

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: X2005192002

UDC_____

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

含微量钨废水的吸附处理研究

The Adsorption Treatment of low W-containing Wastewater

汤 瑾

指导教师姓名: 叶李艺 副教授

彭福生 高工

专业名称: 化 学 工 程

论文提交日期: 2010 年 月

论文答辩时间: 2010 年 月

学位授予日期: 2010 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2010 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

- () 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。
- () 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目 录

中文摘要	V
英文摘要	VI
第一章 文献综述	1
1.1 概述	1
1.2 吸附剂及吸附技术简述	1
1.2.1 吸附剂的类型与特征	1
1.2.2 吸附技术及其在水处理中的应用	2
1.3 含钨废料处理工艺的研究进展	9
1.3.1 硬质合金主要回收工艺	9
1.3.2 钨基重合金的再生利用技术	14
1.3.3 废钨材电解法再生技术	15
1.3.4 钨溶液的回收工艺	16
1.3.5 废钨催化剂的回收	18
1.4 本课题研究内容	18
1.4.1 研究的目的和意义	18
1.4.2 研究思路和内容	19
第二章 实验部分	20
2.1 实验原料与仪器	20
2.1.1 实验原料	20
2.1.2 实验仪器	20
2.2 实验方法	21
2.2.1 改性竹炭的制备	21
2.2.2 模拟含钨废水的制备	21
2.2.3 吸附与解吸	21
2.2.4 钨含量的分析方法	22
第三章 竹炭的改性	23

3.1 竹炭改性条件的选择	23
3.1.1 改性剂的选择	23
3.1.2 改性剂用量的确定	25
3.1.3 改性竹炭的稳定性	26
3.2 改性竹炭的性能测定	27
3.3 本章小结	30
第四章 改性竹炭对含钨废水的处理	31
4.1 吸附处理工艺影响因素	31
4.1.1 废水 pH 值的影响	31
4.1.2 改性竹炭用量的影响	32
4.1.3 吸附温度的影响	33
4.1.4 吸附时间的影响	34
4.2 解吸处理工艺影响因素	35
4.2.1 解吸液 pH 值的选择	35
4.2.2 解吸温度的影响	35
4.3 改性竹炭对实际废水的处理实验	36
4.4 含钨实际废水吸附处理的经济与环境效益分析	38
4.5 本章小结	38
第五章 结论与展望	39
5.1 结论	39
5.2 展望	40
参 考 文 献	41
附录 实验数据	44
致 谢	49

Table of Contents

Chinese Abstract	V
Abstract	VI
Chapter 1 LITERATURE REVIEW	1
1.1 Preface	1
1.2 Introduction of adsorbent and adsorption technology	1
1.2.1 Types and characteristics of adsorbents	1
1.2.2 Adsorption and its application in water treatment	2
1.3 Treatment technique of tungsten waste	9
1.3.1 The main recovery process of carbide	9
1.3.2 Tungsten heavy alloy recycling technology	14
1.3.3 Electrolysis recycling of tungsten scraps material	15
1.3.4 Recovery process of tungsten solution	16
1.3.5 Recycling of waste tungsten catalyst	18
1.4 The subject of research	18
1.4.1 Purpose and significance	18
1.4.2 Research ideas and content	19
Chapter 2 EXPERIMENTAL	20
2.1 Experimental materials and instruments	20
2.1.1 Experimental materials	20
2.1.2 Experimental instruments	20
2.2 Experimental methods	21
2.2.1 Preparation of modified bamboo charcoal	21
2.2.2 Preparation of simulated containing tungsten wastewater	21
2.2.3 Adsorption and desorption experiments	21
2.2.4 Analysis of tungsten	22

Chapter 3 Modification of bamboo charcoal	23
3.1 The conditions of modification.....	23
3.1.1 The choice of modifying agents.....	23
3.1.2 Determine the amount of modifying agents.....	25
3.1.3 Stability of modified bamboo charcoal	26
3.2 Measuring the performance of modified bamboo charcoal.....	27
3.3 Summaries	30
Chapter 4 Treatment of tungsten wastewater by modified bamboo charcoal	31
4.1 Adsorption process factors	31
4.1.1 pH of wastewater.....	31
4.1.2 The amount of modified bamboo charcoal.....	32
4.1.3 Adsorption temperature factors.....	33
4.1.4 Adsorption time factors.....	34
4.2 Desorption treatment process factors.....	35
4.2.1 pH of the desorption solution.....	35
4.2.2 Desorption temperature factors.....	35
4.3 The actual wastewater treatment experiment	36
4.4 Economic and environmental benefit analysis	38
4.5 Summaries	38
Chapter 5 Conclusion	39
5.1 Conclusions	39
5.2 Recommendations for further study	40
References	41
Appendix-Experimental data	44
Acknowledgements	49

摘要

钨作为不可再生的战略资源，与国民经济持续稳定发展有着紧密的关联作用。随着开采量的不断增加，战略储备愈来愈少。且现在尚未找到更好的替代材料，资源危机已非遥远。

在钨生产企业，高含量钨废料的回收被高度重视，而一些含微量钨的地方往往被忽视。比如在正常生产过程中，工厂排放的废水中总能检测到微量钨（小于0.01%）的存在，这些钨的流失既对资源保护不利，又对水质构成一定威胁。

理论上，活性炭对大多数的金属元素都有一定的吸附能力，且很多文献上也记载过采用活性炭来富集分离溶液中痕量的钨，从而达到仪器的检出能力。因此，将活性炭吸附运用于含钨的实际废水的处理，将体现出以下优势：活性炭水处理装置占地面积小，易于自动控制，运行管理简单；对水质水温及水量的变化有较强的适应能力；饱和后的活性炭可经再生后重复利用，不产生二次污染。而负载微量的有机试剂后的活性炭能较大程度地提高吸附能力，从而更加有利于活性炭对金属元素的吸附。

本课题主要研究竹炭负载有机试剂 8-羟基喹啉后对钨(VI)的吸附行为的变化情况，和这一吸附过程最佳条件（包括吸附和解吸）的选择，最后验证在最佳条件下对实际废水的处理效果。结果表明，8-羟基喹啉的加入可以较大程度地提高竹炭的吸附能力；改性竹炭对钨(VI)产生吸附时，介质酸度是重要的影响因素，当溶液的 pH 值控制在 2~2.5 时，可到达最佳的吸附效果；解吸需要在碱性的条件下进行，温度在 60℃以上可以得到较高的解吸率；在实际废水的处理中，可以达到对水体中钨(VI)近 80% 的去除率，获得近 70% 的回收钨(VI)，表现出良好的经济和环境效益。

关键词：改性竹炭； 8-羟基喹啉； 含钨废水； 吸附

Abstract

As a kind of non-renewable strategic resources, tungsten is positively correlated with sustainable and stable development of national economy. With the continuous increase in mineral resources exploitation, the natural tungsten materials are becoming scarce. As the better substitution materials have not been found yet, resources crisis is around the corner.

In tungsten enterprises, great attention has been paid to the recycle of high W-containing wastes, while the one of low W-containing wastes is often overlooked. For example, during the normal productive process, trace W (tungsten contain is less than 0.01%) was often detected in the wastewater. Discharge of low W-containing wastewater is not only disbenefit to the protection of resources, but also a threat to the quality of water.

In theory, most metal elements can be absorbed by the activated carbon. And it was also recorded in many literatures that activated carbon was used to accumulate and separate trace tungsten of the solution so as to the point of the amount which can be detected by the equipment in the analytical documentation. Therefore, the application of activated carbon to adsorb trace tungsten in the wastewater could show the following advantages: Firstly, small plant area, automatic runs and easy to control. Secondly, strongly adapt to the wastewater temperature and volume. Thirdly, repeat utilization of saturated activated carbon without secondary pollution. The activated carbon with loaded trace organic reagents has greater adsorption capacity which was benefit to the adsorption of metal elements.

Changes of the adsorption of tungsten in low W-containing wastewater by bamboo charcoal loading with organic reagent 8-hydroxyquinoline, selection of the best conditions during the adsorption process (including adsorption and desorption), and verified experiment about the actual effect of the sort of adsorption under the best conditions were studied in this paper. The adsorption capacity of bamboo charcoal

could be greatly improved by the infusion of 8-hydroxyquinoline. The acidity of adsorbate was an important factor in the adsorption process of tungsten (VI) by the bamboo charcoal. When pH of the solution was controlled between 2 and 2.5, the adsorption effect was best. The desorption process of saturated bamboo charcoal must be in alkaline condition, and when at the temperature of 60 °C or above, the desorption rate was higher. Nearly 80% removal rate of tungsten(VI) from wastewater, and nearly 70% recovery of tungsten(VI) from wastes were achieved in the treatment of actual wastewater with this technology. It indicated that both economic and environmental benefits could be achieved when tungsten was adsorbed from low W-containing wastewater.

Key Words: Modified bamboo charcoal; 8-Hydroxyquinoline; W-containing wastewater; Adsorption

第一章 文献综述

1.1 概述

钨作为不可再生的战略资源,与国民经济的持续稳定发展有着紧密的关联作用,随着开采量的不断增加,战略储备愈来愈少,且现在尚未找到更好的替代材料,资源危机已非遥远。目前,世界上大约有 1/3 的钨来自废弃含钨金属物料的回收^[1],国外钨回收利用率已 34%以上,而我国在 23%左右^[2]。对钨加工企业而言,有义务提高稀缺资源——钨的综合利用率,这也符合发展循环经济的要求,且社会效益、环境效益和经济效益显著。

目前对钨废料的回收技术的研究主要集中在钨含量较大的硬质合金、钨材、高比重合金和电工合金等方面,回收工艺和技术也比较成熟。其中硬质合金的回收主要有高温处理法、电化学法、浸出法等;高比重合金的回收主要有氧化还原法、熔浴法、湿法冶金法等;钨材采用电解法再生;而对含钨稀溶液的处理主要集中在碱转化-人造白钨-酸碱分离工艺、碱转化-离子交换工艺、弱酸化-离子交换工艺、弱酸化-叔胺萃取等工艺,对溶液中微量钨的回收还未受到广泛关注,相关的回收处理工艺研究较少。本文拟借鉴吸附剂在水处理中的应用原理,对含钨溶液进行回收处理研究,并对上述不同类别钨废料的回收工艺作简要的介绍。

1.2 吸附剂及吸附技术简述

吸附剂是指在吸附过程中,用以选择性吸附气体或液体混合物中某些组分的多孔性固体物质,通常制成球形、圆柱形或无定形的颗粒或粉末。

1.2.1 吸附剂的类型与特征

优良吸附剂应具有的特性主要是单位质量吸附剂具有较大的表面积,对吸附质具有较大的吸附能力(即平衡吸附量大),并且具有良好的选择性,即能优先吸附混合物中某些组分,化学性质稳定。此外,还要求容易再生(即平衡吸附量对温度或压力的变化敏感),具有足够的强度和耐磨性等。广泛应用于工业的吸附

剂还需要具备价格低廉，供应量大等特点。

吸附剂可按孔径大小分为粗孔和细孔吸附剂，按颗粒形状分为粉状、粒状、条状吸附剂，按化学成分分为炭质和氧化物吸附剂，按表面性质分为极性和非极性吸附剂。

非极性吸附剂又称为疏水性吸附剂，如活性炭：它最适宜从极性溶媒，尤其是水溶液中吸附非极性物质。吸附芳香族化合物的能力大于无环化合物。

极性吸附剂又称为亲水性吸附剂，适用于非极性或极性较小的溶媒。如硅胶、氧化铝，活性土皆属此类。另外，该类吸附剂可以是中性、酸性或碱性。碳化钙、硫酸镁等属中性吸附剂。氧化铝、氧化镁等属碱性吸附剂。酸性硅胶、铝硅酸属酸性吸附剂。碱性的吸附剂适用于吸附酸性的物质，而酸性吸附剂适用于吸附碱性的物质。氧化铝及某些活性土为两性化合物，因为经酸或碱处理后很容易获得另外的性质。各种有机离子交换树脂也是属于极性吸附剂，因为它是两性化合物，具有离子交换剂的性质。工业发酵中常用于发酵产品的脱色和分离杂质。

还有一类被称作腐植酸类吸附剂，主要包含：天然的富含腐植酸的风化煤、泥煤、褐煤等，它们可以直接使用或经简单处理后使用；将富含腐植酸的物质用适当的粘合剂制备成的腐植酸系树脂。腐植酸类物质能吸附工业废水中的许多金属离子，如汞、铬、锌、镉、铅、铜等。腐植酸类物质在吸附重金属离子后，可以用 H_2SO_4 、 HCl 、 $NaCl$ 等进行解吸。目前，这方面的应用还处于试验、研究阶段，还存在吸附(交换)容量不高，适用的 pH 值范围较窄，机械强度低等问题。

1.2.2 吸附技术及其在水处理中的应用

利用吸附法进行废水处理，具有适应范围广、处理效果好、可回收有用物料以及吸附剂可重复使用等优点，因此随着现有吸附剂性能的不断完善以及新型吸附剂的研制成功，吸附法在水处理中的应用前景也更加广阔。以下简述几种吸附剂及其在水处理中的应用。

1.2.2.1 活性炭

吸附剂中活性炭应用于水处理已有几十年的历史。60年代后有很大发展，国内外的科研工作者已在活性炭的研制以及应用研究方面作了大量的工作。制作活性炭的原料种类多、来源丰富，包括动植物(如木材、锯木屑、木炭、谷壳、椰子壳、稻麦杆、坚果壳、脱脂牛骨、鱼骨等)、煤(泥煤、褐煤、沥青煤、无烟煤

等)、石油副产物(石油残渣、石油焦等)、纸浆废物、合成树脂以及其他有机物(如废轮胎)等。但是,活性炭因生产工艺、原料的不同,性能悬殊非常大,用途也不一样,目前工业上使用的活性炭有粒状和粉状两种,其中以粒状为主。与其他吸附剂相比,活性炭具有巨大的比表面积以及微孔特别发达等特点,因此是目前废水处理中普遍采用的吸附剂。活性炭去除水中的对象成分包括^[3]:游离氯、高锰酸钾消耗量、溶存臭氮、色度着色成分、溶存氨(联氨分解)、发泡成分、表面活性剂、异臭成分、苯酚、氯苯酚、三氯甲烷、农药类、三氯乙烯等氯系溶剂、多氯联苯(PCB)、有机氯化物(TOX)、油分、三卤甲烷前体物质、重金属(特别对Hg)、TOX前体物质、铁、锰、COD、病毒、TOC、热源、氨、BOD。

活性炭的再生是活性炭能否广泛使用的关键问题,因此国内外在这方面进行了大量的研究。目前,活性炭的再生方法主要有加热再生法、药剂再生法、化学再生法、湿式氧化再生法和生物再生法等。用加热再生法处理活性炭时,炭的损失率高,而且再生成本也较高,而药剂再生法处理成本高并易造成二次污染,因此化学再生法(如臭氧再生法)、生物再生法和湿式氧化再生法是今后活性炭再生方法的发展方向^[4]。与国外同类产品相比,我国活性炭存在产量少、质量差、使用寿命短、再生率低等缺点,因此如何改进活性炭生产工艺,提高其产量和质量是当前迫切需要解决的问题。

1.2.2.2 粉煤灰陶粒

付江盛等^[5]采用电厂粉煤灰加适量的粘结剂和造孔剂,经球磨、脱水、成球、干燥,在1150~1200℃高温下烧制,制备了多孔陶粒,它是一种以废治废的环保型吸附剂。粉煤灰的主要成分是SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO和未燃尽的炭。他们制得的粉煤灰陶粒外观呈球形,多孔陶粒开口气孔率较高,陶粒有大量小颗粒附着在其表面,表面凹凸不平,粗糙,有利于微生物的附着挂膜,不容易脱落。样品内部的微孔非常发达,孔的形态也不规则,以三维交错的网状孔道贯穿其中,孔隙的内表面凹凸不平,具有很高的比表面,孔隙的分布较均匀,发达的孔径分布有利于挂膜、吸附、净化和过滤。他们用粉煤灰多孔陶粒作吸附剂处理含铬废水,结果表明粉煤灰多孔陶粒吸附水中的铬的等温方程基本符合Langmuir等温方程;溶液初始pH值对Cr(VI)的去除率有很大影响,在pH值为酸性时对铬的去除率较好;用HCl和NaOH溶液再生粉煤灰多孔陶粒,酸的效果更好;要提高粉煤

灰多孔陶粒的吸附性能可对其进行表面改性。

1.2.1.3 硅藻土

硅藻土是古代单细胞低等植物硅藻的遗体堆积后,经过初步成岩作用而形成的多孔性的生物硅质岩。硅藻土的主要化学成分是无定型的 SiO_2 ,并含有少量的 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 和有机质等。硅藻土作为吸附剂具有孔隙率高、比表面大、容重小、吸附性强、耐磨、耐酸等优良特性,可作为微孔过滤陶瓷的原料,也可作为吸附剂用于废水处理行业中。用氢氧化物及含铝矿物对硅藻土进行改性处理,使硅藻土的孔壁得到清理,孔体积和表面积增加,堆积密度减少。在改性处理过程中,硅藻土中部分硅藻质氧化硅被氢氧化物溶蚀,造成表面部分缺陷,这些缺陷部位带有负电荷,带正电荷的碱金属和碱土金属离子因被吸引而结合在新鲜的缺陷表面上,碱金属、碱土金属离子与硅藻土中硅藻质氧化硅表面的这一结合,为F的去除提供了更为良好的条件。通过碱金属和碱土金属的媒介作用,F离子被硅藻土所吸附而从废水中除去。刘祺等^[6]利用上述的改性原理,处理工业含F废水中F的去除,结果表明F离子的去除效果明显优于原土,除F率可达到97%以上。处理的最佳条件为:改性硅藻土加入量为100~150 mg/l, pH值为6~9,室温条件下处理时间为60 min。处理后的废水中F离子浓度达到国家污水排放标准。硅藻土作为价格低廉、来源广泛的一类吸附剂,有较好的工业应用价值。

1.2.1.4 改性壳聚糖

壳聚糖是甲壳素经化学法处理脱乙酰基后的产物,是自然界中仅次于纤维素的第二大天然高分子化合物,来源极其丰富。作为一种天然线形高分子碱性多糖,壳聚糖具有无毒无味,生物相容性好的特点。壳聚糖分子链的糖残基上既有羟基也有氨基,易改性,而且与其他吸附剂相比,壳聚糖具有吸附容量大、净化效率高、用量少、使用寿命长、可再生和不造成二次污染等优越性,因此壳聚糖被认为是水处理领域中最具潜力的环境友好型吸附材料。尽管如此,壳聚糖机械强度不高、易在酸性介质中溶解、对重金属离子的吸附易受水体pH值的影响等弱点,使得壳聚糖的应用受到很大的限制。针对这些不足,人们通过改变壳聚糖结构与性质、改进吸附剂制备方式等途径制备出了多种性能优异的壳聚糖类吸附剂。经过有针对性的交联、接枝等方法改性之后,壳聚糖的机械强度、在酸性介质中的稳定性、对重金属离子的吸附选择性等性质都能够得到一定的改善和提

高。陈培榕等^[7]研究了壳聚糖吸附处理低浓度重金属废水，文中综述了壳聚糖吸附处理低浓度重金属废水的研究进展，重点比较了壳聚糖微球与壳聚糖膜对水体中重金属离子的吸附效果，总结了用以提高壳聚糖吸附剂性能(如吸附容量、吸附选择性、稳定性等)的各种途径及其改善效果。针对壳聚糖类重金属吸附剂应用中仍然存在的一些不足，结合废水处理的实际需求，探讨了今后的研究中值得关注的方向。

1.2.1.5 纳米磁吸附剂

纳米磁吸附是20世纪90年代国外用于处理工业废水的一种新技术。有人利用白俄罗斯研制的新的纳米磁吸附剂进行试验，在处理工业废水时，该纳米磁吸附剂对重金属离子的去除率可达99.5%，具有固液分离速度快、能再生重复使用多次、操作简单等显著的特点。根据工业废水的具体情况，纳米磁吸附技术可以单独使用也可与其他方法相结合联合使用，发挥其联合法的综合作用。纳米吸附剂用于溶液中重金属离子的去除时，当pH值为6.5~7.0，投入吸附剂后，搅拌5~20 min，溶液中的重金属离子显示已经被纳米吸附剂所吸附，具体的模拟试验为将烧杯放置在磁铁上，烧杯中的吸附剂迅速下沉至底部，上层清水已基本没有重金属离子，达到了除去溶液中的金属离子的目的。吴义千等^[8]根据纳米磁吸附剂对Cu、Pb、Zn、Cd离子的吸附量和吸附残剩浓度随原始浓度增大而增加的结果进一步试验得出：少量纳米吸附剂可多次吸附金属离子，其吸附效果将大幅度增加，对已使用过的纳米吸附剂能够再生重新使用，其吸附处理效果好。纳米磁吸附剂应用于工业废水处理中将有光明的前景。

1.2.1.6 生物吸附剂

生物吸附剂是指某些具有吸附重金属污染物和/或有机污染物的生物体及其人工制备的衍生物。主要有两大类：微生物和巨型藻类。其中，微生物包括原核微生物(细菌、放线菌、粘细菌、鞘细菌、蓝细菌等)和真核微生物(酵母菌、霉菌、微型藻类等)^[9]。

生物吸附是指固相(生物吸附剂)与液相(溶剂，通常情况下是水)之间所发生的传质过程，一般包括被动吸附和主动吸附两种模式。被动吸附模式是一个物理吸附过程，其特征表现为：在吸附过程中，不需要消耗能量，主要是通过细胞壁官能团与重金属离子和微量难降解有机物分子之间的范德华力、静电作用力和毛

细力等所进行的生物吸着；而主动吸附模式则是一个化学吸附过程，其特征表现为：吸附过程是一个依赖于活体新陈代谢的过程，需要消耗能量，主要是通过细胞壁官能团与微量难降解重金属离子和有机物分子之间形成化学吸附键或细胞内的酶促作用所进行的生物转运、生物沉淀和生物积累。生物吸附剂的吸附机理，由于受自身生理结构和外界环境因素的复合影响，变得相当复杂，所以尚无明确而完整的定论，还处于进一步探索和研究阶段。不过，根据近10年来国内外的研究成果，主要可以归纳出三个吸附机理，即细胞外吸附机理、细胞表面吸附机理和细胞内吸附机理。

生物吸附剂最早被用来吸附废水中的重金属离子，应用目的是净化水质。目前，随着研究的深入，生物吸附剂的应用领域逐渐被扩展到富集回收，贵金属和脱除染料、难降解和有毒害的有机物。被吸附富集的物质往往对环境具有毒害作用，因此吸附过程结束后要对吸附饱和的吸附剂进行处理，否则会造成二次污染。一般可通过填埋或焚烧手段对其进行集中处理，其中通过焚烧可以分解有毒物质和回收贵金属。对于成本高和能多次使用的生物吸附剂，则可以使用解吸方法来收集吸附质和再生吸附剂。生物吸附剂的应用领域主要为废水净化和重金属富集回收，随着研究的不断深入，生物吸附技术展现了优良的应用性能和广阔的应用前景。陈丽丹等^[10]探讨了金属离子浓度、藻粉用量对两种常见大型海藻马尾藻(*Sargassum fusiforme*)、海带(*Laminar-ponica*)吸附重金属离子(Cu、Pb、Cd、Ni)的影响。得出藻粉对重金属离子的吸附率，随藻粉投入量的增加而增加。而单位重量藻粉的吸附量却随藻类浓度的增加而减少。以上对生物吸附剂的研究，大多数仍停留在实验阶段，离实际生产生活中大规模的应用尚有一段距离。主要由于对重金属和微量难降解有机物吸附的细胞学机理还没有系统而完整的认识，尤其是在细胞外吸附机理方面。

1.2.1.7 改性纤维素

改性纤维素吸附剂就是利用物理、化学方法对富含纤维素的物质进行处理，使其成为具有良好吸附性的一类功能高分子材料。纤维素是地球上最丰富的天然高分子物质，其来源广泛，如棉花、麻、大豆壳、木屑、锯屑、谷壳、稻壳、秸秆、橘子皮、咖啡渣、茶渣、树皮、草等等，其主要成分就是纤维素。

由于纤维素是一种纤维状、多毛细管的立体规整性高分子聚合物，具有多孔

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 for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库