

学校编码: 10384

密级_____

学 号: 33320131151761

厦 门 大 学

硕士学位论文

九龙江梯级电站库区沉积物营养盐
通量与温度效应

Sediment Nutrients Fluxes and Warming Effects across the
Cascade Reservoirs of the Jiulong River

周兴鹏

指导教师姓名: 陈能汪 教授

专业名称: 环境管理

论文提交日期: 2016年05月

论文答辩时间: 2016年05月

2016年05月

九龙江梯级电站库区沉积物营养盐通量与效应

周兴鹏

指导教师

陈能汪

教授

厦门大学

厦门大学学位论文原创性声明

本人提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(陈能汪教授)课题(组)的研究成果,获得(陈能汪教授)课题(组)经费或实验室的资助,在(环境与生态学院环境过程)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

专业词汇与缩略语	I
摘要	II
Abstract	IV
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 国内外研究进展	2
1.2.1 水坝拦截对河流系统营养盐的输送和过程的影响	2
1.2.2 沉积物-水界面生物地球化学过程及其影响因素	4
1.2.3 国内外研究现状与发展趋势	7
1.3 研究目标和内容	8
1.3.1 研究目标	8
1.3.2 研究内容	8
1.3.3 主要科学问题	8
1.4 技术路线	9
第 2 章 研究区域概况	10
2.1 自然环境	10
2.2 社会环境	11
2.3 水环境质量	12
2.4 北溪梯级电站建设现状	13
第 3 章 材料与方法	14
3.1 观测方案	14
3.1.1 站点布设	14
3.1.2 观测安排	18
3.1.3 九龙江河流、库区、河口采样方案	19
3.1.4 样品采集与保存	21

3.1.5 水质参数现场测定	22
3.1.6 沉积物-水界面营养盐通量模拟实验	22
3.2 样品测定方法	23
3.2.1 营养盐测定方法	23
3.2.2 溶解 N ₂ 浓度测定方法	24
3.2.3 溶解 N ₂ O 浓度测定方法	25
3.2.4 溶解有机碳的测定方法	25
3.2.5 沉积物参数测定方法	26
3.3 数据处理与综合分析	28
3.3.1 沉积物-水界面营养盐和 DOC 释放通量计算	29
3.3.2 溶解气态氮 (N ₂ , N ₂ O) 产生量及沉积物耗氧量 (SOD)	29
3.3.3 数据统计分析	29
第 4 章 九龙江河流-河口系统沉积物 N、P、C 分布与调控因素	30
4.1 河流营养盐和沉积物 N、P、C 分布特征	30
4.1.1 沉积物站位对应的表层水营养盐浓度	30
4.1.2 沉积物 C、N 及粒径空间变化特征	34
4.1.3 北溪和西溪沉积物磷形态的空间变化特征	40
4.2 河口沉积物 N、P、C 的时空分布特征	42
4.3 沉积物 N、P、C 分布的调控因素	45
4.4 本章小结	54
第 5 章 梯级电站库区沉积物-水界面通量与温度效应	55
5.1 电站库区沉积物 N、P、C 的时空分布特征	55
5.1.1 采样期间西陂库区水文条件	55
5.1.2 西陂库区沉积物 N、P、C 沿水流方向变化特征	57
5.1.3 西陂库区沉积物 N、P、C 时空变化特征	60
5.1.4 西陂库区沉积物 N、P、C 分布的调控因素	63
5.2 培养实验用的水和沉积物的理化参数	66
5.3 温度梯度下梯级电站沉积物营养盐和 DOC 释放通量	68

5.4 气候变化情景下沉积物-水界面通量预测.....	74
5.4.1 库区水温-气温关系模型.....	74
5.4.2 水温上升后沉积物-水界面通量变化.....	76
5.5 温度和建坝对沉积物营养盐和 DOC 通量和过程的影响.....	79
5.5.1 温度增加沉积物营养盐和 DOC 的通量.....	79
5.5.2 梯级电站之间沉积物特征异化影响河流营养盐输送和转化.....	81
5.6 本章小结.....	82
第 6 章 结论与展望.....	84
6.1 主要结论.....	84
6.2 创新点.....	85
6.3 研究展望.....	85
参考文献.....	86
致谢.....	101
附录硕士期间参与的课题研究与发表的论文.....	103

厦门大学博士学位论文摘要

Table of contents

Professional vocabulary and abbreviations.....	I
Abstract (In Chinese).....	II
Abstract (In English).....	IV
Chapter 1 Introduction.....	I
1.1 Background and research motivation.....	1
1.2 Review of literature.....	2
1.2.1 The effects of dams on delivery and process of nutrients in river-reservoir system.....	2
1.2.2 Processes and fluxes at the sediment-water interface and influencing factors.....	4
1.2.3 Current status and development tendency of literature.....	7
1.3 Objectives and contents of study.....	8
1.3.1 Objectives.....	8
1.3.2 Contents.....	8
1.3.3 Scientific questions.....	8
1.4 Study approach.....	9
Chapter 2 Study site descriptions.....	10
2.1 Physical characteristics.....	10
2.2 Socia-economic conditions.....	11
2.3 Assessment of freshwater quality.....	12
2.4 Current status of cascade hydropower stations in North River.....	13
Chapter 3 Materials and methods.....	14
3.1 Field survey.....	14
3.1.1 Sampling sites.....	14
3.1.2 Field survey arrangement.....	18
3.1.3 Field survey of the Jiulong River, reservoirs and estuary.....	19

3.1.4 Sampling and samples storage.....	21
3.1.5 In-situ measurements	22
3.1.6 Sediment incubations in microcosm.....	22
3.2 Analyses method	23
3.2.1 Nutrients measurement	23
3.2.2 Dissolved N ₂ measurement.....	24
3.2.3 Dissolved N ₂ O measurement.....	25
3.2.4 Dissolved organic carbon (DOC) measurement.....	25
3.2.5 Sediment parameters measurement	26
3.3 Comprehensive analysis of data	28
3.4.1 The data analysis of nutrients and DOC flux for sediment incubation.....	29
3.4.2 The production of N ₂ and N ₂ O and calculation of SOD.....	29
3.4.3 Statistical analysis.....	29
Chapter 4 The distribution and controlling factors of sediment N, P, C in the Jiulong River-Estuary system	30
4.1 The water chemistry and sediment N, P, C distribution pattern.....	30
4.1.1 Surface water nutrients concentration at the corresponding sediment sampling sites.....	30
4.1.2 The distribution pattern of surface sediment C, N and grain size.....	34
4.1.3 The distribution pattern of sediment P forms along the North and West Jiulong River.....	40
4.2 The spatial-temporal variations of sediment N, P, C along the Jiulong Estuary	42
4.3 The factors controls the distribution of sediment N, P, C	45
4.4 Brief summary	54
Chapter 5 The fluxes and warming effects at the sediment-water interface across the cascade reservoirs.....	55
5.1 The spatial-temporal distribution of sediment N, P, C in Xipi Reservoir.....	55
5.1.1 Meteorological and hydrological characteristics during sampling.....	55

5.1.2 The distribution of sediment N, P, C downriver in Xipi Reservoir	57
5.1.3 The spatial-temporal variations of sediment N, P, C in Xipi Reservoir ...	60
5.1.4 The factors controls distribution of sediment N, P, C in Xipi Reservoir ..	63
5.2 The physicochemical parameters of sediment for the incubation experiments ...	66
5.3 Temperature controls the fluxes of nutrients and DOC	68
5.4 Predicting sediment flux with the estimated warming temperature	74
5.4.1 Water-air temperature model for the reservoirs	74
5.4.2 The sediment fluxes change after estimated water warming	76
5.5 The mechanism of warming effects on the sediment flux and process across the cascade reservoirs	79
5.5.1 Temperature enhanced fluxes of nutrients at sediment-water interface .	79
5.5.2 Effects of various substrates of cascade reservoirs on nutrient delivery and transformation	81
5.6 Brief summary	82
Chapter 6 Conclusions and prospects	84
6.1 General conclusions	84
6.2 Innovation	85
6.3 Future work	85
References	86
Acknowledgments	101
Appendix	103

专业词汇与缩略语

NO₃-N: Nitrate, 硝酸盐

NO₂-N: Nitrite, 亚硝酸盐

NH₄-N: Ammonium, 氨氮

DIN: Dissolved Inorganic Nitrogen, 溶解态无机氮

TN: Total Nitrogen, 总氮

NH₄-EN: Exchangable Ammonium in Sediment, 沉积物可交换态氨氮

NO₃-EN: Exchangable Nitrate in Sediment, 沉积物可交换态硝氮

PN: Particulate Nitrogen, 颗粒态氮

DRP: Dissolved Reactive Phosphorus, 活性磷酸盐

TPP: Total Particulate Phosphorus, 颗粒态总磷

IP: Inorganic Phosphorus, 无机磷

OP: Organic Phosphorus, 有机磷

TP: Total Phosphorus, 总磷

NaOH-P: Fe/Al 结合态磷

HCl-P: Ca 结合态磷

DSi: Dissolved Silica, 溶解态硅酸盐

DOC: Dissolved Organic Carbon, 溶解有机碳

TOC: Total Organic Carbon, 总有机碳

API: Antecedent Precipitation Index, 前期降雨量指数

DO: Dissolved Oxygen, 溶解氧

SOD: Sediment Oxygen Demand, 沉积物耗氧量

LOI: Loss on Ignition, 烧失量

JR: Jiulong River, 九龙江

NJR: North Jiulong River, 九龙江北溪

WJR: West Jiulong River, 九龙江西溪

JRE: Jiulong River Estuary, 九龙江河口

摘要

河流沉积物扮演着营养盐的“源”与“汇”的角色，梯级电站开发改变了河流水文和沉积动力，在气候变化（如气候变暖）的叠加影响下，沉积物营养盐的生物地球化学过程、释放通量发生变化，进而调整流域营养盐向海输出。本文以九龙江河流-河口作为整体研究对象，重点研究北溪中游梯级电站库区沉积物特征、释放通量和温度效应。通过野外观测，系统分析了河流-河口沉积物氮（N）、磷（P）、碳（C）的时空分布及其调控因素，利用 2015 年 10 月和 12 月三个梯级电站沉积物进行室内模拟，研究了温度升高对沉积物-水界面 N、P、C 释放通量的影响机制。主要结论如下：

（1）九龙江沉积物 N、P、C 的空间分布主要受流域污染负荷和梯级电站的综合影响。北溪上游人为污染重，沉积物 TN ($1.8\pm 1.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、TP ($2034\pm 2210 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 和 TOC ($23.6\pm 13.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 含量最高，中游梯级电站河段含量明显降低，TN、TP、TOC 含量分别是 $1.1\pm 0.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ， $793\pm 315 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ， $11.3\pm 3.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。西溪坡降较小，TN ($0.8\pm 0.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、TP ($690\pm 247 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 和 TOC ($7.1\pm 3.6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 含量总体较低，分布较均匀。受河流输入主导，九龙江河口上游段的 TN ($1.5\pm 0.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 和 TOC ($12.9\pm 0.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) 含量介于北溪和西溪之间。九龙江北溪和西溪沉积物 TOC、TN 和 TP 两两相关 ($p<0.01$)，表明主要来源相同。北溪流域红壤分布广泛，加上铁锰矿石开采，Fe/Al-P 含量高 ($558\pm 597 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，占 IP 的 $63\%\pm 24\%$)，明显高于西溪 ($452\pm 196 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，占 IP 的 $88\%\pm 8\%$)。梯级电站库区沉积物总体上以粉砂为主 ($59\%\pm 8\%$)，在降水和流量较大时砂粒增加，氧化还原电位 Eh 较低，在流量较低时黏土和粉砂含量增加。黏土和粉砂含量沿梯级电站下游方向逐渐下降，TN、TP 和 TOC 含量沿程下降。

（2）升温显著增强沉积物 N、P、C 的生物地球化学过程和沉积物-水界面交换通量。温度上升显著增加沉积物 $\text{NH}_4\text{-N}$ ，DIN 和 DOC 的释放通量，同时增加 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的吸收通量。总体上，沉积物营养盐通量和温度 ($5^\circ\text{C}\text{-}35^\circ\text{C}$ 范围) 呈现指数相关 ($p<0.05$)。沉积物孔隙水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ ($8.83\pm 1.18 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 显著高于上覆水 ($1.34\pm 0.63 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) ($p<0.05$)，温度上升 $\text{NH}_4\text{-N}$ 释放通量显著增加 ($p<0.05$)。沉积物孔隙水 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($0.03\pm 0.02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 浓度较低，温度上升增强微生物驱动

的耗氧过程（如矿化作用、硝化作用），沉积物吸附 $\text{NO}_3\text{-N}$ 通量与 SOD 呈显著正相关 ($p < 0.05$)，厌氧促进反硝化脱氮作用，反硝化产物溶存 N_2 和 N_2O 含量显著增加。沉积物磷行为从温度 5°C - 25°C 时的吸附转变为高温 (35°C) 时的释放，与高温时 DO 不足促进 Fe/Al-P 的解吸有关。模型预测全球变暖导致未来该地区水温上升 2.3°C ，相应的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的释放通量增加 $0.89\text{-}4.22 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ (7.0-16.8%)， $\text{NO}_3\text{-N}$ 的吸收通量可增加 $0.00\text{-}1.81 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ (8.9-28.6%)。沉积物 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 DOC 通量空间差异可能与沉积物粒径组成（黏土、粉砂含量）变化、反硝化作用和矿化作用的强弱有关。梯级电站扮演着多级“过滤器”作用，对流域营养盐向海输出和水体富营养化有重要影响。

关键词：河流-库区系统；梯级电站库区；温度效应；沉积物；九龙江

Abstract

River sediment acts as source and sink for nutrients. The construction of cascade dams seriously changes the river hydrological condition and sedimentary dynamics. And together with the dual influence of climate change (e.g. warming), they affect the sediment nutrient biogeochemical cycles and fluxes, then the watershed nutrient output to the sea. This study selected the Jiulong River-Estuary as a whole research area, and the cascade reservoirs in the middle of the NJR as the representative study site. Through the field observation, we systematically analyzed the pattern of spatial-temporal distribution and controlling factors of N, P, C in the surface sediment. Microcosm incubations were undertaken on October and December in 2015 to study the effects of warming on the N, P, C biogeochemical cycles at the sediment-water interface. The main conclusions and findings are as follows:

First, the spatial distribution of N, P, C in the surface sediments along the JR were regulated by watershed internal pollution load and the effects of cascade dams. The upper NJR suffered serious anthropogenic pollution so that it had highest content of TN ($1.8\pm 1.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), TP ($2034\pm 2210 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) and TOC ($23.6\pm 13.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). There was obviously decline of TN ($1.1\pm 0.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), TP ($793\pm 315 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), and TOC ($11.3\pm 3.9 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) at middle cascade reservoirs river. WJR had slightly slope and lower content of TN ($0.8\pm 0.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), TP ($690\pm 247 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), and TOC ($7.1\pm 3.6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). The upper JRE, dominated by river output, had content of TN ($1.5\pm 0.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), and TOC ($12.9\pm 0.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) which among the NJR and WJR. There were significant correlations among TN, TOC and TP ($p < 0.05$), which indicated the same source pollution. It was widely spread of red soil and mining Fe-Mn ores in the NJR so that the Fe/Al-P content ($558\pm 597 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, account for $63\%\pm 24\%$ of IP) was greatly higher than the WJR ($452\pm 196 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, account for $88\%\pm 8\%$ of IP). The sediment grain composition of cascade reservoirs dominated by silt ($59\%\pm 8\%$), sand content and redox potential increased at high rainfall and discharge while silt and clay content increased at low discharge. Silt and clay content decreased downriver across cascade reservoirs as well as TOC, TN and TP content.

Second, rising water temperature can accelerate biogeochemical fluxes in the sediment-water interface. Warming significantly increased $\text{NH}_4\text{-N}$, DIN and DOC fluxes to overlying water; on the contrast, warming increased $\text{NO}_3\text{-N}$ fluxes from

overlying water into sediments ($p < 0.05$). In general, sediment nutrient fluxes had significant exponential correlations with temperatures from 5°C to 35°C. $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration ($8.83 \pm 1.18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) was significantly higher in pore water than overlying water ($1.34 \pm 0.63 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) so that $\text{NH}_4\text{-N}$ flux increased rapidly with increasing temperatures ($p < 0.05$). $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration ($0.03 \pm 0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) was lower in pore water. Warming can stimulate the microorganism activities which consumed more DO (e.g. mineralization and nitrification), and $\text{NO}_3\text{-N}$ flux into sediments had significantly positive correlation with sediment oxygen demand (SOD). Therefore, N_2 and N_2O concentration, the denitrification products, significantly increased ($p < 0.05$) because anaerobic condition would promote denitrification which could remove N. Sediment phosphorus was absorbed from 5°C to 25°C but shift to release at 35°C, which was influenced by high content Fe/Al-P and Fe/Al-P was easy to desorb for the deficient of dissolved oxygen at high temperatures. Using river water-air temperature model, we estimated temperature increases 2.3°C in the future around study area which would increase mean sediment fluxes of $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_4\text{-N}$ across cascade reservoirs by 0.00-1.81 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ (8.9-28.6%) and 0.89-4.22 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ (7.0-16.8%). The spatial variations of sediment $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and DOC flux were mainly controlled by sediment grain composition, denitrification and mineralization. It seems that the cascade reservoirs act as multiple filters so that they play an important role in watershed nutrients output to the sea and water eutrophication.

Key Words: River-reservoir system; Cascade reservoir; Warming effects; Sediment; Jiulong River

第1章 绪论

1.1 研究背景及意义

在气候变化和人类活动的双重影响下, 地表圈层(土壤圈-水圈-大气圈) 营养盐[主要是 N、P、硅(Si)] 的生物地球化学循环发生巨大改变, 致使水陆生态系统受到显著影响并导致了环境质量的严重退化(晏维金, 2006; Howarth et al., 2008; Seitzinger et al., 2010)。政府间气候变化专门委员会(IPCC) 第一工作组第五次评估报告(AR5) 指出, 人类活动极可能(95%以上可能性) 导致了 20 世纪 50 年代以来全球地表水温的上升, 预计在 2090-2099 年时全球气温上升 2.6°C - 4.6°C (Stocker et al., 2013)。河流是海洋和陆地间营养盐物质交换的主要通道, 但是水坝建设, 尤其是梯级电站的开发, 显著破坏了天然河流的自然属性和作用过程, 打断了“河流连续性”(Barbosa et al., 1999), 同时也改变了生源要素(C、N、P、Si 等) 的生物地球化学过程。首先, 水坝的建设延长了河流水体的滞留时间延长。同时, 由于水停留时间相对更长, 河流向下游输送的颗粒物质在水库发生沉降, 从而改变了其生源要素组成。其次, 由于河流湖库化之后, 改变了生源要素的比例, 而生源要素的比例对浮游植物的生长和食物网有重要影响, 进一步破坏了河流原有生态平衡。研究表明, 人为活动导致的土地利用类型变化、工业废水、生活污水和大量使用化肥, 致使陆地输入海洋的营养盐大大增加(Howarth et al., 1996; Meybeck, 1998)。根据 Treguer (1995) 的研究估算, 全球输入海洋的 DSi 中 80% 来自河流的输送, 但在河流大坝建设之后, 水库对 DSi 的拦截大大增加, 例如在多瑙河的研究发现水坝拦截导致的 DSi 进入黑海的浓度减少一半以上(Humborg et al., 2000; Ittekkot et al., 2000)。

营养盐(主要是 N、P) 过量输入是导致库区富营养化的直接原因, 除外源输入外, 在一定条件下, 库区沉积物作为内源可向上覆水释放营养盐(Havens et al., 2001; 范成新等, 2006; Komatus et al., 2006)。在库区积累的有机颗粒沉降后, 由于库区水力停留时间长等原因, 伴随发生有机质的矿化作用, 从 $\text{NH}_4\text{-N}$ 开始的硝化过程以及从 $\text{NO}_3\text{-N}$ 开始的反硝化过程等一系列变化(Jensen and Andersen, 1995; Van Lujin et al., 1999; Thamdrup and Dalsgaard, 2002)。因此, 关于沉积物-水界面(Sediment-water interface) 的生物地球化学过程与交换通量一直是国际上

相关领域的研究热点。

地处亚热带季风区的九龙江是福建省第二大江,近 30 年来,流域内畜禽养殖量和化肥施用量增加了 3-7 倍,从而导致流域内营养盐污染负荷和河流输送通量持续增加 (Chen et al., 2012; Yu et al., 2015)。自 20 世纪末九龙江流域修建大量的梯级水电站 (朱俊雄, 2007) 以及沿岸土地利用快速变化 (Huang et al., 2011, 2013), 导致河流库区营养盐富集和水体富营养化问题日益突出 (Chen et al., 2013)。2009 年初,九龙江北溪上游龙岩段发生大规模的拟多甲藻水华事件并向下游库区蔓延,并直接影响到厦门市的饮用水源地 (Li et al., 2011)。在梯级电站和全球气候变化双重影响下,九龙江自然的水文条件、营养盐输送和循环过程势必会受到很大影响。但目前从沉积物角度对亚热带河流-河口系统的生物地球化学过程研究的相对较少。

针对上述问题,本研究选取九龙江河流-河口为整体研究对象,以北溪中游梯级电站区域为重点研究区域,开展沉积物理化参数立体式综合观测,结合室内沉积物培养实验,从河流系统的角度,研究沉积物 C、N、P 的时空分布;研究在气候变暖和梯级电站影响下亚热带河流沉积物-水界面营养盐过程和通量的可能变化,研究结果可对流域营养盐管理及富营养化防控对策的制定提供理论依据。

1.2 国内外研究进展

1.2.1 水坝拦截对河流系统营养盐的输送和过程的影响

随着社会经济迅速发展,人类对食物和能源的需求也日益增长,因此为了满足发电、供给饮用水、灌溉、防洪以及旅游等需要,大量的大坝已经或正在河流上建设。根据国际大坝委员会截至 2013 年底的统计 (<http://www.icold-cigb.org/>),全球已建在建的各类大坝共计 6.8 万座,其中中国坝高 15 米以上的大坝 3.8 万座,占 55.9%。另外,超过 80 万座小型电站正在运作 (Vörösmarty et al., 2000a; Nilsson and Berggren, 2000; Nilsson et al., 2005)。研究表明全球 25% 的河流水量因水坝建设而被控制或改变 (Marble and Lough, 1997)。河流筑坝使河流湖库化,改变了河流原有的生物地球化学特性,导致颗粒物迁移、搬运等过程发生显著变化,进而影响其在河流中的输送过程和通量 (Dynesius et al., 1994; Friedl and Wuest, 2002; Teodoru and Wehrli, 2005)。例如,河流每年 TN 入海通量将近一半为 PN, TP 入海通量约有 80% 为 TPP (Meybeck, 1998)。水坝拦截导致的河流湖库化和

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.