



全国职业教育“十三五”规划教材

分析化学

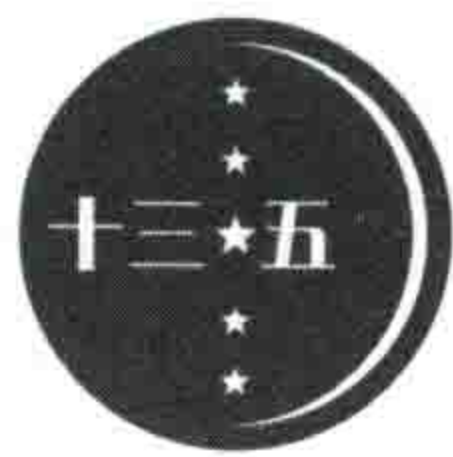
FENXI
HUAXUE

李晓莉 主编



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位



全国职业教育“十三五”规划教材

分析化学

FENXI
HUAXUE

李晓莉 主编

图书在版编目 (CIP) 数据

分析化学 / 李晓莉主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2017.5
全国职业教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5184-0885-6

I. ①分… II. ①李… III. ①分析化学—中等专业学校—
教材 IV. ①O65

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第063099号

责任编辑: 张 靓 责任终审: 唐是雯 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 锋尚设计 责任校对: 燕 杰 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街6号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2017年5月第1版第1次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18.75

字 数: 430千字

书 号: ISBN 978-7-5184-0885-6 定价: 42.00元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

151019J3X101ZBW

本书编写人员

主 编 李晓莉 广东省海洋工程职业技术学校

副主编 张金彩 天津市第一轻工业学校

参 编 顾金兰 天津市第一轻工业学校

王玉俊 广东省海洋工程职业技术学校

骆 东 广州市医药职业学校

黄小璇 广州市医药职业学校

张惠芬 武汉市东西湖区职业技术学校

前言



本教材根据《中等职业学校食品生物工艺专业教学标准》编写而成。

分析化学是食品生物工艺专业的一门主干专业基础课程。编者根据食品生物工艺专业教学标准对分析化学课程的要求，以培养学生在分析检验岗位上的职业能力和满足后续专业课程对知识、技能、素质的要求为主要目的，编写了本教材。

为了充分体现中等职业教育的特色，在选择教材内容时，注重内容的针对性、适用性以及实用性，理论知识在保证科学性的前提下以“够用”“实用”为度，实验部分坚持以能力为核心，强化实训操作技能，注重培养学生的综合应用能力；在确定编写体例时，将理论基础知识和实操项目协调整合成模块，主体内容包括“必备知识”、“思考练习”、“阅读与拓展”、“实训操作”四个板块，呈现了课程综合化的特点。本教材编写结构新颖合理，内容通俗易懂。

本教材共有九部分，内容包括绪论、分析化学实验基础知识、滴定分析概论、酸碱滴定法、配位滴定法、氧化还原滴定法、沉淀滴定法、重量分析法、定量分析的一般步骤等模块。本教材有以下特点：

（1）每个模块将理论知识与实训操作内容相互配套，适用于理论和实验教学一体化的教学模式。强调理论知识与技能的互相衔接与融通，注重培养学生的综合职业能力。

（2）理论知识遵循“实用为主，够用为度”的原则，适当降低难度，在“必备知识”中分解成若干知识点进行介绍，使其符合中职学生的知识和能力水平；“实训操作”内容包括基本技能训练、单项实验技术、综合实训三种不同层次的训练，由浅入深、由简单到复杂，循序渐进，有利于培养学生的技能；“阅读与拓展”介绍相关的化学史及新知识、新技术，拓宽学生的知识视野，激发学生的学习兴趣。

（3）教学内容结合《国家职业标准 化学检验工》，尽量采用现行国家

标准和各类企业标准，密切联系行业实际情况，融入了较多与实际分析检验岗位相结合的内容，侧重培养学生上岗就业的实际操作能力。

教材充分体现职业教育的针对性、职业性和目标性的特点。

全书由广东省海洋工程职业技术学校李晓莉任主编，天津市第一轻工业学校张金彩为副主编。绪论、模块三、模块八由李晓莉编写，模块一由天津市第一轻工业学校顾金兰编写，模块二由天津市第一轻工业学校张金彩编写，模块四由广州市医药职业学校骆东编写，模块五由广东省海洋工程职业技术学校王玉俊编写，模块六由广州市医药职业学校黄小璇编写，模块七由武汉市东西湖区职业技术学校张惠芬编写。

本书可作为中等职业学校食品类专业的必修课教材，也可作为环保、化工、医药等相关专业的教学用书或参考书，还可作为化学分析、检验工作者的参考用书。

参编人员所在学校的有关领导对教材的编写给予了大力支持，中国轻工业出版社对本书的编写工作给予了热情的指导和帮助，编者在此致以深切的谢意。

由于编者水平有限，书中难免出现疏漏，恳请专家和读者批评指正。

编者

目 录



绪论 / 1

【学习目标】	1
【必备知识】	1
知识点一 分析化学的任务和作用	1
知识点二 定量分析中的误差	4
知识点三 分析结果的数据处理	10
知识点四 化学检验工概述	14
【思考练习】	15
【阅读与拓展】	18
资料 分析化学的发展趋势	18

模块一 分析化学实验基础知识 / 19

【学习目标】	19
【必备知识】	19
知识点一 分析化学实验的目的与要求	19
知识点二 分析化学实验常用玻璃仪器与器材	21
知识点三 化学试剂的规格与分类	26
知识点四 安全操作与环保意识	32
【思考练习】	37
【阅读与拓展】	40
资料一 分析化学实验用水	40
资料二 分析化学实验室常用的非玻璃仪器	41
资料三 常用的电热设备	42
资料四 分析化学实验室常用天平	44
【实训操作】	45
实训一 常用玻璃仪器的洗涤与干燥	45
实训二 铬酸洗涤液（铬酸洗液）的配制	49

模块二 滴定分析概论 / 52

- 【学习目标】 52
- 【必备知识】 52
 - 知识点一 滴定分析法概述..... 52
 - 知识点二 基准物质与标准溶液..... 55
 - 知识点三 滴定分析的计算..... 59
- 【思考练习】 62
- 【阅读与拓展】 64
 - 资料一 容量瓶的使用..... 64
 - 资料二 称量瓶的使用..... 66
 - 资料三 水质与水质指标..... 68
- 【实训操作】 70
 - 实训一 移液管的使用..... 70
 - 实训二 滴定管的使用..... 73
 - 实训三 电子天平的使用..... 82

模块三 酸碱滴定法 / 86

- 【学习目标】 86
- 【必备知识】 86
 - 知识点一 水溶液中的酸碱电离平衡..... 86
 - 知识点二 酸碱溶液pH的计算 88
 - 知识点三 酸碱缓冲溶液..... 92
 - 知识点四 酸碱指示剂..... 94
 - 知识点五 滴定曲线与指示剂的选择..... 98
 - 知识点六 酸碱标准溶液的配制和标定..... 105
 - 知识点七 酸碱滴定法的应用..... 108
- 【思考练习】 113
- 【阅读与拓展】 116
 - 资料一 酸碱指示剂的发现..... 116
 - 资料二 酸雨..... 116
- 【实训操作】 117
 - 实训一 盐酸标准溶液的配制和标定..... 117
 - 实训二 氢氧化钠标准溶液的配制和标定..... 120
 - 实训三 食醋中总酸量的测定..... 122

模块四 配位滴定法 / 128

- 【学习目标】 126
- 【必备知识】 126
 - 知识点一 配位滴定法概述..... 126

知识点二	EDTA及其配合物	127
知识点三	金属指示剂	133
知识点四	提高配位滴定选择性的方法	136
知识点五	配位滴定的方式和应用	138
【思考练习】		141
【阅读与拓展】		143
资料一	EDTA用处多	143
资料二	水的硬度	145
【实训操作】		146
实训一	EDTA标准溶液的配制和标定	146
实训二	水中总硬度的测定	150

模块五 氧化还原滴定法 / 154

【学习目标】		154
【必备知识】		154
知识点一	电极电位	154
知识点二	氧化还原反应的平衡和速率	157
知识点三	氧化还原反应的滴定	161
知识点四	高锰酸钾法	163
知识点五	重铬酸钾法	167
知识点六	碘量法	170
知识点七	其他氧化还原方法	177
【思考练习】		179
【阅读与拓展】		182
资料一	维生素C的功效	182
资料二	重铬酸钾法测定化学需氧量 (COD_{Cr})	183
【实训操作】		184
实训一	KMnO_4 标准溶液的配制和标定	184
实训二	双氧水中 H_2O_2 含量的测定 (高锰酸钾法)	187
实训三	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 标准溶液的配制与标定	190
实训四	维生素C药片中维生素C含量的测定 (碘量法)	192

模块六 沉淀滴定法 / 196

【学习目标】		196
【必备知识】		196
知识点一	沉淀滴定法概述	196
知识点二	莫尔法	197
知识点三	佛尔哈德法	199
知识点四	法扬司法	202

知识点五 标准溶液的配制与标定	204
知识点六 应用与实例	206
【思考练习】	207
【阅读与拓展】	211
资料一 佛尔哈德与他的沉淀滴定法	211
资料二 硝酸银标准溶液的稳定性	212
【实训操作】	213
实训一 硝酸银标准溶液的配制和标定	213
实训二 生理盐水中氯化钠的含量测定	216

模块七 重量分析法 / 220

【学习目标】	220
【必备知识】	220
知识点一 重量分析法概述	220
知识点二 重量分析法对沉淀条件的选择	223
知识点三 重量分析结果计算	227
【思考练习】	229
【阅读与拓展】	231
资料一 最早的定量分析	231
资料二 从孤儿到化学大师	232
【实训操作】	233
实训一 重量分析法基本操作	233
实训二 化学试剂 $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 中钡含量的测定	240

模块八 定量分析的一般步骤 / 244

【学习目标】	244
【必备知识】	244
知识点一 试样的采取和制备	244
知识点二 试样的分解	246
知识点三 干扰组分的分离方法	248
知识点四 测定方法的选择	256
知识点五 分析结果的评价	257
【思考练习】	258
【阅读与拓展】	260
资料一 膜分离技术	260
资料二 微波萃取法	261
【实训操作】	262
实训 碳酸钙含量的测定	262

附录 / 266

- 一 国家职业标准对化学检验工（中级）的工作要求… 266
- 二 弱酸和弱碱的离解常数（25℃） 270
- 三 几种常用缓冲溶液的配制..... 272
- 四 常用酸碱溶液的相对密度和浓度..... 273
- 五 常用标准溶液保存期限..... 273
- 六 金属离子与氨羧配位剂类配合物的稳定
常数（18~25℃） 274
- 七 氧化还原电对的标准电极电位及条件电极电位..... 275
- 八 难溶化合物的溶度积常数..... 278
- 九 不同浓度标准溶液的温度补正值..... 280
- 十 常见化合物的摩尔质量..... 281
- 十一 元素相对原子质量（2005年） 285

参考文献 / 287

绪 论

学习目标

1. 了解分析化学的定义、任务和作用。
2. 理解分析方法的分类和特点。
3. 掌握误差的分类及产生的原因。
4. 理解准确度、精密度的概念以及准确度与精密度之间的关系。
5. 掌握误差和偏差的计算方法。
6. 掌握有效数字的概念及运算规则。
7. 能够运用 Q 检验法进行可疑值的取舍。
8. 了解化学检验工的职业道德、基本要求及职业技能鉴定方式。

必备知识

知识点一 分析化学的任务和作用

一、分析化学的任务和作用

分析化学是研究物质的组成、含量、结构和形态等化学信息的分析方法及相关理论的一门科学，是化学的一个重要分支。

分析化学的主要任务是鉴定物质的化学组成、测定各组分的含量、表征物质的结构和形态，即它所要解决的问题是物质是由哪些组分组成的，这些组分在物质中是如何存在的，以及各组分的含量有多少。

分析化学是一门重要的工具学科。其基本理论、实验方法、分析测试技术不仅为化学科学的发展奠定了重要的基础，而且对与化学相关的其他领域也起

着十分重要的作用。例如，在工业方面，从工业原料的选择、流程控制、新产品试制直至成品检验；在农业方面，从土壤成分及性质的测定，化肥、农药的分析到作物生长过程的研究；在国防建设方面，国防核武器和航天材料的生产 and 研制，核污染和生化污染的预警与防范，进出口贸易的原料、成品的质量检验，无不依赖分析化学的配合。此外，分析化学在生命科学、材料科学、能源科学、环境科学、生物学等科学技术方面，起着不可取代的作用。如：病理诊断的化验、药品规格的检测、环境的监控等都需要分析化学的技术。

分析化学在工业、农业、国防建设和科学技术现代化进程中发挥着极其重要的作用，它是人类认识物质世界的“眼睛”，改造物质世界的“参谋”。

二、分析方法的分类

分析化学根据分析任务、分析对象、测定原理、操作方法、试样用量、工作性质的不同，分为多种类型。

（一）按分析化学的任务分类

分为定性分析、定量分析和结构分析。

（1）定性分析 其任务是检测物质由哪些组分（元素、离子、基团或化合物）所组成。

（2）定量分析 其任务是确定组成物质的各个组分的含量。

（3）结构分析 其任务是研究物质的分子结构或晶体结构。

（二）按分析对象分类

分为无机分析和有机分析。

（1）无机分析 指分析对象是无机物的分析方法。组成无机物的元素种类较多，通常要求鉴定试样是由哪些元素、离子、原子团或化合物组成，以及各组分的含量。

（2）有机分析 指分析对象是有机物的分析方法。组成有机物的元素种类不多，主要是碳、氢、氧、氮、硫和卤素等，但有机物的分子结构很复杂，因此有机分析的重点是官能团分析和结构分析。

（三）按测定原理和操作方法分类

分为化学分析法和仪器分析法。

1. 化学分析法

以物质的化学反应为基础的分析方法称为化学分析法。化学分析法是分析化学的基础，历史悠久，又称经典分析法，主要分为滴定分析法和重量分析法。

（1）滴定分析法 将一种已知准确浓度的标准溶液，滴加到被测溶液中，直到所加的标准溶液与被测物质按化学计量关系定量反应为止。根据标准

溶液的浓度和所消耗的体积，计算出待测物质的含量。这种定量分析的方法称为滴定分析法，在常量分析中有较高的准确度。

(2) 重量分析法 通过化学反应及一系列操作步骤使试样中的待测组分转化为另一种组成恒定的化合物，再称量该化合物的质量，从而计算出待测组分的含量，这种方法称为重量分析法。

化学分析法的特点是仪器简单、操作方便、结果准确度高、应用范围广，常用于常量组分的测定。

2. 仪器分析法

以物质的物理和物理化学性质为基础的分析方法。这类方法通常需要较特殊的仪器，故又称为仪器分析法。它包括光学分析法、电化学分析法、色谱分析法、质谱分析法等，随着科学的发展，不断有新的分析方法出现，使仪器分析内容日益丰富。

仪器分析的特点是操作简便、分析速度快、灵敏度高，适用于微量组分、痕量组分的测定。

(四) 按试样用量分类

分为常量分析、半微量分析、微量分析和超微量分析。
各种分析方法的试样用量见表0-1。

表0-1 各种分析方法的试样用量

分析方法	试样质量/mg	试液体积/mL
常量分析	>100	>10
半微量分析	10~100	1~10
微量分析	0.1~10	0.01~1
超微量分析	<0.1	<0.01

(五) 按试样中被测组分的含量分类

分为常量组分分析、微量组分分析和痕量组分分析等，见表0-2。

表0-2 分析方法按被测组分含量分类

分析方法	待测组分含量/%
常量组分分析	>1
微量组分分析	0.01~1
痕量组分分析	<0.01

(六) 按分析工作性质分类

分为例行分析、快速分析和仲裁分析三类。

1. 例行分析

指一般实验室对日常生产中的原料、半成品和产品所进行的分析，又称常规分析。例如工厂化验室的日常分析等。

2. 快速分析

指一些简易、能在短时间内获得结果的分析。如土壤速测、炼钢厂炉前分析等。

3. 仲裁分析

指不同单位对某一产品的分析结果有争议时，要求权威的机构用公认的标准方法进行准确的分析，以判断原分析结果的准确性。

知识点二 定量分析中的误差

定量分析的任务是准确测定试样中组分的含量，要求测定结果必须达到一定的准确度，否则会导致生产上的损失、资源的浪费、科学上的错误结论。

然而在实际工作中，由于受分析方法、测量仪器、所用试剂和分析工作者熟练程度等主、客观条件的限制，测定结果和真实值不可能完全一致；即使是技术很熟练的人，用最完善的分析方法和最精密的仪器，对同一样品进行多次测定，其结果也不会完全一样。这说明分析过程中客观上存在难以避免的误差，测定的结果只是趋近于被测组分的真实含量，而不是被测组分的真实含量。所以，分析工作者应该了解分析过程中产生误差的原因及误差出现的规律，并采取相应的措施来减小误差，提高分析结果的准确程度。

一、误差的分类及产生的原因

测量值与真实值之间的差值称为误差。测量值大于真实值，误差为正；测量值小于真实值，误差为负。

根据误差的性质和产生的原因，误差可分为系统误差及随机误差两类。

1. 系统误差

系统误差是指由某种固定的原因造成的分析误差。它具有单向性，即正负、大小都有一定的规律性，当重复进行测定时系统误差会重复出现。若能找出原因，并设法加以校正，系统误差可以消除，因此也称为可测误差。

系统误差按其产生的原因分为以下几种。

(1) 方法误差 由于分析方法本身不够完善所造成的误差。这种误差与方法本身固有的特性有关，与分析者的操作技术无关。例如：滴定分析中，反应的不完全、副反应的发生及指示剂误差；重量分析中，选择的沉淀形式溶解度较大或称量形式不稳定等，都会引起系统误差。

(2) 仪器误差 由于仪器本身不够准确或未经校准所引起的误差。如砝

码质量未经校正，滴定管、容量瓶及移液管刻度不准等产生的误差。

(3) 试剂误差 由于试剂不纯或蒸馏水中含有微量待测组分等引起的误差。

(4) 操作误差 由于操作人员的主观偏见或视觉辨别力差，以及操作不当或技术不熟练造成的误差。例如，滴定管读数偏高或偏低，滴定终点颜色辨别偏深或偏浅等。

2. 随机误差

随机误差是由于某些偶然和意外的原因产生的分析误差，也称偶然误差。如测定时环境的温度、湿度和气压的微小波动，仪器性能的微小变化，分析人员操作的细小变化等，都会引起测量数据的波动，使测量结果有时偏高，有时偏低。随机误差是非单向性的，其大小、正负不定，故又称为不可测误差。它是客观存在的，不能通过校正的方法来减小或避免。

随机误差似乎没有规律性，但如果进行多次测定，则可发现随机误差的分布符合一般的统计规律，即：①大小相近的正、负误差出现的机会相等；②小误差出现的机会多，大误差出现的机会少，个别特别大的误差出现的机会极少。此规律可用误差正态分布曲线表示，见图0-1。

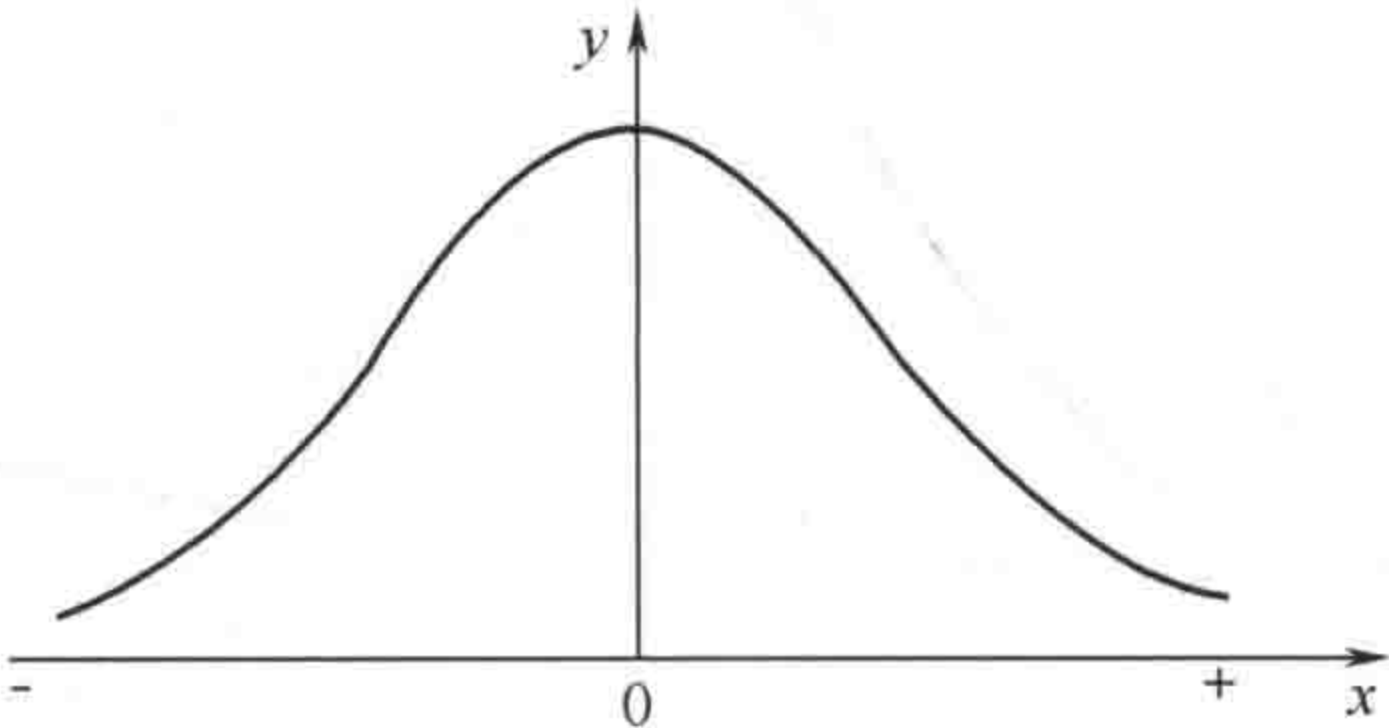


图0-1 误差的正态分布曲线

图0-1中，横坐标 x 代表误差的大小，纵坐标 y 代表误差发生的相对频率。在消除系统误差的前提下，操作细心，增加平行测定的次数，则大小相等的正负误差可以相互抵消，平均值就接近真实值。因此，可以通过适当增加平行测定次数取其平均值，减小随机误差。

除以上两类误差外，还有一种误差称为“过失误差”，是由于分析人员粗心大意或违反操作规程而造成的。例如，未洗净器皿、加错试剂、看错砝码、记录错误、溅失溶液等，皆可引起较大的误差。在处理所得数据时，如发现由于过失引起的误差，应该把该次测定所得的数据弃去。绝不允许把过失误差当随机误差。只要操作者工作认真、操作正确，过失误差是完全可以避免的。

二、误差和偏差的表示方法

(一) 真实值与平均值

1. 真实值

物质中各组分的实际含量称为真实值，它是客观存在的，但不可能准确知

道。真实值用 μ 表示。

2. 平均值

对样品进行多次平行测定时，常采用各次测定值的平均值来表示测定结果。各次测定值用 x 表示，平均值用 $\bar{x}$ 表示，则：

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (0-1)$$

为了简化起见，在下文中一般均以 $\sum x$ 代替 $\sum_{i=1}^n x_i$ 。

(二) 准确度与误差

1. 准确度

准确度是指测定值与真实值相接近的程度。准确度的高低用误差的大小来衡量。误差表示测定值与真实值的差异。差值越小，误差就越小，即分析结果的准确度越高。反之，差值越大，准确度越低。

2. 误差

误差是指测定值和真实值之间的差值。误差有正负之分，当误差为正值时，表示测定值偏高；误差为负值时，表示测定值偏低。误差可用绝对误差 (E) 和相对误差 (E_r) 表示。

(1) 绝对误差 (E) 是指测定值 x 与真实值 μ 之间的差值，即：

$$E = x - \mu \quad (0-2)$$

(2) 相对误差 (E_r) 是指绝对误差 E 在真实值 μ 中所占的百分率，即：

$$E_r = \frac{E}{\mu} \times 100\% \quad (0-3)$$

【例0-1】测定某铜矿中铜的含量为53.35%，若其真实含量为53.44%，求其绝对误差和相对误差。

解：绝对误差 $E = x - \mu = 53.35\% - 53.44\% = -0.09\%$

$$\text{相对误差 } E_r = \frac{E}{\mu} \times 100\% = \frac{-0.09\%}{53.44\%} \times 100\% = -0.17\%$$

由于相对误差能反映误差在真实值中所占的比例，故常用相对误差来表示或比较各种情况下测定结果的准确度。

(三) 精密度与偏差

在实际分析中，被测组分的真实值往往是不知道的，无法用准确度与误差来评价分析数据的可靠性，而只能采用精密度和偏差来判断分析结果的好坏。

1. 精密度

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。它体现测定结果的重现性。精密度的高低常用偏差来表示，偏差大，说明测定值的