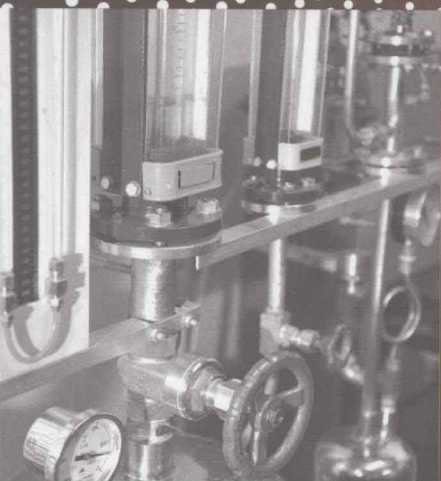


电厂实用技术
读·本·系·列



HUAXUE
RUNXING JI SHIGU CHULI

化学 运行及事故处理

房金祥 印胜伟 丁立波 编



化学工业出版社

 电厂实用技术
读·本·系·列

化学 运行及事故处理

房金祥 印胜伟 丁立波 © 编



化学工业出版社

·北京·

序

P R E F A C E

各类电厂作为我国能源产业重要的一环，肩负着向全社会工农业生产和人民生活提供电力等保障的重任，而火力发电厂目前仍是我国各电网中发电厂的最主要形式。随着我国经济发展对电力日益增长的需求，面临煤炭原料价格上涨的市场压力，加之安全生产、环保达标与节能降耗等标准的日趋严格，对电厂企业的各项管理提出了更为严苛的要求。企业管理的基础是构建先进的企业文化，打造一支科学严谨的管理队伍和一支高素质的员工队伍，就需引导全体员工认真学习，掌握电厂的科技知识与操作技能，成就一个学习型的企业，使电厂不仅“安、稳、长、满、优”地发电，还为提升经济效益做出贡献。

我们组织编写的这套《电厂实用技术读本系列》丛书主要面向火力发电厂生产一线员工，可以作为他们专业知识和现场运行技术学习的系列教材，同时也可以作为火力发电厂技术人员、管理人员以及在校大中专学生的学习教材。

丛书共分五册，分别为《锅炉运行及事故处理》、《汽轮机运行及事故处理》、《电气运行及事故处理》、《化学运行及事故处理》和《热工仪表及自动控制系统》，各分册既自成一本读本，又相互配套成为一个完整系列。本丛书各分册从介绍电厂专业基本知识入手，重点对电厂常见设备运行基本操作知识和事故处理等方面内容进行阐述，为运行人员提供分析解决问题的基本理论与操作方法；本着理论适度够用、强化实践技能的原则，还纳入了现代发电厂的一些新设备、新技术的应用和先进的企业管理理念，具有实践性强、适用性广的特点，同时也为生产管理人员提升知识以帮助，并为相关自学人员提供参考，并可作为发电企业的培训教材之一。

本丛书在编写过程中得到了中国石化仪征化纤股份公司热电中心有关领导和工程技术人员的大力支持，在此表示感谢。

丛书编委会

前言

F O R E W O R D

本书是为电厂化学运行值班员做好生产运行工作，特别是掌握化学水处理及水汽监督中典型事故的原因和处理方法而编写的。本书重点介绍了火力发电厂化学运行基础知识、化学常见设备的基本知识、运行管理及事故原因分析处理方法，并结合最新电厂化学技术发展动态，紧密联系现场生产实际，侧重化学品安全、环保和节能减排，内容浅显易懂，注重实用性。读者能结合不同火力发电厂的实际情况，了解有关化学专业知识，掌握现场运行操作与事故处理的原则方法，从而具备担任化学运行值班员的必要技能，对确保化学安全生产和提升经济效益提供有益帮助。

全书共分5章，第1章为概述，具体内容包括电厂化学运行的概念、作用和意义及基础知识；第2章为电厂用水的预处理，具体内容包括用水预处理的基本要求、典型工艺及预处理设备运行事故处理；第3章为电厂锅炉水处理，具体内容包括锅炉水处理的要求、典型除盐方法、除盐设备运行事故处理以及凝结水的处理等；第4章为电厂循环水处理，具体内容包括冷却水系统沉积物控制、金属腐蚀控制、微生物控制、清洗及运行事故处理；第5章为电厂废水处理及综合利用，具体内容包括废水处理、中水回用及水资源的综合利用。

本书第1、2、3、5章及第4章的4.3节由印胜伟编写，第4章的4.1、4.2、4.4、4.5节由房金祥编写，第4章的4.6节由房金祥和印胜伟共同编写，丁立波参加了部分书稿的编写。印胜伟绘制了大部分插图并进行了排版。全书由房金祥审阅。本书在编写过程中得到了中国石化仪征化纤股份公司热电生产中心有关领导、工程技术人员和现场工作人员的大力支持，在此表示感谢。

本书主要供火力发电厂化学运行人员、设备维修人员培训学习使用，也可以作为电厂化学专业技术管理人员及大、中专院校学生的学习参考资料。

限于时间仓促和编者水平，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

C O N T E N T S

第 1 章 概 述

1.1 电厂化学运行的概念、作用和意义	2
1.1.1 电厂化学运行的概念	2
1.1.2 电厂化学运行的作用和意义	4
1.2 电厂化学运行基础知识	5
1.2.1 化学基础知识	5
1.2.2 电厂用煤基础知识	12
1.2.3 电厂用油基础知识	14

第 2 章 电厂用水的预处理

2.1 电厂用水预处理的基本要求	20
2.1.1 水质指标	20
2.1.2 水质指标之间的关系	21
2.2 典型预处理工艺	22
2.2.1 水的混凝处理	22
2.2.2 水的沉淀、澄清处理	28
2.2.3 水的过滤处理	33
2.2.4 水的吸附处理	35
2.3 水质预处理设备运行事故处理	38
2.3.1 混凝中出现问题事故处理	38
2.3.2 压力式过滤器运行事故处理	42
2.3.3 活性炭过滤器运行事故处理	46
2.3.4 盘式过滤器运行事故处理	47

第 3 章 电厂锅炉水处理

3.1 电厂锅炉水处理的要求	50
3.1.1 锅炉补给水处理的要求	50
3.1.2 锅炉水汽系统处理的要求	53
3.2 几种典型的除盐方法	55
3.2.1 离子交换除盐	55
3.2.2 反渗透除盐	66

3.2.3	超滤除盐	71
3.2.4	电渗析与电去离子除盐	76
3.3	除盐设备运行事故处理	81
3.3.1	离子交换树脂污染事故处理	81
3.3.2	离子交换设备运行事故处理	86
3.3.3	离子交换系统附属设备运行事故处理	92
3.3.4	反渗透设备运行事故处理	100
3.3.5	超滤设备运行事故处理	106
3.3.6	电渗析设备运行事故处理	110
3.3.7	电去离子设备运行事故处理	112
3.4	锅炉水、汽品质控制	116
3.4.1	水垢和水渣的特性	116
3.4.2	锅炉给水水质调节	119
3.4.3	汽包锅炉的炉水水质调节	126
3.4.4	蒸汽污染控制	132
3.4.5	锅炉水、汽品质异常及处理	139
3.4.6	锅炉化学清洗	144
3.5	电厂凝结水处理	158
3.5.1	凝结水的污染	158
3.5.2	凝结水的过滤和除盐	160
3.5.3	凝结水处理工艺种类及选择	169
3.5.4	凝结水处理设备运行事故处理	172

第4章 电厂循环水处理

4.1	电厂循环冷却水系统	178
4.1.1	循环冷却水系统及分类	178
4.1.2	循环冷却水系统的运行	182
4.2	电厂循环冷却水系统中的沉积物及控制	186
4.2.1	循环冷却水系统中的沉积物	187
4.2.2	循环冷却水系统中沉积物的控制	189
4.3	电厂循环冷却水系统的金属腐蚀及控制	200
4.3.1	循环冷却水系统中的金属腐蚀	201
4.3.2	循环冷却水系统中金属腐蚀的控制	207
4.4	电厂循环冷却水系统的微生物及控制	214
4.4.1	循环冷却水系统中的微生物	214
4.4.2	循环冷却水系统中微生物的控制	218
4.5	电厂循环冷却水系统的清洗	232
4.5.1	循环冷却水系统的物理清洗	233
4.5.2	循环冷却水系统的化学清洗	236

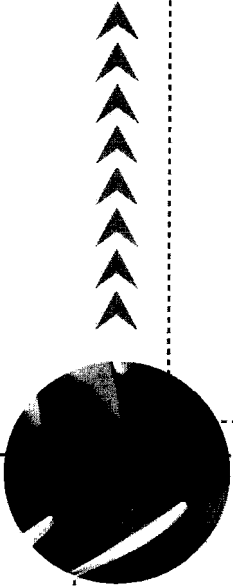
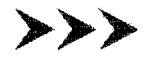
4.6 电厂循环冷却水系统运行事故处理	254
4.6.1 循环冷却水系统的运行控制	254
4.6.2 循环冷却水系统运行事故处理	259

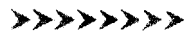
第5章 电厂废水处理及综合利用

5.1 电厂废水处理	272
5.1.1 电厂废水概述	272
5.1.2 电厂生产废水处理办法	273
5.1.3 电厂生活污水处理办法	278
5.1.4 电厂废水系统运行事故处理	289
5.2 电厂中水回用	292
5.2.1 电厂中水水质指标	292
5.2.2 电厂中水处理办法	295
5.2.3 电厂中水回用系统运行事故处理	305
5.3 电厂水资源的综合利用	308
5.3.1 电厂生产废水的综合利用	308
5.3.2 电厂排污水的综合利用	316
5.3.3 电厂蒸汽疏水的综合利用	322
参考文献	327

第 1 章

概 述





1.1 电厂化学运行的概念、作用和意义

在火力发电厂的生产工艺中，水既是热力系统的工作介质，也是一些热力设备的冷却介质，当火力发电厂运行时，几乎所有的热力设备中都有水或汽在流动，所以水质的好坏（即水中是否带有某些有害杂质）将直接影响到火力发电厂的安全经济运行。电厂化学运行人员的主要任务就是改善水质、监督水汽品质并采取措施消除水质异常而引起的危害。

1.1.1 电厂化学运行的概念

1.1.1.1 电厂水的分类及概念

由于水在火力发电厂水、汽系统中所经历的过程不同，其水质常有很大差异，因此，根据生产实际的需要，人们常常给这些水进行了分类。

(1) 原水

原水是指未经过任何净化处理的天然水（如江、河、湖泊和地下水等）。在火力发电厂中原水是制取补给水的水源，或用来冷却转动机械的轴承，以及供消防用等。

(2) 清水

清水是原水经过混凝、沉淀和过滤处理除去悬浮杂质的水。

(3) 补给水

补给水是指清水经过物理或化学方法，除去水中部分离子或绝大部分离子杂质后，用来补充火力发电厂水、汽系统中损失的水。补给水按其净化处理的方法和达到的水质要求不同，又可分为软化水、蒸馏水和除盐水等。

(4) 凝结水

凝结水是指在汽轮机中做功后的蒸汽经凝汽器冷凝形成的水，也称为汽轮机凝结水。

(5) 疏水

疏水是指各种蒸汽管道和用汽设备中的蒸汽凝结水。它经过疏水器汇集到疏水箱或并入凝结水系统。

(6) 回水

回水是指热电厂向热用户供热后，回收的蒸汽凝结水，其中又可分为热网加热器凝结水回水和生产凝结水回水。

(7) 给水

给水是指从除氧器送至锅炉的水。凝汽式发电厂的给水主要由汽轮机凝结水、补给水和各种疏水组成。热电厂的给水还包括热用户返回的凝结水回水。

(8) 炉水

炉水是指锅炉本体内蒸发系统中流动的水。

(9) 冷却水

冷却水是指用来冷却从汽轮机中排出蒸汽的水。在火力发电厂中，主要是指通过凝汽器用来冷却汽轮机排汽的水。

(10) 电厂废水

电厂废水是指电厂日常生产和生活活动中产生的各种废水。

(11) 中水

中水是指污水经适当处理后,达到一定的水质指标,满足某种使用需求,可以再使用的水。

1.1.1.2 火力发电厂水处理基本概念

随着热力设备参数的提高、容量的增大和直流锅炉的广泛应用,对锅炉用水的水质要求越来越高。此外,由于水资源短缺和环境污染,对水的再生利用及废水处理也提出了更高的要求。火力发电厂水处理的目的在于预防热力设备结垢、腐蚀和积盐,并尽量做好节水和控制环境污染。火力发电厂水处理是采用物理、化学或生物的方法,将生产过程中的各种用水和排水处理成符合相应水质要求的技术。

(1) 锅炉补给水处理

在火力发电厂的热力系统中,水、汽不断循环,由于设备和管道系统水的排放、蒸发和泄漏等,会造成水、汽损失。为保持平衡,必须向系统中补充所需的水量。作为补给水水源的天然水,其中含有钙、镁、钠的重碳酸化物、氯化物、硫酸化物和硅酸等,对热力设备均有危害,因此必须尽可能除去这些物质。通常是先进行预处理,包括混凝、澄清和过滤,去除悬浮物质和一定量有机物,然后根据锅炉对水质的要求,再进行离子交换软化或除盐。

(2) 炉水处理

纯净的给水在锅炉的高热负荷下不断蒸发浓缩,即使很微量的溶解物质仍然会析出沉积物,因此,炉水处理首先是在锅炉水中加入化学药剂,改变给水带入炉内结垢物质的特性,使之成为松软水渣析出,或使之呈溶解状态,或变为悬浮细粒呈分散状态,通过锅炉连排或定排排出,其次,为防止炉内腐蚀和减少蒸汽携带,还要调节炉水的pH值和成分间的适当比例关系。

(3) 凝结水精处理

凝结水是锅炉给水的主要组成部分,由于在生产过程中往往遭受一定程度的污染,例如,凝汽器不严密和凝汽器管腐蚀穿孔泄漏循环冷却水,系统中的腐蚀产物带入凝结水中等,因此,对给水水质要求很高的直流锅炉和根据有关规定需要对凝结水进行净化的锅炉都要进行凝结水精处理。一般采用前置过滤器除去悬浮物和腐蚀产物,然后通过混合床净化装置,除去溶解盐类和硅酸等,使凝结水达到高纯度。

(4) 内冷水处理

虽然采用离子交换除盐水或凝结水作为内冷水,但为了防止水中氧和二氧化碳等对发电机绕组空心铜导线的腐蚀,并控制水的低电导率,往往加入缓蚀剂,必要时进行离子交换法处理。

(5) 循环冷却水处理

凝汽器冷却水的水质必须稳定,即在运行中无沉积物析出、无腐蚀和生物污染。一般均要对循环冷却水进行处理。加酸和添加各类阻垢剂的内部处理法是最为普遍的防垢措施,在必要时还要考虑采用石灰或弱酸性阳离子交换法进行外部处理。对凝汽器管的防腐蚀保护,一般是根据冷却水水质选择管材,在水中添加药剂使铜管内表面形成耐腐蚀性的异相保护膜或在水中添加缓蚀剂;对于生物污染或腐蚀,一般采用机械方法和添加杀菌剂的控制措施。



(6) 疏水和生产回水处理

疏水和生产回水也是蒸汽凝结水，但由于冷凝条件等原因，疏水中含有较多的腐蚀产物，在生产回水中，除含有一定量腐蚀产物外，常含有油等物质，一般采用过滤方法回收利用。

(7) 废水处理

火力发电厂的废水范围广、种类多，可分为经常性废水和非经常性废水。按废水所含杂质特性可分酸性的、碱性的、含盐的、含浊的、含有机物和含油的等；按其所含杂质的程度，各种废水的质量是有很大区别的，为了节约用水，需要对废水进行再利用，为此，应针对不同废水和对处理后的不同用途采用不同方法；对不能再利用的废水，也要进行一般处理或深度处理，使之达到排放标准，减少对环境的污染。

1.1.2 电厂化学运行的作用和意义

1.1.2.1 电厂化学运行的作用

电厂化学运行的主要任务是进行水处理和水、汽品质监督及调节，水、汽品质是影响其热力设备安全经济运行的一个重要因素。因此，为了保证热力系统中水质优良，必须对天然水进行处理并严格监督水汽系统中水、汽品质，否则就会引起以下危害。

(1) 热力设备结垢

如果进入锅炉或其他换热设备中的水含有易于沉积的杂质，则经过一段时间运行后，在与水接触的受热面上会生成一些固体附着物即发生结垢现象。由于垢的导热性比金属差几百倍，且它又极易在热负荷很高的锅炉炉管等部位生成，所以它会使金属壁的温度过高，引起金属强度下降而导致管道局部变形、产生鼓包甚至爆管等严重事故。结垢不仅影响到设备安全运行，而且还会大大降低发电厂的经济性。例如，当火力发电厂锅炉的受热面上结有1mm厚的垢时，其燃料的用量就会比原来多消耗1.5%~2.0%。由于发电厂锅炉的容量一般都很大，所以燃料的消耗率虽然只有微小的增加，也会给发电厂造成巨大的经济损失。另外，在汽轮机凝汽器内，因冷却水水质问题而引发的结垢，会导致凝汽器真空度下降，从而使汽轮机的热效率和出力降低。而且，热力设备结垢以后还必须及时进行清洗处理，这就需要停止设备运行，减少设备的年运行时间(h)，同时也增加了检修工作量和费用。

(2) 热力设备腐蚀

由于火力发电厂中热力设备的金属经常和水接触，所以若水质不良还会引起设备金属腐蚀。火力发电厂的给水管道、各种加热器、锅炉省煤器、水冷壁、过热器和汽轮机凝汽器等都会因水质不良而发生金属腐蚀。腐蚀不仅会缩短设备本身使用寿命，而且由于金属腐蚀产物转入水中，使给水中杂质增多，又加剧这些杂质在高热负荷受热面上的结垢过程，结成的垢转而又会加剧锅炉炉管的腐蚀，从而形成恶性循环，会迅速导致锅炉爆管事故。此外，如果金属的腐蚀产物被蒸汽带到汽轮机中沉积下来，会严重影响汽轮机的安全经济运行。

(3) 过热器和汽轮机积盐

水质问题会引起锅炉产生的蒸汽不纯，而使蒸汽带出的杂质沉积在蒸汽通过的各个部位，如过热器和汽轮机，这种现象称为积盐。过热器内积盐会引起金属管壁过热、变形、鼓包甚至爆管，汽轮机内积盐会大大降低汽轮机的出力和效率，特别是高温高压大容量汽轮

机，它的高压部分蒸汽流通的截面积很小，所以少量的积盐会大大增加蒸汽流通的阻力，使汽轮机的出力下降。当汽轮机内积盐严重时，还会使推力轴承负荷增大，隔板弯曲，造成事故停机。

1.1.2.2 电厂化学运行的意义

由于电厂化学运行的工作任务就是保证热力系统各部分有良好的水、汽品质，以防止热力设备结垢、积盐和腐蚀，因此，电厂化学运行对保证火力发电厂的安全经济运行具有十分重要的意义。

电厂化学运行工作主要包括以下内容。

① 净化原水 经过混凝、沉淀（清）、过滤和离子交换等方法制备合格的、数量足够的补给水，并通过调整试验降低水处理成本。

② 给水处理 对给水要进行加氨和除氧等处理。

③ 炉水处理 对于汽包锅炉要进行锅炉水的加药和排污处理。

④ 凝结水处理 对于直流锅炉机组或某些亚临界压力锅炉机组，要进行汽轮机凝结水的净化处理。

⑤ 回水处理 在热电厂中，对生产返回凝结水回水，要进行除油和除铁等处理。

⑥ 循环水处理 对冷却水要进行防垢、防腐和防止有机附着物等处理。

⑦ 化学监督 对热力系统各部分的水、汽质量进行监督，在热力设备停用期间做好设备防腐工作中的化学监督工作。

⑧ 化学调整 做好各种水处理的调整试验，配合汽轮机、锅炉做好除氧器的调整试验，锅炉的热化学试验以及热力设备的化学清洗工作。

⑨ 取样分析及大修配合 正确取样、分析和监督给水、炉水、蒸汽和凝结水等各种水、汽质量，并对水质异常情况进行原因分析、排查和处理；在热力设备大修时应掌握设备的结垢、积盐和腐蚀等情况，以便审查水处理效果，不断改进水处理工作。

1.2 电厂化学运行基础知识

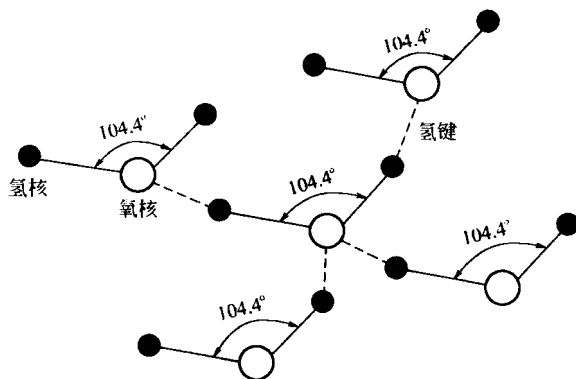
1.2.1 化学基础知识

1.2.1.1 水和溶液

(1) 水

① 水的分子结构 水的基本化学式为 H_2O ，在水分子结构中 O—H 键长为 0.096nm，H—H 键长为 0.154nm，H—O—H 键的夹角为 104.4° ，两个氢原子最外层电子分别与氧原子的两个电子构成极性共价键，氢原子一端氢核裸露带正电荷，氧原子一端尚有两对孤对电子而呈负极性。这样，每一个水分子中的两个氢核分别与其他两个水分子中氧原子的孤对电子发生电键结合，我们把它称为氢键，同时水分子中氧的两对孤对电子又吸着第三、第四个水分子中的氢核，使五个水分子之间产生四个氢键，如图 1-1 所示，其外围分子又再与其他

水分子继续生成氢键，产生水分子的集聚体或聚合物，用 $(H_2O)_n$ 表示，这种现象称为水的缔合现象。因此，水是单分子 H_2O 和缔合分子 $(H_2O)_n$ 的混合物。



■ 图 1-1 水分子结构缔合现象

② 水的特性 由于水分子结构的特点，表现出水的特性如下。

a. 水的状态 水在自然环境中可以固体存在，也可以液体存在，还可以水蒸气存在。这三种状态可以在一定的条件下相互进行转变。

b. 水的密度 在 $3.98^{\circ}C$ 时水的密度最大，为 $1g/cm^3$ 。高于或低于此温度时，其密度都小于 $1g/cm^3$ ，这可以从水的缔合现象来解释，即在 $3.98^{\circ}C$ 时，水分子缔合后的聚合物结构最密实，高于或低于此温度时，缔合度比较疏松。

c. 水的比热容 温度升高 $1^{\circ}C$ ，单位重量 (kg) 物质所吸收的热量 (J) 称为该物质的比热容。一般水的比热容相对其他物质均较大，这也和其水分子缔合有关，加热时，水分子缔合度降低，也将消耗部分热能，而不仅仅消耗在水温升高上，因此工业上常把水作为传热工质应用。

d. 水的表面张力 在水体内部，由于每个水分子受其四周相邻水分子的吸引，每个水分子受到的力是平衡的，但靠近表面的水分子受到的力则不平衡，水体内部对它的引力大，外部空气对它的引力小，从而使水表面分子受到一种向内拉的力，称为表面张力。水最大的表面张力可达到 $7.275 \times 10^{-1} N/cm$ ，表现出异常的毛细、润湿、吸附等特性。

e. 水的电导率 水是弱电解质，能电离出少量 H^+ 和 OH^- ，纯水的导电性很小，表现出较高的电阻率和低电导率，且受温度的影响较大。

f. 水的化学性质 水可以被电解，分解成为氢气和氧气。另外，水是一种很好的溶剂，并能与金属和非金属反应放出氢气。水还能与许多金属氧化物和非金属氧化物反应，生成碱和酸。

③ 水的硬度 水的硬度大小就是指水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量的多少。工业上把含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的水叫硬水；把不含或只含有微量 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的水叫软水； Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与 HCO_3^- 所形成的硬度叫碳酸盐硬度，也叫暂时硬度（简称暂硬）。含有暂时硬度的水经过加热煮沸后，其中的钙、镁重碳酸盐会分解并析出沉淀。

④ 水的分类

a. 按含盐量来分

- (a) 低含盐量水——含盐量 $< 200mg/L$ ；
- (b) 中等含盐量水——含盐量 $= 200 \sim 500mg/L$ ；
- (c) 较高含盐量水——含盐量 $= 500 \sim 1000mg/L$ ；
- (d) 高含盐量水——含盐量 $> 1000mg/L$ 。

b. 按硬度来分

- (a) 低硬度水——硬度 $< 1.0mmol/L (1/2Ca^{2+})$ ；
- (b) 一般硬度水——硬度 $1.0 \sim 3.0mmol/L (1/2Ca^{2+})$ ；
- (c) 较高硬度水——硬度 $3.0 \sim 6.0mmol/L (1/2Ca^{2+})$ ；

(d) 高硬度水——硬度 $6.0 \sim 9.0 \text{ mmol/L}$ ($1/2\text{Ca}^{2+}$);

(e) 极高硬度水——硬度 $>9.0 \text{ mmol/L}$ ($1/2\text{Ca}^{2+}$)。

c. 按碱度与硬度的关系来分

(a) 碱性水——总碱度大于总硬度，即 $[\text{HCO}_3^-] > [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$;

(b) 非碱性水——总硬度大于总碱度，即 $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}] > [\text{HCO}_3^-]$;

(c) 碳酸盐型水——碳酸盐硬度大于非碳酸盐硬度，即 $[\text{HCO}_3^-] > [\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}]$;

(d) 非碳酸盐型水——暂硬小于永硬，即 $[\text{HCO}_3^-] < [\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}]$ 。

(2) 溶液

① 溶液的相关概念 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、稳定的体系叫溶液。以水为溶剂的溶液称为水溶液；以其他液体为溶剂的溶液称为非水溶液。任何溶液都是由溶质和溶剂组成的。能溶解其他物质的物质称为溶剂，能被溶剂溶解的物质称为溶质。

② 溶解度 各种物质在溶剂中的溶解能力是不相同的。在一定温度下，溶液里所溶解的某种物质达到不能再溶解的程度，这样的溶液称为溶质的饱和溶液。反之，如果还能再继续溶解更多的这种物质，则称为该溶质的不饱和溶液。

通常用溶解度来表示物质溶解能力的大小。溶解度：在一定温度下，100g 溶剂所制成的某物质（溶质）的饱和溶液中所含有该物质的质量（g），叫做该物质在这一溶剂里的溶解度。对于水溶液，溶解度是溶质的一种属性，不同的溶质在水中的溶解度是各不相同的。常温下溶质在水溶液中溶解度的大小一般可以分为三类：

可溶物质——溶解度 $>1\text{g}/100\text{g}$;

微溶物质——溶解度 $0.1 \sim 1\text{g}/100\text{g}$;

难溶或不溶物质——溶解度 $<0.1\text{g}/100\text{g}$ 。

③ 溶液的浓度 溶液是由溶剂和溶质组成的。溶液浓度表示溶剂和溶质或溶液和溶质之间的关系，一般用它来表示一定量溶液或溶剂中所含溶质的量。表示溶液浓度的方法很多，现介绍几种常用的表示方法。

a. 质量分数 (w) 以溶质质量占全部溶液质量的百分比来表示的浓度，称为质量分数。

$$\begin{aligned} \text{质量分数} &= \frac{\text{溶质质量}}{\text{溶液质量}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{溶质质量}}{\text{溶质质量} + \text{溶剂质量}} \times 100\% \end{aligned}$$

b. 体积分数 (ϕ) 以溶质的体积占全部溶液体积的百分比来表示的浓度，称为体积分数。

$$\text{体积分数} = \frac{\text{溶质体积}}{\text{溶液体积}} \times 100\% = \frac{\text{溶质体积}}{\text{溶质体积} + \text{溶剂体积}} \times 100\%$$

c. 质量浓度 (ρ) 溶液中所含溶质的质量除以溶液的体积，称为溶液的质量浓度。

$$\text{质量浓度} = \frac{\text{溶质质量}}{\text{溶液的体积(L)}}$$

d. 体积比浓度 ($V_1 + V_2$) 两种溶液分别以 V_1 体积和 V_2 体积相混合或 V_1 体积的特定溶液与 V_2 体积的水溶液相混时的溶液浓度称为体积比浓度。

e. 物质的量浓度 (c) 溶液中所含溶质的物质的量除以溶液的体积称为溶液的物质的量浓度。

$$\text{物质的量浓度} = \frac{\text{溶质物质的量}}{\text{溶液的体积(L)}}$$

1.2.1.2 化学反应

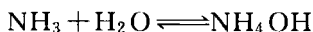
(1) 化学反应速度

各种化学反应的速度不同，有的进行得较快，有的进行得较慢，有的进行到一定程度就不能再进行，不能全部变成生成物。酸和碱之间的反应进行得很快，几乎可以在一瞬间完成；但是酸、碱溶液与铂的反应却很慢，一般难以观察到。化学反应速度常用某种反应物或生成物在单位时间内（如 s、min 或 h 等）浓度的减少或增加的量来表示。

(2) 化学平衡

在同一条件下，既可以向右进行又可以向左进行的化学反应称为可逆反应。可逆反应中常用“ \rightleftharpoons ”代替“ \longrightarrow ”。

很多化学反应都是可逆的，如 NH_3 和 H_2O 生成 NH_4OH 的反应：



在一定条件下 NH_3 和 H_2O 反应可以生成 NH_4OH ，同时 NH_4OH 也可以分解生成 NH_3 和 H_2O 。反应开始时 NH_3 的浓度较高，它生成 NH_4OH 的速度较快，而 NH_4OH 分解生成 NH_3 和 H_2O 的速度很慢。随着反应的进行， NH_4OH 的浓度增加，逐渐达到饱和状态，从而其分解速度加快；同时由于 NH_3 浓度逐渐减小，生成 NH_4OH 的速度变慢。最后，当 NH_3 和 H_2O 反应生成 NH_4OH 的速度与 NH_4OH 分解生成 NH_3 和 H_2O 的速度相等时， NH_3 和 NH_4OH 的浓度便不再发生变化，此时称反应达到了平衡状态。

(3) 化学反应类型

① 中和反应 一般把酸和碱作用生成盐和水的反应称为中和反应。

② 沉淀反应 在化学反应过程中有沉淀物生成的反应称为沉淀反应。

③ 氧化还原反应 在有些化学反应过程中，反应物中某些元素的化合价发生了变化，这种元素的化合价在反应前后发生变化的化学反应，叫做氧化还原反应。

④ 络合反应 在化学反应过程中有络离子或络合物生成的反应叫做络合反应。

1.2.1.3 水汽分析基础知识

(1) 水汽分析基本操作

① 水汽样品的采集

a. 采集接有取样冷却器的水样时，应调节取样阀开度，使水样流量在 $500 \sim 700 \text{ mL/min}$ ，并保持流速稳定，同时调节冷却水量，使水样温度为 $30 \sim 40^\circ\text{C}$ ；进行蒸汽样品的采集时，应根据设计流速进行取样。

b. 给水、炉水和蒸汽样品，应保持常流；采集其他水样时，应把管道中的积水放尽并冲洗后方能取样。

c. 盛水样的容器（采样瓶）必须是硬质玻璃瓶或聚乙烯瓶（测定硅或微量成分分析的样品，必须使用聚乙烯瓶）。采样前，应先将采样瓶清洗干净，采样时再用水样冲洗三次（方法中另有规定者除外）才能收集样品，采样后应迅速盖上瓶盖。

d. 在生水管路上取样时，应在生水泵出口处或生水流动部位取样；采集井水样品时，应在水面下 50 cm 处取样；采集城市自来水样时，应先冲洗管道 $5 \sim 10 \text{ min}$ 后再取样；采集

江、河、湖和泉中的地表水样时，应将采样瓶浸入水面下 50cm 处取样，并且在不同地点分别采集，以保证水样有充分的代表性。江、河、湖和泉的水样，受气候、雨量等的变化影响很大，采样时应注明这些条件。

e. 所采集水样的数量应满足试验和复核的需要，供全分析用的水样不得少于 5L，若水样浑浊时应分装两瓶，每瓶 2.5L 左右，供单项分析用的水样不得少于 0.5L。

f. 采集现场监督控制试验的水样，一般应使用固定的采样瓶。采集供全分析用的水样应粘贴标签，注明水样名称、采样人姓名、采样地点、时间、温度以及其他情况（如气候条件等）。

g. 分析水样中某些不稳定成分（如溶解氧、游离二氧化碳等）时，应在现场取样测定，采样方法应按各分析方法中的规定进行；采集测定铜、铁、铝等的水样时，采样方法应按照各分析方法中的要求进行。

② 水汽样品的保存

a. 水样采集后其成分受水样的性质、温度、保存条件的影响有很大的改变。此外，不同的分析项目，对水样可以存放时间的要求也有很大差异，所以水样可以存放的时间很难绝对规定，根据一般经验，未受污染的水样可存放约 72h，受污染的水样可存放 12~24h。

b. 水样存放与运送时，应检查采样瓶是否封闭严密；采样瓶应放在不受日光直接照射的阴凉处。水样在放置过程中，由于种种原因，水样中某些成分的含量可能发生很大的变化。原则上说，水样采集后应及时化验，存放与运送时间应尽量缩短。有些项目必须在现场取样测定，有些项目则可以取样后在实验室内测定。如需要运送到外地分析的水样，应注意妥善保管与运送。水样运送途中，冬季应防冻、夏季应防暴晒。

c. 分析经过存放或运送的水样，应在报告中注明存放的时间和温度条件。在水样全分析中，开启瓶封后对易变项目的测定就会有影响，为尽可能减少影响，开启瓶封后要立即测定，并在 4h 内完成这些项目的测定。

(2) 滴定分析基本操作

滴定分析是电厂化学水汽分析中比较常用的一种分析方法，在滴定过程中经常要用到三种能准确测量液体体积的玻璃容器，即滴定管、移液管和容量瓶。这三种玻璃器皿的正确使用是滴定分析中最重要的基本操作。

① 滴定管 滴定管按其用途分为两类：酸式滴定管——下部有玻璃活塞，用来装酸性、中性溶液；碱式滴定管——下端用乳胶管连接一个尖嘴玻璃管，胶管内装一玻璃球，适于装碱性溶液，但不允许装能与胶管起作用的溶液，如 KMnO_4 、 I_2 、 AgNO_3 等。

a. 洗涤 洗涤的要求是，当将管内的水放出后，管内壁会形成一层极薄的水膜，而不允许挂有水珠。根据污染的程度，可分别用水冲洗、用滴定管刷蘸洗衣粉水刷洗、用洗液涮洗或浸泡。

b. 涂油 将滴定管平放在实验台上，取下活塞，用吸水纸或干布将活塞及活塞孔擦干。用手指在活塞两端沿圆周各涂极薄的一层凡士林，然后将活塞直插入孔中，向同一方向转动活塞（不要来回转），直到从外面观察时全部透明为止；也可只在活塞大头涂油，再沾少量油直接涂在活塞孔的小口内部。

c. 检漏 检查时，酸式滴定管先关闭活塞，用水充满至“0”线以上直立 2min，仔细观察管尖有无水滴落下，活塞缝隙处有无渗水；然后将活塞旋转 180° 再检查。如有漏水现象，则需要重新涂油。碱式滴定管只需装满水直立 2min 即可，碱式滴定管如果漏水，更换玻璃



珠或胶管即可解决。检漏合格后，需要用除盐水洗涤 3~4 次，每次用水约 10mL，边转动边向管口倾斜，使水流经全管，并可轻微振荡。洗后的水可从管尖放出一部分以冲洗出水口，其余的从管口倒出。当从管口倒水时，不要打开活塞，以免将活塞上的油抽入管中。

d. 装液 装液前一定要先将试剂瓶中的溶液摇匀，使凝结在瓶子内壁上的水珠混入溶液。用摇匀了的溶液将滴定管涮洗三次。装入溶液时，关闭活塞，左手三指持管口处，右手持瓶，将溶液慢慢倒入，使其顺管壁流下，直到“0”刻度以上。小瓶可直接握住瓶身（标签朝手心），大瓶可放在桌上，手握瓶颈使其慢慢倾斜。为了使溶液充满出口管（出口管中不允许有气泡），对于酸管，可将其稍倾斜，然后突然打开活塞，使溶液冲出，一般即可将气泡排出；如未排出，可重复操作几次。如仍未将气泡排出，表明管尖部分未洗涤干净，需要重新洗涤。对于碱管，可将连接用胶管向上弯曲，放出溶液，即可将气泡排出。

e. 滴定 滴定管要垂直地夹在滴定管架上，下端管尖高于锥形瓶口 3~5cm。锥形瓶下衬白瓷板或白纸。操作时要左手操纵滴定管，右手摇动锥形瓶。使用酸式滴定管时，左手无名指与小指向手心微曲，轻轻抵住出口管，其余三指控制活塞，手指微曲，轻轻向手心方向扣住，手心悬空。转动活塞时，切勿向外用力，防止拔出活塞，造成漏液现象；使用碱式滴定管时，左手无名指与小指夹住出口管，拇指与食指挤压玻璃珠右上侧的胶管，使玻璃珠与胶管间形成空隙，即可流出溶液。不要挤捏玻璃珠下侧的胶管，否则会使出口管尖头出现气泡。

f. 读数 滴定开始前和滴定终点都要读取数值。

② 容量瓶 容量瓶一般用来配制准确体积的溶液，容量瓶在使用前要先经过检查，看是否漏水，刻度位置离瓶口是否太近，当有这两种情况时，这样的容量瓶是不宜使用的。

a. 检漏的方法 加水至刻度，将瓶口、瓶塞擦干，将瓶塞塞紧，以手指轻压瓶塞，反复颠倒 10 次，使瓶口向下，用滤纸擦拭瓶塞处，检查是否有水渗出。每次颠倒时，停留时间不少于 10s。检验合格的容量瓶，先经充分洗涤，洗涤达到要求时才能使用。洗涤方法同滴定管，洗好后用橡皮筋把瓶塞栓在瓶颈上。

b. 配制溶液 将固体试剂称在烧杯内，加入少量水，待全部溶解后，小心地将溶液转移到容量瓶中。转移时，烧杯嘴要紧靠玻璃棒，玻璃棒下端要贴着瓶颈内壁，使溶液沿玻璃棒和颈壁流入瓶内。待溶液全部流完后，将玻璃棒稍向上提，同时将烧杯直立。用洗瓶水小心冲洗烧杯壁和玻璃棒，将此洗涤液也按上述方法转移到容量瓶中。如此反复多次（至少 3 次），以达到定量转移。转移完毕后向容量瓶中加水，待水加至快到瓶颈时，先将溶液摇匀，然后再慢慢加水到接近刻度。此时把容量瓶放在桌面上，用滴管小心加水，使弯月形液面最低点恰好与刻度相切。塞好瓶塞，握持容量瓶倒立振摇，正立待瓶颈处的溶液全部流下来后，再次倒立、振摇。如此反复多次，直到瓶中溶液完全混匀为止。

③ 移液管 移液管一般用来准确移取一定体积的溶液，使用前需要检查移液管的上口和排液嘴是否完整无损，并要检查流出时间是否符合标准。

a. 洗涤 洗涤的要求必须达到内壁完全不挂水珠。可先用水洗，或用吸管刷蘸洗衣粉水刷洗。如有必要可用洗液洗涤。洗涤时左手持洗耳球，右手拇指与中指捏住移液管上端无刻度处，先用洗耳球小心吸取洗液至移液管容积的 1/4 处，用右手食指迅速按住管口，取出放平并旋转，使洗液布满全管，然后从上口将洗液放回原瓶。用洗液洗涤后，沥尽洗液，用自来水冲洗、蒸馏水涮洗。洗干净的移液管应放在干净的吸管架上。

b. 吸取溶液 吹尽移液管残留的水，管外壁用干净滤纸擦干。将管尖插入待吸收的溶液中，用洗耳球吸取溶液。当吸入移液管容量的 1/4 左右时，立即用右手食指堵死移液管管