

国外离子交换技术发展动向

译文集

杨瑞

江湾路1111号 1111号



1111号

杭州争光树脂有限公司

一九九九年十月

国外离子交换技术发展动向译文集

杭州争光树脂有限公司

1999·杭州

前 言

这本译文集是本世纪最后一集了。自陈永健先生于 1985 年创办第一集起,至今已第十三期了。自我 1989 年经手以来,也已出了十期,15 年来,基本上未曾中断。本期收集文章十二篇,除了树脂合成外,还有导则讨论,锅内过程研究,测试仪器等,这些虽不属于离子交换范围,但对电厂工作人员,是很有用处的。

日本三菱公司的“具有耐热化学特性的新型阴离子交换树脂”,值得注意。阴树脂不耐温是其最大缺点,有的电站地处炎热地区,夏天环境温度每在 60℃ 或以上,还有沸水反应堆核电站,须将介质冷却后再进行离子交换,热能损失很多。前几年有构造非常复杂,不采用聚苯乙烯框架的阴树脂在国外问世,但价格不菲,用于化学反应的触媒是可以的,但在水处理上大量使用,则无法负担,本文的耐热阴树脂仍用聚苯乙烯框架,仅在烷基间隔上予以变化,热稳定性大有提高,这不失为解决这问题的切实可行的方法。

日本东芝公司的“离子交换树脂吸附有机物质的研究”,主要讨论阳树脂及阴树脂的渗出物(Leachables)的去除问题。离子交换树脂不可能完全没有渗出物,但渗出物中含有硫或氮元素,热分解或辐射分解后成为有腐蚀性的硫酸或硝酸。本文论述了阳树脂及阴树脂相互吸附渗出物外,还提出了紫外线照射装置,将部份渗出物分解成无害物质。

日本 Organo 公司等“在压水反应堆二次循环系统中除去腐蚀产物的研究”,介绍了一种新型除铁过滤器,采用以聚砜制成中空纤维作滤元,为增进除铁效能,在疏水除铁时以合成氧化铁细粉进行覆盖,除铁效率可高达 99%。这种过滤器在沸水反应堆核电站上已使用多年,现准备推广使用至压水反应堆核电站。

国际上公认的导则有德国的 VGB 导则及美国的 EPRI 导则(本译文集前几年对其内容都跟踪进行介绍),但导则经过实践每年进行修订及补充。VGB 总部的“对锅炉水处理导则的回顾——评述现在及将来可能的方向”一文主要讨论磁性氧化铁最小溶解度(那就是腐蚀最小)时的 pH,但这数值是随锅炉压力不同而有变化。以此为依据,本文建议在各种参数锅炉使用各种锅内控制方法应有明确界限。

南非的 Eskom 公司是国家电力公司,是世界上排列第四位的大电力公司,装机容量 37840 兆瓦,供电占南非电力一半以上。“南非的锅内化学过程现状及未来”一文,对南非锅内控制及化学监督作了详尽的报导,对国内化学监督工作可供借鉴。

“蒸汽化学及它对汽轮机沉积物及腐蚀的作用”,是美国 Jonas 公司与 EPRI、莫斯科动力学院、捷克布拉格技术大学等合作的理论性研究,采用了很多首次使用的先进技术。参加试验单位除欧洲各国外,还遍及日本、南非等国。本文是第一阶段报告,试验仍在继续进行中。

随着机组参数的提高,加氧处理及全挥发处理(AVT)日渐普及,但由于采用这些处理方式,锅内无缓冲容量,因此要保证凝汽器无漏泄,或配备凝结水净化装置,后者对老厂来说,就须增加不少投资。有的电厂目前仍采用磷酸盐处理,并有了很多改进,如协调磷酸

盐处理，将 Na/PO_4 控制在一定范围内，这已被订入 EPRI 导则，本译文集以前也作过介绍。

磷酸盐处理使用已有数十年，但现在的机组大都是高参数纯水补给，有时还担任调峰，由于锅内缓冲容量较小，负荷变动时，磷酸盐盐类暂时消失现象非常明显，炉水 pH 甚可降至 5.0。过去认为盐类暂时消失只是磷酸盐在锅内某一部分沉淀，以后又恢复了，认为关系不大。现在经研究，弄清楚了，磷酸盐是与磁性氧化铁保护膜起反应，这是炉管腐蚀的先导。因此现在又须改进为平衡磷酸盐处理（EPA），那就是在锅内保持低磷酸根，在停炉及启动时加入固体氢氧化钠。

本集内载有四篇关于平衡磷酸盐处理的文章，加拿大 Stodola 的“十年来的平衡磷酸盐处理”，美国 TVA 的“在 TVA Gallatin 电站采用平衡磷酸盐处理运行情况”，美国 Ohio 爱迪生公司的“Ohio 爱迪生公司磷酸盐化学控制的历史和策略”都对平衡磷酸盐处理的实践作了报导。

加拿大纽芬兰大学及 Ontario 水电公司的“在高压锅炉中磷酸钠反应物在暂时消失情况下的溶解度和热力学性能”一文使用了热力学计算及 X-射线衍射法对盐类暂时消失时对产物进行测定及理论探讨，发现了 Maricite 及 SIHP 两种化合物，SIHP 还是首次发现的化合物，分子式为 $\text{Na}_3\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{Na}_{2(1-x)}\text{H}_2\text{O})$ ， $x=2.2$ 。Maricite 及 SIHP 都对腐蚀有显著影响。

“工业电站的炉水及蒸汽取样设备”及“锅炉控制的化学测量：电导率，阳电导率及 pH”两文详尽地叙述了这方面情况，虽然这都是众所周知的，但系统地阐述，对设计人员及现场工作人员，都有很大裨益。

张致远

一九九九年七月

国外离子交换技术发展动向译文集

1999

目 录

1. 具有耐热化学特性的新型阴离子交换树脂
(三菱化学公司横滨研究中心的 Watnabe, Kubota, Yano,
三菱美国化学公司的 Fukuda, 日本透谷电力公司 Shindo) (1)
2. 离子交换树脂吸附有机物质的研究
(日本东芝公司的 Inami 及 Maeda, 日本 Chubu 电力公司的 Kilajima) (7)
3. 在压水反应堆二次循环系统中除去腐蚀产物的研究
(日本 Kyushu 电力公司的 Takahashi,
日本 Organo 公司的 Tsuda) (12)
4. 对锅炉水处理导则的回顾——评述现在及将来可能的方向
(德国 Stuttgart 大学的 Bursik,
丹麦技术大学的 Jensen,
德国 VGB 总部的 Staudt) (21)
5. 南非的锅内化学过程现状及未来
(南非 Eskom 公司发电部的 Aspden,
南非 Eskom 公司技术部的 Conlin) (30)
6. 蒸汽化学及它对汽轮机沉积物及腐蚀的作用
(美国 Jonas 公司的 Jonas,
美国电力研究所的 Dooley) (39)
7. 十年来的平衡磷酸盐处理
(加拿大 Ontario 水电公司的 Stodola) (50)

8. 在高压锅炉中磷酸钠反应产物在暂时消失情况下的溶解度及热力学性能
(加拿大纽芬兰大学的 Tremaine, Quinlan 及 Bridson,
Ontario 水电公司的 Stodola) (56)
9. 在 TVA Gallatin 电站采用平衡磷酸盐处理运行情况
(TVA Gallatin 电站的 Borck,
TVA chattanooga 电站的 Bartley) (63)
10. Ohio 爱迪生公司磷酸盐化学控制的历史和策略
(Ohio 爱迪生公司的 Verib) (71)
11. 工业电站炉水及蒸汽取样设备
(Sentry 设备公司的 Cain 及 Feldman) (82)
12. 锅炉控制的化学测量: 电导率、阳电导率及 pH
(Thorton 公司的 Gray) (88)

具有耐热化学特性的新型阴离子交换树脂

作者: Watnabe, Kubota, Yano (三菱化学公司, 横滨研究中心)

Fukuda (三菱美国化学公司)

Shindo (透谷电力公司)

前 言

离子交换树脂已在工业上有广泛应用, 例如半导体制造时须超纯水淋洗芯片, 核电站除盐, 制糖工业的脱色, 高压锅炉的除盐水处理及其他重要的应用。在有些工业过程中, 阴离子交换树脂的热稳定性往往限制了它的应用。例如在核电站中, 在反应堆水的离子交换前, 须先将其冷却, 这就有很大热损失。

我们研究耐温的阴离子交换树脂是为了减少很多精炼过程的热损失, 我们发现在阴离子交换树脂基能团前, 放置烷基隔离, 能比常规树脂有较高耐热化学稳定性, 而其他性能则与常规树脂无异。

实 验 部 分

这种新型树脂是由 Tomoi 等人合成, 图 1 是这树脂的化学结构式, 这树脂的苯环及季铵基中有烷基隔离, 最佳隔离烷基长度通过树脂的热稳定性试验求得, 树脂的交换容量是以中性盐水通过一定体积的 OH 型树脂交换柱, 流出液的碱性由盐酸滴定测定, 水份保持容量以常规方法测定。

热稳定性测定可采用两种方法, 一种是高压釜热试验, 一定体积的 OH 型阴树脂, 及同体积除盐水及纯化氮气置于密闭容器中, 容器加热至一定温度, 并保持在这温度一个月或几个月, 然后测定树脂的交换容量, 水份保持能力及体积变化, 剩余交换容量数值与在相同条件下作试验的

常规树脂作比较。另一个方法是将阴树脂置于交换柱中, 超纯水级的热水流经交换柱, 为期一个月。在试验时水中溶解氧保持在 5ppb 或 400ppb, 在试验终了后, 如前法测定离子交换

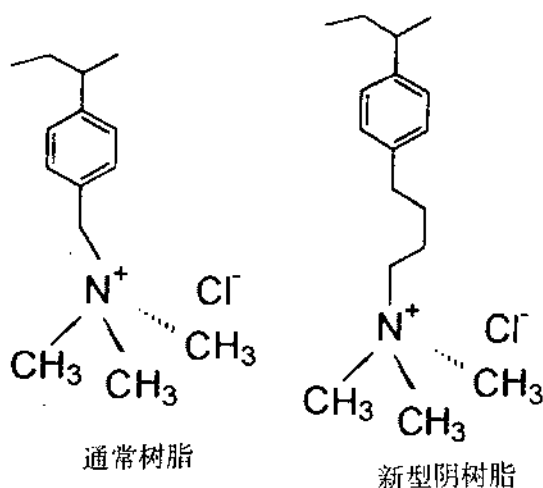


图 1 新型阴离子交换树脂的化学结构

容量,水份保持能力,体积变化,进行试验前及试验后的比较。

树脂的耐受性试验的方法如下,将新型树脂及常规树脂分别置于聚氯乙烯交换柱中,树脂以常规树脂除盐运行及再生。

树脂的三甲胺(TMA)渗出物以下法进行测定,超纯水以20个床体积/时的速度流经树脂层,在交换柱出口,以气相色谱法测定三甲胺。

将三甲胺值与处理水量绘制曲线。

树脂渗出物也进行测定,出水总有机碳(TOC)按出水量进行测定,在试验时,水的温度保持在25℃或70℃。

γ射线试验,在 $1\text{E}+3\text{Gy}$ 至 $1\text{E}+6\text{Gy}$ 间进行,树脂的离子交换容量及水份保持容量也进行测定,并与常规树脂比较。

II型阴树脂的烷基间隔的新树脂也进行了应用试验,以二甲基乙醇胺代替三甲胺作为基能团形成剂,热稳定性是在高压釜内进行。

测 验 结 果 及 讨 论

1) 在密闭容器(高压釜)内的热稳定性试验:

带有不同长度的烷基间距的阴树脂进行了试验。图2为高压釜试验结果,从树脂在高压釜中试验后的剩余交换容量,可见阴离子交换容量与烷基间隔数有关。如常规树脂,烷基间隔长度作为1[碳原子数为1($\text{C}=1$)],在100℃加热一个月后,剩余交换容量为原交换容量的62.9%。 $\text{C}=2$ 的树脂,在加热试验后,交换容量急剧下降, $\text{C}=3$ 的树脂,剩余交换容量比为79.2%, $\text{C}=4$ 时为80.0%, $\text{C}=7$ 时,增加的剩余交换容量就少了。除了 $\text{C}=2$ 外,剩余交换容量随烷基间隔而增长。

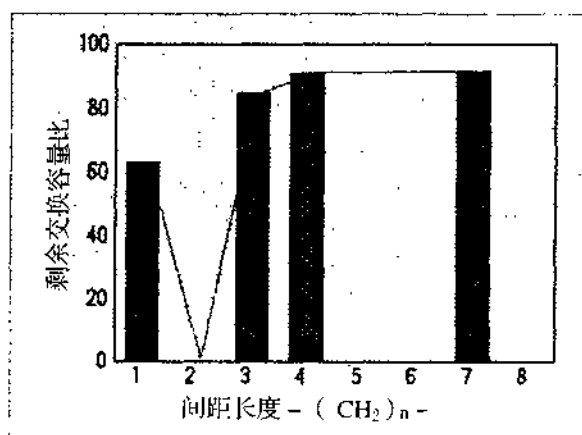


图2 有烷基间距的阴树脂热稳定性
与烷基间距长度的关系

2) 以交换柱法测定热稳定性:

以 $C=4$ 的树脂作通过热水的交换柱试验, 热水 (90°C) 溶氧为 5ppb, 自下而上通过交换柱, 流速为 100 个床体积/时, 试验进行了一个月, 试验后树脂的离子交换容量, 水份保持能力, 及体积改变见表 1 及图 3。

如表 1, 在试验后显示交换容量降低程度, 当 $C=1$ 时, 剩余交换容量经通水一个月后为 78%, 而 $C=4$ 时为 92%。

水份保持能力, 常规树脂 (即 $C=1$) 从 45.5% 增加至 46.4%, 这是由于增加了叔胺基所致。在 $C=4$ 时, 水份保持能力基本上无改变, 从 45.2% 增加至 45.4%, 那是试验允许误差。而交换容量下降也少, 当水中溶氧为 400ppb 时, 剩余交换容量有少量下降。

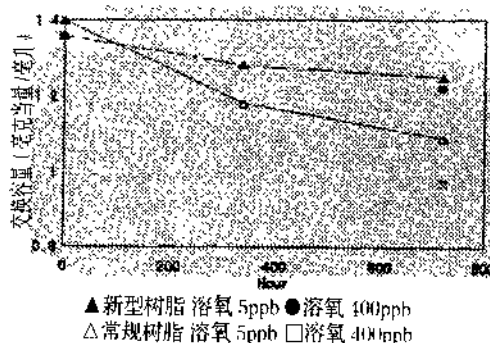


图 3 热稳定性试验

(水温 90°C 、溶氧 5ppb 或 400ppb)

表 1 有烷基间距的阴离子交换树脂在一个月耐热试验后交换容量变化情况
(C 表示烷基间距基能团的碳原子数)

树 脂	月	OH 型体积 (毫升)	中性盐分解容量 (毫克当量/树脂)	剩余交换容量比 (试验后/试验前)
C 1	0	104	111	62.9
	1	92	70.0	
C 2	0	100	111	0.43
	1	32	0.48	
C 3	0	100	137.0	79.2
	1	92	108.6	
C 4	0	100	112.4	80.4
	1	85	90.4	
C 7	0	30	33.9	91.7
	1	28	31.1	

3) 离子交换团的分解机理:

图 4 为新型树脂及常规丁型阴树脂的分解机理。通常树脂的交换容量下降机理是由于季铵型降解为叔胺, 如图 4, 有二种分解路线, 一是从季铵盐分解为叔胺及苯醇, 而另一种为苯叔胺及甲醇。它们间的比例, 曾有很多作者作过阐述。

图 4 显示 $C 4$ 烷基树脂降解途径。如 $C=2$, 由于 Hoffman 降解作用, 降解速度很快。当 C 大于 3, 由于邻近碳原子电子密度增加而使稳定, Hoffman 降解反应降低了。在这些烷基间隔的阴树脂中, 通常树脂的第二种降解路线从季铵盐至叔胺及烷基醇, 也相应发生, 离子交换基能团降低的减少主要由于烷基间隔阴树脂的 Hoffman 降解反应较少可能之故。

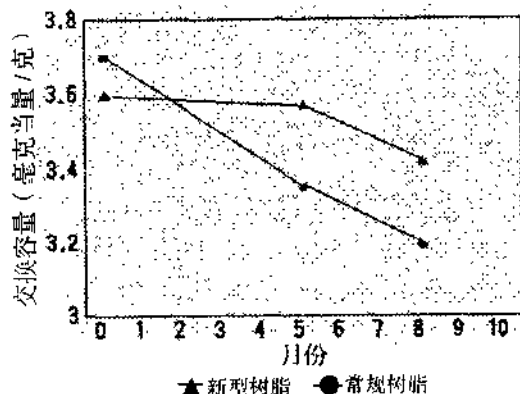
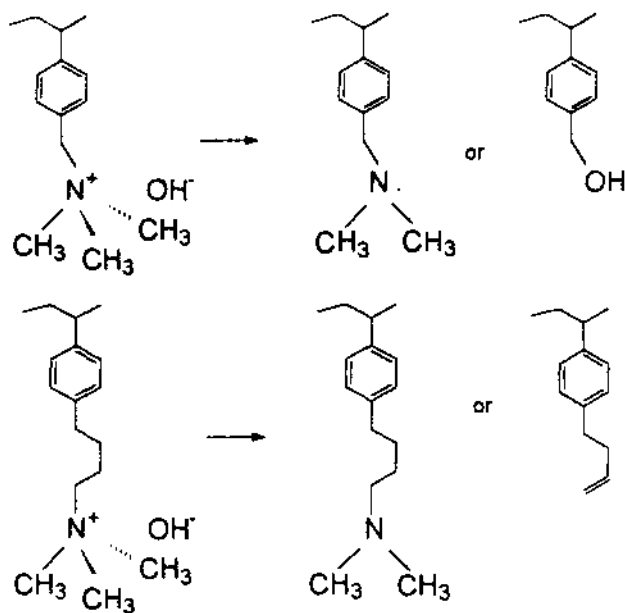


图4 新型阴树脂及常规阴树脂的降解机理

图5 承受能力试验结果，在室温时反复离子交换运行及再生，交换容量下降情况

4) 阴离子交换树脂的承受能力试验：

新型阴树脂及常规阴树脂的8个月的承受能力试验见图5。

5) 从树脂中渗出的三甲胺：

图6显示三甲胺渗出试验结果，新型树脂的三甲胺渗出比常规树脂低。在水处理开始时，三甲胺渗出小于20ppb，这是嗅觉检出的低限。

6) 从树脂中渗出的总有机碳 (TOC)：

有机碳的渗出也比常规I型树脂为低，见图7。

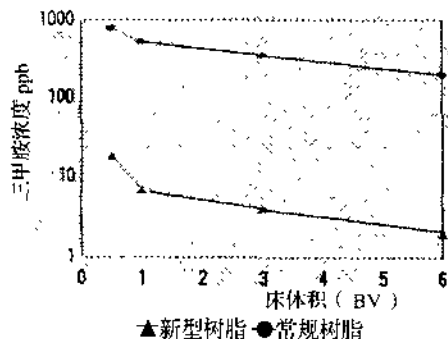


图6 从新型阴树脂的三甲胺渗出比较
(OH型树脂，以超纯水，用20床体积/时的速度冲洗)

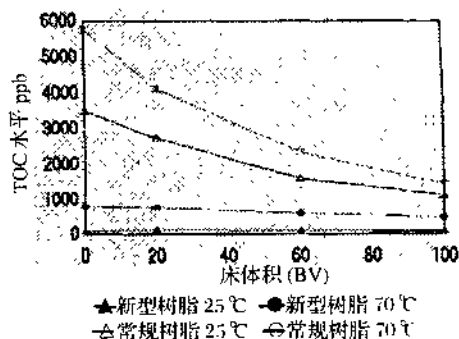


图7 新型阴树脂的TOC渗出比较
(OH型树脂，以超纯水用20个床体积/时的速度冲洗，试验时运行温度控制在25°C或70°C)

7) γ -线照射试验:

在 $1\text{E}+3$ grey 至 $1\text{E}+6$ grey 范围内进行照射试验, 对树脂的离子交换容量及水份保持能力进行测定, 并与常规树脂比较, 试验结果见图 8。不论 OH 型或 Cl 型, 新型树脂的交换容量降低程度及水份保持能力的降低程度都小于常规阴树脂。可见有烷基间隔的新型树脂在广泛 γ 射线范围内, 有优越的抗幅射耐受能力。

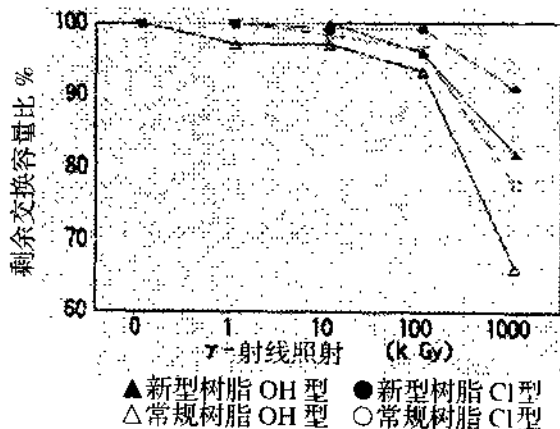


图 8 γ 射线照射试验

8) II 型有烷基间隔的阴树脂的应用

有烷基间隔 II 型阴树脂的热稳定性结果见表 2。新型 II 型阴树脂比常规 I 型阴树脂有更优越的热稳定性。

表 2 带有烷基间隔的 II 型阴离子交换树脂的热稳定性
(高压釜试验)

温度 ℃	月 数	剩余交换容量比 (试验后/试验前)	
		新型树脂	常规树脂
80	1	84	44
100	1	53	3
120	1	14	未测定

结 论

新型树脂带有烷基间隔的耐热及化学稳定性优于常规 I 型阴树脂, 热承受能力与烷基间隔长度有关, 间隔 $C=2$ 热承受能力很差, $C \geq 3$ 时, 间隔越长, 热承受性能越好。

降解机理可以两种降解途径解释。一种是从季铵盐降解为三甲胺及苯基醇, 另一种是从季铵盐降解为苯基叔胺及甲醇, 在有烷基间隔的阴树脂中, Hoffman 反应发生的可能性很少, 因此增加了热稳定性。

这种树脂可用于很多使用热水的除盐流程, 如核电站的除盐, 制糖工业精炼时的脱色, 高压锅炉的除盐, 及其他重要工业领域。

讨论发言

J.T.McNulty (Rohn 及 Haas 公司)

从图 5 看来, 在第 5 个月至第 8 个月期间, 交换容量损失速率, 新型树脂与通常 I 型树脂相同, 这方面还应进行试验来解释。

常规 I 型树脂运行范围为 $120\sim 140^{\circ}\text{F}$ ($49\sim 60^{\circ}\text{C}$), 尤其在沸水堆核电站凝结水净化装置上是如此, 但超过 135°F (56°C) 后, I 型树脂除硅能力就差了。

I 型树脂的主要功能是除硅, 因此新型树脂在高温时的除硅能力需进行探讨。

张致远译自第 57 届国际水会议文集 (1996) 453~459 页

离子交换树脂吸附有机物质的研究

作者：Ichiro Inami 及 Katsuji Maeda (日本东芝公司)

Hideaki Kitajima (日本 Chubu 电力公司)

前 言

凝结水除盐装置中离子交换树脂因有机物杂质常使反应堆水的电导率升高，尤其是在启动的时候。由于离子交换树脂中有机物，即“渗出物”含有硫或氮，它们经辐射或热分解后转换成硫酸或硝酸。阳树脂渗出物，主要是聚苯乙烯磺酸盐，它被阴树脂吸附，而阴树脂渗出物，主要为三甲基胺也能被阳树脂吸附。本文在讨论凝结水净化系统时主要讨论渗出物与离子交换树脂间相互作用。在日本的沸水反应堆上有两种系统，一种是单独的净化系统，采用深床除盐装置。另一种是除了深床除盐装置外，还增设前置过滤器，前置过滤器采用粉状树脂作为复盖材料，由于粉状树脂也涉及总有机碳 (TOC) 的释出及吸附，因此在本试验中也进行如球粒状树脂同样的试验。

实 验 部 分

离子交换树脂：两种凝胶型深床树脂在本试验中采用。阳离子交换树脂采用强酸 H 型，阴离子交换树脂为强碱 OH 型，粉状树脂与所用阳树脂及阴树脂同，是它们的混合物并有离子交换纤维。所用树脂总结如下：

深床树脂 (球粒状)

阳树脂：树脂 A 及树脂 B

(新树脂，人工降解及现场使用树脂)

阴树脂：树脂 A' 及树脂 B'

(新树脂，人工降解及现场使用树脂)

粉状树脂

阳树脂：树脂 C (新树脂)

阴树脂：树脂 C' (新树脂)

离子交换纤维：

阳树脂：纤维 D (新树脂)

深床阳树脂以 60℃ 双氧水浸泡，进行人工降解。阳树脂的降解以水份保持能力测定进行估计，阳树脂的水份保持能力将从 53% 增加至 60%，以此用作试验。

阴树脂的人工降解，采用在 90℃ 水中浸泡，降解程度以中性盐分解容量进行估计，中性盐分解容量降低 10% 的阴树脂用作此试验。

渗出液的制备：阳树脂及阴树脂的渗出物是将其以纯水在室温萃取，可分别萃取，也可混合后萃取。

粉状树脂也以纯水萃取。

吸附剂：新的阳树脂及新的阴树脂分别用作阴树脂及阳树脂渗出物的吸附剂。从混合树脂及粉状树脂的渗出物吸附时，采用 3:1 阳树脂:阴树脂作为吸附剂。对于粉状树脂，吸附剂采用三种混合树脂，A 及 A'，新树脂，降解后树脂及现场使用树脂作为吸附剂。

试验设备：每种树脂 10 毫升，置于 14 毫米直径的玻璃柱内。粉状树脂则复盖在玻璃过滤器上，厚度为 5 毫米。采用辐射试验时，紫外线灯置于玻璃柱前，如图 1。试验时树脂比采用 1 阳树脂/3 阴树脂（体积比）

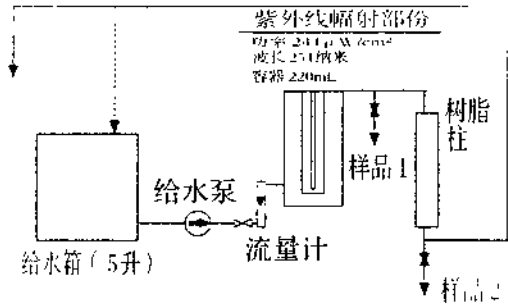


图 1 紫外线辐射试验

试验步骤：渗出物浓度调节至 1ppm TOC，然后流经玻璃树脂柱，60 个床体积/时流速，出水每 200 毫升作一次分析。如经过粉状树脂层，线速为 8 米/时，水样收集如前。

在紫外线辐射试验时，渗出物的浓度调节得高些（4ppm TOC），出水样分别从紫外线容器出口及树脂柱出口同时取样。

结 果 及 讨 论

阳树脂渗出物的吸附：阳树脂渗出物主要为聚苯乙烯的磺化物，它们被阴树脂吸附，见图 2。

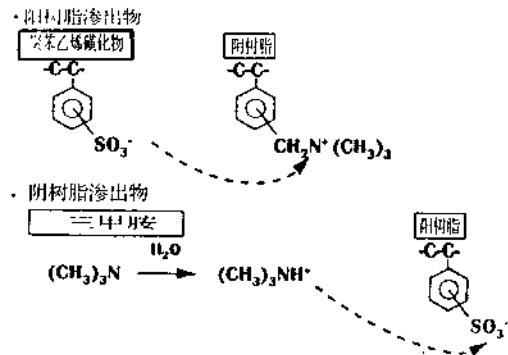


图 2 渗出物被离子交换树脂的吸附

图3 显示阳树脂渗出物被阴床吸附的百分比。

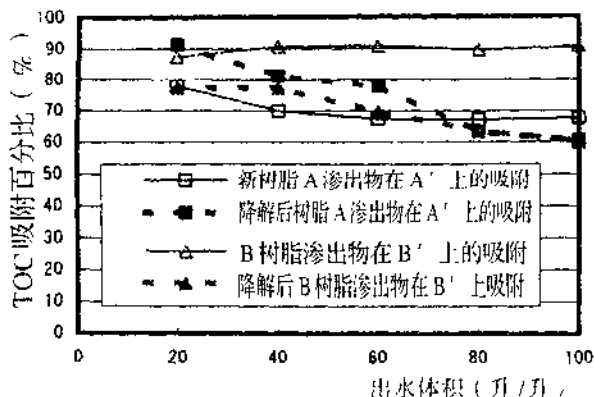


图3 阳树脂渗出物在阴树脂上的吸附

新树脂B对B'的渗出物吸附百分比高于新树脂A对A'。降解后阳树脂对阴树脂渗出物的吸附，对阳树脂都降低至同一水平，阳树脂渗出物的分子量变化，随着水份保持能力的增大而增大，见图4。阳树脂渗出物，通过阴树脂层，其漏泄随着阳树脂渗出物分子量的增加而增加。降解后阳树脂渗出物被吸附的减少是由阴树脂表面充满大分子量的渗出物所致。

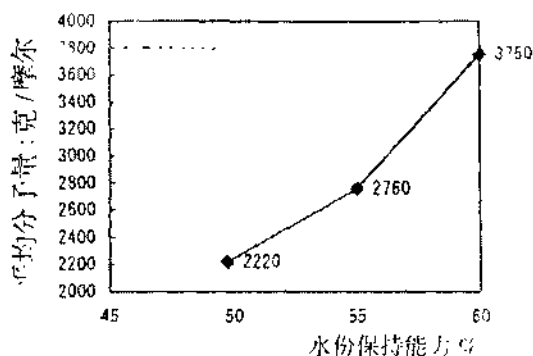


图4 阳树脂渗出物分子量变化与水份保持能力的关系

阴树脂渗出物的吸附：阴树脂渗出物主要为三甲胺，在水溶液中能被阳树脂吸附，见图2。图5为各种阴树脂的渗出物被阳床吸附特性。与图3比较，可见阴树脂渗出物被阳床吸收比阳树脂渗出物被阴床吸收高得多，降解后阴树脂渗出物被阳床吸附的比例比新阴树脂渗出物为低，这是由于从降解后阴树脂渗出物中有些有机化合物在水中不能由离子（如甲醇）

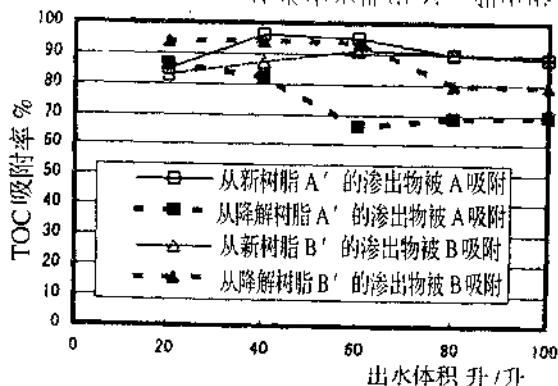


图5 阴树脂渗出物在阳树脂上的吸附

粉状树脂渗出物的吸附：粉状树脂一般是阳树脂及阴树脂的混合物。由于大部分渗出物是在混合粉状树脂中相互吸附，因此它的渗出物仅是被吸附后的残余，因此粉状树脂的渗出物很难被混床树脂所吸附。见图 6

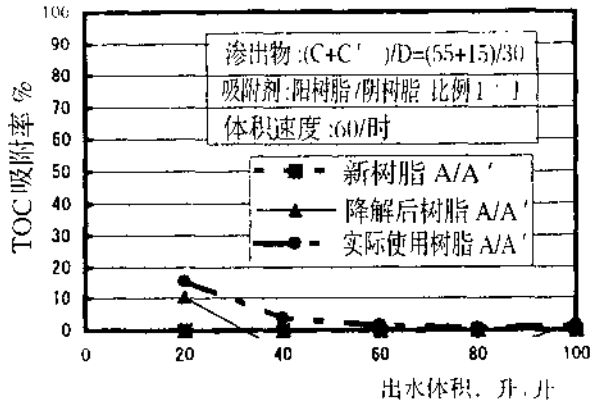


图 6 粉状树脂渗出物在混床树脂上的吸附

混床渗出物的吸附：混床树脂渗出物与粉状树脂相同，也是渗出物经相互吸附后的残余。图 7 是出水 TOC 浓度及 TOC 的分解产物经过粉状树脂吸附后的含量。渗出物基本上未被吸附，分解产物主要为硝酸盐及铵离子，从结果可见，阴树脂渗出物含氮的组份是混床树脂渗出物的主要组份，从降解树脂混床渗出物的吸收效率见图 8。降解树脂渗出物也很难被粉状树脂去除，在出水中主要分解产物为硫酸根。换言之，降解混床树脂的渗出物中有很多聚苯乙烯磺酸物，是从阳树脂渗出的，它们很难被混床树脂或粉状树脂所吸附。

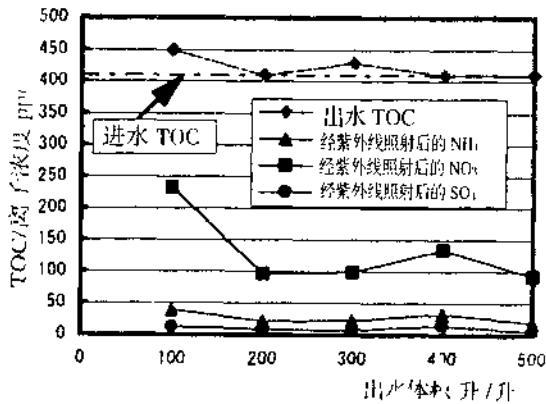


图 7 新混床树脂渗出物在粉状树脂上的吸附

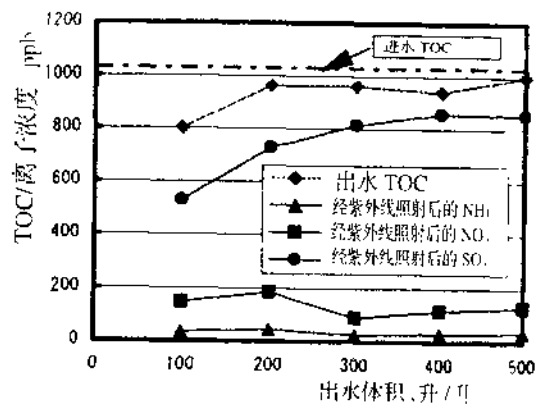


图 8 降解后混床树脂渗出物在粉状树脂上的吸附

紫外线照射与吸附的影响：混床树脂的渗出物，不论是新树脂或降解后的树脂，都很难被树脂床吸附。使用如图 1 的仪器装置，渗出物溶液经过紫外线照射器，再经过树脂柱，辐射时间很短（5 分钟），只有 40~70% 从经降解混床树脂渗出物分解为无机碳，见图 9。残

余有机碳经紫外线辐照后较易被树脂床吸收。可见紫外线辐照能将渗出物分裂为小分子量产物，它很容易被树脂床吸附，虽然辐射时间很短，出水中仍有 TOC 存在。

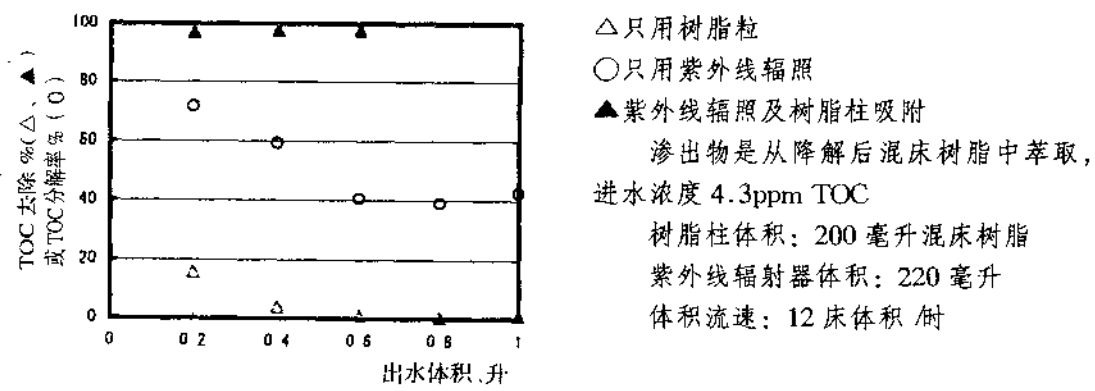


图 9 经紫外线辐照后离子交换树脂渗出物的吸附

结 论

- 从这些试验，可以得出如下结论：
- 1. 降解后阳树脂的渗出物比新阳树脂渗出物不容易被阴树脂吸附；
 - 2. 降解后阴树脂的渗出物比新阴树脂渗出物不容易被阳树脂吸附；
 - 3. 混床树脂的渗出物很难被树脂床吸附；
 - 4. 阴树脂渗出物中的胺类，是混床新树脂渗出物的主要组份；
 - 5. 阳树脂渗出物的主要成份聚苯乙烯磺酸盐是降解后混床树脂渗出物主要成份；
 - 6. 虽然渗出物不能全部被分解，紫外线照射不失为一种有效的方法，帮助渗出物被吸附。

张致远译自第 57 届国际水会议文集 (1996)，599~603 页