

电感耦合等离子体

发射光谱图册



中国光学学会光谱学会
1986年

电感耦合等离子体 发射光谱图册

【作者】 R.K.Winge V.A.Fassle
 V.J.Peterson M.A.Floyd

【译者】 钱国贤 黄鑫泉 孟广政

中国光学学会(光谱学)学会

前 言

ICP作为原子光谱分析的激发源，目前正处于迅速发展阶段。欲想对ICP有更完整的了解，则需通晓ICP的性质，尤其对所激发的不同元素光谱的特点的了解。

掌握经典的光谱分析方法亦即电弧、火花和火焰发射光谱方法，一般是从元素的光谱研究开始。在通常状态下电弧和火花光谱都是记录在感光板上，以便使光谱分析工作者对光谱线的一般特点进行研究，对比谱线强度，测量谱线间的距离，同时可以从一块感光板上在 2500 \AA (250 nm)范围内或者更远的范围内对更多的元素谱线进行详细的研究。后来出现了光电光谱仪器并用光电倍增管取代感光板。这种取代大大改观了测量光谱信息的方式。光电倍增管现在常用于测量很窄的一段波长范围，实际上，在最佳条件下竟能窄到只测量一条光谱线的程度。光电倍增管是用单色仪扫描的办法得到波长范围很宽的一段光谱，但是，一般来讲用这种方法除在研究室里用来研究光谱以外，很少应用。

我们编制这本谱图的目的是：

1. 记录各种元素的光谱，不管是简单的还是复杂的，在某种意义上讲了解其光谱的性质。
2. 对某一元素的最杰出线拥有明确的判据这对痕量或超痕量的测定多半是有用的。
3. 根据所得到的实验光谱，对所列出的最杰出线的检测能力提供可靠的估计。
4. 确定光谱干扰的非常重要的问题。

迄今为止，还没有编辑出版一本由ICP激发不同元素发射光谱的资料书，提供给光谱分析工作者借以了解光谱性质的全貌，更没有给光谱分析工作者以综合处理、判断最杰出谱线受分子光谱带，重新结合成连续光谱带的光谱干扰情况以及某些谱线重叠的有关情况。

目前，在现有的出版书籍中有关下列干扰内容还很缺少：

1. 许多弱的谱线的光谱干扰。
2. 强干扰谱线，由于谱线扩宽，大于分析物谱线的最大峰值的半宽度而引起的光谱干扰。
3. 在ICP光源中有很强的干扰谱线，而在经典发射光源中则是很弱的谱线的干扰。

编写本谱图的目的在于满足上述要求。载入本谱图内的所有数据资料完全是在正常条件下，最佳操作状态下，用ICP光源由操作人员作实际样品分析而得到的实际光谱记录。

本谱图分三个部分。第一部分是光谱资料有关的历史回顾；第二部分是70多个元素的232个波长扫描图，每个元素波长扫描图的光谱范围都是 80 nm 。这些扫描图形可供由ICP发射的背景和谱线强度的快速对比，同时提供鉴别每种元素最杰出线，也用于对这些光谱线估计痕量分析在分析上的能力。在这部分中同时列出了973条最杰出线及其检出限；第三部分中列出了光谱干扰问题，在这部分中全面收集了281条最杰出线受重叠的谱线轮廓，在每个重叠谱图中最常出现10个共存物重叠谱线轮廓。尽管这些重叠谱线差不多有100,000次谱线的强度测量，然而仅只是解决了部分问题。但这所指出的问题，在已有的资料中未曾提到。

作者非常感谢Edward DeKalb在编制本谱图过程中所提供的渊博的光谱方面的学识，作者也非常感谢Fred Grabau和David Eckels提供计算机数据处理方面的帮助。

尽管本谱图的文字和数据几经作者、专家和编辑们的多次核实和验证，不可避免的还会有错误和遗漏。对本书的批评指正作者将不胜感激之至。

编 译 说 明

ICP 光谱分析技术在七十年代被各国分析学家广泛应用, 已成为物质组份分析技术中一种重要的检测手段。目前, 尤其在我国正处于迅速发展、普及和深入的阶段。对 ICP 光谱分析的机理及其光谱干扰等问题是光谱工作者共同关心的课题。

《电感耦合等离子体发射光谱图册》(以下称为‘图册’)一书, 准确和真实记录了包括 72 种元素的波长扫描和各单个元素的主要杰出线与 10 个共存物及其杂质元素的谱线重叠轮廓图所提供的大量的光谱干扰信息和各种 ICP 光谱特性数据。迄今为止, 这是第一部包含 ICP 光谱干扰信息和数据最广泛最丰富的工作手册和重要文献。

本《图册》是美国 Ames 实验室的 R.K.Winge, V.A.Fassel, V.J.Peterson 和 M.A.Floyd 等人在实验的基础上, 历经数年的收集整理和精心制作汇编而成的。

本《图册》不仅对研究 ICP 光谱的科研工作者有着重要的参考价值, 而且是从事 ICP 光谱分析工作人员难得的一本工具书。

应广大从事 ICP 光谱工作者的要求和在钱振彭教授热情指导、鼓励及光谱界同行的积极支持下, 于 1986 年编译了这部《电感耦合等离子体发射光谱图册》。

参加本书编译的人员: 钱国贤、黄鑫泉、孟广政。

责任编辑: 钱国贤

因编译者的水平有限, 错误和不足之处在所难免, 恳望读者批评指正。

《光谱学与光谱分析》编辑部
1986.12.

封面题词: 吴守箴同志

39781

目 录

编译说明	(I)
鸣谢	(II)
前言	(III)
目录	(V)
一、历史回顾	(1)
二、电感耦合等离子体发射光谱——波长扫描和杰出线	(2)
A. 序言	(2)
B. 实验装置和实验过程	(2)
C. 波长扫描的译释	(5)
参考空白扫描	(5)
分析物扫描	(6)
D. 杰出线的译释	(7)
三、选定的杰出线和可能干扰线的光谱重叠轮廓图	(7)
A. 序言	(7)
B. 实验装置和实验方法	(8)
样品溶液	(8)
分析谱线的选择	(11)
实验方法	(11)
波长的准确度和重现性	(12)
波长	(13)
杂质影响和记忆效应	(13)
二级光谱	(13)
C. 重叠轮廓图的译释	(13)
直接覆盖、侧翼重叠和线扩宽干扰	(14)
散射光	(14)
重结合连续光谱	(14)
分子带	(14)
未识别和未被列出的谱线	(17)
重叠轮廓图的应用	(22)
参考文献	(24)
附录A. 波长扫描图	(26)
附录B. 电感耦合等离子体发射光谱杰出线表	(260)
B-1. 按元素字母顺序列出的杰出线表	(262)
B-2. 按波长顺序列出的杰出线表	(287)
附录C. 光谱重叠轮廓图	(309)

一、回顾历史

过去已出版了很多种范围很广的光谱波长表，这些都是从直流电弧、高压火花和放电管激发源收集的数据汇编而成。其中包括含39,000条谱线的“光谱线强度表”(Meggers等人, 1975), 约含52,000条谱线的“光谱线表”(Zaidel等人, 1970), 约含110,000条谱线的“麻萨诸塞州理工学院波长表”(MIT, 1969), 含41,000条谱线的“真空紫外发射线(小于2000 Å)” (Kelly, 1959), 含34,700条谱线的“2000埃以下的原子和离子的发射线——从氢到氦”(Kelly和Palumbo, 1973)和含29,000条谱线的“近紫外区原子发射线: 从氢到氦”(Kelly, 1979)。这些在古典光谱技术中用于释谱波长表数据并不能低估它们的价值。它们也曾有助于对ICP光谱中所观察到的谱线的识别。由于ICP光源性质上不同于经典发射光源, 故而上述波长表中的强度数据和ICP中的不相一致。ICP中出现的甚至明显可用于分析的杰出线在上述表中也查不到, 这是不足为怪的。即使包含范围最广的很实用的MIT表, 最初认为它包含了“所考虑的波长区的有一半的已知光谱线”(见1939年版的序言)。三十年后, “1969年版的序言”中, Geoge Harrison写道: 显而易见, 续表应包含至少十倍于本表所列的谱线, 分为原子组及电离组, 按波长顺序排列”。要象Harrison所建议的一个包罗万象的波长表在近期里似乎难以实现, 因为它将是一项里程碑式的任务 尤其是设想把相对强度测量一致起来适用于各种激发源。

1979年以前, 即Winge等人(1979a)发表975条“杰出”谱线表以前, 有关ICP发射光谱线的数据仅只有一些简表。该作者还列出了另外一个包含范围比较窄的氩谱线表, 有901条杰出谱线(Winge等人, 1976b)。这些表都是真实地记录了70种元素的纯物质光谱信-背比(I_n/I_b)得到的, 表中总数有72个元素, 这是包括了从光谱背景中得到的氩和氢谱线。

1979年Boumans和Bosveld(1979)也发表了70个元素453条灵敏线的暂定表。他们的数据也是根据信-背比, 仅只有102条线(43个元素)是从ICP的实际测量中得到的。无论是Boumans和Bosveld的表还是Winge等人的表, 只能泛泛地来预计光谱干扰。相反, Parson等人的“ICP光谱中光谱干扰图册”(1980)和Boumans的“用于电感耦合等离子原子发射光谱中的谱线重叠表”(1980b)正是专门解决光谱干扰问题的。Winge等人(1982)讨论过用于获得有关光谱干扰的一定信息的不同方法以及用于识别ICP光谱中可能的光谱干扰目前所使用几种表的差别。观察到主要差别是遗漏了大量的未列谱线所产生的谱线重叠以及缺乏关于被扩宽了的谱线侧翼、分子带组份和辐射重结合连续谱所产生的重叠的有关资料。第三节将引述了从这些光源中带来的干扰程度的例子。

其他一些研究者已经意识到使用MIT和NBS表作为识别ICP光谱干扰的基础是不能令人满意的，同时注意到了记录ICP光谱对明确估价重叠干扰的重要性（Carr和Lippert, 1981；Mermet和Trassy, 1981；Wallace和Barrett, 1981）。

二、电感耦合等离子体发射光谱——波长扫描和杰出谱线

A. 序 言

了解电感耦合等离子体的光谱发射特性全貌，是使其在原子发射光谱中得以最大限度应用的一个先决条件。附录 A 表中的波长扫描是 ICP 激发的发射光谱的第一个内容丰富的图例。由这些波长扫描推导出的 973 条杰出谱线表并列于附录 B 表。

B. 实验装置和实验过程

附录 A 中的波长扫描是使用表 I-1 中所列的实验装置和操作条件得到的。对数（电流/电压）转换器简化了光谱的记录，因为 4 个数量级范围（ 10^{-10} — 10^{-6} A 光电流）满足了除几个例外的所有波长扫描。因而不需为了改变背景和样品信号值而不断选择最佳放大器范围。对于最强线只稍高于上限 10^{-6} A 安培的几个元素（如钡和铯），记录器范围简单地移动一个数量级即可捕捉到超过标尺的那些峰值。每一份含单一元素的分析物水溶液，除铈和锡溶液含 10% 盐酸外其余均含 1% V/V 二次蒸馏硝酸。从 10% 盐酸空白所得波长扫描和从 1% 硝酸空白所得到的没有什么差别。用约为 20—200 的分析物浓度就可产生很有利的光谱线强度范围，即获得最大的纯信-背比。通常情况下每个元素只使用一个浓度。对于钙和钠则使用了第二浓度，就有可能选择一些基本上可替代使用的比较弱的谱线记录下来。被分析物浓度均已标注在各个波长的扫描图中。

放大器-记录器相结合的对数标尺是用于校正电流，使之适合于市售的 4 级对数纸的十进位分度。要进行这种校正，可用校正电流取代输入信号到对数放大器的光电倍增管（见表 I-1），这个校正信号源具有准确地推算出整个测量范围的已知电流能力。这种校正每天都得进行核对，而且要在元素波长扫描开始记录之前进行。189—517 nm 范围的完整的参考空白（纯水加上 1% 重蒸馏 HNO₃）扫描也要每天记录，作为考察体系性能的一种方法。

强度的对数读数可用作测定信-背比和估算记录光谱中任何谱线的检出限的一种简单方法。

在对数标尺中，两个数值的间隔相应于这两个数的比的对数值，而不是像线性标尺那样相应于它们的绝对差。因此，总强度 I_g 和背景强度 I_b 之间的差在对数标尺中以下式表示


$$\log I_g - \log I_b = \log (I_g / I_b) \quad (1)$$

因为总强度 I_g 是纯物质强度 I_n 和 I_b 的加和，因此，

$$\log I_g - \log I_b = \log (I_n / I_b + 1) \quad (2)$$

如果一个具有和记录标尺同样大小的对数标尺放在光谱线旁，并有相应于背景值大小归一的单位，那么标尺上的反对数值便相应于 $(I_n / I_b + 1)$ ，如图 I-1 中 Zn213.86nm 峰值的左边所示。如果在对数标尺上的反对数值减去1，就可以直接而迅速地读出任何光谱线的 I_n / I_b 比，正如图 I-1 Zn213.86nm 峰值的右边所示。

表 II-1 实验装置和操作条件

单色仪	Jarrell-Ash 78-466型；焦距1米；光栅1180条/mm，闪耀波长250nm；入射及出射狭缝20 μ m；扫描速度12.5nm/min
 光电倍增管	EMI 97890QA
等离子	
HF发生器	Plasma-Therm HFS-2500D型
瞬时功率	1100W
外管气流速*	20 l/min Ar
中间管气流速*	这一辅助气并不用于正常操作，只用于等离子的点火 \approx 1 l/min Ar
垂直观察区	高于感应线圈12—18mm
喷雾器	气动交叉一流动型，配有Scott型喷雾室
气溶胶载气流速*	1 l/min Ar
样品提升速度	1.9 ml/min
数据收集系统	Ames实验室设计和安装的对数电流/电压转换器(放大器)；1V/数量级输出 Keithley 261型参考校正电流，微微安培电流 Hewlett-Packard 7001 AM X-Y记录器

*不同气流所使用的名字根据Montaser等人(1981)的推荐。

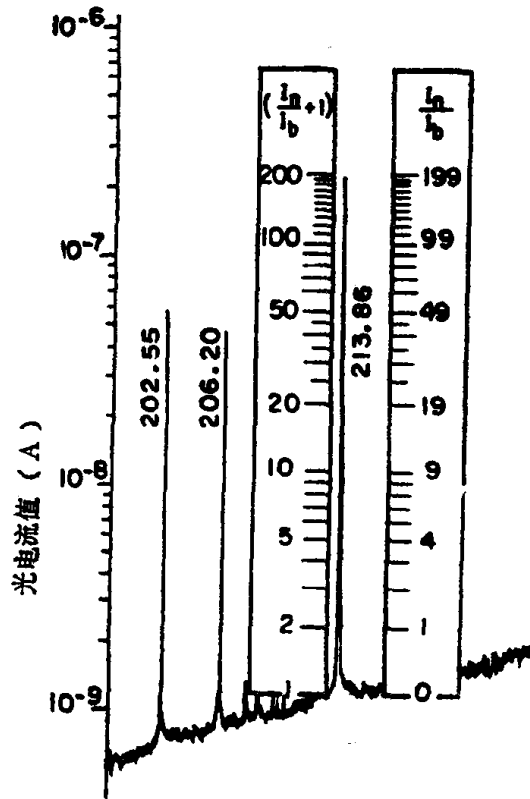


图 II-1 光谱线的信-背比(I_n/I_b)可以从刻有适当数字的对数标强度中直接读出。图中标尺是叠印在Zn光谱图上的。关于标尺的解释请读本文。

通常，检出限定义为产生一个相当于某一因子乘于光谱线背景标准偏差的纯信号所需要的分析物浓度。根据Kaiser (1970) 提出的这个因子为3，则相应于某一分析物存在的置信度约为95%。如果信号处理系统的所有操作得当，正常操作条件下的光谱背景测量中的相对标准偏差通常在0.3—1.0%的范围内。

如果以分数表示背景的标准偏差，保守地假定为0.01，那么检出限可估算如下：

$$DL \approx \frac{3(0.01 I_b) C}{I_n} \quad (3)$$

$$DL \approx \frac{0.03 C}{I_n/I_b} \quad (4)$$

式中 C 为产生 I_a/I_b 的分析物浓度。给定分析物浓度值，即可根据检出限的估算值制作出类似于图 I-1所示的对数标尺供直接读数。

C. 波长扫描的译释

附录A中的记录光谱由70个元素的232个单个波长扫描和参考背景组成。为记录方便，把这些光谱分成下面几个87nm区：

189—276 nm	
270—357 nm	
350—437 nm	}
430—517 nm	
510—597 nm	
	使用硅酸硼玻璃滤光片

前4个区的扫描是用所有70个元素和参考背景得到的。最后一个区(510—597 nm)的扫描只用钠和参考背景得到的，因为其它元素的杰出线在这一区很少。并不是所有扫描区都有可观察到的分析物谱线，那些不存在分析物谱线的扫描区没有列在附录A中。

ICP发射光谱的复杂程度很不一样，由非常简单的如碳发射光谱只有三条可观察的谱线与非常复杂的如铯、钽和铪发射光谱竟有几千条谱线。想用一种方法来完成ICP发射的所有光谱线的波长和强度这一内容广泛的译释工作从而收集其光谱数据，从所需要的人力和物力看，这将是一项难以做得到的事。我们选择了比较简单和较为经济的图解法，即如前一节所描述的使用对数强度标尺法。这一图解法适于对光谱的定性和定量估计，并能识别那些测量痕量浓度能力最大的每一元素的光谱线。

下面几部分将详细讨论单个波长扫描或分组扫描情况。

参考空白扫描 在最佳分析条件下操作时，ICP显示出非常干净的背景光谱。正如28页所示，在189—276nm区的唯一明显特征是 O_2 吸收带(17页图示与此一致)和193.09及274.86nm的碳线。在270—357nm区(29页)，有281.13和306.36nm OH带及317.30nm开始的许多氩线。在350—437nm区(30页)，主要特征是氩线和氢谱线扩宽的巴尔麦系的开头。在430—517nm区(31页)的连续背景中主要特征还是氩和氢线。在510—597nm区(32页)，仅有氩线出现在参考背景光谱中。处于高于430—517nm区的许多氩线和整个510—597nm区都显示出明显的斯托克(Stark)变宽(Mermet和Trassy, 1981)。

第二组参考空白透明光谱图片(胶片形式)。当有适当的透明图重叠在附录A中的光谱时，元素谱线可以很清楚地和背景发射区分开。在某些光谱的记录标尺上或照像复原中，有微小差别需要使透明图沿X-轴稍作移动来校准不同部分的光谱。

分析物扫描 在分析物扫描中，强度轴的对数扫描可以将弱线和强线都记录在同样的标尺上。正如前面所说，ICP 发射的所有光谱线的识别工作超出本课题现有的能力。所有扫描都使用差不多固定的间隔（每一次扫描高达10个取决于光谱线的数目）作为标识波长。用这些标识波长作参考，再借助谱线表如 MIT 波长表（1969）来识别干扰光谱线。除未列谱线和处于光谱线密度很高区的某些弱线外，大多数分析物谱线都可用这种方式识别。用于识别标识波长的资料列举如下：

- “关于中性硼 B I 的光谱”（Gunnvald 和 Minnhagen, 1962）。
- “真空紫外发射线（小于 2000 Å）”（Kelly, 1959）。
- “小于 2000 埃的原子和离子发射线——以氢到氩”（Kelly 和 Palumbo, 1973）。
- “麻萨诸塞州理工学院波长表”（MIT, 1969）。
- “光谱线强度表” I, 按元素排列；II, 按波长排列；（Meggers 等人, 1975）。
- “二次电离铥（Tm III）的光谱”（Sugar, 1970）。
- “二次电离铕（Eu III）的光谱和能级”（Sugar 和 Spector, 1974）。
- “按波长排列的稀土光谱线”（Wysocka-Lisek, 1970）。
- “光谱线表”（Zaidel 等人, 1970）。

需要着重指出，ICP 中所观察到的许多谱线在主要的波长出版物中找不到。譬如，小于 200nm 的钷谱线在上述文献中并没有列出。通常在光谱的最短波段即 200—260nm 范围有许多稀土元素可用的谱线。一般认为“近紫外区原子发射线：氢到氩波长表”（Kelly, 1979）是在所列元素内包含谱线最广泛的波长表，但用它来识别波长的主要波段还是不适用。未列入的和未被识别的谱线将在第 III 节里详细地加以讨论。对于波长参考资料无能为力的那些波段，用标识波长对原有光谱进行测量估算，并在这些元素波长前加近似符号（~）在附录 A 中列出。因此这些谱线被认为最有可能从试验元素中产生，因为它们与可能的或普通的杂质谱线无关。估计这些近似波长的准确度在 0.1nm 以内。

识别波长的标号在该光谱线顶部中心部位；标识波长则列于每个波长扫描的下边。有时几条谱线分辨不清或太靠近而不能单个识别，便列出已知识别波长的多重波长。识别波长的符号 I、II 和 III 表示这些谱线分别从中性原子、一次电离态和二次电离态产生。没有电离态标记则表示这些谱线在参考波长表中未被分类。

杂质元素，特别是那些具有很强谱线而且普遍存在的元素如碱土元素，它们的光谱线出现在许多分析物的扫描中。由于溶液的沾污（如储存在玻璃器皿中）或石英炬管的腐蚀，最强的硅线在一些扫描中以低强度出现。在上面“参考空白扫描”中提到的两条碳线存在于所有的分析物扫描中，可能由于氩等离子气含碳的缘故。分析学家应熟悉碳线和钙、镁及硅的最强线或分组线的位置（由适当的扫描获得），这样就可以在其它元素的扫描中容易辩出这些谱线来。

附录A中所记载的光谱如44页的硼光谱, 其实际波长分辨率(非分光计)稍小于0.1nm。线对 249.678—249.773 nm相差 0.095nm, 它们的峰值之间最低处强度只有线对最大强度的约3% (线性标尺计)。线对 208.893—208.959 nm相差 0.065nm**, 它们的峰值之间最低处约为最大强度的11%。

D、杰出线*的译释

附录A中所展示的发射光谱是估算每一元素不同谱线的痕量分析能力的一种便利方法。72个元素中每个元素的杰出线都已经从这些光谱图中收集并按元素的字母顺序一组一组波长列于附录B中。大多数元素都列出了10条以上的谱线, 但有少量元素可测强度的谱线不足10条。每个元素的这些谱线按检出限升高的顺序排列于附录B-1。必须注意检出限越接近、这些谱线的排列次序的不确定度就越大, 因而这种排列的重要性也就变得越小。除谱线波长, 信-背比值和检出限数据外, 表B-1还包含一个光谱干扰栏, 正如在附录C的重叠轮廓图中所观察到的那样(通常每个元素只给出4条最杰出线的)。

用于本节测量的实验装置和操作条件与表I-1所列相同。测定线信-背比和检出限的方法已在第二部份B节中叙述。

三、选定的杰出线和可能干扰线的光谱重叠轮廓图

A、序 言

自从建立原子发射光谱分析以来, 光谱干扰就成为分析学家的一种烦恼, 同时也是常见分析误差的来源。用发射光谱法分析基体复杂的样品, 必需时, 要慎重挑选无干扰谱线和采用干扰校正技术可得到准确、精密和快速的元素分析。

在第一部分已经讨论了已有的波长表用于ICP光谱干扰尚存在着的缺陷。这种缺陷可归纳如下:

* 杰出的定义为“很突出因而易于看见”, “明显超出邻近的表面或谱线”(Random House 英语字典, Unabridged 出版, 1966年)。附录B中的杰出线取自原发表于应用光谱学(Winge等人, 1979b)并获该刊准许重印。

** 线对 208.893—208.959 nm 相差应为 0.066 nm——译者注。

已有波长表遗漏了许多在 ICP 中足以造成光谱干扰的很强的谱线。除共存物谱线对分析物谱线的简单重叠之外，其它类型干扰也是很重要的，而这一点在原有的波长表中并没有考虑到。为此，我们断定，存在大量重叠元素的可能选用的分析谱线波长，轮廓图将提供有关 ICP 光谱分析中出现光谱干扰的最有用的信息。

除非采用适当的校正措施，否则无论怎样产生的光谱干扰都将导致分析物谱线强度的系统偏差。计算机辅助背景校正技术已得到发展 (Haas 等人, 1978, 1981)，已有几家 ICP 光谱仪器的出售商提供软件和硬件，用来校正背景和光谱线干扰。

我们利用有计算机的控制能力的单色仪扫描 (Floyd 等人, 1980) 获得从未得到较普遍存在的重叠在 70 个元素中每个元素杰出线上的波长轮廓图，因而在 ICP 光谱中可观察到许多光谱干扰的详细情况。最初共存物的挑选是根据在水、沉积物、地壳和生物样品中的元素相对丰度而定。许多选定的共存元素在其它类型的样品中，如在矿石、矿物、炉渣和灰份中也是比较丰富的。

B、实验装置和实验方法

采用两个独立的实验体系来收集本节所讨论的重叠轮廓图数据。两体系的仪器和操作条件如表 III-1。轮廓图的重叠量用 Floyd 等人 (1980) 描述过的体系 I 得到。体系 II 采用第二代计算机控制的单色仪，识别出 53 条重叠轮廓波长并列于表 III-1 末尾。

样品溶液 实验数据的第一部分也是主要部分，是用表 III-2 列出的分析元素标准溶液第一组得到的。数据的第二部分，使用了比较简单的分析物元素组 (表 III-2, 第二组) 来认辨

表 III-1 实验装置和操作条件

	体系 I	体系 II
单色仪	McPherson 285 型双单色仪，焦距 0.5m，光栅 1200 条/mm，闪耀波长 300nm，入射和出射狭缝 10 μ m，中间狭缝 50 μ m	McPherson 2051 型，焦距 1 m，光栅 A：全息光栅 1800 条/mm，“效率最佳范围” 425—850nm。光栅 B：全息光栅，1800 条/mm，“效率最佳范围” 200—700nm。入射和出射狭缝宽 10 μ m
等离子		
HF 发生器	应用研究实验室所用 QA-137 型，27.12MHz，3000W	Plasma-Therm HFS 5000D 型，27.12MHz
瞬时功率	1600W	1100W
反射功率	5W	5W
外管气流	16 l/min Ar	20 l/min Ar

	体系 I	体系 II
中间管气流	1 l/min Ar 只用于等离子点火，正常操作时关闭这一气流	1 l/min Ar 只用于等离子点火，正常操作时关闭这一气流
垂直观察区	高于感应圈16mm，中心为4mm处的高度区	高于感应圈16mm，中心为4mm处的高度区
喷雾器	Taylor(1980)所描述的具有去溶剂化作用的超声波雾合器。操作条件：1.4MHz	Olson 等人(1977)所描述的具有去溶剂化作用的超声雾化器。操作条件：1.4MHz
气溶胶载气流速	1 l/min Ar	1 l/min Ar
样品提升速率	2 ml/min	2 ml/min
数据收集系统		
扫描控制器	McPherson 785型	McPherson 786-A型
A/D转换器	Analog Technology公司 151型电流-频率转换器	Analog Technology公司 151型电流-频率转换器
计算机	Digital Equipment公司 PDP-11/03微处理器，配有24K存储器和双驱动软磁盘存储系统。	Digital Equipment公司 PDP-11/34 计算机，配有128K 存储器和双驱动盒式硬磁盘存储系统。
接口	Ames实验室设计和安装	Ames实验室设计和安装
积分周期	1.0 s/数据点	0.5 s/数据点
应用	体系 I 用于附录C中的所有重叠轮廓，旁边一行体系 II 所列的那些波长除外	体系 II 用于如下重叠轮廓： 用光栅 A： Cs 455.53 nm Li 610.36 nm 459.32 nm 670.78 nm 852.12 nm In 451.13 nm Rb 420.18 nm 421.56 nm K 404.41 nm 780.02 nm 404.72 nm 794.76 nm 766.49 nm 769.90 nm 用光栅 B： C 193.09 nm Nd 401.23 nm 247.86 nm 406.11 nm 415.61 nm Ce 413.38 nm 430.36 nm 413.77 nm 418.66 nm Pr 390.84 nm

体系 I	体系 II
	Ce 446.02 nm
	Pr 414.31 nm
	417.94 nm
	Cu 324.74 nm
	422.54 nm
	327.40 nm
	Sc 357.25 nm
	Dy 340.78 nm
	361.38 nm
	353.17 nm
	363.08 nm
	353.60 nm
	364.28 nm
	364.54 nm
	Se 207.48 nm
	Eu 381.97 nm
	393.05 nm
	412.97 nm
	420.51 nm
	Te 238.58 nm
	Th 401.91 nm
	Gd 336.22 nm
	Yb 369.42 nm
	342.25 nm
	Zr 339.20 nm
	Ge 209.43 nm
	343.82 nm
	348.62 nm
	Hf 263.87 nm

表 III-2 用于产生重叠轮廓的分析物元素组。所有溶液含1% HNO_3 。
各元素后面的数字为浓度mg/l

标准溶液第一组

1	2	3	4	5	6	7
Al 10	Ce 10	Er 10	As 10	Au 10	Ba 1	Hg 10
Ca 1	Dy 1	Ho 1	Bi 10	B 10	Be 1	Li 10
Fe 1	Eu 1	La 1	Cr 1	Co 1	Cd 10	Na 10
Mg 1	Gd 1		In 10	Ga 10	Cu 1	Nb 10
Ti 1	Hf 10	Os 10	Pb 10	Ge 10	Ir 10	Rh 10
	Nd 1	Pt 10	Sb 10	Mn 1	Mo 10	Ru 10
	Pr 1	Sm 1	Sc 10	Pd 10	Ni 10	Si 1
	Sc 1	Tb 1	Sn 10	Te 10	P 10	Sr 1
	Th 10	Tm 1	Ta 10	W 10	Re 10	Y 1
	Yb 1	U 10	Tl 10	Zn 10	V 1	
	Zr 1	Yb* 10				

*Yb是无意地被加在溶液 I-3 中而取代了Lu。所以Lu只好安排在标准溶液第二组里。

续表 III-2

标准溶液第二组

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag 10	Au 10	Gd 1	La 1	Hg 10	Sm 1	Tb 1	Tm 1	U 10
Bi 10	Ba 1	Nd 1	Lu 10	Li 10				
In 10	Cd 10	Pr 1	Pt 10					
Se 10	Ce 10							

标准溶液第三组

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cs 1000	In 10	K 1000	K 1	Li 1	Li 0.1	Rb 1000	Rb 100	Rb 1	C 100	Ge 10 Se 10 Te 10

表 III-3 用于产生重叠轮廓的干扰溶液。所有溶液含1% HNO_3 。浓度单位为mg/l

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Al 1000	Ca 1000	Cr 200	Cu 200	Fe 1000	Mg 1000	Mn 200	Ni 200	Ti 200	V 200

在第一组元素谱线识别中出现的不能确定的线。第三组份(表 III-2 第三组)是另外一组新溶液,它相应于第一组第2号溶液用来识别表 III-1 中体系 I 末尾所列的谱线。表 III-3 列出10个单独制备的干扰元素溶液及它们的浓度。所有分析物和干扰溶液都是由高纯试剂和储备溶液中制备获得。

分析谱线的选择 通常重叠轮廓图是由每个元素的四条最杰出谱线得到的。这些谱线可从附录 B 的杰出线表中查到。有少数几个元素,如碳和磷,在所采用的操作条件和浓度下可观察的谱线不足4条。有几个元素(钙、铁、锂和镁)则列出另外一条或第五条谱线,这条线或者是一条比较弱的谱线适用于高浓度的测量,或者是一条为了其它目的而在 ICP 光谱中已被广泛使用的谱线。装有可测长波长的光栅和光电倍增管的体系 I 也可以收集附录 A 波长扫描数据中一些未被列入的有用的长波长谱线(碱金属)重叠轮廓数据。

实验方法 谱线轮廓图覆盖 0.3nm 波长区,每一区都以分析线为中心。每一个轮廓图以步长 0.01 nm 增长。由31个单独测量组成。在已知分析物溶液中所选择的各元素谱线,可从计算机的存储中检索,并按 Floyd 等人(1980)所描述的通过计算机依波长升高的顺序排列。譬如,含10元素的分析物溶液,每一元素选择了4条谱线,总数40条分析线输入到控制