

离子交换剂

〔苏〕基托夫著

科学普及出版社

1511

7

2

离子交换剂

B. C. 基托夫著

曹哲译
肖博校

科学普及出版社

一九六五年·北京

內 容 提 要

近年来，离子交换剂在国民經济各个部門中得到了广泛的应用，并且越来越受到人們的重視。

那么，离子交换剂究竟是什么东西呢，为什么它有这样大的能耐，它的性状如何，有哪些型类，有哪些用途？关于这些問題，讀者都可以从这本书里得到解答。

本书可供具有中等文化水平的广大讀者閱讀，同时也可作为中学生課外讀物。

总号：109

离子交换剂(ИОНИТЫ)

著 者：В. С. Титов

原出版者：Издательство “Советская
Россия”

譯 者：曹

哲

校 者：肖

博

出版者：科 学 普 及 出 版 社

社

(北京市西直門外都家灣)

北京市书刊出版业营业许可证出字第1

发 行 者：新 华 书 局

印 刷 者：北 京 市 印 刷 一 厂

开 本：787×1092 1/32 印张：1 3/4

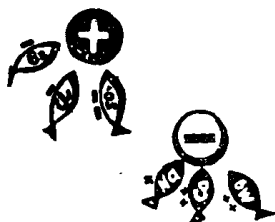
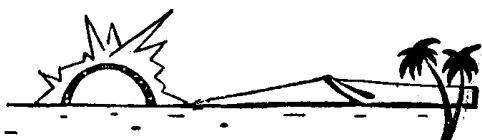
1965年4月第 1 版 字数：31,000

1965年4月第1次印刷 印数：8,650

統一书号：13051·065

定 价：(3) 0.13 元





奇妙的粉末

还在两千多年以前，人們就曾經提出过这样一个問題：“用什么办法能在海岸上得到淡水呢？要知道，海水中的盐分很高……”。

当时有人企图让海水透过砂子和土壤来解决这个問題，但沒有成功。

从那时起到現在，已經过去了二十多个世紀。这期间，人們发明了蒸汽机，学会了发电，建立了无綫电通訊，掌握了儲藏在原子核內的巨大能量，并向宇宙迈出了第一步。但是，变海水为淡水这个老問題还是沒有得到圓滿的解决。

行駛在全球海洋上成千上万的海船，目前还不得不消耗珍贵的燃料，中途駛入港口去补充淡水，或者在船上用复杂的蒸餾器制取淡水。位于海岸地区的工厂企业和那里的居民，今天多半还得仰仗于地下水或蒸餾設備，来解决生产和生活上的用水問題。

所以多年来，人們一直渴望能找到一种簡單易行的变海水为淡水的方法。

現在已經知道，我們可以用一种特制的粉末来处理海水，

就能使它变成淡水。

这种粉末就是离子交换剂。

离子交换剂不仅可以用来淡化海水，而且还可用来分离溶液中的金属。

不久以前，在湿法冶金过程中，要把用氰化钠浸析金矿石所得的溶液中的金盐分离出来，需要经过复杂的化学处理和很长的时间，但是自从采用离子交换剂过滤这种溶液后，就使这一处理过程大大简化了。

首先碰到的问题·

上面所举的例子，远不足以说明离子交换剂的应用范围。然而，从这些例子中可以看出，不久以前才创造的这些新物质具有极为奇妙的性质。

什么是离子交换剂，为什么它能具有这样绝妙的性质，它是由什么东西构成的呢？很自然，读者首先会提出这些问题。

离子交换剂实际上是一种不会溶解的固体物质，呈颗粒状。各种不同牌号的离子交换剂，颜色各不相同，有白色的，黄色的，棕褐色的，等等。它们的另一个名称叫离子交换树脂。其实，“树脂”这个名词用在这里并不十分恰当，但已被广泛采用，其由来是，离子交换剂在合成过程中要经过树脂状阶段。

这种物质之所以被称为“离子交换剂”或“离子交换树脂”，是因为它们能吸收溶液中的各种离子，并把“自己的”离子析入溶液中，也就是说，它同电解液接触时，能够产生一种所谓离子交换反应。

如果不首先把“离子”、“电解液”、“离子交换反应”、“树脂”这些概念说明一下，那就不易理解离子交换剂的本质和特性。所以还是让我们从这些概念谈起。

阴离子和阳离子

1834年，英国科学家法拉第研究了电流对酸、碱、盐等溶液的作用。

他取两块铂片，分别接在直流电的电源上，然后将铂片放入酸、碱或盐的溶液中，并使两者之间保持一定的距离。同电源正号相连的铂片，法拉第称它为阳极；与负号相连的，则称它为阴极。

在法拉第之前，科学家们认为只有金属才能导电，而非金属的固体和液体都是绝缘体。当法拉第发现电流能自由地通过酸、碱、盐等溶液时，他非常惊奇。法拉第把这种意想不到的有趣现象——溶液的导电性，说成是由于溶液中存在着某种带电粒子而引起的。他把这种带电粒子叫做“离子”。

法拉第这样称呼它们，是因为这种带电粒子在直流电的作用下，在溶液中严格地沿着一定的方向移动。带阳电荷的离子（法拉第管它们叫阳离子）向带阴电荷的铂片——阴极移动；带阴电荷的离子（阴离子）向带阳电荷的铂片——阳极移动（图1）。

那么，这些粒子是怎样获得阳电荷或阴电荷的呢？

我们知道，原子是由带阳电荷的原子核和带阴电荷的电子层构成的。

电子层中含有的电子数，和核中带阳电荷的粒子——质子数相等。所以，整个原子呈电中性。

如果从核中击出

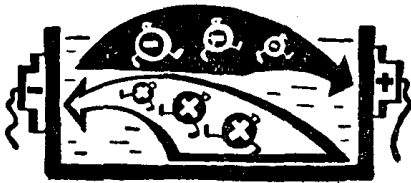


图 1

一个或数个质子，而原子的电子数仍旧保持不变，那么，这个原子的负电荷便会占优势，于是它便变成带负电荷的粒子——阴离子。

原子核是非常坚固的。但是，原子却很“乐意”交出或者取得电子，而变成带正电荷或者负电荷的粒子——离子。

比如，钠原子外面的(第三层)电子层失掉了一个电子后(图2)，那么，它的电中性状态立即遭到破坏。因为核中依旧有11个质子，而电子层上只有10个电子。这样，钠原子便多了一个正电荷，因而就变成了钠的阳离子。

呈电中性的原子，按其性质说来，完全不象由它变成的离子。例如，由电中性的钠原子构成的物质是一种触水即起猛烈反应的轻金属，而钠的阳离子却不再具有金属的性质。人们每天吃的食盐中，就有钠的阳离子。

离子的电荷用正号和负号表示，标在化学符号的右上角，其数目与元素的原子价相一致。

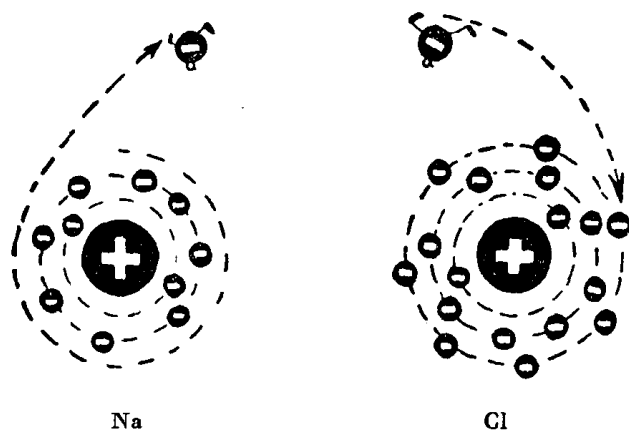


图 2

例如：

Na^+ —— 鈉的阳离子，

Ca^{++} —— 鈣的阳离子，

Al^{+++} —— 鋁的阳离子，

Cl^- —— 氯的阴离子，

S^{--} —— 硫的阴离子，等等。

在一般的化学反应中，原子核是原封不动的，一切变化都发生在电子层里。这时候，有些原子（氢原子和大多数的金属原子）具有丢失电子的趋势，变成阳离子；而另一些原子（硫、氯和其他的非金属原子）则相反，希望获得电子，变成阴离子。

溶液是怎样形成的

溶液里的离子是怎样产生的呢？

直到上世紀八十年代，人們还认为，酸、碱、盐的分子在电流作用下能离解成为离子。

看来，溶液中产生离子的原因，再也不可能有别的解释了。但在1887年，瑞典学者阿累尼烏斯提出了一个大胆的假說：离子不是在电流作用之下产生的，而是当某种物质溶解于水时直接产生的。大多数的酸、碱、盐就属于这类物质。能溶于水并离解为离子的物质叫做电解质。阿累尼烏斯的理論叫做电离理論。許多物质（大多数的无机酸、碱和盐）溶解于水时，差不多全部能离解为离子。

但也有这样的物质，如醋酸、其他的有机酸和某些碱，它們的分子在水溶液中并不全部离解为离子。所謂电离度，就是指离解为离子的分子数与电解质分子总数的比值。这个比值在化学反应中起着重大的作用。它越是接近1，那么，該物质能离解为离子的分子就越多，这也就是說，在生产中我們应

用水溶性胶把小球粘合成象图 3、A 中所表示的食盐結晶体那样的立方体。

如果把这种立方形的粘体放在汽油里，由于水溶性胶不溶于汽油，所以粘体不瓦解(图 3、B)。可是，只要我們把它放进水中，水溶性胶便开始溶解，黑球和白球便一个个离去，粘体的体积便渐渐缩小，最后，在容器的溶液中就布满了单个的、自由游动的黑球和白球——“离子”(图 3、C)。

食盐和苏打在水中溶解时，其情景也是如此，而攪拌则可加速溶解过程。

現在我們已經知道什么叫做电解质。在日常生活中我們常使用的食盐、碱和醋都是电解质。

自来水也是各种电解质的弱溶液，所以它也能导电。如果把水中的电解质清除掉，制成純水，即蒸餾水，那它就不能再导电了。

在电解质中，酸、碱、盐对今天的技术和我們的日常生活作用最大。

那么，这些物质的化学性质是怎样的呢？現在讓我們来简单地回忆一下在中学里学过的一些概念。

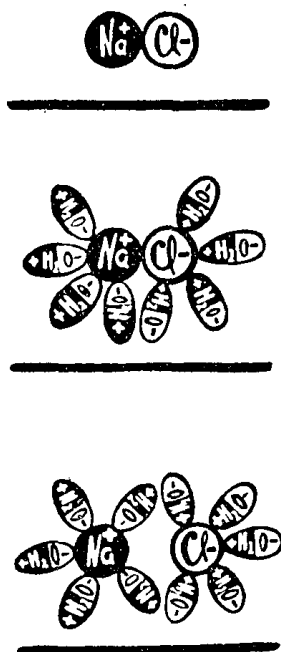


图 4

酸、碱、盐

毫无疑问，广大的读者对酸、碱、盐都很熟悉。但并不见得所有的人对它们的化学性质都很了解。

多少世纪以来，人们揣测着酸的秘密，发现所有的酸有一个共性——“酸”味。

真的，为什么所有的酸都有酸味呢？为什么它们能溶解金属呢？为什么它们和碱化合时，便失去酸味而形成盐呢？

在远古时代，人们只知道有一种液体——“醋”具有酸味，而且也注意到它能溶解金属和其它一些在水中不能溶解的物质。

在中世纪，炼金术士们制出了诸如硫酸和硝酸等酸类。它们也具有酸味，也能溶解金属。炼金术士们认为，一切酸类都有一种目不能见的“酸母”。

著名的法国化学家拉瓦锡指出，酸是由氧化物形成的。他解释道，酸之所以具有酸味，而且能溶解金属，是因为它含有氧。

但是拉瓦锡解释错了。在十九世纪初，人们发现了一些不含氧的酸（盐酸、氢硫酸等）。

直到十九世纪末，酸的秘密才被揭穿了。原来所有的酸都含有氢离子(H^+)，后者遇到水便起复杂的化学反应，成为水合离子 $[H_3O]$ 。

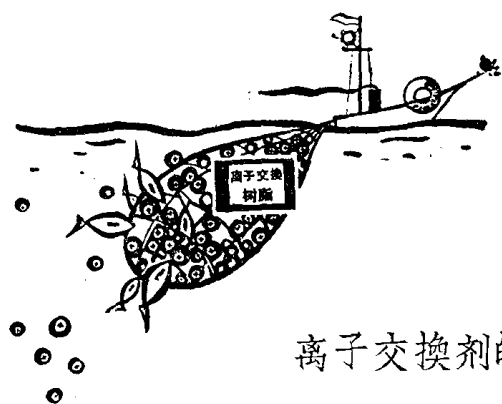
还在远古时代，人们就知道了具有碱性的物质。例如用炉灰泡的水，有“去垢”作用。碱性液体很容易识别，它能使石蕊试纸变蓝，而酸则能使石蕊试纸变红。我们可以用酚酞作试验。只要往碱性溶液里滴入一点酚酞，溶液便会变成很漂亮的紫红色。没有酚酞时，可以用药用酚酞（一种叫做“泻利精”的

泻药成药——譯注)。現在已經知道,所有的碱溶液中都含有氢氧根离子(OH^-)。氢氧根离子是由带阴电荷的氧离子(O^-)和带阳电荷的氢离子(H^+)組成的。可是在过去,人們說什么也解释不了碱的化学性质。

酸同碱或者金属化合便成为盐。

誰都知道盐有咸味。沒有盐,人就不能生存。在日常生活中,我們还用到另外一些盐,如碳酸鈣(白堊、牙粉)、硼砂。

所有的盐都是咸的嗎?說也奇怪,有咸味的盐只有一种,那就是我們日常用的食盐。其它的盐类,有的带苦味,有的苦中带咸,有的甜中带苦等等。



离子交换剂的秘密

奇怪的失踪

取一些浓硫酸，将它徐徐注入水中，同时加以搅拌，硫酸就全部溶解在水中。配制其它的酸溶液也可以用这种方法。

白色苛性碱的结晶体能出色地溶解在水中。这种特性是大多数的酸和碱所共有的。

许多种盐也能很好地溶解于水。有几种盐被认为不能溶解于水，例如白堊——碳酸鈣。

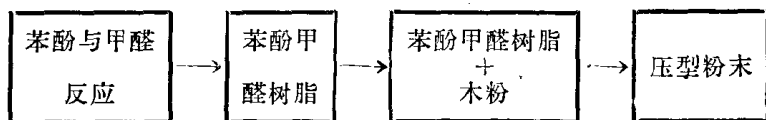
事实上，碳酸鈣也还是能在水中溶解的，只是溶解得很慢而已。如果把“不溶解”于水的白堊放在玻璃管中，使水不断流过玻璃管，那么经过一年的时间，管中的白堊就会被全部溶解。不错，在自然界的确存在着一些在水中不会溶解的盐类，它们可以被认为是不溶解的盐。属于这类盐的有氯化银、亚硫酸汞和其他一些物质。亚硫酸汞在水中的溶解度只有食盐的 10^{-27} 。在一立方米的亚硫酸汞“饱和”溶液中，总共不过几十个亚硫酸汞分子；但是，这些不溶于水的盐，却多少能溶解于酸而形成新的盐。

問題自然而然就产生了。在自然界,是否存在不溶于水、酸、碱和其它任何溶液的盐类呢?

在不久以前,人們对这个问题的回答是否定的。但今天可以说:这种物质是存在的!

现在我们来了解一下,这种不久以前才创造出来的物质的化学性质。

1935年,英国人亚当斯和霍尔姆斯用苯酚(石炭酸)、甲醛和硫酸制得了一种当时人们所不知道的新物质。这种物质和固体树脂很相似,在任何溶剂中都不会溶解。石炭酸和甲醛是我们所熟悉的。在日常生活中,可以用它们来消毒。而甲醛在大多数的情况下还可以用来给种子消毒。



当时,苯酚与甲醛反应已被广泛用来制取苯酚甲醛树脂。把这种树脂弄碎,再拌上木粉,就成了压型粉末,可用来压制各种东西,如灯头,开关,电话机的机壳,按钮等等(图5)。

亚当斯和霍尔姆斯在使苯酚与甲醛起反应时,曾用了大量的硫酸或亚硫酸盐做催化剂(加速剂)。在全部实验中,都象他们所预期的那样,形成了粘稠液体状的树脂,沉淀在烧瓶底上。而在烧瓶上部的水层中,则含有催化剂和少量没有起树脂反应的苯酚和甲醛。对水层进行分析,便能知道有多少原物质已起了



图 5

反应。如果水层里全是水。那就是說，参与反应的物质全部起反应了。

远在亚当斯和霍尔姆斯以前，人們就已經采用各种酸来作为催化剂，以加速苯酚与甲醛的反应；反应结束之后，酸还是酸，并且很容易从水层中区分出来。

当时，亚当斯和霍尔姆斯則是先用硫酸处理苯酚，然后将这酸性混合物同甲醛化合，反应結果，出现了另一种新的情况：混合物分为树脂层和水层，他們制得了一种均匀的粘稠浆汁。把这种浆汁放在密封的安瓿内加热之后，便形成固体树脂和水。从水的分析中可以知道，水中所含的硫酸为数极少。

那么能起催化作用的硫酸到什么地方去了呢？检查結果表明，硫酸化合到树脂里去了。

接着亚当斯和霍尔姆斯决定檢驗一下所得到的树脂是否有酸性。他們把不能溶解的树脂块放进稀释的碱溶液中(图6)。经过一些时候，溶液的碱性消失了，在树脂里却发现了鈉离子！



第一批不溶解的“树脂——酸”和“树脂——盐”诞生了。同年，亚当斯和霍尔姆斯又获得了不溶于水的“树脂——碱”。

他們发现，他們所創造出来的物质，同普通的酸类和碱类一样，能多次地参加离子交换反应。在一切反应中，树脂都是不溶解的。这就預示了采用树脂的诱人的前景。

由于这种树脂能多次参加离子交换反应，所以亚当斯和霍尔姆斯管它叫离子交换树脂。

近十年来，許多国家制成了各种不同性



图 6

能的离子交换树脂。

离子交换树脂是一种固体物质,在任何一种酸、碱或它们的盐的溶剂中都不会溶解。在水和各种电解质的水溶液中,离子交换树脂只是膨胀,其体积有时能增大一、二倍或更大一些。

那么,离子交换树脂不溶于酸、碱的这种不寻常的性质,应该如何解释呢?

这是因为,离子交换树脂是由不溶于任何溶液的、彼此连接着的高分子构成的。由这种高分子构成的物质,叫做高分子化合物。

藉化学力而连接在高分子上的还有酸根或碱根,即所谓“离子团”。它们之所以被叫做“离子团”,是因为它们也象所有的酸和碱一样,能够在溶液中形成离子。例如,硫酸(H_2SO_4)在溶液中就形成氢离子 H^+ (阳离子)和硫酸根离子 SO_4^{2-} (阴离子)。硫酸和某物质化合时,夺取该物质的氢原子,而自己则失去水分子(H_2O),变成了 SO_3H ——磺酸基(图7)。能同硫酸化合的物质也能同磺酸基化合。

这种磺酸基在溶液中也能形成氢离子,因此在硫酸作用

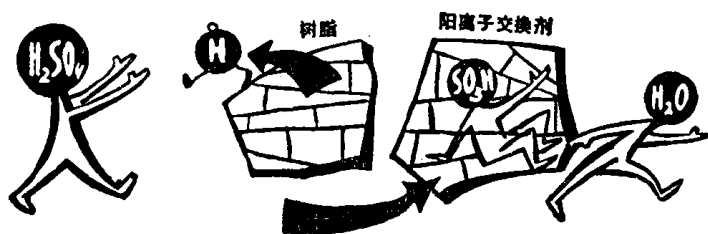


图7

下生成的所有物质仍旧属于酸类(在化学中,用硫酸来处理某种物质的过程,叫做硫化过程)。

现在让我们来谈谈高分子。我们可以把高分子化合物的

分子比作一棵多枝的果树。如果采用这个比喻,那么“树”上的果子就可以比做酸根和碱根。如同我們可以根据果子的外形和滋味来区分果树一样,离子交换树脂也可以根据“悬挂”在“树”——分子的枝条上的酸根和碱根来区别。如果挂在分子枝条上的是硫酸根(图8),那么离子交换树脂就会具有一种性质;如果是磷酸根(图9),它就会具有另一种性质;如果是有机碱根,那就会具有第三种性质,如此等等。

为了更好地了解离子交换剂的结构及其性能,有必要簡

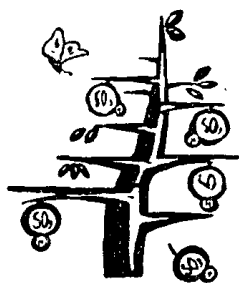


图 8

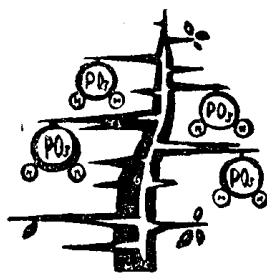


图 9

单地介紹一下什么是高分子化合物,它們由什么样的原子組成的,其性质又是怎样?

高 分 子

在上一世紀,有机化学家所研究的物质,都是由小分子构成的。例如甲烷的分子(CH_4),是由一个碳原子和四个氢原子构成的。甲烷的分子量为16。經過仔細的研究,发现与甲烷分子大小相差不大的有机物的分子还有丙酮(分子量为58)、醋酸(分子量为60)、酒精(分子量为46)、苯(分子量为78)。葱、葡萄糖和叶綠素的分子,是由大量的原子构成的,但是,同纖維素、橡胶、羊毛、蛋白质等天然物质,以及合成塑料、橡胶、紆