

海水痕量 元素分析

● 陈国珍 主编

● 海洋出版社

海水痕量元素分析

陈国珍 主编

海洋出版社

1990年·北京

内 容 简 介

本书是《海水分析化学》的续篇。全书有32章,共推荐了71种用于海水中痕量元素的分析方法。第1章概述了海水痕量元素分析特点、样品采集与预处理、痕量元素的分离富集及其注意事项。第2—27章分别对25种元素与8种放射性同位素共推荐64种方法。在每章中介绍了该元素在海水中的分布及其在海洋学上的意义,并对分析该元素的方法作了系统地介绍和评价,在此基础上推荐2—4种方法,对每种方法均进行了验证、提出了修改意见、制订出可行的操作步骤,其中新建立的方法有20余种。第28—32章为质谱同位素稀释法、中子活化法、电感耦合等离子体发射光谱法、阳极溶出伏安法和无焰原子吸收分光光度法用于海水中多种元素的联合测定,共有7种方法。全书附有参考文献共2134条。

本书不仅可作为海水分析工作者的指导书和重要参考书,而且对于从事分析化学的研究人员及有关大专院校师生也具有重要的参考价值。

责任编辑 刘 涛
责任校对 刘兴昌

海水痕量元素分析

陈国珍 主编

海洋出版社出版 (北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 电子外文印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 35.625 字数: 900千字

1990年5月第一版 1990年5月第一次印刷

印数: 1—900

ISBN 7-5027-0012-9 O·2 ¥: 20.00元

陈国珍教授简介

陈国珍教授是我国著名的海洋化学家。

陈国珍教授1916年生于福建省厦门市。1938年毕业于厦门大学化学系，获理学士学位。1948年赴英国伦敦大学留学，获哲学博士学位。1951年回国后任厦门



大学化学系教授、系主任、厦门大学校长助理。1962年调第二机械工业部生产局任总工程师、副局长。1980年调国家海洋局任副局长。现任国家海洋局科学技术委员会主任、中国海洋学会常务理事、中国核学会名誉理事。

陈国珍教授从事分光光度分析、荧光分析、海水分析与流线分析等分析化学方面的研究工作，曾发表了专业性论文十余篇和综论性文章十余篇，并编著了《分光光度法》、《荧光分析法》、《紫外—可见光分光光度法》（上、下册），主编了《海水分析化学》、《海水痕量元素分析》、《生产过程自动分析》等专著。

陈国珍

前 言

这本书是《海水分析化学》¹⁾的续编,自1979年开始编写以来,经多位同志的辛勤劳动、通力合作,终于由海洋出版社出版问世了。两书出版前后相隔二十年,在这期间,海洋化学与海水痕量元素分析均有长足的进展。近来海洋化学家视海洋为一整体,研究海洋各界面间的通量,化学反应和过程的变化。借助于近代测试技术所提供的可能性。海洋化学研究的对象,大幅度地由常量元素扩展到微量,乃至痕量元素。七十年代国际海洋十年考察中的地球化学断面调查(GEOSECS)和海洋污染问题的提出对海水分析化学起了促进作用。国际上对于多种痕量元素在各海域中的水平分布和垂直分布情况作过大量调查工作,对于它们的存在形式、转移机理及沉积过程等方面均有不少研究报道,并经常召开有关这些方面的国际科研学术交流会议。我国自五十年代末有计划地开展近海调查以来也大有进展,近年来我国学者对渤海、黄海、东海、南海及台湾海峡中某些元素的存在形态、分布情况及转移机理等方面也开展了一些工作。

海水痕量元素分析对这二十年间海洋化学的发展起着先行的作用,同时也由于它本身的复杂性,对学科的进展又起着制约的作用。因只有精确可靠的数据才是学科发展的坚实基础。1974年以后某些科学家连续发现以往文献上所发表的海水中铅、铜、镉、锌、汞等痕量元素含量的数据都比实际数值高出许多倍。这引起了海洋化学界极大的震动。由于海水中痕量元素的浓度均在ppb²⁾

1) 《海水分析化学》, 陈国珍主编, 1965年科学出版社出版。

2) 按SI规定, 本书中ppm = mg l, ppb = μ g l, ppt = ng l。

级,甚至低至 ppt 级,为了能够得到可靠的数据,必须对采样、贮存、分样、分离富集、测试等各个阶段给以十分注意以便防止沾污。工作时须采用超洁净实验室或实验台,超洁净技术,对容器、试剂、溶剂必须保持纯净,须选用有效的分离富集方法与灵敏而准确的测试方法,严格遵守操作规程,才能获得精确的数据。这对于操作人员的要求是很严格的,甚至操作人员的衣袖从盛试样溶液的烧杯上面拂过也是不能允许的。由于对沾污问题的高度重视及其防患技术的严格实施,目前已有不少实验室获得可重复、可互校和合理解释的数据。

本书共三十二章,第一章绪论,略述海水痕量元素分析的特点,样品的采集与预处理,痕量元素的分离富集及其应注意事项。第二章至第二十七章按元素化学符号排列,共列出25种元素与8种放射性核素的分析方法。第二十八章为质谱同位素稀释法测定海水中铀和钍。第二十九章至第三十一章列出了中子活化法、电感耦合等离子体发射光谱法和阳极溶出伏安法用于海水中多种元素的联合测定。第三十二章为无焰原子吸收分光光度法用于海水中七种痕量重金属元素的测定。

如以海水含量在 1 ppm 以下者称为海水痕量元素,则铯含量远在 1 ppm 以上,而氟含量在此限上下。《海水分析化学》一书对这两种元素均未收入,故本书补行介绍,并将铯与 Sr-90 合并一章。至于硝酸盐-氮、亚硝酸盐-氮、铵-氮、磷酸盐-磷则已在《海水分析化学》书中介绍过,兹不赘述。

本书的前二十六章编写方式仍按照《海水分析化学》编例,每章分为四部分,第一部分为该元素(与该核素)在海水中的分布情况及其在海洋学上的意义。第二部分系对海水中该元素与该核素的分析方法作系统的介绍,并对各种方法的优缺点加以评介。第三部分系对所推荐的分析方法进行验证试验,必要时加以适当修改和提高,或自己建立新方法。每种元素推荐 2—4 种方法,每种核素推荐 1—2 种方法。第四部分系在验证试验的基础上所拟

订的操作步骤及应注意事项。每章之末均附有与该元素有关的参考文献。

海水中痕量元素的存在形式的分类方法众多,意见未趋一致,还处在研讨阶段,而采用不同的预处理方法和测试手段所测定的将是不同的存在形式。本文推荐的方法着重于海水样品经 $0.45\mu\text{m}$ 滤膜过滤并酸化后的溶解态痕量元素含量的测定。对于颗粒态的处理方法仅在某些章节中加以介绍。

本书第二章至第二十六章25种元素共推荐61种方法。其中以原子吸收分光光度法为最多,计18种元素。其次为分光光度法与极谱法,各8种元素。阳极溶出伏安法6种元素,荧光分析法5种元素,火焰分光法3种元素,电感耦合等离子体发射光谱法2种元素。此外,中子活化法、气相色谱法、离子选择性电极各用于1种元素。

原子吸收分光光度法的灵敏度高,无焰原子吸收分光光度法一般可测至 $0.0x\text{ ppb}$;此方法选择性好,各元素的吸收只发生在一很窄的光谱范围内,互相干扰少;应用范围广,除极少数难于原子化的元素外,大多数元素均可以测定;加以方法的精密度、回收率均佳、仪器设备也不太昂贵,所以近年来已成为海水痕量分析的最重要工具。但由于海水中大量盐类的干扰,还须采用适宜的分离富集方法先加以分离,继而在适当温度下进行灰化,然后在较高温度下原子化并进行测定。某些元素如砷、汞经过还原生成 AsH_3 气体与 Hg 蒸气后,可在较低温度下进行测定。

分光光度法设备简单,方法简便,是最常使用的分析方法之一。但除催化分光光度法可达 ppb 级外,一般分光光度法灵敏度不够高,测定海水中痕量元素时须采用大量水样,用共沉淀法或其他方法进行分离富集,手续繁杂,费时费力,并不理想。

极谱法也是最常使用的分析方法之一。近年来发展起来的示差脉冲阳极溶出伏安法已可以直接测定海水中一些痕量元素,其特点是取样量不大,灵敏度高,方法简便。催化波极谱法灵敏度

也很高,可减少取样量,且常有较好的选择性。但这些方法测定时常要求对 pH 值严格控制,它们所测定的一般只是被测元素的某种形态。

荧光分析法方法简便,灵敏度高,用于海水中痕量元素的测定,除个别元素外,一般可不必经分离富集手续。激光荧光法灵敏度尤高,海水中铀含量仅 3 ppb,但测定时水样还须加以稀释。惜海水中痕量元素可采用荧光分析法测定者为数尚少。

火焰发射分光光度法虽仪器简便,但只限于某些电子激发能量低的元素,本书仅用于海水中锂、铷等痕量元素的测定。

离子选择性电极使用非常简便,可以直接插入海水样品中进行测定。但目前较为成熟在本书中采用者仅氟电极一种。

气相色谱法仅限于测定海水中溶解的气体以及那些可以形成气态化合物的元素,在本书中只介绍用于海水中痕量硒的测定。但近年来发展起来的毛细管色谱法在海洋石油资源的发现、开发、污染和有机地球化学的研究等方面颇多采用。

至于放射性核素的测定多采用放射化学分析法,经放射分离后,对 Cs-137, Sr-90 多采用低本底 β 计数法测量,对 Am-241 及 Pu-239 等则以低本底 α 计数法测量。这些核素的测定,取样量都很大,就地富集带回陆地实验室测量或就地测量将是一个发展的方向,书中介绍 Cs-137 的亚铁氰化铜法则属于此类方法。

本书第二十八章为质谱同位素稀释法测定海水中铀和钍。质谱同位素稀释法汇集同位素稀释法的不需要严格定量分离与质谱法的高灵敏度高精密度的优点。此法因加入与被测元素为同一元素但同位素组成不同的同位素稀释剂,由同位素比的变化便可计算出被测元素的含量,不受其他元素的干扰。海水中钍含量虽低至 ppt 级,用此法可得出良好数据。海水中铀含量较高,该法测铀似不及激光荧光法方便。铅因极易被沾污。海水中铅不易精确测定,在现有方法中,质谱同位素稀释法被认为是最可靠的方法。

本书第二十九章介绍中子活化分析用于海水中多种元素的联

合测定。中子活化分析具有灵敏度高、能分析的元素范围广和多种元素联合测定等优点。近年来随着高分辨率的Ge (Li) 探测器和电子计算机的使用,使得多元素联合测定的优点更为突出。但由于海水痕量元素含量低而多种常量元素活化后会产生很强的干扰放射性,因此,活化前还须进行预浓集。冷冻干燥法可以定量回收绝大多数元素,而且沾污的可能性较少,没有试剂空白,缺点是不能分离去干扰元素,须经较长时间冷却待干扰核素衰变完才能进行测定,因而只适用于那些活化后能产生长寿命核素的元素的测定。活性炭吸附法的优点在于它对多种痕量元素具有强吸附力可使它们和碱金属、碱土金属离子分离、缺点是高纯活性炭难于得到,试剂空白高,回收率不易稳定。本章介绍采用冷冻干燥与活性炭吸附两种预浓集方法再配合 Ge (Li) 探测器与 γ 谱仪进行联测,共可测定近岸海水中的19种元素。此法用于大洋水中痕量元素的测定时,测定的元素数目可能减少。中子活化法对同一样品联合测定的元素数目众多,且灵敏度高,但精密度及回收率较差,分析周期较长,而所需中子源造价昂贵,非一般实验室所能具备。

发射光谱分析具有多种元素联合测定的优点,早在四十年代已在冶金、地质、原子能工业等领域内广泛应用,惜其灵敏度不高,仅达ppm级,因而在痕量元素分析中未被广泛采用。但自从电感耦合激发光源建立以来,此光源以其优异的性能,又赋予发射光谱法新的生命力。电感耦合等离子体发射光谱法的精密度可达1—2%,浓度测定范围宽达5个数量级,可以同时测定试样中的主次成分和痕量元素,检出限低至ppb,而且只要选择适当的工作参数,样品成分间的相互干扰便可以排除,可以进行多元素的联合测定。方法简便,分析所需时间不太长,因而可以承担大量的分析样品,近年来已引起有关方面的重视。本书第三十章介绍海水中常量元素S、B、Ca、Mg、Sr、Na和海水中痕量元素Co、Cu、Fe、Ni、Pb、Zn等两种联合测定方法。上述常量

元素测定时海水样品须稀释10倍，而痕量元素的测定则须先经整合树脂的分离富集，然后进行测定。利用此法个别元素如Pb、Zn的灵敏度还不够要求。

阳极溶出伏安法已分别在Ag、Cd、Cu、Pb、Zn等章中详细介绍过。第三十一章介绍线性快扫描阳极溶出伏安法测定海水中Cd、Pb、Cu、Zn及示差脉冲阳极溶出伏安法测定海水中Zn、Cd、Pb、Cu、Bi两种方法。前者系用自制的线性电压快扫描仪和旋转玻炭镀汞膜电极在pH4.7水样中测Zn，在pH3.6水样中测Cu、Pb、Cd。后者则用悬汞电极示差脉冲阳极溶出伏安法及导数技术对pH2.5水样进行Zn、Cd、Pb、Cu、Bi的联合测定。两法均曾用于厦门近岸海水中各该元素的测定。

无焰原子吸收分光光度法已分别在Ag、Al、Cd、Co、Cr、Cs、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb、Se、Zn等章中介绍过。本书第三十二章推荐以APDC/DDDC作为络合剂，氟利昂作为有机溶剂进行整合萃取，以水反萃，经过更换相应的元素灯，可连续对反萃水相中Cu、Pb、Zn、Cd、Fe、Co、Ni等元素进行测定。方法曾用于大洋水中上述元素的分析。但必须严格进行水与试剂的纯化，控制器皿与实验室空气的洁净程度，严格遵守操作规程才能得到可靠的分析数据。

本书对于每一个推荐方法均注意到该方法的灵敏度、精密度、回收率、测定范围及其他元素干扰等方面。精密度仍采用六次平行测定的相对标准偏差来衡量。准确度因缺少基准物质而采用加入回收法测定回收率以资衡量，并力求与其他方法互相校对。单个元素测定的灵敏度则以1979年文献所载该元素大洋水含量为测试目标，当然也可用于近岸水的分析。至于检出限因国际上没有明确统一规定，各种方法各有其计算方式，而各位验证者所采用的方式亦不尽相同，本书不强求一致，但要求各将数据及计算方式列出，以供读者参阅。

本书所推荐的方法，大部分系常用的方法，并经作者验证和

修订,但结合本书的出版,作者们曾在这几年之间建立新方法与改进方法近二十种,原文刊载在各有关期刊上。

本书各章均附有参考文献,基本上查阅至1982年底,个别至1983年初。因各章独自编写,所引文献前后重复者为数不少。文献共计2134条,其中1959年以前者仅占5%,六十年代的占18%,1970年以后者占77%。这一点就足以表明海水痕量元素分析是一门新兴的学科,七十年代以后有长足发展。

本书的出版表明我们自己掌握了海水痕量元素数十种分析方法,而且对每种方法进行过验证试验,有数据可资查对,也就是说我们对分析测试建立了可信的方法。但是,根据以往的经验,海水痕量元素分析结果的准确与否,关键在于采样及贮存能否保持海水水质不变。在这方面,本书仅在第一章绪论中介绍,但没有进行深入研究,而这些工作正是我们的薄弱环节,是值得我们认真考虑,努力加以克服的问题。为了提高分析水平,核对所建立的方法是否准确,需要用标准溶液进行校准和对同一海水样品由数个不同实验室以数种不同方法进行互校,多年来国外曾屡次进行实验室间采样和测试方法的互校。我国海水标准溶液的研制工作,国家海洋局第二海洋研究所已研制过盐酸、碘酸钾、磷酸盐、硅酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐等7种标准溶液,正在研制的有铜、铅、锌、镉、汞等五种标准溶液。我国曾参加过国际实验室之间海洋生物体中痕量元素测试的互校工作,而海水样品的互校工作则迄今未参加过。国内各实验室之间的互校工作,在本书编写过程中,曾配制标准溶液、海水、添加海水等三种样品,约请国内八个单位十七个分析小组同志采用原子吸收分光光度法、极谱法、中子活化法、电感耦合等离子体发射光谱法、分光光度法对其中九种元素进行互校,这在国内尚属初次尝试,以后有机会还应继续进行。在海水痕量元素分析方面,我国和国际水平还有一段距离,这要求我们在洁净实验室的设置,采样装置、仪器设备、防止沾污措施以至分析方法的改进方面,均须认真对

待，以便能急起直追，尽快将我国海水痕量元素分析能力提高到新的水平，对国家四化建设作出新的贡献。

本书系由集体创作。主要负责单位为国家海洋局第三海洋研究所，厦门大学参加大量编写工作。参加编写工作的还有中国科学院高能物理研究所、海洋研究所，核工业部原子能研究所、北京铀矿选冶研究所，福州大学，国家海洋局第一、第二、海洋研究所等单位的同志。参加各章综述工作者有四十二人，参加验证试验工作者达一百余人。

本书之成，得到中国科学院海洋研究所、南海海洋研究所、高能物理研究所、核工业部原子能研究所、北京铀矿选冶研究所、铀矿地质研究所，山东海洋学院，中山大学，福州大学，国家海洋局第一海洋研究所、第二海洋研究所、环境保护研究所、情报所、技术所和海洋出版社等单位大力支持，深表谢忱。

通过四年集体努力，此书终于问世，对我国海洋科学工作者或许有些帮助，但存在的缺点不少，希望读者不吝指正，以便改进。

陈国珍

1983年12月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 引言.....	(1)
§ 1.2 海水痕量元素及其分析特点.....	(3)
§ 1.3 样品采集与预处理.....	(16)
§ 1.4 痕量元素的富集和分离.....	(27)
参考文献.....	(33)
第二章 海水中痕量银的分析	(48)
§ 2.1 海水中的银及其在海洋学上的意义.....	(48)
§ 2.2 海水中溶解态银的分析方法综述.....	(49)
§ 2.3 薄层流动-玻炭金膜电极阳极溶出伏安法的 验证试验.....	(54)
§ 2.4 薄层流动-玻炭金膜电极阳极溶出伏安法的 操作步骤.....	(59)
§ 2.5 溶剂萃取-石墨炉原子吸收分光光度法的验 证试验.....	(63)
§ 2.6 溶剂萃取-石墨炉原子吸收分光光度法的操 作步骤.....	(68)
参考文献.....	(72)
第三章 海水中痕量铝的分析	(75)
§ 3.1 海水中的铝及其在海洋学上的意义.....	(75)
§ 3.2 海水中铝的分析方法综述.....	(78)
§ 3.3 萤光法的验证试验.....	(83)
§ 3.4 萤光法的操作步骤.....	(88)

§ 3.5	原子吸收分光光度法的验证试验	(91)
§ 3.6	原子吸收分光光度法的操作步骤	(95)
	参考文献	(97)
第四章	海水中痕量砷的分析	(101)
§ 4.1	海水中的砷及其在海洋学上的意义	(101)
§ 4.2	海水中溶解态无机砷的分析方法综述	(103)
§ 4.3	氢化物原子吸收分光光度法的验证试验	(110)
§ 4.4	氢化物原子吸收分光光度法的操作步骤	(118)
§ 4.5	氢化物等离子体发射光谱法的验证试验	(122)
§ 4.6	氢化物等离子体发射光谱法的操作步骤	(130)
	参考文献	(134)
第五章	海水中痕量镉的分析	(139)
§ 5.1	海水中的镉及其在海洋学上的意义	(139)
§ 5.2	海水中溶解态镉的分析方法综述	(141)
§ 5.3	示差脉冲阳极溶出伏安法的验证试验	(151)
§ 5.4	示差脉冲阳极溶出伏安法的操作步骤	(156)
§ 5.5	原子吸收分光光度法的验证试验	(159)
§ 5.6	原子吸收分光光度法的操作步骤	(160)
	参考文献	(165)
第六章	海水中痕量钴的分析	(175)
§ 6.1	海水中的钴及其在海洋学上的意义	(175)
§ 6.2	海水中溶解态钴的分析方法综述	(176)
§ 6.3	溶剂萃取无焰原子吸收分光光度法的验证试验	(180)
§ 6.4	溶剂萃取无焰原子吸收分光光度法的操作步骤	(182)
§ 6.5	催化极谱法的验证试验	(185)
§ 6.6	催化极谱法的操作步骤	(188)
	参考文献	(189)

第七章 海水中痕量铬的分析	(194)
§ 7.1 海水中的铬及其在海洋学上的意义.....	(194)
§ 7.2 海水中溶解态铬的分析方法综述.....	(195)
§ 7.3 催化极谱法的验证试验.....	(205)
§ 7.4 催化极谱法的操作步骤.....	(212)
§ 7.5 溶剂萃取无焰原子吸收分光光度法的验证试验.....	(215)
§ 7.6 溶剂萃取无焰原子吸收分光光度法的操作步骤.....	(223)
参考文献.....	(225)
第八章 海水中痕量铯与铯-137的分析	(232)
§ 8.1 海水中的铯及其在海洋学上的意义.....	(232)
§ 8.2 海水中溶解态铯的分析方法综述.....	(234)
§ 8.3 海水中溶解态铯-137的分析方法综述.....	(236)
§ 8.4 中子活化分析法的验证试验.....	(242)
§ 8.5 中子活化分析法的操作步骤.....	(244)
§ 8.6 无焰原子吸收分光光度法的验证试验.....	(247)
§ 8.7 无焰原子吸收分光光度法的操作步骤.....	(251)
§ 8.8 AMP吸附- Cs_2PtCl_6 沉淀- β 计数法的验证试验.....	(254)
§ 8.9 AMP吸附- Cs_2PtCl_6 沉淀- β 计数法的操作步骤.....	(261)
§ 8.10 亚铁氰化铜就地富集- γ 谱法或 β 计数法测定海水中铯-137的验证试验.....	(263)
§ 8.11 亚铁氰化铜就地富集- γ 谱法或 β 计数法测定海水中铯-137的操作步骤.....	(269)
参考文献.....	(272)
第九章 海水中痕量铜的分析	(278)
§ 9.1 海水中的铜及其在海洋学上的意义.....	(278)

§ 9.2	海水中铜的分析方法综述·····	(280)
§ 9.3	溶剂萃取 - 火焰原子吸收分光光度法的验证 试验·····	(293)
§ 9.4	溶剂萃取 - 火焰原子吸收分光光度法的操作 步骤·····	(298)
§ 9.5	溶剂萃取 - 石墨炉原子吸收分光光度法的验 证试验·····	(301)
§ 9.6	溶剂萃取 - 石墨炉原子吸收分光光度法的操 作步骤·····	(307)
§ 9.7	阳极溶出伏安法的验证试验·····	(311)
§ 9.8	阳极溶出伏安法的操作步骤·····	(316)
	参考文献·····	(320)
第十章	海水中氟的分析·····	(333)
§ 10.1	海水中的氟及其在海洋学上的意义·····	(333)
§ 10.2	海水中氟的分析方法综述·····	(333)
§ 10.3	铜-茜素络合剂分光光度法的验证试验·····	(338)
§ 10.4	铜-茜素络合剂分光光度法的操作步骤·····	(344)
§ 10.5	铝-萤光镓萤光熄灭法的验证试验·····	(347)
§ 9.6	铝-萤光镓萤光熄灭法的操作步骤·····	(349)
§ 10.7	离子选择性电极法的验证试验·····	(352)
§ 10.8	离子选择性电极法的操作步骤·····	(354)
	参考文献·····	(357)
第十一章	海水中痕量铁与铁-59的分析·····	(361)
§ 11.1	海水中的铁及其在海洋学上的意义·····	(361)
§ 11.2	海水中铁的分析方法综述·····	(363)
§ 11.3	海水中放射性铁的分析方法综述·····	(370)
§ 11.4	原子吸收分光光度法的验证试验·····	(376)
§ 11.5	原子吸收分光光度法的操作步骤·····	(378)
§ 11.6	分光光度法的验证试验·····	(380)

§ 11.7	分光光度法的操作步骤	(383)
§ 11.8	离子交换-电沉积- β 计数法测定海水中铁-59的验证试验	(386)
§ 11.9	离子交换-电沉积- β 计数法测定海水中铁-59的操作步骤	(391)
	参考文献	(395)
第十二章	海水中痕量汞的分析	(406)
§ 12.1	海水中的汞及其在海洋学上的意义	(406)
§ 12.2	海水中汞的分析方法综述	(407)
§ 12.3	冷原子吸收法的验证试验	(416)
§ 12.4	冷原子吸收法的操作步骤	(422)
§ 12.5	冷原子荧光法的验证试验	(425)
§ 12.6	冷原子荧光法的操作步骤	(430)
	参考文献	(433)
第十三章	海水中痕量碘的分析	(440)
§ 13.1	海水中的碘及其在海洋学上的意义	(440)
§ 13.2	海水中碘的分析方法综述	(442)
§ 13.3	砷(Ⅲ)-铋(Ⅴ)催化光度法的验证试验	(448)
§ 13.4	砷(Ⅲ)-铋(Ⅴ)催化光度法的操作步骤	(457)
§ 13.5	硫氰酸铁催化褪色法的验证试验	(461)
§ 13.6	硫氰酸铁催化褪色法的操作步骤	(469)
§ 13.7	示差脉冲极谱法的验证试验	(472)
§ 13.8	示差脉冲极谱法的操作步骤	(483)
§ 13.9	示差脉冲阴极溶出伏安法的验证试验	(488)
§ 13.10	示差脉冲阴极溶出伏安法的操作步骤	(493)
	参考文献	(495)
第十四章	海水中痕量锂的分析	(499)
§ 14.1	海水中的锂及其在海洋学上的意义	(499)
§ 14.2	海水中锂的分析方法综述	(500)