



隧道与地铁施工专题精讲丛书



盾构施工技术

SHIELD CONSTRUCTION TECHNIQUE

陈 馈 洪开荣 吴学松 主编

用于上海长江隧道建设的海瑞克 $\phi 15.43\text{m}$ 盾构



人民交通出版社
China Communications Press

隧道股份

盾构施工技术

陈 馈 洪开荣 吴学松 主编
郭大焕 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

全书分为四篇,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,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;第三篇论文精选(附光盘)主要汇集《建筑机械化》杂志近年发表的40余篇盾构施工技术文章,反映了盾构工程技术的最新进展;第四篇为盾构隧道施工实例视频,供大家观摩学习。全书图文并茂,深入浅出,资料翔实,可参考性强,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参考。

图书在版编目(CIP)数据

盾构施工技术/陈馈等主编. —北京:人民交通出版社,
2009.5

ISBN 978-7-114-07748-7

I. 盾… II. 陈… III. 盾构(隧道)-施工技术 IV.
U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 071886 号

书 名:盾构施工技术
著 者:陈 馈 洪开荣 吴学松等
责任编辑:陈志敏
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)59757969,59757973
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:880×1230 1/16
印 张:26.25
字 数:778千
版 次:2009年5月第1版
印 次:2009年5月第1次印刷
书 号:ISBN 978-7-114-07748-7
印 数:0001—3000册
定 价:68.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《盾构施工技术》编写委员会

主 编 陈 馈 洪开荣 吴学松

主 审 郭大焕

顾 问 王梦恕

编 委 陈 馈 洪开荣 吴学松 乐贵平 傅德明

鞠世健 贺少辉 刘 春 竺维彬 李建斌

杨世武 韩亚丽 康宝生

责任编辑 吴学松 贾泽辉 金治勇 牟少文 魏玉辉

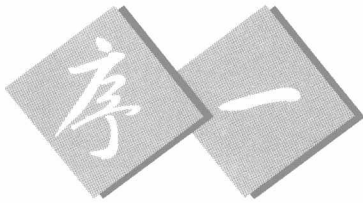
主编单位 《建筑机械化》杂志社

中铁隧道集团有限公司

参编单位 北京市轨道交通建设管理有限公司

上海申通轨道交通研究咨询公司

广州地铁设计院盾构技术研究所



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史无前例的高潮。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40~50km近百亿元的投资速度推进,同时还有已批准建设地铁的15个城市正在同时进行紧张的地铁建设,每年总投入达数千亿元以上。

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。随着近年国内盾构施工技术水平和盾构国产化率的不断提高,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、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。但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状况紧密结合,与工程量的长度、经济合理性相匹配,才能充分发挥盾构法“快”的优势、真正保证盾构法施工的工程质量和安全。

由《建筑机械化》杂志社组织国内多位盾构施工领域的高级专家编写的《盾构施工技术》一书,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,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作出突出贡献的广大工程技术人员和施工企业致以诚挚的谢意,并对为本书的出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
2008年12月16日

序二

《盾构施工技术》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、盾构机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。

本书的出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、上海三地的地下盾构工程共完成了上百公里,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,为我们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

2008年12月25日

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第一条盾构法隧道以来,盾构法施工已有180多年的历史。我国自20世纪50年代开始涉足盾构法修建隧道和管道工程,最近十年开始大规模应用。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,但与国外先进国家仍存在较大差距。

盾构法施工具有掘进速度快、质量优、对周围环境影响小、施工安全性相对较高等优点,但由于盾构工程的复杂性,再加上选型及施工方法的不当,各地工程事故常有发生。为了尽快反映盾构法施工的新技术、新方法,总结盾构法施工经验,以充分发挥盾构法施工的技术优势,《建筑机械化》杂志社组织中铁路隧道集团有限公司、北京市轨道交通建设管理有限公司、上海申通轨道交通研究咨询公司、广州地铁设计院等盾构法施工领域的技术专家编写了《盾构施工技术》一书,内容编写工作于北京奥运会期间的2008年8月启动。

全书主体内容分为三篇共18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,进而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,介绍了这几个国内代表性城市盾构工程的各自特点及技术应用,图文并茂、资料翔实,总结概括了国内盾构施工技术应用和最新经验。随书附赠光盘汇集了《建筑机械化》近年发表的数十篇盾构施工技术论文、盾构施工视频及书中部分插图的彩图。

目前,我国城市轨道交通尤其是地铁建设正面临史无前例的高潮。北京、上海、广州、深圳、杭州、苏州、南京、武汉、青岛、天津、沈阳、哈尔滨、郑州、重庆、成都、西安等城市地铁工程都在紧张建设或即将开工。本书即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;由中铁隧道集团有限公司设备部副部长陈馈、中铁隧道集团总工程师洪开荣、《建筑机械化》杂志副主编吴学松任主编;由中铁隧道集团董事长郭大焕先生主审。本书第1章~第4章、第7章、第9章、第10章由中铁隧道集团有限公司设备部副部长陈馈执笔;第5章、第12章的初稿由上海申通轨道交通研究咨询公司副总经理傅德明执笔;第6章的初稿由中国中铁工程总公司原副总工程师刘春执笔;第8章的初稿由中铁隧道集团有限公司工程部副部长杨世武执笔;第11章的初稿由北京市轨道交通建设管理有限公司总经理助理乐贵平、北京交通大学贺少辉执笔;第13章的初稿由广州地铁设计院盾构技术研究所所长鞠世健执笔、广州地铁总公司副总经理竺维彬提供帮助;第14章~第18章由吴学松主编。

初稿完成后,由中铁隧道集团副总经理李建斌先生对第2章、第3章、第7章进行了补充和完善;由洪开荣先生对第6章进行大量补充和完善,对第13章进行了补充和完善;由中铁隧道集团总工程师韩

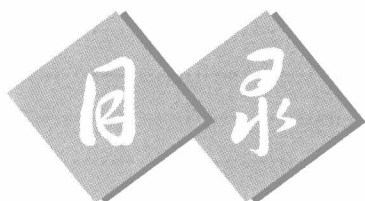
亚丽女士对第1章、第12章进行了补充和完善;由陈馈对第8章、第11章、第12章、第13章进行了补充和完善。本书最终由陈馈、洪开荣、吴学松统稿。

在本书编写过程中,中铁一局、中铁十六局,北京城建、北京住总、广州地铁总公司等相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供了许多中肯的意见或建议,在此一并表示感谢。编入随书光盘的“第三篇 论文精选”是《建筑机械化》杂志2003~2008年间发表的盾构工程技术论文,他们从不同侧面阐述了盾构施工中的经验与问题,不乏真知灼见,在此对论文作者表示谢意。同时感谢德国海瑞克股份公司、加拿大罗威特有限公司等对本书出版的大力支持。

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,恳请读者批评指正。

建筑机械化杂志社

2008年12月28日



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	5
第 2 章 盾构的开发与应用	20
2.1 盾构的起源与发展	20
2.2 盾构在我国的发展与应用	23
2.3 盾构产业模式	29
2.4 盾构发展趋势	30
2.5 盾构法施工新技术	31
2.6 盾构技术发展方向	35
2.7 盾构市场前景	36
第 3 章 盾构法概论	38
3.1 隧道施工的主要方法	38
3.2 盾构法基本概念	39
3.3 盾构法的主要技术特点	39
3.4 盾构法的优点与不足	40
3.5 盾构法的适应范围	40
3.6 国外盾构法隧道的发展历史	42
3.7 我国盾构法隧道的发展历史	44
3.8 国内外盾构技术发展历程及主要工程	45
3.9 典型盾构工法介绍	49
第 4 章 盾构选型	51
4.1 概述	51
4.2 盾构选型的原则	52
4.3 盾构选型的依据	52
4.4 盾构选型主要步骤	53
4.5 盾构选型的主要方法	53
4.6 盾构形式的选择	55
4.7 刀盘结构形式的选择	57
4.8 刀具的种类与破岩机理	58



4.9	刀盘驱动方式的选择	62
4.10	主要技术参数的计算	62
4.11	施工辅助设备的选择	69
第5章	盾构隧道竖井施工	70
5.1	盾构隧道竖井的一般要求	70
5.2	盾构竖井的构筑工法	71
5.3	沉井竖井工法	71
5.4	挡土围护竖井施工法	74
5.5	竖井工程实例	78
第6章	盾构法隧道施工	80
6.1	盾构的现场组装与调试	80
6.2	盾构的现场验收	86
6.3	盾构始发技术	87
6.4	土压平衡盾构掘进技术	91
6.5	泥水盾构掘进技术	97
6.6	管片拼装技术	102
6.7	壁后注浆技术	102
6.8	施工测量	104
6.9	盾构带压进仓技术	106
6.10	刀具的检查与更换	109
6.11	特殊地段及特殊地质条件施工	117
6.12	地中对接技术	120
6.13	隧道的防水施工技术	123
6.14	盾构调头技术	125
6.15	盾构到达技术	130
6.16	二次衬砌施工技术	132
6.17	盾构的拆卸与包装	135
6.18	盾构法施工的安全健康	139
6.19	盾构法施工的环境保护	144
第7章	盾构施工中的土工问题	148
7.1	引言	148
7.2	盾构掘进工作面的稳定问题	149
7.3	盾构掘进过程中的土工问题	158
7.4	隧道下卧层土体的变形与流动性	172
7.5	盾构出/进洞段的土工问题	172
7.6	土体加固技术	174
第8章	隧道的衬砌结构与构造	191
8.1	隧道的衬砌结构	191
8.2	一次衬砌	192
8.3	二次衬砌	194
8.4	管片的构造	195



8.5 管片设计	197
第9章 管片制作技术	214
9.1 前期筹备	214
9.2 管片生产	215
9.3 生产资源配置	223
第10章 盾构设备管理与使用	224
10.1 盾构设备的管理	224
10.2 盾构设备的使用	229
10.3 盾构保养与维修	232

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	251
11.1 北京地区典型工程地质条件及水文地质条件	251
11.2 北京地铁盾构隧道工程概况	253
11.3 砂卵石地层盾构施工的原理及主要问题	266
11.4 北京地铁试验段盾构施工实例	271
11.5 角门北路站—北京南站盾构施工实例	277
11.6 北京地铁砂卵石地层辐条式盾构施工实例	296
第12章 以上海为代表的软土地层盾构施工	302
12.1 上海软土地层盾构施工概述	302
12.2 上海软土地层施工典型盾构	306
12.3 $\phi 6.34\text{m}$ 土压平衡盾构施工概述	312
12.4 盾构穿越建筑物及保护技术	315
12.5 盾构穿越既有地铁隧道及保护技术	318
12.6 地铁2号线西延伸工程2标施工实例	321
12.7 双圆型土压平衡盾构施工	326
12.8 矩形盾构施工技术	331
12.9 泥水盾构施工技术	333
第13章 以广州为代表的复合地层盾构施工	346
13.1 广州复合地层盾构施工概述	346
13.2 复合地层需要研究的地质问题	348
13.3 复合地层中的盾构施工难点	359
13.4 复合地层中盾构施工的关键技术	362
13.5 广州地铁盾构施工实例	367

第三篇 专题论文精选(附光盘)

第14章 盾构及其选型

1 盾构国产化迫在眉睫(王梦恕)



- 2 浅议我国隧道掘进机产业化及发展方向(陈 馈)
- 3 盾构工程的工厂化管理初探(李建斌)
- 4 南水北调中线穿黄工程盾构选型(陈 馈)
- 5 成都地铁试验段盾构选型探讨(唐 健 陈 馈)
- 6 西安地铁施工盾构选型分析(陈 馈)
- 7 土压平衡盾构主要技术参数选择(陈英盈)
- 8 盾构选型中大漂石的影响及处理(管会生)

第 15 章 盾构施工技术

- 9 北京典型地层条件下土压平衡盾构施工(华 东等)
- 10 北京地铁盾构同步注浆及其材料研究(朱建春等)
- 11 南京地铁盾构始发与到达施工技术(康宝生等)
- 12 南京地铁盾构掘进技术(陈 馈)
- 13 客运专线狮子洋隧道盾构设计与施工(陈 馈)
- 14 狮子洋隧道泥水盾构始发技术
- 15 广州新城泥水平衡盾构始发技术(杨自华 钟志全)
- 16 成都地铁砂卵石地层盾构带压进舱技术(郭家庆 陈 馈)
- 17 重庆过江隧道盾构法施工泥水处理技术(陈 馈)
- 18 越江隧道盾构泥水处理系统的应用(顾国明 唐建飞 陈卫平)
- 19 土压平衡盾构施工中常见问题及措施(钟志全)
- 20 盾构通过不良地质的施工技术对策(徐济平等)
- 21 特殊地段盾构掘进的沉降控制技术(谢小兵 钟长平)
- 22 特殊地段的泥水盾构施工(钟志全 杨自华)
- 23 泥水盾构穿越桩基础掘进施工(杨自华 钟志全)
- 24 泡沫盾构施工技术与工法特点(管会生)
- 25 土压平衡盾构掘进中的止水技术(康洪信)
- 26 地质条件与盾构姿态控制的关系研究(周奇才 吴 玮)
- 27 盾构隧道底部注浆加固技术(朱相乾 钟志全)
- 28 盾构始发中水平冻结法的应用(刘典基 陈 馈)
- 29 盾构气压过渡舱及其应用(王柏松)
- 30 盾构的组装和拆卸技术(吕传田 刘东亮)

第 16 章 监测与诊断

- 31 盾构液压系统的油温控制(凌铁坚 钟志全)
- 32 重庆过江隧道盾构刀具磨损与更换(陈 馈)
- 33 盾构刀具磨损原因探析(邹积波)

第 17 章 盾构管片

- 34 TBM 主机状态监测(刘志华 张淑敏 刘 洪)
- 35 盾构管模的安装与调试(康洪信)
- 36 盾构管片错台分析及措施(钟志全)
- 37 混凝土盾构环片生产工艺探讨(安晓东等)

第 18 章 盾构设计

- 38 浅谈盾构刀盘的设计与应用(李建斌)



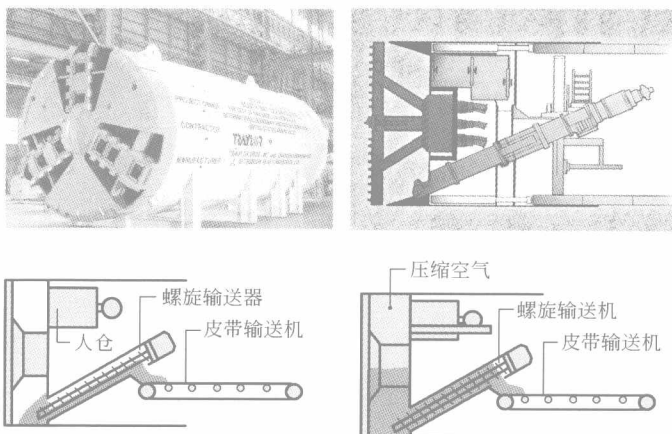
- 39 盾构推进系统分析与建模(于睿坤 李万莉 周奇才等)
40 异形盾构变异五杆切削机构的设计及其控制(吴笑伟)

第四篇 盾构隧道施工视频(附光盘)

- 1 上海长江隧道盾构施工
2 广州地铁四号线盾构施工
3 穿黄隧道盾构施工
4 英法隧道施工演示
5 海瑞克盾构施工演示
6 土压平衡盾构施工演示
参考文献 399
顾问、主审、作者简介

第一篇 盾构施工

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，才能充分发挥盾构法的优势，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”,是一种用于软土隧道暗挖施工,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。

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、承受地下水的水压以及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。

开挖面的稳定方法是盾构工作原理的主要方面,也是盾构区别于硬岩掘进机的主要方面。硬岩掘进机也称岩石掘进机,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。硬岩掘进机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。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。

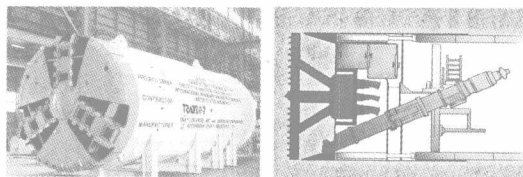


图 1-1 盾构的外形及其结构

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、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”。

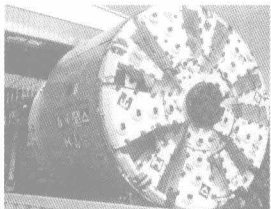


图 1-2 单圆盾构

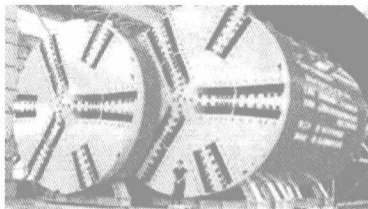


图 1-3 双圆盾构

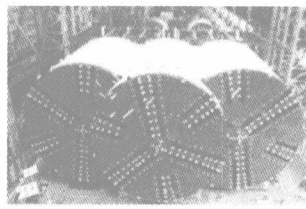


图 1-4 三圆盾构

注:全书图片彩色版见随书光盘。



1.2.2 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,土压平衡支护式五种类型,见图 1-5。

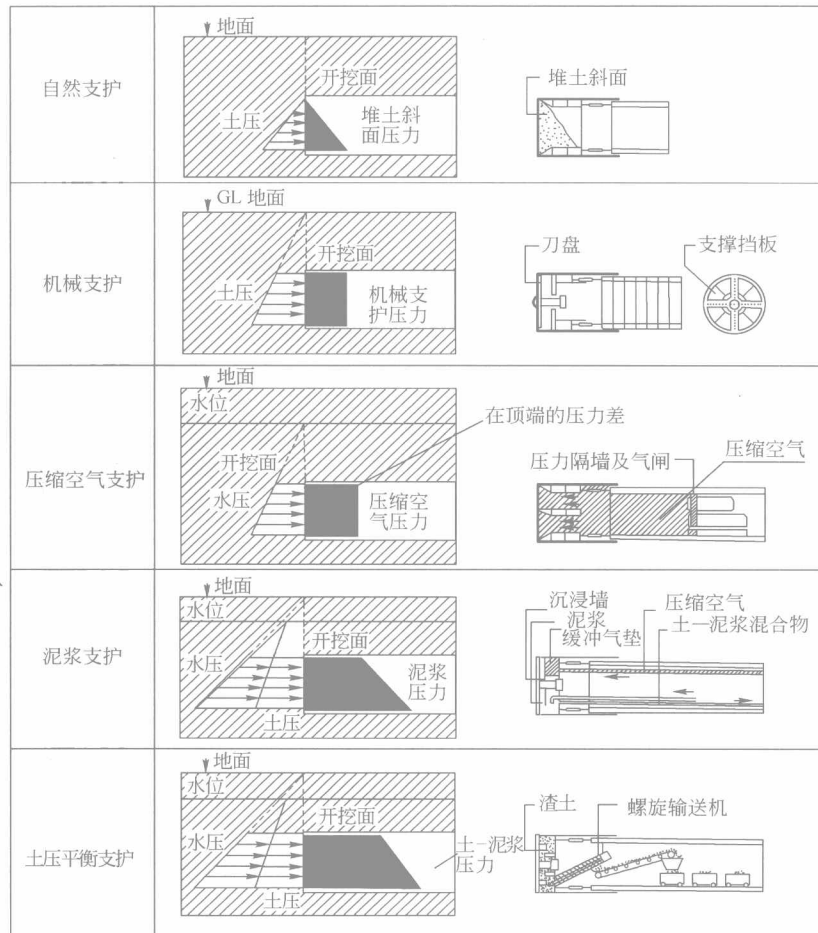


图 1-5 按支护地层的形式分类

1.2.3 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全敞开式、部分敞开式及闭胸式三种。具体划分见图 1-6。

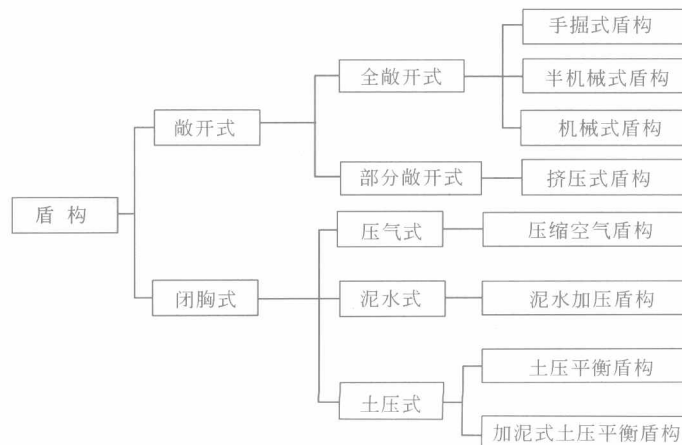


图 1-6 盾构的分类