

中国中铁四局集团有限公司资助

岩石隧道全断面掘进机施工技术

YANSHI SUIDAO QUANDUANMIAN
JUEJINJI SHIGONG JISHU

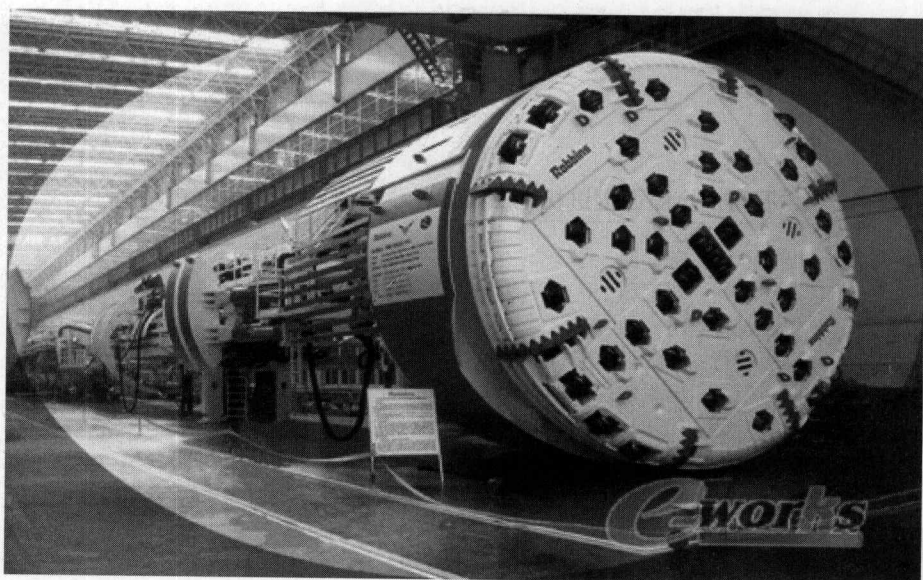
吴 波 阳军生 主编



中国中铁四局集团有限公司资助

岩石隧道全断面掘进机施工技术

吴 波 阳军生 主 编



 安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

岩石隧道全断面掘进机施工技术/吴波,阳军生主编. —合肥:安徽科学技术出版社,2008.8
ISBN 978-7-5337-4166-2

I. 岩… II. ①吴…②阳… III. 隧道掘进机:全断面掘进机-工程施工 IV. U455.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 119003 号

岩石隧道全断面掘进机施工技术 吴 波 阳军生 主编

出 版 人:朱智润

责任编辑:刘三珊 文字编辑:胡彩萍

封面设计:冯 劲

出版发行:安徽科学技术出版社(合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号
出版传媒广场,邮编:230071)

电 话:(0551)3533330

网 址:www.ahstp.net

E-mail:yougoubu@sina.com

经 销:新华书店

排 版:安徽事达科技贸易有限公司

印 刷:合肥晓星印刷有限责任公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:18

字 数:500 千

版 次:2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

定 价:55.00 元

(本书如有印装质量问题,影响阅读,请向本社市场营销部调换)

内 容 提 要

TBM(Tunnel Boring Machine)施工与钻爆法相比,具有施工速度快、工程质量优、作业环境与施工安全性好的特点,更加体现出以人为本、保护环境的优势。TBM 施工技术的推广对推动隧道工程的科技进步和发展具有十分重要的意义。

本书较详细地介绍了 TBM 国内外现状、TBM 原理与构造、TBM 后配套设备、TBM 选型、TBM 施工准备、TBM 掘进、出碴与进料运输、TBM 的检修与保养、TBM 的拆卸与整修、TBM 技术管理等内容。

本书可供从事铁路、公路、水利水电、市政、油气管道以及国防等部门从事岩石隧道掘进机施工的管理、科研、设计、施工、监理的技术人员,以及相关专业大专院校师生参考。

序

21 世纪是我国基础设施建设,包括铁路、公路、水利电力和城市交通等大规模发展时期。根据我国国情和地形地貌特点,建设的隧道工程数量也将日益增多。因此,加快工程建设速度、提高工程质量和以人为本环境保护,是新时代对隧道工程建设者提出的基本目标和要求。

钻爆法对隧道地质条件的适应能力较强、开挖成本相对较低,因此目前乃至今后相当时期仍然是我国隧道施工的主要方法。非爆破方法的综合机械化掘进,具有施工速度快、工程质量优、作业环境和施工安全性好等特点,更加显现以人为本、保护环境的优势,也必然是今后隧道施工的发展方向。

全断面岩石掘进机(简称:TBM)是集机械、电子、液压、激光、控制等技术为一体的高度机械化和自动化,并集掘进、出碴、支护和通风除尘等诸多功能为一体的大型隧道开挖成套作业机械。在我国铁路、公路、水利、水电、油气管道以及国防等工程建设中发展迅速,已逐渐显现出特有的优势,尤其在长、大、深隧洞施工中具有钻爆法无法比拟的优势,具有广阔的市场发展前景。

在国外,美、英、德、法和瑞士等许多发达国家,应用岩石掘进机修建隧道已有几十年的历史,并取得了骄人的业绩。在我国,隧道掘进机起步较晚,20 世纪 60 年代才开始研制、试验,真正应用于隧道施工并取得月掘进 1000m 以上良好成绩的,是在 1990 年以后引进美国 Robbins 公司掘进机完成的甘肃引大入秦隧洞和其后完成的山西万家寨引黄入晋的多条隧洞工程中。我国铁路隧道首次使用掘进机则是 1998 年在西安—安康铁路秦岭 I 线隧道,其后隧道掘进机在西安—南京铁路桃花铺 1 号和磨沟岭隧道继续推广应用。实践表明,TBM 施工要取得预期效果,除了掘进机本身的性能和制造质量要可靠外,与严密的施工组织管理、正确的操作工艺和科学的施工方法是紧密相连的。

该书全面介绍了当前国内外全断面岩石掘进机的技术发展情况,内容涉及掘进机工作原理与构造、主机与关键部件选型、后配套组成与选型、施工准备、掘进、运输、检修、拆卸、施工组织与管理等内容。本书理论联系实际,深入浅出,能够满足 TBM 教学、科研、设计、施工、监理和管理等需要,可望对我国 TBM 的研究、使用、组织管理起到较强的指导和参考作用。

我将本书推荐给从事岩石隧道掘进机教学科研、设计施工、工程管理等工作的广大读者,相信本书的出版对我国隧道全断面机械化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

2008 年 7 月

前 言

我国隧道掘进机(简称 TBM)应用的时间不长,成功的工程实例寥若晨星。目前,已出版的相关书籍也很少,尤其是来自隧道工程第一线、能够有效地指导施工应用的图书更少。为使有关设计、施工和决策者对 TBM 设备及施工技术有一个比较完整和深入的了解,普及相关的技术知识,经相关科技人员的共同努力,终于使《岩石隧道全断面掘进机施工技术》一书得以付梓。

全断面岩石掘进机及施工技术在我国的铁路、水利水电、交通、城市地下工程、油气管道以及国防等隧道建设中发展迅速,应用日益广泛。在隧洞建设中采用全断面岩石掘进机施工技术与设备,具有高效、优质、安全、经济、对岩体扰动小、有利于环境保护和降低劳动强度等优点。

本书内容共 10 章,第 1 章为 TBM 概述,第 2 章为 TBM 原理与构造,第 3 章为 TBM 后配套设备,第 4 章为 TBM 选型,第 5 章为 TBM 施工准备,第 6 章为 TBM 掘进,第 7 章为出碴与进料运输,第 8 章为 TBM 的检修与保养,第 9 章为 TBM 的拆卸与整修,第 10 章为 TBM 技术配套管理。

中国中铁四局集团有限公司副总工程师吴波和中南大学土木建筑学院阳军生教授为本书主要编著者。中铁四局王怀海参与了第 2 章的编写,杨建新参与了第 3 章的编写,杨仲杰参与了第 4 章的编写,李为强参与了第 5 章的编写,聂宗泉参与了第 6 章的编写;中南大学雷金山、陈洁金、张学民参与了第 7 章的编写,傅金阳、阮锦楼、董敏、谢壮、石钰锋参与了第 1 章的编写和其它章节的编录;湖南交通职业技术学院唐亮和黄鑫分别参与了第 8 章和第 9 章的编写;福建工程学院张九香参与了第 10 章的编写。此外,中铁四局集团公司何贤军、伍军、汪清河、王江红、杨振宇、刘道学、王立玲、杨慧丰、尹雪、彭宏伟、胡永、张广林、王永、黄文春、杨坤明、林宏、王勇、朱兴福、刘国龙、欧林果、陈伟康、周振强、宁博群、黄天陪、张纯农、黄万蒂、冯天旺、郭庆智、何建勤、高淑清、李慧忠、李静、郑德禹、宋述强、杨玉龙、胡松涛等专家同事也参与了本书的部分编写工作并提供了相应的支持和帮助。全书由吴波和阳军生负责统稿。

本书的出版得到了中国中铁四局集团有限公司科研基金的资助。编著过程中,中国中铁四局集团有限公司副总经理孔遁和总工程师教授级高工闫子才给予了极大的支持,中铁四局集团公司有关部门及领导对本书的出版也给予了大力的支持,中铁四局集团公司教授级高工罗传义对本书进行了仔细审阅并提出了宝贵的修改意见,在此一并表示衷心的感谢。在本书中引用了参考文献中相应论著的图、表、公式、描述等,在此向被引用者致以谢意。中国工程院刘宝琛院士在百忙之中仔细审阅本书,提出宝贵意见并作序,在此深表感谢!

编著《岩石隧道全断面掘进机施工技术》一书,由于涉及面广,难度大,特别是全断面岩石掘进机技术在我国尚处于发展阶段,设计与使用经验缺乏,有许多问题处于探索之中,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者不吝指正。

编 者

目 录

第一章 TBM 概述	1
第一节 引言	1
第二节 TBM 与盾构机	2
一、全断面岩石掘进机	2
二、盾构机	2
三、全断面岩石掘进机与盾构机对照	2
四、全断面岩石掘进机与盾构机结构的互通性	3
第三节 国内外 TBM 研制概况	3
一、国外 TBM 研制概况	3
二、我国 TBM 研制概况	5
第四节 TBM 施工特点	5
第五节 未来 TBM 的发展趋势	6
第二章 TBM 原理与构造	7
第一节 TBM 分类	7
一、支撑式(敞开式或开敞式)TBM	7
二、护盾式 TBM	7
三、扩孔式 TBM	8
四、摇臂式岩石掘进机	9
第二节 TBM 刀具及破岩机理	10
一、TBM 破岩刀具	10
二、盘形滚刀在刀盘上的布置	14
三、盘形滚刀破岩机理	15
第三节 支撑式 TBM	15
一、支撑式 TBM 构造	15
二、支撑式 TBM 工作原理	29
第四节 护盾式 TBM	30
一、单护盾 TBM	31
二、双护盾 TBM	32
三、三护盾 TBM	34
四、双护盾 TBM 掘进施工水平	35
第三章 TBM 后配套设备	36
第一节 后配套分类	36
一、概述	36
二、后配套分类	36
第二节 后配套组成	38
一、后配套系统组成及作业顺序	38
二、主机所需的配套设备	41

三、洞内出碴运输和运料设备	47
四、临时辅助设施	50
第四章 TBM 选型	53
第一节 掘进机选用	53
一、TBM 掘进技术的适用范围	53
二、选用掘进机施工的要求	54
三、TBM 选型的主要因素	56
四、掘进机选型分析	60
五、掘进机的选型方法	62
第二节 主要技术参数的确定	65
一、刀盘直径选择	65
二、刀盘转速	67
三、刀盘总回转转矩的计算	67
四、刀盘回转功率	68
五、掘进机推力	68
六、掘进速度	70
七、掘进行程	70
八、切深	71
九、掘进机数量的选择	71
十、掘进机安装功率的确定	72
十一、更换边刀和扩大孔径	72
第三节 主要部件的选用	73
一、刀盘、主轴承及密封	73
二、驱动组件和驱动方式	74
三、支撑	75
四、护盾	77
五、控制	82
六、数据采集系统	83
七、掘进机其他辅助设备	83
第四节 后配套的选型	86
一、后配套选型原则	87
二、轨行式后配套平台车的选型	87
三、皮带输送机选型	90
第五节 选型实例	94
一、秦岭隧道所采用的 TBM 施工设计方案	94
二、秦岭隧道施工采用的 Wirth 公司生产的 TBM 技术规格	97
第五章 TBM 施工准备	98
第一节 洞外场地布置	98
第二节 仰拱块的预制	100
一、厂房建设	100
二、模具安装	100

三、仰拱块生产	100
第三节 翻车机的设置	101
一、翻车机位置选择	101
二、翻车机台	102
三、翻车机安装	102
第四节 洞外供电系统	103
一、秦岭隧道出口供电系统	103
二、TBM 施工变电站综合自动化控制系统	104
三、TBM 供电系统	104
第五节 供水与通风系统	105
一、TBM 供水系统	105
二、TBM 通风系统	106
第六节 TBM 的进场运输	106
一、TBM 大件运输	106
二、集装箱、木箱包装和部分裸件(除大件外)的运输	107
第七节 TBM 部件组装场地布置及施工运输	107
一、TBM 部件及其特点	107
二、TBM 部件的组装场地布置	108
三、施工运输	109
第八节 预备洞和出发洞施工	109
一、预备洞和出发洞的作用	109
二、预备洞的长度与断面形式	110
三、出发洞的长度与断面形式	110
四、预备洞和出发洞施工	110
第九节 TBM 的组装与调试	111
一、TBM 组装准备工作	111
二、TBM 组装的基本技术要求及注意事项	111
三、主机及连接桥组装基本顺序	112
四、后配套拖车组装流程	118
五、TBM 后配套系统 1~18 号平台拖车组装	120
六、TBM 主机、后配套系统及其辅助设备调试	127
第十节 TBM 步进	130
一、TBM 步进准备	130
二、TBM 步进作业	131
三、TBM 步进注意事项	131
第六章 TBM 掘进	132
第一节 TBM 施工组织管理机构和劳动力配置	132
一、TBM 施工组织管理机构	132
二、TBM 施工劳动组织及劳力配置	135
第二节 TBM 控制室的操作要点	136
一、控制室的特点	136

二、操作面板布置	137
三、操作步骤及其要点	137
四、操作注意事项	139
第三节 TBM 掘进参数的选择	139
一、影响 TBM 掘进速度的主要因素	139
二、TBM 掘进参数的选择	140
三、掘进参数选择的控制模式	141
第四节 曲线地段 TBM 胶带运输机系统的改进	141
第五节 仰拱块安装与底部处理	143
一、仰拱块安装流程	143
二、仰拱预制块铺设	143
第六节 TBM 换步要点和掘进方向偏差调整	144
一、TB880E 型 TBM 换步要点	144
二、掘进方向调整	146
第七节 隧道控制测量与 TBM 掘进机导向	147
一、工程简介	147
二、洞外控制测量	148
三、洞内控制测量	149
四、贯通测量	149
五、TBM 掘进导向	150
六、效果	153
第八节 反坡段施工排水	153
一、隧道反坡段排水的一般方法	153
二、秦岭 I 线隧道反坡段排水实施方案	153
第九节 通风与除尘	155
一、TBM 施工通风除尘要求	155
二、通风方式和系统布置	156
三、通风除尘系统的工艺流程与操作要点	157
第十节 TBM 施工洞内供电	158
一、TBM 电气设备及其主要技术要求	158
二、TBM 供电系统线路连接及其布置	161
三、供电系统的常见故障	162
四、安全注意事项	162
第十一节 TBM 在掘进中出现的问题及处理方法	162
一、局部洞壁撑紧力不足	162
二、掘进方向偏差超限地段的通过措施	163
三、有关机械的故障处理	164
第十二节 初期支护	164
一、喷射混凝土	165
二、钢支撑的安装	165
三、安装锚杆	166

四、稳定围岩的支护	166
五、软弱围岩的支护	166
六、剥落岩石的支护	166
七、裂隙发育岩体支护	167
八、断层破碎带的支护	167
九、通过岩爆地段的支护	168
十、排水处理	168
第十三节 TBM 施工超前地质预报	168
第十四节 TBM 不良地质地段施工	170
一、坍塌、垮落的主要类型、形态及原因分析	170
二、出现围岩坍塌、垮落后的主要处理措施	171
三、防止围岩坍塌、垮落的主要措施	172
第七章 出碴与进料运输	173
第一节 运输系统	173
一、TBM 掘进隧道的运输系统	173
二、常用出碴及进料系统	176
第二节 运输线路及主要设施	177
一、移动式出碴平台拖车	177
二、洞内线路轨道铺设	177
三、洞外线路轨道铺设	177
四、翻车机及翻车机台	178
第三节 列车编组	178
一、列车组成	178
二、列车数量	178
第四节 机车车辆	178
第五节 牵引力计算分析	180
一、列车牵引阻力	180
二、机车牵引力	181
第六节 列车解体与编列作业	181
一、列车解体	181
二、列车编组	182
三、损坏车辆的解体与编组	182
第七节 运输组织及行车调度	182
一、运输组织	183
二、行车调度	183
第八节 运输安全措施和制度	186
一、安全措施	186
二、列车运行应遵守的制度	187
第八章 TBM 的检修与保养	189
第一节 主机及其辅助设备的检修与保养	189
一、油样分析和机况监测	189

二、维修保养	204
第二节 后配套设备的检修与保养	216
一、油样分析和机况监测	216
二、后配套系统维修保养	217
第三节 运输设备的检修与保养	224
一、检查保养	224
二、人员组织	224
三、检查保养内容	224
四、保养维修程序	225
五、日常保养检修项目和内容	225
第四节 TBM 维护保养的成效	229
第九章 TBM 的拆卸与整修	231
第一节 拆卸洞施工	231
一、拆卸洞的作用	231
二、拆卸洞的结构和断面尺寸	231
三、拆卸洞施工	232
第二节 TBM 拆卸前的状态检测	233
第三节 TBM 拆卸过程中的技术工作	242
一、TBM 拆卸过程中的技术状况鉴定	242
二、TBM 拆卸前后的保养	242
三、TBM 拆卸过程中的技术档案工作	243
第四节 TBM 洞内拆卸	249
一、起吊和运输设备	249
二、拆卸方案	250
三、拆卸注意事项	254
第五节 TBM 整修与存放	256
一、整修项目及内容	256
二、典型部件的修整工艺	257
三、拆修后零部件的存放	262
第十章 TBM 技术配套管理	263
第一节 TBM 技术室的工作内容和制度	263
一、TBM 技术室的工作内容	263
二、规章制度细则	264
第二节 备品、备件的管理和保障供给措施	268
一、备品、备件管理	268
二、备件管理人员的职责	271
参考文献	274

第一章 TBM 概述

第一节 引言

21 世纪人类进入地下空间开发的新时代,世界各国日益重视地下空间的开发利用,地下工程的施工机械也在迅猛发展。特别是在修建长隧道过程中,当隧道长度超过 15 km 时,就要优先考虑采用隧道掘进机。

在地下工程的开发利用中,各国竞相修建长隧道。但是当隧道长度过长时,常规钻爆法进行隧道施工将需要相当长的工期,采用许多斜井、竖井分割长隧道的施工方法是不可取的,而隧道掘进机法施工则适合长隧道施工的需要。国外实践证明:当隧道长度和直径之比大于 600 时,采用隧道掘进机施工是经济的。隧道掘进机的英文名称是 Tunnel Boring Machine,简称 TBM。

TBM 技术是极其先进的,它结合了结构设计、金属设计、电气、电子技术、信息、遥测、遥控、机械化技术、液压传动技术、计算机应用科学和定位测量等学科的最新成果。TBM 在施工过程中广泛使用这些技术对全部作业进行监控,使掘进过程始终处于最佳状态,可一次完成隧道全断面掘进、初期支护、石碴运输、仰拱块铺设、注浆以及风、水、电管路和运输线路的延伸等,就像一列移动的列车,实现隧道的工厂化施工,因此在国际上有“移动式掘进工厂”之称。

近年来,掘进机向断面多样化、多工作面方向发展,现已研制成功圆形、矩形、椭圆形、双圆形、三圆形的掘进机,在开挖地铁车站、铁路隧道、水下隧洞等地下工程中发挥了重要作用。20 世纪 80 年代以来,微型掘进机技术在一些发达国家得到应用,不需对地表“开膛破肚”即可在地下开挖、铺设、更换各种管道。从总体上看,掘进机技术是计算机、新材料、自动化、信息化、系统科学、管理科学、非线性科学等高新技术的综合,是目前最先进的隧道施工技术。

从国内外的隧道掘进机的施工实例来看,TBM 最大的优点是快速。其掘进速度为常规钻爆法的 3~10 倍。此外,采用 TBM 施工还有优质、安全、有利于环境保护和节省劳动力等优点。由于 TBM 提高了掘进速率,工期可大大缩短,因此在整体上是经济的。而 TBM 的缺点主要是对地质条件的适应性不如常规的钻爆法强;主机重量大;前期订购费用较高;对施工人员技术水平和管理水平要求较高;对短隧道不能发挥其优越性。但随着科学技术的不断进步,TBM 设备制造及其施工技术日趋成熟和完善,国内外采用 TBM 施工的隧道会越来越多,它已成为隧道施工的主要方法之一。

我国在 20 世纪 60 年代中期成立了 TBM 攻关小组,研究并发展掘进机技术;70 年代进入 TBM 工业性试验阶段,试制出 SJ55、SJ58、SJ64、EJ30 型掘进机;80 年代进入实用性阶段,研制出 SJ68A、SJ58B、SJ40/45、RJ30/32、EJ50 型掘进机,在河北引滦、引黄济青、贵阳煤矿、陕西古交和怀仁煤矿等工程中使用。但因种种原因,国产掘进机的可靠性与技术性能与国外掘进机相比还有相当大的差距,掘进机的应用未能在国内得到推广。

我国的 TBM 技术虽然起步相对较晚,但因为 TBM 在施工安全、环保、经济和社会效益等方面具有独特的优点,使 TBM 受到越来越广泛的关注,逐步成为隧道工程的主流施工方法。

进入 21 世纪,随着中国基础设施的大规模建设,西部大开发、铁路、公路、大中型水电站、南水北调、西气东输等工程中都有大量的长隧道需要建设;现代城市建设中的地铁工程、市政工程(排污管、输水管等)、越江穿海隧道也在不断增加。开挖这些巨大的地下工程,工期对经济效益和生态环境等方面有着重大影响,而且地下工程掘进工作面又常常受到很大的限制,面对速度、环保、效益等问题,使用全断面隧道掘进机无疑是最好的选择。

第二节 TBM 与盾构机

掘进机可分为部分断面掘进机和全断面掘进机两大类;按照地层条件和具体施工方法的不同,又可将隧道掘进机分为硬岩隧道掘进机(又称全断面岩石掘进机)和软岩隧道掘进机(又称盾构机)。

一、全断面岩石掘进机

全断面岩石掘进机由主机和后配套系统两大部分组成。主机用于破碎岩石、装载、转载,后配套系统用于出碴和支护、衬砌、回填、灌浆等。主机主要包括刀盘、刀盘驱动、主轴承及密封装置、支撑和推进机构、定位导向系统、操纵控制室等。后配套设备是由一系列轨道工作平台组成的台车,其主要装置有:掘进机及辅助设备的液压和电动装置、变压器及电缆、输送石碴的皮带机、机械传动装置、起吊设备、装卸轨道、砼预制管片、消尘器装置、供风系统、排气设备、豆砾石灌注系统、水泥灌浆系统、激光导向系统和安全保护系统等。

全断面掘进机破岩靠安装在机头刀盘上的刀具旋转来完成。掘进机工作时支撑和推进机构的支撑构件紧压隧洞围岩岩壁,使主机架固定,在液压系统的推力作用下,安装在刀盘上的盘形滚刀绕刀盘中心轴公转,并绕自身轴线自转。掌子面的岩石被盘形滚刀挤压、破裂而形成多道同心圆沟槽,相邻的两把滚刀正好压碎相邻的全部岩石。由于滚刀不断地切割岩石,沟槽深度不断增加,岩体表面裂纹加深、扩大,相邻沟槽间的岩石成片剥落,刀盘刀具在压紧状态下不断地公转、自转,完成破岩这一工序。

二、盾构机

盾构机用于土质隧道暗挖施工。它具有金属外壳,壳内装有整机及部分辅助设备,在外壳掩护下进行土体开挖、土碴排运、整机推进、管片拼装等作业,通过割刀切割土体,使隧道一次成形。

盾构机施工的主要原理就是尽可能在不扰动围岩的前提下完成施工,从而最大限度地减少对地面建筑物及地基内埋设物的影响。为了达到这一目的,除了刀盘和盾构钢壳可以被动地产生支护作用以外,使用压力舱内泥土或泥水压力来平衡开挖面上作用的土压力和水压力,使用壁后注浆及时充填由开挖产生的盾尾空隙,主动地控制围岩应力释放和变形,是盾构技术的关键。根据稳定开挖面的措施的不同,可将盾构分为不同的种类,如:泥浆式盾构、土压平衡式盾构、敞开式盾构、压缩空气式盾构、组合式盾构等。

三、全断面岩石掘进机与盾构机对照

全断面岩石掘进机和盾构机在施工方法和适用范围方面都有较大的不同。TBM 施工的对象是山岭隧道,其围岩多是可以自立稳定的岩石,所以机械上不设置压力舱,其衬砌也很少

使用管片;而盾构机一般用于以土为围岩的隧道工程施工中,与岩石围岩不同,土体不具有自立稳定性,所以保持开挖面稳定的系统(盾)就非常重要。

四、全断面岩石掘进机与盾构机结构的互通性

全断面岩石掘进机与盾构机在施工实践中都会遇到一些问题,如:盾构机在土质隧道掘进中有时会遇到短距离的岩石段,因其自身的结构特点就很难掘进;全断面岩石掘进机在岩石隧道掘进中会遇到软岩、岩石破碎带、断层及短距离土质段,也会因其自身的结构特点而很难继续掘进。近二三十年来,全断面岩石掘进机与盾构机的发展是各自从结构上吸取对方的优点,以弥补自身的不足。盾构机在刀盘上除了割刀(铲刀)外,有的还可布置一定数量具有掘进机结构特征的盘形滚刀,以便通过短距离的岩石段。现代双模式盾构机(或称混合式盾构机)已经具备了盾构机和岩石掘进机的双重功能,在软土中开挖时采用螺旋输送机或泥浆管系统出碴,在岩石中掘进时可采用皮带机出碴,适用于软土和硬岩交替出现的混合地层。全断面岩石掘进机的发展则产生单护盾、双护盾、三护盾掘进机,这类掘进机配备了具有盾构机结构特征的盾壳、割刀,以便通过软岩、破碎带和断层段。

第三节 国内外 TBM 研制概况

一、国外 TBM 研制概况

国外制造掘进机的厂商较多,20 世纪 60 至 70 年代世界上有 4 家实力较强的掘进机制造公司,即美国的罗宾斯公司、佳伐(JARVA)公司、德国的维尔特公司和德马(DEMAG)公司。罗宾斯公司于 1952 年生产出第一台实用的岩石掘进机,其他几家公司均在 20 世纪 60 年代中期开始研制掘进机。

近十几年来,在剧烈的国际市场竞争中,涌现了很多掘进机企业的后起之秀,如:加拿大洛瓦特公司,以生产盾构机为主;德国海瑞克公司,主要生产盾构机;日本的小松、川崎、三菱等企业,生产的掘进机基本上是罗宾斯机型。

全断面岩石掘进机设备的专业性很强,应用条件限制较多,加上设备的设计制造周期较长,生产成本相对较高,因此与通用工程机械的生产商相比,全断面岩石掘进机的市场较小,生产厂家相对比较少,而且生存和发展比较艰难。国外主要掘进机制造公司的产品自成系列,其产品的零部件在公司内已通用化。以下介绍几家掘进机公司的产品。

(一)维尔特公司产品

维尔特公司生产岩石掘进机有近 40 年的经验。1976 年制造出第一台岩石掘进机,直径为 2.14 m。维尔特开式掘进机有以下特点:在大刀盘上安装有盘形滚刀;为凯式梁式;采用 X 形支撑系统;在大刀盘切削岩石时,大刀盘上没有转向力;对洞壁的支撑力是可控的。其护盾式岩石掘进机有可伸缩式护盾和单护盾两种。大刀盘上装有滚刀或锯齿,用于不稳定地层。维尔特 TB880E 掘进机见图 1-1 所示。

(二)罗宾斯公司产品

罗宾斯掘进机直径范围是 2~11.87 m。在敞开式掘进机的设计上,分为主梁式和凯式梁式。主梁式掘进机的特点是:采用一对水平支撑;水平支撑位于主梁后部,它支撑着掘进机后部的重量,同时承受扭矩和推力的反力;梁体长,但电动机减速箱等传动系统都靠近大刀盘布

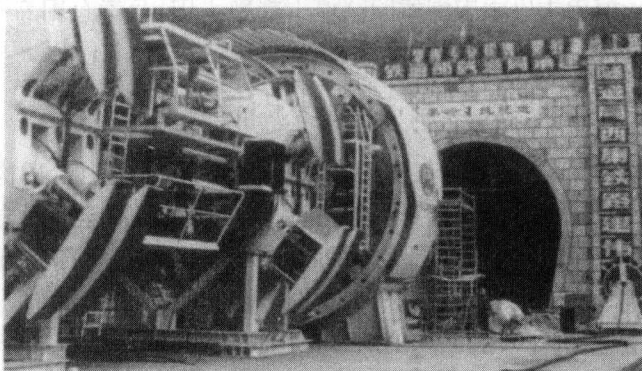


图 1-1 维尔特 TB880E 掘进机

置；主梁后端相对于水平支撑可向上、向下和侧向移动，可在掘进中随时进行连续调向。凯式梁式掘进机的特点是：采用两套水平支撑，都设在主机身的中部；它的支撑力，一方面给予整机稳定的支撑，同时承受扭矩和推力的反力；掘进作业过程中不能调向。罗宾斯 MB264-310 支撑式掘进机见图 1-2。

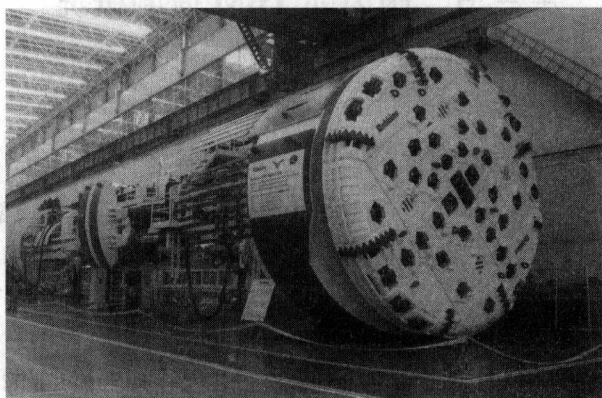


图 1-2 罗宾斯 MB264-310 支撑式掘进机

(三) 海瑞克公司产品

海瑞克公司的岩石掘进机尚未系列化，均以每个项目进行编号，该编号与掘进机的性能参数无关。海瑞克 S-174 型支撑式掘进机见图 1-3。

掘进机产品系列的主要参数如刀盘驱动功率、刀盘扭矩及推力等，是根据硬岩刀盘额定转速及每把盘形滚刀承受的最大推力确定的。其发展历程如下：

(1) 盘形滚刀推力从每把刀 20 t 增至 40 t，盘形滚刀直径从 394 mm 增至 534 mm。目前常用的是 432 mm 和 483 mm 盘形滚刀。483 mm 盘形滚刀尺寸大，轴承承受载荷大，破岩量大，但自重大，安装、更换困难，洞内换刀普遍由刀盘前换刀改为刀盘背面更换。

(2) 全断面掘进机的第一代产品是单支撑结构，这种掘进机头部比较重，而且都由洞底承受，容易造成头部下陷，所以逐步改进成第二代产品：双支撑掘进机。这种机型有利于克服机头下沉的缺陷，能在较大范围内寻找支撑点。

(3) 在单护盾掘进机的基础上，适用于软、硬岩石的双护盾掘进机得到广泛发展，并被普遍使用。PLC(可编程控制器)控制被普遍采用，代替了过去的有线继电器逻辑控制。PLC 具有

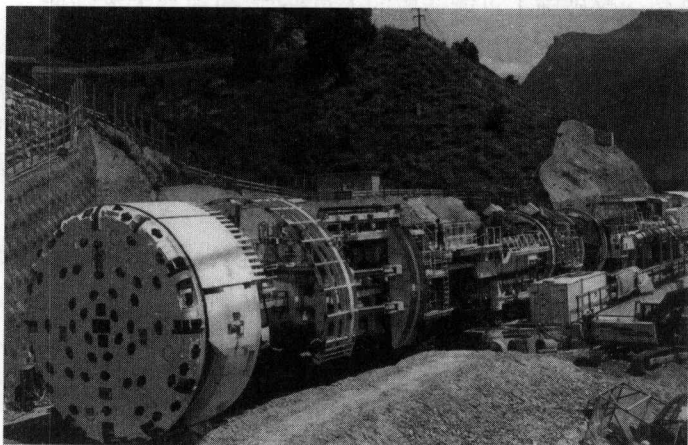


图 1-3 海瑞克 S-174 型支撑式掘进机

较强的抗干扰能力,现代掘进机都采用 PLC 来控制掘进机的液压、润滑和电气等系统。

(4)掘进机的断面形式向多样化发展。TBM 的断面形式不仅有单圆断面、双圆或多圆断面,还发展了一些异形断面,如椭圆形、矩形、马蹄形。

目前国外掘进机的技术水平如下:掘进机刀盘直径 1.5~12 m,扩孔式掘进机刀盘直径可达 15 m 以上;可用于岩石单轴抗压强度 250M~350MPa 的隧道;平均月进尺 600~800 m;刀具寿命达 300~500 m。

二、我国 TBM 研制概况

我国是一个多山的国家,在铁路、公路、水路等领域必然会出现不同直径的长隧道,且这些隧道多处于软硬交替的地层中。钻爆法是我国的强项,也符合我国劳动力过剩的国情,但是对特长隧道,从经济、工期、工作环境等方面来看,应优先考虑使用 TBM。我国于 20 世纪五六十年代开始研究全断面岩石掘进机(TBM)。经过 40 多年的研究和工程实践,目前我国的一些生产厂已能独立制造 TBM,或与国外著名厂商合作制造高性能的 TBM;一些专业的施工企业已经能熟练使用世界上最先进的 TBM。

第四节 TBM 施工特点

全断面岩石掘进机施工具有以下 5 个特点:

(1)快速。掘进机可以实现连续掘进,能同时完成破岩、出碴、支护等作业,并一次成洞,掘进进度快、效率高。用钻爆法,则钻孔、装药、放炮、通风、照明、排水、出碴等作业是间断进行的,大截面隧洞又要分块开挖,不能一次成洞,掘进速度慢,效率低。

(2)优质。掘进机实行机械破岩,避免了爆破作业,成洞周围岩层不会因受爆破震动而破坏,洞壁完整光滑,超挖量少,一般小于开挖隧洞断面面积的 5%,减少了衬砌量;而钻爆法爆破成洞,围岩震裂,洞壁粗糙且凹凸不平,超挖量大于开挖隧洞断面面积的 20%,衬砌厚。

(3)经济。掘进机施工速度快,可减少支洞数量及相应的临建、水、电、路等设施,缩短了工期,大大提高了经济效益与社会效益。由于超挖量小,节省了大量的衬砌费用。

(4)安全。用掘进机施工,有护盾保护加上及时衬砌,改善了作业人员的洞内劳动条件,减