

The background of the cover is a dark green color with a faint, light-colored technical drawing of a roller coal machine. The drawing shows a long, horizontal assembly with various rollers, gears, and structural components, typical of heavy machinery used in coal mining. The drawing is centered and spans most of the width of the cover.

刘春生 著

滚筒式采煤机 理论设计基础

中国矿业大学出版社

滚筒式采煤机理论设计基础

刘春生 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书较系统地讲述了螺旋滚筒式采煤机理论设计的基本方法。从实用的角度,围绕采煤机机械传动系统和特有的机构问题展开讨论。其主要内容是:煤的物理机械性能及镐形截齿的力学基本模型和截割理论;采煤机负载特性数理分析和滚筒载荷的详细计算方法;螺旋滚筒设计计算中的基本参数、截齿排列及其安装布置的理论条件;采煤机调高系统和结构设计计算方法;采煤机无链牵引机构理论设计的数学模型和性能参数模拟分析;采煤机机械传动设计的基本原则和特殊结构的动态及优化设计方法;采煤机整机的静力学和动力学模型及计算分析方法,并系统地给出了采煤机性能和设备参数匹配的理论方法。

本书可作为从事采煤机研究和产品开发等工作的工程技术人员的参考资料,亦可作为高等院校有关专业的教学和毕业设计参考书。

图书在版编目(CIP)数据

滚筒式采煤机理论设计基础/刘春生著. —徐州:中国矿业大学出版社,2003.5

ISBN 7-81070-680-2

I. 滚... II. 刘... III. 滚筒式采煤机—基础知识
IV. TD421.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 096337 号

书 名 滚筒式采煤机理论设计基础
著 者 刘春生
责任编辑 刘永清
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)
印 刷 北京地质印刷厂
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 10.625 字数 258 千字
版次印次 2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月第 1 次印刷
印 数 1~1000 册
定 价 16.80 元

(图书若有印装质量问题,本社负责调换)

前 言

采煤机直接用于煤炭的地下开采,是煤炭生产中最主要的机械设备之一。进入 20 世纪 90 年代后,随着煤炭生产向集约化方向发展,减员提效、提高工作面单产成为煤炭发展的主流,发展高产高效工作面势在必行。我国是一个发展中国家,改革开放以来,采煤机研发有了长足的发展,尤其国产电牵引采煤机发展速度很快,应该说跟上了世界采煤机发展的走向。但在性能和可靠性上与世界先进国家的采煤机相比,还存在较大的差距。为此,依靠科技进步,推进技术创新,开发高产高效矿井综合配套技术是我国煤炭科技发展的主攻方向。机械设备的先进性、品种、质量、可靠性、适应程度以及寿命等是衡量一个采煤国家的采煤机技术水平的标准。为提升产品设计质量,完善快速设计和个性设计手段,采煤机的理论设计方法尚需加大研究力度。

本书系统地介绍了采煤机设计的基本理论和方法,重点介绍了采煤机典型的和特殊的机构及参数设计的方法。全书共分 9 章:第一章详细介绍了采煤机的发展历程、现状及其发展的趋势;第二章讲述了煤岩的物理机械性质,重点介绍了镐形截齿力学模型及截割理论;第三章分析采煤机负载功率和滚筒载荷的特征及其计算方法,尤其是对轴向力进行了较全面系统的分析,并提出了非正常因素引起的轴向力;第四章阐述了螺旋滚筒基本参数确定理论方法、截齿排列的理论依据、镐形截齿安装角确定的理论条件及截齿应力状态分析;第五章着重讨论了调高系统及结构的理论设计和分析方法;第六章以三种无链牵引机构为主,介绍了其参数设计、性能计算和模拟分析的方法;第七章阐述了采煤机机械传动的设计原则,对于采煤机特殊的结构(如弹性扭矩轴),讨论了静态、动态设计分析方法,并给出了机械传动系统动态设计的动力学模型;第八章提出了采煤机整机的静力学、动力学模型,尤其是静力学模型及其计算方法,为采煤机的系统性分析研究奠定了基础;第九章详细论述了采煤机及其相关设备间的性能参数匹配理论方法,同时着重讨论了采煤机自身的性能参数相互依赖关系,为整机参数最佳设计提供理论依据。

本书是作者多年来学习和研究采煤机设计理论、方法和应用成果的一个总结。在将多年来研究的成果进行系统归纳、整理编写的过程中,摘引和参阅了大量专家、学者的论文和论著,同时,得到了鸡西煤矿机械有限公司总经理李树林高级工程师、总工程师王长富高级工程师、采煤机设计所所长闫晓林高级工程师及主任齐恒军高级工程师,辽宁工程技术大学李贵轩和李晓豁教授等的帮助和建设性建议;并得到黑龙江科技学院的大力支持,在此特向学院领导和为本书出版给予支持与帮助的同志们表示衷心的感谢。

编写滚筒式采煤机理论设计基础一书,在我国尚属首次,由于作者的学知水平有限,书中疏漏及不当之处在所难免,恳请读者提出批评指正。

著 者
2002 年 11 月

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 采煤机发展历史	1
1.2 我国采煤机 30 年发展进程	1
1.3 电牵引采煤机的技术现状和发展趋势	4
第二章 煤的物理机械性能及截割理论	10
2.1 煤层构造特点	10
2.2 煤的物理机械性质	11
2.3 镐形截齿的力学模型和截割机理	16
2.4 镐形截齿破煤截割力的计算	21
第三章 采煤机负载特性和滚筒受力计算	24
3.1 采煤机功率负载特性	24
3.2 螺旋滚筒载荷计算	28
3.3 螺旋滚筒轴向力	32
3.4 滚筒轴向移位时的附加轴向力	36
第四章 螺旋滚筒设计计算	41
4.1 螺旋滚筒结构参数的基本计算	41
4.2 截齿排列及其切屑图	46
4.3 采煤机镐形截齿安装角	51
4.4 镐形截齿合金头及焊缝应力分析	55
4.5 截齿钎焊缝隙的理论方法	59
4.6 螺旋滚筒式工作机构运动学	61
第五章 采煤机调高系统设计	64
5.1 滚筒调高的基本受力分析	64
5.2 采煤机调高机构动力参数	67
5.3 采煤机滚筒调高机构优化设计	70
5.4 采煤机调高机构的动力学分析	74
5.5 调高液压系统回油阻尼设计	76
5.6 煤岩分界及采煤机摇臂调高简介	80

第六章 行走机构的设计	84
6.1 无链牵引机构	84
6.2 滚轮齿条无链牵引机构	85
6.3 摆线轮销轨式无链牵引机构	90
6.4 渐开线摆线复合齿无链牵引机构	94
6.5 单圆弧齿廓链轨式无链牵引机构	99
第七章 机械传动设计	103
7.1 机械传动系统设计原则	103
7.2 截割部传动系统动态仿真	104
7.3 弹性扭矩轴的设计	107
7.4 采煤机弹性扭矩轴的动态分析及设计	110
7.5 采煤机摇臂传动齿轮变位系数的优化	114
7.6 2K-H型行星齿轮机构	116
第八章 采煤机力学分析	122
8.1 采煤机整机受力分析	122
8.2 采煤机机身横截面受力分析	125
8.3 采煤机摇臂壁厚的最佳确定	128
8.4 采煤机整机的动力学分析	132
第九章 配套参数及计算	139
9.1 综采设备空间尺寸配套关系	139
9.2 综采设备配套评价及工作面长度最优化	140
9.3 导向滑靴内偏转间隙	145
9.4 液压支架推移机构与输送机连接匹配	147
9.5 采煤机喷雾灭尘系统压力流量特性	151
9.6 采煤机滚筒转速与牵引速度范围匹配	155
9.7 采煤机牵引与截割功率的匹配	158
主要参考文献	162

第一章 绪 论

1.1 采煤机发展历史

20世纪40年代初,英国和前苏联相继研制出了链式采煤机。这种采煤机是用截链截落煤,在截链上安装有被称为截齿的专用截煤刀具,其工作效率低。同时德国研制出了用刨削方式落煤的刨煤机。50年代初,英国和德国相继研制出了滚筒采煤机,在这种采煤机上安装有截煤滚筒,这是一种圆筒形部件,其上装有截齿,用截煤滚筒实现装煤和落煤。这种采煤机与可弯曲输送机配套,奠定了煤炭开采机械化的基础。这种采煤机的主要缺点有二,其一是截煤滚筒的安装高度不能在使用中调整,对煤层厚度及其变化适应性差;其二是截煤滚筒的装煤效果不佳,限制了采煤机生产率的提高。进入60年代,英国、德国、法国和前苏联先后对采煤机的截割滚筒作出两项革命性改进。其一是截煤滚筒可以在使用中调整其高度,完全解决对煤层赋存条件的适应性;其二是把圆筒形截煤滚筒改进成螺旋叶片式截煤滚筒,即螺旋滚筒,极大地提高了装煤效果。这两项关键的改进是滚筒式采煤机成为现代化采煤机械的基础。

可调高螺旋滚筒采煤机或刨煤机与液压支架和可弯曲输送机配套,构成综合机械化采煤设备,使煤炭生产进入高产、高效、安全和可靠的现代化发展阶段。从此,综合机械化采煤设备成为各国地下开采煤矿的发展方向。自70年代以来,综合机械化采煤设备朝着大功率、遥控、遥测方向发展,其性能日臻完善,生产率和可靠性进一步提高。工况自动监测、故障诊断以及计算机数据处理和数显等先进的监控技术已经在采煤机上得到应用。

1.2 我国采煤机30年发展进程

1.2.1 20世纪70年代是我国综合机械化采煤起步阶段

20世纪70年代初期,煤炭科学研究总院上海分院集中主要科技骨干,研制出综采面配套的MD-150型双滚筒采煤机,另一方面改进为普采配套的DY100型、DY150型单滚筒采煤机;70年代中后期,制造出MLS₃-170型双滚筒采煤机。20世纪70年代我国采煤机的发展有以下特点:

1. 装机功率小

例如,MLS₃-170型双滚筒采煤机,装机功率170 kW;MD-150型双滚筒采煤机,装机功率150 kW;DY-100和DY-150型单滚采煤机,装机功率100 kW和150 kW。

2. 有链牵引,输出牵引力小

此时期的采煤机牵引方式都是采用圆环链与牵引链轮啮合传动,传递牵引力小,牵引力在200 kN以下。

3. 牵引速度低

由于受液压元部件可靠性的限制,设计的牵引功率较小,牵引速度一般不超过 6 m/min。

4. 自开切口差

由于双滚筒采煤机摇臂短,又都是有链牵引,很难割透两端头,且容易留下三角煤,故需要人工清理,单滚筒采煤机更是如此。

5. 工作可靠性较差

我国基础工业比较薄弱,元部件质量较差,反映在采煤机的寿命普遍较低,特别是液压元部件损坏比较严重。

1.2.2 20 世纪 80 年代是我国采煤机发展的兴旺时期

20 世纪 70 年代后期,在我国总共引进 143 套综采成套设备中,世界主要采煤机生产国如英国、德国、法国、波兰、日本等都进入中国市场,其技术也展示在中国人的面前,为我们深入了解外国技术和掌握这些技术创造了条件,同时通过 20 世纪 70 年代自行研制采煤机的实践,获得了成功和失败的经验和教训。确立了我国采煤机的发展方向,即仿制和自行研制并举。以西安煤机厂为主生产的 MXA300 型采煤机,被列为国家“六五”科技攻关项目的 MG300-W 型采煤机,并由上海分院负责设计、试验,鸡西煤矿机械厂负责制造。与此同时,山西省与英国安德森公司达成引进 AM500 型生产图纸的协议,由太原矿山机器厂生产 AM500 型采煤机。自此,我国形成了大功率采煤机三足鼎立的局面。

解决难采煤层的问题是 20 世纪 80 年代重大课题之一:具体的课题是薄煤层综合机械化成套设备的研制;大倾角综采成套设备的研制;“三软”、“三硬”4.5 m 一次采全高综采成套设备的研制;解决短工作面的开采问题,短煤壁采煤机的研制。

据初步统计,20 世纪 80 年代自行开发和研制的采煤机品种有 50 余种,是我国采煤机收获的年代,基本满足我国各种煤层开采的需要,大量依靠进口的年代已一去不复返了。20 世纪 80 年代采煤机的发展有以下特点:

1. 重视采煤机系列的开发,扩大使用范围

20 世纪 70 年代开发的采煤机,一种类型只有一个品种,十分单一,覆盖面小,很难满足不同煤层开采需要。20 世纪 80 年代起重视系列化采煤机的开发工作,一种功率的采煤机可以派生出多种机型,主要原部件在不同功率的采煤机上都能通用,这样不仅扩大了工作面的适应范围,而且便于用户配件的管理。采煤机系列是 20 世纪 80 年代采煤机发展中非常突出的特点。

2. 元部件攻关先行,促使采煤机工作可靠性的提高

总结 20 世纪 70 年代采煤机开发中的经验教训,元部件的可靠性直接决定采煤机开发的成功率,所以攻关内容为:主电机的攻关,以解决烧机现象;齿轮攻关,从选择材质上,热处理工艺上着手,学习国内外先进技术成熟经验,以德国齿轮为目标进行攻关,达到预期目的,解决了低速重载齿轮早失效的问题;液压系统和液压元部件的攻关,主油泵和油马达的可靠性直接影响牵引部工作的可靠性,在 20 世纪 80 年代中期,把斜轴泵、斜轴马达、摆线马达、阀组和调速机构等都列入部重点攻关内容。

3. 无链牵引的推广使用,使采煤机工作平稳,使用安全

在引进大功率采煤机的同时,无链牵引技术传入中国,其德国艾柯夫公司的销轨式无链牵引和英国安德森公司的齿轨式无链牵引占绝大多数,而且技术成熟。为此,我国研制采煤机的

无链牵引都向引进机组的结构上靠拢。仿制和引进技术生产的采煤机更是如此。无链牵引使采煤机工作平稳,使用安全,承受的牵引力大,因此,得到用户的广泛欢迎,大功率采煤机都采用无链牵引系统。

1.2.3 20世纪90年代是电牵引发展的时代

进入20世纪90年代后,随着煤炭生产向集约化方向发展,减员提效、提高工作面单产成为煤炭发展的主流,发展高产高效工作面势在必行,采煤机开发研制围绕高产高效的要求进行,其主要方向是:

(1)大功率高参数的液压牵引采煤机:最具有代表性的机型是MG2×400-W型采煤机。

(2)高性能电牵引采煤机:电牵引采煤机的研制从20世纪80年代开始起步,20世纪90年代全面发展,电牵引的发展存在直流和交流两种技术途径。进入20世纪90代后,交流变频调速技术在中厚煤层采煤机中推广使用,上海分院先后开发成功MG200/500-WD、MG200/450-BWD、MG250/600-WD、MG400/920-WD和450/1020-WD等采煤机,变频调速箱可以是机载,也可以是非机载。另外派生出8种机型,都已投入使用,取得较好的效果。太原矿山机械厂在引进英国Electra1000直流电牵引全套技术的基础上,开发出MG400/900-WD和250/600-WD型两种交流电牵引采煤机,鸡西煤机厂、辽源煤机厂也开发了交流电牵引采煤机。

国产电牵引采煤机虽然发展速度很快,但在性能和可靠上与世界先进国家的采煤机相比,还存在较大的差距,所以一些有实力的矿务局,在装备高产高效工作面时,把目光移到国外,进口国外最先进的电牵引采煤机。如神府华能集团公司引进美国的6LS、7LS电牵引采煤机;兖州矿业集团公司引进德国的SL-500型和日本的MCLE-DR102102型交流电牵引采煤机,但由于价格昂贵,故引进数量较少。90年代采煤机技术发展的特点如下:

1. 多电机驱动横向布置的总体结构成为电牵引采煤机发展的主流

我国开发的电牵引采煤机,一般都采用横向布置,各大部件由单独电动机驱动,传动系统彼此独立,无动力传递,结构简单,拆装方便,因而有取代电动机纵向布置的趋势。

2. 我国采煤机的主要参数与世界先进水平的差距在缩小

在装机功率方面,我国的液压牵引采煤机装机功率达到800 kW,电牵引采煤机装机功率达到1020 kW,其牵引功率为2×50 kW,可满足高产高效工作面对功率的要求。在牵引力和牵引速度方面,电牵引的最大牵引力已达到700 kN,最大牵引速度达12.26 m/min,微处理机控制的工况监测、故障显示、无线电离机控制等方面已达到较高的技术水平。

3. 液压紧固技术的开发研究取得成功

采煤机连接构件经常松动是影响工作可靠性的重要因素,而且解决难度较大,液压螺母和专用超高压泵,在电牵引采煤机中得到推广应用,放松效果显著,基本解决采煤机连接可靠性的问题。

回顾这30年我国采煤机发展的历程,走的是一条自力更生和仿制引进结合的道路,也是一条不断学习国外先进技术为我所用的发展道路,从20世纪70年代主要靠进口采煤机来满足我国生产需要,到今天几乎是国产采煤机占领我国整个采煤机市场,这也是个非常了不起的进步。

1.2.4 我国采煤机发展展望

依靠科技进步,推进技术创新,开发高产高效矿井综合配套技术是我国煤炭科技发展的主

攻方向,根据世界采煤机技术发展潮流和煤炭科技前沿最新消息,我国采煤机应在以下方面进行攻关研究,尽快赶上世界先进水平。

1. 大功率、大截深电牵引采煤机的进一步研究

为了满足高产高效矿井发展的需要,增产减员,增产减面,实行合理化集中生产,拟研制截割功率 $2 \times 500 \text{ kW} \sim 2 \times 600 \text{ kW}$,总装机功率 $1200 \text{ kW} \sim 1500 \text{ kW}$ 以上,截深 $0.8 \text{ m} \sim 1.0 \text{ m}$ 的高效电牵引采煤机;电机横向布置,框架式结构,无底拖架,交流变频调速,供电电压 3300 V 以上;强力型无链牵引系统,具有高牵引速度和牵引力;配用机载增压水泵和吸尘滚筒,操作方便,控制、保护齐全,性能良好。

2. 大功率采煤机的工况监制,故障诊断与控制系统的研究

高可靠性的大功率采煤机是实现高产高效矿井合理集中生产的根本保证,采用机载计算机监测,故障诊断及自动控制系统是提高大功率采煤机可靠性和利用率的重要途径,通过开发采煤机监测传感器和机载计算机系统,以及地面中心站的故障诊断和维修管理专家系统,实现多参数工况监测和井下、地面两极预报型故障诊断及维修管理专家系统等机电一体化技术,使采煤机的技术水平、实现工作能力得以大幅度提高,保证高效连续生产。

3. 应用高新技术,严格管理,提高可靠性

衡量一个采煤国家的采煤机技术水平,首先应对其机械设备的先进性、品种、质量、可靠性、适应程度以及寿命等加以分析。我国是一个发展中国家,改革开放以来,采煤机得到了很大的发展,但生产的质量、寿命、高新技术的应用、科学管理等与世界煤炭工业发达国家相比,还存在较大的差距,国外采煤机有关部件的设计寿命是:齿轮 12500 h ,轴承 $20000 \text{ h} \sim 30000 \text{ h}$,电机绝缘寿命 44000 h ,滚筒(使用寿命)可产煤 300 万 t 。综合工作面采煤机一般都装有自动控制、诊断、数据传输、无线电遥控装置,不仅操作方便,而且能通过诊断装置预先发现故障并及时排除。我国采煤机齿轮、轴承、滚筒、电机等主要部件的设计寿命均低于国外水平。采煤机大部分不具有监控,诊断保护功能,不能预报诊断故障,不能保证采煤机经常处于正常状态。我国要求采煤机出 $150 \text{ 万 t} \sim 200 \text{ 万 t}$ 煤而不大修,实际上与要求还有距离。

1.3 电牵引采煤机的技术现状和发展趋势

20世纪70年代中期,德国Eickhoff公司和美国JOY公司相继研制出最早的直流电牵引采煤机。此后,世界上各主要采煤机研究制造公司均对电牵引采煤机进行了大量的研究开发。80年代后期涌现了大量电牵引采煤机型,并出现了交流电牵引采煤机。20世纪90年代,随着现代科学技术的飞速发展,开发出集电子电力、微电子、信息管理以及计算机智能技术与一体的大功率电牵引采煤机。如美国的JOY公司的LS系列,英国的Long-Airdox公司的Anderson Electra、Anderson EL系列,德国Eickhoff公司的EDW系列、SL系列,日本三井三池制作所的MCLE-DR系列等电牵引采煤机。电牵引采煤机以其性能参数优、可靠性强、自动化程度高、操作方便、控制灵敏、监控保护及检测功能完善和经济效益好等众多优点在国际上被迅速推广使用。

我国从20世纪80年代后期开始研究交流电牵引采煤机,20世纪90年代初期研制成功样机。近10年的攻关研究主要集中在交流电牵引采煤机的系列设计、控制系统及控制功能的开发上。开发的系列交流电牵引采煤机,已在国内煤矿逐步推广使用,取得了比较明显的经济效益。

1.3.1 德国 Eickoff 公司

自 1976 年研制成功直流电牵引采煤机后,基本停止了液压牵引采煤机的开发研究,并陆续开发了多种形式的电牵引采煤机:有截割电机纵向布置的 EDW-450/1100-L 型采煤机;用于薄煤层开采的 EDW-300-LN 型采煤机;ESA-300-L 型短机身直流电牵引采煤机等。

20 世纪 90 年代开发的 SL 系列横向布置交流电牵引采煤机,将截割电机布置在摇臂上。其中 SL500 型电牵引采煤机装机功率可达 1580 kW,最大牵引力为 998 kN。1999 年 10 月展出的新型 SL300 型电牵引采煤机,截割功率 2×420 kW,牵引功率增大到 2×80 kW,最大牵引速度高达 54.5 m/min,总装机功率 1018 kW,采用双变频器一拖一系统,可实现再生制动,多用于倾斜煤层开采,控制系统具有交互式人机对话、设备健康预报、在线控制、数据传输等功能。

1.3.2 英国 Long-Airdox 公司

英国的 Long-Airdox 公司自 1984 年研制成功第一台将截割电机布置在摇臂上的多电机横向布置的 Electra550 型直流电牵引采煤机后,在其基础上加大功率,又研制成 Electra1000 型直流电牵引采煤机。20 世纪 90 年代,Long-Airdox 公司在 Electra 系列机型基础上,加大功率,改进控制系统,开发了 EL 系列交流电牵引采煤机,主要机型有:EL1500C 型、EL1000 型、EL600 型,以及装机功率达 1760 kW 的 EL3000 型(截割功率 2×600 kW,牵引功率 2×10 kW,牵引速度 45 m/min)。在 EL 系列机型上装置的 Impact 集成保护及监控系统,具有负载控制、全面的机器监控、采煤机自动定位、自动调高、区域控制、智能化安全联锁、随机故障诊断、数据传输等功能。

1.3.3 美国 JOY 公司

20 世纪 70 年代研制成功 1LS 多电机横向布置直流电牵引采煤机后,又陆续研制了 2LS-6LS 型多种多电机横向布置直流电牵引采煤机。20 世纪 90 年代在 4LS、6LS 型的基础上又开发了 6LS5 型、7LS 系列交流电牵引采煤机,其中最新的 7LS5 采煤机总装机功率高达 1940 kW,截割功率 2×650 kW(或 2×750 kW),双级行星减速,输出速度 33 r/min~43 r/min;牵引功率 2×110 kW,牵引电机电压从 400 V 提高到 575 V;牵引速度 30 m/min;牵引力 82 t;采用 JOY Ultratrac2000 型强力销轨无链牵引系统,加大销轨节距(175 mm)和宽度,并采用链造销排;装备了与 6LS5 型通用的 JNA(JOY 网络结构)机载计算机信息中心,具有人机通讯界面、故障诊断图形显示和存储、无线电遥控、牵引控制和保护等先进功能。

1.3.4 日本三井三池制作所

1987 年后日本三井三池制作所陆续研制成功多种截割电机纵向布置的交流电牵引采煤机,主要有:MCLE400-DR6868 型;MCLE500-DR101101 型;MCLE600-DR102102 型采煤机,其中 DR102102 型采煤机主电动机功率 600 kW,牵引电机 2×40 kW,牵引速度 15 m/min,牵引力 588 kN,截深可达 1200 mm。近几年又开发了截割电机横向布置的多电机驱动交流电牵引采煤机。上述机型均装置有微机工况及故障诊断系统,可数字显示牵引速度、滚筒位置、留顶底煤厚度、电机负载及各处温度,具有无线电遥控,并可装红外线发射器操纵液压支架。

1.3.5 波兰 KOMAG 采矿机械化研究中心

波兰与中国合作,成功研制了总装机功率 344 kW 的 KSE-344 型薄煤层交流电牵引采煤机的基础上,陆续开发了用于薄煤层的 KSE-360 型、用于中厚煤层的 KSE-700 型、KSE-800RW/2BP 型和 KSE-535S/2BP 型等交流电牵引采煤机。采煤机供电电压基本上采用 1000 V,能监测电机负载和主要装置的温度,截深由原来的 630 mm 提高到 800 mm~1000 mm,新研制的 KSE1000 型采煤机,将供电电压一步提高到 6000 V。

1.3.6 俄罗斯(前苏联)

前苏联在 20 世纪 70 年代研制出了 K128II 直流电牵引采煤机后,又相继研制成功多种直流电牵引采煤机,20 世纪 90 年代开发了 K-88Э 型等交流电牵引采煤机。总体来看,俄罗斯的电牵引采煤机功率较小,直流牵引性能参数较低。

国外电牵引采煤机的总体结构有电机横向布置和纵向布置,牵引调速方式有直流调速和交流调速两种,代表各国先进水平电牵引采煤机的主要机型的主要性能参数见表 1-1。

表 1-1 国外电牵引采煤机的主要机型的主要性能参数

型 号	EDW450/1100-L	DR102102	EL3000	7LS5	SL300	Mitsui Multi-Motor	SL500
装机功率/kW	1180/1080	680	1760	1940	1018	845	1580
截割功率/kW	550×2/500×2	600	600×2	750×2	420×2	375×2	500×2
牵引功率/kW	DC40×2	AC40×2	AC100×2	AC110×2	AC80×2	AC40×2	AC60×2
牵引力/kN	571/353	588/392	—	820	450	588/392	998
牵引速度/m·min ⁻¹	7.6/12.1	10/15	45	30	54.5	—	28
供电电压/V	2300/3300/ 4160/5000	2300/3300	3300	4160	3300	3300	5000
牵引调速方式	直流	交流	交流	交流	交流	交流	交流
滚筒截深/mm	850~1000	700~1000	767~1020	686~1020	800~1000	760~1000	1000~1200
滚筒转速/r·min ⁻¹	23	25	25	33	30	25	25
电机布置	纵向	纵向	横向	横向	横向	横向	横向

1.3.7 国外电牵引采煤机技术特点及发展趋势

1. 装机功率增大,性能参数大幅提高

为了满足高产高效综采工作面快速割煤提高生产能力的需要,不论是厚、中厚和薄煤层电牵引采煤机,其装机功率和主要性能参数都大幅提高

(1)单台截割电动机功率均在 400 kW 以上,目前多数采煤机的单台截割电动机已达到 600 kW,最新的采煤机单台截割功率高达 750 kW;

(2)牵引功率均在 80 kW 以上,新机型已成倍提高,最大达到 220 kW

(3)总装机功率普遍超过 1000 kW,最大高达 1940 kW;

(4)牵引速度、牵引力也大幅提高,目前大功率电牵引采煤机的牵引速度普遍达到 15 m/min~25 m/min,牵引力 500 kN 以上,最大牵引速度和牵引力达到 54.5 m/min 和 998 kN;

(5)截割功率的增大,支架随机支护的实现,为加大滚筒截深创造了条件。以前滚筒的截深大多是 630 mm~800 mm,而今已普遍采用 1000 mm~1200 mm 截深,个别已采用截深 1500 mm;

(6)为提高采煤机的可靠性和可利用率,在传动设计方面,齿轮设计寿命提高到 20000 h 以上,轴承寿命提高到 30000 h 以上。

2. 普遍采用中高压供电

20 世纪 80 年代以来,由于装机功率大幅度提高以及工作面的不断加长,整个工作面容量超过 5000 kW,工作面长度达到 300 m。为减少输电线路损耗,提高供电质量和电机性能,新一代大功率电牵引采煤机几乎都采用中高压供电。供电等级有 2300 V、3300 V、4160 V 和 5000 V 等。

3. 监控保护系统的智能化

现代电牵引采煤机均具有建立在微处理机基础上的智能化监控、监测和保护系统,可实现交互式人机对话、远程控制、无线电遥控、工况监测及状态显示、数据采集存储及传输、健康诊断及预警、自动控制、自动调高等多种功能,以保证采煤机最低的维护量和最高的利用率;并可实现与液压支架、工作面输送机的信息交互和联动控制等功能。英国 Long - Airdox 公司在 EL 系列机型上装置 Impact 集成保护及监控系统,德国 Eickhoff 公司的 Eickhoff 数据汇集技术系统,美国 JOY 公司 6LS 型电牵引采煤机的 JNA 网络信息中心等,都是监控保护系统的智能化。监控保护系统的智能化主要功能可归结为:

(1)负载控制:通过截割电动机电流的精确监测,调整采煤机的牵引速度,使采煤机在不同工况下以最优化的参数进行工作,保证传动系统不易受到持续冲击的影响;

(2)工作面定位控制:可以识别采煤机在工作面的位置,在机头、机尾可自动减速和停止,与支架配合实现自动随机移架,并可检查支架是否正确支护;

(3)与工作面输送机连机的负荷控制:通过对输送机的负荷监测来调节采煤机的采煤量,使采煤机和输送机的生产能力完全相匹配,既提高输送机的可靠性,又充分发挥工作面的生产能力;

(4)自动调高控制:采煤机每移动 1 m 就可精确地测量截割高度和角度 10 次,通过自动算法与存储数据进行比较校正,迅速对采煤机进行最优化调整,该控制可最大限度地减少顶底板的截割台阶,实现平滑过渡,加快工作面设备的推进速度,提高设备的使用寿命,使操作人员能尽量避开粉尘;

(5)运行状态监控和显示:采煤机的数据采集系统可采集大量各类机器参数,如输入电压;电动机电流;轴承、绕组和冷却水温度;控制电源;润滑油温度、消耗;液压系统油位、压力、温度;冷却、喷雾降尘水量和水压;机器速度、方向;摇臂的操作角度;过载保护监控等;

(6)数据传输、顺槽控制及地面监控:采煤机上的双向调制解调器可通过双芯拖移电缆输送到顺槽调制解调器,再通过双向通讯线路传送到地面调制解调器及协议控制器。传送的数据经过地面监控软件包格式化,以图形和表格形式显示,尤如在采煤机上所见一样;

(7)专家系统和故障诊断:已有的专家评定系统可以把来自监控、性能检测和运行参数的任何数据和信息与以往机器维护、使用的情况相比较,从而对机器的健康运行进行诊断,也可

对特定错误和推荐方案提供风险评估。

4. 电牵引系统向交流调速发展

早期的电牵引采煤机大多采用直流调速系统。日本自 20 世纪 80 年代中期研制成功第一台交流电牵引采煤机,特别是进入 90 年代以来,随着交流调速技术和装置的飞速发展,交流调速系统以其技术先进、可靠性高、维护管理简单、价格低廉等优点,被迅速推广使用。美国、德国、英国、法国和波兰等国都先后研制成功交流电牵引采煤机。20 世纪 90 年代中后期研制的大功率电牵引采煤机均采用交流调速系统,正逐步替代直流调速,成为今后电牵引采煤机的发展方向。

从变频器对电机的拖动方式来看,多数交流电牵引采煤机均采用一个变频器拖动 2 台牵引电动机的方式,变频器对电机的性能参数难以准确检测、控制,保护性能无法完全发挥。德国开发的 SL300 型采煤机,采用了 2 台牵引电机由两个变频器分别拖动的方式,使牵引系统的控制和保护性能更加完善。这种一拖一的牵引系统也正被逐步采用,成为电牵引技术发展的又一个特点。

5. 总体结构趋向模块化多电机横向布置

美国从 1LS 开始将截割电机横向布置在摇臂上,至今一直沿用这种结构方式。英国从 Electra550 型开始,以后的 Electra1000 型和 EL 系列电牵引采煤机均采用这种方式。进入 20 世纪 90 年代,德国也开发了横向布置的 SL 系列电牵引采煤机。波兰的电牵引采煤机基本全部采用横向布置方式。由于这种布置方式可使各部件由单独电机驱动,所以机械传动系统彼此独立、可模块式设计、结构简单、装拆方便。

6. 电牵引采煤机已成为开采煤炭的主导机型

从开发研制方面看,世界各主要采煤机厂商于 20 世纪 80 年代中后期都已把重点转向开发电牵引采煤机。从推广使用情况看,美国长壁工作面中电牵引采煤机用量已达 100%,德国占 56%,澳大利亚占 52%。而且,近几年综采工作面的高产高效记录都是由电牵引采煤机所创造的。

1.3.8 今后我国电牵引采煤机的研究目标

与目前国外最先进的电牵引采煤机相比,国内电牵引采煤机在总体参数性能方面尚有较大差距,某些关键部件的性能、功能、适应范围还亟待完善和提高,尤其是线监测、故障诊断及预报、信号传输与采煤机自动控制、传感器等智能化技术和机械部件的可靠性、寿命与国外相比差距甚远。根据我国煤炭生产要求和采煤机技术发展趋势,以及针对国内电牵引采煤机存在的差距,今后主要研究内容如下:

(1)进一步完善和提高交流变频调速系统的可靠性。重点完善和提高系统装置的抗震、散热和防潮性能;

(2)研究可靠的微机电气控制系统,重点提高采煤机电控系统的抗干扰、抗热效应的能力;

(3)开发或增强电控系统的监控功能,重点研究故障诊断与专家系统、工况监测、显示与信息传输系统、工作面采煤机自动运行控制系统、自适应变频电路的漏电检测与保护技术、摇臂自动调高系统等;

(4)开发四象限运行的矿用交流变频调速装置,使采煤机能适应较大倾角煤层开采的需要;

(5)开发单机功率 600 kW,总装机功率 1500 kW 的大功率电牵引采煤机;

(6)电牵引采煤机的可利用率、可靠性和寿命的研究。

国内主要的采煤机研制单位开发的代表机型主要技术参数见表 1-2。

表 1-2 代表机型主要技术参数表

型号	MG450/1020 WD	MGTY400/900	MG400/920 WD	MXB·880	MG250/591
装机功率/kW	1020	980	920	880	591
截割功率/kW	450×2	400×2	400×2	400×2	250×2
牵引功率/kW	AC 50×2	AC40×2	AC50×2	DC40×2	AC40×2
牵引力/kN	700/420	500/300	685/406	577/360	524/437
牵引速度/m·min ⁻¹	7.35/12.3	9/15	7.12/12	54.5	7.5/9
供电电压/V	3300	3300	3300	1140	1140
牵引调速方式	交流	交流	交流	直流	交流
滚筒截深/mm	630~1000	800	800	800	630
滚筒转速/r·min ⁻¹	28.5	32.7	29	28.4	49.6
电机布置	横向	横向	横向	纵向	横向

通过上述研究,提高交流电牵引采煤机的可靠性、安全性、可维护性、自动化程度及设备的可利用率,为实现顺槽以及地面控制奠定良好的技术基础,使我国电牵引采煤机研制技术达到国际 20 世纪 90 年代末期的先进水平,为我国双高综采工作面和双高矿井的建设,提供了技术先进、性能可靠的滚筒采煤机。

除上述我国采煤机在总体水平上存在较大的差距外,在采煤机的机械结构参数设计、加工制造和材质性能与国外先进水平有较大的距离。因使用条件的缘故,采煤机的结构具有其特殊性(截齿、滚筒、行走机构等都有特定要求),如滚筒设计 CAD,滚筒设计制约因素很多,首先要根据复杂多样的煤层地质条件(煤质硬度、夹矸断层、采高倾角、顶底板粘结),然后是工作面的生产技术要求(布置尺寸、生产能力、截煤方式和截割阻力),还要考虑的是采煤机的结构参数(滚筒直径、截深、转速、牵引速度),而最后要设计出一个截割效率高,装煤效果好,块煤产出多,粉煤生成少,截齿消耗小,使用寿命长,制造成本低的截割滚筒。一个好的滚筒设计实际是个多参量。多目标的优化过程,为此开发滚筒设计 CAD 软件包是非常必要的。我国目前还没有基于计算机的快速演算,图形显示动态模拟检查修改功能,对滚筒截割效率,装载性能,截齿受力和振动特性以及制造工艺性等反复验证评估和校核修改,最后显示并打印出优化的滚筒设计图纸的完整实用的软件。为提升产品设计质量,完善快速设计和个性设计手段,采煤机的机械传动系统理论设计尚需加大研究力度。

第二章 煤的物理机械性能及截割理论

煤体是采煤机械的破碎对象,对采煤机截齿的刀具受力和能耗、采煤机的生产率、机械的结构形式、机械的寿命和装机功率等都有直接影响。因此,需要了解煤层的构造特点以及煤和煤层的物理机械性质;同时,为了了解煤的破碎机理,探求截煤过程的合理参数,使采煤机的工作机构可靠、高产、高效、更经济地工作,也需要讨论截煤理论及截齿的受力。

2.1 煤层构造特点

煤是远古地质时代沉积物,并且在此后的漫长岁月中,在与空气隔绝、高压、高温的条件下,经过漫长的碳化变质过程形成的。原始沉积物的不同,碳化变质程度的差异,使煤炭的机械性质和煤层的构造在不同地域有很大差异。煤层含有矸石和硫化铁等硬夹杂物,沉积过程中形成的分层面(称为层理)、地质力使煤层破碎形成的断裂面(称为节理),使煤层各处的性质不同,即煤是一种非均质、各向异性的脆性物质。煤层的构造特点按其形成原因分为原生性和次生性两大类。

2.1.1 原生性构造特点

原生性构造特点由煤层生成时的条件所致,如生成煤层材料、当时的自然条件和环境条件等。人们用下面几个概念描述原生性构造特点,即层理、节理和非均质性等。原生性构造特点中的层理、节理是属于潜伏性的,是指在煤层整体中固有的结构面,这是一种非连续性弱结合面。通常肉眼不易发现它们,仅能在煤层破碎过程中显现出来,这时人们能看到的是光滑而规则的离层面。

2.1.2 次生性构造特点

次生性构造特点是由于地质动力形成的煤层特征,通常用断裂和裂隙这两个概念来描述。断裂是指在煤层内明显充实的分离面;裂隙则是指煤层内张开着的明显可见的大裂缝。

2.1.3 断裂和裂缝的观测

煤层中存在着弱结合面,使煤层强度大为降低。在煤的开采过程中,为节省能源和延长机械寿命,采煤工艺过程就应充分利用煤层强度降低的这一现象。因此,在井下观测断裂和裂缝存在的规律,并对其进行正确描述和掌握,对于煤炭开采是十分必要的。从如下诸方面描述这些规律。

1. 断裂和裂缝的倾角与走向

断裂和裂缝的倾角是指断裂面和裂缝一侧的平面与水平面的夹角。裂缝和断裂的走向是指断裂和裂缝一侧平面与巷道轴线的夹角。这通常由地质和测量方面的工程技术人员给出,标注在图纸上。

2. 裂缝密度

(1) 线裂缝密度 S_1 : 表示单位勘探线或测定线长度上的裂线条数, 称为线裂缝密度, 即

$$S_1 = \frac{N}{L} \quad (2-1)$$

式中 N ——观测到的裂缝条数, 条;

L ——钻孔岩心长度或巷道壁以及工作面的测定线长度, m。

(2) 面积裂缝密度 S_2 : 表示巷道壁或工作面上单位煤层面积上裂缝线总长度, 即

$$S_2 = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{F} \quad (2-2)$$

式中 F ——煤层被观测面积, m^2 ;

N ——在 F 面积内的裂缝总条数, 条;

L_i ——第 i 条裂缝长度, m。

3. 裂缝平均间距

裂缝平均间距用 S_0 表示, 它在观测范围内裂缝之间的平均距离, 由式(2-1)可得

$$S_0 = \frac{L}{N} \quad (2-3)$$

4. 裂缝充填程度

通过观察工作面可发现裂缝之中是否已充满煤粉, 充满情况可分为全充填、半充填和基本未充填等类型。

2.2 煤的物理机械性质

煤的基本性质可以分为物理性质和机械性质两大类。

2.2.1 煤的物理性质

煤的物理性质主要是: 容重、湿度、松散性、孔隙性、导电性和热胀性等。其中与煤层开采密切相关的有: 容重和湿度。

1. 容重

煤岩体的容重是指单位体积煤在干燥状态下的重量。根据煤种类不同, 如泥炭、烟煤、无烟煤以及褐煤等, 其容重在 $1.3 \text{ t/m}^3 \sim 1.45 \text{ t/m}^3$ 范围内变化(计算时通常取 1.35), 表 2-1 给出了几种煤和岩石的容重。

表 2-1 几种煤和岩石的容重

煤和岩石名称	花岗岩	砂岩	石灰岩	页岩	泥炭、褐煤、烟煤、无烟煤
容重/ $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	2.56~2.67	2.11~2.64	2.46~2.6	2.16	1.3~1.45

2. 煤的湿度

煤的湿度用含水率表示。含水率是指在煤层的缝隙中存留的水的重量与煤固体重量之比。含水率高的煤岩体, 结构被弱化, 其强度有明显降低。采煤机械开采这样的煤层时, 功率