

国家专业技术人员知识更新工程 (“653工程”)
煤炭行业煤矿机电领域培训教材 (第5册)

综合机械化掘进成套设备

领域主编：孙继平 宋秋爽

本册主编：王 虹 李炳文

ZONGHE JIXIEHUA JUEJIN CHENGTAO SHEBEI

国家“十一五”重大人才培养工程

国家人事部直接组织领导

中国煤炭工业协会全面负责实施

国家人事部统一颁发培训证书

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学出版社

国家专业技术人员知识更新工程(“653 工程”)

煤炭行业煤矿机电领域培训教材

综合机械化掘进成套设备

领域主编：孙继平 宋秋爽

本册主编：王 虹 李炳文

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书共九章,主要介绍了国内外综合机械化掘进设备的现状与发展趋势,综合机械化掘进设备的的工作原理、结构特点、设计理论及设计方法、性能参数和选型方法,综合机械化掘进配套设备及作业线的应用实例,悬臂式掘进机技术标准和试验方法,掘进机使用与维护,掘锚联合机组典型机型等内容。

本书可供从事采掘机械的设计研究人员,工厂、煤矿综掘机械化的生产和管理人员,高等工科院校有关教师、研究生、高年级学生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

综合机械化掘进成套设备/王虹,李炳文主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2008. 7

国家专业技术人员知识更新工程(“653 工程”)培训教材

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0004 - 4

I. 综… II. ①王…②李… III. 综合机械化掘进—掘进机械—技术培训—教材 IV. TD421. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 104765 号

书 名 综合机械化掘进成套设备

本册主编 王 虹 李炳文

责任编辑 姜 华

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 14 字数 350 千字

版次印次 2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

定 价 39.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



国家专业技术人才知识更新工程(“653 工程”) 煤炭行业培训教材编审委员会

顾 问：王显政 濮洪九

主 任：路德信

副主任：姜智敏 孙之鹏 胡省三

钱鸣高 宋振骐 张铁岗

葛世荣 乔建永

委 员：(以姓氏笔画为序)

马念杰 王金力 王金华

王虹桥 卢鉴章 叶醒狮

刘 峰 刘文生 刘炯天

孙继平 陈 奇 杜铭华

宋学锋 宋秋爽 张玉卓

张贤友 周 英 周心权

赵阳升 赵跃民 赵衡山

钟亚平 段绪华 都基安

袁 亮 徐水师 黄福昌

常心坦 彭苏萍 遇华仁

缪协兴 濮 津

国家专业技术人才知识更新工程(“653 工程”) 煤炭行业煤矿机电领域培训教材编审委员会

顾 问：路德信
主 任：孙之鹏 孙继平 宋秋爽
委 员：(以姓氏笔画为序)

于励民	王 虹	王步康
王国法	王虹桥	王振平
王崇林	王喜胜	毛 君
刘东才	刘传绍	刘春生
李长录	李国平	李炳文
李景平	张文祥	张世洪
郑丰隆	荆双喜	姜汉军
袁宗本	夏士雄	铁占续
曹茂永	蒋卫良	鲁远祥
谭国俊		

《综合机械化掘进成套设备》

编写人员

领域主编：孙继平 宋秋爽

本册主编：王虹 李炳文

本册副主编：王启广 刘圣汉 陈世其

赵亮 王宗禹

本册编者：王虹 李炳文 王启广

刘圣汉 陈世其 赵亮

王宗禹 王建武 匡颖芝

姚洪

序

加快人才培养,是建设创新型国家、强国兴业的重要举措。《中共中央、国务院关于进一步加强人才工作的决定》为加强专业技术人才队伍建设指明了方向,明确了工作重点和政策措施。人事部决定“十一五”期间,在关系我国经济社会发展和科技创新的一些重要行业领域实施专业技术人才知识更新工程(即“653工程”),开展大规模示范性继续教育活动,加快建立健全我国继续教育的工作体系、制度体系和服务体系,大力推动专业技术人员培养工作的深入开展。“653工程”已被列入国家“十一五”发展规划,是国家实施专业技术队伍建设的一项重大人才培养工程。煤炭行业“653工程”是国家“653工程”的重要组成部分,是煤炭行业专业技术人才继续教育工作的示范工程,该工程的全面启动必将有力带动和促进煤炭工业人才培养工作的进程。

煤炭工业是我国的基础产业。发展振兴煤炭工业,人才队伍建设是关键。实施大基地、大集团战略,推进节约发展、清洁发展、安全发展,实现可持续发展,必须以强有力的专业技术队伍作保证。当前,煤炭工业已进入新的历史发展机遇期,但同时又面临着煤炭主体专业人才匮乏、知识更新滞后的严峻挑战。推进实施“653工程”旨在拓展煤矿专业人才培养的广阔空间。根据《煤炭行业专业技术人才知识更新工程(“653工程”)实施办法》,“十一五”期间每年将为110家国有大型煤炭企业培训1万名左右的高级专业技术人才,为5000多家规模以上煤炭企业培训3万名左右的中高级专业技术人才,五年全国煤炭行业将培训20万名左右。国家人事部委托中国煤炭工业协会全面负责煤炭行业“653工程”的组织实施工作,实行统一组织、统一规划、统一教学大纲、统一发证和归口管理、分级实施、分类指导,创造性地推进“科教兴煤”战略,全面提升煤炭行业专业技术人才队伍素质,从而为煤炭工业的全面、协调和可持续发展提供强大的人才保障和智力支持。

为适应煤炭行业实施“653工程”的需要,我们组织全国有关专家学者编写了《国家专业技术人才知识更新工程(“653工程”)煤炭行业培训教材》,这一教材具有以下三个突出特点:

第一,突出重点专业领域,培训内容丰富。煤炭行业“653工程”专家指导委员会根据煤矿实际需要,立足当前、着眼长远,选定的煤矿专业领域和培训内容都是煤炭行业和企业所必需的。包括采煤工程、煤矿安全、煤矿机电、煤田地质与测绘、煤炭洁净利用及矿区环保这五个重点专业领域,以及高效高回收率采煤方法与技术等34个专业培训方向,全面反映煤炭工业的科技发展趋势。培训教材突出新理论、新知识、新装备、新技术、新方法、新工艺、新材料、新标准、新法规、新政策和新问题等内容,涵盖煤炭行业专业技术人才知识更新的重点,具有很强的针对性。

第二,体现学术权威,保证培训质量。顺利、高效地实施“653工程”,搞好专业技术人才培训,教材编写质量和所体现的学术水平必须得到切实的保证。为此,实行了首席专家负责制,从全国煤炭行业的高等院校、科研院所和煤炭企业推选出一百余名在各自学术研究领域

颇有建树和创新的业内知名专家,领衔编写这套培训教材,集中了院校、科研机构和企业多年来理论与实践的丰硕成果,包含了专业基础知识、理论系统讲解,也集锦了一些极具参考价值的典型应用案例。这是建国以来我国煤炭行业在专业技术人才继续教育方面一次规模最大、最为全面的新知识展示,是提高全行业专业技术人员技术水平的一批好教材。

第三,培训方向明确,教材实用性强。根据不同的专业培训对象,立足矿山,站在世界煤炭工业科技发展前沿,针对我国“十一五”煤炭科技发展的需求,广泛吸纳新知识、新技术和新信息,坚持理论与实践相结合、理论知识与案例分析相结合,把专业技术知识内容进行科学分解,编写成34个分册,既系统成书又独立成册,便于不同领域内的工程技术人员各取所学、研读提高。因此,本套教材既是优秀的培训教科书,也是一套煤炭专业技术人员实际工作中必备的工具书。

我衷心希望这套凝聚着煤炭行业专家学者智慧与心血的教材,能够在实际教学培训中发挥应有的重要作用;同时也希望广大基层专业技术人员通过认真学习、刻苦钻研,不断提高理论水平和实际应用能力,为加快建设新型、现代化煤炭工业做出积极的贡献。

王显政

二〇〇七年八月

前言

随着煤炭科学技术的发展,我国的采煤机械化得到了迅速发展,日产万吨以上的工作面不断涌现,采区工作面推进速度越来越快。本着“采掘并举,掘进先行”的方针,大力发展综合机械化掘进成套设备,提高掘进速度,对提高我国的综合采煤机械化水平、提高采煤产量和采煤效率具有重要的意义。

悬臂式掘进机是综合机械化掘进成套设备中的主要设备,是具有截割、装载、转载煤岩及自己行走等功能的掘进设备,有的还具有支护功能。悬臂式掘进机一般适用于单轴抗压强度小于 60 MPa 的煤、半煤岩、软岩水平巷道,但较大功率机器也可用于单轴抗压强度达 100~200 MPa 的岩石巷道。

我国从 20 世纪 60 年代开始研制悬臂式掘进机,经过 40 多年的努力,先后研制出 20 多种型号掘进机。近些年来,为了满足切割硬度高、效率高、可靠性高、自动化程度高的要求,我国的国产化机型在吸收、引进、消化的基础上,在设计思想、设计方法及设计理论等方面得到了较快的发展;同时,研制出一批具有较高水平的悬臂式掘进机,快速推进了我国综合机械化掘进成套设备的发展。

本书共九章,主要介绍了国内外综合机械化掘进设备的现状与发展趋势,综合机械化掘进设备的工作原理、结构特点、设计理论及设计方法、性能参数和选型方法,综合机械化掘进配套设备及作业线的应用实例,悬臂式掘进机技术标准和试验方法,掘进机使用与维护,掘锚联合机组典型机型等内容。

考虑到国家“653 工程”培训教材内容应充分反映本领域方向的新理论、新装备、新技术,具有先进性、实用性和可操作性的要求和特点,本书在编写中较详细地介绍了悬臂式掘进机的设计理论与技术特点,力图反映当前国内外综合机械化掘进设备的新技术、新成果和发展趋势,力求理论和实际相结合、基础知识与实用技术相结合,注重课程体系和专业特点,以保证学用一致、学以致用,从而达到更新知识、提高能力的目的。为便于学员自学和有关工程技术人员阅读参考,本书各章具有一定的独立性,可以选取各自侧重的内容讲授和学习。

本书是根据煤炭行业“653 工程”培训规划和培训计划编写的。由王虹研究员、李炳文教授共同主编,李炳文教授统稿,王虹研究员主审。副主编由王启广副教授、刘圣汉高级工程师、陈世其博士、赵亮博士、王宗禹高级工程师担任。参加编写的人员还有王建武硕士、匡颖芝硕士、姚洪硕士等。

本书在编写过程中得到了煤炭科学研究总院太原分院和上海分院、淮南煤机厂、中国矿业大学以及兄弟院校、科研院所等单位的大力支持,同时,得到了中国矿业大学黄日恒教授等个人的友情支持和指导,在此表示感谢。

本书在编写过程中参阅了大量的资料和文献,但难免疏漏。同时,由于编者水平所限,书中难免有谬误疏漏之处,敬请广大读者批评指教!

本书可供从事采掘机械的设计研究人员,工厂、煤矿综掘机械化的生产和管理人员,高等工科院校有关教师、研究生、高年级学生阅读参考。

编 者

2008年5月

目 录

序	1
前言	1
第一章 绪论	1
第一节 国内外掘进技术和设备发展现状	1
第二节 掘进技术发展趋势	3
第二章 悬臂式掘进机	4
第一节 概述	4
第二节 掘进机综合作业线设备选型	13
第三节 纵轴悬臂式掘进机	14
第四节 横轴悬臂式掘进机	30
第三章 悬臂式掘进机的设计	43
第一节 悬臂式掘进机总体参数确定	43
第二节 切割头设计	45
第三节 工作机构运动和受力研究	63
第四节 回转台设计分析	67
第五节 装载机构	74
第六节 行走机构	79
第四章 综合机械化掘进作业线的应用	84
第一节 概述	84
第二节 煤及半煤岩巷道施工特点	84
第三节 工作面设备配套及主要特点	84
第四节 综合机械化掘进作业线的选择	87
第五章 悬臂式掘进机技术标准和试验方法	89
第一节 悬臂式掘进机技术标准	89
第二节 悬臂式掘进机试验方法与产品验收	90
第六章 掘进机使用与维护	97
第一节 掘进机的操作及注意事项	97

第二节 掘进机的维护·····	100
第七章 掘锚联合机组·····	103
第一节 12CM15 掘锚机·····	105
第二节 ABM20 型掘锚联合机组·····	113
第三节 安德森 KBⅡ 型掘锚联合机组·····	129
第四节 BJD2048HP/MB 型掘锚联合机组·····	135
第八章 连续采煤机·····	141
第一节 概述·····	141
第二节 12CM18—10D 型连续采煤机·····	151
第三节 CM—800 型连续采煤机·····	180
第九章 锚杆钻机·····	202
第一节 锚杆钻机现状与发展趋势·····	202
第二节 锚杆钻机的分类特点及使用范围·····	204
第三节 锚杆钻机的工作原理与结构特征·····	205
参考文献·····	210

第一章 绪 论

国外发达国家的煤炭行业经过约 50 年的发展历程,到 20 世纪末期,其整体技术水平、安全生产条件和劳动生产率大幅度提高,今天的煤炭工业已无异于其他行业,成为一个高技术、高安全、高效率的产业。近二三十年间,随着采煤机械化和综合机械化的发展,大大提高了采掘工作面的开采强度,工作面的推进速度越来越快,这就要求加快掘进速度,达到采掘平衡。国内外的生产实践表明,只有实现掘进机械化,才能满足这一要求。因此,掘进技术的多元化、掘进综合机械化将是今后掘进技术和设备发展的趋势。

第一节 国内外掘进技术和设备发展现状

现代国内外煤矿巷道的施工方法主要有钻爆掘进和综合机械化掘进(简称综掘法)两种,综合机械化掘进又可分为悬臂式掘进机掘进和全断面岩巷掘进机掘进两种技术和设备。岩巷掘进主要采用钻爆掘进技术和设备、全断面岩巷掘进机掘进技术和设备;煤和半煤岩巷主要采用悬臂式掘进机技术和设备,它是国内外煤矿采用最为普遍的一种掘进技术和装备,也是 20 世纪七八十年代迅速发展起来的一种先进的巷道掘进技术和装备。其主要设备是悬臂式掘进机,它是集采、装、运、行多功能于一体的一种大型煤矿井下机械设备,是一种机、电、液多学科领域知识比较集中的一体化产品。目前国际先进水平的悬臂式掘进机已实现自动控制及离机遥控操作。

一、钻爆破岩掘进

钻爆破岩掘进是技术相对比较简单、发展最早的一种掘进技术。20 世纪 50 年代,国外已基本实现钻、装、支等工序的单项机械化;60 年代以后,主要是改进原有设备,组织平行作业,实现机械化配套作业线;进入 70 年代以来,自法国的 Monta Bert 推出世界上第一台实用的液压凿岩机后,液压凿岩机得到迅速的发展与应用。瑞典 Atlas Copco 公司于 80 年代研制推出的三档式液压凿岩机,因可改变输出冲击能,所以适用于在不同硬度的岩石巷道掘进中钻凿炮眼,从而得到世界各国的重视。目前,液压凿岩机新产品更新换代时间短,新产品、新型号不断涌现,产品性能向大转矩、大冲击能和高频率方向发展。如法国 Eimco Secoma 公司生产的 RPH200 型、RPH400 型液压凿岩机早已为 HD200 型、HD300 型所取代。瑞典 Atlas Copco 公司研制的 COP1238 型液压凿岩机早已被 COP1838 型、COP4050 型液压凿岩机所取代。COP1838 系列液压凿岩机的功率达到 18 kW,钻凿比比 COP1238 高 50%,且其内部缓冲装置经过改进,能更好地吸收钎具的反弹与振动;而 COP4050 型液压凿岩机的功率更大,它的冲击功率最大可达 45 kW,深孔凿岩时一般用 30 kW 的液压凿岩机。芬兰 Tamrock 公司研制推出的 HL4000 型系列液压凿岩机可钻凿孔径达 170~230 mm、深度达 38 m 的炮眼。近年来,由于液压凿岩技术的大力发展,形成了钻、装、运、支等机械化配套作业线;法、英、德等相继开发出了一机多用的机组,简化了工作面的作业设备,缩短了

机械搬、调、运时间,提高了掘进工效和速度。美国采用内燃机钻车与铲运机(LHD)掘进岩巷,取得了良好效果,而且还开发出了微机控制的液压钻车。

二、悬臂式掘进机

悬臂式掘进机作业线主要由悬臂式掘进机、桥式转载机及后配套设备组成。掘进机把岩石切割破落下来之后,破碎的岩渣经装运机构收集、转运至机器尾部卸下,由配套桥式转载机、运输机或梭车运走。悬臂式掘进机的切割臂可以上下、左右自由摆动,能切割任意形状的巷道断面,切割出的表面精确、平整,便于支护。履带式行走机构使机器调动灵活,便于转弯、爬坡,对复杂地质条件适应性强。20世纪后期,通过成功地开发和推广使用锚杆支护技术,使悬臂式掘进机掘进技术适应性大大加强,进一步推动了该技术的推广使用,目前已成为煤矿巷道掘进的一种最主要的方法。本书将主要对这种掘进技术进行介绍。

三、连续采煤机

第一台连续采煤机出现于20世纪40年代,现已经历了三代产品的更迭。目前主要是第三代滚筒式连续采煤机,通常由截割机构、装运机构、履带行走机构、液压系统、电控系统、冷却喷雾除尘系统及安全保护装置等组成,达到了很高的制造水平。目前使用的代表机型是美国JOY公司的12CM15—10D、12CM15—10B型连续采煤机,其两台截割电动机横向布置在截割臂的两侧,通过减速器将动力传至截割链及左右截割滚筒。

为了最大限度地发挥连续采煤机在煤巷掘进和房柱式采煤作业中生产效率高的特点,连续采煤机作业线配有机动灵活、快捷高效的配套装备,包括工作面运输设备、顶板支护设备、辅助作业设备和工作面供电设备。目前,连续采煤机配套设备具有代表性的包括:菲尔奇公司的HDDR—AC型锚杆钻车和澳大利亚海卓莫替克公司的ARO—40—RELMB系列四臂型锚杆钻车;朗艾道公司生产的CHC818Un—A型运煤车、488GLBC铲车、1030給料破碎机、2000吨MBC/PBC8单元连续运输系统;JOY公司生产的10SC32—48B系列梭车;菲尔奇公司的MRS—3H型和奥钢联的ABLS185/380型履带式行走支架。这些机型均是集机、电、液为一体的自行式设备。

根据连续采煤机及其配套设备技术特征,针对不同机型及其配套设备适应不同矿井的煤层赋存条件、地质条件,目前我国已形成三种典型的连续采煤机配套工艺系统,即:连续采煤机—连续运输工艺系统,连续采煤机—运煤车工艺系统,连续采煤机—梭车工艺系统。

四、掘锚联合机组

多年以来,世界主要产煤国一直在研究如何使连续采煤机与锚杆钻机合二为一,即在连续采煤机上装设锚杆钻机,用一台设备来完成巷道掘进的落、装煤及锚杆打眼、安装功能,从而出现了掘锚联合机组。

掘锚机组是在悬臂式掘进机和连续采煤机的基础上发展起来的集掘锚于一体的综掘设备,它较好地实现了掘进与支护的平行作业,大大提高了开机率和生产效率,使工人操作设备的安全性大为提高。因此,掘锚机组将会是今后掘进技术的一种发展方向。

五、全断面掘进机

全断面掘进机出现于19世纪后半叶,至20世纪60年代这一技术已逐渐成熟。进入80年代后,全断面掘进机在国外已广泛用于各种隧道工程,尤其是大断面长距离硬岩隧道的掘进。世界著名的英吉利海峡海底隧道就是用11台全断面掘进机完成的。国外全断面掘进机刀盘直径范围为2~10.5m,单刀推力超过220kN,可切割抗压强度达400MPa的

岩石。全断面掘进机作业线由主机与后配套设备组成,其主机主要由截割盘、刀盘驱动系统、支撑和推进机构、机架、转载运输机、操作室等部分组成。全断面掘进机机重身长,切割功率大,迈步式推进机构及支撑机构可提供强大的推进力及水平支撑力,因而切割硬岩的能力强、生产效率高,适用于大断面圆形巷道一次成形;也可以先用刀盘直径较小的掘进机掘出一条导洞,再用扩孔掘进机或钻爆法扩大断面至工程要求的形状与尺寸。

第二节 掘进技术发展趋势

今后,掘进技术仍然会在钻爆破岩掘进、悬臂式掘进机、连续采煤机、掘锚联合机组以及全断面掘进机五个方向持续发展。在全硬岩巷道的掘进中,钻爆破岩掘进在很长一段时间内仍会是一种主要方式,但在一些重要领域,全断面掘进机会逐步取代钻爆破岩掘进;在硬度较低的全岩巷道和半煤岩巷道,悬臂式掘进机会得到大力发展,逐步成为主要的掘进方式;在一些条件适宜的煤巷掘进中,掘进效率最高的连续采煤机和掘锚联合机组将会得到推广应用。

钻爆破岩掘进法:这种掘进技术的关键设备是凿岩机。由于液压凿岩机具有能量消耗少、凿岩速度快、效率高、噪音小、易于控制、卡钻事故少、钻机寿命长等许多优点,因而将会得到快速的发展。液压凿岩机发展趋势是大扭矩、大冲击能、高频率;液压凿岩技术也会向着钻、装、运、支配套作业方向发展。

悬臂式掘进机掘进法:悬臂式掘进机掘进法是目前中等硬度以下使用最为普遍的一种综合机械化掘进技术,其关键设备是悬臂式掘进机。目前,悬臂式掘进机在基本功能、可靠性方面的技术已基本成熟。今后,悬臂式掘进机将会向着大型化、辅助功能多样化及机、电、液一体化的方向发展。

连续采煤机及掘锚联合机组掘进法:连续采煤机和锚杆钻机的交叉换位施工,使煤巷掘进速度大幅提高。在连续采煤机基础上,通过装设锚杆钻机,用一台设备来完成巷道掘进的落、装煤及锚杆打眼、安装功能,从而出现了掘锚机组。掘锚机组引起了世界采矿界的广泛关注,被誉为煤巷掘进机的一次技术革命。相比连续采煤机,掘锚机组适应范围更广,支护效果、掘进工效也有了进一步改善。掘锚机组掘进法将是煤巷掘进的一种主要趋势。

全断面掘进机掘进法:在长距离、大断面硬岩掘进方面,全断面掘进机掘进法在世界范围内得到了广泛的使用。全断面掘进今后将会向着大断面化、断面多样化、使用范围扩大化、自动化和长距离化的方向发展。

第二章 悬臂式掘进机

第一节 概 述

掘进机是具有截割、装载、转载煤岩及有喷雾降尘等功能,并能自己行走,以机械方式破碎煤岩的掘进设备,有的还具有支护功能。根据所掘断面的形状分为全断面掘进机和部分断面掘进机。前者适用于直径一般为 2.5~10 m 的全岩巷道、岩石单轴抗压强度 50~350 MPa 的硬岩巷道,可一次截割出所需断面,且断面形状多为圆形,主要用于工程涵洞及隧道的岩石掘进;后者一般适用于单轴抗压强度小于 60 MPa 的煤、半煤岩、软岩水平巷道,但大功率机器也可用于单轴抗压强度达 200 MPa 的硬岩巷道,一次仅能截割断面的一部分,需要工作机构多次摆动、逐次截割才能掘出所需断面,断面形状可以是矩形、梯形、拱形等多种形状,其中部分断面掘进机在煤矿使用普遍。

悬臂式掘进机按截割头布置方式可分纵轴式和横轴式两种;按掘进对象分为煤巷、半煤岩巷和全岩巷三种;按机器的驱动形式分为电力驱动(各机构均为电动机驱动)和电—液驱动两种。

一、国外掘进机发展概况

早在 20 世纪 30 年代,德国、苏联、英国、美国等就开始了煤矿巷道掘进机的研制,但巷道掘进机得到较广泛工业性应用还是在第二次世界大战之后。1948 年,匈牙利开始研制 F 系列煤巷掘进机,当时是为了适应房柱式开采的需要。1949 年匈牙利生产的 F2 型掘进机是世界上第一台悬臂式掘进机,不过当时还未能实现悬臂式掘进机的全部主要功能。1951 年匈牙利研制了采用履带行走机构的 F4 型悬臂式掘进机,这种机型除采用横轴截割方式和调动灵活的履带行走机构外,还采用了铲板和星轮装载机构,并采用了刮板输送机转运物料。F4 型悬臂式掘进机已经具备了现代悬臂式掘进机的雏形。F 系列掘进机是目前悬臂式横轴掘进机的原始机型。1971 奥地利 ALPINE 公司在匈牙利 F 系列掘进机的基础上,研制了 AM—50 型掘进机,并在此基础上逐步形成了 AM 系列掘进机。1972 年德国引进 AM—50 型掘进机在半煤岩巷中使用,在此基础上,EICKHOFF 公司自行研制出 EV—II 型掘进机,并发展成为 EVA 系列掘进机。1973 年 WESTFALIA 公司研制成功了 WAV—170 和 WAV—200 型掘进机,并在此基础上发展为 WAV 系列型掘进机。F 系列、AM 系列和 WAV 系列掘进机均采用横轴截割机构。

1956 年苏联生产了首台 ПК—3 型纵轴悬臂式掘进机,在 8 m² 断面下煤巷中使用。ПК—3 型掘进机是目前纵轴悬臂式掘进机的雏形。1960~1964 年,英国从苏联引进了 ПК—3 型掘进机进行工业性试验,同时开始了悬臂式掘进机的研制。1963 年 DOSCO 公司在 ПК—3 型掘进机的基础上,通过改变截割头截齿排列和更换电气系统,研制成了 MK—II 型和 MK—II A 型掘进机,并逐步发展成为 DOSCO 系列掘进机。1968 年,德国 EICK-

HOFF 公司在引进的 DOSCO 掘进机基础上研制开发出了 EV—100 型掘进机。后来德国 PAURAT 公司又研制出了 ET 系列掘进机,使纵轴悬臂式掘进机逐步形成系列化。1966 年,日本三井三池机械制造公司在苏联 ИК—3 型和英国 DOSCO 掘进机的基础上,研制成功了 S 系列掘进机。到 20 世纪 70 年代后期,S 系列掘进机已逐步形成系列化。

经过半个多世纪的发展,目前,国外掘进机主要生产国,即英、德、俄罗斯、奥地利、日本等国所生产的掘进机已被广泛用于硬度低于 $f=8$ 半煤岩的采准巷道掘进,并扩大到岩巷。重型机不移位截割断面达 $35\sim 42\text{ m}^2$,多数机型能在纵向 $\pm 16^\circ$ 、横向 8° 的斜坡上可靠工作,截割功率在 $132\sim 300\text{ kW}$,机重在 $50\sim 100\text{ t}$,切割岩石硬度 $f=12$ 。部分机型截割速度已降至 1 m/s 以下,牵引速度采用负载反馈调节,以适应不同岩石硬度;一些机型除设有后支撑外,还在履带前后安装了卡爪式液压扎脚机构,以便在切割岩石时锚固定位。机电一体化已成为掘进机发展趋势,新推出的掘进机可以实现推进方向和断面监控、电动机功率自动调节、离机遥控操作及工况监测和故障诊断,部分掘进机实现 PLC 控制,实现回路循环检测。表 2-1 是国外几种代表机型的技术参数。

表 2-1 国外几种代表机型技术参数

型 号	断面 / m^2	截割硬度 / MPa	机重 / t	总功率 / kW	截割功率 / kW	适应坡度 / $(^\circ)$	外形尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高) / m	生产国家
F6—HK	18	≤ 30	10.5	60.2	30	± 15	$7.5\times 2\times 1.75$	匈牙利
ИК—9P	22	≤ 40	33	200.8	93	± 10	$7.7\times 1.8\times 1.83$	苏联
AM—50	18	≤ 70	24	155	100	± 16.2	$7.5\times 1.91\times 1.65$	奥地利
MRH—S100	21	≤ 60	25	145	100/60	± 15	$8.3\times 2.8\times 1.8$	日本
WAV300	46	≤ 100	100	469.5	300	± 22.5	$13.25\times 3.63\times 2.02$	德国
MK3	34	≤ 120	96	407	250/150	± 18	$13.75\times 2.81\times 2.5$	英国
MRH—S220	33	≤ 140	56	310	220/120	± 22	$10.6\times 3.6\times 2.16$	日本
AHM105	46	≤ 120	120	555	300	± 20	$12.2\times 2.825\times 2.594$	奥地利

二、国内掘进机发展概况

我国悬臂式掘进机的发展大体分为三个阶段。

第一阶段是 20 世纪 60 年代初期到 70 年代末。这一阶段主要是以引进国外掘进机为主,在引进的同时,我国的技术人员开始尝试进行消化吸收,但研究水平较低,主要以切割煤的轻型机为主,以当时太原煤研所研制的反帝 I 型、反帝 II 型和反修 III 型为代表,形成我国第一代掘进机。尽管如此,这一时期的尝试也为我国悬臂式掘进机的第二阶段发展打下了良好的技术基础。这一时期产品的主要特点是重量轻、体积小、截割能力弱、技术含量偏低,适应于煤巷掘进。

第二阶段是 20 世纪 70 年代末到 90 年代初,为消化吸收阶段。这一阶段我国分别从英国、奥地利、日本、苏联、美国、德国、匈牙利等国家引进了 16 种、近 200 台掘进设备,对我国煤矿使用掘进机起到了推动作用。在此期间,我国与国外合作生产了几种悬臂式掘进机并逐步实现了国产化;同时由煤科总院太原分院研制的 EM1—30 型、EL—90 型和 EL—110 型掘进机分别在佳木斯煤机厂和淮南煤机厂投入小批量生产。在煤矿采掘设备“一条龙”项