

HUODIANCHANG  
HXUNHUANLENGQUE  
SHUICHULI

# 火电厂循环冷却 水处理

主 编：高秀山  
副主编：张 渡  
审 校：杨东方



中国电力出版社  
www.cepp.com.cn

## 西安国电水处理有限公司

西安国电水处理有限公司是集科研、产品开发、工程咨询、工程承包于一体的高新技术企业，由西安能源水处理新技术开发公司与陕西西热化学有限公司重组而成。公司以国家电力公司热工研究院雄厚的技术力量、精良的仪器装备为依托，主要从事火电厂水处理及废水处理技术、节能节水技术、生活污水处理与回用技术、动力设备的化学清洗技术、热力设备防腐防垢与防结盐技术及与其相关的药剂、设备、监控仪器、仪表等环保技术产品。

公司现有两个从事水处理技术开发和应用的分公司及两个技术力量雄厚、生产设备完善和检测手段齐备的生产实体。公司本部现有专业人员65人，其中教授级高级工程师6人、高级工程师22人、工程师20人。用户遍及国内各省市、自治区。部分产品销往东南亚及中东地区，业务涉及电力、石化、机械制造、煤炭等行业。

西安国电水处理有限公司在企业管理中，坚持以客户为中心、市场为龙头、科研为先导的经营方针，坚持完善的质量保证体系和售后服务，以一流的产品、一流的服务与各界朋友真诚合作，共铸辉煌。

### 工程技术服务

水处理设备的启动调试及运行调整  
火电厂补给水处理技术及废水处理  
技术的设计，技术论证及工程  
总承包  
凝汽器管板防腐及阴极保护工程  
动力设备化学清洗  
热力设备的停备用保护  
水处理药剂的生产及相关技术服务  
蒸汽加氧吹洗技术  
承接反渗透装置的设计、安装调试、  
技术培训

### 主导产品

TRL 系列缓蚀阻垢剂  
TPRI 系列酸洗缓蚀剂  
EWI 型锅炉飞灰在线测碳仪  
系列耐腐蚀计量泵  
系列自动加药成套装置  
整套自动加氯装置  
反渗透水处理装置  
其它各类水处理及环保设备  
微量硬度指示剂

地址：陕西省西安市兴庆路 80 号国家电力公司热工研究院北试楼

电话：029-3243069 3236151 转 2354

邮编：710032

传真：029-3244416

E-mail: ewco@tpri-sp.ac.cn

联系人：樊坤 (13909235184) 郭俊文 (13991920218)

ISBN 7-5083-0884-0



9 787508 308845 >

ISBN 7-5083-0884-0/TK·118

定价：22.00元

# 火电厂循环冷却水处理

---

主 编：高秀山

副主编：张 渡

审 校：杨东方



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书根据国内外大量文献资料及作者多年的实践经验,通过理论阐述和具体实例,对火电厂循环冷却水处理的各个方面进行了详细介绍,主要内容包括火电厂冷却用水水质、冷却水系统、水垢与粘泥的沉积、冷却系统的防垢、水质稳定处理、循环冷却系统补充水处理及旁流处理、冷却系统中微生物的控制、凝汽器的腐蚀及其防止方法和凝汽器的清洗技术。内容丰富、详实,是从事这方面工作的科技工作者、管理人员和操作人员的重要参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

火电厂循环冷却水处理/高秀山主编. —北京: 中国电力出版社, 2001

ISBN 7-5083-0884-0

I. 火... II. 高... III. 火电厂-循环水: 冷却水-水处理 IV. TM621.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 087213 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

利森达印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2002 年 3 月第一版 2002 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 13.75 印张 309 千字

印数 0001—3000 册 定价 22.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

# 前 言



火电厂循环冷却水处理工作的好坏，对火电厂的安全经济运行有重要影响，将直接关系到电厂的节能、降耗。为了做好循环冷却水处理工作，除了选择合理的方案、使用优良的水质稳定剂、加强运行监督外，提高运行人员的素质更为重要。由于目前国内尚无“火电厂循环水处理”的专著，给这方面的学习带来了一些困难，为此，编者根据多年实践经验，在对近年来国内外的文献资料进行整理的基础上编成此书。编者在此向有关作译者表示感谢。

本书由高秀山担任主编，张渡任副主编，樊坤、罗奖合、李营根、郭俊文、高永宁等同志任参编。全书由杨东方同志审阅定稿。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，希望读者给予指正。

编 者

2001年1月



# 沁阳市九菱化工厂

本厂是生产系列水处理药剂的专业厂家，多年来以国家电力公司西安热工研究院、西北电力研究院、南京化工学院、河南大学等技术力量为坚强后盾，具有国内先进的检测仪器和一流的生产设备。年生产能力可达 3000 余吨，产品均已通过石化总公司、电力公司检测中心鉴定，并颁发了进网证书。产品畅销国内十多个省市、自治区、部分产品已批量出口。

## 主要产品

- 一、阻垢分散剂：聚马来酸酐 (HPMA)、马来酸-丙烯酸共聚物、聚丙烯酸 (PAA) 丙烯酸-丙烯酸羟丙酯共聚物、丙烯酸磺酸共聚物、丙烯酸磺酸磷酸三元共聚物、2-磷酸-丁烷-1, 2, 4 三羧酸 (PBTCA)。
- 二、有机磷酸类：乙二胺四甲叉磷酸 (EDTMP)、羟基乙叉二磷酸 (HEDP)、氨基三甲叉磷酸 (ATMP)。
- 三、缓蚀剂：苯骈三氮唑、盐酸酸洗缓蚀剂、油井酸化缓蚀剂。
- 四、杀菌剂：十二烷基二甲基苄基氯化铵 (1227)、十四烷基二甲基苄基氯化铵 (1427)、稳定性二氧化氯、活性溴 (固体)。
- 五、清洗剂、清洗预膜剂、油垢清洗剂和强力消泡剂。

本厂热忱为同行提供质优价廉的水处理药剂，欢迎各界人士前来洽谈。



厂长：(法人代表)

田多英

邮编：454550

传真：(0391) 5056703

电话：(0391) 5056703

5694359

5610998

手机：13503910982

厂址：沁阳市南工业区

2006/03

# 连云港市节能建材厂

我厂是国家一流火电企业——江苏新海发电有限公司下属的先进集体企业，是集化工、轻砖、砌块等产品的研制与开发生产为一体的综合环保型企业。主导产品水质稳定剂共有四大系列30余个品种，产品质量全部达到国家标准，获国家电力系统入网质量鉴证。多年来，我厂与国家电力公司西安热工研究院、南京化工大学等科研单位合作，致力于新型水处理剂的研制与开发，并常年聘请知名教授作为我厂的技术顾问。我厂在提供优质水处理剂的基础上，还可根据用户的要求，提供水质化验、药剂选择、技术咨询、水处理工程一条龙服务，以保证所提供的药剂能达到阻垢、缓蚀、杀菌的最佳效果



厂长：宋建国  
生产、经营厂长：朱新乐  
销售经理：李呈祥  
电话：0518-5431801  
传真：0518-5433124  
地址：连云港市海州区西大岭



## 主要产品有：

- |             |                              |
|-------------|------------------------------|
| XDJN-100 系列 | ATMP、HEDP、EDTMP、DETP 等有机膦系列  |
| XDJN-110 系列 | HPMA、PAA (S)、PAA/AMPS 等聚羧酸系列 |
| XDJN-200 系列 | 复合型高效缓蚀阻垢剂系列                 |
| XDJN-300 系列 | 1227 异噻唑啉酮等非氧化性杀菌剂系列         |
| XDJN-310 系列 | ClO <sub>2</sub> 氧化性杀菌剂系列    |
| XDJN-400 系列 | 缓蚀剂系列                        |



# 目 录



## 前言

第一章 概论 .....	1
第一节 火电厂冷却用水水源及杂质 .....	1
第二节 循环冷却水处理发展概况 .....	3
第三节 冷却水处理的目的是 .....	8
第二章 冷却水系统 .....	10
第一节 冷却水系统及设备 .....	10
第二节 循环冷却系统的运行操作参数 .....	14
第三节 开式循环冷却系统中水和盐的平衡 .....	17
第三章 水垢和粘泥的沉积 .....	20
第一节 难溶盐类过饱和状态的形成 .....	20
第二节 水质稳定性的判断 .....	27
第三节 微溶或难溶盐类的结晶过程 .....	42
第四节 粘泥附着 .....	43
第四章 冷却系统的防垢 .....	47
第一节 直流冷却系统中水垢的沉积和防止 .....	47
第二节 循环冷却水防垢处理方法的选择 .....	48
第三节 排污法 .....	51
第四节 酸化法 .....	53
第五节 炉烟处理法 .....	59
第六节 凝汽器附着水垢的判别 .....	63



<b>第五章 稳定处理</b> .....	66
第一节 水质稳定剂 .....	66
第二节 水稳剂阻垢缓蚀性能评定方法 .....	73
第三节 水稳剂的阻垢机理 .....	86
第四节 影响循环水稳定处理效果的因素 .....	90
第五节 工业处理实例 .....	96
<b>第六章 循环冷却系统补充水处理及旁流处理</b> .....	108
第一节 石灰处理法 .....	108
第二节 弱酸氢离子交换法 .....	114
第三节 强酸氢离子交换法 .....	128
第四节 钠离子交换软化法 .....	131
第五节 旁流处理 .....	131
<b>第七章 对循环冷却系统中微生物的控制</b> .....	135
第一节 常见有害微生物的种类 .....	135
第二节 控制微生物方法综述 .....	137
第三节 氧化性杀生剂 .....	140
第四节 其它氧化性杀生剂 .....	155
第五节 非氧化性杀生剂 .....	158
<b>第八章 凝汽器管的腐蚀与防止</b> .....	164
第一节 概述 .....	164
第二节 凝汽器铜管水侧的腐蚀形态 .....	166
第三节 凝汽器铜管的选用 .....	172
第四节 对凝汽器铜管的管理和维护 .....	180
第五节 防止凝汽器铜管腐蚀的措施 .....	187
<b>第九章 凝汽器胶球连续清洗技术</b> .....	196
第一节 概述 .....	196
第二节 胶球清洗系统及设备 .....	198
第三节 胶球清洗设备的安装 .....	201
第四节 胶球清洗系统的运行 .....	202
第五节 二次滤网的运行 .....	204

附录 常用水处理药剂中英文对照表.....	206
附表 1 阻垢剂与分散剂 .....	206
附表 2 缓蚀剂 .....	207
附表 3 絮凝剂 .....	208
附表 4 助凝剂 .....	209
附表 5 杀菌灭藻剂 .....	209
参考文献 .....	213



# 第一章

## 概 论

### 第一节 火电厂冷却用水水源及杂质

#### 一、火电厂冷却用水水源及火电厂冷却系统的特点

在火电厂中，用于冷却汽轮机排汽的水，称为冷却水。在火电厂用水量中，冷却用水占了绝大部分。在长江以南的火电厂，绝大部分采用直流冷却系统，冷却用水的水源为河水和湖泊水。在长江以北、黄河以南地区的火电厂，部分采用直流冷却系统，以河水和水库水为水源，部分采用开式循环冷却系统，水源有河水，也有井水。黄河以北地区的火电厂，绝大部分采用开式循环冷却系统，水源为井水或河水。海滨电厂全部采用直流冷却系统，以海水为冷却水。我国东北地区也有少数火电厂采用直流冷却系统，以河水及水库水为水源。

与其他工业比较，火电厂冷却系统具有以下不同点：

(1) 冷却水量大。一台 300MW 机组的循环冷却水量达 30000~40000t/h，对于一个  $4 \times 300\text{MW}$  的火电厂，循环冷却水量将达  $12 \times 10^4 \sim 16 \times 10^4 \text{t/h}$ 。对于开式循环冷却系统，如浓缩倍率为 3，补充水率约为 2.4%，则补充水量为 2880~3840t/h。如此大的水量是处理时必须考虑的因素，如采用加药处理时，难以选用高剂量处理。

(2) 冷却系统简单。换热器数量少。一台发电机组只有一台凝汽器，还有若干台冷油器，冷风器。换热器的形式只有管程一种，换热管材质一般为黄铜。不像化工厂，一个冷却系统有上百台换热器，换热器的形式有管程、壳程等，材料有碳钢、不锈钢、黄铜等。这一特点，简化了循环水处理问题，如缓蚀、一般只考虑黄铜就可以了。还可以使用胶球对凝汽器管进行清洗。

(3) 冷却水温低。据统计，凝汽器出口最高水温一般在 40℃ 左右，极少超过 45℃。

(4) 无工艺泄漏污染冷却水质的情况。一般地说，在火电厂开式循环冷却系统中，菌、藻类的繁殖不如其它工业严重。如某化肥厂，由于工艺设备漏氨，大量氨进入冷却水系统，引起硝化细菌大量繁殖。

(5) 冷却系统容积与小时循环水量的比值大。GB50050《工业循环冷却水处理设计规范》指出：“敞开式循环冷却水系统的容积宜小于小时循环水量的 1/3”。而火电厂机组容

量小时，此比值为(2~1.5):1。对300MW机组，此比值为1:1。对600MW机组，此比值才接近1:3。此比值大，增加了药剂在系统中的停留时间，对阻垢不利。此比值小，系统缓冲容量大，浓缩倍率的上升比较慢。

## 二、冷却水中的杂质

各种天然水都不是纯净的。天然水中含有的杂质，可归纳为以下三类：

- (1) 悬浮物质 包括泥、砂、藻类及植物残骸等。
- (2) 胶体物质 指水中带电的胶体微粒，如硅、铁、铝的化合物及某些有机物质等。
- (3) 溶解物质 指水中溶解的某些无机盐（如重碳酸钙、重碳酸镁、重碳酸钠、氯化钙、硫酸钙、氯化镁、硫酸镁、氯化钠、硫酸钠等），有机化合物及某些气体（如氧、二氧化碳等可溶性气体）。

这些杂质进入冷却系统后，容易引起结垢、腐蚀、粘泥附着。因此对冷却水应进行必要的处理。

表1-1列出若干河水、井水、海水的水质分析，从中可看出，它们之间的差别是很大的。对于同一类水（如井水），在不同的地域，差别也是非常大的。

表 1-1 我国若干水源水质分析结果

项 目	长江水 (南京 12 月)	黄河水 (开封 7 月)	珠江水 (广州 6 月)	井水 (江西南昌)	井水 (宁夏马岭)	海水 (天津大港)
pH 值	7.8	8.4	7.4	7.9	—	8.11
全固形物 (mg/L)	280.4	—	104.0	81.40	—	34433
溶解固形物 (mg/L)	128.4	407.00	84.0	75.30	2733.30	34275
悬浮物 (mg/L)	52.0	—	20.0	6.10	—	158.0
全硬度 (mmol/L)*	1.66	3.20	0.85	0.95	7.1	136.0
全碱度 (mmol/L)*	1.67	2.30	0.85	0.96	4.25	3.3
Ca <sup>2+</sup> (mg/L)	26.30	37.16	14.0	12.50	79.20	480.0
Mg <sup>2+</sup> (mg/L)	4.10	19.48	2.40	0.35	38.30	1344.0
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> (mg/L)	12.40	71.00	3.40	14.12	807.50	4250.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	102.10	134.20	41.20	52.95	259.0	201.3
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	5.00	64.00	5.00	2.43	473.7	20400
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	13.20	105.76	13.20	3.17	1181.50	2459.1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	0.56	4.00	2.50	0.88	—	—
全硅 (SiO <sub>2</sub> ) (mg/L)	9.30	16.60	11.0	13.0	—	1.53
COD <sub>Mn</sub> (mg/L)	1.95	1.96	2.80	0.26	—	9.6

\* 硬度基本单元 B (1/2Ca<sup>2+</sup>, 1/2Mg<sup>2+</sup>), 碱度基本单元 B (H<sup>+</sup>)。

为了防止冷却系统出现故障，各个企业都将制订循环水的水质标准。现将 GB50050

《工业循环冷却水处理设计规范》提出的循环冷却水的水质标准列于表 1-2。

表 1-2 循环冷却水的水质标准

序号	项 目	单 位	水 质 标 准
1	悬浮物	mg/L	根据生产工艺要求确定, 不宜大于 20, 当换热器的型式为板式、翅片管式和螺旋板式时, 不宜大于 10
2	电导率	$\mu\text{S}/\text{cm}$	投加缓蚀, 阻垢剂时, 不宜大于 3000
3	甲基橙碱度	mg/L (以 $\text{CaCO}_3$ 计)	应根据药剂配方及工况条件确定, 不宜超过 500
4	$\text{Ca}^{2+}$	mg/L	应根据药剂配方及工况条件确定, 低限不宜小于 30 (从缓蚀角度要求), 高限不宜大于 200 (从阻垢角度要求)
5	$\text{Cl}^-$	mg/L	对不锈钢换热设备不宜大于 300, 对碳钢设备不宜大于 1000
6	$\text{SO}_4^{2-}$	mg/L	$[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-]$ 不宜大于 1500。对系统中的混凝土材质按 TJ21—77《工业与民用建筑工程地质勘察规范》附录五的规定执行
7	硅酸 (以 $\text{SiO}_2$ 计)	mg/L	不宜大于 175, 并按 $[\text{Mg}^{2+}] \times [\text{SiO}_2] < 15000$ 验证。( $\text{Mg}^{2+}$ 以 $\text{CaCO}_3$ 计, $\text{SiO}_2$ 以 $\text{SiO}_2$ 计)
8	游离氯	mg/L	在回水总管处宜控制在 0.5~1.0 范围内
9	油	mg/L	不应大于 5。炼油企业不应大于 10
10	pH 值		根据药剂配方确定, 一般宜控制在 7.0~9.2
11	异氧菌数	个/mL	宜小于 $5 \times 10^5$
12	粘泥量	mL/m <sup>3</sup>	宜小于 4

对于不同处理方式, 循环冷却水的主要水质标准除应符合表 1-2 的规定外, 对敞开式系统换热设备的材质为碳钢, 循环冷却水采用磷系复合配方处理时, 尚应满足下列要求: 悬浮物宜小于 10mg/L; 甲基橙碱度宜大于 50mg/L (以  $\text{CaCO}_3$  计); 钙硬度宜大于 30mg/L (以  $\text{Ca}^{2+}$  计); 正磷酸盐含量 (以  $\text{PO}_4^{3-}$  计) 宜小于或等于磷酸盐总含量 (以  $\text{PO}_4^{3-}$  计) 的 50%。敞开式系统循环冷却水采用全有机药剂配方处理时, 尚应满足下列要求: pH 值应大于 8.0; 钙硬度应大于 60mg/L (以  $\text{Ca}^{2+}$  计) 甲基橙碱度应大于 100mg/L (以  $\text{CaCO}_3$  计)。

敞开式系统循环冷却水采用含锌盐的复合药剂配方进行处理时, 锌盐含量宜小于 4.0mg/L (以  $\text{Zn}^{2+}$  计), pH 值宜小于 8.3。当 pH 值大于 8.4 时, 水中溶解锌与总锌之比不应小于 80%。

对于火电厂来说, 表 1-2 所列标准, 有些目前尚难达到, 如悬浮物小于 20mg/L, 就较难达到, 除非设旁滤处理, 而普遍设置旁流过滤, 在目前经济条件下还不太现实。

## 第二节 循环冷却水处理发展概况

### 一、循环冷却水处理技术发展概况

在水质稳定技术发展的初期, 添加的药剂一般都是简单的无机化合物, 如磷酸盐等,

后来感到单纯使用无机化合物，水处理效果受到一定的限制。因此将一些天然有机化合物，如丹宁、木质素等复合使用。

自 20 世纪 60 年代开始，由于工业的迅速发展，对水处理技术也提出了更高的要求，新型有机缓蚀剂、有机阻垢剂和有机杀菌剂不断出现，总的趋势是越来越多的无机化合物逐步被有机化合物所取代。

目前使用的水质稳定剂，几乎都是各种药剂的复合配方。这主要是因为各种药剂都有一定的局限性；同时也是为了利用各药剂之间的协同效应。在今后的发展中，将研究复合配方组成的简化问题。其中当然包括以化合物代替混合物的问题，即研制具有多种作用的有机水处理剂，即一种药剂具有缓蚀、阻垢、杀菌三种性能。今后的另一个研究方向，是从水处理剂的结构变化中，筛选出新的水质稳定剂，如日前合成的二元及三元共聚物就是这方面的例子。

在谈到水质稳定剂时，都会说到几个大系，目前主要的大系有铬系、磷系、钼系、硅系、全有机系。在 60 年代，主要采用铬系配方，由于铬对环境的污染比较严重，所以从 70 年代开始，开始了铬系向非铬系的过渡，到 70 年代末，日本、原西德非铬系处理已占 90% 以上，主要为磷系所取代。由于磷系配方也有污染问题，因此目前钼系的研究比较活跃，全有机系也受到注意。

上述内容是指其他工业以碳钢换热器为主要对象的循环冷却水处理。对于火电厂，以往多采用硫酸、聚磷酸盐进行循环水处理，今后如果将浓缩倍率提高到 4~6，火电厂的循环水处理方式将以石灰—稳定剂及弱酸氢离子交换—稳定剂为主。

## 二、我国火电厂循环冷却水处理概况

改革开放以来，我国电力工业迅速发展，每年装机约  $1000 \times 10^4 \text{ kW}$ ，年发电量已进入世界前列。按科技发展规划，到 20 世纪末，要求每 1000MW 容量的耗水量从  $1.65 \text{ m}^3/\text{s}$  降至  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ，为了实现此目标，搞好循环冷却水处理工作，有着重要的意义。

我国火电厂的循环冷却水处理，近十几年来有了较大的发展和进步，主要表现如下：

### 1. 浓缩倍率明显提高

1980 年以前，绝大多数电厂的浓缩倍率小于 1.5，这主要是利用循环水冲灰造成的。目前，有近 50 个电厂采取了灰水闭路循环、冲灰水回用量每年约  $2 \times 10^8 \text{ t}$ 。回用率达到 0~20%。此外，新投产的电厂，普遍采用了高浓度的输灰系统，干除灰系统也在试点，所有这一切，使火电厂开式循环冷却系统的浓缩倍率有明显提高，目前多数电厂浓缩倍率已接近 2，少数电厂已达到 3 以上。由于浓缩倍率的提高，而处理方法未作相应的改变，监控指标不够合理，因此，目前仍有一定数量的电厂凝汽器和水塔结垢，影响了电厂的安全经济运行。

### 2. 稳定处理技术的进步

(1) 新型药剂的应用。1980 年前，我国火电厂循环水的稳定处理，主要是添加磷酸三钠和六偏磷酸钠，由于原水水质恶化，一些电厂凝汽器结垢严重。1977 年，西安热工所协助坝桥热电厂，天津电力试验研究所协助杨柳青电厂，进行了三聚磷酸钠处理循环水的工业试验，取得了良好的防垢效果，并具有明显的经济效益。此后，此种处理方式在几

十个电厂得到了推广应用。1978年，西安热工所、山西电力试验研究所、武汉水利电力学院协助临汾电厂进行了有机膦（EDTMP）处理循环水的工业试验。1979年，山东电力试验研究所协助辛店、黄台电厂，西安热工所协助邢台电厂进行了三聚磷酸钠-聚丙烯酸（PAA）复合处理工业试验，均取得了较好的防垢效果。

此后，由于各生产厂生产了越来越多的新型药剂，如有机膦（ATMP、HEDP、EDTMP），聚羧酸类药剂（聚丙烯酸、水解聚马来酸酐），共聚物（磺酸共聚物、马丙共聚物、丙丙共聚物等）、PBTCa等，因而，这些新型药剂在电厂中的应用也越来越多。

(2) 对影响稳定处理的因素进行了研究。西安热工所对影响稳定处理的一些水质因素（碳酸盐硬度、钙硬度、镁硬度、重碳酸根）进行了试验，提出了半经验公式。此外该所还对水中悬浮物含量对稳定处理的影响进行了研究。山东电力试验研究所，研究了阻垢剂的药龄和药效问题，并在总结模拟试验和工业试验结果的基础上，提出了碳酸钙的过饱和度比值（ $O$ ）和药龄（ $\varphi$ ）的关系曲线。河南电力勘测设计院也对阻垢剂“药龄”问题提出了自己的观点。

此外，西安热工所还对其它处理方式（硫酸亚铁成膜及加氯处理）对稳定处理的影响，进行了试验。

(3) 应用复合配方。在稳定处理时，采用复合配方，可以将稳定、分散、缓蚀作用协调起来，从而达到提高稳定处理效果的目的。近年来，化工、石化系统从国外引进了不少复合药剂，如从美国引进 BETZ419，Nalco N-7350 等。这些复合药剂一般均包括起稳定作用的有机膦和起分散作用的聚羧酸和起缓蚀作用的缓蚀剂。近年来，各电力试验研究所甚至某些电厂均研制了自己的复合配方。因此复配药剂在电厂得到了广泛应用。

(4) 采取复合处理方式。目前采用的方式主要为硫酸-三聚、硫酸-有机膦复合处理，几个电厂的实践表明，均取得了较好的防垢效果。

### 3. 外部处理技术的采用

所谓外部处理是指对循环冷却系统的补充水进行处理，电力系统采用的外部处理方法主要有两种：弱酸氢阳离子交换和石灰处理。某厂装有 200MW 机组 4 台，循环冷却系统补充水采用弱酸氢阳离子交换处理，设计处理水量 2000t/h，1984 年投入运行，循环冷却系统年平均浓缩倍率 4.2（冬季 3.5，夏季 4.7）。

在 50~60 年代，我国就有几个电厂采用石灰处理（涡流反应器）循环冷却系统的补充水，由于石灰纯度低，设备堵、磨严重；运输、消化、配浆、计量机械化水平低，因而劳动强度大，劳动条件差；出水水质不稳定，辅助加酸量较多。由于存在上述问题，最后都弃之不用。80 年代，我国某电厂从英国 BoBy 公司引进了成套石灰处理设备，总出力为 2020t/h，同时还配套建设了高纯度消石灰粉厂，经过不断完善和调整，目前运行已较正常。

### 4. 机械清扫方法的应用

目前我国火力发电机组普遍安装了胶球连续清洗装置，由于西安热工所对装置结构和胶球质量进行了很多改进，大部分胶球清洗装置已能较正常运行，收球率比较高，对保持铜管内表面的清洁起了良好作用。

为了除去铜管中的水垢，一些电厂还采用了高压射流除垢技术。

### 5. 铜管防蚀技术的进展

凝汽器铜管的腐蚀问题，一直是一个影响火电厂安全、经济运行的问题。其中较突出的问题是管材选用不当。如 50 年代，在中等含盐量的水中采用无砷 H68 黄铜管，出现了严重的脱锌腐蚀，一些电厂在含悬浮物较高的淡水中选用铝黄铜管，又出现了严重的冲击腐蚀，再如某些电厂在含砂量高的海水中选用 B10 白铜管，投运 1 年，就有上百根泄漏。因而，在 1984 年制订了《火力发电厂凝汽器管选材导则》，此导则的贯彻执行，起了良好的作用。此外，还发现有些铜管因碳膜问题而引起点蚀；有的铜管因热处理不当，造成应力开裂；有些铜管因夹杂很快造成泄漏。为此，电力部门配合冶金部门在管材品种和提高管材质量上进行了不少工作，如消除碳膜，管材加砷、生产了一些新品种管材（如 HSn70-1B、B30、钛管等），这些都对防止凝汽管的泄漏，起了良好的作用。

在运行方面，铜管硫酸亚铁成膜技术已在全国火电厂推广应用。添加缓蚀剂和阴极保护技术也进行了试点。

### 6. 杀菌灭藻方面的进展

目前，我国采用开式循环冷却系统的火电厂，几乎全部用地下水作水源，浓缩倍率不太高。此外换热器（凝汽器）管为铜材，对菌类有一定杀灭作用，且各电厂绝大部分配有胶球清洗装置，所以菌藻的繁殖不太严重。各电厂杀菌灭藻仍以加氯为主，非氧化性杀菌剂很少使用。为了保证加液氯的安全，一些电厂从国外引进了自动加氯装置。几个电厂还从国外引进了电解海水制取次氯酸钠装置，具有安全、方便等优点。我国某仪表厂生产的 DJL 型和 BDS 型次氯酸钠发生器，次氯酸钠的最大产量可达 75kg/h，分为电解食盐水和电解海水两种。

## 三、我国火电厂循环冷却水处理面临的问题及需要研究的课题

### 1. 我国火电厂循环冷却水处理面临的问题

21 世纪初，我国火电厂循环冷却水处理面临的主要问题有：

(1) 淡水资源日益紧张。目前我国淡水资源日益紧张，特别是北方地区，水资源严重短缺，使火电厂的运行和建设规划受到限制，一些电厂以水定电，一些电厂因水源不足而限发，有的电厂已无上水可供新建电厂，而只能考虑利用城市污水，因此，节约用水，已成为当务之急。

火电厂是工业用水大户，它的耗水量约占工业用水的 20% 左右。据电力建设研究所统计，当前我国凝汽式火电厂（采用冷却塔和水力输灰时）的耗水率，每 1000MW 装机容量为  $1.64\text{m}^3/\text{s}$ ，与国外水平（一般为  $0.7\sim 0.9\text{m}^3/\text{s}$ ）差距较大。说明我国火电厂节水的潜力很大。

当前，火电厂用水的主要构成为：

循环冷却系统补给水	50%~80%
水力输灰用水	20%~40%
锅炉补给水	2%~8%
生活用水	0.5%~4%



因此,火电厂节水的重点为冷却水和冲灰水。减少冷却系统排污,提高循环冷却系统的浓缩倍率可取得良好的节水效益。以容量 1000MW 的火电厂为例,设循环水量  $Q = 126000\text{m}^3/\text{h}$ ,  $P_z = 1.4\%$ ,  $P_F = 0.1\%$  ( $P_F$  一般取  $0.5\%$ , 冷却塔加捕水器后可降低水损失  $80\%$ )。如果此电厂循环冷却系统的浓缩倍率从 1.5 提高到 3.0, 按年运行 7000h 计, 则全年可节水约  $1800 \times 10^4\text{t}$ 。

此外,目前电厂容量增大(1000MW 大厂越来越多),坑口电厂增多(矿区一般缺水),更加重了用水的矛盾。《水资源法》颁布后,取水从不收费到收费,有的地区还加收排放费,因此水费将是一笔很大的支出,这些使火电厂的节水工作变得更为紧迫。

(2) 环境保护要求更为严格。据 1992 年不完全统计,全国火电厂年冲灰水用量约为  $9.8 \times 10^8\text{t}$ , 除去在灰场的蒸发和渗漏损失外,年冲灰水排放量约  $6.4 \times 10^8\text{t}$ , 造成对环境的污染,罚款金额巨大,因此将水力输灰系统改为闭路循环势在必行。随着水力输灰系统改为闭路循环,循环冷却系统的浓缩倍率将不断提高,另外,干除灰方式也在积极研究采用。此时冲灰将不用水,循环冷却系统的浓缩倍率将大幅度提高。

随着环保要求更加严格,对某些物质的排放提出了一些新的要求,如要求排放水中 P 的含量应小于  $0.5\text{mg/L}$ , 这必将限制某些处理药剂的使用。

目前一些工业发达国家,为了防止河流热污染,虽然电厂建在水量丰富的河边,均不采用直流冷却系统,而采用开式循环冷却系统。虽然对此举目前在我国尚未强制实施,相信今后会制订必要的法规。届时长江以南的火电厂采用开式循环冷却系统的一定会增加。

(3) 源水水质不断恶化。由于干旱、开采过量、污染,使我国地下水的水质逐年变坏,给循环冷却水的处理带来了更多的困难。

上述情况说明,今后火电厂循环冷却系统的浓缩倍率肯定会提高。但浓缩倍率提高到一定数值后,节水幅度将明显下降,而处理成本将明显上升,综合经济分析认为,将浓缩倍率提高到 5 左右是适宜的(多数工业发达国家的火电厂,浓缩倍率约为  $4 \sim 6$ ), 根据目前的需要和可能,近期内各火电厂应以达到浓缩倍率 3 左右为目标。

## 2. 需要研究的课题

在回顾了我国火电厂循环冷却水处理历程、研讨了我们面临的问题之后,说明我们今后需要研究的课题也是很多的,如:

(1) 开发新型水质稳定剂及高效复合配方。对于目前已投产的电厂,由于外部处理的投资较高,要建设外部处理系统,在现阶段是难以做到的。为了达到浓缩倍率 3 左右这一目标,只能采用加药的方法。在水质较好,采用稳定剂处理即可,但当水质较差时,还需辅以硫酸处理,这给工业处理带来了很多麻烦。因此,有必要开发新型水质稳定剂,如多元共聚物等。还应开发高效复合配方,使水质较差时不辅加硫酸、单加稳定剂就可达到防垢目的。此外,还要开发无公害(无 P, N) 高效水稳剂、对黄铜完全无侵蚀的复合配方等。由于加药处理具有投资少、操作简单的优点,因此如以加药为主(辅以其它措施)解决浓缩倍率  $4 \sim 5$  倍的循环水处理问题,是我们今后努力的方向。

(2) 完善外部处理方法。目前,应解决高纯度石灰粉的供应问题,使石灰处理装置能投入正常运行。根据我国天然水碳酸盐硬度高的特点和工业发达国家的经验,如能源部水