

CBE
工业分析专业 **CBE** 教程

工业分析专业 CBE 教程编委会组织编写

无机物化学分析

◎ 黄晓云 主编

化学工业出版社
教材出版中心



(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

工业分析专业CBE教程/工业分析专业CBE教程
编委会组织编写. —北京: 化学工业出版社, 2000
ISBN 7-5025-2698-6

I. 工… II. 编… III. 工业分析-专业-CBE-教材
IV. 0621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 63846 号

工业分析专业 CBE 教程

无机物化学分析

工业分析专业 CBE 教程编委会组织编写

黄晓云 主编

责任编辑: 王文峡

责任校对: 陈 静

封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社

教材出版中心

出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787×960 毫米 1/16 印张 17 字数 291 千字

2000 年 7 月第 1 版 2000 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-2698-6/G·712

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

无论是中职的学生还是高职的学生,无论是在校学习还是在岗培训,无论是初入工业分析专业领域还是已有多年的工作经验。只要具有中学的文化基础,又立志于在工业分析专业领域发展,这套教材及其配套的多媒体学习包,将有助于了解分析学科领域,熟悉工业分析专业,乃至掌握工业分析技术。

工业分析专业是中职和正在迅速发展的高职的主干专业之一,其涉及的工业分析技术在国民经济建设中具有特殊的地位和作用,素有工农业生产的“眼睛”、科学研究的“参谋”和环境保护的“卫士”之称。作为一种检测工作,其行业覆盖面宽,应用领域十分广泛。特别是在今天,知识经济已初现端倪,信息技术创导的分析测试仪器快速换代,分析方法和技术日新月异,培养掌握这些技术的人才,用传统的方法已不适宜。

自1996年7月起,在全国化工中专教学指导委员会的领导下,经过对国际劳工组织创导的MES模式、德国的DYS(双元制)模式以及加拿大的CBE模式的比较分析,结合工业分析专业的特点,最终选择了用CBE模式对工业分析专业的课程体系进行改革。在上海化工学校、常州化工学校、徐州化工学校和新疆化工学校试点的基础上,逐步推向19所化工中专学校。1998年由全国化工中专教学指导委员会正式审定了《工业分析专业CBE模式教学文件》,同时确定了六门专业课程的教学大纲和相应六本教材的编审工作。其中包括《化学分析基本操作》、《无机物化学分析》、《有机化合物及其鉴别》、《工业分析技术》、《仪器分析技术》、《分析仪器维护》。与上述六本教材配套的多媒体学习包,其开发工作也予以部署,将在2000年内完成。

在这套教材的编写过程中,作者学习了CBE模式的指导思想,借鉴了加拿大职业技术培训教材的编写特色,在教学内容的安排上,力求三个基本统一,即

- (1) 系统阐述教学内容和专项能力模块化的统一;
- (2) 强化基础训练与引入近代技术的统一;
- (3) 照顾课堂教学与适应自定进度学习的统一。

在学习方法的引导上,力求传授知识、训练技能和端正态度的综合。以学习指南引路,以基础知识为铺垫,以技能训练为重点,通过阅读理解、练习测试、动手实践、自我评估等,养成良好的职业素质。教材的章节过渡引

用了美国教育心理学家布卢姆 (S.Bloom) 的思想, 即只有在掌握前述内容的前提下方可继续学习, 以便保障综合职业能力的形成。因此, 这套教材不仅适用于全日制学历教育, 也适用于各类培训和自学。

经过两年的辛勤工作, 这套教材终于和大家见面了。尽管编者想以此作为新世纪的礼物奉献给大家, 但 CBE 模式在工业分析专业中的应用毕竟是新生事物, 尚有许多不足之处, 恳请各位读者和教育同仁提出宝贵意见, 以便不断完善, 使其真正成为新世纪的硕果。

邬宪伟

1999 年 9 月 15 日

前言

本书是根据全国化工中专教学指导委员会 1999 年 2 月审定的“工业分析专业 CBE 模式教学计划”编写的。

其中包括无机定性分析和定量分析两大部分(打“※”号部分为高职内容)。各章均由学习指南、基本理论、计算示例、练习、技能训练、能力考核等六项内容组成,将理论与技能训练有机地揉合在一起。理论阐述力求简明扼要,实验操作的叙述尽量明确易行。特别值得一提的是本教材将侧重点放在自学能力的培养和技能训练上,在全书不多的篇幅中包含了“工业分析专业 DACUM 表”中 64 个专项能力。

本教材理论中的概念、术语都按国家标准中的定义加以论述;技能训练中的实验方法引用国家技术监督局颁布的最新标准。

本书中绪论及第 4、5、6、7、8 章由武汉化工学校黄晓云编写,第 1、2、3、9 章由吉林化工学校姜洪文编写,全书由黄晓云统一修改定稿,由徐州化工学校顾明华担任主审。

参加审稿的有河南化工学校赵淑芝、扬州化工学校穆华荣、徐州化工学校李广超、湖南化工学校李继睿、山东化工学校王瑞芬、天津化工学校于淑萍和广州化工学校陈光明等。上海化工学校李敏提出了很多宝贵的意见,为本书增辉不少。在此向他们表示诚挚的感谢。

限于编者的学识水平,书中难免存在不妥之处,期待着兄弟学校师生与读者批评、指正。

编者

1999 年 6 月

目 录

绪论	1
0.1 分析化学的任务和作用	1
0.1.1 分析化学的任务	1
0.1.2 分析化学的作用	1
0.2 分析方法的分类	2
0.2.1 化学分析	2
0.2.2 化学分析与仪器分析的关系	2
0.3 《无机物化学分析》学习指南	3
0.3.1 学习内容	3
0.3.2 本教材的特点	3
0.3.3 学习方法	4
1. 无机物鉴定基本知识	5
1.1 鉴定反应的特征和反应进行的条件	5
1.1.1 鉴定反应的特征	5
1.1.2 反应进行的条件	5
1.2 鉴定反应的灵敏度和选择性	7
1.2.1 反应的灵敏度	7
1.2.2 反应的选择性	8
1.3 空白试验和对照试验	8
1.3.1 空白试验	8
1.3.2 对照试验	8
1.4 分别分析和系统分析	9
1.4.1 分别分析	9
1.4.2 系统分析	9
练习	9
2. 阳离子鉴定技术	11
2.1 阳离子分组	11
2.1.1 H_2S (或 CH_3CSNH_2) 分组方案	11
2.1.2 两酸两碱分组方案	11
2.2 阳离子第 I 组	12

2.2.1 本组离子的性质和组试剂	12
2.2.2 鉴定反应	13
练习 2.1	13
2.2.3 技能训练	14
练习 2.2	16
2.3 阳离子第Ⅱ组	17
2.3.1 本组离子的性质与组试剂	17
2.3.2 鉴定反应	17
练习 2.3	19
2.3.3 技能训练	20
练习 2.4	23
2.4 阳离子第Ⅲ组	23
2.4.1 本组离子及其共性	23
2.4.2 组试剂及作用条件	24
2.4.3 鉴定反应	25
练习 2.5	28
2.4.4 技能训练	29
练习 2.6	34
2.5 阳离子第Ⅳ组	34
2.5.1 第Ⅳ组离子及其共性	34
2.5.2 组试剂及其作用条件	35
2.5.3 鉴定反应	35
练习 2.7	37
2.5.4 技能训练	37
练习 2.8	40
2.6 阳离子第Ⅴ组	40
2.6.1 本组离子及其共性	40
2.6.2 鉴定反应	40
练习 2.9	43
2.6.3 技能训练	44
练习 2.10	48
能力考核表	48
3. 阴离子鉴定技术	50
3.1 阴离子的重要性质	50
3.1.1 遇酸产生气体	50

3.1.2 氧化还原性	50
3.1.3 形成配合物	51
练习 3.1	51
3.2 阴离子分组	51
3.2.1 按钡盐和银盐的溶解度分组	51
3.2.2 按氧化还原性分组	52
练习 3.2	52
3.3 鉴定反应	52
3.3.1 卤离子鉴定反应	52
练习 3.3	54
3.3.2 技能训练	54
练习 3.4	58
3.3.3 CN^- 、 S^{2-} 、 SO_3^{2-} 的鉴定	58
练习 3.5	60
3.3.4 技能训练	60
练习 3.6	62
3.3.5 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 、 CO_3^{2-} 、 NO_2^- 的鉴定反应	63
练习 3.7	65
3.3.6 技能训练	66
练习 3.8	68
能力考核表	69
4. 无机物测量技术基础	70
4.1 化学试剂	70
4.1.1 化学试剂的分类及标志	70
4.1.2 化学试剂的选用	71
4.1.3 化学试剂的保存	71
4.1.4 化学试剂效能的简易判断	72
练习 4.1	72
4.2 实验数据及处理	72
4.2.1 实验数据的记录	73
4.2.2 有效数字的修约及运算规则	74
练习 4.2	75
4.3 测定中的误差	76
4.3.1 测量误差的种类及来源	76
4.3.2 误差和偏差的表示方法	77

4.3.3 提高分析结果准确度的方法·····	80
练习 4.3 ·····	81
4.4 分析结果的处理·····	81
4.4.1 可疑值的取舍·····	81
4.4.2 平均值的置信区间·····	83
4.4.3 极限数值的判定方法·····	84
练习 4.4 ·····	84
4.5 滴定分析·····	85
4.5.1 滴定分析中的基本术语·····	85
4.5.2 滴定分析对化学反应的要求·····	86
4.5.3 溶液的标识与配制·····	86
4.5.4 技能训练·····	92
4.5.5 滴定分析中的计算·····	92
4.5.6 滴定分析的误差·····	96
练习 4.5 ·····	97
4.6 开具实验(或分析)报告·····	98
※4.6.1 书写实验报告·····	98
4.6.2 开具分析报告·····	99
练习 4.6 ·····	99
能力考核表·····	100
5. 酸碱滴定法 ·····	101
5.1 基础知识 ·····	101
5.1.1 酸碱水溶液中酸碱度的计算 ·····	101
5.1.2 酸碱缓冲溶液 ·····	103
练习 5.1 ·····	106
5.1.3 技能训练 ·····	106
练习 5.2 ·····	107
5.2 酸碱指示剂 ·····	107
5.2.1 酸碱指示剂的作用原理及变色范围 ·····	107
5.2.2 常用酸碱指示剂及其配制 ·····	108
5.2.3 混合指示剂 ·····	109
练习 5.3 ·····	110
5.2.4 技能训练 ·····	110
练习 5.4 ·····	111
5.3 酸碱滴定基本原理 ·····	111

5.3.1 强酸滴定强碱或强碱滴定强酸	111
5.3.2 强碱滴定一元弱酸	113
5.3.3 强酸滴定一元弱碱	114
5.3.4 多元酸的滴定	115
5.3.5 多元碱的滴定	116
练习 5.5	117
5.4 酸碱标准滴定溶液	118
5.4.1 盐酸标准滴定溶液的配制和标定	118
5.4.2 氢氧化钠标准滴定溶液的配制和标定	119
5.4.3 计算示例	120
练习 5.6	121
5.4.4 技能训练	121
练习 5.7	122
练习 5.8	124
练习 5.9	125
5.5 测定物质的含量	126
5.5.1 工业硫酸纯度的测定	126
5.5.2 混合碱分析(双指示剂法)	126
5.5.3 计算示例	128
练习 5.10	129
5.5.4 技能训练	130
练习 5.11	131
练习 5.12	132
练习 5.13	133
能力考核表	133
6. 配位滴定法	135
6.1 基础知识	135
6.1.1 EDTA 及其配合物	135
6.1.2 配位滴定的基本原理	139
6.1.3 配位滴定的最高允许酸度	140
练习 6.1	142
6.2 金属指示剂	143
6.2.1 金属指示剂的作用原理	143
6.2.2 金属指示剂应具备的条件	144
6.2.3 指示剂的封闭及僵化	144

6.2.4 常用金属指示剂	145
练习 6.2	147
6.2.5 技能训练	148
6.3 EDTA 标准滴定溶液	148
6.3.1 EDTA 标准滴定溶液的配制	148
6.3.2 标定 EDTA 溶液的基准物质	149
6.3.3 EDTA 标定原理	150
练习 6.3	151
6.3.4 技能训练	151
练习 6.4	153
6.4 提高配位滴定选择性的方法	153
6.4.1 金属离子间无干扰的条件	153
6.4.2 消除干扰的方法	154
6.4.3 选用其他滴定剂	156
6.4.4 改变滴定方式	156
练习 6.5	157
6.5 配位滴定法测定物质含量	158
6.5.1 水中 Ca、Mg 含量的测定	158
6.5.2 铁、铝含量的连续测定	159
练习 6.6	160
6.5.3 技能训练	161
练习 6.7	162
练习 6.8	164
能力考核表	164
7. 氧化还原滴定法	166
7.1 基础知识	166
7.1.1 电极电位和能斯特方程	166
7.1.2 氧化还原反应的方向	168
7.1.3 氧化还原滴定曲线	168
7.1.4 氧化还原滴定中的指示剂	169
练习 7.1	170
7.2 高锰酸钾法	171
7.2.1 高锰酸钾法的原理及滴定条件	171
7.2.2 KMnO_4 标准滴定溶液	171
7.2.3 高锰酸钾法的应用	173

练习 7.2	174
7.2.4 技能训练	175
练习 7.3	176
练习 7.4	178
7.3 碘量法	178
7.3.1 碘量法的原理及分类	178
7.3.2 标准滴定溶液	179
7.3.3 碘量法的应用	180
7.3.4 计算示例	182
练习 7.5	183
7.3.5 技能训练	183
练习 7.6	186
练习 7.7	187
练习 7.8	189
练习 7.9	190
7.4 重铬酸钾法	190
7.4.1 重铬酸钾法的特点	190
7.4.2 $K_2Cr_2O_7$ 标准滴定溶液	191
7.4.3 $K_2Cr_2O_7$ 法的应用	191
7.4.4 计算示例	192
练习 7.10	193
7.4.5 技能训练	194
练习 7.11	195
练习 7.12	197
能力考核表	197
8. 沉淀滴定法	199
8.1 概述	199
8.1.1 沉淀滴定反应	199
8.1.2 滴定方式	199
8.1.3 银量法的分类	199
8.2 莫尔法	200
8.2.1 基本原理	200
8.2.2 滴定条件	200
8.2.3 $AgNO_3$ 标准滴定溶液	201
8.2.4 莫尔法的应用	201

练习 8.1	202
8.2.5 技能训练	203
练习 8.2	204
练习 8.3	205
8.3 佛尔哈德法	206
8.3.1 基本原理	206
8.3.2 反应条件	206
8.3.3 佛尔哈德法的应用	207
8.3.4 硫氰酸铵标准滴定溶液	207
练习 8.4	207
8.3.5 技能训练	208
练习 8.5	210
※8.4 法扬司法	210
8.4.1 原理	210
8.4.2 指示剂的选择	211
练习 8.6	212
能力考核表	212
9. 重量分析法	214
9.1 基础知识	214
9.1.1 重量分析的基本原理及方法分类	214
9.1.2 重量分析对试样量的估算和对沉淀形式的要求	215
9.1.3 影响沉淀完全的因素	216
9.1.4 沉淀的类型和沉淀条件	217
9.1.5 沉淀的纯净	219
9.1.6 沉淀的过滤、洗涤、烘干和灼烧	220
练习 9.1	220
9.2 重量分析结果计算	221
9.2.1 换算系数 k	221
9.2.2 计算示例	221
练习 9.2	222
9.3 重量分析法的应用	222
9.3.1 氯化钡含量的测定	222
9.3.2 磷酸盐含量的测定	223
9.3.3 混复合肥中钾含量的测定	223
练习 9.3	224

9.3.4 技能训练	224
练习 9.4	226
练习 9.5	228
练习 9.6	229
能力考核表	230
附录	231
1 定性分析试剂配制法	231
1.1 常见阳离子练习试液	231
1.2 常见阴离子练习试液	232
1.3 酸溶液	232
1.4 碱溶液	233
1.5 盐溶液	233
1.6 有机试剂	235
2 弱酸、弱碱在水中的离解常数	236
3 常用的酸和碱溶液的相对密度和浓度	238
4 不同浓度溶液的体积校正	239
5 氨羧配位剂类配合物的稳定常数 $\lg K$	240
6 标准电极电位	241
7 条件电极电位	244
8 难溶化合物的溶度积	246
9 化合物的相对分子质量	248
10 元素相对原子质量表	251
主要参考资料	252

结 论

无机物化学分析是分析化学的一部分。因此，在系统学习本课程时，应对分析化学有一个概括、全面的了解，同时也能明确无机物化学分析在分析化学中的重要地位。

0.1 分析化学的任务和作用

分析化学是研究物质组成、含量和结构的分析方法及有关理论的一门科学，是化学学科的一个重要分支。

0.1.1 分析化学的任务

分析化学包括定性分析和定量分析两大部分。定性分析是确定物质由哪些组分（元素、离子、基团或化合物）所组成。定量分析是测定物质中有关组分的相对含量。在进行分析工作时，首先须确定物质的定性组成，然后根据试样组成选择适当的定量分析方法测定有关组分的含量。当分析试样的来源、主要成分及主要杂质都是已知时，可不进行定性分析，而直接进行组分的定量分析。

0.1.2 分析化学的作用

分析化学是一门重要的学科，在化学学科本身的发展以及与化学有关的各学科领域中都起着重要的作用。在国民经济建设、国防建设和科学研究的发展中，分析化学具有更重要的实际意义。在工业方面，资源的勘探、原料的选择、工艺流程的控制、成品的检验以及新技术的探索、新产品的开发均离不开“分析”。在农业方面，土壤的普查、农产品质量检验、新品种的培育等也必须以分析结果作为主要依据。在尖端科学和国防建设中，像人造卫星、核武器的研制和生产，原子能材料、超导材料、超纯物质中微量杂质的分析等都需应用分析化学。

对于科学研究，只要涉及到化学反应的，几乎都需要分析测试；许多化学定律及理论都是用分析化学的方法加以验证的。

当前环境污染已成为全人类面临的严峻问题，环境保护已经引起人们的普遍重视。对大气和水质的监测、对“三废”的处理和综合利用、研究生态平衡、提高环境质量等，分析化学也发挥着重要作用。因此人们将“分析化学”比作工农业生产的“眼睛”，科学研究的“参谋”，以说明“分析化学”的重要作用。

0.2 分析方法的分类

分析化学的内容十分丰富,除按任务分为定性分析和定量分析外,还可根据分析对象、试样用量、被测组分的相对含量、测定原理和操作方法等分成不同的类别,如下表所示。

分析方法的分类

分类依据	分 类	特 征
分析对象	无机分析 有机分析	无机化合物的分析 有机化合物的分析
试样用量	常量分析 半微量分析 微量分析	$m > 0.1\text{g}$ $V > 10\text{mL}$ $0.1\text{g} > m > 0.01\text{g}$ $10\text{mL} > V > 1\text{mL}$ $0.01\text{g} > m > 0.001\text{g}$ $1\text{mL} > V > 0.01\text{mL}$
组分在试样中的质量分数	常量组分分析 微量组分分析 痕量组分分析	$w_B > 1\%$ $1\% > w_B > 0.01\%$ $0.01\% > w_B$
测定原理和操作方法	化学分析 仪器分析	根据化学反应的计量关系确定待测组分含量 以待测组分的物理或物理化学性质为基础

0.2.1 化学分析

以物质的化学反应为基础的分析方法称为化学分析法。

在定性分析中,许多分离和鉴定就是根据组分在化学反应中生成沉淀、气体或有色物质而进行的。

在定量分析中,是根据物质化学反应的计量关系来确定待测组分含量的,又分为重量分析法和滴定分析法。

(1) 重量分析法 使试样中的待测组分转化为另一种纯粹的、固定组成的化合物,再通过称量该化合物的质量,从而计算出待测组分含量的分析方法。根据分离的方法不同,可分为沉淀法和气化法。

(2) 滴定分析法 将已知浓度的试剂溶液(标准滴定溶液)滴加到待测物质的溶液中,直至所加试剂与待测组分反应达化学计量点时,根据所加试剂的体积和浓度计算出待测组分含量的分析方法。根据滴定时反应类型的不同,可分为酸碱滴定法、配位滴定法、氧化还原滴定法和沉淀滴定法四大类。

滴定分析法和重量分析法是分析化学的基础,是经典的化学分析法,通常用于待测组分在1%以上含量的测定。它们和无机物定性分析一起构成了本课程的全部内容,将分别在以后各章中详细论述。

0.2.2 化学分析与仪器分析的关系

以待测物质的物理性质或物理化学性质为基础的分析方法称物理或物理化学分析法。这类方法需要借助特殊的仪器进行测量,故通常将它们称为仪

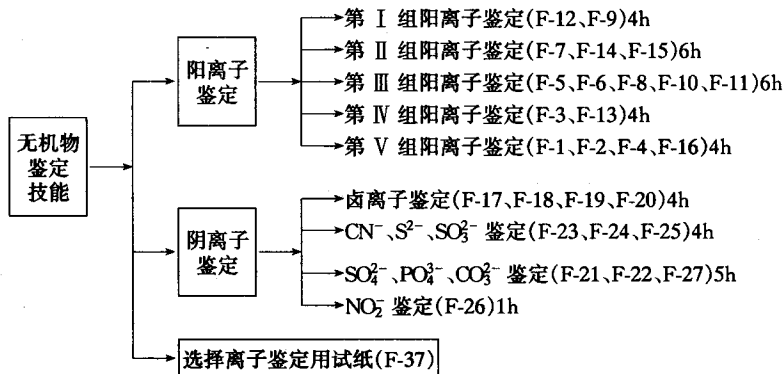
器分析法。仪器分析法包括光学分析、电化学分析、色谱分析等等。近年来还发展了一些新的仪器分析法,如质谱分析、核磁共振波谱分析、放射化学分析等。

仪器分析法的优点是迅速、灵敏、操作简便,能测定含量极低的组分。但是仪器分析是以化学分析为基础的,如试样预处理、制备标样、方法准确度的校验等都需要化学分析法来完成。因此仪器分析法和化学分析法是密切配合、相互补充的。只有掌握好化学分析法的基础知识和基本技能,才能学好和掌握仪器分析法。

0.3 《无机物化学分析》学习指南

0.3.1 学习内容

《无机物化学分析》是CBE系列教材之一,全书包括无机物定性分析和定量分析两大部分,共250学时,3个综合能力共64个专项能力。其中定性分析70学时,包含28个单项鉴定技能;定量分析180学时,包含36个单项技能。在本课程中你必须完成所有技能的学习。以下是与工业分析专业CBE模式教学文件中DACUM表对应的技能方块图。



0.3.2 本教材的特点

CBE强调以个体学习为主的学习方法,强调能力的针对性及掌握专项能力的可能性,是能力开发的一种教学模式,着重于能力的培养和训练。

本教材采取理论与实践紧密结合的方式,将全部理论与64个技能训练模块揉合成一体,力求做到言简意赅、便于学习、便于掌握各种操作,以达到规定标准及要求。

本教材中每一章开头都有学习指南,指出通过本章学习应掌握的理论及应具有的能力。在每节后面都有练习及相应的技能训练,使你能及时巩固自己所学知识,并将理论应用到实践之中。在每章后还附有能力考核表,便于学生进行自我检测对本章知识的掌握程度,也有利于教师的考核。