环境激素邻苯二甲酸酯类净化技术研究进展

郑怀礼[1,2]，吴幼权[2]，高　旭[1,2]，张　鹏[2]，郭劲松[1,2]
（1.三峡库区教育部重点实验室，重庆 400045；
2.重庆大学 城市建设与环境工程学院，重庆 400045）

摘　要：邻苯二甲酸酯类（PAEs）化合物是水环境中重要的痕量有机污染物之一。总结了水体中邻苯二甲酸酯类化合物净化技术进展、特点、应用以及局限性、重点介绍了吸附法、高级氧化法、生物降解法等净化技术在降解此类水体中的应用，指出生物法、高级氧化技术、混凝法与其他廉价水处理技术的联合，将是邻苯二甲酸酯类水体处理技术的发展方向。

关键词：环境激素；净化技术；高级氧化技术；生物降解；混凝
中图分类号：X703.1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-3770(2010)01-0015-05

目前，随着工业，尤其是有机合成化工、石油化工、医药、农药、杀虫剂及除草剂等工业的迅速发展，各种纷繁复杂的人工合成有机物进入水体，导致了水质的急剧恶化，水质安全问题已经成为威胁人类健康的主要因素之一，作为城市水源的很多湖泊、河流、水库等水源污染现象严重，持久性有毒有害物质、内分泌干扰物等不断被发现，已引起世界各国的高度重视[1]，促进了美、欧、日等发达地区和国家对环境污染物引发的分泌干扰问题的重视和研究。欧盟（EU）、经济合作与发展组织（OECD）和美国国家环境保护局（USEPA）等组织和政府机构都已经发表了相关的专题报告，就环境中内分泌干扰物质的暴露、对人类和野生动物内泌系统及身体健康的不利影响和风险评估等问题作出了整体性的论述。日本环境厅 1998 年公布了环境内分泌干扰物战略计划，欧洲环境毒理和化学学会（SETAC）1998 年年会也将内分泌干扰物定义为大会的重要主题，因此，它已成为 21 世纪的全球主要环境问题（臭氧层破坏、气候变化、环境激素、水资源等）之一，环境内分泌干扰物去除技术的研究迅速成为国际研究的新热点。

邻苯二甲酸酯类（又名酞酸酯，简称 PAEs）化合物是水环境中重要的痕量有机污染物之一，环境行为和生态效应研究表明，邻苯二甲酸酯水解和光解速率都非常缓慢，广泛存在于水体、大气、土壤中，成为一种全球性的环境有机污染物，被中国环境检测总站和美国 EPA 列为优先控制污染物[2]。

1　邻苯二甲酸酯类环境荷尔蒙的作用机制

环境荷尔蒙被释放到环境后，对大气、土壤、水源等造成污染，再通过饮食，呼吸等途径进入人体。由于这些物质的结构与人体雌性激素分子的结构非常相似，因此当它们进入人体后，与雌性激素的受体结合，使机体关闭或逐渐改变某些生物化学反应过程，久之会破坏体内原有某些功能，使正常的内分泌系统失调。

其作用方式主要包括 3 个方面：环境荷尔蒙与人体或动物体激素竞争靶细胞上的受体，影响人体或动物体内的正常生理活动；环境荷尔蒙可能抑制类固醇合成过程中某些酶的活性，使酶的功能丧失，致使类固醇小能合成，从而影响体内激素信号的传输，导致机体的失调，同时还影响了内分泌系统和其他系统的互动作用。

2　邻苯二甲酸酯类环境激素的污染状况

北美和欧洲的大部分国家对工业废水、生活污水和地表水中环境激素的研究发现，生活污水和工

收稿日期：2009-05-05
基金项目：重庆市重点科技攻关项目（CSTC，2006AB7055）；教育部高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目（708071）
作者简介：郑怀礼（1957—），男，教授，博士生导师，主要从事水污染控制研究
联系电话：13896131029；E-mail：zhl6512@126.com

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

业废水的排放是导致北美和欧洲淡水环境中鱼类受激素活性影响的主要原因[3],并在地表水中检测到 μg·L^{-1} 级的邻苯二甲酸酯类物质。日本环境厅公布的十年环境调查亦表明了水中存在邻苯二甲酸酯。我国也在地表水和饮用水中检测出邻苯二甲酸酯。

邵兵等[4]对长江、嘉陵江（重庆段）源水的有机提取物进行 GC/MS 分析发现，该段水源存在严重有机物污染（共检测出 101 种有机污染物），其中部分种类为邻苯二甲酸酯类。贾宁[5]等对北京市水样中的邻苯二甲酸酯类物质（DEP、DBP、BBP、DEHP、DCHP）进行测定，发现北京市吴家村污水处理厂 4 个采样点中邻苯二甲酸酯质量浓度在 0.7～193.3 μg·L^{-1}，北京市南护城河的 3 个采样点中邻苯二甲酸酯质量浓度在 0.1～241.8 μg·L^{-1}。

由于此类物质在水体中含量低，危害大，因此，邻苯二甲酸酯类化合物净化技术引起世界各国的重视。

3 邻苯二甲酸酯类环境激素的净化技术

3.1 吸附法

吸附法主要使用高比表面积或吸附能力强的吸附剂吸附或使用特殊功能的材料将激素分子作为整体去除，分子不会发生化学降解，不被破坏。

李改枝等[6]对邻苯二甲酸二甲酯在内蒙古粘土中的吸附特征进行了研究，结果表明，邻苯二甲酸二甲酯在内蒙古粘土中的吸附符合一级动力学方程和 Langmuir 等温式，其吸附量随 pH 值的减小和离子强度的增加明显减小。

韩关根[7]等研究了大孔过滤后用活性炭柱过滤，并和聚合氧化铝净化、聚合氧化铝＋钵净化、硅藻土过滤进行比较，发现该方法对邻苯二甲酸酯的去除效果好。

虽然吸附法能够有效地去除污染水中的环境激素物质，但吸附材料不易再回收利用，成本比较高，由于吸附法并没有将激素类物质转化为无毒无害的产物，对环境依然有潜在的危险或造成二次污染，因此，吸附法在环境激素处理中未能得到广泛应用。

3.2 高级氧化法

高级氧化法是处理环境有毒有害物质最常用的方法，光催化降解是目前研究的最多的方法之一，主要是通过化学物质直接吸收紫外光或者其他物质在紫外光的照射下，形成原子氧或羟基自由基，然后与邻苯二甲酸酯类化合物反应，达到降解的目的。

3.2.1 以 H_2O_2 为基础的均相光催化氧化降解技术

近年来研究者发现，把紫外光或太阳光等光源引入 Fenton 试剂中，可以显著增强 Fenton 试剂的氧化能力，并节约 H_2O_2 用量。由于其基本过程与 Fenton 试剂法相似而称之为类 Fenton 试剂法，可分为 UV/ H_2O_2，UV/ H_2O_2/O_3 等系统。

施银桃，李海燕等[8]研究了水溶液中的臭氧氧化。考察了 pH、温度、臭氧用量等对反应的影响。结果表明臭氧氧化使溶液的总有机碳减少，并使紫外吸收大大降低，毛细管电泳分析证明有 PA 的中间产物产生。

陈德强等[9]研究了邻苯二甲酸二正丁酯（DBP）在 UV/ H_2O_2 体系中的光降解，结果表明，DBP 在 UV/ H_2O_2 体系中能很好地降解，且其光降解速率大于在单一 UV 辐照下的光降解速率，中性条件下 DBP 的光降解速率最快，而在强酸性或碱性条件下 DBP 的光降解速率均较低，并研究了 DBP 的光降解速率常数与初始浓度反应动力学关系。

芮旻、高乃云等[10]采用 UV，H_2O_2、O_3 及其联用工艺对自来水本底条件下邻苯二甲酸二甲酯（DMP）的去除效果、特性及降解机理进行了对比和分析。结果表明，UV/ H_2O_2/O_3 联用工艺提高了 DMP 去除率，并使其很快降解，并对比了 UV、H_2O_2、O_3 及其联用工艺对水中 DMP 的去除效果，得出了几种氧化工艺对 DMP 的去除效果依次为 UV<O_3<UV/O_3<UV/ H_2O_2<UV/ H_2O_2/O_3 的结论。相比 UV/ H_2O_2 而言，UV/ H_2O_2/O_3 联用工艺可使中间产物也很快降解。UV/H_2O_2/O_3 法去除多种有机物已有专利[11]。

3.2.2 以 TiO_2 为基础的均相光催化氧化降解技术

目前在处理 PAEs 方面应用较多的是以 TiO_2 以为催化剂的催化氧化。TiO_2 光催化氧化的特点是不需要苛刻的操作条件，紫外光、模拟太阳光和可见光均可作为光源，而目可以利用自然条件，如空气作为催化促进物。

Mailhot G 等[12]使用水溶液中的 Fe(III)研究在太阳光照射下模拟反应器中 DEP 的降解情况。在光照条件和 Fe^{3+} 的作用下产生·OH，反应的第 1 步是·OH 攻击苯环。在较长时间的光照之后，降解产物完全矿化。原因是吸收物质的再生和·OH 的不断生成。他们认为这是去除水中 DEP 的有效方法。

M Muneer 等[13]研究了不同形态的 TiO_2、pH、催化剂浓度、反应物的浓度以及不同的电子受体对反应的影响，在 pH=6，用 P25 型 TiO_2 作催化剂降解效率较高。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

金朝晖等[14]对邻苯二甲酸酯（DBP、DEHP）在模拟水样及实际水体表面的光催化降解进行了研究，探讨了催化剂浓度溶液的pH、光强、溶解氧等对其降解的影响。试验结果表明，在催化剂TiO_2为2 g•L^{-1}，pH为6，并在H_2O_2存在的情况下，有利于DBP、DEHP降解，其降解反应符合一级动力学特征，且实际水体中的光解速率比模拟水体中进行的快。

郑和辉等[15]研究光降解饮用水中邻苯二甲酸二正丁酯（DBP）降解方法。水中DBP在紫外光和臭氧共同作用下，加入纳米TiO_2进行光催化降解。结果表明，紫外光和臭氧共同处理对DBP的降解有协同作用，单紫外光照射的半衰期是10.6 min，紫外光与臭氧协同降解的半衰期是7.8 min，而光催化的半衰期则小于1 min，较小的粒径20～30 nm的TiO_2光催化效果要好于较大粒径30～50 nm的TiO_2光催化效果，加入20～30 nm TiO_2光催化剂的最佳剂量是0.5 g•L^{-1}，初始pH越大越有利于DBP的光催化降解。

费学宁、姜光远等[16]对DBP的光催化降解机理进行了研究。使用TiO_2作为光催化剂，在紫外光照射下对水溶液中的DBP进行光催化降解，结果表明，以TiO_2为光催化剂能有效去除水中的DBP，降解10 h的去除效率可达80.1 %。在此种降解条件下，DBP从侧链开始降解，可生成邻苯二甲酸单丁酯、苯甲酸甲酯和苯甲酸等中间体。光照6 h后，苯甲酸是主要降解产物之一，在此条件下难以继续降解，费学宁等以紫外光为光源，以TiO_2为催化剂，还对水中邻苯二甲酸二丁酯（DBP）、邻苯二甲酸二环己酯（DCHP）和邻苯二甲酸丁基苄基酯（BBP）水溶液的光催化降解规律进行了探讨。

高级氧化技术具有设备简单、反应条件温和、操作方便、高效等优点，但是该方法处理费用高，只适用于低浓度、少量废水的处理。如将其作为环境激素废水的预处理或深度处理方法，再与其他处理方法联用，则可以更好地降低废水处理成本，提高处理效率，拓宽该技术的应用范围，将是有效处理环境激素废水的技术发展方向之一。

3.3 生物降解技术

生物降解法去除酞酸酯类化合物是研究最多的一类方法，国内外在好氧和厌氧的条件下对PAEs的生物降解进行了大量的研究。

国外CHATYERJEE S[17]从被污染的杂酚油中分离出一种菌株（*A Gordonia* sp.）MTCCA818，该菌株可以邻苯二甲酸酯作为唯一碳源和能源，使BBP在培养基振动的条件下在4 d内完全降解。

Chang等[18]从河底沉积物和石化淤泥中分离出DK4和O18这2种菌株，研究了在不同温度（20～40℃），pH（5.0～9.0）下，DK4和018两种菌株在7 d内分别将DEP、DPrP、DBP、DHP、DEHP、DCP、BBP和DPP（质量浓度分别为5 mg•L^{-1}）完全降解；研究还发现当这8种PAEs同时存在时，PAEs的降解率得到提高，这可能是由于为细菌提供了更多的碳源和能量;而在微量壬基酚和多环芳烃（1 g•g^{-1}）存在的情况下，PAEs的降解率将降低。

J Wand等[19]曾报导用生物法降解DMP，3 d降解率为90%，完全降解需要用5 d，DBP在8 d内才降解90%，但DOP在8 d内仅降解了20%。可见邻苯二甲酸形成酯的碳链越长，生物降解越慢。而且有时PAE并没有在溶液中被生化降解，而仅仅是被活性污泥吸附，致使活性污泥中的PAE富集很高浓度。H F Chen[20]等曾研究了污泥中PAE的生物降解，表明即使经过189 d，仍有70%的DEHP留在污泥中。

国内在好氧和厌氧的条件下对的生物降解也进行了大量的研究。王建龙[21]等利用驯化活性污泥降解3种PAEs（DMP、DBP、DOP），结果表明，对于DMP，3 d降解90%。对于DBP，8 d降解90%，而对DOP，8 d仅降解20%。可见酞酸酯的碳链越长，生物降解越慢。为了提高降解速度和降解效率，王建龙等[22]利用聚乙烯醇固定化微生物降解邻苯二甲酸二丁酯（DBP），研究发现，细胞经固定化后，其降解速率明显提高。王琳[23]等也将驯化获得的DBP降解优势菌群用聚乙烯醇包埋固定，并制成固定化小球增殖培养后，在不同溶解氧和pH、不同温度下对不同浓度的DBP水样进行降解试验，结果表明，与游离活性污泥相比，固定化微生物对DBP的降解率显著提高，连续降解24 h，降解率可达85.4%，并且对温度、pH的适应能力增强。

夏风毅等[24]采用曝气法模拟废水处理试验测试了酞酸酯类化合物的曝气生物降解行为，结果表明降解符合一级动力学方程，酞酸酯的降解速率常数与其烷基链长度存在良好的相关性，其降解速率常数随着化合物分子烷基链的增加而减小。

李魁晓等[25]研究了环境激素邻苯二甲酸二丁基酯的好氧微生物降解，通过驯化富集培养，从红树林底泥中分离出一株邻苯二甲酸二丁基酯降解菌。实验研究了邻苯二甲酸二丁基酯降解菌对邻苯二甲酸

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

二丁基酯的生物降解特性，并探讨了可能的生物降解途径，试验结果表明，细菌对邻苯二甲酸二丁基酯具有高效降解作用。李魁晓等[26]还研究了邻苯二甲酸二甲酯的好氧生物降解及生化途径，从红树林底泥中驯化富集培养分离得到的苯甲酸酯类化介物的降解菌。实验得出该菌能够以邻苯二甲酸二甲酯作为唯一碳源和能源的培养基中生长。邻苯二甲酸二甲酯能够在好氧条件下被快速降解，质量浓度为 50 mg·L^{-1} 的邻苯二甲酸二甲酯在 5 d 内可以完全被降解。

曾峰等[27]从处理石化废水的活性污泥中分离的邻苯二甲酸酯降解菌 FSI （荧光假单胞菌 *Pseudorriouas fluoresceus*）。分别研究 FS1 对邻苯二甲酸二乙酯（DEP）、邻苯二甲酸二甲酯的降解。菌株 FS1 对 DEP、DMP 的生物降解反应符合一级动力学特征，FS1 对 DEP 具有高效的降解作用。当 DEP、DMP 的初始质量浓度大于 200 mg·L^{-1} 时，降解速率常数 k 随 DEP 质量浓度增加而降低，说明高浓度的 DEP、DMP 对其降解有抑制作用。

生物降解是处理 PAEs 的主要途径之一，然而生物处理存在一些缺陷，菌株的筛选、培养费时费力，目前仍没有筛选出高效专性或兼性的降解菌株 在高浓度的情况下，由于 PAEs 毒性较大，生化法降解时间较长，有时不能将 PAEs 从水溶液中完全去除，从而限制了生物降解法的使用，但生物净化技术具有处理量大，运行后成本较低，连续性好等特点，只要控制好运行条件，仍然具有很好的开发应用前景。

4 其他净化技术

除了目前使用较多的氧化降解，生物降解等方法外，邻苯二甲酸酯类化合物其他净化技术也得到了研究和发展，如 O_3/ 金属催化剂工艺[28]，核辐射法[29]、臭氧 - 活性炭联合技术[30]等。

5 结语与展望

邻苯二甲酸酯类物质危害严重，但在目前实际生产和生活中尚不能完全离开它们，因而当前研究重点一方面在于通过材料科学研究，使其不易从产品中分离出来进入环境；另一方面在于对环境中已有的邻苯二甲酸酯类进行净化处理，使其危害降至最低。

邻苯二甲酸酯类物质各种净化处理方法，吸附法操作复杂，不能彻底矿化，生化法降解菌的获取有偶然性、不易得到，高浓度的有毒废水对生物降解有抑制作用，分离和培养高效专性或兼性降解 PAEs 的菌株，并结合实际污水处理工艺进行生物降解成为今后需要研究的重点方向。邻苯二甲酸酯类物质的高级氧化技术具有降解速度快、基本能将污染物完全矿化等优点，特别是光化学催化氧化技术，能利用太阳作光源以节能，要求的反应条件温和，但是降解反应机理值得进一步研究，今后的研究方向将是对 TiO_2 的光催化降解进行系统研究，明确降解机理、鉴定降解产物等等，为光化学催化降解方法的深度开发应用提供基础。

混凝法是目前使用最多，最实用的水处理方法之一[31-34]，由于 PAEs 类物质在水中的溶解度很小，因此其在含有胶体、悬浮物的水中，其存在形式以附着在非极性不溶物质表面为主，混凝法对邻苯二甲酸酯类物质也有一定的共沉淀作用，可以协同氧化技术去除水体中邻苯二甲酸酯类物质，对于处理邻苯二甲酸酯类化合物而言，采用新型强化絮凝 - 高级氧化组合工艺等协同作用的方式来降解该类物质，可能是快捷有效的途径之一。

综上所述，邻苯二甲酸酯类物质各种进化处理方法各有所长，又都有一定局限性，因此应结合实际情况，选择最适宜的深度水处理方式与方法。

参考文献：

[1] 曾北危, 姜平. 环境激素[M].北京:化学工业出版社, 2005.

[2] 胡晓宇.中国环境邻苯二甲酸酯类化合物污染的研究[J].中国卫生检验杂志,2003,13(1):9-15.

[3] Allen Y, Scott AP, Matthiessen P, et al. Survey of estrogenic activity in United Kingdom estuarine and coastal waters and its effects on gonadal development of the flounder Platichthys flesus [J].Environmental Toxicology and Chemistry,1999,18 (8):1791-1800.

[4] 邵兵,胡建英,杨敏. 重庆流域嘉陵江和长江水环境中壬基酚污染状况调查 [J]. 环境科学学报,2002,22(1):12-16.

[5] 贾宁,许恒智,胡亚丽,等.固相萃取 - 气相色谱法测定北京市水样中的邻苯二甲酸酯[J]. 分析试验室,2005,24(11):18-21.

[6] 李改枝,李桂芝.邻苯二甲酸二甲酯在内蒙古粘土中的吸附特性[J]. 烟台师范学院学报:自然科学版,2005,21(2):130-132.

[7] 韩关根,吴平谷,王惠华,等. 水中邻苯二甲酸酯类化合物去除方法实验研究[J]. 中国公共卫生,2003,19(2):199-200.

[8] 施银桃,李海燕,曾庆福,等.臭氧氧化法去除水中邻苯二甲酸二甲酯的初步研究[J]. 环境化学,2002,21(5):500-504.

[9] 德强, 吴振斌, 成水平,等.UV/H_2O_2 体系光降解邻苯二甲酸二丁酯研究[J]. 环境科学研究,2005,18(6):50 -52.

[10] 芮旻,高乃云,徐斌等.UV、H_2O_2、O_3 及其联用工艺对水中 DMP 的去除效果和降解机理分析 [J]. 环境科学学报,2005,25(11):1457-1463.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[11] Zeff J D, Leities E. Oxidation. of toxic hydrocarbon(s) and hydrazine(s) in water(s) - by simultaneous treatment with ozone, hydrogen peroxide and UV radiation:US4849114-A[P].1989-18-07.

[12] Mailhot G, Sarakha M, Lavedrine B, et al. Fe(III)-solar light induced degradation of diethyl phthalate(DEP) in aqueous solutions [J].Chemosphere, 2002,49(6):525-532.

[13] Muneer A, Theurich J, Bahnemann D .Titanium dioxide mediated photocatalytic degradation of 1,2-diethyl phthalate [J].Joural of Photochemistry and Photobiologya-Chemistry,2001,143 (2-3): 213-219.

[14] 金朝晖,黄国兰,柴英涛,等.水体表面微层中酞酸酯的光降解研究[J]. 环境化学,1999,18(2):109-114.

[15] 郑和辉,赵立文,陶晶, 等.光催化去除流水中邻苯二甲酸二丁酯效果评价[J].中国公共卫生,2007,23(2):210-211.

[16] 费学宁,姜光远,吕岩,等. 环境激素邻苯二甲酸二丁酯的光催化降解机理探讨[J].应用化学,2006,23(1):59-63.

[17] Chatterjee S, Dutta TK. Metabolism of butyl benzyl phthalate by Gordonia sp strain MTCC 4818 [J]. Biochemical and Biophysical Research Communications,2003,309(1):36-43.

[18] Chang BV, Yang CM, Cheng CH, et al. Biodegradation of phthalate esters by two bacteria strains [J].Chemosphere,2004,55 (4): 533-538.

[19] Wang JL, Xuan Z, Wu WZ. Biodegradation of phthalic acid esters (PAEs) in soil bioaugmented with acclimated activated sludge [J]. Process Biochemistry,2004,39(12):1837-1841.

[20] Cheng HF, Chen SY, Lin JG. Biodegradation of di-(2-ethylhexyl) phthalate in sewage sludge [J].Water Science and Technology, 2000,41(12):1-6.

[21] 王建龙,吴立波,施汉昌,等. 驯化活性污泥降解邻苯二甲酸酯类化合物的研究[J].环境科学,1998,19(1):18-20.

[22] 王建龙,施汉昌. 聚乙烯醇包埋固定化微生物的研究及进展[J]. 工业微生物.1998,28(2);35-39.

[23] 王琳,罗启芳.固定化微生物降解环境内分泌干扰物 DBP[J].中国公共卫生.2003,19(11):1302-1303.

[24] 夏凤毅,郑平,周琪, 等. 曝气生物降解规律的研究[J].四川大学学报, 2002,34(1):72-76.

[25] 李魁晓,顾继东. 环境激素邻苯二甲酸二丁基酯的好氧微生物降解[J]. 海洋环境科,2006,25(1):7-9.

[26] 李魁晓, 顾继东.邻苯二甲酸二甲酯的好氧生物降解及生化途径[J]. 环境科学与技术,2006,29(2):36-45.

[27] 曾锋,傅家漠,盛国英,等.不同菌源的微生物对邻苯二甲酸二乙酯生物降解性的比较[J].环境科学,2000,21(1):62-65.

[28] 赵翔,许兆义,张振宇,等. 环境激素类物质在饮用水中去除方法研究[J]. 北方交通大学学报,2004,28(1):69-73.

[29] 杨光俊,郑正,赵永富,等. γ 辐照降解六氯苯（HCB）的研究[J]. 环境科学学报, 2004,24(4):750-752

[30] 刘军,王珂,贾瑞宝,等.臭氧 - 活性炭工艺对饮用水中邻苯二甲酸酯的去除[J].环境科学,2003,24(4):77-80.

[31] 郑怀礼,张海彦,龙腾锐,等. PAFC 絮凝剂污水除磷的研究[J].环境化学,2005,24(6):693-697.

[32] 潘云霞,郑怀礼,李丹,等.絮凝法处理垃圾填埋场渗滤液的研究[J].环境工程学报,2007,27(7):97-100.

[33] 郑怀礼,张海彦,龙腾锐,等. PAFC 絮凝剂污水除磷的研究[J]. 环境化学.2005,24(6):693-697.

[34] 郑怀礼,王白雪,熊文强, 等. PAFS-PDMDAAC 复合絮凝剂的除磷效果研究[J].中国给水排水, 2006,19(22): 50-55.

PROGRESS OF THE PURIFICATION TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL HORMONE PAES

Zheng Huaili[1,2], Wu Youquan[2], Gao Xu[1,2], Zhang Peng [2], Guo Jingsong[1,2]

(1.Key laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, State Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 2.Faculty of Urban Construction & Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Phthalic acid esters (PAEs) compounds are one of the most important trace organic pollutants in water, the PAEs purification techniques are summarized about their progress, characteristics, applications and limitations, it is introduced emphatically that the application of adsorption method, advanced oxidation processes,biological degradation method to the degradation of PAEs in wastewater. It is pointed out that the biological degradation techniques, the advanced oxidation technologies and the integration of coagulation with other low cost water treatment are the developing trends in the future.

Keywords: environmental hormone; purification techniques; advanced oxidation techniques; biological degradation; coagulation

树立人人珍惜、人人节约水的良好风尚

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net