

云南断陷湖泊环境与 沉积

中国科学院
南京地理与湖泊研究所
兰州地质研究所
南京地质古生物研究所
地球化学研究所 著

科学出版社



200356587

37802

云南断陷湖泊环境与沉积

中国科学院
南京地理与湖泊研究所
兰州地质研究所
南京地质古生物研究所
地球化学研究所 著



003713470

科学出版社

1989

内 容 简 介

本书是中国科学院地学部“六五”大型综合研究项目“云南断陷湖综合研究”的总结。书中阐述了以滇池、洱海和抚仙湖三大湖泊为代表的云南断陷湖泊的形成及区域地质构造背景,湖泊物理、化学、生物过程,沉积作用的特点和沉积相,以及湖盆构造-沉积演化模式及其在沉积学和石油勘探上的意义。本书是在多学科综合考察、定位观测和实验分析所获大量资料基础上,以湖泊沉积为重点的湖泊学研究的最新成果。它不仅对含油气盆地研究和石油勘探有借鉴作用,也有助于加深认识湖泊自然规律和湖泊资源与环境的利用与保护。

本书可供石油、地质、地貌、地理、水文、生物和环境等学科的科研、生产人员,以及大专院校有关专业教师、研究生和高年级学生参考。

云南断陷湖泊环境与沉积

南京地理与湖泊研究所
中国科学院 兰州地质研究所 著
南京地质古生物研究所
地球化学研究所

责任编辑 周明鉴

科学出版社出版

北京市东黄城根北街16号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1989年4月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1989年4月第一次印刷 印张: 33 1/2

平 1—320 插页: 平 16 插 18

印数: 精 1—450 字数: 760,000

ISBN 7-03-000783-2/P·134(平)

ISBN 7-03-000784-0/P·135(精)

定价: 平 装 36.90 元
布脊精装 39.10 元

ENVIRONMENTS AND SEDIMENTATION OF FAULT LAKES, YUNNAN PROVINCE

Chinese Academy of Sciences

Nanjing Institute of Geography and Limnology

Lanzhou Institute of Geology

Institute of Geochemistry

Nanjing Institute of Geology and Paleontology

SCIENCE PRESS, BEIJING, CHINA

1 9 8 9

主 编 朱海虹

副主编 陈应泰 濮培民

编 委 王苏民 庄大栋

参加工作及执笔的人员:

南京地理研究所 朱海虹(沉积、地貌), 濮培民(气候、水文物理), 高礼存(鱼类), 姚秉衡、孙顺才、王苏民(沉积、地貌), 庄大栋(鱼类), 郑长苏、冯敏(沉积、地貌), 王云飞(矿物), 王银珠、袁静秀(水文物理), 胡文英(水化学), 张文华(水文物理), 龚墀(粒度), 余源盛(元素地球化学), 张立(腹足类), 戴全裕(水生植物), 张立仁(粘土矿物), 吴瑞金(第四纪地质), 杨留法(介形类), 倪华、宫春生(沉积、地貌), 苏守德(历史地理), 颜京松(底栖动物), 陈伟民(浮游动物), 王敦生(元素地球化学), 范云崎(陆地水文), 徐爱珍、陆鸿宾(气候), 张晓岚、季江(水文物理), 殷金男、史福祥、姜加虎(水文);

兰州地质研究所 陈应泰(粘土矿物), 王有孝(有机地球化学), 张秀珠(矿物), 李承先、徐洪生(粘土矿物), 程学惠、吴贻华、范璞(有机地球化学);

南京地质古生物研究所 黄宝仁(介形类), 王宝玉(瓣鳃类), 唐领余、刘金陵(孢粉);

地球化学研究所 周明富、乔玉楼、沈承德、黄宝林(^{14}C), 王俊达、李华梅(古地磁);

地质研究所 夏明、张承惠、马志邦(铀系法);

南京大学 陈曦、唐乐同、钱凯先。

参加工作和实验的人员

董本风、郭小鸣、魏桂玲、赵世豪、刘京海、胡红云、潘红玺、吴素华、汪明蓉、秦振馨、耿桂元、周泽、毛晓岫、朱淑琴、沈平、何月英、彭亚兰、李玉兰、张谦、吕德萱、罗大恒、钱吉盛、陈一平、朱明伦、黄凤宝、莫春华、樊小翌、朱荣京、陈娴、王惠基、赵英华。

绘图人员

桑婉玉、吕红妹、董本风、周维功、苏守德、朱玲茹、黄月明、张辉玉、任玉皋。

序

我国大多数油田都发育在中新生代的断陷湖盆内,开展湖泊沉积学的研究将有力促进我国的石油勘探和开发,建立具有自己特色的陆相生油理论。油田沉积相研究近年来取得了长足的进展,但是由于油层取心井耗资费时过多,使得相模式的建立较多地偏重于物理因素,限制了模式的可比性,对沉积机理和沉积过程缺乏系统的认识。为了从环境和动力条件角度加深理解湖泊中不同沉积类型的特征,建立我国自己的湖泊沉积相模式。1979年,中国科学院地学部决定,组织南京地理研究所、兰州地质研究所、南京地质古生物研究所、地球化学研究所、地质研究所等联合攻关,选定云南高原的滇池、洱海和抚仙湖三个不同水深的湖泊作为攻关对象,从地质构造、沉积、地貌、水文、生物、地球化学、矿物和年代学等方面综合研究沉积环境和沉积作用,以达到“将今论古”的目的。

《云南断陷湖泊环境与沉积》课题研究历时六年之久,通过广泛深入的野外考察、打钻采样、长期定位的湖泊学观测和大量实验室分析,较全面系统地剖析了昆明盆地、大理盆地和澄江盆地的形成和演化史。根据层序地层学的特点,结合测年和古生物等资料,对环境时空演化进行了定量分析,划分出构造-沉积演化的阶段,对断陷盆地时而统一时而分隔的宏观格局加深了认识。该研究精细地分析了三个湖泊现代环境的特点,深入探讨了不同湖泊环境内的物理、化学条件对沉积作用的控制和影响,以及生物组合的特点和有机质数量、质量和保存条件与生油的关系,相应地建立了三个综合沉积模式,归纳了断陷湖泊演化过程中的基本特征,为古代断陷盆地分析提供了科学依据。最后,从比较沉积学的角度,将现代断陷湖泊的沉积规律与我国东部的含油盆地作了类比,找出它们的异同点,并应用构造-沉积统一的观点,阐述了沉积建造的特点,为研究地壳裂开的机制提供了基础。总之,《云南断陷湖泊环境与沉积》是我国迄今为止规模最大的现代湖泊综合研究成果,无论是单科的深度上还是多学科的综合上都取得了开拓性进展,表明我国湖泊沉积学的研究进入了一个新阶段。

诚然,该研究仍存在一些不足,不少问题还有待深入研究,例如盆地形成的构造机制分析,湖盆生油理论的探讨,成煤和成油盆地构造-沉积环境的差异等等。但是希望以该成果的出版为起点,使更多的部门和学者都关心和致力于沉积学的发展,特别是现代沉积过程的研究,努力提高我们的学术水平,使我国的沉积学研究跻身于世界先进行列。

叶连俊

前 言

我国东部正在勘探和开发的主要含油气盆地,大多是在中、新生代时统一大陆解体过程中,在拉张或剪切作用控制下发育的断裂盆地。这类盆地也发育于非洲、澳大利亚、北美和欧洲大陆边缘。这类盆地因蕴藏丰富的油气资源和在板块构造及沉积学上的意义而受到国内外学者的极大关注。1981 年在美国召开了“行星裂开过程专题讨论会”,1984 年在伦敦对东非裂谷湖链沉积作用进行了专题讨论,1985 年在我国成都召开了“深部过程及大陆裂谷国际学术讨论会”,均涉及了这类盆地。

通过研究现代断陷湖盆的形成背景、湖泊环境、沉积作用和沉积模式来揭示和加深认识古代断陷湖盆,是本书希望达到的“将今论古”的主要目的。选择云南滇池、洱海、抚仙湖进行综合研究,不仅在于它们与我国东部许多含油气盆地在成因机制和沉积特征上有许多类似之处,可供油田沉积相研究借鉴,而且这三个湖泊大致代表了不同的演化阶段,对深入开展比较沉积学研究也有重要意义。湖泊也是一个复杂的自然综合体,它蕴藏有丰富的水、热、生物和矿产资源。加深对湖泊各自然要素及其相互作用和演变规律的认识,对发展湖泊学和综合开发和保护湖泊资源与环境可提供主要的信息和科学依据。

1980—1983 年,中国科学院地学部组织了以南京地理研究所为主,兰州地质研究所、南京地质古生物研究所、地球化学研究所、地质研究所有关专业的人员,对上述湖泊及邻近地区进行了地质、构造、地貌、第四纪地质、气候、水文物理、水化学、水生物和现代沉积等十多个学科的综合考察。在湖区考察中,实测了水深,各湖分别布置了 50 多个实测点和沿湖观测站点,系统地采集了水样、生物样和沉积物样(包括 1.5—2m 柱状样和表层样),现场测定了水文气象、水化学和沉积物化学的一些项目,并通过定位和半定位季节观测使之系统和完善。在陆上和滨岸带,按沉积地貌单元,进行了浅钻(5m)以及昆明盆地昆铝井(106m)和参 1 井(504m)岩心系统取样。1981—1984 年,对上述样品进行了室内鉴定和实验分析。在整个工作期间,中国科学院地学部赵生才同志主持了四次工作协调会和学术讨论会。在上述基础上进行了全面总结,各学科所取得的成果都系统综合地反映在本书中,其中各学科所获得的研究结论和发现的自然现象,在我国湖泊学和沉积学研究中,不少是首次探索和认识的,这些都大大丰富了本书的内容。

本书是各参加单位领导大力支持和近百位科技人员历经六年辛勤劳动的成果。南京地理所已故副所长祁延年同志生前组织和指导了该项研究,对此深表怀念。云南省地质矿产水文地质勘探公司、云南省煤田地质勘探公司、滇黔桂石油勘探局、云南省冶金设计院提供了宝贵的岩心样品和地质资料,在此一并致谢。

南京地理与湖泊研究所
兰州地质研究所
中国科学院
南京地质古生物研究所
地球化学研究所

1987 年 10 月

绪 论

云南省是我国断陷湖泊较集中分布的地区。这些湖泊广泛分布在滇中高原和滇西横断山脉,其中以滇池、洱海和抚仙湖最为著名。这些现代湖泊连同其所在的盆地,一直是当地人民经济和文化活动的中心。以往这些断陷湖盆因埋藏丰富的新生代褐煤而受到人们的重视和研究。自 60 年代以来,许多生物学家对云南现代湖泊的鱼类、软体动物和水生植物作过不少调查。近几年来,这些发育在区域性深大断裂带上的湖泊,因其在构造和沉积学上的意义而受到许多国内外学者的关注和研究。

本书是在多学科广泛深入地野外考察和湖泊学观测、采样分析和综合研究的基础上,对云南三大断陷湖泊——滇池、洱海和抚仙湖的形成及其区域构造背景、湖泊环境、沉积作用和沉积相,以及湖盆的构造-沉积演化与石油勘探的关系进行了全面系统的论述。

1. 通过对断陷湖盆参 1 井典型深钻孔和其它不同深度的钻孔系统采样和大量露头的调查,应用孢粉、介形类、腹足类、瓣鳃类、古地磁、 ^{14}C 和铀系法对岩心的分析和测定,结合沉积特征,对该区晚新生代地层进行了综合划分和对比,确定了松山极性世的底界 2.48 Ma 为第四纪的下限;布容极性世的底界约 0.70 Ma,为更新统中部和更新统下部的分界;全新统的底界约 12 000 a。根据昆明盆地(滇池)晚新生代连续沉积的厚度和底界测定的年龄 3.00—3.40 Ma,分析对比了大理盆地(洱海)和澄江盆地(抚仙湖)晚新生代地层特征和构造-沉积演化的过程,得出了三个断陷湖盆形成于上新世到更新世早期的结论。

在上述基础上,对以三个断陷湖泊为代表的云南高原湖泊的形成和发展进行了有意义的探讨。根据云南高原与西藏高原湖泊分布和形成演化过程的对比,发现在空间上,它们均分布在区域性大断裂带;在时间上,它们普遍形成于上新世和更新世早期,与喜马拉雅运动二、三期相当,这种时空分布的统一性和同步性,反映出两个高原上的湖泊群是随着区域性隆起,伴随着高原面的解体断裂拉张形成的。而高原面的隆起和区域性断裂活动,则是印度板块与西藏陆块碰撞活动的结果。即当印度板块对西藏陆块冲撞,导致位于康滇幔隆区的川滇菱形断块向东南方向滑移时,其西侧元江断裂呈右旋拉张,东侧小江断裂呈左旋拉张,从而形成一系列正断层控制的断陷盆地。位于元江-红河断裂带上的以洱海为代表的滇西湖泊群,和位于小江断裂带上以抚仙湖、滇池为代表的滇中湖泊群,即是这种断裂活动的结果。但是,在具体分析同一断裂系中各湖盆形成的时间和沉积特征时,实际上还存在明显差异。即使同一盆地内还被次级断裂分割成若干亚盆地,它们的沉积层序和层序组合也不尽相同。反映了断裂盆地之间还存在着被分割的特点。例如,现代业已统一的滇池盆地,在其形成早期曾分割成六个次级凹陷。而发育于小江断裂上的抚仙湖和星云湖;发育于普渡河断裂(属小江断裂系)的滇池盆地、新街盆地和玉溪盆地,在更新世晚期至全新世早期曾是统一的水体;而发育于元江-红河断裂带的鹤庆盆地、丽江盆地和拉石盆地,在更新世早、中期沉积蛇山组时,也曾是统一的大水体。上述这些盆地,

因新构造运动的差异,现在彼此之间为山岭所分割,有的甚至成为不同流域水系的湖泊。这种时而统一,时而分割的特点,是断裂盆地演化的重要特征。

2. 通过湖面和沿岸较长时期的水文气象要素,水化学和水生物的定位、半定位与船舶调查和观测,对现代断陷湖泊环境进行了综合而系统的研究。在水文气象方面,揭示了诸如湖区晴空辐射、水面反射率;湖面蒸发,湖面对降水削弱效应,水体的增温效应,湖陆风及湖区的散度、涡度场特征,湖泊热学分层结构、温跃层,风涌水、定振波、风浪以及湖泊环流等方面一些重要特点和规律。这不仅弥补了我国在物理湖泊学方面研究的不足,而且对认识湖泊沉积环境和沉积过程提供了许多重要的科学依据。例如,湖区气候和水动力研究表明,云南地区湖泊,在亚热带季风气候区的背景上,盛行与湖盆长轴走向一致的偏南风,加上湖盆水陆气温差异和地方性风环流作用,在开敞区湖面形成辐散辐合气旋式环流。这种相对稳定性的闭合型反时针运行的流态,在宏观分布上与湖泊沉积物粒度分带的总格局是一致的,而且对沉积物中一些陆源矿物、自生矿物、粘土矿物和某些化学元素的分异与富集也有很大影响。虽然波浪的能量变化对沉积物粒度和矿物的分选起了重要作用,但不能忽视湖泊环流对沉积物,特别是细粒沉积物和一些粘粒相关的矿物和元素的运移、扩散和富集作用。在具有热学分层的深水湖泊中,垂直环流对上下湖泊水体的动量、热量和物质交换起了很大作用,如抚仙湖 100m 以下湖底,仍有 4mg/L 溶解氧和某些浮游生物和底栖动物的存在,通常生活在上层水体的某些藻类,如水花束藻,可通过垂直环流被带至下层水体,以及深水沉积物还保留陆源氧化环境的棕红颜色等特点。此外,群山环抱的断陷湖盆,入湖径流水温低于湖水,如有高山雪融水补给,如苍山十八溪,两者温差更为显著,加上突发性暴雨洪水,往往以异重流形式潜入湖底,形成低密度浊流沉积。以上表明,在浪基面或温跃层以下的深水区并非是绝对静止的环境。

在水化学方面,基本查明了滇池、洱海和抚仙湖的矿化度,氧化还原条件,耗氧量,总硬度和主要离子含量及其相关性和聚合类型。揭示了不同深度湖水化学元素的时空分布和变化特点,及其与水文物理、水生生物之间的相互关系。确定了三个湖泊均为重碳酸盐类型。在研究湖水碳酸盐系统中,计算了二氧化碳平衡、游离和侵蚀二氧化碳之后,发现除滇池春季游离二氧化碳大于平衡二氧化碳,湖水中含有 1.72—1.98 mg/L 的侵蚀二氧化碳外,洱海、抚仙湖和滇池其它季节,游离二氧化碳均低于平衡二氧化碳,即碳酸钙处于过饱和状态。特别是在水生生物丰富, pH 值高,重碳酸盐和钙离子补给丰富的水域,其饱和值更大,这对现代沉积物中自生碳酸盐矿物的形成提供了水化学条件。此外,根据湖泊富营养化和营养类型综合指标分析和评价,确定抚仙湖、洱海、滇池(外海)与草海分别属贫营养型(向中营养型过渡)、中到中贫营养型、中到富营养型和重富营养型,为判断湖泊发育阶段提供了水化学标志。

通过水生生物研究,基本摸清了滇池、洱海和抚仙湖的浮游藻类、浮游动物、底栖动物、水生高等植物和鱼类的种类、数量、组成、分布和生态特征及其演化过程。揭示了生物与环境的动态变化关系和不同发育阶段湖泊生物的特点和差异。在我国首次发现水深 100—155m 处,仍然生存着某些挠足类、水蚯蚓和摇蚊幼虫。腹足类和瓣鳃类生态习性表明,它们大多数生活在具有粘土和粉质粘土沉积、水生植物较茂密,或水生植物少,但水质清彻的浅水或中等水深的区域。滇池水浅,某些腹足类,如螺蛳可在湖心生长。抚仙湖浅水区域小,其底质又多为砂砾质,腹足类和瓣鳃类均不发育,仅在局部粘土区有零星分布。

洱海腹足类和瓣鳃类分布下限可达 6—10 m, 与水生植物的下限基本一致。三个湖泊水生生物对比研究说明, 它们的种类、数量和生物量均以抚仙湖最少, 洱海次之, 滇池最丰富。它们的水生植物群落, 也表现为由简单到复杂。结合它们的生态特征和富营养化生物指标, 反映了抚仙湖、洱海和滇池分属早、中、晚期不同发育阶段的湖泊。与我国平原地区淡水湖泊比较, 云南断陷湖泊鱼类的种类、组成和区系, 具有种群贫乏, 特有种多, 类群复杂和明显的区域性等特点, 并根据湖泊中有着残留种、外来种和分化种三种鱼类来源, 探讨了鱼类区系的演替、同域分化与湖泊环境演化的关系。这对研究新生代以来, 云南高原面的解体, 断陷湖盆的形成、演变和水系变迁提供鱼类生物学的依据。

3. 在现代沉积方面, 通过三个湖泊沉积物 ^{14}C 年龄测定和计算, 它们的沉积速率在分布上有着明显的差异性, 位于盆地北部沉降中心沉积速率最大, 如滇池和抚仙湖北部沉积速率一般在 $38—50\text{ cm}/10^3\text{ a}$, 其中滇池北部水草衍生的草海, 有的取样点沉积速率高达 $75\text{ cm}/10^3\text{ a}$; 而滇池湖心沉积速率一般不到 $20\text{ cm}/10^3\text{ a}$; 前者是后者的 1.5—3.5 倍。以上表明断陷湖泊沉降中心与沉积中心是一致的, 而与湖盆几何中心是非一致的, 反映构造对湖盆沉积作用的控制, 同时也表明, 湖盆发育晚期的沼泽化, 生物碎屑参与陆源碎屑一起充填, 加速了湖盆的衰亡。

断陷湖泊沉积物粒度水平分带明显, 从湖岸至湖心, 不同粒级的沉积物呈规律性的环带状分布, 平均粒径 ($\bar{x}_\phi$) 反映由粗到细, SK 值由正到负, 反映水动力由高能到低能的变化。从上部滩地→下部滩地和近岸带→开阔湖, σ_ϕ 值有由高→低→高的趋势, 反映受到波浪双向水流作用的砂和粉砂质沉积带分选最好。粒度分布的区域差异主要受到构造、岩性、物源和地形坡度差异的影响。细粒沉积物占绝对优势是断陷湖泊粒度分布的另一特点, 抚仙湖、洱海、滇池细于 8ϕ 的粘土分布分别占全湖面积的 75—80%, 均大于长江中、下游平原湖泊。具有分层结构的抚仙湖, 因重力流沉积的影响, 使部分深水开阔湖沉积物粗化。此外, 按不同沉积类型的粒度频率曲线、概率曲线和 $C-M$ 图, 较客观地反映了在不同动力和环境条件下, 各沉积相及亚相的粒度特点和差异。

陆源碎屑矿物, 湖泊自生矿物的种类丰富, 组合复杂, 不稳定矿物分布广泛和因水动力变化与环境差异所产生的矿物分异现象, 是断陷湖泊沉积矿物学的重要特点。铁的自生矿物分布表明, 水深、 pH 和 Eh 值和水生生物是其形成的重要的环境因素, 如菱铁矿主要分布在水深大、波浪作用弱的开阔湖区, 其含量随水深增大而增加, 其次分布在生物繁衍、富含有机质、 $\text{pH}7.1—7.6$, Eh 值 $30—120\text{ mV}$ 的粉质粘土沉积的浅水湖湾; 针铁矿主要分布在水体交换强烈, Eh 值通常大于 150 mV 的滨岸带; 蓝铁矿随着沉积物中磷含量增高而富集; 磁黄铁矿与黄铁矿常共生富集在含菱铁矿沉积物的下部或水流滞缓、具中度还原环境的开阔湖区。方解石单晶多发育在水动力微弱、碱性水介质和粉质粘土沉积的开阔湖区; 沉积物 $\text{pH} > 7.1$, 粒径小于 9ϕ 的湖湾粘土中有利于方解石隐晶团块发育; 方解石生物充填体、球状粒、葡萄粒形成环境相似, 主要分布在中等水深、藻类繁茂、底坡平坦, 波浪缓慢振荡的粘土质粉砂沉积区; 以玉髓、蛋白石单矿物形态出现的硅的自生矿物, 主要集中在滨岸带与三角洲前缘, 这里既有利于水体中硅藻对二氧化硅的富集; 河水入湖后, pH 降低, 也有利于二氧化硅溶胶体凝聚沉淀。抚仙湖海绿石的发现, 为过去这种被认为是“海相标志矿物”的形成机制和沉积环境, 重新提出探讨的必要。初步研究认为, 在特定的水源、水文物理、水化学和沉积地球化学环境下, 有可能由某些矿物蚀变或溶

液凝聚形成自生海绿石。

研究表明,湖泊沉积物中的粘土矿物主要来自陆源碎屑质点,因此粘土矿物的成分、含量和分布主要反映了气候、物源和水动力对其影响。云南现代湖泊表层沉积物中,蒙脱石平均含量普遍低于云南第四纪和我国其它新生代盆地岩心,也低于现代海洋沉积物,可能是缺乏现代火山喷发的物源;但蒙脱石含量向湖心增加的趋势,与它的质点小,在偏碱性湖水中,有利于较长时间的悬浮,被湖水环流带到敞水区的缘故;而柱状样品中蒙脱石含量相对增加,与沉积物埋藏后,偏碱性介质有利新生蒙脱石的形成。伊利石含量高,与我国其它陆相沉积的特点一致。高岭石含量偏高显然是低纬度地区普遍发育富铁铝型红土风化壳的结果。绿泥石含量偏高可能与断陷湖泊沉积物搬运距离短,沉积速度快,有利于保存有关。

元素地球化学研究说明了湖泊沉积物中 pH 值水平分布较均匀、垂向分布变化较大,前者反映水体交换,后者反映历史气候变化与生物消长。Eh 值主要受增氧和耗氧因素的控制,湖泊中某些矿物的形成、分解与转化对其有重要影响。生物影响了有机质的积累,水动力影响了有机质的富集。沉积物中碳氮比例可反映古气候与生物类群。利用元素之间的相关性有助于判断矿物的种类与分布,例如总磷与唯一的钙元素相关,速效磷只与铁、铝明显相关,证明了生物营养元素——磷是磷酸铝和磷酸铁的化合物,而不是磷酸钙,由此阐明了滇池富营养化的直接影响因素和根本原因。常量元素的分布主要取决于物源影响的范围,而微量元素则主要随沉积物粘粒的富集而富集,并与有机质富集有关。多元素聚类分析反映了元素分布和富集与物源、主要矿物和水动力条件的一致性,这有助于划分地球化学相和沉积物的区域类型。元素的趋势面分析可从客观上反映湖泊沉积物元素分布的总趋势。

现代沉积物有机地球化学研究表明,不同类型湖泊有机质丰度取决于自身和外来有机质数量及保存条件。滇池、洱海水生生物丰富,外来有机质多,故有机碳含量在 0.6—1.0% 之间,高于深水抚仙湖的 0.42%。现代沉积物中可溶有机质虽保留着早期生物化学演化特点,但不同湖泊和水域环境有机质数量和质量差异使族组成变化较大,这对有机质进一步演化方向将起着重要控制作用。随着沉积物埋深增加,还原作用增强,不饱和的高碳数烯烃可在较短地质时期内转化为饱和烃。滇池、洱海有机碳和氯仿沥青 A 随埋深增加而增加,与沉积时有机质丰富有关,而总烃含量, S_1/S_2 (C_{22-} 峰面积与 C_{22+} 峰面积之比) 相对减小,表明在早期生物化学作用下,随着有机质转化,使总烃受到不同程度消耗。洱海沉积物中萜类化合物以不稳定的 $\beta\beta$ 型生物藿烷为主,而泥炭样品中 $17\alpha, 21\beta-C_{31}$ ($C_{22}R$) 升藿烷异常突出,其次为 $\beta\beta$ 型生物藿烷,在所分析样品中均有藿烯。在湖底与钻孔样品“芳烃馏份”中,芘含量普遍较高。在洱海水生植物抽提物中发现有二环萜烷存在。滇池、洱海沉积物中干酪根以混合型为主,抚仙湖为腐殖型,沉积物热解资料表明,早期沉积环境和生物化学作用对年青干酪根中成烃物质的聚集有明显影响。此外,根据不同湖泊和环境的有机质数量、质量及其保存和转化条件分析,浪基面水深小于 10m 的湖泊对成煤条件有利;温跃层约 20—30m 以下水深有利于有机质的保存和转化,对成油有利。

滇池、洱海和抚仙湖均属外泄淡水湖,它们的地理位置、纬度、温度、盐度和 pH 值较近似,因此三个湖泊沉积物中(包括第四纪)介形类科属、种类差异不大。调查共发现介形类 3 超科、7 种、20 属,其中 9 个新属,15 个新种。生态习性表明一些介形类能适应不同

水深,如真华介和玻璃介;一些则因环境不同而有差异,如滇池金星介和抚仙湖花介在滇池、抚仙湖虽均有产出,但前者滇池为多,后者抚仙湖丰富。真玻璃介科,陆花介科和湖花介科适应水深较大的开阔湖环境。滨岸带与河溪中以土星介亚科,金星介科和球星介科具多。丽星介和平丽星介与水草关系密切,普遍分布在滇池和洱海。刺玻璃介和湖土星介是深水抚仙湖的产物。由于我国中、新生代油田地层中所含介形类及其组合特征,与云南湖泊介形类有许多相似之处,有的是现生属,而又明显不同于海相介形类,故可确信我国中、新生代含油盆地地层属陆相环境。

4. 在系统地研究了包括山麓洪积扇与扇三角洲,河流与三角洲,滨岸带与开阔湖,低密度异重流与高密度浊流等各类沉积相的形成机制、沉积过程、沉积层序的特点和时空变化的基础上,结合我国中、新生代断裂盆地的构造-沉积特征,进一步从构造-沉积演化的角度,分析了断陷湖盆充填沉积旋回的特点。指出了断陷湖盆在其形成和演化中,曾经历了早期拉张裂开,中期深陷扩张和晚期充填收缩三个阶段。与演化阶段相对应的沉积格局是,在岩性上表现为红-黑-红和粗-细-粗的变化,反映出湖泊水体由浅-深-浅的演替过程,此过程代表了一个完整的沉积旋回。其中深陷阶段是生油建造的主要时期,而各个阶段的粗碎屑沉积则是良好的储层。因断裂活动在时空上的差异性,因此在上述构造-沉积演化的总格局的背景上,还存在次级旋回,从而使湖盆充填具有多旋回的特点,在构造型式上出现对称的或不对称的地堑盆地、半地堑箕状盆地和堑垒相间的复式盆地,加上盆地断裂构造走向和水系分布的总格局对沉积作用的控制,从而使断裂盆地存在着沿盆地长轴方向的纵向搬运和沿短轴方向的横向搬运两种体系。根据这两种搬运体系综合作用和与它们的时空消长变化,建立了断陷湖盆三种综合沉积模式:

(1) 以重力流沉积为特色的深水湖泊沉积模式。如抚仙湖,其纵向搬运体系和横向搬运体系均表现为扇三角洲沉积和浊流沉积。

(2) 横向搬运体系以重力流沉积为特色,纵向搬运体系以河流三角洲为特色的中等水深湖泊的沉积模式。如洱海西侧苍山十八溪发育了扇三角洲群和滨岸水下扇,而南北两端均发育成熟度较低的河流三角洲沉积。

(3) 以河流三角洲和滨岸沉积体系为特色的浅水湖泊沉积模式。如滇池,除西侧发育缓坡型小规模扇三角洲外,东侧和南北两端均表现为成熟度相对较高的河流三角洲和潟湖-滨岸砂体复合沉积。

上述三种沉积模式虽未反映出从初期裂谷形成和晚期湖盆衰亡的全过程,但它们大致代表了云南断陷湖盆演化中最重要的几个阶段的基本沉积面貌。我国中、新生代含油盆地的勘探实践也证明,上述沉积模式具有较强的可比性,可借鉴用来指导石油勘探和沉积相研究。

目 录

序	i
前言	iii
绪论	xiii

第一篇 湖盆的地质背景与晚新生代沉积

第一章 盆地的地质基础与地貌发育	1
一、自然地理概况和湖盆的形态特征	1
二、地质构造背景	5
三、地貌特征与新构造运动	9
第二章 晚新生代地层	16
一、晚新生代地层概述	16
二、孢粉植物群与古气候	24
三、介形类	47
四、软体动物	51
五、磁性地层的划分与沉积速率	55
六、同位素地层	60
第三章 晚新生代沉积特征	70
一、粒度特征与环境分析	70
二、碎屑矿物及自生矿物特征与沉积环境演变	74
三、粘土矿物特征	78
四、元素丰度的变化与沉积环境	87
五、成岩早期的有机质特征	92
六、晚新生代湖泊环境演化	99
第四章 湖盆的形成及发展	101
一、昆明盆地的形成和发展	102
二、澄江盆地的形成和发展	107
三、大理盆地的形成和发展	109
参考文献	110

第二篇 现代湖泊环境与水生生物

第五章 湖区气候与水文特征	113
一、气候背景	113
二、云量、日照与太阳辐射	116
三、气温与湿度	119
四、风情	122
五、降水与蒸发	128

六、湖区历史气候	131
七、湖区水文特征	131
第六章 湖水热学状况与水动力	139
一、湖水热状况	139
二、风涌水与定振波	150
三、风浪与湖流	161
四、湖水含沙量与透明度	178
五、湖水运动与沉积	181
第七章 湖水化学特征	192
一、水化学性质	192
二、湖水碳酸盐系统	205
三、湖泊的营养类型	211
第八章 湖泊水生生物及鱼类	217
一、浮游植物	217
二、浮游动物	221
三、底栖动物	228
四、水生植物(水生高等植物)	240
五、鱼类	250
参考文献	272

第三篇 现代湖泊沉积

第九章 沉积物的 ^{14}C 年龄及沉积速率	275
第十章 现代湖泊沉积物粒度特征	281
一、碎屑沉积物类型	281
二、粒度分布特征	285
三、粒度频率曲线及参数特征	293
四、粒度概率曲线特征	297
五、C-M 图特征	301
第十一章 现代湖泊沉积物的矿物特征	304
一、陆源碎屑矿物	304
二、铁的自生矿物和形成环境	307
三、碳酸盐矿物	311
四、硅的自生矿物	315
五、抚仙湖现代沉积物中的海绿石	315
六、湖泊沉积相带的矿物分异	321
七、断陷湖泊演化中的矿物学标志	322
第十二章 现代湖泊沉积物中的粘土矿物	325
一、粘土矿物的物源及其分布	325
二、对比	333
三、镁钙比、锶钡比与沉积环境	339
第十三章 现代沉积物的元素地球化学特征	340
一、沉积物的 pH、Eh 及有机质的分布	340

二、沉积物中元素的相关性及其共生组合	344
三、沉积物中某些元素的分布特征	347
四、沉积环境与元素分布规律	350
五、沉积物样点聚类分析及其在沉积环境研究中的应用	356
第十四章 现代湖泊沉积物的有机地球化学	360
一、样品的采集和分析	360
二、有机质丰度	360
三、饱和烃	368
四、类异戊二烯烷烃	373
五、烯烃	374
六、芳烃	374
七、甾烷和萜烷	377
八、二环萜烷	381
九、干酪根	382
第十五章 现代湖泊沉积物中的介形类、腹足类和瓣鳃类	388
一、介形类	388
二、腹足类	401
三、瓣鳃类	403
第十六章 洪积扇与扇三角洲沉积	404
一、洱海西岸洪积扇与扇三角洲沉积	405
二、滇池、抚仙湖及洱海东岸的洪积扇和扇三角洲沉积	417
三、关于扇三角洲的讨论	422
第十七章 河流与三角洲沉积	425
一、河流沉积	425
二、三角洲沉积的模式、成因及分类	426
三、三角洲沉积相的划分及其沉积特征	437
四、断陷湖泊三角洲沉积特点及与油气的关系	441
第十八章 滨岸带与开阔湖沉积	443
一、湖泊沉积带的划分	443
二、滨岸带沉积	444
三、滨岸带障壁沙坝体系	448
四、开阔湖沉积	456
第十九章 浊流沉积	459
一、碎屑流沉积	459
二、浊流(高密度流)沉积	459
三、异重流(低密度浊流)沉积	463
四、关于浊流沉积特征的分析	464
参考文献	468

第四篇 云南断陷湖沉积学研究油气勘探的关系

第二十章 断陷湖盆的发育、演化与油气勘探	472
一、断裂的控制作用	472

二、断裂盆地的演化阶段和沉积层序	474
第二十一章 断陷湖盆沉积模式与油气分布的关系	481
一、断陷湖盆沉积作用的特点	481
二、断陷湖盆的沉积体系和沉积模式	483
第二十二章 断陷湖盆成油与成煤条件的分析	490
一、水生生物的数量和质量	490
二、沉积环境与有机质	493
三、埋藏初期及成岩早期有机质的演化趋势	494
参考文献	497
附图目录(英文)	498
图版说明	505
图版	515

ENVIRONMENTS AND SEDIMENTATION OF FAULT LAKES, YUNNAN PROVINCE

CONTENTS

Preface	i
Foreword	iii
Introduction	xiii

PART 1. GEOLOGICAL SETTING AND LATE CENOZOIC SEDIMENTS OF THE BASINS

Chapter 1 Geological basement and geomorphological development of the basins	1
1.1 General physical geographical setting and lake morphology	1
1.2 Structure setting	5
1.3 Geomorphology and neotectonic movement	9
Chapter 2 Late Cenozoic stratigraphy	16
2.1 Generalization of Late Cenozoic strata	16
2.2 Pollen and spore assemblages and paleoclimate	24
2.3 Ostracoda	47
2.4 Mollusk	51
2.5 Magnetic stratigraphy division and sedimentation rates	55
2.6 Isotope stratigraphy	60
Chapter 3 Characteristics of Late Cenozoic sediments	70
3.1 Grain size and its environmental analysis	70
3.2 Clastic and authigenic minerals and the change of sedimentary environments	74
3.3 Characteristics of clay minerals	78
3.4 Variations of element abundance and sedimentary environments	87
3.5 Organic matters in early diagenetic stage	92
3.6 The evolution of Late Cenozoic lake environments	99
Chapter 4 Formation and development of lake basins	101
4.1 Formation and development of Kunming Basin	102
4.2 Formation and development of Chengjiang Basin	107
4.3 Formation and development of Dali Basin	109
References	110

PART 2. MODERN LAKE ENVIRONMENTS AND AQUATIC LIVINGS

Chapter 5 Climatology and hydrology of the lake area	113
--	-----