

1000MW 超超临界压力锅炉螺旋管圈水冷壁安全分析

金 非, 蒋欣军, 赵恒斌, 高行龙, 周文奎

(国电谏壁发电厂, 江苏 镇江 212006)

摘 要: 文章介绍了国电谏壁发电厂1000MW超超临界压力锅炉螺旋管圈水冷壁的结构、特点, 对超超临界螺旋水冷壁首次成功选用12Cr1MoV作管材, 进行水冷壁管壁容许温度校核, 并通过对正常启动调试及发生各种异常工况下, 螺旋管圈水冷壁管壁温度情况分析, 阐述影响螺旋水冷壁安全运行因素, 提出避免发生超温、爆管等异常情况运行措施, 确保锅炉运行安全, 并为同类型锅炉的选材、调试运行安全提供借鉴。

关键词: 螺旋管圈; 水冷壁; 过热度

0 前言

为了响应国家“上大压小、节能减排”号召, 国电谏壁发电厂扩建工程采用1000MW超超临界燃煤发电机组, 是高参数、大容量、低能耗、环保型机组, 代表了目前国内发电设备的最高水平。其锅炉关键技术在于水冷壁, 为了实现变压运行, 在炉膛下辐射区采用螺旋水冷壁, 上辐射区的低热强度区采用垂直水冷壁, 这种特殊的水冷壁结构, 使运行工况更加复杂, 因此螺旋水冷壁的安全研究更加必要。

1 锅炉概况

国电谏壁发电厂1000MW超超临界机组配备超超临界压力参数变压运行螺旋管圈直流锅炉, 单炉膛塔式布置形式、一次中间再热、四角切圆燃烧、平衡通风、固态排渣、全钢悬吊结构、露天布置。炉膛水冷系统采用下部螺旋管圈+上部垂直管圈的布置方式, 螺旋管圈分为冷灰斗部分和螺旋管上部。螺旋段水冷壁出口经水冷壁过渡连接管引至水冷壁中间集箱, 经中间集箱混合后再由连接管引出, 接至垂直段水冷壁, 两者间通过多通形式的管锻件结构来连接并完成炉墙的密封。垂直段水冷壁分为上下部, 它们之间的过渡通过Y型三通来实现。螺旋管圈的管子根数为716根, 倾斜角度是 26.2103° , 在标高69225mm处, 螺旋管圈通过炉外中间过渡集箱转换成垂直管圈, 从冷灰斗拐点算至螺旋管圈出口, 螺旋管圈共绕了约1.2圈。垂直段水冷壁下部为1432根, 上部为716根。

锅炉设计煤种为神府东胜煤, 校核煤种为准混

煤。制粉系统采用中速磨煤机正压直吹式制粉系统, 5台磨运行带锅炉BMCR工况, 1台磨备用, 每台磨煤机引出4根煤粉管道到炉膛四角, 每根煤粉管道经分配器后变成两根支管分别与两个一次风喷嘴相连, 共计48个直流式燃烧器分12层布置于炉膛下部四角(每两个煤粉喷嘴为一层), 在炉膛中呈四角切圆方式燃烧。炉后尾部布置两台转子直径为 $\Phi 16370\text{mm}$ 的三分仓容克式空气预热器。

2 螺旋管圈水冷壁的特点

螺旋管圈水冷壁的设计是上世纪 50 年代初苏联寿公司采用的盘绕形管圈的进一步发展。目前所采用的螺旋管圈水冷壁的设计已有 40 多年的经验, 并能适用于各种尺寸、压力和燃料, 该类型水冷壁设计的基本思想就是减少了包覆炉壁所需管子的数量, 又不增加管子节距。由于炉膛水冷壁采用螺旋管圈可以很好的实现变压运行, 所以这种水冷壁布置形式得到广泛运用。

2.1 螺旋管圈水冷壁的优点

(1) 管径和管子根数选择灵活, 不受炉膛周界尺寸限制, 解决了周界尺寸与质量流速间的矛盾, 只要改变螺旋管圈倾斜角度, 就能改变水冷壁管的根数, 从而改变工质质量流速, 以适应不同容量机组和煤种的需要;

(2) 可采用较大管径的管子, 因此水动力偏差敏感性较小, 不易堵塞管子;

(3) 采用光管就能实现锅炉的变压运行和带中间负荷的要求, 而不必采用制造工艺复杂, 摩擦阻力大的内螺纹管;

(4) 由于各管之间吸热比较均匀, 热偏差较小, 所以水冷壁管入口无需安装节流圈来进行流量分配, 从而也减少了水冷壁系统的阻力;

(5) 水冷壁由于各管子以相同的方式自下向上绕过炉膛的角隅部分和炉墙中部高热负荷区域, 吸热均匀, 热偏差较小, 所以, 对于火焰中心偏斜或局部结焦等造成的热负荷分布不均, 螺旋管圈水冷壁具有很强的抗干扰能力, 它能使各管的吸热偏差与出口工质温度偏差保持较小值;

(6) 负荷的适应性较好, 即使在30%负荷下, 质量流速仍高于膜态沸腾的界限质量流速, 能保持一定的壁温裕度。

2.2 螺旋管圈水冷壁的缺点

(1) 水冷壁系统结构复杂, 支撑困难, 制造成本高, 制造精度要求高, 安装困难, 水冷壁管无自悬吊能力, 需要专门的结构(现在多采用张力板)来支撑自身的重量以及燃烧器、刚性梁和其它部件的重量;

(2) 现场安装复杂, 焊口数量是垂直管屏水冷壁的2.5倍;

(3) 在亚临界区运行时, 其传热能力不及内螺旋纹管好, 即便在较高的质量流速下, 工质侧的传热也比内螺旋纹管差;

(4) 水冷壁挂渣比垂直管圈要相对严重些;

(5) 升降负荷过快时, 水冷壁与吊件间温差增大。

但是, 螺旋管圈水冷壁上述的一些缺点, 随着设计、制造、安装和运行技术的不断提高而日益得到解决, 因此, 螺旋管圈水冷壁在目前的超超临界锅炉上已经得到广泛应用。

3 螺旋水冷壁炉外壁温容许温度校核

水冷壁管子计算应力, 参考上海锅炉厂提供的推导公式:

$$[\sigma] = \left(\frac{p \times d}{0.9 \times s - 0.005 \times d} - p \right) \div 2 \quad (1)$$

式中: p 为计算压力, d 为管子外径, s 为管子壁厚。公式(1)对管子壁厚在考虑管子壁厚的10%公差后再扣0.5%外径的腐蚀裕量, 保证锅炉较大的安全裕度。

校核压力按锅炉工作压力, 由此算出螺旋水冷壁材料的容许温度。螺旋水冷壁出口 $\Phi 38.1 \times 7.2\text{mm}$, 管

材为12Cr1MoV, 进口工作压力31.6MPa, 由公式(1)可求的计算应力 $[\sigma]$ 等于79.91MPa。然后, 在对应材料下许用应力对温度表查出容许温度为537℃。

螺旋水冷壁计算点的壁温与汽温之差参照锅炉厂“受热面管子壁温及强度计算汇总”。螺旋水冷壁出口: 计算壁温514℃, 计算汽温459℃。壁温与汽温差55℃。螺旋水冷壁出口汽温(壁温)容许温度: $537-55=482^\circ\text{C}$ 。考虑到恶劣工况下, 局部水冷壁吸热量增大, 使壁温增高, 壁温与汽温差增大, 故在报警定值设定时, 壁温与汽温差按70℃考虑, 则报警定值为 $537-70=467^\circ\text{C}$ 。同时, 参照兄弟电厂的经验, 为防止在高热负荷区发生水冷壁的类型膜态沸腾现象, 要求螺旋水冷壁出口汽温(壁温)尽量控制在430℃以下。因为在超临界压力下, 工质由液相转变为汽相时存在一个大比热区和拟临界温度, 过了拟临界温度工质的放热系数急剧下降, 如果相变点正好处于燃烧器区域性的高热负荷区, 则有可能发生类型膜态沸腾, 即在工质温度不变情况下, 使水冷壁金属温度大幅度增高, 以至发生爆管。为了防止发生类型膜态沸腾, 应尽量使工质相变点推迟至高热负荷区以后。为此, 按照实际试验结果, 要求螺旋水冷壁出口汽温(壁温)不超过430℃。所以, 实际运行中我厂螺旋水冷壁出口汽温(壁温)报警采用二个定值, 即报警I值为430℃, 报警II值为467℃。

4 调试中螺旋管圈水冷壁运行情况探讨

4.1 锅炉启动工况时壁温情况

在锅炉湿态运行时, 因炉水循环泵增加了水冷壁的水循环倍率, 且由于热负荷低, 螺旋水冷壁出口工质处于饱和状态, 运行情况与控制循环炉相类似, 管壁温度均匀, 无温差, 安全可靠。

在湿态转干态后, 在30~50%热负荷期间, 螺旋水冷壁壁温存在温差趋大的倾向; 究其原因: a) 低负荷下, 炉内火焰充满度较差, 热负荷分布不及高负荷下的热负荷分布均匀, 同时给水流量低, 水冷壁各管流量分配也不够均匀。二个因素叠加在一起会造成水冷壁局部热偏差增大, 使吸热多的水冷壁管管内汽化点提前, 含汽量增加, 沿程阻力增加, 引起该水冷壁管的流量减少, 进一步导致热偏差增大, 出口温度升高。流量越小, 表现越明显, 当管内流量超过一定值时, 能克服吸热偏差后, 该现象将趋于缓和; b) 造成水冷壁局部吸热份额偏大的原

因,除了火焰中心偏斜,首先是直吹式制粉系统延迟时间偏长,在低负荷时,手动增加燃料后,至水冷壁温度的反应要有一定时间,往往会造成给水量不能很好跟踪燃料,会出现水量短时偏小现象,相当于热负荷短时偏大,会造成局部水冷壁吸热份额增大。因此在转态后,应适当降低燃料增加速度,减少燃烧干扰,启动磨煤机时,操作需缓慢,根据螺旋水冷壁壁温变化趋势,提前增加给水,减少扰动;其次,通过控制过热度,也能很好的调整水冷壁吸热份额,也可以提高参数控制裕度,其实质是控制燃料量,不使它过量,不使它由于过量而导致局部吸热份额增大。实际运行情况表明,当过热度超过 30°C 以上是,壁温及温差明显增大,壁温有时超过 430°C ,但也不能过低,当过热度低于 8°C 时,局部将有汽水混合物进入一级过热器。为此过热度控制在 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ 之间较合适。

因此启动过程中,在转态后,应适当降低燃料增加速度,减少燃烧干扰,启动备用磨煤机时,提前增加给水,过热度取低限,且操作要缓慢,避免热负荷大幅度增加。采取以上方法后,壁温下降,温差变小,一般温差控制在 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ 以内。

在高负荷期间管壁温度正常情况下,一般是每面墙两侧低一些,一般在 400°C 左右,中间高一些,一般在 $420\sim 430^{\circ}\text{C}$,最高不超过 440°C ,安全裕度较大。

4.2 锅炉异常工况时壁温情况

a) 紧急停运一台汽泵时。2011年5月8日,19:30甲汽泵故障,紧急停运后,RB未投入,手动处理,磨煤机热风隔绝门不能及时关闭,燃料降幅不够,螺旋水冷壁壁温发生短时间超温,高的达到 490°C 以上,低的也 450°C 左右。

b) 在做满负荷1000MW甩负荷时,因给水跟踪慢,煤水比短时间失调,管壁温度发生短时间超限,两侧墙较高,最高达 500°C ,前后墙较低在 460°C 左右。

上述两种异常情况下,锅炉煤水比都发生较大幅度失调,发生给水量偏低,螺旋水冷壁管出现短时超温,通过迅速调整煤水比后,管壁温度恢复正常;可以发现,在异常工况时,锅炉煤水比极为重要,为此,必须要重点控制住煤水比,这样,螺旋水冷壁管壁温度就能控制在正常范围内。

4.3 锅炉配风的影响

切向燃烧方式是以整个炉膛为单元来组织燃烧

的,故燃烧器的燃烧工况与整个炉膛空气动力特性密切相关。切向燃烧中一种现象就是气流的偏离,气流在适当程度上的偏离恰恰是组织切向燃烧所需要的,炉内气流旋转直径增大,使上游邻角过来的火焰更靠近射流根部,对着火有利,对混合也有好处,炉膛充满度也好。但是一旦假想切圆过大,尤其是火焰中心发生偏斜将造成气流局部贴墙,不但易发生结焦,也会加剧水冷壁吸热不均,使水冷壁管壁温差增大。发生火焰中心偏斜主要原因是四个角的一、二次风配风不均造成。

因此要合理组织燃烧及配风,对一次风调平尤为重要,保证一次风粉均匀分配,优化炉膛温度场,一次风速相差在许可范围内;将煤粉细度调整至接近设计值;二次风分配对螺旋水冷壁有很大影响,原则上应采用均等配风方式,保持底部、油层、偏置风均保证一定开度,而且一要结合风速进行调整,应保持四个角的二次风速均匀。周界风应根据就地燃烧器的着火情况保持30%到50%开度,另外适当开大SOFA风也可以降低炉膛烟气温度的不均匀。

4.4 不同磨煤机组合的影响

不同磨煤机组合对螺旋水冷壁温度也有较大影响。采用下层磨煤机,炉膛火焰中心下移,使水冷壁汽化点提前,从而使水冷壁的过热受热面积增加,不仅会使水冷壁温升高,也会使水冷壁吸热偏差增大,从而使水冷壁温度偏差增大。反之,采用上层磨煤机,炉膛火焰中心上升,使水冷壁汽化点推后,从而使水冷壁的过热受热面积减少,对降低水冷壁温度和偏差都是有利的。特别在低负荷和启动工况下(转态后),两者的差别更加明显。所以,有条件情况下宜选用上层磨煤机,尤其在低负荷和启动工况时应尽量采用上层磨煤机。

4.5 调试实践及注意事项

在运行调试期间,注意做好以下几个方面,以更好的防止和避免螺旋水冷壁管壁温度超限。

(1) 启停过程中,控制过热度在 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ 范围内,在500MW负荷以下,尽量控制过热度不超过 40°C 。

(2) 启动时,应先启动B、C、D、E磨,后启动F磨或A磨,合理安排磨煤机运行方式;转态后,尽量不要长时间停留在50%热负荷以下,必要时通过旁路系统提高锅炉热负荷。

(3) 在投入协调前,应严格控制燃料增加速度,

在燃料增加后,待参数发生变化且平稳后,再次增加燃料。

(4)在异常工况下,必须抓住中间点温度,注意快速控制煤水比,尽量减少煤水比失调时间。

(5)加强一二次风速仪表分析和测点管道吹扫,保证各仪表准确可靠;组织合理的配风方式,重视二次风速,运行人员在调节风门挡板的同时要看风速,做到以风速为主,挡板为辅,使风速保持在合适范围和四周均匀状态。定期对煤粉取样分析,根据锅炉负荷和磨煤机出力情况调整分配器转速。

(6)合理进行炉膛吹灰,除了强结渣区以外,避免多次频繁进行局部吹灰而,造成水冷壁吸热偏差。

(7)启动和停运过程中,包括锅炉进水和冷却泄压,均应严格控制升、降温度和压力的速率,防止和避免发生水冷壁管拉裂现象。

(8)当发生螺旋水冷壁温度升高、温差增大、甚至温度超限时,应认真寻找原因,不能任其发展,必须有针对性的采取措施,将水冷壁的温度降至正常范围。并在实践中不断总结经验。

5 结论

从实际的启动调试过程中可以看出,炉内热负荷分布的情况基本与设计值相吻合,且螺旋水冷壁出口壁温偏差较小,说明螺旋管圈在改善炉内热负荷分布不均方面的效果显著;调试以及后续较长周期安全运行说明,12Cr1MoV作为螺旋水冷壁管材首次尝试是成功的。但是不否认螺旋管圈锅炉仍存在水冷壁超温或可能发生爆管现象这一事实,主要是由于运行操作中的疏忽、工况异常、控制超限等,

比如磨煤机切换、启停时,操作调整不当,启动初期,燃料变化过快,或者煤水比失调等。但是,只要操作正常、得当,并在异常工况下反应快速、处理果断,螺旋水冷壁的安全运行是完全有保障的。要注意的是在超临界压力下,应防止和避免工质大比热区的位置提前到热负荷很高的燃烧器区域,此时管壁向工质的对流放热系数急剧减小、工质导热系数也急剧减小,导致工质的吸热能力减小,以至发生类膜态沸腾现象,从而向火面金属温度急剧升高。所以在运行中尽量控制水冷壁吸热比例,在过热器减温水量有调节的余地,尽量降低中间点温度,使通过水冷壁的流量增大,将下部螺旋水冷壁出口工质温度控制在较低的水平,尽量保持在430℃以下。

参考文献:

- [1] 上海锅炉厂.3040 超超临界压力直流锅炉产品说明书 [Z].2010.538-1-8601.
- [2] 上海锅炉厂.3040 超超临界压力直流锅炉使用说明书 [Z].2010.538-1-8604.
- [3] 上海锅炉厂.3040 超超临界压力锅炉管子金属壁温及强度计算汇总 [Z].2010 538-1-8704.

作者简介:

金 非(1967—),男,江苏镇江人,高级工程师,国电谏壁电厂总工程师,主要从事动力工程研究。