

城市轨道交通建设系列指南

城市轨道交通工程 盾构法施工指南



江苏省住房和城乡建设厅
江苏省土木建筑学会城市轨道交通建设专业委员会

组织编写

中国建筑工程工业出版社

城市轨道交通建设系列指南

城市轨道交通工程盾构法施工指南

江苏省住房和城乡建设厅
江苏省土木建筑学会城市轨道交通建设专业委员会

组织编写

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市轨道交通工程盾构法施工指南/江苏省住房和城乡建设厅, 江苏省土木建筑学会城市轨道交通建设专业委员会组织编写. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 12

(城市轨道交通建设系列指南)

ISBN 978-7-112-21168-5

I. ①城… II. ①江… ②江… III. ①城市铁路-铁路
施工-盾构法-指南 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 214186 号

本指南共分 11 章, 分别为概述、盾构机选型、盾构施工准备、管片制作、盾构机始发与到达、盾构掘进施工、不同地质条件与特殊地段盾构施工、盾构法施工常见问题与处理、辅助施工措施、风险与安全管
理、工程案例及附录。本指南在符合国家现行的相关标准和规范的规定的
基础上, 突出了盾构法施工管理及技术上的指导作用; 盾构隧道的安全
施工与质量控制。

本指南可供城市轨道交通工程盾构法施工技术人员、生产管理人员
使用, 相关设计、监理、运营管理、政府职能部门、大中专院校可参考
使用。

责任编辑: 万 李

责任设计: 谷有稷

责任校对: 焦 乐 刘梦然

城市轨道交通建设系列指南 城市轨道交通工程盾构法施工指南

江苏省住房和城乡建设厅 组织编写
江苏省土木建筑学会城市轨道交通建设专业委员会

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

唐山龙达图文制作有限公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17¼ 字数: 418 千字

2018 年 3 月第一版 2018 年 3 月第一次印刷

定价: 55.00 元

ISBN 978-7-112-21168-5

(30810)

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)

《城市轨道交通工程盾构法施工指南》

主编单位：

江苏省土木建筑学会城市轨道交通建设专业委员会

中国铁建大桥工程局集团有限公司

参编单位：

南京地铁建设有限责任公司

苏州市轨道交通集团有限公司

无锡地铁集团有限公司

同济大学

中铁十四局集团有限公司

中铁第四勘察设计院集团有限公司

上海隧道工程有限公司

本书编审委员会

顾 问 钱七虎 周 岚 顾小平 缪昌文 余才高
周明保 徐 政 夏永俊 朱明勇 李维贤

本书编写委员会

主 任 张大春
副 主 任 宋伟俊 石平府 卢红标 蔡志军
主 编 徐润泽
副 主 编 周顺华 穆永江 韩 兵 李向海 庞继高
编写人员 (按姓氏笔划排列)

王 尉	王开材	王华伟	王寿强	王言冲
厉朋林	申军波	史庆涛	关维军	李 刚
李长军	李宗豪	李树锋	李铁成	杨 泊
杨树军	肖军华	狄宏规	邹春华	宋修元
张 君	张 崇	张 新	张百岩	张胜龙
张润来	范 杰	林晓栋	季 昌	赵 林
赵 煜	胡 静	南 庆	袁 更	袁 超
顾正清	倪 博	徐五嗣	黄 鑫	黄德中
康洪信	谢曲波	雷本健	路开道	雍朗明

本书审定委员会

主 任 徐学军
委 员 徐学军 鲁 屹 何 峰 金 明 郭建强
王 鹏 邹先科 尹建璋 樊有维

序

近年来，江苏省城市轨道交通工程建设进入大规模、跨越式发展阶段。自南京市于2000年地铁1号线开工建设以来，先后有苏州、无锡、常州、徐州、淮安及昆山等地陆续开工建设，2014年8月19日，南通市城市轨道交通建设规划获得国家批准，并成为江苏省第8个获批建设城市轨道交通的城市，目前，我省扬州等地的城市轨道交通建设规划也正在上报审批中。截至2018年3月，江苏省城市轨道交通在建及投入运营共36条线，总里程为1030.69公里，预计到“十三五”末，将达到近1300公里。

城市轨道交通工程建设周期长、施工环境复杂、风险大，涉及专业众多。多年来，我省各级建设主管部门和奋战在我省城市轨道交通建设战线的广大管理和技术人员，在轨道交通的工程建设和管理方面十分重视向北京、上海、广州、深圳等兄弟城市学习，同时结合江苏省的实际和特点进行探索，并注重实践经验的积累和总结。2014年7月25日，江苏省住房和城乡建设厅下发了“关于开展江苏省城市轨道交通工程建设系列指南（标准）编写工作的通知”，并委托江苏省土木建筑学会城市轨道交通建设专业委员会具体实施。经过两年来40余家单位、近600人的攻关，首批系列指南终于正式出版发行。今年，第二批指南已列入厅科技创新工作计划，计划通过5年的努力，到“十三五”末，基本建立和健全江苏省城市轨道交通建设指南（标准）体系。

组织编写城市轨道交通建设系列指南（标准），是我省城市轨道交通建设史上的一件大事，是全面总结和提高我省城市轨道交通建设水平的重要工作。江苏省土木建筑学会城市轨道交通建设专委会在组织编写系列指南（标准）过程中，积极协调各方资源，严密组织编写过程，坚持每本指南（标准）召开编写大纲、中间成果、修改后成果三次评审会和最终成果专家审定会，邀请国内城市轨道交通建设专家学者严格把关，较好地保证了指南（标准）编写的质量。

由于江苏省城市轨道交通建设起步较晚，建设经验与兄弟省市相比还有较大的差距，系列指南（标准）的编写还存在许多不足，希望编委会和广大编写人员继续向兄弟省市学习，向实践学习，不断改进、总结和完善，为城市轨道交通建设作出积极的贡献。

江苏省住房和城乡建设厅党组书记：

2018年3月

前 言

随着城市轨道交通建设的快速发展,作为城市地铁施工中的重要设备,盾构的使用范围越来越广,在工程中所占的比重也越来越大。为更好指导城市轨道交通工程盾构施工,不断提高工程建设水平,江苏省住房和城乡建设厅、江苏省土木建筑学会城市轨道交通建设专业委员会组织中国铁建大桥工程局集团有限公司等单位,共同编写本指南。

本指南以国家标准、行业标准及相关规定为依据,结合编写单位在江苏等地多年从事城市轨道交通工程盾构法施工积累的经验,反复讨论修改完成。本书主要包含:概述、盾构机选型、盾构施工准备、管片制作、盾构机始发与到达、盾构掘进施工、不同地质条件与特殊地段盾构施工、盾构法施工常见问题与处理、辅助施工措施、风险与安全管理、工程案例及附录。

本指南在符合国家现行的相关标准和规范规定的基础上,突出盾构法施工管理及技术上的指导作用。盾构隧道的安全施工与质量控制,除应执行本指南外,还应符合国家现行相关强制性标准的规定。

本指南主要为城市轨道交通工程盾构施工单位的技术和管理人员使用,建设单位、监理、勘察、设计、建设主管部门、监管部门以及大专院校等其他单位的相关人员也可作为参考材料学习。

本指南在编写过程中,还得到了全省各地铁建设单位及相关单位的帮助和支持,在此表示衷心的感谢。因编者水平有限,不当之处敬请批评指正,并反馈至江苏省土木建筑学会城市轨道交通建设专业委员会,以便指南的进一步修订和完善。

本书编审委员会

2018年3月

目 录

本指南用术语	1
第1章 概述	3
1.1 盾构法隧道施工发展历程	3
1.2 盾构新技术简介	5
第2章 盾构机选型	15
2.1 盾构机分类	15
2.2 盾构机制造现状	21
2.3 盾构机选型依据及流程	25
2.4 盾构机型确定	26
2.5 盾构机基本参数确定	29
2.6 盾构机主要部件选型	32
第3章 盾构施工准备	39
3.1 施工调查	39
3.2 技术准备	40
3.3 材料、设备和场地准备	41
3.4 施工筹划	43
第4章 管片制作	45
4.1 管片分类	45
4.2 管片选型	45
4.3 管片预制生产	47
4.4 管片运输及存放	53
第5章 盾构机始发与到达	55
5.1 盾构施工端头加固技术	55
5.2 盾构机组装	57
5.3 盾构机始发	60
5.4 盾构到达	69
5.5 盾构机解体	74
5.6 盾构机过站	76
5.7 盾构机调头	78
5.8 盾构水中进洞	79
5.9 钢套筒接收	81
第6章 盾构掘进施工	83
6.1 盾构掘进施工概述	83
6.2 盾构机掘进控制	83
6.3 壁后注浆	88

6.4 渣土改良 96

6.5 管片拼装 99

6.6 盾构换刀 102

6.7 渣土处理和运输 106

6.8 施工测量 111

6.9 施工监测 118

第7章 不同地质条件与特殊地段盾构施工 123

7.1 特殊地质 123

7.2 特殊地段 137

第8章 盾构法施工常见问题与处理 149

8.1 地表沉降 149

8.2 刀盘结泥饼 152

8.3 隧道上浮 154

8.4 姿态偏离 156

8.5 盾构喷涌 159

8.6 地表坍塌 160

8.7 管片错台 161

第9章 辅助施工措施 164

9.1 冷冻法 164

9.2 管棚法 166

9.3 地基加固 171

第10章 风险与安全管理 175

10.1 概述 175

10.2 风险管理标准 175

10.3 风险管理措施 176

10.4 安全管理 182

第11章 工程案例 185

11.1 土压平衡盾构法穿运河施工案例 185

11.2 土压平衡盾构下穿老城区房屋建筑群施工案例 191

11.3 土压平衡盾构切削穿越桥梁桩基施工案例 198

11.4 泥水平衡盾构穿越长江施工案例 205

11.5 土压平衡盾构穿越长距离硬岩段施工案例 218

11.6 土压平衡盾构地层转换施工案例 220

11.7 土压平衡盾构法穿越航油输油管道施工案例 226

11.8 土压平衡盾构穿越机场施工案例 232

11.9 土压平衡盾构穿越城中村施工案例 236

11.10 土压平衡盾构法穿含水砂层施工案例 240

附录A 施工材料记录表格 247

附录B 施工操作记录表格 250

附录C 风险管理表格 256

附录D 工程质量验收表格 260

参考文献 266

本指南用术语

1. 盾构 shield

盾构法及盾构施工行为的总称。

2. 盾构机 shield machine

盾构掘进机的简称，是在钢壳体保护下完成隧道掘进、拼装作业，由主机和后配套组成的机电一体化设备。

3. 工作井 working shaft

盾构组装、拆卸、调头、吊运管片和碴土等使用的工作竖井，包括盾构始发工作井、盾构接收工作井和中间出土井等。

4. 盾构始发 shield launching

盾构开始掘进的施工过程。

5. 盾构到达 shield arrival

盾构到达接收位置的施工过程。

6. 始发托架 originated bracket

盾构始发时的支撑基座。

7. 接受托架 received bracket

盾构到达时的支撑基座

8. 反力架 reaction frame

为盾构始发掘进提供反力的支撑装置。

9. 管片 segment

隧道预制衬砌环的基本单元，管片的类型有钢筋混凝土管片、纤维混凝土管片、钢管片、铸铁管片、复合管片等。

10. 负环管片 temporary segment

为盾构始发掘进传递推力的临时装置。

11. 开模 mould loosening

打开管片模板的过程。

12. 出模 demoulding

管片脱离模具的过程。

13. 防水密封条 sealing gasket

用于管片接缝处的防水材料。

14. 同步注浆 synchronous grouting

盾构机掘进过程中，用盾尾注浆系统注射浆液填充衬砌管环与土体之间空隙的施工方法。

15. 二次注浆 secondary grouting

盾构机掘进过程中或掘进完成后,用注浆泵注射浆液填充同步注浆浆液与土体或管片之间空隙的施工方法。

16. 渣土改良 muck conditioning technology

利用添加剂对刀盘切削下来的土体进行改良,使之满足相应的开挖、运输、处理要求。

17. 掉头 u-turn 或 turn back

盾构施工完成一段后调转方向的过程。

18. 过站 station-crossing

利用专用设备把盾构机拖拉或顶推通过车站的过程。

19. 解体 disintegration

盾构主机(刀盘、盾体、尾盾等)的拆解;主机与后配套系统的分离过程;后配套台车的拆解和电缆管线的拆除过程。

20. 小半径曲线 curve in small radius

地铁隧道平面曲线半径小于 300m、其他隧道小于 $40D$ (D 为盾构外径)的曲线。

21. 姿态 position and stance

盾构的空间状态,通常采用横向偏差、竖向偏差、俯仰角、方位角、滚转角和切口里程等数据描述。

22. 泥饼 mud cake

盾构刀盘切削下来的细小砂土颗粒、碎屑在刀盘上和土仓内重新聚集而成的半固结和固结状的块状体。

23. 椭圆度 ovality

圆形隧道管片衬砌拼装成环后最大与最小直径的差值。

24. 错台 step

成型隧道相邻管片接缝处的高差。

第 1 章 概 述

盾构机是一个横断面外形与隧道横断面外形相同、尺寸稍大，内藏挖土、排土机具，自身设有保护外壳的暗挖隧道的机械。以盾构机为核心的一整套完整的隧道施工方法称为盾构法。盾构法的设想 19 世纪初产生于英国，至今已有 200 年的历史。盾构法施工对环境影响较小、施工速度快、工程质量高、施工人员和机械设备安全性高，故受到人们的极大重视并得以迅速发展。人们不仅开发了软土盾构工法，而且还开发了适于卵石地层等多种其他地层的盾构工法。此外，还在提高工程质量、缩短工期及降低成本等方面作了精心的研究和开发，并取得了较大的成功。目前盾构法在城市隧道施工技术中已确立了稳固的统治地位，且已成为一种必不可少的通用隧道施工技术。

1.1 盾构法隧道施工发展历程

1.1.1 国外盾构施工技术发展概述

1818 年英国布鲁诺 (Mare Isambard Brunei) 最早提出了用盾构法建设隧道的方法，1825 年第一次在伦敦泰晤士河下用一个断面高 6.8m、宽 11.4m 的矩形盾构修建了一条隧道。由于初始未能掌握抵制泥水涌入隧道的方法，隧道施工两次被淹，后来在东伦敦地下铁道公司的合作下，经过对盾构施工的改进，用气压辅助施工，才于 1843 年完成了全长 458m 的第一条盾构法隧道。1865 年，巴尔劳 (B. W. Barlow) 首次采用圆形盾构，并用铸铁管片作为隧道的衬砌。在盾构穿越饱和含水地层时，施加压缩空气以防止涌水的“气压法”最先是在 1830 年由劳德考切兰斯 (Lord Cochrane) 发明的。1874 年，在英国伦敦地铁隧道的施工中，格雷塞德 (James Henry Greathead) 综合了以往盾构施工和气压法的技术特点，首创了在盾尾后面的衬砌外围环形空隙中压浆的施工方法，为盾构施工法的发展起到重大推动作用。1880~1890 年间，在美国和加拿大间的圣克莱河下用盾构法建成一条直径 6.4m，长 1800m 的水底铁路隧道。20 世纪初，盾构法已在美、英、德、苏、法等国开始推广，20 世纪三四十年代在这些国家已成功地使用盾构建成多条地铁及过河公路隧道，仅在美国纽约就采用气压法建成了 19 条重要的水底隧道，盾构施工的应用范围很广泛，有公路隧道、地下铁道以及其他市政公用管道等。1939 年，日本正式应用盾构法施工国铁关门隧道的海底部分，该盾构的外径为 7.182m，隧道总长为 7258m，该工程奠定了日本盾构技术的基础。从 20 世纪 60 年代起，盾构法在日本得到迅速发展，1967 年，日本人应用英国人提出的泥水加压系统成功研制出第一台功能较完善的泥水平衡盾构；1974 年，日本人又成功研制出符合现代施工要求的土压平衡盾构；之后，土压平衡盾构技术得到飞速发展，成功应用于各种地铁隧道、公路隧道、市政管道工程等；同时，伴随着控制技术、液压驱动技术、测控技术、高压密封技术、耐磨材料制备技术等相

继被攻克,土压平衡盾构的制造与应用技术不断提升。以日本和德国企业最为突出,盾构最大直径已超过17m(工程在美国,盾构制造商在日本),已成为全球地质适应能力最强的全断面隧道掘进机的首选工法和设备。

1.1.2 国内盾构施工技术发展概述

我国盾构的开发与应用始于1953年,东北阜新煤矿用手掘式盾构修建了直径2.6m的疏水巷道。1962年2月,上海城建局隧道工程公司结合上海软土地层对盾构进行了系统的试验研究,研制了1台直径4.16m的手掘式普通敞胸盾构,隧道掘进长度68m,试验获得了成功,并采集了大量的盾构法隧道数据资料。1965年3月,由上海隧道工程设计院设计、江南造船厂制造的2台直径5.8m的网格挤压盾构,于1966年完成了2条平行隧道的施工,隧道长660m,地面最大沉降10cm。1966年5月,中国第一条水底公路隧道——上海打浦路越江公路隧道工程主隧道采用由上海隧道工程设计院设计、江南造船厂制造的直径10.22m网格挤压盾构施工,辅以气压稳定开挖面,在水深为16m的黄浦江底顺利掘进隧道,掘进总长度1322m。1973年,上海采用1台直径3.6m的水力机械化出土网格盾构和2台直径4.3m的网格挤压盾构,在金山石化总厂修建了1条污水排放隧道和2条引水隧道。1980年,上海市进行了地铁1号线试验段施工,研制了1台直径6.412m网格挤压盾构,采用泥水加压和局部气压施工,在淤泥质黏土地层中掘进隧道1130m。1986年,中铁隧道集团研制出半断面插刀盾构,并成功用于修建北京地铁复兴门折返线。1987年,上海隧道股份有限公司研制成功了我国第一台4.35m加泥式土压平衡盾构,并于1988年1~9月用于上海市南站过江电缆隧道工程,穿越黄浦江底粉砂层,掘进长度583m。1990年,上海地铁1号线工程全线开工,18km区间隧道采用7台由法国FCB公司、上海隧道股份有限公司、上海隧道工程设计院、沪东造船厂联合制造的6.34m土压平衡盾构。每台盾构月掘进200m以上。

2001年,国家科技部将盾构国产化列入国家“863”计划。在科技部的引导下,中铁隧道集团有限公司和上海隧道工程股份有限公司在盾构开发上取得了巨大成就。适应于软土地层的6.3m土压平衡盾构的设计和制造有了明显突破,完成了样机的制造,初步形成盾构制造、安装、调试的成套工艺技术,已具备规模化制造加工的能力;盾构隧道掘进关键技术已基本掌握;研制出了世上最大的盾构模拟试验平台。2001年2月,中铁隧道集团成立了盾构开发机构,2002年8月在河南新乡建立了盾构产业化基地,成立了以盾构研究开发中心、盾构组装调试中心、盾构制造维修中心为主要发展方向的中铁隧道股份制造公司。上海隧道工程股份有限公司也在上海建立了盾构产业化基地。2004年10月下旬,由上海隧道工程股份有限公司牵头负责,成功制造了1台6.3m土压平衡盾构(先行号)应用于上海地铁二号线西延伸隧道工程。同时,在盾构管片研制、新型泡沫剂研制及渣土改良技术、同步注浆技术方面也取得了一定进展,推动了盾构产业化进程。

“十一五”期间,在国家政策扶持下,北方重工(辽宁沈阳)收购法国NFM,引进国外品牌和技术发展国产盾构机产业;中国中铁、中国铁建在前期技术积累及工程应用的基础上,也相继投入巨资分别在河南郑州、湖南长沙建立盾构产业基地,

自主研发国产盾构机/TBM 产品；上海隧道在消化吸收品牌盾构技术的基础上，逐步形成了具有自身特色的自主研发道路；国内施工队伍采用国外品牌产品完成了如南京长江隧道、钱塘江隧道、武汉长江隧道、锦屏电站输水隧洞、大伙房水库引水隧洞等标志性工程。

“十二五”期间国产盾构机及 TBM 产业不断发展壮大，技术研发实力及市场竞争力不断提升；在国内市场，国产品牌市场占有率快速提高到 70% 以上，产品类型及工程业绩不断丰富，逐步形成了以中国铁建和中国中铁为第一梯队、以中国交建、北方重工及上海隧道为第二梯队的盾构机及 TBM 产品品牌及产业基地。在国外市场，以东南亚地区为重点，累计出口盾构机系列产品约 40 台套；除了产品以外，国内企业加快了技术引进及海外市场开拓的步伐，接连完成了对维尔特、罗瓦特、罗宾斯等国外传统品牌企业的并购或控股。

2009 年以来，国内企业以自主研发的 6m 直径级土压平衡盾构机为突破口，逐步具备了全系列全断面隧道掘进机研制能力，已形成产品的开挖直径覆盖范围达到 3~14m，产品类型包括土压平衡盾构机、泥水平衡盾构机、敞开式 TBM、单护盾式 TBM、双护盾式 TBM、双模式掘进机以及异形断面盾构机等所有市场主流机型。

截止 2015 年底，国产盾构机/TBM 已经参与到我国多个行业的隧道工程建设领域，其中，在城市地铁工程领域，国产盾构机产品覆盖到我国所有地铁在建城市，除此之外，产品应用领域不断拓展到水利工程、铁路隧道、矿山井巷、市政管道、公路隧道等领域，完成了包括兰州地铁穿黄隧道、武汉地铁越江隧道、珠海城际铁路隧道、吉林中部引水隧洞、神东矿区煤矿斜井等标志性工程。

从 20 世纪 90 年代初开始，我国从工程总体外包、盾构整机进口加参与施工、技术引进/合作制造加自主独立施工逐步走到现如今的设备自主研发加完全自主施工及技术加设备出口阶段，实现了一个个重大跨越。特别是近 3 年来，通过原始创新、集成创新等手段，国内自主品牌的土压平衡盾构产品国内市场占有率超 70%，涌现出了以上海隧道、中铁装备、铁建重工、沈阳重工等为代表的盾构研制企业，掌握了盾构总体设计、复合式刀盘研制、大功率驱动系统设计、液压传动与控制系统集成、密封系统集成等多项关键技术；完全摆脱了国外盾构整机企业长期以来的技术垄断和市场垄断，部分国内企业的盾构产品也逐步进入新加坡、马来西亚等东南亚国家市场。

1.2 盾构新技术简介

随着盾构施工技术的进步，新的研究成果不断涌现，盾构施工技术的发展将适应不同复杂工程条件需要，简化多工法配合要求，向一次成型不同断面形式、不同断面尺寸大小以及不同功能要求的隧道结构需求方向发展。

1.2.1 自由断面盾构法

1. 自由断面盾构法原理概要

所谓自由断面盾构法就是在一个普通圆形盾构主刀盘的外侧设置数个规模比主刀盘小的行星刀盘。随主刀盘的旋转行星刀盘在外围作自转的同时绕主刀盘公转，行

星刀盘公转的轨道由行星刀盘扇动臂的扇动角度确定。通过对行星刀盘扇动臂的调节可开挖各种非圆形断面的隧道（图 1-1）。也就是说，通过对行星刀盘公转轨道的设计可选择如矩形断面，椭圆形断面，马蹄形断面，卵形断面等非圆形断面（图 1-2）。此盾构法尤其适用于地下空间受限制的如穿梭于既成管线和水道之间的小型隧道工程。

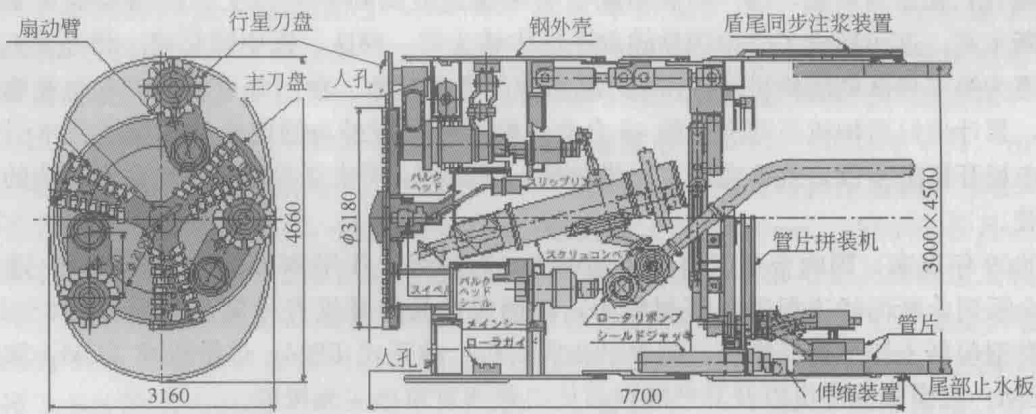


图 1-1 自由断面盾构构造图

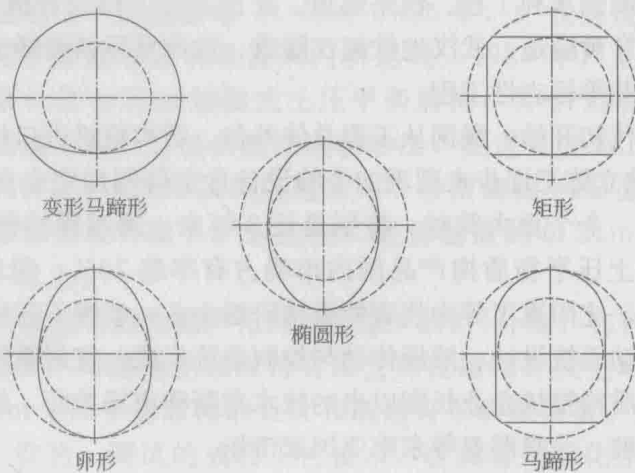


图 1-2 可开挖的非圆形断面

2. 自由断面盾构法特点

与一般盾构法相比，自由盾构法的特点如下：

- (1) 可开挖多种非圆形断面的隧道，选择细长型断面对宽度或深度受限制的地下空间能更有效的利用。
- (2) 可根据不同的使用目的合理选择不同断面，比如共同沟和电力管线等选择矩形断面，公路和铁路隧道则选择马蹄形断面等。
- (3) 隧道断面的最大纵横尺寸之比为椭圆形 1.5 : 1.0，矩形 1.2 : 1.0，马蹄形 1.35 : 1.0。假定各隧道断面的横向宽度等于圆形断面的直径（3.16m），假定圆形断面的面积为 1.0，则椭圆形为 1.7，矩形为 1.5，马蹄形则为 1.6。

(4) 行星刀盘上的刀具以梅花状布置，扇动臂采用计算机自动控制（图 1-3）。

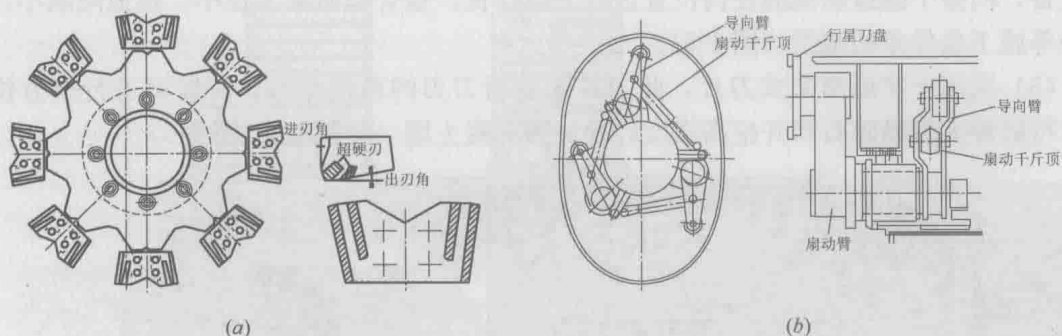


图 1-3 行星刀盘及扇动臂的控制

(a) 行星刀盘；(b) 扇动臂的控制

1.2.2 偏心多轴盾构法

1. 偏心多轴盾构原理概要

偏心多轴盾构采用多根主轴，垂直于主轴方向固定一组曲柄轴，在曲柄轴上再安装刀架。运转主轴刀架将在同一平面内作圆弧运动，被开挖的断面接近于刀架的形状。因此，可根据隧道断面形状要求设计刀架是矩形、圆形、圆环形、椭圆形或马蹄形。图 1-4 为开挖圆形断面和矩形断面的偏心多轴盾构原理示意图。

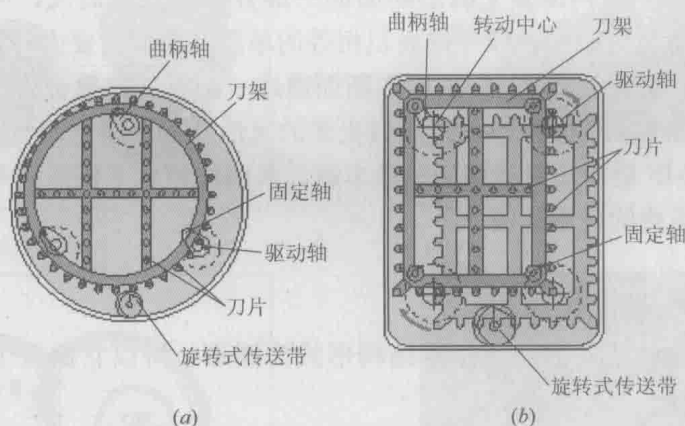


图 1-4 偏心盾构的原理示意图

(a) 圆形断面；(b) 矩形断面

2. 偏心多轴盾构特点

与一般盾构相比偏心多轴盾构具有以下特点：

- (1) 可根据需要选择刀架形状开挖任意断面的隧道。
- (2) 刀架转动半径小，可选择较小的驱动扭矩。因采用多个转动轴同时驱动刀架，所以盾构机具有紧凑玲珑，易装、易拆、易运等特点，适用于大断面隧道开挖。
- (3) 刀架转动半径小，刀具的行走距离也小。从刀具的磨损角度上来说，比一般盾构至少可多开挖 3 倍以上的距离，适合于长距离隧道的开挖。

(4) 刀架驱动装置小, 盾构机内施工操作空间大, 可根据需要在盾构机内配置土体改良设备, 向整个隧道断面的任何位置进行土体改良, 适合于曲率半径小, 隧道间隔小, 土质差等施工条件差的施工 (图 1-5)。

(5) 采用十字形交叉式刀片, 此刀片的前后刀刃的角度相等, 所以可进行全方位开挖。可破碎大直径碎石和开挖高强度纤维加强混凝土墙 (80MPa) (图 1-6)。

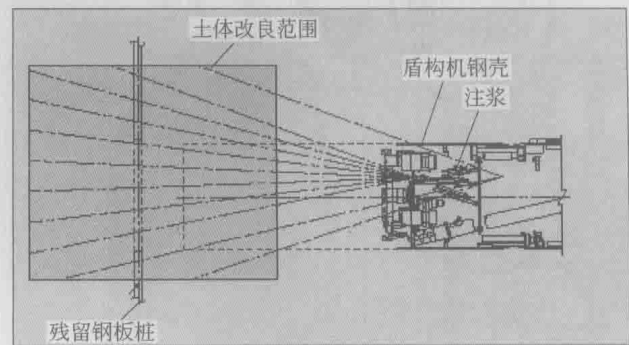


图 1-5 土体改良示意图

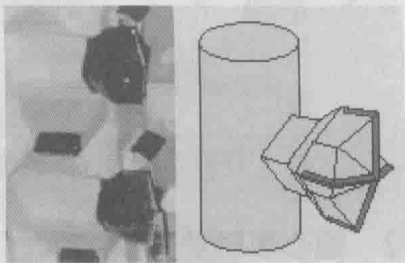


图 1-6 十字形交叉式刀片

1.2.3 MF 盾构法

1. MF 盾构原理概要

MF (Multi Face) 盾构由多个圆形断面的一部分错位重合而成; 可同时开挖多个圆形断面的盾构法。隧道有效面积较开挖面积相等的单圆断面而言要大, 是一种较为经济合理的断面形式。2 个或多个大小不同的圆形断面通过一定规则的叠合可提供任意断面形式的隧道, 在隧道线路规划时对线形的选择有更多的灵活性。上下空间受限制的情况下则可选择横向叠合式。MF 盾构法更适用于地铁车站, 共同沟和地下停车场等大断面隧道的开挖。图 1-7 为 MF 盾构的应用范围。

2. MF 盾构法特点

MF 盾构法的特点如下:

- (1) 由 MF 盾构法建成的隧道基本结构形式为圆形, 所以它保持了圆形断面的力学特性。
- (2) 隧道可由多个小型圆断面叠合形成, 开挖量小断面利用率高。
- (3) 在隧道线路规划时对线形的选择有更多的灵活性, 可根据需要选择横向 MF 盾构或纵向 MF 盾构, 更加适用于地下空间受到限制的隧道建设。
- (4) 根据土质情况和施工条件以及对周围环境影响的需要, 采用泥水盾构或土压盾构。
- (5) 盾构由多个独立控制的圆形断面组成, 可根据不同地质条件进行土体开挖管理。
- (6) 通过调整各刀盘的转速和转向, 利用开挖时作用在盾构上的反力可有效的控制盾构的姿势, 纠偏也相对容易。
- (7) 采用横向多圆盾构法可用于地铁车站, 地铁车辆机务区段的开挖。