

化工工人技术理论培训教材



离子交换

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

离子交换/化学工业部人事教育司, 化学工业部教育培训中心组织编写. —北京: 化学工业出版社, 1997
化工工人技术理论培训教材
ISBN 7-5025-1913-0

I. 离… II. ①化… ②化… III. 离子交换树脂-生产工艺-技术培训-教材 IV. TQ425

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 20564 号

化工工人技术理论培训教材

离子交换

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

责任编辑: 郑永吉

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市燕山联营印刷厂印刷

北京市燕山联营印刷厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 5 1/8 字数 140 千字

1997 年 12 月第 1 版 1997 年 12 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-1913-0/G · 519

定 价: 9.50 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要，提高工人的技术理论水平和实际操作技能，我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划和教学大纲》的要求，组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中，遵循了“坚持标准，结合实际，立足现状，着眼发展，体现特点，突出技能，结构合理，内容精炼，深浅适度”的指导思想，以“等级标准”为依据，以“计划和大纲”为蓝图，从有利于教师教学和方便工人自学出发，力求教材内容能适应化工生产技术的发展 and 现代化生产工人培训的要求。

按照“中华人民共和国工人技术等级标准”规定的化工行业 168 个生产工种的有关内容，在编制教学计划和划定大纲时，在充分理解等级标准的基础上，吸取了国外职业教育的成功经验，对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解，作为理论教学的基本单位，称之为“单元”。在计划和大纲中，168 个工种按五个专业大类（及公共课）将不同等级的全部理论教学内容分解为 301 个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动，把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起，分成 112 册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共 25 册：《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共 7 册：《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应（一）》、《有机化学反应（二）》、《有机化学反应（三）》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共 43 册：《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表（一）》、《化工分析仪表（二）》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修工识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铅焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材 6 册：《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共 11 册：《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共 20 册：《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写作》、《标准化基础知

识》和《化工生产管理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材，尚是一种尝试，由于我们经验不足和教材编审时间的限制，部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深广度的准确性等方面还不尽如人意，为此建议：

一、各单位在组织教学过程中，应按不同等级的培训对象，根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求，以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外，还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况，制订相应的教学方案，确定相应的教学内容，以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题，可及时与我们联系，也可与教材的编者或出版单位联系，使教材中的问题得到及时更正，以利教学。

本套教材的组织编写，得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助，在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司
化学工业部教育培训中心

1996年3月

内 容 提 要

本书系统介绍了离子交换树脂的合成、结构、性能，讲述了离子交换过程的热力学和动力学理论，以及阳离子交换树脂和阴离子交换树脂热力学和动力学的特征性能，讨论了离子交换技术应用中的树脂、工艺、操作等的确定。在着重研究离子交换技术在水处理方面应用的同时，介绍了离子交换技术在化学工业等方面的应用。最后，对离子交换树脂的发展前景进行了展望。

本书在每章后提供了一定数量的习题，以帮助读者加深对离子交换知识的理解。

目 录

离子交换 (无 036)	1
绪论	2
第一章 离子交换的基本概念	4
第一节 离子交换	4
第二节 离子交换理论	6
一、晶格理论	6
二、双电层理论	8
三、Donnan 膜理论	8
第三节 离子交换剂	10
一、无机离子交换剂	11
二、有机离子交换剂	12
三、离子交换树脂应用概述	12
习题	14
第二章 离子交换树脂	15
第一节 离子交换树脂的组成、分类和命名	15
一、离子交换树脂的组成	15
二、离子交换树脂的分类	16
三、离子交换树脂的命名	17
第二节 离子交换树脂的合成	19
一、阳离子交换树脂的结构与合成	20
二、阴离子交换树脂的结构和合成	24
三、其它离子交换树脂的合成	27
第三节 离子交换树脂的性能	29
一、物理性质	29
二、化学性能	39
三、其它性能	44
习题	47

第三章 离子交换的热力学和动力学	49
第一节 离子交换平衡	49
第二节 离子交换的热力学理论	50
一、质量作用定律	50
二、膜平衡理论	51
三、渗透理论	53
第三节 离子交换选择性	54
第四节 离子交换动力学	58
一、以活性位置上的化学反应为控制环节	59
二、以溶液中质量转移为控制环节	59
三、以离子从树脂表面向活性位置的扩散为控制环节	60
第五节 离子交换树脂的特征性能	61
一、阳离子交换树脂	61
二、阴离子交换树脂	73
习题	85
第四章 离子交换树脂的选用	86
第一节 离子交换树脂的选定	86
一、阳离子交换树脂和阴离子交换树脂	86
二、交换基的种类和型式	86
三、离子交换能力	89
四、粒子的形状、大小、多孔性及密度	90
五、化学与物理稳定性	92
六、一般用途的离子交换树脂	94
七、其它用途的离子交换树脂	95
八、混合床用的离子交换树脂	95
九、对离子交换树脂一般要求的总结	96
第二节 离子交换的操作	98
一、固定床操作的装置及方法	99
二、对固定床离子交换过程的分析	103
三、对离子交换树脂的处理	108
第三节 离子交换树脂在水处理中的应用	109
一、离子交换法的硬水软化	109
二、去离子水	114

习题	130
第五章 离子交换在化工生产中的应用	131
第一节 离子交换技术应用	131
一、水处理	131
二、食品工业	131
三、制药工业	132
四、合成化学和石油化工	132
五、环境保护	132
六、湿法冶金及其它	132
第二节 离子交换技术在化工生产中的应用	133
一、工业废水的处理	133
二、离子交换树脂在合成化学中的应用	140
三、离子交换树脂在混合物纯化中应用	144
第三节 离子交换树脂的发展	147
一、水处理	147
二、制药及药物	148
三、医学上的应用	148
四、湿法冶金	149
五、过渡金属络合高分子催化剂	149
六、发展	149
习题	149
附录 国外离子交换树脂一览	150
参考文献	151

离子交换

(无 036)

太原化学工业集团公司化工厂 邱志刚
山西省环境监测中心站 樊占春 编
山西省太原冶金工业学校 陈 聪
太原化学工业集团公司化工厂 李景赞 审

参与编审本单元教材的人员

李文堂、熊昭义、于志先、朱心玲、周应文、沈刚、张伯平。
在教材编审过程中受到太原化学工业集团公司有关领导何玮、
李铁瑞和公司教委副主任方岩威等同志的支持和关心。

绪 论

离子交换过程是1850年梅(Way)在研究土壤的过程中发现的。之后,人们进行了大量的科学研究,特别是在阿累尼乌斯(S·Arrhenius)的电离理论出现后,加速了人们对离子交换过程的理解,就像我们很容易理解从均相反应体系中除去反应产物中的一种(形成气态产物或沉淀),而使该反应进行彻底一样,也容易理解在均相介质中,反应的最初物质和反应产物都是强电解质(如硝酸钾与氯化钠之间)的交换反应是不能进行的。但是如果离子交换过程不是在均相介质而是在异相介质中进行,也就是在将能进行离子交换的物质——离子交换剂——构成的固相加入溶液中的情况下,那么这种强电解质的离子交换反应就有可能进行了。例如水的软化过程就是在异相介质中用等当量的钠离子交换水中等当量的钙、镁离子的离子交换过程。

实际上,对异相交换过程的研究应用是从水的软化开始的,而且从此离子交换技术和离子交换剂获得了迅速发展和扩大。早期用沸石等无机矿物质进行水处理,后来发展到用磺化煤等有机离子交换剂对水进行处理。离子交换树脂——合成离子交换剂的出现在离子交换技术的应用中具有极特殊的意义。离子交换树脂不仅使水的处理更进一步,而且很快拓宽了离子交换技术的应用范围。1935年离子交换树脂在英国出现,B. A. 亚当斯(Adams)和E. L. 霍姆斯(Holmes)首先报道了酚类-甲醛缩聚物、苯胺类-甲醛缩聚物的合成及其在脱盐、提取分离等方面的应用。随后德国I. G. 染料工业公司工业生产Wofatit离子交换树脂;法国ACFI公司的磺化煤阳离子交换剂与芳香胺阴离子交换树脂组合成的复合床式脱盐水制造装置开始运行。美国Rohm & Haas公司根据Adams和Holmes的专利开始生产Amberlite系列离子交换树脂。第二次世界大战中,美国G. E. 公司获得了苯乙烯系及丙烯酸系加聚型离子交换树脂合成的专利,该发明是当今离子交换树

脂制造方法的基础。德国 I. G. 公司开始生产可除去水中氧的氧化还原树脂, 并利用 Wofatit 树脂进行水的精制、人造丝厂废液中铜的回收、洗像废液中银的回收和蔗糖脱盐等。美国还将离子交换技术应用到原子能、稀有金属的分离提纯方面。二次大战后, 挪威研制了对钾具有选择性的树脂, 这是螯合树脂的开始。美国 Rohm & Haas 公司的 Amberlite 系列产品开始大力工业化生产。50 年代是离子交换树脂合成和工业应用飞速发展的时期。1950 年美国塔径为 1m 的混合床式纯水制备装置开始实用化, 采用羧酸型弱酸性阳离子交换树脂 Amberlite IRC-50 来提取精制链霉素也实现了工业化。1952 年采用强碱性阴离子交换树脂的大型固定床提取精制铀的装置在南非开始运行。美国开始生产离子交换膜 Permionic (Nepton) 用于锅炉用水电渗析处理脱盐。美国大型强酸性阳离子交换树脂稀土分离精制装置开始运行。道化学公司 (Dow Chemical) 开始生产苯乙烯系亚胺二羧酸型螯合树脂。1960 年诺姆-汉斯公司生产出非水溶液用和催化用的 Amberlyst 离子交换树脂, 使离子交换树脂进入化学加工业。1973 年杜邦公司 (Du Pont) 研制全氟磺酸树脂 (Nafion H) 型离子交换膜用于电解工业、燃料电池等方面。

中国于 50 年代初开始对离子交换树脂的研究, 先后生产出酚醛磺化树脂、凝胶型苯乙烯系树脂、大孔型交联聚苯乙烯离子交换树脂等等。目前中国离子交换树脂的生产和应用已具有一定的规模。

本书主要介绍离子交换树脂的基本知识、基本理论及其应用, 使读者在了解有关知识的同时, 能够处理生产实际中的具体问题。

第一章 离子交换的基本概念

第一节 离子交换

1850年梅(Way)发现用碳酸铵或硫酸铵处理土壤时绝大部分的铵离子均被吸收而析出钙盐。1876年莱姆勃哥(Lemberg)发现白榴子石($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$)被氯化钠溶液处理后,能转变成方沸石($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$),同时,用氯化钾溶液处理方沸石时,它又能变为白榴子石,说明这个过程是可逆的,而且这种交换是等当量的。

尽管人们当时对离子交换的本质还不太了解,但是本世纪初,就将离子交换技术应用到工业用水的软化处理上。在对这一过程的认识中,人们很容易地把“土壤”、“白榴子石”、“方沸石”等确定为离子交换剂。它们均为不溶固体,其结构中含有能进行离子交换的离子化基团。由于离子化基团的不同,出现了两类离子交换剂:

一类被称为阳离子交换剂:其结构中含有酸性基团,这种基团的氢离子易与溶液中电解质的阳离子进行交换;

另一类被称为阴离子交换剂:其结构中含有碱性基团,这种基团的羟基易与溶液中电解质的阴离子进行交换。

绝大多数离子交换剂都有立体或网状结构,因而不溶,这在某种程度上违反了通常关于电解质及其相互间离子交换过程的概念。可溶于水的酸或碱的离解会使氢离子浓度发生变化。离子交换剂也含有酸性或碱性基团,但把它们浸入纯水中,不能使纯水中的氢离子浓度发生变化。离子交换剂的这种反常行为使得在当时就产生了对离子交换过程的各种不同解释。

佩斯科夫(H. П. Песков)的观点:“对许多硅酸盐(如人造沸石)来说,以下这种方式的交换吸附作用已被充分证明了:即它们从溶液中吸收阳离子而把分子中的另一种阳离子给予溶液。在此我们必

须这样设想：硅酸盐本身是电解质，其中阳离子能多少移动一些，而阴离子是不能移动的惰性离子，好像是硅酸盐分子的‘骨架’。”

沃兹涅先斯基 (С. А. Вознесенский) 的观点：“可把沸石和人造沸石看作是固态电解质，其阴离子是固相‘骨架’，而阳离子则分配在这种‘骨架’中游动。”

还有人认为：玻璃电极也可看作是离子交换剂，当玻璃电极与水介质接触时，它就参与了离解过程，因而在玻璃-溶液的界面上形成了双电层，其中就进行着离子交换过程。

一些科学家发展了以上观点，把阳离子交换过程定义为：“阳离子交换剂是一种按其阳离子一般性质结合起来的特殊盐类或酸类，其阴离子则以多价为特征，具有笨重的结构，实际上丧失了游动性。但是，离子交换剂成分中的游动离子，除受静电引力作用外，不受其它因素影响，它们在某一限定范围内的溶剂中处于分离状态，因而在吸附剂周围形成了离子气氛，离子气氛中的阳离子与离子交换剂之间的静电内聚力是不等价的，所以离子交换过程是一个多级反应”。

鲍曼 (W. Bauman) 等人的研究指出，高分子不溶物成分中的酸性和碱性基团，若是作为一个结构单位进入不溶于水的介质内，它们原有的电化学性质不会改变。氢离子和羟基能在离子交换剂相内自由扩散。这种不可溶电解质的其余所有部分，也就是它的各个原子和原子团，彼此以共价键连接成巨大的阴离子（阳离子交换剂的情况下）或阳离子（阴离子交换剂的情况下）而失去了游动性。

由此可见，离子交换过程可以看作是两种电解质的相互作用，其中之一含有实际上不能游动的阴离子（或阳离子）的复合体。更抽象的可以把离子交换和离子交换剂定义为：

离子交换（过程） 是一种特殊的吸附过程，是溶液和离子交换剂间交换离子的过程。

离子交换剂 就是能与溶液中阳离子或阴离子进行交换的物质。

离子交换剂与低分子酸、盐或碱的区别在于离子化基团电离结果形成的氢离子或羟基不能向溶液中自由扩散，因为它处在不能游动的阴离子（或阳离子）基团的静电引力作用下。离子交换过程由这样四

个作用组成：(1) 已溶电解质的离子向离子交换剂颗粒表面的扩散作用；(2) 已溶电解质离子在离子交换剂内的扩散作用；(3) 离子交换剂游动离子脱离离子交换剂阴离子（或阳离子）基团作用范围的取代作用；(4) 从离子交换剂中取代出的游动离子向溶液的扩散作用。

早期人们在工业上利用的离子交换剂为无机离子交换剂（如沸石等）。在使用过程中它们的缺点渐渐显露出来。从事离子交换研究的 B. A. 亚当斯 (Adams) 和霍姆斯 (Holmes) 发现了磺化煤阳离子交换剂。不仅如此，他们还发现了可用磺酸树脂作交换量高的阳离子交换剂，以及可用聚胺型树脂作阴离子交换剂。从此，揭开了有机离子交换剂（区别于无机离子交换剂），特别是离子交换树脂发展的序幕。

第二节 离子交换理论

尽管人们对离子交换（或离子交换过程）作了许多不同的解释，但是最典型的是这三种理论：(1) 晶格交换理论；(2) 双电层理论；(3) Donnan 膜理论。

一、晶格理论

潘林 (Panling) 和布兰格 (Bragg) 对于具有离子交换现象的硅酸盐晶体结构的经典工作，以及离子固体物本质的近代概念大大帮助了我们对离子交换的了解。一个离子固体物的本质就是组成晶体点阵的是离子而不是分子。也就是说，一个离子固体物完全处于解离状态。一个氯化钠晶体并不含有氯化钠分子，而仅含有钠离子和氯离子。晶体中每一个离子被一定数目的具有相反电荷的离子包围，这决定于离子的配位数，同时它受库仑吸力的作用，在晶体表面上的离子所受到的引力要比在晶体表面下面的同样离子所受的引力要小。如果将晶体放在一个极性很大的介质中，例如水中，连接离子到晶体上面的引力减弱到这个离子可能被溶液中的其它离子所取代或与之反应的程度。所以在表面上的离子被其它离子取代的容易程度取决于：(1) 连接离子到晶体上的引力的性质；(2) 进行交换的离子的浓度；(3) 进行交换的离子的电荷；(4) 这两种离子的大小；(5) 晶格可以接近的程度；(6) 溶解度效应。这些晶格上离子的交换作用类似于二种可溶性电解

质的混合作用，例如氯化钠和硝酸钾的混合。按电解质理论，氯化钠溶液中的每个氯离子被钠离子围绕着，每个钠离子同样被氯离子围绕着，这相似于氯化钠晶体。当硝酸钾加入到氯化钠溶液中时钠离子就与钾离子交换，氯离子就与硝酸根离子交换。这种离子交换十分相似于晶格离子与电解质溶液中离子间的交换。已有许多例子可以证明晶格离子的交换作用。虽然有些晶体上的离子难于被交换，但仍然是可以交换的。而一些矿物质（如泡沸石和某些粘土），其结构上的阳离子则很容易被电解质溶液中的阳离子所取代。而且这些物质的结构必须有足够大的孔隙以使进行交换的离子扩散到晶格中去。像泡沸石、粘土质矿物高岭石晶格上的阳离子能进行交换作用一样，某些物质上的阴离子也具有交换作用，如硅酸盐粘土质高岭土。这些离子型固体中的羟基能与氯离子、硫酸根离子以及磷酸根离子进行交换，对于一些两性电解质来说，其阳离子的交换随着介质 pH 值的升高而增加，阴离子的交换则相反。

虽然离子交换树脂缺少结晶性，但其离子交换机理与晶体的点阵离子的交换十分相似，各种阳离子交换树脂与阴离子交换树脂可以看作是有机高分子电解质。阳离子树脂之所以能交换离子是由于有磺酸基、羧基和酚基等官能团。事实上各种磺酸型阳离子树脂的交换容量可以从其含硫量十分准确地计算出来（表 1-1）。这表明，这些树脂的离子交换反应是在整个树脂凝胶体结构中进行的，而并不局限于表面上的作用。同样可以计算出羧酸型和酚型阳离子交换树脂的交换容量。

表 1-1 磺酸型阳离子交换树脂的总阳离子交换量与含硫量

树 脂	%, S	总 交 换 量	
		理论值, mmol/g	实验值, mmol/g
Amber lite IR-100	5.4	1.68	1.70
Amber lite IR-105	8.1	2.53	2.55
Amber lite IR-120	14.4	4.49	4.58

同样，阴离子交换树脂中所有胺基含量也可以从交换容量计算而

得（表 1-2）。

表 1-2 阴离子交换树脂的总交换量与含氮量

树 脂	%, N	总 交 换 量	
		理论值, mmol/g	实验值, mmol/g
Amber lite IR-4B	14.2	10.1	10.0
Amber lite IR-400	5.8	4.1	3.9

二、双电层理论

双电层理论原来是用来解释胶体的电动力学性质的，后来有人用来解释伴有离子交换的各种现象。其模型是：有两个电层，一个固定不变的内层，外层是扩散可移动的电荷，这个电荷层就能吸附离子。这些被吸附的离子可以与胶体内部原来的离子完全不同，而原来存在的离子决定着胶体大部分的电动力学性质。存在于胶体的扩散外层中的离子一直伸展到外面液体介质中去。在扩散层中的离子以及与之平衡的外部介质中的离子之间没有清楚的分界。构成扩散层的离子的浓度不断地随着外面溶液的浓度和 pH 值的改变而变化着。如果加了一种另外的离子到外面的溶液中去，因而改变了外面溶液中离子的浓度和组分，于是平衡被打破，并重新建立新的平衡，某些新来的离子将进入扩散外层以替代某些原有的离子，这样就发生了离子交换。但是电中和法则必须保持，这种交换按化学计算量进行。

尽管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，但是本质上是不同的。由于没有重结晶发生，这二种体系的理论交换量与 pH 值或浓度间关系是不同的：对于晶体点阵交换，可以假定一个固定数目的交换位置，该数目必须满足，而且与 pH 值或浓度的变化无关；对于双电层交换，扩散层的容量与浓度和 pH 值都有关系。

三、Donnan 膜理论

离子交换的第三个理论是 Donnan 膜理论的特殊情况。Donnan 理论是涉及一个膜的两边的离子分布不均匀的问题，在膜的两边各有一种电解质，其中之一离子不能渗透过膜。这样的体系以下例来说明：刚果红钠盐放在胶状膜的一边，氯化钠溶液放在另一边。由于染料的胶