



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

电厂水处理及化学监督

刘 晓 主 编
周菊华 副主编



中国电力出版社

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



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

电厂水处理及化学监督

主 编 刘 晓
副主编 周菊华
编 写 叶海军
主 审 林永华



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

本书以实用、够用为最大特点，书中内容密切结合我国火力发电厂实际，全面介绍了电厂（特别是600MW超临界机组）化学水处理、化学监督和相关设备、系统及运行的内容。全书分为十章，内容包括原水的预处理、锅炉补给水的除盐处理、凝结水精处理、循环冷却水处理、废水处理系统、热力设备的腐蚀与防护、锅炉给水及炉水的水质及水质调节、热力设备及系统的化学监督等。

本书为高等职业技术学院集控运行专业、热动力装置专业的教材，可兼作电厂化学专业人员的培训教材，也可供相关的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电厂水处理及化学监督/刘晓主编. —北京：中国电力出版社，2009

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978-7-5083-9218-9

I. 电… II. 刘… III. ①火电厂—水处理—职业教育—教材
②火电厂—电厂化学—监督管理—职业教育—教材
IV. TM621.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 128871 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

*

2009年9月第一版 2009年9月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 11.25印张 269千字

定价 18.00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

本书是高等职业技术学院集控运行专业、热动力装置专业的教材，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育课程教学的基本要求和有关岗位资格及技术等级要求；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。

在本书的编写过程中，针对热动、集控专业的特点，内容设置以科学性、系统性为基本出发点，贯彻必需、够用为度的原则，注重理论和生产实践相结合，力求简洁实用，充分体现职业教育的要求。

本书所引用的标准为最新的国家或行业标准，所引用的实例反映了电厂化学的最新技术。全书采用法定计量单位。

本书由武汉电力职业技术学院刘晓担任主编，周菊华为副主编，参加编写的有刘晓（绪论，第一、二、三、四、六、八章）、周菊华（第五、十章）、叶海军（第七、九章）。刘晓负责全书的统稿工作。

哈尔滨职业技术学院的林永华副教授担任本书的主审，主审在审稿过程中提出了许多建设性的意见和建议，使我们受益匪浅。同时，在本书的编写过程中，参考了兄弟院校、科研院所和发电企业的诸多文献和科研成果，并得到了同事们和重庆电力职业技术学院的黄成群老师的热情帮助，作者仅对上述同仁及单位表示衷心的感谢。

火力发电厂化学技术及管理工作对整个电力生产的影响很大，水处理及化学监督的内容丰富庞杂，技术性强、变化快，书中难以尽述。再加上作者水平所限，书中难免存在缺点和不足之处，敬请读者不吝赐教。

编 者

2009年8月

目 录

前言	
绪论	1
思考题	5
第一章 水质概述	6
第一节 常用化学名词概述	6
第二节 电厂用水的水质指标	10
思考题	16
第二章 水的预处理	17
第一节 概述	17
第二节 水的混凝沉淀处理	18
第三节 水的过滤处理	25
思考题	34
第三章 补给水除盐处理	35
第一节 概述	35
第二节 离子交换树脂和离子交换原理	37
第三节 离子交换装置	42
第四节 离子交换装置的运行及控制	53
第五节 锅炉补给水的除盐系统	57
第六节 反渗透水处理技术	59
思考题	66
第四章 凝结水精处理	68
第一节 概述	68
第二节 凝结水精处理设备及其运行	70
思考题	79
第五章 循环冷却水处理	80
第一节 概述	80
第二节 循环冷却水系统的结垢和防止	83
第三节 循环冷却水系统中的微生物及其控制	86
第四节 凝汽器管清洗及凝汽器的运行维护	90
思考题	93
第六章 废水处理系统	94
第一节 概述	94
第二节 发电厂废水处理系统	96

思考题·····	101
第七章 水处理设备常见故障分析与处理 ·····	102
思考题·····	108
第八章 热力设备腐蚀、结垢与防护 ·····	109
第一节 热力设备腐蚀的特征及防护原则·····	109
第二节 锅炉给水处理·····	116
第三节 汽包锅炉炉内水处理·····	122
第四节 热力设备停（备）用保护和锅炉的化学清洗·····	128
思考题·····	141
第九章 蒸汽污染及防止 ·····	142
第一节 蒸汽的污染·····	142
第二节 杂质在蒸汽流程中的沉积·····	144
第三节 蒸汽纯度标准与控制方法·····	146
思考题·····	149
第十章 热力设备及系统的化学监督 ·····	150
第一节 水、汽取样方法·····	150
第二节 水、汽质量监督·····	152
第三节 水、汽品质劣化的原因及处理·····	160
第四节 电力生产过程中水汽监督及检测方法·····	163
思考题·····	171
参考文献 ·····	172

绪 论

一、火力发电厂生产系统

火力发电厂生产系统由锅炉设备、汽轮机设备、发电机设备及输煤、除尘除灰和化学等辅助系统构成。

(1) 锅炉是使燃料燃烧释放出热能，并将不断输入的水加热成具有一定压力和温度的过热蒸汽的设备，它为汽轮发电机生产电能提供动力。

(2) 汽轮机是一种利用锅炉中产生的蒸汽热能转换为汽轮机转动轴所传递的机械能的动力机械。

(3) 发电机是与汽轮机转动部分联轴，利用电磁感应原理，将旋转机械能转换为电能的设备。

(4) 输煤系统是指燃煤发电厂的燃料运输与供应系统，其专业工作包括对陆运或水运来厂原煤的接收、厂内燃料的运输及储存，为锅炉提供燃烧工质。

(5) 除尘除灰系统的功能就是将锅炉燃烧过程中产生的烟气中的飞灰、有害气体和微量重金属微粒及灰渣等废弃物分别除去和排走，以满足环境保护的要求。

(6) 化学系统的主要作用就是保证为热力系统各部分提供良好的水质、汽质，以防止热力设备的结垢、腐蚀和积盐。

二、火力发电厂水汽系统及化学监督

在火力发电厂中，水是传递能量的工质。水进入锅炉后，吸收燃料燃烧放出的热能转变为蒸汽，导入汽轮机。在汽轮机中，蒸汽的热能转变为机械能，发电机将机械能转变为电能，送至电网。

蒸汽在汽轮机内做功后进入凝汽器，被冷却为凝结水。凝结水由凝结水泵送到低压加热器，加热后送入除氧器，再由给水泵将已除去氧的水经高压加热器加热后送入锅炉。火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 和图 0-2 所示。

在火电厂，锅炉、汽轮机及其附属设备、管道组成热力系统。热力系统中的各种热交换部件或水汽流经的设备，如省煤器、水冷壁（简称炉管）、过热器、汽轮机、高压加热器、低压加热器、除氧器和凝汽器等，通称为热力设备。为了保证它们正常运行，对锅炉用水的质量有严格的要求，而且机组蒸汽参数越高，对其要求也越严。依锅炉压力的不同，可将火电机组分为八个等级，即低压、中压、次高压、高压、超高压、亚临界、超临界和超超临界

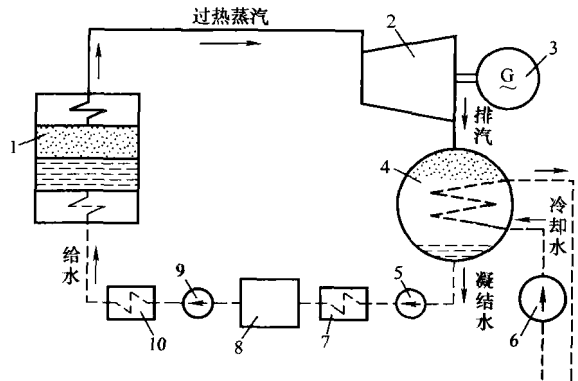


图 0-1 凝汽式发电厂水汽循环系统

- 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

压力机组,各压力级别机组的蒸汽参数及容量见表 0-1。

表 0-1 火电厂机组主要参数

锅炉压力级别		中压	次高压	高压	超高压	亚临界	超临界	超超临界
过热蒸汽	压力 (MPa)	3.5	7.4	9.0	13.7	16.5	≥23.0	25.0~35.0 及以上
	温度 (°C)	450	480	510~540	510~540	530~550	530~550	580 及以上
锅炉蒸发量 (t/h)		65~130	120~250	220~430	410~670	850~2050	1050~3000	约 3000
机组容量 (MW)		12~25	25~50	50~100	125~200	250~600	300~1000	400~1000

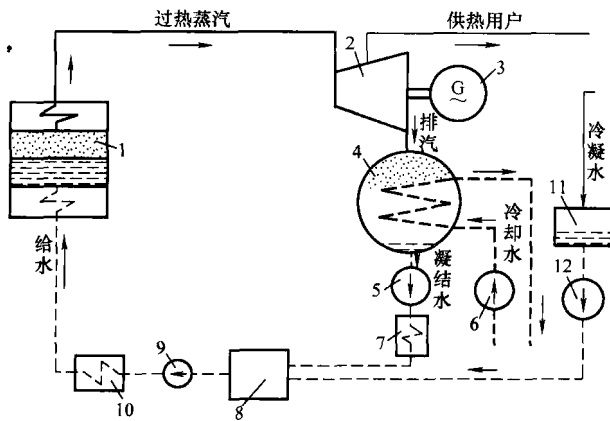


图 0-2 供热式电厂水汽循环系统

- 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—返回凝水箱；12—返回水泵

在热力系统中,水汽虽是循环的,但运行中总不免有些损失。为了保持发电厂热力系统的水汽平衡,保证正常水汽循环运行,就要随时向锅炉补充合格的水来弥补其损失,这部分水称为补给水。凝汽式电厂在正常运行情况下,补给水量一般不超过锅炉额定蒸发量的 2%~4%。

在现代大型机组中,化学补给水一般是补入凝汽器,与凝结水混合并在凝汽器内经除氧后进入给水系统。在小型机组中,通常是将化学补给水补入除氧器,与主凝结水和各种疏水混合后进入给水系统。

热力系统中的水质是影响火力发电厂热力设备(锅炉、汽轮机等)安全、经济运行的重要因素之一。没有经过净化处理的原水,其中含有许多杂质,这种水是不允许直接进入热力设备水汽循环系统的,必须经过适当的净化处理,达到标准后,才能保证热力设备的稳定运行。如果品质不良的水进入水汽循环系统,就会造成以下几方面的危害:

(1) 热力设备的结垢。如果进入锅炉或其他热交换器的水质不良,经过一段时间的运行后,在与水接触的受热面上,会生成一些固体附着物,这些固体附着物称为水垢,这种现象称为结垢。结垢的速度与锅炉的蒸发量成正比。因此,如果品质不良的水进入高参数、大容量机组的水汽循环系统,就有可能在短时间内造成更大的危害。因为水垢的导热性能比金属的导热性能差几百倍,这些水垢又易形成在热负荷很高的锅炉炉管中,这样会使结垢部位的金属管壁过热,引起金属强度下降,在管内压力的作用下,就会发生管道局部变形,产生鼓包,甚至引起爆管等严重事故。结垢不仅危害到锅炉的安全运行,而且会影响发电厂的经济效益。另外,在汽轮机凝汽器内结垢,会导致凝汽器真空度降低,使汽轮机达不到额定出力,热效率下降;加热器结垢会使水的加热温度达不到设计值,以致整个热力系统的经济性降低。而且热力设备结垢后还必须及时清洗,因此增加了机组的停运时间,减少了发电量,增加了清洗、检修的费用,并且增加了环保工作量等。

(2) 热力设备的腐蚀。如果水质不良,则会引起金属的腐蚀。金属材料与环境介质反应

而引起金属材料破坏的现象叫做金属的腐蚀。火力发电厂的给水管道、各种加热器、锅炉的省煤器、水冷壁、过热器和汽轮机凝汽器都会因水中含有溶解性气体和腐蚀介质而引起腐蚀。腐蚀不仅会缩短金属的使用寿命，而且由于金属腐蚀产物转入给水中，使给水杂质增多，从而又缩短了热负荷高的受热面上的结垢过程，结成的垢又会促进锅炉管壁的垢下腐蚀。这种恶性循环，会迅速导致爆管事故的发生。

(3) 过热器和汽轮机的积盐。如果锅炉使用的水质不良，就不能产生高纯度的蒸汽，随蒸汽带出的杂质就会沉积在蒸汽流通部分，例如过热器和汽轮机里，这种现象称为积盐。过热器管内积盐会引起金属管壁过热，甚至爆管；汽轮机内积盐会大大降低汽轮机的出力和效率。特别是对于高温、高压的大容量汽轮机，它的高压蒸汽通流部分的截面积很小，所以少量的积盐就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。

水中杂质对水处理设备和热力设备的影响见表 0-2。

表 0-2 水中杂质对水处理设备和热力设备的影响

序号	杂质名称	对设备影响
1	悬浮物	污染树脂，降低其交换性能，尤其对逆流再生设备影响较大
2	有机物	使阴离子交换树脂污染老化，降低交换容量及使用寿命；进入锅炉后能造成汽水共腾，恶化蒸汽品质
3	游离氯	是氧化剂，能形成树脂的不可逆膨胀而使树脂损坏
4	溶解氧	可造成水处理系统和给水系统的腐蚀，但在高纯给水中进行中性水加氧处理，可形成一层保护膜，减缓对给水系统的腐蚀
5	硅化合物	易在热力系统炉管和汽轮机叶片上结垢析出，影响机组出力
6	碳酸盐化合物	在加热后能分解出二氧化碳，在给水系统造成二氧化碳腐蚀
7	钙镁盐类	能在强受热面上结出坚硬的水垢
8	钾钠盐类	能在过热器、汽轮机叶片上结盐
9	铜铁垢	进入离子交换树脂内不易再被交换出来；在锅炉水冷壁上结垢，造成溃疡性垢下腐蚀，严重影响锅炉安全运行
10	氨和铵盐	适量的氨对抑制系统中的二氧化碳腐蚀有好处，但量大后能促进铜的腐蚀
11	硝酸、亚硝酸盐	会造成水冷壁及过热器的腐蚀

三、电厂用水种类及特点

火电厂是工业用水大户，用水量约占工业系统总用水量的 20%。一台 600MW 机组敞开式循环冷却水系统年耗水量约为 2000 万 m³。

电厂用水包括生产用水和非生产用水。生产用水量往往占全厂用水的 99% 以上。在各种生产用水中，以冷却水系统补充水量最大，一般占全厂总水量的 60%~80%；其次为水力冲灰水，一般占全厂总水量的 20%~40%。

生产用水包括以下几种：

(1) 冷却水。用水作冷却介质的冷却系统称为冷却水系统。火电厂的冷却水系统一般有直流冷却水系统、敞开式循环冷却水系统及密闭式循环冷却水系统三种类型。直流冷却水系统指冷却水只利用一次后就排往环境水体，用水量特别大。多为沿海或大江大河沿岸的电厂

才有可能采用。敞开式循环冷却水系统将换热后的水通过冷却设备（如冷却塔）冷却后重复利用。密封式冷却水系统多用于严重缺水的空冷机组，某些电厂的水内冷发电机的内冷水、轴瓦冷却水等，由于是密闭式循环冷却，没有蒸发引起的浓缩，故补充水量很少，一般采用除盐水作冷却水。

(2) 冲灰水。在电厂生产用水中，冲灰水量仅次于冷却水用水量，居第二位。冲灰水水质要求低，故它可采用电厂的锅炉排污水、循环冷却水的排污水以及电厂污水处理站净化后的出水，从而可节约用水。

(3) 锅炉补给水及热力系统用水。这是进入热力系统的水，其水量约占电厂用水量的5%，例如某 $2 \times 600\text{MW}$ 机组的电厂，夏季用水量每天为 7.2万 m^3 ，每小时用水量为 3000m^3 ，而锅炉补给水为 $150\text{m}^3/\text{h}$ 。锅炉补给水对水质要求很高，水质近乎纯水，尤其是直流锅炉。

(4) 其他生产用水。主要包括煤场用水及各车间生产用水，通常占电厂用水量的10%左右，一般可用自来水或自备水源的水。

非生产用水主要是生活用水，生活用水量很小，一般在全厂总用水量的4%以下，大型电厂生活用水量仅为0.5%左右。

下面将热力系统中各种用水的含义作一说明。

(1) 原水。电厂选做水源的未经任何处理的水，一般是江河湖泊、水库、深井水，现也有电厂用海水或以城市水网的中水作为锅炉补给水的水源。

(2) 补给水。原水经过各种工艺处理后补充锅炉汽水损失的水。

(3) 给水。送入锅炉的水。

(4) 炉水。在锅炉本体蒸发系统中流动的水。

(5) 凝结水。在汽轮机中做功后的蒸汽经凝汽器冷凝成的水。

(6) 疏水。各种蒸汽管道和用汽设备中的蒸汽的凝结水，经疏水器汇集到疏水箱或并入凝结水系统。火电厂疏水系统比较复杂。

(7) 返回凝结水。热电厂向热用户供热后，回收的蒸汽冷凝水。

四、电厂化学监督的内容

火电厂电厂化学工作的主要任务就是为了保证热力系统各部分有良好的水汽品质，以防止热力设备的结垢、腐蚀和积盐。电厂化学运行人员的主要工作内容为：

(1) 制备合格的补给水。制备热力系统所需要的补给水，处理方法主要包括：除去原水中的悬浮物和胶体颗粒的混凝、澄清、过滤等预处理；除去水中溶解性盐类的预脱盐（电渗析、反渗透）和精脱盐（离子交换法除盐、填充床电渗析）处理。制备补给水的处理通常称为炉外水处理。

(2) 给水处理。对给水进行除去水中溶解氧或加氧、提高pH值等加药处理，以保证给水的质量。

(3) 炉内水处理。对汽包锅炉进行锅炉水的加药和排污处理。

(4) 凝结水处理。对直流炉机组及高参数汽包炉机组，要进行汽轮机凝结水的除铁、除盐等净化处理。

(5) 冷却水处理。对循环冷却水进行防垢、防腐和防止有机附着物等处理，也称为循环水处理。

(6) 水汽监督。对热力系统各部分、各阶段的水汽质量进行监督,并在水汽质量劣化时进行处理。

(7) 机组停运保养。随着机组容量的增加和参与调峰工作的要求,机组停运保养工作越显重要,停(备)用保护工作内容也包括机组停运前对热力系统进行加药处理等工作。

(8) 化学清洗。在热力设备大修期间,检查并掌握热力设备的结垢、腐蚀和积盐等情况,做出热力设备腐蚀结垢状况的评价,并组织进行热力设备的清洗。

(9) 做好各种水处理设备的调整试验,配合锅炉、汽轮机专业做好除氧器的调整试验、热化学试验等工作。

除此之外,火力发电厂水处理工作还包括发电机冷却水处理、发电机转子氢冷系统供氢和全厂废水处理等。典型 300MW 火电机组水汽循环系统水处理及化学监督工艺流程如图 0-3 所示。

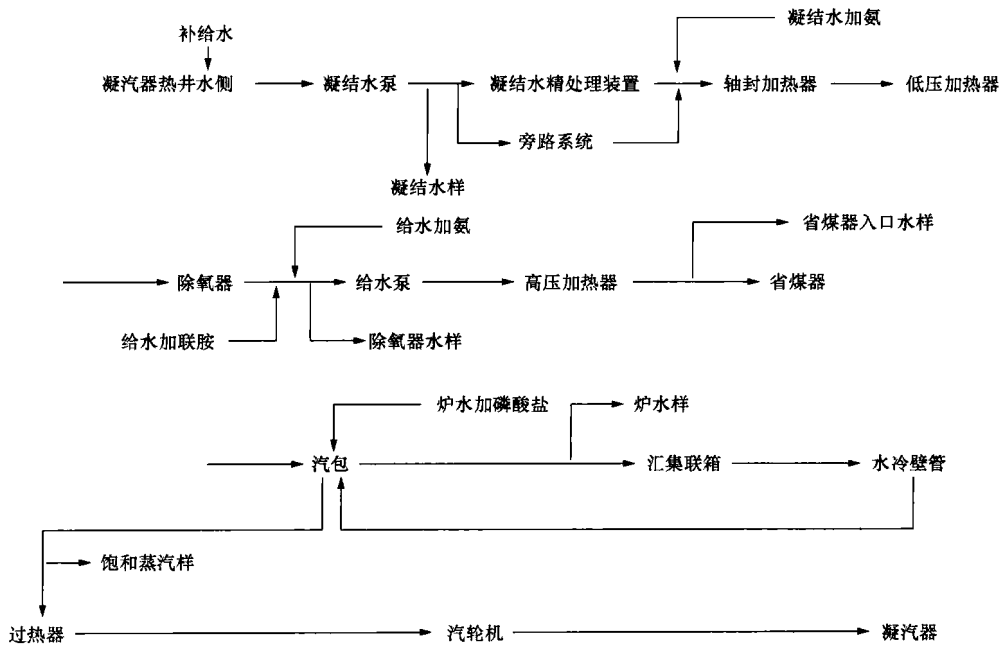


图 0-3 水汽循环系统水处理及化学监督工艺流程

思 考 题

1. 简述火力发电厂的能量转化过程。
2. 画出凝汽式电厂和供热式电厂水、汽循环系统简图,并说明该系统造成水汽损失的原因。
3. 火力发电厂的锅炉用水为什么要进行处理?不处理会有哪些危害?
4. 电厂化学监督工作的主要内容有哪些?
5. 水中杂质对水处理设备和热力设备有何影响?

水质概述

水是工业生产过程中不可缺少的物质，工业领域不同，对用水的质量要求也不同。火力发电厂的锅炉用水，对水的质量要求很高。本章内容为火力发电厂化学工作者必须掌握的基础化学知识，以及天然水中的杂质及水质特性指标，这些内容是电厂化学的基础。

第一节 常用化学名词概述

一、化学基本概念

1. 物质的量、摩尔质量

由于分子、原子太微小，用它们计量不方便，需要使用一个适当的物理量——物质的量进行计算。

物质的量是反映某系统中物质基本单元多少的物理量。或者说，物质 B 的物质的量 n_B 是用系统中所含基本单元 B 的粒子数 N_B 来确定（或衡量）的一个物理量。物质 B 的物质的量 n_B 与物质 B 的基本单元 B 的粒子数 N_B 的关系如式（1-1）所示。

$$n_B = N_B / N \quad (N \text{ 阿伏加德罗常数, 为 } 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) \quad (1-1)$$

国际规定物质的量的单位为“摩尔”，它也是我国现行的基本法定计量单位之一，单位符号为 mol。

摩尔质量在计算及使用上比较方便，它是物质的量的一个导出量，是表达物质的量与质量的关系的。摩尔质量 (M_B) 的定义为质量 (m) 除以物质的量 (n_B)，即 $M_B = m/n_B$ 。摩尔质量的单位是 kg/mol 或 g/mol，化学分析中常用的单位为 g/mol。例如：

H_2SO_4 的摩尔质量 $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98\text{g/mol}$ 或者 $M(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 49\text{g/mol}$

注意：在法定计量单位中，用到物质的量浓度或摩尔质量时，必须指明基本单元，否则所说的摩尔就没有明确的意义了。

2. 酸和碱

根据酸碱质子理论，凡是能给出质子 (H^+) 的物质就是酸；凡是能接受质子的物质就是碱。一种酸给出质子后，其剩余的部分就是碱；同理，一种碱接受质子后，其生成物便为酸。它们之间的关系可表示为



可见，酸和碱是不能彼此分开的，两者处于一种相互依存的关系中。酸和碱的这种依存关系称为共轭关系，即 HA 是 A^- 的共轭酸， A^- 是 HA 的共轭碱。

同时，该理论认为，酸碱反应的实质是质子的转移。例如 HCl 在水中的解离是由于作为溶剂的水起着碱的作用，而 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 在水中的解离是由于作为溶剂的水起着酸的作用。所以，我们认为，这些反应都是酸碱反应，只不过在不同场合， H_2O 扮演着不同的角色。

在实际中，常用酸碱滴定法来测定未知物质的浓度，该法常借助于酸碱指示剂的颜色变化来指示滴定的终点。酸碱指示剂是结构复杂的有机酸或有机碱，因其酸式和共轭碱式具有

不同的结构,因而呈现不同的颜色。当溶液 pH 值改变时,指示剂或给出质子由酸式变为共轭碱式,或接受质子由碱式变为共轭酸式,由于结构的变化而引起颜色的改变。若用 HIn 表示某一酸碱指示剂,其颜色变化的原理为

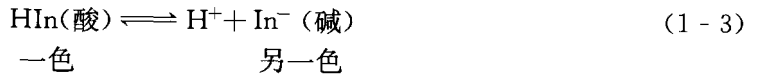


表 1-1 是常用的酸碱指示剂及其变色范围。

表 1-1 常用的酸碱指示剂及其变色范围

指示剂	变色范围 (pH 值)	pKa	颜色			浓度
			酸性色	过渡色	碱性色	
百里酚蓝	1.2~2.8	1.6	红	橙	黄	0.1% (20%乙醇溶液)
甲基橙	3.1~4.4	3.4	红	橙	黄	0.05%水溶液
甲基红	4.4~6.2	4.9	红	橙	黄	0.1% (60%乙醇溶液)
溴百里酚蓝	6.0~7.6	7.3	黄	绿	蓝	0.1% (20%乙醇溶液)
中性红	6.8~8.0	7.4	红		橙黄	0.1% (60%乙醇溶液)
酚酞	8.0~9.6	9.1	无	粉红	红	0.1% (90%乙醇溶液)
百里酚酞	9.4~10.6	10.0	无	浅蓝	蓝	0.1% (90%乙醇溶液)

目前大多数电厂常用的酸主要是盐酸 (HCl),常作为离子交换树脂的再生剂及设备的清洗剂。硫酸 (H₂SO₄)也是化学试验中常用的酸,它们都有腐蚀性,浓盐酸有挥发性,在树脂再生过程中要注意安全。浓硫酸有强氧化性和脱水性,在试验过程中涉及浓硫酸更要小心谨慎。

电厂常用的碱主要有氢氧化钠 (NaOH)和氨水,氢氧化钠用作阴离子交换树脂的再生剂,氨水常用于水汽加药系统的 pH 值调整。浓氨水有强挥发性,在配药的过程中要注意避免伤眼睛;氢氧化钠有腐蚀性,在使用过程中要注意安全。

3. 盐和氧化物

化学上,把在电离时生成金属阳离子(包括 NH₄⁺)和酸根阴离子的化合物叫做盐。电厂常用的盐主要有氯化钠 (NaCl)、聚合氯化铝 (PAC)等。氯化钠用于电厂中树脂复苏时的浸泡液;聚合氯化铝 (PAC)是电厂中良好的净水剂(混凝剂),它在水溶液中分别水解生成带正电的物质,能把水中的悬浮物和胶体物质吸附在它的表面,并一起沉降下来,从而使水澄清。

另外水处理系统中常用的药剂还有次氯酸钠 (NaClO)和亚硫酸氢钠 (NaHSO₃),它们分别是氧化剂和还原剂,用于反渗透膜的维护。电厂烟气石灰石膏脱硫系统的脱硫原料主要是碳酸钙 (CaCO₃)。

氧化物是由氧元素和另一种元素组成的化合物。电厂常用的氧化物主要有 CaO,俗称生石灰,它有较强的吸水性,吸水后成为 Ca(OH)₂,可以用作水处理澄清处理的药剂和脱硫系统排放废水的中和药剂。电厂热力系统中的氧化铁 (Fe₂O₃)、氧化亚铁 (FeO)、四氧化三铁 (Fe₃O₄)、氧化铜 (CuO)、氧化亚铜 (Cu₂O)和二氧化硅 (SiO₂)等氧化物是表征热力系统腐蚀和结垢的物质。

4. 溶液及溶液的浓度

所谓溶液是指一种物质以分子或离子状态均匀地分布于另一种物质中,得到的均匀、稳

定的体系。以水为溶剂的溶液称为水溶液，简称溶液。在一定温度下，溶液里所溶解的某种溶质达到不能再增加的程度，就是饱和溶液；反之，则为不饱和溶液。溶解度是指一定温度下，某物质在 100g 溶剂的饱和溶液中的含量 (g/100g)。根据溶解度的大小，可以把物质粗略地分为可溶物、微溶物及难溶或不溶物。

溶液浓度是指一定量的溶液或溶剂中所含溶质的量。溶液浓度的表示方法很多，主要表示方法有以下几类：

(1) 物质的量浓度 (c_B)。溶质 B 的物质的量除以溶液 (溶质+溶剂) 的体积，常用单位为 mol/L 及 mmol/L。一般表示标准滴定液、基准溶液的精确浓度，也可表示水质分析中被测组分的含量。例如， $c(\text{HCl}) = 0.1000\text{mol/L}$ ， $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.1003\text{mol/L}$ ，或 $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.2006\text{mol/L}$ 。

(2) 物质的质量浓度 (ρ_B)。物质 B 的质量除以溶液的体积，常用单位是 kg/L、g/L、mg/L、mg/mL、 $\mu\text{g/mL}$ 、 $\mu\text{g/L}$ 。主要用以表示物质标准溶液、基准溶液的质量浓度，也常用来表示一般溶液的质量浓度和水质分析中各组分的含量。一般当溶质为固体时，用它表示较为简便，如 $\rho(\text{NaCl}) = 50.0\text{g/L}$ 。在电厂水质指标中由于某些杂质含量比较小，常用 $\mu\text{g/L}$ 表示，如 $\rho(\text{SiO}_2) = 5.8\mu\text{g/L}$ ；数值较大时常用 mg/L 表示。

(3) 物质的质量分数 (w_B)。溶质 B 的质量与溶液质量之比，即一定质量的溶液中溶质 B 的质量所占的比例，用“%”表示。这种表示方法常用于溶质是固体时的一般溶液 (非标准滴定液或非基准溶液)。例如， $w(\text{NaCl}) = 10\%$ ，表示 100g NaCl 溶液中含有 10g NaCl (10g NaCl+90g H_2O)。

(4) 物质的体积分数 (ϕ_B)。表示一定体积的溶液中溶质 B 的体积所占的比例，以“%”表示浓度值。常用来表示溶质为液体的较稀溶液的浓度。例如， $\phi(\text{HCl}) = 5\%$ ，也可表示为 5% (V/V) HCl 溶液，即 100 体积的 HCl 溶液中含有 5 体积的纯 HCl。

(5) 体积比浓度 (V_1+V_2)。两种溶液分别以 V_1 体积与 V_2 体积相混时溶液浓度的表示法，常用于较浓的溶液。例如，HCl (1+2) 表示 1 体积的 HCl 和 2 体积的水相混合的溶液。

5. 电解质和电离平衡

(1) 电解质。化学上把溶于水后 (或在熔融状态下) 能导电的化合物叫做电解质，不能导电的化合物叫做非电解质。物质溶于水后之所以能导电，是由于电解质在水中存在着能够自由移动的离子，在外电场的作用下，这些离子做定向移动，使溶液导电。在相同的温度和浓度条件下，不同电解质在水中的电离程度是不同的，可分为在水中完全电离的强电解质和部分电离的弱电解质。例如，NaCl、HCl、NaOH 是强电解质，氨水 ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、醋酸 (HAC) 是弱电解质。

(2) 电离平衡、水的电离和 pH 值。弱电解质在水中不是完全电离，电离是个可逆过程，存在一个动态的平衡过程。由于水 (H_2O) 是一种弱电解质，它能微弱电离成 H^+ 和 OH^- ，因此不管是什么水溶液，都总存在 H^+ 和 OH^- ，两者相对浓度的大小决定溶液呈现中性、酸性或碱性。中性是指 $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$ ，如纯水、NaCl 溶液是中性；酸性是指 $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$ ，如 HCl、 H_2SO_4 、醋酸 (HAC) 溶液是酸性；碱性是指 $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$ ，如 NaOH 溶液、氨水 ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 是碱性。

实际生产中所用酸或碱溶液都很稀， H^+ 的浓度都很小，用 10^{-n} 表示很不方便，因此常

采用氢离子浓度的负对数，即 $\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$ 来表示溶液的酸碱性。 $\text{pH} = 7$ 为中性； $\text{pH} < 7$ 为酸性； $\text{pH} > 7$ 为碱性。 pH 值范围在 1~14 之间。

pH 值的测定分别有酸碱指示剂滴定、 pH 试纸及 pH 计精确测定等方法。

6. 缓冲溶液

许多化学反应和生产过程必须在一定的 pH 值范围内才能进行，或进行得比较完全。那么怎样的溶液才具有维持自身 pH 值范围不变的作用呢？实践发现弱酸与弱酸盐、弱碱与弱碱盐等混合溶液具有这种作用。我们把能对溶液的酸度（ pH 值）起稳定（缓冲）作用的溶液称为缓冲溶液。如果向缓冲溶液中加入适量酸或碱，或者将缓冲溶液适当稀释，缓冲溶液都能使溶液的 pH 值基本维持不变。常见的缓冲溶液有 $\text{HAC}-\text{NaAC}$ 和 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}-\text{NH}_4\text{Cl}$ 等。

二、分析化学基础知识

1. 化学分析方法的分类

按照测量原理可将化学分析方法分为化学分析和仪器分析两类。

(1) 化学分析。以物质的化学反应为基础的分析方法，是分析化学的基础。它可分为定性分析和定量分析。定性分析是根据反应产物的外部特征确定待测物质的组分。定量分析可分为以下几种：

1) 滴定分析。滴定分析又称容量分析。将已知准确浓度的试剂溶液，滴加到待测物质溶液中，在化学计量点时，加入试剂的物质的量与待测组分物质的量相等，根据试剂溶液的准确浓度及用量可以计算出待测组分的含量。

滴定分析法对化学反应的要求：反应必须按照化学计量关系进行；能进行完全；没有副反应；反应速度快；要有适当的指示剂或物理化学方法来指示终点。

滴定分析的分类：滴定分析按照反应类型的不同可分为酸碱滴定法、络合滴定法、沉淀滴定法、氧化还原滴定法。

2) 称量分析。称量分析又称质量分析，通过加入过量的试剂，使待测组分完全转化为一难溶的化合物，经过滤、洗涤、干燥、灼烧等一系列步骤得到组成固定的产物，称量固定产物的质量，就可计算出待测组分的含量。

3) 气体分析。气体分析利用的是气体的某些化学特性，当气体混合物与特定的吸收剂接触时，吸收剂有选择性地定量吸收混合气体中的待测组分。若吸收前后的温度和压力不变，则吸收前后气体的体积之差，即为待测组分的体积，从而计算出待测组分的含量。

(2) 仪器分析。以被测物质的物理性质和物理化学性质为基础的分析方法，称为物理或物理化学分析法，这类方法通常要使用特殊的仪器，故又称为仪器分析法。仪器分析法的优点是，操作简便，快速、灵敏。仪器分析是以化学分析为基础的。

2. 定量分析中的误差

定量分析的目的是通过一系列的分析步骤获得待测组分的准确含量。而测定值和真实值之差叫误差。误差可分为三大类：

第一类是系统误差，即由于某种确定的原因引起的、比较恒定的误差。其中包括由方法不完善引起的方法误差；由仪器不够精确或试剂不纯等引起的仪器和试剂误差；由分析者操作不规范，条件控制不当引起的操作误差。

第二类是偶然误差，也称随机误差或不可预测误差，产生的原因与系统误差不同，它是由某种偶然的因素（如测定时环境的温度、湿度和气压的微小波动，仪器性能微小的变化等）所引起的，其特征是有时大，有时小，有时正，有时负。偶然误差难以察觉，因而也难以控制。但当系统误差消除后，在同样条件下进行多次测定，可发现偶然误差的分布也是服从一定规律的。

第三类是过失误差，是指分析人员在工作中的差错，比如粗心或疏忽所造成的误差，这种误差是没有什么规律性的。例如称重时看错了砝码；滴定时看错了刻度，记录时写错或算错。

准确度是指测定值与真实值相接近的程度。它说明测定值的正确性，用误差的大小来表示。精密度是指在相同条件下，一组平行测定结果之间相互接近的程度。它说明测定数据的再现性，用偏差的大小表示，偏差是指个别测定值 x_i 与多次测定结果的平均值 \bar{x} 之差。

系统误差是化学定量分析中误差的主要来源，它影响分析结果的准确度；而偶然误差影响分析结果的精密度，获得良好的精密度并不能说明准确度就高，只有消除了系统误差后，精密度好，准确度才高。因此在评价某一项试验的分析结果时，必须将系统误差和偶然误差的影响结合起来考虑，以提高分析结果的精密度和准确度。

从误差产生的原因来看，只有尽可能地减小系统误差和偶然误差，才能减少分析误差，从而提高分析结果的准确度。

增加平行测定次数可减少偶然误差。一般工作中，使用标准方法分析操作，仔细测定3~4个平行试样即可。

消除系统误差的方法有：

- (1) 选择准确度较高的分析方法，尽量减少由于方法上的缺陷而带来的系统误差。
- (2) 进行对照试验。这样不仅可以发现系统误差，还可以求出校正系数以消除分析结果中的系统误差。
- (3) 进行空白试验。由试剂、蒸馏水、实验器皿和环境带入的杂质所引起的系统误差，可以通过做空白试验来消除或减少。
- (4) 进行仪器的校准。在准确度要求较高的分析中，对所用的玻璃器皿、仪器和仪表等进行校准，并求出校正值。

当然，加强分析人员的责任感，使他们严格遵守操作规程，可以避免过失误差。

第二节 电厂用水的水质指标

水分子是一种极性很强的分子，溶解能力很强，所以天然水中总是含有各种各样的杂质。所谓水质是指水和其中杂质共同表现的综合特性，即水的品质。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。

一、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些杂质按颗粒大小分成三类：悬浮物、胶体杂质和溶解物质，三类杂质的特性见表1-2。

悬浮物是水中沙、黏土和动植物的生存产物等物质组成的杂质体系，它导致水产生浑

浊。胶体是颗粒大小介于悬浮物和溶液之间的一类特殊物质，天然水中胶体杂质常含铁、铝、硅化合物的无机胶体和一些动植物分解产物的有机胶体。电厂水处理比较关注的硅胶体大部分被澄清池除去，如果澄清池运行不良，可能导致较多硅胶体带入其后的水处理设备中，不仅会影响设备运行，还可能穿透各处理设备进入除盐水箱中，带入汽水系统，加剧热力系统的腐蚀、结垢。

胶体和悬浮物是天然水产生浑浊的主要原因。胶体和悬浮物因粒径大小不同，可采取不同方法加以处理。在火电厂中则采取混凝、澄清、过滤处理工艺去除。

溶解物质的粒子直径小于 10^{-6} mm，以离子或分子状态存在于水中，可以分为盐类、气体及有机物三类。水中的盐类杂质通常通过离子交换、反渗透等水处理工艺去除。现在，我国地表水的有机物污染相当严重，这给火力发电厂的用水处理带来了新的问题。

表 1-2 水中杂质的特性

粒径 (mm)	$\leq 10^{-6}$	$10^{-6} \sim 10^{-4}$	$> 10^{-4}$
分类	溶解物质	胶体	悬浮物
特征	透明	光照下浑浊	浑浊，肉眼可见
常用处理法	离子交换、反渗透、电渗析	超滤	自然沉降、过滤、精密过滤
		混凝、澄清、过滤	

二、水质指标

天然水中含有很多杂质，水质就有好坏的问题。水质指标用来表示水中杂质的多少。不同的工业部门，水的用途不同，对水质的要求和采用的水质指标也不同。电厂用水依据自己的特点制订了水质指标和用水标准，其中一类是表示水中杂质个体成分的成分指标，如 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等；另一类是表示某些化合物之和或表征整体性能的指标，这些指标是由于技术上的需要而专门制订的，称为技术指标。电厂用水水质指标见表 1-3。

表 1-3 电厂用水水质指标

特性指标	英文名称	符号	常用单位
温度	Temperature	T	℃
pH 值	The hydrogen-ion index	pH	
浊度	Turbidity	T_u	FTU
余氯	Free chlorine residual	Cl_2	mg/L
溶解固形物	Dissolved solids matter	DS	mg/L
总固形物	Total solids matter	TS	mg/L
含盐量	Salt demand	C	mmol/L
总硬度	Total hardness	H	mmol/L
碳酸盐硬度	Carbonate hardness	H_T	mmol/L
非碳酸盐硬度	Non-carbonate hardness	H_F	mmol/L
电导率	Electrical conductivity	κ	$\mu S/cm$
碱度	Alkalinity	A	mmol/L
化学耗氧量	Chemical oxygen demand	COD	mg/L
含油量	Oil	Y	mg/L
溶解氧	Dissolved oxygen	DO	mg/L