

高
分
子
译
丛

离子交换树脂

化学工业部上海医药工业研究院编译

上海市科学技术编译馆

81.17
348

流動化法

東京大学工学部 国井大蔵 著

日刊工業新聞社

前 言

离子交换树脂的发展已有将近三十年的历史。它的功效和性能經過不断地研究和改进,已日臻完善。在各项科学技术和工业生产上的应用也随着不断扩大,并且取得了显著的效果。

为了进一步推广离子交换树脂在科研、生产上的应用,选译了最近几年来比較重要的国外文献,内容有催化反应、各种金属离子与化合物的回收和分离、电渗析设备、連續化离子交换操作以及在使用过程中如何防止或减少树脂结构和官能团的損害等,供讀者参考。

由于時間和水平的限制,錯誤之处在所难免,希讀者批評指正。

徐家鼐 1963年1月

目 录

前言

应用阳离子交换树脂进行烯烃类的直接水化反应	1
应用离子交换树脂分离磺酸与硫酸	9
阴离子交换树脂从水溶液中提取硝基酚的问题	19
在铬酸盐溶液中的阴离子交换	25
氧化剂对于阳离子交换剂的影响	35
强碱性 I 型阴离子交换树脂的化学降解	45
强碱性阴离子交换树脂的有机污染	56
金属阳离子的离子交换分离法	68
二价和稀土阳离子与 EDTA、HEDTA 及柠檬酸盐的 阳离子交换洗提次序	78
色层分离用的离子交换纤维素	88
连续化离子交换设备用于水及淡废水处理	96
电渗析——设备和膜	105

28207/103

应用阳离子交换树脂进行 烯烴类的直接水化反应

R. C. Odioso, A. M. Henke

在各种化学轉化方面,应用离子交换树脂为催化剂,已經受到相当重視。例如它會用在生成环氧化物,水解环氧乙烷以及生成酯类等,在許多文章里都有过討論^[1,3]。

迄今为止,文献里还未报导过关于采用离子交换树脂进行分支烯烴的选择水化或叔醇的脫水反应。只提到純醇类的非选择脫水作用^[4]和磺化煤^[2]与离子交换树脂进行的純异丁烯的水化反应^[5]。

本項工作的目的,在于用磺酸型苯乙烯二乙烯苯树脂作为催化剂,去探討它对分支烯烴类选择水化反应的良好条件,从而制备有价值的醇类,再經脫水取得异烯烴。現已証明,在不高的温度与压力下,它对炼油厂廢气 $C_4 \sim C_5$ 馏分的异烯烴进行直接水化作用,确具实效,并且已在适当条件下,从純粹叔醇的脫水或叔-仲-伯混合醇中叔醇的选择脫水,制出了高純度的异烯烴,而且制备手續簡便。

試驗部分

設備 全部連續流动操作的水化反应实验,是在不銹鋼管的反应器中进行,不銹鋼管規格是 80 号,2 吋,11 吋长,內容积 500 毫升。反应器用电炉加热,装有两只人工控制的加热器,三只热电偶插在加热器中,以測量催化剂的温度。

用 Hills McCanna 泵供应烴类与水,由高压儲料池直接将液体状态的丁烧-丁烯的混合料抽出,而混合的 C_5 是从冷冻的玻璃管中抽出。应事先将烴类与水混合經過旋管預热器,再进入反应器。反应器中流出液进入冷却器,經压力控制閥到低压接受器,即得液体产物。未轉化的进料,从接受器經气体流量計与采样系統放出。

分批水化实验是在标准的 1,800 毫升的彈式振蕩器中进行的,大气压脫水实验在可以容納 90 毫升催化剂的含硼玻璃反应器中进行,进料的速度經水夹套玻璃管由风箱泵来控制。

操作手續 在压力流动試驗中所用的 IR-120 树脂催化剂 (Rhom & Hass), 应先用 18% 的盐酸溶液接触 15~30 分钟, 使其轉为氫式, 再以蒸餾水洗除氯离子 (硝酸銀試驗), 于 250°F 干燥后, 取 250 毫升置于反应器中, 加水, 使其飽和膨脹。

俟催化剂飽和后, 用氮气調节工作系統的压力, 将反应器加热。混合料开始投入, 而操作温度在側取餚份时按規定調节, 時間通常为二小时。在不变的条件下采集数据, 定四小时为一試驗周期。

应把操作压力保持在大約表压 25 磅/吋², 使它超过进料的飽和压来保証在液相中操作。

最初, 要对反应器稍事加热, 俟达到要求的条件后, 則反应热足以維持操作温度。一切空間流速与物料通过量都与干树脂的体积有关, 因为湿树脂約为干的两倍, 所以实际上的空間流速只有报告中的一半。

分 析

从丁烷丁烯的水化反应所制备的叔丁醇 (2-甲基-2-丙醇), 可先用蒸餾法測定水醇共沸点。根据紅外綫光譜分析, 証明并无副反应发生, 因此可利用折光率对醇水組成的关系图来簡化产品的測定。由甲基乙烯水化制得的叔戊醇 (2-甲基-2-丁醇), 可采用质谱分析法来測定。对于脫水产品, 則用质谱与气体色譜分析法。

結 果

异丁烯的水化反应 最先在彈式振蕩器中, 用純异丁烯做水化实验, 用氫式湿的 IR-120 树脂作为催化剂, 异丁烯与树脂的比为 1:1。这些試驗得到叔丁醇的轉化率高的能达到 69.5 克分子%。其次用 72.6 与 18.8 克分子% 濃度的异丁烯試驗, 其轉化为叔丁醇分別为 54 克分子% 与 24 克分子%。在后一些实验的进料中, 含有正丁烯及正和异丁烷, 但产品中并未檢查出其他的醇类 (表 1)。

表1 以 IR-120 树脂为催化剂分批水化 2-甲基丙烯

仅生成 2-甲基-2-丙醇的轉化率(克分子%)

进料中 2-甲基丙烯含量 (克分子%)	反 应 条 件		树脂/2-甲基丙烯 重 量 比	最大压力 磅/吋 ² (表压)	轉化为2-甲基-2丙醇 (克分子%)
	温度(°F)	时 間 (小时)			
100	210	3.2	0.65	325	69.5
72.6	200	3.5	0.85	325	54.0
18.8	300	3.5	0.95	400	24.0

其后,在各試驗中,取純异丁烯在流动系統中操作,来对分批結果予以校正,确定操作条件。并决定在混合液相連續操作中改变操作法所带来的影响。

最初用直流向上流动操作法,叔丁醇的轉化率很低。以后,改用向下流动操作法,于下列条件下进行:温度 200°F,表压 250 磅/吋²,每小时空間流速为 1.0 烴类液体(LHSV. 指每小时每一单位体积催化剂的烴类体积)以及水与醇的比为 1:1 等。得到叔丁醇的轉化率为 64.5~70.9 克分子%(平均 67.5%)。

向上流动操作失败的原因,是由于在液体系統中包含有两个难以混合的物相。当液体流速低时,在溢流层里产生了巨大质量轉移的阻力,結果影响了水-烴类-催化剂之間的相互接触。

炼油厂中丁烯丁烷气的水化反应 因为催化裂解的廢气是异丁烯的主要来源,所以要研究从炼油厂 C₄ 廢气中含有 18~23% (重量)异丁烯的轉化方法(表 2)。

在选择条件下,探索了反应温度对于轉化所发生的影响(图 1)。如图所示,大約在 200°F 时,能得到 33.6 克分子% 的最大轉化率。如所指出,温度不同,轉化率也各不相同。252°F 时,为 8.8 克分子%;而在 153°F 时,則为 19.2 克分子%。

因为在一般反应温度低的平衡状态时,更有利于醇的生成,故于 153~155°F 所发生的轉化,大概是受到速度的限制。反之,高于 200°F 时,則反应受到平衡的限制。后一点是由下述实验获得証明的,即加到

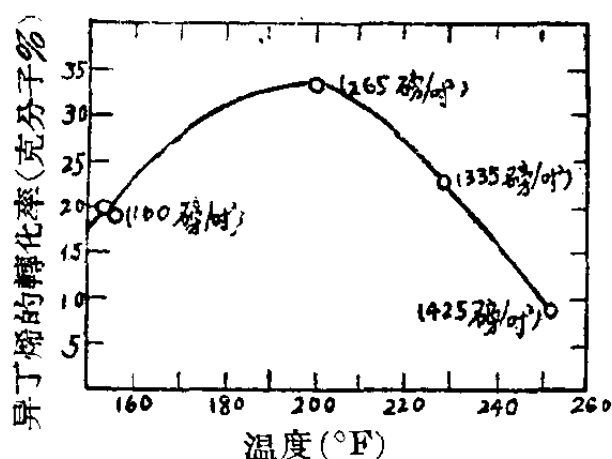


图1 在200°F时最大的轉化率
33.6 克分子%

空間速度、每小时每体积催化剂1体积烴类，水与异丁烯克分子比为6:1，表压25磅/吋²，大于計算的进料饱和压力，丁烷丁烯中含有18.8%（重量）的异丁烯。

LHSV的选择条件下作了研究比較。可以看出，如果超过上述范围时，在向下流动过程中，对于轉化并无明显的影响。当在3:1与12:1时，轉化率分别是22.5与21.7克分子%。以上所用的异丁烯濃度是18.8%（重量）。

关于单位小时空間速度效应問題，曾用1.0到6.0的空間速度做了研究。认为在4.0时最为恰当（图2）。叔丁醇的轉化率达32.0克分子%；而空間速度为2.0与6.0时，轉化率分别是28.0克分子%与20.2克分子%。

在1~4的范围内增加空間速度，能促使两个液相較好的混合，这是一項提高轉化率的良好措施。并且在較高的液体流速下，可以相应地降低液相間巨大质量的轉移阻力。空間速度在4~6时，轉化反应与化学反应速度和在多孔树脂

烴类-水进料中的叔丁醇，使它大于叔丁醇与异丁烯的計算比，在200°F、表压265磅/吋²与1:1 LHSV等条件下，产品中叔丁醇与异丁烯的比与直接水化时几乎相等。当>200°F时，控制反应的确实是平衡而不是流速。再者，于較高的温度下，在产品中有轉化的高聚副产物生成^[5]，証实了以前的观察。

关于水与异丁烯之間的克分子比的关系問題，曾采用了3:1, 4.7:1, 6:1与12:1在温度150°F，表压160磅/吋²以及1.0烴类

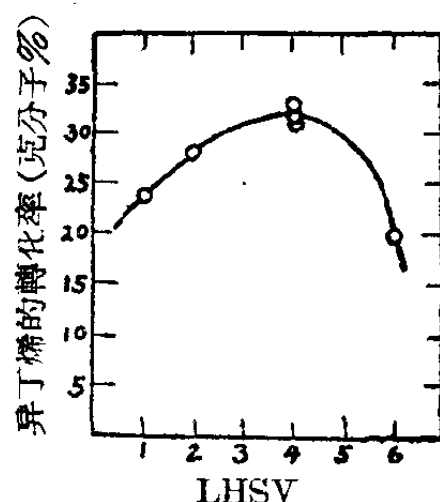


图2 空間速度約4.0时
所得的轉化率最大

温度200°F，表压265磅/吋²，水与异丁烯克分子比为3:1，丁烷丁烯中含有22%（重量）异丁烯。

表 2 炼油厂丁烷-丁烯废气的分析

化 合 物	濃度(重量%)	化 合 物	濃度(重量%)
丙烷	2.03	順式 2-丁烯	9.10
1-丙烷	0.52	反式 2-丁烯	16.22
2-甲基丙烷	23.08	丁二烯	0.27
1-丁烷	10.51	C ₅ 烴类	1.01
2-甲基丙烯	22.57	C ₆ 烴类	0.45
1-丁烯	14.23		

中扩散速度有关。

上述数据是在 1 体积催化剂, 4 到 8 体积烴类的低物料通过量得到的。为了确定两种温度 (200°F 和 157°F) 的轉化率并檢驗树脂的寿命, 进行了連續通过 360 体积的物料試驗。在 200°F 时, 得到平均轉化率为 32 克分子%; 而 157°F 时, 轉化率是 15~16 克分子%。又在 200°F 与其他相似条件下, 做了一次大量物料通过实验, 烴类进料里所含异丁烯的重量是 18.8%, 超过 320 体积物料通过量, 得到的平均轉化率是 27 克分子%。上述两个实验中, 均观察到树脂活度有微量損失。但于高温下 (300~350°F) 用正丁烯試驗, 則离子交換树脂迅速失去磺酸活性基团, 而催化性能也随之消失。

炼油厂 C₅ 烴废气的水化反应 在与上述相同的条件下, 以戊烯进行了选择水化反应, 已經証明, 它具有轉化为叔戊醇的可能性 (表 3)。在用等克分子的异戊烯 (2-甲基-2-丁烯与 2-甲基-1-丁烯) 的分批实验中, 叔戊醇的轉化率是 29.5 克分子%。又用等克分子的 2-甲基-2-丁烯与 1-戊烯反应, 也說明了它的选择水化反应的可能性。甚至在长期接触下 (55 小时), 只有 1.7% 的 1-戊烯轉化为仲戊醇 (2-戊醇)。同时有 12.6% 的 2-甲基-2-丁烯轉化为叔戊醇。

其次, 用脫丁烷輕液蒸餾产物, 其中含有典型的 C₅ 烴部分, 进行大量物料的通过实验 (表 4), 在每小时 1.0 烴类空間流速, 表压 150 磅/吋² 以及水与戊烯克分子比为 2.9:1 等条件下, 做了进料气向下流动操作。超过 112 体积的物料通过量, 戊烯的平均轉化率是 9.8 克分子%。

并未发现催化剂老化。在此实验中，虽然进料里含有 21.2% 2-戊烯，但是并未找到 2-戊醇的生成物。这一高度选择性，是由于叔戊正碳离子的迅速生成所致。

表 3 戊烯用 IR-120 树脂为催化剂的分批选择水化反应

进 料 克 分 子 数				条 件			轉化率(克分子%)	
2-甲基-2-丁烯	2-甲基-1-丁烯	1-戊烯	水	温度 (°F)	時間 (小时)	树脂/烯烴重量比	轉化为2-甲基-2-丁醇 ^a	轉化为2-戊醇 ^b
1.0	0	0.95	4.5	200	55	1:1	12.6	1.7
1.0	1.0	0	4.5	200	22	1.05:1	29.5	...

a—基于进料戊烯； b—基于进料 1-戊烯

表 4 从脱丁烷烴液中 C₅ 餾份分析結果

化 合 物	濃度(重量%)	化 合 物	濃度(重量%)
2-甲基丁烷	18.32	2-甲基-1-丁烯	12.25
3-甲基 1-丁烷		2-甲基-2-丁烯	27.79
順式 2-丁烯		2-戊烯	21.21
戊烷	11.27	C ₆ 烴类	5.56
1-丁烯	3.67		

醇类的选择脱水作用 由于含叔碳原子烯烴类选择水化为叔醇的成功，于是对于选择的逆反应也做了简单的研究。先用等克分子的仲丁醇(2-丁醇)与叔丁醇的混合料(图 3)，于适当条件下，得到了叔醇的脱水反应。又用等克分子的正戊、仲戊与叔戊醇(戊醇类)反应，从表 5 的数据说明，在适当的条件下，可获得要求的烯烴类产品的 98~99% 甲基丁烯属。

基于上述结果，显然，如水化反应是非选择性的，则接着用生成醇进行选择脱水作用，从而可能制备高纯度的分支烯烴产品。

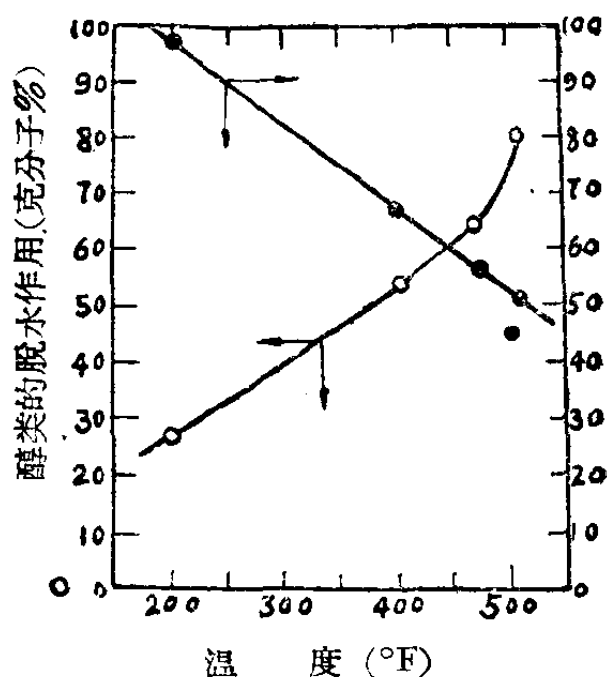


图3 等克分子的叔丁醇(2-甲基-2-丙醇)与仲丁醇(2-丁醇)混合料的选择脱水
(液体每小时空间速度 1.0; 压力, 大气压)

表5 混合戊醇的选择脱水反应

条 件		醇类进料克分子数			脱 水 反 应		烯 烃 类 产 品 中 克 分 子 % 组 成					
温度 (°F)	LHSV 体积/ 体积/ 小时	2-甲 基-2- 丁 醇	2-戊 醇	1-戊 醇	克分 子%	丁烯	3-甲 基-1- 丁烯	2-甲 基-1- 丁烯	2-甲 基-1- 丁烯	1-丁 烯	反式 2-戊 烯	顺式 2-戊 烯
300	1	0.52	0.52	0.52	30.4	0.9	0.0	16.3	68.1	1.7	9.0	4.9
250	1	0.52	0.52	0.52	31.6	1.0	0.2	12.4	66.4	1.4	12.8	6.6
200	2.4	0.63	0.63	0.63	24.1	0.0	0.3	22.0	75.3	0.2	1.2	1.1
200	3.8	0.55	0.55	0.55	26.4	0.0	0.0	13.3	80.3	0.4	0.3	0.6

[王振堃译自《I. E. C.》53, No.3, 209~211(1961) 徐家鼎校]

参 考 文 献

[1] Helfferich, F., Angew. Chem. 66, 241 (1954).

- [2] Kreps, S. I. Nachod, F. C. (to Atlantic Refining Co.), U. S. Patent 2, 477, 380 (July 26, 1949).
- [3] Nachod, F. C., Schubert, J., "Ion-Exchange Technology," Academic Press, New York, 1956.
- [4] Sussman, S., Ind. Eng. Chem, 38, 1228 (1946).
- [5] Young, D. W. (to Esso Research and Engineering Co.), U. S. Patent 2, 813, 903 (Nov. 19, 1957).

«应用离子交换树脂分离磺酸与硫酸»

参 考 文 献

- [1] Anderson, R. E., Bauman, W. C., Harrington D. F. Ind. Eng. Chem. 47, 1620 (1955).
- [2] Higgins, I. R., Roberts, J. F. Chem. Eng. Progr. Symp. Series 50, 87 (1954).
- [3] Moison, R. L., "Ion Exchang Kinetics", A. I. Ch. E. Meeting, September 1957.
- [4] Young, T. F., Blatz, L. A. Chem. Rev. 44, 102 (1949).

«阴离子交换树脂从水溶液中提取硝基酚的问题»

参 考 文 献

- [1] А. В. Сахаров, Хим. Наука и Пром., IV, 3, 361 (1959).
- [2] Н. Г. Фесенко, Гигиена и Санитария, 12, 68 (1958).
- [3] А. Б. Даванков, Н. Е. Огнева, Гигиена и Санитария, 2, 9 (1954).
- [4] А. Б. Даванков, Теория и практика применения ионообменных материалов. Сб. статей, Изд. АН СССР, 126~134 (1955).
- [5] H. Wille, Brennstoff-Chemie, 23, 271~273 (1942); Ch. A., 37, 3757 (1943).
- [6] A. Bramley, J. Chem. Soc., 109, 434~469 (1910); Ch. A., 10, 1955 (1916).
- [7] А. Дирикс, Р. Кубичка, Фенолы и основания из углей. Гостоптехиздат, 6 (1956).
- [8] А. Б. Даванков, Л. Б. Зубакова, Високсмол. Соед., 6, 884~890 (1960).

应用离子交换树脂分离磺酸与硫酸

R. C. Glogau, D. O. Halvorson

磺酸是由有机化合物与发烟硫酸或三氧化硫反应而制成的，通常需要过量的磺化剂，在工业上，过量的硫酸常用石灰沉淀成 CaSO_4 。更完全地除去硫酸根可以用钡盐。但在任一情况下，硫酸钙或硫酸钡都很难于过滤，加上滤饼必须彻底洗涤来回收成品。

为避免过滤 CaSO_4 或 BaSO_4 ，研究了应用离子交换树脂的方法。安德生 (Anderson)、鲍曼 (Bauman) 与哈灵通 (Harrington)^[1] 发展了一种方法，利用阴离子交换树脂上硫酸根-亚硫酸根的平衡能将强酸，如硫酸与弱酸、有机物质或某些盐类分离。这一方法中，硫酸由水相二组份溶液中被装有硫酸式 Dowex 1-X8 树脂柱以下述反应式提取：



另一组份则流过交换柱，如此分离完成。树脂仅用水即可再生为硫酸式：



用较高交联度的树脂代替 Dowex 1-X8，大分子酸的吸附要受到阻碍，这就可以分离两种分子大小不同的强酸。用高浓度酸溶液，则不离解硫酸的吸附作用变为很重要而且有助于分离。

自 5-磺基异苯二甲酸、苯磺酸及对-甲苯磺酸中分离硫酸都曾研究过。大多数的实验工作是用 5-磺基异苯二甲酸（简称 SIPA）与 Dowex 1-X16 用分批技术在固定床柱及流动床系中进行的。

这一设计提供了分离两种强酸，特别是硫酸与磺酸的有益方法。因为磺酸的生产是大量的，而且树脂不需用贵重的化学再生剂，因此这一方法有一定的工业潜力。

实验部份

分批容量试验 将量好体积的已再生为硫酸式的树脂经吸气过滤

除去間隙中的水,然后移入一燒杯中,称入等体积的进料液。进料液为一稀釋的磺化混合物,通常含有 8~10% H_2SO_4 及 25~50% 磺基异苯二甲酸。此混合物在恒温槽中(通常 70°C) 迴盪 30 分钟作为标准試驗,迴盪更长的時間作为吸附速度試驗。然后混合吸气过滤并以 2 倍体积冷水快速洗滌。进料液和包括洗液在內的滤液按下述方法分析 H_2SO_4 和 SIPA。总酸度用碱滴定法測定,将样品加入到过多量的苯胺中, H_2SO_4 成为苯胺硫酸盐沉淀,經过滤以碱滴定法測定之。

固定床系統 大多数的固定床工作是半工厂規模进行的,由四个帶有夹套的玻璃柱构成。柱直徑 2 吋,长 22 呎,装有 20 呎硫酸式 Dowex 1-X16 树脂。

含有 10% H_2SO_4 与 50% SIPA 的进料液是用泵由下向上打入串联的两支交换柱,同时另两柱用水洗滌和再生。当串联两柱的第二柱流出液中硫酸开始穿过时,用第二柱代替第一柱,用再生好的柱作为第二柱。

在典型循环中,于 70°C 加入 30 磅进料液,可以得到 10 磅含低濃度硫酸的溶液。存留在耗竭柱中的进料液用热水以快速由上向下洗出,洗液濃縮后再作为进料液。洗过的柱用緩慢的水流进行再生。这一循环需要 7 到 10 小时,在运轉期間反复循环。

流动床系統 流动床系統是希金斯 (Higgins) 与劳勃特 (Robert) 所述的那种半連續化脉动床型式^[2]。由 1 吋玻璃管和必須的泵与閥組成。也装有硫酸式 Dowex 1-X16 树脂。象原来設計时一样,这一系統包括負荷、洗滌、再生等部份,用塞形閥分开。当液体流动时,分离閥是密閉的。一旦流出液中有硫酸穿过,进料、洗滌、及再生都停止;打开分离閥,树脂被水力推动与液体流动方向相反移动数吋。这样使再生好的树脂移到負荷部份,耗竭树脂移到洗滌部份,洗好的树脂移到再生部份。然后关闭分离閥,液体再作流动直到硫酸穿过重現为止。

实际上,因为树脂溶脹(3~5%),遇到过树脂移动的困难,这溶脹是树脂由負荷部份到洗滌及再生部份发生的。然而,在再生部份与其他部份分开的系統中树脂可以随意移动。負荷,淋洗和再生部份的大小分別为 16, 1.5 和 16 呎。树脂每 5~10 分钟移动 5~10 吋。进料液

为 10% H_2SO_4 及 44% SIPA, 用每平方呎树脂床截面积每分钟 1~4 加侖的进料速率是成功的。

也研究了在流动床历程中树脂粒的磨損。虽然在树脂閥中偶然发现局部的細粉, 但在 17 个循环期——375 操作小时中树脂的篩析情况沒有显著的改变。

結果与討論

树脂交联度的效应 以 7.5~24% 二乙烯苯为交联剂的 Dowex 1 为样品进行分批容量試驗的結果見下表。本文中大部份工作都是用 Dowex 1-X16, 因为在一定情况下 1-X16 已能很滿意地排斥 SIPA, 同时現成商品中沒有更高交联度的树脂。

**随交联度增高而酸容量降低, 在某些情况下
SIPA 实际上已被排斥**

树脂(硫酸式)	进 料 液			
	10% H_2SO_4 30% SIPA 酸容量(磅/立方呎)		10% H_2SO_4 50% SIPA 酸容量(磅/立方呎)	
	H_2SO_4	SIPA	H_2SO_4	SIPA
1-X 7.5	3.3	1.8	...	...
1-X 16	2.3	1.5	3.3	0.5
1-X 18	2.0	1.8	3.1	1.8
1-X 20	2.3	1.0	3.7	0.9
1-X 22	1.3	0.1	1.7	0.1
1-X 24	...	...	0.8	0.0

进料液組成的效应 如表所示, 所有树脂对硫酸的交换容量都随进料液中 SIPA 濃度增高而增高。在图 1 中对于 Dowex 1-X16 更清楚地表明了这一效应。此图內进料液中 H_2SO_4 濃度固定为 10%, 而 SIPA 濃度由 30% 改变到 50%。

改变硫酸濃度而固定 SIPA 濃度的效应見图 2。

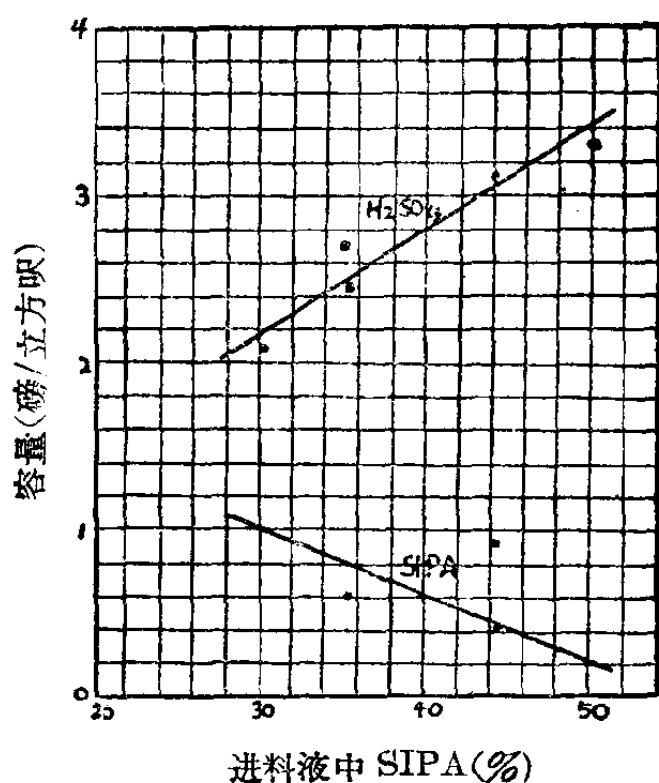


图1 SIPA 容量降低,而 H_2SO_4 容量随 SIPA 浓度增加而增加
(接触时间 30 分钟)

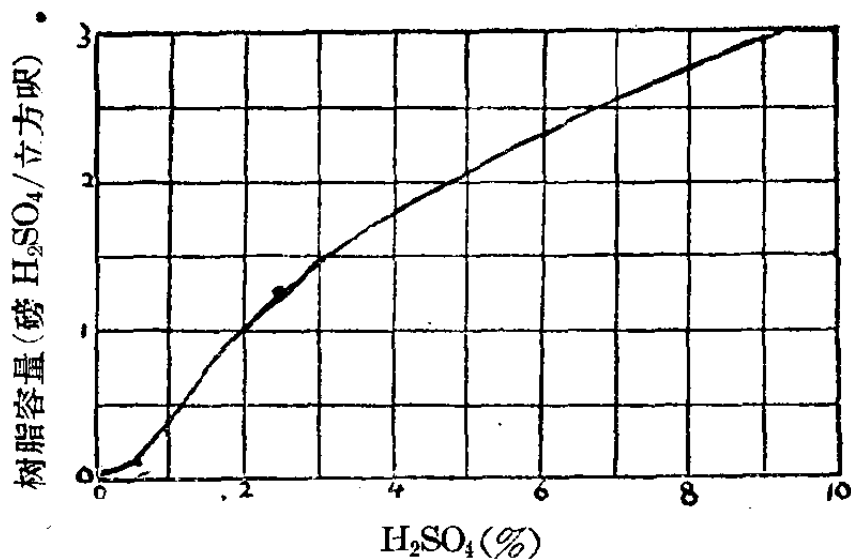


图2 1-X16 的硫酸容量,大约与进料液中 H_2SO_4 的浓度成正比
(温度 $70^{\circ}C$; SIPA 浓度, 45%)

温度的效应 温度由 $25^{\circ}C$ 升到 $50^{\circ}C$, 使硫酸容量由每立方呎 1.6 磅增加到 3.0 磅。半工厂规模的数据也提出了 $70^{\circ} \sim 90^{\circ}C$ 的温度效应, 表明温度由 $70^{\circ}C$ 升到 $90^{\circ}C$, 树脂的平均负荷量由每立方呎 1.8

磅升到 2.2 磅。

流速的效应 在半工厂规模的固定床中用摩生 (Moison) 法^[3] 对不同的流速测定交换区的高度,发现在极慢的流速下达到 5 呎的最低值(图 3)。

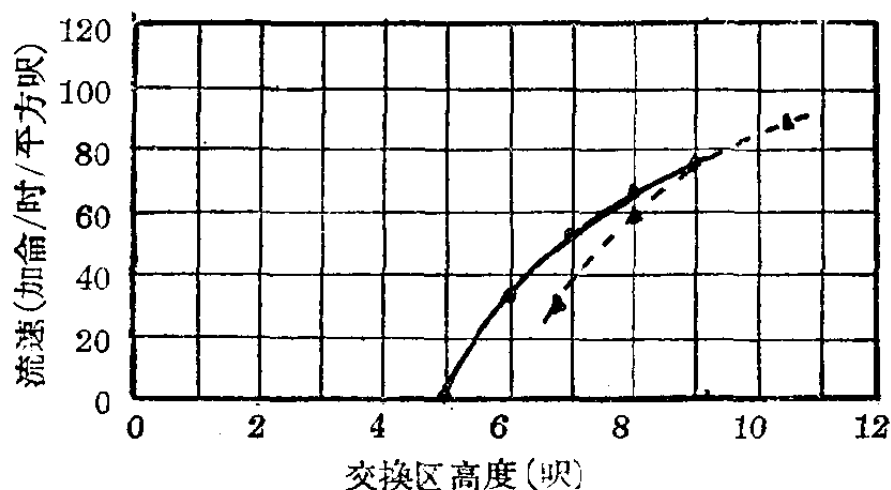


图 3 交换区高度对最低流速达最低值为 5 呎

进料: 10% H_2SO_4 , 50% SIPA

—●— 2'' x 20' 柱
---▲--- 1/2'' x 4' 柱外推

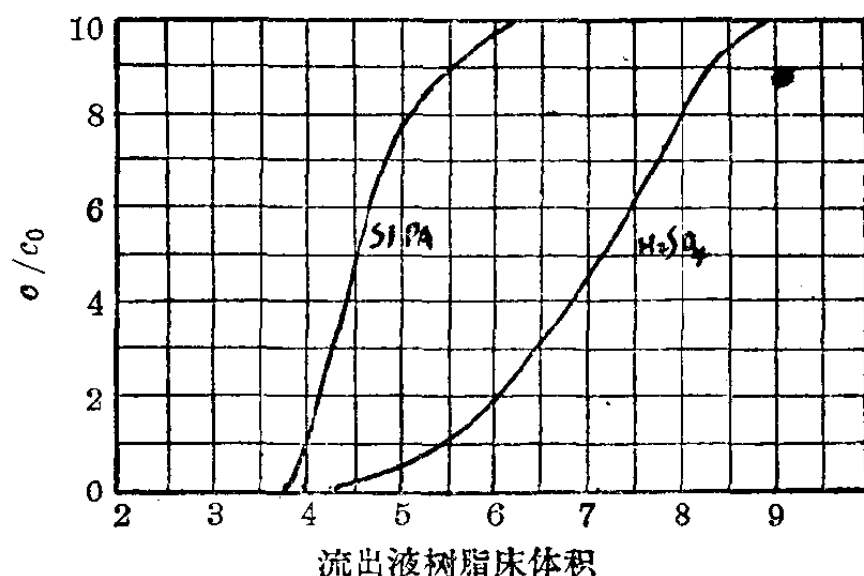


图 4 曲线形状表明 SIPA 吸附速率为树脂内部扩散所控制,而 H_2SO_4 吸附主要是膜扩散控制

H_2SO_4 吸附机理 图 4 所示为一标准的浓度-容积曲线。硫酸在高浓度时大部分不离解^[4]。为此,深信在所叙述的过程中未离解的硫酸被树脂物理吸附是重要的作用,再加上简单的离子交换吸附亚硫酸