



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电厂化学

(第四版)

吴仁芳 徐忠鹏 合编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

要 容 内

本书是根据教育部《中等职业学校电力技术类专业教学用书》的要求，参照《中等职业学校电力技术类专业教学用书》的编写原则，结合电力技术类专业教学的需要，由长期从事电力技术类专业教学工作的教师编写而成的。本书可作为中等职业学校电力技术类专业教学用书，也可供从事电力技术类专业工作的工程技术人员参考。

电厂化学

(第四版)

吴仁芳 徐忠鹏 合编
许立国 刘吉堂 伦国瑞 主审



265346

广西工学院鹿山学院图书馆



d265346

香 港 告 告



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

本书主要内容为水的混凝处理、离子交换软化及化学除盐。书中对水的蒸馏、电渗析和反渗透预脱盐、凝结水处理作了较详细的介绍；对热力系统的腐蚀形式和防止方法、蒸汽污染和获得清洁蒸汽的方法、水质标准和取样方法、锅炉化学清洗、冷却水处理等方面的知识也作了介绍；另外，还介绍了变压器用油、汽轮机用油、电厂燃料和环境保护方面的一般知识。

本书主要供职业院校电力技术类相关专业使用，也可作为电厂水处理专业技术人员的培训教材，并可为有关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电厂化学/吴仁芳, 徐忠鹏编. —4 版. —北京: 中国电力出版社, 2009

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 978-7-5083-9353-7 Ⅲ. 吴… Ⅳ. TM621.8

I. 电… II. ①吴…②徐… III. 电厂化学—职业教育—教材 IV. TM621.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 149812 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

1981 年 2 月第一版

2010 年 1 月第四版 2010 年 9 月北京第十五次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 23 印张 460 千字

定价 29.80 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

本书在保留第三版的性质、任务和培养目标及基本知识的基础上进行了较大的修改。如锅炉化学清洗、凝汽器化学清洗及煤的热值测定等进行了较大幅度的修改，并增补了火力发电厂广泛使用的盘式过滤器、超滤等新技术；增补了设备运行时常见故障及处理方法；增补了锅炉启动、并汽时的水汽质量标准、凝结水回收质量标准。随着我国临界压力及超临界压力直流锅炉的出现及发展，本书对直流锅炉的水质也作了简要介绍。

本书所使用的法定计量单位与第三版相同。

本书的修改由山东省电力学校副教授吴仁芳和山东济南安利源动力化学有限公司高级工程师徐忠鹏合作完成。具体分工为：徐忠鹏修改第十、十三章，其余章节由吴仁芳修改，吴仁芳负责统稿。

本书修改中得到山东潍坊电厂张富国、李琦，山东邹县电厂薛文元，山东济南安利源动力化学有限公司郭利、李宏，山东省电力学校高级讲师孙奎明、伦国瑞，山东青岛电厂王旭波等提供资料和帮助，在此一并表示感谢。

本书由山东电力高等专科学校许立国、沈阳工程学院刘吉堂、山东省电力学校伦国瑞主审，在此表示感谢。

由于编者的水平所限，书中疏漏和不妥之处在所难免，诚恳希望使用此书的广大师生和读者批评指正，谢谢！

编者

2009年6月

第三版前言

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列入教育部《2004～2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审，又列为全国电力职业教育规划教材，作为职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

本书是在教材《电厂化学》第二版的基础上重新编写的。本教材主要讲述水质净化，热力设备的腐蚀、结垢、积盐及防止方法。此外，对电力用油、火力发电厂环境保护、燃料（电厂用煤）的基本知识也作了介绍。

在此次编写中，对电厂用水、汽、油等标准按最新国家标准、行业标准作了修订，并对原书中的内容作了增补，增加了近几年发展起来的新技术，并对现在广泛使用的超低压反渗透技术作了介绍，同时增补了燃料部分，使《电厂化学》的内容更趋于合理、完善。在本次修编中，力求内容简明易懂，理论联系实际。

全书采用法定计量单位，物质的量浓度单位为 mol/L (mmol/L、 μ mol/L)，但都是指电化学摩尔质量，即其基本单元相当于具有一个电荷的粒子。因此，书中硬度、碱度等含义为

$$\text{硬度}(H)=[1/2\text{Ca}^{2+}]+[1/2\text{Mg}^{2+}]$$

$$\text{碱度}=\text{滴定中所用的}[\text{H}^{+}]$$

上式中的符号 [] 表示相应物质的量浓度。

本书的修编由山东省电力学校副教授吴仁芳和高级讲师杜祖坤合作完成。具体分工为：杜祖坤编写第三章、第四章、第五章和第九章，其余章节由吴仁芳编写，吴仁芳负责统稿。全书由山东电力高等专科学校许立国副教授、沈阳工程学院刘吉堂副教授、山东省电力学校伦国瑞担任主审，在此表示感谢。

由于时间紧，编者的水平有限，书中存在错漏和不妥之处在所难免，诚恳希望使用此书的广大师生和读者批评指正，谢谢！

编者

2006年6月

第二版前言

言放洲三第

本书是电力中等专业学校电厂热能动力设备专业电厂化学课程的教材，内容是根据本专业《电厂化学》课程的教学大纲编写的。

本书重点讲述炉外水处理的基本原理和系统，热力设备的腐蚀、结垢、积盐及防止方法；对电力用油、火力发电厂运行对环境的污染与防治也作了一般介绍。

全书采用法定计量单位，物质的量摩尔是电化摩尔质量，即基本单元为相当于具有一个电荷粒子，如硬度写成 $H=1/2 [Ca^{2+}] + 1/2 [Mg^{2+}]$ 。

本书由西安电力学校吴孝愷副教授主审。

在编写本书过程中，曾得到郑州电力学校张克让讲师的大力帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，诚恳希望各校师生和读者批评指正。

编者

1994年4月

参 考

民8年800S

目 录

前言	1
第三版前言	2
第二版前言	3
绪论	1
小结	3
思考题	3
第一章 水质概述	4
第一节 天然水中的杂质	4
第二节 水质指标	6
第三节 天然水中几种主要化合物	9
第四节 天然水的特点及分类	11
小结	11
思考题	12
第二章 炉外水处理	13
第一节 水的预处理	13
第二节 水的过滤	20
小结	29
思考题	29
第三章 离子交换树脂	30
第一节 离子交换树脂的合成与分类	30
第二节 离子交换树脂的性能	33
第三节 离子交换动力学	38
第四节 离子交换树脂的储存及预处理	40
小结	42
思考题	42
第四章 离子交换除盐	44
第一节 动态离子交换过程	44
第二节 水的阳离子交换	48
第三节 复床除盐	50
第四节 强弱型树脂联合应用的复床除盐	58
第五节 离子交换装置及运行操作	61

第六节	除碳器	76
第七节	混床除盐	78
第八节	离子交换除盐系统	83
第九节	提高离子交换除盐经济性的措施	88
第十节	离子交换树脂的变质、污染和复苏	91
第十一节	设备的防腐蚀	96
小结		99
思考题		99
第五章	水的其他除盐方法	101
第一节	用蒸馏法制取淡水	101
第二节	蒸发装置	102
第三节	闪蒸	105
第四节	电渗析水处理技术	106
第五节	反渗透水处理技术	110
第六节	连续电除离子技术	124
小结		127
思考题		128
第六章	凝结水处理	129
第一节	凝结水的过滤	129
第二节	凝结水的除盐混床	132
第三节	凝结水除盐的新工艺	138
小结		139
思考题		139
第七章	热力系统的金属腐蚀	140
第一节	概述	140
第二节	热力系统的金属腐蚀与防止	143
第三节	汽包锅炉水汽系统的腐蚀、结垢及其防止	150
第四节	热力设备的停用腐蚀与保护	155
第五节	水垢的形成及防止	159
第六节	汽包锅炉的锅炉水处理	162
第七节	盐类暂时消失现象	165
第八节	锅炉割管检查结垢、腐蚀状况的方法	166
第九节	锅炉的化学清洗	167
小结		176
思考题		176
第八章	蒸汽污染及防止	177
第一节	蒸汽的污染	177
第二节	影响饱和蒸汽带水和溶解杂质的因素	178

第三节	蒸汽流程中的盐类沉积	182
第四节	获得清洁蒸汽的方法	185
第五节	水汽质量标准与取样方法	189
第六节	汽包锅炉的热化学试验	198
第七节	凝汽器漏水率的测定方法	201
小结		202
思考题		202
第九章	直流锅炉水处理简介	204
小结		207
思考题		208
第十章	冷却水处理	209
第一节	污泥的形成与防止	210
第二节	凝汽器铜管内结垢及防止	215
第三节	水质稳定性判断	220
第四节	凝汽器铜管的清洗	222
第五节	凝汽器铜管冷却水侧的腐蚀与防止	224
小结		230
思考题		230
第十一章	电力用油	232
第一节	电力用油	232
第二节	电力用油的理化性质及使用性能	236
第三节	电厂油务监督和维护	240
小结		244
思考题		244
第十二章	火力发电厂环境保护	245
第一节	基本知识	245
第二节	环境保护标准	247
第三节	火力发电厂运行对环境的污染	250
小结		256
思考题		256
第十三章	电力用煤	257
第一节	煤炭的基本知识	257
第二节	煤的工业分析	267
第三节	煤的元素分析	272
第四节	煤的发热量的测定	280
小结		290
思考题		290
参考文献		292

绪 论

【内容提要】 主要介绍火力发电厂热力系统和火力发电厂水处理的重要性。

一、水在火力发电厂中的作用

在火力发电厂中，锅炉、汽轮机及其他附属设备组成热力系统。水进入锅炉吸收燃料燃烧放出的热能变成蒸汽，在汽轮机内蒸汽的热能转变成机械能，汽轮机带动发电机，将机械能转变成电能。因此，水是能量转换的重要工质。为了保证锅炉、汽轮机的正常运行，锅炉对所用水的质量要求比较严格，而且机组蒸汽的参数越高，对水质的要求也越严。目前我国制造的机组蒸汽参数和容量如表 0-1 所示。

表 0-1 热力发电厂机组容量和蒸汽参数

名 称	额定功率 (MW)	蒸 汽 参 数			
		锅 炉		汽 轮 机	
		蒸汽压力 (MPa)	蒸汽温度 (℃)	蒸汽压力 (MPa)	蒸汽温度 (℃)
中压机组	6, 12, 25	3.90	450	3.43	435
高压机组	50, 100	9.81	540	8.82	535
超高压机组	125	13.23	555	12.23	550
	200	13.73	540	12.74	535
亚临界压力机组	300	16.68	555	16.17	550
		18.27	541	16.66	537
	600	18.27	541	16.66	537
超临界压力直流 锅炉机组	600	25.40	571	24.20	566
	1000	26.25	605	26.00	600

火力发电厂分为凝汽式电厂和供热式电厂两种，它们的水汽循环系统如图 0-1、图 0-2 所示。

水汽循环系统在运行时，下面的原因会造成水汽损失。

(1) 锅炉的排污放水，安全门和过热蒸汽放汽门对空排汽，蒸汽吹灰和燃油的加热用汽。

(2) 汽轮机轴封处连续向外排汽，抽气器和除氧器排气口会随空气排出一些蒸汽。

(3) 各种水箱的溢流和热水蒸发。

(4) 各管道系统法兰盘连接处不严密和阀门的泄漏。

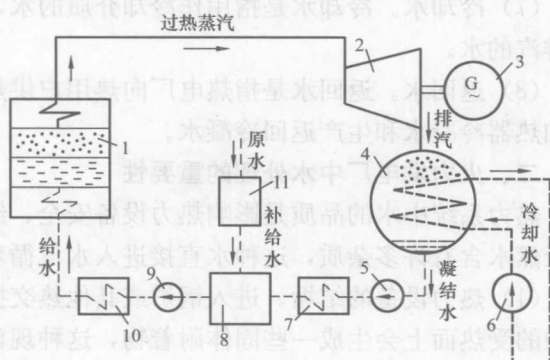


图 0-1 凝汽式电厂水汽循环系统

- 1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；
- 5—凝结水泵；6—循环水泵；7—低压加热器；
- 8—除氧器；9—给水泵；10—高压加热器；
- 11—水处理设备

(5) 厂内生活用汽, 化学分析采样的流失。

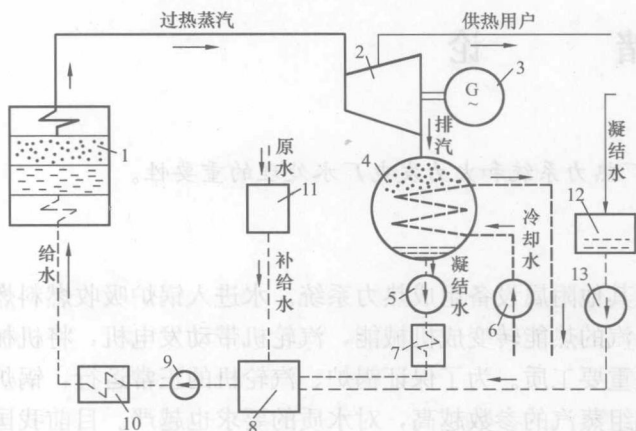


图 0-2 供热式电厂水汽循环系统

- 1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；5—凝结水箱；
6—循环水泵；7—低压加热器；8—除氧器；9—给水泵；
10—高压加热器；11—水处理设备；
12—返回凝结水箱；13—返回水泵

(6) 供热电厂向附近工厂和住宅区供生产用汽和取暖用热水, 由于热用户的用热方式不同和供热系统的复杂性等原因, 送出的蒸汽大部分不能回收, 汽水损失很大。

为维持发电厂热力系统的正常水汽循环, 需用水补充这些损失, 这部分水称为补给水。凝汽式发电厂在正常运行时, 补给水率不超过锅炉额定蒸发量的 2%~4%。热电厂的锅炉补给水率较大, 有的补给水率可达 100%。

由于水在热力发电厂水汽循环系统中所经历的过程不同, 水质常有一定的差别, 因此根据实际需要给予这些水不同的名称。

(1) 原水。原水是指未经任何处理的天然水, 它是热力发电厂中各种用水的来源。

(2) 锅炉补给水。锅炉补给水是指原水经过净化处理后, 用来补充热力发电厂汽水损失的水。按净化处理的方法不同, 锅炉补给水分为软化水、蒸馏水和除盐水。

(3) 凝结水。凝结水是指在汽轮机中作完功的蒸汽经冷凝而成的水。

(4) 疏水。疏水是指各种蒸汽管道和用汽设备中的蒸汽冷凝水。

(5) 给水。给水是指送进锅炉的水。它由凝结水、补给水和疏水组成, 热电厂中还包括返回水。

(6) 锅炉水。锅炉水是指在锅炉本体的蒸发系统中流动的水。

(7) 冷却水。冷却水是指用作冷却介质的水, 在电厂中主要指通过凝汽器用来冷却汽轮机排汽的水。

(8) 返回水。返回水是指热电厂向热用户供热后, 回收的蒸汽冷凝水。返回水又分为热网加热器冷凝水和生产返回冷凝水。

二、火力发电厂中水处理的重要性

热力系统中水的品质是影响热力设备安全、经济运行的重要因素之一, 因未经净化处理的天然水含有许多杂质, 这种水直接进入水汽循环系统会引起以下危害:

(1) 热力设备的结垢。进入锅炉或其他热交换器的水质不良, 运行一段时间后, 在与水接触的受热面上会生成一些固体附着物, 这种现象称为结垢, 受热面上的固体附着物称为水垢。水垢的传热能力只有金属的几十分之一到几百分之一, 水垢又极易在热负荷很高的锅炉炉管中产生, 会对锅炉造成极大的危害。它使结垢部位金属管壁过热, 金属强度下降, 在管内压力作用下, 会造成局部炉管变形、鼓包, 甚至引起爆管的严重事故。如结有铁垢, 还会引起垢下腐蚀。结垢不仅危害安全运行, 还会造成燃料的损失及降低发电厂的经济性。当凝汽器铜管结有水垢时, 会造成凝汽器的真空度下降, 汽轮机的热效率和出力降低。

热力设备结有水垢必须进行清洗时,就要停止运行,减少了设备的年利用小时数,还会增加检修工作量和费用等。

(2) 热力设备的腐蚀。水质不良会引起热力设备金属的腐蚀。腐蚀会导致设备的使用寿命缩短。金属腐蚀产物转入水中,给水中杂质增多,加剧了高热负荷受热面上结垢过程,结成的垢又会加剧炉管的腐蚀,形成恶性循环,会迅速导致爆管事故。水中某些杂质和金属腐蚀产物还会被蒸汽带到过热器和汽轮机中沉积下来,将严重影响过热器和汽轮机的安全、经济运行。

(3) 过热器和汽轮机积盐。水质不良会导致蒸汽品质不良,蒸汽带出的杂质会在过热器和汽轮机内沉积,称为积盐。过热器管内积盐会引起金属管壁过热甚至爆管。汽轮机内积盐会降低汽轮机的效率和出力,特别是高参数、大容量机组,它的高压级的蒸汽通道截面积很小,少量的积盐也会大大增加蒸汽流通的阻力,使汽轮机的出力下降。当汽轮机积盐严重时,还会使推力轴承负荷增大,隔板弯曲,造成事故停机。

热力发电厂水处理工作就是为了保证热力系统各部分有良好的水汽品质,防止热力设备的结垢、腐蚀和积盐,所以在热力发电厂中,水处理工作对保证发电厂的安全、经济运行具有十分重要的意义。

热力发电厂化学工作者,应做好以下工作:

- (1) 净化原水,制备热力系统所需充足、质量合格的补给水;
- (2) 对给水进行除氧、加药处理;
- (3) 对汽包锅炉进行锅炉水处理和排污,称为锅内处理;
- (4) 对直流锅炉机组、亚临界压力汽包锅炉机组进行凝结水净化处理;
- (5) 在热电厂中,对生产返回水进行除油、除铁等净化处理;
- (6) 对冷却水进行除防垢、防腐和防止有机附着物等处理;
- (7) 对热力系统的水、汽质量进行监督。

热动专业学习本课程的目的是:增加学生的电厂化学专业知识,拓宽学生的知识面;能自觉、主动地配合电厂化学的工作;能更自觉、高质量地做好热力设备的安装、检修和运行工作。同时可以提高电厂管理人员的素质。

小 结

1. 电厂是能量转换单位。
2. 水质不良会引起热力系统结垢、腐蚀、积盐。
3. 学习电厂化学的目的是增加电厂化学专业知识等。

思 考 题

1. 电厂如何将燃料的化学能转换成电能的?
2. 机组参数提高后对水质有什么要求?
3. 画出凝汽式电厂、供热式电厂的热力系统图,并说出各部分的名称。
4. 水质不良会引起什么现象?有什么危害?
5. 学习电厂化学的目的是什么?

水质概述

【内容提要】本章主要讲述天然水中杂质的种类和来源,水质指标的具体内容和天然水的特点及分类。

水是地球上分布最广泛的物质,几乎占地球表面积的 $3/4$,构成了海洋、江河、湖泊。此外,在高山、地球南北两极还有积雪和冰,地层中存有大量的地下水,大气中也有相当数量的水蒸气,这些水、雪、冰、汽统称为天然水。

水在自然界通过蒸发、降水、地面和地下径流等过程,周而复始,形成水的自然循环。

水是一种很强的溶剂,能溶解大气中、地表面和地下岩层里的许多物质,使水含有杂质,同时有一些不溶于水的物质也混杂在水中。此外,水在流动过程中,还会继续溶解一些物质及混进一些不溶于水的杂质,所以不同区域的水中的杂质含量并不相同。

热力发电厂对水质的要求很严,所用的水必须经过净化处理,所用水的净化处理方法是依据热力设备对水质的要求和天然水中杂质含量决定的。因此,在研究水处理工艺时,先要了解水中含有杂质的概况。

第一节 天然水中的杂质

天然水中的杂质是多种多样的,有的呈固态,有的呈液态或气态,它们大多以分子态、离子态和胶体颗粒存在于水中。由于水处理方法与杂质的颗粒大小有关,在水处理工艺中将这杂质按颗粒大小分为悬浮物、胶体和溶解物质三类。

一、悬浮物

悬浮物是指颗粒粒径约在 $0.1\mu\text{m}$ 以上,此类杂质一般悬浮于水中。这类杂质在水中很不稳定,分布也很不均匀,光照下致水浑浊。天然水中悬浮物分为可沉物和漂浮物。可沉物主要是泥沙之类的无机物,当水静止或流速缓慢时会下沉;漂浮物主要是动植物的微小碎片、纤维或死亡后的腐烂产物的有机物质,在水静止时会悬浮在水面。悬浮物在水中很不稳定,分布也很不均匀,是一种比较容易除去的物质。

二、胶体

胶体是指颗粒直径在 $1\sim 100\text{nm}$ 之间的微粒,胶体是许多分子或离子的集合体,比表面积很大,有明显的表面活性,表面上常吸附某些离子而呈现出带电性,因此相互排斥,不易聚集,所以胶体在水中比较稳定,分布也比较均匀,难以用自然沉降的方法除去。天然水中的胶体一般都带负电性。

天然水中有无机胶体和有机胶体两种。无机胶体是铁、铝和硅的化合物;有机胶体是动植物腐烂和分解的产物,主要是腐殖质。腐殖质在湖泊中最多,常使水呈黄绿色或褐色。

天然水中的悬浮物和胶体对光都有散射效应,是造成水体浑浊的主要原因,所以它们是各种用水首先需要处理清除的对象。悬浮物和胶体常用的处理方法是凝聚、澄清和过滤。

三、溶解物质

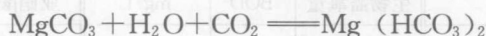
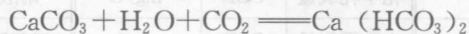
溶解物质是指直径小于1nm的颗粒,它们以离子、分子的状态存在于水中,成为均匀的分散体系,称为真溶液。这类物质可采用蒸馏、膜分离、离子交换的方法除去。

1. 呈离子状态的物质

天然水中的离子几乎都是无机盐类溶于水后电离形成的。水中主要离子有 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等,几乎占水中溶解固体总量的95%以上。此外,有的水中还含有少量的 Fe^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HSiO_3^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 、 PO_4^{3-} 等。天然水中硅的氧化物(SiO_2)主要来源于硅酸盐、铝硅酸盐的水解,硅酸是一种复杂的化合物,在水中呈离子态、分子态和胶态。硅化合物易在锅炉的金属表面上或在汽轮机叶片上形成沉积物后,非常难以除去,所以是水处理重点处理对象。天然水被污染时,水中除含有上述主要离子外,根据污染源的不同,还含有污染水带来的离子和有机物等。

天然水中的 Na^+ 、 K^+ 是钠盐和钾盐直接溶于水所致。河水中 Na^+ 只有几毫克/升至几十毫克/升,苦咸水中含量可高达10 000mg/L左右,天然水中 K^+ 的含量远远低于 Na^+ ,一般为 Na^+ 含量的4%~10%,在水质分析中,通常以 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 总量表示。水中都含有 Cl^- ,是水流经地层时溶解氯化物造成的,不同地区水中氯离子含量也不同,天然水流入海洋逐渐积累使海水中含有大量 Cl^- 。水中 SO_4^{2-} 是地层中石膏溶于水形成的。而天然水中主要阴离子重碳酸根(HCO_3^-)是含有 CO_2 的水与碳酸盐反应生成的。

水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 主要是含有 CO_2 的水流经石灰石和白云石,并与它们发生反应,生成溶解度很大的重碳酸钙 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ 和重碳酸镁 $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$ 形成的,反应如下:



镁离子在天然水中的含量仅次于 Na^+ ,很少见到以 Mg^{2+} 为主要阳离子的天然水。在淡水中, Ca^{2+} 是主要阳离子, Mg^{2+} 的含量一般在1~40mg/L。当水中溶解固形物低于500mg/L时, Mg^{2+} 与 Ca^{2+} 的摩尔比为1/4~1/2。当水中溶解固形物高于1000mg/L时, Mg^{2+} 与 Ca^{2+} 的摩尔比为1/2或相等。当水中溶解固形物进一步增大时, Mg^{2+} 的含量可能高出 Ca^{2+} 许多倍。

2. 溶解气体

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

(1) 氧(O_2)。天然水中的氧来源于大气中氧的溶解,水中水生植物的光合作用也产生一部分氧,但不是水中氧的主要来源。氧在水中的溶解度如图1-1所示。水中氧的

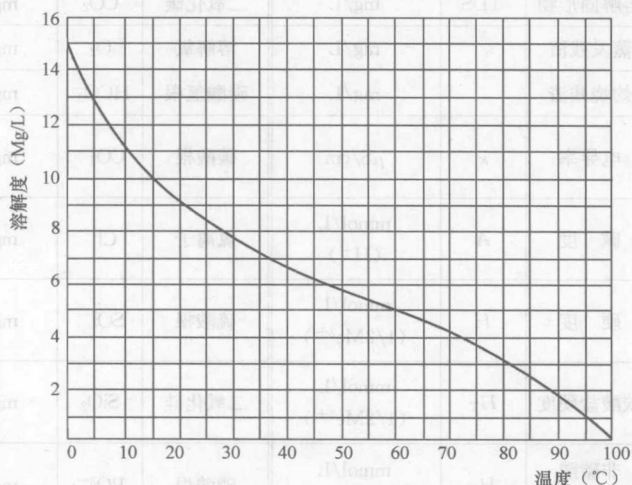


图1-1 101.325kPa大气中氧在水中的溶解度

含量在 0~14mg/L,地表水中氧的含量与水温、气压和水中有机的含量有关。水中有机的会消耗水中氧气,使水质恶化。地下水中氧含量比地表水的小,且随深度增加而减少。

对于火力发电厂,水中含有溶解氧会造成金属设备的腐蚀,对热力设备的安全运行是不利的,所以需将氧除去。

(2) 二氧化碳(CO₂)。天然水中 CO₂ 主要来源于水中或泥土中有机物的分解和氧化。大气中 CO₂ 的分压按体积比只有 0.03%~0.04%,在水中的溶解度为 0.5~1.0mg/L。

地表水中 CO₂ 含量一般不超过 20~30mg/L;地下水中 CO₂ 含量为 15~40mg/L,最大不超过 150mg/L;有些矿泉水中 CO₂ 含量可高达数百毫克/升。

天然水中溶解的 CO₂,约 99%呈分子状,称为游离二氧化碳,其中约有 1%左右与水生成碳酸,这两部分的总量也称为游离碳酸。

对于火力发电厂,CO₂ 在给水、凝结水和冷却水中,对金属设备有腐蚀作用,同时还会加剧溶解氧对金属的腐蚀,所以在锅炉用水和冷却水中含有二氧化碳具有较大的危害。

第二节 水质指标

天然水中含有许多杂质,水质就有好坏的问题。水质指标能够表示水中各种杂质的多少。不同的工业部门,水的用途不同,对水质的要求及采用的水质指标也不一样。锅炉用水根据自己的使用性质制定了水质指标,如表 1-1 所示。

表 1-1

水质指标

水质指标	符 号	常用单位	水质指标	符 号	常用单位	水质指标	符 号	常用单位
悬浮物		mg/L	化学耗氧量	COD	mg/L	硝酸根	NO ₃ ⁻	mg/L
浊 度		FTU	生物需氧量	BOD	mg/L	亚硝酸根	NO ₂ ⁻	mg/L
透明度		cm	含油量		mg/L	钙	Ca ²⁺	mg/L
含盐量	c_s	mg/L mmol/L (1/n I ⁿ)	稳定度			镁	Mg ²⁺	mg/L
溶解固形物	TDS	mg/L	二氧化碳	CO ₂	mg/L	钾	K ⁺	mg/L
蒸发残渣		mg/L	溶解氧	O ₂	mg/L	钠	Na ⁺	mg/L
灼烧残渣		mg/L	碳酸氢根	HCO ₃ ⁻	mg/L	氨		mg/L
电导率	κ	μ S/cm	碳酸根	CO ₃ ²⁻	mg/L	铁	Fe ³⁺ Fe ²⁺	mg/L
碱 度	A	mmol/L (H ⁺)	氯离子	Cl ⁻	mg/L	铝	Al ³⁺	mg/L
硬 度	H	mmol/L (1/2Me ²⁺)	硫酸根	SO ₄ ²⁻	mg/L	pH		
碳酸盐硬度	H _T	mmol/L (1/2Me ²⁺)	二氧化硅	SiO ₂	mg/L			
非碳酸盐硬度	H _F	mmol/L (1/2Me ²⁺)	磷酸根	PO ₄ ³⁻	mg/L			

水质指标有两种。一种表示水中的离子组成, 含义非常明确。另一种指标不代表水中某一具体组成, 只是表示某一类物质的总和。这种指标是由于技术上需要所拟定的称为技术指标, 表 1-1 中自悬浮物至稳定度都是技术指标。也有的称替代参数或集体参数, 它是根据水的某一种使用性能而制定的, 如水的悬浮物和浑浊度表示造成水体浑浊的物质总量, 并不表示某一具体组分。

下面介绍锅炉用水中的几种主要技术指标的含义。

一、悬浮物

悬浮物表示水中悬浮物质的含量, 它易在管道、设备内沉积和影响水处理设备的正常运行, 所以在任何水处理系统中是首先要清除的杂质。悬浮物可用重量分析法测定, 即取 1L 水样经定量滤纸过滤后, 将滤纸上截留物在 110°C 下烘干称重, 以 mg/L 表示。由于这种分析方法比较麻烦, 因此常用光电浊度仪测定水的浊度来表示水中悬浮物的含量。

二、溶解固形物

溶解固形物是指水中除溶解气体之外的各种溶解物质的总量, 它可用重量分析法测定, 但存在操作麻烦、费时的问题, 所以目前都采用与其含义相近似的指标进行测定。

1. 含盐量

含盐量表示水中各种溶解盐类的总和, 可通过水质全分析, 将全部阳、阴离子含量相加而得, 单位用 mg/L (或 ppm) 表示, 也可用 mmol/L 表示, 即将水中全部阳离子 (或全部阴离子) 均按一个电荷的离子为基本单元计算出含量, 然后再相加。

此外, 还可用矿物残渣表示水中溶有的矿物质的量, 计算方法是将全部阳、阴离子 (mg/L) 相加, 但 HCO_3^- 应换算成 CO_3^{2-} , 再将非离子态的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 加上。如果矿物残渣再加上有机物的含量, 则求出的量就表示水中溶解固形物的量。

2. 蒸发残渣

蒸发残渣是指取一定体积过滤后的水样蒸干, 在 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 下干燥至恒重所得的残渣量。由于在蒸发时水中碳酸氢盐转成碳酸盐及在该温度下还有一些湿分和结晶水不能除尽, 所以它并不与溶解固形物完全相等, 只是相近。

3. 灼烧残渣

将蒸发残渣在 800°C 下灼烧所得的残渣称为灼烧残渣。在灼烧过程中有机物被烧掉, 所以常用蒸发残渣与灼烧残渣量之差, 即灼烧减量表示有机物的多少, 但在灼烧过程中, 残存的湿分、结晶水及一些氯化物挥发掉, 部分碳酸盐分解, 因此灼烧减量不完全与有机物相等。

4. 电导率

测定上述项目的工作量比较大, 需要一定的时间。但只要水中含有离子就具有导电能力, 水中含有离子越多, 导电能力越大, 这样就可利用测定电导率来反映水中的含盐量。如水中离子组成相对稳定时, 则可以实测该水的电导率与含盐量的关系曲线。

水的导电能力除与水中离子含量有关外, 还与水温和离子之间的相对比例有关, 因此测定水的电导率时要求水温和水中离子相对稳定。

如果水的溶解固形物总量 (TDS) 在 $500\sim 5000\text{mg/L}$ 之间, 水的电导率与 TDS 之间有以下关系:

$$\lg \text{TDS} = 1.006 \lg \kappa_{\text{CH}_2\text{O}} - 0.125$$

式中 κ_{H_2O} ——水的电导率, $\mu S/cm$;
TDS——水的溶解固形物总量, mg/L 。

三、硬度

硬度(H)是指在受热面上能与某些阴离子形成固体附着物的阳离子总量。天然水中硬度通常指 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的总量, 称为总硬度, 用基本单元 $[1/2Ca^{2+} + 1/2Mg^{2+}]$ 表示。它在一定程度上表示了水可结垢物质的多少。水中钙、镁离子的含量是衡量锅炉给水水质好坏的一项重要技术指标。

硬度按阳离子分为钙硬度、镁硬度; 按阴离子分为碳酸盐硬度(H_T)、非碳酸盐硬度(H_F)。总硬度等于两者之和($H=H_T+H_F$)。

碳酸盐硬度是指水中钙、镁的碳酸氢盐、碳酸盐的含量, 水在长期沸腾时, 会发生如下反应:



反应生成沉淀, 因此重碳酸盐硬度又称为暂时硬度。

非碳酸盐硬度是指水中钙、镁的硫酸盐、硝酸盐和氯化物等的总含量, 加热水时它们不会立即生成沉淀, 又称为永久硬度。

硬度的单位各国不一样, 美国用 ppm $CaCO_3$, 它大致与 mg/L 相当。德国用德国度 $^{\circ}G$, 以上几种单位的关系是:

$1mmol/L(1/2Me^{2+}) = 2.8^{\circ}G = 50ppm CaCO_3$

四、碱度

碱度(A)是指水中能与强酸反应的碱性物质总量。形成水的碱度物质有氢氧化物、碳酸盐和碳酸氢盐等。天然水中的碱度物质主要是碳酸氢盐及少量弱酸盐, 有的水中还有少量的碳酸盐和磷酸盐。碱度的单位为 $mmol/L$ 。

测定碱度时, 选用不同指示剂, 测得的结果有所不同。用甲基橙作指示剂, 终点 pH 值为 4.3 左右, 水中全部碳酸盐、氢氧化物和弱酸盐都参与反应, 生成相应的水和二氧化碳及相应的弱酸, 称为甲基橙碱度(M)或全碱度。用酚酞作指示剂时, 终点 pH 值为 8.2 左右, 氢氧化物生成相应的水, 碳酸根转成碳酸氢根, 只测了其碱度的一半, 称为酚酞碱度(P)。

酚酞碱度、甲基橙碱度与 OH^- 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 的关系如表 1-2 所示。

表 1-2 P、M 与 OH^- 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 的关系

P 与 M 的关系	水中存在的离子	各离子的量 (mmol/L)		
		OH^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-
$P=M$	OH^-	P 或 M		
$M<2P$	OH^- 和 CO_3^{2-}	$2P-M$	$2(M-P)$	
$M=2P$	CO_3^{2-}		M 或 $2P$	
$M>2P$	CO_3^{2-} 和 HCO_3^-		$2P$	$M-2P$
$P=0$	HCO_3^-			M