

新世纪 全国高等中医药院校规划教材



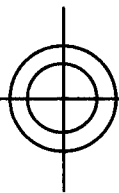
# 分析化学

(上册)

供中药类专业用

主编 黄世德 梁生旺

中国中医药出版社



新世纪全国高等中医药院校规划教材

# 分析化学

上册

(供中药类专业用)

- 主 编** 黄世德 (成都中医药大学)  
梁生旺 (河南中医学院)
- 副主编** 张 洁 (长春中医学院)  
王兆伦 (山东中医药大学)  
彭新君 (湖南中医学院)  
许腊英 (湖北中医学院)  
江 滨 (广州中医药大学)  
叶晓雯 (云南中医学院)  
李彦冰 (黑龙江中医药大学)
- 主 审** 陈定一 (北京中医药大学)

中国中医药出版社

· 北 京 ·

**图书在版编目(CIP)数据**

分析化学(上册)/黄世德,梁生旺主编. —北京:中国中医药出版社,2005.6

新世纪全国高等中医药院校规划教材

ISBN 7-80156-641-6

I. 分… II. ①黄… ②梁… III. 分析化学—中医学院—教材

IV. 065

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 015155 号

中国中医药出版社出版

发行者:中国中医药出版社

(北京市朝阳区北三环东路 28 号易亨大厦 电话:64405750

邮编:100013)

(邮购联系电话:84042153 64065413)

印刷者:北京市卫顺印刷厂

经销者:新华书店总店北京发行所

开本:850×1168 毫米 16 开

字数:383 千字

印张:16.5

版次:2005 年 6 月第 1 版

印次:2006 年 1 月第 2 次印刷

册数:5001—10000

书号:ISBN 7-80156-641-6/R·641

定价:20.00 元

如有质量问题,请与出版社出版部调换。

HTTP://WWW.CPTCM.COM

# 全国高等中医药专业教材建设

## 专家指导委员会

主任委员 李振吉 (国家中医药管理局副局长)  
副主任委员 王永炎 (中国中医研究院名誉院长 中国工程院院士)  
贺兴东 (国家中医药管理局科技教育司司长)

委员 (按姓氏笔画排列)

王绵之 (北京中医药大学 教授)  
王明来 (国家中医药管理局科技教育司副司长)  
王新陆 (山东中医药大学校长 教授)  
邓铁涛 (广州中医药大学 教授)  
石学敏 (天津中医学院教授 中国工程院院士)  
龙致贤 (北京中医药大学 教授)  
皮持衡 (江西中医学院 教授)  
刘振民 (北京中医药大学 教授)  
任继学 (长春中医学院 教授)  
严世芸 (上海中医药大学校长 教授)  
李任先 (广州中医药大学 教授)  
李庆生 (云南中医学院院长 教授)  
吴咸中 (天津中西医结合医院教授 中国工程院院士)  
张士卿 (甘肃中医学院院长 教授)  
肖培根 (中国医学科学院教授 中国工程院院士)  
陈可冀 (中国中医研究院教授 中国科学院院士)  
周仲瑛 (南京中医药大学 教授)  
郑守曾 (北京中医药大学校长 教授)  
胡之璧 (上海中医药大学教授 中国工程院院士)  
项平 (南京中医药大学校长 教授)  
施杞 (上海中医药大学 教授)  
徐志伟 (广州中医药大学副校长 教授)

曹洪欣	(黑龙江中医药大学校长	教授)
梁繁荣	(成都中医药大学副校长	教授)
焦树德	(中日友好医院	教授)
路志正	(中国中医研究院	教授)
颜德馨	(上海铁路医院	教授)

## 前 言

“新世纪全国高等中医药院校规划教材”是依据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，在教育部、国家中医药管理局规划指导下，由全国中医药高等教育学会组织、全国高等中医药院校联合编写、中国中医药出版社出版的高等中医药院校本科系列教材。

本系列教材采用了“政府指导、学会主办、院校联办、出版社协办”的运作机制。为确保教材的质量，在教育部和国家中医药管理局指导下，建立了系统完善的教材管理体制，成立了全国高等中医药专业教材建设专家指导委员会、全国高等中医药教材建设研究会，对本系列教材进行了整体规划，在主编遴选、教学大纲和教材编写大纲、教材质量等方面进行了严格的审查、审定。

本系列教材立足改革，更新观念，以新的专业目录为依据，以国家规划教材为重点，按主干教材、配套教材、改革创新教材分类，以宽基础、重实践为原则，是一套以国家规划教材为重点，门类齐全，适应培养新世纪中医药高素质、创造性人才需要的系列教材。在教材组织编写的过程中引入了竞争机制，教材主编和参编人员全国招标，按照条件严格遴选，专家指导委员会审议，择优确定，形成了一支以一线专家为主体，以老带新的高水平的教材编写队伍，并实行主编负责制，以确保教材质量。

本系列教材编写实施“精品战略”，从教材规划到教材编写、专家审稿、编辑加工、出版，都有计划、有步骤实施，层层把关，步步强化，使“精品意识”、“质量意识”贯彻全过程。每种教材的教学大纲、编写大纲、样稿、全稿，都经过专家指导委员会审定，都经历了编写会、审稿会、定稿会的反复论证，不断完善，重点提高内在质量。尤其是根据中医药教材的特点，在继承与发扬、传统与现代、理论与实践、中医与西医等方面进行了重点论证，并在继承传统精髓的基础上择优吸收现代研究成果；在写作方法上，大胆创新，使教材内容更为系统化、科学化、合理化，更便于教学，更利于学生系统掌握基本理论、基本知识和基本技能；注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

在出版方面，出版社全面提高“精品意识”、“质量意识”，从编辑、设计、印刷、装帧质量，在各个环节都精心组织、精心施工，力争出版高水平的精品教材，使中医药教材的出版质量上一个新台阶。

本系列教材按照中医药专业培养目标和国家中医药执业医师资格考试要求，以国家规划教材为重点，门类齐全，适合全国各高等中医药院校中医学专业、针灸推拿学专业、中药学专业本科教学使用。是国家中医执业医师资格考试、国家中医药专业技术人员职称资格考试的参考书。

本系列教材于2002年年底出版的主要为中医专业、针灸推拿专业、中药专业教材，共计46门，其中34门被教育部评选为“普通高等教育‘十五’国家级规划教材”。

值得提出的是，本系列教材在审定时，专家指导委员会王永炎院士、邓铁涛教授、任继学教授、肖培根院士、胡之璧院士等专家对教材书稿进行了严格把关，提出精辟的意见，对保证教材质量起了重要作用；本套教材的编写出版，得到中国中医药出版社和全国高等中医药院校在人力、物力上的大力支持，为教材的编写出版创造了有利条件。各高等中医药院校，既是教材的使用单位，又是教材编写任务的承担单位，在本套教材建设中起到了主体作用。在此一并致谢！

本系列教材在继承的基础上进行了一定力度的改革与创新，在探索的过程中难免有不足之处，甚或错漏之处，敬请各教学单位、各位教学人员在使用中发现问题，及时提出批评指正，以便我们重印或再版时予以修改，使教材质量不断提高，更好地适应新世纪中医药人才培养需要。

全国中医药高等教育学会  
全国高等中医药教材建设研究会

2002年8月

# 新世纪全国高等中医药院校规划教材

## 《分析化学》编委会

主 编 黄世德 (成都中医药大学)

梁生旺 (河南中医学院)

副主编 张 洁 (长春中医学院)

王兆伦 (山东中医药大学)

彭新君 (湖南中医学院)

许腊英 (湖北中医学院)

江 滨 (广州中医药大学)

叶晓雯 (云南中医学院)

李彦冰 (黑龙江中医药大学)

编 委 (以姓氏笔画为序)

万 丽 (成都中医药大学)

王新宏 (上海中医药大学)

王淑美 (河南中医学院)

尹 华 (浙江中医学院)

李 锦 (天津中医学院)

张 丽 (南京中医药大学)

张元桐 (辽宁中医学院)

张明昶 (贵阳中医学院)

张小荣 (西南交通大学药学院)

陈 丽 (福建中医学院)

侯小涛 (广西中医学院)

彭晓霞 (甘肃中医学院)

谢晓梅 (安徽中医学院)

主 审 陈定一 (北京中医药大学)



# 编写说明

普通高等中医药院校《分析化学》教材已先后出版了三版。本教材是根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神,为适应我国高等中医药教育发展的需要,全面推进素质教育,培养21世纪高素质创新人才而编写的“新世纪全国高等中医药院校规划教材”之一。本书(上、下册)共二十三章,其中上册十章,下册十三章。可供全国高等院校中药类各专业及其他相关专业使用,也可供有关科研和药品检验部门的人员参阅。按照现有教学大纲要求,参照各兄弟院校提出的宝贵意见,本教材除保持原教材的特色外,对有关内容进行了精选、调整和充实,使教材基本内容更为突出、适用。将原教材第十二章可见分光光度法和第十三章紫外分光光度法两章合并为紫外-可见分光光度法一章;第十七章核磁共振氢谱和第十八章核磁共振碳谱两章合并为核磁共振波谱法一章;删去了原教材第二十六章流动注射分析法。本教材主编为黄世德、梁生旺,参加编写的有黄世德(第1章)、江滨(第2章)、李锦(第3章)、张元桐(第4、7章)、尹华(第5章)、彭晓霞(第6章)、侯小涛(第8章)、王兆伦(第9章)、谢晓梅(第10章)、王淑美(第11章)、张丽(第12章)、张明昶(第13章)、彭新君(第14章)、张洁(第15章)、陈丽(第16章1~8节)、万丽(第17章)、王新宏(第18章)、梁生旺(第19章、第16章第9节)、张小荣(第20章)、叶晓雯(第21章)、许腊英(第22章)、李彦冰(第23章)等二十一所兄弟院校的老师。编委会对教材的每章内容都进行了认真的讨论,并由相应的副主编分别初审、修改,然后由主编黄世德复审、修改、定稿上册,梁生旺主编复审、修改、定稿下册。在编写过程中得到了各位编写老师所在单位的大力支持,尤其是《分析化学》第一版、第二版主编北京中医药大学教授陈定一主审对本书的编写提出了许多宝贵的建议,并参加了统稿会议和定稿会议,在此一并表示感谢。

由于科学技术的飞速发展,又囿于编写者知识水平,书中存在的错误和不妥之处在所难免,恳请广大师生和读者批评指正。

《分析化学》编委会

二〇〇五年五月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	(1)
<b>第一节 分析化学的任务和作用</b> .....	(1)
<b>第二节 分析方法的分类</b> .....	(2)
一、定性分析、定量分析、结构分析和形态分析.....	(2)
二、无机分析和有机分析.....	(2)
三、化学分析和仪器分析.....	(2)
(一) 化学分析.....	(2)
(二) 仪器分析.....	(3)
四、常量、半微量、微量与超微量分析.....	(3)
五、例行分析与仲裁分析.....	(4)
<b>第三节 定性分析简介</b> .....	(4)
一、有机定性分析和无机定性分析.....	(4)
(一) 有机定性分析.....	(4)
(二) 无机定性分析.....	(4)
二、分析反应和反应的条件.....	(5)
(一) 分析反应.....	(5)
(二) 分析反应的条件.....	(5)
三、反应的灵敏度和选择性.....	(6)
(一) 反应的灵敏度.....	(6)
(二) 反应的选择性.....	(7)
四、空白试验与对照试验.....	(7)
<b>第四节 试样分析的基本程序</b> .....	(8)
一、取样.....	(8)
二、试样的制备.....	(8)
(一) 试样的分解.....	(8)
(二) 试样的分离处理.....	(9)
三、含量测定.....	(9)
四、数据处理.....	(9)
<b>第五节 分析化学的发展概况、现状和展望</b> .....	(10)
<b>第二章 误差和分析数据的处理</b> .....	(12)
<b>第一节 误差及其产生原因</b> .....	(12)

一、系统误差 .....	(12)
(一) 方法误差 .....	(12)
(二) 仪器和试剂误差 .....	(12)
(三) 操作误差 .....	(13)
二、偶然误差 .....	(13)
第二节 准确度与精密度 .....	(13)
一、准确度与误差 .....	(13)
(一) 绝对误差 .....	(13)
(二) 相对误差 .....	(14)
二、精密度与偏差 .....	(14)
(一) 绝对偏差与相对偏差 .....	(14)
(二) 平均偏差与相对平均偏差 .....	(14)
(三) 标准偏差与相对标准偏差 .....	(15)
三、准确度与精密度的关系 .....	(16)
四、误差的传递 .....	(17)
(一) 系统误差的传递 .....	(17)
(二) 偶然误差的传递 .....	(18)
五、提高分析结果准确度的方法 .....	(19)
(一) 选择适当的分析方法 .....	(19)
(二) 减少测量误差 .....	(19)
(三) 减小偶然误差的影响 .....	(19)
(四) 检验并消除测量过程中的系统误差 .....	(20)
第三节 有效数字及其计算规则 .....	(21)
一、有效数字 .....	(21)
二、计算规则 .....	(22)
(一) 有效数字的运算规则 .....	(22)
(二) 有效数字的修约规则 .....	(22)
第四节 分析数据的处理 .....	(23)
一、基本概念 .....	(24)
(一) 误差的正态分布曲线 .....	(24)
(二) $t$ 分布 .....	(24)
二、置信度与平均值的置信区间 .....	(25)
三、差别检验 .....	(26)
(一) $F$ 检验 .....	(26)
(二) $t$ 检验 .....	(28)
四、离群值的取舍 .....	(29)
(一) 舍弃商法( $Q$ 检验法) .....	(30)

(二) G 检验(Grubbs)法 .....	(30)
第五节 相关与回归简介 .....	(31)
一、相关系数 .....	(31)
二、回归 .....	(32)
<b>第三章 重量分析法</b> .....	(35)
第一节 概述 .....	(35)
第二节 挥发重量法 .....	(35)
第三节 萃取重量法 .....	(37)
第四节 沉淀重量法 .....	(38)
一、试样的称取和溶解 .....	(38)
二、沉淀的制备 .....	(39)
(一) 沉淀剂的选择及用量 .....	(39)
(二) 沉淀法对沉淀的要求 .....	(39)
(三) 沉淀的溶解度及其影响因素 .....	(40)
(四) 沉淀的纯度 .....	(42)
(五) 沉淀的形成与沉淀条件 .....	(44)
三、沉淀的过滤、洗涤、干燥和灼烧 .....	(47)
(一) 过滤 .....	(47)
(二) 洗涤 .....	(48)
(三) 干燥和灼烧 .....	(48)
四、分析结果的计算 .....	(49)
(一) 换算因数的计算 .....	(49)
(二) 沉淀剂用量计算 .....	(50)
(三) 待测物含量计算 .....	(50)
<b>第四章 滴定分析概论</b> .....	(53)
第一节 概述 .....	(53)
一、滴定分析法的特点和分类 .....	(53)
(一) 酸碱滴定法 .....	(53)
(二) 沉淀滴定法 .....	(54)
(三) 配位滴定法 .....	(54)
(四) 氧化还原滴定法 .....	(54)
二、滴定分析对滴定反应的要求 .....	(54)
(一) 反应必须定量完成 .....	(54)
(二) 反应速度要快 .....	(54)
(三) 有简便可靠的方法确定滴定终点 .....	(55)
三、滴定方式 .....	(55)
(一) 直接滴定法 .....	(55)

(二) 返滴定法 .....	(55)
(三) 置换滴定法 .....	(55)
(四) 间接滴定法 .....	(55)
第二节 基准物质与标准溶液 .....	(56)
一、基准物质 .....	(56)
(一) 基准物质的条件 .....	(56)
(二) 常用的基准物质 .....	(56)
二、标准溶液的配制 .....	(57)
(一) 直接配制法 .....	(57)
(二) 间接配制法 .....	(57)
三、标准溶液的标定 .....	(57)
(一) 用基准物质标定 .....	(57)
(二) 与标准溶液比较 .....	(57)
四、标准溶液浓度的表示方法 .....	(57)
(一) 物质的量浓度 .....	(57)
(二) 滴定度 .....	(58)
第三节 滴定分析的计算 .....	(59)
一、滴定分析的计算基础 .....	(59)
二、待测物含量的计算 .....	(62)
第五章 酸碱滴定法 .....	(65)
第一节 概述 .....	(65)
第二节 水溶液中的酸碱平衡 .....	(65)
一、酸碱质子理论 .....	(65)
(一) 质子理论的酸碱概念 .....	(65)
(二) 溶剂合质子概念 .....	(66)
(三) 溶剂的质子自递常数 .....	(67)
(四) 共轭酸碱对离解常数的关系 .....	(68)
二、酸碱溶液中各组分的分布 .....	(69)
(一) 酸的浓度、酸度和平衡浓度 .....	(69)
(二) 酸碱溶液中各组分的分布 .....	(69)
三、酸碱水溶液中 $H^+$ 浓度的计算 .....	(72)
(一) 强酸(强碱)溶液 $H^+$ 浓度的计算 .....	(73)
(二) 一元弱酸(弱碱)溶液 $H^+$ 浓度的计算 .....	(73)
(三) 多元酸(碱)溶液 $H^+$ 浓度的计算 .....	(74)
(四) 两性物质溶液 $H^+$ 浓度的计算 .....	(75)
(五) 缓冲溶液 $H^+$ 浓度的计算 .....	(76)
第三节 酸碱指示剂 .....	(77)

一、酸碱指示剂的变色原理 .....	(77)
二、酸碱指示剂的变色范围及其影响因素 .....	(78)
三、混合酸碱指示剂 .....	(80)
第四节 酸碱滴定曲线及指示剂的选择 .....	(82)
一、强酸、强碱滴定 .....	(82)
(一) 滴定曲线 .....	(82)
(二) 指示剂的选择 .....	(84)
(三) 浓度对突跃范围的影响 .....	(84)
二、一元弱酸(碱)的滴定 .....	(85)
(一) 滴定曲线 .....	(85)
(二) 指示剂的选择 .....	(86)
(三) 滴定可行性的判断 .....	(87)
三、多元酸(碱)的滴定 .....	(88)
(一) 多元酸的滴定 .....	(88)
(二) 多元碱的滴定 .....	(90)
四、滴定误差(终点误差) .....	(91)
(一) 强酸(碱)的滴定误差 .....	(91)
(二) 弱酸(碱)的滴定误差 .....	(91)
第五节 酸碱标准溶液的配制与标定 .....	(93)
一、酸标准溶液的配制与标定 .....	(93)
(一) 0.1mol/L HCl 溶液的配制 .....	(93)
(二) 0.1mol/L HCl 溶液的标定 .....	(93)
二、碱标准溶液的配制与标定 .....	(94)
(一) 0.1mol/L NaOH 溶液的配制 .....	(94)
(二) 0.1mol/L NaOH 溶液的标定 .....	(94)
第六节 应用实例 .....	(95)
一、直接滴定 .....	(95)
(一) 乌头中总生物碱含量测定 .....	(95)
(二) 颠茄酊中生物碱的含量测定 .....	(95)
(三) 药用 NaOH 含量的测定——双指示剂(滴定)法 .....	(96)
二、间接滴定 .....	(97)
(一) 硼酸含量的测定 .....	(97)
(二) 苦参总生物碱含量测定 .....	(98)
(三) 有机化合物中氮含量的测定——凯氏(Kjeldahl)定氮法 .....	(98)
第六章 非水滴定法 .....	(102)
第一节 概述 .....	(102)
第二节 溶剂的性质与作用 .....	(102)

一、溶剂的离解性.....	(102)
二、溶剂的酸碱性.....	(104)
三、溶剂的极性.....	(105)
四、溶剂的拉平与区分效应.....	(107)
五、溶剂化效应.....	(108)
第三节 溶剂的分类和选择.....	(110)
一、溶剂的分类.....	(110)
(一) 质子性溶剂.....	(110)
(二) 非质子性溶剂.....	(110)
二、溶剂的选择.....	(110)
第四节 非水滴定法的应用.....	(111)
一、碱的滴定.....	(111)
(一) 溶剂.....	(111)
(二) 标准溶液和基准物质.....	(112)
(三) 指示剂.....	(113)
(四) 应用实例.....	(114)
二、酸的滴定.....	(115)
(一) 溶剂.....	(115)
(二) 标准溶液与基准物质.....	(115)
(三) 指示剂.....	(115)
(四) 应用实例.....	(116)
第五节 线性滴定法简介.....	(117)
一、松下 宽函数式.....	(117)
二、应用实例.....	(119)
第七章 沉淀滴定法.....	(121)
第一节 概述.....	(121)
第二节 银量法.....	(121)
一、莫尔法.....	(121)
(一) 原理.....	(121)
(二) 滴定条件.....	(122)
(三) 应用范围.....	(123)
二、佛尔哈特法.....	(123)
(一) 原理.....	(123)
(二) 滴定条件.....	(124)
(三) 应用范围.....	(124)
三、法扬司法.....	(125)
(一) 原理.....	(125)

(二) 滴定条件	(125)
(三) 应用范围	(126)
第三节 标准溶液与基准物质	(126)
一、0.1mol/L AgNO <sub>3</sub> 溶液的配制与标定	(126)
二、0.1mol/L NH <sub>4</sub> SCN 溶液的配制与标定	(127)
第四节 应用实例	(127)
一、中药中无机卤化物和有机氢卤酸盐的测定	(127)
二、有机卤化物的测定	(128)
第八章 配位滴定法	(131)
第一节 概述	(131)
一、配位滴定法	(131)
二、配位滴定中常用配位剂	(131)
第二节 EDTA 的性质及其配合物	(132)
一、EDTA 在水溶液中的离解平衡	(132)
二、金属-EDTA 配合物的分析特性	(133)
第三节 配合物在溶液中的离解平衡	(134)
一、EDTA 与金属离子形成配合物的稳定性	(134)
(一) 稳定常数	(134)
(二) 累积平衡常数	(135)
二、影响 EDTA 配合物稳定性的因素	(135)
(一) 酸度的影响	(136)
(二) 其他配位剂的影响	(138)
(三) EDTA 配合物的条件稳定常数	(138)
第四节 配位滴定的基本原理	(140)
一、滴定曲线	(140)
二、影响滴定突跃大小的因素	(141)
(一) 金属离子浓度对滴定突跃的影响	(141)
(二) 条件稳定常数对滴定突跃的影响	(141)
(三) EDTA 滴定金属离子的条件	(142)
三、配位滴定中酸度的控制与条件的选择	(143)
(一) 缓冲溶液的作用	(143)
(二) 配位滴定的最高酸度和最低酸度	(143)
第五节 金属离子指示剂	(145)
一、金属离子指示剂的作用原理及必备条件	(145)
(一) 指示剂的作用原理	(145)
(二) 金属指示剂必备的条件	(145)
二、金属离子指示剂的选择	(146)



三、指示剂的封闭、僵化及变质现象.....	(146)
四、常用的金属指示剂.....	(147)
(一) 铬黑 T (eriochrome black T, EBT) .....	(147)
(二) 钙指示剂 (calcon, NN) .....	(147)
(三) PAN .....	(148)
(四) 二甲酚橙 (xylenol orange, XO) .....	(148)
第六节 提高配位滴定的选择性.....	(148)
一、消除干扰的条件.....	(148)
(一) 当单独存在 M 或 N 一种离子时 .....	(148)
(二) 当溶液中两种离子 M 和 N 共存时 .....	(148)
二、提高配位滴定选择性的措施.....	(150)
(一) 控制酸度.....	(150)
(二) 掩蔽干扰离子.....	(150)
(三) 分离干扰离子.....	(153)
(四) 选择其他配位剂.....	(153)
第七节 EDTA 标准溶液的配制与标定 .....	(153)
一、EDTA 标准溶液的配制 .....	(153)
二、EDTA 标准溶液的标定 .....	(153)
第八节 配位滴定方式及其应用.....	(154)
一、配位滴定方式.....	(154)
(一) 直接滴定法.....	(154)
(二) 间接滴定法.....	(154)
(三) 返滴定法.....	(155)
(四) 置换滴定法.....	(155)
二、应用实例.....	(156)
第九章 氧化还原滴定法.....	(159)
第一节 概述.....	(159)
第二节 氧化还原平衡.....	(159)
一、电极电位与 Nernst 方程式 .....	(159)
二、氧化还原反应进行的程度.....	(163)
三、氧化还原反应的速率及其影响因素.....	(164)
第三节 氧化还原滴定法原理.....	(166)
一、氧化还原滴定曲线.....	(166)
二、终点的确定方法.....	(168)
(一) 仪器分析法.....	(168)
(二) 指示剂法.....	(168)
第四节 碘量法.....	(170)