

火电生产类学徒工初级工培训教材

# 化学设备运行与检修

(试用本)

水利电力出版社

## 前 言

为了提高水利电力系统学徒工初级工的技术水平，使技工培训工作逐步走向正规化、系统化，我们统一组织编写了水电生产、水电施工、火电生产、火电建设和供电等五类学徒工初级工的培训教材。

这五类培训教材是按照原水利部、原电力工业部颁发的工人技术等级标准中相应的应知技术理论要求编写的。每一工种的培训教材包括基础课与专业课两部分，注意到学徒工初级工两个阶段技术理论教育的系统性和完整性，力求密切联系生产实际，深入浅出，突出工人培训教材的特点。

火电生产类培训教材包括22个工种共23本，其中基础课11本，专业课12本，委托山西省电力工业局组织编写，并约请各大区网局和省电力工业局的有关同志参加审稿。

《化学设备运行与检修》系专业课教材之一，全书共六篇分二十九章，其中第一～四章由严晋婴编写，第五、第七、第八章由张恺瑞编写，第六章由张天吉编写，第九～十一章由薛彩娥、王茂林编写，第十二～十五章由刘增启编写，第十六～十九章由康世竹编写，第二十～二十二章由郭惠明编写，第二十三、二十四章由左学渊编写，第二十五、二十六章由赵如峰编写，第二十七～二十九章由晋淑云、左学渊编写。全书由郭惠明统稿，由山西电力学校董振郁和山西省电力工业局段培珍初审，并由抚顺发电厂、莱芜发电

ABD20/09

厂、保定热电厂、杨树浦发电厂、平顶山发电厂、望亭发电厂、青山热电厂、宝鸡发电厂等单位进行了审定。

由于编写时间仓促，又缺乏经验，培训教材中难免存在错误和不妥之处，现以试用本出版，内部发行。希望使用单位和广大读者提出宝贵意见，以提高再版的质量。

水利电力部

1983年9月

## 内 容 提 要

本书为火电生产类学徒工初级工培训教材之一。全书共六篇29章，主要介绍电厂化学的基本知识，电厂水处理，电厂油务基本知识，燃料的基础知识，电厂水处理设备的检修，以及氢气的制取和发电机的冷却。此外，书末还附有各种绝缘油和汽轮机油的质量标准，供读者查阅。

# 目 录

## 前 言

### 第一篇 电厂化学的主要基本知识

第一章 化学反应 .....	1
第一节 化学反应速度和化学平衡 .....	1
第二节 化学反应 .....	5
第二章 溶液 .....	15
第一节 溶液浓度及有关计算 .....	15
第二节 电离与电导 .....	22
第三节 盐类的水解 .....	28
第三章 常用分析化学知识 .....	33
第一节 电厂化学分析的特点 .....	33
第二节 重量分析 .....	35
第三节 容量分析 .....	37
第四节 比色分析和仪器分析 .....	43
第四章 有机化学基础知识 .....	49
第一节 烷烃——饱和烃 .....	49
第二节 烯烃和炔烃——不饱和烃 .....	54
第三节 环烃 .....	57

### 第二篇 电厂水处理

第五章 天然水和锅炉补给水 .....	62
第一节 天然水 .....	62
第二节 锅炉补给水 .....	71
第六章 锅炉补给水的预处理 .....	75
第一节 水的混凝处理 .....	76

第二节	水的沉淀软化和镁剂除硅 .....	80
第三节	沉淀处理设备及其运行 .....	86
第四节	水的过滤处理 .....	102
第五节	过滤设备及其运行 .....	106
<b>第七章</b>	<b>水的离子交换除盐 .....</b>	<b>122</b>
第一节	离子交换树脂 .....	122
第二节	离子交换除盐原理 .....	132
第三节	离子交换设备 .....	136
第四节	一级除盐系统及其运行 .....	147
第五节	混合床工艺及其运行 .....	152
第六节	逆流再生床工艺及其运行 .....	156
第七节	双层床工艺 .....	161
第八节	浮动床工艺及其运行 .....	163
第九节	移动床工艺及其运行 .....	167
第十节	除盐设备的故障及其分析 .....	171
<b>第八章</b>	<b>高含盐量水的处理 .....</b>	<b>174</b>
第一节	蒸馏 .....	175
第二节	扩容蒸发 .....	176
第三节	电渗析 .....	179
第四节	反渗透 .....	182
<b>第九章</b>	<b>锅炉水、汽系统的腐蚀、结垢及防止 .....</b>	<b>185</b>
第一节	腐蚀类型 .....	186
第二节	炉前水系统的腐蚀 .....	188
第三节	炉前给水系统腐蚀的防止 .....	193
第四节	锅内水、汽系统的腐蚀及防止 .....	197
第五节	锅内水系统的结垢及防止 .....	201
第六节	停炉保护 .....	209
<b>第十章</b>	<b>蒸汽的污染及净化 .....</b>	<b>213</b>
第一节	蒸汽中杂质的来源 .....	213

第二节	蒸汽流程中的积盐 .....	219
第三节	提高蒸汽品质的途径 .....	222
第十一章	冷却水处理 .....	232
第一节	冷却水的循环系统 .....	232
第二节	凝汽器铜管的结垢及防止 .....	235
第三节	冷却水中的微生物 .....	241
第四节	凝汽器铜管的腐蚀及防止 .....	243

### 第三篇 电厂油务基本知识

第十二章	油的性能和用途 .....	251
第一节	油的性能和组成 .....	251
第二节	发电厂用油 .....	258
第三节	油品的质量监督 .....	264
第四节	油中溶解气体的测定 .....	281
第十三章	油质的劣化及防止 .....	287
第一节	油的劣化现象和影响因素 .....	287
第二节	劣化产物的危害和防劣化措施 .....	289
第十四章	油的净化和再生 .....	297
第一节	油的物理净化 .....	297
第二节	油的化学再生 .....	308
第十五章	油的使用和维护 .....	310
第一节	汽轮机油的使用和维护 .....	310
第二节	绝缘油的使用和维护 .....	313
第三节	油品管理 .....	318

### 第四篇 燃料的基础知识

第十六章	煤在火力发电厂的应用 .....	321
第一节	概述 .....	321
第二节	煤的燃烧效率和煤耗 .....	322
第十七章	煤的组成和分析基础 .....	325
第一节	煤的组成和分析项目 .....	325

第二节	煤的分析基准 .....	327
第三节	煤质基准的换算 .....	330
<b>第十八章</b>	<b>煤样的采取和缩分 .....</b>	<b>332</b>
第一节	煤样的采取 .....	332
第二节	分析基样品的制备 .....	336
<b>第十九章</b>	<b>煤质分析 .....</b>	<b>339</b>
第一节	煤的工业分析 .....	339
第二节	煤的发热量(热值)测定 .....	347
第三节	煤的元素分析 .....	353
第四节	其它分析项目 .....	358
<b>第五篇 电厂水处理设备的检修</b>		
<b>第二十章</b>	<b>沉淀设备的结构和检修 .....</b>	<b>360</b>
第一节	ЦНИИ型澄清器 .....	360
第二节	其它澄清设备 .....	367
<b>第二十一章</b>	<b>过滤设备的结构和检修 .....</b>	<b>371</b>
第一节	压力式过滤器 .....	371
第二节	无阀滤池 .....	383
<b>第二十二章</b>	<b>离子交换设备的结构和检修 .....</b>	<b>401</b>
第一节	顺流再生离子交换器 .....	402
第二节	逆流再生离子交换器 .....	412
第三节	移动床离子交换器 .....	417
第四节	浮动床离子交换器 .....	439
<b>第二十三章</b>	<b>泵的结构和检修 .....</b>	<b>449</b>
第一节	离心泵 .....	450
第二节	往复式泵 .....	469
第三节	齿轮泵 .....	474
第四节	喷射泵 .....	477
第五节	耐腐蚀泵 .....	479
<b>第二十四章</b>	<b>机动设备的结构和检修 .....</b>	<b>480</b>



第一节	消石灰机 .....	480
第二节	单轨抓斗吊车 .....	485
第三节	空气压缩机 .....	489
<b>第二十五章</b>	<b>管道和阀门的检修 .....</b>	<b>495</b>
第一节	管道 .....	495
第二节	阀门 .....	500
<b>第二十六章</b>	<b>水处理设备的防腐 .....</b>	<b>512</b>
第一节	非金属覆盖保护层 .....	512
第二节	硬聚氯乙烯和天然耐酸材料 .....	524
<b>第六篇 氢气的制取和发电机的冷却</b>		
<b>第二十七章</b>	<b>氢气冷却 .....</b>	<b>537</b>
第一节	发电机的冷却方式 .....	537
第二节	氢气冷却的优越性 .....	538
<b>第二十八章</b>	<b>制氢系统及其设备 .....</b>	<b>540</b>
第一节	电解制氢原理 .....	540
第二节	电解制氢系统及其设备 .....	543
第三节	技术指标 .....	550
<b>第二十九章</b>	<b>氢冷发电机的气体置换 .....</b>	<b>553</b>
第一节	氢冷发电机的冷却系统 .....	553
第二节	氢冷发电机的气体置换 .....	555
<b>附录</b>	.....	<b>557</b>

# 第一篇 电厂化学的主要基本知识

## 第一章 化 学 反 应

### 第一节 化学反应速度和化学平衡

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再进行，不能全部变成生成物。化学反应的快慢和进行的程度，是研究化学反应的两个重要方面。

#### 一、化学反应速度

酸和碱之间的反应进行得很快，几乎可以在瞬间完成，但是酸、碱溶液与铂的反应却很慢，一般难以观察到。在潮湿的情况下，钢铁的腐蚀进行得比较快，但在干燥的情况下则比较缓慢。化学反应速度常用某种反应物或生成物在单位时间内（如秒、分或小时等）浓度的减少或增加的量来表示。因浓度单位一般采用摩尔/升<sup>①</sup>，故反应速度的单位就是摩尔/升·秒或摩尔/升·分等。例如某反应物在2秒钟的反应过程中，浓度由4摩尔/升下降到2摩尔/升，则该反应在这一过程中的平均反应速度就是1摩尔/升·秒。

不同的反应物，在相同条件下，有些反应进行得比较迅速，有些比较缓慢；同一反应物在不同的条件下，反应速度也有差别。前者是由反应物本身性质决定，后者是外界因素

---

① 摩尔/升的意义参见第二章第一节。

的影响而致。影响反应速度的外界因素，主要有：浓度、温度和催化剂，这些是我们讨论的重点。

1. 浓度对反应速度的影响。在一定温度下，一般增加反应物的浓度反应速度加快。实验证明，化学反应速度与各反应物浓度的乘积成正比，这就是质量作用定律。例如，浓盐酸对钢铁的腐蚀作用远大于稀盐酸；锅炉省煤器的氧腐蚀，在给水中溶解氧浓度较高的低温段的腐蚀速度进行得比较快，腐蚀也往往比溶解氧浓度较低的高温段严重。

2. 温度对反应速度的影响。在一定条件下，通常温度升高会加快化学反应速度。温度每升高 $10^{\circ}\text{C}$ ，反应速度大约增加 $1\sim 3$ 倍。在生产和试验过程中，为加快反应速度，常用的方法之一就是提高反应温度。如在测定水的耗氧量过程中，加入高锰酸钾标准溶液后，煮沸10分钟后再进行滴定，就是为了提高反应温度，加快反应速度，使反应在较短时间内进行得比较完全。

3. 催化剂对反应速度的影响。某些物质参加化学反应前后，自身的组成和质量不发生变化，但是可以加快或降低反应速度，这种物质通常叫做催化剂，它所起的作用叫催化作用。加快反应速度的催化作用叫做正催化作用，反之称为负催化作用。现以测定水的耗氧量为例，说明催化剂对化学反应速度的影响。当采用高锰酸钾法（即用标准高锰酸钾溶液）滴定水样时，水样的红色起初消失速度比较缓慢，随着滴定的进行，红色消失速度逐渐加快，说明反应速度比起初增大了。这是由于滴定过程中溶液中逐渐有二价锰离子( $\text{Mn}^{2+}$ )生成，它对滴定反应有催化作用，是该反应的催化剂。当然，这种催化作用是正催化作用。

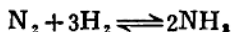
影响化学反应速度的因素很多，上述几种仅是其中的一

部分，而且，这些外界因素对反应速度的影响是有条件和受限制的，不能认为它们可以任意改变化学反应速度。

## 二、化学平衡

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

有很多化学反应都是可逆反应，如 $N_2$ 和 $H_2$ 合成 $NH_3$ 的反应：



在一定条件下 $N_2$ 和 $H_2$ 反应可以生成 $NH_3$ ，同时 $NH_3$ 也可以分解为 $N_2$ 和 $H_2$ 。反应开始时 $N_2$ 和 $H_2$ 的浓度较高，它们生成 $NH_3$ 的速度较快，而 $NH_3$ 分解为 $N_2$ 和 $H_2$ 的逆反应进行得很慢。随着反应的进行， $NH_3$ 的浓度增加，从而其分解速度加快；同时，由于 $N_2$ 和 $H_2$ 浓度逐渐减小，生成 $NH_3$ 的速度变慢。最后，当 $N_2$ 和 $H_2$ 生成 $NH_3$ 的速度与 $NH_3$ 分解为 $N_2$ 和 $H_2$ 的速度相等时， $N_2$ 、 $H_2$ 和 $NH_3$ 的浓度便不再发生变化，此时称反应达到了平衡状态。

1. 化学平衡常数。实验得知，在一定温度下，当可逆反应达到平衡时，生成物浓度相应幂次的乘积与反应物浓度相应幂次的乘积之比是一个常数，叫做平衡常数，用 $K$ 表示。

例如，合成氨反应的平衡常数可以表示为：



$$K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \cdot [H_2]^3}$$

式中  $[NH_3]$ —— $NH_3$ 的浓度，摩尔/升；

$[N_2]$ —— $N_2$ 的浓度，摩尔/升；

$[H_2]$ —— $H_2$ 的浓度，摩尔/升。

推广到一般可逆化学反应：



$$K = \frac{[C]^p [D]^q}{[A]^m [B]^n}$$

式中 A、B——为反应物；

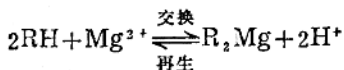
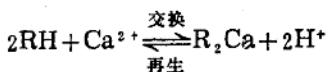
C、D——为生成物；

$m, n, p, q$ ——分别为反应物和生成物的系数。

2. 化学平衡的移动。化学平衡是相对的，有条件的，当外界条件发生变化时，原来的平衡就被破坏，反应物与生成物的浓度要改变，重新建立起适应新条件的平衡，这个平衡浓度变化的过程叫做平衡的移动。

影响化学平衡的因素很多，主要有以下几方面：

(1) 浓度对化学平衡的影响。在平衡体系内增加反应物浓度，平衡就向减少反应物浓度的方向，也就是向生成物的方向移动。这可由化学水处理中离子交换器的运行和再生过程来说明，以氢型阳离子交换树脂 (RH) 与  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  的交换及其失效后用酸再生的过程为例，反应可以表示为：



当原水通过氢型树脂时，由于水中  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  浓度比较高，于是反应向右进行，树脂由氢型转变为钙、镁型，从而除去了水中的  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 。当交换反应进行到一定程度时，交换器中大部分树脂已成为钙、镁型，树脂便失去了与水中  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  交换的能力，致使出水品质劣化，于是需要再生。此时，往交换器内加入盐酸，对已转为钙、镁型的树脂进行再生，由于  $H^+$  浓度增高，平衡便向左边移动，树脂重

新转变为氢型，从而又具备了与  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  交换的能力。上述两个过程就是树脂的交换与再生过程，它们是通过离子浓度的改变来实现化学平衡的移动。

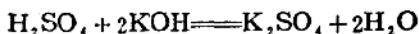
(2) 温度对化学平衡的影响。有些化学反应要吸热或放热，这种类型的可逆反应常常受到温度的影响。一般若是吸热反应，提高反应温度，平衡向生成物浓度增大的方向移动；若是放热反应，提高反应温度，平衡移向生成物浓度减少的方向，即向逆反应方向移动。

概括浓度和温度对化学平衡的影响，可以总结出一个原理（平衡移动原理）：如果改变影响平衡的某一个条件，平衡就向削弱或消除这种改变的方向移动，此即所谓的吕·查德里原理。

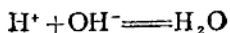
## 第二节 化学 反 应

### 一、中和反应

1. 中和反应的实质。一般把酸和碱作用生成盐和水的反应称为中和反应。例如：



以上三个反应式，尽管反应物不完全相同，但是本质上都是  $\text{H}^+$  和  $\text{OH}^-$  间的反应。因为反应中的反应物在水溶液里都以离子状态存在，而且  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{K}^+$ 、 $\text{NO}_3^-$  和  $\text{Na}^+$  在反应前后都没有发生变化。所以这些反应可以用一个反应式概括为：

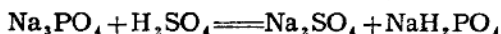
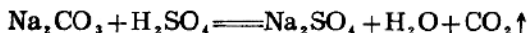


把碱的概念加以推广，象 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{CaO}$ 这些能使其水溶液呈碱性的物质也称为碱。酸与这些广义上的碱的反应仍可以称为中和反应。它们在本质上也是 $\text{H}^+$ 和 $\text{OH}^-$ 生成水的反应。

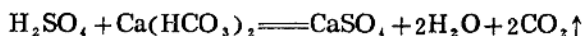
2. 电厂化学中常见的中和反应。配制 $\text{NaOH}$ 溶液时，常用标准硫酸溶液标定 $\text{NaOH}$ 溶液。这个滴定反应是典型的中和反应：



测定锅炉水碱度的滴定反应，也是中和反应：



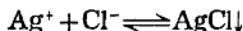
用硫酸法处理循环冷却水时，利用中和反应将重碳酸盐转变为溶解度较大的硫酸盐，可以防止循环水系统结垢。此反应式为：



## 二、沉淀反应

1. 溶度积原理。任何一种溶剂都不可能无限制地溶解溶质，对于难溶物质更是如此。现在，从难溶物质在溶液中的阴、阳离子间的相互关系，来研究它们溶解与析出的条件。

以硝酸银法测定水中氯离子含量的滴定反应为例，其离子反应式为：



硝酸银滴定剂中的 $\text{Ag}^+$ 与水样中的 $\text{Cl}^-$ 反应，生成溶解度很低的氯化银。这种有难溶物质生成的反应叫做沉淀反应。上面的离子反应式中，反应物和生成物之间使用了双箭头，表示这种反应也是可逆反应，反应物和生成物在反应过

程中也要建立平衡关系。这种新的化学平衡形式叫做沉淀-溶解平衡。

实验中发现，在一定温度下，溶液中 $\text{Ag}^+$ 和 $\text{Cl}^-$ 浓度的乘积超过某一数值后，溶液中就会有沉淀析出。其它难溶物质生成过程中也有此规律。这个规律通常称为溶度积原理，即难溶物质生成时，溶液中形成沉淀的阴、阳离子浓度的乘积在一定温度下是一个常数。这个常数通常叫做溶度积常数，通常用 $K_{sp}$ 表示。

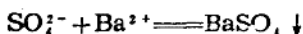
根据溶度积原理，可以分析沉淀-溶解平衡移动的方向，判断沉淀的生成与溶解。当溶液中难溶物质的阴、阳离子浓度乘积小于它的溶度积常数时，溶液是不饱和溶液，还可以继续溶解溶质；当离子浓度的乘积等于其溶度积常数时，溶液呈饱和状态，此时若再加入含有相同离子的物质，溶液中将有沉淀析出；当离子浓度的乘积大于其溶度积常数时，溶液为过饱和状态，迟早会有沉淀析出，直到溶液中难溶物质的阴、阳离子浓度乘积下降到等于其溶度积常数，溶液恢复到饱和状态时为止。

2. 电厂化学中常见的沉淀反应。电厂化学中常见的沉淀反应，多发生在水的预处理等过程中。例如石灰软化法，石灰乳 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 加入水中后，便与水中某些溶解物质[如 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 等]发生一系列沉淀反应，生成碳酸钙 $(\text{CaCO}_3)$ 和氢氧化镁 $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ 等沉淀。

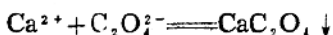
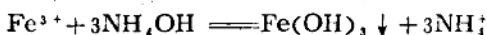
石灰处理中利用沉淀反应可以除去水中的重碳酸盐、镁硬、铁化合物、游离二氧化碳和部分硅酸等。

汽、水分析监督工作中，许多分析方法需要利用沉淀反应。如测定水样中的硫酸盐，就是利用 $\text{SO}_4^{2-}$ 与 $\text{Ba}^{2+}$ 作用生成 $\text{BaSO}_4$ 的沉淀反应来实现的。





水垢中铁、铝和钙等成分的测定，也可以利用沉淀反应来完成：

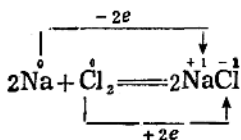


利用上述沉淀反应把欲测离子转化为沉淀，经过过滤、灼烧等一系列处理，最后称重计算出欲测物质的含量。这是水、汽分析中常用的一种方法。

### 三、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。

1. 氧化-还原反应的实质。首先分析两个典型的氧化-还原反应。金属钠与氯气的反应表示如下：



式中  $e$  —— 表示一个电子。

反应方程式中各元素符号上部的数字分别表示元素的化合价。反应前，反应物金属钠的化合价为 0 价，氯也为 0 价；反应后，生成物氯化钠中钠的化合价变为正 1 价，它的化合价由低变高；氯变为负 1 价，它的化合价由高变低。在氧化还原反应中，反应物中元素的化合价由低变高称为氧化，该反应物被称为还原剂；反应物中元素的化合价由高变低称之为还原，该反应物被称为氧化剂。在金属钠与氯气的