

 中国典型河口—近海陆海相互作用及其环境效应

三峡工程一期蓄水后 的长江口海域环境



翟世奎 孟 伟 于志刚 等 著



科学出版社

www.sciencep.com

国家重点基础研究发展计划（973计划）项目（2002CB412400）

 中国典型河口—近海陆海相互作用及其环境效应

三峡工程一期蓄水后 的长江口海域环境

翟世奎 孟 伟 于志刚 等 著

科学出版社
北 京

内 容 简 介

长江是我国第一大河,长江口地区形成了我国经济最发达的长江三角洲城市群。正在建设中的世界最大的水利工程——三峡工程,将在防洪、发电、航运等方面产生巨大的效益。然而,三峡水库蓄水所可能引起的河口环境变化也已成为目前国内外十分关心的问题。本书是三峡水库一期蓄水后第一时间调查的资料和室内分析研究的成果,其中大部分资料将因不可再得而具有历史性。

本书涉及领域广泛,各章就某一科学问题进行了深入的论述,各章内容之间密切相关。书中所用调查与测试分析手段先进,资料确凿翔实,基本反映了当前最新的研究方法。因此,本书将为所有关心、研究三峡工程及河口环境的政府人员、科研人员和研究生提供有价值的基础资料;同时,也将成为涉及环境科学、海洋科学、地球化学、工程地质学和沉积学等众多学科科研工作人员的重要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

三峡工程一期蓄水后的长江口海域环境/翟世奎,孟伟,于志刚等著.
—北京:科学出版社,2008

(中国典型河口—近海陆海相互作用及其环境效应)

ISBN 978-7-03-021601-4

I. 三… II. ①翟… ②孟… ③于… III. 长江—河口—海洋环境—研究
IV. X321.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第048704号

责任编辑:张震李敏/责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬/封面设计:鑫联必升

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年5月第一版 开本:787×1092 1/16

2008年5月第一次印刷 印张:24

印数:1—1500 字数:577 000

定价:128.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

前 言

资源与环境问题是人类在 21 世纪所面临的两大战略性问题。最近二十几年来,我国的社会发展和经济建设取得了举世瞩目的成就,尤其是沿海地区,已成为带动我国经济快速发展的龙头,同时也是我国人口最为密集的地带。长江和黄河是世界上著名的大型河流,黄河在我国有“母亲河”之称,其流域人口众多,库坝数量及化肥农药施用量都高居世界第一,流域的一切人类活动都将通过河口影响至近海。随着西部大开发战略的实施,黄河、长江流域及其河口三角洲地区的工农业发展和城市化进程明显加快,流域排污量以及耗水量快速增长,再加上流域重大水利工程的影响,以致入海水沙剧减而入海营养盐和污染物剧增,其结果是河口及其近海海域环境破坏严重。突出表现在:

(1) 岸滩蚀退造成国土资源丧失以及沿岸重大企业及工程的灾害性破坏,以黄河口地区为代表;

(2) 河口近岸海域环境污染严重造成水质下降、生物多样性减少、赤潮等灾害频发,以长江口及其临近海域为代表。

已建成使用的黄河小浪底水利工程和正在建设实施中的长江三峡与南水北调等重大工程不仅将进一步影响入海水沙的数量与组成,而且将改变水沙入海的时序,对河口-近海海域的生态环境将产生更为深远的影响。要实现我国社会经济的持续快速发展以及人民生活质量的不断提高,就必须有效地保护我国的滩海资源(特别是三角洲资源)和河口-近海生态环境。为此,我国在 2002 年批准实施了“国家重点基础研究发展计划”(973 计划)项目——“中国典型河口-近海陆海相互作用及其环境效应”。该项目旨在围绕国家发展建设中的岸滩蚀退和河口-近海水质环境恶化这两大亟须解决的问题,进行深入系统的研究,为岸滩蚀退的遏制和河口三角洲环境的综合治理提供科学的决策依据。

陆海相互作用是“全球变化”背景下的国际研究热点,而大型河口及其邻近海域是实施这一研究最为重要的场所。河口-近海系统作为地球四大圈层(水圈、生物圈、岩石圈、气圈)的交汇地带,其陆海相互作用活跃、生态环境脆弱、演变机制复杂、科学内涵丰富。河流入海物质通过复杂的河口界面过程来影响河口-近海环境的变化,而沉积动力过程和生物地球化学过程及其耦合作用是探明河口界面过程的钥匙。长江与黄河河口及其近海系统具有鲜明的区域特色,突出表现在:淤泥质河口海岸,高浑浊度水体和宽浅的陆架。为此,选择长江、黄河这两个典型河口及近岸海域,深入系统地研究入海物质通量变异背景下河口及邻近海域的沉积动力过程、生物地球化学过程及其海岸带环境效应,不仅

将为我国海岸带流域开发的重大工程决策、海岸带资源利用和环境保护提供科学依据，而且将极大地丰富和发展全球陆海相互作用研究的理论体系。

长江是我国第一大河，也是注入西太平洋最大的河流，流域内居住着大量人口和分布着众多的工农业区。在长江口地区形成了我国经济最发达的长江三角洲城市群。正在建设中的世界最大的水利工程——长江三峡工程，不仅关系着我国全面建设小康社会宏伟目标的实现，而且关系着中华民族的伟大复兴，是一项福祉当代、惠及子孙的事业。三峡水库在2003年6月一期蓄水，将坝前水位提升到135m，已经在防洪、发电、航运等方面显现出巨大的经济效益。然而，我们对三峡水库一期蓄水所引起的生态环境问题还知之甚少，同时这也是国内外目前十分关心的问题。因此，研究三峡水库一期蓄水后长江口及其邻近海域海洋环境，具有重大的实际价值和理论意义。

该项成果是973计划项目“中国典型河口—近海陆海相互作用及其环境效应”的部分核心研究内容和阶段性成果。三峡水库一期蓄水结束于2003年6月10日，本书的绝大部分成果是一期蓄水前后长江流域实测资料分析和2003年6月15日至6月25日期间使用“东方红2号”调查船对长江口及其邻近海域环境综合调查研究的成果，部分章节（第9、10和11章）包括了2003年9月、11月和2004年的调查成果，书中大部分资料将因不可再得而具有历史性。本书的出版将为所有关心三峡工程和长江口环境的政府人员和科技人员提供最基本的参考资料，同时也必将成为今后研究三峡工程对长江口环境影响的基础。

全书内容可大体分为7个部分，共计26章。第一部分（包括第1和第2章）介绍了长江流域及河口的自然地理和气象水文环境；第二部分（包括第3、4和第5章）主要讨论了三峡水库一期蓄水后长江干流的水沙输运变化；第三部分（包括第6、7和第8章）主要讨论了长江河口及其邻近海域悬浮体的分布特征；第四部分（包括第9、10和第11章）主要讨论了三峡水库一期蓄水后入海生源要素和有机污染物的种类、分布及通量变化；第五部分（包括第12、13、14、15、16、17和第18章）主要讨论了长江河口及其临近海域底质沉积物的粒度、矿物及地球化学特征；第六部分（包括第19、20、21、22和第23章）主要讨论了底质沉积物中营养元素、重金属元素和有机污染物的地球化学特征；第七部分（第24、25和第26章）主要讨论了长江河口及其邻近海域的生物群落。在项目的原计划方案中因生态环境涉及的内容太多，限于经费的制约没有被列为研究工作重点，因此，第七部分内容有待于进一步的研究工作进行丰富与补充。

本书所采用的室内分析资料基本上是由项目第9课题“河口—近海环境污染调控对策及生态系统变异的趋势预测”课题组人员完成，部分工作由第5课题组人员完成，少部分资料引用其他人（均注明有出处或说明）。作为本项目和2003年公共航次综合调查的首席科学家，翟世奎组织参与了海上调查采样和室内分析测试等工作。曹立华和项目首席助理杨永民分别作为两次海上调查队的队长，付出了艰辛的劳动。全书由翟世奎统一拟稿、统

稿并最后定稿。第1~5章由褚忠信、翟世奎和王永红撰稿,第6~8章由张怀静、翟世奎和范德江撰稿,第9、10章由刘征涛和孟伟等撰稿,第11章由刘鹏霞和于志刚等撰稿,第12~15章由张晓东、翟世奎和许淑梅等撰稿,第16~18章由许淑梅和翟世奎撰稿,第19、20章由吕晓霞、郭志刚和翟世奎撰稿,第21章由李正炎等撰稿,第22、23章由王蓓和翟世奎撰稿,第24~26章由张正南、刘光兴、华尔和于子山等撰稿。姜秀莉参与了文字编辑及大部分图形处理工作。

每一项成果都凝聚了众多人的汗水与劳动。首先,对在项目立项过程中付出了艰辛劳动、无私贡献了真知灼见的陈吉余院士、文圣常院士、冯士筭院士、丁德文院士等德高望重的老一代科学家致以衷心的敬佩和谢意。同时,感谢在项目立项执行过程中、在海上野外调查中、在实验室内分析测试中、在文稿的编辑出版中付出劳动而又在本书中未曾提及的“幕后”同志。

由于研究内容涉及学科众多,另受时间、条件和水平所限,书中难免有不当之处,恳盼指正。

翟世奎

2006年8月于青岛

中国海洋大学

目 录

前 言	i
第 1 章 自然地理与地形地貌	1
1.1 长江流域	2
1.2 长江三峡大坝	8
1.3 长江口及其邻近海区的地形地貌	9
1.4 小结	14
第 2 章 长江口气象与水文环境	15
2.1 海洋气象	15
2.2 海浪	16
2.3 潮汐潮流	19
2.4 长江口及其邻近海域流系	24
2.5 水温	27
2.6 盐度	29
2.7 三峡工程一期蓄水后长江口温度和盐度分布	31
2.8 小结	38
第 3 章 长江干流水沙变化	40
3.1 三峡水库淤积泥沙估算	40
3.2 蓄水期间三峡大坝上下长江水沙变化	42
3.3 蓄水后长江干流水沙变化	46
3.4 小结	50
第 4 章 长江进入河口的水沙	51
4.1 蓄水期间长江进入河口的水沙	51
4.2 蓄水后长江进入河口的水沙	53
4.3 “长江后浪推前浪”：蓄水对长江进入河口水沙时间的影响	55
4.4 小结	58

第5章	长江入海泥沙输运的数值模拟	60
5.1	ECOMSED 模式介绍	60
5.2	模式设置	63
5.3	潮汐潮流验证	66
5.4	长江入海黏性悬沙的输运	71
5.5	小结	74
第6章	悬浮体形态特征与物质组成	75
6.1	形态特征	75
6.2	悬浮体颗粒的矿物组成	82
6.3	小结	87
第7章	悬浮体浓度分布特征	89
7.1	悬浮体的浓度分布	89
7.2	蓄水前后悬浮体浓度分布对比	93
7.3	悬浮体分布的影响因素分析	94
7.4	最大浑浊带	95
7.5	小结	97
第8章	悬浮体浓度和浊度的对应关系	98
8.1	取样和数据采集	98
8.2	悬浮体浓度和浊度的关系	99
8.3	悬浮体浓度和浊度关系的影响因素分析	103
8.4	小结	104
第9章	入海生源要素	105
9.1	调查与分析方法	105
9.2	氮营养盐	106
9.3	磷营养盐	108
9.4	营养盐比值	110
9.5	长江口营养盐多年变化	110
9.6	小结	111
第10章	入海污染物	113
10.1	水体中的无机污染物	113
10.2	水体中的有机污染物	116
10.3	河口底泥污染物变化	122

10.4 小结	123
第 11 章 海水中营养盐的分布与变化	125
11.1 采样及分析方法	125
11.2 营养盐平面分布特征	126
11.3 溶解无机态营养盐浓度的变化趋势	131
11.4 小结	133
第 12 章 沉积物的粒度组成	134
12.1 分析方法	134
12.2 表层沉积物粒度特征	135
12.3 典型柱样沉积物粒度垂向变化	139
12.4 小结	144
第 13 章 表层沉积物粒度的级配特性及其意义	146
13.1 沉积物粒度分区	147
13.2 多元统计分析结果	149
13.3 不同泥质区沉积物级配特性对比	151
13.4 泥质区与粉砂-砂质区沉积物级配特性对比	153
13.5 小结	154
第 14 章 沉积物粒度组成的端元分析	155
14.1 端元分析模型	155
14.2 端元分析结果	156
14.3 端元典型站位概率分布累积曲线	160
14.4 小结	164
第 15 章 利用端元分析反演古气候	165
15.1 端元分析结果及其环境意义	166
15.2 压实校正与沉积速率	167
15.3 粒度组成与气候变化	168
15.4 小结	171
第 16 章 沉积物的黏土矿物组成	172
16.1 分析方法	172
16.2 表层沉积物中的黏土矿物	173
16.3 典型柱样沉积物中的黏土矿物	176
16.4 小结	179

第 17 章	表层沉积物元素地球化学	180
17.1	元素组成与物源稳定性分析	180
17.2	元素的地球化学分类	183
17.3	RSE 丰度与粒度和黏土矿物之间的相关性分析	186
17.4	RSE 的分布规律及成因探讨	189
17.5	缺氧区与世界其他海区 RSE 分布比较	206
17.6	小结	208
第 18 章	典型柱样沉积物中 RSE 的分布及环境指示意义	209
18.1	沉积物组成的稳定性分析	212
18.2	RSE 丰度与粒度之间的相关性分析	213
18.3	RSE 丰度分布及成因探讨	217
18.4	缺氧区与世界其他海区 RSE 富集特征比较	225
18.5	岩心地层年代确定	226
18.6	小结	228
第 19 章	沉积物中生源要素的地球化学特征	229
19.1	表层沉积物中生源要素的分布	230
19.2	表层沉积物中生源要素分布的影响因素分析	232
19.3	河口表层沉积物中生源要素的径流向分布	235
19.4	柱状沉积物中生源要素的地球化学特征及早期成岩作用	238
19.5	沉积物中有机质的 C/N 值	244
19.6	小结	249
第 20 章	沉积物中脂类有机质的分布特征及其地球化学意义	250
20.1	饱和烃类	250
20.2	脂肪酸	261
20.3	醇类	264
20.4	酮类	271
20.5	小结	276
第 21 章	表层沉积物中壬基酚的分布与生态风险	278
21.1	样品与分析方法	278
21.2	壬基酚等污染物的分布	279
21.3	壬基酚等污染物的生态风险	282
21.4	小结	282

第 22 章	表层沉积物中的重金属元素	283
22.1	调查采样与室内分析方法	283
22.2	三峡工程一期蓄水后早期(2003 年)重金属元素含量分布	284
22.3	2007 年重金属元素含量分布	287
22.4	小结	289
第 23 章	表层沉积物重金属污染及其潜在生态风险评价	290
23.1	基于沉积物质量标准的评价	290
23.2	生物效应数据库法	292
23.3	潜在生态风险评价	293
23.4	小结	297
第 24 章	河口海域浮游动物种类及其分布	299
24.1	浮游动物的种类及生态类型	299
24.2	生物量的平面分布	301
24.3	浮游动物群落结构	305
24.4	主要浮游动物种类及其分布	307
24.5	小结	312
第 25 章	河口海域的小型底栖动物	321
25.1	丰度及其生产力	321
25.2	自由生活海洋线虫群落结构	325
25.3	自由生活海洋线虫对台风的响应	329
25.4	缺氧带和无氧带中的小型底栖动物	330
25.5	小结	336
第 26 章	河口海域的大型底栖动物	337
26.1	类群组成与丰度分布	337
26.2	生物量	338
26.3	丰度和生物量比较曲线(ABC 曲线)	339
26.4	大型底栖动物群落对台风的响应	342
26.5	小结	342
参 考 文 献		343

CONTENT

Preface

i

Chapter 1 Physical geography and geomorphology 1

- 1.1 Background in Changjiang drainage basin 2
- 1.2 Sanxia Dam 8
- 1.3 Geomorphology of Changjiang estuary and adjacent waters 9
- 1.4 Summary 14

Chapter 2 Meteorological and hydrological environments in Changjiang estuary ... 15

- 2.1 Ocean meteorology 15
- 2.2 Ocean waves 16
- 2.3 Ocean tides 19
- 2.4 Ocean currents in Changjiang estuary and adjacent waters 24
- 2.5 Water temperature 27
- 2.6 Water salinity 29
- 2.7 Thermohaline distribution in Changjiang estuary after phase-I storage of Sanxia Reservoir 31
- 2.8 Summary 38

Chapter 3 Changes in water and sediment of Changjiang mainstream 40

- 3.1 Sedimentation in Sanxia Reservoir 40
- 3.2 Changes in water and sediment above and below Sanxia Dam during phase-I storage 42
- 3.3 Changes in water and sediment of Changjiang mainstream after phase-I storage ... 46
- 3.4 Summary 50

Chapter 4 Changjiang water and sediment into the estuary 51

- 4.1 Changjiang water and sediment into the estuary during phase-I storage 51
- 4.2 Changjiang water and sediment into the estuary after phase-I storage 53
- 4.3 Effects of Sanxia Reservoir water storage on time of Changjiang discharges into estuary 55
- 4.4 Summary 58

Chapter 5	Modeling Changjiang sediment transport into the sea	60
5.1	Introduction to ECOMSED	60
5.2	Initial and boundary conditions	63
5.3	Tidal verification	66
5.4	Changjiang suspended sediment transport into the sea	71
5.5	Summary	74
Chapter 6	Morphological features and composition of SPM	75
6.1	Morphological features	75
6.2	Mineral composition of SPM	82
6.3	Summary	87
Chapter 7	SPM distribution	89
7.1	SPM distribution	89
7.2	Comparison between SPM concentrations before and after water storage	93
7.3	Factors affecting SPM distribution	94
7.4	Turbidity maximum	95
7.5	Summary	97
Chapter 8	Relationship between SPM concentration and turbidity	98
8.1	Sampling and data obtaining	98
8.2	Relationship between SPM concentration and turbidity	99
8.3	Factors affecting relationship between SPM concentration and turbidity	103
8.4	Summary	104
Chapter 9	Biogenic elements	105
9.1	Research and analysis methods	105
9.2	Nitrogen	106
9.3	Phosphorus	108
9.4	Ratio of different nutrient	110
9.5	Nutrient changes in recent years of Changjiang estuary	110
9.6	Summary	111
Chapter 10	Pollutant	113
10.1	Inorganic pollutant in sea water	113
10.2	Organic pollutant in sea water	116
10.3	Change of pollutant in estuary sediment	122

10.4	Summary	123
Chapter 11	Distribution and change of nutrient in sea water	125
11.1	Sampling and analysis methods	125
11.2	Distribution characteristics of nutrient	126
11.3	Change trend of dissolved inorganic nutrient content	131
11.4	Summary	133
Chapter 12	Characteristics of sediment grain size	134
12.1	Analysis methods	134
12.2	Characteristics of surface sediment grain size	135
12.3	Vertical change of typical core sediment	139
12.4	Summary	144
Chapter 13	Grain composition characteristics and its meaning of surface sediment ...	146
13.1	Subarea of sediment grain size	147
13.2	Result of multi-statistic analysis	149
13.3	Contrast of grain composition characteristics between different mud subareas ...	151
13.4	Contrast of grain composition characteristics between mud and silt-sand subareas	153
13.5	Summary	154
Chapter 14	End-member analysis of sediment grain size	155
14.1	End-member model	155
14.2	Result of end-member analysis	156
14.3	Probability distribution cumulation curve of end-member typical site	160
14.4	Summary	164
Chapter 15	Deducing paleoclimate applying end-member analysis	165
15.1	Result of end-member analysis and its environment meaning	166
15.2	Compaction correction and sedimentary velocity	167
15.3	Sediment grain size composition and climate change	168
15.4	Summary	171
Chapter 16	Composition of clay mineral in sediment	172
16.1	Analysis method	172
16.2	Clay mineral in surface sediment	173
16.3	Clay mineral in core sediment	176

16.4	Summary	179
Chapter 17	Element geochemistry in surface sediment	180
17.1	Analysis of element composition and matter source stability	180
17.2	Geochemical classify of element	183
17.3	Relativity analysis between RSE abundance, sediment grain size and clay minerals	186
17.4	Discuss of the distribution of RSE and its cause	189
17.5	Contrast of RSE distribution in hypoxia zone sediment between Changjiang estuary and other sea	206
17.6	Summary	208
Chapter 18	RSE distribution and its environment significance in typical core sediment	209
18.1	Stability analysis of sediment composition	212
18.2	Relativity analysis between RSE abundance and sediment grain size	213
18.3	Discuss of the distribution of RSE abundance and its cause	217
18.4	Contrast of RSE enrichment characteristics in hypoxia zone sediment between Chang-jiang estuary and other sea	225
18.5	Confirmation of core stratum age	226
18.6	Summary	228
Chapter 19	Geochemical characteristics of biogenic elements in sediment	229
19.1	Distribution of biogenic elements in surface sediment	230
19.2	Analysis of affecting factors on biogenic elements distribution in surface sediment	232
19.3	Span distribution of biogenic element in estuary surface sediment	235
19.4	Geochemical characteristics and early diagenesis of biogenic elements in core sediment	238
19.5	C/N ratio of organic matter in sediment	244
19.6	Summary	249
Chapter 20	Distribution characteristics and its geochemical significance of lipid in sediment	250
20.1	Saturation hydrocarbons	250
20.2	Fatty acids	261
20.3	Alcohols	264
20.4	Ketone	271

20.5	Summary	276
Chapter 21	<u>Distribution of nonylphenol in surface sediment and its ecological risk</u>	278
21.1	Sampling and analysis method	278
21.2	Distribution of nonylphenol and other pollutants	279
21.3	Ecological risk of nonylphenol and other pollutants	282
21.4	Summary	282
Chapter 22	<u>Heavy metal elements in surface sediment</u>	283
22.1	Sampling and analysis methods	283
22.2	Distribution of heavy metal content in the early period of the first-stage of the Sanxia Project	284
22.3	Distribution of heavy metal content in 2007	287
22.4	Summary	289
Chapter 23	<u>Heavy metal pollution in surface sediment and its latent ecological risk evaluation</u>	290
23.1	Evaluation based on the sediment quality standard	290
23.2	Biological effect database method	292
23.3	Latent ecological risk evaluation	293
23.4	Summary	297
Chapter 24	<u>Zooplankton species and its distribution in estuary</u>	299
24.1	Zooplankton species and its ecological kinds	299
24.2	Plane distribution of biomass	301
24.3	Community structure of zooplankton	305
24.4	Major zooplankton species and its distribution	307
24.5	Summary	312
Chapter 25	<u>Meiofauna in estuary</u>	321
25.1	Meiofauna abundance and its productivity	321
25.2	Community structure of sea eelworm at liberty	325
25.3	Response of sea eelworm at liberty to typhoon	329
25.4	Meiofauna in anoxic and anaerobic zone	330
25.5	Summary	336
Chapter 26	<u>Macrofauna in estuary</u>	337
26.1	Species composition and abundance distribution	337

26.2	Biomass	338
26.3	Comparative curve of abundance to biomass	339
26.4	Response of macrofauna community to typhoon	342
26.5	Summary	342
Reference		343