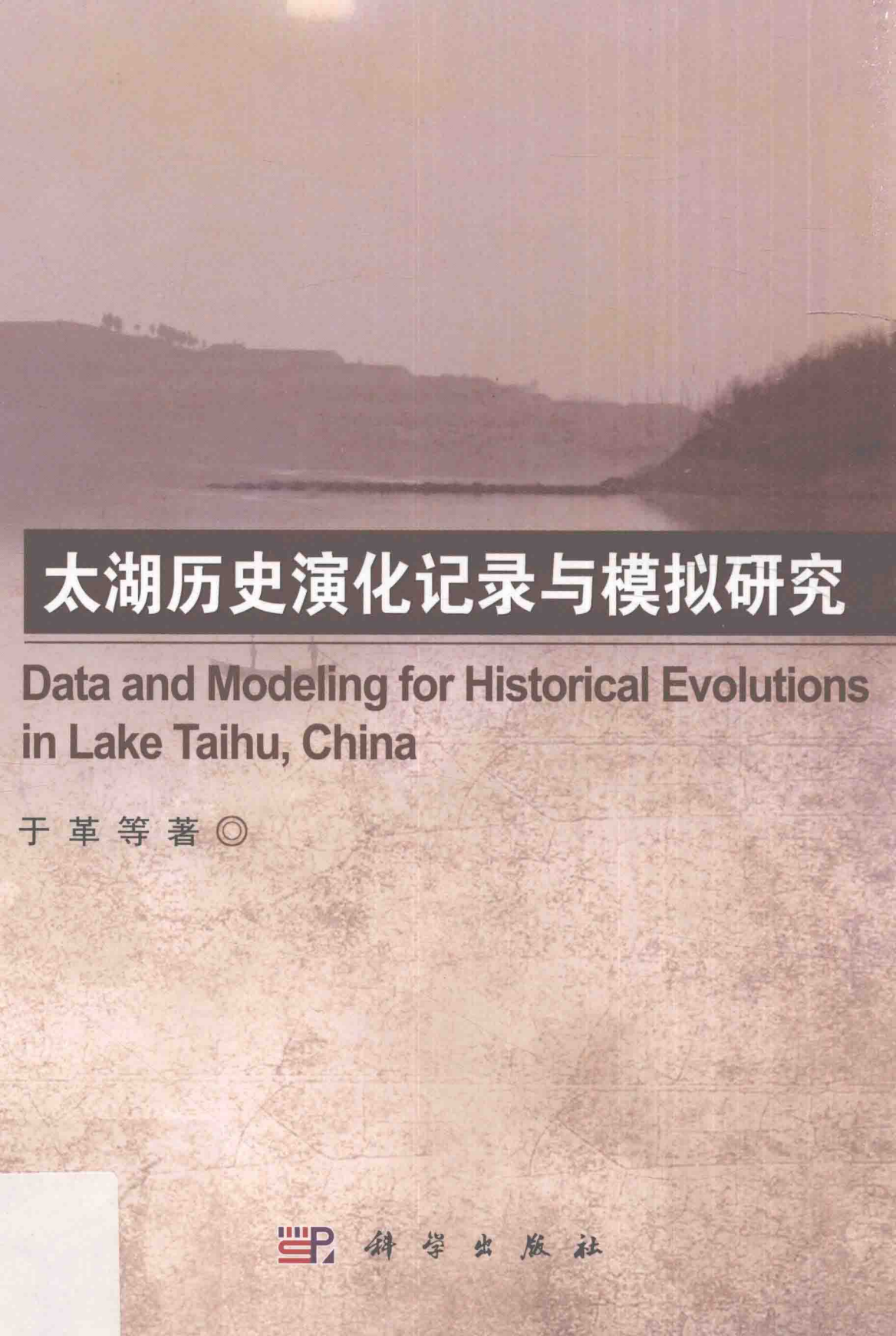




太湖历史演化记录与模拟研究

Data and Modeling for Historical Evolutions
in Lake Taihu, China

于革等著 ©



科学出版社

太湖历史演化记录与模拟研究

于 革 等 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

湖泊的水量、水质变化制约着湖泊生存、发展和消亡。然而,气候变化下的湖泊水量变化是一个常态现象,而湖泊水体富营养化是湖泊的历史过程。本书以历史时期为视角,通过对太湖过去百年来湖泊沉积、磁学和花粉沉积特征、考古证据、历史文献研究,进行流域水文长时间序列和极端年份水文数值模拟,同时对百年来太湖流域营养盐变化导致的湖泊富营养化演变的不同特征阶段进行模拟以及敏感因子试验。对历史时期以自然系统为主和过去 100 年以人类活动为主的两个时间系统,建立年分辨率的水位、水量时间序列,识别极端洪水事件发生的强度、频率。对比两个时间系统,评估人类活动的显著影响和自然系统下的气候变化,从而甄别人类活动与气候变化分别引起的全球增温对湖泊演化、极端灾害发生程度和频率等特征和规律。

本书汇总了在古代气候—古水文学、湖泊富营养化过程和历史转型、气候驱动下的湖泊历史演化等方面的研究成果,创新地采用沉积地质证据和数值模拟两方面途径从事研究。可供从事自然地理、第四纪地质、历史与环境考古、湖泊沉积和水文、区域规划等方面的科研、工程技术人员和有关大专院校师生阅读和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

太湖历史演化记录与模拟研究/于革等著. —北京:科学出版社, 2016
ISBN 978-7-03-049108-4

I. ①太… II. ①于… III. ①太湖—历史—研究 IV. ①K928.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 142238 号

责任编辑:罗 吉 沈 旭 程心珂/责任校对:刘亚琦

责任印制:张 倩/封面设计:许 瑞

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

*

2016 年 7 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2016 年 7 月第一次印刷 印张: 12 1/4 插页: 4

字数: 254 000

定价: 79.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

由于水资源短缺对人类生存造成直接威胁,水循环以及水质、水量变化研究已成为全球变化领域中核心课题之一。湖泊的水量、水质变化制约着湖泊生存、发展和消亡;而在太湖的地质地貌演化中,湖泊的水量和水质变化更为敏感、频繁,变化的时间尺度与人类生存和社会发展息息相关。然而,气候变化下的湖泊水量变化是一个常态现象,而湖泊水体富营养化是湖泊的历史过程。以历史视角来看,每一次的太湖极端洪水发生是湖泊水量趋于常态分布的极限,水体的富营养化是湖泊水质发展的终端。这是湖泊演化中两个核心问题。

太湖洪水历来受到关注。自早全新世到 20 世纪末,历史和近现代都不乏特大洪水发生:新石器太湖古文化的延续曾遭受过数次大洪水侵袭被中断,而 20 世纪 90 年代 2 次特大洪水造成了重大社会经济灾害。关注湖泊的水量变化和极端洪水事件是认识气候水文变化规律,进而预测未来趋势的科学途径。随着全球气温显著增加,人们观测到过去几十年的降水呈现出明显的年代际变化,而探究是否由人类活动排放温室气体导致全球增温,并造成极端降水和洪水变化,是一个极具挑战的理论问题。近年来国内外一些探索性研究认为,北半球 50 年来最恶劣的暴雨和风雪事件数量呈上升趋势,年均升幅约为 7%;而气候模拟研究认为,这些极端暴雨事件主要归因于温室气体下的全球增暖。然而,由于时间尺度局限在最近的 100 年以来,已经处于人类显著影响全球增温时段,这类研究还难以辨识增温中的自然系统下的脉动和变化机制。太湖平原地势平坦,属亚热带季风气候。自古以来只要中、上游过量降雨,下游平原就出现水患。洪水之患自古以来就是该区的最大威胁。新石器—陶器时期太湖古文化的延续曾遭受过数次大洪水侵袭而发生中断,发生了如 1954 年、1992 年和 1999 年特大洪水,而 1999 年太湖洪水是自水文站监测以来的百年一遇的特大洪水。在历史文献中,19 世纪发生了如 1823 年、1849 年和 1889 年特大洪水。尽管现代太湖流域的人类围垦、建坝、土地利用等在一定程度上造成湖泊水体容量减少或下游排水不畅导致洪水量的相对增大,但降水的增减仍然是流域洪水最重要的水源量。因此,无论现代还是历史,气候降水是控制流域洪水最重要的因素。这是本书采用气候驱动模拟和人类活动诊断的理论基础。

特大洪水属于极端水文事件。从统计意义上讲,极端洪水事件是指洪水发生的频率或重现期严重偏离其平均态,属于不易发生的小概率事件。根据现代水文观测数据,重现期超过 50 年的洪水被称为特大洪水。对超过洪水 50 年一遇的

小概率事件，常称为极端洪水。然而，由于我国历史条件的限制，绝大多数流域的观测站网都是在 1949 年以后建立起来的。从数理统计学和水文学原理出发，如果只用 30~100 年的洪水资料来设计百年级可能遭遇的洪水，会产生较大的抽样误差，设计防洪值偏大或偏小，从而造成工程浪费或使安全受到威胁。现有水文观测资料虽然能够识别发生概率在年际~十年时间尺度一遇的洪水事件，但难以对百年~千年时间尺度的特大洪水作较全面的科学判断。由于近、现代人为活动，工业革命以来的自然进程发生了由量到质的临界变化，50 年时间难以把握现代过程的全貌，在最近 50 年到历史时期和地质时期存在着一个盲点；而近现代到数千年历史时期被认为是地质、地理、气候等现代过程的最好时段。这是本书把历史时期作为时间尺度来研究的出发点。

重建长期历史的湖泊水量以及极端水文事件，通常采用数据和模拟两种途径。挖掘各类直接或间接的数据和资料，来自直接记录的历史文献，而湖泊沉积物、考古、地貌证据间接地提供了数据和资料。从太湖沉积钻孔获得的沉积记录及各类代用指标提供了长于观测资料、达到 $10^1 \sim 10^3$ 年时间尺度的气候水文变化序列和极端事件。流域水文模型为我们认识历史洪水提供了有效工具，因此采用模型模拟历史是研究湖泊变化的第二类途径。模拟研究不仅可以有效地重建历史湖泊水位和水量、对洪水年的流域产流、入湖汇流等水文特征和过程，而且可以客观地诊断分析变化的成因机制。因此，本书对两种途径的研究同时予以介绍。上述有关理论基础、时间尺度、研究对象、研究途径等在第一篇中作了系统论述。针对太湖及其流域，成功地获取不同时段数据和数值模拟，这是本书第二篇介绍的主要内容。

与湖泊水量变化比肩的一个问题是湖泊的水质变化。近几十年来，由于太湖湖区工农业生产迅速发展和人口剧增，排入湖泊的营养物质大量增加，富营养化引起的环境问题日益严重。在人类活动影响日渐加剧的条件下，剖析人类活动与自然因素在湖泊富营养化中的相对关系，探讨湖泊富营养化发生的机制显得尤为重要。然而，湖泊富营养化是湖泊发展的历史过程，在自然状态下从营养盐富集到富营养化通常是百年尺度过程。复杂多样的湖泊环境叠加在时间长度上，采用仅数十年的观测记录难以明了湖泊富营养化的长期变化过程和机制。

从历史的角度来考察问题，需要对流域营养盐输移模拟的长时间序列分析，考察在不同的阶段，流域营养盐产生和输移影响因子的变化，探讨人类活动影响与自然因素影响之间的相对关系。恢复流域湖泊营养盐输移演化的自然过程和现代过程，需要长时间序列的数据来支持。但对于大多数环境系统来说，长时间序列的监测数据是无法获取的，并且现有资料的长度通常也不能满足研究工作的要求，对于太湖流域，文献资料一般都是从新中国成立以后才开始的，资料长度不超过 100 年，并且资料的连续性很难保证。因此，如何获取长时间序列的数据就

成为本书有关章节的研究的关键。

关注湖泊富营养化发生机制问题, 需要从历史的角度出发来考察。以历史时期营养物质输移状态、规律为基础, 考察传统农耕状态下、现代农业条件下营养物质输移状态和规律的变化, 对营养物质输移演变作时间序列分析, 分析自然与人类活动两方面的影响。采用物理机制下的数值模拟是一个探索湖泊营养盐变化的有效途径, 这种方法能够随着时间推移进行边界场设置和参数率定, 不仅能够有效地反演湖泊长期富营养化的特征和过程, 而且通过敏感性控制因子试验, 能够有效分析和诊断变化的成因机制, 从中提取自然驱动力与人类活动属性和强度变化对湖泊水质变化的影响, 探讨流域富营养化发生机制问题。这是本书第三篇介绍的主要内容。

编写本书是为了系统总结上述研究的成果。本书共分 3 篇 13 章。第一篇由 3 章组成, 概述太湖以及流域历史时期有关水量和水质变化的科学问题和研究意义, 阐述湖泊演变研究的理论基础和研究途径。第二篇由 5 章组成, 分别介绍历史时期太湖水量变化的研究。其中, 第 4 章通过多钻孔沉积和花粉记录介绍过去 3000 年来区域气候植被演变, 并模拟流域湖泊水量变化, 第 5 章从典型钻孔的沉积记录分析过去 150 年来湖泊水量变化, 第 6 章针对过去 400 年来历史时期湖泊极端水文事件进行分析和序列重建, 第 7 章采用流域水文模型对历史上典型洪水年进行模拟, 第 8 章在气候背景下对太湖水量变化作诊断和归因分析。第三篇由 5 章组成, 分别介绍过去太湖流域从农耕时代、工业发展到现代城镇化的湖泊水质变化——湖泊富营养化演化的研究。其中, 第 9 章介绍湖泊水质变化模拟的研究途径和理论基础, 第 10 章介绍现代工农业背景下太湖流域营养物质模拟, 第 11 章介绍 20 世纪 60 年代营养物质输移的模拟, 第 12 章介绍对过去 200 年营养盐演变的模拟和在气候变化背景下对太湖水质变化作模拟和情景预测。最后第 13 章作总结和展望。

本书作者为于革、桂峰、胡守云、李春海、赖格英、李永飞、吴攀。各人分工如下: 桂峰完成第 4.1~4.2 节、第 10.5 节和第 11.4 节, 其中 TXS 钻孔孢粉分析部分由李春海执笔。在第 9~11 章中, 模型的综述、典型年份模拟(第 10.2~10.4 节、第 11.1~11.3 节)由赖格英完成, 连续年份模拟(第 10.5~10.6 节、第 11.4 节)由桂峰完成。第 5.1~5.2 节由李永飞完成, 其中磁学部分由胡守云执笔。于革完成本书的其他章节并负责全书编辑通稿。吴攀负责文字、图表编辑。

由于本书内容广泛, 涉及学科众多, 尚无同类著作可供借鉴, 书中不足之处在所难免。敬请读者批评指正。

作者

2016 年 1 月

目 录

前言

第一篇 概 论

第 1 章 湖泊长期水量变化	3
1.1 湖泊水位变化研究的基本理论和实践	4
1.1.1 从封闭湖泊到吞吐湖泊的研究	4
1.1.2 湖泊水位的指标体系	4
1.1.3 从个体湖泊研究到区域综合	5
1.1.4 从湖泊水位变化过程到变化机制的研究	6
1.2 太湖历史时期湖泊水量变化研究	7
1.2.1 太湖以及流域自然地理概况	7
1.2.2 过去 3000 年气候变化下湖泊水量变化	11
1.2.3 历史时期太湖水位和水量变化研究	12
第 2 章 湖泊水量变化与极端水文事件	14
2.1 历史时期极端气候水文事件	14
2.2 从高分辨湖泊沉积记录中追踪极端水文事件	16
2.3 极端气候水文事件数值模拟	17
2.4 气候机制下极端水文事件的情景预测	18
第 3 章 湖泊水质与湖泊营养演化	21
3.1 湖泊水质变化与湖泊营养演化	21
3.2 长期湖泊环境演化的研究途径	22
3.3 数据与模拟对比分析	25
3.3.1 数据与模拟对比	25
3.3.2 不确定性分析	26
参考文献	27

第二篇 历史时期太湖水环境演变

第 4 章 过去 3000 年以来流域气候植被和太湖水量变化	35
4.1 钻孔岩心和沉积时代	35
4.2 太湖流域孢粉记录及气候植被变化	38

4.2.1	孢粉特征及其序列变化	38
4.2.2	花粉参数	40
4.2.3	根据花粉参数指示的气候植被和人类活动变化	44
4.3	过去 3000 年以来气候——下垫面变化下的太湖流量模拟	48
4.3.1	模型和模拟试验	49
4.3.2	模型率定和控制试验	50
4.3.3	历史时期模拟试验	51
4.3.4	敏感性控制因子试验	53
第 5 章	太湖过去 150 年以来极端洪水的沉积记录	55
5.1	沉积钻孔和试验分析	56
5.2	太湖沉积序列和极端气候标识	56
5.2.1	沉积年代序列	56
5.2.2	沉积粒度特征	57
5.2.3	磁学特征	59
5.3	湖泊沉积与降水、流量相关分析	61
5.4	极端历史洪水年份的重建	62
第 6 章	基于沉积考古重建太湖历史极端洪水	66
6.1	历史洪水的考古和文献证据	66
6.1.1	水则碑洪水记录	66
6.1.2	校验水则碑记录的洪水位	66
6.1.3	观测水位与水则碑水位的衔接	68
6.2	历史洪水的沉积信号	69
6.2.1	沉积粒度指标	69
6.2.2	磁性参数指标	70
6.3	重建历史时期的极端洪水年	71
6.3.1	洪水序列重建	71
6.3.2	极端洪水年的水位和年份	71
6.3.3	洪水重现期分析	73
6.4	极端洪水与气候关联分析	74
6.4.1	PDO 气候指标及关联性检验	74
6.4.2	太湖历史洪水的气候关联分析	75
6.4.3	对太湖历史极端洪水重建的讨论	76
第 7 章	太湖 1889 洪水年模拟	79
7.1	数据和方法	79
7.2	控制试验和验证	81

7.2.1	对太湖洪水产流的模拟能力	81
7.2.2	对太湖入湖洪水量和过程的模拟能力	82
7.3	1889 年洪水模拟	83
7.3.1	极端洪水年的产流和汇流模拟	83
7.3.2	极端洪水年的重现期和误差估计	85
7.4	对太湖 1889 年极端洪水模拟的讨论	85
第 8 章	气候变化下太湖极端洪水情景预测	88
8.1	区域资料和模拟试验设计	88
8.1.1	模拟试验方案	88
8.1.2	极端洪水年的气候模式	89
8.1.3	不确定性分析	90
8.1.4	极端洪水的气候效应和风险系数	92
8.2	极端洪水年模拟	92
8.2.1	现代气候模式下洪水模拟 (试验 1)	92
8.2.2	历史气候模式下洪水模拟 (试验 2)	95
8.3	气候变暖下太湖极端洪水归因分析	96
8.3.1	不同驱动因子模拟的对比	96
8.3.2	归因机制分析讨论	99
参考文献		101

第三篇 历史时期太湖水质变化

第 9 章	湖泊富营养化数值模拟的研究	109
9.1	湖泊富营养化中的核心问题	109
9.2	流域—湖泊营养盐的机理性模型研究	110
9.3	SWAT 模型功能和应用	114
9.3.1	模型的主要功能	114
9.3.2	模型的应用	116
第 10 章	太湖流域营养盐现代过程模拟	118
10.1	以动力模拟途径追踪湖泊富营养化长期变化	118
10.2	空间与非空间数据及其处理	119
10.2.1	地形和水系	119
10.2.2	构建流域基础数据库	120
10.2.3	入湖和出湖水量的处理	122
10.2.4	营养盐分类和数据处理	123
10.3	模型与模拟方案	123

10.3.1	模型的输入、输出和运行界面	123
10.3.2	模拟方案	124
10.4	现代典型年份营养盐输移模拟试验	124
10.4.1	初始值设置	124
10.4.2	模型运行与率定	126
10.4.3	模型校验	127
10.4.4	模拟结果	129
10.5	现代连续年份营养盐输移模拟试验	132
10.5.1	流域点源输入	132
10.5.2	模型验证和率定	133
10.5.3	模拟结果	134
10.5.4	不同因子对营养盐贡献	137
第 11 章	太湖流域 20 世纪 60 年代营养物质输移的模拟	139
11.1	人类活动强度变化的转折点——20 世纪 60 年代	139
11.2	数据和处理	140
11.2.1	静态数据	140
11.2.2	半静态数据	141
11.2.3	动态数据	141
11.3	20 世纪 60 年代流域营养物质输移动态模拟	143
11.3.1	季节变化	143
11.3.2	空间变化	145
11.4	20 世纪 60 年代至 21 世纪头 10 年营养盐输移变化趋势模拟	146
11.4.1	变化趋势	146
11.4.2	总氮、总磷输移趋势与气候关系分析	147
11.5	营养物质输移的影响因子	149
第 12 章	过去 200 年太湖流域营养盐变化模拟	151
12.1	模拟方案和试验设置	152
12.1.1	模拟方案	152
12.1.2	数据处理	152
12.1.3	未来试验气候场设置	153
12.2	太湖流域 200 年营养盐自然本底模拟	156
12.2.1	时间和空间模拟结果	156
12.2.2	模拟与地质数据的对比	159
12.3	太湖流域营养盐产量变化的预测	160
12.3.1	模拟系统设置	160

12.3.2 流域营养盐变化趋势·····	162
第 13 章 总结和展望·····	164
13.1 对太湖历史时期极端洪水的认识·····	164
13.2 对极端洪水发生过程和机制的认识·····	165
13.3 对太湖富营养化历史演化的认识·····	166
13.4 湖泊模拟的研究方向·····	167
参考文献·····	169
致谢·····	177
彩图	

图 目 录

图 1.1	太湖流域地形坡度、水系、土地利用类型和土壤分布图	8
图 1.2	太湖流域及长江中下游 1860~1869 年、1900~1909 年和 1950~1959 年 (10 年平均) 温度分布	9
图 1.3	太湖流域及长江中下游 1860~1869 年、1900~1909 年和 1950~1959 年 (10 年平均) 降水分布	10
图 2.1	历史时期湖泊水量和极端水文事件模拟流程图	19
图 3.1	历史时期湖泊营养演化模拟流程图	24
图 4.1	研究区域和太湖地理位置图 ((a) 区域图, (b) 太湖流域图)	36
图 4.2	太湖钻孔 TXS 和 DQG 位置及多钻孔岩性对比	37
图 4.3	太湖 DQG 孔孢粉图谱	41
图 4.4	太湖 TXS 孔孢粉图谱	42
图 4.5	长江三角洲地区典型钻孔常绿与落叶阔叶属种花粉含量比 (EQ/DQ) 变化	45
图 4.6	太湖流域常绿与落叶阔叶花粉含量比 (EQ/DQ) 变化	45
图 4.7	太湖流域以及长江下游典型钻孔花粉 RWCI 指数变化	46
图 4.8	过去 3000 年以来禾本科花粉粒径变化	47
图 4.9	过去 3000 年以来典型钻孔松花粉含量变化	48
图 4.10	ECHAM 气候模型降尺度到太湖流域过去 1000 年特征期降水模拟	52
图 4.11	太湖流域过去 1000 年流量变化模拟	52
图 4.12	太湖流域过去 3000 年特征期月平均流量变化模拟及误差	53
图 4.13	太湖流域水文敏感因子贡献率分析	54
图 5.1	太湖 TXS 孔 ^{137}Cs 、 $^{210}\text{Pb}_t$ 、 ^{226}Ra 、 $^{210}\text{Pb}_{ex}$ 蓄积垂直分布和年代序列	57
图 5.2	太湖 TXS 孔沉积物组分和磁化率特征的垂直分布	58
图 5.3	太湖 TXS 钻孔磁学参数与沉积粒度比较	60
图 5.4	太湖 TXS 孔沉积砂级含量与流域洪水年份和区域降水对比	62
图 5.5	太湖 TXS 孔砂级粒度和磁化率 (χ_{rf}) 相关分析	64
图 5.6	太湖 TXS 孔沉积粒度 (砂级 D64 和 D50) 和磁化率 (χ_{rf}) 的频谱分析	64
图 6.1	太湖流域地表高程、水系及水则碑、水文站和钻孔位置	67
图 6.2	太湖水则碑洪水位与逐日观测年最高水位 80% 百分位的衔接系列	68
图 6.3	1921~2004 年太湖特大洪水位与沉积指标对比	70
图 6.4	太湖沉积记录 3 个的洪水信号序列对比	71
图 6.5	1600~1920 年多指标历史洪水序列对比	72

图 6.6	1600~2004 年洪水序列频谱分析	73
图 6.7	过去 400 年太湖特大洪水水位与 PDO 序列对比	76
图 7.1	太湖上游模拟区域图	80
图 7.2	1988~2002 年控制试验逐月水文模拟与观测对比	82
图 7.3	1999 洪水年降水、径流和水位对比	83
图 7.4	1889 洪水年逐日观测降水 (P) 和逐日模拟汇流径流 (Q)	83
图 7.5	太湖 1889 洪水年模拟径流和频率分布	84
图 8.1	IPCC-20C3M 方案 1999 年逐日降水模拟和驱动试验 1 逐日流量模拟	93
图 8.2	IPCC-20C3M 方案驱动逐日极端流量模拟频率分布及与控制试验流量 对比	94
图 8.3	IPCC-PICTL 方案驱动试验 2 的 15 年逐日流量模拟和频率分布	95
图 8.4	IPCC-PICTL 方案驱动试验 2 极端流量模拟频率及与控制试验流量 对比	96
图 8.5	蒙特卡罗模拟太湖流域逐日流量变化及频率分布	98
图 8.6	IPCC-PICTL 方案和 20C3M 方案驱动的太湖流量变化风险评估	99
图 10.1	模拟太湖水域分区和流域	119
图 10.2	各区地表径流逐月模拟与实测值对比	128
图 10.3	各区逐月总氮和总磷模拟与实测值对比	128
图 10.4	1995 年、1998 年和 2002 年太湖流域总氮、总磷总量模拟	129
图 10.5	太湖上游河网分布与水文水质断面位置图	133
图 10.6	太湖上游各区 1987~2007 年多年营养盐通量空间来源	137
图 10.7	不同营养盐来源因子对湖泊 TN 和 TP 贡献率	138
图 11.1	太湖各区模拟总氮、总磷逐月分布	143
图 11.2	太湖流域土壤总氮和总磷空间分布图	145
图 11.3	1962~2002 年入湖总氮和总磷模拟的年平均量	146
图 11.4	1962~2002 年太湖总氮和总磷模拟的浓度变化	147
图 11.5	1962~2002 年实测流量与模拟总氮、总磷入湖量	148
图 11.6	20 世纪 60 年代营养来源对入湖营养盐的贡献率	150
图 12.1	太湖流域历史时期子流域划分	153
图 12.2	太湖流域未来 100 年频率高于 75% 的温度和降水变化	155
图 12.3	太湖流域四个子流域 (NW、N、SW、SE) 过去 200 年营养盐各个 分量模拟	157
图 12.4	1850~1940 年入湖 TN 和 TP 年平均量模拟	158
图 12.5	过去 200 年 TN 和 TP 模拟的区域分布	158
图 12.6	过去 200 年太湖子流域入湖营养盐模拟与沉积资料 (DIs 和 Ms 钻孔) 对比	160
图 12.7	1960~2000 年入湖年平均 (ANN) 和夏季 (JJA) TN 和 TP 模拟	161
图 12.8	气候变化驱动下 2010~2100 年太湖流域 TN 和 TP 变化模拟	163

表 目 录

表 4.1	历史时期各个特征期气候变化下模拟方案	49
表 6.1	太湖吴江水则碑的洪水位标准	67
表 6.2	20 世纪特大洪水器测水位与水则碑记录对比	68
表 6.3	太湖历史洪水与 PDO 关联性检验的参数和结果	75
表 7.1	1889 洪水年径流模拟及频率上、下限误差估计	85
表 8.1	试验 1 (1988~2002 年) 和试验 2 (1880~1894 年) 入湖流量模拟的主要统计量	97
表 9.1	基于流域尺度的湖泊营养盐外源模型	112
表 10.1	流域地形基本特征和人口密度	120
表 10.2	太湖流域主要河道入湖出湖水量特征和系数	122
表 10.3	模拟方案设计	124
表 10.4	计算人和牲畜 TN、TP 排放参数	125
表 10.5	校验水量、总氮和总磷模拟的 E_{NS} 系数	127
表 10.6	1995 年、1998 年和 2002 年总氮、总磷量模拟	130
表 10.7	不同营养源类型对湖泊总氮、总磷贡献率	131
表 10.8	不同子流域营养源对湖泊总氮、总磷贡献率	131
表 10.9	1987~2007 年各子流域输出营养盐浓度模拟	135
表 10.10	1987~2007 年各子流域营养盐量模拟	136
表 11.1	1965~1995 年太湖流域主要社会经济指标的增长率	143
表 11.2	20 世纪 60 年代子流域总氮、总磷年内模拟月均值	144
表 11.3	1962 年和 1965 年子流域总氮、总磷入湖量模拟年均值	145
表 11.4	营养盐入湖趋势拟合函数参数设置	147
表 11.5	20 世纪 60 年代营养盐来源敏感试验结果	149
表 12.1	1960~2000 年太湖水体与沉积物 TN、TP 测值资料	159

第一篇 概 论

本篇由三个章节组成，概述太湖以及流域历史时期有关水量和水质变化的科学问题和研究意义，阐述湖泊演变研究的理论基础和研究途径。

第 1 章 湖泊长期水量变化

地球演化至今已经有 46 亿年了，海陆构造变迁、冰期—间冰期气候变化贯穿在整个地球演化历史中，发生了多次重大的自然环境变化。湖泊以其沉积连续、信息丰富、地理覆盖广等特点，记录了大量的自然环境变化。湖泊水量变化能提供大量气候降水和地表湿度变化信息，反映较大范围的气候变化 (Street-Perrott & Harrison, 1985)。因此，湖泊水量变化不仅是最重要的水量变化代用指标 (Harrison & Digerfeldt, 1993)，也是能够提供诊断未来气候变化下陆地水量变化的重要指标，揭示区域水文和气候历史的变化过程、频率以及趋势。作为地表水资源变化评估及测试的一个基准，我们目前虽然还无法准确模拟未来气候—水量的变化，但是能够模拟历史时期的湖泊水位变化并将结果与其他重建结果进行对比，大大提高模拟的准确性，从而为认识未来水资源变化提供重要的科学依据，这是对湖泊长期水量变化研究的重要目的之一。

湖泊水量的变化主要反映了流域降水与蒸发的水量平衡变化。现代湖泊模拟的研究表明，降水是控制水量平衡变化最主要的气候参数，而温度、云量以及蒸发的影响则相对要小得多 (Mason et al., 1994)。因此，湖泊水位变化可以反映出区域降水和有效降水的气候变化。湖泊水量变化提供了大量的气候降水和地表湿度信息，而区域性的湖泊水量同步变化可以过滤掉个别湖泊受局部地域影响的水量变动，从而反映较大范围的气候变化。湖泊水量变化成为了最重要的陆地水量变化代用指标 (Street & Grove, 1976; Wright et al., 1993)。湖泊的地理分布极为广泛，分属的气候和地貌类型复杂多样，湖泊沉积记录提供了地球陆地几乎各个地带的水量的剧烈变化。极端干旱、半干旱流域湖泊、湿润地区的沿海平原湖泊以及高山地区盐湖对水量平衡反应灵敏 (Yu & Ke, 2007)。这些湖泊的水位记录不仅反映出湖泊对气候变化的响应，而且能够用于类推，为未来气候变化背景下针对湖泊水位的变化情况提供了依据。

灵长目进化了几百万年，智人仅仅在距今十几万年前才出现。然而，现代人类活动引起的环境变化，在尺度上、强度上以及持久性上足以强化或加速自然环境的变化。在十几万年的进化中，大部分时间人类对环境的影响是非常小的。石器时代的 50 个人所带来的环境影响要比拥有现代技术的 50 个人小很多 (Smol, 2002)。由于一个世纪以来人类活动造成的温室效应，气候变化既不同于气候的年内变化也远大于年际变化 (Kattenberg et al., 1996)。虽然人类对热量和温度的变化有较强的承受能力，但是当大气降水大量减少，地表有效降水长期匮乏时，