

9E 燃机余热锅炉转角烟道漏烟原因分析和处理

严大政

（苏州工业园区蓝天燃气热电有限公司，江苏 苏州 215126）

摘 要：苏州工业园区蓝天燃气热电有限公司余热锅炉为杭州锅炉厂生产的三压强制循环无补燃型余热锅炉，2005 年投运后锅炉烟道转角相继出现墙板开裂漏烟问题。本文简要介绍锅炉烟道转角开裂漏烟情况，分析墙板开裂的原因及改造处理的经过。

关键词：转角漏烟；原因分析；处理方案；投运效果

1 概述

苏州工业园区蓝天燃气热电有限公司建有二套 9E 燃气—蒸汽联合循环机组。余热锅炉为杭州锅炉厂生产的三压强制循环无补燃型余热锅炉，锅炉设计烟气流量 1444.2 t/h 入口烟温 548.3℃。锅炉采用塔式布置，全悬吊管箱结构，锅炉本体受热面管箱由高压过热器管箱、高压蒸发器管箱(1)、高压蒸发器管箱(2)、高压省煤器(1)及低压过热器管箱、高压省煤器管箱(2)、低压蒸发器管箱、高压省煤器(3)及低压省煤器管箱、除氧蒸发器管箱及凝水加热器

管箱等共 9 个管箱组成。

燃机排气烟道通过斜转角烟道与余热锅炉相连（见图 1），燃机排出的高温烟气通过转角烟道进入余热锅炉。余热锅炉转角烟道与燃机出口烟道通过非金属膨胀节连接，非金属膨胀节吸收余热锅炉全部向下膨胀量和燃机排气烟道和锅炉一半的前后方向膨胀量。余热锅炉各管箱模块在制造厂完成组装和现场就位安装，烟道与模块接口部位的保温现场安装。余热锅炉二侧各采用 10 根刚性梁加固，刚性梁采用销轴连接，可以在垂直方向自由滑动，有止晃和防烟道鼓突变形的作用。

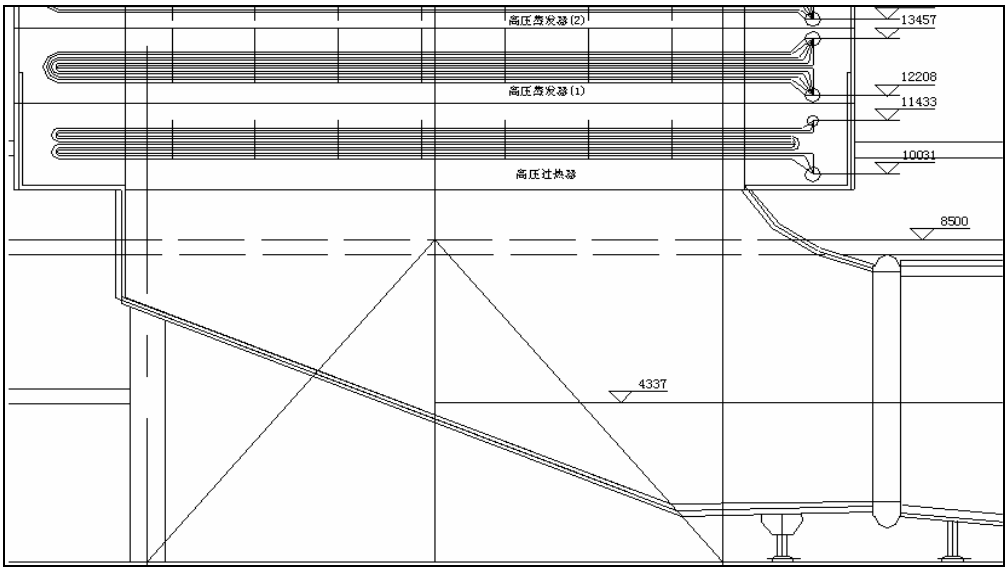


图 1 余热锅炉转角烟道示意图

锅炉炉墙采用硅酸铝保温轻型结构。炉墙保温由内、外两层构成，内保温厚度 120mm，外保温厚度 165mm，保温材料为硅酸铝毯。锅炉墙板采用

δ8mm 15Mo3 合金钢板，内衬板为 δ2mm 1Cr13 不锈钢板，外装饰采用波纹彩钢板。

2 锅炉漏烟情况

2005年底两套联合循环机组建成投入商业运行，二台余热锅炉转角烟道与高压过热器模块连接处4个角均出现不同程度开裂漏烟现象。采用热电偶从#1锅炉破损的外保温插入测量墙板表面温度，测得下部烟道角部墙板表面温度为437℃。从烟道壁面传热分析，墙板壁面温度应在335℃左右，实际墙板壁面温度较设计壁温高100℃左右，漏烟现象严重。锅炉转角烟道高温烟气的泄漏，已严重影响周围热控电缆安全，危及工作人员正常巡检。图2、图3为#1锅炉转角烟道开裂情况：上、下1000mm，左、右600mm，开裂处墙板扭曲。



图2 墙体开裂上、下1000mm



图3 墙体左、右开裂600mm

3 原因分析

通过对锅炉墙体开裂发生部位及内保温情况判断，#1锅炉转角烟道墙体开裂的主要原因是烟道内保温缺失、破损引起墙板局部温度过高，导致鼓突、起拱等变形；锅炉和烟道存在膨胀未完全吸收，在烟道转角处引起较大弯矩和变形。由于应力集中及应力的不断累积导致墙板产生裂纹。

3.1 内保温缺失和破损

锅炉内保温采用不锈钢内衬板密封，内衬板与墙板采用不锈钢内衬板和不锈钢螺钉连接。从墙板处壁温比设计高100℃左右，说明内保温破损是客观存在的。产生破损的原因可能有：模块接口保温现场施工时，在保温毯压实、保温毯接头处理和内衬板安装方面都可能存在缺陷，导致局部保温缺失，减弱了内保温层的隔热效果(图4)。在长期运行中保温毯局部收缩脱层出现空隙，影响内保温的隔热效果。特别在角部与折角处，由于接口复杂，保温毯接头多，更容易产生内衬板变形和保温毯空穴的缺陷，引起墙板温度过高，膨胀量过大的问题。



图4 内保温缺失

在运行时内保温缺失，导致墙板壁温较高。当墙板局部温度过高，热膨胀位移无法吸收，墙板就会产生鼓突变形来吸收热膨胀量，使内衬板产生翻边、拱起等变形(图5)，内衬板搭接处出现错口、翻转，内保温受烟气流吹扫、冲刷，使内保温继续缺失、墙板超温、墙板变形……形成恶性循环。同时机组由于启停频繁产生交变应力，导致墙板裂纹和开裂，高温烟气外漏。



图5 内衬板变形和开裂

3.2 烟道刚度较低、应力集中

余热锅炉高压过热器上沿二侧墙布置一根钢性梁限制水平方向的局部变形，向下部位烟道水平方向没有任何加强结构；在高压蒸发器（1）上沿向下安装钢性梁限制垂直方向的局部变形，但不能限制水平方向局部变形。从余热锅炉下部和转角烟道结构看，下部烟道特别是折角处烟道刚度偏低。

由于下部烟道的刚度太低，烟道变形完全由相对较薄墙板承担，墙板会产生较大的变形。如果局部受阻较大，受阻的根部将产生较大的应力，特别是烟道角部结构容易导致应力集中。

从非金属蒙皮框架外产生开裂看，由于框架刚度大（框架边高度较高，根部焊接加强筋进行加强），框架内壁面不再产生变形，烟道壁面的变形都转移到未加强的壁面。因此在框架外的根部壁面变形最大，附加的应力最大，最容易产生烟道开裂。

4 转角烟道漏烟处理

4.1 初期的处理

#1锅炉在转角烟道出现开裂漏烟，以往一直采取在开裂密封面进行焊接修补，开裂区加装钢框用非金属蒙皮密封的措施（图6、图7），密封的目的是允许开裂处密封面变形，吸收烟道膨胀和变形量，防止烟道其它壁面开裂。但随着锅炉运行小时的不断增加，锅炉转角烟道密封面出现开裂次数和开裂的程度加剧：焊补后再开裂、加强槽钢也拉断、框架外开裂、墙板变形错口大和水平裂缝已向炉中心区域延伸等（图8、图9）。因此初期的处理未能找到

墙体开裂和漏烟的主要原因，也不是一种合理的处理方案。



图6 锅炉转角烟道密封框架图



图7 锅炉转角烟道蒙皮密封图



图8 密封框架外再次开裂



图9 密封框架外再次开裂

4.2 改进的转角烟道漏烟处理方案

通过与杭州锅炉厂、江苏电科院等专家讨论，

结合同类型电厂实地调研情况及#1 锅炉#1 转角漏烟局部开墙补焊处理效果,制定了锅炉转角烟道综合处理方案:取消蒙皮框架结构,更换转角烟道处开裂、变形的墙体和内衬板,重做内、外保温层,墙板设置应力释放孔。并对墙板焊缝进行探伤和热处理。#1 锅炉转角烟道漏烟改造实施安排在 2010 年 10 月机组大修时进行。

4.3 #1 锅炉转角烟道漏烟具体施工方案

(1) 在转角烟道内、外搭设脚手架,检查合格,施工区域有效隔离。

(2) 拆除#1~#4 转角烟道炉墙更换区域的内衬板、内衬固定压板和固定螺栓,内衬板拆除前编号记录。拆除外装饰板、蒙皮等,清理外保温,检查墙板变形和开裂情况,确定墙板更换区域并画线。

(3) 沿墙板画线区域切割墙板,严格要求坡口制备工艺,以满足不同厚度双面焊接的质量要求;打磨坡口及周围 30mm 露出金属光泽,坡口 PT 探伤,新、旧母材进行现场光谱分析;配制 $\delta 12\text{mm}$ 15CrMo 墙板和筋板(#1 角 $1697\text{mm}\times 1463\text{mm}$ 一块;#2 角 $2800\text{mm}\times 400\text{mm}$ 一块 $30\text{mm}\times 235\text{mm}$ 一块;#4 角 $1280\text{mm}\times 1380\text{mm}$ 一块),施焊预热和焊后热处理。R307 焊条按技术要求进行烘焙;墙板焊接完成后对焊缝进行外观检查 100%PT 探伤(图 10、图 11)。



图 10 焊前 PT 探伤



图 11 焊前焊后 PT 探伤

(4) 焊后热处理是墙板改造工作的重点,同时也是最大的难点。根据现场实际,采用火焰加热、外保温缓冷的热处理方式(图 12),同时用红外测温仪监测表面温度,由专人负责升温、最高温度、保温时间和缓冷措施的落实:每条焊缝分别热处理;焊缝内外侧同时加热;恒温最高温度在 $600^{\circ}\text{C}\sim 650^{\circ}\text{C}$ 波动,时间平均在 40min (厚度 $\delta 8\text{mm}$ 和 $\delta 12\text{mm}$),采用硅酸铝毯保温缓冷。



图 12 热处理

(5) 现场开设墙板应力释放孔: #1 角和 #4 角开孔 $\Phi 400\text{mm}$, #2 角开孔 $\Phi 200\text{mm}$,并用盲板法兰密封(图 13)。



图 13 应力释放孔

(6) 在墙板更换结束后,进行内、外保温的施工。

1) 焊接内衬压条螺栓和压板(图 14),填充保温,固定内衬板。保温材料为硅酸铝纤维毯,共两层,单层 60mm。保温由 120mm 压实至 100mm,硅酸铝纤维毯内外层错缝、压缝。保温安装后外覆不锈钢丝网(图 15),内衬板顺烟气方向搭接平整,安装紧固后螺母点焊(图 16)。

2) 焊接外装饰板 40×4 角钢和 $\Phi 8$ 保温抓钉,保温外敷不锈钢丝网和外装饰板。保温抓钉错列布置,节距 $300\text{mm}\times 300\text{mm}$,材料 Q235-A。保温材料为硅酸铝纤维毯,共三层,单层 60mm,由 180mm 压至

140mm，硅酸铝纤维毯内外层错缝、压缝安装(图17)。钢丝网包扎应平整，搭接尺寸应大于100mm。外装饰板用专用螺钉固定。



图 14 焊接压条螺栓和压板



图15 保温和不锈钢丝网施工



图16 内衬板安装



图17 外保温施工

5 改造后效果

为及时了解#1锅炉转角烟道改造后的效果，对锅炉的#1、#2和#4转角烟道进行定期测温工作。从2010年11月12日~12月28日测温记录表中（表1）可看出，转角烟道炉墙外温度均不超过50℃，密封保温性能良好，符合保温规范要求。目前#1锅炉已运行了3个多月，转角处炉墙表面温度与环境温度无明显差异，炉墙无漏烟现象，达到了改造预期目的。

表1 #1锅炉转角烟道炉墙测温记录 °C									
日期	时间	#1 角	#2 角	#4 角	日期	时间	#1 角	#2 角	#4 角
2010.11.12	20:00	25	33	41	2010.12.11	13:00	21	22	21
2010.11.13	18:00	36	42	39	2010.12.12	13:00	20	23	22
2010.11.14	14:00	24	32	34	2010.12.13	14:00	21	22	18
2010.11.15	14:00	22	33	35	2010.12.14	13:00	19	20	21
2010.11.16	14:00	30	32	25	2010.12.15	13:00	18	19	21
2010.11.17	14:00	28	32	34	2010.12.16	13:00	21	22	18
2010.11.18	19:00	29	30	31	2010.12.17	13:00	19	20	21
2010.11.21	10:00	30	32	31	2010.12.18	14:00	20	22	19
2010.11.22	19:00	30	31	30	2010.12.19	14:00	20	21	18
2010.12.03	14:00	22	31	20	2010.12.20	13:00	23	25	21
2010.12.04	13:00	30	33	26	2010.12.21	14:00	26	28	24
2010.12.05	14:00	39	40	38	2010.12.22	15:00	36	39	33
2010.12.06	20:00	13	20	12	2010.12.26	13:00	19	21	21
2010.12.07	3:00	10	18.5	11	2010.12.27	14:00	20	22	22
2010.12.10	13:00	20	22	22	2010.12.28	13:00	20	21	22

6 结束语

苏州工业园区蓝天燃气热电有限公司#1锅炉转角烟道通过墙板更换、重做内外保温等处理，较好地解决了漏烟问题。在整个改造过程中不难发现，内保温的缺失是炉墙开裂漏烟的主要原因。因此加强对余热锅炉烟道内保温的检查应作为锅炉检修维护的一项重要工作来对待，并纳入锅炉定检、定修项目范畴。建议可结合机组A、B修逐步分阶段实施。

作者简介：
严大政（1966-），男，江苏苏州人，高级工程师，主要从事电厂热能动力专业技术工作。