

# 动力设备水处理手册

宋瑞卿 等编

水利电力出版社

# 动力设备水处理手册

---

宋珊卿 等 编

水利电力出版社

## 内 容 提 要

为了保证动力设备的安全运行和力行节能,动力设备用水的处理工作日益成为动力部门极为重要的基本任务。尤其是高温、高压、大容量机组的投入使用,各类耐蚀材料的出现以及环保对排放废水的要求日益严格,迫使水处理技术有了很大的发展。本手册除对动力设备用水处理的必要性作了阐述外,围绕动力设备防垢、防腐的需要,提供了大量的参考数据与图片,介绍了各种成效显著或带有方向性的处理技术,以及在实际工作中可能出现的问题和应采取的对策。本手册内容虽着重于高参数、大容量机组的水处理技术,但也有不少内容对中、低压机组有参考价值。

本手册适用于从事动力设备水处理的科技人员、其他部门的水处理工作者、大专院校有关专业的师生使用;此外也可作培训参考书。

### 动力设备水处理手册

宋珊卿等编

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 26.25印张 583千字 1插页

1988年12月第一版 1988年12月北京第一次印刷

印数0001—5960册 定价7.60元

ISBN 7-120-00395-X/TK·73

## 前 言

动力设备的生产过程，不仅要用水及其蒸汽作为水、汽循环系统的工质和大量的水作为冷却剂，而且水的质量对锅炉（蒸汽发生设备）和汽轮机的寿命、安全及效率的影响极大。为了保证动力设备的安全经济运行，对其用水必须进行妥善处理。尤其是高温、高压、大容量机组的投入使用以及各类耐蚀材料的出现，对改进、革新水处理技术起了更有力的推动作用。此外，随着工业生产规模的迅猛扩展，许多地区的水资源遭受污染，且污染的程度及后果日益严重。从保护环境的要求出发，各个工业国家先后对工业排水的水质作出了越来越严格的规定。这些规定也进一步推动了动力工业水处理技术的发展。

近年来，随着水处理技术的发展，研制出了不少新工艺、新技术、新材料和新的监测手段。但是，这些新成就的报导仅仅散见于国内外一些文献刊物中，经过系统的整理而汇集成书出版的较少。这种状况同提高动力设备运行水平的客观要求和水处理科技人员学习技术的迫切需要很不相称。本手册试图为逐步改变这种状态作出努力。

本手册共分十二章，除第一章介绍水质特性及动力工业中处理水的必要性外，其他各章都是围绕动力设备对防垢、防腐的要求，介绍各种成效较为显著或是带方向性的水处理技术及相应的材料、装置、措施和工艺，以及在实际使用中可能出现的问题和应采取的对策。有关的国外数据一般是编在附录中；但对一些新技术，由于目前国内缺乏经验，就国

外情况编排在有关章节内，供读者参考。至于水处理系统的设计、废水处理等重大方面，仅围绕运行工作和技术改造的需要，论述了某些最直接有关的内容。水化学工作人员可能用到的一些参考资料也编在附录中。

本手册着重于高参数、大容量机组的水处理技术，但其中与中、低压参数机组水处理工作相应的内容，也适用于该类机组。在现场缺乏明确规定的情况下，手册中的有关数据可参考选用，但应结合当时当地的条件及本单位经验，先作好试验工作。本手册中的文字力求简洁，名词术语尽可能通俗，使用的计量单位为我国的法定计量单位。

手册的第一、四、五章由宋珊卿编写；第二章由周燕然、袁果、张行赫编写；第三章由陆桐编写；陈永健参加了三、四章的部分编写；第六章由徐卫编写；第七章由张致远编写；第八、九、十、十一章由何辉纯编写；第十二章由杨东方编写。全稿由宋珊卿统编。

编写本手册时，考虑的读者对象主要是从事动力设备水处理工作的科技人员，同时兼顾其他部门的水处理工作人员以及大专院校有关专业的师生。本手册除可供运行人员用作技术手册外，也可用作培训教材。

在手册编写过程中，有不少同志对编写工作提出了宝贵意见，我们谨向他们表示感谢。

限于水平，书中错误或不足之处，希读者给予指正。

# 手册中所采用的符号表

符 号	一 般 含 义	单 位	符 号	一 般 含 义	单 位
$\alpha$	离子活度		COH	碱含量	mg/L, $\mu\text{g/L}$
$\Delta\alpha$	以氯离子计算的浓缩倍率 与以碱度计算的浓缩倍率 的差值		C <sub>P</sub>	平均含盐量	mg/L, $\mu\text{g/L}$
A	碱度	mmol/L, $\mu\text{mol/L}$	C <sub>f</sub>	工作燃料中可燃碳含量	%
A <sub>BH</sub>	补给水碱度	mmol/L, $\mu\text{mol/L}$	C <sub>z</sub>	悬浮物含量	mg/L, $\mu\text{g/L}$
A <sub>C</sub>	残留碱度	mmol/L, $\mu\text{mol/L}$	(CO <sub>2</sub> ) <sub>C</sub>	残留CO <sub>2</sub> 量	mg/L
A <sub>N<sub>2</sub></sub>	钠碱度	mmol/L, $\mu\text{mol/L}$	Cl <sub>B</sub>	补给水中Cl <sup>-</sup> 离子含量	mg/L
A <sub>C</sub>	过剩碱度 (负硬)	mmol/L, $\mu\text{mol/L}$	Cl <sub>G</sub>	缸水中Cl <sup>-</sup> 离子含量	mg/L
B	碱化度	mmol/L	D	药剂剂量, 药剂量	mg/L, $\mu\text{g/L}$ , mmol/L, g/m <sup>3</sup>
b	无CO <sub>2</sub> 时水的极限碳酸盐 硬度	mmol/L	D <sub>N</sub>	凝絮剂剂量, 凝絮剂用量	mg/L, mmol/L, g/m <sup>3</sup>
			D <sub>FeSO<sub>4</sub></sub>	硫酸亚铁剂量, 硫酸亚铁 用量	mg/L, mmol/L, g/m <sup>3</sup>
			D <sub>NaOH</sub>	氢氧化钠剂量, 氢氧化钠 用量	mg/L, mmol/L, g/m <sup>3</sup>

附表

符 号	一 般 含 义	单 位	符 号	一 般 含 义	单 位
c	离子含量	mg/L, $\mu\text{g/L}$	.....		
cCH	药剂浓度、离子浓度	mmol/L, $\mu\text{mol/L}$	d	直径	m, cm, mm
cCH(CO <sub>2</sub> )	出水含盐量	mg/L, $\mu\text{g/L}$	dG	管径	m, cm, mm
	出水CO <sub>2</sub> 含量	mg/L, $\mu\text{g/L}$	d <sub>i</sub>	形状不规则的颗粒直径	mm
cGB	水中气体饱和含量	mg/L, $\mu\text{g/L}$	d <sub>N</sub>	填料的水力当量直径	m, cm, mm
cGS	水中气体实际含量	mg/L, $\mu\text{g/L}$	E	电动势, 电压	V, mV
cGT	经时间T后水中气体含量	mg/L, $\mu\text{g/L}$	E	树脂交换容量	mol/m <sup>3</sup> , mmol/L
cI	进水含盐量	mg/L, $\mu\text{g/L}$	E	消光度	mm
cJ(CO <sub>2</sub> )	进水CO <sub>2</sub> 含量	mg/L, $\mu\text{g/L}$	F	面积	m <sup>2</sup>
cH	酸含量	mg/L, $\mu\text{g/L}$	F <sub>K</sub>	总面积	m <sup>2</sup>
Fs	比表面积	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	H <sub>T</sub>	碳酸盐硬度	mmol/L, $\mu\text{mol/L}$
f	离子活度系数		H <sub>CH</sub>	出水硬度	mmol/L, $\mu\text{mol/L}$
fCH	除盐率	%	H <sub>I</sub>	进水硬度	mmol/L, $\mu\text{mol/L}$
fY	溢流率	m <sup>3</sup> /(d·m <sup>2</sup> )	H	高度, 深度	m

续表

符 号	一 般 含 义	单 位	符 号	一 般 含 义	单 位
$f_k$	孔隙率	$m^3/m^3$	Hf	工业燃料中氢的百分数	%
$f_p$	膨胀率	%	H <sub>T1</sub>	填料高度	m
G	重量, 用药量	g, kg	H <sub>TBU</sub>	补充水碳酸盐硬度	mmol/L, $\mu\text{mol/L}$
G <sub>s</sub>	酸用量	g, kg	H <sub>TJ</sub>	循环水的极限碳酸盐硬度	mmol/L
G <sub>l</sub>	碱用量	g, kg	H <sub>0</sub>	运行压力下水的热量	kJ/kg
G <sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 用量	g, kg	H <sub>R</sub>	扩容压力下水的热量	kJ/kg
G <sub>NaOH</sub>	NaOH用量	g, kg	h	压降, 阻力	Pa
			kg	管道中水头损失	Pa
			h <sub>J</sub>	总水头损失	Pa
			I	电流	A
	重力加速度	$m/s^2$	K, k	常数, 系数药剂纯度	%
$\bar{G}$	速度梯度	$s^{-1}$	K <sub>B</sub>	不均匀系数	
G <sub>k</sub>	颗粒重量	g	K <sub>J</sub>	解析系数	
G <sub>L</sub>	滤料重量	g	K <sub>k</sub>	气体在水中的扩散系数	
H	硬度	mmol/L, $\mu\text{mol/L}$	K <sub>Q</sub>	球形度系数	
H <sub>C</sub>	残留硬度	mmol/L, $\mu\text{mol/L}$			



续表

符 号	一 般 含 义	单 位	符 号	一 般 含 义	单 位
Hc <sub>0</sub>	钙硬	mmol/L, μmol/L	K <sub>H</sub>	水头恢复系数	
Hm <sub>0</sub>	镁硬	mmol/L, μmol/L	K <sub>C</sub>	管道粗糙系数	
H <sub>F</sub>	非碳酸盐硬度	mmol/L, μmol/L	K <sub>PHC</sub>	临界结垢常数	
K <sub>Q</sub>	孔口流量系数		g	药液加入量	L/min
K <sub>SP</sub>	溶解度乘积		R <sub>M</sub>	木板垫料单位传质高度	m
L	长度、距离	m, mm	R <sub>r</sub>	耐酸瓷环垫料单位传质高度	m
M <sub>A</sub>	甲基橙碱度	mmol/L, μmol/L	s	含盐量	mg/L, mmol/L
n	个数、浓缩倍数		S <sub>R</sub>	工作燃料中可燃硫的百分率	%
P	压力	Pa, MPa	S <sub>z</sub>	循环水中含盐量	mg/L
P <sub>A</sub>	酚酞碱度	mmol/L, μmol/L	S <sub>u</sub>	补给水中含盐量	mg/L
P <sub>su</sub>	循环水补充水率	%	S <sub>v</sub>	空间流速	m <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> h), m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·s)
P <sub>1</sub>	循环水蒸发损失率	%	t	温度	°C
P <sub>2</sub>	吹散或泄漏损失率	%	t	温度	°C
P <sub>0</sub>	排污损失率	%	t	时间	s, h, min

续表

符 号	一 般 含 义	单 位	符 号	一 般 含 义	单 位
$P_4$	利用排水作其他用途占循 环水量的百分率	%	$t_{cH}$	出口水温	$^{\circ}\text{C}$
pHc	临界pH		$t_j$	进口水温	$^{\circ}\text{C}$
pHs	饱和pH		$\Delta t$	温差	$^{\circ}\text{C}$
pH <sub>eq</sub>	平衡pH		$t_w$	水温	$^{\circ}\text{C}$
psO <sub>2</sub>	二氧化硫的分压	Pa	tsh	实际时间	s, min, h
Q	出力, 流量, 负荷	$\text{m}^3/\text{s}, \text{m}^3/\text{h}, \text{kg}/\text{h}$	t <sub>ri</sub>	停留时间	s, min, h
Q <sub>z</sub>	树脂容积	$\text{m}^3$	V	体积	$\text{m}^3$
Q <sub>r</sub>	扩容压力下水的潜热	J	V	流速	mm/s, m/s, m/h
Q <sub>w</sub>	水容积	m	V <sub>cj</sub>	沉降速度	m/h
R	阻力, 电阻	pa, Q	V <sub>z</sub>	总管内流速	mm/s, m/s, m/h
S	通过的水量	$\text{m}^3/\text{s}, \text{m}^3/\text{h}$	V <sub>ch</sub>	最长支管处流速	mm/s, m/s, m/h
S	冲洗强度	$\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$	V <sub>ch</sub>	沉降速度	mm/s, m/s, m/h
v <sub>D</sub>	最短支管处流速	mm/s, m/s, m/h			
V <sub>H</sub>	澄清器混合室容积	$\text{m}^3$			

续表

符 号	一 般 含 义	单 位	符 号	一 般 含 义	单 位
$V_L$	滤料层体积	$m^3$	$\lambda$	波长	$nm$
$V_v$	烟气量	$m^3/h$	$\gamma_d$	堆积密度	$kg/m^3$
$W$	消耗动能	$J/s \cdot W$	$\zeta$	阻力系数	
$W_1$	重量	$g, kg, kg/m^3$			
$W_G$	垢量	$g, kg, kg/m^3$			
$x$	药剂价格	元/kg			
$y$	处理费用	$z/kg$			
$z$	水分	$g/m^3$			
$\alpha$	系数				
$\beta$	系数				
$\delta$	厚度	$m, mm$			
$\rho$	相对密度				
$\gamma$	气体的密度	$kg/m^3$			
$\rho_L$	淋水密度	$m^3/m^2$			
$\mu$	动力粘度	$Pa/s$			

# 目 录

前言	
手册中所采用的符号表	
第一章 天然水及水处理在动力工业中的重要性.....	1
一、水的主要特性.....	1
二、水中的杂质.....	9
三、水处理的重要性.....	24
四、动力工业水处理的进展.....	27
第二章 水的预处理.....	32
一、凝聚.....	32
(一) 天然水中胶体的特性    (二) 凝聚剂的作用和影响凝聚效 果的因素    (三) 凝聚剂和助凝剂的选择    (四) 凝聚剂溶液 的制备和投加    (五) 凝聚系统	
二、澄清.....	64
(一) 影响颗粒沉降的因素    (二) 澄清器的类型 (三) 澄清器的设计	
三、过滤.....	81
(一) 过滤方式的种类和过滤技术    (二) 过滤设备(池、器) 的内部设置    (三) 常见的过滤设备    (四) 过滤过程的水头损失	
四、充气.....	104
(一) 原理    (二) 充气法的应用    (三) 充气方式	
第三章 水的软化及脱碱.....	120
一、药剂处理法.....	120
(一) 石灰法    (二) 石灰-纯碱法    (三) 苛性钠法    (四) 石 灰-石膏法或石灰-氯化钙法    (五) 磷酸盐补充处理法    (六) 硫 酸中和碱性水法	

二、离子交换法 .....	129
(一) 离子交换剂      (二) 软化器的运行及再生工艺	
(三) 软化处理方式      (四) 问题及其处理	
三、其他 .....	150
(一) 加热软化法      (二) 连续排污水脱碱法	
<b>第四章 离子交换纯水制备 .....</b>	<b>152</b>
一、离子交换树脂 .....	152
(一) 离子交换树脂的分类和命名      (二) 离子交换树脂的物理性能      (三) 离子交换树脂的化学性能	
二、除盐的基本原理 .....	174
三、离子交换设备 .....	181
(一) 交换器内部部件      (二) 有关部件的一些设计参考数据	
(三) 外部系统	
四、除碳器 .....	193
(一) 鼓风式除碳器      (二) 真空式除碳器	
五、离子交换器的工作特性 .....	196
(一) 强酸阳离子交换器      (二) 弱酸阳离子交换器	
(三) 强碱阴离子交换器      (四) 弱碱阴离子交换器	
(五) 混合床离子交换器      (六) 双层床离子交换器	
六、除盐设备运行恶化的原因 .....	223
(一) 机械和运行的缺陷      (二) 树脂稳定性不良      (三) 其他	
<b>第五章 膜技术 .....</b>	<b>243</b>
一、反渗透 .....	246
(一) 基本原理      (二) 反渗透膜      (三) 反渗透组件      (四) 进水的预处理及影响膜组件污染的主要因素      (五) 膜性能的一些术语与反渗透系统      (六) 设备的运行      (七) 膜清洗      (八) 应用	
二、超过滤 .....	274
(一) 基本原理      (二) 膜的选择      (三) 应用	
三、电渗析 .....	280
(一) 基本原理      (二) 对进水水质的要求      (三) 电渗析器的组合联接方式      (四) 电极电流密度      (五) 运行参数的确定	

(六) 运行中易发生的故障 (七) 应用

第六章 凝结水处理.....	290					
一、供热回水处理.....	290					
(一) 回水的收集	(二) 回水的除油	(三) 乏汽除油				
二、汽轮机凝结水处理.....	299					
(一) 凝结水处理系统	(二) 前置过滤器	(三) 深层净化混床	(四) 粉末树脂净化设备	(五) 其他处理工艺		
三、高温凝结水除铁.....	362					
(一) 钠型阳树脂过滤除铁	(二) 铵型阳树脂过滤除铁					
第七章 锅内水质控制.....	368					
一、水、汽质量标准.....	369					
(一) 正常运行情况下的标准	(二) 锅炉启动时的水、汽质量标准					
二、锅炉给水除氧.....	383					
(一) 热力除氧	(二) 化学除氧					
三、给水PH调节及减缓腐蚀处理.....	396					
(一) 挥发性中和试剂处理	(二) 给水系统的合理结构					
四、锅内结垢和腐蚀的防止.....	402					
(一) 磷化处理	(二) 全挥发性处理	(三) 分散剂处理	(四) 络合处理	(五) 中性处理	(六) 综合处理	
五、锅炉的排污控制.....	419					
(一) 排污率的计算	(二) 降低排污率的措施	(三) 排污的种类				
六、蒸汽携带的防止.....	426					
(一) 蒸汽携带的原因	(二) 汽相携带	(三) 防止水、汽携带				
七、蒸汽纯度的测定.....	435					
(一) 分析技术	(二) 取样					
第八章 锅炉的腐蚀及防止.....	448					
一、腐蚀原理.....	449					
二、腐蚀类型及其特征.....	451					
(一) 氧腐蚀	(二) 酸、碱腐蚀	(三) 应力腐蚀	(四) 腐蚀疲劳	(五) 高温下的氧化剥皮	(六) 点蚀	(七) 几种腐蚀类型特征

的对照	
三、基建阶段的防腐	473
(一)安装前的防腐措施	(二)安装时的防腐措施
(三)水压试验	(四)化学清洗
(五)起动前的冲洗	
四、运行阶段的防腐	476
(一)防腐原则	(二)防腐措施
五、停用阶段的防腐	482
(一)方法的选择	(二)各种停用防腐方法
<b>第九章 锅炉的化学清洗</b>	<b>491</b>
一、化学清洗的必要性与依据	491
(一)必要性	(二)清洗依据
二、化学清洗溶剂的选择	495
(一)常用清洗剂的种类	(二)药量估算
(三)各种清洗工艺的适用范围	
三、缓蚀剂的选择	511
(一)基本要求	(二)常用清洗介质中的缓蚀剂
(三)国产缓蚀剂的性能	
四、化学清洗方式及步骤	516
(一)清洗方式	(二)清洗步骤
五、清洗系统的设计、安装和回路划分	524
(一)清洗系统的设计	(二)安装清洗系统的基本要求
(三)化学清洗的典型系统	
六、化学清洗废液处理	535
七、化学清洗后的防腐措施	536
八、清洗效果的评价	537
九、化学清洗时的安全措施	537
<b>第十章 汽轮机的腐蚀及防止</b>	<b>540</b>
一、杂质在蒸汽热力系统中的转移	540
二、近代汽轮机的腐蚀	543
三、蒸汽中腐蚀性杂质的来源及其对汽轮机的影响	545
(一)腐蚀性杂质的来源	(二)杂质在汽轮机内的影响

四、汽轮机腐蚀的类型及其特征.....	553
(一)应力腐蚀破裂 (二)腐蚀疲劳 (三)水分冲蚀 (四)酸腐蚀	
(五)固体颗粒腐蚀 (六)点蚀	
<b>第十一章 凝汽器管材的腐蚀及防止.....</b>	<b>565</b>
一、凝汽器管材.....	566
(一)管材发展概况 (二)国产管材的品种及性能 (三)和国产牌号相当的国外管材牌号	
二、凝汽器管的腐蚀类型及防腐措施.....	571
(一)凝汽器管水侧腐蚀 (二)凝汽器管汽侧腐蚀	
三、凝汽器管材的选用.....	595
(一)冷却水化学 (二)管材的耐蚀性 (三)流速 (四)我国对选材的一些技术规定	
四、凝汽器管的管理和维护.....	606
(一)基建阶段 (二)起动阶段 (三)运行阶段 (四)停用阶段	
<b>第十二章 冷却水处理.....</b>	<b>618</b>
一、冷却系统.....	618
(一)冷却系统的分类 (二)开式循环冷却系统中水和盐的平衡	
二、冷却水处理的目的.....	621
三、垢的沉积.....	623
(一)垢的形成 (二)水的极限碳酸盐硬度	
四、凝汽器附着水垢的判别.....	630
(一)根据运行数据分析 (二)根据水质试验	
五、预测冷却水结垢倾向的指数.....	636
六、直流系统中水垢的沉积和防止.....	644
(一)垢的形成 (二)防止结垢方法	
七、开式循环冷却系统中的防垢.....	646
(一)防垢处理方法的分类 (二)排污法 (三)酸化法 (四)阻垢剂处理法 (五)炉烟处理法 (六)开式循环冷却系统的外部处理	
八、污物沉积及防止措施.....	685



(一)污染物的来源    (二)影响污物沉积的因素    (三)防止污物沉积的方法	
九、生物污染及控制	690
(一)微生物污染    (二)大生物污染    (三)控制方法	
十、冷却水系统的腐蚀和防止	702
(一)热交换器或凝汽器水室和管板的腐蚀    (二)管路系统	

## 附    录

附录1	化学元素及其化合价	704
附录2	几个工业国家筛子的规格	713
附录3	常用符号、字母表	720
附录4	常见标准代号的含义及其读音	724
附录5	常用法定计量单位及与以往经常采用的单位的换算	729
附录6	微孔试验	746
附录7	几个国家(或制造厂)的水质标准	751
附录8	与离子交换树脂再生有关的数据	776
附录9	有关金属、合金腐蚀和氧化的术语	783
附录10	几个国家生产水处理设备的一些主要厂家及其主要产品	788
附录11	国外生产离子交换树脂的主要厂家及牌号	792
附录12	水处理用国外大孔强酸、强碱Ⅰ型和Ⅱ型树脂牌号	793

### 对照表

附录13	一些国家凝汽器铜管成分的比较	794
附录14	冷却水稳定处理时极限碳酸盐硬度的计算公式	796
附录15	国内外常用耐热钢管钢号对照表	805
附录16	无机化学200年史	807

## 附    表

附表1	一些难溶物质的溶度积和溶解度	808
附表2	各种纯度的纯水	809