

BACKGROUND PHOSPHORUS
IN LAKE CHAOHU: THE ENVIRONMENTAL
EFFECT AND ITS CONTROL

巢湖 磷本底影响及其控制

范成新 汪家权 羊向东 孙庆业 张路 等编著

中国环境科学出版社

巢湖

磷本底影响及其控制

范成新 汪家权 羊向东 孙庆业 张路 等编著

中国环境科学出版社·北京

内容简介

本书论述了以磷素为代表的流域营养本底对巢湖富营养化的影响,以及富磷地质背景区磷的面源风险和产生原因,总结了控制湖泊营养本底污染影响的思路和技术途径,介绍了在富磷地质丘陵山区及矿区针对裸露坡面水土流失的基质构建、植物修复、沟塘系统磷迁移转化的物理和生物拦截等技术。全书共 12 章,前 6 章重点论述巢湖流域富磷本底特征、产生条件、过程和风险;后 6 章主要介绍磷流失控制的退化坡面、沟塘系统物理及生态拦截技术的设计、施工和运行等。

本书可供环境和生态工程、环境化学、地球化学、地质学、环境生物学、水文物理学、古湖沼学、沉积学、环境保护、国土、林业和流域管理等方面的科研技术人员、政府部门有关人员及大专院校师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

巢湖磷本底影响及其控制/范成新等编著. —北京:中国环境科学出版社, 2011.11

ISBN 978-7-5111-0744-2

I. ①巢… II. ①范… III. ①巢湖流域—磷—本底污染—研究 IV. ①X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 208274 号

策划编辑 黄晓燕
责任编辑 陈雪云
责任校对 扣志红
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 2 月第 1 版
印 次 2012 年 2 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 20.25
字 数 460 千字
定 价 65.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载,侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题,请寄回本社更换

序

在我国，由于工农业现代化和城市化等人为活动进程的加快，近几十年来所产生的营养物大量排放或流失进入了湖泊流域及其水体，从而导致湖泊水质恶化、富营养化和生态系统退化等。与人为活动影响相对应，在我国一些湖泊流域中，有一类空间尺度较广、对水体富营养化影响较大的自然影响问题，也逐步引起重视，这个问题就是以磷素为代表的自然营养本底。

虽然每个湖泊的流域都有自己的营养本底，但对于那些因经历过激烈地壳运动和人类开采活动导致高含磷地层出露地表的地区，岩土中的磷含量以及通过风化、剥蚀和淋滤过程所产生的岩源性磷流失，要明显高于流域内的其他地区，从而在流域生态学特定的格局和尺度下，对湖泊的富营养化产生着不可忽视的贡献。在我国的三大富营养化湖泊中，滇池和巢湖是受流域高磷本底含量影响较大的两个湖泊。在滇池周边，磷矿保有储量占云南全省约 68%，而云南省的磷矿储量居全国首位，其磷流失的环境压力巨大；巢湖是我国“三湖”中受富营养化影响最早的大型湖泊之一，通过对湖泊沉积物和元素地球化学定量分析，自然营养本底磷对湖泊富营养化的贡献可达 20% 左右。由于我国湖泊的富营养化问题绝大多数与磷含量过高有关，高磷背景也是流域生态分区与污染治理的重要依据。因此，对以磷为代表的湖泊营养本底的贡献、影响及其控制的研究，就显得非常重要。

本书是我国第一部针对湖泊自然本底影响和控制进行系统研究的专著，中科院南京地理与湖泊研究所范成新研究员依托“水体污染控制与治理国家科技重大专项巢湖项目”，以巢湖富磷区岩土和湖体沉积物为重点研究对象，以地表沟塘水体和地下水为载体，针对来自富磷背景区水土流失产生的磷污染影响和控制问题，研究了流域典型地貌类型和水力输移途径，弄清了富磷低山丘陵地区磷流失及面源产生的条件与强度，定量辨识了自然本底磷及其可利用转化对湖泊富营养化的影响和贡献。并在此基础上，对磷流失量较大的裸露坡面，研

究了以恢复土著草灌植物拦截磷流失的多项基质化技术；对高落差沟塘湿地系统，研发了物理沉降和生物吸收为主的磷输出控制技术。本书在湖泊流域营养本底研究方面具有一定的理论和实用价值，取得了一些开拓性成果。

湖泊富营养化问题仍是当今国际环境问题中最难解决的问题之一，其发生机理十分复杂。从流域本底流失的营养物经过流域地表水力输入湖体乃至影响湖体富营养化方面，还需要相关的环境工作者继续付出努力，在已取得成绩的基础上，持续突破创新。对“源”的控制是治理富营养化湖泊的治本之道，针对不同的“源”所采用的控制方法也有所不同。

通过科技重大专项的科技创新，我们更深刻地认识到，对湖泊水生态系统健康的修复需要综合运用科技、经济政策和法律法规等手段。在湖泊水污染理论和生态修复技术研究方面，期待继续有更多更好的相关书籍面世。



二〇一一年十二月

前 言

巢湖是我国众多湖泊中受富营养化影响最早的湖泊之一,“七五”时期的研究就已确认为是我国最大的富营养类型湖泊。2005 年以来,巢湖多次出现藻类水华大面积分布现象,并由主要集中于湖西北区逐渐向湖中部甚至湖东部饮用水水源区蔓延和逼近,对水源水质甚至整个湖周合肥市和巢湖市的工农业生产和居民生活构成严重威胁,因此控制水体富营养化是改善巢湖水质现阶段,乃至今后很长一段时期的主要治理目标。

在诱发湖泊藻华的因素中,磷是一个关键要素,是我国乃至国际上绝大多数湖泊中藻类的限制性营养元素。1987 年以来的调查反映,巢湖磷含量一直处于较高水平,虽然地方政府多年来对巢湖治理大力投入,湖体总磷(TP)含量仍多在 0.1 mg/L 附近波动。较高的磷水平极大地促进了巢湖的富营养化进程,为藻类在适生季节的快速繁殖和爆发性生长提供了最重要的物质基础。因此控制巢湖磷的来源是减缓和控制巢湖富营养化、减少藻类水华灾害的最主要方针和策略。

巢湖水体中的磷虽然大多来自于生活污染和工农业生产等人为因素,但流域范围的自然营养本底也不容忽视。巢湖流域位于华北板块和扬子板块的交界区,贯穿流域中部和东部湖区的是一低温高压变质带。该变质带具有磷素成矿的地质背景,特别是在巢湖北岸,其间分布有大量低品位的磷矿资源和含磷地层。在巢湖市和肥东县交界处的桥头集—西山驿一带,分布着一套古老的含磷变质岩系。新近调查的位于巢湖市西北的马鞍山以及其南部的龟山,其地层系统属于古生界的志留系,裸露的粉砂岩、粉砂质泥岩及薄层砂岩、较浅的薄层透镜状层,均含有较高水平的磷。巢湖流域含磷地层主要为早元古界横山组/双山组、震旦系灯影组、志留系坟山组/茅山组、寒武纪黄栗树组及二叠纪孤峰组等。由于风化、剥蚀、淋溶和渗漏等作用,土壤中磷的自然背景值偏高,因雨水而流失的量也相当可观。据对不同海拔高程土壤的磷流失试验反映,坡面土壤的平均流失量为 5 412 t/(km·a),磷素的平均流失量为 2.30 t/(km·a)。考虑到巢湖是处于历史时期洪泛平原的自然气候背景及长期人类活动的影响

下,人们自然很想知道:像巢湖这样的长江中下游湖泊,来自非人类活动的营养本底到底是多少?富磷地质磷流失对巢湖水体磷入湖量及富营养化的贡献如何等。

巢湖周围的地质和矿产资料显示,巢湖北部柘皋河流域源头区,元古界—古生界的含磷地层分布最为广泛,且大量出露;在流域东部的公安山—碾盘山—凤凰山—龟山一带,以古生界志留系—二叠系的含磷地层分布为主,地层时有出露;在北部的八字口—龙门一带,主要是元古界震旦系和古生界寒武系含磷地层,出露情况较少;而位于流域西部北山口—白马山一带的下元古界横山组和浮槎山组含磷地层,多出露在地表。因此,在这样分布广泛的含磷地层出露区,以磷素获取为目的的矿石开采也就成为地方资源利用的主要方式之一。实际上,流域东部和西部地带也是各种矿产资源(如石灰石矿、砂矿、铁矿等)的集中开采地,其规模和强度甚至远超过磷矿开采。由于技术落后,在不同目的和规模的采矿过程中,有大量的尾矿粉与尾矿未及时填埋和处理,且开采后的废弃形成裸露土石坡面等地表的破碎。此外,一些有关地形地貌的土地开发活动(如修路、土地平整等)使得原本处于埋藏状态的富磷地层被揭露出来。由于该区域含磷地层中的 P_2O_5 含量一般在 10%~30%,局部富磷地层可高达 38%,而含磷地层的岩性往往相对松软,差异风化的剥蚀作用强烈,加之亚热带季风湿润气候影响,岩石的土壤化过程不难进行,使得无论来自岩源的或土源的含磷颗粒甚至离解态磷,都有机会由径流的水力直接携带进入源区的沟塘和河流水体。另外,流域的低山丘陵地表及承载其径流的水体及水力系统,却普遍显现生态退化现象。在一些丘陵区坡地,主要由于人为开采活动,地表呈裸露状态,植物覆盖率低,乔灌植物稀少,丛生性野草覆盖率也较低。在一些沟溪和池塘堤岸,湿生和水生植物种类和数量下降,植被稀疏,几乎丧失了水体系统对地表流失物应有的物理拦截和生物吸收功能。在如此强烈的人类活动影响下,富磷地质区地表水土流失量的增加就必然发生,并经由自然地貌形成的阶梯位池塘及联系这些池塘的沟渠系统,通过河流等水力通道汇聚入巢湖,增加磷在湖体和沉积物中的蓄积。

为削减进入巢湖的氮、磷营养物,20世纪末以来,针对点源污染,巢湖市和合肥市实行了多项次的环保专项行动,一批重污染企业先后被关停,大多数工厂企业实现了达标排放,限制了点源向巢湖磷的排放。针对内源污染,开展了巢湖东部和西部(南淝河口)等重污染水域的分期底泥环保疏浚,从湖底去

除污染底泥 864 万 m^3 , 在一定程度上削减了底泥内源污染。然而, 面对面广、量大的来自陆地的面源污染问题, 虽也与点源治理一样做出了巨大的投入, 但往往收效甚微。这其中除与面源污染的复杂性有关外, 还与对该地区自然本底磷污染本质问题认识不足、忽视其治理, 以及缺乏对症的富磷本底面源治理技术有关。

巢湖流域的森林覆盖率仅 9%, 水土流失面积已达 19%。目前对低山丘陵区进行的适地造林, 主要包括水源涵养林、水土保持林和生态经济林等, 其应用的技术也多停留在草木覆盖率的提高等方面, 而对于裸露或仅有少量植物、缺乏基质土的坡面, 尚缺乏相应的地表修复技术。对于山前低地的阶梯型水塘, 雨水来临时水塘间落差大、源头携带颗粒量多、水体冲刷作用十分强烈。完全依赖水塘自身(沉降)能力难以对携带物实施有效拦截。虽然早在“八五”期间就有一种多水塘系统在巢湖地区出现, 但这种系统主要应用于地势落差小、水流相对稳定且缓慢的耕作区。利用沟渠进行污染拦截也是近些年人们开展较多的技术。其中在平原水网地区的太湖进行的生态沟渠拦截技术, 研究出夏季“沟壁—狗牙根、沟底—空心菜”, 冬季“沟壁—黑麦草、沟底—水芹”的配置方案。在坡降 2%左右的地区, 磷的拦截率可达到 30%以上。这一技术同样也是在坡降较小的平原地区获得的, 这些区域的水系和地貌已较为稳定, 池塘和沟渠的来水量一般不大、水力冲刷作用不明显。在云南滇池和抚仙湖流域, 也存在大量的磷矿开采区, 虽然早已注意到开采活动及地表的水土磷流失会对湖泊富营养化有重要影响, 并已有一些相关研究, 但对以磷本底影响控制为目的的湖泊流域治理, 还涉及很少, 存在着极大的国家和地方科技需求。

本书主要是“国家水体污染控制与治理科技重大专项”湖泊主题“巢湖水污染治理与富营养化综合控制技术及工程示范”项目中“自然本底营养对湖泊富营养化影响及其控制技术与工程示范”(2008ZX07103-003)课题的成果总结。课题主持单位为中国科学院南京地理与湖泊研究所, 参与单位有合肥工业大学、安徽大学、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院水生生物研究所、淮北师范大学、巢湖市环境科学研究所等。全书围绕巢湖流域面源磷产生对富营养化影响及其控制问题, 调查了巢湖北部不同地质构造及出露地层与地下水磷本底水平, 评估了流域地表类型磷污染风险和面源磷产出强度, 区分了流域自然和人类活动对地表的侵蚀影响, 确定了营养本底对巢湖富营养化的贡献。选择了典型裸露坡面及退化沟塘系统进行多种相关技术的集成和创新, 研发出

主要针对富磷背景区裸露坡面水土流失及沟塘系统磷的物理和生物拦截技术,建立了低山丘陵区湖泊磷本底影响控制的生态修复源头示范区。通过代表性试验和规模化实施,提出了一套应用于我国湖泊流域营养本底面源污染控制的思路、方法及技术,为巢湖富营养化控制提供了部分理论和技术支撑。

本书由“自然本底营养对湖泊富营养化影响及其控制技术与工程示范”(2008ZX07103-003)课题的主要参加人员完成,各章节主要编写人员如下:第1章,汪家权、单兰波、刘国生;第2章,2.1~2.3 徐志方、冀建鹏,2.4 刘恩峰、杜臣昌;第3章,羊向东、陈旭;第4章,李恒鹏、王晓龙、聂小飞、常龙飞;第5章,5.1~5.3 范成新、王兆德,5.4 孙爱华、陈玺、宋春雷,5.5 周易勇、李慧、白云钦;第6章,汪家权、单兰波、刘国生;第7章,孙庆业、伍红琳、张辉;第8章,范成新、周麒麟、王兆德;第9章,孙庆业、伍红琳、张辉;第10章,尹洪斌、张庭;第11章,张路、孙庆业、杜应旻;第12章,12.1 张路、包先明、王兆德,12.2~12.3 包先明、丁卓丽。全书由范成新统稿并审定。

本书能顺利出版首先要感谢国家水专项领导小组、安徽省水专项办公室及“巢湖水污染治理与富营养化综合控制技术及工程示范”项目办公室的大力支持。此外,特别要感谢王心源教授对部分章节提出了宝贵的修改意见,高俊峰教授提供了巢湖彩色遥感图片,张雷博士对全书进行了格式编排和认真校对。

由于作者水平有限以及研究时间的限制,对书中涉及的诸多问题的认识还欠深刻,难免存在不妥之处,恳请读者给予指正。

作者

2011年7月

目 录

第 1 章 巢湖流域地质构造及富磷岩层分布特征.....	1
1.1 流域地质构造特征及地层分布	1
1.2 流域磷矿分布及岩源磷赋存	8
1.3 巢湖流域岩源磷释放风险	14
参考文献	16
第 2 章 巢湖富磷地质区流域侵蚀过程及地表水物质来源.....	18
2.1 典型流域水化学及同位素组成特征	20
2.2 流域风化侵蚀过程自然和人为活动影响辨识	25
2.3 流域地表水系统中主要物质来源及其贡献	28
2.4 流域产汇区土壤与沉积物磷的赋存与变化	30
2.5 人为污染与岩源性磷的输入与贡献	39
参考文献	43
第 3 章 巢湖营养蓄积历史及对富营养化过程影响定量研究.....	48
3.1 巢湖沉积环境特征	48
3.2 多代用指标综合分析	54
3.3 湖泊生态环境演化中的自然和人类干扰	63
3.4 近 50 年生态环境变化影响因素定量区分	68
3.5 东部湖区污染底泥与富营养化问题	75
参考文献	79
第 4 章 巢湖流域面源磷高风险识别及产生条件与强度.....	83
4.1 低山丘陵区不同生态斑块植被群落与土壤特征	83
4.2 富磷地质区不同生态斑块面源流失特征	87
4.3 富磷地质区面源磷输出重点源区识别	94
参考文献	102
第 5 章 巢湖富磷区沉积物磷的迁移转化及生物可利用性.....	105
5.1 富磷区沉积物营养盐分布特征及释放风险	106
5.2 富磷区沉积物磷的热力学交换行为	117
5.3 水力冲刷及风浪扰动下湖泊沉积物动态释放	123
5.4 富磷地质区池塘沉积物磷的迁移转化及其影响	131
5.5 富磷地质区池塘沉积物磷的生物可利用性	137
参考文献	144
第 6 章 富磷地质区岩源磷的水溶化及地下水磷的迁移.....	148
6.1 富磷地质区岩源磷的可溶性转化	149

6.2 富磷地质区岩源磷释放的动力学模拟	157
6.3 流域富磷岩层的水文地质特征	161
6.4 巢湖北部地下水中总磷向河湖的迁移	165
参考文献	169
第7章 裸露坡面人工植物群落对水土流失的阻控效应	172
7.1 植物种类选择与植物组合设计	173
7.2 植物生长与群落空间结构变化	176
7.3 植被对坡面土壤理化性质及生物的影响	182
7.4 不同植物群落生长下坡面的水土及磷流失	186
参考文献	189
第8章 疏浚淤泥基质化及裸露山体植生性修复	190
8.1 疏浚淤泥基质化技术分析	191
8.2 复合泥土的植物适生性及黏附性研究	196
8.3 裸露陡坡喷浆法复合基质构建技术及磷控制效果评估	210
参考文献	218
第9章 土质坡面植物定植及水土流失控制技术	221
9.1 土质坡面植被护坡技术的选用	223
9.2 土质坡面固土修复及植物群落的构建	225
9.3 植物修复坡面的植物生长与效果	228
9.4 裸露陡坡面的植物定植块护坡	231
参考文献	233
第10章 磷拦截沟渠填充材料与底壁生态化构建	235
10.1 生态沟渠底壁固磷填充材料的选择	236
10.2 待选填充材料的改性及其固磷能力比较	240
10.3 材料改性方法和条件的确定及高效固磷机制	244
10.4 截磷生态沟渠构建及效果分析	247
参考文献	250
第11章 形阻和渗滤材料拦截工艺设计及水力截磷效果	252
11.1 水力形阻材料的设计及效果	253
11.2 池塘渗滤坝特征及材料筛选	255
11.3 组合滤料磷去除效果的工程参数确定	262
11.4 高效拦截构件设计及工程效果	275
参考文献	281
第12章 硬底贫瘠池塘水生植物的基质适生性修复	283
12.1 池塘基底不同修复方式的植物适生性	283
12.2 水生植物对不同适生性改良基底的生理生化响应	298
12.3 硬质贫瘠池塘植物的适生性修复方法实践与应用	304
参考文献	310

第1章 巢湖流域地质构造及富磷岩层分布特征

巢湖位于安徽省中部、长江中下游,是我国著名的五大淡水湖之一。近30年来,巢湖水资源污染日益加重,水体严重富营养化,其水污染治理及生态恢复受到政府和有关方面的高度重视(屠清瑛等,1990;Xu等,1999;Wu等,2009)。关于巢湖富营养化问题的研究结果表明,控制湖泊富营养化的主要因子之一是磷(Smith,1982;彭近新等,1988;Sharpley等,1994;David,1998;Smith等,1999)。目前的研究多集中在湖泊环境中磷素含量、分布与迁移转化及湖泊沉积物中工农业磷素污染等方面(汪家权,2002;黄清辉等,2003;陈云峰等,2006;王绪伟等,2007;周慧平等,2008),鲜见有关巢湖流域富磷地层自然本底磷(简称岩源磷)的研究报道。

巢湖流域处于特殊的地质构造部位,天然磷的背景值很高。在巢湖北岸的肥东县和巢湖市的居巢区一带,广泛分布着含磷地层(韩德刚,1987)。这些含磷地层经历长期、多阶段的构造演化,使得这些地层发生褶皱,并被断层切割破碎,加之人类对磷矿及其顶底板石灰岩的大规模开采,导致含磷层位大片暴露,产生严重风化、剥蚀和淋滤,它们对巢湖水体富营养化的贡献不容忽视。

巢湖流域常年雨量充沛,周边地势多起伏,且陡坡较多。这种特殊的地理环境,使得流域内的富磷地层更容易受到侵蚀和运移。同时巢湖流域内的天然水体发育较好,从而为巢湖流域岩源磷的输入提供了非常有利的条件。巢湖流域的汇水河流有30多条,巢湖是其流域的最终受纳水体,在特殊的地质构造和地形地势的影响下,有些汇水河流流经已经开采的磷矿区和含磷地层,导致大量的磷素随河流一起进入巢湖。

源于磷矿和含磷地层的河流有岐阳河、店埠河、山王河、炯炆河、桐荫河和柘皋河等。南淝河(支流店埠河)、炯炆河、岐阳河、柘皋河等河流的补给来源主要是通过含磷岩层出露区的地表径流,大量来自含磷岩层的岩源磷通过物理、化学和生物过程的途径流入巢湖,特别是近几十年来由于人类对磷矿大规模开采,导致流入巢湖流域的磷素不断增加。磷素进入湖泊的方式大都是通过河流带入的。这些磷素首先在入湖口沉积下来,研究表明,巢湖北部河流入湖口总磷含量通常要远远高于南岸河流入湖口处的总磷含量(王绪伟等,2007)。

本研究区范围在巢湖流域北部内,东西长50km,南北宽20km,总面积为1000km²(见彩图2)。本研究对研究区地层进行调查,重点查明区内含磷层位、其含磷量、分布和富集特征,对含磷地层的磷流失进行风险分区。

1.1 流域地质构造特征及地层分布

本次主要研究区域属于巢湖流域北部,从地质角度,这里包括了张八岭隆起南段和工程示范区(巢湖北部山区即凤凰山山区,下同)。

1.1.1 流域大地构造背景及研究区地质特征

巢湖流域横跨华北与华南两大板块的接合部，包含了华北板块、张八岭隆起带及下扬子板块不同构造单元部分区段，著名的呈 NNE 向延展的郯城——庐江大断裂穿越整个区域（图 1-1）。由于该区所处的特殊构造部位，该地区经历了震旦纪——中三叠世的大陆被动边缘海相沉积、印支期的陆陆碰撞造山、晚侏罗世的左行走滑，早白垩世——古近纪时期的伸展构造及新近纪以来的逆冲挤压活动等一系列构造运动过程。多期次的构造运动使得区内地层及其富磷层位受到明显变形（朱光 等，2006；李三忠 等，2009）。

巢湖流域示范区位于扬子板块（下扬子区）的北西缘、郯庐断裂带的东侧，区内位于特提斯构造与太平洋构造的交汇处，次级构造单元隶属于半汤复式背斜的西翼。中生代以来的构造活动强烈，从而奠定了区内的构造格架，尤其是印支运动在本区表现最为明显，区内不仅发育了郯庐断裂系之分支滁河断裂，而且在示范区内还发育了褶皱及一系列的纵断层、横断层和斜断层。

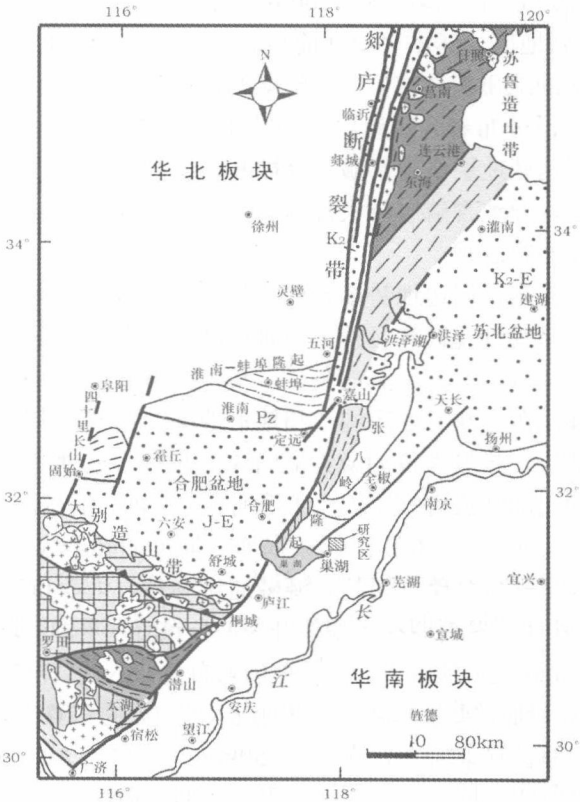


图 1-1 巢湖流域所处大地构造位置图（据朱光等，2002）

1.1.1.1 褶皱构造

示范区位于半汤复式背斜西翼（半汤复式背斜核部位于巢湖汤山一带，其核部地层由震旦系、寒武系及奥陶系组成），以三个二级褶皱为主要构造形式，自东向西主要由俞府大村向斜、凤凰山背斜、平顶山向斜组成，在平面上表现为“M”形展布。

(1) 向斜构造

俞府大村向斜。位于本区东部，分布于猫耳洞—大理寺—维尼纶厂—俞府大村一带，规模较大，总体构造线的方向为 NNE—SSW。向斜核部由二叠系大隆组(P_2d)、龙潭组(P_2l)、孤峰组(P_1g)、栖霞组(P_1q)的地层组成，两翼分别由石炭系船山组(C_2c)、黄龙组(C_2h)、和州组(C_1h)、高骊山组(C_1g)、金陵组(C_1j)、泥盆系五通组(D_3w)、志留系坟头组(S_2f)、高家边组(S_1g)的地层组成。该向斜枢纽起伏变化较大，但总体枢纽倾向 SSW，轴面总体倾向 NW，该向斜属于斜歪倾伏褶皱。

平顶山向斜。该向斜位于示范区西部，分布于马家山—平顶山—向核山(石灰山)一带，总体构造线方向为 NEE—SWW。向斜核部为三叠系东马鞍山组(T_2d)、南陵湖组(T_{1n})；两翼依次出露为和龙山组(T_{1h})、殷坑组(T_{1y})和二叠系大隆组(P_2d)、栖霞组(P_1q)及石炭系和泥盆系。该向斜总体构造线方向为 NNE—SSW。向斜西翼岩层产状陡倾，且多段发生了倒转，东翼产状正常。该向斜向 NE 方向扬起，枢纽向 SW 倾，枢纽沿倾伏方向起伏变化明显，向斜轴面总体倾向 NW。在该向斜倾伏端，由三叠系(T)地层构成的次级褶皱极为发育，在耙子山—马家山—巢湖水泥厂一带，由西向东依次发育有多个次级褶皱(图 1-2)。

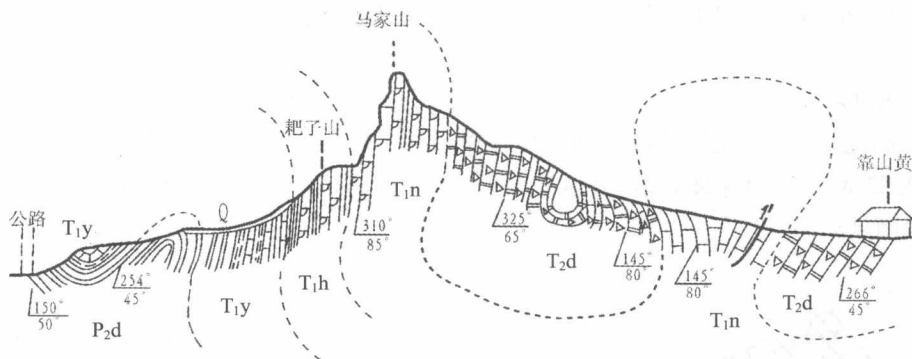


图 1-2 马家山地区平顶山向斜核部的复式褶皱(据王道轩, 2005)

(2) 背斜构造

凤凰山背斜。位于示范区中部，分布于凤凰山—麒麟山—朝阳山—碾盘山一带。出露长约 7km，宽约 4km，总体构造线的方向 NNE—SSW。核部由志留系(S)地层组成，两翼依次为泥盆系(D)、石炭系(C)、二叠系(P)。凤凰山背斜枢纽起伏较大，大致向 SW 方向倾伏，倾角约 20° ，轴面倾向 NW，倾角较陡。该背斜转折端明显(图 1-3)，在转折端有放射状小断层和节理发育。

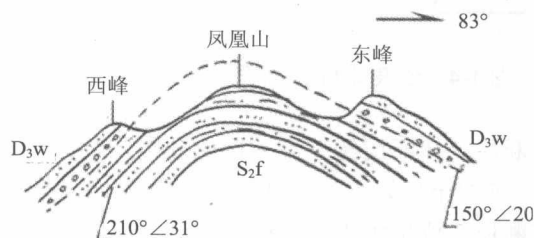


图 1-3 凤凰山背斜南倾转折端示意图(据王道轩, 2005)

综上所述,区内褶皱构造的发育,直接影响并改造富磷层位的展布,使得区内富磷地层相应发生了褶皱变形,富磷地层更加集中。

1.1.1.2 断裂构造

本区由于受到多期构造活动影响,发育了不同规模、不同性质的断层约 50 余条。即发育有纵断层、横断层和斜向断层;按性质可划分为正断层、逆断层和平移断层。但总体平面效应,发育于俞府大村向斜东翼的平移断层以右旋为主,左旋次之,而发育在向斜西翼的平移断层以左旋为主,右旋为次。择其断层规模较大者分别叙述如下:

(1) 纵断层

金银洞北山断层。该断层位于金银洞北山东坡,俞府大村向斜东翼,发育在石炭系船山组 (C_{2c}) 和二叠系栖霞组 (P_1q) 之间,断层产状: $295^\circ \angle 52^\circ$ 。

王乔洞逆断层。位于王乔洞—大尖山东坡一带、俞府大村向斜西翼,发育在二叠系栖霞组下硅质段 (P_1q^3) 和本部灰岩 P_1q^4 中。主要造成 P_1q^3 、 P_1q^4 的重复出现。

狮子崖逆断层。位于麒麟山与凤凰山交界处的冲沟、俞府大村向斜西翼。该断层面清晰,产状 $334^\circ \angle 61^\circ$,断层带内发育厚约 80cm 的构造角砾岩,砾石成分主要为五通组砂岩和少量坟头组砂岩,以硅质、铁质胶结为主,角砾岩砾石的粒径一般在 3~5cm。野外测得断层擦痕 $80^\circ W$,断层下盘地层产状 $128^\circ \angle 51^\circ$ 断层倾向与地层相反,该断层为一逆冲断层。

(2) 横断层

177 高地南坡横断层。该断层位于金银洞北山南坡、俞府大村向斜东翼。断层可切割的地层为 D_3w 、 C_1 、 C_2 及 P_1q ,并破坏金银洞北山纵断层。向东延伸至岨嶂山,向西横切 177 高地南坡。

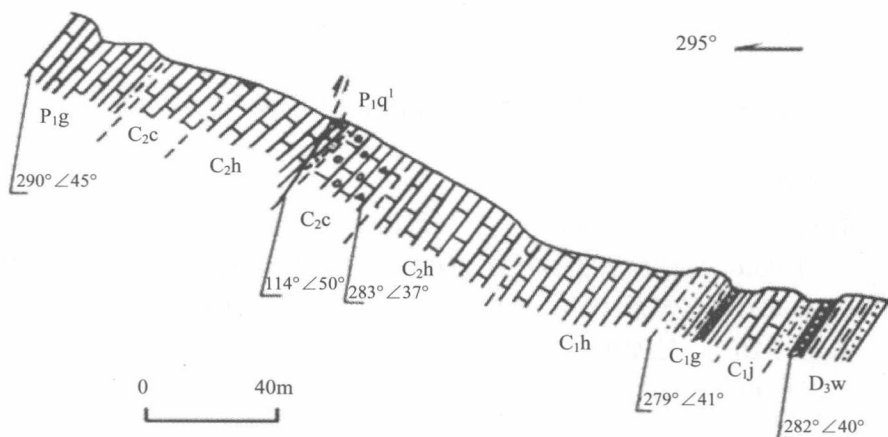


图 1-4 金银洞北山纵断层 (据王道轩, 2005)

王乔洞右行平移正断层。该断层经王乔洞南侧冲沟,过俞府大村向斜西翼。断层切割 S 、 D_3w 等地层,向东可延伸至岨嶂山,向西延伸至甘露寺东侧。

大尖山右行平移正断层。位于大尖山南侧、俞府大村向斜西翼,该断层切割 S 、 D_3w 、 C 、 P_1 ,向东延伸至岨嶂山,向西延伸至碾盘山南。断层线地表出露长度约 800m,断层面

产状 $10^{\circ} \angle 60^{\circ}$ 。

大理寺水库横断层。位于大理寺水库北侧、俞府大村向斜近转折端附近。

综上所述,区内断层的存在不仅切割和影响到各时代地层,而且对富磷层位改造和破坏强烈,断层的切割使得富磷层位更加破碎,易于产生风化和剥蚀。

1.1.2 流域北部地层分布

巢湖流域北部地区地层属于扬子地层区,出露地层属于下扬子地层分区,六合—巢县地层小区(王道轩,2005)。在本区从上太古界至新生界地层均有出露(表1-1)。

表 1-1 巢湖流域北部地区综合地层简表(据王道轩,2005)

界	系	统	组	界号	厚度/m	岩性描述
新生界	第四系	全新统	芜湖组	Q_{hw}	>10	上段:灰黄色粉质亚黏土,含砾粗砂,底为锈黄色铁锰层。 中段:灰黄色粉质重亚黏土,棕褐色粗砂夹浅灰色粉质重亚黏土。 下段:灰黄色粉质轻黏土,砂、砂砾。
		更新统	下蜀组	Q_{px}	2~38	黄褐色含铁锰结核粉质轻黏土,下部含钙质结核。
			泊岗组	Q_{pb}	1~51	浅棕红色微含砂粉质轻黏土,粉质重亚黏土,碎砾层,铁皮层山麓带青灰色含砾黏土夹砂、亚砂土透镜体。
	古近系	古新统	岱山集组	E_{1dn}	>24	浅褐、浅棕色中厚层砾岩,黄褐色厚层—块状砂砾岩。
	白垩系	上	宣南组	K_{2xn}	>845	上段:灰紫砖红色中厚层砂砾岩与细粒岩屑、长石砂岩不等厚互层。 下段:砖红色中厚层含砾长石岩屑、细粒岩夹泥质粉细砂岩。
			毛坦厂组	J_3m	>151	紫灰色安山岩,粗安质火山角砾岩夹凝灰质岩屑细砂岩、粉砂岩。
中生界	侏罗系	中	磨山组	J_1m	>20	砖红色中厚层砂砾岩与细粒岩屑、长石砂岩。
		下	东马鞍山组	T_2d	96	岩性为灰、深灰色薄、中层灰岩,底部为灰、浅紫红色含石膏假晶灰质白云岩。灰、灰黄厚层至块状角砾岩状灰岩及泥质灰岩、泥质白云质灰岩,可见牙形刺化石。
	三叠系	中	南陵湖组	T_{1n}	160	顶部:薄层黑色灰岩段,以黑色灰岩夹炭质页岩为主,由深灰、黑色薄层灰岩夹沥青质页岩、棕色钙质页岩组成,顶部有时含燧石结核。含有大量菊石化石。上部:厚层灰岩为主,由灰、深灰色厚层灰岩夹黄色中薄层瘤状灰岩及钙质泥岩、同生角砾状灰岩组成。下部:瘤状灰岩为主,由灰绿、微红色中薄层瘤状灰岩夹深灰色灰岩组成。
			和龙山组	T_{1h}	29	上部:灰色薄层灰岩夹黄绿色薄层似瘤状泥质灰岩及泥岩。由于Anasibirites在本区仅在本组顶部采得,故其下部与殷坑组分界处有明显生物标志。下部:灰黄绿、棕紫色薄层似瘤状灰岩与钙质泥岩层,近上部为泥质灰岩。
			殷坑组	T_{1y}	125	上部:灰绿色钙质页岩夹薄层泥质灰岩及薄层条带白云质灰岩。中部:灰黄色粉砂质泥岩夹灰色中薄层泥质条带灰岩或似瘤状灰岩。下部:浅灰绿、黄绿色泥岩、含粉砂质泥岩,夹薄层泥灰岩,下部泥岩中局部含钙质结核或似瘤状灰岩,底部为黄色泥岩。

界	系	统	组	界号	厚度/m	岩性描述
古生界	二叠系	上	大隆组	P ₂ d	30	上部：灰黑色薄层硅质炭质泥岩，近顶部夹灰质白云质泥灰岩。有大量腕足类化石。中部：紫灰色泥岩夹深灰、灰黑色炭质页岩、硅质页岩。下部：灰黑色薄层硅质岩、炭质硅质岩夹紫色页岩、炭质页岩，底部有一薄层灰黄色细粒岩屑砂岩（火山岩屑）。根据资料有菊石化石。
			龙潭组	P ₂ l	74	顶部：灰黑色中厚层泥晶白云质生物碎屑灰岩，含燧后团块及条带，腕足类化石。上部：青灰、灰黑、灰黄色薄层泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩，夹煤线，为南方重要的成煤期。下部：灰黄、青灰色中厚层细粒岩屑长石英砂岩及含砾砂岩，夹黑色薄层泥岩。含植物化石。
		下	孤峰组	P ₁ g	54	上部：浅紫、紫、黄褐色薄层泥岩夹少量放射虫硅质岩。中部：灰黑色、黑色薄层放射虫硅质岩夹紫色泥岩及页岩互层。下部：灰黄、浅棕、褐色泥岩、页岩，含有磷结核。含菊石等化石。
			栖霞组	P ₁ q	209	上段：可分为四部分。下部（下硅质层）：含燧石结核或团块灰岩，黑、灰黑色灰岩，夹黑色薄燧石层及生物碎屑粉砂质泥岩。含早板珊瑚 <i>Hayasakaia</i> sp.。中部（含燧石结核灰岩层）：深灰、灰黑中薄到中层含燧结核灰岩，夹黑色薄层含沥青质泥类岩。含蜓和珊瑚化石。上部（上硅质层）：黑色中薄层硅质岩、深灰色含燧结核白云质灰岩及薄板状硅质灰岩互层。顶部（顶部灰岩层）：灰、深灰色含燧石结核灰岩、白云岩质灰岩。含：拟纺锤蜓 <i>Parafusulina</i> sp.。下段：可分为两部分。下部：为碎屑岩夹劣质煤（梁山煤线）。在峨嵋山一带为深灰色、灰黄色钙质透镜体泥岩，向西到东风石矿为灰黑色页岩及黑色劣质煤层。上部（臭灰岩层）：深灰、灰黑色薄至中层含沥青质臭灰岩及含生物碎屑泥灰岩。含米斯蜓 <i>Misellina</i> sp.、喀劳得氏米斯蜓 <i>Micellina</i> sp.、泡沫米氏珊瑚 <i>Cystomichelinia</i> sp.等。
	石炭系	上中	船山组	C ₂ c	11	上部：灰、深灰色中厚至厚层状，亮晶生物碎屑球藻灰岩，夹灰色泥晶生物碎屑灰岩。含蜓和腕足类化石。其他地区找到麦粒蜓： <i>Trificifex</i> sp.等化石。下部：黑色厚层微晶灰岩，底部有一层灰黄色含褐铁矿团块泥岩。泥岩中含植物碎片化石。
			黄龙组	C ₂ h	>27	上部：灰、紫红色厚层亮晶生物碎屑灰岩夹砂屑灰岩。含有亮晶方解石。下部：灰、深灰、肉红色中厚至厚层生物碎屑泥晶与微晶灰岩。含蜓和珊瑚的化石。
		下	和州组	C ₁ h	27	上部：灰、微带肉红色中厚层至厚层亮晶及微晶生物碎屑灰岩，俗称假黄龙。底部为粗结晶灰岩，在其上部有一套厚约 90cm 的泥岩页岩互层的岩石。再上面是一套灰白色的板状灰岩。顶部为姜粒状（蜂窝状）灰岩。含蜓和珊瑚的化石。下部：深灰、灰黑色中薄至厚层生物碎屑白云质灰岩、泥质类岩。含蜓：原始史塔夫蜓 <i>Eostaffella</i> sp.和县始史塔蜓 <i>Ehohsienca</i> Chang 等。
			高骊山组	C ₁ g	25	上部：灰黄、黄褐色含铁质细粒石英砂岩及灰白色石英砂岩。中部：灰黄、紫红薄层，含生物碎屑，含钙、铁质泥岩夹姜块状灰岩和中薄层含生物碎屑灰岩。含腕足类：轮刺贝 <i>Echinoconchus</i> sp.、石柱珊瑚 <i>Lifhostrotrion</i> sp.、顶饰珊瑚 <i>Lophophyllum</i> sp.等。下部：为灰、灰黄薄层黏土岩，杂色页岩。底部夹褐铁矿层，并且夹有亮晶方解石，含植物化石碎片。