

某600 MW超临界锅炉受热面热偏差特性研究

马新立, 爻建军

(江苏方天电力技术有限公司, 江苏南京 211102)

摘要:利用热电偶和IMP数采系统测量600 MW超临界锅炉各级受热面温度,进行热偏差特性试验。分析了水冷壁、过热器及再热器安全性,并对高温过热器和高温再热器出现的问题提出了相应的解决办法。

关键词:超临界锅炉;热偏差;超温

中图分类号:TK229.2

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2013)06-0072-05

锅炉水冷壁、过热器和再热器受热面内工质的压力和温度都相当高,且布置在烟温较高的区域,因而其工作条件恶劣,受热面温度接近管材的极限允许温度,而锅炉容量的日益增大,使其过热器和再热器系统的设计和布置更趋复杂。电站锅炉的大量运行实践表明,水冷壁、过热器与再热器的超温爆管是一个十分复杂的问题,同时受到结构与运行两方面的影响。系统布置与结构设计不合理会引起工质流量与吸热量的不均匀而造成超温爆管。锅炉受热面热偏差特性试验的目的在于测试热偏差状况,分析热偏差过大的原因,提出解决受热面超温爆管的措施。

1 锅炉概况

锅炉为超临界参数变压直流本生型锅炉,一次再热,单炉膛,尾部双烟道结构,采用挡板调节再热汽温,锅炉主要参数如表1所示。采用前后墙对冲燃烧方式,24只HT-NR3旋流燃烧器分三层布置在炉膛前后墙上,燃烧器上部布置有燃尽风(OFA)风口,12只燃尽风风口分别布置在前后墙上。燃用晋南、晋东南地区贫煤、烟煤的混合煤种。采用中速磨直吹式制粉系统,每炉配6台磨煤机,其中1台备用。

表1 锅炉主要参数

名称	BMCR
过热蒸汽流量/(t·h ⁻¹)	1900
过热器出口蒸汽压力/MPa(g)	25.4
过热器出口蒸汽温度/℃	571
再热蒸汽流量/(t·h ⁻¹)	1 607.6
再热器进口蒸汽压力/MPa(g)	4.71
再热器出口蒸汽压力/MPa(g)	4.52
再热器进口蒸汽温度/℃	322
再热器出口蒸汽温度/℃	569

2 试验方法

所有壁温测点均采用炉外壁温测点。选用D0.5

收稿日期:2013-06-05;修回日期:2013-07-10

mm镍铬-镍硅热电偶丝,将该丝用电容式点焊仪粘焊在选定的管壁上,然后用保温材料将其保温并固定,所测壁温代替管内工质温度。测点壁温数据信号通过IMP数据采集系统接入计算机进行采集。在稳定运行条件下通过DCS获取的对应点压力等参数,计算出每个测点管子的焓增,通过下列公式计算受热面的热偏差系数^[1]:

$$\rho_n = \Delta i_n / \Delta i \quad (1)$$

式(1)中: ρ_n 为热偏差系数; Δi_n 为第n根管子的蒸汽焓增; Δi 为参与比较的所有管子的蒸汽焓增的平均值。

3 热偏差试验

热偏差试验主要内容如表2所示。

表2 热偏差试验主要内容

工况	主要内容
1	低负荷317 MW稳燃
2	168 h考核运行,负荷600 MW
3	切高加,负荷600 MW
4	电厂日常习惯运行工况,600 MW
5	变燃烧器三次风挡板开度,变燃尽风量
6	变燃尽风层三次风挡板开度,降低总风量
7	变燃尽风前后墙风量比例,后/前=67%/33%
8	磨出口分离器挡板开度由50%变至40%
9	氧量调平,提高风量,省煤器出口氧量3.22%
10	变燃尽风(AAP)风量,氧量3.07%
11	变磨煤机组合,由ABCDF变为ABCDE
12	氧量调平,变氧量,氧量2.63%
13	氧量调平,变氧量,氧量3.22%
14	氧量调平,变氧量,氧量3.84%
15	性能考核试验1,氧量2.59%
16	性能考核试验2,氧量3.48%
17	性能考核试验3,磨组合由ABDEF变至ABCDF
18	锅炉最大出力试验,锅炉主汽流量1989 t/h

3.1 螺旋水冷壁热偏差

在18个工况下对螺旋水冷壁热偏差进行了测量,热偏差情况如图1—6所示。

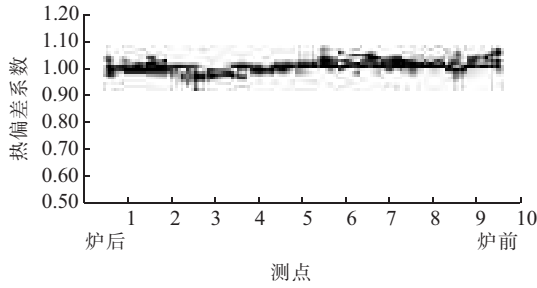


图1 左侧墙螺旋水冷壁沿炉方向热偏差系数曲线

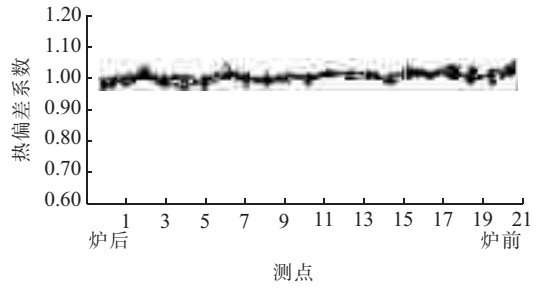


图6 左墙螺旋水冷壁同屏管热偏差系数曲线

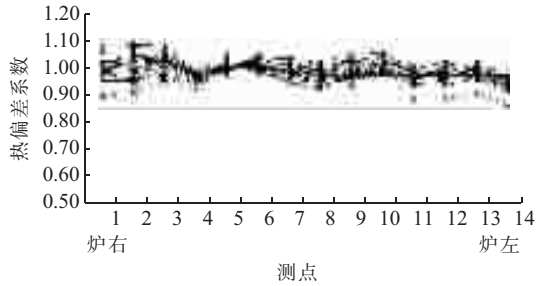


图2 前墙螺旋水冷壁沿炉宽度方向热偏差系数曲线

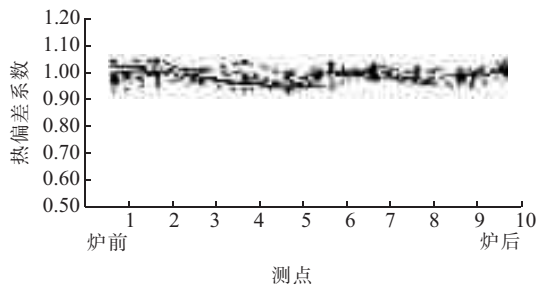


图3 右侧墙螺旋水冷壁沿炉方向热偏差系数曲线

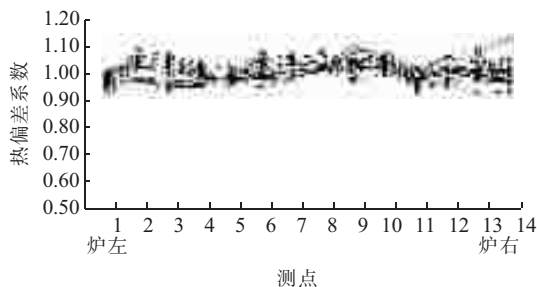


图4 后墙螺旋水冷壁沿炉宽度方向热偏差系数曲线

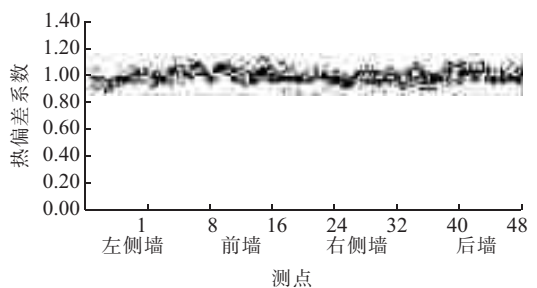


图5 沿炉膛四周墙螺旋水冷壁热偏差系数曲线

图1—5中,沿炉膛四周,角隅部份和中间部份的水冷壁热偏差系数波动非常小,且变化无规律性。图6中,其热偏差系数波动也非常小。

不同工况下螺旋水冷壁热偏差系数的平均值与最大值如表3所示。各试验工况中所有螺旋水冷壁壁温最大值与最小值之差不超过20℃。这主要是由于同一管屏中管子以相同方式绕过炉膛的角隅部份和中间部份,水冷壁管中流量偏差小、流速高、管壁受热均匀。螺旋水冷壁在试验过程中测得最高壁温为417℃,远远低于材料的许用壁温540℃,有较大的安全裕度。在不同工况试验时,前、后墙热偏差系数的分布与沿炉膛宽度方向送风量、单个燃烧器的出力有一定的关系,在出力大的燃烧器附近通过的水冷壁管焓增较大。

表3 螺旋水冷壁热偏差统计表

偏差系数	左墙宽度	前墙宽度	右墙宽度	后墙宽度	炉膛四周	左墙同屏
平均	1.05	1.06	1.04	1.06	1.09	1.03
最大	1.07	1.11	1.07	1.11	1.12	1.06

3.2 屏式过热器热偏差

各工况下对螺旋水冷壁热偏差进行了测量^[2,3],热偏差情况如图7—10所示。

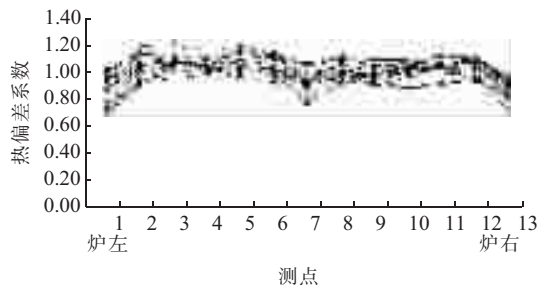


图7 前排屏式过热器沿炉宽方向热偏差系数曲线

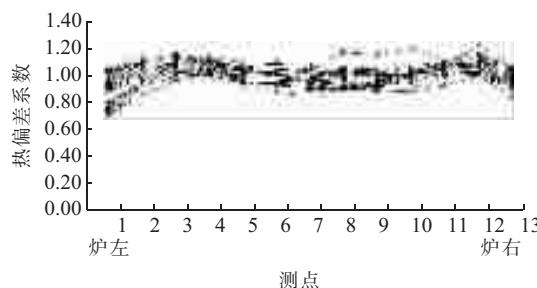


图8 后排屏式过热器沿炉宽方向热偏差系数曲线

屏式过热器布置沿炉深方向布置了2排,每一排管屏沿炉宽方向布置13片屏,共26片,每片屏由24

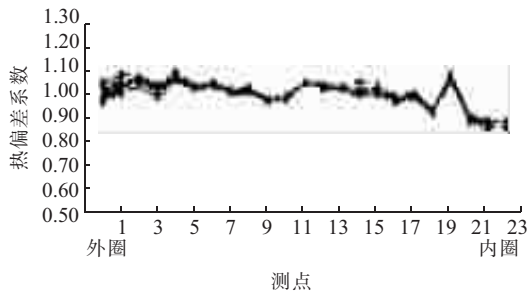


图9 前排屏式过热器第7屏同屏管热偏差系数曲线

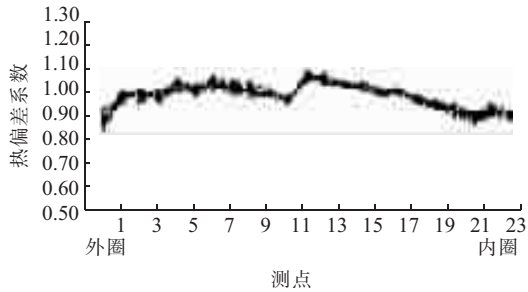


图10 后排屏式过热器第7屏同屏管热偏差系数曲线

根管组成。由图7,8可看出,前排与后排屏式过热器沿炉宽度方向热偏差系数曲线均略呈“马鞍”型分布,且波动幅度不大。在距侧墙第2、第3屏位置出现峰值,数值较小。具体到单个工况下,曲线分布有左高右低,右高左低,这主要是在燃烧调整时沿炉宽方向热负荷及送入炉膛氧量分布发生变化引起的。

为控制工质流量减小热偏差,使同屏各管的壁温比较接近,在管排的入口处、屏过进口集箱上设置了不同尺寸的节流圈,有 $D12.5\text{ mm}$ 、 $D13\text{ mm}$ 、 $D14\text{ mm}$ 、 $D15\text{ mm}$ 、 $D16.5\text{ mm}$ 、 $D20.5\text{ mm}$ 和 $D23.5\text{ mm}$ 7种规格,具体位置如表4所示。

表4 屏过进口集箱节流圈直径 mm

同屏管编号	1 外	2	3	4	5	6
节流直径	23.5	30.2	20.5	20.5	16.5	16.5
同屏管编号	7	8	9	10	11	12
节流直径	15.0	15.0	14.0	14.0	14.0	13.0
同屏管编号	13	14	15	16	17	18
节流直径	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0	12.5
同屏管编号	19	20	21	22	23	24 内
节流直径	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5

前排、后排屏式过热器同屏管热偏差系数如图9,10所示,曲线窄幅波动,前排略呈外圈高内圈低,后排在外高内低的同时还略呈中部高内外低,这与前、后排屏过进出口集箱中工质的流速不同,造成压差不同从而影响管子中的工质流速有一定关系,但热偏差系数均在1.11以内,属较小值,证明屏过入口集箱上节流圈直径的选取与受热面包括集箱的设计是合理的,

特别是最外圈管径采用大管径是恰当的。屏式过热器试验过程中测得最高壁温为 $563\text{ }^{\circ}\text{C}$,远远低于材料的高位报警值 $621\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和许用壁温 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$,受热面是安全的。前排第20号管热偏差系数呈异常波动,在停炉进入炉内检查发现是该管突出管屏,辐射换热面积加大造成的,还发现有个别管屏沿炉高度方向产生较大的弯曲。不同工况下屏式过热器热偏差系数的平均值与最大值如表5所示。

表5 屏式过热器热偏差统计表

热偏差系数	前排宽度	后排宽度	前排同屏	后排同屏
平均值	1.12	1.12	1.08	1.09
最大值	1.22	1.23	1.10	1.11

3.3 高温过热器热偏差

在各工况下对高温过热器热偏差进行了测量,热偏差情况如图11—14所示。

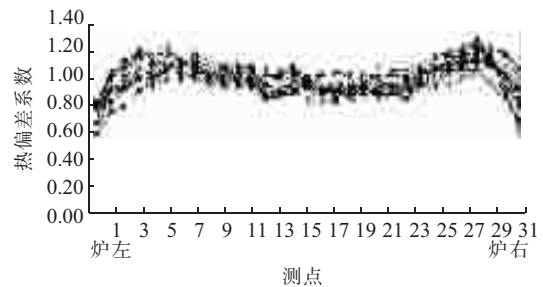


图11 高温过热器沿炉宽度方向热偏差系数曲线

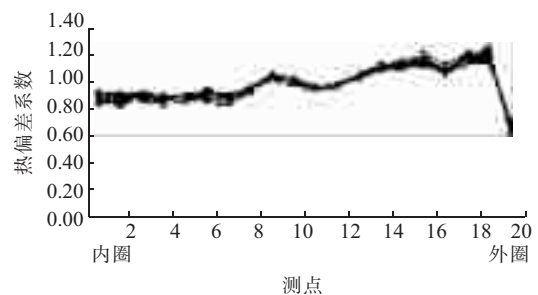


图12 高温过热器5屏同屏管热偏差系数曲线

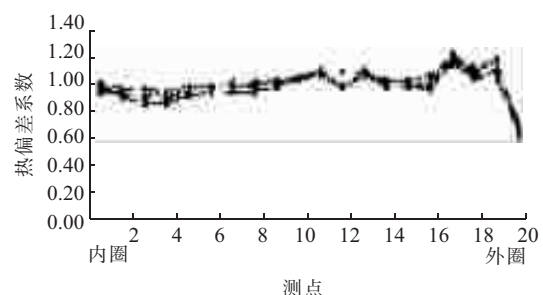


图13 高温过热器16屏同屏管热偏差系数曲线

高温过热器沿炉宽方向布置有31片,每片管屏由20根管子并联绕制而成。试验期间高过第17屏第7根管出口炉外T91管出现一次爆管,爆管做金相分析后,认为该管长时处于超温运行,瞬间温度达到加热相变下临界点 $Ac1$ 附近,引起超温爆管。经仔细检查,在

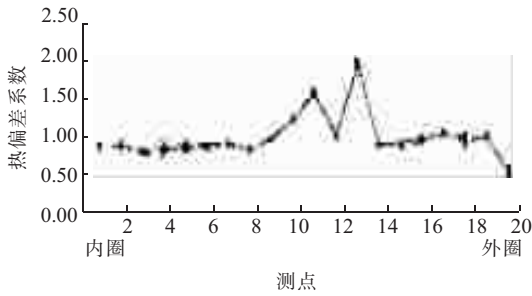


图14 高温过热器17屏同屏管热偏差系数曲线

高过入口集箱中发现异物。

从图11可看出高温过热器沿炉膛宽度热偏差系数曲线,呈典型的“马鞍”型分布,热偏差系数数值较低且左右两侧均匀对称,在距侧墙4至5屏左右位置各出现一个峰值,各工况的平均峰值为1.2,最大峰值为1.31。水平烟道沿炉宽方向烟温分布是呈中央高两侧低,根据以往的经验,造成宽度方向热偏差系数曲线“马鞍”型分布,主要原因是沿炉宽方向烟气流速的分布及管中工质流速的不同造成的。在管排的入口处、高过进口集箱上也设置了不同尺寸的节流圈,有 $D13\text{ mm}$ 、 $D12.5\text{ mm}$ 、 $D12\text{ mm}$ 、 $D11.5\text{ mm}$ 、 $D11\text{ mm}$ 五种规格。具体位置如表6所示。

表6 高过进口集箱节流圈直径 mm

同屏管编号	1外	2	3	4	5
节流直径	30.4	13.0	13.0	13.0	13.0
同屏管编号	6	7	8	9	10
节流直径	13.0	12.5	12.5	12.5	12.0
同屏管编号	11	12	13	14	15
节流直径	12.0	12.0	12.0	11.5	11.5
同屏管编号	16	17	18	19	20内
节流直径	11.5	11.0	11.0	11.0	13.0

通过图12,13可看出,2屏同屏管热偏差系数曲线峰值均不高,曲线略呈左低右高,即靠近外圈管热偏差系数高于内圈,趋势还是比较明显的,但最外圈管因采用了大口径管,工质流量大,焓增过于偏小,仅为管组平均焓增的65%左右,这对同屏管系数均匀性有一定影响。高过第5,16屏同屏管最大热偏差系数分别是1.28,1.21,不同工况下最大热偏差系数的平均值为1.23,1.17,最高管壁温度在 $588\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $606\text{ }^{\circ}\text{C}$,属于一个比较高的温度水平,25.9 MPa压力下壁温高位报警值为 $593\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

图14为第17屏同屏管热偏差系数曲线,测点7所对应的管在试验期间存爆过管,检修清楚异物后该管在运行中壁温正常,但测点10,11,13热偏差系数明显偏大,壁温在 $600\sim 646\text{ }^{\circ}\text{C}$,已超过壁温高位报警值 $53\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由于其他所监测管的壁温均明显低于这几点,分析超温原因:可能是该位置位于集箱正中位置,工质

流速低,过热器管入口或管内易置留异物,造成流通面积减小,冷却条件差,壁温升高;高过管屏管间定位装置变形,管子突出管屏面,吸热量增大,也有可能引起壁温升高。不同工况下高温过热器热偏差系数的平均值与最大值如表7所示。

表7 高温过热器热偏差统计表

热偏差系数	沿炉膛宽度	沿炉膛宽度	第16屏同屏管	第17屏同屏管
平均值	1.20	1.23	1.17	1.89
最大值	1.31	1.28	1.21	1.93

3.4 高温再热器热偏差

在各工况下对高温再热器热偏差进行了测量,热偏差情况如图15,16所示。

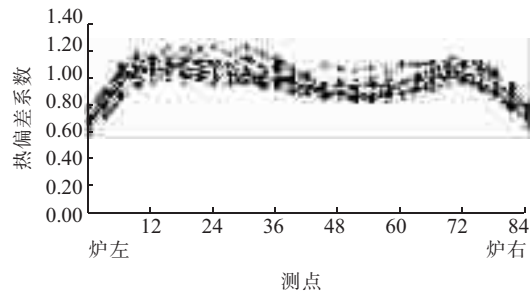


图15 高温再热器沿炉宽度放向热偏差系数曲线

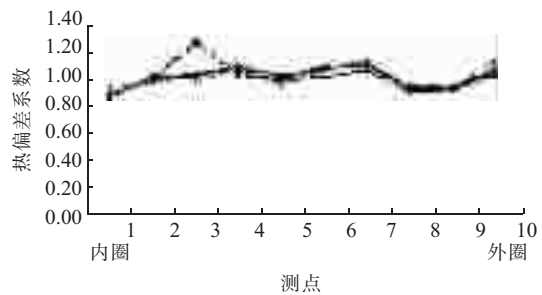


图16 高温再热器42屏同屏管热偏差系数曲线

高温再热器蛇形管屏共84片,每片管屏由10根管子并绕成U形。沿炉膛宽度热偏差系数分布如图16所示,外形呈典型的“马鞍”型分布。热偏差系数数值较低,但沿烟道宽度分布不是很对称,烟道左侧热偏差系数水平略高于右侧,针对不同的工况,明显地出现左高右低或右高左低,这主要是再热蒸汽压力低,比热小,对烟温与烟气流速偏差比较敏感。热偏差系数在距侧墙约1/5炉宽位置各出现一个峰值,沿宽度最大热偏差系数是1.33,不同工况下最大热偏差系数的平均值为1.22。同屏管分别选取距左侧墙1/8炉宽(第11屏)与1/2(第42屏)炉宽位置上的两片管屏安装测点。高再进口集箱上也设置了 $D41.8\text{ mm}$ 、 $D23.0\text{ mm}$ 2种规格的节流孔。具体位置如表8所示。

由图16可以看出,其热偏差系数数值较低,波动较小,且曲线的波动变化与节流圈规格存在比较明显的因果关系,若针对测点1,4,7,8再增加2种规格的

表 8 高再进口集箱节流圈直径 mm

同屏管编号	1 外	2	3	4	5
节流直径	41.8	23.0	23.0	23.0	23.0
同屏管编号	6	7	8	9	10 内
节流直径	23.0	23.0	41.8	41.8	41.8

节流孔,可进一步减少高再的热偏差系数。高温再热器在试验过程中测得最高壁温为 603℃,受热面壁温高位报警值为 648℃,且远远低于材料的许用壁温 700℃,受热面是安全的,且有较大裕度。高温再热器热偏差系数的平均值与最大值如表 9 所示。

表 9 高温再热器热偏差统计表

热偏差系数	沿炉膛宽度	第 42 屏同屏
平均值	1.22	1.15
最大值	1.33	1.31

图 16 中测点第 3 点热偏差系数出现不正常的波动,分析其主要原因有 2 种可能性:一是管内有杂物,造成流通面积减小;二是管屏中管子间的定位滑块发生变形、分离,造成管子突出管屏面,吸热量增加。

3.5 各受热面温度在机组升负荷时的变化情况

锅炉升负荷时,随着主汽压力、机组电负荷升高,各主要受热面出口工质温度的变化如图 17 所示。各受热面管壁温度升高比较平稳,有 2 处小的波动主要是运行中减温水量和燃料量的波动引起的。

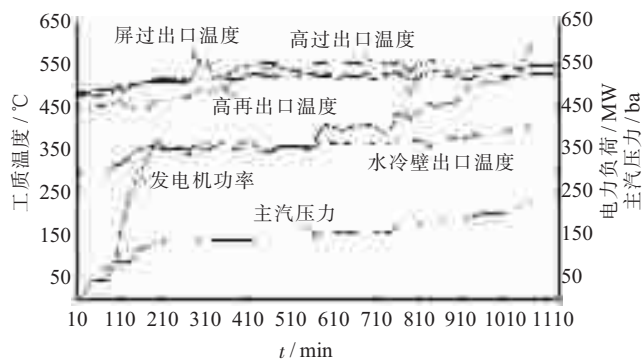


图 17 锅炉升负荷时工质温度变化曲线

3.6 沿炉膛宽度烟温分布

在屏式过热器下部,通过前墙水冷壁上 8 个观察孔用辐射高温计进行了沿炉膛宽度烟温的测量,其温度分布如图 18 所示。

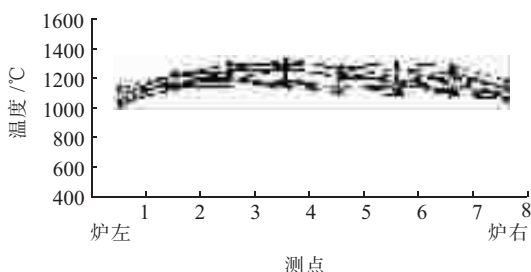


图 21 沿炉膛宽度烟温分布

从图 18 看出,在该标高沿炉膛宽度烟温分布曲线总体呈中间高两边低,幅度约 150℃。这与屏式过热器、高温过热器及高温再热器沿宽度方向壁温分布曲线有所不同,后者均呈有两个峰值的“马鞍”型分布。这是因为受热面中工质的焓增不仅与烟气的温度有关,还与烟气流速、受热面周围环境温度、进口集箱与出口集箱内的压力分布等因素有关。

由上分析得出:(1) 锅炉主蒸汽及再热蒸汽均能达到设计参数,且具有较好的汽温调节特性;(2) 螺旋水冷壁、屏式过热器、高温再热器,在启动及各试验工况下,受热面最高壁温均小于各自金属材料的许用壁温,且有较大的安全裕度,没有超温的危险;(3) 高温过热器在不同工况运行时,温度偏差大的管壁温已非常接近,甚至超过受热面壁温高位报警值,存在一定危险;(4) 在炉膛出口烟温沿炉宽方向呈中间高两边低趋势分布,峰值与谷值相差约 150℃。

4 结束语

(1) 高温过热器作为末级受热面,壁温裕度较小,壁温高位报警值与主汽温差仅 22℃,有必要进一步采取措施降低其温度偏差;对壁温出现异常波动的管壁温度在运行中需加强监视,有机会查明超温原因;高温过热器及高温再热器受热面蛇形管间布置的定位滑动块,在运行半年后检查发现不少变形、脱开,建议对其改进;高温过热器管屏最外圈蛇形管工质焓增,仅为管组平均值 65% 左右。建议通过更改其节流圈尺寸或管径,增加管中工质焓增,以减少受热面出口工质的温度偏差。

(2) 通过合理的组织燃烧,使燃烧所需风和燃料沿炉膛宽度均匀进入炉膛。

(3) 高再进口集箱上仅设置了 D41.8 mm, D23.0 mm 2 种规格的节流孔,建议再适当增加节流孔的规格,对减少高再热偏差能起到积极的作用。

参考文献:

- [1] 王恩禄,田子平,缪正清,等. 分配集箱静压分布参数 C_f 值的理论分析[J]. 动力工程,1997,17(3):26-31.
- [2] 王峻晔,吴国江,王德平,等. 锅炉过热器汇流集箱流动机理研究[J]. 热能动力工程,1998,78(6):406-408.
- [3] 徐巧生,张辉涛. 某 600 MW 超临界锅炉屏式过热器爆管原因分析[J]. 2012,30(5):72-75.

作者简介:

马新立(1969),男,江苏常州人,高级工程师,从事大型锅炉调试、试验及改造工作;

爻建军(1971),男,江苏南通人,高级工程师,从事大型机组热控调试、试验及改造工作。

响。建议相关政府部门能够兼顾新老机组脱硝成本的差异性,优化脱硝电价补贴规则,进一步提升老机组脱硝改造的积极性,促进氮氧化物减排工作的深入推进。

2.3 因地制宜合理选择机组脱硝改造方案

目前国内外常用的低氮燃烧、选择性非催化还原、选择性催化还原等技术都各自有其优势、适用条件,脱硝技术特别是还原剂的选择,与企业所在地域、燃烧工艺、炉型、燃料、现场条件等密切相关,而且技术可靠性、一次性投入及运行成本也不同。(1)低氮燃烧技术:工艺成熟,投资与运行费用较低,其应作为燃煤电厂在役机组和新建机组氮氧化物控制的首选技术^[7]。(2)SCR技术:氮氧化物去除率高、应用成熟,但投资费用与运行费用高,适合在煤质多变、机组负荷变动频繁以及对空气质量要求较高的区域的新建燃煤机组上使用^[8]。(3)SNCR技术:投资与运行费用较低,但氮氧化物去除率有限。

综上所述,对于常规燃煤机组,建议首先对机组进行低氮燃烧改造,然后选择SCR或SCR-SNCR技术改造;对于循环流化床机组,根据改造前氮氧化物排放浓度及SCR,SNCR,SCR-SNCR技术特点进行测算,多角度综合评估选择最优方案。

3 结束语

本文利用燃煤机组脱硝在线监控系统积累的大量

运行数据,对2010年至2012年间江苏省燃煤机组脱硝装置运行状况及发展趋势进行了统计分析,并总结了运行过程中发现的还原剂流量控制、氨逃逸测量、反应温度控制等三大技术难点、问题,对脱硝监管以及燃煤机组脱硝改造提出了一些对策建议,为火电厂脱硝改造和规划脱硝设施的运行提供了大量基础数据。

参考文献:

- [1] 李敬,王振国,陈楠. 燃煤电厂脱硝技术研究[J]. 内蒙古科技与经济,2011,236(10):109-110.
- [2] 陈建明,樊爱兵. 江苏省火电厂氮氧化物的污染状况及对策思考[J]. 江苏电机工程,2008,27(5):23-26.
- [3] 王瑞军,白云辉,崔华先. 烟气脱硝对锅炉运行的影响[J]. 云南电力技术,2011,39(2):70-75.
- [4] 沈丹. 选择性催化还原法(SCR)脱硝系统主要技术问题研究[D]. 南京:东南大学,2007.
- [5] 朱卫东. 火电厂烟气脱硫脱硝监测分析及氨逃逸量检测[J]. 分析仪器,2010,42(1):88-94.
- [6] 沈保中,陈震,徐小明. 执行SO₂和NO_x新排放标准的压力及建议[J]. 电力与能源,2012,44(1):13-16.
- [7] 胡志杰,盛春. 480 t/h 锅炉低氮燃烧系统改造及效果分析[J]. 江苏电机工程,2010,29(5):66-69.
- [8] 项昆. 3种烟气脱硝工艺技术经济比较分析[J]. 热力发电,2011,40(6):1-8.

作者简介:

彭祖辉(1963),男,福建宁德人,高级工程师,从事电力环保、火电厂脱硫、脱硝技术研究工作。

Analysis on Present Operation Situation of Flue Gas Denitrification System in Coal-fired Power Units of Jiangsu Province

PENG Zuhui

(Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper firstly introduces the capacity, proportion and type distribution of the denitration facilities utilized in Jiangsu province, and then analyzes the present operation situation of the existing denitration facilities combined with real data obtained by the on-line monitoring system. Finally, according to the various problems encountered during operation processes of denitration facilities, some supervision countermeasures are proposed.

Key words: flue gas denitrification; operation situation; suggestion

(上接第76页)

Analysis on Thermal Deviation of High Temperature Heating Surfaces in 600 MW Supercritical Boiler

MA Xinli, SHU Jianjun

(Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: Through monitoring the temperature of various high temperature heating surfaces with thermocouples and IMP data acquisition systems, experimental tests on thermal deviation are performed in one 600 MW supercritical boiler. The issues associated with the safety of water wall, high temperature superheaters and reheaters are analyzed, and several solution measures are proposed.

Key words: supercritical steam boiler; thermal deviation; overheating