

火电厂

及核电站水处理



傅毓赞 马东伟 马 克 崔立红 编著

HUODIANCHANG
JI HEDIANZHAN
SHUICHULI



化学工业出版社

火电厂

及核电站水处理

傅毓贇 马东伟 马 克 崔立红 编著



化学工业出版社

·北京·

TM621.9
04

图书在版编目 (CIP) 数据

火电厂及核电站水处理/傅毓贇等编著. —北京: 化学工业出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-122-19205-9

I. ①火… II. ①傅… III. ①火电厂-水处理②核电站-放射性水-水处理 IV. ①TM621.9②TM623.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 290690 号

责任编辑: 刘丽宏

责任校对: 徐贞珍

文字编辑: 汲永臻

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装订: 三河市前程装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 21¼ 字数 460 千字

2014 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

前言

F O R E W O R D

目前电厂用水的天然水源比较丰富,包括有地表水和地下水。近年来由于水资源的日益匮乏,节水减排效果明显,再生水的利用率越来越高,所以电厂用水中再生水也是重要组成部分之一。对于火电厂和核电站而言,不管是上述的哪种水源作为电厂生产用水,其中的杂质都要预先除去并达到相应的水质标准,方可使用,否则将会引起热力设备的结垢、腐蚀和积盐,从而影响电厂的安全经济运行。为了满足电厂水处理相关专业读者的阅读需要,我们编写了这本《火电厂及核电站水处理》。

本书在编写过程中力求紧密联系实际,注重基本理论和实际操作的结合,根据需要尽量采用新技术、新标准。主要内容为电厂目前普遍使用的水处理工艺及相关的设备及运行操作。理论以够用为度,突出使用及实用,主要内容涵盖了电厂常用的各种水处理以及水汽质量控制方法,包括火力发电厂及核电站所用的各种水源水的预处理及除盐处理、锅炉给水及炉水调节、蒸汽、凝结水、发电机内冷却水、循环水和火力发电厂各种废水处理及回用技术。核电站水处理部分的内容由于锅炉补给水与火电厂基本相同,二者合并在一起进行阐述,由于核电站生产的特殊性,对其凝结水与冷却水部分内容进行了专门介绍。同时,书中根据需要介绍了相关典型事故分析与案例,强化了与生产实际的联系。在内容组织方面,尽可能考虑到人的认知规律,突出系统工艺与理论的有机结合,体现感性认知与理论理解的基本关系,便于读者学习和理解,有利于岗位技能的提高。

本书的第1~4章的内容主要由保定电力职业技术学院的傅毓赞编写,第5、6、8章主要由保定电力职业技术学院的马克编写,第7章由河北省电力研究院的马东伟高级工程师编写,马东伟同时参与了第2章第4节内容的编写,并对全书内容的编排提出了宝贵建议,第9章内容由国电龙源电力技术工程有限责任公司的崔立红高级工程师编写。

本书在编写过程中得到了企业技术人员的大力支持,在此表示衷心感谢!

由于时间仓促,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编著者
2014年1月

化学工业出版社专业图书推荐

书 名	书号	定价/元
火电厂安全经济运行与管理	18015	48
风力发电与机组系统	18736	59
简明维修电工手册	15726	78
电厂化学概论	15839	49
电气五金手册	15229	49
火电厂金属材料(田跃生)	12191	25
火电厂特种设备安全技术	09900	25
热工仪表及自动控制系统	14428	48
化学运行及事故处理	13781	58
汽轮机运行及事故处理	12313	58
电厂防腐蚀及实例精选	11394	60
火力发电厂水处理与节水技术及工程实例	09001	59

欢迎登录化学工业出版社网上书店 www.cip.com.cn。

地址：北京市东城区青年湖南街 13 号 (100011)

如果出版新著，请与编辑联系。

编辑：010-64519283

投稿邮箱：editor2044@sina.com

购书咨询：010-64518888

目录

C O N T E N T S

第1章 电厂用水基础知识

1.1 概述	1
1.2 天然水中的杂质及其特征	1
1.2.1 悬浮物	2
1.2.2 胶体	2
1.2.3 溶解物质	3
1.2.4 有机物	4
1.3 电厂用水的水质特点	4
1.3.1 地表水	4
1.3.2 地下水	5
1.3.3 再生水	5
1.4 电厂用水水质指标	5
1.4.1 悬浮物及胶体	6
1.4.2 溶解盐类	6
1.4.3 硬度	7
1.4.4 碱度	7
1.4.5 酸度	8
1.4.6 有机物	8
1.5 天然水中几种主要化合物的化学特性	8
1.5.1 碳酸化合物	9
1.5.2 硅酸化合物	9
1.6 电厂水汽循环系统及水、汽名称	10
1.6.1 电厂水、汽循环系统	10
1.6.2 电厂常用水、汽名称	11

第2章 锅炉补给水的制取

2.1 概述	12
2.2 锅炉补给水制取的系统及设备	13
2.2.1 水的预处理	13
2.2.2 水的除盐	25
2.3 锅炉补给水制取系统的运行与维护	38

2.3.1	预处理系统的运行管理	38
2.3.2	离子交换除盐系统的运行管理	43
2.3.3	反渗透除盐系统的运行与维护	56
2.4	锅炉补给水系统的常见故障及解决方法	65
2.4.1	异常情况处理原则	65
2.4.2	水处理设备、水质异常情况及消除方法	65
2.5	锅炉补给水水处事故及案例分析	70
2.5.1	案例 1: 混凝剂的选择不当导致的异常	70
2.5.2	案例 2: 云南某发电厂除盐水制备系统异常	71
2.5.3	案例 3: 华能某电厂阳床再生异常分析及处理	73

第 3 章 锅炉的给水及炉水处理

3.1	给水处理	75
3.1.1	给水的组成与特点	75
3.1.2	给水处理的目的	76
3.1.3	给水处理的方法	76
3.2	锅炉炉水处理	92
3.2.1	炉水处理概述	92
3.2.2	水垢和水渣	93
3.3	汽包炉炉水处理方法	98
3.3.1	锅炉水的磷酸盐处理 (PT)	98
3.3.2	低磷酸盐处理 (LPT)	103
3.3.3	平衡磷酸盐处理 (EPT)	104
3.3.4	NaOH 处理	106
3.3.5	炉水常见异常现象及处理方法	107
3.4	给水及炉水系统事故案例及分析	107
3.4.1	案例 1: 取样过滤器污染引起锅炉给水品质异常分析	107
3.4.2	案例 2: 有机物超标导致炉水 pH 降低治理	110
3.4.3	案例 3: 因运行问题导致水质恶化	112
3.4.4	案例 4: 水处理方式不当引起的腐蚀事故分析	113
3.4.5	案例 5: 水处理方式不当引起的锅炉水冷壁管氢脆事故分析	116

第 4 章 蒸汽系统的积盐及水汽质量监督

4.1	概述	118
4.1.1	水滴携带	118
4.1.2	溶解携带	120
4.2	蒸汽流程中的盐类沉积	121
4.2.1	各种物质在过热器中的沉积	121
4.2.2	各种物质在汽轮机中的沉积	123
4.3	获得清洁蒸汽的方法	126
4.3.1	减少进入锅炉水中的杂质	126
4.3.2	锅炉排污	126

4.3.3 设置汽包内部装置	127
4.3.4 调整锅炉的运行工况	131
4.4 水汽质量标准与取样方法	132
4.4.1 水汽质量标准	132
4.4.2 水汽取样方法及注意事项	136
4.4.3 水汽取样分析装置的使用及维护	139
4.4.4 采样装置的使用及维护案例	142
4.5 机组启动与停运时的水质监督	145
4.5.1 机组启动前水汽系统的冲洗监督	145
4.5.2 停、备用机组启动时的水汽质量标准	146
4.6 蒸汽系统事故案例及分析	147
4.6.1 案例 1: 深圳某发电总厂 2 号锅炉过热器爆管	147
4.6.2 案例 2: 哈尔滨某电厂过热器积盐爆管	148
4.6.3 案例 3: 天津某电厂 3 号机组高压缸磷酸盐垢沉积分析	148
4.6.4 案例 4: 中压缸沉积硅垢分析	149

第 5 章 凝结水处理

5.1 概述	151
5.1.1 凝结水的污染	151
5.1.2 凝结水精处理的目的及其系统的功能	153
5.1.3 凝结水精处理的适用范围	153
5.2 凝结水处理系统及设备	154
5.2.1 凝结水的过滤	154
5.2.2 凝结水的除盐	158
5.3 凝结水处理系统运行与维护	168
5.3.1 凝结水处理系统	168
5.3.2 前置过滤器的运行	170
5.3.3 混床的运行	171
5.3.4 混床树脂的分离及体外再生	173
5.3.5 凝结水处理系统常见的异常情况及处理方法	176
5.4 核电站凝结水处理	178
5.4.1 核电站设置凝结水处理系统的必要性	178
5.4.2 核电站凝结水处理的特殊要求	178
5.4.3 核电站凝结水处理系统	179
5.4.4 核电站凝结水处理系统运行常见问题	179
5.5 凝结水系统事故案例及分析	181
5.5.1 案例 1: 广东某电厂 4 号锅炉精处理系统漏树脂	181
5.5.2 案例 2: 高速混床树脂交叉污染导致炉水 pH 异常	182
5.5.3 案例 3: 精处理混床周期制水量下降原因及分析	183
5.5.4 案例 4: 凝结水精处理设计缺陷引起的故障及分析	184

第 6 章 电厂冷却水处理

6.1 概述	188
---------------------	------------

6.1.1 冷却水系统概述	188
6.1.2 凝汽器	189
6.1.3 冷却设备	193
6.2 循环冷却水水质变化及处理方法	195
6.2.1 冷却水中污泥的形成	195
6.2.2 冷却水系统污泥附着物的防止方法	197
6.2.3 凝汽器铜管内结垢	201
6.2.4 循环冷却水的防垢处理	202
6.3 循环冷却水系统运行与维护	205
6.3.1 凝汽器铜管的清洗	205
6.3.2 冷却水系统的腐蚀及控制	208
6.4 发电机内冷水系统运行与维护	216
6.4.1 系统介绍	216
6.4.2 系统调节器的作用与控制原理	218
6.4.3 发电机内冷水系统运行及维护	218
6.4.4 发电机内冷水系统常见故障及故障消除方法	221
6.5 核电站冷却水处理	222
6.6 循环冷却水及发电机内冷水系统事故分析	224
6.6.1 案例 1: 陕西某发电厂循环冷却水系统故障分析	224
6.6.2 案例 2: 安庆某发电有限公司循环冷却水故障分析	226
6.6.3 案例 3: 因设计不当造成的内冷水 pH 偏低、铜含量偏高	229
6.6.4 案例 4: 因加药方式不当造成发电机事故	229

第 7 章 化学清洗

7.1 锅炉的化学清洗	231
7.1.1 锅炉化学清洗的目的	231
7.1.2 锅炉化学清洗的常用药品	232
7.1.3 化学清洗方案的制订及实施	237
7.2 发电机内冷水系统清洗方案	247
7.2.1 物理清洗方案	247
7.2.2 案例——发电机内冷水系统化学清洗	248
7.3 化学清洗不当引起的事故案例分析	251
7.3.1 案例 1: 锅炉酸洗不当引起锅炉爆管	251
7.3.2 案例 2: 锅炉酸洗不当引起锅炉爆管	253

第 8 章 电厂废水处理

8.1 概述	255
8.1.1 电厂废水的相关术语	255
8.1.2 废水的处理	257
8.1.3 废水再生和工业水的回用	257
8.1.4 火力发电厂废水及其水质特性	259
8.2 电厂废水处理技术	264
8.2.1 物理处理技术	264

8.2.2	化学处理技术	267
8.2.3	生物处理技术	269
8.2.4	膜分离技术	270
8.2.5	其他处理技术	270
8.3	火电厂废水的处理工艺	272
8.3.1	冷却排污水的处理	273
8.3.2	化学酸碱废水的处理	274
8.3.3	冲灰废水的处理	278
8.3.4	烟气脱硫废水的处理	281
8.3.5	生活污水的处理	285
8.3.6	煤场废水、冲渣水、车间冲洗水的处理	286
8.3.7	含油废水的处理	287
8.3.8	锅炉清洗废液的处理	289
8.3.9	锅炉排污水的处理	290
8.4	核电站放射性废水处理	291
8.4.1	化学沉淀处理	291
8.4.2	过滤处理	292
8.4.3	离子交换法	294
8.4.4	其他方法	296
8.4.5	放射性废水处理系统	297

➤➤➤➤➤➤➤➤➤➤

第9章 电厂常见的金属腐蚀及防止

9.1	金属腐蚀基本理论	300
9.1.1	概述	300
9.1.2	金属电化学腐蚀的基本原理	303
9.2	电厂典型腐蚀	307
9.2.1	给水系统腐蚀	307
9.2.2	水汽系统腐蚀	310
9.2.3	汽轮机的酸性腐蚀	316
9.2.4	锅炉的酸性腐蚀	318
9.3	机组停运的腐蚀及防护	319
9.3.1	停用锅炉的腐蚀	319
9.3.2	锅炉停用保护的方法	320
9.3.3	锅炉停用保护方法的选择	323
9.4	锅炉停用保护措施不当引起的事故案例及分析	324
9.4.1	案例1: 某电厂省煤器和低压过热器疏水管腐蚀	324
9.4.2	案例2: 某电厂锅炉水冷壁停运的腐蚀	325
9.4.3	案例3: 某电厂保护剂采用不当导致汽轮机停运的腐蚀	326

➤➤➤➤➤➤➤➤➤➤

参考文献

第1章

电厂用水基础知识

1.1 概述

目前电厂用水的天然水源比较丰富,包括有地表水和地下水。地表水主要包括江、河、湖泊、水库及海水等,地下水主要包括层间地下水、井水等。近年来由于水资源的日益匮乏,节水减排效果明显,再生水的利用率越来越高,所以电厂用水中再生水也是重要组成部分之一。对于火电厂和核电站而言,不管是上述的哪种水源作为电厂生产用水,其中的杂质都要预先除去并达到相应的水质标准,方可使用,否则将会引起热力设备的结垢、腐蚀和积盐,从而影响电厂的安全经济运行。

1.2 天然水中的杂质及其特征

依照水中杂质颗粒的大小,可将天然水中的杂质分成悬浮物、胶体和溶解物质。各种杂质的具体情况如表 1-1 所示。

表 1-1 天然水中的杂质

主要离子		溶解气体		生物 生成物	胶 体		悬浮 物质
阴离子	阳离子	主要气体	微量气体		无机	有机	
Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-}	Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+}	O_2 、 CO_2	N_2 、 H_2S 、 CH_4	NH_3 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 、 HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^-	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	腐殖质	硅铝铁酸、 砂粒、 黏土、 微生物

1.2.1 悬浮物

悬浮物的颗粒较大,一般在 100nm 以上,它们在水中是不稳定的,在重力或浮力的作用下易于分离出来。比水密度大的悬浮物,当水静置时或流速较慢时会下沉,在天然水中常见的此类物质是砂子和黏土类无机物。比水密度小的悬浮物,当水静置时会上升,这类物质中常见的是动植物生存过程中产生的物质或死亡后腐败的产物,它们是一些有机物。此外,还有些其密度与水相近的,它们会悬浮在水中。由于水中悬浮物的存在,使水体变浑浊。

1.2.2 胶体

胶体是指颗粒直径约为 1~100nm 之间的微粒。胶体颗粒在水中有布朗运动,它们不能靠静置的方法自水中分离出来。而且,胶体表面因带电,同类胶体之间有同性电荷的斥力,不易相互黏合成较大的颗粒,所以胶体在水中是比较稳定的。这些微粒,由于其比表面很大,显示出明显的表面活性,所以其表面常常因吸附有大量离子而带电。

天然水中的有机胶体多半是由于水中植物或动物躯体的腐烂和分解而生成的,其中主要的为腐殖质。在湖泊水中腐殖质最多,它常常使水呈黄绿色或褐色。工业区的水源,由于受工业排水的污染,有机胶体也很多。天然水中的矿物质胶体,主要是铁、铝和硅的化合物。

水中胶体不易沉降的主要原因,就是由于同类胶体带有同性电荷,彼此之间存在着电性斥力,相遇时相互排斥,因而它们不易碰撞和黏合,一直保持着微粒状态而在水中悬浮;胶体不易沉降的另一原因,是其表面有一层水分子紧紧地包围着,称为水化层,它阻碍了胶体颗粒间的接触,使得胶体在热运动时不能彼此黏合,从而使其保持微粒状态而悬浮不沉。水化层是由于胶体表面的离子和水分子相结合而形成的,即所谓溶剂化作用。

胶体物质中既有有机物,也有无机物,而且以前者为主。在天然水中,有些溶于水的高分子化合物被看作有机胶体是因为它们的分子较大,具有与胶体相似的性质。有机胶体物质多来自土壤的有机质,来自动植物的生物分解作用,如腐殖质、氨基酸、蛋白质等,它们是水体产生色、嗅、味的主要原因。无机胶体大都是由许多不溶于水的分子组成的集合体,有硅酸盐和铁、铝、锰等物质。硅酸盐是地壳的主要构成成分,岩石和由岩石风化形成的土壤中都以硅酸盐为主。最常见的如石英、长石、花岗岩、高岭土均是,常以二氧化硅为代表。水中二氧化硅含有可溶的部分与胶体的部分(悬浮的砂粒除外),可溶解部分也并非单纯的偏硅酸(H_2SiO_3 或 $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)而是多分子的聚集体($n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, $n \leq 5$),胶体硅是更多二氧化硅水合物的聚集体。铁、铝氧化物的水合物(氢氧化物)多为胶体状态,它们的溶度积很小,溶解度低,在水中的含量低于 1mg/L。

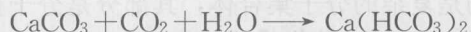
水中胶体物质的存在,使水在光照下显得浑浊。

1.2.3 溶解物质

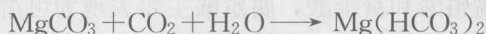
溶解物质是指颗粒直径小于 1nm 的微粒。它们大都以离子或溶解气体状态存在于水中，现概述如下。

(1) **离子态杂质** 天然水中含有的离子种类甚多，但在一般的情况下，它们总是一些常见的离子。如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 等阳离子以及 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- 等阴离子，它们是水净化需要除去的主要离子。

天然水中离子态杂质来自水流经地层时溶解的某些矿物质。例如石灰石 (CaCO_3) 和石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 的溶解。 CaCO_3 在水中的溶解度虽然很小，但当水中含有游离态 CO_2 时， CaCO_3 被转化为较易溶的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 而溶于水中。其反应为



又如白云石 ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) 和菱镁矿 (MgCO_3)，也会被含游离 CO_2 的水溶解，其中 MgCO_3 溶解反应可表示为



由于上述反应，所以天然水中存在 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 。在含盐量不大的水中， Mg^{2+} 的含量一般为 Ca^{2+} 的 25%~50%，水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 是形成水垢的主要成分。

含钠的矿石在风化过程中易于分解，释放出 Na^{+} ，所以地表水和地下水中普遍含有 Na^{+} 。因为钠盐的溶解度很高，在自然界中一般不存在 Na^{+} 的沉淀反应，所以在高含盐量水中， Na^{+} 是主要阳离子。天然水中 K^{+} 的含量远低于 Na^{+} ，这是因为含钾的矿物比含钠的矿物抗风化能力大，所以 K^{+} 比 Na^{+} 较难转移至天然水中。

由于在一般水中 K^{+} 的含量不高，而且化学性质与 Na^{+} 相似，因此在水质分析中，常以 ($\text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$) 之和表示它们的含量，并取加权平均值 25g/mol 作为两者的摩尔质量。

天然水中都含有 Cl^- ，这是因为水流经地层时，溶解了其中的氯化物。所以 Cl^- 几乎存在于所有的天然水中。

硝酸根的存在常表明水体曾有生物污染，如果有亚硝酸根则表明仍存在生物污染，此时甚至还可检出氨（铵、胺）。

由上可知，天然水中最常见的阳离子是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} ；阴离子是 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 HSiO_3^- ，某些地区的地下水中还含有较多的 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 。

(2) **溶解气体** 天然水中常见的溶解气体有氧 (O_2) 和二氧化碳 (CO_2)，有时还有硫化氢 (H_2S)、二氧化硫 (SO_2) 和氨 (NH_3) 等。

天然水中 O_2 的主要来源是大气中 O_2 的溶解，因为空气中含有 20.95% 的氧，水与大气接触使水体具有自充氧的能力。另外，水中藻类的光合作用也产生一部分的氧，但这种光合作用并不是水体中氧的主要来源，因为在白天靠这种光合作用产生的氧，又在夜间的新陈代谢过程中消耗了。天然水的氧含量一般在几至十几毫

克/升之间。地下水因不与大气相接触，氧的含量一般低于地表水。

天然水中 CO_2 的主要来源为水中或泥土中有机物的分解和氧化，也有因地层深处进行的地质过程而生成的，其含量在几毫克/升至几百毫克/升之间。地表水的 CO_2 含量常不超过 $20 \sim 30 \text{mg/L}$ ，地下水的 CO_2 含量较高，有时达到几百毫克/升。天然水中 CO_2 并非来自大气，而恰好相反，它会向大气中析出，因为大气中 CO_2 的体积百分数只有 $0.03\% \sim 0.04\%$ ，与之相对应的溶解度仅为 $0.5 \sim 1.0 \text{mg/L}$ 。

水中 O_2 和 CO_2 的存在是使金属发生腐蚀的主要原因。

1.2.4 有机物

天然水中的有机物是复杂的分子集合体，其部分是分子量为 $10^3 \sim 10^6$ 的小颗粒胶体，部分是分子量小于 1000 的物质及部分可溶物。

有机物主要来自土壤中的腐殖质、工业废水和生活污水。腐殖质中的有机物按其性质大体上可分为腐殖酸和富维酸，腐殖酸主要表现为可溶于碱性溶液，但不溶于酸性溶液，在水中多呈胶体状态；富维酸可溶于酸，在水中多是溶解状态。有机物按其形态有悬浮态、胶体和溶解状态三种形式存在于水中。

1.3 电厂用水的水质特点

1.3.1 地表水

地表水是指流动或静止在陆地表面的水，主要是指江河、湖泊和水库水。海水也属于地表水，但有其特殊的水质。

(1) 江河水 通常江河水中的悬浮物和胶体杂质含量较多，浊度高于地下水，且随地区和季节的不同，差异很大。江河水的含盐量及硬度较低，其含盐量一般在 $50 \sim 500 \text{mg/L}$ ，硬度一般在 $1.0 \sim 8.0 \text{mmol/L}$ ，是电厂用水最合适的水源。江河水最大的缺点是易受工业废水、生活污水及其他各种人为的污染。

(2) 湖泊及水库水 湖泊及水库水主要由江河水 and 降水补给，水质与江河水类似。但湖泊及水库水一般含藻类较多，使水产生色、嗅、味。因为进出水交替缓慢，停留时间比江河水长，当含有较多的氮与磷时，就会使湖水富营养化。又由于水的不断蒸发，故含盐量往往比江河水高。按其含盐量分淡水湖、微咸水湖和咸水湖，前两种可作为电厂用水的水源。

(3) 大气水 大气水是指自然界的雨水和雪水，它是通过水的蒸发和凝结过程而形成的天然水，所以比较洁净。但是这种水中仍有少量杂质，这是因为在它们从空中降至地面的过程中，受到大气的污染。大气水的含盐量一般不大于 $40 \sim 50 \text{mg/L}$ ，硬度一般不大于 $0.07 \sim 0.1 \text{mmol/L}$ 。这种水的纯度虽然很高，但是由于很难收集，加之它的量决定于气候条件，所以不能用作电厂用水的直接水源。

(4) 海水 海水的盐类含量是常见地表水及地下水的 100 倍左右，其一特点是

以氯化钠为主, 镁的含量比钙的含量高; 另一特点是全世界海洋水的成分大致相近。未经过淡化处理的海水主要用来冷却热交换器设备。在电力行业标准 DL/T 783—2001《火力发电厂节水导则》4.1.1.2条中指出, 滨海电厂的主机凝汽器冷却水应使用海水, 辅机应采用海水开式与淡水闭式相结合的冷却系统。

1.3.2 地下水

存在地球表面以下的土壤和岩层中的水称为地下水。地下水是由雨水和地表水经过地层的渗流而形成的。水在地层渗透过程中, 通过土壤和砂砾的过滤作用, 悬浮物和胶体已基本或大部分去除, 所以地下水浊度普遍较低。由于地下水流经岩层时, 溶解了各种可溶性物质, 因而水中含盐量通常高于地表水。至于含盐量的多少及盐类的成分, 则取决于地下水流经地层的矿物质成分、地下水埋深和与岩石接触时间等。如果在土壤中含有较多有机物时, 氧气将消耗于生物氧化, 产生 CO_2 、 H_2S 等气体, 此气体溶于水中, 使水具有还原性。还原性的水与高价铁锰矿石反应, 使它们以低价离子形态进入水中, 因此地下水游离 CO_2 含量高, 并普遍含有 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 。溶解氧在地层中消耗后得不到补充, 所以地下水中溶解氧含量很少。地下水受外界影响小, 水质比较稳定, 可以用作电厂用水的水源。

1.3.3 再生水

再生水是指污水经适当处理后, 达到一定的水质指标, 满足某种使用要求, 可以进行有益使用的水。与海水淡化、跨流域调水相比, 再生水具有明显的优势。从经济的角度看, 再生水的成本最低, 约为 1~3 元/吨, 而海水淡化的成本约为 5~7 元/吨, 跨流域调水的成本约为 5~20 元/吨。从环保的角度看, 污水再生利用有助于改善生态环境, 实现水生态的良性循环。

目前, 多数电厂推广使用“零排放”水务管理技术, 电厂生产生活中产生的废水经过处理后达到回用, 另外有些电厂正在尝试使用城市中水作为电厂水源, 节水的经济效益和社会效益显著。

1.4 电厂用水水质指标

所谓水质是指水和其中杂质共同表现出的综合特性, 也就是常说的水的质量, 而表示水中杂质个体成分或整体性质的项目, 称为水质指标, 它是衡量水质好坏的参数。

由于各种工业生产过程对水质的要求不同, 所以采用的水质指标也有差别。火电厂用水的水质指标有二类: 一类是表示水中杂质离子的组成的成分指标, 如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等; 另一类指标是表示某些化合物之和或表征某种性能, 这些指标是由于技术上的需要而专门制定的, 故称为技术指标, 表 1-2 所列的为电厂用水的技术指标。

表 1-2 电厂用水的技术指标

指标名称	符 号	单 位	指标名称	符 号	单 位
pH	pH	—	硬 度	YD或H	mmol/L
全固体	QG	mg/L	碳酸盐硬度	H _T	mmol/L
悬浮固体	SS	mg/L	非碳酸盐硬度	H _F	mmol/L
浊 度	ZD	FTU	碱 度	JD	mmol/L
透明度	TD	cm	酸 度	SD	mmol/L
溶解固体	RG	mg/L	化学耗氧量	COD	mg/LO ₂
灼烧减少固体	SG	mg/L	生化需氧量	BOD	mg/LO ₂
含盐量	S	mg/L	总有机碳	TOC	mg/L
	C	mmol/L	油含量	y	mg/L
电导率	DD	μS/cm			

1.4.1 悬浮物及胶体

(1) **悬浮固体** 悬浮固体是水样在规定的条件下，经过滤能够分离出来的固体，单位为毫克/升（mg/L）。这项指标仅能表征水中颗粒较大的悬浮物，而不包括能穿透滤纸的颗粒小的悬浮物及胶体，所以有较大的局限性。此法需要将水样过滤，滤出的悬浮物需经烘干和称量等手续，操作麻烦，不易用作现场的监督指标。

(2) **浊度** 浊度是反映水中悬浮物和胶体含量的一个综合性指标，通常用光电浊度仪测定，它是利用光的散射原理制定的。

由于标准水样配制方法不同，浊度使用的单位也不相同，目前以福马胍聚合物作为浊度标准的对照溶液，与水样相比较，所测得的浊度单位用福马胍单位（FTU）表示。

1.4.2 溶解盐类

(1) **含盐量** 含盐量是表示水中各种溶解盐类的总和，由水质全分析的结果，通过计算求出。含盐量有两种表示方法：一是质量表示法，即将水中各种阴、阳离子的含量以质量浓度（mg/L）为单位全部相加；二是物质的量浓度表示法，即将水中各种阳离子（或阴离子）均按带一个电荷的离子为基本单元，计算其物质的量浓度（mmol/L），然后将它们（阳离子或阴离子）相加。

由于水质全分析比较麻烦，所以常用溶解固体近似表示，或用电导率衡量水中含盐量的多少。

(2) **溶解固体** 溶解固体是指在规定的条件下，水样经过滤除去悬浮固体后，经蒸发、干燥所得的残渣重量，单位用毫克/升（mg/L）表示。

(3) **电导率** 水中所含的盐类电离，使水具有导电能力，利用测量水的电导率推知水的溶解固体，解决了实测溶解固体的困难。

水的电导率是指在一定温度下，1cm³ 正方体水的两个相对面之间电阻的倒数，

其符号可用 DD 表示, 常用单位为 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

水的电导率的大小除了与水中离子含量有关外, 还和离子的种类有关, 单凭电导率不能计算水中含盐量。但当水中各种离子的相对量一定时, 则离子总浓度愈大, 其电导率也愈大, 因而在实际应用中可直接以电导率反应水中含盐量。在水中离子的组成比较稳定的情况下, 可以根据试验求得电导率与含盐量的关系, 将测得的电导率换算成含盐量。氢离子和氢氧根离子的电导率高于其他盐类离子, 多价离子高于 1 价离子。纯水可解离出少量氢离子和氢氧根离子, 在 25°C 下的电导率为 $0.055\mu\text{S}/\text{cm}$ 。对于一般的盐分来说大致为每 $1\mu\text{S}/\text{cm}$ 电导率, 相当于 $0.5\text{mg}/\text{L}$ 。

水的温度对电导率的测量结果有影响, 在 $10\sim 40^\circ\text{C}$ 间, 水样每升高 1°C , 可使电导率升高 2×10^{-2} , 可以利用这一关系, 在电导率仪表中补偿消除其影响。通常取 25°C 的电导率为标准值, 以便于比较。

1.4.3 硬度

表征水中易结垢物质的指标是硬度, 它是指水中某些易形成沉淀的金属离子, 它们都是二价或二价以上的金属离子。在天然水中, 形成硬度的物质主要是钙、镁离子, 所以通常认为硬度就是指水中这两种离子的含量。水中钙离子含量称钙硬 (H_{Ca}), 镁离子含量称镁硬 (H_{Mg}), 总硬度是指钙硬和镁硬之和。

硬度的单位为毫摩尔/升 (mmol/L), 这是一种最常用的表示物质浓度的方法, 是我国的法定计量单位。在美国硬度单位为 ppmCaCO_3 , 这里的“ppm”表示百万分之一, 它与“ mg/L ”大致相当; 在德国硬度单位采用的是德国度 $^\circ\text{G}$, 1°G 相当于 $10\text{mg}/\text{L}$ CaO 所形成的硬度。

以上几种硬度单位的关系如下:

$$1\text{mmol}/\text{L}=2.8^\circ\text{G}=50\text{ppmCaCO}_3$$

1.4.4 碱度

表征水中碱性物质的指标是碱度, 碱度是表示水中可以用强酸中和的物质的量。形成碱度的物质有:

- ① 强碱, 如 NaOH 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等, 它们在水中全部以 OH^- 形式存在;
- ② 弱碱, 如 NH_3 的水溶液, 它在水中部分以 OH^- 形式存在;
- ③ 强碱弱酸盐类, 如碳酸盐、磷酸盐等, 它们水解时产生 OH^- 。

在天然水中的碱度成分主要是碳酸氢盐, 有时还有少量的腐殖酸盐。

使用不同的酸碱指示剂, 用标准酸试液滴定水样, 可以测知水的碱度。使用甲基橙 (变色点 pH 值为 4.0) 为指示剂, 测得的碱度称总 (全) 碱度。这是由于滴定的终点已达弱酸性范围, 可以认为水中全部碱性物质均已与氢离子结合。使用酚酞指示剂测定水的碱度, 试样由微红色滴定至无色 (红色消退), 终点 pH 值为 8.3, 水仍为微碱性, 所得到的碱度称酚酞碱度。

碱度的单位为 mmol/L , 与硬度一样, 在美国和德国分别用 ppmCaCO_3 和 $^\circ\text{G}$ 为单位。