锅炉水处理工艺现状及运行实践研究

贾楠
（河北省特种设备监督检验研究院唐山分院　河北　唐山　063000）

摘要：锅炉水质处理直接影响锅炉及其动力设备的安全经济运行。通过对锅炉水处理工艺现状的研究，结合锅炉水质化验指标实测数据，分析数据偏离标准的原因。对水质不良的锅炉结合锅炉内检，发现锅炉内部结垢严重。针对这些问题，对锅炉水质处理提出合适的解决方法和措施，对锅炉水处理的深入研究提供参考。

关键词：锅炉；水质处理；水质检测；解决措施；管理

0　引言

随着社会经济水平的高速发展，锅炉作为生产热能和动力的主要工艺设备，在工业、电力及民生企业中已普遍应用。而锅炉水汽系统中水的品质是保障锅炉及其热力设备安全、经济稳定运行的重要因素。锅炉作为一种热力交换装置，水在锅炉中循环运行时受热蒸发，水中的杂质经过浓缩、分解和结晶等物质间的反应，这一过程可能导致锅炉水汽系统中沉积物的析出、锅炉受热面腐蚀及积盐等现象，严重时会引发胀管、变形、爆炸及汽轮机飞车等事故。因此，必须对锅炉水进行必要的净化和严格的水汽质量监督。

1　锅炉水处理的必要性

天然水中含有很多杂质，这些杂质如果没有经过处理就进入锅炉水汽循环系统，容易造成锅炉的结垢、堵塞等，若有机物进入锅炉还会造成锅水气泡，造成蒸汽品质恶化。因此，天然水需要经过混凝、澄清和过滤等预处理流程后，再通过离子交换设备、反渗透和电渗析等工艺，使锅炉补给水满足使用需求后进入炉内。为了保障锅炉的安全稳定运行和蒸汽品质，锅炉的给水、锅水、蒸汽和冷凝水等水质需要进行定期监测并形成记录，帮助确定设备最佳的经济运行方式，并监测设备可能出现的事故隐患。

1.1　水汽控制指标

锅炉水质控制指标根据锅炉适用条件，工业锅炉参考 GB/T 1576-2018《工业锅炉水质》，电站锅炉参考 GB/T 12145-2016《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量》及 DL/T 805-2016《火电厂汽水化学导则》标准，主要检测项目包括以下几项。

pH 值：表示水样酸碱程度的指标，与水中 H^+ 浓度相关。由于 pH 值对水中其他杂质的存在形式及对金属的腐蚀程度都有影响，所以 pH 值是锅炉水质中重要的控制指标之一。

硬度：是表示水中某些高价金属离子比如钙、镁、铁离子的含量。通常，天然水中的钙、镁离子含量居多，所以给水的硬度一般指水中的钙、镁离子的总和。含有硬度离子的水，在热交换的过程中会受热蒸发浓缩，形成难溶的盐类，附着在受热面的表面，形成水垢。

碱度：是水中能和强酸盐酸或硫酸发生中和反应的碱性物质的含量。天然水中碱性物质主要是碳酸氢根，锅炉的水中则主要是碳酸根和氢氧根等。

电导率：由于水中含有各种离子，离子能够导电，所以电导率表征水的导电能力的大小。电导率反映了水中含盐量的多少，是水纯度的一个重要指标。水的纯度越高，含盐量越低，电导率也越小。反之，含盐量越高，水的电导率也越大，水的纯度也就越低。

铁和铜：水质标准中对铁铜的控制，主要是防止铁铜的金属氧化物在过热器、再热器和汽轮机中沉积并发生腐蚀和磨损。

1.2　锅炉水处理方法

混凝、澄清和过滤作为锅炉给水预处理的第一道程序，主要是除去天然水中的胶体、悬浮物和部分的硬度。常采用粒状滤料过滤的方法，通过多孔介质将原水中的固体物悬浮物除去，从而获得清水。过滤装置的进水浊度一般是 10 ～ 20mg/L，出水浊度可达小于 1mg/L。在入口水浊度不大的情况下，可直接经过过滤降低水中浊度，同时除去水中的有机物、异味和色度。

离子交换主要用于水的淡化处理，可以除去原水中大部分的钙镁硬度。一般天然水中的硅酸含量在 6 ～

47-59 机械工业应用 22年6月中 第17期.indd 53　2022/7/17 12:55:07

100mg/L 之间，地下水中硅酸的含量要远远高于此。由于硅酸在水中的溶解度与水的温度和 pH 值有关，硅酸在水中有很弱的离解能力，所以可以用离子交换的方法除去，但是需要用强碱性阴离子交换树脂，并用氢氧化钠再生，在酸性介质 pH 值＜ 4.5 的条件下进行。一般认为，当原水含盐量在 500mg/L 以下时，用离子交换法制取淡水是比较经济的。常用的离子交换处理系统出水水质见表 1。

表 1　离子交换系统出水水质

系统	出水水质 /（mg/L）		
	浊度	氯	铁
自来水→离子交换器	＜ 5	＞ 0.05	＜ 0.3
地下水→离子交换器	一般＜ 2	0	
地下水→除铁→离子交换器	一般＜ 2	0	＜ 0.3

当水中含有各种悬浮物和胶体等杂质时，这些杂质如不除去将会影响后续离子交换的正常进行。例如，悬浮物和胶体可能堵塞离子交换树脂的网孔，降低工作交换容量，铝铁化合物进入锅炉后会引起锅炉内部结垢。因此，在纯水制备时，在原水中含盐量较大，可以先用复床、电渗析或反渗透将水中含盐量降低后，再进入混床进行深度除盐。反渗透和电渗析的适用条件见表 2。一般而言，在对水质要求较高的电力行业常采用反渗透或电渗析加混床的模式制备除盐水作补给水，这样不仅可以提取高纯水，还可以延长设备使用寿命工作周期，减少再生次数。

2　锅炉水质检测与分析

根据 GB/T 1576-2018《工业锅炉水质》分别对热水锅炉、蒸汽锅炉进行锅炉水质监测，水处理方式均采用锅外水处理，蒸汽冷凝水回收使用，原水为地下水。检测期间，锅炉均处于正常运行 8h 状态下。

2.1　热水锅炉

对比两台吨位不同的热水锅炉，一台是 SHW70-1.6/130/70-A Ⅱ的热水锅炉，水处理系统采用 3 台离子交换器，锅内不加药，配有除氧器一套。一台是 DZL7-1.0/95/70-A Ⅱ（改生物质锅炉）采用离子交换器 1 套，锅内不加药，无配套除氧器。在两台锅炉稳定运行情况下，对锅炉的水质进行检测，检测数据见表 3。

由表 3 数据可知：配有除氧器的双锅筒锅炉的补给水和锅水检测数值均在标准要求范围内，但是锅水酚酞碱度已接近标准下限。未配置除氧器的单锅纵置链条炉的给水与锅水的溶解氧超出标准范围，根据 GB/T 1576-2018《工业锅炉水质》要求，额定功率大于或等于 7.0MW 的承压热水锅炉应该除氧，同时对于额定功率小于或等于 7.0MW 的承压热水锅炉，若发现氧腐蚀，应采用除氧，提高 pH 值或加腐蚀剂等防腐措施。对于热水锅炉应重点监测溶解氧项目，因为氧腐蚀是锅炉系统中最常见也最严重的腐蚀，经常发生的地方是给水管路和省煤器。由于省煤器中的水温较高，给氧腐蚀提供了有利条件，所以一般氧腐蚀易集中在省煤器的进口端，腐蚀形态为溃疡型或小孔型。同时供暖锅炉有时会存在锅水 pH 值偏低或碱度不够的情况，这种情况往往出现在供暖锅炉水循环用量大补水量较大的时候，此时由于进入炉内的水没有经过蒸发浓缩就送至换热站，导致炉水碱度低于标准值。

2.2　蒸汽锅炉

蒸汽锅炉根据压力和水汽循环形式，水质标准也不同。对于自然循环的蒸汽锅炉在额定压力 1.25MPa 下，均为过热器时，采用全自动钠离子交换器的 WNS20-1.25-Y(Q)，锅内不加药，配除氧器一套，和采用反渗透加混床的 SZS35-1.25-QJ(H)，给水加氨水锅水不加药，配热力除氧器一套，检测数据见表 4。

由表 4 可知，SZS35-1.25-QJ(H) 的锅水在标准范围内，给水 pH 值低于标准值，给水采用反渗透处理后的除盐水 pH 值会偏低，多数企业会采用给水加碱化剂

表 2　反渗透和电渗析适用性

项目	反渗透	电渗析
去除离子	可分解水中盐类、胶体物及相对分子质量较高的溶质	只能分解水中成盐离子，对离解度小的盐类和不溶物难以去除
除盐率	＞ 90	60 ～ 80
产水容量	108 ～ 150	30 ～ 40
适用性	适用于进水含盐量为 300 ～ 1000mg/L	适用于进水含盐量在 500 ～ 4000mg/L；在原水硬度大于 600mg/L 时，应进行预软化处理

表 3　热水锅炉化验结果

项目	标准值	实测值	
		SHW70-1.6/130/70-A Ⅱ	DZL7-1.0/95/70-A Ⅱ
给水硬度 /（mmol/L）	≤ 0.6	0.00	0.03
给水 pH 值（25 ℃）	7.0 ～ 11.0	8.0	8.1
给水浊度 /FTU	≤ 5.0	0.33	1.07
给水铁 /（mg/L）	≤ 0.3	0.08	0.11
给水溶解氧 /（mg/L）	≤ 0.1	0.02	0.12
锅水 pH 值（25 ℃）	9.0 ～ 12.0	9.9	11.2
锅水铁 /（mg/L）	≤ 0.5	0.13	0.32
锅水酚酞碱度 /（mmol/L）	≥ 2.0	3.14	14.32
锅水溶解氧 /（mg/L）	≤ 0.5	0.17	0.62

47-59 机械工业应用 22年6月中 第17期.indd 54　　2022/7/17 12:55:07

表 4　自然循环蒸汽锅炉化验结果

项目	WNS20-1.25-Y(Q)		SZS35-1.25-QJ(H)	
	标准值	实测值	标准值	实测值
给水浊度 /FTU	≤ 5.0	0.92	≤ 5.0	0.22
给水硬度 /（mmol/L）	≤ 0.03	1.63	≤ 0.03	0.00
给水 pH 值 /25℃	7.0 ～ 10.5	8.4	8.5 ～ 10.5	8.3
给水电导率 /（μS/cm），25℃	≤ 550	611.1	≤ 110	17.4
给水铁 /（mg/L）	≤ 0.30	0.77	≤ 0.30	0.12
锅水全碱度 /（mmol/L）	4.0 ～ 24.0	26.32	≤ 24.0	10.41
锅水酚酞碱度 /（mmol/L）	2.0 ～ 16.0	19.44	≤ 16.0	5.98
锅水 pH 值 /25 ℃	10.0 ～ 12.0	12.2	10.0 ～ 12.0	10.3
锅水电导率 /（μS/cm），25℃	≤ 5600	6349.8	≤ 5600	1589.8
锅水氯离子质量浓度 /（mg/L）	—	318.82	—	23.68

后再进入锅炉，因此可以调整加药量，在保证给水电导率不超标的前提下，提高给水 pH 值在标准范围内。根据 GB/T 1576-2018《工业锅炉水质》注解，在压力不高于 2.5MPa 时，采用除盐水作为补给水，且给水电导率小于 10 μ s/cm 的可控制锅水 pH 值不低于 9.0。

对于 WNS20-1.25-Y(Q) 锅炉的给水及锅水多项指标超出标准范围。原水处理方式为全自动钠离子交换器，但是离子交换方式的选择是要根据原水含盐量、硬度和碱度综合考虑的。由于水处理设备选型与原水水质不匹配的情况，通过锅炉内检发现炉内管件内附着约 15mm 厚结垢层见图 1，垢样松散呈浅黄色，如图 2 所示。

通过对原水化验后发现原水中铁含量偏高，因此在原水含碳酸盐型铁较多时，应进行曝气除铁。当重碳酸盐型铁小于 20mg/L，pH ≥ 5.5 时，可用曝气 - 天然锰砂过滤除铁。当重碳酸盐型铁小于 4mg/L，可用曝气 - 石英砂过滤除铁，并使曝气后 pH ＞ 7。因此建议锅炉洗炉后更换水处理设备系统，并对地下水进行每季度水质分析，根据全面水质分析对水处理设备进行选型。

2.3　垢样分析

锅炉在运行一段时间后，会在锅筒及管壁上粘附一层坚硬水垢，这些水垢是水中钙镁离子高温下转化而成，同时碳酸盐、硫酸盐和硅酸盐也会随着锅炉内温度升高溶解度降低导致水垢析出。铁铜氧化物等腐蚀产物也容易在高温受热面形成水垢。锅水中析出的悬浮在锅水表面或沉积在汽包水流缓慢处的松散的水渣一般可通过排污除去，然而水渣过多排污不及时，水渣也会粘附在受热面上转为水垢。因此，锅炉水处理设备运行不当、选型不合理或排污率较低，都可能造成锅内内部结垢严重，同时通过对锅炉垢样的分析也可以为锅炉安全运行和锅炉清洗提供指导。常见的水垢类型和测定方法见表 5。

3　锅炉水质管理

水质管理工作是锅炉能够安全、经济运行的保证，虽然锅炉因水质不良出现的问题，不会像其他部件那样能立刻显露出来，但是水质不良对锅炉产生的影响是积累的过程，需要经过一段时间才会发现，但发现时有可能已不可挽回。因此，为了防患于未然，必须对锅炉加强水质管理工作。

3.1　技术管理

首先要建立岗位责任制，制定严格明确的规章制度。水质作业人员应经过专业培训后持证上岗，明确水处理工作及水质化验人员的职责，建立水质检测报表

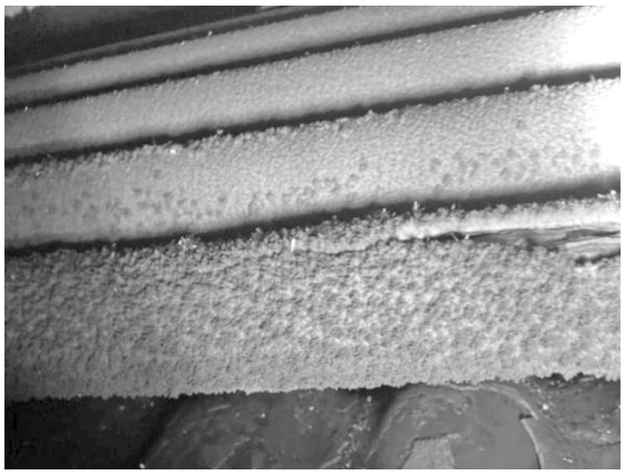

图 1　管壁结垢图

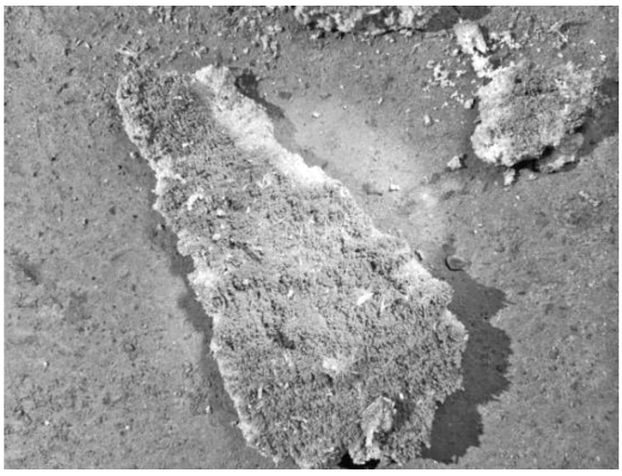

图 2　垢样形态图

47-59 机械工业应用 22年6月中 第17期.indd 55　2022/7/17 12:55:08

表 5　水垢类型和测定方法

种类	成分	特种	测定方法
碳酸盐水垢	$CaCO_3$ $MgCO_2$	结晶形硬垢或非晶形软垢，呈白色	加入适量 5% 盐酸溶液，大部分溶解生成大量气泡，溶液所留残渣极少
硫酸盐水垢	$CaSO_4$ $MgSO_4$	坚硬、呈白色或黄白色	加入 5% 盐酸溶液，溶解极慢，向溶液中加入 10% 氯化钡溶液，生成大量白色沉淀
硅酸盐水垢	$CaSiO_3$ $MgSiO_3$	坚硬、灰色或灰白色	加入 5% 盐酸溶液后不溶解，加热后部分缓慢溶解，并有透明状砂粒沉淀，加入 1% 氟化钠溶液，可有效溶解
氧化铁垢	Fe_3O_4 Fe_2O_3	灰黑色,疏松、砖红色，较紧密	加入 5% 盐酸可溶解，溶液呈黄色，加入 5% 硫氰酸钠，溶液呈现血红色
含油水垢		黑色坚硬	少量于试管中。加入少量乙醚后，溶液呈黄绿色

和技术档案，同时对于电站锅炉应建立在线监测系统。在线监测的项目应覆盖国标要求，包含 pH 值、电导率和溶解氧等指标。定时取样监测，验证在线检测系统的准确性，如每天对除盐设备和热力设备水汽系统进行取样分析，其他方面的水样至少每周定期取样分析。

其次要建立技术档案，用来监测锅炉和水处理系统运行的情况。对设备运行、加药记录、设备维修和故障排除情况和停（备）用锅炉水处理设备的维护保养进行检查并形成档案，不仅对锅炉的运行安全进行了有效监督，并且当发生事故时，可为查明原因提供可靠依据。

最后，做好停炉检查和酸洗检查。停炉时期做好停炉保护及锅炉结构和腐蚀情况记录，酸洗时期作好酸洗时间及酸洗效果检查等。

3.2　经济管理

作好设备、药剂、树脂和填料使用记录，在水处理工作范围内，对药品消耗、制水成本、耗电量和耗水量等指标进行核算，在保证水质合格的前提下，做到低消耗、高收益。

4　结语

通过对锅炉水处理管理现状和化验数据的分析，发现要做好锅炉水处理工作任重而道远。监管部门要加强特种设备水质检测工作，充分从特种设备安全角度出发意识到锅炉水质管理的重要性，并能切实为企业提供技术指导。同时加强企业水处理作业人员的专业培训，落实水处理设备的安全稳定运行和水质日常化验工作，为锅炉的安全、经济、节能化管理提供保障。锅炉水作为锅炉的血液，需要对水处理工作的各重要环节进行严密掌控，不仅可以为企业创造了可观的经济效益和社会效益，还对实现锅炉水系统的节能减排具有十分重要的意义。

参考文献：

[1] 宋业林．锅炉水处理实用手册 [M]. 北京：中国石化出版社 ,2007.
[2]GB/T 1576-2018, 工业锅炉水质 [S].
[3] 卞金飞．工业锅炉水质处理应用现状及运行研究 [J]. 石油化工设备 ,2015,44(06):54-58.
[4] 徐志俊．浅析加强锅炉水处理监督与管理的措施 [J]. 中国设备工程 ,2020(21):172-173.
[5] 赵羽菲．工业锅炉水处理技术的选择应用研究 [J]. 化工管理 ,2020(06):134-135.
[6] 杨柳．工业锅炉水处理新技术分析及应用探讨 [J]. 石化技术 .2019,26(07):234+261.

47-59 机械工业应用 22年6月中 第17期.indd 56　　2022/7/17 12:55:08