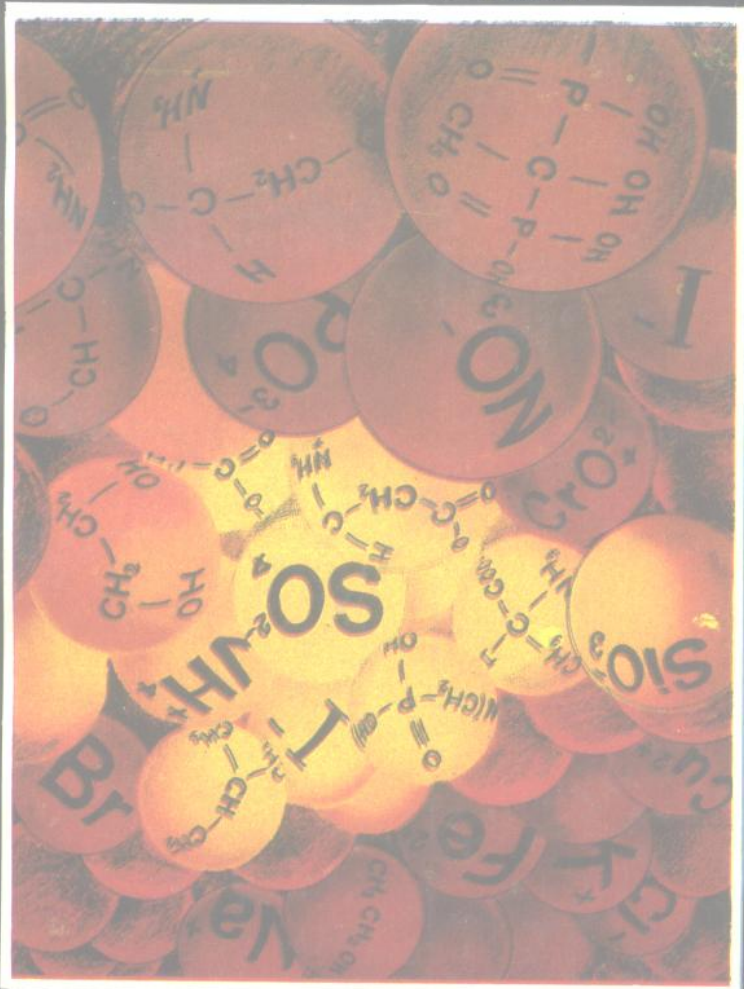


離子色譜 及其應用

吳宏 彭中貴 編譯 重慶出版社



THE PRACTICE OF ION
CHROMATOGRAPHY



54.6471
272

離子色譜 及其應用

吳 宏 彭中貴 編譯 重慶出版社

THE PRACTICE OF ION
CHROMATOGRAPHY

重 庆 出 版 社

1988年·重慶

特约编辑：杨大业

封面设计：乔楠

吴宏 彭中贵 编译

离子色谱及其应用

重庆出版社出版、发行（重庆长江二路206号）

新华书店经销 重庆印制一厂印刷

*

开本850×1168 1/32 印张12.75 插页2 字数 310 千

1988年3月第一版 1988年3月第一版第一次印刷

印数：1—3,650

*

ISBN 7-5366-0118-2

TQ·1

科技新书目：163—322 定价：3.85元

内 容 提 要

离子色谱 (IC) 法是西方发达国家近几年发展起来的一种新的化学分析方法。目前, 在国内已逐渐开始引起注意。据国外文献报道, 离子色谱法比目前应用广泛的高效液相色谱法 (HPLC) 的发展更快, 是一种很有前途的分析方法。该法能快速、高效、灵敏、方便地分离和检测各种离子的含量。例如, 无机阴、阳离子和有机阴、阳离子。离子色谱方法的应用领域非常广阔, 可用于环境监测, 有机化学, 无机化学, 生物化学, 食品工业, 农业科研, 工业卫生, 药理学, 法医学等的检验工作。

本书共十四章, 分别为: 引言, 离子交换树脂及分离原理, 检测器, 电导阴离子色谱 I: 抑制型, 电导阴离子色谱 II: 非抑制型, 电导阳离子色谱 I: 抑制型, 电导阳离子色谱 II: 非抑制型, 借分光光度及电化学检测的离子色谱, 离子排斥色谱, 离子色谱实践, 非抑制离子色谱, 离子色谱的应用, 离子色谱方法的拟定, 离子色谱未来的发展, 最后是附录。

本书第一章至第九章 (含第九章) 由吴宏同志编译, 并撰写了前言。第十章至第十四章由彭中贵同志编译。

前 言

色谱法作为一种分离技术始于1903年，其创始人是俄国的植物学家Mikhail Semenovitch Tswett。他研究过植物色素并进行了用白垩柱分离叶绿素的工作，该成果发表于1906年的德国植物学会志上。1941年，著名的A. J. P. Martin用硅胶玻璃管柱进行实验，研究成功了分配色谱法。1944年和1952年，他又分别研究成功了纸色谱法和气相色谱法。1956年，E. Stahl发明了薄层色谱法。从此，色谱法在分离方法中占据了重要地位。

色谱法本质上是利用样品成份在两个不同相中平衡分配的差别而引起样品成份之间的分离。这两个不同的相一为固定相，一为流动相。流动相有液体和气体，色谱法也就分为液相色谱和气相色谱。液相色谱法根据其固定相形式的不同又分为柱色谱法，纸色谱法和薄层色谱法。通常说的液相色谱法指柱色谱法。柱色谱法又因其固定相的分离机理不同而分为分配吸附色谱法，离子交换色谱法和凝胶色谱法。

离子交换色谱法（IEC）是文献中所发表的最老的分离和纯化方法。由于其分析速度慢及检测手段未解决，分析应用进展不大。自从六十年代末期采用高压技术和改进了柱填料后形成高压离子交换色谱，有效地解决了经典离子交换色谱存在的速度慢、灵敏度低等问题。另外，IEC还具有较高的分离效率，但由于所用的淋洗液几乎都是强电解质，具有很高的电导率，因此很难用电导检测法区别待测离子和淋洗离子，一般只能用可见或紫外分光光度法，因此只能限于测定在可见或紫外光区有吸收的离子或

通过适当反应生成在此范围内有吸收的某些离子，不能同时测定多组份。如果能够扣除淋洗液的背景电导，突出待测离子的电导，电导检测器就是一个很理想的可用于IEC的通用检测器。1975年，Small等发表了用“电导检测器的新离子交换色谱法”，用“抑制柱”扣除高背景电导，后来就把这种方法称为离子色谱法。也可把离子色谱法看成是IEC的新发展和改进。

离子色谱法（以下简称IC）是1975年由美国Dow化学公司Small等人研制的一种新的离子分析技术。自从IC问世以来解决了许多分析化学中长期存在的疑难问题，例如：多组分无机离子的分析，环境样品和生物样品中超微量离子的快速分析，卤水、盐水及海水中离子成分分析等等，不需或很少对试样进行预处理就很容易分析复杂样品的离子组成。如今，IC已广泛地应用于环境监测、化工、冶金、地质勘探、电力工业、核工业、食品工业、卫生防疫和科学研究等众多领域。IC已能分析近百种离子。近几年来，许多新型检测器，如电化学检测器，紫外-可见光检测器，荧光检测器逐渐引入IC领域，离子色谱法的应用面正在日益扩大，预计IC将在更多的领域得到应用。

离子色谱法是借物质在离子交换柱上或在浸透过一种离子交换剂的薄膜上迁移的差异而分离物质的一种技术。与经典的化学分析方法比较，具有快速、高效、方便、灵敏、选择性好等优点，因而发展速度很快，应用面很广。近几年由于将高效液相色谱法的技术引进离子色谱中，从而使离子色谱能在较短的时间内测定更多的离子。将用于高效液相色谱法的紫外吸收检测器引进离子色谱法中，使一些不具有紫外吸收的离子，通过离子交换产生了紫外吸收。根据其吸收率的变化值间接地进行定量。从而扩大了离子色谱的应用范围。下面简单介绍离子色谱仪、离子交换分离柱及分离原理、离子色谱的检测方式、离子色谱在各领域的应用、离子色谱的最新进展及其展望。

一、离子色谱仪

离子色谱仪由四大部分组成：进样装置、分离装置、检测装置、数据处理装置。

进样装置：离子色谱法的淋洗液是液体，需要能恒定和精密地推动液体经过柱的设备。有两种典型的泵：恒压泵和恒流泵。离子色谱仪使用恒流泵，也使用恒压泵。

样品应从柱顶引入，并使其对柱填充物的扰动最小。离子色谱仪使用的注射器是回路阀注射器，这种类型的注射器用于注射的样品体积通常大于10微升。仪器的进样开关处于装载位置时，样品回路管是处于大气压条件下充满样品的。进样完毕，启动注射开关时，阀转向与淋洗液管路接通，在回路管中的样品被带进淋洗液流并进入柱内进行分离。

分离装置：分离柱是离子色谱仪的心脏。分析成功与否与柱的选择和合适的操作条件有关。离子色谱仪常用的分离柱内径为4mm，柱通常是用聚氟化合物和环氧化合物制成。通常在大气环境温度下操作，但也可提高温度。各种柱的填充物由所采用的分离方式而定，填充离子交换柱的树脂可由改变其外层树脂的交联度、粒度和官能团等来改变其选择性。

检测装置：对检测器的要求是能检测出在柱流出液中样品成份及其含量。评价离子色谱仪检测器好坏的标志是高灵敏度，低噪声，线性响应宽和对所有离子都能响应，还要求水流敏感性低，温度波动干扰小。离子色谱仪常用的检测器是电导检测器，电导是溶液中所有离子的共性，并与离子浓度具有简单的线性关系。然而，样品离子所产生的电导率，常被强电解质的淋洗液离子所产生的电导率所“掩蔽”。可用化学抑制作用，使淋洗液的背景电导率降低到低水平或者可忽略的水平。化学抑制作用可用由离子交换树脂和离子交换膜所组成的抑制柱实现。电导检测器

可提供高灵敏度和高选择性。离子色谱仪不只限于使用电导检测器，也可使用电化学检测器，紫外-可见检测器和荧光检测器。

数据处理装置：电子积分仪给离子色谱仪提供了将色谱信号高精度地自动变成数量形式的可能性。因为检测器的输出直接送到积分仪，消除了记录仪可能产生的误差。电子积分仪是一种能自动测量峰面积、峰高和保留时间的仪器。一般说来，积分仪比人工测量峰高和峰面积的结果更精密、更准确。色谱分离的结果也可显示在长图记录仪上，从色谱图上得到保留时间或保留体积。如果适当控制分析条件，它可用于定性某一成份。峰面积和峰高都与浓度成正比，因而可获得定量结果。

二、离子交换分离柱及分离原理

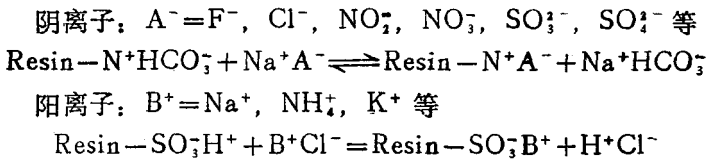
离子交换分离柱是离子色谱仪的核心。离子色谱柱所用的树脂主要是苯乙烯—二乙烯苯，另外，还有硅基树脂，聚丙烯树脂，聚甲基丙烯酸树脂等。目前离子色谱法主要有四种不同的分离方式，各使用具有不同的离子交换容量的填充材料，分离机理各不相同，这四种分离方式是：

- (1) 高效离子色谱(HPIC)
- (2) 流动相离子色谱(MPIC)
- (3) 高效离子排斥色谱(HPICE)
- (4) 非抑制型离子色谱（也可称单柱离子色谱）

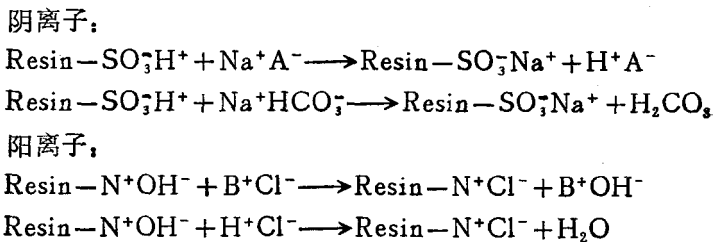
各种分离方式所使用的树脂类型及树脂的交换容量如下：

分离方式	树脂类型	交换容量(毫当量/克)
HPIC	较低离子交换容量	0.01~0.05
MPIC	无离子交换容量	0
HPICE	高离子交换容量	3~4
非抑制型	低离子交换容量	0.007~0.07

高效离子色谱 (HPIC) 使用薄壳型低交换容量的离子交换树脂, 分离机理为离子交换。离子交换是离子色谱法的主要分离方式。阳离子 HPIC 使用的树脂核是苯乙烯-二乙烯苯聚合物, 树脂核表面为磺酸基团, 阴离子 HPIC 使用的树脂是在阳离子交换树脂上键合表面胺化的阴离子交换树脂。待测离子在分离柱中根据对树脂亲和力的不同而先后被淋洗出来, 并随淋洗液进入抑制柱。分离柱上离子交换反应如下:



经分离柱分离的样品离子随淋洗液进入抑制柱, 在抑制柱中发生两个重要的化学反应:



待测离子从盐的形式转变成相应的酸 (阴离子) 和碱 (阳离子), 而淋洗液通过抑制柱转变成弱电解质的碳酸 (阴离子) 和水 (阳离子), 电导大大降低, 待测离子的电导通过抑制柱反应没有变化。由此扣除了淋洗液的高背景电导, 突出了待测离子的电导。

HPIC 用于分析普通的无机阴离子和阳离子, 如: $F^-, Cl^-, NO_2^-, HPO_4^-, Br^-, SO_4^-, Li^+, Na^+, NH_4^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Fe^{3+}, Zn^{2+}, Ni^{2+}$ 等, 这些离子中的大部分是用电导检测

器检测，过渡金属离子用紫外检测器检测，弱酸离子如 HS^- 、 CN^- 、 OCl^- ，用HPIC分离，安培检测器检测。能用HPIC分析的其它类化合物是羧酸化合物（甲酸，乙酸，酒石酸和草酸等）及磺酸，含氧阴离子，多价阴离子，碳水化合物和胺类化合物。

MPIC 是近年来研制成功的一种使用新的柱填料的分离技术。使用离子交换容量为零的交换树脂。其主要分离机理是取决于中性离子在亲水性的流动相和疏水性的固定相之间的分配。使用含有离子对试剂和有机改进剂的淋洗液及化学抑制型电导检测器，只要选择适当的离子对就能分离阴阳离子。MPIC 是分离和鉴定金属氰络合物 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ 、 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ 、 $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ 、 $\text{Au}(\text{CN})_4^-$ 的有效方法，能分析多种疏水性阴阳离子，能测定脂肪族胺类、脂肪族和芳香族磺酸类、硫酸盐、疏水性无机离子 BF_4^- 、 SCN^- 、 I^- 、 ClO_4^- 等，MPIC 也能分析亲水性离子，但不及HPIC有效。

HPICE使用全官能化的（即高交换容量）阳离子交换树脂，它利用道顿排斥现象实现分离。这一现象限制带电荷离子移动穿过“半渗透膜”进入孔隙内的能力，而非离子物种不会受到道顿排斥，因而可渗透进入树脂孔隙内。这种分离方式用于快速分离有机物质及有机和无机基团之间的分离，能进行较复杂的样品分析，如酱油的分析，进样后首先把无机酸分离出来，然后进一步分离有机酸。HPICE与HPIC结合使用时（这种测定方式简称为ICE-IC），可分析组分复杂的样品，如尿、血浆、纸浆及食物，也可同时分离强酸和弱酸。注射含强酸和弱酸的样品，弱酸用ICE分析，强酸收集在HPIC保护柱上，用标准HPIC法分析。

非抑制型离子色谱法使用低容量交换树脂，其分离机理为离子交换。用苯甲酸盐，邻苯二甲酸盐，柠檬酸盐及苯甲酸等淋洗液，这些淋洗液的电导低，其背景电导对样品电导影响不大或基

本无影响。检测器可直接与分离柱连接，测定分离柱分离的待测离子，不需抑制柱。由此大大简化了离子色谱仪的结构，使分析操作更简便。非抑制型离子色谱法可分离 F^- 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 Br^- 、 NO_2^- 、 SO_4^{2-} 、 I^- 、 SCN^- 、 $C_2O_4^{2-}$ 、 PO_4^{3-} 、 HCO_3^- 、 ClO_4^- 等阴离子、 Li^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Rb^+ 碱金属及 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Sr^{2+} 碱土金属，氨及部分有机酸。

对一个具体的分析问题采用那一种分离方式，由样品基质，灵敏度及速度所决定。对不同的分析样品，有不同的要求。根据不同的要求选取不同的分离方法。若样品组分较复杂，或需同时测定样品中的多个组分，这时可联合使用两种不同的分离方法。

三、离子色谱法的检测方式

一般来说，检测方式可分为两种基本类型：一种是基于电化学反应的检测器，如电导、电流和脉冲电流检测器，另一种是基于光学测定的检测器，如紫外-可见光和荧光检测器。对检测器来说，通常分为通用型和选择型两种。通用检测器对检测池中存在的所有离子都有响应，电导检测器是典型的通用检测器，这是因为溶液中的所有离子都导电。紫外-可见、安培、荧光检测器是选择型检测器，因为它们只对检测器中存在的某些离子有响应。利用样品离子与某些显色剂或荧光试剂发生后置柱衍生反应，可扩大选择型检测器的应用范围。

目前，离子色谱仪采用多种检测方式，但电导检测器是离子色谱法用得最广的一种检测器，它具有线性范围广、灵敏度高、选择性好和易于操作等优点。该检测器与抑制柱结合，测定抑制背景电导后的样品电导率。最早采用填充型抑制柱，这种抑制柱采用化学抑制作用，不足的是需要定期再生。另外，抑制柱中也发生道顿排斥现象，弱酸（如亚硝酸）由于道顿排斥作用被留在

抑制柱内，当抑制柱耗尽时，由于树脂变成钠型，道顿排斥作用不明显，这就导致峰增宽和峰高变化。同时，“水跌”的移动也涉及道顿排斥作用，这就导致使用自动积分仪定量氟化物和氯化物时出现困难。近来研制成功自动连续再生的空心纤维抑制柱，克服了上述填充抑制柱的缺点，同时结合化学抑制作用，大大提高了离子色谱法的选择性和灵敏度。

安培检测器是用恒定电位测量待测成分氧化还原反应所形成的电流的检测器。用于离子色谱近来发展很快，可测定 $PK_a > 7$ 的离子中一些具有电化学生活性的物质如 CN^- 、 HS^- 、 Br^- 、 I^- 、 OCI^- 、胂，也能测定酚类和芳香胺化合物。在离子色谱仪上能与电导检测器联用，一次进样就能向两种检测器提供足够分析的弱电离和强电离的无机组分，并能同时测定电化学生活性和非电化学生活性的组分。

脉冲安培检测器使用三个不同的电位测定待测成分的氧化还原反应所形成的电流， E_1 和 E_2 用作从电极表面除去氧化层或其它反应产物，从而可克服安培检测器钝化电极的缺点。可用于测定醌类、醇类、酚类，以及低聚合糖类。

紫外-可见检测器利用光吸收技术检测物质。所依据的基本原理是郎伯-比耳定律，该定律由下式表示：

$$A = \epsilon bc$$

式中， A 是当比色池长度为 b ，浓度为 c ，其摩尔吸光系数为 ϵ 时的吸光度。在离子交换淋洗液中，各种离子的 ϵ 值应当很低，而样品离子有相当高的 ϵ 值。紫外-可见检测器目前采用直接检测和后置柱衍生检测二种方法。与电导检测器联用，可增加离子检测的选择性和灵敏度，补充两种检测方法的局限性。另外，改变检测器的测量波长也可改变选择性。紫外-可见检测器在波长为 $190-570nm$ 之间操作，含氮、含硫或卤素化合物在此范围内有强烈吸收，大多数有机化合物也在此波长范围内有吸收，若

淋洗液中没有干扰的有机物，则在 190—210nm 波长范围内，可用于检测叠氮化物、氯化物、溴化物、溴酸根、碘化物、亚硝酸盐、硝酸盐、亚硫酸盐、硫化物、亚硒酸盐及硫氰酸盐等。与后置柱反应器联合使用，可检测过渡金属和重金属，多磷酸盐和多价阴离子。

荧光检测器利用荧光检测，有两个显著的优点是改进了离子色谱的选择性和对许多化合物的检出限很低。某些有机化合物具有天然的荧光，一般说来，许多化合物都能形成高荧光的衍生物。向后置柱添加某一试剂可使非荧光物种转变为高荧光物种。荧光检测的离子色谱法常用于分析氨基酸、多肽。

近来，微处理机引入 IC，提高了 IC 的稳定性和灵敏度，使离子色谱分析更简便和自动化。

四、定性、定量分析

样品中的组份可以通过样品中各组份的峰保留时间与相应的各组份的标准物峰的保留时间比较加以检定。为此，样品和标准样的分析操作条件必须保持一致。峰的这种检定方法，只在样品中不含有在此色谱条件下，洗脱行为相同的化合物时才是可靠的。当两个或更多的样品组份具有相同的保留特性时，峰的检定有可能出错。定性分析的可靠性可以通过使用具有不同选择性的分离柱来得到保证。如果标准物和样品在两个或更多的分离柱上具有相同的洗脱行为，则这两个化合物就很可能是一样的。反之，如果用一种分离方式具有同样保留特性的两个样品，而在另一种分离方式条件下具有不同的保留特性，那末这两个样品就是不同的。在任何情况下，如果怀疑峰检定的可靠性，应使用一独立的分析技术，如 GC/MS 等或用不同的检测方式加以证实，这种方法对所有的色谱技术都适用。

如果两个峰没有完全分开，又需检测其中一个峰时，则可采取在样品中添加欲测物种，因而可检定峰高增加的那个峰就是欲测峰。在某些情况下，无机和有机化合物可通过两个峰的半峰宽加以区别。通常，在保留时间相同的情况下，较宽的峰是无机峰，这是由于在抑制柱内道顿排斥效应的结果。

样品组份分离和检定后，将样品的响应值与标准样的响应值比较进行定量。如果采样误差和样品制备误差及仪器误差都已降至最小，则定量是准确的。当然，要保证准确定量，色谱分离应是最佳的，应尽量减小峰的重叠和拖尾。重叠的峰可通过降低淋洗液强度或改变淋洗液或增加柱长使其分离。柱超负荷或产生吸附可引起拖尾峰，稀释样品可降低柱的负荷，在淋洗液内添加有机改良剂或增加温度可减小峰拖尾。

离子色谱常采用定量方法有外标法和标准添加法。外标法就是将未知样品的峰高或峰面积同标准样的峰高或峰面积进行直接比较。可采用一点校正法或几点校正法。标准添加法是在分析待测样品受到干扰时使用，在相同的三个样品中，加入不同量的标准，以浓度对响应值作图，曲线外推到X轴相交点就是未知样的待测组分浓度。

五、离子色谱法的应用

离子色谱法最早用于环境样品的分析，分析大气颗粒物，大气气溶胶中的阴离子如 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 SO_3^{2-} 等。用 H_2O_2 水溶液吸收或用活性炭吸收后，用离子色谱法可以测定大气中 SO_2 含量。用涂有三乙醇胺的分子筛吸收 NO_2 和 SO_2 ，然后用离子色谱法测量，可以同时监测大气中氮氧化物和 SO_2 。

离子色谱法也适用于水质分析，可测定水中常量到微量的阴离子。可分析自来水、矿泉水、地下水、地面水和工业废水中的

阴离子和碱金属及碱土金属离子。对多组份阴离子的分离和测定曾是分析化学上的一个难题，离子色谱法能在较短的时间内同时完成多种阴离子的分离和测定，并且灵敏、快速、简便。

在酸雨研究中，离子色谱法是分析阴离子的快速、简便的方法。美国国家环保局（EPA）已确认 IC 为测定酸雨中 Cl^- 、 PO_4^{3-} 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的指定方法。用 IC 分析了重庆雾水中的阴离子和阳离子，分析测定的阴离子有 F^- 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 SO_3^{2-} ，阳离子有 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ ，分析结果的精密度和准确度均满足要求。由此对重庆雾水中阴离子和阳离子含量及各离子的物化行为进行了初步探索，为研究雾水化学组成及其危害提供了基础数据。

IC 还可用于工业卫生，毒物学和法医学。砷是对人体有害的元素之一，毒性很大，特别是三价、五价砷化合物随饮水进入人体后，易为肠、胃粘膜吸收而进入血液中，扩散到所有器官和组织中并聚积起来。砷盐中以三价砷的毒性作用最大。当饮水中砷浓度为 0.3~1 毫克/升，长期进入体内，可引起人体慢性中毒。用比色法测砷，手续繁杂，费时且干扰大。而用 IC 测定则简便、快速，经适当的处理，可以测定无机砷和有机砷。用专门的取样器捕集，然后用适当的溶剂萃取，IC 可测定甲醛和甲酸蒸汽。IC 还可用于分析汽油爆炸物及其残留物和大麻毒素中可萃取的离子。

IC 在工业上的应用范围很广。工艺过程监视和质量控制，石油产品、汽油和柴油中硫的测定，自动监测汽轮机蒸汽中的杂质、矿石组成的分析。在电子工业中，IC 用来分析印刷线路板上的离子含量，也可用来测定电子设备各个组件表面上沾污的阴离子。IC 可测定氯碱工业中盐水、氢氧化钠及氯酸钠等中的常量和微量阴离子，可测定超纯化学试剂中阴离子杂质。

在食品和饮料业中，IC 可测定饮料中微量的有毒元素，测定

大麦中的 NO_2^- 、 NO_3^- ，测定大豆蛋白中的硝酸根离子，测定肉样品中 SO_4^{2-} 、 NO_2^- 、 NO_3^- ；还可测定食品添加剂及粮食中的阴离子。近来，IC已用于生物医学的研究，如测尿中草酸盐和血，血清中溴化物等，IC也用于某些科学研究如叠氮化物的分析和 SO_3^{2-} — SO_4^{2-} 转化动力学的研究等。

由于IC独特的优越性和适应性，其应用范围正在日益扩大，预计不久离子色谱法会渗透到各个领域。

六、离子色谱的最新进展与展望

离子色谱法是较新的离子分析技术。自1975年问世以来，已有了惊人的发展。近几年来，分析技术也有显著提高。最初的离子色谱法是使用分离柱，抑制柱和电导检测器组成的离子色谱仪进行分析的方法，最近使用了单柱（分离柱）并用凝胶型柱代替离子交换柱，电化学检测器，特别是紫外和可见检测器引进了离子色谱法中。因为IC是高效液相色谱（HPLC）的一个特殊分支，目前的IC仪和IC方法在许多方面都类似于液相色谱的技术和装置，展望将来，这一方法不仅可以测定离子，而且可以测定某些无机化合物和有机化合物。

目前高效液相色谱法的技术发展很快，定将不断地把其先进技术引进离子色谱法中。液相色谱仪最近的发展集中在三个主要领域：（1）更完善的泵送系统；（2）改进柱子和淋洗工艺；（3）改进检测器。在HPLC泵送系统中，最大的进展是可以“恒定”地几乎是无脉冲地输送液体，现在使用微机控制的双或三活塞泵，能进行分步或连续梯度，这一革新允许像容积压缩性这样的因素分解到梯度中。使用小颗粒的反相硅填料，提高了HPLC的分离效率。这些较小颗粒的填料常具有更高的理论塔板数。随着柱填料的改善，流动相也将随之改进，从而使分离效果更佳。检

测器也得到明显发展，它们通用性更好，可靠性更佳，灵敏度更高。

离子色谱法将同高效液相色谱法同时发展，但各自又有自己的特点。改进柱子设计和采用较小的树脂颗粒填料能得到高效的柱子，但这将增高系统的工作压力，对离子色谱法更有效的办法是研究树脂，以改进离子交换的选择性。例如，由 Dionex 公司出售的 SA-2 柱，在阴离子分离树脂的乳液中有着不同的胺官能团。使用改进了的检测器和耦合检测器或流动进样可以改善 IC 检测系统的特性并增加其检测范围。

我们预计在不久的将来会出现更新颖的仪器。预计在线处理样品的耦合色谱法的使用会增加。离子分离的专一性会引出更通用的仪器来。将来的离子色谱仪将包括从携带式现场使用的，廉价的仪器到一个仪器中有梯度淋洗，微机控制，温度控制以及配有几个柱系统和检测器的高级研究用的仪器。

除仪器的变化外，主要希望柱子和淋洗液有更大发展。每个样品的总分析时间，在不损失分辨率的前提下应尽量减小。在淋洗液中，新的淋洗物种的研究，使用有机淋洗液改性剂以及增加有机溶剂，进行温度控制，可以在现有的或新的树脂中出现一些更有意义的分离能力，这些改进使 IC 能分析更加复杂的离子。随着细微地研究和更好的了解苯乙烯-二乙烯苯树脂和硅基树脂上的各种分离机理，将出现新的溶剂系统，淋洗液添加剂和分离系统。基于无机离子交换剂，液/液交换剂，配对离子色谱和其它机理的 IC 都将得到发展，以解决离子分析中的问题。

显然，用色谱方法分析离子是有很大潜力的。目前 IC 测定离子的范围正在迅速地扩大到弱离子化的物种。无机和有机阴离子、金属离子、有机阳离子、糖类、氨基酸等都能用 IC 法分析。离子色谱法的应用还刚刚开始，对 IC 法的研究和开发还在继续进行，我们希望离子色谱法与液相色谱法一样，将得到不断的改进