统功能选型                      | 122 |



|                        |     |
|------------------------|-----|
| 7.5.1 逆循环功能 .....      | 123 |
| 7.5.2 土仓冲刷功能 .....     | 126 |
| 7.5.3 土仓内辅助小循环功能 ..... | 129 |
| 7.6 泥水循环系统设备选型 .....   | 129 |

### 第三篇 施工掘进技术

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>第8章 盾构掘进辅助技术</b> .....         | 134 |
| 8.1 添加渣土改良剂技术 .....               | 134 |
| 8.2 衬背注浆技术 .....                  | 136 |
| 8.2.1 注浆目的 .....                  | 136 |
| 8.2.2 注浆装置分类 .....                | 137 |
| 8.2.3 注浆液的选择 .....                | 139 |
| 8.2.4 注浆参数 .....                  | 140 |
| 8.2.5 施工中常见问题 .....               | 141 |
| 8.2.6 注浆控制 .....                  | 142 |
| 8.3 施工阶段盾构隧道漂移控制技术 .....          | 144 |
| 8.3.1 原因分析及对策 .....               | 144 |
| 8.3.2 小结 .....                    | 148 |
| 8.3.3 [案例] 富水粉细砂层隧道上浮(南京) .....   | 148 |
| <b>第9章 土压盾构掘进技术</b> .....         | 151 |
| 9.1 富水粉细砂层掘进技术 .....              | 151 |
| 9.1.1 掘进控制 .....                  | 151 |
| 9.1.2 [案例] 穿越大直径污水管(杭州) .....     | 153 |
| 9.1.3 [案例] 穿越浅基础建筑群(南京) .....     | 160 |
| 9.2 复合地层砂层掘进技术 .....              | 162 |
| 9.2.1 掘进控制 .....                  | 162 |
| 9.2.2 渣土改良 .....                  | 164 |
| 9.2.3 沉降控制 .....                  | 164 |
| 9.3 [案例] 砂砾地层掘进技术(沈阳) .....       | 166 |
| 9.3.1 掘进控制 .....                  | 166 |
| 9.3.2 小结 .....                    | 168 |
| <b>第10章 泥水盾构掘进技术</b> .....        | 169 |
| 10.1 泥浆性能指标 .....                 | 169 |
| 10.1.1 泥膜作用机理 .....               | 169 |
| 10.1.2 泥浆基本性能要求 .....             | 170 |
| 10.1.3 可渗比及其与泥膜的关系 .....          | 171 |
| 10.1.4 泥浆配料 .....                 | 171 |
| 10.1.5 [案例] 富水砂卵石地层泥浆配比(成都) ..... | 172 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 10.2 循环系统运行及故障排除                   | 176 |
| 10.2.1 [案例] P2.1 泵进口负压处理(广州)       | 177 |
| 10.2.2 [案例] 气压仓高压气体直接进入泥水仓导致塌方(广州) | 178 |
| 10.3 穿越水体施工技术                      | 179 |
| 10.3.1 风险分析                        | 179 |
| 10.3.2 控制风险对策                      | 179 |
| 10.3.3 [案例] 穿越三枝香水道塌方的处置(广州)       | 180 |
| <b>第 11 章 进仓技术</b>                 | 183 |
| 11.1 风险分析                          | 183 |
| 11.1.1 风险因素分析                      | 183 |
| 11.1.2 定性风险分析                      | 184 |
| 11.2 进仓作业的辅助工法技术                   | 185 |
| 11.2.1 盾壳外部止水                      | 185 |
| 11.2.2 仓内超前地层加固                    | 186 |
| 11.2.3 施作泥膜                        | 187 |
| 11.3 压气进仓                          | 188 |
| 11.3.1 准备工作                        | 188 |
| 11.3.2 作业环境要求                      | 189 |
| 11.3.3 作业操作                        | 191 |
| 11.4 地面应急加固进仓                      | 193 |
| 11.4.1 [案例] 江边河堤下应急加固(广州)          | 193 |
| 11.4.2 [案例] 钢板桩和降水井共同应急加固(广州)      | 195 |

## 第四篇 附属工程和特殊工法技术

---

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第 12 章 端头加固与盾构始发到达技术</b>   | 202 |
| 12.1 理论分析与传统加固方法              | 202 |
| 12.1.1 端头加固土体的稳定验算            | 203 |
| 12.1.2 封堵加固体间隙                | 205 |
| 12.1.3 破洞门前检测                 | 206 |
| 12.1.4 封堵盾壳外间隙                | 207 |
| 12.1.5 [案例] 搅拌桩+旋喷桩包围法加固(广州)  | 208 |
| 12.2 可切削混凝土加固技术               | 210 |
| 12.2.1 玻璃纤维(GFRP)筋            | 210 |
| 12.2.2 竹片筋混凝土桩加固              | 212 |
| 12.3 平衡法盾构始发到达                | 213 |
| 12.3.1 [案例] 水土中盾构到达(广州)       | 213 |
| 12.3.2 [案例] 密闭钢筋混凝土箱体始发盾构(广州) | 217 |
| 12.3.3 [案例] 密闭钢套筒接收盾构技术(广州)   | 223 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| <b>第 13 章 特殊工法技术</b>          | 230 |
| 13.1 盾构穿越浅覆土水域盖板加固技术          | 230 |
| 13.1.1 风险分析                   | 230 |
| 13.1.2 水底盾构隧道最小覆土厚度分析         | 230 |
| 13.1.3 河底成型隧道抗浮控制             | 232 |
| 13.1.4 盾构穿越河底浅覆土可采取的技术措施      | 232 |
| 13.1.5 小结                     | 233 |
| 13.1.6 [实例] 抗浮结构和注浆联合加固(南京)   | 233 |
| 13.2 盾构穿越铁路扣轨加固技术             | 235 |
| 13.3 冻结法修筑联络通道技术              | 237 |
| 13.4 [案例] 明挖法修复超限盾构管片隧道结构(佛山) | 240 |
| 13.4.1 工程概况                   | 240 |
| 13.4.2 端头加固封堵                 | 240 |
| 13.4.3 冻土帷幕发展推算               | 243 |
| 13.4.4 管片后冻结冻胀压力监测分析          | 244 |
| 13.4.5 冻结效果探孔检查               | 244 |
| 13.4.6 小结                     | 245 |
| 13.5 盾构机采用水土平衡法通过中风井技术        | 246 |
| 13.5.1 与传统加固方案比较              | 246 |
| 13.5.2 平衡法过中间风井方案             | 248 |
| 13.5.3 小结                     | 250 |
| <b>参考文献</b>                   | 251 |