

600MW 亚临界锅炉设备情况介绍及防爆管的若干措施

发布日期：2009-5-7 11:20:24 (阅 212 次)

关键词：锅炉 防爆管 600MW 亚临界

电站锅炉专业风险预控工作的一个重要使命，就是防止受热面管道的爆漏。作为国华公司系统首台投产的国产 600MW 亚临界机组，不论在运行人员对燃烧系统的掌握和控制上，还是点检人员对热力设备的性能诊断上，都将是一个考验。由于台电#1 机组尚未进入试生产阶段，还得出不了锅炉的运行情况。下面，从锅炉爆管的简单机理着手，结合台电锅炉设备特点和#1 锅炉安装检验的情况，对机组投产后的防爆工作提出若干看法。

(一) 锅炉爆管的简单机理、分类与查证

众所周知，当锅炉的管壁在高温烟气中受热，如果得不到可靠的冷却，其运行温度超过设计值或超过运行时限时发生损坏，即为过热。而由于锅炉管道内部堵塞、缺水、水循环破坏或膜态沸腾等原因，也将造成管道短期超温爆破。大部分短期超温损坏处呈现出明显的胀粗变形，在破裂处呈现刀刃状的边缘。

另一种常见的情况是中长期的超温。当钢材长期地工作在蠕变温度以上，金相组织发生变化，包括珠光体球化、碳钢和钼钢的石墨化、奥氏体钢发生相沉淀等，从而降低金属的晶间强度而损坏。这种情况下管壁没有明显减薄，厚唇状的断口是高温蠕变的特征。

此外，还存在管道焊接质量本身的问题。由于焊缝缺陷或性能劣化的原因造成爆管的现象也是常见的。同时，造成受热面管道早期爆管的因素往往是多方面的，如超温和内外壁氧化的双重作用，如焊缝质量缺陷和结构交变应力的共同作用。

如果对锅炉爆管的现象作进一步的归纳分类，可以将爆漏的方式分为应力温度类的断裂、工质侧腐蚀、烟气侧腐蚀、磨损、冲蚀、疲劳、质量控制失误等七种。从直接的失效方式来看，每一种类型又表现为几种失效方式，如应力温度类断裂可以是短期过热、长期蠕变、异种钢焊接失效、石墨化等情况，在此不一一列举。

上述爆漏方式是可以透过爆口的宏观、微观形貌特征来判断的，即推测管子的某种失效变化过程。但引起这种变化过程的因素（称为爆管的根本原因）往往可能不止是一种情况。判断出爆管的根本原因是最关键的工作，分析出哪些是真正的原始渗漏点，哪些是派生的受冲刷泄漏点是非常重要的，是采取预防和修复措施的重要依据，必须对爆漏的性质进行严格的查证。

为了做到这一点，除了现场查证、取样检验、断口分析、金相检验等手段外，还必须结合锅炉运行工况来综合分析。从点检定修模式中要求对设备性能劣化状态诊断的要求上来说，专业技术人员除掌握锅炉结构特点和选用钢材的金属性能外，还必须对锅炉燃烧调整、汽水系统运行工况、热力负荷特征、热力设计数据、煤质、实际结渣情况等系统性跟踪分析，从电厂自身锅炉设备的特点来掌握和分析受热面管道的情况。这也要求，点检人员和运行人员的实践知识要全面，并能紧密合作。当然，准确的分析和防爆有赖于对同类型锅炉投运情况所积累的丰富经验。

(二) 台山锅炉设备简况及其特点

国华台电一期工程选用 5 台 600MW 国产引进 ABB-CE 燃烧技术的机组，**锅炉**型号为 SG-2026/17.5-M905，是在总结上海吴泾第二发电厂两台亚临界、一次中间再热、平衡通风、控制循环燃煤汽包炉的设计、制造和运行的基础上，按创优、创名牌的要求进行改进设计和制造的。过热器出口蒸汽流量 MCR 为 2026t/h，蒸汽压力 17.5MPa，蒸汽温度 541℃。再热汽为流量 1671t/h，进出口压力为 3.84/3.64 MPa，温度为 325/541℃。炉顶标高为 73000mm，炉膛宽度 19558mm，深度 16940.5mm，炉膛由φ51X6mm 的膜式水冷壁组成，1110 根管按热力负荷和结构分为 55 个循环回路。炉膛出口经折焰角和延伸侧墙组成的水平烟道流向后烟井及尾部，炉前向后管屏依次布置有分隔屏、屏式过热器、屏式再热器、末级再热器、末级过热器。省煤器和低温过热器布置在后烟井，后烟井深度为 12768 mm，尾部烟温出口流向两台三分仓容克式空预器。水冷壁、省煤器和后包墙过热器主要采用了 SA-210C、15CrMo，过热器和再热器管屏主要采用了 12Cr1MoV、TP347H、T91 三种钢材。

给水管道布置于**锅炉**左侧，经省煤器出口联箱引至汽包底部进入。炉前布置三台低压头泰勒炉水循环泵，汽包内饱和汽水分离后由 6 根大直径下降管经循环泵增压后进入环形下水包，炉前后、左右侧水冷壁组成 55 个回路，均由上联箱汇聚到汽包，形成水循环系统。**锅炉**在负荷>30%时，采用汽包水位、给水流量、主蒸汽流量三冲量控制汽动给水泵的转速。省煤器给水流量为 2015t/h，给水温度为 278℃。**锅炉**设计效率为 93.47%。

锅炉采用正压直吹式制粉系统，燃烧器四角布置，切向燃烧，燃烧方式为“对冲同心正反切布置”，以控制**锅炉**出口的左右烟温偏差。主要依靠二次风喷嘴的偏转结构，而不再是传统的设计假想切圆。四组燃烧器的中心线近乎对冲，假想切圆直径近于零。**锅炉**共配置 6 台 HP-983 中速磨煤机，分别接至四角燃烧器设六层自上而下，间隔七层二次风喷嘴及顶部 OFA 消旋二次风，在二次风室内配置三层共 12 支轻油点火枪。采用摆动结构，除 OFA 单独摆动外其余喷嘴连在一起成一摆动系统。二次风自送风机出口经空预器加热进入大风箱由风门档板调节按要求分布于各二次风喷嘴。设计的一次风风速为 24m/s，风率为 19.8%，二次风速为 54m/s，风率为 80.2%。校核煤种烟气最大流速为水冷壁垂帘管处 10.21m/s。过量空气系数为 1.2。空预器出口烟温为 132℃。**锅炉**燃料消耗量为 230.90t/h，炉膛断面热负荷为 4679.51Kw/m²，炉膛容积热负荷为 87.63 Kw/m³。炉膛最大局部热负荷标为在 33.36 米，最大值为 1574.4X103KJ/h.m²，最大平均热负荷位置在 38.49 米标高，吸热修正后为 740.8X103KJ/h.m²。而最上层燃烧器中心线标高为 34780mm。**锅炉**已于 8 月 8 日完成冷态空气动力场试验，完成了一次风速测平、标定、二次风档板特性试验和水平烟道风速分布测量，试验结果符合设计要求，炉内无贴壁风，强风环居中，电除尘烟气流量偏差较小。总体达到了冷态通风试验的性能要求。

过热器的汽温调节主要采用二级喷水减温，再热器采用燃烧器摆动及过量空气系数调节。设计当再热器入口蒸汽温度偏离设计值 20℃，出口汽温能达到额定值，受热面金属不超温。**锅炉**炉膛配备 90 只墙式吹灰器，共分 5 层。最底层燃烧器下面布置一层，最上层燃烧器上面布置四层。水平烟道和后烟井布置了 44 只伸缩式吹灰器。吹灰蒸汽来自分隔屏过热器出口联箱。

汽水系统工质温度测点布置在省煤器进出口管道、下降管、过热器一二级减温器进出口、末级过热器出口、再热器减温器进口、再热器进出口处均装有。工质压力测点分别布置在省煤器入口、汽包、过热器出口及再热器进出口等处。金属壁温测点集中在炉顶联箱大罩壳内。**锅炉**在汽包、过热器出口、再热器进出口共装 19 只弹簧安全阀，在过热器出口还有 2 只动力泄放阀。

锅炉设计燃用 100%神华煤，但为预防结渣严重，最终的配煤试烧方案还未确定，将结合热态燃烧调整试验进行。校核煤种的低位发热量为 22330kj/kg，哈氏可磨系数为 50，挥发份为 38.98%，灰分为 12.60%。

灰软化温度为 1120℃，灰熔化温度为 1160℃，CaO 的含量达到为 28.73%，Fe₂O₃ 的含量达到 25.48%。校核煤铝硅比 SiO₂/Al₂O₃=1.97，钙酸比 B/A=1.654，硅比 G=29.07，灰成分综合判断指标 R=4.87，结渣温度 t_Z=575℃，着火稳定系数 R_w=5.69，燃料燃尽系数 R_j=35.08。

以上数据对预防炉管超温和爆破是有重要参考意义的。从上述情况看出，作为 600MW 亚临界机组的设计，存在以下几个重要特征：

1) 该型号锅炉引进 CE 燃烧设计技术，在炉膛结构、膨胀和炉顶密封设计、燃烧器布置、热力循环、控制保护、汽温调节等方面均比早期投运的 600MW 机组有了重要的改进，热力系统可靠性已大为提高。锅炉选用的金属管材裕度充足，高温性能较好的满足正常工况要求。

2) 由于四角切向燃烧造成的炉膛出口烟气残余偏转，通过合理化设计和调节手段，能较好的消除左右侧汽温偏差和烟气流不对称，出口烟速均分范围合理。但在冷态空气动力场试验时发现，在炉膛出口屏过、屏再范围的左右侧风速偏差还是明显的，需要在热态下进一步观察和调整。

3) 为防止热负荷局部集中和防结焦，炉膛断面结构尺寸较大。最上层燃烧器中心至分隔屏底的距离为 20130mm，使受热管屏底部的热负荷有所降低(BMCR 下分隔屏底为 1374℃)，并控制炉膛出口烟温在 1032℃ 以下，这对防止管壁超温和高温氧化有利。最下排燃烧器至冷灰斗转角的距离为 5969mm，若燃烧器向下倾时对炉膛下部和冷灰斗的辐射也将是明显的。

4) 水循环系统由于采用循环泵和内螺纹管，下水包采用不同规格的节流圈，炉水在进入汽包之前不发生汽水分离相变，炉膛燃烧区不直接冲刷水冷壁，因此如无异物堵塞一般不会发生超温情况。对刚性梁的设计也使水冷壁结构应力拉裂的可能大为降低。

5) 设计煤种和校核煤种具有高挥发份、中高水份、低灰份、特低硫、熔融性低的特点，说明该煤种的着火、燃烧稳定性和燃烬特性较好，但煤种易自燃、结渣性将较为严重，煤种的沾污性较强、传热特性差，煤种的磨损性轻微。因此，对该煤种应十分重视对结渣的分析，加强吹灰。

6) 各种工质测点和壁温测点布置合理，给水采用三冲量调节，能较好的稳定锅炉水位和汽温。炉管泄漏报警装置的投用，将对早期判断爆管倾向有着重要的参考作用。

(三) 国华台电#1 机组基建期锅炉焊接及检验情况

国华台电#1 机组锅炉本体“三器一壁”制造焊口总数为 39430 个，所有焊缝 100%无损探伤检测，经 RT (TV) 检查一次合格为 38234 个，一次合格率 96.97%。安装受监焊口达到 27000 个，进行 100%的检验，其中 RT50%，UT50%。锅炉外围管道焊口 3000 多个，进行 50%的 RT 检验。

在安装和设备监造期间，对厂家焊口、安装焊口共 66000 多个进行渗透检查。对受热面 49528 个弯头进行了 100%测厚。末级过热器、主蒸汽系统 T91 材料的焊口进行 100%UT、100%RT、100%PT 的检验。

安装前对所有合金设备或管道焊缝进行了 100%的光谱复查工作，共发现不符合点数 552 点。所有材料不符合项，都得到了妥善的处理。

在国华台电的严格要求下，安装单位采取了严格的质量控制措施，每周统计焊接一次合格率，应

用统计表和 P 控制图进行分析，确保焊接质量处于受控的状态。#1 机组的安装期间，焊接一次合格率始终高于目标合格率 98.5%。

所有检验工艺按工艺卡进行，所有的检验和试验记录都做好签证，并加以整理分类保存，以保证所有的检验和试验均按要求规范进行。检验报告应由相应资格的人员签证、复审、批准。检验员由初级或初级以上人员担任，评定与审核人由中级或中级资格以上人员担任。为了保证射线底片评定的准确性，聘用了高级射线人员对射线底片进行复评，从而最大限度减少了底片漏评或错评的随机性。

在渗透检验工作中，适当延长了渗透时间，以提高缺陷的检出率。在射线检验工作中，薄壁小径管如末级再热器、屏式再热器、墙式再热器，选用了先进的 Se-75 射源进行射线检测，有效地提高了小径管焊缝射线底片的灵敏度和宽容度，从而提高缺陷的检出率。在使用 Ir-192 射源进行射线探伤过程中，注意优化最佳探伤参数的同时，应用了滤光板的技术和定向曝光的技术，从而有效减少了散射线对射线底片的影响，提高射线底片的探伤灵敏度。在超声波探伤过程中，使用距离-波幅曲线代替面板曲线进行检测，从而减少漏检的可能。

国华台电于 2003 年 1 月 17 日对#1 机组锅炉进行了超水压试验。一次汽系统水压试验的最高压力为额定压力的 1.5 倍，即 29.69Mpa，试验中未发现有泄露和异常变形等现象；二次汽系统升至 1.5 倍再热器设计压力 6.45MPa，未见有变形和渗漏现象。从升压和检查的情况来看，此次超水压试验取得了一次性成功。

（四）对投产期预防爆管的若干措施

国华台电#1 炉超水压试验一次性顺利通过，说明锅炉出厂焊缝、安装焊缝的整体质量还是有保证的，同时冷态空气动力场的试验结果也为热态燃烧调整打下了良好的基础。为做好锅炉四管爆漏的预防工作，根据上述爆管的简单机理和该型号锅炉设备的特点，在机组运行中，特别是在 168 整机试验和首次停炉检修期间，必须对锅炉的运行工况和受热面管道进行严格的监控，作为锅炉设备的点检人员和运行人员，以下几点工作是非常重要的：

1) 机组试运行期间会同调试所专家进行热态燃烧调整和运行调节试验，对煤粉取样、飞灰取样、排烟成分、炉渣取样、表盘数据、配风特性、运行氧量、热效率、掺烧方式等进行综合分析，并在每种试验工况下观察壁温变化和吹灰效果。运行人员、点检人员、试验人员要组成燃烧调整研究小组和防爆管技术攻关小组，并将燃烧试验结果作为预防超温爆管的重要基础。

2) 严格监控好锅炉启动情况。锅炉启动时降低炉管温升降速度及减少两侧烟温差。随着炉温升降速度的降低，施加在炉管上的热应力随之减低。降低炉两侧的烟气温差，炉管过热的状况将大大减少，其造成的热应力也随之减少。应采取措施减少锅炉的启停次数，因温差引起的热应力疲劳的周次则相应的得到降低，从而减少疲劳爆漏的发生。

3) 应采取措施降低锅炉振动频幅，减少烟气湍流。锅炉振动会造成管子受约束部位机械应力疲劳。因此，通过对烟气湍流等进行控制，对支吊架进行调整或加装减振器等措施使其疲劳频次减少。通常，此类原因引起的爆漏多发生在联箱管座、鳍片焊缝、水封槽焊接处及炉顶密封板与管焊缝等位置。

4) 对锅炉吹灰器投运下的汽温和壁温变化情况进行分析比较，确保吹灰器不卡涩、吹灰蒸汽参数正常、吹灰工艺优化。

5) 密切关注炉管泄漏检测装置的信号特征，结合运行参数和现场声音作认真分析。

6) 利用停炉检修的机会对吹灰区域的管壁、防磨夹等进行重点检查。对容易发生泄漏的位置如烟气走廊、过热器定位管、喷燃器风箱的板与管焊接处、密封板等处进行重点检查。

7) 停炉检修时加强对不锈钢异种接头及不锈钢弯头的检查。对于异种钢接头，由于两种材料的线膨胀系数相差较大，因此容易产生沿晶裂纹，通过对金相检查等方法可发现；对不锈钢弯头可通过无损检测及测厚等方法发现其有无堵塞。

8) 做好锅炉给水及水循环系统的日常取样分析工作，一旦水质超标应立即查证处理，同时加强凝汽器的检漏工作。严格执行《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量》、《火力发电厂水汽化学监督导则》、《关于防止火力发电厂凝汽器铜管结垢腐蚀的意见》以及其它有关规定。

9) 专业人员要做好运行实时数据和工况变化趋势的分析。经常分析给水调节、减温水投入、配风变化、锅炉排烟温度、热负荷分布规律、结渣变化规律和某部位的超温情况，加强运行监视。

10) 一旦发生爆管，对爆管失效方式的判断和根本原因的查证是非常重要的，一定要找到原始漏点。防爆管小组应针对爆管的具体情况开展专题研究。