



中华人民共和国国家标准

GB/T 39296—2020

循环冷却水处理运行效果评价 监测换热器法

Operation effect evaluation of recirculating cooling water treatment—
Method of monitoring heat exchanger

2020-11-19 发布

2021-10-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国石油和化学工业联合会提出。

本标准由全国化学标准化技术委员会(SAC/TC 63)归口。

本标准起草单位：中国石油化工股份有限公司北京化工研究院、山东泰和水处理科技股份有限公司、天津海化环境工程有限公司、江海环保有限公司、中海油天津化工研究设计院有限公司、天津正达科技有限责任公司、山东鑫泰水处理技术股份有限公司、石家庄给源环保科技有限公司、河南清水源科技股份有限公司。

本标准主要起草人：任志峰、齐晓婧、陆彩霞、赵荣明、酆和生、李琳、崔进、李永广、韩新磊、邵宏谦。

循环冷却水处理运行效果评价 监测换热器法

1 范围

本标准规定了监测换热器法用于循环冷却水处理运行效果评价的材料和设备、方法过程、结果计算及评价报告等技术要求。

本标准适用于正常运行条件下通过监测循环冷却水系统旁路监测换热器上腐蚀、结垢和生物黏泥情况,来评价间冷开式循环冷却水系统的水处理运行效果。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 10123—2001 金属和合金的腐蚀 基本术语和定义

GB/T 18590 金属和合金的腐蚀 点蚀评定方法

HG/T 3523 冷却水化学处理标准腐蚀试片技术条件

3 术语和定义

GB/T 10123—2001 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了GB/T 10123—2001 中的某些术语和定义。

3.1

循环冷却水 recirculating cooling water

以直接或间接冷却石油、化工、钢铁产品或满足其他工业生产需要为目的,经换热后返回冷却构筑物降温,并经必要的处理,再循环使用的水。

3.2

循环冷却水系统 recirculating cooling water system

以水作为冷却介质,并循环运行的一种给水系统。

注:由换热设备、冷却设备、处理设施、水泵、管道及其他有关设施组成。本标准特指间冷开式循环冷却水系统,即循环冷却水与被冷却介质间接传热且与大气直接接触散热的循环冷却水系统。

3.3

监测换热器 monitoring heat exchanger

模拟装置水冷器工况,用以监控循环冷却水系统腐蚀和沉积状况及变化趋势的小型热交换器。

3.4

监测试管 monitoring test tube

试管 tube

置于监测换热器中用于监测腐蚀和沉积的标准金属直管。

3.5

压力降监测管 pressure-drop monitoring pipe

通过测定两端压差,以监测附着型生物黏泥量而水平安装的不锈钢直管。

3.6

监测试片 monitoring test coupon

试片 coupon

置于监测换热器或塔池中用于监测腐蚀的标准金属片。

3.7

腐蚀速率 corrosion rate

以金属腐蚀失重而算得的每年平均腐蚀深度。

注：单位为毫米每年(mm/a)。

3.8

黏附速率 adhesion rate

换热器表面单位传热面积上每月的污垢增长量。

注：单位为毫克每平方米月[mg/(cm²·月)，简称为 mcm]。

3.9

热阻 thermal resistance

监测换热器的传热阻力，数值为传热系数的倒数。

注：单位为平方米开尔文每瓦(m²·K/W)。

3.10

点蚀 pitting corrosion

产生于金属表面向内部扩展的点坑，即空穴的局部腐蚀。

[GB/T 10123—2001, 定义 3.17]

4 方法提要

采用监测换热器评价循环冷却水系统水处理运行效果的方法，即以电加热产生的常压饱和蒸汽或工业低压饱和蒸汽为热介质，以循环冷却水为冷却介质，在规定循环冷却水流速、初始进出水温差、蒸汽温度和材料材质等条件下，根据监测周期内试管质量变化计算试管的腐蚀速率和黏附速率，根据在线监测的温度和流量等数据计算热阻。在流量恒定条件下，根据压力降监测管压差变化在线监测生物黏泥附着情况。在线监测数据实现实时远传。流程示意图参见附录 A 图 A.1。

5 材料和设备

5.1 一般要求

5.1.1 监测换热器包含压力降监测管、在线腐蚀监测仪及其他有关设施。

5.1.2 监测换热器试管进水应从循环冷却水系统的给水总管上接出，压力降监测管进水宜为循环冷却水回水；出水应予以回收。

5.1.3 监测换热器不应露天放置，应满足仪器仪表的环境要求，环境温度宜 0℃~50℃，相对湿度宜不大于 80%，应预留试管拆卸和设备检修的空间。

5.1.4 应采用循环冷却水走管程的三管式监测换热器，三根试管呈正三角形排列，管心距为 31 mm。

5.1.5 监测换热器的热介质可采用工业低压饱和蒸汽或电加热除盐水产生的常压饱和蒸汽。

5.1.6 监测换热器界区内的管路、阀门及管件应选用耐蚀能力不低于 0Cr18Ni9(S30408)的不锈钢材质。

5.1.7 试管和压力降监测管的进水管线上，应安装过滤器，滤网孔径宜 4 mm。

5.1.8 流量计和挂片器所在管段均宜设置副线。

5.1.9 应在监测换热器的管线低位设置排水口。

5.1.10 测试仪器和设备,包括烘箱、感量分别为 0.1 mg 和 0.01 g 的天平,以及清洗、剖开和观测试管的有关设备和器具。

5.2 试管

5.2.1 应采用 $\phi 19\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 的无缝金属直管,有效长度为 1 177 mm,有效传热面积为 0.055 m^2 。

5.2.2 材质应与循环冷却水系统内换热器主材质相当。

5.2.3 碳钢或铜材质试管外表面应镀铬,厚度为 $50\text{ }\mu\text{m}$,镀层应完好;内表面应光洁、无锈蚀。

5.2.4 运输和储存应有防潮、防锈措施。

5.3 挂片器

5.3.1 应配备于监测换热器试管的出水侧,外壁透明,且避免阳光直射。

5.3.2 试片架和固定件应采用塑料材质,试片架宜垂直安装。

5.3.3 应悬挂 I 型或 II 型试片,试片满足 HG/T 3523 要求,材质应与循环冷却水系统内换热器主材质相当;每种材质试片不应少于两片。

5.3.4 试片悬挂方向与水流一致,试片与挂片器内壁不应直接接触,试片与试片架间距不应小于 3 mm,试片与试片间距不应小于 15 mm,挂片器内径宜 40 mm。

5.4 压力降监测管

5.4.1 应采用内径 16 mm 的 0Cr17Ni12Mo2(S31608)不锈钢直管,有效长度为 1 200 mm,两端各配备不小于 300 mm 的 0Cr17Ni12Mo2(S31608)不锈钢直管;内表面应光洁、无锈蚀。

5.4.2 应配备压差计,精确到 0.01 kPa。

5.5 仪器仪表

5.5.1 监测换热器进水端应安装流量计,误差不超过 $\pm 2.5\%$,流量应自动控制。

5.5.2 试管循环冷却水进、出口端和换热腔蒸汽侧应安装温度计,远传温度精确到 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,换热腔蒸汽温度应自动控制。

5.5.3 蒸汽进口管侧应安装压力表,分度值 0.02 MPa 。

5.5.4 在线腐蚀监测仪,精确到 0.001 mm/a 。

5.5.5 应配备可编程逻辑控制器(PLC)或将在线监测数据直接接入分布式控制系统(DCS),实现流量、温度、压差、腐蚀速率和热阻数据的存储、计算和远传。

5.6 安装方式

挂片器、压力降监测管及仪器仪表等安装方式参见图 A.1 和图 A.2。

6 方法过程

6.1 前处理

试管和试片的前处理方法参见附录 B。

6.2 安装和拆检

6.2.1 试管

6.2.1.1 关闭换热腔热源,待温度低于 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,再关闭试管进水,排空后拆下试管,观察试管内、外壁形

态,两端采取密封措施以待后续处理。

6.2.1.2 将经前处理的试管安装在管板上,两端安装密封圈,与进出水管道连接。

6.2.1.3 在拆装过程中应避免物理损伤。

6.2.2 试片

6.2.2.1 关闭挂片器进水,将挂片器中的试片取出,用滤纸擦干表面并包裹。

6.2.2.2 将经前处理的试片安装在挂片器中,试片朝外,确保挂片器不漏水。

6.2.2.3 经前处理的试片不应直接与手或污物接触。

6.2.3 压力降监测管

6.2.3.1 投用压力降监测管,出口阀打开后再慢开入口阀,确保空气排尽。

6.2.3.2 投用压差计,确保其两端引压管中充满水且无气泡。

6.2.4 在线腐蚀监测仪

6.2.4.1 按照说明书安装或更换腐蚀测试探头。

6.2.4.2 按照说明书进行仪器校准和参数设置。

6.3 运行

6.3.1 投运

6.3.1.1 开启试管进水,流量应设定为 $1.5\text{ m}^3/\text{h}\sim 2.0\text{ m}^3/\text{h}$,并保持恒定。

6.3.1.2 开启换热腔热源,换热腔内的饱和蒸汽温度应控制在 $97\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 104\text{ }^{\circ}\text{C}$,并保持恒定。

6.3.1.3 试管进出水温差仅控制初始温差为 $(10\pm 1)^{\circ}\text{C}$,运行中不再控制,应保持蒸汽流量、换热腔温度和循环冷却水流量恒定。

6.3.1.4 挂片器内流速不应小于 0.3 m/s 。

6.3.1.5 压力降监测管的流量应为 $1.1\text{ m}^3/\text{h}$,并保持恒定。当物料泄漏或生物黏泥大量生长导致压力降监测管堵塞或压力降过大时,可拆下用水清洗后装回系统。

6.3.1.6 运行过程中不应中断循环冷却水。

6.3.2 监测周期

6.3.2.1 试管监测周期应为一个月;材质相同时,其中一根试管监测周期可为一年或一个检修周期。

6.3.2.2 循环冷却水系统运行期间压力降监测管应连续监测。

6.3.3 数据记录

6.3.3.1 试管进出水温度、流量和蒸汽温度等数据应至少 12 h 记录一次。

6.3.3.2 压差计数据应至少 12 h 记录一次。

6.4 后处理

试管和试片的后处理方法参见附录 B。

7 结果计算

7.1 试管腐蚀速率

试管的腐蚀速率 r_{corr} ,按式(1)计算:

$$r_{\text{corr}} = \frac{365(m_0 - m_2)}{\pi d_i L_1 t \rho} \times 1\,000 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 r_{corr} ——试管的腐蚀速率，单位为毫米每年(mm/a)；
365——从年换算为天的数值，单位为天每年(d/a)；
 m_0 ——经前处理后试管的质量的数值，单位为克(g)；
 m_2 ——清洗后试管的质量的数值，单位为克(g)；
 d_i ——试管内径的数值，单位为毫米(mm)；
 L_1 ——试管长度的数值，单位为毫米(mm)；
 t ——监测时间的数值，单位为天(d)；
 ρ ——试管材料的密度的数值，单位为克每立方厘米(g/cm³)($\rho_{\text{碳钢}} = 7.85, \rho_{\text{铜}} = 8.94, \rho_{\text{黄铜}} = 8.65, \rho_{\text{不锈钢}} = 7.92$)。

7.2 试管黏附速率

试管的黏附速率 r_{adhe} ，按式(2)计算：

$$r_{\text{adhe}} = \frac{30(m_1 - m_2)}{\pi d_i L_1 t} \times 10^5 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：
 r_{adhe} ——试管的黏附速率，单位为毫克每平方厘米月(mcm)；
30——从月换算为天的数值，单位为天每月(d/m)；
 m_1 ——监测后试管的质量的数值，单位为克(g)；
 m_2 ——清洗后试管的质量的数值，单位为克(g)；
 d_i ——试管内径的数值，单位为毫米(mm)；
 L_1 ——试管长度的数值，单位为毫米(mm)；
 t ——监测时间的数值，单位为天(d)。

7.3 热阻

热阻 R_t ，按式(3)计算：

$$R_t = \frac{3\,600\pi d_i L_2}{4\,186.8 \times \frac{G}{3}} \left(\frac{T - t_1}{t_2 - t_1} - \frac{1}{2} \right) \times 10^{-9} = \frac{2.58\pi d_i L_2}{G} \left(\frac{T - t_1}{t_2 - t_1} - \frac{1}{2} \right) \times 10^{-9} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：
 R_t ——热阻，单位为平方米开尔文每瓦(m²·K/W)；
3 600——从小时换算为秒的数值，单位为秒每小时(s/h)；
 d_i ——试管内径的数值，单位为毫米(mm)；
 L_2 ——试管有效传热长度的数值，单位为毫米(mm)；
 T ——蒸汽温度的数值，单位为摄氏度(℃)；
 t_1 ——监测换热器试管进水温度的数值，单位为摄氏度(℃)；
4 186.8——水的比热容的数值，单位为焦耳每千克开尔文[J/(kg·K)]；
 G ——监测换热器试管进水流量的数值，单位为立方米每小时(m³/h)；
 t_2 ——监测换热器试管出水温度的数值，单位为摄氏度(℃)。

7.4 试片腐蚀速率

试片的腐蚀速率 r'_{corr} ，按式(4)计算：

$$r'_{\text{corr}} = \frac{365(m_3 - m_4)}{At'\rho} \times 10 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

r'_{corr} ——试片的腐蚀速率，单位为毫米每年(mm/a)；

365——从年换算为天的数值，单位为天每年(d/a)；

m_3 ——经前处理试片的质量的数值，单位为克(g)；

m_4 ——清洗后试片的质量的数值，单位为克(g)；

A ——试片的表面积的数值，单位为平方厘米(cm^2)；

t' ——监测时间的数值，单位为天(d)；

ρ ——试片材料的密度的数值，单位为克每立方厘米(g/cm^3)($\rho_{\text{碳钢}} = 7.85, \rho_{\text{铜}} = 8.94, \rho_{\text{黄铜}} = 8.65, \rho_{\text{不锈钢}} = 7.92$)。

7.5 点蚀测试

观察试管内部和试片表面腐蚀状况，如有明显点蚀，应注意蚀坑的大小、形状、数目和分布情况，测出最大和最小坑深，对有代表性试验结果应照相存档。点蚀测试方法按 GB/T 18590 的规定执行。

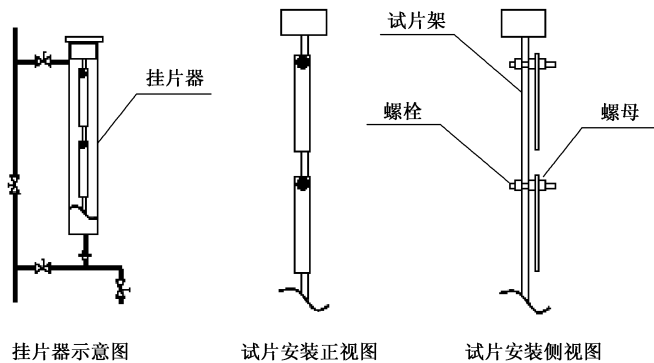
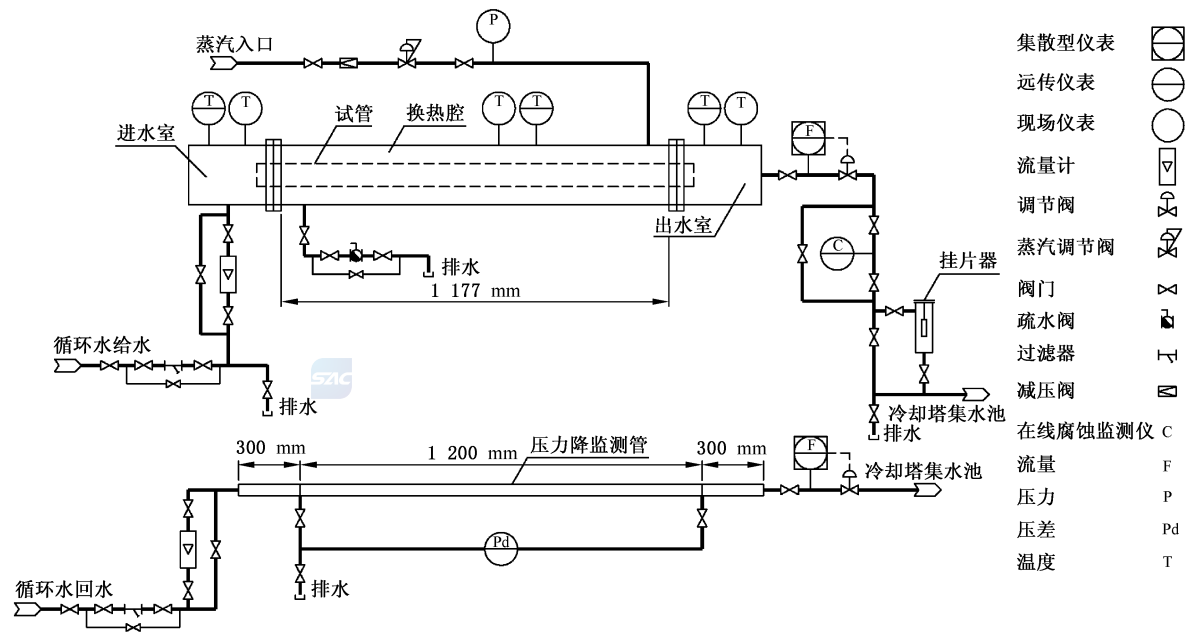
8 评价报告

按照试验情况记录填写监测报告并评价，主要包括试管的腐蚀速率和黏附速率、试片的腐蚀情况、在线腐蚀速率、压力降监测管的压差及热阻等内容，报告格式可参见附录 C。



附录 A
(资料性附录)
示意图

图 A.1 为流程示意图,图 A.2 为挂片器及试片安装示意图。



附 录 B

(资料性附录)

试管和试片的前处理和后处理方法

B.1 前处理方法

B.1.1 试管

B.1.1.1 端头宜采用钢印编号。

B.1.1.2 用无水乙醇浸泡内壁 5 min~10 min 后刷洗,用水冲洗,经无水乙醇脱水后冷风吹干。

B.1.1.3 常温下称量试管的质量 m_0 ,精确到 0.01 g,同时测量试管长度 L_1 ,并采取防潮、防锈措施。

B.1.1.4 经前处理的试管宜在 3 d 内使用。



B.1.2 试片

B.1.2.1 在无水乙醇中用脱脂棉球擦拭,再用清洁的无水乙醇浸泡脱水。

B.1.2.2 取出试片,置于滤纸上冷风吹干,用滤纸包裹并放入干燥器,干燥 0.5 h 后称量试片的质量 m_3 ,精确到 0.1 mg。

B.1.2.3 处理过程中需避免试片的污染和物理损伤。

B.2 后处理方法

B.2.1 试管

B.2.1.1 清除外表面污垢,水平置于 105 °C~110 °C 烘箱中,干燥至恒量。

B.2.1.2 水平取出,避免管中沉积物掉落,自然冷却至常温后称量试管的质量 m_1 ,精确到 0.01 g。

B.2.1.3 宜用物理方法清除和采集试管内沉积物并记录颜色和形态,按 HG/T 3610、HG/T 3530、HG/T 3531、HG/T 3532、HG/T 3533、HG/T 3534、HG/T 3535、HG/T 3536、HG/T 4322 或 DL/T 1151.22 规定的方法对沉积物进行成分分析。

B.2.1.4 用含有表面活性剂的水刷洗内壁。

B.2.1.5 用胶皮塞塞紧底部管口,竖直放置,由上部管口缓慢倒入酸洗液,充满并浸泡,酸洗液成分及浸泡时间参见表 B.1。

表 B.1 酸洗液成分及浸泡时间

材质	酸洗液成分(质量分数)	浸泡时间/min
碳钢	盐酸溶液(10%,其中含有 0.5% 六次甲基四胺)	5~10
不锈钢	硝酸溶液(10%)	5~10
铜及铜合金	硫酸溶液(5%~10%)	3~5

B.2.1.6 试管中保留 1/3 的酸洗液,刷洗内壁后,全部排出。

B.2.1.7 用水冲洗后再用无水乙醇脱水,若试管内仍有污垢和腐蚀产物,则重复 B.2.1.5、B.2.1.6 和 B.2.1.7 步骤,直至除尽。

B.2.1.8 用冷风吹干后,于 105 °C~110 °C 烘箱中干燥至恒量,称量试管的质量 m_2 ,精确到 0.01 g。

B.2.1.9 处理试管时不能破坏外壁镀铬层,并做好个人防护。

B.2.1.10 可剖开试管观察其内部腐蚀状况。

B.2.2 试片

B.2.2.1 观察记录试片表面状况,宜拍照存档。

B.2.2.2 在酸洗液(成分参见表 B.1)中用脱脂棉球擦洗试片,腐蚀产物较多时,先用物理方法清理。

B.2.2.3 酸洗后立即用水冲洗、无水乙醇脱水,冷风吹干后滤纸包裹,于干燥器内保存。

B.2.2.4 干燥 0.5 h 后称量试片的质量 m_4 ,精确到 0.1 mg。



附 录 C
(资料性附录)
监测报告格式

监测报告格式见表 C.1～表 C.5。

表 C.1 试管监测报告

循环冷却水系统名称：年 月 日

试管编号	安装时间 (年-月-日-时)	拆卸时间 (年-月-日-时)	材质	腐蚀速率 (mm/a)	黏附速率 (mcm)
平均值 ^a					
管内沉积物描述及成分分析： 					
管内腐蚀(包括点蚀 ^b)描述：					
测试人：					
备注：					
<div>^a 同期同种材质新试管的腐蚀速率和黏附速率应取平均值。</div> <div>^b 如有点蚀,宜另附照片。</div>					

表 C.2 试片监测报告

循环冷却水系统名称：年 月 日

试片编号	安装时间 (年-月-日-时)	拆卸时间 (年-月-日-时)	材质	腐蚀速率 (mm/a)
平均值 ^a				
平均值 ^a				
腐蚀(包括点蚀 ^b)描述：				
测试人：				
备注：				
^a 同期同种材质试片的腐蚀速率应取平均值。 ^b 如有点蚀,宜另附照片。				

表 C.3 在线腐蚀速率监测报告

循环冷却水系统名称：年 月 日

开始时间 (年-月-日-时)		截止时间 (年-月-日-时)	
腐蚀速率趋势图：			
腐蚀速率趋势图分析：			
备注：监测周期与试管一致。			

表 C.4 压差监测报告

循环冷却水系统名称：

年 月 日

开始时间 (年-月-日-时)		截止时间 (年-月-日-时)	
压差趋势图：			
压差趋势图分析及运行描述：			
备注： 1) 监测周期与试管一致； 2) 运行描述包括杀菌剥离剂投加、物料泄漏和异养菌数量变化等情况。			

表 C.5 热阻监测报告

循环冷却水系统名称：

年 月 日

开始时间 (年-月-日-时)		截止时间 (年-月-日-时)	
热阻趋势图：			
热阻趋势图分析：			
			
备注： 监测周期与试管一致。			

参 考 文 献

[1] DL/T 1151.22 火力发电厂垢和腐蚀产物分析方法 第 22 部分:X-射线荧光光谱和 X-射线衍射分析

[2] HG/T 3530 工业循环冷却水污垢和腐蚀产物试样的采取和制备

[3] HG/T 3531 工业循环冷却水污垢和腐蚀产物中水分含量的测定

[4] HG/T 3532 工业循环冷却水污垢和腐蚀产物中硫化亚铁含量的测定

[5] HG/T 3533 工业循环冷却水污垢和腐蚀产物中灼烧失重测定方法

[6] HG/T 3534 工业循环冷却水污垢和腐蚀产物中酸不溶物、磷、铁、铝、钙、镁、锌、铜含量测定方法

[7] HG/T 3535 工业循环冷却水污垢和腐蚀产物中硫酸盐含量测定方法

[8] HG/T 3536 工业循环冷却水污垢和腐蚀产物中二氧化碳含量的测定方法

[9] HG/T 3610 工业循环冷却水污垢和腐蚀产物分析方法规则

[10] HG/T 4322 工业循环冷却水污垢和腐蚀产物中硅酸盐的测定

