

158273

动力设备水处理手册

第二版

宋珊卿 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本手册内容共有十三章。介绍了水的预处理、软化和脱碱技术；凝结水和冷却水处理技术；离子交换纯水制备；膜技术；锅炉化学清洗；锅炉、汽轮机、凝汽器管的腐蚀和防腐等。修订中增写了电厂水务管理及废水处理。手册中编入18个附录和18个附表，提供了大量数据和图片。本手册内容着重于高参数、大容量机组，但有些内容亦适用于中、低压机组。

图书在版编目(CIP)数据

动力设备水处理手册/宋册卿主编. -2版. -北京:中国电力出版社, 1997

ISBN 7-80125-258-6

I. 动… II. 宋… III. 火电厂-动力设备-水处理-手册 IV. TM621-62

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第18727号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 邮政编码100044)

北京市地矿局印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1988年12月第一版

1997年3月第二版 1997年3月北京第三次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 26.5印张 585千字

印数5961 8960册 定价37.00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)

第二版前言

动力设备以水及其蒸汽作为生产工质和用水量大的特点，要求对从原水到排水的各类水需作必要的处理，以便在安全经济运行的基础上既做到保护环境，又节约用水。为此，有关科技人员对水处理技术的开发、提高和推广，理所当然地十分重视，也不断作出重要贡献。因而编写者在进行本书的修订工作时，首先对着重介绍近年来国内外最先进的技术，缩减较陈旧的内容，取得了共识。我们相信，这些修改将使本手册内容更能适应我国 80 年代以来大型发电机组陆续投入生产的客观情况；也有利于提高中、低压机组水处理技术水平。

根据当前对节水、保护水重要意义的世界性认识和水资源不足的现实，电厂（或动力车间）面临加强水务管理的严峻任务。虽然，目前尚缺乏完整的成熟经验介绍，但在第二版中仍根据所了解到的资料增写了一章（即第十三章），希望能有助于推动这项工作的开展，并提供一些有意义的参考资料。

近年来，发展较快的膜技术及锅水氧化运行方式等新技术，也是第二版中着重更新的内容。此外，由于采用这些技术而在一些国家作了更改的水、汽质量标准也在附录中予以介绍，供国内有关部门与工作人员参考。

第二版中注意了进一步作到体例、符号等方面的统一，勘正了初版中的错误。对于我国法定计量单位中未作明确规定的硬度及碱度单位，初版采用的基本单元与前能源部 1992 年

1月15日批准的DL434—91中的有所不同。为了执行DL434—91的规定，第二版中已将有关的相应数值增加了1倍。

原编写者中，一部分人因不同原因未能参加第二版的修订工作，但对此工作都表示支持。第二版的第一、四、五、六、七章及附录和附表由宋珊卿负责修订；第二章由张行赫负责修订；第三、八、九、十、十一章由陆桐负责修订；第十二章由杨东方负责修订；第十三章由袁果编写。全书由宋珊卿统稿任主编。

本手册经冯敏和窦照英审阅，他们提出不少宝贵意见和建议，在此表示感谢。

水平所限，第二版中难免还有错误或不足之处，恳切希望读者予以指正。

编 者

1996年7月

第一版前言

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。

目 录

第二版前言

第一版前言

第一章 天然水及水处理在动力工业中的重要性	1
第一节 水的主要特性	1
第二节 水中的杂质	7
第三节 水处理的重要性	20
第四节 动力工业水处理的进展	23
第二章 水的预处理	29
第一节 凝聚	29
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	
第二节 澄清	57
一、影响颗粒沉降的因素 二、澄清器的类型 三、澄清器 的设计	
第三节 过滤	78
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	
第四节 充气	103
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	116
第一节 药剂处理法	116
一、石灰法 二、石灰-纯碱法（石灰-苏打法） 三、磷酸 盐补充处理法 四、硫酸中和碱性水法	
第二节 离子交换法	125
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	
第三节	其他方法	146
一、	加热软化法	
二、	连续排污水脱碱法	
第四章	离子交换纯水制备	147
第一节	离子交换树脂	147
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	
第二节	除盐的基本原理	170
第三节	离子交换设备	176
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	
第四节	除碳器	189
一、	鼓风式除碳器	
二、	真空式除碳器	
第五节	离子交换器的工作特性	192
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	
第六节	除盐设备运行恶化的原因	220
一、	机械和运行的缺陷	
二、	树脂稳定性不良	
三、	其他	
第五章	膜技术	242
第一节	反渗透	244
一、	基本原理	
二、	反渗透膜	
三、	膜元件	
四、	进水的预处理及影响膜污染的主要因素	
五、	膜性能的一些术语与反渗透系统	
六、	反渗透系统的故障诊断和排除	
七、	反渗透在动力工业中的应用	
第二节	超过滤	281
一、	基本原理	
二、	膜的选择	
三、	在动力工业中的应用及影响溶质截留的因素	
第三节	电渗析	288
一、	基本原理	
二、	对进水水质的要求	
三、	电渗析系统	
四、	极限电流密度	
五、	运行参数的确定	
六、	运行中易发生的故障	
七、	使用设备注意事项	

第六章 凝结水处理	301
第一节 前置过滤器	304
一、固定床式过滤器 二、管式或覆盖过滤器 三、磁性过滤器	
第二节 除盐装置	311
一、深层净化混床 二、粉末树脂净化设备 三、其他处理工艺	
第三节 后置过滤器	359
第四节 凝结水处理系统的设计	362
第五节 热力系统疏水除铁	367
一、钠型阳树脂过滤除铁 二、铵型阳树脂过滤除铁	
第六节 供热回水处理	371
一、回水收集 二、回水除油 三、乏汽除油	
第七章 锅内水质控制	377
第一节 水、汽质量标准	379
一、正常运行情况下的标准 二、锅炉启动时的标准	
第二节 锅炉给水除氧	391
一、热力除氧 二、化学除氧	
第三节 给水 pH 值调节及减缓腐蚀处理	405
一、挥发性中和试剂处理 二、给水系统的合理结构	
第四节 锅内结垢和腐蚀的控制	412
一、磷化处理 二、全挥发性处理 三、分散剂处理 四、络合处理	
第五节 锅炉的排污控制	425
一、排污率的计算 二、降低排污率的措施 三、排污的种类	
第六节 蒸汽携带的防止	432
一、蒸汽携带的原因 二、汽相携带 三、防止水、汽携带	
第七节 蒸汽纯度的测定	440
一、分析技术 二、取样	
第八章 锅炉的腐蚀及防腐	453
第一节 腐蚀原理	454

第二节	腐蚀类型及其特征	456
	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	
第三节	基建阶段的防腐	478
	一、安装前的防腐措施 二、安装时及投运前的防腐措施	
第四节	运行阶段的防腐	482
	一、防腐原则 二、防腐措施	
第五节	停用阶段的防腐	488
	一、方法的选择 二、各种停用防腐方法	
第九章	锅炉的化学清洗	496
第一节	化学清洗的必要性与依据	496
	一、必要性 二、清洗依据	
第二节	化学清洗溶剂的选择	499
	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	
第三节	缓蚀剂的选择	516
	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	
第四节	化学清洗方式及步骤	521
	一、清洗方式 二、清洗步骤	
第五节	清洗系统的设计、安装和回路划分	529
	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	
第六节	清洗废液处置	539
第七节	清洗后的防腐措施	541
第八节	清洗效果的评价	541
第九节	安全措施	542
第十章	汽轮机的腐蚀及防腐	545
第一节	杂质在蒸汽热力系统中的转移	545
第二节	近代汽轮机的腐蚀	548

第三节	蒸汽中腐蚀性杂质的来源及其对汽轮机的影响	550
一、	腐蚀性杂质的来源	
二、	杂质在汽轮机内的影响	
第四节	汽轮机腐蚀的类型及其特征	559
一、	应力腐蚀破裂	
二、	腐蚀疲劳	
三、	水分冲蚀	
四、	酸腐蚀	
五、	固体颗粒磨蚀	
六、	点蚀	
第十一章	凝汽器管材的腐蚀及防腐	573
第一节	凝汽器管材	574
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	
第二节	凝汽器管的腐蚀类型及防腐措施	579
一、	凝汽器管水侧腐蚀	
二、	凝汽器管汽侧腐蚀	
第三节	凝汽器管材的选用	603
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	
第四节	凝汽器管的管理和维护	613
一、	基建阶段	
二、	启动阶段	
三、	运行阶段	
四、	停用阶段	
第十二章	冷却水处理	625
第一节	冷却系统	625
一、	冷却系统的分类	
二、	开式循环冷却系统中水和盐的平衡	
三、	浓缩倍率的提高和节水效果	
第二节	冷却水处理的目的是	629
第三节	垢的沉积	630
一、	垢的种类	
二、	垢的形成机理	
三、	水的极限碳酸盐硬度	
四、	污垢系数	
第四节	凝汽器附着水垢的判别	640
一、	根据运行数据分析	
二、	根据水质试验	
第五节	直流冷却系统中水垢的防止	653
一、	垢的形成	
二、	防止结垢方法	
第六节	开式循环冷却系统中的防垢	655
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、	复合处理法	
六、	影响稳定处理的因素	
七、	开式循环冷却系统的外部处理	

第七节 粘泥的附着、沉渣的沉积及其防止	689
一、粘泥的形成 二、影响粘泥形成的因素 三、防止粘泥形成的方法	
第十三章 电厂水务管理及废水处理	705
第一节 概述	705
第二节 电厂水务管理	705
一、电厂用水循环 二、电厂水务管理	
第三节 电厂废水处理	717
一、电厂废水的分类 二、电厂废水的收集 三、电厂废水的处理	
附录	735
附录 1 化学元素及其化合价	735
附录 2 几个工业国家筛子的规格	744
附录 3 常用法定计量单位及与以往经常采用的单位的换算	751
附录 4 微孔试验	763
附录 5 与离子交换树脂再生有关的数据	768
附录 6 国外生产离子交换树脂的主要厂家及牌号	774
附录 7 各国离子交换树脂牌号对照表	775
附录 8 几种水处理用药有关的安全措施规定	777
附录 9 有关金属、合金腐蚀和氧化的术语	780
附录 10 金属和合金的电势(位)序	785
附录 11 常用水处理设备、管道通常采用的防腐措施	787
附录 12 几种塑料性能的比较	788
附录 13 喷砂除锈法技术要求	789
附录 14 国内外常用耐热钢管钢号对照表	789
附录 15 几个国家(或制造厂)的水质标准	791
附录 16 一些调节锅水用的化学药剂	814
附录 17 一些国家凝汽器铜管成分的比较	816
附录 18 无机化学 200 年史	818

附表

附表 1	一些难溶物质的溶解度乘积和溶解度	819
附表 2	各种纯度的纯水指标	819
附表 3	不同含量、温度下氯化钠溶液的电导率	820
附表 4	除盐水或蒸馏水在 25℃ 下的电导率、电阻和 近似的电解质含量	820
附表 5	常用的 pH 值指示剂	821
附表 6	金属或金属离子的焰色反应	822
附表 7	各色光的互补	823
附表 8	各种类型火焰的温度和燃烧速度	823
附表 9	不同温度下气体在水中的溶解度	824
附表 10	常用酸、碱的相对密度和质量分数	824
附表 11	几种常用钢在蒸汽中推荐的最高运行温度	825
附表 12	25℃ 时金属电极反应 ($\text{Me} \rightarrow \text{Me}^{n+} + n\text{e}$) 的 标准电极电位	825
附表 13	几种金属的相对热导率	826
附表 14	空气的组成	826
附表 15	空气的粘度	826
附表 16	充入液体压力计、差示压力计中的液体	827
附表 17	IUPAC 推荐的五种标准溶液在不同温度下 的标准 pH 值	827
附表 18	金属腐蚀速率的计算	828
主要参考文献	830

第一章 天然水及水处理 在动力工业中的重要性

水的分子式为 H_2O ，相对分子质量^① 为 18.016。在水分子中，氢占 11.19%，氧占 88.81%。动力工业中使用的天然水常含有溶解的或悬浮的杂质。这些杂质是引发故障或降低经济性的主要原因之一。为了弄清这些杂质而需要进行水分析；为了控制这些杂质而需要进行水处理。

第一节 水的主要特性

水的主要物理特性如表 1-1~表 1-6 所示。

表 1-1 水的相对密度^①

温度 (°C)	相 对 密 度	温度 (°C)	相 对 密 度
-10	0.99794	10	0.99973
-5	0.99918	15	0.99910
0	0.99987	20	0.99820
+1	0.99993	25	0.99704
+2	0.99997	30	0.99568
3	0.99999	40	0.99225
4	1.00000	50	0.98807
5	0.99999	60	0.98324
6	0.99997	70	0.97781
7	0.99993	80	0.97183
8	0.99988	90	0.96534
9	0.99981	100	0.95838

① 物质的相对密度，以前称为比重。

① 物质的相对分子质量，以前称为分子量。

表 1-2

水的沸点和压力间的关系

真空 (%)	沸点 (C)	压 力 ^①			真空 (%)	沸点 (C)	压 力 ^①		
		kPa	mmHg	atm			kPa	mmHg	atm
99.40	0	0.613	4.6	0.0062	86.60	52	13.612	102.1	0.139
99.30	2	0.707	5.3	0.0072	85.20	54	14.999	112.5	0.153
99.20	4	0.813	6.1	0.0083	83.70	56	16.505	123.8	0.168
99.08	6	0.933	7.0	0.0095	82.10	58	18.145	136.1	0.185
98.95	8	1.067	8.0	0.0109	80.30	60	19.918	149.4	0.203
98.78	10	1.227	9.2	0.0125	78.40	62	21.838	163.8	0.223
98.62	12	1.400	10.5	0.0143	76.40	64	23.905	179.3	0.244
98.42	14	1.600	12.0	0.0163	74.20	66	26.144	196.1	0.267
98.14	16	1.813	13.6	0.0185	71.80	68	28.558	214.2	0.291
97.89	18	2.066	15.5	0.0210	69.30	70	31.157	233.7	0.317
97.62	20	2.333	17.5	0.0238	66.50	72	33.944	254.6	0.346
97.30	22	2.640	19.8	0.0269	63.50	74	36.957	277.2	0.377
96.95	24	2.986	22.4	0.0304	60.30	76	40.183	301.4	0.410
96.57	26	3.360	25.2	0.0343	56.90	78	43.636	327.3	0.445
96.14	28	3.773	28.3	0.0385	53.30	80	47.343	355.1	0.483
95.68	30	4.240	31.8	0.0433	49.40	82	51.316	384.9	0.523
95.14	32	4.760	35.7	0.0485	45.20	84	55.582	416.9	0.567
94.57	34	5.320	39.9	0.0542	40.70	86	60.115	450.9	0.613
93.94	36	5.946	44.6	0.0606	35.90	88	64.941	487.1	0.662
93.24	38	6.626	49.7	0.0676	30.80	90	70.101	525.8	0.715
92.48	40	7.373	55.3	0.0752	25.40	92	75.594	567.0	0.771
91.64	42	8.199	61.5	0.0832	19.60	94	81.446	610.9	0.831
90.70	44	9.106	68.3	0.0928	13.50	96	87.673	657.6	0.894
89.70	46	10.092	75.7	0.1028	6.90	98	94.299	707.3	0.962
88.60	48	11.159	83.7	0.1138	0	100	101.325	760.0	1.033
87.40	50	12.332	92.5	0.1258					

① 表中压力栏内的“kPa”为法定计量单位，而“mmHg”和“atm”已废除不用，仅作参考。

表 1-3

水的蒸汽压^①

温度 (C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-10	0.26	0.28	0.31	0.34	0.37	0.40	0.43	0.48	0.52	0.56
0	0.61	0.66	0.71	0.76	0.81	0.87	0.93	1.00	1.07	1.15
10	1.23	1.31	1.40	1.50	1.60	1.70	1.82	1.94	2.06	2.20
20	2.34	2.49	2.64	2.81	2.98	3.17	3.36	3.57	3.78	4.01
30	4.24	4.49	4.75	5.03	5.32	5.62	5.94	6.28	6.63	6.99
40	7.38	7.78	8.20	8.64	9.09	9.58	10.09	10.61	11.16	11.74
50	12.33	12.96	13.61	14.29	15.00	15.73	16.51	17.31	18.15	19.01
60	19.92	20.85	21.84	22.85	23.91	25.00	26.15	27.33	28.56	29.83
70	31.17	32.52	33.95	35.43	36.96	38.55	40.19	41.88	43.64	45.47
80	47.35	49.29	51.32	53.41	55.57	57.81	60.12	62.49	64.95	67.48
90	70.11	72.81	75.60	78.48	81.45	84.52	87.68	90.95	94.31	97.76

温度 (C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
100	0.101	0.143	0.199	0.270	0.361	0.476	0.618	0.792	1.003	1.255
200	1.554	1.907	2.319	2.797	3.347	3.975	4.691	5.492	6.414	7.439
300	8.590	9.869	11.288	12.868	14.611	16.536	18.380	21.025	—	—

① 在-10~99.9 C阶段, 蒸汽压的单位为 kPa; 在 100~300 C阶段, 蒸汽压的单位为 MPa。

表 1-4

水的动力粘度和运动粘度

温度 (C)	动力粘度 (Pa·s)	运动粘度 (cm ² /s)	温度 (C)	动力粘度 (Pa·s)	运动粘度 (cm ² /s)
0	0.0017887	0.017887	25	0.0008941	0.008968
5	0.0015155	0.015156	30	0.0008019	0.008054
10	0.0013061	0.013065	35	0.0007205	0.007248
15	0.0011406	0.011416	40	0.0006533	0.006584
20	0.0010046	0.010064	45	0.0005958	0.006017

续表

温度 (C)	动力粘度 (Pa·s)	运动粘度 (cm ² /s)	温度 (C)	动力粘度 (Pa·s)	运动粘度 (cm ² /s)
50	0.0005497	0.005546	80	0.0003556	0.003659
55	0.0005072	0.005146	85	0.0003341	0.003451
60	0.0004701	0.004781	90	0.0003146	0.003259
65	0.0004395	0.004445	95	0.0002981	0.003099
70	0.0004062	0.004154	100	0.0002821	0.002944
75	0.0003795	0.003892			

表 1-5

水的质量定压热容

(不含空气的水在 0.1MPa 下的质量定压热容)

温度 (C)	质量定压热容 [J/(kg·C)]	温度 (C)	质量定压热容 [J/(kg·C)]	温度 (C)	质量定压热容 [J/(kg·C)]
0	4217.3098	25	4175.8733	70	4189.2669
5	4205.8833	30	4178.3846	80	4195.9637
10	4191.7782	40	4178.3846	90	4204.7533
15	4185.5000	50	4180.4774	100	4215.6356
20	4181.7330	60	4184.2443		

表 1-6

空气中水的表面张力

温度 (C)	表面张力 (10 ⁻⁵ N/cm)	温度 (C)	表面张力 (10 ⁻⁵ N/cm)	温度 (C)	表面张力 (10 ⁻⁵ N/cm)	温度 (C)	表面张力 (10 ⁻⁵ N/cm)
-10	77.10	15	73.48	24	72.12	50	67.90
-5	76.40	16	73.44	25	71.96	60	66.17
0	75.60	17	73.20	26	71.82	70	64.41
5	74.90	18	73.05	27	71.64	80	62.60
10	74.20	19	72.89	28	71.47	90	60.74
11	74.07	20	72.75	29	71.31	100	58.84
12	73.92	21	72.60	30	71.15		
13	73.78	22	72.44	35	70.35		
14	73.64	23	72.28	40	69.55		