

660MW 超临界锅炉特性分析

高壮¹ 董英² 杨嘉熙³

内蒙古锦联铝材电厂 内蒙古 霍林郭勒 029200

1. 内蒙古锦联铝材电厂内蒙古霍林郭勒 029200,

2. 内蒙古锦联铝材电厂 内蒙古霍林郭勒 029200,

3. 华北电力大学 能源动力与机械工程学院 河北保定 071003

DOI:

【摘要】超临界锅炉运行方式与其特性密切相关,分析了霍林郭勒市某电厂 660MW 机组水动力特性、煤质特性、布袋除尘器阻力特性,得出不同特性对超临界锅炉水冷壁、机组效率、引风机效率的影响。籍此,提出了实际工程中对上述特性的要求,以保证超临界锅炉机组安全稳定运行。

【关键词】超临界锅炉;水动力特性;煤质特性;阻力特性;水冷壁;效率

中图法分类号 TK224; 文献标志码 A

0 引言

随着经济的不断发展,人类对电力需求不断提升,截止 2017 年底,我国电力总装机容量已达 17.78 亿 kW,其中,火电占比 62.2%,装机增速世界第一^[1]。电厂主要使用动力煤作为原料,动力煤主要包括褐煤、长焰煤以及少量的贫煤^[2]。一般火力发电厂在煤粉燃烧过程中效率较低,而超临界机组相比亚临界机组有热耗低、热效率高、污染物排放低等优点^[3,4]。

在国内,1999 年黄锦涛,陈听宽对 600 MW 超临界直流锅炉水冷壁在 3 种典型工况下的动态特性进行了计算,得到了直流锅炉在各种扰动下的响应曲线^[5]。2003 年,陈听宽等对全周加热和单侧加热的条件下 600 MW 超临界变压运行直流锅炉水冷壁 $\varphi 28 \times 6$ mm 内螺纹管进行了传热与阻力特性的试验研究试验得出了在不同参数条件下的壁温分布、发生传热恶化的临界条件、单相及两相对流放热系数、干涸后放热系数及内螺纹管的摩擦压降^[6]。2009 年,哈尔滨锅炉厂自主研发的国产首台 350 MW 超临界锅炉在华能瑞金电厂正式投入运行,标志着我国具有自主知识产权超临界锅炉研发成功,在超临界锅炉国产化上取得了重大突破,摆脱了引进技术限制,对今后国内外市场开发具有重要意义^[7]。2010 年,李春燕对超临界锅炉水冷壁管的温度进行了数值模拟,得出汽化过程出现在燃烧器区段即热负荷最高区段,当工质在两相区发生传热恶

化时会造成管壁温度飞升^[8]。2019 年,于婷俐等以 600 MW 超临界锅炉为试验平台,根据反平衡锅炉效率计算分析了不同煤质对锅炉效率的影响量,结果表明低位热值不变情况下,灰分每增加 1% 炉效降低 0.065%;在灰分不改变时,低位热值每变化 0.5 MJ/kg 炉效变化 0.086%^[9]。

在国外,1960 年 E. C. Chapman 等对超临界锅炉在许用最高压力下运行时,选用了新的高温试验材料和焊接技术,在一定程度上减少了锅炉爆管^[10]。2010 年,Arto Hotta 分析了循环流化床技术在锅炉效率和燃料柔性方面的现状,并提出了柔性燃烧循环流化床的发展前景^[11]。2012 年, Hu Si-ke 等根据超临界发电机组变负荷滑压运行特点,综合分析了变频主给水和助力泵先串联后并联给水系统的特点,对不同运行方式的能耗进行了比较,提出了一种更合适的运行方式^[12]。

尽管国内外对超临界锅炉各种特性进行了较丰富的研究,对其运行方式也有了较多的总结,但是对于水动力特性、煤质特性、布袋除尘器阻力特性的综合分析还有待深入。为更好的对超临界压力锅炉进行深入研究,并为生产实际提供一定的借鉴意义,本文对上述特性分别分析并做了综合对比研究。

1 超临界锅炉及其运行方式

1.1 超临界锅炉

Mark 在 1919 年首先申请了超临界试验机组专利,西门子公司根据其专利制造了世界上第一台试

验性的超临界锅炉。因为超临界及超超临界锅炉能够大幅度提升循环热效率,并降低煤耗,所以在世界各地得到了广泛应用。

通常将压力 22.1 MPa、温度 374℃ 称为水的临界点^[13]。水的压力在临界压力以下称为亚临界,压力在临界压力以上称为超临界。

1.2 超临界锅炉运行方式

常见的超临界锅炉运行方式分为两班制运行和变压运行。两班制运行时指白天满负荷运行,夜间低负荷运行;变压运行则是指锅炉主蒸汽压力和流量随汽轮机需要而随时变动。

2 不同特性对超临界锅炉运行的影响

2.1 水动力特性

影响超临界锅炉的重要特性之一是水动力特性。水动力的稳定性随着锅炉负荷的降低而降低,这主要是因为低负荷时给水温度降低,工质欠焓增加;当负荷较高时,质量流量较大。这些因素都会导致水冷壁受热不均,严重时会导致爆管,影响机组安全稳定运行。

2.2 煤质特性

煤质变化会使超临界锅炉烟气的物理特性发生显著变化,从而影响炉内各受热面换热,导致排烟温度变化。一般而言,煤质低位发热量和水分(外水)含量对排烟温度的影响最大^[14]。

低位发热量的改变主要影响排烟温度,进而影响锅炉热效率。实测并统计霍林郭勒市某电厂 660 MW 超临界锅炉不同煤质低位发热量及对应排烟温度后(参见表 1),以 BMCR 工况为计算工况,仅考虑排烟热损失时,对锅炉进行简化热力计算分析。

$$\eta = (1 - q_{out}) \quad (1)$$

$$q_{out} = \frac{T_{out} - T_{air}}{13} \quad (2)$$

式中, q_{out} 为排烟热损失,%; T_{out} 为排烟温度,℃; T_{air} 为当地气温,℃。

取内蒙古霍林郭勒市 2018 年平均最高温度(参见表 2)进行效率计算,结果如图 1。

表 1 排烟温度

低位发热量	单位	排烟温度	单位
13.82	MJ/kg	134	℃
13.11	MJ/kg	137	℃
11.98	MJ/kg	142	℃
11.22	MJ/kg	150	℃

表 2 平均温度

3 月(℃)	6 月(℃)	9 月(℃)	12 月(℃)	年平均(℃)
2	25	19	-12	8.5

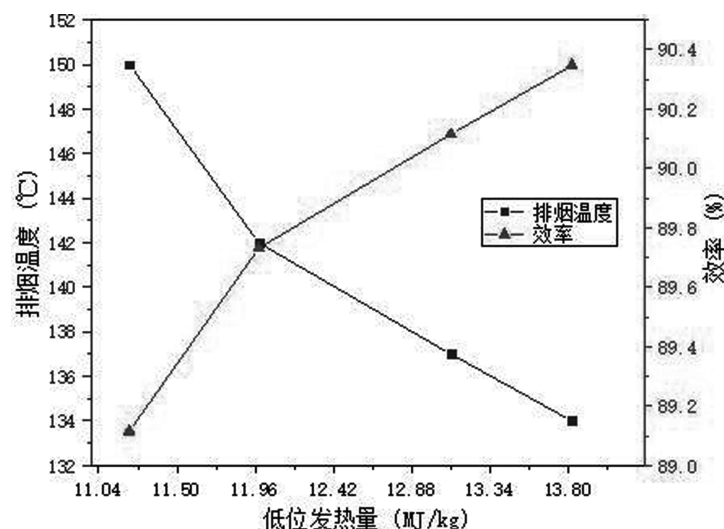


图 1 低位发热量与排烟温度、效率关系

由图 1 可得,随着低位发热量的增加,排烟温度逐渐降低,锅炉效率不断提升。

对于外水含量,以 BMCR 点为计算工况,除煤种外,其余参数均保持不变。根据外水与制粉系统

冷风、排烟温度的关系,可得简化计算公式 3^[15]:

$$\frac{\partial m_{lf}}{\partial M_w} = -0.078 \quad (3)$$

式中, m_{lf} 为冷风量, %; M_w 为外水含量, %。

从式(3)可以看出, 煤种外水含量与制粉系统冷风呈负相关。对于 660 MW 机组, 制粉冷风量减少约 1% 的总风量, 外水增加 1%, 排烟温度下降约 2.37°C [15]。

2.3 布袋除尘器阻力特性

霍林郭勒市某电厂超临界锅炉采用低压脉冲喷吹清灰的布袋除尘器。设计烟气排放浓度为 $30\text{ mg}/\text{Nm}^3$, 设计阻力为半年内不大于 1200 Pa , 三年内不大于 1700 Pa , 结构示意图参见图 2。

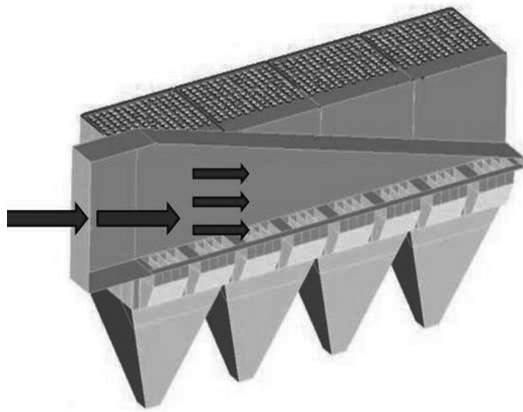


图 2 布袋除尘器结构示意图

阻力是评价布袋除尘器性能的一个重要指标, 它表示气流通过除尘器时的压力损失。阻力大, 用于驱动引风机的电机耗能也大。因此除尘器阻力也是衡量除尘设备耗能和运行费用的一个指标 [16,17]。实测除尘器阻力增加值与驱动引风机的电机所需电流关系如图 3 所示。

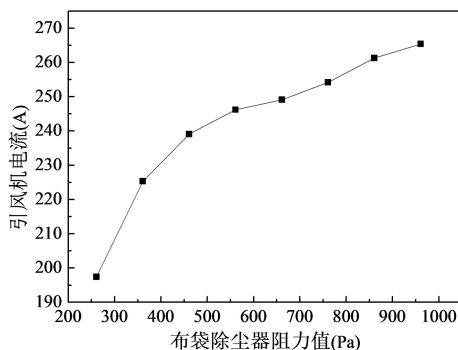


图 3 布袋除尘器阻力与引风机所需电流

由图 3 可以看出, 随着阻力的增加, 引风机所需电流逐渐增大, 即除尘设备耗能和电厂运行费用增加, 这将使总效率降低。

3 超临界锅炉稳定运行建议

(1) 对于水动力特性容易引发的爆管, 应尽量减少工质脉动现象; 防止管路受热不均。例如: 使用螺旋管环水冷壁; 水冷壁增设节流孔。

(2) 对于煤质特性引起的超临界锅炉效率降低, 应当尽量使用低位发热量高、外水较少的优质煤种, 或按照配比使用可以燃烧充分的混合煤。例如: 设置储煤仓避免露天堆放引起的热值减少、受潮等因素; 避免阴雨天卸煤入仓; 将蒙古煤与霍林郭勒当地产煤合理配比使用。

(3) 对于布袋除尘系统引起的机组耗能增加, 应当合理设置布袋除尘器烟道以及其本体结构, 合理布置滤袋, 优化吹灰系统以减小阻力, 减少风机耗能, 提高锅炉效率。例如减少烟道直角转弯、增设导流板、滤袋混合布置、提高除尘频率。

4 结论

超临界锅炉运行与其水动力特性、煤质特性、布袋除尘器阻力特性密切相关, 对霍林郭勒市某电厂 660 MW 超临界锅炉进行了特性分析, 得出如下结论:

(1) 降低水动力特性引起的管路受热不均, 使用螺旋管环水冷壁以减少爆管。

(2) 提高煤质低位发热量、减少外水含量以增加锅炉效率。

(3) 合理布置布袋除尘器结构、优化吹灰机制以增加引风机出力, 提高锅炉效率。

【参考文献】

- [1]高世宪. 电力改革开放 40 年成就辉煌[J]. 中国能源, 2018, 40(11): 4-9+16.
- [2]杨嘉熙, 梁文华. 某电厂冬季液氨区保温技术改造[J]. 节能, 2019(05): 36-38.
- [3]赵洁, 赵锦洋. 火电结构优化和技术升级研究的回顾与展望[C]. //中国科学技术协会 2005 年学术年会 11 分会场暨中国电机工程学会 2005 年学术年会主旨报告. 中国电力工程顾问集团公司, 2005: 14-24.

- [4]刘佳利. 超临界 W 火焰锅炉水冷壁壁温特性控制研究[D]. 昆明理工大学, 2014.
- [5]黄锦涛, 陈听宽. 超临界直流锅炉蒸发受热面动态过程特性[J]. 西安交通大学学报, 1999(09): 71-75.
- [6]陈听宽, 孙丹, 罗毓珊, 郑建学. 超临界锅炉内螺纹管传热特性的研究[J]. 工程热物理学报, 2003(03): 429-432.
- [7]国产首台 350MW 超临界锅炉顺利投运[J]. 锅炉制造, 2009(01): 23.
- [8]李春燕. 超临界锅炉水冷壁管温度数值计算与研究[D]. 华北电力大学(保定), 2010.
- [9]于婷俐, 李伟伟, 张立栋. 600MW 超临界锅炉煤质变化对锅炉效率的影响[J]. 应用能源技术, 2019(02): 30-34.
- [10]E. C. Chapman; R. E. Lorentz Jr. . The Selection of Materials and Fabricating Techniques for the Eddystone Boiler and Sulzer Control Valves[J]. J. Eng. Power. 1960, Vol. 82(No. 4): 275-283.
- [11]Arto Hotta. Foster Wheeler's Solutions for Large Scale CFB Boiler Technology: Features and Operational Performance of agisza 460 MWe CFB Boiler[J]. Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion. 2010: 59-70.
- [12]Hu, SK (Hu Si-ke)1; Gao, HF (Gao Hui-fen)1; Jia, XJ (Jia Xue-jing)1. Regulating Characteristics Analysis of Boiler Feed-water Pump when 600MW Unit Sliding-pressure Operating[J]. 2012 INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUTURE ELECTRICAL POWER AND ENERGY SYSTEM, PT B. 2012: 1153-1160.
- [13]赵晓, 王青, 程乐明. 基于 Aspen Plus 的超临界水氧化污泥处理工艺建模[J]. 计算机与应用化学, 2017, 34(12): 973-978.
- [14]撒应禄, 吴华森, 顾凯棣. 谏壁发电厂 SG1000t/h 直流锅炉降低排烟温度的研究与改造[J]. 锅炉技术, 2000(05): 25-32.
- [15]周文龙, 焦龙洋. 锅炉主要参数对排烟温度影响的定量分析[J]. 锅炉技术, 2017, 48(03): 11-14.
- [16]李文韬. 某 350MW 机组排烟系统优化及风机节能运行研究[D]. 华北电力大学, 2018.
- [17]向晓东. 除尘理论与技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2013.
- Xiang xiaodong. Theory and technology of dust removal [M]. Beijing: metallurgical industry press, 2013.