

学校编码: 10384

密级_____

学号: 22320131151381

廈門大學

硕士学位论文

闽江下游及河口水域溶解氧分布
及富营养化评价

The Distribution of Dissolved Oxygen and Eutrophication
Assessment in the Downstream, Estuary Water of Minjiang
River

倪冠韬

指导教师姓名: 高爱国 教授

专业名称: 海洋化学

论文答辩时间: 2016年5月

论文提交日期: 2016年6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(厦门大学海洋与地球学院高爱国教授)课题(组)的研究成果,获得国家自然科学基金项目《闽江下游入海物质形态及通量研究(41376050)》课题(组)经费或实验室的资助,在(厦门大学海洋与地球学院、福州市海洋与渔业技术中心)实验室完成。

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.....	VII
ABSTRACT.....	IX
第一章 前言.....	1
1.1 研究意义与概况.....	1
1.1.1 研究意义.....	1
1.1.2 国内外研究概况.....	2
1.1.2.1 国外研究概况.....	2
1.1.2.2 国内研究概况.....	7
1.1.2.3 闽江研究概况.....	13
1.1.3 选题依据.....	14
1.2 研究内容与技术路线.....	15
1.2.1 研究内容.....	15
1.2.2 技术路线.....	16
第二章 区域概况与样品采集.....	17
2.1 区域概况.....	17
2.1.1 自然背景.....	17
2.1.1.1 水文特征.....	17
2.1.1.2 气候气象.....	19
2.1.2 社会背景.....	20
2.2 样品采集.....	21
第三章 实验方法与材料.....	24
3.1 实验材料.....	24
3.2 实验方法与流程.....	24
3.1.1 溶解氧分析方法.....	24
3.1.2 其他环境要素分析方法.....	25
第四章 溶解氧含量分布与影响因素.....	28

4.1 表层溶解氧含量水平.....	28
4.2 溶解氧分布规律与影响因素.....	31
4.2.1 溶解氧分布规律.....	31
4.2.2 影响因素.....	37
4.3 溶解氧水-气通量估算.....	41
4.3.1 估算模型与参数.....	41
4.3.2 溶解氧水-气通量.....	47
4.4 本章小结.....	51
第五章 富营养化评价及污染物通量估算.....	52
5.1 富营养化评价方法.....	52
5.1.1 单因子法.....	52
5.1.2 综合指数法.....	53
5.2 富营养化评价结果.....	58
5.2.1 营养指数法.....	58
5.2.2 潜在性富营养化评价法.....	59
5.2.3 有机质指数法.....	61
5.2.4 模糊数学评价体系.....	62
5.2.5 评价结果讨论.....	68
5.3 化学需氧量、总磷和氨氮通量估算.....	72
5.3.1 通量估算方法.....	72
5.3.2 通量估算结果.....	75
5.4 本章小结.....	77
第六章 结语.....	79
6.1 总结.....	79
6.2 不足与展望.....	81
参考文献.....	82
致谢.....	93
在学期间论文发表与参与项目情况.....	95

Catalogue

ABSTRACT.....	IX
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Research Significance and Review.....	1
1.1.1 Research Significance.....	1
1.1.2 Research Review Domestically and aboard.....	2
1.1.2.1 Research Review Domestically.....	2
1.1.2.2 Research Review Aboard.....	7
1.1.2.3 Research Review of Minjiang.....	13
1.1.3 Basis of Dissertation.....	14
1.2 Research Contents and Technical Route.....	15
1.2.1 Research Contents.....	15
1.2.2 Technical Route.....	16
Chapter 2 Regional General Situation and Sampling.....	17
2.1 Regional General Situation.....	17
2.1.1 Natural Situation.....	17
2.1.1.1 Hydrological Characteristics.....	17
2.1.1.2 Climate and Weather.....	19
2.1.2 Social Situation.....	20
2.2 Sampling.....	21
Chapter 3 Experimental Methods and Materials.....	24
3.1 Experimental Materials.....	24
3.2 Experimental Methods.....	24
3.1.1 Experimental Methods of Dissolved Oxygen.....	24
3.1.2 Experimental Methods of Other Factors.....	25
Chapter 4 Distribution and Influencing factors of Dissolved Oxygen.....	28
4.1 Contents of Dissolved Oxygen in Surface water.....	28
4.2 Distribution and Influencing factors of Dissolved Oxygen.....	31

4.2.1 Distribution of Dissolved Oxygen.....	31
4.2.2 Influencing factors of Dissolved Oxygen.....	37
4.3 Estimation of Air-Water Flux of Dissolved Oxygen.....	41
4.3.1 Estimation Model and Parameters.....	41
4.3.2 Air-Water Flux of Dissolved Oxygen.....	47
4.4 Summary of Chapter.....	51
Chapter 5 Eutrophication Evaluation and Pollutants Flux.....	52
5.1 Eutrophication Evaluation Methods.....	52
5.1.1 Single Factor Methods.....	52
5.1.2 Comprehensive Index Method.....	53
5.2 Eutrophication Evaluation Results.....	58
5.2.1 Nutrition Index Method.....	58
5.2.2 Potential Eutrophication Evaluation.....	59
5.2.3 Organic Matter Index Method.....	61
5.3.4 Fuzzy Mathematics Evaluation System.....	62
5.2.5 Results and Discussion.....	68
5.3 COD, TP and Ammonia Nitrogen Flux Estimation.....	72
5.3.1 Estimation Methods.....	72
5.3.2 Estimation Results.....	75
5.4 Summary of Chapter.....	77
Chapter 6 Conclusion.....	79
6.1 Conclusion.....	79
6.2 Insufficient and Prospect.....	81
References.....	82
Acknowledgement.....	93
Papers Published and Projects Taken in.....	95

摘 要

闽江流域在我国东南沿海具有重要地位,但由于种种原因,其研究程度和所受的关注度相对较低。近年来,随着闽江流域沿岸经济发展,其污染程度日益加重,不仅使流域水质恶化,更对沿岸生产生活带来不利影响,更进一步威胁近岸的生态环境。为了解闽江下游与河口水域溶解氧四季变化规律,综合评价其富营养化程度,探讨污染物源汇之间的输运通量情况,本文利用2014年8月~2015年5月期间,闽江下游水口水库,至河口表层水样,依据《海洋调查规范》等多项标准中的方法,对温度、盐度、溶解氧、高锰酸钾指数、化学需氧量(COD)、硝酸氮($\text{NO}_3\text{-N}$)、亚硝酸氮($\text{NO}_2\text{-N}$)、氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)、活性磷酸盐($\text{PO}_4\text{-P}$)等多项水质指标进行调查。绘制分布图,分析相关性,选取合适模型,计算研究区域水-气交换通量,以及下游河段竹歧断面总磷、氨氮和化学需氧量通量,并对富营养化现状进行评价。研究结果显示:

夏、秋、冬、春四季节溶解氧含量变化范围分别介于4.44~8.39 mg/L、3.49~10.89 mg/L、3.35~12.00 mg/L、3.37~8.42 mg/L之间。平均值分别为:6.53 mg/L、7.71 mg/L、8.42 mg/L、6.68 mg/L。饱和度分别介于60.1~122.0%、41.2~125.7%、33.6~115.0%、42.0~113.1%之间。平均分别为89.0%、92.2%、86.5%、81.8%。表层溶解氧冬高夏低,春秋季节在夏冬季之间,在我国主要河口水域中处于中等水平。

四季节溶解氧分布特点包括:秋冬季和春夏季溶解氧分别呈现相似的分布规律,形成两种分布类型。秋冬季,溶解氧在水口至竹歧段低,马江至长门段高;南北港均呈现显著高值,大樟溪对于干流有补充作用,闽江河口水域溶解氧分布均一;春夏季,研究区域内溶解氧变化幅度小,水口竹歧段的溶解氧水平较高,大樟溪溶解氧较干流低,闽江口的溶解氧呈现不同程度的区域分化。研究区域溶解氧受到温度、悬浮物、COD和营养盐等要素影响,物理作用和生化作用错综复杂。

计算表明,夏季氧通量在-6.64~13.76 $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$ 之间变化,平均3.68 $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$;秋季变化范围介于-7.91~17.69 $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$,平均2.33 $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$;冬季通量在-4.43~18.78 $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$ 间波动,平均3.83 $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$;春季通量变化介于-3.61~17.28 $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$,平均5.66 $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$ 。

营养指数法、潜在性富营养化评价法、有机质指数法和模糊数学法的评价结果一致认为：闽江研究区域富营养化现象较为严重。夏、秋和春三季是闽江研究区域水体富营养化的高发季节，污染严重的站位主要分布在下游区域内，在水口水库至竹岐、南北港的所有站位均表现为富营养状态；部分站位均属于磷中等限制富营养。河口范围水体的营养状况相对缓和，四个季节均没有达到富营养级。

研究表明，在研究河段化学需氧量的输送源以非点源为主，总磷和氨氮的源强类型属于点源与非点源混合型。依据三种污染物在流域的不同特性和条件，最终确定，竹岐水质控制断面的污染物通量约为：化学需氧量 13.4×10^4 t/a，总磷 0.724×10^4 t/a，氨氮 0.831×10^4 t/a。

关键词：闽江下游、河口；溶解氧；水-气交换通量；富营养化；通量

Abstract

Minjiang river has important position in southeastern coast of China, but because of some reasons, there is low attention and researches paid on it. In recent years, with the economic development along the river, the problems of increasing pollutions become more and more serious. It not only makes the river water quality worsen, but also has negative influences on the production and living along the river, and further more, threaten the ecological environment of the Taiwan strait. In order to understand the water quality changing rules in the downstream and estuary of Minjiang, evaluation the degree of eutrophication, and discuss the transport of pollutants between sources and sands, we use surface water samples from Shuikou reservoir to coastal sea in the period of August 2014 to May 2015. We based on the standards and methods in Marine Investigation Specification, and measure the temperature, salinity, dissolved oxygen, chemical oxygen demand (COD), nitrate nitrogen($\text{NO}_3\text{-N}$), nitrite nitrogen($\text{NO}_2\text{-N}$), ammonia nitrogen($\text{NH}_3\text{-N}$), and phosphate($\text{PO}_4\text{-P}$). We draw the patterns, analys the correlations, and select suitable models to calculate the air-water exchange flux of dissolved oxygen, total phosphorus, ammonia nitrogen and chemical oxygen demand flux to sea in research area, and evaluate the degree of the eutrophication. Results show:

In summer, autumn, winter and spring, dissolved oxygen contents are between 4.44~8.39 mg/L, 3.49~10.89 mg/L, 3.35~12.00 mg/L, 3.37~8.42 mg/L, respectively. Average contents are 6.53 mg/L, 7.71 mg/L, 8.42 mg/L, 6.68 mg/L, respectively. Saturations of dissolved oxygen are between 60.1~122.0%, 41.2~125.7%, 33.6~115.0%, 42.0~113.1%, respectively. Averages of saturation are 89.0%, 92.2%, 86.5%, 81.8%, respectively. The contents of dissolved oxygen are higher in winter, and lower in summer. The contents in autumn and spring are between those two. Dissolved oxygen contents are in the medium level of estuarine and coastal waters in China.

The seasonal distribution characteristics of dissolved oxygen including: spring and summer has similar patterns while autumn and winter are same. In autumn and winter,

dissolved oxygen contents are low in the Shuikou to Zhuqi, and high in Majiang to Changmen. Port of north and south presented significant high value, and the dissolved oxygen of river stream supplements the main stream. Dissolved oxygen has a uniformity distribution in the mouth of Minjiang river. In spring and summer, variations in dissolved oxygen are small. High dissolved oxygen level shows in the Shuikou to Zhuqi. Dissolved oxygen of river stream was lower than those of main stream. Dissolved oxygen in mouth of Minjiang presents different degree of regional distribution. Those environmental factors, including temperature, suspended materials, COD, and nutrient, have influence on the pattern of dissolved oxygen. There are complex physical and biochemical function contributing to it.

Calculation shows: the oxygen air-water flux of summer, autumn, winter and spring vary between in the ranges of $-6.64\sim 13.76\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, $-7.91\sim 17.69\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, $-4.43\sim 18.78\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, $-3.61\sim 17.28\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, respectively. Averages are $3.68\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, $2.33\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, $3.83\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, $5.66\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$.

The results of nutrition index, organic matter index, nitrogen and phosphorus ratio index and fuzzy mathematics to evaluating the eutrophication phenomenon show: there is high degree of eutrophication in summer, autumn and spring. Severe pollution stations are mainly located at the downstream and estuary area. Many stations show eutrophic, such as the ShuiKou to ZhuQi, north and south port. Most of the stations belong to the moderate potential phosphorus limited eutrophication. The eutrophication in coastal areas are slight, and it did not reached eutrophication level in both four seasons.

Researches show: In the studied area, the discharge model of chemical oxygen demand belong to non-point source, while the source type of total phosphorus and ammonia nitrogen belong to both point source and nonpoint. According to the different characteristics of the three kinds of pollutants in the river basin, we finally confirmed the different pollutants flux of the ZhuQi controlling section is about: chemical oxygen demand: $13.4\times 10^4\text{ t/a}$, total phosphorus: $0.724\times 10^4\text{ t/a}$, ammonia nitrogen: $0.831\times 10^4\text{ t/a}$.

Keywords: Downstream, estuary and coastal water of Minjiang; Dissolved oxygen;

Exchange flux between air and surface water; Eutrophication; Flux

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 前言

1.1 研究意义与概况

1.1.1 研究意义

河流下游与河口区域受到陆地与海洋的共同影响,介于淡水和海水的交替作用下,存在强烈的盐度梯度,是环境因子变化复杂的区域。来自陆源的物质,经地表径流输送,在下游及河口区汇集,而外海潮水的入侵,又为其带来外海的作用力。在这两种作用力的强弱交替作用下,河口水体的物理、化学和生物特性均处于连续的复杂变化中。河流流量、潮汐运动、沉积作用以及生物的繁殖和生存均体现出一定的不稳定性。正是由于其特殊的物理化学环境,注定河口水域具有极高的生物多样性和初级生产力,既可以渔获大量鱼类、贝类等生产资源,又可以作为航运输送的重要通道,亦可以成为人类的休闲娱乐场所。

就物质输送的角度而言,河流下游、河口和邻近海域三个区域是相互关联的重要自然环境整体。河流下游河段是全流域物质运输和能量传递的终点,其水体的物理化学特性,常常携带着能够准确反映全流域水质水文现状的重要信息。而邻近海域无疑是流域携带物质抵达的最终场所,一定程度上改变近海的物理化学和生物特性。而河口区域恰是这一物质传输过程的重要载体,从而形成下游-河口-近海的从源到汇的复杂体系。

近年来,全球范围内沿海地区一直处于迅速而稳定的发展阶段,是经济最繁荣的地区,但在经济高速发展的同时,也给河流下游、河口和近海海洋环境造成极大影响。1994年美国国家研究委员会研究并列举人口增长对河口近岸带来的生态系统压力主要包括:大量营养物质、改变潮间带生境、自然资源过度采集以及工农业污染等(John., 2005)。同时,土地修整、架桥造地、洪水控制措施等人为环境改造工程,进一步加剧了河口的不稳定性。在大中城镇发达的近海与河口水域,水质环境污染现象已十分严峻。1990年以来,赤潮次数逐步上升,是近海海洋环境不断恶化的标志。环境公报表明,以长江、黄河、珠江等主要河口为例的72条河流,年内水质低于第V类地表水水质标准的流域面积比例均超过50%,主要污染物为COD、TP、NH₃-N。72条河流入海COD_{Cr}总量1453×10⁴t,氨氮(以氮计)30×10⁴t,硝酸盐氮(以氮计)237×10⁴t,亚硝酸盐氮(以氮计)5.8×10⁴t,总磷(以磷计)27×10⁴t,石油类4.8×10⁴t,重金属2.1×10⁴t。韦钦胜

等（2010年）总结认为，我国东南部近岸水域污染以种类复杂多样，河流输送居高不下为主要特征。

闽江流域位于我国东南部，西发源于武夷山脉，向东注入台湾海峡，沿途流经三明、南平、福州等市，流域面积是福建省地理面积的50%，干流全长577 km，是福建省乃至东南沿海的最大河流。闽江下游及河口区域是流域居民生产生活的必需水源地，也是省内乃至东南沿海重要的水上交通要道之一。随着闽江流域经济建设的持续发展，为流域带来严重的氮磷营养盐超标现象，有机负荷过高问题也日益加剧。2007年闽江污染河段长为66 km，占总调查河段的5.05%，2013年受污染的河段长度为112 km，占调查河段总长度的4.95%，污染河段主要为大樟溪和马江-长门段，超标项目主要为溶解氧与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。2014年闽江 COD_{Cr} 入海总量约达 $123 \times 10^4 \text{ t}$ ，在调查的72条主要河流中排第二位；氨氮约 $1.3 \times 10^4 \text{ t}$ ，石油类约 $0.1 \times 10^4 \text{ t}$ 。这些物质通过流域水体运输，进入闽江下游及河口区域，在河口复杂多变的环境条件下，参与一系列生物地球化学循环，并进入台湾海峡，已对其流域下游、河口水域区域的生态系统带来相应压力，降低水体自净能力，进一步影响咸淡水养殖、水源饮用等基本生产生活需要，亦给近岸区域带来深远影响。

在河流下游与河口研究兴起的带动下，对于闽江流域的关注度日益增加，流域下游及河口区域水体环境问题开始进入学界的视野，但即便如此，现阶段，关于闽江下游与河口水质状况、物质迁移转化等问题的综合研究和预报能力还是十分有限的，许多研究也无法深入。一是因为闽江河口水域环境变化复杂，多种因素交替作用。其本身固有相当的复杂性和多样性，各项环境特征的时空变化非常剧烈；二是由于缺少闽江的长期基础资料和数据，尤其是对闽江的科学研究长期被忽视，研究资料匮乏，后续的深入研究几乎寸步难行。

因此，本研究对闽江下游与河口溶解氧分布、富营养化现状、氧水-气交换和断面污染物通量进行探讨，旨在真实反映闽江下游与河口水域的溶解氧和营养现状，为后续的深入研究提供可信的基础参考资料，为指导流域内生产生活方式的调整和转变，以及环境保护、治理政策的制定提供切实可靠的理论依据。

1.1.2 国内外研究概况

1.1.2.1 国外研究概况

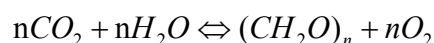
早在上世纪 60 年代末期, Pritchard (1967) 就提出较为系统的河口定义, 表明河口区域水体在盐度和密度上的强烈混合过程。在 70~80 年代, 各国学者都开展了较为系统的河口的研究, 其中包括: 河口的混合与分类 (Smith, 1980; Rattray et al., 1983)、悬浮物和沉积物 (Liss et al., 1970, 1973; Pomeroy et al., 1965)、河口金属元素的水化学特性 (Knuauer et al., 1973; Abdullah et al., 1972) 等。随着研究体系的不断完善, 河口化学不断发展, 延伸出许多不同的课题方向。进入 90 年代后, 由于全球范围经济、城市和人口的爆炸式发展, 给河流下游、河口水域带来极大的环境危害和生态压力。在人类行为的影响下, 溶解氧、营养盐等水环境要素发生剧烈改变, 水质污染、富营养化等环境问题逐渐进入学界视野。

(1) 溶解氧

溶解氧是维持生物存活和生态平衡的关键因素, 是生物地球化学循环的重要参与者, 也是反映水质的有效指标。最早的溶解氧分析方法 (碘量法) 是由温克勒建立的, 在早期的海洋调查中, 就已经被广泛应用于各地咸淡水域 (Miyake, 1956; Ramsey, 1960), 并被纳入国际监测标准 ISO5813-1983。一直以来, 借助碘量法, 溶解氧始终是海洋科学界重点关注的监测参数, 几乎每一次海洋调查, 溶解氧都为重点监测的对象。关于不同时空条件下溶解氧含量变化、影响机理的研究不胜枚举, 其中也有许多关于河口的研究, 例如: 美洲 Nicoya 湾 (Epifanio et al., 1983)、马来西亚 Selangor 和 Klang 河口 (Nelson, 1994) 和死海 (Shatkay, 1993) 等。

在前人研究的基础上, 许多学者逐渐归纳出了较为系统的溶解氧源与汇关系 (Rilley, 1984)。海洋中的溶解氧主要通过水-气界面的交换与光合作用进行补充。表层水与空气接触, 并进行气体交换, 而后再通过水体的垂向运动将高氧水输运至深层, 因此, 大气是溶解氧的最主要来源之一。

浮游植物在光照和营养盐的共同条件下进行光合作用, 吸收 CO_2 , 并释放氧气, 其化学反应方程可归纳为:



在许多表层水域, 溶解氧达到显著的过饱和状态, 主要是由浮游植物光合作用补充引起的。光合作用是表层水溶解氧的重要来源之一。

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 for delivery details.