

Analysis of boiler inspection in use in Hangzhou area

Jianguo Xu Dan Jin Tianhang Yang Haihong Xu Zhiyuan Qiu

Hangzhou Special Equipment Inspection & Science Research Institute, Hangzhou, Zhejiang, 310005, China

Abstract

In this paper, according to the digital special monitoring system of Hangzhou Special Equipment Inspection Scientific Research Institute, the use of boiler, possible causes of defects and problems needing attention are analyzed from the inspection situation of boiler. At the same time, the boiler energy efficiency and boiler environmental protection are summarized and analyzed. Some suggestions for safety valve calibration of power plant boiler are put forward. This paper is helpful for users, inspection agencies and regulatory agencies to have a comprehensive understanding of the boilers in use in Hangzhou, help enterprises to improve the level of boiler management, help inspection personnel of inspection agencies to analyze the causes of boiler accidents, and help various regulatory units to strengthen the supervision of boiler safety, energy saving and environmental protection.

Keywords

Boiler; Inspection; Analysis; Safety valve

杭州地区在用锅炉及安全阀检验情况分析

许建国 金丹 杨天杭 徐海鸿 裘致远

杭州市特种设备检验科学研究院, 中国·浙江 杭州 310005

摘要

本文根据杭州市特种设备检验科学研究院的数字特监系统, 从锅炉检验情况分析锅炉使用情况、缺陷产生的可能原因、需要注意的问题等; 同时对锅炉能效情况、锅炉环保情况进行汇总与分析; 并对电站锅炉的安全阀校验提出一些建议。本文有助于使用单位、检验机构、监管单位对杭州地区在用锅炉的全面了解, 并帮助企业提高锅炉管理水平, 帮助检验机构的检验人员分析锅炉事故原因, 帮助各监管单位加强对锅炉安全、节能、环保等方面的监管。

关键词

锅炉 检验 分析 安全阀

1 引言

作为动力源, 锅炉的安全稳定运行事关企业的安全与经济。同时, 锅炉既是耗能大户, 也是污染大户, 锅炉的污染物排放是重要的污染源^[1], 排放物中的烟尘、二氧化硫、氮氧化物都对大气环境造成不良影响。据统计, 在生态环境部调查的 42 个工业行业中, 电力、热力生产与供应业产生的 SO₂ 量位居首位, 占 33.6%, 全年排放数量约 60.6 万吨^[2]。

由于锅炉分布较散, 工业企业的锅炉运行动态数据难以有效获取, 然而通过大数据分析, 我们可以掌握杭州地区在用锅炉基本情况, 并以此为依据, 了解杭州地区的锅炉安全、节能、环保情况。本文数据来自杭州市数字特监系统^[3], 基于 SPSS 数据分析软件, 对杭州地区在用锅炉情况进行分析。

【作者简介】许建国(1972-), 男, 中国浙江临海人, 本科, 高级工程师, 从事锅炉检验研究。

【通讯作者】金丹(1982-), 女, 中国浙江杭州人, 本科, 从事锅炉检验、安全阀检验研究。

2 杭州地区在用锅炉检验状况

2024 年杭州市特种设备检验科学研究院尽职尽责地检验锅炉, 共出具在用锅炉检验报告 4450 份。各种类型的锅炉检验数量见表 1:

杭州地区归属杭州院检验的锅炉合计 1519 台, 杭州院 100% 完成锅炉内部检验, 完成锅炉外检率 92%, 完成水质化验 97%, 有力地保障了杭州地区的锅炉安全运行。

2.1 锅炉内部检验发现缺陷情况:

2024 年杭州院锅炉内部检验 1065 台次, 其中工业锅炉内检 998 台次, 电站锅炉内检 67 台次。检验发现缺陷见下图 1:

根据海因里希的 300:29:1 法则, 每发现 300 个缺陷, 就极有可能减少 1 起重大事故。杭州院在 2024 年锅炉内检中发现的缺陷, 涉及锅炉受压部件的主要有水垢及腐蚀, 共 559 项, 占总检出缺陷的 41%; 安全附件问题共计 252 项, 占总问题的 19%; 用户对能效的关注尚不够, 此类问题占总问题的 28%, 仅次于水垢; 亦有相当数量用户锅炉资料保存不完善, 总计占比 11%。

表 1 2024 年杭州院检验在用锅炉报告数

检验类型	内检	外检	安装监检	修理改造	水质油品	能效	环保
报告数	1065	1405	67	41 (注 1)	1478	354	40

注 1: 其中更换低氮燃烧器 7 台, 涉及 SCR 改造 4 台, 涉及受热面移位 6 台, 其他受压部件更换及修理 24 台。

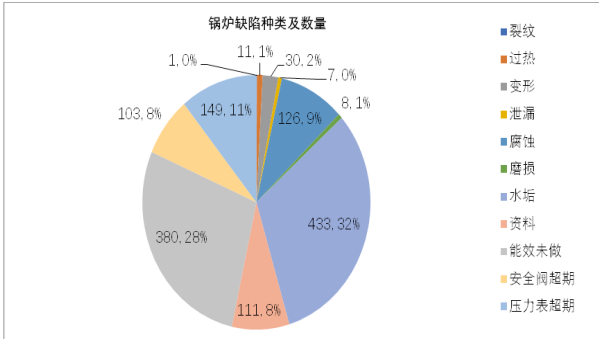


图 1 锅炉内检发现缺陷种类及数量

2.2 检验不符合锅炉的不符合项:

2024 年锅炉内部检验不符合报告有 14 份, 一份是有机热载体锅炉内盘管内圈出现裂纹, 另外 13 份是蒸汽锅炉内检报告, 其中 6 份是水垢超厚, 甚至堆积到炉胆底部或在烟管之间堆积, 影响传热, 7 份是在回燃室的前管板或锅壳前管板上, 烟管出现泄漏现象。14 台锅炉的制造日期有早到 1996 年的, 1 台, 2008 年 1 台, 2012 年 2 台, 2015 年 1 台, 2016 年 7 台, 2017 年 2 台, 最晚的为 2020 年制造, 1 台。出现水垢严重超厚问题, 反映出个别使用单位的锅炉用水没有按照规定操作, 受热面容易产生大量水垢, 同时司炉工没有按照要求进行锅炉排污工作, 需要引起重视。烟管出现泄漏的原因很多, 可能是管材问题; 可能是管端过长开裂引起泄漏; 也有可能因为此处热负荷高, 热阻大 (烟管未贴胀或贴胀未达到预期效果) 或由于间隙存在导致此处水循环较差, 传热恶化等引起管端局部过热。由于报告中无具体描述, 也未细说原因, 此处只能泛泛谈一下。

2024 年锅炉外部检验没有出具不符合报告, 结论为符合的有 501 份, 占总数的 35.6%; 基本符合的有 904 份, 大部分涉及设备资料档案、应急预案、能效测试等, 部分涉及三大安全附件问题。在所有的外部检验报告中, 只有 3 份报告涉及作业人员持证问题, 反映出锅炉使用单位对锅炉操作人员持证相当重视。

杭州地区 2024 年出具水质检验报告 1291 份, 不合格报告 180 份, 全是工业锅炉水质报告; 出具油品检验报告 187 份, 不合格报告 2 份。水质检验不合格报告占比极大, 占 13.9%, 其中富阳 43 例, 临安 32 例, 萧山 31 例, 正好是对应蒸汽锅炉最多的 3 个区, 不合格数占各自蒸汽锅炉总数的 22.6%、20.1%、14.6%。不符合项比较凌乱, 碱度、酚酞碱度、全碱度、溶解固形物、给水硬度、PH 值等各种可能都有。目前连续几年经杭州院培训的水处理人员每年均只

有 30~40 人, 大量锅炉的水处理工作人员没有持证, 需要引起重视。

2.3 相关性分析

锅炉长时间运行会产生水垢, 腐蚀也是锅炉常见的一种缺陷, 然而, 水垢、腐蚀与锅炉运行真的相关吗? 相关度多少? 我们对所有 2024 年检验的以水为介质的锅炉 (798 台), 运用 SPSS 的相关性分析进行判断, 结果见表 2。

表 2 关于使用日期对腐蚀与水垢的相关性分析

		相关性		
		使用日期	水垢	腐蚀
使用日期	Pearson 相关性	1	.144**	.233**
	显著性 (双侧)		.000	.000
	N	798	798	798
水垢	Pearson 相关性	.144**	1	-.043
	显著性 (双侧)	.000		.225
	N	798	798	798
腐蚀	Pearson 相关性	.233**	-.043	1
	显著性 (双侧)	.000	.225	
	N	798	798	798

** .在 .01 水平 (双侧) 上显著相关。

可见, 水垢与与腐蚀确实都与锅炉使用年限相关, 水垢与锅炉使用年限的相关系数为 0.144, 而腐蚀与锅炉使用年限的相关系数为 0.233。

3 杭州地区在用锅炉节能情况

3.1 锅炉能效测试情况

2024 年杭州院出具能效测试报告 354 份, 其中简单测试 315 份, 详细测试 39 份。在 354 份报告中, 测试对象杭州本地锅炉的有 261 份。对照表 1, 可以发现许多使用单位还没有主动申报进行锅炉能效测试, 这从图 8 也可以得到验证。我国为实现“双碳”战略目标, 实现可持续发展, 大力推广低氮燃烧技术, 然而, 为使污染物达到排放要求, 采用烟气再循环的低氮燃烧技术时, 烟气中含氧量往往增加。杭州院的测试结果也发现大部分锅炉的过量空气系数偏大, 而其中有 3 台锅炉的能效就未达到 TSG91-2021《锅炉节能环保技术规程》中热效率限定值的 95% 的要求。

3.2 杭州地区在用锅炉用能情况

杭州地区锅炉总数量 1673 台, 总蒸吨约 13600 蒸吨 / 小时, 这其中电站锅炉 137 台, 其他是工业锅炉。在燃油气的工业锅炉中, 燃油锅炉约占 6.5%, 约 85 台; 燃气锅炉约占 93.5%, 约 1230 台。各种燃料锅炉能耗大致情况见表 3:

表 3: 杭州地区锅炉能耗估计

燃料	台数	总蒸发量 t/h	热效率 %	总功率 MW	年能耗 GJ
气	1230	2800	93	2107	2739
柴油	85	200	92	152	198
电	37	20	100	14	28
生物质	53	140	80	122	159
煤	89	7350	91	5654	33924
垃圾	26	1750	80	1531	9186
合计	1520	12260	/	9580	46234

注 2: 1. 余热锅炉因是余热利用, 未参与统计;
2. 年能耗数据仅做参考。燃气、燃油、燃生物质锅炉大多数属于工业锅炉, 年运行按 2000 小时计算, 且运行时按额定负荷的 65% 估计; 燃垃圾、燃煤锅炉大多数属于发电锅炉, 按额定负荷计算, 年运行时间按 6000h 估计。

4 杭州地区在用锅炉环保情况

4.1 杭州地区锅炉环保检测情况

2024 年杭州院进行锅炉环保测试 40 台, 其中燃气锅炉 38 台, 烟气检测中未检出 SO₂、CO、NO_x 平均含量为 26mg/m³, 黑度均小于 1; 另有检测生物质锅炉两台, SO₂ 为 3 mg/m³、NO_x 为 116/729 mg/m³, 颗粒物浓度 20 mg/m³, 烟气黑度 < 1。2023 年做过一台燃油锅炉的环保检测, 未检出 SO₂、CO、NO_x 含量为 40mg/m³, 黑度小于 1。电站锅炉在线环保检测数据显示,

4.2 杭州地区在用锅炉污染物排放评估

燃气(燃油参考燃气)、燃生物质锅炉均按照上述的 NO_x、SO₂、颗粒物浓度等检出数值评估, 燃煤、燃垃圾锅炉按电站锅炉在线环保检测数据统计。目前杭州地区新上热电锅炉以及旧热电锅炉的脱硝改造以 SCR 方法居多。下表 4 中各种燃料锅炉的烟气量根据热力计算得到, 运行时间估计同注 4。综合排放量见表 4 汇总:

表 4 杭州地区锅炉大气污染物排放汇总

燃料	总蒸发量 t/h	单位蒸发量产生烟 气数 M ³	年总烟气量 亿 m ³	烟气中 NO _x 浓度 mg/m ³	总 NO _x (吨)	SO _x 浓度 mg/m ³	总 SO _x (吨)	颗粒物浓度 mg/m ³	总颗粒物 (吨)
气	2800	670	37.5	26	97.5	/	/	/	/
柴油	200	900	3.6	40	14.4	/	/	/	/
生物质	140	2150	6	423	253.8	3	1.8	20	12
煤	7350	1050	463	20	926	4	185.2	0.4	18.5
垃圾	1750	1800	189	16	302.4	10	189	2	37.8
合计	12260	/	699	/	1594	/	376	/	68

5 电站锅炉安全阀校验情况及建议

5.1 电站锅炉安全阀在线校验难点

高温高压环境下的校验工况复杂, 锅炉运行时往往处于高温高压状态, 这种极端条件使得在线校验难以精确控制校验环境, 校验数据可能受到温度、压力波动的影响。在热态校验中, 实时校验较难, 安全阀起跳瞬间的动态响应和压力变化十分迅速, 要求在线校验仪具备高精度和高速响应能力, 以便捕捉到真实数据。其次, 在线校验设备本身需要经过严格校准, 其精度和稳定性直接影响校验结果, 在线校验设备老化、漂移问题也会增加数据的不确定性, 高精度仪器数据采集要求与高速数据处理相结合, 确保能实时记录安全阀的开启过程, 并进行合理分析, 避免遗漏关键参数。在高温、高压环境下, 安全阀材料的物理性能可能会发生变化, 从而影响阀门的起整定力和回座压力, 校验时需要考虑这些动态变化。

5.2 电站锅炉安全阀在线与离线校验方法的局限性

在线校验的安全风险与数据不稳定性: 运行中校验虽然能反映实际工况, 但操作时人员安全和设备安全必须得到保障, 同时现场环境的干扰也可能导致数据误差。离线校验与实际工况差异: 离线校验虽能更精准地控制测试条件, 但拆卸后在离线校验台校验, 可能无法完全模拟锅炉实际运行时的工况, 导致测试结果与实际情况存在一定偏差。

杭州地区有电站锅炉 137 台, 其中 43 台是高压以上锅

炉, 这些高压以上的锅炉及部分次高压的锅炉的安全阀均采用焊接连接, 不能采用常规的离线校验, 目前这些使用单位均采用了在线校验仪校验。对于非焊接连接的电站锅炉安全阀, 个人建议视情况适当安排离线校验。而对所有新使用的安全阀, 建议做一次升压实跳试验。

6 结论

(1) 杭州地区锅炉内外检开展正常; (2) 使用单位对水质处理不够重视, 持证水处理人员极少配备; 于此同时, 司炉工持证情况良好, 但排污操作需要加强; (3) 使用单位对锅炉能效测试重视不够, 能效测试申请少; (4) 制造单位对高温侧烟管预胀接工作需要引起重视; (5) 锅炉热效率与环保情况总体令人满意。(6) 电站锅炉安全阀校验需要采取多种方式结合。

参考文献

- [1] 赵辉, 邱征宇, 熊伟东. 工业锅炉远程在线监测系统技术分析[J]. 节能技术, 2018, 36(1): 22-25.
- [2] 2023年中国生态环境统计年报[EB/OL]. (2024-05-24)[2025-01-21]. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202406/P020240604551536165161.pdf>
- [3] 杭州市特种设备检验科学研究院, 数字特监系统[DB]. <https://jy2k.hsei.cn/>