

HG

中华人民共和国化工行业标准

HG/T 2160—XXXX

代替HG/T 2160—2008

冷却水动态模拟试验方法

Dynamic simulation method for cooling water

（征求意见稿）

20230619

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替HG/T 2160-2008《冷却水动态模拟试验方法》，与HG/T 2160-2008相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 模拟换热器加热介质由常压饱和蒸汽加热改为常压饱和蒸汽或热水；
- 增加“装置组成”小节，将试验装置示意图重新绘制；
- 风门控制风量，改为变频器控制风量；
- 过程控制原采用微机控制和处理数据，改为计算机或PLC控制和处理数据；
- 增加在线仪表定期矫正描述；
- 增加药剂在线浓度监控的要求，提出宜采用全自动运行，可实现无人值守；
- 浓缩倍率增加了氯离子计算方式；
- 增加了总硬度检测标准，修正了极限碳酸盐硬度计算公式；
- 增加了细菌检测。本文件由中国石油和化学工业联合会提出。

本文件由全国化学标准化技术委员会水处理剂分技术委员会（SAC/TC63/SC5）归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件于1991年首次发布，2008年第一次修订，本次为第二次修订。

冷却水动态模拟试验方法

1 范围

本文件描述了敞开式循环冷却水动态模拟试验的技术要求及试验方法。

本文件适用于敞开式循环冷却水系统中，金属材料（包括黑色、有色金属）间壁式换热设备在实验室内进行的小型动态模拟试验，也适用于中型动态模拟试验和现场小型动态模拟试验。工程现场验证评价循环水处理药剂性能试验也可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 5776—2005 金属和合金的腐蚀 金属和合金 在表层海水中暴露和评定的导则
- GB/T 14640 工业循环冷却水和锅炉用水中钾、钠含量的测定
- GB/T 14643.1 工业循环冷却水中菌藻的测定方法 第1部分：黏液形成菌的测定 平皿计数法
- GB/T 15451 工业循环冷却水 总碱及酚酞碱度的测定
- GB/T 15452 工业循环冷却水中钙、镁离子的测定 EDTA滴定法
- GB/T 15453 工业循环冷却水和锅炉用水中氯离子的测定
- HG/T 3610 工业循环冷却水污垢和腐蚀产物分析方法规则
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- SY/T 5329 碎屑岩油藏注水水质指标技术要求及分析方法

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

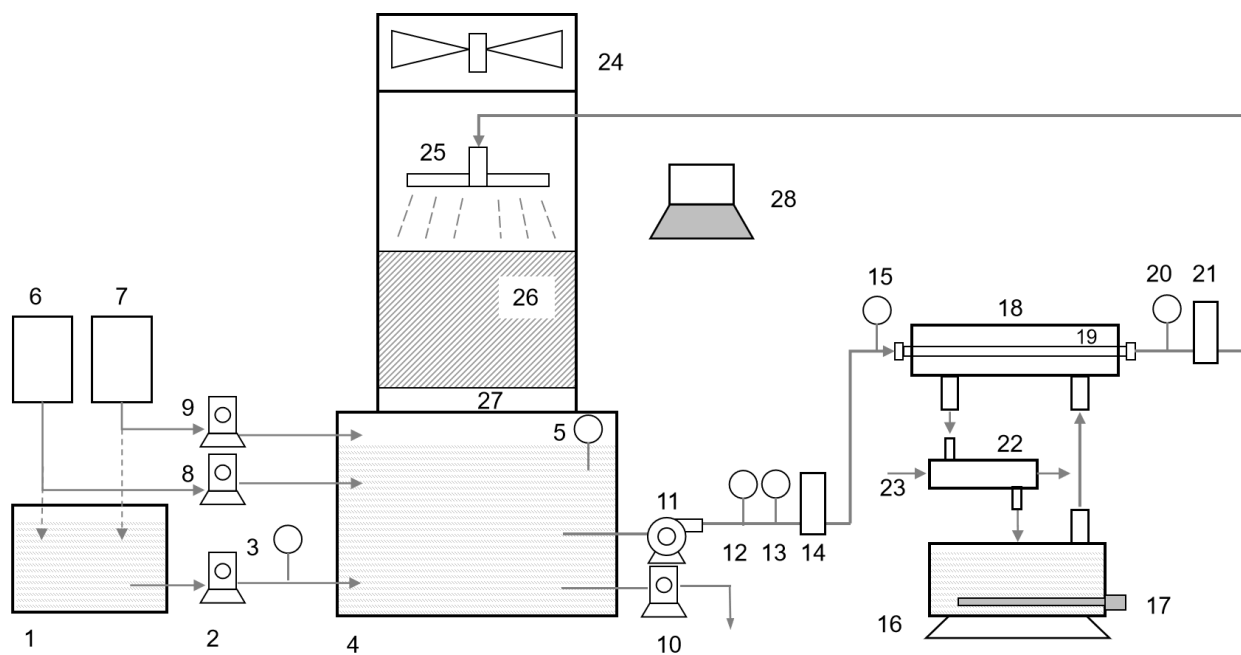
4 方法提要

在实验室给定条件下，用常压饱和水蒸汽或电加热水加热模拟换热器，模拟冷却水现场的流速、水质、流态、换热材质、换热强度、冷却水进出口温度、浓缩倍数、pH值、电导率值、水处理剂添加浓度等主要工艺参数，综合评定水处理剂的缓蚀、阻垢和菌藻控制性能。

5 试验装置

5.1 装置组成

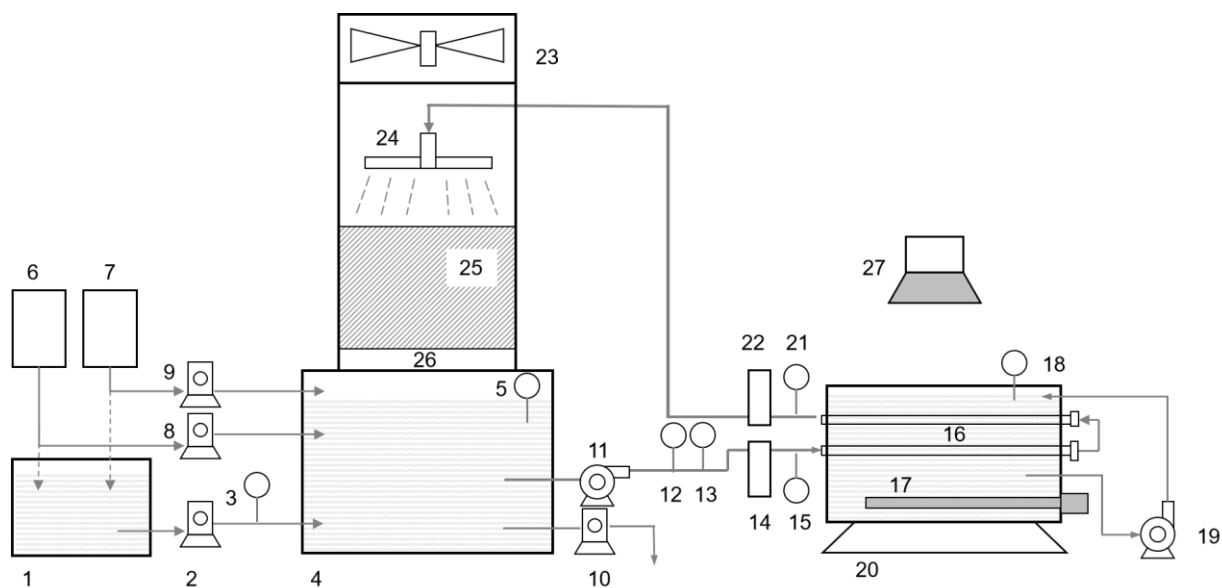
装置主要由模拟换热系统、冷却塔系统、热介质发生系统、水路系统以及过程控制系统组成。对于换热温度和强度相对大的试验，热介质采用常压饱和水蒸汽，示意图见图1；换热温度和强度相对小的试验，热介质采用热水，示意图见图2。



标引序号说明：

- 1——补水箱；
- 2——补水控制；
- 3——补水水质传感器；
- 4——集水池；
- 5——液位传感器；
- 6——药剂 1；
- 7——药剂 2；
- 8——加药泵 1；
- 9——加药泵 2；
- 10——排水控制；
- 11——主循环泵；
- 12——循环水水质传感器；
- 13——流量计/传感器；
- 14——进口腐蚀挂片架；
- 15——进口温度计/传感器；
- 16——常压蒸汽锅炉；
- 17——电加热器；
- 18——模拟换热器；
- 19——换热管；
- 20——出口温度计/传感器；
- 21——出口腐蚀挂片架；
- 22——冷凝器；
- 23——冷凝器冷却水；
- 24——轴流风机；
- 25——旋转喷淋；
- 26——填料；
- 27——进风口；
- 28——控制系统。

图 1 冷却水动态模拟试验装置示意图（常压饱和蒸汽加热）



标引序号说明：

- 1——补水箱；
- 2——补水控制；
- 3——补水水质传感器；
- 4——集水池；
- 5——液位传感器；
- 6——药剂 1；
- 7——药剂 2；
- 8——加药泵 1；
- 9——加药泵 2；
- 10——排水控制；
- 11——主循环泵；
- 12——循环水水质传感器；
- 13——流量计/传感器；
- 14——进口腐蚀挂片架；
- 15——进水温度计/传感器；
- 16——换热管；
- 17——电加热器；
- 18——热水温度计/传感器；
- 19——热水循环泵；
- 20——模拟换热器（电热）；
- 21——出水温度计/传感器；
- 22——出口腐蚀挂片架；
- 23——轴流风机；
- 24——旋转喷淋；
- 25——填料；
- 26——进风口；
- 27——控制系统。

图2 冷却水动态模拟试验装置示意图（热水加热）

5.2 模拟换热系统

5.2.1 模拟换热器

5.2.1.1 由耐腐蚀的金属材料制造，外壁有良好的保温层。

5.2.1.2 根据实际工况，热介质可选择常压饱和蒸汽或热水。

5.2.1.3 模拟换热器的有效长度根据试验管长度而定，一般不小于 700mm。

5.2.2 试验管

5.2.2.1 尺寸：DN19mm×2mm 无缝金属管组成，其有效换热长度不小于 570mm。也可根据需要采用其它尺寸的试验管。试验管可根据实际需要采用单根，或多根串联方式。

5.2.2.2 材质：20 号优质碳素钢，亦可选用与所模拟现场设备相同的金属材料。

5.2.2.3 内壁要求无麻点、裂纹、锈蚀等明显的缺陷，黑色金属试管外壁镀硬铬，其他材质试管视其在具体热介质中的耐蚀性选取适宜的防腐措施。

5.2.3 密封接头

5.2.3.1 材质：聚四氟乙烯或耐温>150℃的非金属材料。

5.3 冷却塔系统

5.3.1 集水池

5.3.1.1 容积：一般按循环冷却水每小时用量的 1/5~1/3 计算。

5.3.1.2 材质：工程塑料或不锈钢材料。

5.3.2 冷却塔

5.3.2.1 尺寸：应根据当地气温、湿度和工艺温差确定。通常直径为 300mm、高 1500mm，填料高度为其塔身的 3/4 左右，冷却降温幅度可达 10℃~15℃。

5.3.2.2 材质：有机玻璃等工程塑料。

5.3.2.3 填料：聚丙烯多孔球， $\Phi 38\text{mm}$ 或其他冷却塔常用填料。

5.3.3 风机

全封闭轴流防湿风机，通风量不小于 3700m³/h，可采用变频器控制风量。

5.3.4 水泵

一般采用扬程 16m，流量 1.6m³/h，耐腐蚀泵。宜采用变频器进行控制。

5.4 热介质发生系统

5.4.1 常压饱和蒸汽系统

5.4.1.1 体积：电热蒸汽炉的体积为 70L。

5.4.1.2 功率：电热蒸汽炉电热棒的功率为 15kW·A。

5.4.1.3 材质：电热蒸汽炉炉体、电热棒、过量蒸汽冷凝器及相应连接管路的材质均应为耐腐蚀金属材料。

5.4.2 热水系统

5.4.2.1 热水系统宜采用电加热，加热功率不小于 15 kW，电热棒应采用耐腐蚀金属材料。

5.4.2.2 热水系统可单独设置或与换热器合并设置。

5.4.2.3 热水系统应设置热水泵循环系统，保证换热管热水侧流速不低于 0.5m/s 水温均匀稳定。

5.4.2.4 相应连接管路材质应采用耐腐蚀金属材料。

5.4.2.5 热水水质应采用非结垢性水源，如去离子水等。

5.5 过程控制系统

5.5.1 测温元件：Pt100 型铂电阻（分辨率小于 0.1℃），也可用水银温度计（分度值 0.1℃）。

5.5.2 流量计：电子式流量计（如涡流或电磁流量计），精度优于±1%。也可用转子流量计，最小分度值小于控制值±2%，安装时应考虑便于拆卸清洗。

5.5.3 对于需要控制浓缩倍数、调 pH 值的循环水系统，应具备电导率值、pH 值在线检测和控制功能。

5.5.4 对于需要监控药剂浓度的循环水系统，应具备在线监控药剂浓度的功能。

5.5.5 循环水系统能自动补水。集水池应配有自动液位控制系统。

5.5.6 试验过程中，采用计算机或 PLC 控制和处理数据。系统自动测控冷却水流量，保持流量恒定，其精度为流量的±1%；自动测控模拟换热器入口水温，其精度为±0.2℃；自动测控冷却水 pH 值，其

- 精度为 ± 0.2 ；自动测控冷却水电导率值，其精度由工艺条件决定。
- 5.5.7 系统可显示和记录冷却水瞬时流量，模拟换热器入口水温、出口水温、温差，热介质温度、pH 值、电导率值和瞬时污垢热阻值等，以及相对应的过程曲线。
- 5.5.8 在线检测仪表应定期校准，正式试验前要进行工况条件控制性能的确认，确保结果准确性和有效性。
- 5.5.9 应实现稳定可靠的过程控制，特别是保障夜间运行时的系统安全和数据可靠，宜采用全自动方式，可实现无人值守；并在运行周期中。
- 5.5.10 采用手工或自动检测的方式对循环水系统的水处理剂浓度进行定期监测，并根据需要进行控制。

5.6 水路系统

管道采用耐蚀管材（PPR_i、UPVC 或 ABS 工程塑料管）。

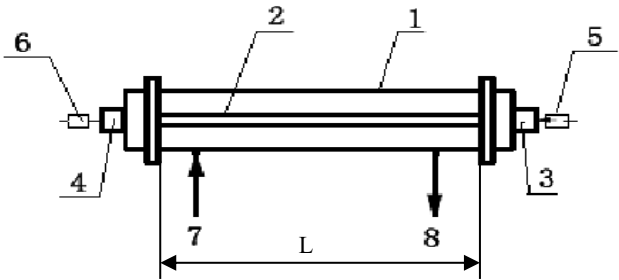
6 试验水质

- 6.1 试验水质采用实际工况用水，若无法采用时，可根据水中主要成分配水。
- 6.2 应对配制水主要成分的含量进行分析。

7 试验准备

7.1 试验管前处理

- 7.1.1 选管：根据工艺条件，选择相应的材质、管径。密封好后的试验管其长度不得大于模拟换热器长度。
- 7.1.2 内表面处理：先用粗砂纸[通常粒度为 60（2 号）]将试验管内坑蚀、点蚀磨平，再用细砂纸[通常粒度为 150（2/0 号）]进一步打磨，然后按 GB/T 5776—2005 附录 A 对试验管进行清洗。在无特殊要求下，试验管内表面状况良好，经水冲洗、无水乙醇处理干燥后，可直接使用。
- 7.1.3 称量：碳钢及低合金钢材质，称准至 1mg；耐蚀材料称准至 0.5mg。如用大口径试验管时，可称准至 5mg。
- 7.1.4 装管和测量尺寸：测量模拟换热器内端长度 L ，准确到 1mm，见图 3。将已称过的试验管（5.2.2）与接头（5.2.3）连接。检查连接处是否漏水。



- 标引序号说明：
- 1——模拟换热器；
- 2——试验管；
- 3——入口密封接头；
- 4——出口密封接头；
- 5——入口感温件；
- 6——出口感温件；
- 7——换热蒸汽入口；
- 8——换热蒸汽出口。

图 3 模拟换热器内试验管有效传热长度示意图

- 7.1.5 记录：将试验管的质量、长度、腐蚀面积、传热面积分别记录在附录 A 表 A.3 的表格中。

7.2 仪表的校正

应事先对流量、温度、pH值、电导率值、药剂浓度等计量仪表进行校正。

7.3 清洗

每次试验前用自来水进行系统清洗。需要时亦可用2%盐酸溶液（含1%六次甲基四胺）进行清洗。清洗时，水走旁路，不经过模拟换热器。

7.4 预膜及水处理剂投加方式

试验管若要预膜时，可待上述7.1~7.3工作完毕后，直接一次性投加预膜剂于集水池中。正常运行时，必须均匀的投加水处理剂于集水池中。

8 试验步骤

8.1 开停机

无论热水加热还是饱和蒸汽加热，每次开机时，必须先开启冷却水循环水泵，然后再开启热水或蒸汽加热系统；停机时应先停止加热，不停风机，继续循环运行 30min，然后再停水泵。

8.2 清洁管热阻测定

待蒸汽/热水温度、冷却水流量和入口水温达到规定值，并稳定2h~6h后，可每隔15min~30min测量冷却水进出口温度和蒸汽/热水温度共8次，测量时应严格地将流量、入口水温、蒸汽/热水温度控制在规定值。用数理统计方法舍去其中异常值，求出其算术平均值。

清洁管热阻以 r 表示，单位为 $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ，按式(1)计算：

$$r = \frac{\pi d_i l \times 3600}{4186.8 G} \left(\frac{T - t'_{\text{进}}}{t'_{\text{出}} - t'_{\text{进}}} - \frac{1}{2} \right) = \frac{0.86 \pi d_i l}{G} \left(\frac{T - t'_{\text{进}}}{t'_{\text{出}} - t'_{\text{进}}} - \frac{1}{2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

r ——清洁管热阻，单位为平方米·摄氏度每瓦（ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ）；

d_i ——试管内径，单位为米（m）；

G ——冷却水流量，单位为千克每小时（kg/h）；

T ——蒸汽/热水温度，单位为摄氏度（ $^\circ\text{C}$ ）；

$t'_{\text{进}}$ ——冷却水进口温度，单位为摄氏度（ $^\circ\text{C}$ ）；

$t'_{\text{出}}$ ——冷却水出口温度，单位为摄氏度（ $^\circ\text{C}$ ）；

4186.8——水的热容，单位为焦耳每千克·摄氏度[J/(kg· $^\circ\text{C}$)]；

l ——试验管有效换热长度，单位为米（m）；

3600——从小时换算为秒的数值。

8.3 瞬时污垢热阻测定

测定清洁管热阻 r 后，可每隔2h按8.2方法测定瞬时污垢热阻（ r_{si} ），瞬时污垢热阻以 r_{si} 表示，单位为 $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ，按式(2)计算：

$$r_{\text{si}} = \frac{0.86 \pi d_i L}{G} \left(\frac{T - t_{\text{进}}}{t_{\text{出}} - t_{\text{进}}} - \frac{1}{2} \right) - r \dots\dots\dots (2)$$

式中：

r_{si} ——瞬时污垢热阻，单位为平方米·摄氏度每瓦（ $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ）；

d_i ——试管内径，单位为米（m）；

G ——冷却水流量，单位为千克每小时（kg/h）；

T ——蒸汽/热水温度，单位为摄氏度（ $^\circ\text{C}$ ）；

$t_{\text{进}}$ ——冷却水瞬时进口温度，单位为摄氏度（ $^\circ\text{C}$ ）；

$t_{\text{出}}$ ——冷却水瞬时出口温度，单位为摄氏度（ $^\circ\text{C}$ ）；

L ——试验管有效换热长度，单位为米（m）。

8.4 浓缩倍数、极限碳酸盐硬度、蒸发量和细菌数量的测定

8.4.1 在不排污情况下，每隔 2h 按 GB/T 15453、GB/T 14640 和 GB/T 15452 测定氯化物、钾离子和总硬度：

- a) 总硬度 (Y)；
- b) 钾离子，浓缩倍数以 K^+ 计；
- c) 无药剂干扰时，亦可选用氯离子，浓缩倍数以 Cl^- 计。

8.4.2 浓缩倍数的计算：冷却水中浓缩倍数 (N) 可按式(3)计算：

$$N = \frac{\rho_{\text{循}}}{\rho_{\text{补}}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$\rho_{\text{循}}$ —循环冷却水中钾离子（或氯离子）的质量浓度的数值，单位为毫克每升 (mg/L)；

$\rho_{\text{补}}$ —补充水中钾离子（或氯离子）的质量浓度的数值，单位为毫克每升 (mg/L)。

8.4.3 极限碳酸盐硬度的计算：总硬度的瞬时浓缩倍数与按式 (3) 求得的瞬时浓缩倍数之差的绝对值 ΔB ，按式(4)计算。当 $\Delta B=0.2$ 时， $[Y_{\text{循}}]'$ 即为极限碳酸盐硬度 (Y)。

$$\Delta B = N' - \frac{[Y_{\text{循}}]'}{[Y_{\text{补}}]} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

N' ——循环冷却水瞬时浓缩倍数；

$[Y_{\text{循}}]'$ ——循环冷却水瞬时总硬度的质量浓度的数值，以 $CaCO_3$ 计，单位为毫克每升 (mg/L)；

$[Y_{\text{补}}]$ ——补充水瞬时总硬度的质量浓度的数值，以 $CaCO_3$ 计，单位为毫克每升 (mg/L)。

8.4.4 蒸发水量的计算：以 m^3/h 表示的循环冷却水蒸发水量 (Q_e) 可按附录 C 中 C.2 计算。

8.4.5 细菌数量的检测：根据试验需要，可按照 GB/T 14643.1 或者 SY/T 5329 的方法进行异养菌、铁细菌等细菌的检测。

8.5 排污水量和补充水量的计算

以 m^3/h 表示的排污水量 (Q_b) 和补充水量 (Q_m) 可按附录 C 中 C.3 计算。

8.6 分析测定项目

除钾离子、氯化物、pH值、碱度和总硬度必须测定外，其余分析测定项目可根据工艺要求自行决定。

8.7 试验周期

连续试验周期不得少于15天，以瞬时污垢热阻值稳定48h不再增长作为试验结束的依据。试验过程中若出现故障，冷却水循环中断次数不得大于2次，每次时间不得大于6h。

9 试验后处理

9.1 试验结束后，将试验管取下，观察腐蚀和结垢情况，分别测定污垢化学成分，年污垢热阻 r_{si}^* ，污垢沉积率 mcm ，平均垢厚 X ，垢层密度 ρ 和腐蚀率 B ，局部腐蚀深度。

9.2 将试验管一端紧压在橡皮胶板上，另一端用滴定管加入蒸馏水至试验管充满水，量取体积为 V_1 ；将水放出后，试验管在 $105^\circ C$ 鼓风烘箱中干燥至恒量，其质量为 G_2 。

9.3 用不锈钢匙轻刮烘干后管内污垢，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 方法测定污垢的成分。

9.4 上述试验管再按附录 B 的方法进行处理。

9.5 再按 9.2 方法量取体积并称量，其体积和质量分别为 V_2 和 G_3 。

9.6 将试验管剖开，详细观察记录腐蚀形貌，典型的试样应进行拍照。

10 结果计算

10.1 腐蚀

10.1.1 以 mm/a 表示的年腐蚀率 (B) 按式(5)计算:

$$B = \frac{KG}{ATD} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

K —— 3.65×10^3 ;

G ——试管腐蚀后减少的质量, 单位为克 (g);

T ——试验时间, 单位为天 (d);

A ——试管腐蚀面积, 单位为平方厘米 (cm²);

D ——金属密度, 单位为克每立方厘米 (g/cm³) (碳钢7.85, 铜8.94, 黄铜8.65, 不锈钢7.92)。

10.1.2 以 mm 表示的局部腐蚀深度, 包括平均深度及最大深度, 其测定方法见附录 C 中 C.1.3。

10.2 污垢

10.2.1 以 mg/(cm²·月) 表示的污垢沉积率 (mcm) 按式(6)计算:

$$mcm = \frac{30(G_2 - G_3)}{AT} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

G_2 ——试验管试验后的质量, 单位为毫克 (mg);

G_3 ——试验管去除污垢后的质量, 单位为毫克 (mg);

A ——试验管内表面的面积, 单位为平方厘米 (cm²);

T ——试验时间, 单位为天 (d)。

10.2.2 以 m²·°C/W 表示的年污垢热阻 (r_{si}^*) 按下列方法测定和计算:

a) 曲线法: 按8.3测出的瞬时污垢热阻 r_{si} , 用数理统计方法舍去异常值, 以 r_{si} 为纵坐标, 相应的时间 (d) 为横坐标, 绘制污垢热阻-时间曲线, 然后取图中平滑曲线最高的 r_{si} 值乘1.1即为年污垢热阻 (r_{si}^*), 如图4所示。

b) 两点法: 从图4中选择既接近平滑曲线又靠近实测曲线的两个点。这两个点必须符合 d_3 (天数) = $2d_1$ (天数), 然后按式(7)计算年污垢热阻 r_{si}^* :

$$r_{si}^* = \frac{r_{si}^2(d_i)}{2r_{si}(d_1) - r_{si}(d_3)} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$r_{si}(d_1)$ ——运行 d_1 时间的瞬时污垢热阻, 单位为平方米·摄氏度每瓦 (m²·°C/W);

$r_{si}(d_3)$ ——运行 d_3 时间的瞬时污垢热阻, 单位为平方米·摄氏度每瓦 (m²·°C/W)。

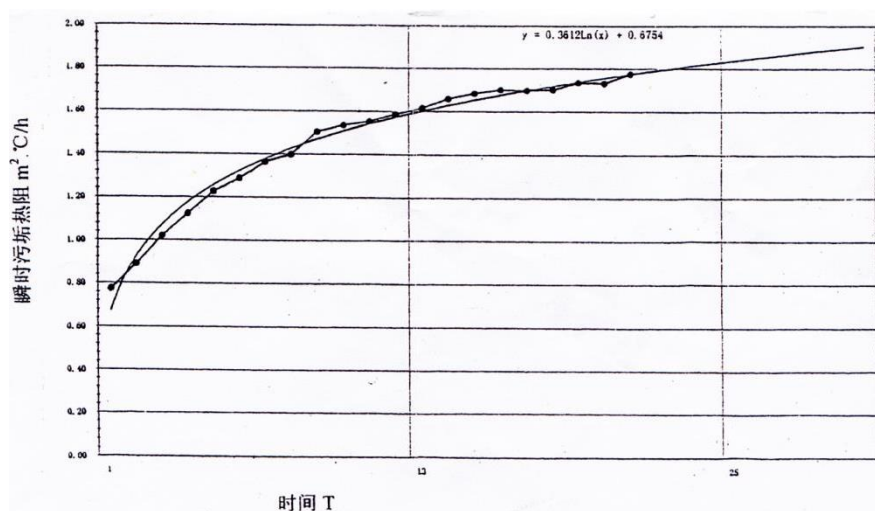


图4 污垢热阻-时间曲线

10.2.3 平均垢厚(X)按附录 C 中 C.1 计算。

10.2.4 垢密度(ρ)按附录 C 中 C.2 计算。

10.2.5 污垢化学成分按 HG/T 3531、HG/T 3532、HG/T 3533、HG/T 3534、HG/T 3535 和 HG/T 3536 规定的测定方法进行测定。

11 试验报告主要内容

11.1 试验管材质、牌号、尺寸和处理方式等。

11.2 工艺参数：如浓缩倍数，pH 值，水处理剂含量控制范围，传热面积，冷却水进出口温差，换热强度等。

11.3 水质分析。

11.4 试验结果。

附 录 A
(规范性)
记录表格式

表 A.1 水质及水处理剂分析报表 mg/L

水质成分分析		水处理剂成分分析	
测定项目	含量	测定项目	含量

表 A.2 动态模拟试验原始数据记录表

测定项目 测定时间	热介质 温度 ℃	冷却水入口 温度 ℃	冷却水出口 温度 ℃	温差 (Δt) ℃	流量 kg/h	浓缩倍数 N	瞬时污垢热阻 m ² ·℃/w

表 A.3 动态模拟试验原始记录表

测定项目	
预膜条件	
试验管长度 l/m	
试验管腐蚀面积（内径） A/cm^2	
试验管原重 G_1/mg	
试验管试验后重 G_2/mg	
污垢增重 $(G_2-G_3)/\text{mg}$	
试验管去污垢后重 G_3/mg	
腐蚀失重 $(G_1-G_3)/\text{mg}$	
腐蚀率 $B/(\text{mm}/\text{年})$	
试验管试验后体积 V_1/mL	
试验管去垢后体积 V_2/mL	
体积差 $(V_2-V_1)/\text{mL}$	
传热面积 F/m^2	
垢密度 $\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	
平均垢厚 X/mm	
污垢沉积率 $mcm/(\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{月})$	
年污垢热阻 $/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W})$	

附录 B

(规范性)

不同材质试验管内表面后处理方法

B.1 钢

B.1.1 将已刮去大部分污垢和腐蚀产物的试验管，一端紧压在橡皮胶板上，另一端用滴管小心加入盐酸溶液（配制方法：盐酸500mL，六次甲基四胺40g，加水至1L），直至除净污垢和腐蚀产物为止，但不得破坏试验管外镀铬层，并立即用自来水冲洗至中性。

B.1.2 用80g/L氢氧化钠溶液中和，再用自来水冲洗干净。

B.1.3 放入无水乙醇中浸泡1min~2min。

B.1.4 取出后及时用电吹风吹干，放在干燥器中1h后称量。

B.2 不锈钢

操作步骤同B.1，将盐酸溶液改为硝酸溶液（配制方法：硝酸100mL，加水至1L）并在60℃下浸泡20min。

B.3 铝和铝合金

操作步骤同B.1，将盐酸溶液改为磷酸溶液[配制方法：磷酸50mL，铬酐（CrO₃）20g，加水至1L]，并在80℃~90℃下浸泡10min。

B.4 铜和铜合金

操作步骤同B.1，将盐酸溶液改为硫酸溶液（配制方法：900mL水中缓慢加入100mL硫酸并混匀）并在室温下浸泡1min~3min。

附录 C

(规范性)

试验结果和蒸发水量、补充水量、排污水量的计算

C.1 试验结果的计算

C.1.1 平均垢厚

以mm表示平均垢厚 (X) 按式 (C.1) 计算:

$$X = \frac{D}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{V_1}{V_2}} \right) \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

 D ——去除污垢后的试验管内径, 单位为毫米 (mm); V_1 ——试验后试验管的体积, 单位为毫升 (mL); V_2 ——试验管去除污垢后的体积, 单位为毫升 (mL)。

C.1.2 垢的密度

以g/cm³表示垢的密度 (ρ) 按式 (C.2) 计算:

$$\rho = \frac{G_2 - G_3}{V_2 - V_1} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

 G_2 ——试验后试验管的质量, 单位为克 (g); G_3 ——去除污垢后试验管的质量, 单位为克 (g); V_1 ——试验后试验管的体积, 单位为毫升 (mL); V_2 ——试验管去除污垢后体积, 单位为毫升 (mL)。

C.1.3 局部腐蚀深度的测定

C.1.3.1 试验管剖开后, 选5个最深蚀坑。

C.1.3.2 用玻璃板做标准板 (厚度均匀, 其公差 ± 0.01 mm, 尺寸80 mm \times 30 mm) 以千分表或点蚀仪进行测定。

C.1.3.3 试验管5个最大蚀坑深度平均值为最大坑深值。

C.2 蒸发水量的测定

在系统不排污的情况下, 记录补充水槽液位高度 (cm) 和时间 t_1 (h); 待补充水槽液位下降至零时, 对应的时间为 t_2 (h), 以 m³/h 表示的蒸发水量 (Q_e) 按式 (C.3) 计算:

$$Q_e = \frac{A \cdot H}{10^6 (t_2 - t_1)} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

 A ——补充水槽面积, 单位为平方厘米 (cm²); H ——补充水槽高度, 单位为厘米 (cm); t_1 ——开始记录的时间, 单位为小时 (h); t_2 ——液位下降至零时记录的时间, 单位为小时 (h)。

C.3 排污水量和补充水量的计算

以m³/h表示的排污水量 Q_b 和补充水量 Q_m 可分别按式 (C.4) 和 (C.5) 计算:

$$Q_m = Q_e \frac{N}{N-1} \dots\dots\dots (C.4)$$

$$Q_b = Q_m - Q_e \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

 Q_e ——蒸发水量, 单位为立方米每小时 (m³/h);

N ——循环冷却水浓缩倍数。
