

工业煤粉锅炉煤粉制备中磨煤机的选型及发展

于清航^{1,2,3}

(1.煤炭科学技术研究院有限公司 节能工程技术研究分院,北京 100013;2.煤炭资源开采与环境保护国家重点实验室,北京 100013;
3.国家能源煤炭高效利用与节能减排技术装备重点实验室,北京 100013)

摘要:磨煤机是工业煤粉锅炉煤粉制备系统中的核心设备。我国煤炭种类的多样性决定了磨煤机类型的多样化,磨煤机的正确选型在煤粉制备系统中至关重要。详细介绍了低速、中速和高速三大类别中各类型磨煤机各自的发展历程、工作原理、结构特点以及优缺点,分析了各类型磨煤机对煤种的适用性,说明中速磨煤机最适宜应用于目前工业煤粉锅炉煤粉制备系统,指出随着工业煤粉锅炉的快速发展,磨煤机不仅要适应性强,粉磨效果好、产量高、质量硬,还要在降耗及环境方面有所突破。

关键词:工业煤粉锅炉;煤粉制备;磨煤机;选型

中图分类号:TM621.2 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)01-0099-04

Type selection and development of coal mill in pulverized coal manufacturing for industrial pulverized coal boiler

YU Qinghang^{1,2,3}

(1.Energy Conservation and Engineering Technology Research Institute, Coal Science and Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China;

2.State Key Laboratory of Coal Mining and Environmental Protection (China Coal Research Institute), Beijing 100013, China; 3.National

Energy Technology and Equipment Laboratory of Coal Utilization and Emission Control (China Coal Research Institute), Beijing 100013, China)

Abstract: Coal mill is a basic equipment in pulverized coal manufacturing for industrial pulverized coal boiler. The diversity of coal in China determines that the coal mills are variety. The correct selection of coal mill enhances the pulverized coal preparation efficiency. The development process, working principle, structure properties, advantages and disadvantages of coal mills in high, medium, low speed pulverized coal preparation system were introduced. The adaptability of coal mills to different coal were analyzed. The results showed that the medium speed was the best choice for the pulverized coal manufacturing. With the rapid development of industrial pulverized coal boiler, good adaptability, great grinding effects, excellent low-energy-consumption and environmental protection were the qualities that the coal mill must possess.

Key words: industrial pulverized coal boiler; pulverized coal preparation; coal mill; type selection

0 引言

煤粉是常见易得的高热值燃料,最早煤粉制备系统是冶金、电力及建材行业的重要辅助系统。最近几年随着煤炭科学技术研究院有限公司研发的高效工业煤粉锅炉技术的开发推广、成熟应用,其配套的煤粉燃料加工配送中心也作为一种新型的煤粉制

备系统逐渐兴起。磨煤机是煤粉制备系统中核心的设备,主要作用是将煤块磨制成煤粉。各种磨煤机将煤磨制成煤粉主要借助击碎、压碎和研碎等方法来实现,每一种磨煤机往往同时具有上述 2 种或 3 种作用。目前国内外磨煤机根据转速大小可以分为:低速磨煤机 15~25 r/min;中速磨煤机 50~300 r/min;高速磨煤机 750~1500 r/min^[1]。

收稿日期:2014-10-30;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.01.023

基金项目:煤炭科学研究总院技术创新基金(2012CX02);煤炭科学技术研究总院技术创新基金(2014CX03)

作者简介:于清航(1983—),女,吉林四平人,助理研究员,博士研究生,主要从事煤炭洁净燃烧和煤粉加工及安全储运研究工作。E-mail:yu9621@sina.com

引用格式:于清航.工业煤粉锅炉煤粉制备中磨煤机的选型及发展[J].洁净煤技术,2015,21(1):99-102.

YU Qinghang. Type selection and development of coal mill in pulverized coal manufacturing for industrial pulverized coal boiler[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(1): 99-102.

1 磨煤机的选型

1.1 低速磨煤机

低速磨煤机即钢球磨机。球磨机应用于工业生产至今已有 140 年之余,从 1950—1975 年 25 年间从最初的 1~2 t/h 产量,44.1 kW 传动功率,逐渐发展到 $\phi 5.8 \text{ m} \times 17.5 \text{ m}$,6600 kW,同时形式也从最初的开流管磨演变为后期的带选粉机的圈流球磨^[2]。球磨机的出现使煤粉制备行业实现了飞速发展,低速磨煤机具有粉磨能力高、制造简单、可满足各种生产能力要求的特点,粉磨初期成为煤粉制备系统中的主力军。但是,随着现代工业的快速发展,球磨机能量利用率低、运行电耗高等缺点逐渐凸显,其粉磨的有效功仅占提供磨机运转总能量的 3% 左右,绝大部分输入能量转变为热能和噪声而浪费,无法满足人们对环保的要求。2001 年开始国内外选用率明显下降,下降幅度高达 60%~80%^[3]。

球磨机是由一个转动的圆柱形或两端为锥形的滚筒和以 15~25 r/min 转动的多数钢球组成。工作时筒内的钢球不断地撞击和挤压磨细煤块,然后由通入滚筒内的热风将煤烘干并将煤粉送出。钢球磨对煤种适应性好,对煤种的“三块”(石块、木块和铁块)不敏感^[4],运行可靠,特别适宜于磨制硬质无烟煤。

1.2 中速磨煤机

中速磨煤机的类别最多。目前按研磨件的形状主要分成球式和辊式 2 种。所有中速磨煤机的工作原理都相同,是借助辊子(或球)的压力和研磨力将煤压碎和研碎,热风从喷嘴环(风环)中以高速喷出,将煤从受压处喷出^[5]。

辊式中速磨中有平盘辊式磨、碗型辊式磨、辊环式磨、球式中速磨。

1.2.1 盘型

其研磨部件由辊子和平盘(斜盘)组成。煤在盘和锥形的辊子之间被碾磨成煤粉,压紧力由加压弹簧或液力-气动压紧装置来提供^[6]。装有均流导向叶片的风环,一种固定于磨煤机机壳上(如 Leosche 磨);另一种固定在转动的磨盘上,并随其一起转动(如 Lopulco 磨)^[7]。

莱歇磨煤机是盘形磨的典型代表,由德国莱歇公司研发,1927 年第一台莱歇磨煤机开始在柏林投入运行,1992 年生产出用于磨制褐煤风磨煤机,2005 年运用了第一台四辊正压磨。莱歇磨煤机采

用平盘与锥形磨辊配合,耐磨板分块布置,磨辊、轴线与水平倾斜 15°,降低了磨辊与磨盘的相对运行速度,减少磨损,粉末效果好;磨辊能依靠磨机固有部件翻出磨外,检修方便;每个磨辊都是独立操作体系,低载荷运行时震动也很低;大直径的棍子可安装在小磨盘的表面,除了棍子的滚动运动外,大而窄的棍子也获得了一个滑动运动,降低了耐磨材料的损耗。另外,还具有产量大、结构简单的优点,但存在冷空气漏入的问题。莱歇磨煤机适用于粉磨具有高挥发分的易燃烧的褐煤。

1.2.2 碗型磨

其研磨部件由辊子和碗型磨盘组成。包括 RP 碗式磨、HP 碗式磨和 HRM 磨。

RP 碗式磨是在传统碗式磨煤机基础上发展而来的磨辊与磨盘之间保持一定间隙,不直接接触。热风通过固定的风环和导流罩进入磨煤机碾磨空间^[8]。

HP 碗式磨是在 RP 磨的基础上发展的,在保留了 RP 磨煤机运行可靠、出力调节范围大、煤粉细度可作线性调节、控制精确、能作空载启动、启动动力较小、密封性能好等优点外,HP 磨煤机又通过在结构、工艺等方面的改造具有了抗磨损性较好、使用寿命长、效率高、出料均匀、维修简单、适应性强等特点,在我国较早被引进使用,在使用过程中发现主要存在以下问题:侧面进煤使各辊子磨煤的受力不均;辊子的加载弹簧在机壳外使磨机内漏入冷空气;磨碗直径限制了磨煤机的大型化发展^[9]。

HRM 磨煤机为合肥水泥研究设计院自 1984 年开始研究,在广泛吸取国外公司立式磨结构优点的基础上,研究设计出新型立式磨。HRM 型立磨采用了胎形磨辊和凹形磨盘的配置,物料由锁风喂料设备从顶部侧端送入旋转的磨盘中心。HRM 型立磨磨辊同样可以翻出机外检修,检修方便;磨辊采用限位装置,磨机工作时不会因断料而剧烈震动;辊套可以根据磨损情况进行调面使用以延长磨辊的使用寿命;辊套和磨盘衬板等磨耗料都采用了快拆装结构,有效地提高了磨机的运转率。另外,分离器具有动态、静态、动静态组合式 3 种基本形式,适用性较强。

1.2.3 辊环型磨

其磨煤部件由凸形磨辊和具有凹槽形滚道的磨环组成,包括 MPS 或 MP 和 MBF、ZGM、雷蒙磨等。

MPS 磨煤机早期生产国家是德、美、英、法和丹麦。在 20 世纪 80 年代初期,北方重工从德国公司

引进 MPS225 等型号的中速磨煤机技术^[10]。早期主要用于粉磨易磨性较好、磨蚀性中等的烟煤及贫煤,现已开发出了多种型号的能够磨制无烟煤和高水分褐煤的 MPS 中速磨煤机^[11]。MPS 磨煤机磨辊是钟摆式结构,具有一定的自由度,在水平方向上可以摆动,能根据需要自动调节。具有以下优点:辊子近似于球形,滚动阻力比较小;辊子尺寸大,原煤进入辊子下的条件也比较好;辊、盘的接触面为圆弧形,同样辊子可以翻转,提高了辊子的金属利用率;增大磨辊直径保持原有横向尺寸使产量增加,有利于磨煤机的产量大型化发展。

MBF 磨煤机与 MPS 磨磨辊与磨盘结合形式相似,但 MBF 磨的磨辊既可绕磨盘中心轴线运动,也可绕自身轴线旋转。

ZGM 磨煤机是在 1985 年北京电力设备总厂在引进 MPS 磨煤机技术的基础上开发研制出的新型磨煤机。1997 年之后,ZGM 磨煤机采用了行星减速机、液压变加载、旋转喷嘴、旋转喷离器等新技术和新材料^[12-14]。ZGM 磨煤机较其他形式立磨主要不同点在于其是磨辊绕着辊轴自转、随压架上下起伏以及水平径向摆动,共有 3 个方向运动的自由度。通过磨辊的碾压、挤压、摆动,有效提高碾磨效率,解决了磨损后期出力下降大的问题;同时该磨采用大辊径低转速设计,因此磨煤机运行平稳、振动小、抗“三块”能力强,排渣量小。

雷蒙磨是从国外传入的一种磨机。1906 年 Grueber 在柏林 Curt Von Grueber 机械制造厂,生产出首台 Maxecon 磨作为磨煤设备,之后由 Loesche 生产出了第一代雷蒙磨系统,1925 年开发了改进型雷蒙磨,然后美国燃烧工程公司又在此基础上研制出 VR 雷蒙。这种雷蒙磨在许多方面与现在的莱歇磨的结构有相似之处。但它不同于莱歇磨锥形磨辊和平面磨盘,而使用圆柱形磨辊和带有 15°角的倾斜研磨表面的磨盘。同样具有磨辊翻出装置,还装有保护装置,以防止磨辊与磨盘之间的金属接触。另外在磨机启动之前磨辊可以提前抬起,这样可以降低电机的启动转矩。雷蒙磨在美国磨煤系统中得到广泛应用,产品的细度为 44~59 μm ,可在运转过程中进行产品细度与产量的调节作业。随着多年的发展与改进,目前国内雷蒙磨的种类和型号也越来越多^[15]。雷蒙磨具有占地面积相对小,系统独立性强,通筛率高,传动平稳,运行可靠,维修方便,耐用性强等优点。但同样也具有一些劣势:产品细度低,

产量小,耗电大,噪音大,系统效率低,分选效果不理想,大量的细粉得不到有效收集而在系统内重复循环造成动力浪费,不具备烘干功能。

1.2.4 球型磨(E型磨)

球式中速磨只有一种 E 型中速磨。其研磨部件由钢球和上下磨环组成,煤在上下磨环中自由滚动的大钢球之间被碾磨。磨煤时钢球一直不断改变自己的轴线,在整个工作的寿命中可以始终保持球的圆度。E 型磨机同样设置液压气动加载装置,从而保证运行平稳,在磨损后期也能保证磨机的出力和煤粉细度^[16]。球式中速磨煤机的风环成缝隙状,而辊式中速磨煤机的风环一般带有风叶间隙较宽,因此球式磨的风环阻力比辊式磨的风环阻力要大。另外,由于球和磨环转动的轴心不一致,其球和磨环的行程之比为 0.5^[17]。所以,综合风环阻力大和滚动特性不佳的因素,球式中速磨煤机的电耗比辊式中速磨煤机的电耗要高。此类磨煤机对煤种的适应性比较差。而对于我国而言,煤种的变化范围较大,“三块”现象又比较严重。因此,此种类型磨煤机不太适用。

中速磨煤机现在煤粉制备行业广泛使用,其适用于磨损性较强的烟煤、劣质烟煤、贫煤、褐煤;但由于磨机是用热风作干燥介质,干燥、粉磨在磨机中同时完成,所以其干燥空间有限,干燥能力较小,因此对原煤水分的适应范围相对较小,最适宜原煤水分在 25%以下。该类型磨煤机在工业煤粉锅炉煤粉制备系统中比较适合。但是,其结构相对复杂,对运行人员和维护人员的要求较高。

1.3 高速磨煤机

高速磨煤机主要通过撞击和摩擦来磨制煤粉,结构比较简单、尺寸小,国内使用的高速磨煤机主要有锤击式、风扇磨煤机。

1.3.1 锤击式磨煤机

锤击式磨煤机是指在磨机转子上或销子上设有锤头,磨煤机转动时,原煤被抛向四周,在锤子撞击原煤和原煤撞击护板作用下,原煤被撞碎、磨细。由于其运行特性对锤子的磨损非常敏感,锤头磨损出力就随着下降,且煤粉细度难以保证,同时因其惯性离心力大,难以做成较大容量,因此,随着磨煤机技术的不断进步,大多数锤击式磨煤机目前已被煤粉制备行业淘汰。

1.3.2 风扇磨煤机

风扇磨煤机是指原煤在磨煤机内处于悬浮状

态,原煤被高速旋转的冲击板击碎后,抛向机壳护板上再与护板撞击及相互撞击,磨细,同时磨机靠自身抽吸力抽吸热风及炉烟作干燥剂,通风和干燥十分强烈。风扇磨煤机与其他形式磨煤机相比具有结构简单、制造方便、适用负荷变化迅速等特点。但是风扇磨在运行中冲击板磨损大,寿命短,煤粉细度较粗,此外,风扇磨煤机机壳内呈正压状态,系统存在较严重漏风问题。

高速磨适用于高水分、低灰分、磨损性不强的褐煤和一些较软烟煤(哈氏可磨性指数 $HGI>70$)。

2 磨煤机的发展趋势

我国是煤种多样的国家,因此磨煤机也需要多样化。中速磨煤机目前以其占地面积小、功能多、耗能低、噪音小等优势在工业煤粉锅炉系统配套的煤粉制备中的应用正处于强劲上升阶段,已被广泛采用,成为普遍首选的磨煤设备,球磨机一统天下的局面已经不存在,但球磨机依靠其对煤种适应性广、对杂物不敏感、耐用性强和烘干效果好等优点仍会占据一部分市场。

设备节能是节能工作中的一个重要领域,尤其作为高效节能的工业煤粉锅炉系统中的燃料初加工设备,更占有重要位置。目前,国内外磨煤机技术已经相对成熟,因此,磨煤机的节能降耗将是其未来发展趋势。采用新型节能材料和以节能降耗为中心的技术,保证其处于良好的工作状态,以最少的能量消耗取得最大的经济效益,并将环境污染最小化,这将是磨煤机本身立足市场的根本。

3 结 语

球磨煤机特别适宜于磨制硬质无烟煤,由于其利用率低、运行电耗高、占地面积大等缺点逐渐被淘汰,但在个别改造工程中为了减少投资成本,会选用低速磨机利用方案,同时凭借其对煤种适应性广、烘干能力强的优势在工业煤粉锅炉煤粉制备系统中依旧会占有一席之地;中速磨煤机适应的煤种为哈氏可磨指数 HGI 为 35~100 的烟煤、贫煤和褐煤,它以结构紧凑、流程简单、占地小、效率高、产能大、电耗低、金属消耗和噪音小等优点被广泛使用,符合设备大型化、高效率、低能耗、低污染的发展方向,但其烘干能力小、结构相对复杂的缺点有待解决,目前该类型磨煤机在工业煤粉锅炉煤粉制备系统中比较适合;高速磨适用于哈氏可磨指数 HGI 大于 70 的高水

分、低灰分的褐煤和软烟煤,由于其粉末粒度较粗,不太适合目前工业煤粉锅炉对煤粉粒度的要求。

目前各类型磨机优缺点共存,其进一步的完善及优化还任重道远。同时,现今随着工业煤粉锅炉的快速稳定发展,其配套系统的核心设备——磨煤机,不仅要求其适应性强、粉磨效果好、产量高、质量硬,而且在设备本身和整个系统的节能、降耗及环保等方面也提出了更高的要求,这将是磨煤机的未来发展趋势。因此,这就要求科技人员本着节能、降耗、环保的宗旨研究开发和推广应用煤种适应范围更广、磨煤效果更好、能源消耗更低、环境污染更小的先进磨煤设备,并使其成为磨煤系统的主导机械。

参考文献:

- [1] 戴 为,牛海峰,马洪顺.中速磨煤机[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [2] 高长明.国际水泥工业粉磨技术发展概论[C]//预分解窑水泥生产技术与进展.北京:化学工业出版社,2006:86-94.
- [3] 高长明.当代水泥工业粉末装备选型趋势分析[J].水泥技术,2006(2):18-22.
- [4] 刘 涛,刘兴晖.双进双出钢球磨煤机运行中的常见问题及分析[J].电力安全技术,2011(4):14-17.
- [5] 张安国.国外磨煤机试验研究综述[J].热力发电,1980(5):38-50.
- [6] 蔡晓辉.600MW 超临界锅炉炉内燃烧过程数值模拟[D].保定:华北电力大学(保定),2009.
- [7] 职艳芳.一种新型高浓盘磨机磨片的结构与设计[J].造纸科学与技术,2008(5):35-37.
- [8] 宋 波.HP983 中速磨煤机运行电流大的原因分析[J].电气技术,2011(6):53-55.
- [9] 李惠人.中速磨煤机[M].北京:电力工业出版社,1980.
- [10] 徐 星.电站锅炉系统热力性能建模及其在优化配煤中的应用[D].武汉:华中科技大学,2009:2-7.
- [11] 潘锡良.浅谈 MPS 中速磨煤机及其选用计算[J].电站辅机,1989(4):13-26.
- [12] 石金兴,王 泓,龙 辉.中速磨机的国产化及发展趋势分析[J].水利电力机械,2003(1):1-4.
- [13] 赵晴川,樊培利,陈方高,等.ZGM-113G 型中速磨煤机运行特性试验研究[J].热力发电,2009,38(12):55-57.
- [14] 李 培,梁增同,高振罡,等.某电厂 600MW 机组锅炉掺烧劣质煤制粉系统优化调整试验研究[J].热力发电,2013,42(5):64-68.
- [15] 刘寿忠,刘祥玲.HP 与 MPS 中速磨煤机的比较[J].江西电力职业技术学院学报,2006(2):20-23.
- [16] 刘佳欣.雷蒙磨粉机:历史与未来发展趋势展望[J].中国粉体工业,2011(1):4-6.
- [17] 张安国,梁 辉.电站锅炉煤粉制备与计算[M].北京:中国电力出版社,2011.