

4

高等院校本科化学系列教材

Chemistry

电厂化学

于萍 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

4

高等院校本科化学系列教材

Chemistry

电厂化学

于萍 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电厂化学/于萍主编. —武汉: 武汉大学出版社, 2009. 1
高等院校本科化学系列教材
ISBN 978-7-307-06770-7

I. 电… II. 于… III. 电厂化学—高等学校—教材 IV. TM621.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 198740 号

责任编辑: 谢文涛

责任校对: 王 建

版式设计: 詹锦玲

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 湖北民政印刷厂

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 32.5 字数: 612 千字 插页: 1

版次: 2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

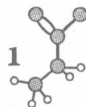
ISBN 978-7-307-06770-7/TM · 17 定价: 45.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 提 要

本书系统地介绍了火力发电厂与化学相关的问题。主要包括：发电厂水处理、发电厂金属腐蚀与防护、化学仪表、电力用油、电厂用燃料分析、三废治理和发电机冷却介质等，共计七编三十章。本书对上述内容中各操作单元的工作原理、设备结构及设计方法等作了详细的介绍。

本书是作为应用化学专业的教材和培训用书编写的，也可用作电力、化工、石油等单位从事火力发电厂化学工作的技术人员和管理人员的工作参考书。



前 言

随着国家对电力需求的增加,大型高参数、大容量热力设备不断出现,这就要求一方面提高单机效率、减少材料消耗和降低运行费用;另一方面对火力发电厂的化学技术及管理水平的提出了更高的要求。本书根据与电厂化学相关的基础理论及近年来的文献及科研成果编写而成,供在校本科生、研究生,教师,工程技术人员以及管理人员参考。

为了便于从事火力发电厂化学工作的人员学习和参考,本书水处理编中编入了膜处理技术及凝结水处理原理等,三废治理、发电厂冷却介质也同时编入本书,这是非常有益的。

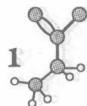
本书全部采用国家规定的法定计量单位。

参加本书编写的有于萍(第一章、第二章、第三章、第五章、第六章、第七章、第八章、第十章、第二十六章)、罗运柏(第四章、第九章、第十一章)、周容迁(第三编)、宋斌(第四编)、李小江(第五编)、魏进超(第二十四章、第二十七章)、李培元、于萍(第七编),全书最后由于萍整理定稿。

由于本书所涉及的内容非常广泛,编写时间仓促,加之我们的水平有限,书中难免有不妥或错误之处,敬请各位读者批评指正,并将改进意见反馈给我们,以便再版时修改。

主 编

2008年9月



811	.....	.....	第二章
811	.....	.....	第三章
451	.....	.....	第四章
521	.....	.....	第五章
131	.....	.....	第六章

目 录

.....

141	.....	第一章 水质与火力发电厂水、汽系统	3
141	.....	第一节 水质概况	4
141	.....	第二节 火力发电厂水、汽系统	11

141		第二章 水的预处理	14
-----	-------	-----------	----

141	.....	第一节 水的混凝处理	14
141	.....	第二节 水的沉淀与澄清处理	18
141	.....	第三节 水的过滤处理	25
141	.....	第四节 消毒处理	34

141		第三章 锅炉给水处理	36
-----	-------	------------	----

141	.....	第一节 膜处理	36
141	.....	第二节 离子交换水处理	61

141	.....	第四章 炉内水处理	82
141	.....	第一节 防垢原理	85
141	.....	第二节 磷酸盐处理	91

141	.....	第五章 凝结水精处理	101
141	.....	第一节 凝结水处理概论	101
141	.....	第二节 凝结器过滤	104
141	.....	第三节 凝结水混床除盐	106
141	.....	第四节 凝结水混床系统	109

141	.....	第六章 循环水处理	113
141	.....	第一节 循环冷却水处理系统	113

141			
-----	-------	-------	-------

141			
-----	-------	-------	-------

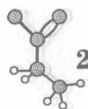
141			
-----	-------	-------	-------

141			
-----	-------	-------	-------

141			
-----	-------	-------	-------

141			
-----	-------	-------	-------

141			
-----	-------	-------	-------



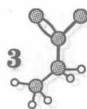
第二节	循环水中盐类的浓缩现象	116
第三节	水垢的形成	119
第四节	循环冷却水处理方法	124
第五节	污泥的形成及其防止	132
第六节	微生物的控制	137

第二编 发电厂金属腐蚀与防护

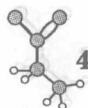
第七章	金属腐蚀的基本原理	147
第一节	金属腐蚀的分类	147
第二节	电化学基本知识	147
第三节	影响电化学腐蚀的因素及防止方法	152
第八章	氧腐蚀及防止	156
第一节	氧腐蚀	156
第二节	给水除氧	158
第三节	锅炉停用保护	164
第九章	锅炉炉管腐蚀	171
第一节	炉管沉积物下的腐蚀	171
第二节	水蒸气腐蚀	172
第十章	凝汽器的腐蚀与防护	174
第一节	凝汽器铜管腐蚀的特点	174
第二节	凝汽器铜管腐蚀的防止方法	176
第十一章	化学清洗	179

第三编 化学仪表

第十二章	水汽质量化学监测仪表与水汽样品采集系统	191
第一节	绪论	191
第二节	水汽样品采集系统	198
第十三章	电导式分析仪器	207
第一节	电导式分析仪器的基本知识	207
第二节	电导式分析仪器的使用、维护与校验	211



第十四章 电位式分析仪器	214
第一节 电位式分析方法的基本知识	214
第二节 测量电池对变送器的一般要求	218
第三节 仪器的使用与电极的检验与维护	222
第十五章 电流式分析仪器	228
第一节 溶氧分析仪	228
第二节 联氨分析仪	233
第十六章 光学式分析仪器	238
第一节 光学分析法的基本知识	238
第二节 硅酸根监测仪	241
第三节 磷酸根监测仪	246
第四节 浊度仪	247
第四编 电力用油	
第十七章 油品的化学组成与石油炼制	257
第一节 电力用油的化学组成	257
第二节 石油的炼制与电力用油的生产	258
第三节 电力用油的特性要求	262
第四节 电力用油的分类	262
第十八章 油品的基本理化、电气性能	264
第一节 油品的物理性质	264
第二节 油品的化学性质	273
第三节 油品的电气性能	280
第十九章 油品的运行维护与监督	284
第一节 变压器油的运行与维护	284
第二节 变压器油的质量监督	288
第三节 变压器油的运行维护	293
第四节 变压器油色谱分析流程及工作原理简介	302
第五节 油中溶解气体的气相色谱分析法	304
第六节 汽轮机油的运行与维护	310



第二十章 六氟化硫气体	321
第一节 SF_6 基本理化性质	321
第二节 SF_6 电气特性	323
第三节 SF_6 监督管理	325

第五编 电厂用燃料分析

第二十一章 燃煤基础	329
第一节 煤炭的成因组成和分类	329
第二节 燃煤特性与火电厂运行	334
第二十二章 燃煤特性的分析测试	336
第一节 燃煤分析概论	336
第二节 燃煤样品的采集	341
第三节 燃煤样品的制备	350
第四节 燃煤的工业分析	355
第五节 燃煤的元素分析	366
第六节 燃煤的发热量测定	383
第七节 火电厂燃煤工艺特性分析	388

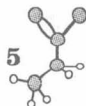
第六编 电厂三废治理

第二十三章 废水处理	409
第一节 火力发电厂的废水	409
第二节 火力发电厂废水处理	412
第三节 冲灰水处理	415
第二十四章 废气治理	419

第二十五章 废渣治理	426
------------	-----

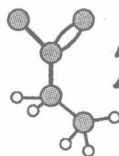
第七编 发电机冷却介质

第二十六章 汽轮发电机的冷却方式	433
第一节 汽轮发电机的能量消耗与温升限值	433
第二节 发电机的冷却方式与热量传递方程	434
第三节 汽轮发电机的冷却介质性能	437



第二十七章	制氢原理与电解水制氢设备	440
第一节	制氢原理	440
第二节	电解制氢设备	447
第二十八章	氢冷发电机的参数控制	466
第一节	氢气冷却器	466
第二节	氢冷发电机的气体系统	468
第三节	氢气的控制参数	470
第四节	漏氢量的计算	474
第二十九章	制氢设备的运行与管理	478
第一节	电解液的配制	478
第二节	氢气的除湿	480
第三节	氢气质量的化学监督	482
第四节	氢冷发电机的气体置换与泄漏检测	490
第三十章	水内冷发电机的冷却水系统及水质控制	495
第一节	水内冷发电机组的冷却水系统	495
第二节	发电机冷却水的水质与控制	499
参考文献		507

第一编



发电厂水处理



第一章 水质与火力发电厂水、汽系统

水在自然界中是不断循环的。由海洋蒸发形成的潮湿的空气，与陆地蒸发的水汇合后，增加大气的湿度，最终形成雨、雪降落地面，地表水主要来自雨水，地下水主要来自地表水，地表水与地下水最终流向大海，产生水的再循环。由于人类使用水资源而干预水的自然循环过程，产生强制水循环如图 1-1 所示。

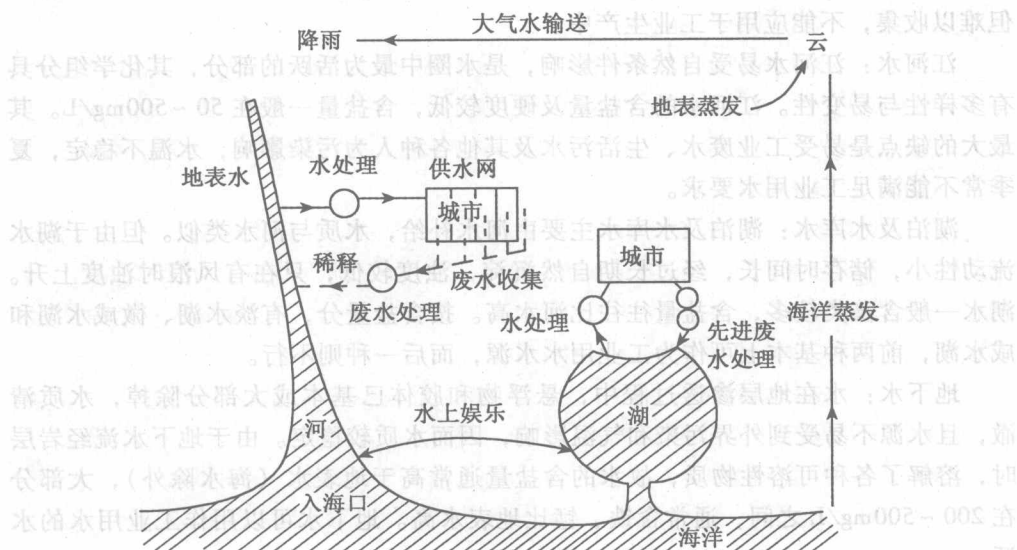
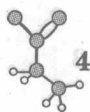


图 1-1 水的强制循环过程

将地表水（或地下水）处理后，作为工业及民用用水。工业废水及民用污水再由废水收集系统收集至废水处理厂，处理合格后，稀释排放江河。强制循环主要包括：地表水的取用、处理和分配；废水的收集、处理和排放；水的自然净化；下游城市的重复利用。

在自然界的循环运动中水是一种溶解能力很强的溶剂，能溶解大气中、地表面和地下岩层里的许多物质，从而使天然水中不同程度地含有各种杂质。

水是人们日常生活与工业部门的生产过程中不可缺少的物质。由于水的用途不



同,人们对水提出了各种不同的水质标准。如高压锅炉给水水质标准要求钙、镁离子总量不大于 0.01mmol/L 等。

第一节 水质概况

一、天然水的特点

天然水中,雨、雪最为纯洁。但在下降过程中与大气中混有的各种杂质相遇,如氧、二氧化碳、氮、硫化氢和灰尘等,使水质受到污染。

大气降水:大气降水是指大气圈中的水蒸气和由水蒸气冷凝并处于高度分散状态的细小水滴,它除含有 O_2 、 CO_2 、 N_2 及一些惰性气体外,还含有少量的离子组分。大气降水的硬度一般不大于 $70 \sim 100\mu\text{mol/L}$,含盐量一般不大于 $40 \sim 50\text{mg/L}$ 。但难以收集,不能应用于工业生产中。

江河水:江河水易受自然条件影响,是水圈中最为活跃的部分,其化学组分具有多样性与易变性。江河水的含盐量及硬度较低,含盐量一般在 $50 \sim 500\text{mg/L}$ 。其最大的缺点是易受工业废水、生活污水及其他各种人为污染影响,水温不稳定,夏季常不能满足工业用水要求。

湖泊及水库水:湖泊及水库水主要由河水补给,水质与河水类似。但由于湖水流动性小,储存时间长,经过长期自然沉淀,浊度较低,只在有风浪时浊度上升。湖水一般含藻类较多,含盐量往往比河水高。按含盐量分,有淡水湖、微咸水湖和咸水湖,前两种基本上可作为工业用水水源,而后一种则不行。

地下水:水在地层渗透过程中,悬浮物和胶体已基本或大部分除掉,水质清澈,且水源不易受到外界污染和气温影响,因而水质较稳定。由于地下水流经岩层时,溶解了各种可溶性物质,故水的含盐量通常高于地表水(海水除外),大部分在 $200 \sim 500\text{mg/L}$ 之间,通常含铁、锰比地表水高。地下水可以用作工业用水的水源。

海水:海水由于长时期的蒸发浓缩作用,含有大量的溶解盐类,通常高达 3.5% ,有时高达 $100 \sim 200\text{mmol/L}$ 。海水必须经过特殊处理后才可使用。

总之,由于我国幅员辽阔,地质与气候条件复杂,使水质相差悬殊,所以,在确定工业用水水源时,摸清水源水质及受外界影响的情况是相当重要的。

二、天然水中的杂质

天然水中杂质的种类很多,但在一般情况下,它们是由一些常见元素组成的酸、碱、盐之类的化合物,只有少量是呈单质或复杂化合物的形态。我们通常按这些杂质的分散态进行分类,水中杂质分类如表 1-1 所示。

表 1-1

水中杂质分类及常规处理方法

粒径（mm）	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10
分散 体系	真溶液		胶体溶液		悬浮液				
外观	透明		光照下浑浊		浑浊			肉眼可见	
观测工具	电子显微镜				显微镜				
运动特点			布朗运动			重力沉降			
常用处理法	离子交换		超滤		精密过滤		自然沉降与过滤		
	电渗析		混凝、澄清与过滤						
	反渗透								

根据此种分类法，天然水中的杂质可相应地分成悬浮物、胶体和溶解物质。

悬浮物：悬浮物的颗粒较大，一般在 10^{-4} mm 以上，所以，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。

胶体：胶体是指颗粒直径为 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ mm 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，胶体表面常因带电荷，使同类胶体之间存在同性电荷的斥力，不易相互黏合成较大的颗粒，所以，胶体的水溶液比较稳定。

溶解物质：溶解物质是指颗粒直径小于 10^{-6} mm 的微粒，它们大都以离子或溶解的气体状态存在于水中。阳离子主要有：钙离子、镁离子、钠离子、钾离子、亚铁离子等；阴离子主要有：碳酸氢根离子、碳酸根离子、硫酸根离子、氯根离子和硅酸根离子等。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。微生物有：细菌类、藻类和真菌类、鞭毛虫、病毒等。

表 1-1 也给出了含有不同杂质的水可采用的不同的水处理方法，一般每种水处理方法都有其应用范围，需要根据水源及要求的出水水质进行水处理系统的设计。

三、水质评价指标及实验室分析

水质是指水和其中杂质共同表现的综合特性，评价水质好坏的项目，称为水质指标。水质指标的表达方式是根据用水要求和杂质的特性而定的。

工业用水的水质指标有两种：一种是表示水中杂质离子的组成，如氯离子、钙离子、溶解氧等；另一种指标不代表某种纯物质，而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拟定的，故称为技术指标，如硬



度、碱度、含盐量等。

根据工业锅炉用水的水质标准，现将几种主要水质指标叙述如下。

1. 悬浮物

悬浮物是表征水中颗粒较大一类杂质的指标。由于这类杂质没有相同的物理和化学性质，所以，很难确切地表示出它们的含量。通常采用某些过滤材料分离水中不溶性物质（其中包括不溶于水的泥土、有机物、微生物等）的方法来测定悬浮物，单位为 mg/L 。此法需要将水样过滤，滤出的悬浮物需经烘干和称量手续，操作麻烦，不易用作现场的监督指标。

在水质分析中，常用较易测定的“浊度”作为衡量悬浮物的指标。浊度是反应水中悬浮物、微生物、泥土及有机物等含量的一个水质替代指标。浊度测定方法是以难溶性的不同重量级配的硅化物（如白陶土、高岭土等）分散在无浊水中，所产生的光学阻碍现象为标准，当浊度比较大时（通常测量原水的浊度），单位选用 JTU（Jackson Turbidity Units）度；当测量已经过处理的水时，浊度比较小，单位一般选用 NTU（Nephelometer Turbidity Units）。

浊度的测量采用浊度仪，其测量原理见图 1-2。

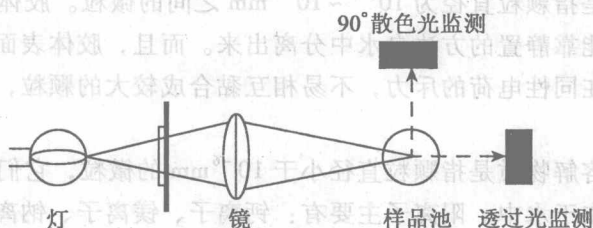


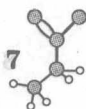
图 1-2 浊度仪原理图

来自钨丝灯的光被聚焦后通过放在样品池中的水样，由于水中悬浮物对光的散色，可以通过光电转换将 90° 散色光的强度信号（或透过光）转变为电信号，指示出水的浊度值。

2. 含盐量

a. 含盐量

含盐量是表示水中溶解盐类的总和。可以根据水质全分析的结果，通过计算求出。含盐量有两种表示方法：一是物质的量表示法，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，计算其含量（ mmol/L ），然后将它们全部相加；二是重量表示法，即将水中各种阴、阳离子的含量换算成 mg/L ，然后全部相加。



b. 溶解固形物

溶解固形物是水经过滤之后，将那些仍溶于水中的各种无机盐类、有机物等，在水浴上蒸干，并在 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 下干燥至恒重所得到的蒸发残渣称为溶解固形物，单位为 mg/L 。在不严格的情况下，当水比较洁净时，水中的有机物含量比较少，有时也用溶解固形物来近似地表示水中的含盐量。

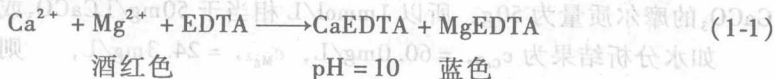
c. 电导率

衡量水中含盐量最简便和迅速的方法是测定水的电导率。表示水中导电能力的大小的指标，称为电导率。电导率是电阻的倒数，可用电导仪测定，其单位为 S/m 或 $\mu\text{S/cm}$ 。

3. 硬度

硬度是指水中某些易于形成沉淀的金属离子，它们都是二价或二价以上的离子（如 Ca^{2+} ， Mg^{2+} ， Fe^{3+} ， Mn^{2+} 等）。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这两种离子的量。钙盐部分包括：重碳酸钙、碳酸钙、硫酸钙、氯化钙；镁盐部分包括：重碳酸镁、碳酸镁、硫酸镁、氯化镁。钙盐部分称为钙硬度，镁盐部分称为镁硬度，总硬度等于二者之和。

测量硬度最常用的方法是 EDTA 滴定方法。溶解于水中的 Ca^{2+} ， Mg^{2+} 在 pH 为 10 的条件下能与 EDTA 结合生成稳定的络合物，当指示剂为铬黑 T 时，颜色由酒红变为蓝色，即发生如下反应：



a. 硬度分类

硬度可按水中存在阴离子种类分为碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度。

(1) 碳酸盐硬度：是指水中钙、镁的重碳酸盐与碳酸盐的含量。天然水中碳酸根非常少，所以碳酸盐硬度看做是钙、镁的重碳酸盐硬度，此类盐的硬度在水沸腾时就从溶液中析出而产生沉淀，所以也叫暂时硬度。

(2) 非碳酸盐硬度：是指水中钙、镁的硫酸盐、氯化物等的含量。由于这种硬度在水沸腾时不能析出沉淀，也称永久硬度。

当水中 HCO_3^- 含量小于水中钙镁总量时，水的硬度有碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度；当水中 HCO_3^- 含量大于水中钙镁总量时，水的硬度有碳酸盐硬度和过剩碱度（有时也称负硬度），对这种水质称为负硬水。

b. 硬度的表示方法

硬度的表示方法有三种，现分述如下：

(1) 用毫摩尔/升 (mmol/L) 表示。

这是一种最常见的表示物质浓度的方法，而且是法定计量单位的基本单位。硬