

分析化学手册

〔美〕 J.A.迪安 主编



科学出版社

www.sciencep.com

第 17 章 有机元素分析

17.1 碳、氢和氮的微量测定	17.2
17.1.1 干扰物质的消除	17.2
17.1.2 燃烧气的检测	17.2
17.2 总碳和总有机碳分析仪	17.3
17.3 凯氏定氮法	17.3
17.3.1 特殊样品	17.4
17.3.2 自动凯氏法	17.4
17.4 硫的测定	17.4
17.4.1 燃烧产物中硫的测定	17.4
17.4.2 管式燃烧法(人工)	17.5
17.4.3 Schöninger 燃烧法	17.5
17.5 卤素的测定	17.5
17.5.1 有机物的分解	17.5
17.5.2 安培滴定法测卤素	17.5
17.5.3 离子交换法分离卤素	17.5
17.6 氧的测定	17.6
17.7 其他非金属的测定	17.6
17.7.1 锑	17.6
17.7.2 砷	17.6
17.7.3 铋	17.6
17.7.4 硼	17.7
17.7.5 氟	17.7
17.7.6 磷	17.7
17.7.7 硅	17.7
17.7.8 硒和碲	17.7
17.8 有机物质中微量金属元素的测定	17.8
17.9 多元素微量分析法	17.8
参考书目	17.8
参考文献	17.9

17.1 碳、氢和氮的微量测定

有机物的特征是含有碳,通常也含有氢.因此,准确测定微量的碳和氢非常重要.在碳、氢和氮的分析中主要采用微量燃烧法.自动元素分析仪可以实现多个样品的自动分析.燃烧操作自动完成之后对燃烧气中的成分进行在线测定.计算机提供了数据处理、计算、报告及存储功能.该分析技术包含了几个实验步骤.

1. 清洗模式,称量的样品放入载样探头,探头封住后将燃烧气路中所有干扰气清洗干净.

2. 燃烧模式,样品放入陶瓷坩埚,然后送入燃烧炉于 900°C 让纯氧气通过,进行样品燃烧处理.放样品的容器可取出称量以检查残渣是否存在或残渣的量.也可以将样品与 Co_2O_3 (或 MnO_2 与 WO_3 的混合物)混合,再加热到样品燃烧温度,这里的金属氧化物提供了燃烧的氧源.有机物燃烧后生成物中可能含有二氧化碳、水气、氮气、氮氧化物及硫的氧化物.燃烧时间一般为 $10\sim 12\text{min}$.

3. 清除干扰元素.

4. 测定所生成的二氧化碳、氮气及水气.

17.1.1 干扰物质的消除

碳和氢测定中的干扰物有硫、卤素和氮.

加热至 $550\sim 670^{\circ}\text{C}$ 的铜可将氮氧化物还原为氮气,并可除去残留的氧.

碳-氢分析仪中用 MnO_2 除去氮氧化物.

氧化铜可将存在的 CO 转化为 CO_2 .

燃烧炉中间的 MgO 层可除去氟.

位于出口处的银丝塞可除去氯、碘、溴及因燃烧产生的任何含硫和含磷化合物.

CaO 可以在二级燃烧带除去硫的氧化物,所以水气不会与之结合生成亚硫酸或硫酸.

17.1.2 燃烧气的检测

多种技术可用于燃烧气中各成分的分离及检测,这包括气相色谱法(4.2节),热导测定法(4.2.5.1节),红外光谱法(第6章)及库仑法(14.8节).

17.1.2.1 气相色谱法

一种做法是先将燃烧气中除去多余的氧,用铜将氮氧化物还原为氮气,然后用作载气的氮气将二氧化碳、水及氮气带入色谱柱分离.根据色谱峰积分值的大小可以确定样品中各元素的含量.这种方法要求相对较小的样品量,以便燃烧产物可以形成一个样品栓注射到色谱柱.

另一种做法是让燃烧气通过一个碳化钙装置,这样水气可以定量地被转化为乙炔气.

然后样品被收集在一个处在液氮冷阱的管中。用一个阀封住燃烧联动装置,以便进行另一个样品的分析。将冷阱移去,加热样品管,用另一路干燥的氮气将样品气(N_2 , CO_2 和乙炔)带入色谱柱进行分离,分离约需 10min。

17.1.2.2 热导检测

检测使用三对差示热导检测器,在检测器中间置有特殊的吸附剂。氮气与样品气混合达到特定的压力,该混合气通过第一对检测器的样品通道。用高氯酸镁除去混合气中的水,除去水的混合气通过同一检测器的参比通道。同样,让除去水的混合气通过第二对检测器的样品通道,该气通过一个苏打-石棉捕获装置除去二氧化碳,然后再通过第二对检测器的参比通道,由此可测定二氧化碳。第三对检测器通过比较由第二对检测器出来的气体和纯氮气的热导测定氮气。

17.1.2.3 红外检测法

色散(6.2.3.1 节)和非色散红外检测器可用于水及二氧化碳的分析。一种非色散型红外光谱仪使用滤光片获得所需要波长的光。一种简单的滤光片式红外分析仪上配有由多个圆型干涉滤光片组成的转轮。

17.1.2.4 库仑检测

库仑检测器对 CO_2 100% 有效。对微克级的碳可以通过数字读出。氢可以通过用 CaCl_2 吸收燃烧步骤中所产生的水,然后加热使水释放并通过一种特定的物质使水定量转化为 CO_2 ,从而用库仑法检测。

17.2 总碳和总有机碳分析仪

总碳(TC)和总有机碳(TOC)分析仪适用于分析天然水、废水和海水样品。每隔一段时间(通常 TC 为 2.5min, TOC 为 5min)把样品注入含有恒量氧的氮载气通过的高温(900°C)反应器中。水样中所有可被氧化的成分燃烧变成稳定的氧化物,无机和有机碳全部转化为 CO_2 。生成的 CO_2 随着载气通过过滤器以除去腐蚀性杂质和干扰物质。然后,载气通过非色散型红外分析仪。

为了区分 TC 和 TOC,另取一份样品溶于一定浓度的酸。样品中的无机碳转化为 CO_2 并被氮气带走而除去,然后不含任何无机碳的样品可按上面检测 TC 的方法来测定以确定 TOC。

17.3 凯氏定氮法

凯氏(Kjeldahl)定氮法是用硫酸及催化剂消解样品,有机物被破坏,氮转化为硫酸铵。继续加热,直到溶液变为无色或浅黄色。硒、铜、汞及它们的盐都可用作催化剂。如果在催化剂中加入 K_2SO_4 可以提高温度,从而加速分解。在整个催化过程中要用空白做对照。

消解完全后,冷却烧瓶。小心用蒸馏水稀释并冷却至室温。安装蒸馏装置,并使水冷

凝器接收头的尖端正好低于接收瓶中溶液的液面。沿消化烧瓶壁小心倒入浓 NaOH 溶液以防止瓶中溶液的混合。加入几粒锌粒和一片 pH 试纸,立即把烧瓶与一个喷出液接收器和冷凝器连接起来。轻摇溶液使之混合;试纸可以指示碱度。加热至沸,以稳定速度蒸至只剩 1/3 溶液为止。

当反应液变为碱性时,氨释放出并被蒸汽带出。(1)传统方法是用过量已知浓度的标准 HCl 溶液吸收馏分,未反应的 HCl 在甲基红或溴甲酚绿指示下用标准 NaOH 溶液滴定。指示剂在铵离子相应浓度的 pH 值附近会变色。(2)硼酸法是用过量的硼酸(晶体)吸收馏分,生成的硼酸盐用标准 HCl 溶液滴定,用甲基红或溴甲酚绿作指示剂。

17.3.1 特殊样品

含有 N—O 或 N—N 键的化合物在凯氏定氮之前要预处理或进行还原。N—O 键在酸性条件下可被锌或铁还原。不过对于 N—N 键还没有常规方法。

含有高浓度卤化物的样品会对氮的测定产生一定程度的影响,因为生成的含氧酸可将氨氧化为氮气。

对含有硝酸盐的混合物,可以加入水杨酸使之生成可被硫代硫酸钠还原的硝基水杨酸,然后可按上述方法进行消化。

17.3.2 自动凯氏法

Technicon 自动分析仪是基于凯氏定氮的消解方法。样品被含有 SeO_2 、硫酸和高氯酸的混合物消解,然后将消解液调至确定的体积,并放入自动分析仪中。消解液中的硫酸氢铵被自动取样并用 NaOH 处理。释放的氨气与苯酚-次氯酸盐试剂混合产生蓝色,然后用滤片式分光光度计测定。

17.4 硫的测定

硫的测定与前面有关碳和氢测定的步骤基本相同。在数字式电子天平上称取 1g 的固体样品到燃烧舟中。煤或焦炭样品用一层五氧化二钒粉末覆盖。五氧化二钒用来缓和样品燃烧的速度。把燃烧舟放入电阻炉燃烧室。氧化燃烧使有机物转变为 CO_2 、水、 SO_2 和 SO_3 。提高温度至 1350°C 可以保证产物为 SO_2 而不含 SO_3 。水气和烟尘被分离装置除掉。

液体样品(如石油样品)可以滴加到带盖坩埚中的 V_2O_5 上。坩埚盖用来减缓挥发性样品的燃烧。

17.4.1 燃烧产物中硫的测定

各种方法可用于氧化后硫的测定。一种简单、直接的方法是用选择性红外检测器来检测 SO_2 气体。

在安培滴定法中, SO_2 通过加热的管道从溶炉进入分析仪中的反应器。 SO_2 被特定

配方的稀释液吸收,然后用碘量法滴定. 给处在稀释液中的铂电极预设一个电流值,当吸收液吸收 SO_2 时电流减小. 电流增加时滴定管可以自动释放精确量的滴定剂到稀释液中使电流回到预先设定的水平. 100mg 样品可以测出 0.005% 的硫. 这种方法的独特性在于它可以排除氯、有机氮、磷和铅抗暴剂的干扰.

17.4.2 管式燃烧法(人工)

这种人工方法使样品在 V_2O_5 或 WO_3 催化剂存在下与纯氧在 1000°C 的刚玉管中燃烧. 燃烧产物依次通过高氯酸镁、8-羟基喹啉和金属铜(加热至 840°C)以除去水、卤素和氧. 残留的气体被中性过氧化氢吸收,其中的 SO_2 全部转化为硫酸,即可用标准碱液滴定.

17.4.3 Schöniger 燃烧法

Schöniger 燃烧法中硫被氧化为 SO_2 和 SO_3 ,然后用过氧化氢将其氧化为 H_2SO_4 . 这种方法在 1.7.3.1 节中已有叙述,它仅适用于非挥发性化合物.

17.5 卤素的测定

这里的卤素只包括氯、溴和碘.

17.5.1 有机物的分解

样品在 700°C 的氧气环境中用铂作催化剂进行分解. 产生的气体被含有胂的碳酸钠溶液吸收.

17.5.2 安培滴定法测卤素

利用旋转微电极(参见 14.5.6 节,安培滴定法)可以对碘、溴和氯用 AgNO_3 依次滴定. 在 $0.1\sim 0.3\text{mol/L}$ 的氨溶液中,只有碘化银沉淀. 指示电极控制在 -0.2V (相对于 SCE). 在碘的滴定中,电流保持在零或零附近,直至碘离子消耗完全,然后上升. 到达终点后纪录 3~4 个点,然后将溶液用硝酸酸化并使其浓度为 0.8mol/L . 多余的银离子和从银氨络合物中解离的银离子会立即与溴离子结合生成 AgBr 沉淀,电流又降为零. 将指示电极调到 $+0.2\text{V}$ (相对于 SCE). 当溴滴完后电流重新上升. 氯的终点在加入足量明胶使其浓度为 0.1% 的溶液中可以达到. 明胶掩蔽了因为氯化银引起的电流. 在氯终点之后继续滴定直到电流重新上升.

17.5.3 离子交换法分离卤素

卤素的阴离子交换分离是在硝酸盐型 Dowex1-X10 柱上用 NaNO_3 洗脱的. 例如,在 $3.7\text{cm}^2 \times 7.4\text{cm}$ 的 Dowex 1-X10 柱上,用 0.5mol/L 的 NaNO_3 以 $1.0\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度洗脱氯离子,共用 50mL. 然后换用 2.0mol/L 的 NaNO_3 50mL 可以洗脱溴离子. 最后,碘离

子需用 75~275mL 更浓的 NaNO_3 才能洗脱. 分离后的卤离子可用 AgNO_3 电位滴定法测定.

17.6 氧的测定

氧的测定是采用含有铂碳的石英高温分解管,后面接一个含氧化铜的管子. 操作在 900℃ 的氮气环境中进行. 样品中的氧转化为一氧化碳,并在 CuO 管中转化为二氧化碳. CO_2 可按前面所描述的碳测定的方法进行.

17.7 其他非金属的测定

17.7.1 铈

对含铈的有机成分,常在凯氏瓶中用 H_2SO_4 和 H_2O_2 消解. 如果成分中含氯,先用 1:2 的 HNO_3 ,再用 18mol/L 的 H_2SO_4 和 H_2O_2 消解直到溶液变清. 多余的 H_2O_2 可加热分解掉. 然后将铈(V)用 Na_2SO_3 或 $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot 2\text{HCl}$ 还原成铈(III). 剩余的亚硫酸分解完全后,用含 Na_2CO_3 的 0.01mol/L 的 I_2 滴定铈(III).

当用罗丹明 B 比色法时,有机成分的破坏和铈转化为五价会受到硝酸、硫酸和高氯酸的强烈影响. 有铁存在时, SbCl_5 在 1.5mol/L HCl 溶液中可被异丙醚萃取. 有机相与含罗丹明 B 的 1mol/L HCl 溶液摇匀,紫红色有机相在 545~555nm 处进行测定^[1].

17.7.2 砷

干灰化不适于分解有机砷(或铈)化合物或含这些金属的有机物质,因为挥发性的有机砷或铈化合物有流失的危险. 一个例外是对含高脂成分的样品在加入 MgO 和 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 后可在 600℃ 进行干灰化. 大多数有机样品常用硝酸和硫酸或硝酸、硫酸和高氯酸的混合液进行强氧化. 石油、脂肪和烟草用湿法氧化很难分解完全. 这种情况可用氧化瓶法使样品在石英毛中燃烧,生成的氧化砷可被碱液吸收.

最快的砷测定方法是酸解后加入溴化物对五价砷进行蒸馏,然后直接用钼蓝法测定. 其它分离砷的方法包括 AsCl_3 的蒸馏, AsH_3 的产生,或用二乙基二硫代氨基甲酸二乙胺萃取.

比色法测定^[2]. 在杂多酸钼蓝法中,分离后的砷氧化为五价,将钼酸铵加入到酸性溶液中,然后加入胂还原杂多酸为钼蓝^[3]. 二乙基二硫代氨基甲酸银法包括 AsH_3 的生成和用吡啶溶液吸收(0.5%, w/v)的过程. 红色产物是胶体银,在 540nm 处测定吸光率^[4]. 生成的 AsH_3 收集进入原子吸收分光光度计. 砷酸盐用 AgNO_3 沉淀后用络合滴定法测定. 沉淀溶于含四氰合镍络合物的溶液,镍离子游离出,然后用 EDTA 滴定,用紫脲酸铵作指示剂.

17.7.3 铋

有机成分用硝酸、硫酸和通常含有高氯酸的混合液消解破坏. 有机铋化合物也可在

闭口瓶中用硅螺旋器燃烧,盐酸作吸收剂.后一种方法中,燃烧完全后,加入硫酸,加热混合液中至干.用硫酸、抗坏血酸和 KI 处理残留物;通过在 465nm 处测吸光度测定铋.当铋的含量大于 $5 \sim 10 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,这种方法很有效.当铋含量小于 $10 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时,双硫脲方法更适合^[5].

17.7.4 硼

氧瓶燃烧法适合于大多数含有机硼的矿物^[6].挥发性化合物与 Na_2CO_3 及葡萄糖混合放入甲基纤维素胶囊.已报道的含氟有机硼化合物的测定结果偏低,但 Wickbold 燃烧法的结果满意^[7].如果硼的含量低,可用装有回流冷凝管的凯氏瓶进行湿法消解,这时样品的需用量要大一些.对非常活泼的化合物,可用发烟硝酸或三氟过氧乙酸在卡留斯瓶中氧化为硼酸.非挥发性硼化合物可在铂坩埚中用 Na_2CO_3 进行熔融处理.

样品溶解后生成的硼酸用 $0.01 \sim 0.1 \text{mol/L}$ 的 NaOH 在过量甘露醇存在下滴定到 pH 8.6(终点),滴定时使用玻璃-甘汞电极指示终点;少量的硼酸可用超微滴管.分光光度法对硼的测定见表 5.16.

17.7.5 氟

氟的测定采用封口瓶燃烧法,吸收液用 0.01mol/L $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ 在 pH 3.0 下以茜素磺酸钠为指示剂进行滴定.

17.7.6 磷

有机磷的分解主要是采用氧瓶燃烧法,然后用水作吸收剂,或用 HNO_3 消解.氧瓶法中,含化合物的滤纸放在硅容器中(因为铂会参与反应).吸收液为 0.2mol/L H_2SO_4 ,其中含有用作氧化剂的过氧二硫酸盐或 NaOH 和 Br_2 的混合液.吸收液中的磷酸盐可用磷钼酸分光光度法检测,更好的方法是在 430nm 处用磷钒钼酸法检测^[8].磷还可用等离子体-发射光谱法(ICP-OES)检测.

17.7.7 硅

有机硅化合物可用程度升温的方法被 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4$ 消解: 200°C 溶解, 300°C 湿灰化, 600°C 干灰化, 950°C 煅烧.生成物 SiO_2 可用重量法测定.另一种方法是在铂皿中用 H_2SO_4 和过氧二硫酸的混合物加热来消解非挥发性硅化合物.脱水后的硅再过滤、煅烧和称重.如果存在磷和钛也可在滤出物中被检测.

有两种比色检测硅的方法.在强酸性的 HCl 中,样品可与钼酸铵形成一种黄色配合物,检测可靠但不太灵敏.比此法灵敏度高很多的方法是在酸度不太高的溶液中生成钼蓝的方法.第一种方法不会受到氟化物的干扰,但钼蓝的形成会受到它的干扰.

关于硅烷和硅氧烷分析中存在的问题在一篇综述中有详细介绍^[9].

17.7.8 硒和碲

有机硒化合物可被氧化性酸或酸的混合液消解.消解后,硒以金属的形式在浓 HCl

溶液中被胂沉淀出(见 2.5.2 节)。在氧瓶燃烧中,可用溴水作吸收剂。最后用碘量法或 3,3'-二氨基联苯分光光度法测定硒酸根离子(表 5.16)。有人曾经比较了四种不同的测定方法对硒的测定结果^[10]。

碲可用和测硒相近的方法测定。

17.8 有机物质中微量金属元素的测定

某些有机化合物中的金属离子可以直接在特定溶液中反应,但大多数在测定前都需要用无机微量分析方法进行处理。金、铂和银的有机化合物在高温分解后可得到纯金属。高温分解后,镍和钴的氧化物残渣在氢气流中还原也可得到金属。在空气中加热 Al, Cr, Cu, Fe, Mg, Sn 和 Zn 的化合物可得到它们对应的具有计量关系的氧化物。

有机金属化合物可用氧化酸或混合酸,氧化试剂熔融或在氧瓶中燃烧等方法消解。除了已叙述的封口瓶燃烧法外,微波消解法以其操作简易和节省时间而被广泛接受。

17.9 多元素微量分析法

生物和植物中的微量 Cd, Co, Cu, Ni, Pb 和 Zn 在经过样品预分解或消解后,可用阳极溶出伏安法测定。溶出伏安法的主要优点在于它可以使被分析物在微电极上富集 100 倍或更多,然后进行伏安测定。在溶出步骤中与差示脉冲伏安法结合起来,可以分析浓度低至 10^{-11} mol/L 的样品溶液。

原子吸收光谱法经常用作金属检测的最终方法(表 7.8);在生物、食品、海洋、石油、药物、植物和高分子样品中所分析的元素如下所示。采用原子发射(ICP-OES)方法可使被分析的元素扩展到括号中的元素。

1. 生物:Ca, Cu, Fe, K, Mg, Na, Zn(Cd, Co, Mn, P);
2. 饲料:Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn(Al, Co, Cd, P, Pb, Sr);
3. 食品:Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn(As, Mg, Mo, P, Se, Sr);
4. 海洋:Ag, Au, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn;
5. 药物:Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn;
6. 植物:Al, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Sb, V, Zn(As, Cd, Ce, La, Mo, Pb, Sn, Tl);
7. 酒类:As, Cd, Cr, Hg, Pb, Se(Ag, Ba, Ca, Cu, K, Li, Mg, Na, Ru, Sb, Sr)。

离子选择性电极(ISE)可用来分析生物样品中的元素。如 Ca, Cl, Fe, K, Li, Mg, Na(表 14.12)。ISE 可用来监控工业过程液体中出现的特殊金属。中子活化法对检测有机样品,尤其是生物和海水样品中大量元素时常常有效。

紫外可见分光光度法常用来分析多种微量元素(表 5.15)。X 射线荧光法已经用于生物样品中的 Br, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Pb, Ti, Zn 和植物样品中的 Br, Ca, Cl, Cu, Fe, K, Ni, Pb, Rb, Sr, Ti, Zn 的分析。

参考书目

R. Boch, *A Handbook of Decomposition Methods in Analytical Chemistry*, International Textbook Company, London,

1979.

E. C. Dunlap and C. R. Grinnard, Chap. 2, "Decomposition and Dissolution of Samples: Organic," in I. M. Kolthoff and P. J. Elving, eds., *Treatise on Analytical Chemistry*, Part, I, Vol. 5, 2d ed., Wiley-Interscience, New York, 1978.

L. Mázor, *Methods of Organic Analysis*, Vol. XV in G. Svehla, ed., Wilson and Wilson's *Comprehensive Analytical Chemistry*, Elsevier, Oxford, 1983.

参 考 文 献

- [1] R. W. Ramette and E. B. Sandell, *Anal. Chim. Acta* **13**:455(1955).
- [2] A. D. Wilson and D. T. Lewis, *Analyst* **100**: 54 (1975); Z. Stefanac, *Mikrochim. Acta* **1962**: 1108, 1115; B. Griepink and W. Krijgsman, *ibid.* **1973**: 574.
- [3] R. E. Stauffer, *Anal. Chem.* **55**:1205(1983).
- [4] V. Vasak and V. Sedivec, *Collect. Czech. Chem. Commun.* **18**:64(1953).
- [5] D. M. Hubbard, *Anal. Chem.* **20**:363(1948); J. C. Gage, *Analyst* **83**:672(1958).
- [6] S. K. Yasuda and N. R. Rogers, *Microchem. J.* **4**:155(1960).
- [7] B. Schreiber and R. W. Frei, *Mikrochim. Acta* **1**:219(1975).
- [8] J. P. Dixon, *Modern Methods in Organic Microanalysis*, Van Nostrand, London, 1968, pp. 160~162.
- [9] J. C. Smith, *Analyst* **85**:465(1960).
- [10] Z. Stefanac, M. Tomaskovic, and I. Bregovec, *Microchem. J.* **26**:226(1971).

(李元宗 译)

(O-1616.1101)

责任编辑: 胡华强 操时杰

封面设计: 王 浩

第一本分析化学实用技术的综合指南

分析化学手册

Analytical Chemistry Handbook

原书内容简介

选择最适宜于解决某专门问题的分析方法是分析化学中最棘手的问题之一。J. A. 迪安教授为帮助分析化学、生物化学、环境化学及化学工程专业人员评价和选择特定情况下最恰当的分析技术而编撰的《分析化学手册》，是第一部单卷本式的实验室指南，书中提供了下述内容的权威性最新资料：

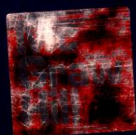
- | | |
|-----------------------|--------------------|
| 1 分析的初级操作和预分离技术 | 11 质谱法 |
| 2 重量和容量分析 | 12 电分析和热分析 |
| 3 色谱法 | 13 磁化率 |
| 4 电子吸收、发光、红外、拉曼和原子光谱法 | 14 有机元素分析 |
| 5 光学活性和旋光色散 | 15 有机化合物中功能团的检测和定量 |
| 6 折射法 | 16 气、液、固态水的测定方法 |
| 7 X射线法 | 17 统计学 |
| 8 放射化学方法 | 18 地质和无机材料 |
| 9 核磁共振波谱法 | 19 水分析 |
| 10 电子顺磁共振 | |

经历过的事例、解决故障的技巧和众多的图表让化学家们可以方便地获得日常工作所需要的资料和数据。

ISBN 7-03-010391-2



9 787030 103918 >



ISBN 7-03-010391-2

定价: 129.00 元