

# 国内离子交换树脂生产及应用现状与前景

黄 艳<sup>1</sup>, 章志昕<sup>2</sup>, 韩倩倩<sup>3</sup>, 曹顺安<sup>3</sup>

(1. 陕西国华锦界能源有限责任公司, 陕西神木 719316; 2. 浙江浙能钱清发电有限公司, 浙江绍兴 312025; 3. 武汉大学动力与机械学院, 湖北武汉 430072)

**摘 要** 该文概括了国内离子交换树脂的生产和应用情况, 介绍了几种常规离子交换树脂及近年来出现的新型离子交换树脂的合成工艺和特点, 从总体上评述了国内离子交换树脂的发展现状。还探讨了国内离子交换树脂合成工艺、应用技术等的发展方向, 并对其市场前景作出预测和展望。

**关键词** 离子交换树脂 生产 应用 现状 前景

中图分类号 :TQ085.4 文献标识码 :A 文章编号 :1009-0177(2010)05-0011-07

## Present Situation and Prospect of Production and Application of Domestic Ion Exchange Resin

Huang Yan<sup>1</sup>, Zhang Zhixin<sup>2</sup>, HAN Qianqian<sup>3</sup>, Cao Shunan<sup>3</sup>

(1. Shaanxi Guohua Jinjie Power Source Co., Ltd., Shenmu 719316, China; 2. Qianqing Power Plant, Shaoxin 312025, China; 3. School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract** The present situation of domestic ion exchange resin production and application were summarized, and some kinds of conventional resin as well as new-style resin which emerged in recent years were introduced; thus the development and present situation were reviewed generally. The developing trend of synthetic process and application technology of domestic ion exchange resin were discussed and the prospect was forecasted.

**Key words** ion exchange resin production application present situation prospect

离子交换树脂是一类带有活性基团的网状结构高分子化合物<sup>[1]</sup>。在它的分子结构中,一部分为树脂的基体骨架,另一部分为由固定离子和可交换离子组成的活性基团。离子交换树脂具有交换、选择、吸附和催化等功能<sup>[2]</sup>,在工业高纯水制备、医药卫生、冶金行业、生物工程等领域都得到了广泛的应用。近年来,离子交换树脂无论是从种类、结构还是性能上都出现了很大的变化,其生产和应用也都得到了很大的发展。

我国自 20 世纪 50 年代以来开始生产和应用离子交换树脂。经过半个多世纪的发展,国内常规离子交换树脂的制造和应用技术已经较为成熟,水平与国外相当。离子交换树脂主要应用于电力、食品

医药、电子和冶金等行业,随着锅炉给水、饮用水和电子用水等对离子交换出水的纯度要求日益提高,促使常规的离子交换树脂生产和应用技术不断完善,同时催生了许多新型的生产工艺不断涌现,使得离子交换树脂产品升级和技术进步的步伐也日益加快。

### 1 国内树脂生产概况

在我国,离子交换树脂的工业化历史已有五十余年。随着其应用范围的不断拓展和技术要求的不断提高,国内离子交换树脂的产量不断增加、品种不断丰富,其生产工艺和技术也不断进步。

#### 1.1 生产能力

目前离子交换树脂的全球年消费量约为 50 万 t,且正在以 3%~4% 的速度增长。据估计,2008 年我国离子交换树脂产能(不含外资在华工厂)约为 18 万 t,实际产量达到 16 万 t。因此,如果以产地为标准,我国无疑是离子交换树脂的最大生产国。表 1

[收稿日期] 2010-02-27

[作者简介] 黄 艳(1977-),高级工程师,化学专业高级主管,主要从事电厂化学技术监督和管理工作。

[通讯作者] 曹顺安,电话:027-68773369;

E-mail: shunancao@163.com。

所示为我国主要离子交换树脂生产厂家 2008 年的产能。从中可以看出,国内三家最大的离子交换树脂生产厂家——浙江争光实业股份有限公司、苏青水处理工程集团公司和淄博东大化工股份有限公司的产能之和在全国总产能中所占比例达到 50 %。

表 1 2008 年国内主要树脂生产厂家产能  
Tab.1 Productivity of major domestic ion exchange resin manufacturers in 2008

生产厂家	产能/t	所占比例/%
苏青水处理工程集团公司	35 000	21.9
浙江争光实业股份有限公司	25 000	15.6
淄博东大化工股份有限公司	20 000	12.5
丹东明珠特种树脂有限公司	12 000	7.5
安徽皖东化工有限公司	12 000	7.5
河北凯瑞化工有限责任公司	8 000	5.0
其他	48 000	30.0

## 1.2 主要品种

离子交换树脂产品种类繁多,按照不同的标准,其分类方法也不同。

根据离子交换树脂所带活性基团的性质,可分为强酸阳离子、弱酸阳离子、强碱阴离子、弱碱阴离子、螯合性、两性及氧化还原树脂<sup>[1]</sup>。从世界树脂的生产情况看,强酸性树脂占总产量的 50 %~60 %,强碱性树脂占 25 %~30 %。而我国离子交换树脂的生产情况则是强酸性树脂占有更大的比重,约占总产量的 80 %,而强碱性树脂只占总产量的 15 %左右<sup>[3]</sup>。

根据离子交换树脂的孔型,可分为凝胶型和大孔型。两者各有优缺点,如凝胶型交换容量大,但孔径小、易污染堵塞,而大孔型具有抗有机物污染的能力。目前我国生产的离子交换树脂以凝胶型为主。

根据合成离子交换树脂单体的不同,可分为苯乙烯系、丙烯酸系、环氧系、酚醛系及脲醛系等。其中生产数量最多、应用最为广泛的为苯乙烯系离子交换树脂。以国内目前最大的树脂生产厂家——浙江争光实业股份有限公司为例。在其生产的树脂中,苯乙烯系、丙烯酸系和环氧系为主要的三大系列。

另外,根据树脂的特定使用环境和场合,还可以将树脂分为通用型、核级、电子级、食品级、冶金专用树脂等。浙江争光实业股份有限公司是国内唯一一家具有核电树脂生产能力和进入该领域在核电站应用的厂家,该厂生产的 ZG NR 系列核级树脂具有极高纯度,技术规格已达到国际先进水平;此外,该厂生产的 ZG ER 系列电子级树脂、ZG FD 系列食品级

树脂在技术水平上也属国内领先行列。

对于离子交换树脂的分类、命名及型号等,我国已于 2009 年 2 月 1 日起开始实施最新的标准规范<sup>[4]</sup>。新标准与旧标准<sup>[5]</sup>相比主要不同在于其命名形式参考了国际标准化组织(ISO)对离子交换树脂产品命名的原则,这将有助于我国离子交换树脂市场更好的与国际接轨。

## 1.3 生产工艺

### 1.3.1 常规工艺

离子交换树脂的合成分为两个过程,一是高分子聚合物骨架的制备,二是在制成的骨架上引入活性基团。在常规的工艺中,制备高分子骨架一般采用悬浮聚合、单次交联的方法。例如苯乙烯树脂的合成就是使苯乙烯和交联剂二乙烯苯在水中悬浮状态下聚合成球状物(白球),再通过化学反应向骨架上引入活性基团。若用浓硫酸处理白球则得到磺酸型阳离子树脂,若先用氯甲醚进行氯甲基化处理后再用胺处理则可制得碱性强弱不同的各种阴离子树脂。另一类比较常用的树脂——丙烯酸系树脂的合成是由已经具备活性基团的单体经聚合一步制得。其基体由丙烯酸甲酯和交联剂二乙烯苯共聚而成,基体再经过特定的化学反应转变为阳离子交换树脂或阴离子交换树脂。

但是,这种常规工艺存在一定的缺点。在工业悬浮聚合反应工艺中,由于单体与水相之间存在着较大的粘度差异,且反应器中搅拌剪切力空间分布不均匀等诸多原因<sup>[6]</sup>,会导致产出的白球粒度不均匀且有相当一部分白球粒度不符合要求。这样会增加生产成本、增加能耗、浪费资源,而且会造成较大的环境污染。

### 1.3.2 新型工艺

鉴于常规工艺存在的缺陷,离子交换树脂领域的国内外学者一直积极致力于探索新型的合成工艺。现在已经开发出的新型工艺主要有互贯聚合工艺<sup>[7]</sup>、后交联工艺<sup>[8]</sup>等。

互贯聚合就是指将已经具有一定交联度的聚合物骨架再在相同交联度的单体中溶胀,使单体吸入聚合物中,实现两个独立网络的互相贯穿和缠绕。研究表明<sup>[7]</sup>,互贯型离子交换树脂的真实交联度低于相应一次珠体的真实交联度,但其表现交联度则明显高于相应的一次珠体。由于真实交联度反映的是二乙烯苯的用量,而表现交联度则是以白球在甲苯中的膨胀度来推算。由此可知,在使用相同二乙烯苯的情况下,采用互贯聚合工艺可以改善树脂性能。

同时,由于第一次聚合后的网格空间被第二次共聚物的网络占据,因此其密度增大、刚性增强、珠体合格率提高、工作交换容量也大大高于具有相同交联度的常规树脂。另外,还有研究表明<sup>[9]</sup>,通过改变两网质量比、第二网交联度,可以获得机械强度高、选择吸着性好和内扩散系数大的离子交换树脂。利用互贯聚合的方法,可以生产出多种具有不同网络结构的特殊的离子交换树脂,例如两性树脂<sup>[10]</sup>、聚丙烯腈/聚氯乙烯互贯树脂<sup>[11]</sup>等。

后交联法又称附加交联法,是用聚苯乙烯溶液或溶胀态低交联聚苯乙烯与交联剂氯甲醚等发生付氏反应。引入的氯甲基在较高温度下,可与邻近的苯环进一步发生付氏反应,从而实现两个高分子链上苯环的交联。丹东化工三厂的孟繁生等<sup>[12]</sup>采用附加交联法合成了强碱性阴离子交换树脂,并与普通 201×7 树脂进行比较,证明了该种树脂具有结构均匀、转型膨胀率低、强度高、交换容量高等显著特点。此外,后交联法还可以应用于高吸水性树脂的制备<sup>[13-14]</sup>。

## 2 国内树脂应用情况

离子交换树脂广泛应用于电力、食品、医药卫生、石油化工、电子、冶金和环保等多个领域。表 2 所示为国内具有较大产能的浙江争光实业股份有限公司在 2006 年和 2007 年销售行业的分布情况。

离子交换树脂最突出的应用是在水处理领域。其中,在电力行业的应用比例最大,主要是用在火力发电厂补给水处理和凝结水精处理上,少部分用于循环水和发电机内冷水的处理。随着电力工业的发展,机组单机容量逐步向高参数、超临界、大容量

表 2 某离子交换树脂厂在 2006 年和 2007 年离子交换树脂销量分布

Tab.2 Industry distribution of ion exchange resin sold by one domestic manufacturer in 2006 and 2007

行业	2006 年	2007 年
电力/%	41	30
饮用水/%	15	20
食品/%	12	10
石油化工/%	16	17
冶金/%	4	5
电子/%	3	5
核能/%	2	4
医药/%	1	3
环保/%	1	3
其它/%	5	3

发展,机组性能的提高,对电厂水质提出了更高的要求<sup>[15]</sup>,因此对离子交换树脂的要求也越来越高。在火电厂各种水的处理中,由于凝结水水量约占锅炉总给水量的 90% 以上,凝结水处理的精度和深度直接决定锅炉给水品质的好坏,因此凝结水精处理所用的树脂一直是人们关注和研究的重点对象。目前,国内火电厂所用的凝结水精处理方法主要有体外再生式高速混床、粉末过滤器以及两者联合运行方式,相应地有高速混床专用树脂和粉末树脂。由于高速混床运行水量大、运行流速高、运行水含盐量低及运行温度较高等特点,要求所使用的混床树脂具有机械强度高、粒径均一度好、耐热性好等特性,因此耐高温性好强度高的均粒树脂在凝结水的处理方面显示出了突出的优势。此外,粉末树脂过滤器目前也被国内多家电厂所采用。粉末树脂失效后可直接丢弃、无需再生,极限交换容量利用率高;另外粉末树脂对水中有机物和胶体去除率较高,其对氧化铁的去除率可以达到 85%,对胶体硅的去除率可以达到 99%。因此采用粉末树脂进行凝结水精处理具有基础建设费用低、出水水质好及减少废酸废碱排放等优势。但是粉末树脂也存在运行费用较高、铺膜工艺不易操作等缺点,这可能是粉末树脂至今未能在国内电厂普遍使用的原因。

目前,国内主要的离子交换树脂生产厂商(如浙江争光实业股份有限公司、苏青水处理工程集团公司等)都针对火力发电厂水质的新特点和水质指标新要求研制和生产出了相应的新型树脂,并经生产运行实践证明其树脂性能良好。如浙江争光实业股份有限公司的混床专用反常规均粒树脂<sup>[16]</sup>、高速混床专用树脂、ZG DL 系列内冷水专用混床树脂及 ZG PX 系列粉末树脂等分别适用于不同水处理场合,其技术水平和性能均位列国内同类产品前列。

离子交换树脂不仅可以用于工业用水的处理,而且可用于饮用水的净化处理,由于它可以有效去除饮用水中过量的硝酸盐<sup>[17]</sup>、氟<sup>[18]</sup>及微量重金属<sup>[19]</sup>等杂质,因此在饮用水的净化中也发挥着举足轻重的作用。虽然在这一领域,国内起步晚于国外,但目前国内离子交换树脂在饮用水处理中的应用正在不断扩大。

众所周知,离子交换树脂用于水处理领域的主要目的是去除水中的杂质离子,但近年来,离子交换树脂在工业水处理中发挥了新的作用。如前文所述,与凝胶型树脂相比,大孔型离子交换树脂具有抗有机物污染的能力,因此大孔树脂可以用来代替常规

的活性炭过滤器起到去除水中有机物的作用。用大孔树脂对有机物去除率高、可重复利用,这样便克服了活性炭在吸附有机物等杂质饱和后吸附能力不可完全恢复的缺点。目前,国内有很多学者和研究人员分别从技术环节<sup>[20]</sup>、有机物在大孔树脂上的吸附特性<sup>[21-22]</sup>及影响有机物富集率的因素<sup>[23]</sup>等角度研究了大孔离子交换树脂对有机物的去除作用。国内的离子交换树脂生产厂商也在研制能够较好地去除水中有机物的大孔树脂。目前国内去除有机物大孔型树脂中,最具代表性的有浙江争光实业股份有限公司研制生产的 D730 树脂等。

随着我国经济的飞速发展和人们生活水平的提高,人们对食品安全、卫生方面的要求也日益提高,健康饮食、绿色消费成为人们生活中的热点话题。而离子交换树脂这种多功能化合物为满足人们的这种需求提供了可能。在食品工业领域,离子交换树脂的消耗量仅次于水处理,可用于制糖<sup>[24-25]</sup>、制味精<sup>[26]</sup>等,起着提纯、脱色、去味、分离催化等方面的作用。目前,我国各离子交换树脂生产厂家也针对国际和国内食品行业食品卫生和安全要求生产出了适用于食品生产和制造的离子交换树脂。以浙江争光实业股份有限公司为例,该厂针对制糖业中糖浆色素多、盐分含量大等特点研制的大孔型树脂专门用于木糖醇等糖类制品的脱色、提纯等;该厂的大孔弱碱性食品级树脂可以很好地去除饮料、果汁中的盐类和酸性物质,具有机械强度优良、交换容量高和膨胀率低等特点。可以预见,随着营养、健康、安全的饮食理念深入人心,应用于食品工业将成为离子交换树脂应用中最富活力和创造力一个领域。

离子交换树脂还可以应用于医药和生物化工方面,例如浙江争光实业股份有限公司研发的琼脂糖系列就是一类主要用于医药和生物工程中蛋白质、核酸 DNA、多肽、抗原、抗体的分离纯化的树脂。该树脂属生物高科技产品,已被列入国家 863 计划,为国内首创,为我国离子交换树脂行业填补了一项空白。目前这种高质量树脂世界上仅有我国浙江争光实业股份有限公司和瑞典一家公司可以具有规模生产能力,质量可靠。

### 3 新型离子交换树脂

毫无疑问,离子交换树脂的结构和性能直接决定着产品的质量。在常规离子交换树脂的应用过程中,出现了一些常规树脂很难解决的问题。针对这些问题,一些新型的离子交换树脂便应运而生。例

如,反常规均粒混床树脂的出现在很大程度上解决了火电厂凝结水精处理的出水水质恶化问题,两性树脂的使用大大降低了树脂再生的酸碱耗量;另外,某些特殊的场合需要使用符合特定质量要求的离子交换树脂,例如核电站使用的树脂必须是具备特殊性能的核级离子交换树脂。下文将重点介绍上述几种新型离子交换树脂。

#### 3.1 反常规均粒混床树脂

所谓“反常规混床树脂”,是针对“常规混床树脂”而言。过去,为了防止阳、阴离子交换树脂的“交叉污染”,在现场应用中一直十分强调阳、阴树脂在再生前反洗时的分层效果,但却忽视了阳、阴树脂在再生后的混合问题,使阳、阴树脂的混合很不均匀,甚至在混合后或运行时产生分层,从而造成混床出水水质恶化、周期制水量下降,正洗水耗增加等问题。

反常规均粒混床树脂最大特点是阳树脂平均粒径小于阴树脂平均粒径,这一点与常规混床树脂相区别。这种混脂颗粒均匀、分层清晰、混合均匀,能大幅度提高混床的出水水质和周期制水量,降低再生剂耗量。目前,国内离子交换树脂生产商正在积极研制开发具有优良性能的反常规树脂,国内走在该领域前列的有浙江争光实业股份有限公司。该厂在反常规均粒混床树脂的生产制备上拥有自主知识产权,且能够批量生产。该厂生产的反常规均粒混床树脂技术指标见表 3。孙振海和徐斌<sup>[16]</sup>通过试验研究反常规均粒混床树脂在镇海炼化股份有限公司热电站的应用情况,证明了通过使用浙江争光实业股份有限公司生产的反常规均粒混床树脂,可以使周期制水量由平均 18 600 m<sup>3</sup> 提高到 44 500 m<sup>3</sup>,同时使出水中硅含量由原来的 11 μg/L 降低到 4 μg/L,并且使出水 pH 稳定维持在 7 附近。

表 3 反常规均粒混床树脂主要技术指标  
Tab.3 Main technical index of hnormal uniform mixed bed resin

指标	D001-FZ	D201-FZ
含水量/%	45~55	50~60
质量全交换容量/(mmol·g <sup>-1</sup> )	≥4.35	≥3.8
湿视密度/(g·mL <sup>-1</sup> )	0.77~0.85	0.65~0.73
湿真密度/(g·mL <sup>-1</sup> )	1.25~1.28	1.04~1.10
粒度范围	(0.6~0.9 mm) ≥95	(0.7~1.0 mm) ≥95
渗磨圆球率/%	≥95	≥95

#### 3.2 两性功能基团离子交换树脂

两性功能基团离子交换树脂与常规树脂的主要区别在于其同时具有酸碱两种功能基团。由于该种树脂中两种功能基团距离很近( $\leq 10$  nm),中和了部分电荷,所以与溶液中相反电荷离子吸着力微弱,用水即可使树脂再生<sup>[27]</sup>,不必使用酸、碱,从而大大降低了再生剂用量。

根据酸性和碱性基团的强弱性组合不同,两性树脂可分为强酸强碱、强酸弱碱、强碱弱酸和弱酸弱碱型四类,其中每一类又可以按照能否形成内盐分为几种不同的类型。不同的两性树脂的合成方法有所不同。例如,可以形成内盐的强碱弱酸型树脂的合成可以采用悬浮聚合法,也可以采用前文介绍过的互贯聚合法。而不能形成内盐的强碱弱酸树脂在合成时需要采用适当技术使阴阳基团隔开<sup>[28]</sup>。内盐键的形成与否和强度大小还会影响树脂的结构和对电解质的吸附性能。

目前,两性树脂主要用于大分子与小分子电解质的分离<sup>[29]</sup>,如离子隔膜碱中去除硫酸根、蛋白质的分离提纯和脱盐等,也可以用于常规水处理<sup>[30]</sup>、聚丙烯腈纺丝废水及含锌废水处理<sup>[31]</sup>等方面。

### 3.3 核级离子交换树脂

核级离子交换树脂是指能够应用于核电站一回路、二回路放射性水处理及核废料处理的离子交换树脂。其中核级混床树脂由核级阳树脂和核级阴树脂按不同比例混合而成,主要用于核电站一回路、二回路冷却剂及废液的脱盐、净化和精处理,以及放射性元素的脱除净化和核废料的回收。应用于核电站一回路水处理系统的核级树脂对再生转型率、抗辐照分解能力、机械强度及高温稳定性有很高要求。核级树脂指标规范见表4。

我国核电厂建设起步较晚,数量较少,核电厂一回路的离子交换树脂需求并不大,目前这部分市场大部分被国外离子交换树脂厂家(如陶氏公司)所垄断。随着我国核电事业的发展,可以预见核电厂对高品质的离子交换树脂的需求将会越来越大,这将是一个极有发展潜力的市场。另外,核电事业的发展对一个国家的综合实力和国计民生有着至关重要的影响。因此,加强对核级树脂的研究与开发,生产出可以与国外产品媲美的核级树脂除了具有可观的经济效益,从某种程度上,还具有重大的战略意义。

目前我国国内的离子交换树脂厂商中具有核级树脂生产资质的仅有浙江争光实业股份有限公司一家。上海交通大学的陶钧<sup>[32]</sup>研究了由该厂采用西安

表4 核级树脂主要指标  
Tab.4 Main index of nuclear grade resin

项目	单位	阳树脂	阴树脂
H <sup>+</sup>	%	≥99.5	—
Li <sup>+</sup>	%	≥99.9	—
OH <sup>-</sup>	%	—	≥95.0
Cl <sup>-</sup>	%	—	≤0.1
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	%	—	≤5.0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	%	—	≤0.1
钠	mg/kg-R(干)	≤20	≤40
铁	mg/kg-R(干)	≤25	≤50
重金属(以铅表示)	mg/kg-R(干)	≤20	≤10
溶出物	%(干)	≤0.1	≤0.1

热工研究院提供的技术生产出的新一代核级树脂在秦山核电站的试用情况,并证明了该核级树脂运行稳定、放射性核素及杂质离子去除效果明显且抗辐照性能好,其理化性能完全满足秦山核电站对离子交换树脂的要求。

### 3.4 凝胶型碳黑阳离子交换树脂

凝胶型碳黑阳离子交换树脂,主要与强碱性阴树脂配套用于混床系统纯水、高纯水的制备。其深黑色外观与阴树脂有十分明显的色差,可以明显观察到再生前反洗时阴阳树脂是否已完全分层及再生后阴阳树脂的混合情况,便于现场水处理工作人员针对实际情况采取不同的操作,降低清洗水耗,提高周期制水量。

### 3.5 变色树脂

变色树脂是一类带有指示剂的阳离子交换树脂或阴离子交换树脂。它既能与水中的阳离子或阴离子进行交换反应,又因为其再生型和失效型时的颜色具有明显色差,非常便于分辨,从而便于现场人员的操作控制。其中,变色阳树脂主要可以用来监测蒸汽和凝结水处理混床出水的阳电导率。树脂装填于小型交换柱中,水中微量的矿物质被树脂交换转化为酸,大大提高了监测水中阳离子的灵敏度。当树脂失效时变成另一种颜色,明显的指示出交换柱的工作状态。另外,变色阳树脂还可以与变色阴树脂或普通强碱性阴树脂配套装于小直径的透明混床交换柱中,作为带指示剂的混床树脂,用于电厂汽轮机内冷水的监测,并可以用于电子仪表工业和食品、医药工业等领域。

## 4 发展方向和前景

离子交换树脂作为一种具备选择吸附和交换功

能的特殊的高分子化合物,已经在工业农业加工制造业等各个领域发挥了重要的作用。可以预见,随着各行业不断发展和科技水平的不断进步,离子交换树脂将在未来发挥更加重要的作用。因此,准确预测未来的发展方向对于我国离子交换树脂生产者和消费者来说有着重要意义。

#### 4.1 合成工艺先进化

目前我国离子交换树脂的常规合成工艺水平与国外相当,但在新型合成工艺方面与国外相比仍存在一定差距。例如,为了弥补悬浮聚合的不足,国外采用了先进的全自动喷射法合成技术。采用这种技术的白球得率高且粒度均匀。但是这种方法在国内还未实施,也未见有相关文献报道。我国离子交换树脂要想切实改善产品性能提高产品质量,进一步增强国际竞争力,研究和推广先进的合成工艺是不可或缺的前提条件。

#### 4.2 性能质量规范化

在离子交换树脂领域,我国现有国家标准、化工标准和电力行业标准三个层次的标准规范<sup>[33]</sup>,其内容涉及离子交换树脂的分类、命名、各性能指标测定方法、验收标准及报废标准等。随着新型树脂的出现及生产实际对于离子交换树脂要求的提高,各标准也将逐步完善,某些特殊离子交换树脂(如核级离子交换树脂、食品级离子交换树脂等)的验收、性能测定及报废标准等有待逐一制定。总体来说,我国离子交换树脂的生产、使用将趋于标准化,其性能、质量也将趋于规范化。

#### 4.3 应用技术自动化

设备控制自动化是当今各行业的发展方向,离子交换树脂的应用也不例外。这里的自动化包括两个方面,即树脂生产的自动化和树脂应用技术的自动化。采用可编程的控制技术,加强树脂生产应用技术与设备自动化的相互整合,提高离子交换树脂生产应用的自动化控制程度将在很大程度上拓宽我国离子交换树脂的应用范围,提高离子交换树脂使用的效率。国内在树脂生产的自动化控制方面已经有了一定的研究成果,例如,姚汉龙<sup>[34]</sup>利用DCS系统和适当的阀门仪表等对环氧树脂的生产装置自动化控制系统进行了改进。

#### 4.4 离子交换树脂市场前景

离子交换树脂市场规模越来越大。离子交换树脂除了继续在常规应用领域(如工业水处理、饮用水净化和食品工业等)继续发挥重要作用外,也开始

向高端科技领域渗透和发展。例如,在“神州五号”、“神舟六号”载人宇宙飞船和“嫦娥一号”探月卫星工程中,哈尔滨晶体管厂负责提供军用电子元器件,而浙江争光实业股份有限公司提供的ZG ER树脂则为哈尔滨晶体管厂制得了高纯度的电子级生产用水。

目前国内树脂总产能已能够满足国内市场,而在未来需要更多的国内厂家积极开拓并占领国际市场。与此同时,来自国外树脂生产商的压力将迫使国内厂家提高生产效率和产品质量,这种良性竞争将给离子交换树脂市场注入新的活力和生机。因此,可以预见离子交换树脂的市场前景将会很广阔,未来的3~5年将是世界(包括中国)离子交换树脂行业又一个巨变的时期。

#### 参考文献

- [1] 李培元.火力发电厂水处理及水质控制[M].北京:中国电力出版社,2008.
- [2] 王灿发,汤志勇,范鸿华,等.离子交换树脂在废水处理中的应用[J].科技资讯,2008,(25):84.
- [3] 何罡,徐伟斌,张世霖.离子交换树脂国内外概况[J].丹东化工,1994,(2):13.
- [4] GB/T 1631—2008,离子交换树脂命名系统和基本规范[S].
- [5] GB/T 1631—1979,离子交换树脂产品分类、命名、及型号[S].
- [6] 杜荣军,王槐三,孙晓珑.采用重复互贯聚合用废弃白球未合成凝胶型阳离子交换树脂的研究[J].离子交换与吸附,2003,19(1):77-82.
- [7] 应富祥.互贯型离子交换树脂的发展及其前景[J].安徽化工,1998(6):3-4.
- [8] 何炳林,王林富.离子交换树脂发展概况和展望[J].离子交换与吸附,1986,(4):2.
- [9] 董有成,钟照仁,齐淑芬,等.互贯离子交换树脂的研究[J].离子交换与吸附,1992,8(2):178-182.
- [10] 徐和德,刘永勋,王瑞香,等.互贯法合成强碱弱酸两性树脂及其性能研究[J].离子交换与吸附,1992,8(5):441-446.
- [11] 李彦锋,卓仁禧.PAN/PVC互贯大孔弱碱树脂的合成及性能研究[J].离子交换与吸附,1996,12(5):431-437.
- [12] 孟繁生,冷东斌,李绍宗.用附加交联方法制强碱性阴离子交换树脂[J].丹东化工,1994,(1):1-3.
- [13] 丁远蓉,肖长发,贾广霞.后交联型聚丙烯酸系吸水树脂的研究[J].天津工业大学学报,2004,23(1):11-14.
- [14] 高琼芝,王正辉.后交联法合成高吸水性树脂[J].合成化学,2005,13(4):401-402.
- [15] 桑俊珍,王晓攀,李红,等.水处理用离子交换树脂运行中存在的问题及预防措施[J].河北电力技术,2009,28(1):43.
- [16] 孙振海,徐斌.反常规均粒混床专用树脂的工业应用[J].水处理技术,2005,31(12):80-82.
- [17] 刘玉林,何杰,谢同凤.离子交换树脂去除饮用水中硝酸盐的改进研究[J].淮南工业学院学报,2001,21(4):56-58.

(下转第 29 页)

7.4 时,沉淀后水余铝最低。

另外,进行了水厂的氢氧化钠生产性投加试验。采用浓度为 30% 的氢氧化钠溶液,通过隔膜计量泵投加至水厂清水池中段。试验测定氢氧化钠投加前后的 pH 值变化。每组投加量试验进行 10 d,结果取平均值。生产结果见表 2。

表 2 生产试验结果  
Tab.2 Productive test result

序号	投加量/(mg·L <sup>-1</sup> )	投加成本/(元·m <sup>3</sup> )	出水 pH
1	0	0	7.05
2	0.5	0.0175	7.20
3	1.0	0.035	7.62
4	1.5	0.0525	7.90
5	2.0	0.07	8.13
6	2.5	0.0875	8.30

由生产结果可以看出,在滤后水中投加氢氧化钠可有效提高出水的 pH 值。氢氧化钠投加量与小试试验基本相当,总体投量不高。以氢氧化钠价格 3 500 元/t 计,增加成本相对较少。

#### 4 结论

通过研究南方某水厂 pH 的变化及调控规律,提出了合理可行的 pH 调控措施,为进一步提高水厂混凝沉淀效果、降低出水余铝含量及提高出水质

的化学稳定性提供了参考依据。主要结论如下:

(1) 采用混凝阶段投加石灰、滤后水投加氢氧化钠的 pH 值调节方式,对改善混凝沉淀效果、降低出水余铝含量等方面,优于单点投加石灰的方式。

(2) 混凝阶段石灰的最佳投加点为混凝剂后 1 min,最佳投加量为 2.0 mg/L,最大投加量宜控制在 6.0 mg/L 以下。

(3) 在前加石灰 2.0 mg/L 条件下,滤后水投加氢氧化钠 1.6 mg/L 左右,即可控制出厂水 pH 值在 8.0~8.5 之间,基本满足出水化学稳定性的要求。氢氧化钠的投加量不高,增加的成本较少。

#### 参考文献

- [1] 许保玖,安鼎年. 给水处理理论与设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000:551-553.
- [2] 汤鸿霄,钱易,文湘华,等. 水体颗粒物和难降解有机物的特性与控制技术原理[M]. 中国环境科学出版社,2000:164-171.
- [3] 汪义强,张金松. 利用石灰与 Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 缓蚀剂改善管网水质[J]. 中国给水排水,2004,20(5):99-100.
- [4] M R Jekel. Residual aluminum in drinking water treatment[J]. JWART-Aqua,1989(38) 281-288.
- [5] 王志红,崔福义. 水厂余铝的影响因素实验研究[J]. 水处理技术,2004,30(2):110-102.
- [6] 方伟. 城市供水系统水质化学稳定性及其控制方法研究[D]. 长沙:湖南大学,2004,20-25.
- [7] 李欣,马建薇,袁一星. 城市给水管网水质研究与进展[J]. 哈尔滨工业大学学报,2004,36(10):1393-1395.

(上接第 16 页)

- [18] 杨铸,傅文燕. 阴离子交换树脂的间接脱氟方法研究[J]. 工业水处理,1996,16(6):16-18.
- [19] 仝贵婵,云桂春,金光宁. 弱碱阴离子交换树脂去除中国饮用水源中的微量重金属及有机污染物[J]. 机械给排水,1999,(3):18-26.
- [20] 吴源. 大孔树脂富集水中有机物的技术环节[J]. 环境与健康杂志,2004,21(5):332-334.
- [21] 田文华,钱达中. 大孔吸附树脂吸附有机物传质系数的研究[J]. 武汉水利电力大学学报,1996,29(1):75-78.
- [22] 田文华,李培元. 有机物在大孔吸附树脂上的竞争吸附[J]. 水处理技术,1994,20(5):254-258.
- [23] 徐应明. 大孔网状树脂在富集水体中有机物的应用[J]. 上海环境科学,1994,13(6):16-18.
- [24] 洛铁男,李琳,刘玉德,等. 阴离子交换树脂在制糖工业中的应用[J]. 中国甜菜糖业,1998,(3):1-3.
- [25] 黄祥斌,于淑娟. 综合评六种离子交换树脂脱色糖浆的性能[J]. 中国甜菜糖业,2002,(1):5-7.
- [26] 李春辰,杨萍. 用 PUROLITE 阴树脂直接生产味精的工艺探讨

- [J]. 发酵科技通讯,2001,30(1):7-10.
- [27] 周永华,钟宏. 两性蛇笼树脂的合成、性能及应用[J]. 湖南化工,1999,29(3):1.
- [28] 吴艳,彭奇均,汤坚,等. 强碱弱酸两性树脂的合成、结构性能及吸附性能[J]. 食品与生物技术,2002,21(1):24-26.
- [29] 龚波林,任丽,阎超,等. 单分散亲水两性离子交换树脂的制备及其在生物大分子分离中的应用[J]. 高等学校化学学报,2007,28(5):831-836.
- [30] 肖尊宏,曾纪朝. 强碱弱酸两性树脂应用于常规水处理的研究[J]. 邵阳学院学报(自然科学版),2004,1(1):68-71.
- [31] 陈文森,陈炳稔. 两性离子交换树脂对含锌废水的处理[J]. 化工时刊,2004,18(1):47-48.
- [32] 陶钧. 国产新一代核级离子交换树脂在秦山核电站的试应用[J]. 热力发电,2004,(12):59-61.
- [33] 姚汉龙. 环氧树脂装置生产过程自动化改进[J]. 化工设计,2008,18(3):45-46.
- [34] 王广珠,汪德良,崔焕芳,等. 国产电厂水处理用离子交换树脂现状综述[J]. 中国电力,2003,36(1):28-31.