

国内外盾构法隧道施工实例

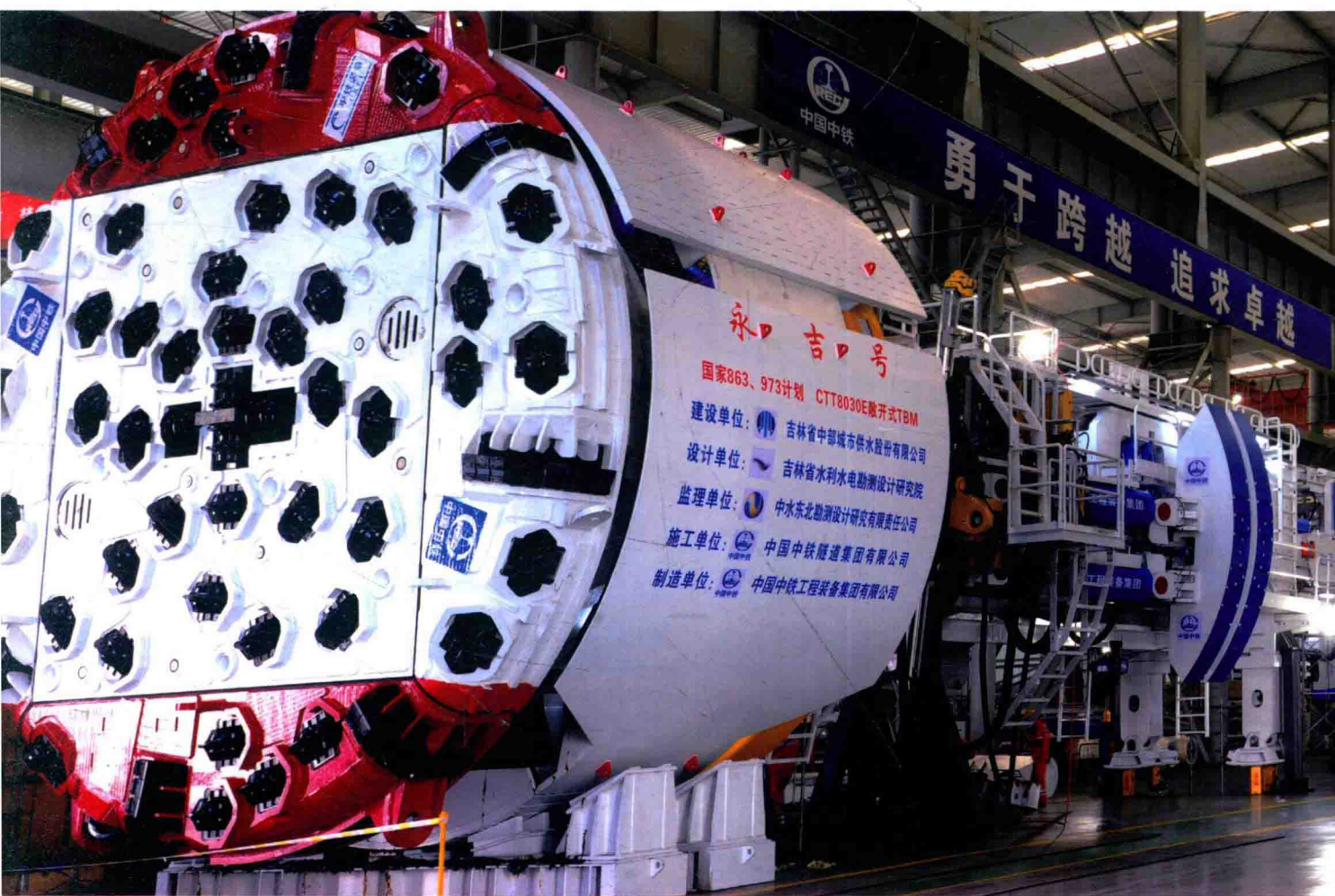
Construction Examples of Shield Tunneling at Home and Abroad

陈 馈 洪开荣 焦胜军 编著

杨华勇 陈湘生 主审

随书附光盘

中国中铁装备集团公司研制的、具有自主知识产权国内首台大直径岩石掘进机



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

国家863计划项目 (2012AA041802) | 联合资助
国家973计划项目 (2014CB046906)

国内外盾构法隧道施工实例

陈 馈 洪开荣 焦胜军 编著
杨华勇 陈湘生 主审



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

内 容 提 要

本书全面系统地论述了敞开式盾构、压缩空气盾构、泥水盾构、土压平衡盾构、全断面岩石隧道掘进机(TBM)、顶管机的发展概要、工作原理及工程实例。本书图、文并茂,书中展现的盾构施工技术、设备视频采用最新“互联网+”AR技术,通过手机扫描书中的二维码图像,即可观看。随书附有光盘,汇集了盾构设备操作规程与施工标准、规范。本书内容丰富,不仅对盾构的使用、维修与保养具有指导作用,而且对盾构TBM及顶管机的设计与工程应用具有重要参考价值,反映了我国当代盾构TBM及顶管法隧道施工的先进施工技术和施工水平,是一本理论与实践相结合的科技新书。

本书内容具有系统性、实用性、创新性等特点,适用于盾构TBM及顶管机技术领域的设计、制造人员、项目经理、施工员、土木工程师、机械工程师、监理工程师、工程编标人员、机械操作人员、维修保养人员使用和参考,同时也适用于高等院校、职业技术学院等相关专业的教师、学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

国内外盾构法隧道施工实例/陈馈,洪开荣,焦胜军编著. —北京:人民交通出版社股份有限公司, 2015. 12

ISBN 978-7-114-12724-3

I. ①国… II. ①陈… ②洪… ③焦… III. ①隧道施工—盾构法—案例—世界 IV. ①U455.43

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第320544号

许可证号:京朝工商广字第8195号(1-1)

书 名: 国内外盾构法隧道施工实例

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.ccpres.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: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 880×1230 1/16

印 张: 36.25

字 数: 1060千

版 次: 2016年1月 第1版

印 次: 2016年1月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12724-3

定 价: 118.00元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)



官方微信

在坚硬的岩石中掘进，
在巨大的冲击中前行；
肩负穿山遁地的使命，
盾构机任重而道远！

TIMKEN

延长掘进时间、减少停机维护、降低运营成本，这是盾构机制造商和施工方共同面临的课题。Timken®圆锥滚子轴承凭借卓越的性能和长久的使用寿命成为解决难题的理想选择。

更强。设计使然。



在全球多元化市场中，铁姆肯公司的工程师们运用精深的知识，帮助提高机械设备的运转效率和可靠性。铁姆肯公司研发、制造并营销高性能机械组件，包括轴承、齿轮、链条及相关机械动力传动产品和服务。

©2015 铁姆肯公司。Timken® 是铁姆肯公司的注册商标。

蚌埠市行星工程机械有限公司

蚌埠市行星工程机械有限公司成立于2002年。我公司于2003年开始为海螺集团矿山开采设备进行国产化配套至今；2004年开始为工程机械主机配套；2007年被三一集团纳入全球采购供应商；2013年开始为中铁系统服务，主要产品是盾构主驱动减速机、螺旋输送减速机及液压油缸。2014年2月，在成都项目部现场召开的“国产化盾构主驱动减速机工业性试验验收会”上，十几位知名专家一致将我公司的主驱动减速机评为优质产品，并给予“达到国际先进水平”“完全能够替代进口产品”的好评；2014年5月，在盾构机核心零部件评审会上，我公司被授予“盾构机核心零部件国产化及再制造基地”，专家组评审结果为“蚌埠行星主驱动减速机总体达到国际先进水平，部分关键技术国际领先”；2014年9月，荣获“盾构主驱动减速机首台首套”荣誉。2015年4月，成功为中铁一局重庆机场下穿隧道项目使用的中铁201号、202号盾构机配套14台主驱动减速机，并顺利掘进超过1000m。截至目前，我公司已为100多家盾构机使用单位提供服务并获得良好赞誉。今后我公司将一如既往为振兴民族工业不断进取！

创新科技，国际先进 ——行星机械助力盾构重器



海瑞克盾构推进油缸



小松盾构铰接油缸



小松盾构主推进油缸



戴纳密克盾构主驱动减速机



PM6250盾构主驱动减速机



小松盾构主驱动减速机



LOVAT盾构动力头减速机

电话：400-0552863

传真：0552-4950900

联系人：姚 琪

邮箱：yma661129@263.net 网址：www.bbxxcm.com

手机：18900520618

地址：安徽省蚌埠市大庆路1558号

邮 编：233010

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com



株洲钻掘

地铁建设靠盾构
盾构推进有钻掘

株洲钻石钻掘工具有限公司投资近亿元，建成了国内装备水平先进的盾构刀具生产基地，开发出了一批具有自主知识产权的核心技术和产品，获得了多项国家专利，被列入『十二五』国家科技支撑计划项目、『十二五』国家战略性新兴产业项目和『十二五』国家重点产业转型升级与发展资金计划项目，获得了国家专项资金的支持，是我国盾构刀具集成制造和标准化技术的示范企业。



株洲钻石钻掘工具有限公司

地址：株洲市荷塘区钻石路

电话：0731—28263246 28263366

传真：0731—28264133

邮编：412000 网址：www.zzzszj.com



《国内外盾构法隧道施工实例》

编写委员会

总 策 划 丁荣富 李建斌

顾 问 钱七虎 王梦恕

主 编 陈 馈 洪开荣 焦胜军

副 主 编 康宝生 祝和意 季玉国 王杜娟 申志军

主 审 杨华勇 陈湘生

编 委 (排名以姓名拼音为序,不分先后)

陈 馈 陈莎莎 冯欢欢 龚国芳 郭 军

韩晓明 贺 军 洪开荣 胡群芳 霍军周

季玉国 焦胜军 康宝生 李建斌 廖小春

刘金祥 刘双仲 吕传田 马亚楠 毛红梅

申志军 谭顺辉 王杜娟 王文祥 许彦平

姚爱民 袁锐波 张晓日 郑清君 祝和意

责任编辑 冯欢欢 陈莎莎

主编单位 盾构及掘进技术国家重点实验室

中铁工程装备集团有限公司

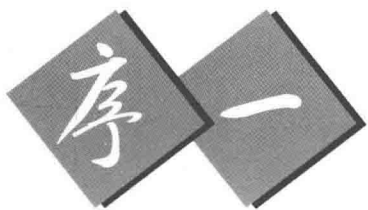
陕西铁路工程职业技术学院

参编单位 蚌埠市行星工程机械有限公司

天津瀚洋达海洋工程有限公司

辽宁三三工业有限公司

上海建通工程建设有限公司



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建设正面临着史无前例的高潮,截至 2015 年,全国 39 个城市正在建设地铁。北京、上海、广州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;远景年线网由 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,计划总投资为 2122.8 亿元。

随着我国工程建设领域法制和法规的完善、环境保护意识的提高,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浅埋暗挖法和盾构法。从北京、广州等地已建成地铁的工程实践来看,浅埋暗挖法施工在地面环境保护、地表沉降控制以及造价、工期等方面具有一定的竞争力和很大的灵活性。随着近年来国内盾构施工技术水平和国产盾构技术的不断提高,盾构法施工也显示出强大的优势,应用越来越多。

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 TBM 法施工具有独特的技术特点,其设备根据具体施工对象量身定做,盾构 TBM 的设计、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 TBM 法安全、优质、快速的优势。

由盾构及掘进技术国家重点实验室联合中铁工程装备集团有限公司、陕西铁路工程职业技术学院,组织国内多位盾构技术领域的专家编写的《国内外盾构法隧道施工实例》一书,全面系统地论述了盾构、TBM、顶管机的发展概要、工作原理,并紧密结合工程实例,基本反映了当代盾构、TBM、顶管机的先进施工技术和施工水平。该书理论紧密联系实际,图文并茂,深入浅出,突出应用,可参考性强,是盾构 TBM 法施工技术领域的又一部力作,对国内盾构 TBM 法施工具有很好的指导与借鉴作用。

借本书出版之际,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企业致以诚挚的问候,并对为本书的出版辛勤付出的各位编委表示感谢!

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

中国工程院院士 钱七虎

2015 年 10 月 10 日

洪开荣简介



洪开荣 1965 年生,男,博士,教授级高级工程师,现任中铁隧道集团有限公司总工程师、盾构及掘进技术国家重点实验室主任、中国土木工程学会隧道及地下工程分会秘书长、科技部创新人才推进计划重点领域创新团队负责人。主要从事隧道及地下工程施工技术研究与实践工作,出版专著 8 部,发表论文 40 余篇。

焦胜军简介



焦胜军 1968 年生,男,三级教授,注册咨询工程师,注册招标师。全国测绘地理信息职业教育教学指导委员会委员,全国铁道工务工程专业指导委员会副主任委员,陕西省职业院校信息化教学指导专家组专家,陕西省职教学会交通运输委员会主任委员;陕西铁路工程职业技术学院副院长。

现主要从事土木工程教学和应用性研究等工作,获国家教学成果二等奖 1 项,陕西省人民政府教学成果特等奖 1 项、二等奖 2 项,全国职业教育信息化教学大赛多媒体教学软件比赛一等奖 1 项,陕西省高等学校优秀教材一等奖 1 项,全国优秀职教教学成果一等奖 1 项,实用新型专利、发明专利、外观设计专利各 1 项;获“陕西省教学名师”、“全国职业教育轨道交通行业名师”、“陕西省职业教育教学名师”、“中国铁路工程总公司青年科技拔尖人才”等荣誉称号。曾担任陕西铁路工程职业技术学院地下工程与隧道工程技术专业和基础工程技术专业带头人;先后参加多条铁路和交通枢纽等工程的技术工作。发表论文 10 余篇,主编、主审、参编教材 10 余部,主持、参与国家和省级教科研课题多项。

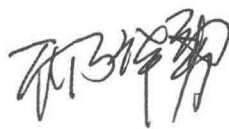
序二

前事不忘,后事之师。从国内外盾构法隧道施工实例中汲取营养,对于完善盾构法这种复杂隧道工程技术具有重要的现实意义。盾构法隧道施工及其装备需要针对具体的工程地质和工程要求做量体裁衣式设计,这一设计过程中工程经验常起到决定性作用,因此,每一工程的关键数据和积累的经验都是极其珍贵的。科学系统地对国内外盾构法隧道施实例加以分析、汇集,是一项功在当代、利在千秋的事情。

我国正处于城镇化、工业化快速发展阶段,铁路、公路、水利、市政建设等对隧道工程建设需求迫切,我国已成为全球对盾构 TBM 法施工及其装备需求量最大、增长最快的国家。目前,我国已有 39 个城市正在建设地铁、铁路隧道、引水隧道正在较大规模地使用盾构 TBM,但盾构 TBM 法应用率与发达国家相比,仍然偏低,因此,盾构 TBM 技术在我国具有广阔的发展空间,在一定程度上,体现了国家发展建设发展目标。

作者收集了几十年来的国内外工程典型实例编著成《国内外盾构法隧道施工实例》一书。该书分别阐述敞开式盾构、压缩空气盾构、泥水盾构、土压平衡盾构、开敞式 TBM、双护盾 TBM、单护盾 TBM、顶管机等的施工经验、风险与适应性设计技术,以及国内外各类盾构工程实例数据及其关键技术。本书所含数据资料翔实、总结的技术经验先进,丰富和完善了各种复杂地质条件下的盾构和 TBM 技术,必将促进盾构 TBM 法隧道工程施工及其装备设计技术的进步,对于从事盾构 TBM 设计、制造、施工及管理的广大科技工作者而言,是一部不可多得的盾构百科全书和参考资料。

有感于作者的辛勤劳动,在本书即将付印之际,我谨以此序向该书的作者和编委表示祝贺,愿此书在盾构和盾构 TBM 设计、生产,及其隧道施工中,发挥重要的参考作用。



中国工程院院士 杨华勇

2015 年 10 月 10 日



21 世纪是隧道与地下工程大发展的时代。中国地域广阔,隧道及地下工程建设正处于蓬勃发展时期,作为世界最大的隧道及地下工程施工市场,中国的市场潜力正在迅速释放。国内城市建设和轨道交通的迅猛发展,使盾构、TBM、顶管机等先进隧道施工机械具有广阔的市场前景。

最早的盾构,主要用于软土地层;TBM 主要用于岩石地层。通常定义中的 TBM 是指全断面岩石隧道掘进机,是以岩石地层为掘进对象,它与盾构的主要区别就是不具备泥水压、土压等维护掌子面稳定的功能。盾构作为一种安全、快速的隧道施工机械,经历了三个发展阶段:一是以 Brunel 盾构为代表的初期盾构;二是以机械式、气压式、网格式盾构为代表的第二代盾构;三是以闭胸式盾构为代表(泥水式、土压式)的第三代盾构。

自从 1818 年 Brunel 注册了盾构法隧道施工专利,并于 1825 年首次使用矩形盾构在伦敦泰晤士河下修建河底隧道后,盾构经历了 190 年的发展历史。纵观盾构发展历史,盾构技术的发展和改进都是在围绕盾构法施工的三大要素进行:地层稳定和地面沉降控制;机械化、自动化掘进和掘进速度的提高;衬砌和隧道质量。现代盾构基本都是基于泥水平衡和土压平衡这两种模式,或是这两种模式的组合,或是这两种模式与开敞式组合,形成复合式盾构,以适应地层条件多变的隧道施工的要求。目前,为适应隧道施工需要的多样化,国际上已开发出超大断面盾构、多圆盾构、异形断面盾构、球体盾构等多种形式。

TBM 是在 1846 年由意大利人 Maus 发明的。1881 年波蒙特开发了压缩空气式 TBM,并成功使用于英吉利海峡隧道直径为 2.1m 的勘探导坑。美国罗宾斯(Robbins)公司于 1952 年开发制造出了具有现代意义的第一台软岩掘进机,1956 年研制成功中硬岩掘进机,从此,TBM 进入了快速发展时期。

目前,盾构、TBM 技术已经相当成熟,其发展趋势具有微型和超大型化、形式多样化、高度自动化、高适应性等四个特点。

顶管施工是继盾构施工之后而发展起来的一种地下管道施工方法,最早始于 1896 年美国北太平洋铁路铺设工程的施工中。

20 世纪 50 年代我国开始引进并采用盾构法及顶管法修建隧道和管道。而 TBM 施工法在 80 年代才引进,起步较晚,但由于注意吸收和采用先进技术和新工艺、新材料,参考和借鉴国外成功的经验和失败的教训,所以发展较快,但与国外仍存在相当大的差距。因此编写一部以盾构、TBM 及顶管机为主的《国内外盾构法隧道施工实例》专著,对于提高隧道施工技术水平具有重要的指导意义。本书的编写从 2005 年开始,历时 10 年收集有关工程实例,因涉及面广,难免挂一漏万,对于书中存在的错误与不当,敬请广大读者不吝指正。

2015 年 10 月

目录

第1章 盾构发展概要	1
1.1 盾构的概念	1
1.2 盾构的工作原理	1
1.3 盾构的分类	2
1.4 盾构的起源与发展	3
1.5 盾构在我国的发展与应用	9
1.6 盾构法新技术	16
第2章 敞开式盾构	21
2.1 概述	21
2.2 手掘式盾构	21
2.3 半机械式盾构	22
2.4 机械式盾构	23
2.5 挤压式盾构	24
2.6 全敞开式盾构施工实例	25
2.7 网格挤压式盾构施工实例	28
2.8 国内敞口式盾构的研制与应用	33
第3章 压缩空气盾构	42
3.1 概述	42
3.2 施工实例	43
第4章 泥水盾构	46
4.1 泥水盾构的构成	46
4.2 开挖面稳定机理	48
4.3 地质适应范围	49
4.4 国内外泥水盾构施工实例	50
4.5 南京大直径泥水盾构施工综合技术	202
第5章 土压平衡盾构	242
5.1 概念及工作原理	242
5.2 基本配置	243
5.3 开挖面稳定机理	247
5.4 地质适应范围	249
5.5 盾构类型与渗透性的关系	250
5.6 盾构类型与水压的关系	250



5.7 施工实例	250
5.8 盾构施工关键技术实例	322
第6章 TBM 发展概要	357
6.1 TBM 的概念	357
6.2 TBM 的分类	357
6.3 TBM 的发展与应用	357
6.4 TBM 施工的特点	361
6.5 制约 TBM 施工性能的典型因素	363
6.6 出渣运输与进料设备的选择	366
第7章 开敞式 TBM	368
7.1 结构特点	368
7.2 基本配置	369
7.3 工作原理	374
7.4 适用范围	374
7.5 施工实例	375
第8章 双护盾 TBM	437
8.1 结构特点	437
8.2 基本配置	440
8.3 适用范围	446
8.4 施工实例	446
第9章 单护盾 TBM	495
9.1 结构特点	495
9.2 适用范围	495
9.3 引洩供水工程施工实例	495
第10章 顶管机	507
10.1 顶管技术的发展历史	507
10.2 顶管原理及理论	508
10.3 顶管机的分类	508
10.4 泥水平衡顶管	509
10.5 土压平衡顶管	514
10.6 微型顶管机	517
10.7 其他顶管机	518
10.8 顶管机选型	519
10.9 施工实例	520
第11章 盾构 TBM 施工风险与适应性设计	538
11.1 盾构 TBM 施工风险分类	538
11.2 盾构适应性设计	542
11.3 中国盾构技术的创新	547
11.4 盾构新技术展望	553



11.5 TBM 施工的不良地质与对策	554
11.6 TBM 地质适应性设计与创新	555
参考文献	560
视频索引	561

盾构设备操作规程与施工标准、规范(附光盘)

第 12 章 盾构设备操作规程、标准

- 1.《德国海瑞克土压平衡盾构操作使用说明书》
- 2.《美国铁姆肯公司盾构刀具轴承的维护保养》
- 3.《土压平衡盾构安全技术操作规程》(中铁隧道集团有限公司)
- 4.《土压平衡盾构维修保养规范》(中铁隧道集团有限公司)
- 5.《高技能(技师、高级技师)人才岗位评价示范标准(盾构机械操作工)》(中国中铁股份有限公司)
- 6.《高技能(技师、高级技师)人才岗位评价示范标准(掘进机操作工)》(中国中铁股份有限公司)

第 13 章 盾构施工标准、规范

- 7.《盾构隧道设计规程》(中铁隧道集团有限公司)
- 8.《铁路隧道全断面岩石掘进机法技术指南》(行业标准铁建设〔2007〕106 号)
- 9.《盾构掘进隧道工程施工及验收规范》(GB 50446—2008)
- 10.《盾构法隧道施工验收规程》(中铁隧道集团有限公司)

第 1 章

盾构发展概要

本章重点:盾构是由法国人 Marc Isambard Brunel 在蛀虫钻孔的启示下发明的,起源于英国,发展于德国、日本。盾构的发展主要经历了手掘式、机械与气压式、闭胸式、高智能多样化等 4 个发展阶段。本章重点介绍盾构的概念、工作原理、分类、起源与发展,及其在我国的发展与应用。

1.1 盾构的概念

盾构,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,从而构筑隧道,并使隧道一次成形的特种施工机械,如图 1-1 所示。

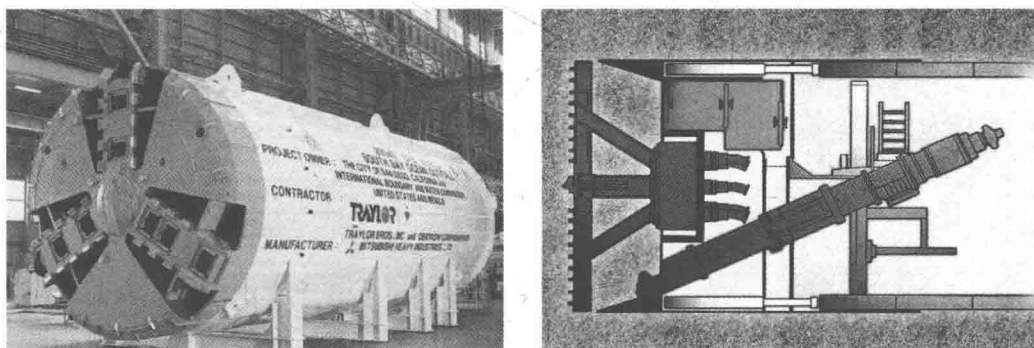


图 1-1 盾构的外形及其结构

盾构是一种隧道掘进的专用工程机械,现代盾构集机、电、液、气、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,可实现隧道施工的工厂化作业。盾构已广泛应用于地铁、铁路、公路、市政、水电隧道工程。

1.2 盾构的工作原理

盾构的工作原理: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、未衬砌的隧道段起临时支护作用,承受周围土层的土压、承受地下水的水压,并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。



1.3 盾构的分类

1.3.1 按断面形状分类

盾构根据其断面形状可分为:单圆盾构(图 1-2)、复圆盾构(也称多圆盾构,图 1-3、图 1-4)、非圆盾构。

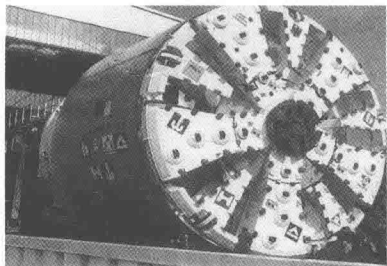


图 1-2 单圆盾构

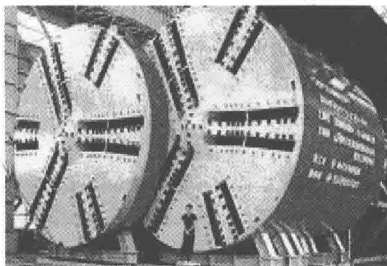


图 1-3 双圆盾构

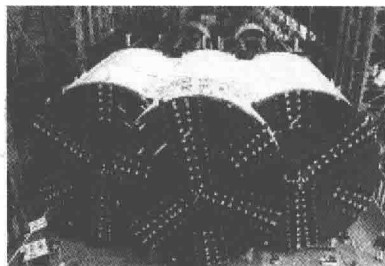


图 1-4 三圆盾构

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、马蹄形盾构、半圆形盾构。

复圆盾构和非圆盾构统称为“异形盾构”。

1.3.2 按直径不同分类

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

1.3.3 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可分为敞开式及闭胸式 2 种,敞开式又可分为全敞开式和部分敞开式。盾构具体划分见图 1-5。

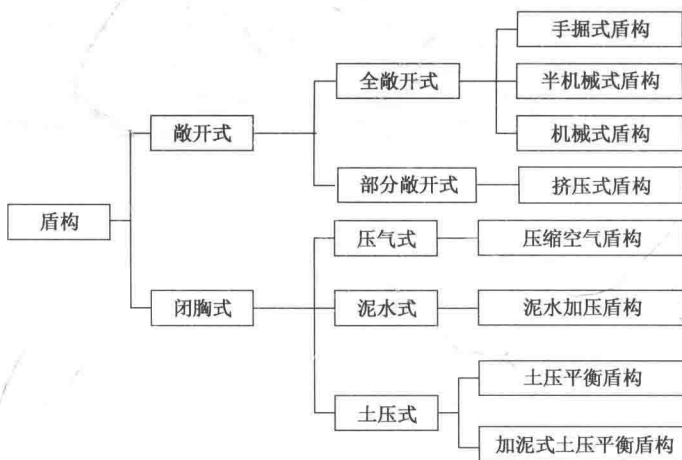


图 1-5 盾构的分类

1.3.4 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 1-6。

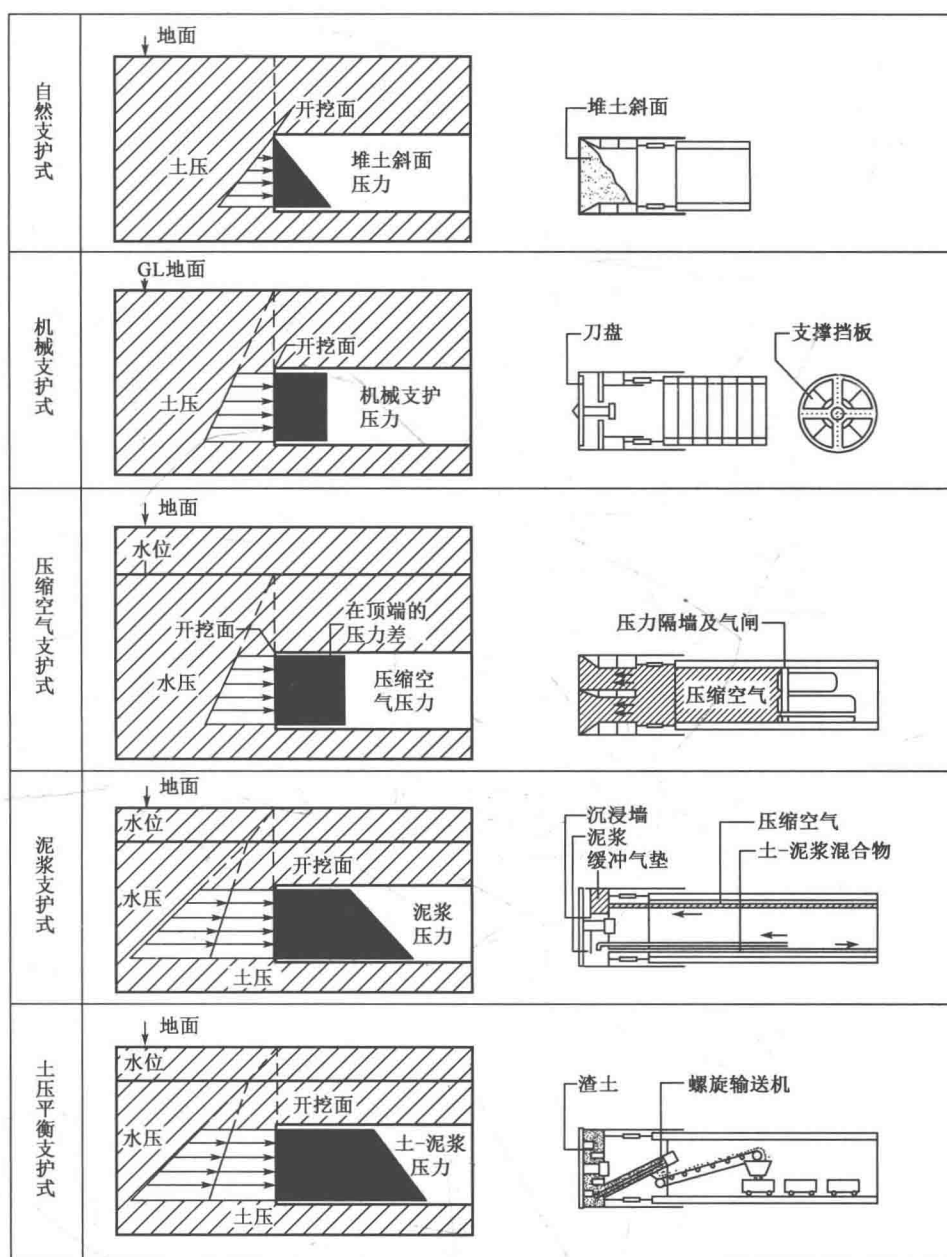


图 1-6 按支护地层的形式分类

1.4 盾构的起源与发展

盾构问世至今(2015 年)已有 190 年的历史,其始于英国,发展于日本、德国。其发展历程可分为以下 4 个阶段(图 1-7),即 1825—1876 年的手掘式;1876—1964 年的机械式、气压式;1964—1984 年的闭胸式土压泥水;1984—至今,高智能多样化式盾构。

1.4.1 盾构的起源

盾构的起源详见视频 1-1。

1806 年,法国工程师马克·布鲁诺尔(Marc Isambard Brunel)发现船的木板中,有一种蛀虫(船蛆)钻出孔道。船蛆是一种蛤,头部有外壳,在钻穿木板时,分泌出液体涂在孔壁上形成坚韧的保护壳,用以抵