

TAIHULIUYU
HUANJING ZONGHE ZHUANGKUANG
JI YANBIAN QUSHI

太湖流域环境综合状况 及演变趋势

卢少勇 等编著



化学工业出版社

非
外
借

TAIHULIUYU
HUANJING ZONGHE ZHUANGKUANG
JI YANBIAN QUSHI

太湖流域环境综合状况 及演变趋势

卢少勇 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书共分5章,首先分析了太湖的地理、气候、植被、土壤和水系等特征;然后主要介绍了太湖流域分区及其污染特征,太湖流域土地利用、社会经济、产业结构调查及结果,以及污染源调查技术路线、工业源排放量与入河量、城镇生活源排放量与入河量、农村生活源排放量与入河量、种植业源排放量与入河量、畜禽养殖业源排放量与入河量及其他源排放量与入河量等;最后介绍了太湖流域生态圈层概述、河网水生态特征分析、湖荡水生态特征分析、水源涵养林生态特征分析、湖滨缓冲带水生态状况及演变趋势分析,以及太湖水体水生态状况及演变趋势分析等。

本书具有较强的知识性和针对性,可供从事流域环境污染综合调查、污染控制等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考,也可供高等学校环境工程、生态工程、市政工程及相关专业师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

太湖流域环境综合状况及演变趋势/卢少勇等编著.
—北京:化学工业出版社,2019.6
ISBN 978-7-122-34172-3

I. ①太… II. ①卢… III. ①太湖-流域-生态环境-研究 IV. ①X524

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第054964号

责任编辑:刘兴春 刘兰妹

责任校对:宋 玮

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京虎彩文化传播有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张11 彩插4 字数151千字 2019年9月北京
第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:85.00元

版权所有 违者必究

前言

PREFACE

太湖位于长江“黄金水道”南缘，横跨江苏、浙江两省，为我国第三大淡水湖。流域河道总长约 $12 \times 10^4 \text{ km}$ ，河道密度达 3.25 km/km^2 ，出入太湖河流 228 条，河流纵横交错，湖泊星罗棋布，是我国河道密度最大的地区，也是我国著名的平原水网地区。太湖流域作为我国经济社会发展速度最快的区域之一，生态系统发生了较大的变化，经济社会发展与水环境保护之间的矛盾日益突出，如何正确认识太湖的水污染问题及其面临的严峻形势，对于加快太湖水环境改善及保障水环境安全具有重要意义。

太湖的富营养水平总体加剧，由 20 世纪 60 年代贫营养状态变为 1981 年中营养状态，2007 年，太湖流域已转变为中度富营养，富营养化面积占 75% 以上。东太湖、洮湖和滬湖等湖泊的沼泽化也较严重，有的已形成草型湖泊，湖泊水生态系统退化严重。2007 年 5 月，太湖藻华大规模暴发，导致贡湖水源地水质急剧恶化，引发无锡市供水危机，使当地政府和民众对湖泊富营养化和藻华、黑水团等问题空前关注。国家和政府直面太湖水污染，全力开展科学研究与水体污染治理工作。

本书在国家水专项“太湖富营养化治理与综合控制技术及其工程示范项目”“太湖流域环境综合调查与湖泊蓝藻水华控制系统方案研究”“太湖流域环境综合调查与水污染特征及趋势研究”(2008ZX07101-001-01) 子课题的研究成果的基础上编著而成，系统梳理了太湖的社会经济、水环境和水生态的状况，根据太湖流域污染情况，将太湖流域分为 5 个污染控制区，开展了太湖流域环境综合调查。

本书共 5 章，首先介绍了太湖流域概况，分析了太湖的地理、气候、植被、土壤和水系等特征；其次是对太湖流域水体、污染源特征、污染源排放及经济社会发展分析；最后是太湖流域生态圈层状况

及演变趋势分析。全书从太湖流域水环境质量现状、流域土地利用、社会经济、产业结构、污染源状况、流域生态圈层状况及演变趋势分析等多角度，全面把握太湖流域污染源对太湖水体富营养化的贡献及流域社会经济发展模式对水环境的影响，完善太湖流域污染综合调查信息数据库；为太湖流域富营养控制提供良好的参考依据和技术支撑。

本书是卢少勇及其研究团队集体智慧的结晶，科研团队成员在卢少勇研究员的指导下，凭着对我国水环境保护与治理研究的经验与热情，以及对太湖流域水环境的责任心，完成了本书的编著工作。具体编著分工如下：中国环境科学研究院卢少勇、余辉、万正芬、牛远、周俊丽、国晓春承担了本书大部分编著工作；河海大学的王鹏编著了城镇生活源、农村生活源和船舶污染源的调查与分析，逢勇编著了入河量、入湖量计算部分；中国科学研究院水生生物研究所的徐军编著了湖荡和水源涵养林调查部分；中国科学院地理科学与资源研究所吴锋编著了土地利用调查部分；江苏省环境科学研究院张磊、浙江省环境科学研究院徐鹏炜编著了社会经济调查等部分。

2007年以来，通过科学家、多级政府的共同努力，科技专项的科技支撑作用与地方的工程结合，太湖的水质有了较好的改善，TN浓度有了较明显的降低，流域生态环境得到了一定改善。随着太湖流域经济社会发展，污染源构成逐步由原来的农业源转变为农业源和生活源，超标因子也逐步由COD和 NH_4^+-N 、TP转变为TN；同时，随着太湖流域通信设备、计算机及其他电子设备制造业、金属制品业、化学原料及化学制品制造业、纺织业等高污染、高耗能行业发展，重金属及有毒有机等污染开始凸显。由于缺少近年来工业行业分布及工业废水污染物排放的调查等，因此本书仍然有很多有待完善和深入研究的地方。希望本书的出版能够帮助太湖流域水环境水生态的改善，为我国“十三五”以及更长时间的太湖保护与污染防治提供支持。

限于编著者时间及水平，书中不足及疏漏之处在所难免，敬请读者提出修改建议。

编著者

2019年1月

目录

CONTENTS

第 1 章 太湖及太湖流域简介

1

1.1 太湖简介	1
1.2 太湖流域简介	3
1.2.1 自然环境概况	3
1.2.2 重要地位	4
1.2.3 地质地貌	7
1.2.4 气候气象	7
1.2.5 植被和土壤	8
1.2.6 地下水	9
1.2.7 河流水文	10
1.2.8 湖荡与太湖	12
1.2.9 陆地生态与水土流失	14
1.2.10 自然资源	16

第 2 章 太湖流域分区及污染源特征

17

2.1 太湖流域分区	17
2.1.1 “九五” 规划分区为一湖一区与系列河流 (21 个县市区)	17
2.1.2 “十五” 规划分区为 9 区 23 单元	17
2.1.3 “十一五” 水专项分为 5 个区	18
2.2 污染源分类及分区污染源特征分析	19

2.2.1 现有污染源分类	19
2.2.2 太湖流域污染源区域分布特征	21

第3章 太湖流域土地利用、社会经济、产业结构调查及结果 24

3.1 太湖流域土地利用	24
3.2 太湖流域经济	26
3.3 太湖流域产业结构	28

第4章 太湖流域污染源状况 31

4.1 污染源调查技术路线	31
4.2 工业源排放量与入河量	32
4.2.1 调查与计算方法	32
4.2.2 排放量与入河量	33
4.3 城镇生活源排放量与入河量	50
4.3.1 调查与计算方法	50
4.3.2 排放量与入河量	62
4.4 农村生活源排放量与入河量	64
4.4.1 调查与计算方法	64
4.4.2 排放量与入河量	66
4.5 种植业源排放量与入河量	68
4.5.1 调查与计算方法	68
4.5.2 排放量与入河量	70
4.6 畜禽养殖业源排放量与入河量	73
4.6.1 调查与计算方法	73
4.6.2 排放量与入河量	73
4.7 其他源排放量与入河量	75
4.7.1 船舶污染调查与计算方法	75
4.7.2 干湿沉降调查	80
4.8 排放量与入湖量	86

4.8.1 废水中污染物排放量与入河量分析	86
4.8.2 太湖流域污染物年入湖通量	88

第5章 太湖流域生态圈层状况及演变趋势分析

93

5.1 太湖流域生态圈层概述	93
5.1.1 河网	94
5.1.2 湖荡	95
5.1.3 水源涵养林	96
5.1.4 湖滨缓冲带	97
5.1.5 太湖水体	98
5.2 河网水生态特征分析	99
5.2.1 河网堤岸自然特征	99
5.2.2 河网水质空间分布特征	100
5.2.3 河网底质空间特征	108
5.2.4 河网水生植物空间分布特征	113
5.3 湖荡水生态特征分析	115
5.3.1 湖荡水质空间分布特征	115
5.3.2 湖荡底质空间分布特征	116
5.3.3 湖荡水生植物空间分布特征	117
5.4 水源涵养林生态特征分析	124
5.4.1 涵养林空间分布	124
5.4.2 涵养林林分结构	127
5.4.3 涵养林恢复措施	128
5.5 湖滨缓冲带水生态状况及演变趋势分析	131
5.5.1 湖滨带水质空间特征	131
5.5.2 湖滨带底质空间特征	135
5.5.3 湖滨带水生态空间特征	140
5.6 太湖水体水生态状况及演变趋势分析	149
5.6.1 太湖湖泊水质变化情况	149

5.6.2	太湖藻类与富营养化形势的历史 演变与现状	150
5.6.3	太湖水生高等植物的历史 演变与现状	153
5.6.4	太湖渔业历史演变与现状	156

太湖及太湖流域简介

1.1 太湖简介

太湖古名震泽，又名笠泽、具区和五湖。其湖域介于 $30^{\circ}55'40''\sim 31^{\circ}32'58''\text{N}$ 、 $119^{\circ}52'32''\sim 120^{\circ}36'10''\text{E}$ 之间。湖盆的地势是由东向西倾斜，呈浅碟形。据 1984 年测量结果，湖泊面积 2427.8km^2 ，湖中岛屿 51 个，总面积 89.7km^2 ，实际水面面积为 2338.1km^2 ，湖岸线总长 405km （金相灿等，1999）。太湖主要补给水源为天目山、界岭和茅山东麓诸水。太湖平均水深 1.9m ，最大水深不足 2.6m （秦伯强，2004），是典型的浅水型湖泊。太湖多年平均水位为 $3.00\sim 3.12\text{m}$ ，历年最高水位为 $4.73\sim 4.98\text{m}$ ，最低水位为 $1.76\sim 2.25\text{m}$ ，1954 年发生流域性洪水，最高水位达 4.98m （望亭站）。太湖是我国五大淡水湖（鄱阳湖、洞庭湖、太湖、洪泽湖和巢湖）之一，为我国第三大淡水湖，也是我国“九五”以来确定的“三湖”（太湖、巢湖和滇池）之一（余辉，2011；杨苏文，2015；张雷，2013；张婷，2010）。太湖湖泊面积、蓄水量及流域面积居我国五大淡水湖之三（云南大理白族自治州，2016；金斌松，2012；黄代中，2013；叶正伟，2010；任艳芹，2011）。

我国五大淡水湖及“新老三湖”特征比较见表 1-1。

表 1-1 我国五大淡水湖及“新老三湖”特征比较

项目	鄱阳湖	洞庭湖	太湖	洪泽湖	巢湖	滇池	丹江口 水库	白洋淀	洱海
湖泊面积/ km^2	2933	2691	2338.1	1597	760	298.4	—	366	251.32
平均水深/ m	5.1	6.39	1.89	1.77	3	—	—	—	10.8
蓄水量/ 10^8m^3	320	167	44.28	27.9	20.7	15	408.5	—	29.59
流域面积/ km^2	162000	257000	36895	18090	13486	2920	95000	31205	2565

从地域上看，太湖的北界和西界分别为无锡市、常州市、武进区（属于常州市）、宜兴市（属于无锡市），东及东南为苏州市、吴江区（属于苏州市），南为浙江省的湖州市长兴县、吴兴区、南浔区。

业界对太湖如何形成尚有争议，主要有构造成湖论、潟湖成因说、陨石冲击坑说等。中国科学研究院南京地理与湖泊研究所研究认为，太湖的底部及整个太湖平原湖泊底部全部是黄土层硬底，湖水直接覆盖在黄土之上，未发现海相化石及海相沉积物；相反，却发现大量的古代人类生活的文化遗址，因而太湖不属于构造成因的湖泊。同时，太湖平原除东部上海地区和南部嘉兴以南地区曾受全新世海侵外，整个中部广大湖荡平原区并未受海水侵袭，因此不存在潟湖成因。关于陨石冲击坑说，如果湖泊是陨石冲击而成，湖底会保存有撞击坑的痕迹，而太湖湖底十分平坦，平均坡度仅 $19.66''$ ，且湖中尚分布有 51 个岛屿，在平坦湖底上至今尚保存有完好的河道，自西向东穿过。

因此，太湖的形成最后主要归结为两方面原因：一方面是气候变化引起的洪涝灾害；另一方面是泥沙淤积、人类围垦，引起河道宣泄不畅。太湖是在原河道基础上，因洪泛而扩展成湖，与长江中下游其他湖泊（如洪泽湖、鄱阳湖等）基本相同。

1.2 太湖流域简介

1.2.1 自然环境概况

太湖流域北抵长江、东临东海、南涉钱塘江、西以天目山、茅山为界，是我国著名的平原河网区（叶建春，2015）。太湖流域自然条件优越，物产丰富，交通便利，是历史上著名的富庶之地，有“上有天堂，下有苏杭”之美誉。

目前太湖流域面积 36895km^2 ，占全国面积的 0.4% ，行政区划分属江苏省、浙江省、上海市和安徽省，其中，江苏部分的面积为 19399km^2 ，占 52.6% ，包括无锡、苏州、常州及丹阳市；浙江部分的面积为 12093km^2 ，占 32.8% ，包括嘉兴、湖州两市全部及杭州市的一部分；上海部分的面积为 5178km^2 ，占 14% ，包括除崇明县以外的区域；安徽部分的面积为 225km^2 ，占 0.6% 。

本书中以“十一五”时期国家水专项“太湖流域环境综合调查与水污染特征及趋势研究”子课题调查分析数据为依托，并结合“十二五”国家水专项“水陆交错带水生植被重建工程技术与示范”子课题的部分研究成果，分析了太湖流域近 10 年来的环境综合状况。“十一五”水专项主要从汇水角度考虑，太湖流域研究区域面积 30080km^2 ，江苏省内包括南京市高淳县，镇江市句容市、丹阳市、丹徒区，常州市区、武进区、溧阳市、金坛市，无锡市区、江阴市、宜兴市，苏州市区、常熟市、张家港市、昆山市、太仓市、吴江市的行政区域，面积 17177km^2 ，城镇化率达 73% 。浙江省太湖流域跨湖州市，嘉兴市，杭州市主城区、余杭区及临安市（不含钱塘江流域部分），面积 12562km^2 。太湖流域跨上海市青浦区，包括练塘镇、朱家角镇和金泽镇，面积 341km^2 。全流域平均每人仅占有土地 1.68 亩（ $1\text{亩}\approx 666.67\text{m}^2$ ，下同），土地利用程度很高。

太湖流域本是举世闻名的“鱼米之乡”，但随着近 30 年来经济高速发展，产生的污染物大量直接排放，湖水受到了严重污染，加之工业、农业、居民生活等用水量大幅增加，现已成为一个水质型、工程型和资源型缺水地区，流域水污染已在一

定程度上制约了流域社会经济的可持续发展。太湖自 20 世纪 90 年代以来几乎每年发生不同程度的藻华。2007 年 5 月底，太湖蓝藻大规模爆发（见图 1-1），无锡市水源地水质污染，发生供水危机，严重影响了当地百万群众正常生活，造成较大的社会影响。据不完全统计，太湖流域每年因水污染造成的经济损失约 50 亿元，相当于 1991 年洪水损失的 50%。



(a)



(b)

图 1-1 2007 年太湖蓝藻爆发

1. 2. 2 重要地位

太湖流域是我国人口密度最大、工农业生产发达、国内生产总值和人均收入增长最快的地区之一，其经济总量在全国举足轻重。“苏南模式”“无锡模式”等引领国内经济发展。根据

《长江三角洲城市群发展规划》，太湖流域是长三角城市群主要集中区，以上海都市圈为核心，已初步形成南京都市圈、杭州都市圈、苏锡常都市圈和宁波都市圈的多中心格局，带动整个区域城市发展。南京都市圈是全国科教、创新与先进制造业基地之一；苏锡常都市圈是国际制造业基地、中国先进制造业和创新基地；杭州都市圈是长江三角洲南翼的中心区域，是国际旅游服务中心和以高科技为龙头的国家先进制造业基地，这些中心的形成对长三角城市群的发展起到了至关重要的作用。

长江三角洲为一核九带；其中上海为核，环湖带即指环太湖带，为九带之一。太湖流域的发展定位为：坚持生态优先原则，以保护太湖及其沿岸生态环境为前提，严格控制土地开发规模和强度，优化产业布局，适度发展旅游观光、休闲度假、会展、研发等服务业和特色生态农业，成为全国重要的旅游休闲带、区域会展中心和研发基地。

太湖流域的土地面积仅占全国的 0.4%，人均 GDP 和城镇化率远高于全国平均水平。随着城镇化快速推进，城市面积不断扩大，城镇人口急剧增加，其中，建成区面积从 1995 年的 2206.8km² 扩张至 2010 年的 9476.4km²，增长了 3.3 倍。2001~2015 年，太湖流域人口由 3670 万人增加到 6080 万人，年均增长率达 4.4%（见图 1-2）。2015 年，单位面积人口密度为 1648 人/km²，人口密度为全国平均人口密度的 11.5 倍。城镇化发展迅速，城镇化率从 1990 年的 47.2% 急剧上升到 2013 年的 78.4%，超出全国平均水平 25%。流域经济发展迅速，2015 年流域生产总值为 2000 年的 5.96 倍，单位国土面积经济收益为全国平均的 25.6 倍（《太湖健康状况报告》）。

太湖流域交通发达，沪宁、沪杭铁路贯穿全流域，随着社会经济的发展，城镇建设不断加快，目前已经形成了由特大、大、中、小城市，以及建制镇等组成的城镇体系，初步形成了以特大城市上海市为中心的城市群体。流域内工业门类齐全，生产水平高、规模大。冶金钢铁、石油化工、机械电子、轻纺、

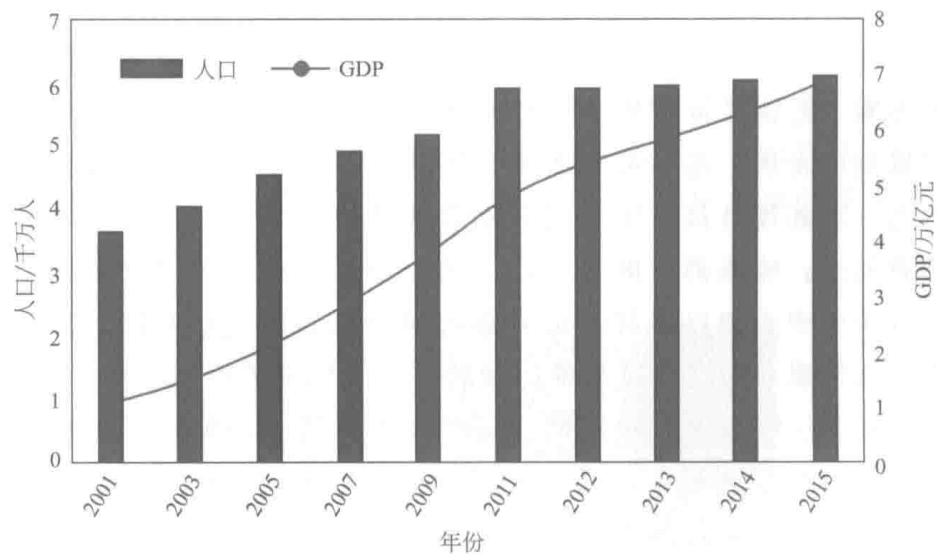


图 1-2 太湖流域总人口与 GDP 的多年变化规律

医药及食品等工业在全国举足轻重。流域内农业生产广泛采用新技术，集约化程度不断提高。流域以第二、第三产业为主，特别是电力、纺织、化工、冶金、电子信息等制造加工业及服务行业，新时期下资源密集型产业不断向技术密集型产业转移。

根据《长江三角洲地区区域规划（2009—2020 年）》，沿湖发展以保护太湖及其沿岸生态环境为前提，以成为全国重要的旅游休闲带、区域会展中心和研发基地为目标，严格控制开发规模与强度，提高发展效率。上海市中心城区以现代服务业为主，郊区以先进制造业、高新技术产业和现代农业为重点，旨在成为具有国际影响力和竞争力的大都市。常州、无锡确立以新能源、新材料、节能环保、电子信息、生物医药等为主的战略新兴产业，调整、优化产业结构。湖州也在大力支持高新技术产业发展。镇江以装备制造、精细化工、新材料、新能源、电子信息为发展核心。苏州以高技术产业基地、现代服务业为重点发展对象。杭州市充分发挥山水旅游资源，建设高技术产业基地和国际重要旅游休闲中心，形成杭州都市圈。

太湖流域地理位置优越，经济与科技实力强，交通、通信、公用

设施、商业、服务业、金融业等条件良好，自然风光、历史古迹等旅游资源丰富，发展前景十分诱人。

1.2.3 地质地貌

太湖流域西部山地、东部平原的地貌基本轮廓，在燕山运动时期已奠定。太湖流域地形呈周边高、中间低的碟形；其西部为山区，属天目山及茅山山区的一部分，中间为平原河网和以太湖为中心的洼地及湖泊，北、东、南周边受长江和杭州湾泥沙堆积影响，地势高亢，形成碟边（秦伯强，2004），最高峰为西天目山的龙王峰 1587m，平原地区大部分的地面高程在 10m（吴淞零点）以上。

流域地貌分为山地丘陵及平原两大类，其中山地丘陵（约占 16%）主要分布在流域西部；平原（约占 68%）主要分布在流域北部、东部和南部。流域主要水系（河湖水面约占 16%）属典型的平原河网，河道总长约 1.2×10^5 km， 0.5km^2 以上大小湖泊 189 个（高永年，2010）。全流域以太湖为中心，上游主要分布有苕溪水系、南河水系和洮滬水系，下游主要分布有黄浦江水系（包括吴淞江）、北部沿江水系和南部沿杭州湾水系。流域内平原地区地势低洼、平坦，地面坡降在 1/20 万~1/10 万，河道水面比降小。

1.2.4 气候气象

太湖流域属北亚热带南部向中亚热带北部过渡的东西季风气候区，四季分明，无霜期长，热量充裕，降水丰沛。太湖湖区具有盛夏炎热，严冬寒冷的特点。太湖水量补给主要依赖天然降水，属雨源型湖泊。流域年均气温 16.0°C ，1 月平均气温 3.3°C ，7 月平均气温 28.7°C ，冬季受大陆冷气团侵袭，盛行偏北风，气候寒冷干燥；夏季受海洋气团控制，盛行东南风，气候炎热湿

润。多年平均日照时数 2000h, 无霜期 220~246d。

太湖流域年均蒸发量为 1151~1576mm, 年际变化明显, 年内雨量分配不均。年蒸发量北部大于南部, 内陆大于沿海, 平原大于山区。各地蒸发量大小受蒸发面温度、风速、空气湿度和地面性状等因素影响。其中蒸发面温度是决定因子, 蒸发面温度越高, 饱和水汽压越大, 蒸发就越强。因此, 本区夏季蒸发量可达冬季的 3~4 倍。降水量 905~1956mm, 降雨量最大地区位于西南部的天目山区, 湖面降水量 1084mm。年内呈双峰型, 第一峰出现在 4~6 月, 由春雨及梅雨造成; 第二峰出现在 8~9 月, 主要由台风雨造成。年降水量中, 夏季占 37%, 春季占 28%, 秋季占 22%, 冬季仅占 13%。湖面平均蒸发量 1001mm, 夏季占 41%, 春季和秋季分别占 25%, 冬季仅占 9%。

1.2.5 植被和土壤

太湖流域植被多为残存次生林, 以落叶阔叶林、常绿阔叶林和亚热带针叶林为主, 它们对水土保持起到积极作用。太湖流域农业开发历史悠久, 广大平原地区以栽培植被为主, 丘陵山地现存自然植被大多是次生性植被, 但仍具有明显的地带性分布规律, 主要植被类型如下。

- ① 自然植被 针叶林、阔叶林、竹林、灌丛、草丛、沼泽。
- ② 栽培植被 农作物、经济林。

太湖流域土地类型是以《中国 1:100 万土地类型制图规范》中湿润中亚热带与湿润北亚热带的土地分类系统为基础, 结合本区情况加以修改补充, 形成本区土地分类系统, 其划分指标如下。

第一级类型以引起的土地类型分异的大(中)地貌类型划分(山