

化学设备运行技术

(试用本)

火电生产类中级工培训教材

山西省电力工业局 编



水利电力出版社

前 言

为了提高火力发电厂中级工的技术水平,使技术培训工作逐步走上正规,继《火电生产类学徒工初级工培训教材》编写出版之后,1984年10月22日水利电力部又以(84)水电教字第76号文向我局下达编写《火电生产类中级工培训教材》的任务。

根据国家有关加强职工培训通知的精神,在完成“双补”任务的基础上,各单位应适时地转入大力开展中级工人(4~6级工)的技术业务培训工作,要求到1990年工人中实际水平达到中级技术等级的比例逐步提高到50%左右。火电生产类中级工培训教材就是根据这一精神而编写的。

本教材是按照原电力工业部1979年颁发的《工人技术等级标准》中4~6级工人“应知”的要求,分工种编写的。教材的内容以200MW以上的机组为重点,努力反映新技术、新设备、新工艺、新材料和新经验,以适应火电生产发展的需要。整套教材的编写力求体现工人技术培训的特点,本着理论联系实际的原则,努力做到内容准确、文字精练、插图简明、通俗易懂,并注意同学徒工初级工培训教材相衔接。

《火电生产类中级工培训教材》共十四本,适用于二十二个工种。为了保证这套教材的质量和使之适应在全国范围使用,我局除承担了部分教材编写任务外,还邀请了清河、陡河、大港、望亭、马头、闵行等发电厂,水利电力部西安热工研究所、华东电业管理局、华北电业管理局和山东省电

ABE 02/09

力试验研究所等单位及有关同志参加编写和审稿工作。在此，特向上述单位和有关同志表示衷心感谢。

本书的第一章至第十章和第十九章由太原电力学校刘颖文同志编写；第十一章和第二十二章由山西阳泉电厂靳昆同志编写；第十二章由大港电厂李世雄同志编写；第十三章和第十七章由马头电厂邢菊茹同志编写；第十四章由山西电力试验研究所徐振漳同志编写；第十五章、第十六章、第二十一章由闵行电厂高培琴、于彬、吕启廷、顾爱雄等同志编写；第十五章的第九节由北京电力学校张葆宗编写；第十八章由山西电力试验研究所张铮同志编写；第二十章由望亭电厂潘裕智同志编写；第二十三章和第二十四章由山西电力试验研究所刘增启同志编写；第二十五章至第二十八章由山东电力试验研究所曹长武同志编写。全书由太原电力学校刘颖文同志和山西省电力工业局段培珍同志主编。全书由潘裕智同志主审。

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，恳请使用单位和广大读者提出宝贵意见。本培训教材现以试用本出版，准备根据各方面意见在再版时进行修改，以进一步提高质量。

山西省电力工业局

一九八四年十二月

目 录

前 言

第一篇 分 析 化 学

第一章 分析化学概述	(1)
第二章 常见阴、阳离子鉴定反应	(4)
第一节 鉴定反应的条件	(4)
第二节 常见阳离子鉴定反应	(5)
第三节 常见阴离子鉴定反应	(6)
复习思考题	(9)
第三章 定量分析	(10)
第一节 概述	(10)
第二节 分析结果的准确度	(12)
第三节 滴定分析法	(21)
第四节 分析天平	(22)
复习思考题	(29)
第四章 重量分析法	(31)
第一节 溶度积原理	(31)
第二节 影响沉淀完全的因 素	(34)
第三节 沉淀的形成与分 类	(37)
第四节 影响沉淀纯净的因 素	(39)
第五节 沉淀生成的条 件	(41)
第六节 沉淀的过滤和洗 涤	(43)
第七节 沉淀的干燥、灼烧和称 重	(48)
复习思考题	(49)
第五章 酸碱滴定法	(51)

第一节	酸碱平衡中有关浓度的计算	(51)
第二节	盐的水解	(57)
第三节	缓冲溶液	(63)
第四节	酸碱滴定	(72)
	复习思考题	(80)
第六章	络合滴定法	(32)
第一节	络合滴定概述	(82)
第二节	金属指示剂	(85)
第三节	提高络合滴定的选择性	(89)
第四节	络合滴定方法	(91)
	复习思考题	(92)
第七章	沉淀滴定法	(93)
	复习思考题	(96)
第八章	氧化-还原滴定法	(97)
第一节	氧化-还原反应	(97)
第二节	氧化-还原滴定	(101)
第三节	高锰酸钾法	(104)
第四节	碘量法	(108)
第五节	重要氧化剂和还原剂	(114)
	复习思考题	(115)
第九章	吸光光度法	(116)
第一节	光的吸收定律	(116)
第二节	显色反应及影响因素	(118)
第三节	光度测量误差和测量条件的选择	(120)
第四节	常见吸收光度仪器简介	(121)
	复习思考题	(125)
第十章	电化学分析法	(126)
第一节	电位分析法	(126)
第二节	酸度计	(132)

第三节 钠度计.....	(134)
第四节 其它电化学分析法.....	(138)
复习思考题	(143)

第二篇 电厂化学水处理

第十一章 离子交换树脂	(144)
第一节 离子交换原理.....	(147)
第二节 离子交换树脂的性能.....	(148)
第三节 离子交换平衡.....	(155)
第四节 离子交换树脂的预处理.....	(158)
第五节 离子交换树脂的污染与复苏.....	(160)
第六节 离子交换树脂的鉴别.....	(166)
复习思考题	(168)
第十二章 凝结水处理	(169)
第一节 凝结水的污染.....	(169)
第二节 凝结水的过滤.....	(173)
第三节 凝结水除盐.....	(183)
第四节 凝结水的除油和除盐.....	(192)
复习思考题	(197)
第十三章 水内冷发电机的水处理	(198)
第一节 水内冷发电机概况.....	(198)
第二节 水内冷发电机冷却水的水质与监督.....	(202)
第三节 几种防止铜导线腐蚀的方法.....	(204)
复习思考题	(212)
第十四章 冷却水处理	(213)
第一节 凝汽器铜管内结垢及其防止.....	(213)
第二节 冷却水中的微生物.....	(233)
第三节 凝汽器铜管冷却水侧的腐蚀及防止.....	(235)
第四节 凝汽器铜管的酸洗	(249)
复习思考题	(253)

第十五章 水、汽系统的腐蚀、结垢及防止	(255)
第一节 金属腐蚀的基本原理	(255)
第二节 凝结水、给水系统的 腐蚀及防止	(262)
第三节 锅炉水、汽系统的腐蚀及防止	(269)
第四节 汽轮机低压缸铸钢部件的 腐蚀及防止	(277)
第五节 水垢的形成及防止	(279)
第六节 盐类暂时消失现象及判断	(286)
第七节 水中有机物在锅炉中引起的问题	(290)
第八节 锅炉设备停备用保 护	(293)
第九节 汽轮机设备的停备用保 护	(297)
复习思考题	(302)
第十六章 蒸汽的污染与净化	(304)
第一节 蒸汽污染的原因	(304)
第二节 过热器中盐类的沉积	(307)
第三节 汽轮机内盐类的沉积	(309)
第四节 获得洁净蒸汽的方法	(314)
复习思考题	(324)
第十七章 锅炉的化学清洗	(325)
第一节 化学清洗的目的	(325)
第二节 化学清洗的一般程序	(327)
第三节 化学清洗剂	(341)
第四节 缓蚀剂	(348)
复习思考题	(354)
第十八章 锅炉的热化学试验	(355)
第一节 汽包锅炉热化学试验	(355)
第二节 直流锅炉的热化学试验	(368)
复习思考题	(370)
第十九章 热力设备腐蚀、结垢和积盐的检查监督	(371)
第一节 热力设备检修前的准备工作	(371)

第二节 锅炉检查的部位及内容.....	(372)
第三节 汽轮机的检查部位及内容.....	(378)
第四节 其它检查、监督工作.....	(379)
第五节 汽水系统查定.....	(381)
复习思考题	(382)
第二十章 直流锅炉的水汽指标和监督	(383)
第一节 水工况的基本要求.....	(383)
第二节 水汽指标和化学监督.....	(400)
复习思考题	(407)
第二十一章 超临界压力锅炉水工况	(409)
第一节 中性水工况.....	(410)
第二节 络合物水工况.....	(414)
第三节 运行指标.....	(420)
复习思考题	(425)

第三篇 电 厂 用 油

第二十二章 有机化学	(426)
第一节 烃	(426)
第二节 烃的衍生物.....	(442)
复习思考题	(470)
第二十三章 绝缘油.....	(471)
第一节 绝缘油在变压器中的冷却和散热.....	(471)
第二节 绝缘油的电学性质.....	(477)
第三节 油的氧化及其安定度.....	(480)
第四节 微量水测定.....	(484)
第五节 油的表面性质.....	(489)
复习思考题	(491)
第二十四章 气相色谱分析法.....	(493)
第一节 概述.....	(493)
第二节 定性和定量分析.....	(499)

第三节 检测充油电气设备内部故障法·····	(504)
复习思考题·····	(513)
附录 I 新绝缘油和运行油含水量标准(参考)···	(514)
附录 II 判断故障类型的三比值法·····	(514)

第四篇 燃 料

第二十五章 电厂燃料·····	(516)
第一节 电厂用煤的种类、性质及成分组成·····	(516)
第二节 煤的分析基准·····	(519)
第三节 燃烧的化学基础·····	(521)
第四节 劣质燃料的特性及其在电厂的应用·····	(523)
复习思考题·····	(525)
第二十六章 燃煤的采制样·····	(526)
第一节 采样的原理与方法·····	(526)
第二节 原煤和煤粉的采样·····	(530)
第三节 人工采制样的要求·····	(533)
复习思考题·····	(537)
第二十七章 煤质分析·····	(538)
第一节 煤的工业分析·····	(538)
第二节 元素分析·····	(549)
第三节 发热量的测定·····	(555)
第四节 发热量的计算·····	(574)
第五节 煤的可磨性指数及其测定·····	(576)
复习思考题·····	(579)
第二十八章 灰渣特性分析·····	(580)
第一节 灰渣的化学组成及其分析·····	(580)
第二节 煤灰熔融性的测定·····	(582)
第三节 灰渣特性与锅炉运行·····	(587)
复习思考题·····	(590)

第一篇 分析化学

第一章 分析化学概述

在《火电生产类学徒工初级工培训教材》中已对分析化学的基本知识作了简单的介绍。本篇主要是使4~6级工进一步掌握基础分析化学的基本原理，树立准确的量的概念，正确地掌握基础分析化学的基本操作，对仪器分析方法有所了解，并初步具有分析问题和解决问题的能力。

一、分析化学的任务

分析化学的任务是鉴定物质的化学结构和化学成分，以及测定有关成分的含量。前者属于结构分析，后两者分别属于定性分析和定量分析。

二、分析方法的分类

1. 结构分析、定性分析、定量分析。结构分析是研究物质的分子结构或晶体结构；定性分析是鉴定物质是由哪些元素、原子团、官能团或化合物组成的；定量分析则是测定物质中有关组分的含量。

2. 无机分析和有机分析。无机分析的对象是无机物，有机分析的对象是有机物。在无机分析中，要求鉴定试样是由哪些元素、离子、原子团或化合物组成的，各成分的百分含量是多少，有时也要求测定它们的存在形式；在有机分析中，因为组成有机物的元素虽为数不多，但结构却很复杂，不仅要求鉴定组成元素，还要对其官能团和结构进行分析。

3.常量分析、半微量分析、微量分析。根据试样的用量不同,可分为常量、半微量和微量分析,如表 1-1 所示。

表 1-1 各种分析方法的试样用量

方 法	试 样 重 量	试液体积,ml
常量分析	$>0.1\text{g}$	>10
半微量分析	$0.01\sim0.1\text{g}$	$1\sim10$
微量分析	$0.1\sim10\text{mg}$	$0.01\sim1$
超微量分析	$<0.1\text{mg}$	<0.01

在无机定性化学分析中,一般采用半微量分析法;而在经典定量化学分析中,一般采用常量分析法。常量、半微量和微量分析,并不表示被测组分的百分含量。通常根据被测组分的百分含量,又粗略地分为常量($>1\%$)、微量($0.01\sim1\%$)和痕量($<0.01\%$)成分的分析。

4.化学分析和仪器分析。以物质的化学反应为基础的分析方法,称为化学分析法。化学分析法历史悠久,是分析化学的基础,所以又称经典化学分析法,主要有重量分析法和滴定分析法(容量分析法)等。

以物质的物理和物理化学性质为基础的分析方法,称为物理和物理化学分析法。由于这类方法都需要较特殊的仪器,故一般又称为仪器分析法。仪器分析法有光学分析法、电化学分析法、色谱分析法、质谱分析法和放射化学分析法等。

5. 例行分析、快速分析和裁判分析。例行分析是指一般化验室日常生产中的分析，又叫常规分析。快速分析是例行分析的一种，主要用于对生产过程的控制。裁判分析是不同单位对分析结果有争论时，要求有关单位用指定的方法进行准确的分析，以判断原分析结果的准确性。

第二章 常见阴、阳离子鉴定反应

第一节 鉴定反应的条件

鉴定反应大都是在水溶液中进行的离子反应。作为一种鉴定反应，必须有明显的外观特征，例如：（1）溶液颜色的改变；（2）沉淀的生成或溶解；（3）有气体产生等。此外，鉴定反应还必须迅速，才有实用价值。

鉴定反应和其它化学反应一样，只有在一定条件下才能进行，否则反应不能发生，或者得不到预期的效果。反应最重要的条件是：溶液的酸度、反应离子的浓度、溶液的温度、催化剂和溶剂的影响等。

一、溶液的酸度

许多鉴定反应只能在一定的酸度下进行。例如生成黄色的 PbCrO_4 沉淀反应，只能在中性或微酸性溶液中进行。

二、反应离子的浓度

在定性鉴定中，通常要求溶液中反应离子的浓度要足够大，以保证能发生显著的反应。例如对于沉淀反应，不仅要要求溶液中反应离子浓度的乘积超过该温度下沉淀的溶度积，析出沉淀，而且要求析出足够量的沉淀，以便观察。

三、溶液的温度

溶液温度有时对鉴定反应有较大的影响。例如有少数几种沉淀，它们的溶解度随温度的升高而迅速增大。因此，对这些沉淀，不能在热溶液中进行。

另一方面,在室温下,有些鉴定反应特别是某些氧化还原反应的反应速度很慢,通常需将溶液加热,以加快反应速度。

四、催化剂

某些氧化还原反应,需要在有催化剂时才能进行,否则,反应不能进行到底。

五、溶剂

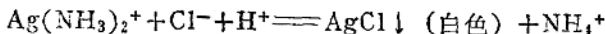
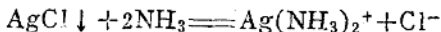
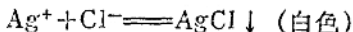
大部分无机微溶化合物,在有机溶剂中的溶解度比在水中的溶解度要小。所以向水溶液中加入适当的有机溶剂,可降低其溶解度。

第二节 常见阳离子鉴定反应

阳离子的鉴定常采用系统分析法,其主要特点是应用某些试剂,将其有相同反应的离子整组分离出来,然后再就每组内各离子间性质的不同,直接鉴定或再经一定的分组分离后进行鉴定。进行系统分析时,要求分离完全;使用试剂时,必须掌握正确的反应条件。

一、 Ag^+ 的鉴定反应 (AgCl 法)

取少量水样于试管中,加入少量 HCl 。 HCl 与 Ag^+ 生成白色凝乳状 AgCl 沉淀。沉淀物溶于氨水生成 $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$, 当用硝酸酸化后又重新析出 AgCl 沉淀。



反应的鉴定限量为 $0.5\mu\text{g}$, 最低浓度为 10mg/L 。

二、 Fe^{3+} 鉴定反应 (普鲁士蓝法与硫氰酸盐法)

1. 普鲁士蓝法。取一滴试液, 用 1 滴 2NHCl 酸化, 加

一滴10% $K_4[Fe(CN)_6]$ 溶液, 如产生蓝色沉淀, 表示有 Fe^{3+} 存在。

当有高浓度的 Cu^{2+} 、 Ni^{2+} 和 Co^{2+} 存在, 而 Fe^{3+} 含量很低时, 则现象不明显。

2. 硫氰酸盐法。取一滴试液, 用一滴 $2NH_4Cl$ 酸化, 加一滴10% $KSCN$ 溶液, 如溶液变为红色, 表示有 Fe^{3+} 存在。进行此反应时应注意:

(1) 因是可逆反应, 须加过量试剂。

(2) 溶液中有能与 Fe^{3+} 结合的物质 (如氟化物、草酸盐等), 使灵敏度降低, 甚至完全不显红色。

(3) 强还原剂 (如 Sn^{2+}) 能使 Fe^{3+} 还原, 强氧化剂 (如 NO_2^-) 能破坏 SCN^- 。

三、 Fe^{2+} 的鉴定反应 (腾氏蓝法)

取一滴试液, 用一滴 $2NH_4Cl$ 酸化, 加一滴10% $K_3[Fe(CN)_6]$ 溶液, 产生蓝色沉淀, 表示有 Fe^{2+} 存在。

四、 Cu^{2+} 的鉴定反应 (形成 $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ 法)

取2滴试液, 加2~3滴1:1氨水, 先产生浅蓝色沉淀, 加过量氨水时则沉淀溶解形成深蓝色溶液, 表示有 Cu^{2+} 存在。

在电厂化学分析中, 经常利用阳离子鉴定法的原理进行现场快速鉴定。比如, 为鉴定割回的水冷壁管的铁垢中是否含铜, 则用脱脂棉浸入1:1氨水中, 然后用浸了氨水的脱脂棉涂擦需检验的部位, 若呈蓝色时说明有铜, 根据蓝色的深浅可以了解含铜量多少。

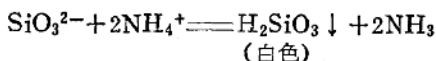
第三节 常见阴离子鉴定反应

用分别分析法鉴定阴离子时, 虽然顺序并不固定, 但是为了便于鉴定和节省时间, 大致应有先后顺序。假如要鉴

定的某种离子，妨碍其它离子的鉴定，就需先检出这种离子。

一、 SiO_3^{2-} 的鉴定反应

在试液中加稀 HNO_3 至呈微酸性，加热除去 CO_2 。冷却后加稀氨水至呈碱性，再加饱和 NH_4Cl 并加热。 NH_4^+ 与 SiO_3^{2-} 作用，生成白色胶状的硅酸沉淀：



二、 PO_4^{3-} 的鉴定反应

用“—”法除去 SiO_3^{2-} ，析出沉淀。溶液用 HNO_3 酸化，加热除去 CO_2 ，加稀氨水至碱性，加镁混合试剂 ($\text{MgCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_3$)。当有 PO_4^{3-} 时生成 MgNH_4PO_4 沉淀。

将少许上述沉淀用 HAc 溶解，加酒石酸和钼酸铵溶液在 $60 \sim 70^\circ\text{C}$ 下持续数分钟，若析出黄色沉淀证明有 PO_4^{3-} 。

三、 CO_3^{2-} 的鉴定反应 (逸出 CO_2 法)

在试管中放少许固体试样或 5~8 滴试液，加与试样或试液约等体积的 2N HCl 溶液，立即将事先准备好的、带有有色玻棒〔玻棒上悬一滴饱和石灰水或 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液〕的软木塞塞好，仔细观察，如在 1~3min 内石灰水或 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 溶液迅速变浊，表示有 CO_3^{2-} 。但要注意，过量的 CO_2 使 CaCO_3 或 BaCO_3 转变为可溶性的酸式碳酸盐，而使混浊消失，故时间不宜太长。如有 SO_3^{2-} 共存，应在加入盐酸前，先加数滴 H_2O_2 使 SO_3^{2-} 氧化为 SO_4^{2-} ，因 SO_3^{2-} 在酸作用下放出的 SO_2 也与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 或 $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 作用产生混浊 (CaSO_4 或 BaSO_4)。

四、 NO_2^- 的鉴定反应 (合成偶氮染料法)

取一滴中性或酸性试液，加一滴1% 氨基苯磺酸（30% 乙酸中的）溶液，再加1滴 α -萘胺溶液（0.03g 试剂溶于70mL水中，煮沸，将无色清液与30mL冰乙酸混合），出现红色，表示有 NO_2^- 。

五、 NO_3^- 的鉴定反应（棕色环法）

在点滴板上放一滴试液，数粒硫酸亚铁晶体，沿边滴入一滴浓 H_2SO_4 ，沿硫酸亚铁晶体四周出现棕色环，示有 NO_3^- 。也可按下法在试管中进行：放三滴试液于试管中，加数粒硫酸亚铁晶体，摇动，使大部分溶解。然后将试管倾斜成 45° 左右，沿管壁慢慢流入6~8滴浓 H_2SO_4 ，不要摇动，让 H_2SO_4 与试液分成两层，两层界面有棕色环产生，示有 NO_3^- 。

在火电厂中，应用定性分析的实例很多，比如，确定水垢的主要组成，根据不同组成的水垢采取不同的操作程序，具体方法见表2-1。

表 2-1 用酸溶法确定水垢的组成

主要成分	酸 溶 解 情 况
碳酸盐垢	大量汽泡产生
硅酸盐垢	在热盐酸及硝酸中溶解慢，白色不溶物多
氧化铁垢	不溶于冷盐酸中，稍加硝酸即溶解。溶解后呈黄色溶液
铜垢	不溶于冷盐酸，稍加硝酸即溶解。溶液呈黄绿色或蓝色
磷酸盐垢	加钼酸铵试液再加硝酸呈黄色沉淀，在氨中溶解