

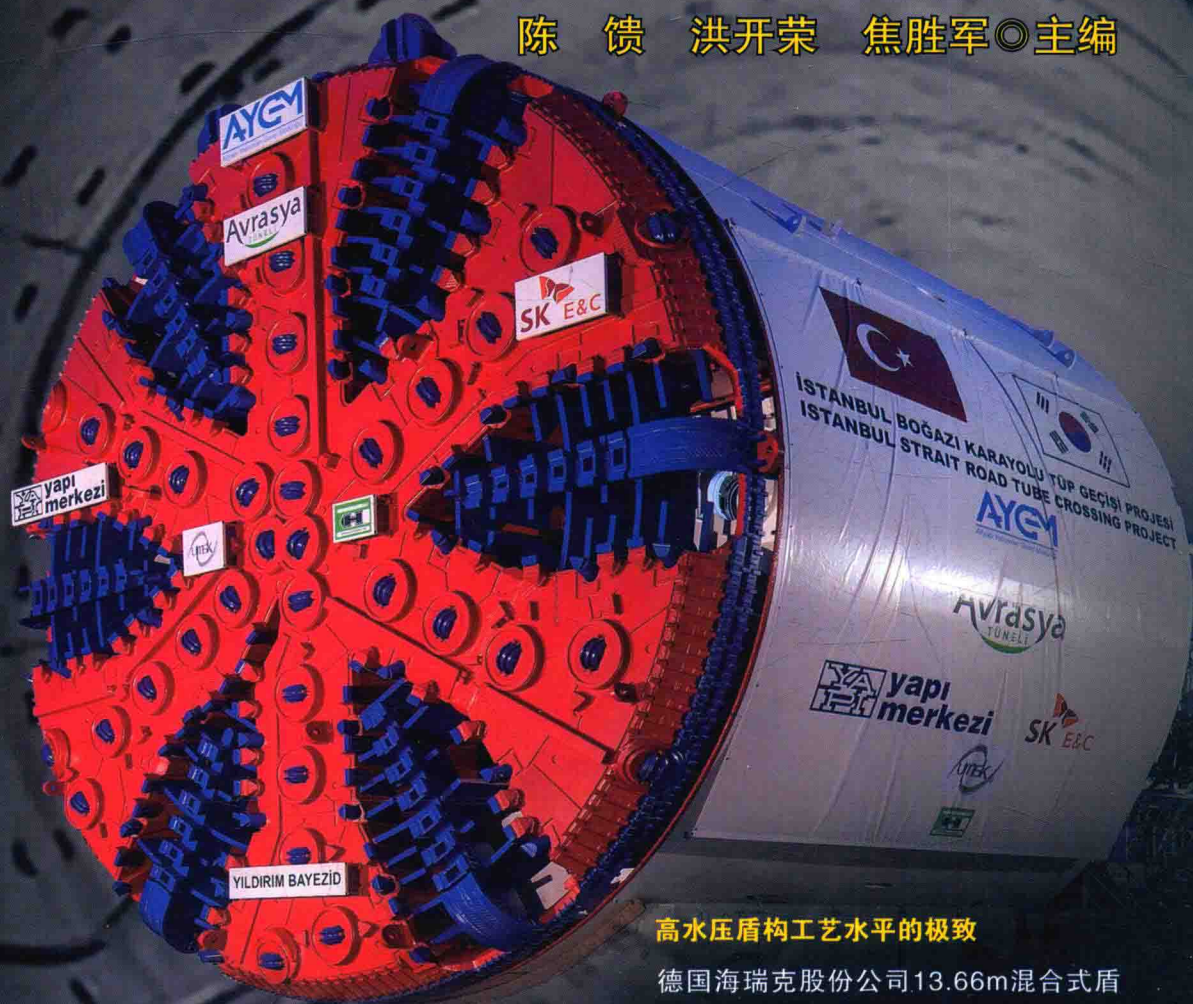
隧道与地铁施工专题精讲丛书

盾构施工技术

(第二版)

SHIELD CONSTRUCTION TECHNIQUE
(SECOND EDITION)

陈 馈 洪开荣 焦胜军◎主编



高水压盾构工艺水平的极致

德国海瑞克股份公司13.66m混合式盾构，工作压力1.2MPa，用于土耳其博斯普鲁斯海峡隧道挖掘。



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

隧道与地铁施工专题精讲丛书

盾构施工技术

(第二版)

SHIELD CONSTRUCTION TECHNIQUE
(SECOND EDITION)

陈 馈 洪开荣 焦胜军◎主编



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书分为三篇,第一篇“盾构施工”介绍了盾构类型及其发展历史,全面、透彻阐述了盾构工作原理、选型、管理及盾构施工最新技术、土工问题、衬砌及管片技术等;第二篇“工程实例”重点论述了具有我国典型地质条件特点的以北京为代表的砂卵石地层盾构施工、以上海为代表的软土地层盾构施工、以广州为代表的复合地层盾构施工、以重庆地区为代表的岩石地层盾构 TBM 施工,并介绍了这几个国内有代表性城市盾构工程的各自特点及技术应用;第三篇“施工视频”,可通过手机扫描书上的二维码,即可观看,有助于帮助读者揭开盾构 TBM 及顶管施工的神秘面纱。

全书图文并茂、视觉震撼、深入浅出、资料翔实、参考性强,可供盾构设计、施工、工程管理、教学、科研等相关专业技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

盾构施工技术/陈馈,洪开荣,焦胜军主编.—2版.—北京:人民交通出版社股份有限公司,2016.3
ISBN 978-7-114-12800-4

I. ①盾… II. ①陈… ②洪… ③焦… III. ①盾构—
工程施工 IV. ①U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 024236 号

许可证号:京朝工商广字第 8195 号(1-1)

书 名:盾构施工技术(第二版)

著 者:陈 馈 洪开荣 焦胜军

责任编辑:张江成

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:35.25

字 数:1052 千

版 次:2009 年 5 月 第 1 版

2016 年 3 月 第 2 版

印 次:2016 年 3 月 第 1 次印刷 总第 6 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12800-4

定 价:98.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

编写委员会

总策划 丁荣富 唐 忠 于保林

主 编 陈 馈 洪开荣 焦胜军

副主编 祝和意 霍军周 竺维彬 傅德明 乐贵平

主 审 杨华勇

顾 问 王梦恕

编 委 (排名以姓名拼音为序,不分先后)

陈 馈 陈莎莎 冯欢欢 傅德明 韩亚丽 贺少辉

洪开荣 胡群芳 霍军周 焦胜军 鞠世健 康宝生

乐贵平 李建斌 廖小春 刘 春 毛红梅 徐军哲

杨世武 竺维彬 祝和意

责任编辑 陈莎莎 冯欢欢 黄明海 马亚楠

主编单位 盾构及掘进技术国家重点实验室

天津大学

中铁隧道集团有限公司

陕西铁路工程职业技术学院

大连理工大学

参编单位 中铁工程装备集团有限公司

北京市轨道交通建设管理有限公司

上海市土木工程学会

广州地铁设计研究院有限公司

德国海瑞克股份有限公司

洛阳九久技术开发有限公司

序一

21世纪是隧道及地下空间大发展的时代,中国作为世界最大的隧道及地下工程施工市场,前景广阔。目前,我国的城市轨道交通正面临着史无前例的建设高潮,截至2015年,全国39个城市正在建设地铁。北京、上海、广州、重庆等城市在已经开通运营多条地铁线路的基础上,仍以每年数百亿元的投资速度推进。以北京市为例,北京市城市轨道交通2020年线网由30条线组成,总长度为1177公里;远景线网由35条线路组成,总长度1524公里;2015—2021年将建设12个项目,总长度262.9公里,计划总投资2122.8亿元。

随着我国工程建设领域法制和法规的完善,对工程建设项目综合效益的要求和环境保护意识的提高,对施工技术和管理的要求日渐提高。在建筑物密集的繁华市区和特殊地质地形区段普遍要求采用盾构法。从北京、广州等地已建成地铁的工程实践来看,随着近年国内盾构施工技术水平和国产盾构技术的不断提高,盾构法施工显示出强大的优势,应用越来越多。

盾构法具有对周围环境影响小、自动化程度高、施工快速、优质高效、安全环保等优点。随着长距离、大直径、大埋深、地质复杂多变、复杂断面盾构施工技术的发展和不断成熟,盾构法越来越受到重视和青睐。特别是在地层条件差、地质情况复杂、地下水位高等情况下,盾构法更具有明显的优越性。盾构法施工有其自身独特的技术特点,盾构与常规设备不同,是根据具体施工对象量身定做的特种设备,盾构的设计与施工必须与工程地质紧密结合,与工程量及经济合理性相匹配,才能充分发挥盾构法安全、优质、快速的优势。

本书是在《盾构施工技术》(第一版)基础上进行全面修订后再版的,全面、透彻阐述了盾构工作原理、选型、管理及盾构施工最新技术,并紧密结合北京、上海、广州、重庆等地区的盾构隧道工程实践,真实地介绍了不同地质条件下盾构法施工技术的宝贵经验和教训,很有特色。该书理论紧密联系实际,图文并茂,视觉效果震撼,内容深入浅出,展现了盾构法施工的最新技术,并突出应用,可参考性强,是盾构法施工技术领域的一部力作,对国内盾构法施工具有很好的指导、借鉴作用。

借本书再版之际,谨以此序向多年来为我国隧道及地下工程事业的发展做出突出贡献的广大工程技术人员和施工企业致以诚挚的问候!并对为本书的再版辛勤付出的各位编委、作者表示感谢。

我将本书推荐给从事盾构设计、施工、工程管理、教学、科研等工作的人员和广大读者,相信本书的出版对我国盾构法施工技术水平的提高,定会起到积极的推动作用。



中国工程院院士

2016年1月

序二

《盾构施工技术(第二版)》阐述了盾构发展现状及前景展望、盾构选型、盾构施工技术、盾构设备使用与管理,主要研究和总结了以北京地区为代表的砂卵石地层、以上海地区为代表的软土地层、以广州地区为代表的复合地层、以重庆地区为代表的岩石地层的盾构施工最新技术。这一研究和总结不仅在中国而且在世界的盾构法隧道施工领域也是一项新的成果,它对以后的盾构法隧道工程、盾构的设计以及盾构法施工(尤其是在中国的)都将起到有价值的指导和参考作用。

本书的再版也反映出中国盾构法施工领域取得的快速发展,到目前为止,广州、北京、上海、重庆等地的盾构工程已完成了数百公里,这些工程的大规模实施,极大地丰富和完善了中国在各种复杂地层条件下的盾构施工技术,为今后在各种复杂地层条件下应用盾构法施工奠定了坚实的基础。

本书是一本难得的技术参考书,可供从事盾构施工及管理的同行作为工作和学习的重要参考资料。

在本书即将付印之际,我谨代表海瑞克股份公司(Herrenknecht AG)衷心地感谢该书的作者、中铁隧道集团及所有参与广州、北京、上海、重庆地铁工程建设的相关单位和工程技术人员。



E.h. Martin Herrenknecht

海瑞克股份公司董事会主席

2016年1月

第二版前言

隧道及地下空间的大发展,促进了盾构法施工技术的进步。盾构法施工的历史,始于英国,发展于日本、德国。自从1825年布鲁诺尔在伦敦泰晤士河下使用矩形盾构开始修建世界上第一条盾构法隧道以来,盾构法施工至今(2016年)已有191年的历史。我国是20世纪50年代开始采用盾构法修建隧道和管道工程,虽然起步较晚,但由于注意吸收和采用先进技术和新工艺,参考和借鉴国外成功的经验和失败的教训,所以发展较快,但与技术先进国家仍存在较大的差距。

盾构法施工虽然具有掘进速度快、质量优、对周围环境影响小、施工安全性相对较高的优点,但由于盾构工程的复杂性,再加上选型及施工方法的不当,工程事故常有发生。盾构施工总是因为“地质的复杂性”、“盾构的不适应性”、“人认知的局限性、方案和措施的不合理性”等薄弱环节,而引发盾构工程事故。为了尽快反映盾构法施工的新技术、新方法,总结盾构法施工方面的经验,以便充分发挥盾构法施工的技术优势,中铁隧道集团有限公司于2009年组织国内多位盾构技术领域专家编写了《盾构施工技术》一书,该书自出版以来,已5次印刷,发行量已超过10000册,深受广大盾构技术人员的厚爱。

为全面掌握近年来盾构技术的最新发展动态,盾构及掘进技术国家重点实验室再次组织有关盾构法施工领域技术专家,对2009年出版的《盾构施工技术》进行全面修订。

全书分为15章,力求深入浅出,全面、透彻阐述盾构工作原理、选型、管理及盾构施工最新技术,重点论述了我国典型地质条件特点的几个国有代表性城市的盾构(TBM)工程的各自特点及技术应用实例,具体有以北京为代表的砂卵石地层盾构施工、以上海为代表的软土地层盾构施工、以广州为代表的复合地层盾构施工、以重庆为代表的岩石地层岩石掘进机(TBM)及盾构施工。该书图文并茂、视觉震撼、资料翔实。

目前,我国的城市轨道交通建设正面临着史无前例的高潮,截至到2015年,全国有39个城市正在建设地铁。北京、上海、广州、重庆等城市在已经开通运营多条地铁线的基础上,仍以每年数百亿元的投资速度推进。以北京市为例,北京市城市轨道交通2020年线网由30条线组成,总长度为1177公里;远景线网由35条线路组成,总长度1524公里;2015—2021年将建设12个项目,总长度262.9公里,计划总投资2122.8亿元。本书以城市地铁盾构法隧道施工技术为主要内容,对市政、公路、铁路隧道施工也有重要参考作用。

本书邀请了中国工程院院士王梦恕担任编委会顾问;由盾构及掘进技术国家重点实验室执行主任陈馈、中铁隧道集团总工程师洪开荣、陕西铁路工程职业技术学院副院长焦胜军教授等任主编。

在本书编写过程中,中国中铁一局、中国铁建十六局、北京城建集团、北京住总集团、广州市地下铁道总公司等有关人员分别提供了在北京、广州地铁施工中使用的盾构的部分参数及施工经验,上海城市建设设计研究院潘国沁先生提供了上海盾构隧道施工资料,上海隧道工程股份有限公司张冠军先生提供矩

形隧道资料,并对本书的有关内容提出许多中肯的意见或建议,在此一并表示感谢。

尽管我们尽了最大的努力,但本书可能仍会存在许多缺点甚至错误,恳请广大读者批评指正。

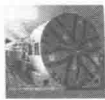
盾构及掘进技术国家重点实验室

2016年1月

目 录

第一篇 盾构施工

第 1 章 盾构概论	3
1.1 盾构及其工作原理	3
1.2 盾构分类	3
1.3 典型盾构介绍	6
思考题	21
第 2 章 盾构的开发与应用	22
2.1 盾构的起源与发展	22
2.2 盾构在我国的发展与应用	26
2.3 盾构产业模式	35
2.4 盾构发展趋势	36
2.5 盾构法施工新技术	37
2.6 盾构技术发展方向	42
2.7 盾构市场前景	43
思考题	44
第 3 章 盾构法概论	46
3.1 隧道施工的主要方法	46
3.2 盾构法基本概念	47
3.3 盾构法的主要技术特点	47
3.4 盾构法的优缺点	48
3.5 盾构法适应范围	48
3.6 国外盾构法隧道发展历史	50
3.7 我国盾构法隧道发展历史	51
3.8 典型盾构工法介绍	57
思考题	58
第 4 章 盾构选型	59
4.1 概述	59
4.2 盾构选型的原则	60
4.3 盾构选型的依据	60
4.4 盾构选型主要步骤	61
4.5 盾构选型的主要方法	61
4.6 盾构形式的选择	63



4.7 刀盘结构形式的选择	65
4.8 刀具的种类与破岩机理	67
4.9 刀盘驱动方式的选择	71
4.10 主要技术参数的计算	71
4.11 施工辅助设备的选择	78
思考题	78
第5章 盾构隧道竖井施工	80
5.1 盾构隧道竖井的一般要求	80
5.2 盾构竖井的构筑工法	81
5.3 沉井竖井工法	81
5.4 挡土围护竖井施工法	84
5.5 竖井工程实例	87
思考题	89
第6章 盾构法隧道施工	90
6.1 盾构的现场组装与调试	90
6.2 盾构的现场验收	96
6.3 盾构始发技术	97
6.4 土压平衡盾构掘进技术	101
6.5 泥水盾构掘进技术	107
6.6 管片拼装技术	112
6.7 壁后注浆技术	113
6.8 施工测量	114
6.9 盾构带压进仓技术	116
6.10 刀具的检查与更换	120
6.11 特殊地段及特殊地质条件施工	127
6.12 地中对接技术	131
6.13 隧道的防水施工技术	134
6.14 盾构调头技术	135
6.15 盾构到达技术	141
6.16 二次衬砌施工技术	143
6.17 盾构的拆卸与包装	145
6.18 盾构法施工的安全健康	149
6.19 盾构法施工的环境保护	154
思考题	157
第7章 盾构施工中的土工问题	159
7.1 引言	159
7.2 盾构掘进工作面的稳定问题	160
7.3 盾构掘进过程中的土工问题	169
7.4 隧道下卧层土体的变形与流动性	182
7.5 盾构出/进洞段的土工问题	183
7.6 土体加固技术	185
思考题	201



第 8 章 隧道的衬砌结构与构造	202
8.1 隧道的衬砌结构	202
8.2 一次衬砌	203
8.3 二次衬砌	205
8.4 管片的构造	206
8.5 管片设计	208
思考题	224
第 9 章 管片制作技术	225
9.1 资源配置	225
9.2 前期筹备	226
9.3 主要原材料及标准	227
9.4 管片生产工艺	228
思考题	235
第 10 章 盾构(TBM)设备管理与使用	236
10.1 盾构(TBM)设备的管理	236
10.2 盾构(TBM)设备的使用	241
10.3 盾构(TBM)保养与维修	244
思考题	264

第二篇 工程实例

第 11 章 以北京为代表的砂卵石地层盾构施工	269
11.1 北京地区典型工程地质条件及水文地质条件	269
11.2 北京地铁盾构隧道工程概况	272
11.3 砂卵石地层盾构施工的原理及主要问题	281
11.4 北京地铁试验段盾构施工实例	286
11.5 马家堡站—北京南站盾构施工实例	292
11.6 辐条式盾构施工实例	312
思考题	317
第 12 章 以上海为代表的软土地层盾构施工	318
12.1 上海软土地层盾构施工概述	318
12.2 上海软土地层施工典型盾构	322
12.3 $\phi 6.34\text{m}$ 土压平衡盾构施工概述	328
12.4 盾构穿越建筑物及保护技术	331
12.5 盾构穿越既有地铁隧道及保护技术	334
12.6 地铁 2 号线西延伸工程 2 标段施工实例	337
12.7 双圆土压平衡盾构施工	342
12.8 矩形盾构施工技术	347
12.9 泥水盾构施工技术	349
思考题	362
第 13 章 以广州为代表的复合地层盾构施工	363
13.1 广州复合地层盾构施工概述	363



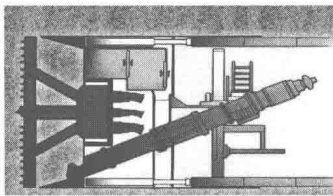
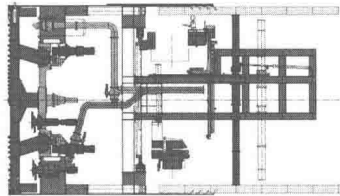
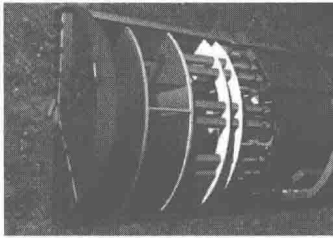
13.2	复合地层需要研究的地质问题	364
13.3	复合地层中盾构适应性的局限性	376
13.4	复合地层中盾构施工难点	379
13.5	广州地铁盾构施工实例	384
	思考题	412
第 14 章	以重庆为代表的岩石地层盾构 TBM 施工	413
14.1	重庆地铁历史沿革与建设规划	413
14.2	重庆地铁 6 号线一期 TBM 试验段工程	416
14.3	重庆地铁 6 号线二期复合式 TBM 试验段工程	463
14.4	重庆礼嘉—会展中心段市政交通工程 BT 项目	481
	思考题	537

第三篇 施工视频

第 15 章	盾构 TBM 施工视频	541
视频 15-1	盾构的起源	541
视频 15-2	敞口式盾构施工演示	541
视频 15-3	NFM 双模盾构	541
视频 15-4	小断面泥水盾构施工技术与应用	542
视频 15-5	泥水平衡与气压复合模式	542
视频 15-6	武汉长江隧道工程	542
视频 15-7	南京纬三路过江通道	542
视频 15-8	南京长江隧道	543
视频 15-9	上海长江水底隧道工程($\phi 15.43\text{m}$ 泥水盾构)	543
视频 15-10	南水北调穿黄隧洞施工	543
视频 15-11	土压平衡盾构施工演示	543
视频 15-12	土压平衡盾构结构与施工	544
视频 15-13	土压平衡盾构的组成及施工流程	544
视频 15-14	土压平衡盾构施工三维动画	544
视频 15-15	盾构隧道施工与变形控制技术	544
视频 15-16	德国海瑞克 $\phi 12.06\text{m}$ 土压平衡盾构	545
视频 15-17	大直径土压平衡盾构施工	545
视频 15-18	内外刀盘式土压平衡盾构工作原理	545
视频 15-19	西雅图日立造船 Bertha 号盾构(世界最大土压平衡盾构)	545
视频 15-20	英法海峡隧道施工演示	546
视频 15-21	大截面土压平衡矩形盾构	546
视频 15-22	德国海瑞克开敞式 TBM	546
视频 15-23	海瑞克双护盾 TBM	546
视频 15-24	郑州中州大道矩形顶管施工	547
视频 15-25	地下共同管廊工程	547
参考文献	548

第一篇 盾构施工

盾构法施工具有对周围环境影响小、自动化程度高、施工快速、优质高效、安全环保等优点。随着盾构施工技术的发展、成熟，盾构法越来越受到重视和青睐。特别是在地层条件差、地质情况复杂、地下水位高等情况下，盾构法施工更具有明显的优越性。但盾构法施工有其自身的技术特点，盾构必须与工程地质紧密结合，才能充分发挥其优势、真正保证盾构法施工的工程质量和安全。



第 1 章

盾构概论

1.1 盾构及其工作原理

盾构,其英文名称为“Shield Machine”,是一种用于隧道暗挖施工,具有金属外壳,壳内装有整机及辅助设备,在其掩护下进行土体开挖、土渣排运、整机推进和管片安装等作业,而使隧道一次成形的机械,如图 1-1 所示。

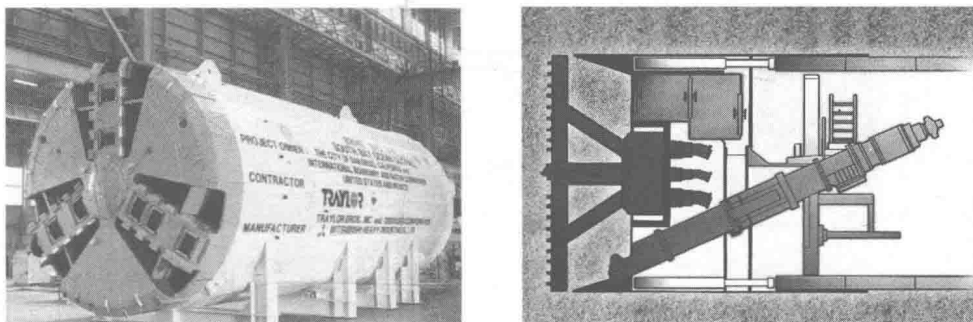


图 1-1 盾构的外形及其结构

盾构是一种隧道掘进的专用工程机械,现代盾构集机、电、液、传感、信息技术于一体,具有开挖切削土体、输送土渣、拼装隧道衬砌、测量导向纠偏等功能。盾构已广泛用于地铁、铁路、公路、市政、水电隧道工程。

盾构的工作原理就是一个钢结构组件沿隧道轴线边向前推进边对土壤进行掘进。这个钢结构组件的壳体称“盾壳”,盾壳对挖掘出的还未衬砌的隧道段起着临时支护的作用,承受周围土层的土压、地下水的水压,将地下水挡在盾壳外面。掘进、排土、衬砌等作业在盾壳的掩护下进行。

“盾”——“保护”,指盾壳;

“构”——“构筑”,指管片拼装。

开挖面的稳定方法是盾构工作原理的主要方面,也是盾构区别于岩石掘进机的主要方面。岩石掘进机国内一般称为 TBM。TBM 是“Tunnel Boring Machine”的缩写,通常定义中 TBM 是指全断面岩石隧道掘进机,是以岩石地层为掘进对象。岩石掘进机与盾构的主要区别就是不具备承受泥水压、土压等维护掌子面稳定的功能,而盾构施工主要由稳定开挖面、掘进及排土、管片衬砌及壁后注浆三大要素组成。

1.2 盾构分类

1.2.1 按断面形状分类

盾构根据其断面形状可分为:单圆盾构、复圆盾构(多圆盾构)、非圆盾构(图 1-2~图 1-4)。其中复圆



盾构可分为双圆盾构和三圆盾构。非圆盾构可分为椭圆形盾构、矩形盾构(图 1-5)、类矩形盾构、马蹄形盾构(图 1-6)、半圆形盾构。复圆盾构和非圆盾构统称为“异形盾构”。

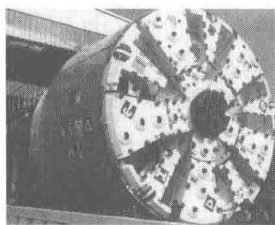


图 1-2 单圆盾构

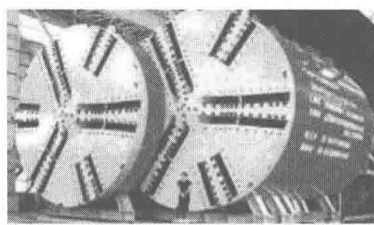


图 1-3 双圆盾构

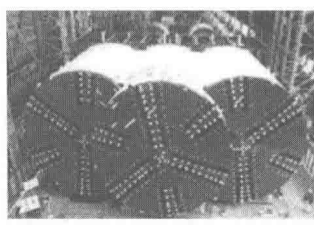


图 1-4 三圆盾构

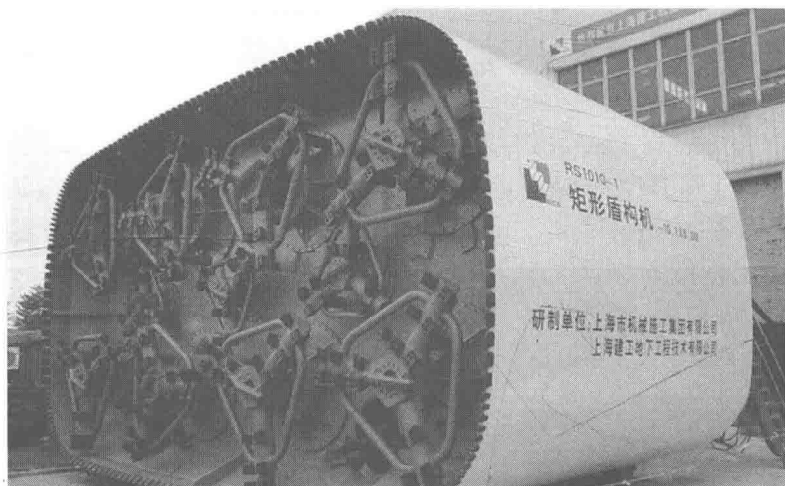


图 1-5 矩形盾构

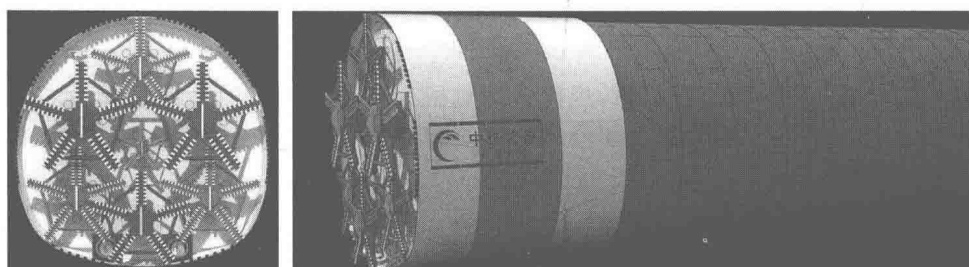


图 1-6 马蹄形盾构

1.2.2 按直径不同分类

根据盾构直径的不同,可分为以下几类:盾构直径 0.2~2m,称为微型盾构;盾构直径 2~4.2m,称为小型盾构;盾构直径 4.2~7m,称为中型盾构;盾构直径 7~12m 称为大型盾构;盾构直径 12m 以上,称为超大型盾构。

1.2.3 按支护地层的形式分类

盾构按支护地层的形式分类,主要分为自然支护式、机械支护式、压缩空气支护式、泥浆支护式、土压平衡支护式 5 种类型,见图 1-7。

1.2.4 按开挖面与作业室之间隔板的构造分类

盾构按开挖面与作业室之间隔板构造的不同,可分为全敞开式、部分敞开式及闭胸式三种,具体划分



见图 1-8。

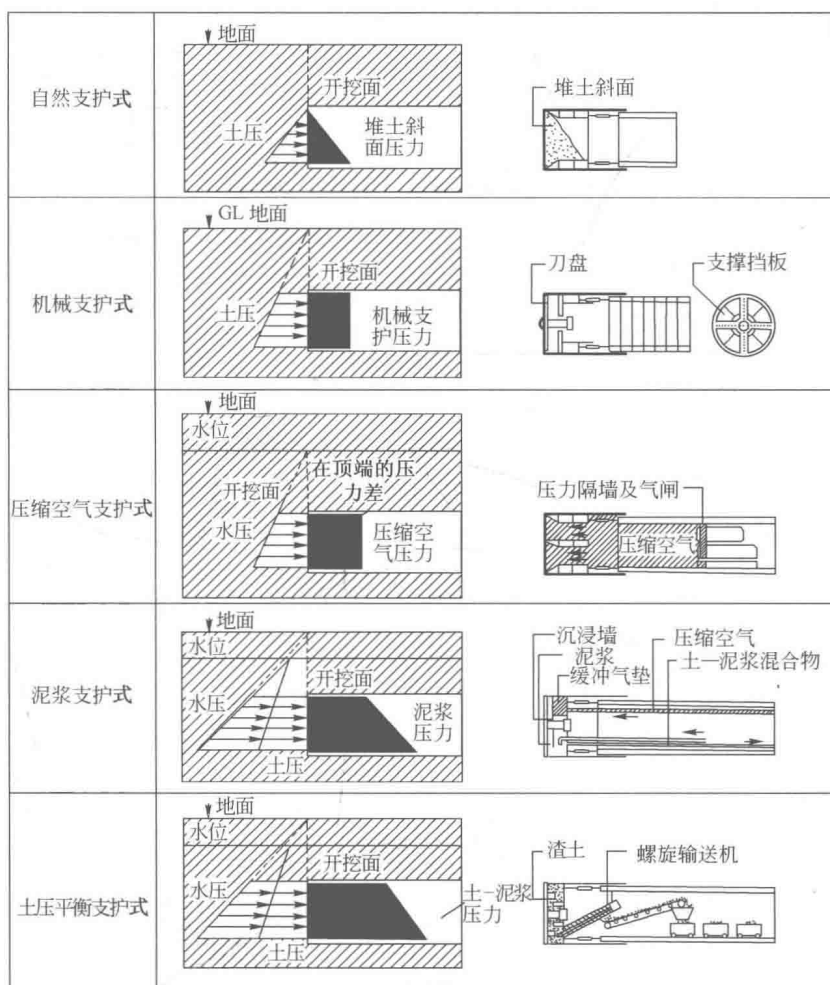


图 1-7 按支护地层的形式分类

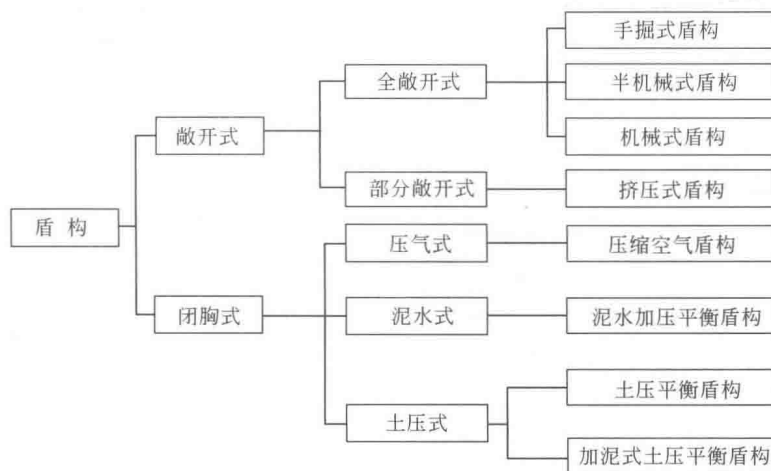


图 1-8 盾构的分类