

全断面岩石掘进机及其 刀具破岩理论

张照煌 著

QUANDUANMIAN YANSHI JUE
JINJI JIQI DAOJU POYAN LILUN

55.3
11

中国铁道出版社

责任编辑 王俊法 时 博

ISBN 7-113-04926-5



9 787113 049263 >

ISBN 7-113-04926-5/TU · 719

定 价 : 13.00 元



全断面岩石掘进机及其 刀具破岩理论

张照煌 著

中 国 铁 道 出 版 社

2003年·北 京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是一部系统介绍全断面岩石掘进机的结构及其刀具破岩理论的著作。内容包括敞开式全断面岩石掘进机、护盾式全断面岩石掘进机、扩孔式和摇臂式全断面岩石掘进机的结构和工作原理,以及全断面岩石掘进机施工经济分析;盘形滚刀的破岩机理、工作破岩时的运动学分析、动力学分析及其侧向力分析;盘形滚刀刃工作点位移量的计算及其破岩曲线的确定、推力预测及其刀盘上的布置规律分析等内容。本书可供从事机械专业及隧道施工专业的工程技术人员、高校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

全断面岩石掘进机及其刀具破岩理论/张照煌著.
北京:中国铁道出版社,2003.3
ISBN 7-113-04926-5

I.全… II.张… III.①隧道工程-全断面掘进机②隧道工程-全断面掘进机-掘进机刀具-岩石破
机理 IV.U455.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 000109 号

书 名:全断面岩石掘进机及其刀具破岩理论

作 者:张照煌

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)

责任编辑:王俊法 时 博 编辑部电话:(010)51873099

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/32 印张:4.5 字数:116千

版 本:2003年3月第1版 2003年3月第1次印刷

印 数:1~2 000册

书 号:ISBN 7-113-04926-5/TU·719

定 价:13.00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。

联系电话:(010)51873169

前 言

我国机械行业与国外相比还有相当大的差距。特别是用于水利水电和地下工程施工的大型机械设备,在设计理论和制造工艺领域有些还是空白;有些由于设计理论不够完善、制造工艺不够合理及制造材料等领域的限制而没能发展起来。全断面岩石掘进机就是属于没能发展起来的大型地下工程施工机械设备。随着我国社会的发展,特别是基础设施的建设,大型机械设备的需求越来越迫切。近年来,在某些工程中尽管引进了一些这样的设备,但与我们国家的发展规模和发展速度相比还是很不相称的。尤其是我们国家机械工业基础厚实,以前由于缺乏市场机制,发展受到一定限制。改革开放以来随着我国市场机制的建立和进一步完善,在这些领域有所突破和发展,是我国重型工业面临的机遇和挑战。

全断面岩石掘进机在水利水电隧洞、城市地下工程、河海地下隧洞及矿山、山区铁路、公路隧道施工中,由于速度快、施工质量高、经济安全等特点,因此被广泛从事此类工程的承包商所青睐。在国外,使用全断面岩石掘进机进行隧洞工程的施工已经很普遍。特别是3 km以上的隧洞,由于其易于保证工期,因此被业主在标书中规定为必用设备。

全断面岩石掘进机是集机、电、液于一体的大型复杂地下工程施工机械设备,生产于20世纪50年代。在70年代,世界上生产全断面岩石掘进机的主要厂家有美国的罗宾斯(Robbins)公司和佳伐(Jarva)公司,德国的德马克(Demag)公司和维尔特(Wirth)公司等。由于近十几年的市场激烈竞争,

佳伐和罗宾斯公司相继被瑞典阿特拉斯科普柯(Atlas Copco)公司兼并。1998年6月,博泰克(Boretec)公司从阿特拉斯科普柯集团买下掘进机部,组建新的罗宾斯公司。新罗宾斯公司合法地拥有原罗宾斯公司、博泰克公司、佳伐公司的知识产权,是世界上在岩石掘进机方面最有经验和影响的公司之一。原德马克公司于1966年开始生产TVM型掘进机,主要适用于中到硬的地层。德马克自己制造硬岩用盘型滚刀。许多德马克的掘进机掘进长度都超过15km,工作年限在10年以上。德马克曾是世界著名的4家岩石掘进机生产厂商之一。在十多年前,当奥钢联岩石技术(Voest - Alpine Bergtechnik GmbH)公司收购德马克公司时,它还生产过掘进机。维尔特公司(WIRTH Maschinen und Bohrgerate Fabrik GmbH)最早建于1895年,名字是Internationale Bohrgesellschaft AG。由当时富有革新思想的钻机工程师Anton Raky创办。当时的目标是为东西欧的矿井和石油钻探孔生产钻孔设备。1916年公司被钢铁巨人Otto Wolff接管,改名为Maschinen und Bohrgerate Fabrik Alfredwirth & Co. Kommanditgesellschaft,但仍生产牙轮钻钻机。1989年由于Otto Wolff AG改组,维尔特公司由英国豪顿集团(在Glasgow)接管。豪顿集团有5000雇员,维尔特公司的掘进机部Wirth Maschinen und Bohrgerate Fabrik GmbH成为这个集团中最大的7个分集团中的一个,是一个独立的公司。1997年,恰特(Charter)集团买下豪顿集团。1999年3月,恰特集团将掘进机部卖掉。维尔特公司和豪顿掘进机分部一起独立出来,成立Wirth UK(即现在的维尔特公司)。现在,海瑞克(Herrenknecht)、拉瓦特(Lovat)及日本一些专长盾构的厂家也搞起了岩石掘进机,而罗宾斯、维尔特等公司都发展了双护盾及盾构技术。据20世纪末的不完全统计,这些厂家共生产全断面岩石掘进机600

多台,完工工程 1000 多项,掘进总长度近 5000 km 以上。典型工程有美国芝加哥隧洞蓄水工程(Tunnel and Reservoir Plan),隧洞总长 211 km,使用全断面岩石掘进机 6 台,5 年左右完工;英吉利海峡隧道(The Channel Tunnel)工程,隧洞总长 151.5 km,使用全断面岩石掘进机 11 台,3.5 年左右完工;南非莱索托(Lesotho)水电站引水洞,洞长 45 km,使用全断面岩石掘进机 5 台,3 年多完工。

我国于 20 世纪 60 年代中期,由原水电部上海勘测设计院和北京水电学院(现华北水利水电学院)等单位从事全断面岩石掘进机的开发和研制,并于 1965 年被国家列入重点科研项目。1966 年在上海水工机械厂生产出了我国第一台直径为 3.4 m 的全断面岩石掘进机,此后尽管取得了一定成绩,但是随着时间的延续,却与国际水平拉大了距离,以至于现在还不能有自己的品牌产品。目前我国部分大型水利工程和铁路隧道工程的全断面岩石掘进机施工,要么由国外承包商施工,要么就是引进国外的全断面岩石掘进机施工。

我国基础建设规模的扩大及建设速度的加快,对施工的机械化水平要求越来越高,尤其是水利水电隧洞、铁路隧道及煤矿巷道等工程的施工进度直接影响整个工程的工期和工程效益的发挥。据不完全统计,我国在未来几年的基础建设中,要施工的水利水电隧洞、公路铁路隧道、煤矿巷道等地下工程隧洞总长度数千公里,所需全断面岩石掘进机的数量将是非常大的。因此加快此类工程所用机械设备——全断面岩石掘进机的开发,就显得非常重要。

全断面岩石掘进机效益的发挥对使用者的技术水平和管理水平有较强的依赖性。因此,书中第一章至第四章分别探讨了全断面岩石掘进机的基本结构、敞开式全断面岩石掘进机、护盾式全断面岩石掘进机、扩孔式和摇臂式全断面岩石掘

进机的基本结构及其工作原理。

在市场经济全球化的今天,工程的规模效益日益受到重视。书中第五章探讨了传统钻爆(Drill-Blast)法和全断面岩石掘进机(Full Face Rock Tunnel Boring Machine,简称为TBM)施工的经济效益分析。在全断面岩石掘进机的设计中,破岩刀具的工作对象及其剥落机理,即刀具的破岩机理非常重要,书中第六章探讨了这部分内容。全断面岩石掘进机盘形滚刀的破岩机理不仅与其工作对象的性质密切相关,也与盘形滚刀的运动状况密切相关。因此,书中第七章、第八章分别探讨了全断面岩石掘进机盘形滚刀工作时的运动学分析和动力学分析。在此基础上,第九章、第十章、第十一章分别探讨了盘形滚刀破岩工作时的侧向力、盘形滚刀接岩点至最大切深时的位移量及其轨迹曲线。第十二章和第十三章是基于盘形滚刀的压痕试验,分别探讨作用在盘形滚刀上的推力及全断面岩石掘进机工作中的振动和噪声。盘形滚刀是全断面岩石掘进机工作时的消耗件,如何提高其工作寿命,是国内外学者研究的课题,书中第十四章、第十五章分别探讨了盘形滚刀在刀盘上的安装和布置,以期有利于此课题的深入研究。

我国地下工程建设规模的扩大和深入以及全断面岩石掘进机在地下工程施工中的优越性能使我有志于著作此书,以期有利于我国全断面岩石掘进机设计理论、铁路公路隧道和水利水电隧洞等地下工程建设的机械化水平的提高。

本书初稿及全稿承华北电力大学(北京)叶定海副教授的大力支持和帮助,并对初稿和全稿进行了审阅。水利部发展研究中心李仕森教授级高工审阅了全稿。在本书出版过程中得到杨永江同志的大力支持和帮助,谨此一并致谢。

值此书出版之际,谨向我的导师华北电力大学(北京)茅承觉教授,帮助我的中国铁道建筑总公司殷耀章教授级高工

表示衷心感谢。

本书虽经反复修改,数易其稿,仍难免有疏漏甚或失误之处,敬请读者指正。

作 者

2002 年 12 月

目 录

第一章 全断面岩石掘进机及其发展	1
§ 1.1 全断面岩石掘进机的基本结构	1
§ 1.2 全断面岩石掘进机的发展	14
§ 1.3 全断面岩石掘进机结构实例	17
第二章 敞开式全断面岩石掘进机	21
§ 2.1 敞开式全断面岩石掘进机的结构	21
§ 2.2 敞开式全断面岩石掘进机的工作原理	26
第三章 护盾式全断面岩石掘进机	27
§ 3.1 单护盾全断面岩石掘进机	27
§ 3.2 双护盾全断面岩石掘进机	29
§ 3.3 护盾式掘进机应用实例	33
第四章 扩孔式和摇臂式全断面岩石掘进机	34
§ 4.1 扩孔式全断面岩石掘进机	34
§ 4.2 摇臂式全断面岩石掘进机	38
第五章 全断面岩石掘进机施工经济分析	45
§ 5.1 DBM 与 TBM 施工工艺及 TBM 施工的 劳动组合	46
§ 5.2 DBM 施工主要机械设备	47
§ 5.3 DBM 与 TBM 施工经济分析	48
§ 5.4 隧洞长度对经济效益的影响	54
§ 5.5 TBM 在我国的应用前景	58
第六章 全断面岩石掘进机盘形滚刀破岩机理	60
§ 6.1 伊万斯(Evans)预测公式	60

§ 6.2	秋三藤三郎预测公式·····	61
§ 6.3	罗克斯巴勒(F.F.Roxborough)预测公式·····	62
§ 6.4	科罗拉多矿业学院预测公式·····	64
§ 6.5	东北工学院岩石破碎研究室预测公式·····	66
§ 6.6	上海交通大学 640 教研室预测公式·····	68
§ 6.7	华北水电学院北京研究生部预测公式·····	69
第七章	全断面岩石掘进机盘形滚刀的运动学分析·····	71
§ 7.1	平面刀盘上盘形滚刀的运动学分析·····	71
§ 7.2	球面刀盘上盘形滚刀的运动学分析·····	75
§ 7.3	锥面刀盘上盘形滚刀的运动学分析·····	76
第八章	全断面岩石掘进机盘形滚刀的动力学分析·····	78
§ 8.1	锥面刀盘上盘形滚刀的动力学分析·····	78
§ 8.2	球面刀盘上盘形滚刀工作破岩时的 动力学分析·····	81
§ 8.3	平面刀盘上盘形滚刀工作破岩时的惯性力 分析·····	82
第九章	盘形滚刀工作破岩时的侧向力·····	84
§ 9.1	平面刀盘上盘形滚刀工作破岩时的侧向力·····	84
§ 9.2	锥面刀盘和球面刀盘上盘形滚刀工作时 的侧向力·····	86
第十章	全断面岩石掘进机盘形滚刀刃工作点位移量 的计算·····	89
§ 10.1	盘形滚刀刃工作点的位移量·····	89
§ 10.2	盘形滚刀破岩工作点位移分析·····	93
第十一章	平面刀盘上盘形滚刀破岩曲线的表示方法 及应用·····	98
§ 11.1	盘形滚刀破岩点的曲线表示·····	98
§ 11.2	盘形滚刀破岩曲线弧长的确定·····	100

第十二章	全断面岩石掘进机盘形滚刀的推力预测·····	102
§ 12.1	盘形滚刀压痕试验·····	102
§ 12.2	试验结果及分析·····	105
第十三章	全断面岩石掘进机工作中的振动及噪声·····	108
§ 13.1	振动、噪声产生原因 ·····	108
§ 13.2	减少振动、降低噪声的措施分析 ·····	109
第十四章	全断面岩石掘进机盘形滚刀的安装方式及 其侧滑量计算·····	112
§ 14.1	盘形滚刀的安装方式及侧滑量计算·····	112
§ 14.2	盘形滚刀不同安装方式下的侧滑分析·····	116
第十五章	全断面岩石掘进机平面刀盘上盘形滚刀布置规律 初步分析·····	118
§ 15.1	刀盘上盘形滚刀的布置规律·····	118
§ 15.2	倾覆力矩为零时的单螺旋线布置·····	122
参考文献	·····	128

第一章 全断面岩石掘进机及其发展

全断面岩石掘进机(Full Face Rock Tunnel Boring Machine,简称 TBM)是靠旋转刀盘上的盘形滚刀破碎岩石而使隧洞一次成型的大型机械设备。由于它集开挖、出碴和衬砌于一体,因此是自动化程度较高的地下工程施工设备,广泛应用于矿山铁路隧道、煤矿巷道、水利水电隧洞和城市地下工程等的建设。

§ 1.1 全断面岩石掘进机的基本结构

全断面岩石掘进机是集机、电、液于一体的复杂的大型机械设备,由机架、刀盘系统、支承系统、支撑系统、推进系统、激光导向机构、刀盘回转机构、出碴系统、后拖车和控制系统等组成。

1.1.1 全断面岩石掘进机的基本结构

全断面岩石掘进机的基本结构如图 1—1 所示。

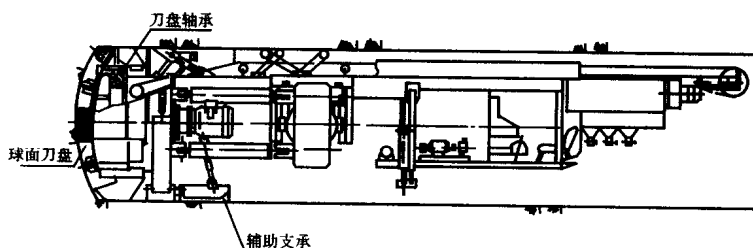


图 1—1 全断面岩石掘进机的基本结构

1. 机架

机架是机器的主体,用于联接主要部件及传递破岩的反扭矩。它分为内机架和外机架。内机架是掘进过程中机架的移动部分,外机架是掘进过程中机架的不动部分。

2. 刀盘系统

全断面岩石掘进机刀盘系统主要包括刀盘、滚刀和刀盘轴承等零部件。

(1) 刀盘

全断面岩石掘进机刀盘分为锥面刀盘——正滚刀的刃口包络面成截锥面的刀盘(图 1—2)、平面刀盘——正滚刀的刃口包络面成平面的刀盘(图 1—3)和球面刀盘——正滚刀的刃口包络面成球面的刀盘(图 1—4)。其特点见表 1—1。

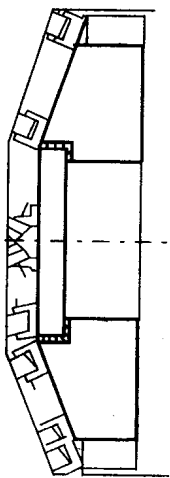


图 1—2 锥面刀盘

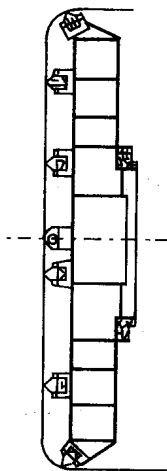


图 1—3 平面刀盘

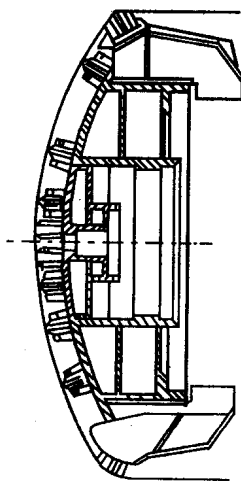


图 1—4 球面刀盘

(2) 滚刀

滚刀是刀盘上用于破碎岩石的工具。根据形状的不同,滚刀分为盘形滚刀、球齿滚刀、楔齿滚刀等。

表 1—1 全断面岩石掘进机刀盘形式及其特点

刀盘形式	锥 面 刀 盘	平 面 刀 盘	球 面 刀 盘
特 点	大锥角刀盘可以充分形成破岩的自由面,破岩效率高,工作稳定	①机身支撑稳定性好;②刀盘径向力平衡性好,岩石工作面稳定;③刀盘容易制造,其上刀具的轴向力小;④刀盘推力的利用效率高	硬岩采用。原因:刀盘工作稳定

盘形滚刀是刀圈呈盘形的滚刀。根据刀刃的多少又分为单刃滚刀——带有单列刀刃的盘形滚刀(图 1—5)、双刃滚刀——带有双列刀刃的盘形滚刀(图 1—6)和三刃滚刀——带有三列刀刃的盘形滚刀(图 1—7)。

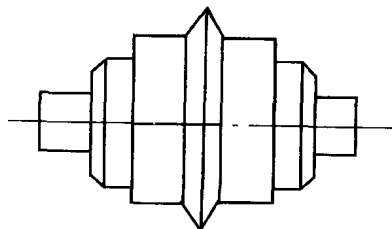


图 1—5 单刃盘形滚刀

球齿滚刀是镶嵌硬质合金球齿的滚刀,见图 1—8。

楔齿滚刀为刀刃制成楔齿形的滚刀,见图 1—9。

目前全断面岩石掘进机上普遍采用的是单刃盘形滚刀,简称盘形滚刀。所以书中主要对这种刀型进行分析。盘形滚

刀由刀圈、刀体、刀轴和心轴等组成,如图 1—10 所示。刀圈是可拆的,磨损后可更换。

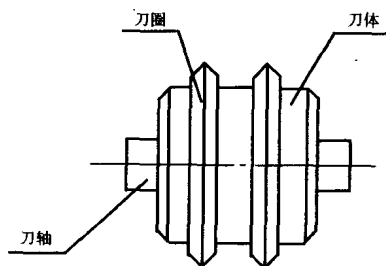


图 1—6 双刃盘形滚刀

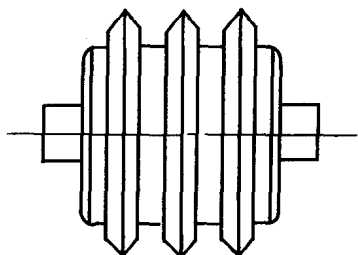


图 1—7 三刃盘形滚刀

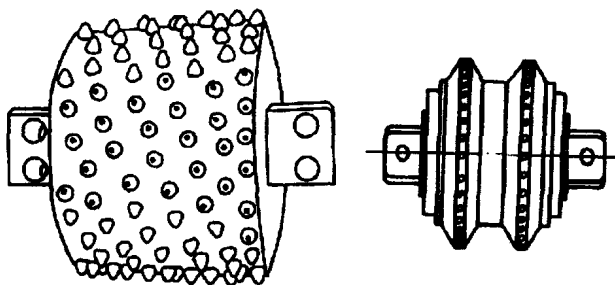


图 1—8 球齿滚刀

刀圈断面形状见图 1—11。刀刃角一般有 60° 、 75° 、 90° 、 120° 或平刃等多种。掘进硬岩时一般用较大的刀刃角,而掘进较软的岩石时用的刀刃角较小。对于特别软的岩层,刀刃角小容易嵌入岩层中,使用效果不好,增大刀刃角甚至做成平刃可改善掘进效果。

楔形刀刃和岩石表面的接触宽度随着磨损的增加而逐渐加大,接触面积也随之增大,要达到和磨损前一样的切入深度

则需要更大的推压力,或在一定的推压力作用下切深将减小,从而影响了掘进机工作的稳定性。而平刃盘形滚刀与岩石表面的接触面积磨损前后变化很小,因而近年来平刃刀具的使用逐渐增多。

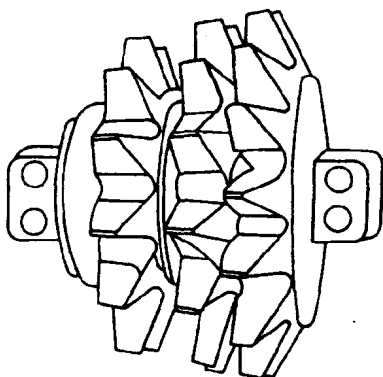


图 1—9 楔齿滚刀

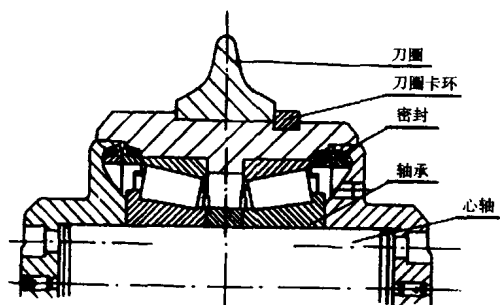


图 1—10 滚刀结构简图

盘形滚刀的直径和承受的额定推力见表 1—2。增大刀具直径可以增大每把刀的额定推力。在一定的岩石条件下,