

# 大型循环流化床锅炉技术发展现状及展望

邢伟

(华电四川发电有限公司, 四川 成都 610016)

**摘要:** 循环流化床锅炉技术是目前国际上公认的商业化程度最好的洁净煤发电技术。在分析国内外循环流化床锅炉技术发展现状的基础上, 指出超临界是循环流化床锅炉技术发展的方向, 并提出了 600 MW 超临界循环流化床锅炉研发应重点研究解决的几个技术关键。

**关键词:** 超临界; 循环流化床锅炉; 技术关键

**Abstract:** Circulating fluidized bed (CFB) boiler technology is the most commercialized clean coal generation technology in the world. Based on the analyses of developing status of CFB technology, supercritical steam parameter CFB is pointed to be its future, several key technologies to develop 600MW supercritical CFB boiler are presented.

**Key words:** supercritical; circulating fluidized bed boiler; key technology.

中图分类号: TK221 文献标识码: A 文章编号: 1003-6954(2008)02-0051-02

常压循环流化床锅炉(CFB)技术, 已经是为国际上公认的商业化最好的洁净煤发电技术, 但在达到较高的供电效率方面并未具有明显的优越性。循环流化床技术及超临界发电技术均是成熟的, 二者结合后的技术具有循环流化床低成本污染控制及高供电效率两个方面的优势, 这是循环流化床锅炉技术发展的方向。研发 600 MW 超临界循环流化床锅炉应用是大型化过程中必须跨越的近期目标。

## 1 循环流化床锅炉技术发展现状

循环流化床技术在近十年间得到了迅速发展, 容量不断提高。法国 Provence 于 1995 年建成投运了 250 MW 循环流化床锅炉; 韩国 Tonghae 电厂的 2×220 MW 机组分别于 1998 年和 1999 年投运; 波兰的 Turow 建成了 3 台 225 MW 和 3 台 266 MW 循环流化床锅炉, 成为世界上总装机容量最大的循环流化床电厂; 美国红山 2×250 MW CFB 机组和安装在佛罗里达州 JEA 电站的 2×300 MW 燃煤和石油焦的 CFB 锅炉于 2002 年投运。这些机组的相继投运为 CFB 机组的大型化积累了丰富的经验。

中国自 1996 年引进芬兰奥斯特龙技术在四川内江建成 100 MW 循环流化床电站以来, 通过消化吸收, 实现国产化, 中国已建成一大批国产 100 MW 等级循环流化床电站。2006 年 4 月, 由法国阿尔斯通(ALSTOM)公司引进的国内首台 300 MW 循环流化床亚临界锅炉机组在四川内江白马建成投运。采用引进技

术国内生产的云南大唐红河电厂、河北秦皇岛电厂、云南华电巡检司电厂、云南小龙潭电厂等 8 台国产 300 MW 循环流化床锅炉相继投运发电, 还有十多台 300 MW 循环流化床锅炉正在建设之中。哈锅和东锅自主研发的 300 MW 等级循环流化床锅炉正分别在江西分宜电厂、广东宝丽华电厂安装建设, 中国已成为世界上亚临界 CFB 锅炉装机容量最多的国家。同时已投运循环流化床机组在提高锅炉效率、降低厂用电、提高燃烧效率、攻克辅机常见故障等方面积累了许多经验, 这标志着中国循环流化床锅炉技术水平已达到国际先进水平。

## 2 超临界是流化床锅炉技术发展方向

中国是世界上第二大能源消费国, 以煤为主的一次能源结构在相当长的时间里是难以改变的, 在国家“十一五”发展规划中, 明确提出了国家能源政策的基础是“节约优先, 煤为基础”, 节能和减排是对火电发展过程中永恒的主题。为了满足资源的可持续利用, 降低环境污染, 大容量超临界(SC)火力发电机组越来越受到重视。目前, 超临界机组可比亚临界参数机组的循环热效率提高约 2%~2.5%, 先进的超临界机组热效率已达到 45%~47%。

循环流化床锅炉在达到较高的供电效率方面并未展现明显的优越性, 提高蒸汽的压力和温度并增加其容量已成广泛的共识。随着循环流化床大型化的发展和 250 MW 再热循环流化床的顺利运行, 以及

300 MW 等级亚临界循环流化床锅炉的商业化,国际上在 20 世纪末已展开了超临界循环流化床锅炉技术的研究。超临界循环流化床锅炉兼备了 CFB 燃烧技术和 SG 蒸汽循环的优点,可以得到较高的供电效率,脱硫运行成本比烟气脱硫(FGD)低 50%以上,初投资最多与煤粉炉持平,在不需要采用其它技术措施前提下,可将  $\text{NO}_x$  排放减低到  $150 \text{ mg/m}^3$  以下,是目前其它低  $\text{NO}_x$  燃烧技术都难以达到的排放指标。

原则上,循环流化床燃烧技术及超临界煤粉锅炉技术均是成熟的,二者的结合相对技术风险不大,结合后的技术综合了循环流化床低成本污染控制及高供电效率两个优势,是循环流化床锅炉技术发展的方向,有巨大的商业潜力。

### 3 超临界流化床锅炉技术研发现状

在国外,随着循环流化床锅炉大型化的发展和 300 MW 等级亚临界循环流化床锅炉的投运,美国福斯特惠勒(FW)公司和 ALSTOM 公司均在超临界循环流化床开发上投入了大量的人力和物力,开发制定了大容量超临界循环流化床锅炉的设计规范。

2002 年 12 月,FW 公司已与波兰的 PKE 电力公司签订了在波兰 Lagisza 电厂建造一台 460 MW 超临界 CFB 锅炉的合同。其锅炉蒸发量为  $1\,295 \text{ t/h}$ ,过热蒸汽压力 28.56 MPa,过热蒸汽温度  $563 \text{ }^\circ\text{C}$ , 燃用热值为  $18\% \sim 23 \text{ MJ}$  的烟煤,锅炉热效率为 94%,机组效率将达到 42.7%。它的主要设计特点是:单炉膛结构,采用引进 SIMENS 公司专利的本生直管直流(OTU)技术;在锅炉热负荷较高区域采用了内螺旋管,采用了 8 个方形分离器。该机组预计 2009 年投运,这将是世界上第一台超临界循环流化床锅炉,也是世界最大的一台循环流化床机组。

法国 ALSTOM 公司与 EDF 合作,已经完成了 600 MW 超临界循环流化床锅炉的概念设计。该 600 MW 超临界循环流化床锅炉主蒸汽流量  $1\,738.8 \text{ t/h}$ ,主蒸汽压力 27 MPa,主蒸汽温度  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ ,烟气  $\text{SO}_2$  排放浓度  $200 \text{ mg/Nm}^3$ ,  $\text{NO}_x$  排放浓度  $200 \text{ mg/Nm}^3$ 。其主要设计特点是:锅炉为双支腿结构,单炉膛,燃烧室截面积为  $306 \text{ m}^2$ ,炉膛左右侧各布置三个旋风分离器和外置床,每组三个旋风分离器配置一个蒸汽冷却旋风分离器出口烟道。ALSTOM 公司对 600 MW 超临界 CFB 锅炉进行了初步研究,认为 600 MW CFB 锅炉的设计就

技术和工艺而言是可行的。但仍有许多技术要点需加以研究。

在“十五”期间,国内锅炉制造厂与科研院校在掌握 100~300 MW 等级亚临界循环流化床锅炉和超临界煤粉炉设计、制造技术的基础上,已经开始自主研发 600 MW 超临界循环流化床锅炉工作,并取得了初步成果。

哈锅和清华大学于 1999 年就开始了超临界循环流化床锅炉方案设计中的关键问题的初步研究。在他们共同承担的国家“十五”科技攻关项目中,已经对 600 MW 超临界循环流化床锅炉的水冷壁水动力特性、管壁温度等重大技术难点进行了详细研究计算,完成了 600 MW 超临界循环流化床锅炉的概念设计任务。在《国民经济和社会发展“十一五”规划纲要》中明确指出:“中国将推进洁净煤发电技术,建设单机 600 MW 级循环流化床电站”。国家科委已立项支持本项目的发展。2007 年 1 月,东锅、哈锅、上锅等三大锅炉制造厂都相继完成了自主研发超临界 600 MW 循环流化床锅炉的初步设计方案,并已开始组织相关领域的技术攻关。

### 4 600 MW 超临界循环流化床锅炉研发的技术关键

600 MW 超临界 CFB 锅炉技术要立足于未来清洁煤发电技术之中,应在节能、减排、经济、可靠等方面具备独特的竞争优势,相关的技术攻关应加快推进,应专题研究、重点解决以下几个问题。

1)要认真客观地分析大型 CFB 锅炉在未来清洁煤发电技术中的定位,重点针对高硫低挥发份无烟煤、褐煤以及煤矸石、煤泥等其他低热值燃料开展研发,科学合理地确定超临界 CFB 锅炉研发的技术目标,使其和超临界煤粉炉相比,在锅炉热效率、厂用电率、污染物排放等技术指标方面具有竞争力。

2)600 MW 超临界 CFB 锅炉的炉膛截面将在现有 300 MW CFB 锅炉基础上放大 50%以上,要研究锅炉炉膛热负荷变化规律及其二维分布,研究确定锅炉热循环回路的布置(锅炉炉膛、分离器、回料阀及外置换热器),研究解决燃烧室宽度设计、大截面炉膛给煤均匀性和二次风穿透等问题。

3)由于存在磨损问题,超临界 CFB 锅炉不可能借用超临界煤粉炉广泛采用的螺旋 (下转第 87 页)

位<sup>[4]</sup>。同时,提高软、硬件的配置是提高测距成功率的重要手段。

## 4 结论

从行波的原理及影响行波测距因素的分析,从原理上看,与阻抗测距算法相比,行波法几乎不受过渡电阻和线路不对称等因素的影响,准确度优于阻抗法,但行波法存在反射波的识别问题,可能出现测距失败<sup>[2]</sup>。但以阻抗法作为补充,能有效地提高测距成功率。双端行波法的关键是准确记录下电流行波到达线路两端的时间,由于母线两端都只检测第1个到达的行波,线路过渡电阻的电弧特性、系统运行方式变化、线路分布电容及负荷电流等对测距准确性不会造成大的影响,既有很高的测距准确度,又有很高的测距可靠度,而且不受对端母线反射波、相邻线路透射波以及线路两侧母线结构的影响,仅从行波故障测距准确度和可靠度来考虑,双端行波测距方法是首选的测距方法。但双端法对GPS时钟的依赖太强。由于单端测距法不需要GPS时标系统及两端数据通信等,测距结果的实时性强,也可能测距失败,因此,单端行波故障定位也具有重要的实际意义,但单端行波测距法还存在测距死区问题<sup>[5]</sup>。在目前状况之下,用单端法、双端法结合阻抗法进行联合测距,在行波法失效的情况下以阻抗法的测距结果作为补充,能弥补行波法的不足,实现故障定位<sup>[6]</sup>。同时由于行波测

距中线路精确长度、杆塔对应明细表及波速的选择对测距精度以及故障点查找也有着重要的影响,精确的线路长度应通过输电线路竣工验收资料实际数据为准,而对于波速度的选择是在一个经验值基础上通过多次故障实际情况修正获得。

综合以上的分析可知,只要从软件和硬件2个方面采取有效的措施,就可提高测距成功率,进而实现对高压输电线路的故障精确定位,以及时修复线路,最大限度地为电网的安全运行提供有力的保证。

## 参考文献

- [1] XC-21 输电线路行波测距装置使用说明书[Z]. 科汇电气有限公司, 2004—2006.
- [2] 董新洲, 葛耀中, 徐丙垠. 利用GPS的行波测距研究[J]. 电力系统自动化, 1996, (12).
- [3] 董新洲. 小波变换在行波故障测距技术中的应用[D]. 西安交通大学博士学位论文, 1996.
- [4] 陈平, 葛耀中, 徐丙垠. 现代行波故障测距原理及其在实测故障分析中的应用[J]. 继电器, 2004, 32.
- [5] 骆敬年, 颜廷纯. 基于行波原理线路故障测距的误差分析及解决措施[J]. 华东电力, 2006, 10.
- [6] 杨延勇. 基于小波分析的电流行波双端测距[D]. 山东大学硕士学位论文, 2005.

### 作者简介:

陈厚斯(1978—),男,湖北石首人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统广域保护。

(收稿日期:2008-01-15)

(上接第52页) 管圈水冷壁技术,只能采用垂直管圈水冷壁。要研究超临界CFB锅炉水动力特性,按照安全、可靠、经济的原则,确定合理的质量流速,研究解决特殊工况下水冷壁的传热安全问题。

4)按照可靠、经济的原则,开展超临界CFB锅炉配套辅机和辅助设备的选型设计和技术研发工作,如:煤和石灰石破碎机、冷渣器及输渣设备、风机、空气预热器等,尽量避免锅炉辅助设备带来技术风险。

5)要瞄准达到通常湿法脱硫工艺95%的脱硫效率的目标,研究提高石灰石利用率的手段和措施;要瞄准达到烟尘排放浓度低于 $50\text{ mg}/\text{Nm}^3$ 环保标准,研究选用经济可靠的除尘方式和设备。

## 5 结束语

600 MW超临界循环流化床锅炉技术综合了循环流化床污染控制成本低及超临界机组高供电效率两个优势,是循环流化床锅炉技术发展的方向。

川南地区拥有储量丰富高硫、高灰、低热值无烟煤,是示范工程较为理想的燃料,同时,作为国家100 MW和300 MW CFB循环流化床锅炉示范电站的建设地,四川地区拥有较强的循环流化床锅炉运行、试验、维护技术力量,是自主研发600 MW超临界循环流化床锅炉示范工程理想的依托地。

(收稿日期:2007-12-10)