

ICS 27.100

K 59

备案号: 33095-2011

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 300 — 2011

火电厂凝汽器管防腐防垢导则

Guideline for anti-corrosion and anti-fouling of condenser tube in power plant

2011-07-28 发布

2011-11-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 总则	1
4 水质的确定	1
4.1 水源水质	1
4.2 循环冷却水水质	2
5 循环冷却水处理	3
5.1 防垢处理	3
5.2 防腐蚀处理	3
5.3 微生物控制	3
5.4 其他	4
6 直流冷却水处理	4
7 运行监督	4
7.1 取样检测项目和频度	4
7.2 在线连续监测	4
7.3 运行控制指标	4
8 停运维护	5
8.1 杀菌灭藻	5
8.2 放水、风干	5
8.3 清理	5
8.4 凝汽器管检查	5
8.5 化学清洗	5
9 效果评价	6
10 记录	6
附录 A (资料性附录) 水源水质分析项目	7
附录 B (资料性附录) 阻垢剂性能评定方法	8
附录 C (资料性附录) 循环水防垢处理参数控制	11
附录 D (资料性附录) 杀菌灭藻剂的使用方法	14
附录 E (资料性附录) 细菌检测方法	16
附录 F (资料性附录) 循环水运行在线监测	17
附录 G (资料性附录) 凝汽器管腐蚀或结垢故障分析与处理	19

前 言

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电厂化学标准技术委员会归口。

本标准的主要起草单位：河南电力试验研究院、华电国际电力股份有限公司。

参加起草单位：河北省电力研究院。

本标准的主要起草人：吴文龙、张春雷、马天忠、孙心利、张小霓、李献敏、石景燕。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

火电厂凝汽器管防腐防垢导则

1 范围

本标准规定了火电厂凝汽器管防腐防垢的技术要求，包括凝汽器冷却水水质、处理工艺、运行控制，凝汽器管停用保护、效果评价方法。

本标准适用于以地下水、地表水和再生水作冷却水源的火电厂。海水冷却的火电厂参照执行。

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 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 18175 水处理剂缓蚀性能的测定 旋转挂片法

GB 50021—2001 岩土工程勘察规范

GB 50050 工业循环冷却水处理设计规范

DL/T 712 发电厂凝汽器及辅机冷却器选材导则

DL/T 957 火力发电厂凝汽器化学清洗及成膜导则

DL/T 1115 火力发电厂机组大修化学检查导则

DL/T 5068 火力发电厂化学设计技术规程

3 总则

3.1 凝汽器管的防腐防垢涉及设计、安装、运行全过程，因此，其工艺应通过静态试验、动态模拟试验和现场调试确定。

3.2 循环水处理系统和工艺设计应符合 GB 50050 的规定。

3.3 凝汽器管材的选择、检验、运输、保管等质量保证措施应符合 DL/T 712 的要求。

3.4 循环水处理工艺的选择应防止冷却塔内填料等部位结垢。

3.5 应采取杀菌灭藻、旁流过滤、胶球清洗、连续排污等措施保证凝汽器管内表面和循环水系统的清洁。

3.6 采用再生水作为补充水时，应采取防止氨氮硝化反应对循环水系统腐蚀的措施。

4 水质的确定

4.1 水源水质

4.1.1 火电厂设计时，应取得不少于一年的逐月（季）的冷却水水源水质资料。水质项目参见附录 A。

4.1.2 补充水为地表水时，还应分析上游水质污染的变化趋势。对含有泥砂的地表水，应对其含砂量进行测定，并注意泥砂的粒径及形状特性。

4.1.3 补充水为再生水时，还应针对不同时间段分别进行取样分析，观测再生水水质的稳定性。检测的主要项目为总磷、氨氮、BOD₅、COD、硬度、碱度、硫酸根、氯离子、油类。

4.1.4 补充水为再生水时，应满足表 1 的要求，深度处理工艺应结合循环水处理工艺进行模拟试验后

确定。

表1 再生水水质要求

项 目	单 位	指 标
pH 值		6.0~9.0
浊度	NTU	10
BOD ₅	mg/L	≤10
COD _{Cr}	mg/L	≤50
氨氮 ^a	mg/L	≤5
总磷（以 P 计）	mg/L	≤1
细菌总数	个/mL	≤500
悬浮物	mg/L	100

注：当凝汽器等换热器为铜材质时，氨氮应小于 1mg/L

4.1.5 应通过对水源水质结垢性和腐蚀性的评价分析，以逐月（季）水质分析数据的平均值作为补充水水质设计依据，并以最差的水质进行校核。

4.1.6 当有多种水源可选择时，应根据水质情况、循环水处理工艺、环保要求、水质的稳定性和水源的可靠性等因素进行综合分析，并经过技术经济比较确定水源选择方案。

4.2 循环冷却水水质

4.2.1 应根据电厂的水源、补充水水质、环保指标、冷却水系统腐蚀与防护措施及水处理工艺等因素经技术经济比较确定循环水的最佳浓缩倍率。

4.2.2 应根据浓缩倍率和补充水水质估算循环水中各离子含量，作为凝汽器及其辅机冷却水管、循环水管道、冷却塔等材料选择以及循环冷却水处理的依据。

4.2.3 循环水的氯离子浓度、钙离子浓度、镁离子浓度、硫酸根浓度、溶解固形物等指标应按补充水中各自的浓度乘以浓缩倍率估算，碱度、悬浮物、COD、BOD₅、硫离子、铵离子和氨氮等应通过模拟试验或参照同类型运行电厂实际水质来确定。

4.2.4 循环水水质控制指标见表 2。

表 2 循环水水质控制指标

项 目	单 位	参 考 标 准
pH 值		8.0~9.0
悬浮物	mg/L	≤100
铜离子（凝汽器为铜管）	μg/L	≤40
总有机磷（以 PO ₄ ³⁻ 计）	mg/L	1~3
总铁	mg/L	≤0.5
细菌总数	个/mL	≤1×10 ⁵ ，期望值≤1×10 ⁴
浓缩倍率	天然水	3~6
	再生水	2~5
余氯（连续式加药时）	mg/L	0.1~0.3

5 循环冷却水处理

5.1 防垢处理

5.1.1 常用的循环水水质处理方式有石灰处理、弱酸离子交换处理、加酸处理、纳滤处理、反渗透处理等工艺，见表3。

表3 几种防垢处理方法的处理能力和适用范围

处理方法	处理能力	适用范围
石灰处理	去除水中暂硬、游离二氧化碳和镁的非碳酸盐硬度、铁和硅的化合物	碳酸盐硬度高的水质
弱酸离子交换处理	去除水中的硬度和碱度	暂硬和碱度较高的水质
加酸处理	降低水中的重碳酸根离子	碱度较高的水质
纳滤处理	去除水中二价金属离子	硬度较高的水质
反渗透处理	去除水中的溶解固形物	含盐量高的水质、排污水回用

5.1.2 应根据具体水质情况，进行经济和技术比较，确定处理工艺。常用的处理工艺见表4。

表4 常用防垢处理工艺的适用水质及特点

处理工艺	适用水质	特点
阻垢分散（阻垢、分散、缓蚀剂复合）	范围广	浓缩倍率一般不高于3.0，工艺简单，一次性投资低
H ₂ SO ₄ +阻垢分散	原水碳酸盐硬度较高的水	浓缩倍率较高，控制复杂，系统需防腐处理
石灰处理+阻垢分散	原水碳酸盐硬度较高、浊度及有机物较大的水	浓缩倍率较高，系统复杂，一次性投资高，运行及维护工作量大，运行费用高
弱酸离子交换法+阻垢分散	原水碳酸盐硬度较高的水	浓缩倍率高，一次性投资高，运行费用高

5.1.3 阻垢分散处理的控制参数和阻垢剂配方选择、性能评价应通过静态阻垢、动态模拟试验，参见附录B。

5.1.4 防垢处理的控制参数参见附录C。

5.2 防腐蚀处理

5.2.1 对于铜合金凝汽器管，应添加铜缓蚀剂。常用的铜缓蚀剂有巯基苯并噻唑（MBT）、苯并三氮唑（BTA）等，可结合水质和使用的杀菌灭藻剂进行选择。宜维持循环水中 MBT 1mg/L~2mg/L 或 BTA 大于 1mg/L。缓蚀剂性能评定方法参照 GB/T 18175。

5.2.2 对于不锈钢凝汽器管和钛管，可不考虑添加缓蚀剂。

5.3 微生物控制

5.3.1 杀菌灭藻剂的选择应满足以下条件：

- 不应与阻垢剂、缓蚀剂等相互干扰；
- 对系统的金属无明显腐蚀作用；
- 药剂的活性不应受水系统 pH 值、温度等因素的干扰；
- 排放后的残余有毒物质应易于降解，符合地方的环保要求。

5.3.2 加药方式应符合下列要求：

- a) 氧化型杀菌灭藻剂宜采用连续投加，非氧化型杀菌灭藻剂宜采用冲击式投加；
- b) 应根据季节变化调整加药量和冲击加药的间隔时间；
- c) 加药点宜设在循环水泵的进水口前；
- d) 杀菌灭藻剂的使用方法参见附录 D。

5.4 其他

5.4.1 应核算循环水的悬浮物含量，当悬浮物含量超过 100mg/L 时，应设计旁流过滤处理，处理水量参照 DL/T 5068 要求执行。

5.4.2 胶球清洗装置应正常投运，清洗效果应满足汽轮机运行的要求，胶球不应堵塞凝汽器管。

5.4.3 循环水系统应连续排污，并维持合适排污量，不宜定期排污。

6 直流冷却水处理

6.1 采用直流冷却方式的凝汽器发现生物污染现象时，应进行杀菌灭藻处理，选用的杀菌灭藻剂不应污染水体。

6.2 采用铜合金材质的凝汽器管，可采用硫酸亚铁镀膜。

7 运行监督

7.1 取样检测项目和频度

取样检测的项目和频度见表 5。

表 5 取样检测的项目和频度

项 目	频 度	项 目	频 度
硫酸根	1 次/周	硬度	2 次/日
浊度	1 次/日	碱度	2 次/日
铜离子（凝汽器管材为铜管时）	1 次/周	总有机磷	1 次/日
COD	1 次/周	细菌总数 ^a	1 次/周
电导率	2 次/日	氨氮	需要时
总铁	1 次/周	pH 值	2 次/日
氯离子	2 次/日	余氯	1 次/日
钙离子	2 次/日	黏泥量	需要时

a 细菌检测方法参见附录 E

7.2 在线连续监测

补充水和循环水应配置电导率表、pH 表，循环水可配置 ORP（氧化还原电位）表计，对再生水回用的电厂补充水应增设氨氮表计。其原则和方法参见附录 F。

7.3 运行控制指标

运行中应控制的项目见表 6。

表6 运行控制项目

项 目	控 制 标 准	适用的处理工艺
浓缩倍率	模拟试验确定	不限
ΔA^a	<0.2	阻垢分散剂处理
ΔB^a	<0.2	阻垢分散剂加酸联合处理
碱度	模拟试验确定	不限
pH 值	8~9	不限
细菌总数	$\leq 1 \times 10^5$ 个/mL	不限
a ΔA 和 ΔB 适合于补充水水质稳定的条件		

ΔA 和 ΔB 的计算见下列公式：

$$\Delta A = \frac{C_{Cl,X}}{C_{Cl,Bu}} - \frac{C_{JD,X}}{C_{JD,Bu}} \quad (1)$$

$$\Delta B = \frac{C_{Cl,X}}{C_{Cl,Bu}} - \frac{C_{Ca,X}}{C_{Ca,Bu}} \quad (2)$$

式中：

$C_{Cl,X}$ ——循环水 Cl^- 浓度，mg/L；

$C_{Cl,Bu}$ ——补充水 Cl^- 浓度，mg/L；

$C_{JD,X}$ ——循环水全碱度，mmol/L；

$C_{JD,Bu}$ ——补充水全碱度，mmol/L；

$C_{Ca,X}$ ——循环水 Ca^{2+} 浓度，mg/L；

$C_{Ca,Bu}$ ——补充水 Ca^{2+} 浓度，mg/L。

8 停运维护

8.1 杀菌灭藻

机组在检修或停运时，停机前应降低循环水运行水位，进行彻底的杀菌处理。对于用氯系作杀菌灭藻剂的机组，应提高循环水中余氯含量至高限，并维持直至停机；对于采用非氧化型杀菌灭藻剂的机组，应一次性投加高限剂量的杀菌灭藻剂。

8.2 放水、风干

机组停机一周以上，应将凝汽器放水、风干。

8.3 清理

8.3.1 机组停机期间，应清理凝汽器水室、冷却塔及填料。

8.3.2 机组投运前，应彻底清扫冷却水系统。冷却水沟道、管道及冷却塔内应无异物，拦污栅应完整，旋转滤网应能有效工作。

8.3.3 凝汽器管内有黏泥或软垢附着时，可采用水冲洗、胶球擦洗方式清除。清洗方法应符合下列要求：

a) 水冲洗：水流速为 2.0m/s~2.5m/s。

b) 胶球擦洗：用水推动胶球对凝汽器管逐根进行擦洗。

8.4 凝汽器管检查

依据 DL/T 1115 规定进行检查。凝汽器管腐蚀或结垢故障分析与处理参见附录 G。

8.5 化学清洗

根据 DL/T 957 规定，垢厚不小于 0.5mm 或污垢导致端差超过 8℃ 时，应进行化学清洗（铜管可进

行镀膜)。不锈钢管不应采用盐酸清洗。

9 效果评价

凝汽器管防腐、防垢效果评价依据 DL/T 1115。

10 记录

凝汽器防腐防垢应建立以下记录：

- a) 凝汽器管材及相关检验；
- b) 凝汽器管道安装图；
- c) 阴极保护或涂胶资料；
- d) 循环水处理规程；
- e) 循环水处理工艺试验报告（动态/静态）；
- f) 循环水处理药剂的验收记录；
- g) 循环水处理日常监督记录；
- h) 循环水处理加药记录；
- i) 胶球清洗系统投运记录；
- j) 凝汽器堵管、换管和抽管记录；
- k) 循环冷却水处理相关设备台账。

附录 A
(资料性附录)
水源水质分析项目

水源水质分析项目见表 A.1。

表 A.1 水源水质分析项目表

水样名称:

外观:

取样地点:

水温:

取样日期:

报告日期:

分析项目	单位	数值	分析项目	单位	数值
K^+	mg/L		S^{2-}	mg/L	
Na^+	mg/L		电导率	$\mu S/cm$	
Ca^{2+}	mg/L		pH 值		
Mg^{2+}	mg/L		悬浮物	mg/L	
Cu^{2+}	mg/L		浊度	NTU	
$Fe^{2+}+Fe^{3+}$	mg/L		溶解氧	mg/L	
Mn^{2+}	mg/L		游离 CO_2	mg/L	
Al^{3+}	mg/L		氨氮	mg/L	
NH_4^+	mg/L		油类	mg/L	
SO_4^{2-}	mg/L		溶解固体	mg/L	
CO_3^{2-}	mg/L		COD	mg/L	
HCO_3^-	mg/L		总硬度	m mol/L	
OH^-	mg/L		总碱度	m mol/L	
Cl^-	mg/L		碳酸盐硬度	m mol/L	
NO_2^-	mg/L		全硅 (以 SiO_2 计)	mg/L	
NO_3^-	mg/L		总磷 (以 PO_4^{3-} 计)	mg/L	
PO_4^{3-}	mg/L		BOD_5	mg/L	

附录 B
(资料性附录)
阻垢剂性能评定方法

B.1 静态阻垢法**B.1.1 碳酸钙沉积法**

用含有一定量碳酸氢根和钙离子的配置水和阻垢剂制备成试液。在(80±1)℃加热条件下,促使碳酸氢钙加速分解为碳酸钙,达到平衡后测定试液中的钙离子浓度。钙离子浓度越大,阻垢剂阻垢性能越好。按式(B.1)计算阻垢剂的阻垢率,即

$$\eta = \frac{C_{Ca,2} - C_{Ca,0}}{C_{Ca,1} - C_{Ca,0}} \times 100\% \quad (\text{B.1})$$

式中:

- η ——阻垢剂的阻垢率;
- $C_{Ca,2}$ ——加入阻垢剂的试液试验后的钙离子浓度, mg/L;
- $C_{Ca,0}$ ——未加阻垢剂的试液试验后的钙离子浓度, mg/L;
- $C_{Ca,1}$ ——试验前水样中的钙离子浓度, mg/L。

试液的离子组成简单,只适合于评价阻垢剂对碳酸钙的阻垢效率,试验结果以阻垢率表示。

B.1.2 极限碳酸盐硬度测试法

将盛有 5L 混合均匀的水样和一定量阻垢剂的玻璃缸放置于(45±1)℃的恒温水浴槽内,蒸发浓缩的同时补充水样,保持玻璃缸内水位不变。

试验中,定期从玻璃缸中取样(相当于工业循环冷却水),测定碱度、钙离子和氯离子浓度。为了保证缸内阻垢剂浓度不变,每次取样后,加入与取样体积相等且加有相同剂量阻垢剂的补充水,试验一直进行到达到极限碳酸盐硬度为止。达到极限碳酸盐硬度的终点判断可由式(1)和式(2)计算。

当 $\Delta A \geq 0.2$ 或 $\Delta B \geq 0.2$ 时,认为试验达到终点,其终点对应的碳酸盐硬度值即为极限碳酸盐硬度。

极限碳酸盐硬度法的试验水样为现场取样或按照现场水质配置的水样,水样、试验水温和循环水实际用水、水温等条件较接近,可以作为动态模拟试验前的阻垢剂筛选试验。

B.2 动态模拟试验法

动态模拟试验是实验室评定缓蚀阻垢剂配方的综合性测试方法。该方法模拟了生产装置换热器的材质、壁温及冷却水的流动状态,可以测定腐蚀、结垢数据,其流程示意图见图 B.1。

试验装置流程为:冷却水由循环水箱经水泵,通过流量计进入模拟换热器,冷却水走凝汽器管内,换热后的冷却水进入冷却塔,经风冷后进入循环水槽,循环再使用。补充水(加阻垢缓蚀剂)由补充水箱经浮球阀入水口进入循环水箱,由浮球阀自动控制液面。

试验用水直接采用现场补充水或按现场水质进行配制,试验用的凝汽器管宜从现场抽取,或采用相同材质。在静态阻垢试验、腐蚀试验筛选的基础上,进一步确定参数和工艺条件,试验周期一般为 7 天~14 天。试验结束后,将试验用凝汽器管取出剖管,检查结垢和腐蚀情况,测定结垢速率等。通过挂片称重测定管材的平均腐蚀速率(试验时间以 7 天为宜)。试验过程中可分为两种方式进行:一种是在试验确定的浓缩倍率下运行 7 天,记录相关数据,计算腐蚀和结垢速率,确认结垢及腐蚀状况是否在允许范围内;另一种方法是极限碳酸盐硬度测定法,其计算和判断方法同 B.1.2 的极限碳酸盐硬度测试法。

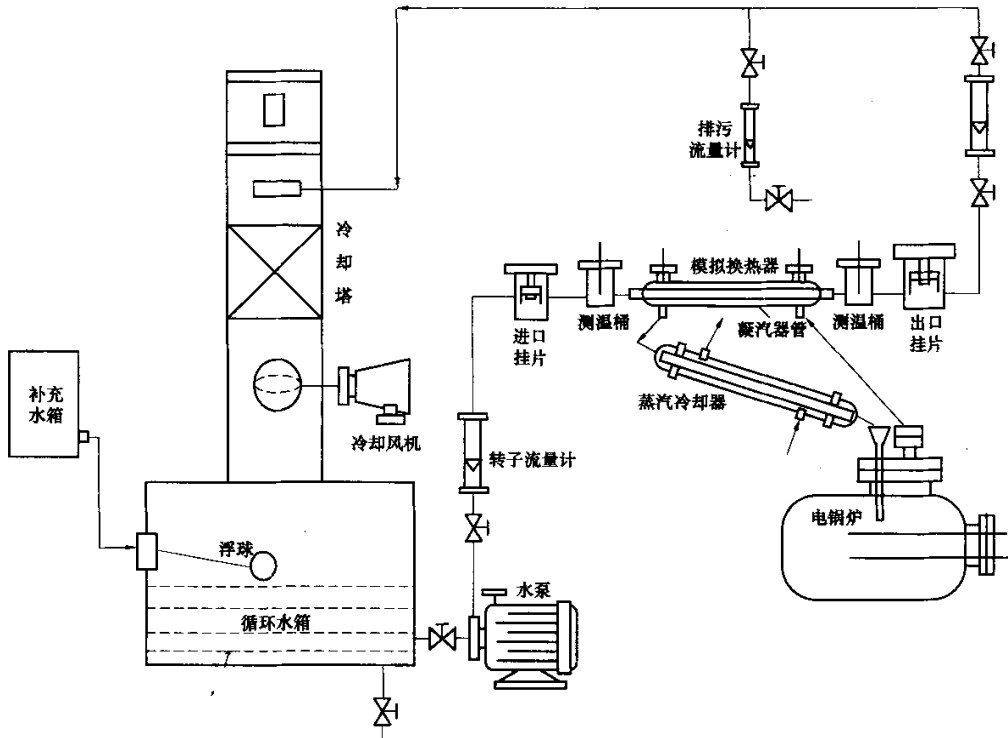


图 B.1 循环水动态模拟设备示意图

动态模拟试验是目前采用的阻垢剂性能评定试验方法中和现场运行状况最接近的试验方法，通过动态模拟试验，可以确定循环水的药剂种类、加药量、运行控制参数。

B.3 动态污垢监测法

其装置与动态模拟试验装置类似，由两部分组成：一部分是循环冷却水系统；另一部分是污垢监测系统。其原理为某时刻水侧的污垢热阻值可根据该时刻凝汽器管的壁温与清洁管壁温差计算。根据记录的壁温曲线变化，计算污垢热阻值。

其原理如下：控制加热元件的热功率不变，使管内热流量 Q 为恒定值。通过严格控制水的流速和进口温度，控制冷却水温保持恒定。管在清洁状态下的热流量 Q 计算见式 (B.2)，即

$$Q = K_C S (T_0 - t_0) \quad (\text{B.2})$$

当凝汽器管结垢状态时， Q 计算见式 (B.3)，即

$$Q = K_f S (T_f - t_0) \quad (\text{B.3})$$

式中：

- Q —— 凝汽器管的热流量，W；
- K_C —— 凝汽器管清洁时的总传热系数，W / (m² · °C)；
- S —— 凝汽器管的外表面积，m²；
- T_0 —— 凝汽器管清洁时的管壁温度，°C；
- t_0 —— 冷却水温度，°C；
- K_f —— 凝汽器管结垢时的总传热系数，W / (m² · °C)；

T_f ——凝汽器管结垢时的管壁温度，℃。

水侧的污垢热阻值 ($\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$) 见式 (B.4)。

$$\text{水侧的污垢热阻值} = \frac{1}{K_f} - \frac{1}{K_c} = \frac{S}{Q} \times (T_f - T_0) \quad (\text{B.4})$$

式 (B.4) 中, S 为固定值, Q 为恒定值, 故某时刻水侧污垢热阻值可以通过该时刻的壁温与清洁管的壁温差计算得到。

附录 C
(资料性附录)
循环水防垢处理参数控制

C.1 石灰处理

C.1.1 石灰加入量

a) 根据原水水质确定加药量。

水中 $C_{YD, Ca} + G > C_{YD}$ 时, 得

$$C_{CaO} = 28 \times [YD + C_{CO_2} + C_{Fe} + G + \alpha] \quad (C.1)$$

水中 $C_{YD, Ca} + G < C_{YD}$ 时, 得

$$C_{CaO} = 28 \times [2YD - YD_{Ca} + C_{CO_2} + C_{Fe} + G + \alpha] \quad (C.2)$$

式中:

G_{CaO} ——石灰的加入量, mg/L;

28——CaO 摩尔质量, mg/mmol (以 $\frac{1}{2}$ CaO 计);

G_{YD} ——原水中的碳酸盐硬度, mmol/L (以 $\frac{1}{2}Ca^{2+} + \frac{1}{2}Mg^{2+}$ 计);

G_{CO_2} ——原水中的游离二氧化碳含量, mmol/L (以 $\frac{1}{2}CO_2$ 计);

G_{Fe} ——原水中的含铁量, mmol/L (以 $\frac{1}{3}Fe^{3+}$ 计);

G ——凝聚剂的加入量, 一般为 0.1mmol/L~0.2mmol/L;

α ——石灰过剩量, 一般为 0.1mmol/L~0.4mmol/L (以 $\frac{1}{2}$ CaO 计);

$C_{YD, Ca}$ ——原水中的钙硬度, mmol/L (以 $\frac{1}{2}Ca^{2+}$ 计)。

b) 根据处理目的确定加药量。

只要求去除水中的 $Ca(HCO_3)_2$ 时, 得

$$C_{CaO} = 28 [C_{Ca(HCO_3)_2} + C_{CO_2}] \quad (C.3)$$

要求同时去除 $Ca(HCO_3)_2$ 和 $Mg(HCO_3)_2$ 时, 得

$$C_{CaO} = 28 \times [C_{Ca(HCO_3)_2} + C_{CO_2} + 2C_{Mg(HCO_3)_2} + C_{NaHCO_3} + \alpha] \quad (C.4)$$

式中:

$C_{Ca(HCO_3)_2}$ 、 $C_{Mg(HCO_3)_2}$ 、 C_{NaHCO_3} ——下标所示物质在原水中的浓度, mmol/L。

石灰处理后, 控制出水过剩氢氧碱度为 0.2mmol/L~0.5mmol/L, 出水 pH 值大于 10.2。

C.1.2 加酸量

石灰处理后, 加酸调节出水的 pH 值 (通常用硫酸调节) 在 6.8~7.5 之间, 加酸量通过模拟试验确定。

C.1.3 助凝剂和混凝剂的选用及投加量

应根据原水水质和循环水水质要求通过模拟试验确定, 注意处理后水中铁离子和铝离子的残留量, 避免将这两种离子带入冷却水系统中。

经过过滤器后，出水浊度应小于 5NTU。

C.2 弱酸离子交换处理

根据设计出水硬度或碱度的平均值，进行弱酸离子交换运行周期的模拟试验，每小时测定出水硬度、碱度（酸度），求所有测定数据的平均值，确定树脂失效时出水的碱度和硬度值。模拟试验确定弱酸离子交换处理的失效碱度、硬度值后，在实际运行中以二者中任一指标作为弱酸树脂失效的判据。

运行工况：正常运行流速宜采用 15m/h~25m/h。

碱度：在一个运行周期内，通常以平均碱度 0.5mmol/L~1.0mmol/L 为失效终点。

硬度：在一个运行周期内，平均碱度到达失效碱度时的硬度，作为失效硬度，应根据试验确定。

C.3 加酸处理

一般选用硫酸。加酸处理必须考虑水塔水泥材料、凝汽器管板材质耐阴离子腐蚀能力，不能一味提高浓缩倍率。

GB 50021—2001 中规定“按环境类型硫酸根含量对混凝土结构的腐蚀性评价”，腐蚀等级分为弱、中、强，环境类型按场地环境地质条件分三类，详见表 C.1。

表 C.1 环境中硫酸根对混凝土结晶性侵蚀的界限值

腐蚀等级	腐蚀介质	环境类型		
		I ^a	II ^b	III ^c
弱	硫酸根含量 SO ₄ ²⁻ mg/L	250~500	500~1500	1500~3000
中		500~1500	1500~3000	3000~6000
强		>1500	>3000	>6000

a I类为高寒区、干旱区直接临水；高寒区、干旱区含水量 $\omega \geq 10\%$ 的强透水土层或含水量 $\omega \geq 20\%$ 的弱透水土层。
b II类为湿润区直接临水，湿润区含水量 $\omega \geq 20\%$ 的强透水土层或含水量 $\omega \geq 30\%$ 的弱透水土层。
c III类为高寒区、干旱区含水量 $\omega < 20\%$ 的弱透水土层或含水量 $\omega < 10\%$ 的强透水土层，湿润区含水量 $\omega \leq 30\%$ 的弱透水土层或含水量 $\omega < 20\%$ 的强透水土层

环境分类中关于环境类型相关内容具体参见 GB 50021—2001 中附录 G。

参照 GB 50021—2001，并结合具体情况，硫酸根对混凝土腐蚀性评价参见表 C.2。

表 C.2 硫酸根对混凝土腐蚀性评价

硫酸根 mg/L	腐蚀性评价
<600	安全区域
600~800	相对安全，但要注意检查混凝土工程情况
800~1500	应根据混凝土所处的地理环境和物理环境，进行评定，并进行相关试验确定后，方可运行
>1500	建议采取其他措施

循环水中 pH 值的控制：循环水 pH 值应控制在 8.0~8.7。加酸点的位置应尽量靠近配酸点，可将酸加入补充水或循环水中。注意加酸点与循环水泵保持一定距离，以免腐蚀循环水泵。加酸点宜选择在循环水前池。

在补充水中加入硫酸的量可按式 (C.5) 计算，即

$$G_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{C_{\text{JD,Bu}} - \frac{C_{\text{JD,X}}}{K}}{1000n} \times Q_{\text{Bu}} \quad (\text{C.5})$$

式中:

$G_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ ——硫酸加入量, kg/h;

$C_{\text{JD,Bu}}$ ——补充水碱度, 以 CaCO_3 计, mg/L;

$C_{\text{JD,X}}$ ——循环水控制碱度, 以 CaCO_3 计, mg/L;

n ——工业硫酸的纯度, 一般 $n=0.90\sim 0.95$;

Q_{Bu} ——补充水量, m^3/h ;

K ——浓缩倍率。

实际过程中的影响因素较多。由于系统的复杂性, 计算结果往往偏低, 故应在理论计算的基础上, 进行模拟试验, 确定加酸量。

宜采用直接加入法, 加酸系统分为喷射器和计量泵。

C.4 阻垢分散剂处理

循环水采用阻垢剂处理方式, 未选用氯系杀菌剂, 补充水水质稳定的条件下, 控制循环水 $\Delta A < 0.2$, ΔA 的计算见式 (1)。

以 ΔA 作为控制循环水日常运行监督的重要指标。当 $\Delta A > 0.2$ 时, 应及时排污或调整加药量 (按照动态模拟试验给出的阻垢剂加药量范围进行调整)。

选用氯系杀菌剂或补充水水质不稳定时, 不能以氯离子作为浓缩倍率计算的依据。当系统没有结垢时, 可以用循环水的电导率或硬度和补充水的电导率或硬度的比值计算浓缩倍率作为参考, 但不能以此计算的浓缩倍率作为控制循环水运行参数的依据。应以动态模拟试验给出的循环水极限碳酸盐硬度等指标作为循环水运行的控制指标。

确定现场运行的浓缩倍率时, 应首先将浓缩倍率降至推荐运行浓缩倍率的 0.8 倍左右, 再逐渐升高, 至 $\Delta A=0.2$ 时, 此时的碳酸盐硬度为极限碳酸盐硬度。日常运行时, 不应高于极限碳酸盐硬度。

C.5 阻垢分散剂和加酸联合处理

循环水采用阻垢剂加酸联合处理方式, 未选用氯系杀菌剂, 补充水水质稳定的条件下, 控制 $\Delta B < 0.2$, ΔB 的计算见式 (2)。

以 ΔB 作为控制循环水日常运行的重要指标。

当选用氯系杀菌剂或补充水水质不稳定时, 应以动态模拟试验给出的循环水的极限碳酸盐硬度等指标作为循环水运行的控制指标。

C.6 阻垢分散剂和弱酸离子交换联合处理

循环水采用阻垢剂和弱酸离子交换联合处理方式时, 不能选用 ΔA 或 ΔB 作为控制参数, 此时必须进行动态模拟试验, 给出循环水的浓缩倍率或极限碳酸盐硬度等指标作为循环水运行的控制指标。

C.7 使用再生水的循环水控制

再生水作为补充水水源时, 水质通常波动较大, 循环水运行控制指标根据再生水深度处理工艺和动态模拟试验确定, 宜采用极限碳酸盐硬度作为循环水的控制指标。

再生水水源碱度、氨氮含量变化大, 对补充水深度处理并加酸的单位, 应根据水源水质的变化调整加酸量; 未设深度处理并加酸的单位, 补充水水源水质变化大时 (循环水 pH 值严重降低), 应向循环水中加碱调节。

附录 D
(资料性附录)
杀菌灭藻剂的使用方法

D.1 氯和次氯酸盐

可采用连续投加或冲击投加方式。连续投加时，宜控制循环水中余氯为 0.1mg/L~0.5mg/L；冲击投加时，宜每天投加 1 次~3 次，每次投加宜控制水中余氯 0.5mg/L~1.0mg/L，保持 2h~3h。

D.2 二氧化氯

当细菌浓度在 10^5 个/mL~ 10^6 个/mL 时，二氧化氯的加入浓度宜为 0.5mg/L。

二氧化氯的杀菌灭藻效果不受水中 pH 值、氨及其他污染物的影响。使用同时不产生氯化胺等有害物质，无二次污染。但其价格昂贵，稳定性差，故一般在现场制备。

D.3 季胺盐

季胺盐使用浓度通常为 50mg/L~100mg/L。长期使用，微生物易产生抗药性，出现药效下降、使用剂量增大、药剂持续时间短、使用泡沫多等特点。

使用季胺盐时，应注意防止药剂之间竞争吸附而失效。在被尘埃、油污和有机物严重污染的水系中，水中金属离子的大量存在会降低季胺盐的杀菌灭藻效果。季胺盐不能与氯酚类杀菌灭藻剂共用，不宜与阴离子表面活性剂共用，可与消泡剂一同使用。

D.4 异噻唑啉酮

异噻唑啉酮杀菌灭藻力强，投药量较低，通常使用浓度为 20mg/L~100mg/L。

纯的异噻唑啉酮毒性等级为中毒或高毒，降解后分解为乙酸，所以实际毒性很低。

投加异噻唑啉酮前应停止加氯，防止两者相互作用，降低杀菌灭藻效果。

D.5 无机溴化物

无机溴化物宜经现场活化后连续投加，循环冷却水中余溴浓度宜为 0.2mg/L~0.5mg/L（以 Br_2 计）。

D.6 氧化型杀菌灭藻剂加药量

氧化型杀菌灭藻剂连续投加时，加药量可按式 (D.1) 计算，即

$$G_0 = \frac{Q_r \times g_0}{1000} \quad (\text{D.1})$$

式中：

G_0 ——氧化型杀菌灭藻剂加药量，kg/h；

Q_r ——循环冷却水量， m^3/h ；

g_0 ——每升循环冷却水氧化型杀菌灭藻剂加药量 (mg/L)，连续投加宜取 0.1mg/L~0.5mg/L，冲击投加宜取 2mg/L~4mg/L，以有效氯计。

D.7 非氧化型杀菌灭藻剂加药量

非氧化型杀菌灭藻剂的投加次数，宜根据季节、循环冷却水中细菌总数、冷却系统黏泥附着程度

确定，一般气温高的季节每月投加 2 次，气温低的季节每月投加 1 次；当细菌总数超出标准或黏泥附着影响机组正常运行时，不论季节气温高低，每月均需投加 2 次。

非氧化型杀菌灭藻剂投加方式：根据计算用量一次性投加放在水池水流速度较高处。为避免菌藻产生抗药性，宜选择多品种交替使用。

每次加药量可按式 (D.2) 计算，即

$$G_n = \frac{V \times g_n}{1000} \quad (\text{D.2})$$

式中：

G_n ——非氧化型杀菌灭藻剂每次加药量，kg；

V ——系统水容积， m^3 ；

g_n ——每升循环冷却水非氧化杀菌灭藻剂加药量，mg/L。

附录 E
(资料性附录)
细菌检测方法

E.1 平皿计数法

细菌总数的测定方法参见 GB/T 14643.1。

E.2 荧光检测法

E.2.1 原理

在有氧条件下，荧光素和细菌细胞的 ATP（三磷酸腺苷）发生氧化反应，形成氧化荧光素并发出荧光。在荧光素过量的情况下，荧光的强弱取决于 ATP 的数量；细菌细胞越多，ATP 量越高，发出的荧光越强。在排除样品中非细菌 ATP 干扰的情况下，通过荧光值能确定样品中细菌 ATP 的含量，通过测量相对荧光值可以快速检测被检测水样的细菌指标。

E.2.2 试验设备和材料

- a) 荧光检测仪。
- b) 体细胞裂解试剂：用于有效裂解样品中的非细菌细胞（体细胞）并释放 ATP。通过过滤比色杯底部的滤膜将体细胞裂解试剂、体细胞碎片及游离 ATP 排除。可室温保存。
- c) 细菌细胞裂解试剂：用于专一、有效地裂解样品中细菌细胞并释放 ATP。可室温保存。
- d) 荧光反应试剂：用于与样品中的细菌 ATP 相互作用并发出荧光。-20℃低温避光储藏。
- e) 耗材：包括杯架，1 个，放置过滤比色杯；加压器，1 个，用于加压、排出体细胞 ATP 和体细胞裂解试剂；带 0.45μm 滤膜荧光反应过滤比色杯，为荧光反应容器；专用无菌吸水纸，置于过滤比色杯架，吸取加压后流出的液体；微生物学无菌操作所需常规用具、器皿，样品采集无菌、无 ATP 的容器、塑料袋、手套、镊子等。

E.2.3 分析步骤

- a) 开启荧光检测仪，进入工作状态。
- b) 取出双层塑料质比色杯架，底层垫放 5 张专用无菌吸水纸，并将带滤膜比色杯放入架眼内，用移液器吸取检样 50μL 注入杯底。将体细胞裂解试剂向杯中滴加 100μL，透明塑料加压器置杯顶加压，使杯中非细菌 ATP、游离 ATP 通过底部滤膜排出，由吸水纸吸净。重复加压步骤一次，取下比色杯置于可拉动抽屉内。
- c) 将细菌细胞裂解试剂溶液向杯中滴加 50μL。
- d) 用移液器从荧光反应试剂瓶吸取荧光反应试剂 50μL 加入杯底，缓和地吸挤三次，混匀反应液。
- e) 荧光检测仪屏幕显示相对荧光值（RLU）。

附录 F
(资料性附录)
循环水运行在线监测

F.1 参数测量部分

循环水的 pH 值、电导率为循环水运行在线监测的核心参数，ORP 为辅助参数。

水质监测项目应包含 pH 值、电导率；使用氧化性杀菌剂的系统还应设置 ORP 监测设备；使用再生水的系统应配置氨氮测量仪表；有条件时应监测循环水中阻垢剂量。

应在循环水进（回）水管路上设取样点，pH 值、电导率表计的选择应考虑温度补偿的能力是否满足要求，测量回路应能保证测量值准确。

循环水在线监测装置宜具备生物黏泥量测量的功能。

F.2 模拟监测换热器

F.2.1 在线试片法

在水池或循环水旁路安装试片，运行一段时间后取出，测定试片的腐蚀速率、蚀孔深度和蚀孔密度，观察腐蚀形态。

腐蚀试片的材质应与换热器的管材质相同。若冷却水系统有几种不同的材质，则应采用相应材质的试片。

应采用薄形试片，以减少暴露端面，减小误差。试片要经过相应的程序，加工成规定的粗糙度及尺寸，放入盛有丙酮的容器中，用脱脂棉擦洗两遍，冷风吹干后，用防锈纸包好，备用。

试片应安装在回水管线上，注意不要使浸入的试片受到高流速和具有磨损能力粒子的作用。试片可固定在有机玻璃管内，以便直接观察。若有几种不同材质的试片同时监测时，易腐蚀的试片放在不易腐蚀的试片之前。

试片的监测期一般为 30 天~90 天，常年观察应放足够试片，每月取出 1 片~2 片，分别测定腐蚀速率。

由试片的总表面积、金属的密度、试验时间、试片的失重，计算腐蚀速率（mm/a），见式（F.1），即

$$X = \frac{8760 \times \Delta m \times 10}{S \rho t} = \frac{87600 \times \Delta W}{S \rho t} \quad (\text{F.1})$$

式中：

X ——腐蚀速率，mm/a；

Δm ——试片的质量损失，g；

S ——试片的表面积，cm²；

ρ ——试片的密度，g/cm³；

t ——试验的时间，h；

8760——与 1 年相当的小时数，h/a；

10——与 1cm 相当的毫米数，mm/cm。

蚀孔密度是指单位面积上的蚀孔数，蚀孔深度以试片上出现的最大深度表示。

F.2.2 模拟监测换热器

将小型试验换热器安装在冷却水旁路，用低压饱和蒸汽做热介质，规定相应的操作条件，观察监视管的腐蚀和结垢情况；并能够在线监测冷却水系统运行时的污垢热阻值。

试验时间通常为 1 个月~3 个月，抽出监视管并剖开，观察内壁的腐蚀和结垢情况。清除管内的腐蚀产物和污垢，估计局部腐蚀面积，鉴别腐蚀类型，并测量沉积物的厚度。

F.3 数据管理与传输部分

根据在线测量的循环水 pH 值、电导率、ORP 等数据，设置数据采集和传输设备，将循环水质日常监测数据传至值班室，实现远程监督。根据数据管理和专家诊断系统，实现循环水自动加药、排污等功能。

附录 G

(资料性附录)

凝汽器管腐蚀或结垢故障分析与处理

G.1 腐蚀原因分析

一般采用以下步骤和方法,综合分析,找出原因,提出对策。

- a) 腐蚀特征记录和初步判断;
- b) 材质的化学成分及晶相分析;
- c) 腐蚀敏感点能谱和 X 射线衍射分析;
- d) 覆盖物的成分和特征分析;
- e) 补充水、循环水水质化学分析和微生物检查;
- f) 循环水水质控制方式和参数调查;
- g) 原水水质变化情况调查分析;
- h) 循环水阻垢剂、杀菌剂、缓蚀剂品种和质量分析;
- i) 胶球清洗系统运行情况调查;
- j) 杀菌工艺分析及运行控制情况调查;
- k) 停用期间保护措施及实施情况分析;
- l) 腐蚀及防护工艺选择和使用效果分析;
- m) 金属材质的选用是否合理;
- n) 其他因素(如机组参数变化、炉内水汽控制工艺的变化等)。

G.2 结垢的处理和原因分析

G.2.1 结垢的处理

汽轮机其他系统正常运行时,如果凝器汽端差异常升高,并达到 9℃ 以上,可判断凝汽器管结垢,发生此类情况,可进行不停机或停机处理。

G.2.2 结垢原因分析

对于结垢原因一般按以下步骤和方法:

- a) 循环水处理方式和控制参数是否合理;
- b) 抽管检查垢量和垢成分;
- c) 循环水中的加药剂量检查;
- d) 药剂质量检验;
- e) 分析补充水水质,判断碱度、硬度、含盐量等关键指标是否发生变化;
- f) 检查石灰处理、加酸处理、弱酸离子交换树脂处理是否按要求控制;
- g) 日常监督是否到位;
- h) 循环水排污是否按要求进行。