

学校编码: 10384

学号: 20620071150906

分类号__密级__

UDC__

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

化学镀镍及废液处理技术

Technology of Electroless Nickel Plating and
Exhausted Bath Treatment

王文静

指导教师姓名: 肖宗源 副教授

专 业 名 称: 化 学 工 程

论文提交日期: 2010 年 5 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 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

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

目 录.....	I
Table of Contents	I
摘 要.....	I
Abstract.....	II
第一章 绪论	1
1.1 化学镀镍发展简史	1
1.2 化学镀镍的研究现状及应用	2
1.3 化学镀镍废液特点及环境危害	4
1.4 研究意义	6
第二章 文献综述	7
2.1 化学镀镍工艺原理	7
2.1.1 化学镀镍镀液组成及作用.....	7
2.1.2 化学镀镍主要影响因素.....	10
2.1.3 化学镀镍动力学基础.....	11
2.1.4 化学镀镍反应热力学基础.....	14
2.1.5 化学镀镍反应机理.....	15
2.2 化学镀镍废液处理工艺	18
2.2.1 化学沉淀法.....	19
2.2.2 催化还原法.....	20
2.2.3 离子交换法.....	21
2.2.4 电解回收法.....	22
2.2.5 膜分离法.....	23
2.2.6 吸附材料处理法.....	24
2.2.7 生物法.....	24
第三章 化学镀镍稳定剂的研究	26
3.1 引言	26
3.2 实验试剂与材料	26
3.3 实验设备及流程	27

3.4 化学镀镍镀液中各组分的测量方法	29
3.4.1 硫酸镍含量的测定.....	29
3.4.2 次磷酸钠含量的测定.....	30
3.4.3 亚磷酸钠含量的测定.....	31
3.5 化学镀镍实验分析方法	33
3.5.1 沉积速率的测定.....	33
3.5.2 表面形态的分析.....	33
3.5.3 镀层 Ni-P 含量的分析.....	34
3.5.4 镀层结构的分析.....	34
3.6 实验结果与讨论	34
3.6.1 非重金属稳定剂浓度和种类对镀速影响.....	34
3.6.2 稳定剂种类对镀层表面形貌影响.....	38
3.6.3 稳定剂浓度对镀层表面形貌影响.....	40
3.6.4 稳定剂的种类对镀层 Ni-P 含量影响.....	41
3.6.5 稳定剂的浓度对镀层 Ni-P 含量影响.....	43
3.6.6 稳定剂类型和浓度对镀层结晶度的影响.....	44
第四章 化学镀镍废液处理	46
4.1 引言.....	46
4.2 实验试剂与设备.....	46
4.3 实验工艺流程与操作步骤.....	48
4.4 实验分析方法.....	50
4.5 实验结果与讨论.....	53
4.5.1 总磷去除率的单因素研究.....	53
4.5.2 总磷去除率的正交优化.....	56
4.5.3 镍离子去除率的单因素研究.....	58
4.5.4 镍离子去除率的正交优化.....	62
第五章 结论与建议	65
5.1 结论.....	65
5.2 建议.....	65
参 考 文 献	67
发表 论 文	71
致 谢	72

Table of Contents

Table of Contents in Chinese	I
Table of Contents	I
Abstract in Chinese.....	I
Abstract.....	II
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Background of Electroless Nickel Plating	1
1.2 Current Research Situation and Applications of Electroless Nickel Plating	2
1.3 Characteristics of Exhausted Bath and Environmental Hazard	4
1.4 Objective of Present Study	6
Chapter 2 Literature Review	7
2.1 Principles of Electroless Nickel Plating Process	7
2.1.1 Composition and Function of Electroless Nickel Plating Bath	7
2.1.2 Main Influence Factors of The Electroless Nickel Plating	10
2.1.3 Dynamics Fundamentals of Electroless Nickel Plating	11
2.1.4 Thermodynamics Fundamentals of Electroless Nickel Plating	14
2.1.5 Reaction Mechanisms of Electroless Nickel Plating	15
2.2 Treatment Process of The Electroless Nickel Plating	18
2.2.1 Methods of Chemical Precipitation	19
2.2.2 Methods of Catalytic Reduction	20
2.2.3 Methods of Ion Exchange	21
2.2.4 Electrolytic Recovery Act Methods.....	22
2.2.5 Methods of Membrane Separation.....	23
2.2.6 Absorption Materials Handling Methods.....	24
2.2.7 Biological Methods	24
Chapter 3 Study of Stabilizers in Electroless Nickel Plating.....	26
3.1 Introduction	26
3.2 Reagents and Materials.....	26
3.3 Experimental Procedures and Apparatus.....	27
3.4 Measurement of the Bath Components	29
3.4.1 Measurement of NiSO ₄ Concentration	29
3.4.2 Measurement of NaH ₂ PO ₂ Concentration	30

3.4.3 Measurement of NaHPO_3 Concentration.....	31
3.5 Experimental Analysis of Electroless Nickel Plating	33
3.5.1 Measurement of Plating Rate.....	33
3.5.2 Analysis of Surface Morphology.....	33
3.5.3 Analysis of Ni-P Content of the Deposits.....	34
3.5.4 Analysis of the Deposit Structure	34
3.6 Results and Discussion	34
3.6.1 Effect of Stabilizer Type and Concentration on Plating Rate.....	34
3.6.2 Effect of Stabilizer Type on Surface Morphology	38
3.6.3 Effect of Stabilizer Concentration on Surface Morphology.....	40
3.6.4 Effect of Stabilizer Type on Ni-P Content of the Deposits.....	41
3.6.5 Effect of Stabilizer Concentration on Ni-P Content of the Deposits	43
3.6.6 Effect of Stabilizer Type and Concentration on the Degree of Crystallinity of the Deposits	44
Chapter 4 Treatment of Exhausted Bath	46
4.1 Introduction	46
4.2 Reagents and Apparatus.....	46
4.3 Experimental Procedures and Programs.....	48
4.4 Analytic Methods.....	50
4.5 Results and Discussion	53
4.5.1 Single Factor Study on Phosphorus Removal Efficiency	53
4.5.2 Orthogonal Experiment of Phosphorus Removal Efficiency.....	56
4.5.3 Single Factor Study on Nickel Ion Removal Efficiency.....	58
4.5.4 Orthogonal Experiment of Nickel Removal Efficiency.....	62
Chapter 5 Conclusions and Recommendations	65
5.1 Conclusions	65
5.2 Recommendations	65
References	67
Publication	71
Acknowledgements	72

摘要

化学镀镍 (Electroless nickel plating)。是一项近几十年才发展起来的表面保护技术,是通过溶液中适当的还原剂使镍离子在镀件表面自催化作用下进行还原的沉积过程。由于其具有镀层均匀、工艺设备简单、操作灵活、优异的防腐性能、高硬度与高耐磨性等特点,使得这项工艺发展迅速,市场需求不断扩大。目前这项技术已被广泛应用于电子、机械、化工、航空航天等诸多高科技领域,是目前发展速度最快的表面处理工艺之一。

本文研究了铜表面化学镀镍技术,尤其是镀液中稳定剂的类型和浓度对镀速及镀层表面的影响。运用了扫描电镜、能谱分析、X射线衍射等检测方法,分析镀层的表面形貌和镀层中的镍磷含量。研究表明稳定剂的种类不同,对镀速和镀层形貌的影响有很大的差异。硫代硫酸钠做稳定剂时镀速相对较快,而以碘化钾做稳定剂时,镀液中碘化钾浓度变化范围可以比较大;当加入稳定剂引起沉积速度偏快时,会造成沉积表面不够均匀平整;而沉积速度过慢时,在限定的时间内表面覆盖不全,残余很多未覆盖的小空区,使得镀层表面表现为不光滑、不光亮、空隙率大,耐腐蚀性也会很差。稳定剂浓度不同时对镀液和镀层影响也非常大,硫代硫酸钠、碘化钾、硫脲、苯并三氮唑等在合适的浓度范围内除了起稳定作用外,还兼有加速剂的作用。当稳定剂的种类和浓度改变时,镀层的镍磷含量也会发生相应的变化,以烯丙基硫脲做稳定剂时镀层是高磷镀层,耐腐蚀性优异,是近年来化学镀镍不断优化的方向;而以硫脲做稳定剂时,镀层为低磷镀层,镀层硬度高,耐磨损,镀层应力均匀、稳定,工艺操作范围广。

此外,化学镀镍废液中含有大量的镍、磷等离子,直接排放会对环境产生非常大的危害。本文利用化学沉淀法回收废液中的镍离子,处理废液中的总磷,使废液达到排放标准。通过对废液中镍磷去除率的单因素研究和正交实验筛选出,选择加热时间 2h,加热温度 80℃,双氧水 14ml/100ml、氢氧化钠 12g/100ml 时,镍离子的回收率可达 99.9516%。次氯酸钙除磷时,选择温度为 60℃,反应时间 90min, $n\text{Ca}(\text{ClO})_2 : n\text{P}$ 的值为 2.5 时,总磷的去除率可达 99.9035%以上。可以达到排放标准。

关键词: 化学镀镍; 稳定剂; 表面形貌; 废液处理; 沉淀法

Abstract

As a surface protection technology, Electroless Nickel Plating (ENP) was developed quickly in recent decades. It is a deposition process that applies appropriate amount of reductant into the solution to deposit nickel-phosphorus alloy on the exterior of workpiece by utilizing the autocatalytic redox reaction. The advantages of this technique, such as simple facility, convenient manipulation, flexible technics, symmetrical coating, high hardness, endurance, denseness and corrosion-resistant, make it widely developed in industrial application. It is widely applied in the hi-tech field of chemical engineering, electronics, machinery, aviation etc, and is considered as one of surface treatment technologies which has grown fastest nowadays.

In this study, ENP on the copper surface, especially the effects of stabilizer type and concentration on the plating rate and deposits, were investigated. Scanning Electron Microscope (SEM), X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) and *X-Ray* Diffraction (XRD) were used to analyze the surface morphology and Ni-P content of the deposits. It was found that stabilizer type has significant effects on plating rate and deposits' Surface Morphology. The plating rate is relatively faster for stabilizer NaS_2O_3 . When KI was used as a stabilizer, it may have a large concentration range. Too fast plating rate due to the additive of stabilizer may cause uneven deposits, while too slow plating rate cannot make the deposits through the whole workpiece surface within limited time, which will cause the deposits unsmooth, unlustrious, with porosity and bad corrosion resistance. Stabilizer concentration also has large effects on plating rate and deposits. Within certain concentration range, stabilizers, such as NaS_2O_3 , KI, Thiourea and Benzotriazole, act not only as a stabilizer but also as an accelerator in plating process. Ni-P content of deposits changes with the difference of the stabilizer type and concentration. High Phosphorus deposits with excellent corrosion resistance were obtained by applying Allyl thiourea as a stabilizer, which is the research trend for ENP optimization in recent years. However, low Phosphorus deposits, for example Thiourea as stabilizer, have some advantages such as good hardness and abrasion, uniform stress and wide range of process operation.

If the exhausted ENP bath containing numerous Nickel and Phosphorus ion were discharged directly, it will cause enormous environmental pollution. In the present

study, recovery of Nickel and Phosphorus ion from exhausted bath was investigated with precipitation method. By single factor and orthogonal experiment, the optimized conditions for total Nickel and Phosphorus removal efficiency were obtained, which were as follows: reaction time 2h, temperature 80 °C, dosage of Hydrogen peroxide 14 ml/100ml and dosage of sodium hydroxide 12 g/100ml. The removal efficiency of Nickel ions can reached 99.9516%. To recover Phosphate using Calcium hypochlorite, the removal efficiency of total Phosphorus can reach 99.9035% with the conditions of temperature 60°C, reaction time 90 min and ratio of $n\text{Ca}(\text{ClO})_2 : n\text{P}$ 2.5. After the treatment with above method, the exhausted ENP bath satisfy the discharge standard.

Keywords: Electroless Nickel Plating; Stabilizer; Surface Morphology; Exhausted Bath Treatment; Precipitation Method

第一章 绪论

1.1 化学镀镍发展简史

化学镀 (Electroless Plating)。是通过溶液中适当的还原剂使金属离子在金属表面的自催化作用下进行还原的金属沉积过程,也叫无电解镀、自催化镀^[1]。

化学镀镍按pH值分为酸浴和碱浴工艺。酸浴pH值一般在4~6,碱浴pH值一般大于8。按其磷含量(重量百分比)的不同可分为低磷镀液、中磷镀液和高磷镀液三大类:磷含量在1%~5%之间的称为低磷,磷含量在5%~9%的为中磷,磷含量高于9%的为高磷。酸性镀液中镀层磷含量较高,一般为8%~13.5%^[2]。低磷镀层大都从低温碱浴中得到,也有采用酸性高温工艺的^[6]。按镀液工艺温度则有高温浴(85~95℃)和低温浴(60~70℃),有些室温镀液^[2,3,4,5]的报道,仅限于实验室研究阶段,工业应用还较少^[2,3,4,5]。

化学镀的发展史主要就是化学镀镍的发展史^[6]。早在1844年, A.Wurtz就发现了次磷酸盐在水溶液中能还原出镍的现象,以后相继还有一些报道,但都没有实用价值。而美国国家标准局的A.Brenner和G.Riddell开发了可用于实际生产的化学镀液并进行了相关的科学研究,因此他们被认为是这项技术真正的奠基者^[2]。后来, G.Gutzeit在A.Brenner和G.Riddell工作的基础上比较系统地论述了化学镀镍的机理,还原剂、络合剂的性质和作用,这成为化学镀镍的理论基础。1955年在美国通用运输公司建成了第一条试生产线,用化学镀镍镀覆运输苛性碱贮槽内壁,开始了化学镀镍的工程应用^[3]。但由于成本高、镀液寿命短且含有某些有毒物质,化学镀镍技术的应用受到限制。到了20世纪70年代,科学技术的发展和工业的进步极大地促进了化学镀镍的研究、开发和应用。化学镀镍技术在工艺、配方、监控、维护和废液处理等方面均获得了迅速发展。20世纪80年代后,化学镀镍有了很大的突破,一方面开发了耐蚀性较好的高磷非晶结构镀层,另一方面初步解决了化学镀镍中长期存在的一些问题,如镀液寿命、稳定性等,同时基本实现了镀液的自动控制,使连续化的大型生产有了可能,化学镀镍的应用范围和规模进一步扩大。

与传统的电镀相比,化学镀具有十分显著的优势^[4]:

(1) 化学镀的镀层厚度非常均匀，化学镀液的分散力接近100%，无明显的边缘效应，特别适合形状复杂工件、腔体件、深孔件、盲孔件、管件内壁等的表面施镀。而这对于电镀来说，因其受电力线分布不均匀的限制是很难做到的。由于化学镀的镀层厚度均匀且易于控制，表面光洁平整，一般不需要镀后加工，适宜于进行选择性的施镀；

(2) 化学镀可以通过敏化、活化等预处理在非金属，如塑料、玻璃、陶瓷及半导体材料表面进行施镀，而电镀只能在金属导体表面上施镀。因此，化学镀是非金属表面金属化的常用方法，也是非金属材料电镀前做导电底层的主要方法之一；

(3) 化学镀镍工艺设备简单，不需要外加电源、输电系统及其辅助电极，操作时只需要把镀件正确悬挂在镀液中即可；

(4) 化学镀是靠基体的自催化作用起镀的，因此其结合力一般均优于电镀。化学镀的镀层有光亮或半光亮的外观、晶粒细、致密、孔隙率低，某些化学镀的镀层还具有特殊的物理化学性能。

1.2 化学镀镍的研究现状及应用

近20年来化学镀镍技术飞速发展，在与其他表面处理技术激烈竞争的形势下，平均年净增长速率高达10%~15%^[7]。由于镀层质量取决于镀液和施镀工艺条件等因素，因此对镀液的研究十分重要^[6]。据不完全统计，目前世界上至少有两百种以上的成熟化学镀镍配方，一些有代表性出售镀液的公司有：美国的M&T Chemicals Ltd. Allied-Kelite Div. Witeo Chemical Corp., Enthone Inc., Shipley Company, Hidility Co. Wear-Cote International Inc.; 英国的W. Canning Materrals Ltd., Harshaw Chemicals Limited; 德国的 Friedr. Blasberg GmbH.&Co.KG; 日本的上村株式会社、奥野株式会社等^[7]。伴随着化学镀镍技术的快速发展，人们对于镀液的成分也进行了不断革新。1955年，美国通用运输公司在进行了大量研究的基础上，首次提出商品化的Kanigen法，并成功应用于运输苛性碱的槽车贮槽内壁获得成功，随后又于1964年和1968年相继开发了DuraPosit法和Durnicoat法。

与此同时，对于化学镀镍的大量基础理论和开发应用研究也在迅速展开。美国《Products Finishing》杂志社自1979年开始，每两年举办一次化学镀镍的专题学术交流会，至今已成功举办了多届，而且美国电镀与表面处理学会举办的历届

年会均有化学镀镍专题论文发表^[6]。虽然我国的化学镀镍技术发展起步较晚，但近几年的发展势头极为迅猛。据不完全统计，国内已有300多个化学镀镍厂家，国外化学镀镍浓缩液的知名品牌也纷纷进入中国市场。

化学镀镍是一项工业应用很广的表面处理技术。它的工业应用主要围绕着以下几大特点^[7]：

(1) 均镀、深镀能力（也就是对各种几何形状，尤其是深孔、盲孔工件的表面镀覆，主要针对其无孔不入的特点）；

(2) 优异的防腐性能（也就是化学镀层非晶态的特点，特别是在油田化工设备、海洋、岸基设备等上的镀覆）；

(3) 良好的可焊性（尤其是对在镀层表面进行锡焊的工件的镀覆）；

(4) 高硬度与高耐磨性能（主要是对汽配、摩配、各种轴类、钢套、模具的表面镀覆）；

(5) 电磁屏蔽性能（主要对计算机硬盘、飞机接插件等电子元器件的表面镀覆）；

(6) 适应绝大多数金属基体表面处理的特性（主要对铝及铝合金、铁氧体、钕铁硼、钨镍钴等特殊材料的表面镀覆）。

由于化学镀镍的以上特点，它被广泛地应用于电子、计算机、机械、交通运输、能源、石油天然气、化学化工、航空航天、汽车、冶炼、食品加工、印刷、模具、纺织、医疗器械等诸多高科技领域，是目前发展速度最快的表面处理工艺之一^[9,10]。

同样，化学镀在我国也引起了充分的重视，从1992年首届化学镀镍会议之后每两年召开一届，截至2008年9月，已经召开了9届全国化学镀会议，为我国表面科学的发展作出了积极的贡献。据估计^[11]，截至2004年8月第7届全国化学镀会议召开，我国已有类似的大中小型化学镀厂上千家（包括外资、台资在大陆建厂），主要分布在珠江三角洲，江浙沪和东北地区。总体而言，我国的化学镀镍发展起步较晚，在基础理论、工艺、设备规模、镀层质量等方面与欧美先进国家相比有相当大的差距。

随着电子、计算机和通信等高科技产业的迅猛发展，为化学镀镍技术提供了巨大的市场，将促使化学镀镍技术持续快速的发展。预期在21世纪，化学镀镍技术仍将是一项很有生命力的表面处理技术。

1.3 化学镀镍废液特点及环境危害

正是由于化学镀镍越来越广泛的应用,它所带来的环境污染和资源浪费问题也越来越不容忽略,现已引起人们高度重视广泛关注。

随着整个社会环保意识的增强,对自然环境的保护越来越受到重视。化学施镀过程中会产生大量废气、废液和废渣等有害物质,特别是产生废液。化学镀镍废水主要有以下几个特点^[12,13,14]:

- (1) 化学镀镍液中存在镍的络合物,而且这些络合物大都是外轨型的,对镍具有较强的络和特性,例如:柠檬酸镍、酒石酸镍、苹果酸镍等等;
- (2) 镀液中存在较大量具有还原特性的次磷酸盐以及亚磷酸盐;
- (3) 镀液中存在大量 pH 值缓冲剂,如醋酸、丁二酸等,还有光亮剂和稳定剂等有机物。

未经处理的化学镀镍废水对环境的危害主要存在于以下几方面:

(一)重金属污染,重金属是对生态环境危害极大的一类污染物。因其进入环境后不能被生物降解,除部分为水生物、鱼类吸收,参与食物链循环,并最终在生物体内积累,破坏生物体正常生理代谢活动,进而危害人体健康。其他大部分易被水中各种有机和无机胶体及微粒物质所吸附,再经聚集沉降沉积于水体底部。重金属废水排入水体后,污染持续时间很长。

重金属对生物体有着严重的危害作用。镍进入人体后主要是存在于脊髓、脑、五脏和肺中,以肺为主。如误服较大的镍盐时,可以产生急性胃肠道刺激现象,发生呕吐、腹泻。其毒性主要表现在抑制酶系统,如酸性磷酸酶。镍及其盐类对电镀工人的毒害,主要是导致镍皮炎。某些皮肤过敏的人长期接触镍盐,先以发痒起病,在接触镍的皮肤部位首先产生皮疹,呈红斑、红斑丘疹或毛囊性皮疹,以后出现散布在浅表皮的溃疡、结痂,或出现湿疹样病损。

重金属在低浓度时就对大多数微生物具有明显毒性,其毒性除与浓度有关外,更取决于存在状态。同时,微生物具有适应重金属化合物生长并代谢这些物质的活性。微生物代谢活动可改变环境中金属的状态,从而改变它们的性质,包括生物效应^[15,16,17]。

重金属毒物具有下述特点^[18]:

- (1) 不能被生物降解,而只能在各种形态间相互转化、分散;
- (2) 在天然水体中只要有微量重金属即可产生毒性反应,一般重金属产生

毒性的范围大约在 1~10mg/L 之间, 毒性较强的重金属如汞、镉等毒性浓度范围在 0.001~0.1mg/L 能被生物富集于体内, 即危害生物, 又通过食物链危害人体;

(3) 毒性以离子态存在时最为严重, 金属离子在水溶液中容易被带负电荷的胶体吸附, 吸附金属离子后的胶体可随水迁移, 但大多数会迅速沉降, 因此, 重金属一般都富集在排污口下游一定范围的底泥中。

同时, 重金属镍是一种价格昂贵的重金属。目前, 据上海金属网报道, 2009 年 4 月 17 日金属镍现货的价格为 136000 元/吨, 且其价格走势呈明显的上升趋势^[19], 故对含镍废液不加以处理、回收利用而任意排放, 也是一种资源的浪费。

(二) 水体富营养化, 国际经济合作与开发组织对水质富营养化的研究表明: 氮、磷等营养物质的输入和富集是水体发生富营养化的最主要原因。降低水体中的磷是解决水体富营养化的根本。水体富营养化, 常导致水生生态系统紊乱, 水生生物种类减少, 多样性受到破坏。

水体富营养化的危害主要表现在三个方面^[20]:

(1) 富营养化造成水的透明度降低, 阳光难以穿透水层, 从而影响水中植物的光合作用和氧气的释放, 同时浮游生物的大量繁殖, 消耗了水中大量的氧, 使水中溶解氧严重不足, 而水面植物的光合作用, 则可能造成局部溶解氧的过饱和。溶解氧过饱和以及水中溶解氧少, 都对水生动物(主要是鱼类)有害, 造成鱼类大量死亡。

(2) 富营养化水体底层堆积的有机物质在厌氧条件下分解产生的有害气体, 以及一些浮游生物产生的生物毒素(如石房蛤毒素)也会伤害水生动物。

(三) 水体有机物污染, 有机物水污染是指耗氧有机污染物引起水体溶解氧含量大幅度下降的现象。水中有机物大多数能够被微生物分解与利用。这类有机物在分解过程中需要消耗水中溶解氧, 故称耗氧污染物。溶解氧大幅度下降, 是水体遭受有机物污染后的最显著的特征。

水体遭受有机物污染的危害有下列几方面:

(1) 大量需氧有机物进入水体, 被好氧微生物分解, 使溶解氧大幅度下降, 甚至造成缺氧状态, 危害水生物, 有时使大批鱼类死亡。溶解氧耗尽时, 有机物转入厌氧分解过程, 产生甲烷、硫化氢、氨等还原性物质和恶臭, 使水质变坏。

(2) 流动缓慢、更新期长的水体, 如湖泊、池塘等封闭性水域, 接纳大量含氮、磷有机废水后, 促使藻类大量繁殖, 形成“水华”。藻类死亡后沉入水底, 厌氧分解, 释放出氮、磷等, 使藻类更加增殖, 形成水体质量恶性循环, 不宜鱼

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