

学校编号：10384

分类号：

密级：

学 号：199936006

UDC：

厦门大学理学硕士学位论文

树脂法从水溶液中提取 6-氨基青霉烷酸 (6-APA)  
的研究

曾 碧 榕

指导老师： 蓝伟光 教授

申请学位级别：硕士

专业名称：高分子化学与物理

论文提交时间：2002.6

论文答辩时间：2002.7

学位授予单位：厦门大学

答辩委员会主席：\_\_\_\_\_

论文评阅人：\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2001 年 7 月

# 目 录

中文摘要

英文摘要

## 第一章 绪论

1.1	研究背景介绍	1
1.2	树脂简介	6
1.2.1	树脂的分类	6
1.2.2	离子交换树脂法的分离原理	8
1.2.3	树脂交换容量与交换动力学	8
1.2.4	离子交换树脂的溶胀行为及其对离子交换性能的影响	10
1.2.5	提取纯化抗生素的树脂	11

## 第二章 树脂吸附的数学模型的描述

2.1	引言	12
2.2	吸附的理论基础	13
2.3	溶液中的吸附传质过程	14
2.3.1	吸附过程	15
2.3.2	内扩散过程	16
2.3.2.1	与固体内部结构无关的稳态扩散	17
2.3.2.2	与固体内部结构有关的多孔固体中的稳态扩散	17
2.3.3	外扩散过程	18
2.4	用于对本实验描述模型	18

2.4.1	树脂与溶液混合并搅拌（搅拌釜）	18
2.4.2	固定床吸附	21

### 第三章 实验部分

3.1	实验树脂和试剂	25
3.2	实验仪器	29
3.3	实验装置	29
3.4	实验操作与原理	30
3.5	连续串联操作模式	30
3.6	分析方法	31
3.6.1	碘量法	32
3.6.2	高效液相色谱法（HPLC）	32
3.6.2.1	色谱条件	32
3.6.2.2	HPLC 标准曲线的绘制	33
3.6.3	高效液相色谱法（HPLC）与碘量法的比较	34
3.7	树脂的预处理	36
3.7.1	吸附树脂的预处理	36
3.7.2	离子交换树脂的预处理	36
3.8	实验计算方法	36

### 第四章 结果与讨论

4.1	6-APA 的稳定性实验	38
4.2	6-APA 的树脂筛选实验	40
4.3	6-APA 的树脂吸附实验	44
4.3.1	静态实验及结果处理	44

4.3.1.1	吸附曲线（静态交换动力学曲线）	44
4.3.1.2	吸附等温线（静态平衡吸附等温线）	51
4.3.2	动态实验及结果处理	56
4.4	6-APA 的树脂解吸实验	61
4.4.1	解吸剂静态解吸	61
4.4.2	动态解吸实验	64
4.5	6-APA 与 PAA 的分离实验	73
4.5.1	IRA67 树脂实验结果	73
4.4.2	D301 树脂实验结果	75

参考文献

结论

致谢

## 中文摘要

6-氨基青霉烷酸 (6-APA) 是由天然青霉素G经过酶裂解断开侧链而获得的青霉素母核, 是生产半合成青霉素的重要中间体。设法让 6-APA上的氨基 (-NH<sub>2</sub>) 接上不同的侧链, 就可以合成不同种类的半合成青霉素。从青霉素G的裂解液中提取、分离和纯化 6-APA, 是整个 6-APA生产工艺中极为关键的步骤。传统提取工艺采用溶剂萃取法。萃取法的溶剂用量大, 回收困难; 还因在酸性条件下 6-APA会快速分解而严重损失, 降低收率。针对这些问题, 本论文提出用树脂法来提取 6-APA。本研究包含树脂的筛选、树脂的吸附性能和吸附机理研究、解吸剂的筛选、解吸剂的解吸行为研究以及 6-APA与PAA的分离等项内容, 对每项实验结果都作了详细的分析和讨论, 同时建立了适合本实验体系的数学模型。

首先, 通过静态吸附实验, 筛选出对 6-APA 吸附率高达 95%以上的三种弱碱性树脂: IRA67 树脂、D301 树脂和 330 树脂。从吸附等温线和线性回归上验证了树脂的吸附很好地符合 Langmuir 吸附模型, IRA67 树脂、D301 树脂和 330 树脂的 Langmuir 等温式分别为  $Q=C/(0.3221+0.0136C)$ 、 $Q=C/(0.0025+0.0085C)$ 、 $Q=C/(0.0034+0.005C)$ 。其次, 通过静态解吸实验, 筛选出两种良好的解吸剂: 20%乙醇、20%异丙醇。通过动态解吸实验, 进一步说明 20%乙醇和 20%异丙醇的解吸速率快, 洗脱集中, 液相的 6-APA 分配系数大。以 D301 树脂为吸附剂, 20%异丙醇为解吸剂, 6-APA 的总收率可达 86.8%。与溶剂萃取工艺 (6-APA 收率 80%) 相比, 树脂法的收率高出 6.8 个百分点。由于所采用的解吸剂用量较少, 解吸液中 6-APA 的浓度可高达 5.1mg/ml (相当于 1, 3515 个效价单位), 从而可以简化 6-APA 结晶前的浓缩工序。再次, 通过 6-APA 与 PAA 的分离实验, 发现以 IRA67 树脂为吸附剂, 20%乙醇为解吸

剂对 6-APA 和 PAA 能够有效地进行分离。最后，结合考虑内扩散、界面吸附及外扩散传质的全过程，建立了符合本研究体系的数学模型，搅拌状态下的

$$\text{全过程吸附方程为：} \bar{q} = q_f - 6q_f \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(n\pi)^2} \exp\left[-(n\pi)^2 \frac{Dt}{R_p^2}\right],$$

固定床的模型为：

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \exp[-\nu H_1(\lambda, \nu)] \sin[\sigma\theta\lambda^2 - \nu H_2(\lambda, \nu)] \frac{d\lambda}{\lambda}。$$

**关键词：**6-氨基青霉烷酸（6-APA），弱碱性阴离子交换树脂，吸附，解吸，Langmuir 等温式，数学模型

# STUDY ON ADSORPTION AND DESORPTION OF 6-AMINOPENICILLANIC ACID (6-APA) ON ION-EXCHANGE RESINS

**ABSTRACT:** 6-APA for preparation of semi-synthetic penicillin was made by cleavage of penicillin using an immobilized acylase. Penicillin G or Penicillin V is converted into 6-APA by the reaction of removing the side chain linked to the amino group in position 6. Penicillins consist of the heterocyclic group consisting of a thiazolidine ring fused with a beta-lactam ring, which are distinguished from each other by the nature of the side chain attached to the amine group in position 6 through a peptide link. How to isolate and purify 6-APA from the direct Pen G cleavage broth is very important in the whole process of the 6-APA production. The most widely-used process comprises performing a liquid-liquid extraction at acid pH using appropriate equipment capable of dealing the emulsions which form between the organic and the organic solvent. But the efficiency of liquid extraction is affected by temperature control, loss of activity in the broth, which is exhausted broth through deactivation at acid pH and the physical loss connected with inadequate separation of the organic phase, which may remain included, and which in any case requires costly equipment, the use of surfactants, which consequence on costs and environmental problems, and the use of solvents. In order to overcome some of the problems which now exist in the production of 6-APA, we propose a new method which is using exchange resins. The purification using resins achieves not only isolation of the 6-APA and PAA, but also their simultaneous separation in one operation, even though sequential,

through control elution.

This paper consists of six parts which are screening out the appropriate resins and the suitable eluents, study of the adsorption performance and the desorption performance, research in the separation of 6-APA and PAA as well as establishing the mathematical model for our study system.

Firstly, three weak-base resins are selected for their adsorption proportion higher than 95%. They are IRA67, D301 and 330 resins. From the ion-exchange resin isotherm and their linearity-regression, we prove that the adsorption of the three resins accord with the Langmuir model. Their equilibrium relations are  $Q=C/(0.3221+0.0136C)$ ,  $Q=C/(0.025+0.0085C)$ ,  $Q=C/(0.0034+0.005C)$  respectively. Secondly, 20% ethanol, 20% isopropanol are selected as good eluents to elute 6-APA from resins. The dynamic experiments further show that 20% ethanol and 20% isopropanol are good for their high elution speed and large distribution ratio of 6-APA in the liquid phase etc.. Choose D301 resin as sorbent and 20% isopropanol as eluent, the recovery of 6-APA is 86.8%, which is 6.8 percent more than the recovery of 6-APA through liquid-liquid extraction process. The concentration of 6-APA in the eluate is 5.1 mg/ml (equal to 1,3515  $\mu$ /ml), which can simplify the concentrated stage before crystallization. Choose IRA67 resin as sorbent and 20% ethanol as eluent, 6-APA and PAA can be separated effectively. Finally, combining the interior diffusion, surface adsorption with outer diffusion, we establish the mathematical model which is suitable for our study system.

The equilibrium model of stirring state is:

$$\bar{q} = q_f - 6q_f \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(n\pi)^2} \exp\left[-(n\pi)^2 \frac{Dt}{R_p^2}\right].$$



The equilibrium model of immobilized bed is:

$$\frac{c}{c_0} = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \exp[-\gamma x H_1(\lambda, \nu)] \sin[\sigma \theta \lambda^2 - \gamma x H_2(\lambda, \nu)] \frac{d\lambda}{\lambda}.$$

**KEY WORDS: 6-AMINOPENICILLANIC ACID ( 6-APA ), WEAK-BASE ION-EXCHANGE RESINS, ADSORPTION, DESORPTION , LANGMUIR ADSORPTION , MATHEMATICAL MODEL**

# 树脂法从水溶液中提取 6-氨基青霉烷酸 (6-APA) 的研究

## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景介绍

1928 年英国科学家弗来明首次发现青霉素 (Penicillin), 并作为第一个应用于临床的抗生素。几十年来, 青霉素以其抗菌作用强、疗效高、毒性低等优点成为治疗敏感性细菌感染的首选药物。在目前已知的 8 种天然青霉素中以苜青霉素 (青霉素G) 的疗效最好, 应用最广<sup>[1-3]</sup>。但是青霉素用于临床有性质不够稳定, 抗菌谱较窄, 金葡菌对之易产生耐药性, 某些患者有过敏反应等缺点。为了克服这些缺点, 人们又研制出半合成青霉素<sup>[4]</sup>。6-氨基青霉烷酸 (6-APA) 是青霉素母核, 也是生产各种半合成青霉素的重要中间体。其分子式为  $C_8H_{12}O_3N_2S$ , 分子量为 216.25, 属于  $\beta$ -内酰胺类物质, 结构式如图 1-1 所示。按照双环庚烷的衍生物来命名, 称为 6-氨基-3,3-二甲基-7-氧-4-硫-1-氮双环[3,2,0]庚烷-2-羧酸。6-APA 是一种两性物质, 其羧基的  $pK_a$  为 2.3, 氨基的  $pK_b$  为 5.1, 等电点在水溶液中为 4.3, 在醇溶液中为 6.2。

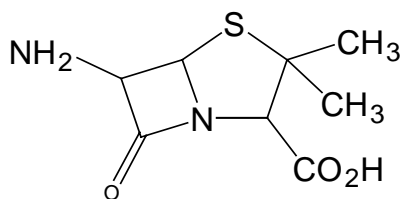


图 1-1 6-氨基青霉烷酸 (6-APA) 结构式

6-APA 本身抗菌活性很低,无实用价值,但是它作为半合成青霉素的原料却具有重要的意义。把各种类型的侧链与 6-APA 上的氨基缩合,便可得到抗菌力较强的各种半合成青霉素,这为寻找新的青霉素开拓了广阔的途径。半合成青霉素的结构通式可表示为:

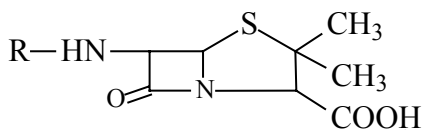
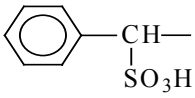
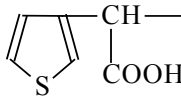
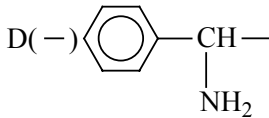
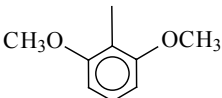

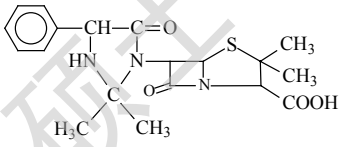


图 1-2 半合成青霉素结构式

R 基不同,得到的半合成青霉素种类不同,其特点也各不相同,各种常用的半合成青霉素结构及特点见表 1-1。

表 1-1 常用半合成青霉素的结构及特点

名称	R	特点												
氨苄青霉素	D(-)	用于肠球菌、痢疾杆菌、伤寒杆菌、大肠杆菌和流感杆菌引起的感染。												
羟氨苄青霉素	D(-) HO-	抗菌谱和用途与氨苄青霉素相似,口服吸收好,血药浓度高。												
异噁唑类青霉素 a) 邻氯青霉素 b) 双氯青霉素 c) 氟氯青霉素	 <hr/> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td>R<sub>1</sub></td> <td>R<sub>2</sub></td> </tr> <tr> <td>a)</td> <td>Cl</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>b)</td> <td>Cl</td> <td>Cl</td> </tr> <tr> <td>c)</td> <td>Cl</td> <td>F</td> </tr> </table>		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	a)	Cl	H	b)	Cl	Cl	c)	Cl	F	既耐酸,又耐青霉素酶,随着卤素原子增加而易于吸收,对青霉素酶均有效,但对其它青霉素过敏物质作用稍差,严格控制用于对它其它青霉素有抗药性的地方,仅在临床作细菌试验后使用,
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>												
a)	Cl	H												
b)	Cl	Cl												
c)	Cl	F												
羧苄青霉素		主要用于绿脓杆菌、大肠杆菌等引起的感染,口服不吸收,须注射给药,毒性较低,体内分布广。												
茚羧青霉素		抗菌谱和用途与羧苄青霉素相同,能耐酸,口服吸收好。												

磺苄青霉素		抗菌活性近似羧苄青霉素，主要用于绿脓杆菌和变形杆菌的感染，注射给药。
吩羧青霉素		能控制绿脓杆菌和大肠杆菌所引起的感染。
环己烯氨苄青霉素	D(-) 	抗菌谱与氨苄青霉素相似，对绿脓杆菌有效，但不及羧苄青霉素，耐酸、耐酶，可口服。
甲氧苄青霉素		用于耐药金葡萄菌的各种感染。
咪卞青霉素		对绿脓杆菌有较强的抗菌作用。
酮氨苄青霉素		为氨苄青霉素与丙酮的缩合物，用途与氨苄青霉素相同，耐酸可口服，吸收较快，作用持久。

6-APA作为制备半合成青霉素的重要中间体，其生产和分离也经过许多的摸索。早在1950年，日本人坂口和村尾认为在青霉素的产生菌种——产黄青霉菌的培养液中有一种酶，能切断青霉素侧链生成当时被称为“Penicillin”的青霉素核。1953年，加腾等人指出在不加前体的情况下，产黄青霉发酵能形成这种母核。但他们试图分离这种母核均没有实现。直到1959年英国Batchelor等人才宣布从不加前体的青霉素发酵液里成功地分离出6-APA。目前，6-APA的生产主要是通过天然青霉素经酶裂解，切断青霉素侧链得到。我国工业上较多采用固定化细胞的酶裂解法来生产6-APA<sup>[5]</sup>。工艺流程简述如下：将含有酶的大肠杆菌固定化细胞颗粒装入柱形反应器内，采用高速循环的批次式投料方法，在合适条件下，将青霉素G裂解成6-APA与苯乙酸。裂解时间一般需要2.5-3小时，裂解率一般可达95%以上。裂解结束后，将裂解液浓缩3倍

左右，加入适量的醋酸丁酯反复萃取并除去苯乙酸，最后用 6mol/l 的盐酸调节至 pH=4.3，即得 6-APA 结晶。经过过滤、洗涤、干燥后为 6-APA 成品，总收率一般在 80% 左右。在生产中，寻找这种能够裂解青霉素 G 生产 6-APA 的酰化酶极其重要，1960 年英、美等国许多工厂和研究部门都先后从一些微生物中找到了收率较好的酰基转移酶，从而为 6-APA 的大规模工业生产与半合成青霉素的迅速发展奠定了基础。六十年代末，荷兰学者发展了非酶转化的化学裂解法，为 6-APA 的生产又开创了一条新路线<sup>[6]</sup>。

在抗生素生产中，对产品进行有效的提取、分离和纯化是决定整个生产成本高低的关键。6-APA 的提纯是生产 6-APA 的重要环节。青霉素酶裂解液体系复杂，组分繁多，料液中包含有菌丝体、蛋白质、糖类、色素、无机营养物质、残余的青霉素、苯乙酸以及产品 6-APA 等。有两种方法可以提高 6-APA 的结晶纯度，即传统的有机溶剂萃取法和膜分离法。溶剂萃取法多数采用醋酸丁酯或醋酸戊酯为萃取剂，碳酸氢钾或碳酸氢钠水溶液为反萃取剂。该工艺存在的明显缺点是<sup>[7-8]</sup>：(1) 萃取体系复杂，分配比低；(2) 6-APA 是一弱酸 ( $pK_a=2.3$ )，只有在低 pH 条件下才能以分子形态被有机溶媒提取。但在低 pH 条件下，6-APA 降解损失严重；(3) 醋酸丁酯水溶性和挥发性大，溶剂回收困难，污染问题难以处理；(4) 抗生素的浓度较低，溶剂提取时用量多，效率低，浪费大；(5) 两液相分离时需配备高速离心机等设备，萃取前需要预浓缩，能源消耗大，影响经济效益。并且该方法使得酶严重损伤，延长反应时间。膜分离法的超滤液直接酶解，酶的稳定性较好，时间稳定，但是其结晶粉的透光度非常低，色泽很深<sup>[9]</sup>。基于以上原因，探索新的工艺、新的方法来提取、纯化 6-APA 成为一个潜力巨大的研究课题。树脂分离因其具有溶剂消耗少、设备构造简单、操作简便安全等优点而广泛应用于医药工业及化工等领域。离子交换树脂在抗菌素及生化药物生产中的应用是树脂在制药工业中应用的一个主要方面<sup>[10]</sup>。用弱酸性阳离子交换树脂提取分离链霉素的成功是一个具有历史意义的成就，它不仅对提高链霉素纯度和降低生产成本起重

要作用，同时也显示了离子交换树脂在抗生素分离提取方面的巨大潜力。但是树脂在青霉素系列的提取工艺上应用报道较少。本论文就树脂吸附 6-APA 进行了一系列的研究实验，并取得了良好的实验结果。

利用离子交换树脂可以根据其选择性能，有选择性地吸附、分离多种离子型抗生素，不仅回收率较高，而且得到的产品纯度较好<sup>[11]</sup>。关于离子交换树脂对抗生素的吸附性能，前苏联学者曾进行了大量的研究，其结果由 Samsonov 总结在他的专著《生物活性分子的离子交换吸附与制备色谱》中<sup>[12]</sup>。近几年来，国内外应用大孔吸附树脂作为分离和纯化抗生素的报道很多，其优点有（1）吸附剂的物理与化学稳定性高，机械强度高，经久耐用。（2）吸附剂再生容易，一般用水、稀酸、碱或有机溶剂即可。而且分离出来的物质灰分少<sup>[13]</sup>。（3）品种多，可根据不同要求，改变吸附剂的孔结构或极性，使用不同品种，可适用于吸附多种有机化合物。（4）吸附树脂一般系小球状，直径在 0.2-0.8 毫米之间，因此流体阻力不像粉状活性炭使用时不便<sup>[14]</sup>。正是由于树脂的诸多优点使得采用树脂分离法分离、提取和纯化抗生素已经有了很多的研究和很大的进展。对于  $\beta$ -内酰胺类抗生素的树脂提取和纯化情况举例如下<sup>[15-16]</sup>：磺苄青霉素：用 XAD-2 吸附，以 30% 乙醇水洗脱<sup>[17]</sup>。Thienamycin 用 XAD-2 层析精制<sup>[18]</sup>。6-（5-羟基-n-戊酰氨基）-青霉烷酸，用 XAD-4 吸附<sup>[19]</sup>。抗菌素 FR-1923（Nocardicin A）用 Daion HP-20 吸附，以 20% 甲醇解吸<sup>[20]</sup>。头孢菌素 C，用 Amberlite XAD-2 提取精制<sup>[21-22]</sup>。至今为止，树脂在抗生素上的应用不断有新的研究和探索，但是对于树脂提取、纯化 6-APA 方面，国内外系统的研究报道很少。1997 年 M Dutta、R Baruah、N Dutta<sup>[23]</sup>研究了 6-APA 在活性炭上的吸附，发现活性炭对 6-APA 的吸附性能符合 Langmuir 吸附模型，吸附和解吸速率符合动力学第一定律。1996 年 LAM Vanderwielen、MJA Lankveld 和 KCAM Luyben<sup>[24]</sup>研究了青霉素 G、6-APA、苯乙酸（PAA）在氯型 IRA400 离子交换树脂上的离子交换平衡，实验得到的多组分体系的阴离子交换平衡数据与 Myers 和 Byington 模型平均偏差 32%。另一

方面，通常树脂固定床的分离过程分三步：吸附、解吸（再生）和清洗。解吸是指已被吸附的原子或分子返回到液相或气相的过程。虽然在整个工艺的优化过程中，解吸同吸附一样是非常关键的步骤，但是由于解吸的影响因素很多，解吸剂的选择比较繁琐，所以许多研究只是处理吸附部分却没有深入探讨解吸部分<sup>[23]</sup>，有关解吸的理论也还没有建立起来。至今尚未发现有人对 6-APA 体系进行吸附和解吸两个方面的详细报道。针对这些问题，本论文展开研究探索，实验采用离子交换树脂和大孔吸附树脂吸附 6-APA，在较广的范围内筛选树脂，获得了吸附性能优良的弱碱性阴离子交换树脂：D301、330 和 IRA67，并对这三种树脂进行了静态和动态实验，详细研究树脂的吸附行为和吸附机理。再根据树脂的性质和 6-APA 的理化性质选择解吸性能良好的解吸剂：20%乙醇、20%异丙醇和醋酸-醋酸钠-氯化钠混合液，并对已吸附过 6-APA 的树脂进行解吸实验，研究了树脂的解吸行为。同时，进一步研究酶裂解液体系（含 6-APA 与 PAA）的分离，发现以 IRA67 为吸附剂，以 20%乙醇为解吸剂对 6-APA 和 PAA 能够有效地进行分离。本论文还建立了适合本实验的吸附模型和数学表达式，并依此做了深入的机理分析，验证了实验的结果与描述的模型相符合，为将来类似的实验体系提供了理论基础。

## 1.2 树脂简介

### 1.2.1 树脂的分类

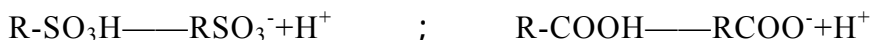
树脂一般分离离子交换树脂和吸附树脂。根据树脂物理结构的不同，可把离子交换树脂分成凝胶型和大孔型。凝胶型离子交换树脂外观透明，树脂球粒内没有毛细孔，离子交换反应是离子通过被交联的大分子链间距离扩散到要交换的基团附近而进行的。大孔型离子交换树脂在树脂球粒内部具有毛细孔结构，由于毛细孔道的存在，树脂球粒是非均相

凝胶结构,使其适宜于交换吸附分子尺寸较大的物质及非水溶液中使用<sup>[25]</sup>。吸附树脂一般为大孔树脂。从极性上分类,吸附树脂又分为非极性、中极性和极性吸附树脂三类。非极性吸附树脂通过疏水作用从水中吸附非极性或弱极性物质;中极性树脂既可用于从极性溶剂中吸附非极性物质,又可用于从非极性溶剂中吸附极性物质;极性吸附树脂通过静电相互作用和氢键作用等从非极性溶剂中吸附极性物质。上述相互作用在凝胶型聚合物与小分子之间依然存在。通过控制聚合物的交联度,可以控制树脂的溶胀程度,达到调节微孔的目的,使树脂能利用分子筛分效应实现对结构相似而大小不同的小分子有机物的分离<sup>[26]</sup>。离子交换树脂有阳离子交换树脂和阴离子交换树脂两种。按照功能基的不同来分类的离子交换树脂如表 1-2 所示<sup>[27]</sup>。

表 1-2 离子交换树脂的种类

分类名称	强酸性	弱酸性	强碱性	弱碱性	螯合性	两性	氧化还原
功能基	磺酸基	羧酸基, 膦酸基	季胺基	伯、仲、叔胺基	胺羧基	弱碱-弱酸	硫醇基、对苯二酚基

阳离子交换树脂是一类骨架上结合有磺酸 (-SO<sub>3</sub>H) 和羧酸 (-COOH) 等酸性功能基的聚合物。RSO<sub>3</sub>H型的树脂易电离,具有相当于盐酸或硫酸的强酸性,称为强酸性阳离子交换树脂。而RCOOH型的树脂类似有机酸,较难电离,具有弱酸的性质,称为弱酸性阳离子交换树脂。其电离分别如下:



阴离子交换树脂是一类在骨架上结合有季铵基、伯胺基、仲胺基、叔胺基的聚合物。其中,以季铵基上的羟基为交换基的树脂具有强碱性,称为强碱性阴离子交换树脂。具有伯胺、仲胺、叔胺基的阴离子交换树



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库