

文章编号: 1005—0523(2006)04—0022—05

粘土矿物在污水处理中的应用及展望

聂发辉^{1,2}, 李 田¹

(1. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:粘土矿物对污水的净化是目前污水处理的研究热点. 文章首先简单介绍了一下粘土的结构特征和吸附机理, 然后对其作为吸附剂在污水处理中的应用和研究情况进行了系统的总结和介绍, 最后对粘土矿物在污水处理方面的研究前景作了展望.

关 键 词:粘土矿物; 废水处理; 吸附剂
中图分类号:X7 **文献标识码:**A

吸附法作为一种重要的物理化学方法在污水处理中有着广泛的应用. 长期以来, 活性炭一直是最常规的吸附材料, 虽然活性炭的适用范围广, 大多数的重金属、有机物和生物分子都可以被吸附除去, 并且吸附能力强, 但是活性炭的价格昂贵, 运行费用高, 使活性炭的广泛应用受到限制. 因此, 新型价廉高效的吸附材料的开发应用是目前污水处理中的研究热点^[1,2]. 粘土矿物具有独特的层状结构以及良好的吸附和离子交换性能, 并且具有储量丰富、价格低廉、吸附容量大、高化学和机械稳定性、以及对环境无毒无害且容易再生等优点, 深受国内外环保者的青睐, 在污水处理方面有着广阔的应用前景, 并已经在污水处理的各个领域得到了广泛的应用, 目前, 常用的粘土矿物吸附剂主要集中在硅澡土、膨润土、沸石分子筛、坡缕石、蛭石、凹凸棒土、海泡石、累托石等^[3-7]. 本文就目前常用的各种粘土矿物在废水处理中的研究和应用情况进行了系统总结和介绍.

1 粘土矿物

1.1 结构

在粘土矿物中, 硅、铝、氧是其中最主要的元素. 在这些粘土矿物中, 碳和氧结合生成硅氧四面体, 铝和氧结合生成了铝氧八面体, 其中硅氧四面体分布在同一个平面内, 彼此以 3 个角顶相连, 从而形成二维延展的网层即四面体片. 同样, 铝氧八面体共用边角形成了八面体, 用 O 表示. 这些硅

氧四面体片和铝氧八面体片又共用氧原子, 将不同的片结合在一起, 形成层状结构.

1.2 吸附原理

粘土矿物对于重金属离子、有机物、阳离子染料分子等的吸附主要有表面吸附和离子交换吸附. 表面吸附是一种或多种化学物质在表面的富集. 只有具有较大的表面积, 例如高度分散的细粉或多孔的固体, 才具有较大的表面能, 才能作为良好的吸附材料. 离子交换吸附是为了平衡电荷常需要吸附环境中的异号离子, 如 2:1:1 型粘土, 为了消除电价不饱和, 就要在层间吸附其它阳离子来进行置换, 以达到吸附目的^[8].

2 粘土矿物在污水中的应用

生活污水、工业污水的不当排放造成了水资源的严重污染. 粘土矿物在水污染治理方面, 主要用于化工和生活用水过滤、水中重金属离子的去除、阳离子染色物和有机污染物的吸附, 以及废水中的 NH_4^+ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^{1-}$ 、 HPO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 等污染物质的清除处理.

2.1 去除无机非金属污染物

阴离子型化合物一般在水中的溶解度较高, 在土壤中极易迁移并污染地下水. 粘土矿物表面上存在着大量的 Si—OH、Al—OH 等基团, 通过适当的化学处理可使其质子化或者解离, 用于吸附处理水中的阴离子污染物.

M·Srimurali 等^[9]用高岭土、膨润土、木炭粉、褐煤等几种廉价吸附剂去除水中的氟,膨润土和木炭粉的效果较好,去除率分别为 46%和 38%。

孙家寿等^[10,11]利用羟基铝交联膨润土吸附剂处理含磷废水,一定条件下,吸附效率达 99.7%,吸附容量为 3.26 mg/g(以 P 计),而羟基铝交联蒙脱石对溶液中的磷酸根的吸附容量为 5.56 mg/g,适合条件下磷的去除率接近 100%。黄瑾晖等^[12]研制的海泡石复合吸附剂对磷的去除率可达 98%,吸附容量在 27 mg/g 以上。

栾兆坤等^[13]研制的凹凸棒吸附剂对含氟为 4.20 mg/L 的模拟水样动态吸附,氟的去除率可达 95 % 以上,累计氟吸附容量达到 10.5 mg/g。

中南林学院胡曰利、吴晓芙^[14]等人已对蛭石去除水中的氨氮进行了系统的研究与评价。研究结果表明,蛭石对氨氮的吸附主要是离子交换,物理吸附作用很小;其反应原理为: $Z-M^{+}NH_4^{+}=Z-NH_4^{+}M^{+}$,式中 Z 为蛭石, M^{+} 为蛭石中的金属离子。在常温下的吸附等温线符合 Langmuir 和 Freundlich 公式。

邓雁希等^[15]人的研究表明,通过加热到 700℃ 活化后的膨胀蛭石对磷有较好的去除效果。在蛭石用量为 0.5g/100 ml,模拟磷废水浓度为 10 mg/L、pH 值为 7.50~7.60 时,在很短的时间内就可使残留液浓度降到 0.5 mg/L 以下,去除率可达到 99%以上。在蛭石除磷的过程中,如果有白色絮状物出现,这时候往往有较好的磷去除效果,如果没有该白色絮状物或者其量较少,则去磷效果则较差,据此推断蛭石去除废水中磷的作用包括了吸附和沉淀,但以哪一种为主,还有待于进一步研究。

2.2 去除重金属离子

蒙脱石、海泡石、坡缕石等粘土矿物具有较大的比表面积及离子交换容量,吸附性能较好,对废水中重金属离子的吸附处理有着特殊的功效。

M·Abollino 等^[16]研究表明,随 pH 值的减少,Na 质蒙脱石对 Cd、Cr、Cu、Mn、Ni 和 Pb 的吸附率都呈下降趋势,其超强的吸附特性主要归因于粘土活化后超强的吸附特性,即表面电荷性,结构通道和高比表面积。江伟武等^[17,18]研究认为沸石分子筛对二价铜、三价铬、二价汞有较强的去除作用,按金属与分子筛质量比为 32 mg/g 进行处理,其去除率均达 99%以上。

A·Mellahand 等^[19]研究了锌在天然膨润土上的吸附,当锌浓度为 300 mg/L 时,其单分子最大吸附容量为 52.91 mg/g。R·Naseem 等^[20]将膨润土经 150—200℃ 活化后,对水溶液中 Pb^{2+} 的去除率达 96%以上。Y·AlDegs 等^[21]研究了天然硅藻土和 MnO₂ 改性硅藻土对 Pb^{2+} 的吸附,吸附容量分别为 24 mg/g 和 99 mg/g。T·N·Decastrodantas 等^[22]用微乳液浸渍天然硅藻土,显著提高了对铬的吸附,一定条件下,铬的吸附容量达 28.44 mg/g。B·S·Krishna 等^[23]研究用阳离子表面活性剂溴化十六烷基三甲胺改性高岭土、蒙脱土、柱状膨润土等吸附水中的铬酸盐。

宋金如等^[24]用凹凸棒石粘土动态吸附处理含铀废水,铀的去除率在 99.95%以上。H·Chegrouche 等^[25]研究用天然膨润土吸附去除水溶液中的镉。

郭继香等^[26]人的研究表明:蛭石对重金属离子(如 Hg、Cd、Cu、Fe、Pb、Ni)的吸附主要是离子交换作用的结果,具有较强的吸附性能,吸附速度快;谭光群等^[27,28]研究蛭石对 Cu^{2+} 和 Cd^{2+} 的吸附符合 Langmuir 吸附等温式,对 Pb^{2+} 的吸附还存在一种沉淀机理;吸附行为不仅与蛭石有关,还与金属离子本身有关,蛭石对 3 种重金属离子的吸附顺序为 $Pb^{2+}>Cu^{2+}>Cd^{2+}$ 。

2.3 处理有色废水

近年来,国内外学者在研究粘土矿物处理色废水方面,获得了一定的效果。陈天虎等^[29]将天然蒙脱石经钠化和无机聚合物改性处理后对单色和混合染料废水都有稳定的处理效果。用粉状凹凸棒粘土处理印染废水,投量 0.05%—0.1%,COD_{Cr} 的去除率>70%,色度去除率达 90%。曾秀琼^[30]用羟基铁对膨润土进行改性后,一定条件下,对弱酸性深蓝 GR 的去除率高达 99%以上。邵颖等^[31]采用新型有机—无机改性方法,对浙江临安有机膨润土改性,将双长链阳离子表面活性剂引入膨润土层间,极大地提高了对水中分散大红的吸附性能。王连军等^[32]将膨润土经高温焙烧法活化后,一定条件下对染化废水 COD 去除率为 74%,脱色率为 95%以上。

2.4 处理农药废水

农药废水的污染问题遍及世界各地,其危害已引起了各国环境学者的广泛关注。O·R·Pal 等^[33]研究用高岭土、膨润土和蒙脱石及其经改性的有机粘土吸附去除水中的杀虫剂马拉硫磷(malathion)和去草胺(butachlor),有机粘土的吸附能力显著提高。

E·Gonz—Pradas 等^[34]研究用蒙脱石—Ce 或 Zr 的磷酸盐交联化合物吸附水中的两种除草剂(diquat 和 deisopropylatrazine),铈—蒙脱石的吸附效果优于锆—蒙脱石。

Y·H·Hsu 等^[35]用 HDTMA 改性蒙脱土和蛭石吸附去除除草剂 2,4—二氯苯氧基丙酸,有机蒙脱土效果较好。

2.5 处理含油废水

含油废水是一种量大、面广、成分复杂且危害严重的废水。高效经济的粘土吸附剂是目前研究的重点。金辉等^[36]用有机膨润土处理浓度为 1 500 mg/L 的乳化油实际废水,投加 0.5—1.0g/L 时,去除率达 90%以上。裘祖楠等^[37]将 2.00% 的凹凸棒石和 800 mg/L 的硫酸铝组合使用,对含油 126 000 mg/L 的废乳化液除油率达 98%左右、COD_{Cr} 去除率 89%。George 等^[38]用颗粒有机膨润土处理溶液中的机械乳化油和脂,去除率是活性炭的 5—7 倍。郭继香等^[39]研究表明:采用固定床式吸附柱处理石油污水时,粒度为 0.26 mm 的蛭石 100 g 装柱,污水流出速度为 2 ml/min,接触时间为 2h,对 10L (50±5)℃ 的中性采油污水(pH 为 7.0±0.5)中 COD 的降低效果为 86.8%。王延飞等^[40]把无机阳离子交换到无机粘土上,制得有机粘土吸附剂,考察了有机粘土对催化裂化柴油的吸附精制效果,实验研究结果表明,有机粘土在脱除柴油

中部分含氮化合物的同时,还有一定的脱氮作用。

2.6 处理造纸废水

废纸造纸过程中会产生大量含小纤维、化学助剂、填料等污染物的废水,其可生化性较差,悬浮物含量较高,粘土矿物的细孔结构和巨大的比表面积,对水中溶解性有机物有较强的去除效果。孙家寿等^[41]研究了有机交联膨润土吸附剂对造纸废液的处理,一定条件下,对 COD 的吸附效率可达 61.5%,吸附容量为 549.3 mgCOD/g。王泽民等^[42]用提纯硅藻土下脚料制成复合净水剂,处理不同原料的造纸废水,效果优于硫酸铝絮凝法和酸析法。周平等^[43]研究表明,天然蛭石添加微量三氧化二铁处理草浆造纸黑液,在 pH 为 3,蛭石粒度小于 100 目,用量为 2 g/10 ml 黑液,此时, COD 去除率为 53.2%。任于翎等^[44]以高岭土和活性白土作为去除水中直接混纺黑 D-RSX 的吸附剂,对吸附性能进行了讨论。结果表明,在其它条件相同时,两种粘土对直接混纺黑的吸附效果优于粉状及粒状活性炭。

2.7 处理苯系有机废水

多环芳烃是自然界中普遍存在的污染物,该污染物具有生物难降解性,其危害可以通过食物链扩大,对生物产生致癌、致畸、致突变。国内外许多学者在应用粘土矿物材料处理苯系有机废水做了大量的研究工作。彭书传等^[45]将凹凸棒粘土改性后,一定条件下,对水中酚去除率达到 88.5%。孙家寿等^[46]用羟基铝、硫酸处理过的膨润土对水中酚去除率为 73.88%,可部分代替活性炭。高廷耀等^[47]研究表明,有机铵盐改性蒙脱土和海泡石对水中有机污染物苯、甲苯和乙苯的吸附容量和速度远大于原土。Steven 等^[48]研究了用 4 种不同的季铵化合物改性的蒙脱土对 1,2,4 三氯苯酚在丹宁酸存在时的吸附效果。丹宁酸的存在对 1,2,4 三氯苯酚的吸附无影响。Sung 等^[49]研究证明,改性蒙脱石对水中的苯酚和 2,3 和 4 硝基苯酚的亲合力顺序为:3 硝基苯酚 $\approx$ 4 硝基苯酚 $>$ 2 硝基苯酚 $>$ 苯酚。F A Banat 等^[50]研究了用膨润土吸附溶液中的苯酚,苯酚吸附量随着起始浓度的增加而增加,随着 pH 的增加而减少,溶剂对苯酚的吸附有着明显的影响。

2.8 处理放射性废水

由于粘土矿物对放射性核素优良的离子交换性能而在放射性废水处理中日益得到重视。在放射性废水中,¹³⁷Cs 和⁹⁰Sr 是最常见的剧毒性长寿期裂变产物,加以许多粘土对它们有良好的吸附性,因此在用粘土矿处理放射性废水的研究中对铯、铷的机理研究占有很大的比例。

Jacob 等人 and Sawany 分别研究了粘土矿对 Cs 的吸附机理,认为粘土矿对 Cs 的吸附随不同的阳离子种类而发生很大的变化,同时粘土矿的 C 轴间距和离子交换部位的状态也会随饱和阳离子发生变化。宋金如等^[51]的研究表明,凹凸棒粘土经 5% 的 HCl 处理和 400℃ 焙烧处理后对铯有良好的吸附效果。

2.9 处理藻类污水

体系对锥状斯克里普藻、强壮前沟藻和赤潮异弯藻的去除率,结果表明,该体系对 3 种赤潮生物的去除能力为:锥状斯克里普藻 $>$ 强壮前沟藻 $>$ 赤潮异弯藻,各因子中粘土对赤潮生物去除效果的影响最大。

曹西华等^[53]以常见于我国沿海的有害赤潮生物种——东海原甲藻为目标生物,研究了有机粘土对该藻的去除效果。结果表明,改性后的粘土具有极强的去除赤潮生物能力,当有机粘土的用量为 0.01 g/L 时,在 24 h 内东海原甲藻的去除率大于 95%,而未经改性处理的原土在相同用量下没有表现出对东海原甲藻的有效去除作用,这表明通过有机改性能显著增强粘土的除藻能力。

3 粘土矿物应用于污水处理中的研究展望

粘土类吸附剂由于其特殊结构而具有良好的吸附和离子交换性能及其低廉的价格和丰富的储量,在废水处理众多领域表现出广阔的应用前景,值得深入细致的研究,可以从以下几个方面进行突破。

3.1 结合微生物协同去污

微生物与矿物的相互作用是近年来矿物学、微生物学、化学以及环境学中的热门交叉研究领域,但是微生物与矿物的相互作用对环境的修复作用的研究尚处于起步阶段。微生物不仅能够降解许多环境中的有机污染物,还能够固定重金属离子或氧化还原金属。我们可以研究用粘土矿物来吸附污水中的污染物,然后用微生物方法来处理这些污染物,通过这种方法来实现粘土吸附材料的再生;也可以研究同时用微生物与粘土矿物相互作用来对环境污染加以处理。

3.2 与成型粘合剂联合使用

在不改变粘土吸附性的基础上,选择能够粘合粘土且易成型的粘合剂,使其成型后不在水中分散,并具有一定的机械强度。粘合的对象可以是多种粘土的组合,也可以是粘土与其它添加剂的粘合。

3.3 纳米及分子水平复合新型催化吸附材料的开发

我国粘土矿物资源丰富,为开发粘土矿物应用的广阔市场,必须对粘土矿物进行深加工。由于粘土矿物的孔隙结构会影响其对污染物的吸附能力,所以对于纳米型及分子水平复合新型催化吸附材料的研究应该具有广阔的前景。可以利用层状粘土矿物的吸附性、离子交换性和膨胀性的特点,将许多单体或聚合物嵌入到矿物的层间进而得到粘土矿物纳米复合材料。这样可以增加粘土矿物的层间距,从而提高其吸附能力。对于粘土矿物纳米复合材料的研究涉及到矿物学、化学和材料学等方面知识,对于该方面的研究具有一定的科学意义。

参考文献:

- [1] 石太宏,方建章,王松平,等. 活性碳吸附 Zn(II) 的热力学与机理研究[J]. 水处理技术,1999,25(2):103.
- [2] 李立清. 利用谷壳灰吸附水中 Hg(II) [J]. 污染防治技

- 术, 1998, 11(2): 98.
- [3] 李立雄. 厌氧-好氧-硅藻土处理屠宰废水工程实例[J]. 云南环境科学, 2000, (19): 56—57.
 - [4] 黄凯, 宋崇立, 梁俊福. 硅胶吸附去除高放废液中锆的研究进展[J]. 核科学与工程, 2002, 22(4): 343—348.
 - [5] 沈晓洁. 沸石分子筛的发展及在石油化工中的应用[J]. 辽宁化工, 1997, 26(3): 139—140.
 - [6] 王海波, 周才梅, 修国华, 等. 活性炭纤维在吸附领域的应用[J]. 沈阳化工, 1996, (1): 27—57.
 - [7] N. A. Booker, E. L. Cooney, A. J. Priestley. Ammonia removal from sewage using natural Australian zeolite[J]. Water Science and Technology, 1996, 34(9): 17—24.
 - [8] Mc. Bride, M. B. Environmental chemistry of soils[M]. New York: Oxford University press, 1994.
 - [9] M. Srimurali, A. Pragathi, J. Karthikeyan. A study on removal of fluorides from drinking water by adsorption onto low cost materials[J]. Environmental pollution, 1998, 99: 285—289.
 - [10] 孙家寿, 刘羽, 鲍世聪, 等. 交联膨润土吸附磷研究[J]. 化学工业与工程技术, 1998, 19(2): 1—5.
 - [11] 孙家寿, 刘羽, 鲍世聪, 等. 交联粘土矿物的吸附特性研究(II)—铝交联蒙脱石对磷酸根离子的选择吸附作用[J]. 武汉化工学院学报, 1997, 19(1): 34—37.
 - [12] 黄瑾晖, 王继徽. 新型除磷剂海泡石复合吸附剂的研制与应用[J]. 工业水处理, 1998, 18(2): 17—18.
 - [13] 栾兆坤, 马钢平, 等. 改性凹凸棒氧化膜吸附剂的除氟性能[J]. 大连铁道学院学报, 1998, 19(2): 27—31.
 - [14] 胡曰利, 吴晓芙, 聂发辉. 天然蛭石对污水中氨氮吸附去除率的影响[J]. 中南林学院学报, 2004, 24(1): 30—33.
 - [15] 邓雁希, 许虹, 黄玲, 等. 蛭石去除废水中磷酸盐的研究[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2003, 37(6): 42—44.
 - [16] M. Abollino, A. Aceto. Adsorption of heavy metals on Na⁺ montmorillonite effect of pH and organic substances. Water Research, 2003, 37: 1619—1627.
 - [17] 江伟武, 曾海燕, 张小红. 沸石分子筛处理含铬废水研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1998, 37(增刊2): 153—156.
 - [18] 江伟武, 雷恒毅, 张小红. 沸石分子筛处理含汞废水研究[J]. 广东工业大学学报, 2000, 17(3): 97—100.
 - [19] A. Mellahand, H. Chegrouche. The removal of zinc from aqueous solutions by natural bentonite[J]. Wat. Res., 1997, 31(3): 621.
 - [20] R. Naseem, S. Tahir. Removal of Pb²⁺ from aqueous acidic solutions by using bentonite as an adsorbent[J]. Wat. Res., 2001, 35(16): 3982—3986.
 - [21] Y. Altun, M. A. M. Khrishah, M. F. Tutunji. Sorption of lead ions on diatomite and manganese oxides modified diatomite[J]. Wat. Res., 2001, 35(15): 3724—3728.
 - [22] T. N. Decastro, A. A. Dantas, M. C. P. De A. Moura. Removal of chromium from aqueous solutions by diatomite treated with microemulsion[J]. Wat. Res., 2001, 35(9): 2219—2224.
 - [23] B. S. Krishna, D. S. R. Murty, B. S. Jaiprakash. Surface modified clay as adsorbent for chromate[J]. Applied Clay Science, 2001, 20: 65—71.
 - [24] 宋金如, 龚治湘. 凹凸棒石粘土吸附铀的性能研究及应用[J]. 华东地质学院学报, 1998, 21(3): 265—272.
 - [25] H. Chegrouche, A. Mellahand, T. Elmoune. Removal of lanthanum from aqueous solutions by natural bentonite[J]. Wat. Res., 1997, 31(7): 1733—1737.
 - [26] 郭继香, 袁存光, 郑参军, 等. 用蛭石吸附法脱除污水中的重金属[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1998, 22(2): 60—65.
 - [27] 谭光群, 李晖, 彭同江. 蛭石对重金属离子吸附作用的研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2001, 33(3): 58—61.
 - [28] 李晖, 谭光群, 李瑞. 蛭石对汞的吸附性能研究[J]. 重庆环境科学, 2001, 23(2): 65—67.
 - [29] 陈天虎, 汪家权. 蒙脱石粘土改性吸附剂处理印染废水试验研究[J]. 中国环境科学, 1996, 16(1): 60—63.
 - [30] 曾秀琼. 弱酸性深蓝 GR 在羟基铁柱撑膨润土上的吸附研究[J]. 水处理技术, 2001, 27(4): 200—203.
 - [31] 邵颖, 王青清, 刘维屏, 等. 膨润土改性及其在分散大红溶液脱色处理中的应用[J]. 环境科学与技术, 1997, (4): 16—18.
 - [32] 王连军, 黄中华, 刘晓东, 等. 膨润土的改性研究[J]. 工业水处理, 1999, 19(1): 9—11.
 - [33] O. R. Pal, A. K. Vanjara. Removal of malathion and butachlor from aqueous solution by clay sand or ganoclay[J]. Separation and Purification Technology, 2001, 24: 167—172.
 - [34] E. Gonzalez-Pradas, M. Villafranca-Sanchez, F. Delrey-Bueno, et al. Removal of diquat and isopropylatrazine from water by montmorillonite (Geozr) phosphate cross linked compounds[J]. Chemosphere, 1999, 39(3): 455—466.
 - [35] Y. H. Hsu, M. K. Wang, C. W. Pai, Y. S. Wang. Sorption of 2,4-dichlorophenoxy propionic acid by organo-clay complexes[J]. Applied Clay Science, 2000, 16: 147—159.
 - [36] 金辉, 徐德才, 李忠敏, 等. 有机膨润土处理乳化油废水研究[J]. 环境污染与防治, 1998, 20(6): 11—13.
 - [37] 裴祖楠, 沈祖勤, 张谊, 等. 用凹凸棒石处理高浓度含油废水的研究[J]. 上海环境科学, 1995, 14(2): 22—26.
 - [38] George, R. Alther. Organically modified clay remove Soil from water[J]. Waste Management, 1995, 15(8): 623—628.
 - [39] 郭继香, 袁存光. 吸附法处理石油污水中 COD 的实验研究(I)—吸附剂及吸附条件的选择[J]. 精细化工, 2000,

- 17(9);522—525.
- [40] 王延飞, 王晓兰, 程 健, 等. 有机粘土吸附机制催化裂化柴油[J]. 石油炼制与化工, 2004, 35(12): 53—57.
- [41] 孙家寿, 周卫军, 袁金桃, 等. 交联粘土矿物处理造纸废液的研究[J]. 工业用水与废水, 1999, 30(4): 13—15.
- [42] 王泽民, 董德明. 利用硅藻土复合净水剂处理造纸废水的研究[J]. 非金属矿, 1997, (3): 33—35.
- [43] 周 平, 刘 东. 利用天然蛭石处理造纸黑液[J]. 环境科学研究, 2001, 14(3): 37—39.
- [44] 任于翎, 毕德纯, 杨翔华, 等. 粘土吸附法处理直接混纺黑废水的试验研究[J]. 辽宁城乡环境科技, 2004, 24(3): 35—38.
- [45] 彭书传, 魏凤玉. 有机凹凸棒粘土吸附水中苯酚的试验[J]. 城市环境与城市生态, 1999, 12(2): 14—16.
- [46] 孙家寿, 刘 羽, 鲍世聪, 等. 膨润土吸附剂对水中酚吸附性能研究[J]. 环境保护科学, 1998, 24(1): 12—15.
- [47] 高廷耀, 范瑾初. 蒙脱土和海泡石对水中苯、甲苯和乙苯的吸附研究[J]. 同济大学学报, 1993, 21(2): 139—143.
- [48] Steven, K. Dentel, Ahmad, I. Jamrah, et al. Sorption and cosorption 1, 2, 4-trichlorobenzene and tannic acid by organo-clay[J]. Wat. Res., 1998, 32(12): 3689—3697.
- [49] Sung, C. Kwon, Dong I. S., et al. Adsorption of phenol and nitrophenol isomers onto montmorillonite modified with hexadecyltrimethylammonium cation[J]. Separation Science and Technology, 1998, 33(13): 1981—1998.
- [50] F A Banat, B Al-Bashir, S Al-Asheh, et al. Adsorption of phenol by bentonite[J]. Environmental pollution, 2000, 107: 391—398.
- [51] 宋金如, 龚治湘, 罗明标, 等. 凹凸棒石粘土吸附铀的性能研究及应用[J]. 华东地质学院学报, 1998, (3): 266—168.
- [52] 宋秀贤, 俞志明, 高咏卉, 等. 一种有效去除赤潮生物的粘土复合体系[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1165—1167.
- [53] 曹西华, 俞志明. 有机改性粘土去除有害赤潮藻的研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(7): 1169—1172.

Application and Prospect of Clay Minerals in Wastewater Treatment

NIE Fa-hui^{1,2}, LI Tian¹

(1.School of Environmental Science and Engineering, Tongji university, Shanghai 200092; 2.School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiao Tong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Nowadays, application of clay minerals in purifying wastewater is a popular research subject of wastewater treatment. Firstly, the structure and absorption mechanism of clay minerals are presented briefly. Specially, the current researches in application of clay minerals to wastewater treatment as adsorbent were summarized and introduced detailedly in this paper. Finally, a brief discussion is given to the potential prospect and development of clay minerals applied to the treatment of wastewater.

Key words: clay minerals; wastewater treatment; adsorbent