

学校编码: 10384

密级\_\_\_\_\_

学号: 33320131151753

厦门大学

硕士学位论文

基于 $\cdot\text{OH}$ 的高藻水处理组合工艺的构建及  
试验研究

A combined process for algae-laden water treatment based  
on hydroxyl radical

满化林

指导教师姓名: 白敏冬 教授

专业名称: 环境工程

论文提交日期: 2016年5月

论文答辩时间: 2016年5月

2016年5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

摘要.....	I
Abstract .....	III
第 1 章 绪 论.....	1
1.1 水源地高藻爆发威胁饮用水安全 .....	1
1.1.1 我国水源地高藻爆发现状及主要成因 .....	1
1.1.2 常规工艺处理高藻水的弊端 .....	3
1.1.3 饮用水供水卫生保障的重大民生意义 .....	4
1.2 国内外饮用水处理系统现状 .....	5
1.2.1 基于 Cl <sub>2</sub> 消毒的饮用水处理系统.....	6
1.2.2 基于 ClO <sub>2</sub> 消毒的饮用水处理系统.....	7
1.2.3 基于 O <sub>3</sub> 消毒的饮用水处理系统 .....	8
1.3 高级氧化技术羟基自由基处理高藻水的研究进展 .....	9
1.3.1 •OH 的基本性质 .....	9
1.3.2 现有•OH 生成技术及存在的问题 .....	10
1.3.3 •OH 处理高藻水的研究进展 .....	11
1.4 本文研究工作 .....	12
第 2 章 基于•OH 的高藻水处理工艺系统构建 .....	15
2.1 工艺流程设计方案 .....	15
2.2 •OH 处理设备.....	19
2.2.1 •OH 等离子体发生器 .....	21
2.2.2 气液混溶器 .....	23
2.2.3 •OH 的生成.....	24
2.3 常规饮用水处理系统 .....	27
2.3.1 混凝沉淀池 .....	27

2.3.2 砂滤池 .....	28
2.3.3 清水池 .....	30
2.4 常规饮用水处理系统管路改造 .....	30
2.4.1 •OH 强氧化处理管路 .....	31
2.4.2 •OH 消毒管路 .....	32
2.5 本章小结 .....	34
<b>第 3 章 高藻水混凝沉淀预处理的实验研究 .....</b>	<b>35</b>
3.1 实验流程 .....	35
3.2 检测方法 .....	36
3.2.1 水质指标的检测 .....	36
3.2.2 藻浓度的检测 .....	37
3.3 实验结果与讨论 .....	37
3.3.1 混凝剂的选取 .....	37
3.3.2 沉淀时间的确定 .....	43
3.3.3 硅藻土对混凝效果的影响 .....	48
3.3.4 混凝沉淀预处理 .....	51
3.4 本章小结 .....	55
<b>第 4 章 •OH 处理莲坂水厂高藻水实验 .....</b>	<b>57</b>
4.1 高藻水处理的实验系统 .....	57
4.2 检测方法 .....	58
4.2.1 TRO 的检测 .....	58
4.2.2 常规水质的检测 .....	59
4.2.3 三维荧光光谱扫描 .....	59
4.3 实验结果与讨论 .....	60
4.3.1 •OH 对藻细胞杀灭效果 .....	60
4.3.2 常规水质的变化 .....	61
4.3.3 三维荧光光谱分析 .....	63

4.4 本章小结 .....	67
<b>第 5 章 •OH 处理高藻水的中试试验 .....</b>	<b>69</b>
5.1 实验方法 .....	69
5.1.1 高藻水处理工艺流程 .....	69
5.1.2 ClO <sub>2</sub> 的制备 .....	72
5.2 检测方法 .....	72
5.2.1 ClO <sub>2</sub> 的检测 .....	72
5.2.2 微生物的检测 .....	74
5.2.3 离子色谱的检测 .....	74
5.2.4 消毒副产物的检测 .....	75
5.3 •OH/ClO <sub>2</sub> 处理高藻水的对比实验 .....	76
5.3.1 •OH/ClO <sub>2</sub> 致死藻细胞及微生物的分析 .....	76
5.3.2 各单元水质的变化情况 .....	79
5.3.3 消毒副产物的分析 .....	83
5.4 本章小结 .....	86
<b>结论与展望 .....</b>	<b>88</b>
结论 .....	88
展望 .....	90
<b>参考文献 .....</b>	<b>91</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>97</b>

## Contents

Abstract .....	III
1 Introduction .....	1
1.1 Water blooms threatening the safety of drinking water .....	1
1.1.1 Main course of algal bloom and the current situation .....	1
1.1.2 Disadvantages of conventional treatment process to treat algae-laden water ....	3
1.1.3 The significance of the safety of drinking water .....	4
1.2 Current situation of drinking water treatment.....	5
1.2.1 Drinking water treatment systems based on Cl <sub>2</sub> .....	6
1.2.2 Drinking water treatment systems based on ClO <sub>2</sub> .....	7
1.2.3 Drinking water treatment systems based on O <sub>3</sub> .....	8
1.3 Research progress of treating algae-laden water by advanced oxidation technology ..	9
1.3.1 Characteristics of •OH.....	9
1.3.2 The development and existing problems of the advanced oxidation technologies .....	10
1.3.3 Research on the treatment of algae-laden water by •OH.....	11
1.4 Main research works .....	12
2 A combined process for algae-laden water treatment based on hydroxyl radical .....	15
2.1 Process design.....	15
2.2 •OH treatment equipment .....	19
2.2.1 Plasma generator.....	21
2.2.2 Jet eductor.....	23
2.2.3 The production of •OH .....	24
2.3 Conventional water treatment equipments .....	27
2.3.1 Coagulation-sedimentation tank .....	27

2.3.2 Sand filter.....	28
2.3.3 Clean water tank .....	30
2.4 Modified pipe for conventional drinking water treatment system.....	30
2.4.1 Modification of system piping.....	31
2.4.2 Sampling points setting.....	32
2.5 Summary of this chapter .....	34
3 Experimental study on coagulation pretreatment for algae-laden water .....	35
3.1 Experiment process.....	35
3.2 Analysis methods .....	36
3.2.1 Water quality analysis .....	36
3.2.2 Algal counting and detection .....	37
3.3 Results and discussion .....	37
3.3.1 The selection of coagulants.....	37
3.3.2 Determination of the settling time .....	43
3.3.3 The influence of diatomite to coagulation .....	48
3.3.4 Coagulation pretreatment.....	51
3.4 Summary of this chapter .....	55
4 Experimental study on $\bullet$ OH treating algae-laden water of Lianban water plant .....	57
4.1 Process flow of water plant.....	57
4.2 Analysis methods .....	58
4.2.1 TRO analysis.....	58
4.2.2 Water quality index analysis .....	59
4.2.3 EEM analysis .....	59
4.3 Results and discussion .....	60
4.3.1 Effect of $\bullet$ OH on the treatment of algae .....	60
4.3.2 Effect of $\bullet$ OH on water quality .....	61



4.4 Summary of this chapter .....	67
5 A pilot-scale experimental study on $\bullet$ OH treating algae-laden water .....	69
5.1 Treatment systems for algae-laden water.....	69
5.1.1 Process flow of the algae-laden water processing system .....	69
5.1.2 Preparation of $\text{ClO}_2$ .....	72
5.2 Analysis methods .....	72
5.2.1 $\text{ClO}_2$ analysis .....	72
5.2.2 Ion chromatographic analysis .....	74
5.2.3 Disinfection by-products analysis.....	75
5.3 Results and discussion .....	76
5.3.1 Effect on algae and bacteria.....	76
5.3.2 Effect on water quality.....	79
5.3.3 Effect on disinfection by-products.....	83
5.4 Summary of this chapter .....	86
Conclusions and Prospect .....	88
Conclusions.....	88
Prospect.....	90
References .....	91
Acknowledgements.....	97

## 摘要

我国水体的富营养化问题日益严重，导致大量水源地出现季节性的藻类爆发现象。由于藻类爆发的水体中藻细胞浓度急剧增加、有机物含量升高，传统饮用水处理工艺已无法满足处理要求。因而，需要改造原有处理工艺以解除高藻水引发的饮用水供水卫生安全威胁。本文依托国家科技支撑计划项目“高藻水源地供水卫生保障羟基自由基氧化技术研发与示范”(NO.2013BAC06B00)，利用大气压强电离放电制备羟基自由基( $\cdot\text{OH}$ )技术，以厦门市水源地高藻水为研究对象，构建了高藻水 $\cdot\text{OH}$ 处理系统，探索了高藻水预处理条件，完成了 $\cdot\text{OH}$ 和 $\text{ClO}_2$ 处理高藻水的中试对比实验，取得的主要成果有：

(1) 结合传统饮用水处理工艺，采用强电场电离放电制备 $\cdot\text{OH}$ ，完成混凝沉淀 $\rightarrow\cdot\text{OH}$ 强氧化处理 $\rightarrow$ 砂滤 $\rightarrow\cdot\text{OH}$ 消毒灭菌处理新工艺的构建。以亚微米 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 为高性能电介质，采用窄间隙介质阻挡放电，加工成等离子体发生器，利用高压射流原理，实现高浓度 $\cdot\text{OH}$ 溶液的制备。实现了高藻水中藻细胞的去除和致病微生物的杀灭，终端出水达到《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)的要求，保证饮用水卫生安全。

(2) 针对高藻水，开展了混凝剂种类的选取、沉淀时间的确定和助凝剂的影响等预处理条件的探索。结果表明，采用聚合双酸铝铁混凝剂，混凝沉淀时间为20.0~30.0 min时，高藻水中藻细胞的去除效率可达88.19%，同时可有效去除水中的悬浮物质，使浑浊度降至3.0 NTU左右，DOC降低30.0%左右。

(3) 以厦门市莲坂水厂各工艺段出水为研究对象，将 $\cdot\text{OH}$ 溶液分别注入至原水、混凝沉淀出水和砂滤出水当中，考察不同水质条件下羟基溶液的最佳投加剂量。结果表明：在水源水藻浓度高达 $25.3\times 10^4$  cells/mL的情况下， $\cdot\text{OH}$ 可在4.5 s内高效杀灭水中的藻类，对原水、混凝沉淀出水和砂滤出水的最佳处理浓度分别为1.8、0.6和0.2 mg/L，致死率接近100%；经 $\cdot\text{OH}$ 处理后，水中总有机碳(TOC)和耗氧量( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ )均有明显降低，三维荧光扫描(EEM)结果显示，水中溶解性有机物(DOM)的荧光强度降低了近70%。

(4)  $\cdot\text{OH}/\text{ClO}_2$ 处理高藻水的中试试验。结果显示：藻浓度为 $3.50\times 10^4$  cells/mL的高藻水在经过0.88 mg/L的 $\cdot\text{OH}$ 溶液处理9.8 s后，水中藻细胞浓度为 $0.02\times 10^4$  cells/mL；而 $\text{ClO}_2$ 对比处理后剩余藻浓度为 $1.37\times 10^4$  cells/mL。 $\cdot\text{OH}$ 处理流程终端出水TOC含量为1.13 mg/L； $\text{ClO}_2$ 处理流程终端出水TOC含量为1.38 mg/L，结合各工艺段水质数据

分析,表明 $\cdot\text{OH}$ 对有机物的氧化降解效果优于 $\text{ClO}_2$ 。 $\cdot\text{OH}$ 处理系统终端出水未检测到藻细胞,并且所有检测的指标均符合《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)要求。

综上所述,本文组建的高藻水 $\cdot\text{OH}$ 处理系统可高效去除水中藻细胞,杀灭有害致病微生物,氧化降解有机物,无有害消毒副产物生成,保障饮用水卫生安全,为高藻爆发时水源水的应急处理提供了新思路。

关键词:高藻水;羟基自由基;工艺系统;饮用水安全。

## Abstract

In recent years, eutrophication has affected more and more fresh water lakes. Algae-laden water contains a high concentration of algae cells and organisms. In conventional process of drinking water treatment, algal blooms may cause negative influence and difficulties for water treatment. In order to treat algae-laden water, we must upgrade the progress of drinking water treatment. This paper based on national science and technology support program (NO. 2013BAC06B00), took algae-laden water in Xiamen City water source as the research object using the technology of hydroxyl radicals produced by strong ionization discharge. In this work, we has constructed a algae-laden water processing system to explore algae-laden water treatment condition and complete a comparison experiment of the effect of hydroxyl radicals and chlorine dioxide on algae-laden water treatment. The main achievements are as follows:

(1) A algae-laden water processing system combined the conventional process of drinking water treatment and Strong electric field ionization discharge to produce  $\bullet\text{OH}$  had been constructed, which contained a procedure of coagulating sedimentation  $\rightarrow$   $\bullet\text{OH}$  strong oxidation treatment  $\rightarrow$  sand filter  $\rightarrow$   $\bullet\text{OH}$  sterilization construction. Under the condition of strong ionization discharge,  $\text{O}_2$  are ionized and dissociated by high-energy electrons to form highly reactive oxygen species. Then these species were injected into the jet device to form  $\bullet\text{OH}$ . The algae-laden water processing system realized the removal of algae and the kill of pathogenic microorganisms, making terminal water supply met "drinking water health standard" (GB5749-2006), therefore ensured drinking water safety.

(2) We explored the optimizing pretreatment conditions of the coagulant, confirmation of precipitation time and effect of coagulant for algae-laden water. The result showed that the removal rate of algae can be up to 88.19% in the coagulation-sedimentation process, when Polymeric Aluminum Ferric Chlorine Sulfate (PAFCS) used as coagulant and precipitation time was 30.0 minutes. Under the enhanced coagulation conditions, suspended matter was removed effectively, the turbidity was nearly 3.0 NTU, and the removal efficiency of DOC was

30%

(3) The article focused on algae-laden water of Xiamen Lianban water plant, investigate optimal dosage of  $\bullet\text{OH}$  injected into the raw water, coagulation sedimentation water and sand filtration effluent. When the water algae concentration up to  $25.3 \times 10^4$  cells/mL, the dominant algae is pseudoanabaena. The result showed that:  $\bullet\text{OH}$  can efficiently kill algae, bacteria and other microorganisms. The optimum concentration of raw water, coagulation sedimentation water and sand filtration effluent water was 1.8, 0.6 and 0.2 mg/L respectively. Fatality rate approached nearly 100%. After  $\bullet\text{OH}$  treatment, the total organic carbon (TOC) and oxygen consumption ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ) significantly reduced. And dissolved organic matter (DOM)'s fluorescence regional integration (FIR) also had an about 70 percent reduction

(4) The effect of  $\bullet\text{OH}$  and  $\text{ClO}_2$  for algae-laden water treatment was compared in a pilot-scale experiment. The result showed that after algae-laden water with  $3.50 \times 10^4$  cells/mL algae concentration was treated by 0.88 mg/L  $\bullet\text{OH}$  for 9.8 s, all the algal cells were dead. But after the treatment of  $\text{ClO}_2$ , the algae concentration was still  $1.37 \times 10^4$  cells/mL remained. After  $\bullet\text{OH}$  treatment process, the TOC content in the water was 1.13 mg/L, while after  $\text{ClO}_2$  treatment process, the TOC content was 1.38 mg/L. According to the analysis of water quality data in each process section, the results showed that  $\bullet\text{OH}$  was superior to  $\text{ClO}_2$  in the oxidation and degradation of organic compounds.  $\bullet\text{OH}$  treatment system terminal effluent was not detected algal cells and all the detection indicators met the GB5749-2006 standard.

In conclusion, the algae-laden water processing system in this paper can efficiently remove algae cells, destroy harmful pathogenic microorganisms, oxidate and degradate organic compounds without generating harmful disinfection by-products. Therefore it protects the health and safety of drinking water and provides a new idea for the emergency treatment of water source water in high algae outbreak.

Key Words: Algae-laden water; hydroxyl radicals; process systems; safety of drinking water.

## 第1章 绪论

### 1.1 水源地高藻爆发威胁饮用水安全

饮用水是人类生存的基本需求, 饮用水安全问题, 直接关系到广大人民群众的健康。自 2007 年由太湖蓝藻水华引发饮用水危机以来<sup>[1]</sup>, 蓝藻水华一直备受社会各界和各管理部门的关注和高度重视。在我国, 每年约有 1.9 亿人患病, 其中 6 万人死于由水污染引起的疾病, 例如肝癌和胃癌; 有 3 亿人饮用水供给得不到保障, 面临饮用水短缺问题。2009 年一项全国范围内的评估报告中, 受调查的 4000 个城市水处理厂中 25% 不符合质量控制要求, 2011 年的研究报告表明我国 634 处江河、湖泊和水库的水质有将近一半未达到饮用水标准。如今, 这一数字还在上升。这引发了公众对于饮用水健康问题的担忧。

#### 1.1.1 我国水源地高藻爆发现状及主要成因

湖泊水与河流库区水约占我国饮用水水源的 25%, 该水体高藻爆发的频率与严重程度近年来均有明显的增长趋势<sup>[2]</sup>。高藻爆发是水体富营养化的结果, 一般水质表现为藻浓度高,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  高, 氮磷等营养盐含量高<sup>[3]</sup>, 超过国家地表水 III 类标准, 而无法作为饮用水水源。2014 年中国环境状况公报显示, 全国 62 个重点湖泊和水库中, 15 个为 IV 类, 4 个为 V 类, 5 个为劣 V 类, 主要污染指标为高锰酸盐指数。

高藻水, 即水华爆发后的淡水水体。目前研究人员普遍认同的蓝藻水华是指水体中叶绿素 a 浓度高于  $10.0 \mu\text{g/L}$  或者藻浓度超过  $1.5 \times 10^4 \text{ cells/mL}$ , 并且在水体表面覆盖一层蓝绿色亦有恶臭的泡沫<sup>[4]</sup>。在我国, 发生水华的蓝藻共计 26 种, 其中优势藻属微囊藻属(*Microcystis kutz*)和鱼腥藻属(*Anabaena*)各有 10 和 12 种。

近年来, 全球水华的分布范围、发生频率以及其造成的危害和损失都呈现明显的增长趋势<sup>[5]</sup>。我国状况也不容乐观, 水华爆发日益严重。其中, 当水华爆发时, 太湖和巢湖爆发水华的湖面基本呈绿色油漆状, 并有鱼类尸体漂浮其上, 如图 1-1 所示。



图 1-1 水华湖面

Fig. 1-1 Cyanophyceae bloom on lake surface

1990年7月份,太湖水域梅梁湖爆发水华,湖面被藻类覆盖,大量藻细胞堆积于梅园水厂取水口,堵塞取水管道,妨害水厂的正常运行,导致无锡市自来水供给量日减产50000.0 t,116家工厂受牵连,被迫减产、甚至停产。造成1.3亿元经济损失,同时致死鱼类45000.0 kg<sup>[6]</sup>。1999年,滇池爆发蓝藻水华,藻类覆盖面积高达20.0 km<sup>2</sup>,厚10.0 cm,水质严重恶化,迫使昆明市第三自来水厂停产。2007年5月,太湖水域爆发蓝藻水华,无锡市除锡东水厂以外,其余水厂原水水质均被污染。城区自来水水质不达标,并散发出强烈的腥臭味,导致300万市民用水告急<sup>[7]</sup>。2011年8月,太原汾河流域爆发水华,爆发面积横向100.0 m,纵向可达数千米,汾河岸边被大量水藻覆盖,部分河段水域呈现绿色油漆状,并且有死亡的鱼类和鸟类尸体漂浮在水面。2014年8月湖北武汉南湖爆发蓝藻水华,覆盖面积近6500.0亩湖面。每天30艘渔船打捞几十吨蓝藻,依旧无法组织蓝藻水华的蔓延势头。

九龙江是福建省内第二大河流,地处福建省西南部,九龙江流域总面积14714 km<sup>2</sup>,流经区域主要有龙岩市、漳州市和厦门市。流域内主要市区人口约有351.81万人。在福建省的社会建设和经济发展中占有重要地位<sup>[8]</sup>。

厦门市内的高殿水厂、杏林水厂和莲坂水厂等多个水厂的饮用水水源都来自九龙江北溪流域,是厦门市最重要的饮用水水源。近年来,九龙江流域不断受到工业废水、生活污水和养猪业废水的污染,水体早已呈现富营养化状态,水质日益恶化。主要超标因子为:化学需氧量(COD<sub>Mn</sub>)、氨氮(NH<sub>3</sub>-N)、总磷(TP)和大肠菌群。大部分水段属于地表水Ⅲ类水、部分水段甚至为Ⅴ类水。水华现象也频

繁发生<sup>[8]</sup>。

2009年和2010年1月、2011年8月，九龙江北溪流域分别爆发甲藻水华，经检验其优势藻为拟多甲藻，拟多甲藻水华虽然不会释放藻毒素，但是水华爆发后水体呈深褐色并有一定的藻腥味，对该流域的龙岩、漳州和厦门的社会生活和工业生产造成了一定影响<sup>[9]</sup>。

Dokulil 与 Teubner<sup>[10]</sup>使用中纬度地区各水域的原始数据和文献资料分析并讨论了水华爆发的机制，认为水华主要由以下原因造成：营养盐浓度、水体形态、水温、水底光可用性和混合条件等。

营养盐浓度是影响藻类生长最重要的外部条件。水体中氮磷浓度分别超过0.5 mg/L 和 0.02 mg/L，就可能爆发水华<sup>[4]</sup>。随着工业革命的发展，越来越多的氮磷被排放到开放水域当中，致使我国主要地表水氮磷污染严重，富营养化问题突出，为藻类的生长提供了绝佳的营养盐条件。汉江下游在1992、1998、2000年的2~3月分别爆发了三次硅藻水华。发生水华时水体中氮浓度在1.126~1.635 mg/L 之间，磷浓度在0.0196~0.0807 mg/L 左右<sup>[11]</sup>。此外氮磷营养盐的不同形态和氮磷比也会影响藻类的生长情况。

藻类生长受光照强度和水温的影响明显，水华爆发多发生在温度较高的春季、夏季和秋季，其中7~9月份属于水华爆发的高峰时期。这段时期光照充足，水温较高，非常有利于藻类的光合作用，以促进自身的生长。此外，全球的水华爆发地区也多集中在温带和亚热带等中纬度地区，正是因为这些地区光线充足，水温适宜，为藻类繁殖提供了得天独厚的条件。随着全球气温变暖，水温将从多种渠道促进水华爆发<sup>[12]</sup>。

除上文两项重要影响因素以外，还有其他次要因素，如：pH、水文条件和微量元素等都会影响藻类的生长和水华的爆发。

### 1.1.2 常规工艺处理高藻水的弊端

水体一旦爆发水华，大量藻类细胞、悬浮颗粒、无机离子、溶解性和不溶性有机物形成一个稳定的胶体体系，常规水处理工艺(混凝沉淀→砂过滤→氯气消毒)已不能适应。藻浓度过高会对水厂处理设备造成负担，甚至致使水厂减产或停产。常规工艺处理高藻水的弊端主要有以下几方面。

(1) 混凝沉淀(气浮)：高藻水消耗大量混凝剂，出厂水面临铝、铁离子浓度超



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts 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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.