



中华人民共和国国家标准

GB/T 16811—2005
代替 GB/T 16811—1997

工业锅炉水处理设施运行效果与监测

Running result and the monitoring and testing
for industrial boilers water-treatment equipment

2005-05-25 发布

2005-11-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 分类	1
4 运行效果	1
5 运行效果监测	2
6 运行效果评价	7
附录 A(规范性附录) 工业锅炉水质监测报告	8
附录 B(规范性附录) 工业锅炉水处理设施经济运行效果监测报告	9
附录 C(规范性附录) 锅炉水“固氯比”测算方法	10
表 1 离子交换设施经济运行合格指标	1
表 2 锅内加药水处理经济运行合格指标	2
表 3 采用锅外物理、化学水处理的水质监测表	3
表 4 采用锅内加药水处理的水质监测表	4
表 5 热水锅炉采用锅外物理、化学水处理和锅内加药水处理的水质监测表	4

前 言

本标准代替 GB/T 16811—1997《低压锅炉水处理设施运行效果与监测》。

本标准与 GB/T 16811—1997 相比主要技术内容变化如下：

- 名称修订为《工业锅炉水处理设施运行效果与监测》；
- 范围中扩大到汽水两用锅炉所配备的水处理设施，对热水锅炉的额定热功率不作限定，扩大到常压热水锅炉所配备的水处理设施(1997 年版的第 1 章；本版的第 1 章)；
- 取消第 3 章 总则(1997 年版的第 3 章)；
- 表 1 项目栏离子交换树脂中的利用率、工作交换容量、清洗水耗量的合格指标均以顺流再生、逆流再生分别进行规定，并对合格指标进行修订(1997 年版的 5.2；本版的 4.2)；
- 去掉原版 5.3 条(1997 年版的第 5 章)；
- 对表 2 项目、合格指标进行修订(1997 年版的 5.4；本版的 4.3)；
- 原表 3 水质监测表 I 注解 2 改为附录 C(规范性附录)锅炉水“固氯比”测算方法。去掉原版 6.2.2.2.2e 条(1997 年版的 6.2.2.2.2；本版的附录 C)；
- 调整水质监测表(1997 年版的 6.2.2.2.2；本版的 5.2.1)；
- 运行效果评价(1997 年版的第 7 章；本版的第 6 章)。

本标准是 GB 1576—2001《工业锅炉水质》的相关标准。

本标准附录 A、附录 B、附录 C 为规范性附录。

本标准由全国能源基础与管理标准化技术委员会(TC20)提出并归口。

本标准由中国标准化研究院、西安能源研究会、陕西省锅炉压力容器协会、陕西省锅炉压力容器检验所负责起草。西安兰环水处理技术有限责任公司、上海昱真水处理工程有限公司、陕西省秦牛(集团)股份有限公司、陕西光兆实业有限公司参加起草。

本标准主要起草人：柴隆漠、贾铁鹰、葛升群、赵国凌、曾梅、王雅珍、刘宽云、张英毅。

本标准首次发布于 1997 年 6 月。

工业锅炉水处理设施运行效果与监测

1 范围

本标准规定了工业锅炉水处理设施运行效果及对其监测与评价的方法。

本标准适用于额定出口蒸汽压力小于等于 2.5 MPa、以水为介质的固定式蒸汽锅炉和汽水两用锅炉所配备的水处理设施,也适用于以水为介质的固定式承压热水锅炉、常压热水锅炉所配备的水处理设施。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB 1576 工业锅炉水质

3 分类

3.1 工业锅炉水处理方式分为锅外物理、化学水处理和锅内加药水处理。

3.1.1 锅外物理、化学水处理设施包括:

- a) 预处理设施;
- b) 离子交换设施;
- c) 除氧设施。

3.1.2 锅内加药水处理及设施包括:

- a) 水处理药剂(缓蚀剂、防垢剂、防腐阻垢剂);
- b) 药剂投放设施。

4 运行效果

4.1 运行效果应先检查锅炉使用单位的锅炉水质监测记录,锅炉水质必须符合 GB 1576 的规定。

4.2 离子交换设施经济运行效果应符合表 1 的规定。

表 1 离子交换设施经济运行合格指标

项 目			合格指标 ^a
离 子 交 换 树 脂	利用率 $\eta/\%$	顺流再生	≥ 55
		逆流再生	≥ 80
	工作交换容量 $E/(\text{mol}/\text{m}^3)$	顺流再生	$\geq 1\,000$
		逆流再生	$\geq 1\,000$
	清洗水耗量 $q_s/(\text{m}^3/\text{m}^3)^b$	顺流再生	≤ 4.5
		逆流再生	≤ 4.0
	年耗率 $R_s/\%$	固定床	≤ 5
		流动床	≤ 15

表 1 (续)

项 目			合格指标 ^a	
再 生 剂	盐耗量 $K_Y/(\text{g/mol})^d$		顺流再生	≤ 145
			逆流再生	≤ 100
	酸耗量 $K_S/(\text{g/mol})$	HCl	顺流再生	≤ 80
			逆流再生	≤ 60
		H ₂ SO ₄	顺流再生	≤ 130
			逆流再生	≤ 85
<p>a 仅适用于强酸性阳离子交换树脂。</p> <p>b 本单位表示每立方米树脂消耗多少立方米水。</p> <p>c 浮动床、流动床的再生剂耗量应按逆流再生合格指标。</p> <p>d 物质的量(n)均以一价离子为基本单元。</p>				

4.3 锅内加药水处理的药剂投放设施运行效果应能保证药剂合理、有效地投放,其经济运行效果应符合表 2 的规定。

表 2 锅内加药水处理经济运行合格指标

项 目	合 格 指 标
缓蚀剂的缓蚀率 $R_H/\%$	≥ 98
防垢剂的阻垢率 $R_Z/\%$	≥ 85
年结垢厚度/mm	≤ 0.5

5 运行效果监测

5.1 监测单位及监测单位的监测期

5.1.1 锅炉水质监测应由相关职能管理部门授权并经相关认证认可机构对其检测能力资质认证认可的锅炉水质检测单位进行。

5.1.2 季节性运行的水处理设施,每个运行期应监测 1~2 次。

5.1.3 长年运行的水处理设施,每季度应监测一次。

5.2 锅炉水质的监测项目及锅炉使用单位的日常监测间隔期和工业锅炉水处理设施经济运行的监测项目

5.2.1 锅炉水质监测项目及锅炉使用单位的日常监测间隔期

锅炉水质的监测项目及锅炉使用单位的日常监测间隔期按表 3、表 4、表 5 的规定执行。

5.2.2 工业锅炉水处理设施经济运行的监测项目

5.2.2.1 离子交换设施经济运行监测项目:

- a) 树脂利用率;
- b) 树脂工作交换容量;
- c) 树脂清洗水耗量;
- d) 树脂年耗率;
- e) 再生剂耗量。

5.2.2.2 锅内加药水处理设施经济运行监测项目:

- a) 缓蚀剂的缓蚀率;

- b) 防垢剂的阻垢率;
c) 年结垢厚度。

5.3 监测方法

5.3.1 监测时间与监测仪器

5.3.1.1 监测工作应在正常运行达到稳定工况时进行。

5.3.1.2 监测所用仪器应能满足监测项目的要求。仪器必须完好,并在法定部门的检定校核周期内。

5.3.2 锅炉水质监测方法

5.3.2.1 锅炉使用单位应按表 3、表 4、表 5 的要求进行日常监测并做记录,记录应完整。

5.3.2.2 锅炉水质的检测方法按 GB 1576 的规定进行。

5.3.2.3 锅炉水质监测要求

依据本标准第 3 章分类中所表述的锅炉处理方式分为:

- a) 蒸汽锅炉和汽水两用锅炉采用锅外物理、化学水处理时,水质监测应符合表 3 的规定;

表 3 采用锅外物理、化学水处理的水质监测表

监 测 项 目		监测 频次	给 水 监 测						锅 水 监 测					
			额 定 蒸 汽 压 力 p/MPa											
			$p\leq 1.0$		$1.0<p\leq 1.6$		$1.6<p\leq 2.5$		$p\leq 1.0$		$1.0<p\leq 1.6$		$1.6<p\leq 2.5$	
			指标 ^a	次数 ^e	指标	次数	指标	次数	指标	次数	指标	次数	指标	次数
悬浮物量/(mg/L)		每季	≤ 5	1	≤ 5	1~2	≤ 5	≥ 2	—	—	—	—	—	—
总硬度 ^a /(mmol/L)		每班	≤ 0.03	1	≤ 0.03	1~2	≤ 0.03	≥ 2	—	—	—	—	—	—
总碱度 ^b /(mmol/L)	无过热器	每班	—	1	—	1	—	1	6~26	1~2	6~24	2	6~16	≥ 2
	有过热器	每班	—	1	—	1	—	1	—	—	≤ 14	2	≤ 12	≥ 2
pH 值(25℃)		每班	≥ 7	1	≥ 7	1~2	≥ 7	≥ 2	10~12	1~2	10~12	2	10~12	≥ 2
溶解氧量/(mg/L)		每班	≤ 0.1	2	≤ 0.1	2	≤ 0.05	≥ 2	—	—	—	—	—	—
溶解固形物量/(mg/L)	无过热器	每季	—	—	—	—	—	—	$<4\ 000$	1	$<3\ 500$	1~2	$<3\ 000$	≥ 2
	有过热器	每季	—	—	—	—	—	—	—	—	$<3\ 000$	1~2	$<2\ 500$	≥ 2
SO ₄ ²⁻ 含量/(mg/L)		每周	—	—	—	—	—	—	—	—	10~30	1	10~30	1
PO ₄ ³⁻ 含量/(mg/L)		每周	—	—	—	—	—	—	—	—	10~30	1~2	10~30	≥ 2
相对碱度 (游离 NaOH 量 溶解固形物量)		每季	—	—	—	—	—	—	—	—	<0.2	1~2	<0.2	≥ 2
含油量/(mg/L)		每周	≤ 2	1	≤ 2	1	≤ 2	—	—	—	—	—	—	—
含铁量/(mg/L)		每周	≤ 0.3	1	≤ 0.3	1	≤ 0.3	1	—	—	—	—	—	—
氯离子含量 ^c /(mg/L)		每班	—	1~2	—	2	—	2	—	1~2	—	1~2	—	1~2

a 硬度 mmol/L 的基本单元为 $\text{C}(1/2\text{Ca}^{2+}, 1/2\text{Mg}^{2+})$,下同。

b 碱度 mmol/L 的基本单元为 $\text{C}(\text{OH}^-, \text{HCO}_3^-, 1/2\text{CO}_3^{2-})$,下同。

c 根据“固氯比”测算,具体方法按附录 C。

d 指标为合格指标,按 GB 1576 的规定。

e 为每季、周、班的监测次数,下同。

- b) 额定蒸发量不大于 2 t/h 且额定蒸汽压力不大于 1.0 MPa 的蒸汽锅炉和汽水两用锅炉采用锅内加药水处理时,水质监测应符合表 4 的规定。

表 4 采用锅内加药水处理的水质监测表

监 测 项 目	监测期	给 水		锅 水	
		合格指标	监测次数	合格指标	监测次数
悬浮物量/(mg/L)	每季	≤20	1	—	—
总硬度/(mmol/L)	每班	≤4	1	—	—
总碱度/(mmol/L)	每班	—	—	8~26	1~2
pH 值(25℃)	每班	≥7	1	10~12	1~2
溶解固形物量/(mg/L)	每季	—	—	<5 000	1
氯离子含量*/(mg/L)	每班	—	1	—	1

^a 根据“固氯比”测算,具体方法按附录 C。

c) 热水锅炉采用锅外物理、化学水处理和锅内加药水处理时,水质监测应符合表 5 的规定。

表 5 热水锅炉采用锅外物理、化学水处理和锅内加药水处理的水质监测表

监 测 项 目	监测期	锅内加药水处理				锅外物理、化学处理			
		给 水		锅 水		给 水		锅 水	
		合格指标	监测次数	合格指标	监测次数	合格指标	监测次数	合格指标	监测次数
悬浮物量/(mg/L)	每季	≤20	1	—	—	≤5	1	—	—
总硬度/(mmol/L)	每班	≤6	1	—	—	≤0.6	1	—	—
pH 值(25℃)	每班	≥7	1	10~12	1~2	≥7	1	10~12	1~2
溶解氧量/(mg/L)	每周	—	—	—	—	≤0.1 ^a	1	—	—
含油量/(mg/L)	每周	≤2	1	—	—	≤2	1	—	—

^a 给水溶解氧>0.1 mg/L 时,添加防腐阻垢剂可抑制氧对金属的腐蚀。

- d) 余热锅炉及电热锅炉的水质监测应符合同参数锅炉的水质监测要求。
- e) 直流(贯流)锅炉采用锅外物理、化学水处理时,其水质监测按表 3 执行。
- f) 溶解固形物的分析采用氯离子控制法时,该项指标的测算可通过“固氯比”的测算间接得到。
- “固氯比”的测算按附录 C 进行。

5.3.2.4 锅炉水质监测报告

锅炉水质监测报告按附录 A。

5.3.3 离子交换设施经济运行效果监测方法

5.3.3.1 树脂利用率

树脂利用率按式(1)计算:

$$\eta = \frac{Q \cdot A}{W_R \cdot E_Q} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

η——树脂利用率,用(%)表示;

Q——周期制水量,单位为立方米(m³);

A——原水中被处理离子的加权平均浓度,如软化时,A=YD,单位为毫摩尔每升(mmol/L);

W_R——设备中树脂的填装体积,单位为立方米(m³);

E_Q——树脂中的全交换容量,单位为摩尔每立方米(mol/m³);

YD——硬度。

5.3.3.2 树脂工作交换容量

树脂的工作交换容量按式(2)计算:

$$E = \frac{(H - H_c)Q}{V_R} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

E ——树脂工作交换容量,单位为摩尔每立方米(mol/m^3);

H ——原水硬度,单位为毫摩尔每升(mmol/L);

H_c ——软化水残留硬度,单位为毫摩尔每升(mmol/L);

V_R ——参与交换的树脂体积,单位为立方米(m^3)。

5.3.3.3 树脂清洗水耗量

树脂清洗水耗量按式(3)计算:

$$q_s = \frac{Q_z + Q_c}{W_R} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

q_s ——树脂清洗水耗量,单位为立方米每立方米(m^3/m^3);

Q_z ——置换过程耗水量,单位为立方米(m^3);

Q_c ——清洗过程耗水量,单位为立方米(m^3)。

5.3.3.4 树脂年耗率

树脂年耗率按式(4)计算:

$$R_s = \frac{W_B}{W_R} \times 100 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

R_s ——树脂年耗率,用(%)表示;

W_B ——设备中树脂年补充体积,单位为立方米(m^3)。

5.3.3.5 再生剂耗量

再生剂耗量按式(5)计算:

$$K = \frac{G}{Q \cdot A} \times 1000 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

K ——再生剂耗量(盐耗量 K_Y 或酸耗量 K_S),单位为克每摩尔(g/mol);

G ——再生一次所用再生剂的量,单位为千克(kg)。

5.3.4 锅内加药水处理经济运行效果监测方法

5.3.4.1 缓蚀率的测定方法(失重法)

5.3.4.1.1 试剂及试片

a) 稀盐酸(5% HCl 加适量缓蚀剂)。

b) 试片:选取与锅炉本体相同材质,将其加工成精确的几何形状试样,计算出它的表面积。

5.3.4.1.2 测定方法

用空白试验水和加药试验水分别做以下试验,并进行计算:

a) 用金相打磨专用砂布将试片打磨光滑,去掉表面氧化膜;

b) 用分析天平称出试片质量,精确至 0.1 mg,并记录;

c) 将试片放置在锅炉汽包或联箱中,并记录放置时间;

d) 经过 10 d 以上运行后将试样取出,通过阴极保护电流使试片表面的电位低于 1.5 V,同时用稀盐酸清除试片表面的腐蚀产物,应特别注意不能酸洗过度,在分析天平上精确称量;

e) 根据试片的失量、试验时间和试样面积,可按式(6)计算出平均腐蚀速度来确定其缓蚀率:

$$K_G = \frac{G_1 - G_2}{S \cdot t} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

K_G ——按试片金属质量损失计算的平均腐蚀速度,单位为克每小时平方米($\text{g}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$);

G_1 ——试片腐蚀前的质量,单位为克(g);

G_2 ——试片腐蚀后的质量,单位为克(g);

S ——试片的表面积,单位为平方米(m^2);

t ——试片金属腐蚀的时间,单位为小时(h)。

f) 按式(7)计算缓蚀率:

$$R_H = \frac{K_{GK} - K_{GY}}{K_{GK}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

R_H ——缓蚀剂的缓蚀率,用(%)表示;

K_{GK} ——空白试验水腐蚀速度,单位为克每小时平方米($\text{g}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$);

K_{GY} ——加药试验水腐蚀速度,单位为克每小时平方米($\text{g}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$)。

5.3.4.2 阻垢率的测定方法(常压挂片法)

5.3.4.2.1 测定仪器:

- 高脚烧杯:400 mL;
- 试剂瓶:3 000 mL;
- 试验电炉:1 000 W;
- 变压器;
- 分析天平(精确度 1/10 000)。

5.3.4.2.2 测定材料:

试片:采用与锅炉本体相同材质(35 mm×22 mm×4 mm)钻一直径为 $\phi 4$ mm 的挂孔,先在金相专用砂布上按前后方向磨好,然后用丙酮浸泡去掉油垢,浸泡时间不少于 20 min,然后取出用纱布擦干,自然风中吹干,放入干燥器中备用。

5.3.4.2.3 测定方法

用空白试验水和加药试验水分别做试验,并进行计算:

- 取按药剂用量配好的加药试验水和不加任何药剂的空白试验水各 2 500 mL,分别投入 3 000 mL 的试剂瓶中,然后分别取出 250 mL 投入 400 mL 高脚烧杯中;
- 将干燥器中的试片取出二件,在天平上准确称量,精确到 0.1 mg;
- 将称量好的试片用塑料线穿过小孔,调节好塑料线的长短,将试片分别悬挂于已投入 250 mL 试验水的试杯液面以下,距杯底 5 mm;
- 试杯底部用电炉加热,并用调压器调节,水温控制在 $95^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$,使试验水缓慢蒸发浓缩,不要飞溅溢出,并不断从试剂瓶中滴加试验水保持试杯液面平衡,并注意观察水样的浑浊程度、泡沫的多少,每隔 1 h,测量一下试杯水的 pH 值,做好记录;
- 当 2 500 mL 试验用水从试剂瓶中滴完后,试杯中仅存有 250 mL 左右的水时,停止加热,取出试片,冷却吹干后立即称量与原片质量比较,可得所结的垢质量(以 mg 计),并观察试片表面的腐蚀情况,做好记录。
- 阻垢率按式(8)计算:

$$R_Z = \frac{G_K - G_l}{G_K} \times 100 \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

R_z ——阻垢剂的阻垢率，用(%)表示；

G_K ——空白试验水试片垢质量，单位为(mg)；

G_j ——加药试验水试片垢质量，单位为(mg)。

g) 浓缩试验水冷却后过滤，分析硬度、碱度、氯离子含量并做好记录。

5.3.4.3 年结垢厚度的测定(直接测量法)

5.3.4.3.1 仪器：水垢测厚仪。

5.3.4.3.2 测量方法：

- a) 打开锅炉人孔、头孔、手孔、检查孔，检查锅筒、集箱、水冷壁管等部位水垢结生情况；
- b) 用水垢测厚仪测出水垢最厚处的厚度，精确到 0.1 mm；
- c) 根据锅炉运行时间计算出年结垢厚度。

6 运行效果评价

6.1 运行效果的评价应先考查使用锅炉单位的锅炉水质日常监测记录(按表 3、表 4、表 5 的要求)，监测记录是否完整。

6.2 进行锅炉水质的检测并填写工业锅炉水质监测报告(工业锅炉水质监测报告见附录 A)，并给出锅炉水质是否合格的结论。

6.3 在给出锅炉水质监测合格结论的基础上进行锅炉水处理设施经济运行效果的监测并填写工业锅炉水处理设施经济运行效果监测报告(工业锅炉水处理设施经济运行效果监测报告见附录 B)。

6.4 本标准表 1、表 2 中的合格指标是经济运行效果监测合格的最低标准。监测单位应依此作出合格与不合格的结论评价。

6.5 对监测不合格者，监测单位应作出分析结论和提出处理意见。

附 录 B
(规范性附录)

工业锅炉水处理设施经济运行效果监测报告

编号：第 页 共 页

被监测单位		监测通知号	
水处理方式		锅炉型号	
监测依据		监测日期	
离子交换设备	型号	单位时间制水量/ (m³/h)	
	再生周期/h	交换剂体积/m³	
药剂名称		药剂投放设备	
监 测 结 果	监 测 项 目		合格指标
	树脂利用率/%		
	树脂工作交换容量/(mol/m³)		
	树脂清洗水耗量/(m³/m³)		
	树脂年耗率/%		
	再生剂耗量/(g/mol)		
	缓蚀率/%		
	阻垢率/%		
	年结垢厚度/mm		
评价结论及处理意见			
监测单位:(盖章) 年 月 日			
备 注			

批准 审核 监测

附 录 C
(规范性附录)
锅炉水“固氯比”测算方法

C.1 水中溶解固形物量与氯离子含量的比值称为“固氯比”，按式(C.1)计算：

$$K_{GL} = \frac{\rho_{RG}}{\rho_{Cl^-}} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- K_{GL} ——水的“固氯比”；
- ρ_{RG} ——水中溶解固形物的含量，单位为毫克每升(mg/L)；
- ρ_{Cl^-} ——水中氯离子的含量，单位为毫克每升(mg/L)。

C.2 锅水“固氯比”测算

C.2.1 按 GB 1576—2001 附录 A 取锅水水样 3 个，分别测出各个水样中的溶解固形物量和氯离子含量，然后按式(C.1)计算得到各个水样的“固氯比” K_{GLi} 。

C.2.2 3 个锅水水样“固氯比”的算术平均值按式(C.2)计算：

$$K_{GL} = \frac{K_{GL1} + K_{GL2} + K_{GL3}}{3} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

K_{GL} ——3 个锅水水样的“固氯比”算术平均值；

K_{GL1} 、 K_{GL2} 、 K_{GL3} ——3 个锅水水样的“固氯比”测算值。

C.3 锅水氯离子含量控制值计算

C.3.1 从 GB 1576—2001 表 1、表 2 中查出锅水溶解固形物量控制指标 $[\rho_{RG}]$ 。

C.3.2 锅水氯离子含量控制值按式(C.3)计算：

$$[\rho_{Cl^-}] = \frac{[\rho_{RG}]}{K_{GL}} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

- $[\rho_{Cl^-}]$ ——锅水中氯离子含量控制值，单位为毫克每升(mg/L)；
- $[\rho_{RG}]$ ——锅水中溶解固形物量控制值，单位为毫克每升(mg/L)。

C.4 锅炉锅水的“固氯比”将随给水水质或锅炉运行工况的变化而变化，因此需定期进行复测和修正。