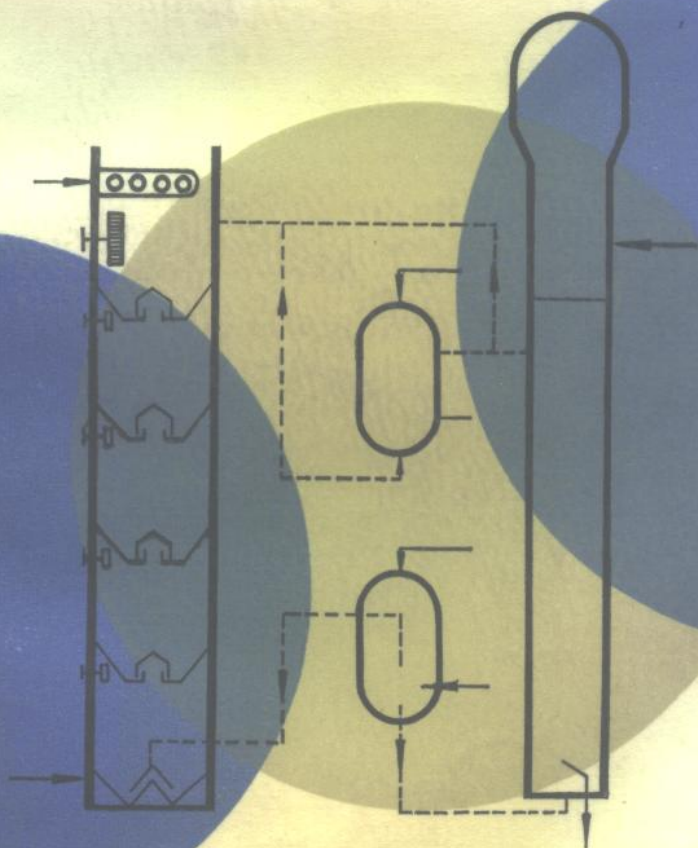


离子交换 在湿法冶金中的应用

马荣骏 编著



冶金工业出版社

离子交换 在湿法冶金中 的应用

马荣骏 编著

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书对离子交换在湿法冶金及环保中的应用做了系统、全面的阐述。

全书共分七章,介绍了离子交换的基本原理和离子交换的工艺及设备,分别阐述了有色重金属、稀有难熔金属、稀有轻金属、金、银、铂族金属、稀散金属、稀土金属、以及铀和钍的离子交换实践。书中还讨论了离子交换在环境保护中的应用。

本书可供从事湿法冶金、环境保护、化工化学工作的技术人员、科研及设计工作者和大专院校师生参考。

离子交换在湿法冶金中的应用

马荣骏 编著

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32印张14 1/2字数386千字

1991年2月第一版 1991年2月第一次印刷

印数00,001~1,750册

ISBN 7-5024-0747-0

TF·166 定价12.70元

前 言

离子交换是非常重要的—种分离技术,广泛应用于湿法冶金、化工生产、原子能工业、食品、医药、分析化学及环境保护等领域。

离子交换在原理、工艺、设备及应用上,与溶剂萃取有许多相似之处。《溶剂萃取在湿法冶金中的应用》^①一书出版后,得到许多同志的热情赞扬和鼓励,并希望在离子交换方面也有一本相似的专著。根据湿法冶金界同志的意见,从我国的实际出发,收集了各国一些资料,结合编者多年从事湿法冶金工作的经验,编写了这本书。可以认为,本书是《溶剂萃取在湿法冶金中的应用》的姐妹篇。

本书共分七章,分别介绍了离子交换的基本原理,离子交换的工艺流程及设备,重点阐述了离子交换在提取、分离有色重金属、稀有难熔金属、稀有轻金属、金、银、铂族金属、稀散金属、稀土及钨、铀、钍中的实践。为了扩大本书的适用范围,又专章叙述了离子交换在环境保护中的应用。

本书在编写中得到了各级领导的鼓励和支持,承蒙冶金工业部前副部长周传典同志给予了热情的指导与帮助,在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误在所难免,请读者批评指正。

编者

1988年6月

① 马荣骏编著,《溶剂萃取在湿法冶金中的应用》,冶金工业出版社,1979。

目 录

第一章 离子交换的基本原理及工艺过程	1
第一节 离子交换的基本原理.....	1
第二节 离子交换工艺.....	17
第三节 离子交换设备.....	41
第二章 有色重金属	73
第一节 铜.....	73
第二节 镍、钴.....	93
第三节 其他有色重金属.....	125
第三章 稀有难熔金属及稀有轻金属	140
第一节 钨、钼、钽.....	140
第二节 锆、铪、铌、钽和钛.....	168
第三节 铍、锂、铷、铯.....	189
第四章 金、银	196
第一节 金.....	196
第二节 银.....	243
第五章 铂族、稀散、稀土金属	257
第一节 铂族金属.....	257
第二节 稀散金属.....	276
第三节 稀土.....	289
第六章 铀和钍	315
第一节 铀.....	315
第二节 钍.....	361
第七章 环境保护	375
第一节 水及废水处理.....	375
第二节 放射性废水的处理.....	400
参考文献	439

第一章 离子交换的基本原理 及 工 艺 过 程^[1~51]

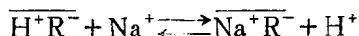
第一节 离子交换的基本原理

一、离子交换的反应过程

离子交换反应通常是指固相的离子交换树脂与液相中离子间发生的离子互换反应。

离子交换树脂为一带有极性基团的高分子化合物，它不溶于水、酸、碱及任何溶剂，其结构可分为三部分：（1）不溶性高分子骨架；（2）骨架上有极性基团；（3）极性基团可以电离的离子。连于母体上的离子叫固定离子，与固定离子荷电相反的离子叫反离子（也叫可交换离子或可扩散离子）。

反离子能与溶液中的同性离子发生交换。例如，用HR代表阳离子交换树脂，它在水中能电离出H⁺离子（即反离子），可与溶液中的正离子（如Na⁺离子）发生如下交换反应：

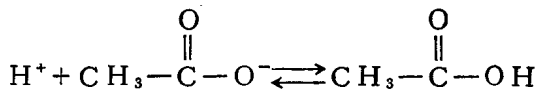
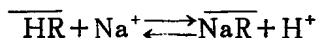


（式中“——”代表树脂相，后同）

树脂虽为固体，但当与水接触而水分子进入树脂内部后，其极性基团上的离子水化而溶胀。溶胀的树脂为凝胶状，含有大量水分子，就像浸在水中一样，故而可视为电解质。这类电解质的许多性质与溶液中的电解质很相似，主要不同点是树脂的一种离子（固定离子）太大，它不能进入溶液。所以，树脂虽为固体，但与溶液中离子交换反应可作为液相中的反应来处理。

由于电中性的缘故，交换到树脂上Na⁺离子的摩尔数与树脂上释放出的H⁺离子的摩尔数完全相等，即交换反应是严格按照定量关系进行的，如不相符，必定另有缘故。例如，分析结果表明溶液中得到的H⁺离子少于失去的Na⁺离子，原因是发生了下列反

应:



生成了相当量的未电离的醋酸分子（其中一些为树脂所吸附）。

离子交换反应是可逆的，例如，H—型阳离子交换树脂（HR）与Na⁺离子发生交换时，H⁺离子又能置换出Na⁺离子。树脂的再生正是利用了交换反应的可逆性。

综上所述，离子交换反应是可逆的，并且是等量进行的离子互换反应。

离子交换过程表现出的反应速度不如溶液中离子互换反应速度那样快。这是因为树脂与溶液接触进行的离子交换反应，不仅发生在树脂颗粒表面，更主要的是在颗粒内部进行。当溶液中的欲交换离子扩散到树脂表面后，还需经过5个步骤，才能完成一个交换过程：

（1）溶液中欲交换离子穿过树脂颗粒表面的液膜（称为膜扩散）；

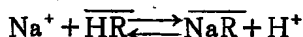
（2）继续在树脂相（即在树脂颗粒内）扩散（称为粒扩散），达到交换位置；

（3）发生交换；

（4）交换下来的离子在树脂相扩散，扩散至颗粒表面；

（5）穿过颗粒表面的液膜，进入溶液。

例如，溶液中的Na⁺离子与H—型阳离子树脂发生交换时，反应如下：



这一交换反应可用图1-1表示。

在交换位置的实际交换速度是较快的，但离子扩散速度较慢。尤其是溶胀的树脂为凝胶状，密度高，使离子的扩散更为缓慢，这就是树脂交换反应比均相溶液中的离子互换反应缓慢的原因。

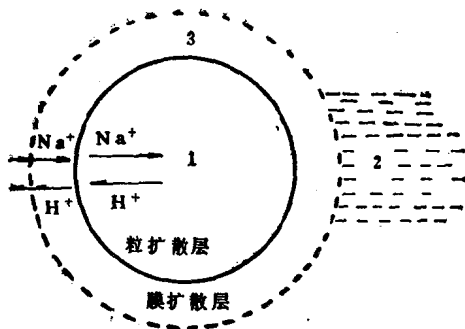


图 1-1 离子交换过程的示意图

1—树脂相；2—溶液相；3—液膜

影响交换反应速度的因素，除来自树脂的原因（如类型、交联度、粒度等）外，还与离子的电荷、体积、浓度以及搅拌作用，温度等因素有关。根据上述道理，在工艺中必须要选择有利于交换的最佳条件。

二、离子交换的理论（学说）

现在，已有如下几种解释离子交换现象的理论：

1. 晶格理论

晶格理论认为：组成固体物质晶体点阵的是离子而不是分子。换言之，一个离子固体物可以认为是完全处于解离的状态，而晶体中每一个离子被一定数目的具有相反电荷的离子所包围。相反电荷离子的数目决定于配位数。离子受库伦引力所作用，引力的大小决定于离子的相对电荷和离子间的距离。晶体点阵离子被其他离子取代的难易程度决定于以下几点：（1）联结离子到晶体上去的引力大小与性质；（2）进行交换的离子浓度；（3）进行交换的离子的电荷；（4）相互置换离子的大小；（5）晶格的可以接近的程度；（6）溶解度效应等。

离子上的离子交换作用相似于两种可溶性电解质的混合作用，其晶格上的离子交换也相似于晶格离子的交换作用。

按晶格理论，有的物质，在它们的结构中有很大部分的阳离子不必经过研磨就能被电解质溶液中的阳离子所取代。换句话

说，它们是一种不需要研磨成为细粉就表现出相当程度的离子交换现象。但是这种物质的结构必须有足够的孔隙，以便进行交换的离子扩散到晶格中去。

在离子交换中，晶体点阵上的阳离子或阴离子都能进行交换作用。能进行阳离子交换者称为阳离子交换剂；能进行阴离子交换者称为阴离子交换剂；在某些情况下阴阳两种离子都能进行交换者称为两性交换剂。对所有两性电解质而言，阳离子吸附或交换能力都随pH值的升高而增高；对阴离子交换，pH值则有相反的影响。

晶格理论认为：尽管在离子交换中，离子交换树脂是缺少结晶性的，但离子交换机理与晶格点阵上的离子交换是十分相似的。可以把各种阳离子和阴离子树脂看作为高分子量的聚合电介质，而且树脂的离子交换反应是在整个树脂胶体结构中进行的，并不是局限于表面上的作用。

用近代观点来看，用晶格理论来解释离子交换现象是很不够的，存在着很多局限性，有些问题得不到很好的解释。

2. 双电层理论

早期的双电层理论认为，交换物质的双电层是由二个固定不变的电层组成的。这种组成和电容器的二个极片相似。以后，把上述模型又加以修改，这种修改的模型认为，有一定固定不变的内层，而外层是扩散而可移动的电荷，这些电荷层的存在就能吸附离子，而这些被吸附的离子可以与胶体内部原来存在的离子完全不同，原来存在的离子决定胶体体系大部分的电动力学性。而存在于胶体的扩散外层中的离子可伸展到外面液体介质中去。在扩散外层中的离子以及与之平衡的外部介质中的离子之间，并没有清楚的分界线。

可以认为，构成扩散层的离子的浓度不断随外层溶液的浓度和pH值的改变而变化。如果加了一种另外的离子到外面溶液中去，因而改变了外面溶液中离子的浓度，则平衡被搅乱了，并重新建立了新的平衡。某些新来的离子将进入扩散外层，以替代某

一些原来存在于层中的离子，但是电的中性法则必须保持，因而这种交换是按化学计算进行的。

显然，在晶体点阵位置上的交换与双电层的交换之间有某些相同的地方，但是这两种机理是完全不同的。在交换中由于没有重结晶发生，两种理论的总交换量与 pH 或浓度间的关系是十分不同的。对晶体点阵交换而言，可以假定一个固定不变数目的交换位置，这个数目必须予以满足而与 pH 或浓度的变化无关系。但是在双层交换中就不是如此，扩散层的容量与浓度和 pH 都有关系。

在许多离子交换体系中，把晶格的点阵交换与双电层交换结合起来，即同时发生两种交换机理，则可使交换现象获得较好的解释。

3. 道南 (Donnan) 膜理论

道南膜理论认为，在一个膜的两边离子分布是不均匀的，在膜的一边有一种电解质，而电解质中的一种离子不能渗透过膜，但通过膜的离子必须进行到两边的浓度比相等，即达到平衡状态。道南膜理论所包括的内容还有：（1）游离电解质不能进入高交换容量树脂相内去；（2）在交换过程中具有原子价效应；（3）交换中有溶液体积和电解质浓度的效应；（4）交换中具有树脂相固定离子浓度的效应。

当引用道南膜平衡理论到离子交换中时，要假设交换离子的胶粒为不能渗透的离子。应该指出：在实际的离子交换平衡中并没有膜存在，只是应用这种理论时，可将固体相与液体相的接触面视为膜，并认为固相上的离子与液相中的离子通过膜而发生交换作用。

道南膜理论非常适用于解释一个离子交换物质（排除游离）具有扩散的电解质的能力。当取一个高交换容量或固定离子浓度的离子交换物质，并将其浸在稀电解质溶液中时，很少电解质能扩散到交换物质中去。例如，磺酸型阳离子交换树脂的钠盐有固定离子浓度5摩尔/升，当其与0.1摩尔/升NaCl溶液平衡时，将只有极少而可以忽略的氯离子进入到树脂中去。因此，当树脂具有

高交换容量时，会有高浓度的固定离子以阻止从浓度低于固定离子浓度的溶液来的游离电解质进入到树脂中去，该现象是构成离子交换树脂的离子交换原理的基础，也是离子交换膜的选择透过性质的根据。

道南膜理论把离子交换作为一个膜平衡。他证实，假如把一个胶体的电解质 RNa 置于膜（ R^- 不能渗透过去的）的一边，而在另一边放着食盐溶液，那么，由于膜的半渗透性，在平衡情况下，扩散反应不能导致两个空间离子浓度的均一。

根据在可逆过程中反应的最大功变化：

$$\Delta A = nRT \ln \frac{(C_1 + x)_{N_a}}{(C_2 - x)_{N_a}} + nRT \ln \frac{x_{C_1}}{(C_2 - x)} = 0$$

进而导出： $x_{Cl}(C_1 + x)_{N_a} = C(C_2 - x)_{Cl}(C_2 - x)_{N_a} = 0$ 即是在膜两边 Na^+ 和 Cl^- 的平衡浓度积应该相等，亦即：

$$[Na^+]_1 [Cl^-]_1 = [Na^+]_2 [Cl^-]_2 \quad (1-1)$$

对于 $CaCl_2$ 则有： $[Ca^{2+}]_1 [Cl^-]_1 = [Ca^{2+}]_2 [Cl^-]_2 \quad (1-2)$

根据以上 (1-1)、(1-2) 两式可导出以下的关系式：

$$\frac{[Na^+]_1}{\sqrt{[Ca^{2+}]_1}} = \frac{[Na^+]_2}{\sqrt{[Ca^{2+}]_2}}$$

这些关系简单地说明薄膜两边的离子必须交换，一直进行到两相内的浓度积相等为止。

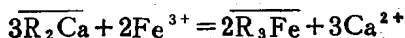
道南的隔膜平衡理论清楚地解释了下列几点：

- (1) 原子价对离子交换有影响；
- (2) 溶液体积与电解质浓度有影响；
- (3) 树脂内固定浓度有影响。

4. 多相化学反应和渗透压力理论

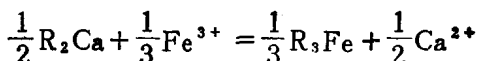
多相化学反应理论，是把离子交换作为一个多相化学反应。

下面举一个简例来说明这一点。例如 Fe^{3+} 与 Ca^{2+} 进行交换：



$$K = \frac{[R_3Fe]^2 [Ca^{2+}]^3}{[RFe^{3+}]^2 [R_2Ca]^3}$$

反应也可写成为:



$$K' = \frac{[Ca^{2+}]^{1/2}[R_3Fe]^{1/3}}{[Fe^{3+}]^{1/3}[R_2Ca]^{1/2}}$$

上式中 K 和 K' 均为反应平衡常数, 而 K 和 K' 有如下关系

$$K' = K^{1/6}$$

K' 可以更加定量表达离子交换过程的平衡。

离子交换中的渗透压力理论, 认为渗透压力可以理解为溶液的一种外压力, 它导致溶液的蒸气压等于纯溶剂的蒸气压。

转换 n 摩尔 H_2O 的渗透过程的最大功为:

$$A = nRT \ln \frac{a_{\text{溶液}}}{a_{\text{树脂}}}$$

式中: $a_{\text{溶液}}$ 和 $a_{\text{树脂}}$ 分别为水在溶液中和在树脂中的活度。

有人提出, 离子交换过程的等压位变化, 由树脂的体积变化功来确定, 即:

$$A_1 = \pi(V_2 - V_1)$$

式中 V_1 和 V_2 代表被交换离子的体积; π 为渗透压力; A_1 为体积变化功。

离子交换过程的吸附选择性 K'_s 为:

$$K'_s = \frac{(n_1/n_2)_{\text{树脂}}}{(n_1/n_2)_{\text{溶液}}}$$

$$\text{则 } RT \ln \left[K'_s \left(\frac{f_1}{f_2} \right)_{\text{树脂}} \right] = \pi(V_2 - V_1)$$

式中: f_1 、 f_2 为金属离子的活度系数

$$\text{即 } \ln K'_s = \frac{\pi(V_2 - V_1)}{RT} + \ln \left(\frac{f_2}{f_1} \right)_{\text{树脂}}$$

上式表明了选择性 K'_s 与 π 、 V 、 f 的关系。当离子半径相同

时, 分离系数由 $\frac{f_2}{f_1}$ 决定; 当离子半径不同时, π 这一项对 K' 起的作用很大。

以上几种理论互相补充, 便可较好地解释离子交换中的一些问题。

三、离子交换势及其规律性

树脂与金属离子进行交换反应时, 不同金属离子所能产生交换的程度和趋势不同, 换言之, 不同金属离子有不同的交换能力。通常把这种交换能力称之为“势”。在离子交换中, 把容易进行交换的离子称为交换“势”大的离子, 反之则称为交换“势”小的离子。

因为树脂对离子的选择系数 (K_s) 正好反映了金属离子与树脂发生交换反应的趋势与程度。所以, 将金属离子按照选择系数大小的次序排列, 就得到金属离子的交换势顺序, 或称之为离子的选择性次序。

在离子交换反应中, 金属离子是否容易交换到树脂上去, 这要取决于固定离子与金属离子间作用力和结合力的大小。这两种离子间的作用力有数种, 这些作用力影响着两种离子间能否形成共价键和能否形成离子对, 这是比较复杂的问题, 现就其重要的几点叙述于下:

1. 静电效应

金属离子与固定离子以静电引力结合时, 金属离子配置在固定离子周围, 它们结合的牢固程度取决于离子间静电引力的大小。引力越大, 则结合越牢固, 金属离子的交换势也就越高。

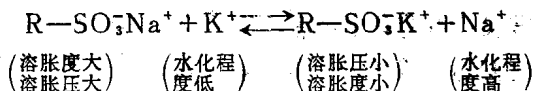
正负离子间的静电引力正比于离子的电荷数, 反比于两种离子间距的平方。所以, 金属离子的电荷数愈多, 水化离子半径越小时, 静电引力就愈大, 金属离子的交换势就高。例如 Al^{3+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 离子的交换势次序为: $\text{Al}^{3+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ 。又如, 碱金属离子的水化半径以 Li^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 的次序减小, 所以它们的交换势顺序是: $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Rb}^+ \leq \text{Cs}^+$ (注:

周期表中同族元素的水化离子半径的大小次序与未水化的裸离子半径的次序恰好相反。例如，碱金属元素的裸离子半径的次序是： $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Rb}^+ < \text{Cs}^+$ ；它们的水化离子半径的次序是： $\text{Li}^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Rb}^+ > \text{Cs}^+$ 。

2. 溶胀压的作用

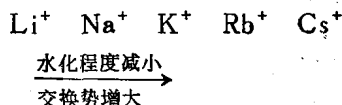
离子交换树脂溶胀后，其弹性的网状结构会扩张变化，弹性结构具有收缩趋势而对微孔内的水施加压力，这种压力称为溶胀压。由于不同金属离子的水化程度不同，所以不同金属离子交换到树脂上后，引起树脂的溶胀度（溶胀的程度）也不相同。

例如：对如下的平衡，在考虑溶胀度和溶胀压时，每种离子的情况，写在括号中：



Na^+ 离子的水化程度高， K^+ 离子的水化程度低。这就使得 Na 型磺酸树脂的溶胀度大，而其溶胀压自然也就高；相反，K 型磺酸树脂的溶胀压小。由于溶胀的树脂有收缩的倾向，这就有利于使溶胀压减小的离子交换到树脂上去。所以，上列平衡向正反应进行的趋势大，即 K^+ 离子的交换势比 Na^+ 离子的高。

由上述可知，同族元素中水化程度愈低的离子交换势愈高。例如碱金属离子的交换势次序如下：



上述的这种影响与静电效应中（水化）离子半径对交换势的影响是一致的。

在阴离子交换平衡中，溶胀压的影响较小，这是由于阴离子的水化程度比较低的缘故。

3. 共价键的形成

共价键是由于电子云重叠而形成的，它的键矩小，难以电离。金属离子与固定离子形成共价键时，反离子就容易交换到树

脂的固定离子上去。例如, H^+ 离子与 COO^- 离子结合时, 形成以共价键结合的一 $COOH$, 因而羧酸型阴离子交换树脂对 H^+ 离子的选择性高, 即 H^+ 离子在树脂上的交换势大。

4. 极化效应

离子间的极化作用, 对结构的影响较大, 像高极化度的 Ag^+ 与 X^- (卤素) 离子接近时, 由于极化作用, Ag^+ 与 X^- 间电子云重叠, 形成共价键。因此, 它们都难溶于水。 X^- 离子中以 I^- 离子的变形性最大, 故它与 Ag^+ 离子间极化作用最强烈。所以 AgX 中以 AgI 的共价性最强, 溶解度最小。

同样, 高极化度的离子与树脂上固定离子结合时, 由于极化作用, 电子云重叠, 键具有共价性, 离子的交换势变大。像 Ag^+ 、 Tl^+ 离子, 若仅从电荷与半径看, 它的交换势应与 K^+ 离子的相仿。事实是它们的交换势异常的高, 这种情况在表1-1上可以看到。这样的事实归结到 Ag^+ 、 Tl^+ 离子的高极化度是有道理的。

表 1-1 某些阳离子Li-型磺酸树脂Dowex50
交换时的相对选择系数 (K_{Li}^M)^①

阳 离 子	交 联 度			阳 离 子	交 联 度		
	4%	8%	16%		4%	8%	16%
		K_{Li}^M				K_{Li}^M	
Li^+	1.00	1.00	1.00	Zn^{2+}	3.13	3.47	3.78
H^+	1.32	1.27	1.47	Co^{2+}	3.23	3.74	3.81
Na^+	1.58	1.98	2.37	Cu^{2+}	3.29	3.85	4.46
NH_4^+	1.90	2.55	3.34	Cd^{2+}	3.37	3.88	4.95
K^+	2.27	2.90	4.50	Mn^{2+}	3.42	4.09	4.91
Rb^+	2.46	3.16	4.62	Be^{2+}	3.43	3.99	6.23
Cs^+	2.67	3.25	4.66	Ni^{2+}	3.45	3.93	4.06
Ag^+	4.73	8.51	22.9	Ca^{2+}	4.15	5.16	7.27
Tl^+	6.71	12.4	28.5	Sr^{2+}	4.70	5.51	10.1
UO_2^{2+}	2.36	2.45	3.34	Pb^{2+}	6.56	9.91	18.0
Mg^{2+}	2.95	3.29	3.57	Ba^{2+}	7.47	11.5	20.8

① K_{Li}^M 表示金属离子 M^{n+} 与 Li-型树脂发生交换时的相对选择系数。

极化作用对阴离子选择系数的影响更大一些。这是由于阴离子的半径大，变形性大，容易被极化。像 F^- 、 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 离子的选择系数随裸离子的半径的增大而急剧增大，而其增大的程度远比预料的显著。与碱金属离子的选择系数的变化相比（见图1-2及图1-3）更能看出这一变化的显著程度。这种变化是不能用水合离子半径的变化引起静电引力的变化来解释的，但归因于极化作用是说得通的。由于 X^- 离子被极化的结果，键具有一定的共价性，随着 X^- 离子半径的增大，共键性显著增强，选择系数因此而急剧增大。这一事实也反映出强碱性阴离子交换树脂难以再生，要获得高再生程度，需消耗高倍量的碱液。

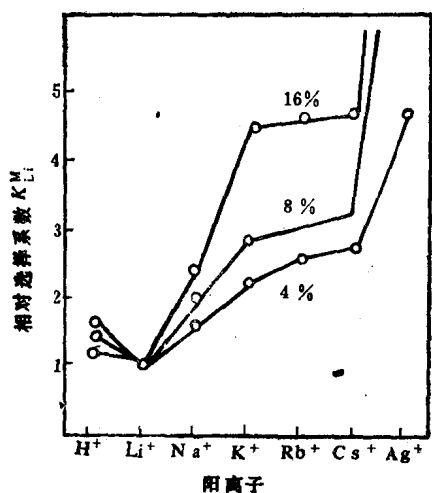


图 1-2 一价阳离子与不同交联度的Dowex-50交换时的相对选择系数

除固定离子与金属离子之间的作用影响离子选择系数和交换势外，还有树脂的性质（如交联度、容量、官能团的类型等）与外部的原因（如体系温度、溶液的浓度等）也是影响的因素。

由表1-1及图1-2可以看出，树脂的交联度愈高（容量愈低）选择系数愈大。

温度升高，离子的水化半径减小，因而温度对离子的交换势

也有影响。

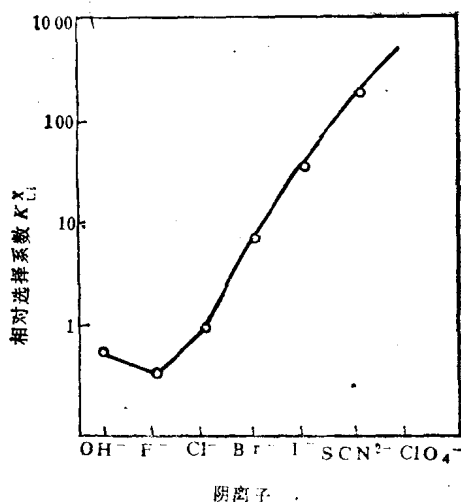


图 1-3 一价阴离子对Amberlite MB3-400交换时的相对选择系数

离子的水化半径随溶液的浓度变化而改变，在稀溶液(0.1摩尔/升以下)中，离子充分水化，碱金属离子中以 Li^+ 离子的水化半径最大，与固定离子间的作用最小，它的交换势在碱金属中为最小。溶液浓度增大，离子的水化半径减小。当浓度大至一定程度时，溶液中离子的半径近乎等于裸离子的半径。因而金属离子在浓溶液中的交换势与稀溶液时不同，浓溶液中同价离子的交换势的差异减小，可趋于接近，或甚至交换势的次序与稀溶液时相反。

迄今为止，对金属离子的交换势尚不能提出一个完整而准确的结论来，仅能依据在实践中得到的结果，提出如下规律：

(1) 常温下稀溶液中阳离子的交换势随着离子电荷的增高及半径的增大而增大。

1) 离子的电荷数愈高，交换势愈大，例如 $\text{Th}^{4+} > \text{Al}^{3+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$