

火力发电厂
化学技术丛书

火力发电厂 用水技术

宋丽莎 曹长武 汪建军 编著

解决技术难题
突出实用技能



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

火力发电厂
化学技术丛书

火力发电厂 用水技术

宋丽莎 曹长武 汪建军 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是火力发电厂化学技术丛书之一。本丛书是一套针对性很强的专业生产实用型书籍,内容涵盖火力发电厂用水、用煤、用油方面的全部技术,丛书既遵循了国家与电力行业标准以及化学监督的要求与规定,又体现了各个专业的不同特点,实用性强,适用面广。

本书以实用性为最大特点,书中内容密切结合我国火力发电厂实际,全面阐述电厂用水各个方面的技术问题。全书共分八章,第一章与第二章讲述火电厂用水综述,用水监督及水、汽样品的采集与保存;第三章与第四章则重点对锅炉补给水处理技术和炉内水、汽,包括发电机冷却水处理与控制技术要点进行介绍;第五章是火电厂的循环冷却水系统、设备材料选用、防腐、防垢方法及城市中水的应用;第六章与第七章是火电厂用水的排放与处理、节水方式;第八章则是用水的检测技术,介绍最常用检测方法及应用要点和难点。

本书内容丰富、资料翔实可靠、易读易懂,是火力发电厂从事水处理、水分析、水汽运行、冷却水运行监督人员及生产管理人员不可缺少的实用性科技读物,也可作为电厂化学专业高等院校的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

火力发电厂用水技术/宋丽莎,曹长武,汪建军编
著. —北京:中国电力出版社,2007
(火力发电厂化学技术丛书)
ISBN 978-7-5083-5037-0

I. 火… II. ①宋… ②曹… ③汪… III. 火电
厂-工业用水 IV. TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 159963 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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

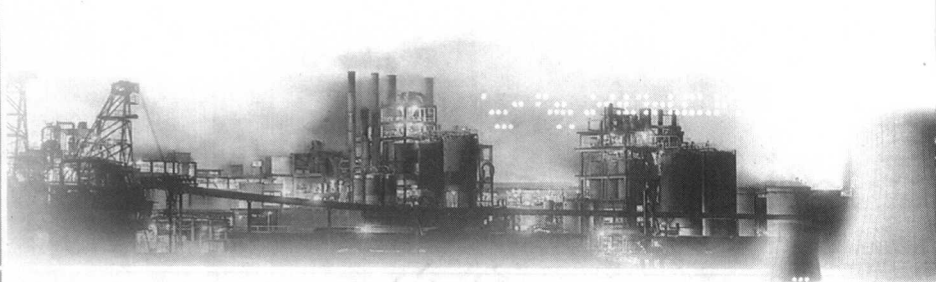
2007 年 5 月第一版 2007 年 5 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 507 千字
印数 0001—3000 册 定价 33.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言



火力发电在我国电源结构中占 70% 以上,而且这种基本格局在短期内不会根本改变。电源结构不合理、电源与电网建设不协调、电力科技含量低等因素导致资源浪费严重,是目前困扰中国电力工业健康发展的主要问题。

水、煤、油均是宝贵的资源,是火力发电厂赖以生存和发展的物质基础。特别是水资源短缺,已成为制约电力工业发展的重要因素,我国水资源总量占世界第 6 位,但人均占有量居世界第 108 位,我国是世界上 21 个贫水国之一。另一方面,我国火力发电厂受技术条件的限制,水、煤等资源浪费严重。例如我国火力发电厂水耗为技术发达国家同类机组的 1.8 倍,在煤、油的利用方面也存在类似情况。

为了建设节约型社会,为了电厂的自身发展,就必须充分利用水、煤、油资源,这将是火力发电厂的一项长期任务。根据我国火力发电厂各专业的配置,水、煤、油同属于电厂化学专业的技术范畴,为了全面阐述火力发电厂在保证机组安全经济运行的前提下,如何用好水、煤、油,特编写《火力发电厂化学技术丛书》。

本丛书包括《火力发电厂用水技术》、《火力发电厂用煤技术》、《火力发电厂用油技术》三个分册,各分册具有共同的特点,既体现如何用水、用煤、用油,掌握火力发电厂化学技术,避免事故的发生,又大力节约水、煤、油资源。丛书的各个分册均分章阐述,系统地讲述了火力发电厂用水、用煤、用油各专业相关技术问题,说明实际生产中的技术要点与难点,指出水、煤、油的节约方向与途径,是火力发电厂化学专业人员所用的一套实用性科技读物。

本丛书作者既有长期从事火力发电厂化学技术试验研究工作的科研工作者,又有来自火力发电厂生产一线的技术人员,他们都具有丰富的实践经验。书中内容主要针对 300、600MW 机组,并提供了众多生产实例来说明如何做好火力发电厂用水、用煤、用油工作,以掌握其应用技术。

本书为《火力发电厂用水技术》,书中内容密切结合我国火力发电厂实际,全面阐述了电厂用水各个方面的技术问题。本书第一章与第二章讲述火电厂用水综述、用水监督及水、汽样品的采集与保存;第三章与第四章则重点对锅炉补给水处理技术和炉内水、汽,包括发电机冷却水处理与控制技术要点进行介绍;第五章是火电厂的循环冷却水系统、设备材料选用、防腐、防垢方法及城市中水的应用;第六章与第七章是火电厂用水的排放与处理、节水方式;第八章则是用水的检测技术,把最常用检测方法及应用要点和难点介绍给读者。

本丛书主要供火力发电厂化学专业,包括水、煤、油专业各个岗位的一线人员使用,同时对其他用水、用煤、用油行业的相关人员及大专院校电厂化学专业师生也具参考价值。

火力发电厂化学技术对电力生产影响很大,其内容丰富而又庞杂,技术性强而变化又快,对于火力发电厂化学技术,书中难以一一尽述,不当之处恳请读者批评指正,以期修订再版时加以更正。

《火力发电厂化学技术丛书》编委会

目 录

前言

► 第一章 火电厂用水综述	1
第一节 水的物理化学性质	1
第二节 天然水的特性及在火电厂中的应用	6
第三节 水质特性指标表示方法及含义	12
第四节 火电厂各种用水与节水途径	18
第五节 火电厂的用水监督	24
► 第二章 水样的采集与保存	31
第一节 水、汽样品的采集方法	31
第二节 水样的保存方法	37
第三节 电厂排水的采样方法	40
► 第三章 补给水处理技术	45
第一节 原水水源与补给水水质要求	45
第二节 水的混凝澄清处理	52
第三节 水的过滤处理	60
第四节 水的预除盐处理技术	68
第五节 水的离子交换法除盐处理	89
第六节 电除盐(EDI)精处理技术	106
► 第四章 火电厂热力系统用水	110
第一节 热力系统用水综述	110
第二节 锅炉给水处理与水质控制	115
第三节 锅炉炉水处理与水质控制	124
第四节 蒸汽品质的控制与防止积盐	132
第五节 凝结水处理与水质控制	137
第六节 发电机的冷却用水	148
► 第五章 循环冷却水系统的防腐及冷却水处理	152
第一节 火电厂冷却水系统	152

第二节	冷却器管材的选用	155
第三节	凝汽器管的防腐、防垢	160
第四节	海水冷却水系统的处理	187
第五节	淡水冷却水系统的处理	191
第六节	凝汽器管的故障诊断与处理	200
▶ 第六章	火电厂排水与处理	206
第一节	火电厂排水概述	206
第二节	煤灰的物理化学特性	212
第三节	灰水性能与处理	217
第四节	冲灰管道的结垢与防止	222
第五节	电厂工业污水的排放与常规处理	227
第六节	电厂含油污水的排放与治理	233
第七节	电厂特殊工业污水的排放与治理	237
第八节	电厂生活污水的治理	242
▶ 第七章	火电厂节水	247
第一节	我国水资源分布及电厂的节水任务	247
第二节	提高循环冷却水浓缩倍率	253
第三节	电厂除灰方式与节水	258
第四节	城市中水在电厂中的应用	263
第五节	空冷式火力发电节水技术	271
▶ 第八章	火电厂用水检测技术	274
第一节	火电厂用水检测的基本要求与一般规定	274
第二节	化学分析方法及其应用	288
第三节	分光光度法及其应用	299
第四节	电位与电导分析方法及其应用	307
第五节	原子吸收分光光度法及其应用	313
第六节	离子色谱法及其应用	319
参考文献		324

火电厂用水综述

水是生命之源，是人类赖以生存及开展一切生产活动的基本条件。

我国是淡水资源短缺的国家。我国水资源为 2.81 万亿 m^3 ，居世界第六位，但人均占有量仅居世界第 108 位。我国是世界上 21 个贫水国家之一。

火电厂用水约占工业用水量的 20%，一台 600MW 火电机组年用水量约为 2000 万 t 左右。用水问题往往已成为制约电力生产发展的重要因素。掌握用水处理技术，加强水汽质量监督，确保机组的安全经济运行，同时大力节约用水，不断开拓节水的新途径与新工艺是火电厂的基本任务，也是电力工业得以可持续发展的关键条件。

本章将阐述天然水的物理化学特性，介绍各种水质的相关标准，指出水质特性与电力生产的关系，说明火电厂用水类型与要求以及火电厂水汽监督的方针与任务，从而为全书的展开打下基础，为读者掌握火电厂用水技术创造必要的条件。

第一节 水的物理化学性质

要掌握火电厂用水技术，必须首先对水的物理化学性质有所了解。

一、水的物理化学特性

1. 水分子的结构

在水分子中，氢、氧原子核呈等腰三角形排列，氧原子核位于两腰相交的顶角上，而 2 个氢原子核位于 2 个底角上，两腰夹角为 $104^\circ 45'$ ，如图 1-1 所示。

当水分子互相接近时，其本身的电力场即相互作用。在这种情况下，一个分子的正极吸引另一个分子的负极，因而得到 2 个甚至 3 个水分子的聚集体，成为两聚水 (H_2O)₂ 或三聚水 (H_2O)₃。这种分子间的内聚力又称氢键，使两三个水分子聚集，从而产生缔合水分子，如图 1-2 所示。

增高水温，缔合水分子的氢键会发生断裂，因而单个水分子数量增加，水温与水分子的形式见表 1-1。

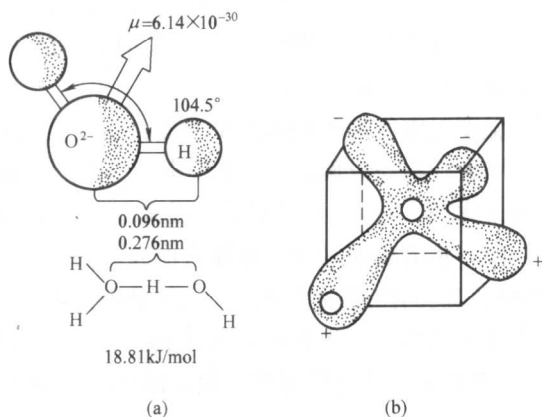


图 1-1 水分子结构

(a) 水分子结构；(b) 水分子电子云

表 1-1

水温与水分子形式的关系

水分子形式	冰	水			
	0℃	0℃	4℃	38℃	93℃
H ₂ O	0	19%	20%	29%	36%
(H ₂ O) ₂	41%	58%	59%	50%	51%
(H ₂ O) ₃	59%	23%	21%	21%	13%

在液态水中，一个水分子中的氢原子和另一个水分子中的氧原子通过氢键相连接成如图 1-3 所示的形式。最稳定的缔合水分子为双分子 (H₂O)₂，如图 1-4 所示。

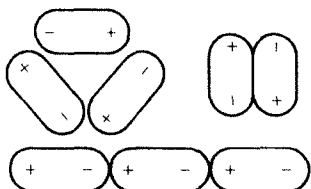


图 1-2 极性水分子的缔合

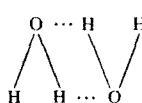


图 1-3 液态中水分子

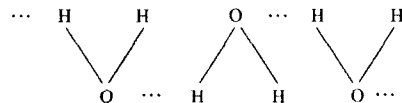
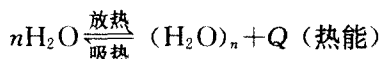


图 1-4 最稳定双水分子

2. 水的特性

(1) 水的缔合作用与密度。相邻水分子间由氢键联结，使水能以 (H₂O)_n 巨型分子存在，但它不会引起水的化学性质的改变，这种由单分子水结合成多分子水而不引起水的化学性质改变的现象称为水分子的缔合作用。

水分子缔合可用下列平衡表示



水的缔合随温度的升高而减弱，当温度为 4℃ 时，缔合程度最大，水的密度也最大。

自然界中的水只有以气态存在时才呈单分子状态，而以液态及固态存在时均呈多分子形式存在。(H₂O)_n 中的 n 主要取决于温度，一般在 12~860℃ 范围内变化，只是在 200~300℃ 时， n 值才接近 1，也就是具有单分子水的形式。

水的密度在 4℃ (严格讲为 3.98℃) 时，密度达到最大值 1.0000g/cm³，超过或低于此温度时，体积增大，密度减小。0℃ 时，水的密度为 0.9999g/cm³，而 0℃ 时的冰体积增大，密度降为 0.9168g/cm³。

温度对密度的影响有两个方面：一是温度升高，由于缔合分子的解离使水的体积减小，密度增大；另一方面，由于分子热运动使水的体积膨胀，密度减小。在 0~4℃ 之间，前一因素占优势，4℃ 以上，则后一因素占优势而形成水在 4℃ 时密度最大这一特性。

(2) 水的表面张力。液体自由表面的分子，由于液体内部分子对它们的吸引，会受到一种要将它们向内部吸引的力，这就是表面张力，从而使液面具有缩小的趋势，即表面张力就是作用于液体表面边界单位长度上的力。水与其他液体相比具有较大的表面张力（除汞以外）。水的表面张力随温度升高而减小，见表 1-2。

表 1-2

水温与表面张力的关系

温度 (K)	273	323	373	473	523	573	623	647
表面张力 (×10 ⁻⁵ N·cm ⁻¹)	75.5	63.1	51.5	29.0	18.9	9.6	1.6	0

水依靠较大的表面张力产生毛细现象，而且在很大程度上也影响水溶液中的吸附现象，因而具有多种实际应用。

例如，水在 18°C （即 291K ）时，表面张力为 $73 \times 10^{-5} \text{N} \cdot \text{cm}^{-1}$ ，可使直径为 0.1mm 的毛细管中的水位上升 15cm 。水中加入溶解的盐类一般可增加其表面张力，而加入表面活性剂则可减小其表面张力。

(3) 水的热性质。水的热传导、比热容、熔化热、汽化热及热膨胀系数几乎比所有其他液体都高，同时具有很高的沸点。

所谓热传导是指物质传导热的能力，以热导率（导热系数）表示；比热容是指单位质量物质（ 1kg ）升高 1°C 时所吸收的热量，水的摩尔比热容为 $75.3\text{J}/(\text{mol} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ；熔化热是指单位物质的量（ 1mol ）的固体物质在熔点时由固态转变为液态所吸收的热量；汽化热是指单位物质的量（ 1mol ）的液体在沸点时从液态转变为气态所吸收的热量；热膨胀系数表示物体受热后所具有的膨胀能力。由于水具有上述热性质，使得水能起到调节自然界温度的作用，使地球上的气候适合于人类居住及动植物的生长。

水在 101325Pa 的压力下沸点为 100°C ，水在达到沸点以前有着极长的液态阶段，这一特性是因为水分子偶极间引力大大超过一般液体，是水分子间强烈氢键缔合作用造成的。冰的熔化热为 $6.02\text{kJ}/\text{mol}$ ，水的汽化热为 $40.7\text{kJ}/\text{mol}$ 。

(4) 黏度与流动性。水具有较小的黏度和较大的流动性，水分子的极性和氢键共同决定了水的这一特点。

当温度增高时，水的黏度减小；另一方面，当水中溶盐含量增高时，其黏度增大，所以海水较淡水黏度高。

压力对水的黏度具有特殊影响，当水处于中等压力时，其黏度较小；当压力继续增加时，水的黏度将会随压力的增加而增大。

(5) 水的导电性能。水具有很高的介电效应，介电效应一般用介电常数来表征，介电常数（ ϵ ）是指在某种介质中两电荷间引力或斥力比在真空或空气里减少的量。介电常数越大，两电荷质点间的引力越小；反之，则越大。在常温下，水的介电常数为 81 ，表示正负电荷在水中的相互吸引力比在真空或空气中减少 $1/81$ ，在 0°C 时，水的介电常数为 88 ， 100°C 时为 56 。

极纯的水几乎不导电，即它的电阻率很大。水本身为弱电解质，只有极少的分子离解成 H^{+} 和 OH^{-} 。理论上的纯水在 25°C 时的电导率为 $0.054\mu\text{S}/\text{cm}$ ，电阻率则为 $18.248\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ （电阻率为电导率的倒数）。在水中溶有电解质时，其导电能力增加。电导率是水的纯度的一种标志，在火电厂热力设备用水及蒸汽质量监督中，电导率是最重要的技术指标。

(6) 水的光学性质。水的透明度与通过它的光线的波长有关，紫外线能完全透过水，而红外线则很难透过。水可吸收大部分可见光中的橙色和红色，故蓝色光线可透过较厚的水层。

物质之所以呈现不同的颜色，是由于其对不同波长的光有不同程度的透射与反射的结果。对于透明的物质呈现的是透过光的颜色，对于不透明的物质呈现的是反射光的颜色。

溶液的颜色是因它选择性地吸收某波长的光而呈现吸收光互补色的颜色。物质呈现的颜色与吸收波长的关系参见表 1-3。

表 1-3

物质呈现的颜色与吸收光的颜色和波长

物质的颜色	吸光度		物质的颜色	吸光度	
	颜 色	波长范围 (nm)		颜 色	波长范围 (nm)
黄绿	紫	400~450	紫	黄绿	560~580
黄	蓝	450~480	蓝	黄	580~600
橙	青蓝	480~490	青蓝	橙	600~650
红	青	490~500	静	红	650~750
紫红	绿	500~560			

水中细小的悬浮物与胶体粒子会降低水的透明度，并产生光的散射，使水浑浊。水的浊度与透明度成反比。

(7) 盐类离子的水化作用。由于水是极性分子，水分子中的正极（氢端）被水中阴离子所吸引，负极（氧端）则被水中阳离子所吸引。由于水中离子与水分子偶极间的相互吸引作用，使水中正、负离子周围为水分子所包围，这种作用称为盐类离子的水化作用，这也是多数盐类离子溶于水的主要原因。

离子水化后生成水合离子，如水合铁离子 $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 、水合亚铁离子 $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$ 、水合铝离子 $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 和水合氢离子 H_3O^+ 等。

二、物质在水中的溶解

水是良好的溶剂，对多种盐类与气体均具有良好的溶解能力，这一特性对人类的生存及生产均有着十分密切的关系。

1. 水对盐的溶解

多种固体盐类之所以能溶解于水中，是因为水是极性分子，介电效应高，以及水能使盐类产生水化作用等特殊相关性能。

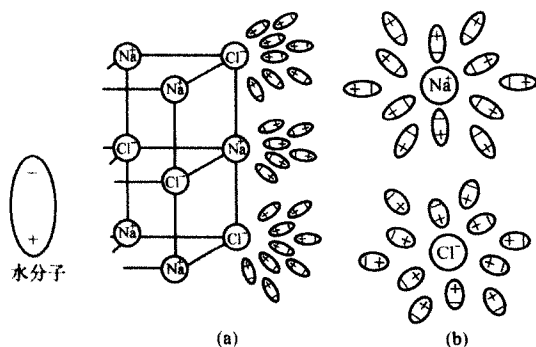


图 1-5 水溶解盐类过程

组成结晶格架的盐类离子被水分子带相反电荷的一端所吸引，当分子对离子的引力足以克服结晶格架中离子间的引力时，离子脱离格架被水分子所包围深入水中。例如 NaCl 的溶解，如图 1-5 所示。

图 1-5 (a) 表示极化水分子吸引结晶格架中的离子，图 1-5 (b) 表示结晶格架被破坏，离子溶入水中。

实际上，当盐类与水接触时，同时发生两个相反的作用，即溶解作用与结晶作用。随着盐类在水中的溶解，水中盐离子

浓度增加，结晶作用增强，溶解作用减弱。当在同一时间内溶解与析出的盐量达到平衡时，溶液处于饱和状态，此时溶液中所含盐类的量即为该盐类在水中的溶解度。

盐类的溶解度往往取决于温度，例如 100g 水中能溶解的硝酸钾的量见表 1-4。

表 1-4

不同温度下硝酸钾在水中的溶解量

温度 (°C)	0	20	40	60	80	100
溶解量 (g)	13.5	31.5	64	110	169	247

各种盐的溶解度曲线如图 1-6 所示。

由图 1-6 可以看出，大多数盐类在水中的溶解度随温度的升高而增大，但不同盐类受温度的影响各不相同。例如 NaCl 的溶解度受温度的影响很小，而 KNO₃ 就很大。

2. 水对气体的溶解

有多种气体能溶于水，其中有常见气体在不同温度下溶解度见表 1-5。

表 1-5 气体在水中的溶解度 mg/L				
气 体	0℃	20℃	50℃	100℃
O ₂	69.5	43.4	26.6	0
CO ₂	3350	1690	760	
H ₂ S	7070	3850	1780	0

注 以上气体的分压为 0.101MPa。

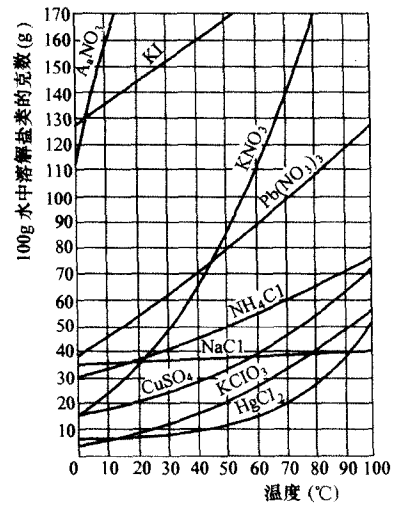


图 1-6 各种盐类的溶解度曲线

天然水中的氧主要来源于水溶解大气中的氧，大气中的氧在水中的溶解度见表 1-6。由于水中溶解氧对金属设备有腐蚀作用，故电厂锅炉给水中必须严格控制水中溶解氧。

表 1-6 在压力为 0.101MPa 下，水与空气接触时，氧在水中的溶解度 mg/L							
温度 (℃)	O ₂	温度 (℃)	O ₂	温度 (℃)	O ₂	温度 (℃)	O ₂
0	14.6	8	11.8	16	9.9	40	6.5
1	14.2	9	11.6	17	9.7	45	6.0
2	13.8	10	11.3	18	9.5	50	5.6
3	13.4	11	11.0	19	9.3	60	4.8
4	13.1	12	10.8	20	9.1	70	3.9
5	12.8	13	10.5	25	8.3	80	2.9
6	12.4	14	10.3	30	7.5	90	1.6
7	12.1	15	10.1	35	7.0	100	0

3. 水的电离及其平衡

水分子有两性作用，一个水分子可以从另一个水分子中夺取质子形成 H₃O⁺ 及 OH⁻，即



因而在水分子之间存在着质子的传递作用，这种作用的平衡常数称为水的离解常数，用 K_w 表示

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] \tag{1-1}$$

水合质子 H₃O⁺ 也常常简写为 H⁺，因而式(1-1)可以简写为 K_w = [H⁺][OH⁻]。常数 K_w 也就是水的离子积，在 25℃时，它等于 10⁻¹⁴，因而

$$K_w = 10^{-14} \text{ 或 } \text{p}K_w = 14 \tag{1-2}$$

K_w 只与温度有关，而与溶液中 H⁺ 及 OH⁻ 的浓度无关。水溶液中 H⁺ 与 OH⁻ 的浓度

反映了溶液的酸碱性。

一般规定，溶液中 H^+ 的有效浓度(活度)可用其负对数表示，即

$$pH = -\lg[H^+] \quad (1-3)$$

式中 $[H^+]$ —— H^+ 的浓度，mol/L。

水电离时所产生的 H^+ 和 OH^- 数量相等，在不含任何杂质的纯水中

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ mol/L} \quad (1-4)$$

用负对数形式表示时，则

$$pH = pOH = 7 \quad (1-5)$$

$$pH + pOH = 14 \quad (1-6)$$

当 $pH=7$ 时，表示水呈中性；

当 $pH>7$ 时，水中 $[OH^-]>[H^+]$ ，水呈碱性， pH 值越大，则水的碱性越强；

当 $pH<7$ 时，水中 $[H^+]>[OH^-]$ ，水呈酸性， pH 值越小，则水的酸性越强。

测量 pH 值多采用电位分析法。电位分析法又分为直接电位法和电位滴定法。

直接电位法是根据指示电极和参比电极间的电位差与被测离子有效浓度(活度)间的函数关系直接测出氢离子的浓度。

测定用的指示电极为玻璃电极，参比电极为甘汞电极。玻璃电极的电位与溶液 pH 值有关，且符合能斯特方程。

$$E = k - 0.059V_{pH} \quad (1-7)$$

式中的 k 在一定条件下为常数，因而只要测定玻璃电极电位即可测出溶液的 pH 值。

在火电厂用水中，给水、炉水中的 pH 值均作为控制指标，在各种水处理工艺中， pH 值往往需要严格加以调节与控制。在试验室中多用台式 pH 计测定溶液的 pH 值，而在生产现场则多采用在线 pH 表，对相关水溶液中的 pH 值实施连续监控。

第二节 天然水的特性及在火电厂中的应用

在我国，淡水资源的短缺已成为制约火电厂发展的主要因素。本节将对天然水的分布及其特性加以介绍，同时说明火电厂对水的应用要求。

一、环境水体水的分布与循环

环境水体主要包括海洋、江河、湖泊、沼泽、地下水、冰川水、土壤水、大气水等。地球上的总水量为 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，其中海水占 $13.37 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占地球总水量的 96.5% 左右。海水含盐量高，不能直接作饮用水，也不能用于工业生产及农业灌溉，火电厂中只可用它作为冷却水，且要采取特殊的防菌藻、防腐蚀的措施。

在地球上淡水资源是很有限的，陆地上的水也不全是淡水。实际上，便于利用的淡水主要分布在 600m 深度以内的含水层，湖泊、江河、土壤中的水量只有 $0.1065 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占淡水总量的 30.4%，为全球总水量的 0.77%，其余 69.6% 的淡水则分布于冰川、雪盖及多年冻土中，目前还很难加以利用。

地球上各种水体的水储量见表 1-7。

表 1-7

地球上各种水体的水储量 (10⁴km³)

水 体	储 量	占总储量 (%)	占淡水储量 (%)
海洋水	133800	96.5	—
地下水	2340 ^①	1.7	—
其中的淡水	1053 ^②	0.76	30.1
湖泊水	17.64	0.013	—
其中的淡水	9.1 ^③	0.007	0.26
江河水	0.212	0.0002	0.006
冰川及多年积雪	2406.41	1.74	68.7
多年冰土的底冰	30	0.022	0.86
沼泽水	1.147	0.0008	0.08
土壤水	1.65	0.001	0.05
生物水	0.112	0.0001	0.003
大气水	1.29	0.001	0.04
水储量总计	138598.461	100	—
其中的淡水	3502.921	2.53	100

注 本表来源于 1997 年联合国世界水会议文件。
① 地面以下 2000m 以内, 不包括南极洲的地下水储量。
② 绝大部分在地面以下 600m 深度内。
③ 某一瞬间存在其中的水量。

由表 1-7 可以看出, 虽然地球上存在大量的水, 但绝大部分是咸水, 淡水仅占地球总水量的 2.53%, 而实际上便于人类利用的淡水仅占淡水量的 30%, 占全球总水量的 0.77%。因而淡水资源是极其宝贵的。

地球上的水在太阳辐射和重力共同作用下, 以蒸发、降水和径流等周而复始、连续不断地运行和交替, 这称为水循环, 或水文循环, 见图 1-7。

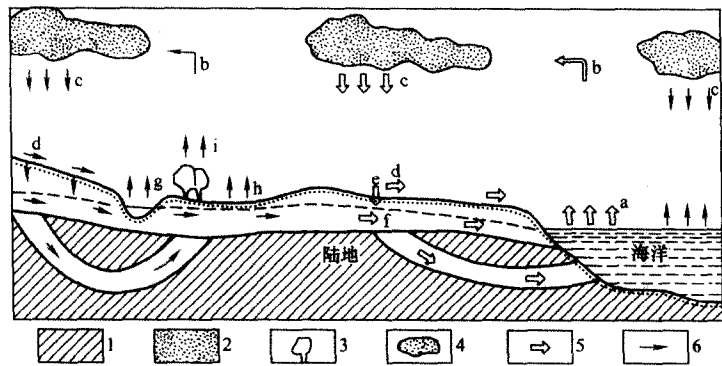


图 1-7 水文循环

1—隔水层; 2—透水层; 3—植被; 4—云; 5—大循环各环节; 6—小循环各环节;
a—海洋蒸发; b—大气中水汽转移; c—降水; d—地表径流; e—入渗; f—
地下径流; g—水面蒸发; h—土面蒸发; i—叶面蒸发 (蒸腾)

在水循环中, 陆地上约有 2/3 的降水经过蒸发又进入大气, 其余 1/3 则为地表及地下径流。经计算: 全球动态平衡的循环水量为 $4.96 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。多年平均降水量为 971mm, 全球

海洋上蒸发量为 1172mm，降水量为 1062mm，蒸发量超过降水量 110mm；而全球陆地多年平均降水量为 750mm，蒸发量为 480mm，蒸发量小于降水量，因此产生 270mm 的径流，其中 68% 为地面径流。

水在自然界中往复循环，一方面使水质得到净化，另一方面，水体中的水通过循环水量得到更新，各种水体水的更新周期由数天至一万年不等，见表 1-8。

表 1-8 各种水体的更新周期

水 体 种 类	更新期 (年)	水 体 种 类	更新期 (年)
海 洋	2500	湖泊水	17
深层地下水	1400	沼泽水	5
极地冰川及多年积雪	9700	土壤水	1
多年冻土层底水	10000	河 水	16d
山地冰川	1600	大气水	8d

由表 1-8 可以看出，虽然大气水总量不大，但循环周期较短，更新一次仅为 8d，每年更换 45 次，因而以降水的形式提供给地球的水量还是相当大的。

一座 600MW 的火电机组年用水量约为 2000 万 m^3 ，如何降低水耗，提高水的重复利用率是电厂面临的一项长期任务，也是我国电力工业能够实施可持续发展的关键条件之一。

二、天然水体的杂质

天然水体中的水均含有多种杂质，归纳起来可分为三大类：悬浮物、胶体物及溶解物。

1. 悬浮物

悬浮物是颗粒粒径约为 10^{-4}mm 以上的微粒，天然水中悬浮物主要成分有泥沙、黏土、动植物遗骸、微生物及有机物等。

在静止的水中，悬浮物中颗粒较大者易沉于水底，较细者则易漂浮于水面上。

在火电厂水的预处理中，粗大的悬浮物颗粒易于通过自然沉降分离，故进行水处理主要是去除颗粒小于 $1 \times 10^{-1}\text{mm}$ 的悬浮微粒。

球型悬浮物的沉降速度见表 1-9。

表 1-9 球型悬浮物的沉降速度

颗粒直径 (mm)	名称或特征	沉降速度 (mm/s)	沉降 1m 所需时间
10	砾石	1000	1s
1	粗砂	100	10s
1×10^{-1}	细砂	8	2min
1×10^{-2}	泥	1.54×10^{-1}	120min
1×10^{-3}	细粒黏土	1.54×10^{-5}	7d
1×10^{-4}	最细粒黏土	1.54×10^{-5}	2 年
1×10^{-5}	胶 体	1.54×10^{-7}	200 年

2. 胶体物

胶体物是粒径在 $10^{-6} \sim 10^{-4}\text{mm}$ 间的微粒，胶体颗粒是由许多分子或离子组成的集合体，这些微粒具有较大的比表面积，从而使其具有特殊的吸附能力，而被吸附的物质往往为

水中的离子,因而胶体微粒带有一定的电荷。由于它们之间的电斥力,使得胶体不易聚沉而悬浮于水中。同时带电的胶体微粒还会吸引极性水分子,使其周围形成水化层,而进一步阻止胶体微粒之间的接触,因而胶体在水中可处于分散的稳定状态。

水中胶体物包括溶胶,如硅酸及铁、铝的某些化合物,高分子化合物(如腐殖质)等。

胶体和悬浮物是天然水产生浑浊的主要原因。胶体溶液(颗粒直径为 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ mm)在光照下呈现浑浊现象;悬浮物(颗粒直径大于 10^{-4} mm)颗粒直径大于 10^{-1} mm 的较大颗粒,肉眼就可观测到,而颗粒直径为 $10^{-3} \sim 10^{-1}$ mm 的颗粒使溶液呈现浑浊现象。

胶体物及悬浮物因粒径大小不同,可采取不同方法加以处理,在火电厂中则采用混凝、澄清、过滤处理工艺去除。大粒径者可通过自然沉降、过滤;中粒径者可通过精密过滤;胶体物等细粒径者则可通过超滤加以去除。

3. 溶解物

溶解物的粒径小于 10^{-6} mm,是以离子或分子状态存在,它可以分为盐类、气体及有机物三类。

(1) 盐类溶解物。盐类矿物质均以电离状态存在于水中。天然水体中主要的阳离子有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 等,主要的阴离子有 HCO_3^{-} 、 Cl^{-} 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 NO_3^{-} 、 HSiO_3^{-} 、 PO_4^{3-} 等,它们主要来自地层中的矿物质。水源不同,其杂质成分与含量也各不相同。

粒子直径小于 10^{-6} mm 的离子存在于水中,其水溶液称为真溶液,这些杂质通常通过离子交换、反渗透等工艺去除。

(2) 溶解气体。天然水体中的溶解气体主要有 O_2 及 CO_2 某些水样中还溶解 H_2S 、 NH_3 、二氧化硫等气体。

天然水中的溶解氧来源于大气中的氧,其含量与水温、气压以及水中有机物含量有关。天然水体中氧含量一般在 $5 \sim 10$ mg/L,地表水高于地下水中的氧含量,深层地下水氧含量极低,当水体受到污染,特别是有机物的污染,则水中含氧量下降。

天然水中的二氧化碳一部分来源于大气中的二氧化碳,另一部分来源于水中有机物的分解及地壳的化学反应。一般,二氧化碳在大气中仅占 $0.03\% \sim 0.04\%$,而气体在水中的溶解度是与该气体在水面上的分压成正比的,即遵循亨利定律,相应的 CO_2 溶解度仅为 $0.5 \sim 1$ mg/L。通常,地下水中的二氧化碳含量高于地表水。

(3) 有机物。天然水中溶解有机物大都为大分子的有机酸群,如腐殖酸、富里酸、氨基酸、糖类等。

在我国,地表水的有机物污染目前仍呈加重趋势,这对火电厂的用水处理也带来了新的难度。

三、天然水体的特性与应用

1. 地下水

地下水是赋存于地面以下岩石空隙中的水,是自然界水循环中的地下径流。

地下水一般具有如下特征:

(1) 地下水流经地层时,受到地层和土壤的过滤作用,故水中悬浮物及胶体物含量较少,水体清澈透明。地下水水质与水温较稳定,一般 pH 值为 $6 \sim 8$,水温为 $15 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 地下水含有各种气体,如氧、二氧化碳、氮、硫化氢等,虽然一般含量不高,但

反映了地下水所处的环境特征。

(3) 地下水中含盐量、含铁量及硬度通常要比地表水高，地下水中主要离子成分是 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 及 K^+ 等。

(4) 地下水中总溶解固形物，即矿化度变化较大。根据其含量可把地下水分为淡水 ($<1\text{g/L}$)、微咸水 ($1\sim3\text{g/L}$)、咸水 ($3\sim10\text{g/L}$)、盐水 ($10\sim50\text{g/L}$) 及卤水 ($>50\text{g/L}$)。

我国北方地区江河湖泊等地表淡水特别缺少。地下水量也是很有限的，但在我国，不仅在北方地区，沿海及某些南方地区也在无节制地超采地下水，结果导致地面下沉并加速了土地沙漠化，其危害是不可低估的。因而火电厂如何节水，提高水的重复利用率，将是一项长期的任务，也是自身存在与发展的需要。

2. 江河水

江河水是降水经地面径流汇集而成的。大江大河由于流经数千公里的广大区域，又是敞开的流动水体，江河水的成分与流经地域的地形、地质条件密切相关，而且受生物及人类活动的影响很大。

江河水一般具有如下特征：

(1) 江河水中的悬浮物及胶体硅含量较高，受地理环境与气象条件变化的影响较大。

(2) 江河水中的矿化度较地下水低得多，一般为 $0.15\sim0.35\text{g/L}$ ，江河水化学组成随季节变化较其他水体明显，江河水中的主要离子含量的一般规律与海水相反，为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ 。

(3) 江河水易受工农业废水、城市生活污水的污染，例如 2005 年 11 月吉林省某企业对松花江流域造成严重污染，使整个松花江下游段均造成难以弥补的损失。

我国东部及南部不少火电厂的用水取自大河，我国主要江河的水质参数见表 1-10。但是当前我国大江大河水质受环境污染的影响呈不断恶化的趋势，这给电厂的用水带来直接影响，增加了水处理的难度与费用，有的水源甚至不得不弃用。

表 1-10 我国主要江河水质 mg/L

江河名称	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	含盐量
长 江	28.9	9.6	8.6	128.9	13.4	4.2	193.6
黄 河	39.1	17.9	40.3	162.0	82.6	30.0	377.9
黑龙江	11.6	2.5	6.7	54.9	6.0	2.0	83.7
珠 江	18.5	4.8	8.1	91.5	2.8	2.9	128.6
松花江	12.0	3.8	6.8	64.4	5.9	1.0	93.9
闽 江	2.6	0.6	6.9	20.0	4.9	0.5	35.5
塔里木河	107.6	841.5	10205	117.2	6052	14368	31751.3

由表 1-10 可以看出，我国江河水水质变化很大，我国江河的平均含盐量为 166mg/L ，而世界江河平均含盐量小于 100mg/L 。

大江大河在不同河段水质差异很大，例如位于长江入海口的上海地区附近水中 Cl^- 含量可达 2000mg/L ，枯水期甚至高达 3500mg/L 。

3. 湖泊及水库水

湖泊基本离子组成具有内陆淡水的特点。水库实为人工湖泊，一般为淡水，其水质与淡

水湖泊相近。

湖泊与水库水一般具有如下特征：

- (1) 湖泊与水库的水流动性小，经过长时间自然沉淀使得水中悬浮物含量较低。
- (2) 湖泊与水库的水与江河水相似，但由于蒸发与浓缩作用，使湖泊与水库水的含盐量要比江河水略高。
- (3) 湖泊与水库的水流动性小，各种工农业生产及城市生活用水汇入其中，易发生富营养化现象，刺激水体中菌藻类大量繁殖，这是一种比较突出的水污染，如我国太湖、滇池等水中腐殖质含量较高。

我国北方地区的电厂用水多取自大型水库，而南方地区靠近大型湖泊的电厂则多用湖泊水，如洞庭湖水、鄱阳湖水等。

4. 海水

海水是最大的地表水体，它覆盖地球表面 70% 以上的面积，各大洋水流相通，所以世界各地海水水质基本相似和稳定。

海水一般具有如下特征：

- (1) 海水含盐量高，其含量通常为 30~35g/L，最高者可达 50g/L。
- (2) 海水成分基本稳定，其中 Cl^- 含量最高，约占海水中离子总量的 55% 左右；其次为 Na^+ ，约占 30%；其他盐类离子主要为 Mg^{2+} 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Br^- 等。
- (3) 海水中的离子成分没有明显的时空变化，十分稳定，海水表面层 pH 值通常为 8.1~8.3，深层海水的 pH 值可下降至 7.8。海水中含有溶解的和悬浮的有机物，一般有机碳的含量为 0.1~2.7mg/L。

海水成分见表 1-11。

表 1-11 海 水 成 分					
			mg/L		
成 分	含 量	成 分	含 量	成 分	含 量
Cl^-	19000	Sr^{2+}	8	P	0.09
Na^+	10500	SiO_2	6.4	I	0.06
SO_4^{2-}	2700	B	4.5	Be^{2+}	0.02
Mg^{2+}	1350	F	1.3	Mo	0.01
Ca^{2+}	410	NO_3^-	0.67	Zn^{2+}	0.01
K^+	390	Li^+	0.17	Ni^{2+}	0.007
HCO_3^-	142	Rb^+	0.12	As	0.003
Br^-	67	有机碳	0.10	总含盐量	34580

表 1-11 中，左侧为宏量组分，其含量通常大于 10mg/L，中间为中量组分，其含量通常为 1~10mg/L，右侧为微量组分，其含量小于 0.1mg/L。

海水的盐度在不同地区、不同深度虽有变化，但大致在 34%~36% 范围内，而各离子间的比例关系相当稳定，只有 HCO_3^- 含量变化范围较大， Na^+/Cl^- 的比值约为 0.55，各个海洋略有变化。

由于海水为高含盐水，除可用作冷却水外，不适用于工农业及人民生活用水，沿海火电厂多采用海水作冷却水，采取敞开式直流冷却系统冷却做完功的蒸汽。电厂必须采取特殊的