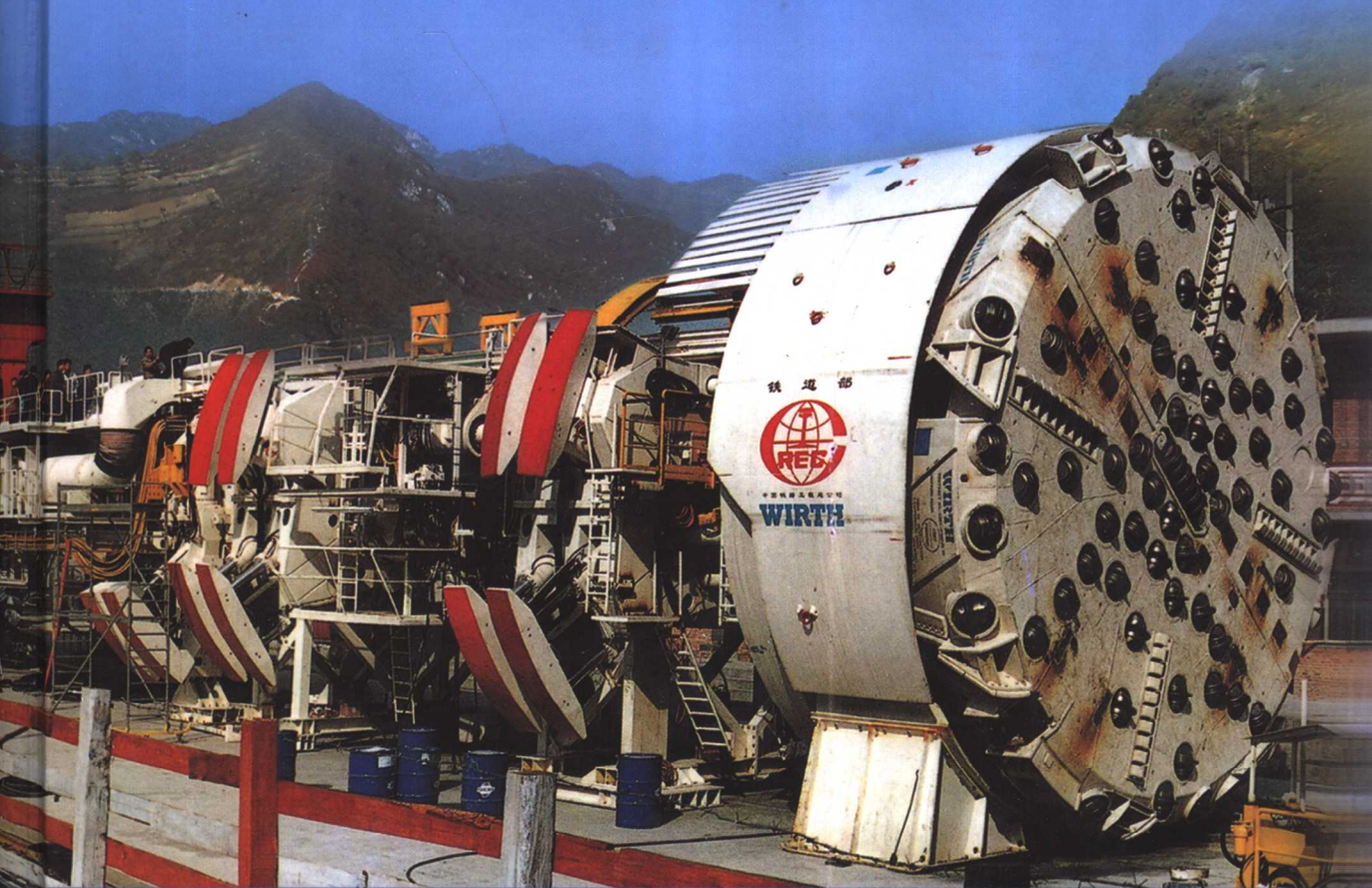


岩石隧道掘进机 (TBM) 施工及工程实例

本书编纂委员会 编 著



中国铁道出版社

岩石隧道掘进机(TBM)

施工及工程实例

本书编纂委员会 编著

中 国 铁 道 出 版 社

2004年·北京

内 容 简 介

本书精辟阐明了岩石隧道掘进机(TBM)的类型、选用方法及工作原理,TBM后配套设备,TBM施工方法,TBM施工管理;列举了国内外采用TBM施工的典型工程实例;指出了TBM及其施工的发展方向。在附录中介绍了国外岩石隧道掘进机生产厂家及其业绩;发表了隧道掘进机(TBM)英汉常用词汇。

本书可供铁路、公路、水利电力、城建、市政、国防等部门从事隧道及地下工程专业的科研、设计、施工、监理的技术人员,管理人员,相关专业的大学教师与学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩石隧道掘进机(TBM)施工及工程实例/《岩石隧道掘进机(TBM)施工及工程实例》编纂委员会编著. 北京:中国铁道出版社,2004.9

ISBN 7-113-05754-3

I. 岩… II. 岩… III. 隧道掘进机—工程施工 IV. U455.31

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第081079号

书 名:岩石隧道掘进机(TBM)施工及工程实例

作 者:本书编纂委员会 编著

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑:刘启山

责任编辑:刘启山

印 刷:北京盛通彩色印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16 印张:23.5 插页:2 字数:576千

版 本:2004年9月第1版 2004年9月第1次印刷

印 数:1~1500册

书 号:ISBN 7-113-05754-3/TU·766

定 价:100.00元



版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话 63583191

发行部电话 63549495

《岩石隧道掘进机(TBM)施工及工程实例》

编纂委员会成员名单

主任委员	王梦恕			
副主任委员	李典璜	张镜剑	傅冰骏	
委员	(以姓氏笔画为序)			
	王梦恕	王建智	刘启山	沙明元
	麦启贤	李典璜	张镜剑	张豫生
	陈荷友	徐书林	傅冰骏	殷耀章
	薛备芳			

序

我国是一个多山的国家,山体是由不同软、硬,不同层理的岩石所组成。随着铁路、公路、水电等工程建设的发展,为了满足快速、舒适、重载、车辆运行间距加密、以人为本的运营条件的要求,必然会出现许多长度大于6 km的隧道,出现许多横断面大于80 m²的隧道;尤其是以南水北调工程为代表的水利水电工程,将会出现一批特长大的隧洞。在我国隧道施工的历史上,多采用以人力为主的钻爆法进行开挖;20世纪80年代以来,曾采用无轨设备进行装碴、运输。这些施工方法的缺点是较为粗放,超挖较大,无轨运输又带来洞内空气环境的严重污染,重载汽车往返运输对仰拱路层造成破坏,施工速度最高为单口月成洞150 m左右。在无条件设置辅助工作面的情况下,这些施工方法已不适应特长隧道的快速建成。因此,隧道掘进机(TBM)的开发应用,就提到日程上来。例如,长18.4 km的秦岭铁路单线隧道,是在埋深很大,增设斜、竖井明显不合理的条件下,为缩短工期而提出采用TBM进行施工的,这个决策是正确的、适时的。

在西(安)(安)康铁路秦岭Ⅰ线特硬岩隧道施工中,我国首次选用了敞开式TBM。在铁道部有关部门领导和组织下,通过国际招标,选定德国威尔特公司为TBM的制造商。该公司按照参建各方结合工程地质、水文地质和设计文件提出的近350条TBM的技术条件和制造要求,成功地制造了两台 $\phi 8.8$ m敞开式TBM主机和适用于软、硬围岩的后配套。随后,在西(安)南(京)线特软岩、富水的磨沟岭隧道(6.2 km),桃花铺1号隧道(7.1 km)也相继采用了该种型号的TBM。该设备能实现对软弱围岩及时支护,比全护盾TBM灵敏度高,易随时精确调整方向。

敞开式TBM不仅适用于硬岩施工,而且适用于软岩施工,已被上述三座隧道优质、快速、成功地建成所证实。

实践出真知,这本书就是紧密联系工程实践,以许多工程为背景的真实总结,并对于推进TBM的发展提出了许多新的观点和新的思路。这本书虽以编著的形式出现,但其实质是对原有TBM的分类及应用原则提出了许多不同看法,指出全护盾TBM施工中不能对围岩及时支护,易造成坍方,又有控制开挖方向不灵敏的缺点,因此不适应精度要求很高的铁路隧道施工。

我国是世界上隧道建成最多的国家,是隧道穿越多种复杂地层的国家,也是隧道工程建设发展最快的国家。本书作者都是工作在TBM施工第一线的专家,他们的

新观点和新认识也是从大量工程背景中得出来的,这就是本书的价值所在。这本书以著为主,以编为辅,可供从事隧道及地下工程的决策者、设计者、施工者及大学教师与学生参考。本书是具有很高水平的隧道工程技术和学术专著,其价值在于将会对21世纪隧道和地下工程的发展产生深远的影响,也将为我国研制、开发小型TBM先行,钻爆法扩挖混合模式创造了良好条件。这就是我为本书作序的目的所在。

中国工程院院士 王梦恕

2004年春节

前 言

伴随着21世纪人类开发利用地下空间时代的来临,地下工程的施工机械化在迅猛发展。岩石隧道掘进机(岩石tunnel boring machine,以下简称TBM)近年来更显现出发展势头,高科技成果的引进和开发应用,使其日益完善,更加适应于长大隧道现代化快速施工的需要,并在世界长大隧道中取得了世人瞩目的成就。长150 km的英吉利海峡隧道采用11台TBM,仅用50个月就建成了;南非莱索托水工隧洞用TBM施工成功建成;中国甘肃引大入秦工程中,TBM创造了月进度1 300 m的记录;中国秦岭铁路隧道用 $\phi 8.8$ m的TBM在特硬岩中掘进,取得了单口月最高进度528 m的成绩;中国引黄入晋引水隧道、中国香港地铁和中国台湾双线公路隧道等工程,在TBM施工中各具特色。建设者们在施工实践中总结了丰富的经验和体会,为了把TBM施工及上述有代表性隧道的施工情况和经验介绍给读者而编著本书。盾构是掘进机的一种,用于土质隧道施工,不在本书中论述。本书中所述TBM,系专指用于岩石隧道施工的掘进机。

本书文稿的主要编著者,都是来自中国TBM研究和隧道施工的第一线。他们中有的是多年从事TBM机械设计及研究、引进国外先进技术设备,以及负责TBM的组装、调试、掘进和拆卸的专家。有的是多年从事TBM施工隧道工程项目的负责人、专家、监理工程师、科研项目负责人。他们结合各自的生产实践和体会撰写了本书。因此,本书贴近最近几年TBM的生产实践,其读者对象是从事TBM设计、组装、调试、掘进和拆卸的机械工程师,相关隧道工程师、监理工程师和工程项目管理人员,以及隧道工程科研、教学工作者。

本书各章节执笔者为:绪论 王梦恕、张镜剑、傅冰骏;第一章 岩石隧道掘进机的类型、构造、选择及工作原理 薛备芳、薛琦;第二章 TBM后配套设备 殷耀章、陈荷友;第三章 TBM法施工 沙明元、王梦恕;第四章 TBM施工管理 李典璜、茅伟才、刘春;第五章 TBM施工工程实例 第一节 英吉利海峡铁路隧道 张镜剑、傅冰骏;第二节 南非莱索托水工隧洞 徐书林、傅冰骏;第三节 瑞士菲尔艾那铁路隧道 李典璜;第四节 中国引大入秦引水隧洞 张豫生;第五节 中国秦岭铁路隧道 李典璜、王梦恕;第六节 中国引黄入晋水工隧洞 张镜剑、薛继洪;第七节 中国香港市政、地铁、西部铁路隧道 麦启贤、莫礼士;第八节 中国台湾公路、发电及水工隧道 王建智;第六章 展望 王梦恕、张镜剑;附录一 掘进机

开挖斜井部分业绩表;附录二 德国Wirth公司1990年以来施工工程一览表;附录三 国内外主要隧道掘进机生产厂家简介、有关著名学报(期刊)索引及国际隧道掘进机机械化施工培训研究教学大纲 李仕森、傅冰骏、张镜剑、李典璜;附录四 隧道掘进机(TBM)英汉常用词汇 傅冰骏、张镜剑、李典璜。

由于编著者水平有限,错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

本书的出版得到了中国铁路工程总公司、中国铁道建筑总公司、中铁隧道工程集团公司、中铁十八工程局集团公司的支持和帮助,在此深表感谢。

编著者

2003年9月

目 录

绪 论	(1)
第一章 岩石隧道掘进机的类型、构造、选择及工作原理	(4)
第一节 概 述	(4)
一、掘进机的定义	(4)
二、掘进机的分类	(5)
三、全断面岩石隧道掘进机(TBM)	(6)
第二节 全断面岩石隧道掘进机的构造	(16)
一、刀 具	(17)
二、刀 盘	(23)
三、刀具在刀盘上的布置	(25)
四、大轴承及其密封	(28)
五、刀盘驱动系统	(31)
六、刀盘支承	(35)
七、掘进机头部机构及稳定头部装置	(36)
八、敞开式掘进机刀头后的结构和机构	(37)
九、双护盾掘进机机头后的结构和机构	(38)
十、司 机 室	(39)
十一、出碴系统	(40)
十二、润滑系统	(41)
十三、液压系统	(45)
十四、水 系 统	(56)
十五、空气系统	(57)
十六、除尘系统	(60)
十七、电气系统	(62)
十八、定位导向系统	(63)
十九、信息处理系统	(66)
二十、地质预测系统	(67)
二十一、衬砌、支护系统	(68)
二十二、吊运系统	(69)
第三节 掘进机工作原理	(69)
一、刀具破岩机理	(69)
二、掘进工况时的工作原理	(71)
三、掘进机进洞工况	(77)
四、掘进机系统工程运作原理	(80)

五、掘进机的特点·····	(81)
第四节 掘进机选型·····	(83)
一、掘进机选型在工程施工中的位置·····	(83)
二、工程施工对掘进机选型的要求·····	(83)
三、掘进机选型的依据·····	(85)
四、隧道与非隧道的决策·····	(86)
五、洞挖与明挖·····	(86)
六、掘进机与钻爆法技术经济比较·····	(86)
七、掘进机的选型·····	(88)
八、掘进机主参数的选择·····	(91)
九、掘进机数量的选择·····	(94)
十、掘进机选型的工程案例·····	(94)
第二章 TBM后配套设备·····	(100)
第一节 后配套的类型·····	(100)
一、概 述·····	(100)
二、后配套类型·····	(100)
第二节 后配套的选型原则·····	(103)
一、选型原则·····	(103)
二、秦岭隧道TB880E TBM后配套选型分析·····	(103)
第三节 适用于硬岩、软岩的后配套组成·····	(105)
一、TBM的液压系统·····	(105)
二、TBM的供电系统·····	(108)
三、胶带运输系统·····	(110)
四、通风系统·····	(115)
五、降温、防尘、供水及安全系统·····	(116)
六、隧道支护设备系统·····	(118)
七、其它辅助设备·····	(119)
第四节 体会与结论·····	(120)
第三章 TBM法施工·····	(121)
第一节 TBM施工方式的选择·····	(121)
一、采用TBM施工法的要求·····	(121)
二、秦岭隧道所采用的TBM施工设计方案·····	(124)
三、秦岭隧道施工采用的WIRTH公司生产的TBM技术条件·····	(128)
第二节 TBM施工的前期准备·····	(130)
一、洞外场地布置·····	(130)
二、预备洞、出发洞开挖·····	(130)
三、TBM供电系统·····	(131)
四、TBM供水系统·····	(132)
五、TBM的通风系统·····	(133)
六、仰拱预制块生产系统(车间)·····	(133)

七、机械修理车间·····	(133)
八、配件库、材料库、材料厂·····	(133)
九、施工运输和材料准备·····	(133)
十、翻车机室·····	(134)
十一、生活设施·····	(134)
第三节 TBM的运输、组装与调试·····	(134)
一、TBM组装准备工作·····	(134)
二、TBM组装基本技术要求及注意事项·····	(135)
三、主机组装基本顺序·····	(136)
四、连接桥组装基本顺序·····	(137)
五、后配套拖车组装流程·····	(137)
六、TBM主机、后配套系统及其辅助设备调试·····	(137)
第四节 TBM掘进作业·····	(142)
一、TBM的掘进操作·····	(142)
二、掘进模式的选择·····	(143)
三、掘进参数的选择·····	(144)
四、TBM施工劳动组织及劳力配置·····	(146)
第五节 出碴与进料运输系统·····	(148)
一、TBM掘进隧道的运输系统·····	(148)
二、秦岭隧道TBM施工的出碴运输系统·····	(150)
第六节 TBM施工通风与除尘·····	(151)
一、通风方式选择·····	(151)
二、通风量计算·····	(151)
三、通风机的选择及通风管理·····	(153)
四、秦岭隧道TBM施工通风·····	(153)
第七节 混凝土仰拱预制块生产及铺设·····	(155)
一、仰拱预制块生产·····	(155)
二、仰拱预制块铺设·····	(155)
第八节 地质预报·····	(157)
一、国内外研究和实践现状·····	(157)
二、地质超前预报方法及其应用·····	(157)
第九节 TBM通过不良地质地段的措施·····	(160)
一、坍塌、坍塌的主要类型、形态及原因分析·····	(160)
二、出现围岩塌滑、坍塌后的主要处理措施·····	(160)
三、防止围岩塌滑、坍塌的主要措施·····	(161)
第十节 TBM施工中的测量控制技术·····	(162)
一、横向贯通误差估计·····	(162)
二、ZED—260激光导向系统·····	(163)
三、施工测量·····	(167)
四、ZED导向系统的操作·····	(168)

五、利用激光导向系统对TBM进行调向·····	(171)
六、秦岭隧道应用ZED—260的效果·····	(173)
第十一节 TBM主机及后配套设备的状态监测与维护保养·····	(173)
一、TBM状态监测·····	(173)
二、TBM维护保养·····	(176)
第十二节 刀具耗损、施工进度与围岩特性的关系·····	(178)
一、TBM状态监测与变化规律·····	(178)
二、围岩强度、裂隙状况对贯入度的影响·····	(179)
三、刀具磨损、掘进速度与围岩特性的关系·····	(180)
第四章 TBM施工管理·····	(185)
第一节 概 述·····	(185)
一、TBM施工项目的特征·····	(185)
二、TBM施工项目的管理特征·····	(185)
三、TBM施工项目管理的内容·····	(186)
四、TBM施工项目管理的目标和任务·····	(187)
五、TBM施工项目管理的工作过程·····	(187)
第二节 施工合同管理·····	(188)
一、发包人对合同管理的任务·····	(188)
二、发包人的施工合同管理·····	(188)
三、物资采购合同管理·····	(189)
四、监理委托合同管理·····	(189)
五、承包人的施工合同管理·····	(191)
第三节 施工进度管理·····	(191)
一、发包人的施工进度控制·····	(191)
二、承包人的施工进度管理·····	(193)
第四节 施工质量管理·····	(193)
一、发包人的施工质量控制·····	(193)
二、承包人的施工质量管理·····	(196)
第五节 施工投资控制·····	(199)
一、发包人的施工投资控制·····	(199)
二、承包人的成本管理·····	(204)
第六节 其它施工生产管理·····	(209)
一、TBM机械设备管理·····	(209)
二、材料管理·····	(212)
三、施工技术管理·····	(214)
四、安全生产管理·····	(217)
五、施工组织设计·····	(218)
第五章 TBM施工工程实例·····	(220)
第一节 英吉利海峡铁路隧道·····	(220)
一、概 况·····	(220)

二、隧道线路选择·····	(221)
三、工程施工·····	(222)
四、管片预制厂·····	(226)
五、隧道的安全措施·····	(227)
六、结 束 语·····	(227)
第二节 南非莱索托水工隧洞·····	(232)
一、概 况·····	(232)
二、I A期隧洞工程·····	(234)
三、I B期隧洞工程·····	(240)
四、经验与教训·····	(241)
第三节 瑞士费尔艾那铁路隧道·····	(243)
一、工程概况·····	(243)
二、TBM主要技术特征及施工技术·····	(245)
三、TBM施工段的隧道断面和衬砌设计·····	(247)
四、超前地质预报和工程质量管理·····	(248)
五、TBM在隧道施工中的应用情况·····	(248)
六、结 束 语·····	(249)
第四节 中国引大入秦引水隧洞·····	(250)
一、引大入秦工程及30A隧洞概况·····	(250)
二、30A隧洞的地质条件、工程特点与施工部署·····	(251)
三、隧洞工程设计·····	(251)
四、管片式衬砌结构研究·····	(255)
五、工程施工·····	(256)
六、工程建设管理·····	(258)
七、TBM在引大入秦工程中取得的成效与影响·····	(259)
八、TBM施工费用浅析·····	(259)
九、认识和体会·····	(260)
第五节 中国秦岭铁路隧道·····	(261)
一、秦岭隧道简介·····	(261)
二、TBM(TB880E型)技术参数及特性·····	(263)
三、TBM施工组织作业决策系统分析·····	(267)
四、TBM设备管理·····	(271)
五、TBM施工管理·····	(274)
六、TBM作业工时利用率分析·····	(277)
七、秦岭隧道TBM主要故障分析·····	(282)
第六节 中国引黄入晋水工隧洞·····	(286)
一、概 况·····	(286)
二、TBM施工·····	(287)
三、TBM掘进中遇到的问题·····	(293)
四、经验与教训·····	(295)

第七节 中国香港市政、地铁、西部铁路隧道	(296)
一、香港电缆隧道	(296)
二、鲗鱼涌—北角地铁隧道	(296)
三、西部铁路隧道	(300)
四、香港污水处理隧道	(305)
第八节 中国台湾公路、发电及水工隧道	(305)
一、雪山导坑TBM	(305)
二、发电及水工隧道TBM	(306)
三、坪林公路隧道TBM施工	(309)
第六章 展 望	(322)
附录一 掘进机开挖斜井部分业绩表	(324)
附录二 德国Wirth公司1990年以来施工工程一览表	(326)
附录三 国内外主要隧道掘进机生产厂家简介,有关著名学报(期刊)、索引 及国际隧道掘进机机械化施工培训研究教学大纲	(327)
一、国外全断面岩石掘进机生产厂家简介	(327)
二、国内外主要隧道(包括微型隧道)掘进机生产厂家及部分厂家的地址 和联系方式	(345)
三、与TBM有关的国内国际著名学报(期刊)索引	(348)
四、国际隧道掘进机机械化施工培训中心教学大纲	(350)
附录四 隧道掘进机(TBM)英汉常用词汇	(352)
参考文献	(359)

绪 论

土地退化、人口爆炸、资源短缺、环境脆弱,当前人类赖以生存的地球表面已不堪重负。在这种情况下,世界各国日益重视地下空间的开发利用,把地下空间当成一种新的国土资源,并称之为“地下产业”。人们普遍认为:19世纪是桥梁的世纪、20世纪是高层建筑的世纪、21世纪则是开发地下空间的世纪。

在地下空间的开发利用中,各国竞相修建长大隧道。在修建过程中,当隧道长度超过15 km以上时,优先采用隧道掘进机。快速开挖已成为总的世界发展趋势。

当隧道(洞)长度过长时,用常规钻爆法进行隧道施工将需要相当长的工期,隧道掘进机法施工则适合长隧道施工的需要。隧道掘进机英文名称是Tunnel Boring Machine,简称TBM。应该提醒建设者,采用许多斜井、竖井分割长隧道的施工方法是不可取的,尤其当隧道埋深较大时,更不可取。

根据国外实践证明:当隧道长度与直径之比大于600时,采用TBM进行隧道施工是经济的。在一些国家,一些部门对3 km以上的隧道,都优先采用TBM施工。我国香港地区的隧道(连接九龙半岛及新界西铁工程中的一部分)全长只有1.8 km,同样采用掘进机开挖。该隧道穿越一段坚硬岩层和一段旧填海区的软土,开挖直径8.75 m,衬砌后直径7.62 m,原计划采用传统的钻爆法及明挖回填方案,经过全面的技术、经济比较之后,最终采用混合式隧道掘进机(Mixed TBM)方案,成功地完成了开挖支护任务。

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。TBM的缺点主要是对地质条件的适应性不如常规的钻爆法灵活;主机重量大;前期订购TBM费用较多;要求施工人员技术水平和管理水平高;对短隧道不能发挥其优越性。由于科学技术的不断迅猛进步,现在TBM可以适应较为复杂的地质条件,从松散软土到极坚硬的岩石都可以应用,使用范围日益广泛。TBM的设计制造在一定程度上反映了一个国家的综合科学技术和工业水平,体现了计算机、新材料、自动化、信息传输和多媒体等技术的综合和密集水平。一门叫做“地质机械电子学”应运而生。它把机械原理、电子学原理和机器人原理应用到岩土工程学中,包括所有岩土工程技术和TBM技术。未来的发展属于自动化隧道掘进机。目前,人们已能在办公室控制掘进机操作——法国的斯特拉堡工地证实了这一事实。在Geodata总部办公室所在地都灵可以直接从计算机屏幕上获取远在葡萄牙Porto地下铁道运行的一台土压平衡掘进机(EBP TBM, $\phi = 8.8$ m)的所有施工图象和参数,据此可以发出指令,真正做到“运筹于帷幄之中,决胜于千里之外”及无纸化操作。

掘进机的针对性很强,不同的地质条件需要不同的掘进机,也就产生了不同的掘进机。有的适用于软土,又称为盾构;有的适用于岩石,岩石掘进机可分为敞开式、单护盾式和双护盾式,并且已研制出能进行斜井施工的。例如,已用于日本东京附近抽水蓄能电站压力管道斜井的施工。软土掘进机(盾构)初期为气压手掘式,现今主要为泥浆加压式和土压平衡式,并

且已研制出能掘进圆形多断面隧道掘进机,已应用于日本Hiroshima新运输线的Rijoh隧道;研制出垂直—水平连续隧道掘进机,已应用于日本东京污水隧道工程;研制出椭圆形隧道掘进机,已应用于日本Nagoya的管道施工。此外,还研制出既能在岩石又能在软土中掘进的两用混合型掘进机,已应用于英吉利海峡隧道法国侧的隧道施工、日本广岛污水隧道施工、我国连接香港的九龙和新界的西铁隧道施工和广州地铁二号线隧道施工。

20世纪70年代著名的岩石掘进机生产厂家是罗宾斯(Robbins)、佳瓦(Jarva)、维尔特(Wirth)和德马克(Demag)。随后,由于生产厂家重组、转产以及停产等,现在生产岩石掘进机的厂家主要有罗宾斯、维尔特、海瑞克(Herrenknecht)、拉瓦特(Lovat)和小松(Komatsu)。著名的软土掘进机(即盾构)生产厂家是川崎重工(Kawasaki)、三菱重工(Mitsubishi)和法马通(NFM)。法马通公司于2001年11月已被维尔特公司收购,但仍继续生产盾构。目前,世界上最大的岩石掘进机直径为13.9 m(用于加拿大尼亚加拉大瀑布附近10 km长的Sir Adam Beck引水隧洞工程);最大的适用软土和岩石的混合式掘进机直径为14.20 m(用于德国汉堡穿越Elbe河公路隧道工程);最大的土压平衡(EPB)盾构直径为14.87 m(用于荷兰阿姆斯特丹到鹿特丹的Thalys高速铁路的Groene Hart隧道工程)。

隧道掘进机除主机外,还必须配备配套系统,称为后配套系统。通常主机和配套系统总长度达150~300 m。后配套系统包括运碴、运料系统、支护设备、激光导向系统、供电装置、供水系统、排水系统、通风防尘系统和安全保护系统。用于水工隧洞和交通隧道的还有注浆系统等。TBM法与钻爆法相比,其主要优点是掘进速度快,所以后配套系统是满足连续快速掘进的关键因素,其运输布置、运输能力、供水、排水流量、通风方式及风压、风量以及喷锚、混凝土管片安装、豆砾石喷射、回填灌浆的速度,必须与掘进速度相匹配。

由于隧道掘进不仅技术上高速成洞,远比传统的钻爆法优越,而且经济上综合效益也远比钻爆法高,因此在长大隧道的设计和施工中应该优先考虑采用隧道掘进机的方案。

中国1966年生产出第一台直径3.4 m的掘进机,在杭州人防工程中进行过试验。20世纪70年代进入工业性试验阶段,试制出SJ55、SJ58、SJ64、EJ30型掘进机。80年代进入实用性阶段,研制出SJ58A、SJ58B、SJ40/45、RJ30/32、EJ50型掘进机,在河北引滦、福建龙门滩、青岛引黄济青、云南羊场煤矿、贵阳煤矿、山西古交和怀仁煤矿等工程中使用。但是,我国掘进机与国外掘进机相比较,在技术性能和可靠性等方面还有相当大的差距,需要加快掘进机的整机研究、设计和生产,迎头赶上国际先进水平。

自1978年我国实行改革开放以来,已有甘肃省引大入秦工程、山西省万家寨引黄工程和陕西省秦岭铁路隧道工程等项目引入国外大型TBM进行隧道施工,取得了成功。

近年来,微型隧道工程及与之有关的非明挖技术(TT, Trenchless Technology)发展极为迅速。所谓非明挖技术主要是采用自动化、遥测、遥控的微型(直径小于2.0 m)全断面隧道掘进机(Micro TBM)来代替传统的明挖方法,直接进行开挖、铺设或修复、更换管道的一种先进施工方法。该方法的显著特点是在闹市区或对环境要求极为严格的地区,如高层建筑物下、名胜古迹下、高速公路和高速铁路下、河道下铺设管道。一般情况下,每班进尺10~30 m,能够适用于各种地质条件。迄今为止,国际上采用这种技术修建的管道在10 000 km以上。由于发展迅速,在全球范围内成立了国际非明挖技术学会(ISTT, International Society for Trenchless Technology)与国际隧道学会(ITA International Tunnelling Association)平行,同为国际一级学会。国际大城市通过立法,不允许在市区采用明挖方法,进一步促进了非明挖技术的发展,微型隧道工程已经形成了一种蓬勃发展的新兴产业。在我国,近年来微型隧道

掘进机的发展也很迅速,1998年成立了中国非开挖技术学会(CSTT,Chinese Society for Trenchless Technology)。嗣后,正式出版学术刊物《非开挖工程》,进一步促进了微型隧道工程的开发。但从总体上看,我国尚处于初期阶段,目前大多数工程采用的仍是劳动密集型的明挖方法。

我国是一个多山的国家,在铁路、公路、水工等领域必然会出现不同直径的长隧道,又多处于软硬交替地层中。钻爆法是我国的强项,也符合我国劳力过剩的国情,但对特长隧道(≥ 20 km)应优先选用能适应软、硬地层的TBM。当TBM断面过大时,会带来电能不足、运输困难、造价过大等种种困难。在我国,在国外也有采用小直径TBM先行,后部用钻爆法扩大到设计断面的混合套打法。由于TBM先开挖了一个小直径洞室,形成了临空面,使钻爆法的速度比没有临空面的方法可提高速度2~3倍,这是一种应推荐的方法。TBM的类型、结构和设计施工理念将随着岩土工程的发展而不断发展。