

洱海富营养化 过程与机理

王圣瑞 等◎著



科学出版社

洱海富营养化过程与机理

王圣瑞 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书针对洱海富营养化问题,以过程与机理为重点,从水环境特征及演变、沉积物氮磷有机质赋存及富营养化影响与氮磷污染负荷及生态效应等三个层面,以湖泊氮磷生物地球化学过程为主线,从历史演变角度,系统分析了洱海水污染及富营养化特征与沉积物污染特点及演变趋势,剖析了洱海微生物特征及其对湖泊营养状况的指示意义和沉积物氮磷污染特征与污染历史,并建立了洱海沉积物氮磷赋存、演变与流域发展间响应关系,试图从流域发展演变角度,揭示洱海富营养化过程与机制。

本书可供从事湖泊学、生物地球化学、环境化学、环境管理、城市规划、水利管理部门的研究人员、管理人员以及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

洱海富营养化过程与机理/王圣瑞等著. —北京:科学出版社,2015.4
ISBN 978-7-03-043977-2

I. ①洱… II. ①王… III. ①湖泊-富营养化-研究-大理白族自治州
IV. ①X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 058917 号

责任编辑:杨震 刘 冉 孙静惠 / 责任校对:张小霞
责任印制:肖 兴 / 封面设计:铭轩堂

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 4 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 4 月第一次印刷 印张:24 3/4

字数:500 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《洱海富营养化过程与机理》

主要作者

王圣瑞 赵海超 储昭升 焦立新

张 莉 倪兆奎 刘文斌 李艳平

前 言

洱海位于中国云南西部大理白族自治州(以下简称大理州)境内,地处澜沧江、金沙江和元江三大水系分水岭地带,属澜沧江—湄公河水系。流域面积 2565 km²,跨一市一县 17 个乡镇(区),2011 年总人口 88.27 万人,人口密度 344 人/km²。洱海是大理市主要饮用水源地,也是苍山洱海国家级自然保护区和国家级风景名胜区的核心区域,具有调节气候、提供工农业生产生活用水、维持生物多样性等多种功能,不仅是大理人民赖以生存和发展的基础,也是滇西中心城市发展的重要淡水资源,更是中国西南桥头堡战略和西部大开发战略的重要支撑。

与我国众多湖泊相比,目前洱海水质虽然总体较好,但其下降趋势明显。洱海水环境质量已经从 20 世纪 80 年代的 I~II 类下降到目前的 III 类,蓝藻水华时有出现,水生态系统退化,生物多样性和生态系统稳定性下降。

自 1992 年有连续监测数据以来,洱海水质总体呈下降趋势,其中 1996 年、2003 年与 2013 年暴发了 3 次较为严重的蓝藻水华。1996 年,在水质总体 II 类情况下,却暴发了严重的鱼腥藻水华,产生了浓烈的异味,严重威胁到饮用水供应;2003 年,在水质总体 III 类情况下,暴发了严重的微囊藻水华,叶绿素 a 高达 57.8 mg/m³,引起水生植物大面积退化;2013 年,水质在 III 类情况下,再次暴发微囊藻水华,面积超过全湖的 50%,平均叶绿素 a 高达 38.6 mg/m³,水环境及其生态功能遭受严重威胁,局部区域出现藻类堆积,水质下降到地表水 IV 类,甚至 V 类。持续的水质下降和近年来多次出现的藻类水华给洱海保护敲响了警钟。必须重新认识洱海保护,流域开发利用必须有所控制。急需创新保护思路,把洱海保护与治理纳入流域国土空间新格局中考虑,拓展流域发展空间,形成流域国土空间发展新格局,构建与湖泊保护相适应的流域发展模式,闯出一条流域可持续发展之路。

基于以上考虑,本书针对洱海富营养化问题,以水环境和氮磷生物地球化学过程为主线,以过程与机理为重点,从历史演变的角度,按水环境特征及演变、沉积物氮磷有机质赋存及富营养化影响与氮磷污染负荷及生态效应等三个层面,系统分析了洱海水污染过程及其阶段性特征,剖析了微生物特征及其对湖泊营养状况指示意义;根据沉积物对环境信息的记录,系统研究了洱海沉积物氮磷污染特征、沉积物-水界面氮磷过程及污染历史,并建立了沉积物氮磷演变与流域发展间的响应关系,从流域发展演变角度揭示洱海富营养化驱动机制,试图为建立与洱海保护相适应的流域发展模式和安全的生态格局提供理论依据和数据支撑。

本书是国家水专项“十一五”湖泊主题洱海项目课题 5“湖泊水生态内负荷变

化研究与防退化技术及工程示范”部分成果与国家自然科学基金-云南联合基金项目“高原湖泊有机氮磷界面过程与藻类水华发生风险研究”(U1202235)部分成果的总结和提升。本书共3篇分为13章,其中第一篇洱海水环境特征及演变,包括4章;第二篇洱海沉积物氮磷有机质赋存及富营养化影响,包括5章;第三篇洱海氮磷污染负荷及生态效应,包括4章。

王圣瑞与赵海超负责书稿的总体设计和大部分章节的撰写,并完成了最后的统稿与校对等工作。焦立新博士负责编写了第8章洱海沉积物-水界面氮磷释放吸附特征,倪兆奎负责编写了第9章洱海沉积物氮磷扩散通量及富营养化风险,张莉博士负责编写了第11章洱海微生物特征及其对湖泊营养状况的指示,储昭升研究员负责编写了第12章洱海浮游植物历史演变及藻华暴发特征。刘文斌、赵亚丽、李艳平、毕韵之、张文、胡海平、高佃涛、黄丹、黄睿智、崔超男等参加了部分工作;课题组倪乐意、曹特、杨苏文、过龙根、沈建忠、邓道贵、覃建辉等对课题的完成提供了很多支持和帮助。

本书的出版得到了国家水专项办公室、云南省水专项办公室、大理州水专项办公室、大理州环境保护局、中国环境科学研究院以及中国科学院水生生物研究所等单位的支持和帮助。在课题研究期间和本书成稿过程中得到了很多专家学者的指导和帮助。在此特向国家水专项技术总师孟伟院士、中国环境科学研究院金相灿研究员和郑炳辉研究员、中国科学院水生生物研究所谢平研究员、大理州人大尚俞民副主任、大理州水专项办公室刘滨副主任以及大理州环境监测站赵明站长等专家学者表示诚挚的谢意。

本书的出版得到国家自然科学基金-云南联合基金项目“高原湖泊有机氮磷界面过程与藻类水华发生风险研究”(U1202235)资助。

由于时间仓促,本书难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

作 者

2014年10月

目 录

前言

第一篇 洱海水环境特征及演变

第 1 章 洱海概况及演变	3
1.1 洱海及其流域概况	3
1.1.1 地理位置与地质地貌	3
1.1.2 社会经济与自然资源	4
1.1.3 河流水系及水文气象	6
1.2 洱海形成及其演变	9
1.2.1 洱海湖盆及沉积特征	9
1.2.2 洱海水位变化	10
1.2.3 洱海水深变化	13
1.3 洱海富营养化概况及水生态演变	14
1.3.1 流域环境及洱海营养状况	14
1.3.2 洱海水生态演变	15
1.4 本章小结	18
第 2 章 洱海主要水质指标特征及演变	19
2.1 洱海上覆水 TN 浓度及其演变	19
2.1.1 洱海上覆水总氮及不同氮形态浓度季节性变化	21
2.1.2 洱海上覆水总氮及不同氮形态浓度空间分布	28
2.1.3 洱海上覆水 TN 浓度历史变化趋势	32
2.2 洱海上覆水 TP 浓度及其演变	33
2.2.1 洱海上覆水总磷及不同磷形态浓度季节性变化	34
2.2.2 洱海上覆水总磷及不同磷形态浓度空间分布	39
2.2.3 洱海上覆水 TP 浓度历史变化趋势	42
2.3 洱海上覆水 COD _{Mn} 浓度及其演变	43
2.3.1 洱海上覆水 COD _{Mn} 浓度季节性变化	43
2.3.2 洱海上覆水 COD _{Mn} 浓度空间分布	44
2.3.3 洱海上覆水 COD _{Mn} 浓度历史变化趋势	46
2.4 本章小结	47

第3章 洱海上覆水理化特征及演变	49
3.1 洱海上覆水温度时空分布及演变	49
3.1.1 洱海上覆水温度季节性变化	50
3.1.2 洱海上覆水温度空间分布	51
3.1.3 洱海上覆水温度历史变化趋势	53
3.2 洱海上覆水溶解氧时空分布及演变	54
3.2.1 洱海上覆水溶解氧含量季节性变化	54
3.2.2 洱海上覆水溶解氧含量空间分布	55
3.2.3 洱海上覆水溶解氧含量历史变化趋势	57
3.3 洱海上覆水 pH 值时空分布及演变	58
3.3.1 洱海上覆水 pH 值季节性变化	58
3.3.2 洱海上覆水 pH 值空间分布	59
3.3.3 洱海上覆水 pH 值历史变化趋势	62
3.4 洱海上覆水 Eh 值时空分布及演变	63
3.4.1 洱海上覆水 Eh 值季节性变化	63
3.4.2 洱海上覆水 Eh 值空间分布	65
3.5 洱海初级生产力时空变化	67
3.5.1 洱海初级生产力季节性变化	67
3.5.2 洱海初级生产力空间分布	68
3.6 洱海上覆水理化指标与主要水质指标间关系	70
3.6.1 洱海上覆水理化指标与水质的历史变化趋势	70
3.6.2 洱海上覆水理化指标对水质空间分布的影响	71
3.6.3 洱海上覆水理化指标年内变化对水质的影响	72
3.6.4 洱海上覆水理化指标垂向变化对水质的影响	72
3.7 本章小结	73
第4章 洱海上覆水营养状况及演变	75
4.1 洱海上覆水 Chla 含量及演变	75
4.1.1 洱海上覆水 Chla 含量季节性变化	76
4.1.2 洱海上覆水 Chla 含量空间分布	77
4.1.3 洱海 Chla 含量历史变化趋势	80
4.2 洱海透明度及演变	81
4.2.1 洱海透明度季节性变化	82
4.2.2 洱海光照强度空间分布	82
4.2.3 洱海透明度历史变化趋势	85
4.3 洱海富营养化指数及演变	86

4.3.1 洱海富营养化指数季节性变化	86
4.3.2 洱海富营养化指数空间分布	88
4.3.3 洱海富营养化指数历史变化趋势	88
4.4 洱海水质演变特征	90
4.4.1 洱海主要水质指标演变特征	90
4.4.2 洱海水质演变的阶段性特征	91
4.4.3 对洱海水质状况的认识	98
4.5 本章小结	100

第二篇 洱海沉积物氮磷有机质赋存及富营养化影响

第5章 洱海沉积物氮磷有机质赋存特征及富营养化指示	103
5.1 洱海沉积物有机质组分时空分布特征及富营养化指示意义	103
5.1.1 洱海沉积物有机质组分空间分布特征	104
5.1.2 洱海沉积物有机质组分垂向分布特征	106
5.1.3 洱海沉积物有机质组分时空分布的富营养化指示意义	109
5.2 洱海沉积物磷形态时空分布特征及富营养化指示意义	110
5.2.1 洱海表层沉积物磷形态空间分布特征	110
5.2.2 洱海表层沉积物磷形态季节性变化特征	112
5.2.3 洱海沉积物磷形态垂向分布特征	114
5.2.4 洱海沉积物磷形态时空分布及富营养化指示意义	115
5.3 洱海沉积物氮形态时空分布特征及富营养化指示意义	117
5.3.1 洱海表层沉积物氮形态空间分布特征	118
5.3.2 洱海表层沉积物氮形态季节性变化特征	119
5.3.3 洱海沉积物氮形态垂向分布特征	120
5.3.4 洱海沉积物氮形态时空分布及富营养化指示意义	122
5.4 洱海沉积物氮磷有机质耦合沉积特征	123
5.4.1 洱海沉积物不同形态有机质垂向分布特征	124
5.4.2 洱海沉积物不同形态氮垂向分布特征	125
5.4.3 洱海沉积物不同形态磷垂向分布特征	126
5.4.4 洱海沉积物氮磷有机质沉积特征及影响因素	128
5.5 本章小结	129
第6章 洱海沉积物溶解性有机物赋存特征及其指示意义	132
6.1 洱海沉积物溶解性有机物赋存特征	132
6.1.1 洱海沉积物溶解性有机碳、氮、磷空间分布特征	134
6.1.2 洱海沉积物溶解性有机碳、氮、磷垂向分布特征	136

6.1.3	洱海沉积物溶解性有机碳、氮含量季节性变化特征	137
6.2	洱海沉积物溶解性有机质及富营养化指示意义	139
6.2.1	洱海沉积物 DOM 结构特征及其时空分布	140
6.2.2	洱海沉积物 DOM 来源特征及其时空变化	143
6.2.3	洱海沉积物 DOM 组成主要影响因素及富营养化指示意义	144
6.3	洱海沉积物溶解性有机氮及富营养化指示意义	149
6.3.1	洱海沉积物 DON 含量及光谱特征	149
6.3.2	洱海沉积物 DON 生物有效性特征及富营养化指示意义	151
6.4	本章小结	156
第 7 章	洱海沉积物氮磷有机质演变及其与流域发展间响应	157
7.1	洱海沉积物有机质氮来源演变及其对流域发展的响应	157
7.1.1	洱海沉积物沉积特征	158
7.1.2	洱海沉积物有机质氮来源特征及其对流域发展的响应	162
7.2	洱海沉积物氮磷有机质形态演变及其与流域发展间的关系	167
7.2.1	洱海柱状沉积物有机质形态历史演变特征	168
7.2.2	洱海柱状沉积物氮形态历史演变特征	170
7.2.3	洱海柱状沉积物磷形态历史演变特征	173
7.2.4	洱海柱状沉积物营养盐形态演变与流域发展间的响应关系	178
7.3	洱海沉积物氮磷有机质埋藏扩散特征演变及其富营养化风险	180
7.3.1	洱海沉积物氮磷有机质埋藏特征及历史演变	180
7.3.2	洱海沉积物氮磷埋藏扩散特征及其富营养化风险	185
7.4	本章小结	187
第 8 章	洱海沉积物-水界面氮磷释放吸附特征	189
8.1	模拟培养条件下洱海沉积物-水界面静态氮释放特征	189
8.1.1	洱海沉积物氮分层释放特征	190
8.1.2	洱海不同深度沉积物氨氮释放特征	192
8.1.3	洱海沉积物氨氮释放影响因子	197
8.2	模拟培养条件下洱海沉积物-水界面静态磷释放特征	198
8.2.1	洱海沉积物磷分层释放特征	199
8.2.2	洱海不同深度沉积物磷释放特征	200
8.2.3	洱海沉积物磷释放影响因子	206
8.3	摇床实验洱海沉积物-水界面氨氮吸附-释放特征	207
8.3.1	洱海沉积物氨氮释放动力学	207
8.3.2	洱海沉积物氨氮吸附动力学	209
8.3.3	洱海沉积物氨氮吸附等温线	210

8.3.4	洱海沉积物氨氮吸附解吸平衡浓度	212
8.4	摇床实验洱海沉积物-水界面磷吸附-释放特征	213
8.4.1	洱海沉积物磷释放动力学	214
8.4.2	洱海沉积物磷吸附动力学	218
8.4.3	洱海沉积物磷吸附等温线	220
8.4.4	洱海沉积物磷吸附-解吸平衡浓度	222
8.5	摇床实验有机质和无定形铁氧化物对洱海沉积物磷吸附影响	223
8.5.1	洱海沉积物营养盐与金属赋存特征	224
8.5.2	洱海沉积物磷释放吸附特征及其对水质的影响	225
8.5.3	有机质和铁氧化物对洱海沉积物磷释放吸附特征影响机制	228
8.6	本章小结	231
第9章	洱海沉积物氮磷扩散通量及富营养化风险	234
9.1	洱海沉积物氮磷扩散通量	234
9.1.1	洱海沉积物氮磷扩散通量空间分布	235
9.1.2	洱海沉积物氮磷扩散通量季节性分布	236
9.2	洱海沉积物氮磷扩散通量影响机制	238
9.2.1	洱海沉积物氮磷扩散通量特征	238
9.2.2	洱海沉积物氮磷扩散通量影响因素及机制	239
9.3	洱海沉积物磷释放特征及其对水质影响	241
9.3.1	洱海表层沉积物磷释放通量特征及其空间分布	242
9.3.2	洱海柱状沉积物磷释放通量及其变化	245
9.3.3	磷形态是影响洱海不同埋藏深度沉积物磷释放的重要因素	247
9.3.4	沉积物磷释放对洱海水质影响及富营养化风险	250
9.4	环境因子对洱海沉积物氮磷释放影响	252
9.4.1	pH 和 DO 对洱海沉积物氮磷释放量影响	253
9.4.2	pH 和 DO 对洱海不同湖区沉积物氨氮释放量影响	254
9.4.3	pH 和 DO 对洱海不同湖区沉积物磷释放量影响	256
9.4.4	洱海沉积物氮磷释放的富营养化风险	256
9.5	本章小结	259

第三篇 洱海氮磷污染负荷及生态效应

第10章	洱海不同来源入湖氮磷负荷及贡献	263
10.1	洱海入湖河流水质特征	263
10.1.1	洱海主要入湖河流水质总体特征	265
10.1.2	洱海主要入湖河流水质区域性差异	266

10.1.3	洱海主要入湖河流水质季节性变化	267
10.2	洱海苍山十八溪入湖水水质特征	268
10.2.1	苍山十八溪入湖各溪流水质特征	269
10.2.2	苍山十八溪入湖水水质区域差异	270
10.2.3	苍山十八溪入湖水水质年内变化	271
10.3	洱海干湿沉降入湖水水质特征	272
10.3.1	洱海干湿沉降入湖水水质总体变化	272
10.3.2	洱海不同区域干湿沉降入湖水水质特征	274
10.3.3	洱海干湿沉降入湖水水质年内各月变化	275
10.4	洱海不同来源入湖氮负荷时空分布特征及贡献	276
10.4.1	洱海主要入湖河流氮负荷时空变化	277
10.4.2	洱海沉积物释放氮负荷时空变化	279
10.4.3	洱海干湿沉降入湖氮负荷时空变化	280
10.4.4	洱海入湖氮污染负荷来源特征及生态效应	280
10.5	洱海不同来源入湖磷负荷时空分布特征及贡献	283
10.5.1	洱海主要入湖河流磷负荷时空变化	283
10.5.2	洱海沉积物释放磷负荷时空变化	285
10.5.3	洱海干湿沉降入湖磷负荷时空变化	286
10.5.4	洱海入湖磷负荷来源特征及生态效应	286
10.6	本章小结	288
第 11 章	洱海微生物特征及其对湖泊营养状况的指示	290
11.1	洱海上覆水微生物群落结构	290
11.1.1	洱海上覆水微生物季节性分布	291
11.1.2	洱海上覆水微生物空间分布	292
11.1.3	洱海上覆水微生物垂向分布	294
11.2	洱海沉积物微生物群落结构及富营养化指示意义	296
11.2.1	洱海沉积物微生物季节性分布	296
11.2.2	洱海沉积物微生物空间分布	297
11.2.3	洱海沉积物微生物垂向分布	298
11.2.4	洱海沉积物微生物影响因素及富营养化指示意义	299
11.3	洱海上覆水碱性磷酸酶活性及富营养化指示意义	302
11.3.1	洱海上覆水碱性磷酸酶活性季节性变化	302
11.3.2	洱海上覆水碱性磷酸酶活性影响因素	303
11.3.3	洱海上覆水碱性磷酸酶的富营养化指示意义	304
11.4	沉积物酶活性时空变化及其与洱海营养状况间关系	306

11.4.1 洱海沉积物酶活性季节性变化	307
11.4.2 洱海沉积物酶活性空间分布	308
11.4.3 洱海沉积物酶活性季节性变化与水体理化性质间关系	308
11.4.4 沉积物微生物群落及酶活性与湖泊营养状况间关系	312
11.5 本章小结	313
第 12 章 洱海浮游植物历史演变及藻华暴发特征	315
12.1 洱海浮游植物现状	315
12.1.1 洱海浮游植物群落结构	315
12.1.2 洱海浮游植物季节性变化	319
12.1.3 洱海浮游植物空间变化	321
12.2 洱海浮游植物及水华历史演变	322
12.2.1 洱海浮游植物历史演变	322
12.2.2 洱海水华历史变化及 2013 年水华暴发原因分析	326
12.3 本章小结	328
第 13 章 洱海富营养化特征及发生机制	329
13.1 洱海富营养化特征	329
13.1.1 洱海水质特征	329
13.1.2 洱海入湖污染负荷特征	333
13.1.3 洱海沉积物污染特征	335
13.1.4 洱海生态系统特征及其变化	338
13.2 基于氮磷生物地球化学过程的洱海富营养化机制探讨	341
13.2.1 洱海富营养化机制构想	341
13.2.2 过量外源入湖氮磷负荷是洱海富营养化的营养基础——累积机制	343
13.2.3 高风险时段水体氮磷负荷较高诱发了洱海富营养化——诱发机制	345
13.2.4 氮磷周转速率较高是推动洱海富营养化的重要机制——快速周转 机制	347
13.3 洱海富营养化风险	350
13.3.1 持续增加的人湖氮磷负荷加大了洱海富营养化风险	350
13.3.2 高氮磷高有机质沉积物是洱海发生富营养化的潜在风险源	354
13.3.3 退化生态系统也是洱海发生富营养化的重要风险	356
13.4 本章小结	357
参考文献	358

第一篇 洱海水环境特征及演变

第 1 章 洱海概况及演变

洱海是云南第二大高原湖泊,是大理人民的“母亲湖”,其担负着流域内社会、经济、民生等多种功能。洱海水生态及其营养状况演变对大理人民的生产、生活具有重要影响。流域经济社会的快速发展和人口的增长将对洱海水环境产生巨大压力。近年来,随着外源入湖污染物负荷的持续增加和湖泊生态系统的日趋退化,洱海已由中营养向富营养转变,目前正处于富营养化初期。现今洱海生态系统退化明显,水华时有发生,其水生态系统已具有富营养化湖泊的诸多特征。

因此,系统了解洱海水生态及营养状况发展历程,总结其发展变化规律,对洱海保护和治理具有重要的意义,同时对国内外富营养化湖泊的保护和治理也具有重要指导作用。本章通过收集洱海流域相关数据对洱海湖泊概况及其演变特征进行分析,可为理解洱海水质及其水生态系统变化提供基础信息。

1.1 洱海及其流域概况

流域既是湖泊水量补给源同时也是营养物和污染物的输入源(彭文启等, 2005a, b),流域产业与人口等的发展、布局及周边环境状况等对湖泊水环境及其营养状况的发展演变具有重要影响。洱海作为典型的高原湖泊,其“流短汇急”特征明显,流域生态环境状况及发展演变对洱海水生态系统具有重要影响。

1.1.1 地理位置与地质地貌

1. 地理位置

洱海流域位于云南省大理白族自治州,纵贯大理、洱源两市县境内。位于澜沧江、金沙江和元江三大水系分水岭地带,属澜沧江—湄公河水系,流域面积 2565 km²,地理坐标在东经 99°32′~100°27′、北纬 25°25′~26°16′。

洱海北起大理市上关镇,南止大理市凤仪坝和下关镇,西有大理坝和苍山,东边玉案山依水盘绕,呈北北西向南南东方向展布,南北长,东西窄,形似耳状。水位 1965.69 m(黄海高程)时,湖面面积 251.32 km²,蓄水量达 27.43×10⁸ m³,湖泊岸线发展系数为 2.068,湖周长 129.14 km,岛屿度 0.308%,岛屿面积 0.748 km²,湖泊补给系数为 10.43,湖水停留时间 2.75 年。洱海流域气候属低纬度高原亚热带季风气候,干湿分明,气候温和,日照充足。

2. 地质地貌

洱海流域所属云贵高原是青藏高原隆起东翼斜坡,位于藏滇褶皱带和扬子准地台两种不同性质大地构造过渡带,是南亚大陆的一个海拔梯度大、地势格局复杂的特异景观单元。洱海是滇西高原最大断陷湖泊,在海舌湾和才村附近形成两个狭口,总体呈“耳”形,长 42.5 km,平均宽度为 6.3 km,东西最大宽处约 8.4 km;最大水深为 21.3 m,平均水深 10.6 m。

洱海西岸为强烈上升的点苍山,是河谷剧烈下切的不对称侵蚀地貌景观,其汇水区域广泛发育着碳酸盐岩、片麻岩和硅质岩,由低到高依次为水稻土、黄红壤、黄棕壤、暗棕壤、亚高山草甸土及高山草甸土;另外,还镶嵌分布有紫色土、漂灰土、石灰土和沼泽土。垂直分布的大致情况为海拔 2600 m 以下为紫色土和部分冲积土;2600~2800 m 为红棕壤;2800~3300 m 为棕壤和暗棕壤;3300~3900 m 为亚高山草甸土;3900 m 以上为高山草甸土。点苍山底南起下关,北至沙坪湾洪积扇,毗连成片,彼此衔接叠置。

洱海东岸则为岩基,直接与洱海相连。洱海东面的山,山高坡陡,地形东高西低,为构造性侵蚀岩溶地貌,土壤为石灰岩发育成的山地红壤、石灰土,呈碱性,pH 值在 7.5~8.0,土层深 0.3~0.4 m,岩石裸露地约占 40%,中度流失占总面积的 64%,时有泥石流发生,局部出现荒漠化现象,植被较少,物源短缺。

洱海水下地形比较复杂,主要受新构造运动强烈差异性活动影响。洱海盆地是一个“耳状”盆地,最深处在中部的挖色湖心。根据洱海水下地形可以将洱海划分为三个区域:北部(康廊—海舌以北)、中部(挖色湖心为中心,龙龕—海舌)、南部(龙龕以南)。北部有沙坪湾和红山湾两个大的湖湾,以及弥苴河冲积扇,西岸为苍山十八溪冲积扇,东岸为山体切入陡岸带;中部湖心最深处可达 20 m 左右(图 1.1),周围由于环流作用逐步升高到 8 m 左右,南部湖心为台地,形成湖心平台,水深 6~8 m,东西两岸处为深水沟槽,水深达 15 m(大理州环境保护局,2010)。洱海表层沉积物主要以粉砂和粉砂质为主,近岸浅水过渡区主要以粉砂和粉砂质泥为主,湖心区主要以泥(包括黏土矿物)为主。

1.1.2 社会经济与自然资源

1. 社会经济

洱海流域地跨大理市和洱源县两个市县,共有 17 个乡镇(区),170 个行政村。其中大理市 11 个乡镇(区)、洱源县辖 6 个乡镇。洱海流域 2008 年末总人口为 826 502 人,有白、汉、彝、回等 25 个民族。其中农村人口 562 383 人,占总人口的 70%。洱海流域是大理白族自治州的政治、经济、教育、文化和商贸中心,流域经济