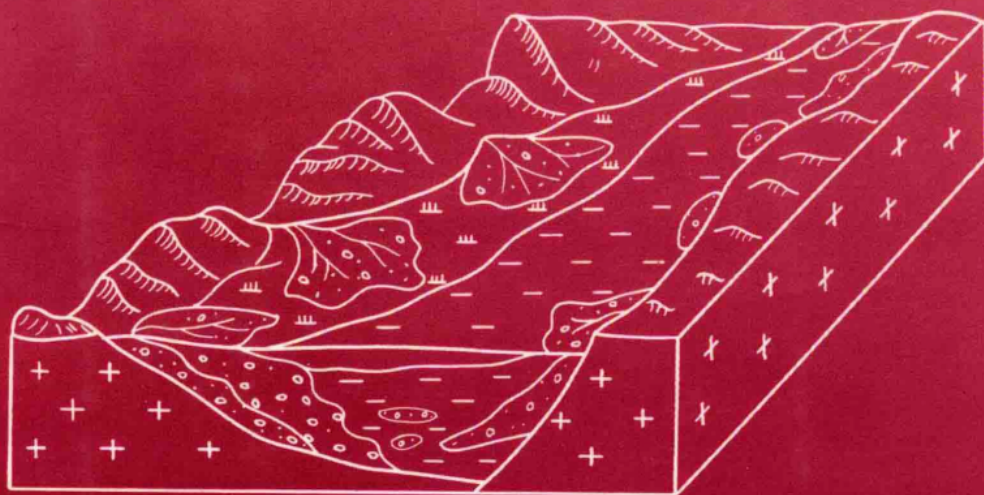


“油气藏地质及开发工程”系列著作
国家重点实验室

断陷湖盆 比较沉积学与油气储层

赵永胜 陈布科 戴苏兰 著



四川科学技术出版社

“油气藏地质及开发工程”
国家重点实验室系列著作

断陷湖盆 比较沉积学与油气储层

赵永胜 陈布科 戴苏兰 著

四川科学技术出版社

内 容 简 介

本书是陆相断陷湖泊沉积学与油气储层研究方面的专著。作者以现代星云湖沉积作用和湖泊环境研究为基础,应用比较沉积学理论与方法,从宏观到微观、从定性到定量,对云南陇川第三系含油气盆地的地层层序、形成机制、沉积相成因标志、沉积体系、油气储层及盖层封闭性和烃源岩地球化学等方面进行了多学科的综合研究,并指出了有利的油气勘探区。湖泊沉积学与油气储层的研究不仅对含油气盆地分析有借鉴作用,而且有助于湖泊资源的开发和保护。

本书可供从事油气地质、沉积、环境、地理等学科的科研人员、研究生和高年级学生参考。

断陷湖盆比较沉积学与油气储层

编 著 者	赵永胜 陈布科 戴苏兰
责任编辑	任维丽
特邀编辑	郝志诚
封面设计	黄 美
版式设计	喻瑞卿
责任校对	喻瑞卿
出版发行	四川科学技术出版社 成都盐道街3号 邮编 610012
开 本	787×1092 毫米 1/16
	、 印张 11.75 字数 287 千
印 刷	四川石油管理局印刷厂
版 次	1996 年 12 月成都第一版
印 次	1996 年 12 月第一次印刷
印 数	1—800 册
定 价	28.00 元
ISBN 7-5364-3502-9/P·82	

■ 本书如有缺损、破页、装订错误,请寄回印刷厂调换。

■ 如需购本书,请与本社邮购组联系。
地址/成都盐道街3号
邮编/610012

■ 版权所有·翻印必究 ■

前 言

目前,大多数油田已进入开发成熟期,新的勘探区数量日益减少,油气勘探和开发费用逐渐增高,为了增产上储,提高采收率,降低勘探成本,这就需要对储层进行预测并作出精细、精确、全面的描述。我国陆相储层发育在中新生代断陷盆地内,盆地经历了印支、燕山和喜山阶段的复杂演化,造成了油气生成和储集条件的差异性,增强了储层的非均质性。因此,开展现代断陷湖泊沉积学与油气储层的研究,建立储层通用地质模型,对油气的勘探和开发具有重要的指导意义。

该书把云南断陷湖泊星云湖作为野外实验基地,从地质、构造、沉积、地貌、地球化学等方面对湖泊进行了沉积环境和沉积作用过程的研究,建立了湖盆沉积模式,并运用比较沉积学理论和方法,以“将今论古”的思想,对陇川第三系盆地的地层层序、形成机制、沉积体系、储盖层性质及分布、烃源岩地球化学特征和圈闭类型及成因等方面进行了多学科系统的总结,指出了有利的勘探区。为中国东部油田储层沉积微相分析和南方第三系微型盆地油气勘探提供了借鉴模式;同时,湖泊沉积学研究为综合开发、保护湖泊资源与环境提供了科学依据。

1984年开始,作者在赵霞飞教授的指导下,选择星云湖盆作为研究实验基地,开展了湖泊沉积学研究。90年代开始,作者随成都理工学院石油系和滇黔桂石油勘探局开展了《云南陇川盆地石油地质综合评价》、《陇川盆地构造沉积条件分析与油气勘探》和《瑞丽盆地油气地质综合评价》等合作项目的科学研究,在此基础上进行了全面系统的总结,本专著就是这些科研成果的汇集和结晶。

在研究过程中,得到了成都理工学院赵霞飞、杨宝星、宋振亚、黄仰洲、肖慈珣、王英民、吴征、罗志立、时言等教授的热情鼓励和指导,滇黔桂石油勘探局副局长陆荣生总地质师,局科技处副主任乐斌高级工程师,勘探公司经理钟九成、邝平河、李萌玺、李伯忠、何邦俊、钟恒仁等高级工程师,范砚荣高级工程师及施文华、郭赤奇、王志鹏、孙庭金等同志,云南煤田勘探公司总工程师杜万荣高级工程师、云南舟桥部队、玉溪环境监测站和江川县水电局等单位及个人也给予了帮助和支持。在此,谨向他们表示衷心的感谢。

在本专著中,赵永胜编写前言、结论、第一章、第二章、第四章的第1、3、4节、第六章的第1、2、3、4、6节、第七章、第八章、第九章的第1、2、4、5、6节;陈布科编写第五章、第六章的第5节;戴苏兰编写第四章的第2节、第九章的第3节;由赵永胜负责统稿和定稿。

囿于学识和水平,疏漏与错误难免,恳请读者指正。

作 者
1996年10月

目 录

绪论	(1)
第一章 现代断陷湖泊沉积学原理	(4)
第一节 断陷湖盆形成与湖泊分布	(4)
第二节 湖区自然地理及湖水动力学	(6)
第三节 星云湖沉积与环境	(9)
第四节 现代沉积粒度概率曲线类型	(15)
第二章 星云湖沉积学研究及方法	(18)
第一节 现代沉积物的 X 射线照像研究	(18)
第二节 粘土矿物组合特征与分布	(21)
第三节 蓝铁矿形成机理及指相意义	(25)
第四节 贝壳碳氧同位素组成与气候变迁	(29)
第三章 星云湖盆比较沉积学	(37)
第一节 古湖泊沉积学标志	(37)
第二节 星云湖盆沉积环境	(43)
第三节 沉积相组合及沉积演化	(47)
第四节 断陷湖沉积模式及在油气勘探中的启示	(49)
第四章 陆相断陷湖盆地层层序	(52)
第一节 陇川盆地地层层序	(52)
第二节 陇川盆地地震层序	(57)
第三节 盆地地层时代归属	(59)
第四节 云南第三系盆地地层展布	(61)
第五章 陇川断陷盆地形成机制	(63)
第一节 区域构造背景分析	(63)
第二节 盆地构造解释及构造单元	(64)
第三节 陇川断陷盆地形成模式	(71)
第四节 陇川盆地演化阶段	(74)
第六章 断陷湖盆沉积相标志与成因	(76)
第一节 碎屑岩类型及岩相序列	(76)

第二节	粒度分布特征及环境分析·····	(83)
第三节	地球化学特征及稳定同位素组成·····	(95)
第四节	测井相分析原理·····	(101)
第五节	地震相类型及相分析·····	(107)
第七章	陆相断陷湖盆沉积体系·····	(112)
第一节	冲积扇沉积体系·····	(112)
第二节	河流沉积体系·····	(117)
第三节	湖泊沉积体系·····	(121)
第四节	扇三角洲沉积体系·····	(125)
第五节	三角洲沉积体系·····	(128)
第六节	沉积模式及演化序列·····	(133)
第八章	油气储层与盖层封闭性·····	(140)
第一节	砂岩储层分布与孔隙类型·····	(140)
第二节	储层性质与物性变化·····	(141)
第三节	碎屑岩孔隙结构定量研究·····	(144)
第四节	储集岩的分类评价·····	(148)
第五节	油气层保护与评价·····	(150)
第六节	泥岩盖层封闭性研究·····	(152)
第九章	陇川盆地油气地质综合评价·····	(158)
第一节	烃源岩地球化学特征·····	(158)
第二节	生储盖组合与断层封闭性·····	(167)
第三节	盆地圈闭类型及评价·····	(170)
第四节	盆地油气显示研究·····	(177)
第五节	含油气系统理论与方法·····	(180)
第六节	有利地区分析与勘探方法·····	(184)
参考文献 ·····		(185)

绪 论

比较沉积学的兴起和事件沉积作用的提出,是近 20 多年来沉积学理论的重大突破。200 多年前,Hutton 和 Lyell 提出的均变论,奠定了近代地质学的理论基础;均变论强调,地质作用的形式尽管千差万别,但都不能违背最基本的自然规律。这些自然规律,就是经过实践证明了的物理定律和化学原理。均变论的方法学给出的启示是:可以用现代观察到的地质现象去解释历史上保留下来的地质记录,这就是人们常说的“将今论古”。沉积作用是人类可以身临其境进行观察和调查的地质作用之一。因此,均变论对沉积学的影响也最大。

比较沉积学的产生是沉积学历史发展的必然结果。它与均变论不同,不赞成机械地用现代的作用方式及其产物去解释地质现象,而主张以时间作为座标,在变化的边界条件下来探讨沉积作用的基本规律,它是一种既有理论,又有其独立方法的成熟的思想体系。

一、比较沉积学的基本原理与方法

著名沉积学家 J. Walther(1894)就提出了相的连续性原理,俗称 Walther 相律。根据这一原理,随着时间的推移,横向上有序的沉积环境及其产物,势必因为有规律的横向迁移而形成一种有序的纵向序列。因此,在没有大规模间断的情况下,沉积物的纵向序列也就是它在横向上的分布序列。实践证明 Walther 相律是正确的,它为比较沉积学奠定了理论基础。自然界是有序的和有规律的。因此,自然界的环境类型及其物质表现——沉积相的类型是有限的。由此推理,通过寻求环境-作用-沉积产物之间的内在联系而总结出来的沉积模式或相模式也是有限的。比较沉积学正是通过模式对比来完成解释沉积记录的,因此,模式对比是比较沉积学的核心。

Walker(1979)认为相模式是特定沉积环境的抽象和总结。它是判别环境的准绳,指导观察的框架,也是水动力学解释的基础和进行预测的工具。而 R. Anderton(1985)则认为,相模式是以限定的环境变量或边界条件对某一沉积环境的整体或一部分(现实的或想象的)的成因、特征、习性和演化过程的描述。他承认相模式可作为观察的框架和预测的工具,但对其判别环境和解释水动力条件的功能表示怀疑。自然界的环境可以归结为三类,即沉积环境、侵蚀环境和平衡环境。沉积环境的物质表现是有序的沉积序列;侵蚀环境的地质记录是各种冲刷面和间断面;平衡环境的表现形式是无沉积作用界面,诸如硬底和土壤层。完整的相模式实际上包含着这三类环境的记录。例如河流序列中的冲刷面,代表相邻的侵蚀环境,也应当看作模式中的重要相素。

相模式所反映的是环境演化过程中的均变现象,但是自然界中存在着许多周期性的非均变事件,如风暴作用、浊流作用、洪泛作用、地震活动、火山作用、地外星体的撞击作用等。事件沉积物有其自身的沉积序列。它们在正常过程中的出现,是一种随机的叠加作用。它们既非沉积环境演化的必然产物,也不是鉴定沉积环境的充分必要条件。因此在建立相

模式时必须将它们剔除。Dott(1985)认为,事件造成的沉积记录有两类,一类属于正的记录,其表现形式是各种事件沉积物,如浊积岩、风暴岩、洪泛沉积物、地震岩、火山碎屑岩、撞击岩等;另一类是负的记录,表现为沉积物中的某些不连续界面,如冲刷面、无沉积作用界面等;后者易于与正常沉积过程中形成的沉积间断相混。无论是正的还是负的事件记录,都不应列入相模式中。事件沉积作用有其自身的动力学,因此也有特定的沉积序列。如浊积岩的鲍玛序列就是一例,这种序列是鉴定事件沉积物的依据,也要用比较沉积学的方法去研究。

比较沉积学或相的模式对比,首先要求建立典型环境的一般性模式。它们是根据大量同类环境及其沉积物的比较分析和古相沉积物的分析综合而成的。具体进行沉积相的分析时,则要正确地建立研究区的地方性模式,并通过与一般模式的对比,确定其环境类型及动力条件。地方性模式的建立,一般采用数理统计的方法,如马尔科夫链的定量地层分析法效果极佳,Selley(1970)、Cant and Walker(1976)和 Harper(1984)的矩阵分析法效果也很好。

二、比较沉积学原理的应用

人们对地质现象的认识,一般都要经过描述(Description)、解释(Interpretation)和预测(Prediction)这样三个阶段。用比较沉积学方法解决实际问题时,也必须遵循这一认识过程。按照现代沉积学的基本概念和方法正确地描述现象,又是其中的关键。沉积相是具有独特的岩石学特征的一套岩石组合。相分析的最终目的是为了恢复古环境,中间要经过一个正确的解释过程,沉积环境是由许多边界条件限定的,人们试图通过确定边界条件或相参数来恢复环境,但在实际工作中却是困难的。第一,环境的充分必要条件很少,有些条件是必要的,但不是充分的。例如,盐水是海洋环境的必要条件,但并非充分条件,因为盐湖、泻湖也是盐水环境。第二,要查清足以确定环境类型的相标志,需要大量的分析测试工作,在经济上和效率上都不是最佳的选择。以相模式为核心的比较沉积学方法,为沉积相的解释提供了一条最好的途径。无论通过何种方法作出的环境解释,都必须经过实践的检验。所谓预测,实际上就是一种检验。只有预测成功的模式才有可能升华成为一般性的相模式。

从描述到解释到预测是应用比较沉积学解决实际问题所必须遵循的第一个原则。其次,在应用比较沉积学的理论和方法解决问题时,要强调点的沉积序列分析和点线面的有机结合,对地下地质问题,则要求首先做好单井相分析,将几个单井联系起来组成线(相剖面)或网,从认识过程来说,属于预测和检验的范畴,其目的是勾绘沉积环境的三维格局,从而分析盆地的油气储层展布和砂体分布趋势。

三、陆相断陷湖盆比较沉积学主要内容和方法

比较沉积学是地质科学领域一门年轻的学科,从定性的描述到定量的解释以及这个过程相关的沉积学研究,已成为目前研究工作的重点。我国著名沉积学家叶连俊(1983)指

出,沉积学的研究重点已转移到沉积岩层或矿层形成机制、作用过程、环境与背景以及沉积作用的地史演化,沉积作用的动力学过程和沉积盆地分析等这样一些根本性理论问题,以及与这些问题密切相关的矿产(能源)预测和环境地质问题。为此,我们选择现代湖泊沉积作用作为研究基础,中心是作用过程,结合对云南第三系盆地的油气勘探,探讨比较沉积学理论在储层和盆地研究中的应用。

陆相断陷湖盆比较沉积学分析基本原理,可以简单地概括为以断陷盆地整体为研究对象,以现代断陷湖泊沉积作用和过程为重点,建立断陷湖盆地区性模式,以模式对比为核心,通过对第三系含油气盆地研究和系统剖析恢复盆地的沉积演化和构造发展史,建立盆地沉积体系和沉积相模式,预测砂岩储层的发育地区和油气聚集有利部位,在综合油气地质评价基础上,指导油气的勘探和开发。

通过多年的科学实践,陆相断陷湖盆比较沉积学包括以下内容:

1. 现代断陷湖泊沉积作用与环境研究,建立断陷湖盆的沉积模式;
2. 断陷湖盆地层层序的建立和地层时代的探讨;
3. 断陷湖盆形成机制及动力学分析;
4. 断陷湖盆沉积相标志与成因分析;
5. 断陷湖盆沉积体系研究,与现代湖盆沉积模式对比,建立储层砂体格架;
6. 油气储层评价和盖层封闭性;
7. 盆地油气地质综合评价,通过对烃源岩油气地球化学特征,生储盖组合与含油气系统研究,分析有利地区,指导油气勘探。

第一章 现代断陷湖泊沉积学原理

第一节 断陷湖盆形成与湖泊分布

一、断陷湖盆的形成

位于滇西元江断裂带的洱海,滇中普渡河断陷带和小江断裂带上的滇池和抚仙湖、星云湖(图 1-1),它们形成和发展受到川滇菱形断块活动的制约,而中新世以来川滇菱断块活动的动力来源于板块运动;云南高原湖泊的分布,在空间分布和形成时间上反映它们

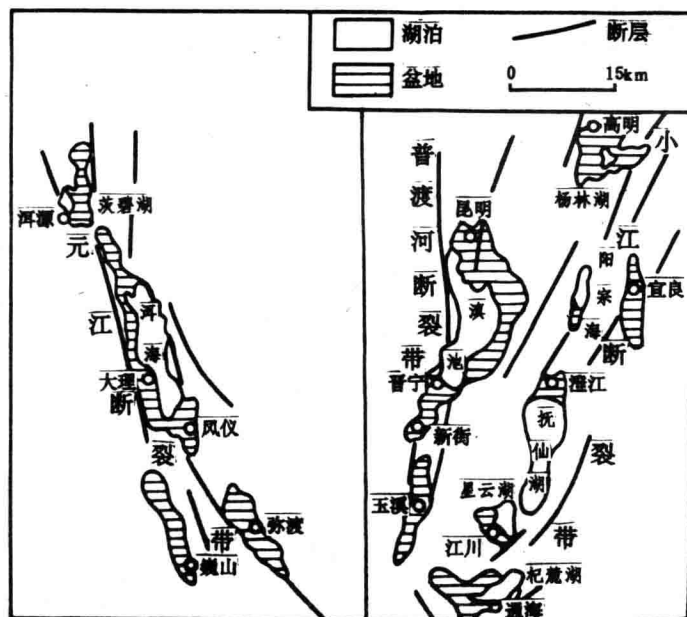


图 1-1 云南高原断裂带与湖泊分布
(据朱海虹修改,1990)

均受到板块活动的控制。据中国科学院青藏高原综合考察队研究,新生代以来印度板块向东北方向漂移与西藏陆块的俯冲碰撞,形成了西藏高原一系列断块山地和断裂控制的断陷湖泊,这些湖泊最早形成于始新世中期喜马拉雅运动第一幕,普遍发育于上新世和早更新世,与喜马拉雅运动第二幕相当(陈志明,1981)。而沿断裂带分布的云南高原断陷湖盆,其形成主要受制于上述的板块活动,当印度板块对西藏陆块冲撞时,导致地块内部东西向的拉张和“刚性东移”的变形(周翌元等,1980),而

位于西藏陆块与扬子陆块之间、两侧又受到断裂挟持的川滇菱形断块向东南方向的活动,即是这种“刚性东移”的结果。在云南地区莫霍面等深图上,川滇菱形断块位于川滇慢隆区,当断块作北西向东南方向滑移时,使其西侧的元江断裂具有右旋拉张的力学性质,而其东侧的小江断裂呈左旋拉张(图 1-2)。因此,发育于上述断裂带上的洱海、滇池、抚仙湖和星云湖等具有剪切拉张的裂谷盆地的特点。根据钻孔和物探资料,生物地层对比和古地磁年龄测定,这些湖盆形成的时代大致与西藏高原相近,主要成盆期在上新世至更新世早期。按侵蚀-沉积相关原理,这些湖盆随着云南高原面解体时,受到拉张断裂的控制形成

的。青藏高原上升的幅度远远超过云南,在张应力作用下,使得断层级级东掉,自西向东有:元江大断层、永胜-宾川大断层、元谋-汁江大断层、普渡河大断层和小江大断层;它们所控制的断陷盆地都分布在断裂东侧,表现为西升东降的特点,同时也造成高原面的高程向东递降的格局。但是,在上述各断裂带内,各个盆地之间又具有分隔的特点,具体表现在盆地形成的时间、盆地充填的类型和地层学的特点等方面都有明显的差异。即使在同一盆地内也存在若干个次级盆地,形成多个沉积中心,使得断陷盆地内沉积相分布模式十分复杂,表现出次一级分割的特点,各个盆地既统一又分割的特点完全受主控断裂和次级断层活动的控制,在断裂体系内构成了时空上有规律的演化系列。

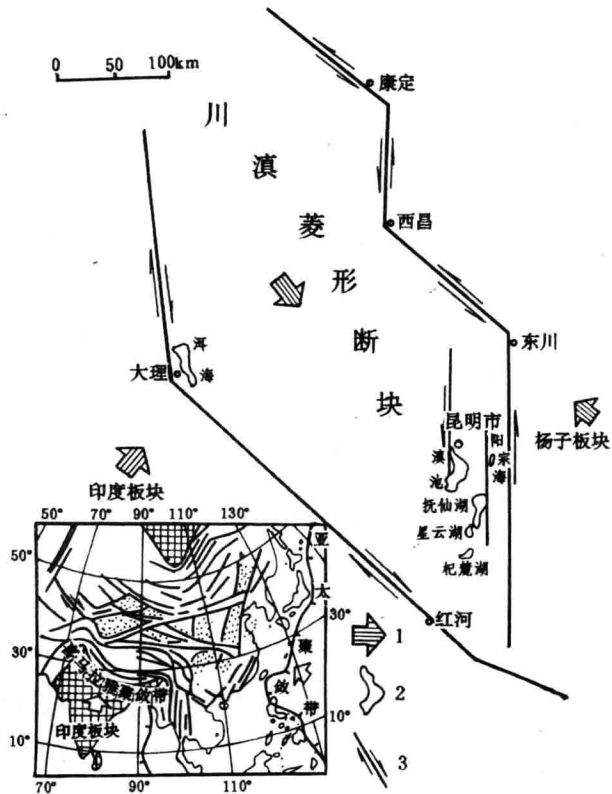


图 1-2 断陷湖泊形成机制
(据朱海虹修改,1990)

二、高原湖泊的分布

云南高原湖泊的分布受控于大断裂的分布,主要集中于昆明凹陷,如阳宗海、滇池、抚仙海、星云湖及杞麓湖等构成了昆明断陷湖群;除滇池属金沙江水系外,其余均属西江、南盘江水系,洱海在高原西部,气候与昆明湖群有类似之处,因在横断山脉之东缘,地形条件上相差颇大。上述湖泊由于受不同断裂的控制,断陷湖盆既具有相似性又有差异性,各湖泊的参数如(表 1-1)所示。

表 1-1 云南高原湖泊形态参数对比表

参数 湖泊	面积 (km ²)	长(km)	宽 (km)	平均宽 长 轴	湖岸长 (km)	最大水深 (m)	平均水深 (m)
滇池	297.5	36	8.38	0.233	199.5	5.7	3.9
星云湖	38.1	10.5	3.8	0.36	36.0	11.5	7.0
洱海	249.8	40.45	5.95	0.147	116.85	20.7	10.2
抚仙湖	211	31.4	7.213	0.229	90.55	155	89

滇池、星云湖为浅水湖,富营养湖,而抚仙湖、洱海为深水湖为贫营养型和中营养型。抚仙湖中出现不明显的温跃层(黎尚豪,1963;中科院地理所,1990)外,其余湖泊均没有温跃层出现。

作为典型的断陷深水湖抚仙湖、洱海均发现现代浊流沉积(孙顺才,1983),而浅水湖滇池、星云湖均无浊流沉积;这些湖泊沿着断裂走向方向发育三角洲沉积,如滇池的盘龙江三角洲、抚仙湖的澄江三角洲、洱海的弥直河三角洲和星云湖的江城三角洲等,除抚仙湖外,它们都呈鸟足状或尖头状的建设型三角洲,抚仙湖的澄江三角洲呈凹入的弧形岸缘,形态类似于高破坏型,但沉积层序出现退复性的建设型三角洲(孙顺才,1983)。抚仙湖、洱海处于沉降大于沉积阶段,三角洲发育面积较小,而滇池、星云湖处于补偿或超补偿阶段,三角洲发育面积大。

上述诸湖都有出水口,属外泄型湖泊,滇池由于海硬砂坝的存在,阻碍湖浪作用,在低能静水区——草海形成泥炭,星云湖在大凹、北部海埂区有沼泽化迹象外没有发现泥炭,抚仙湖及洱海中也都没有泥炭沉积。

第二节 湖区自然地理及湖水动力学

一、自然地理概述

江川盆地位于云南高原东南部,地理座标东经 $102^{\circ}42' \sim 102^{\circ}49'$,北纬 $24^{\circ}15' \sim$

$24^{\circ}28'$,在构造上位于扬子准地台两侧,康滇地轴南部,滇东台褶带。盆地内星云湖面积 38km^2 ,流域面积 325km^2 ,是一个受小江断裂控制的半地堑型湖泊;湖盆两侧不对称,东侧较陡,西侧湖底较为平坦,湖水最深 11.30m ,平均水深 7m ,湖呈南北向,长 10.5km ,宽 3.8km ,湖岸线长 36km ,湖水由出水口——隔河经抚仙湖流入南盘江,属珠江流域西江水系(图 1-3),为外泄型淡水浅湖。

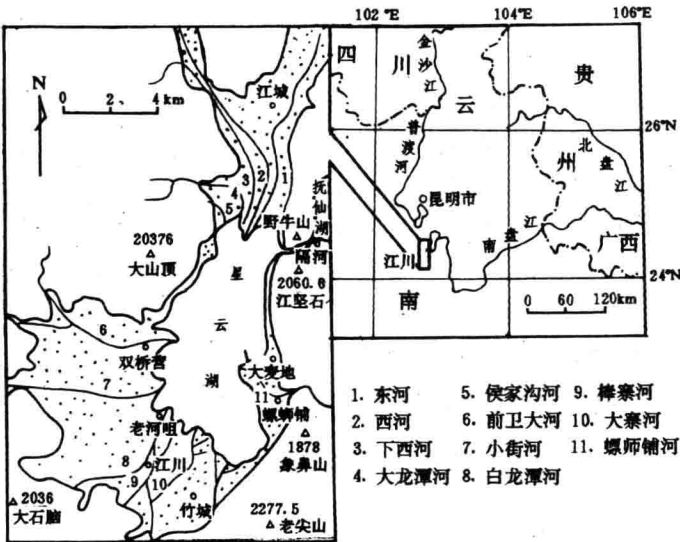


图 1-3 云南星云湖地理位置概貌

湖区属亚热带季风气

候,年平均气温 $13.4^{\circ}\text{C}\sim 16.8^{\circ}\text{C}$,年平均降雨量为 $828.6\text{mm}\sim 976.0\text{mm}$,年日照总时数为 22 小时,相对湿度 74%,蒸发量为 200mm ;主导风向为西南风,干湿季节分明。1985~1986 年通过实地测量,星云湖湖水在垂向上没有水温变化,秋冬季为 13.3°C ,春季为 12.3°C ,夏季为 22.3°C ,湖水 $1\text{m}\sim 2\text{m}$ 深的表层和 $10\text{m}\sim 11\text{m}$ 深的底层水温基本一致,湖水无温跃层出现,故湖水呈简单运动,风力可以使整个水层充分对流并充分氧化,沉积物因而呈褐色、褐红色等氧化色调。

二、湖水水位和理化性质

(一) 水位变化

星云湖水位在短期内的变动受季节性因素控制,即由于支流流量和蒸发量(J. D. Collinson, 1978)的变化,影响水位的变动。星云湖区 1959 年~1980 年 9 月平均降雨量为 756.5mm ,蒸发量 119.6mm ,湖水水位为 1723.12m ;而 4 月份降雨量偏低为 300mm ,蒸发量为 270mm ,水位降为 1722.3m (图 1-4)。因此,短期内水位随降雨量、蒸发量的变化而变化即受季节性气候因素控制。较长期的湖水水位变化是由于排水口的阻挡或开放、较长期的气候变化所

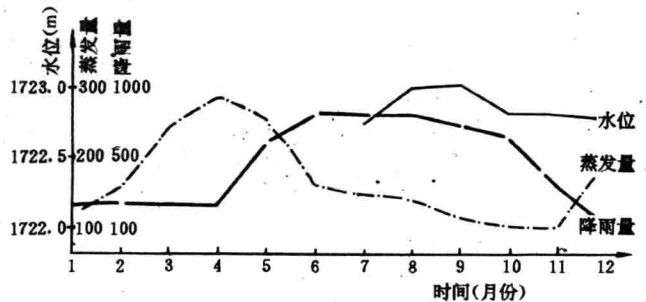


图 1-4 星云湖水位、蒸发量、降雨量之间关系
(据江川县水电局资料整理,1985)

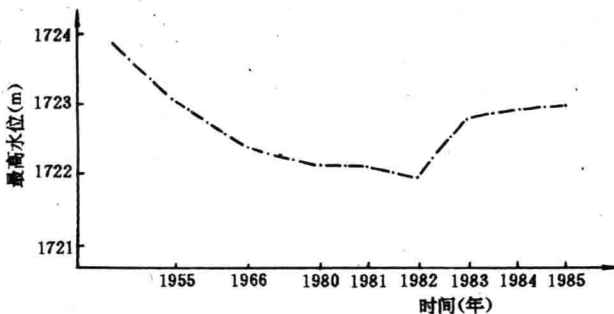


图 1-5 星云湖随时间水位变化
(据江川县水电局,1985)

控制(J. D. Collison, 1978)。据县志记载,1923 年,因疏通海门桥隔河,湖水水位下降,1956 年以前,水位在 1723m 以上,后因围湖造田而疏通海门桥通道,湖水水位下降近 1m ,最高水位有逐年下降趋势,1982 年水位降至 1721.5m ,1983 年以来,由于人工控制出水量,水位开始上升(图 1-5)。

长期湖水水位变化导致湖面的扩大和缩小,直接影响整个湖泊沉积作用和沉积物的分布状况,形成由粗变细,或由细变粗的湖进、湖退的韵律,但短期性水位变动对沉积物分布影响不大。

(二) 湖水理化性质

星云湖属外泄型淡水湖,湖水可溶离子浓度极低,特征值如(表 1-2),由表可见,湖水 pH 值为 8.83,呈微碱性,其它性质如透明度、温度、硅酸盐含量、碱度等均适宜于动物繁

殖,是滋育湖(富营养湖),湖泊周围排水区有碳酸盐岩出露,钙含量增加,属钙型碱性水。

表 1-2 星云湖湖水理化性质

参 数	透明度	平均温度	pH	溶解氧	总硬度	碱度	硅酸盐	总铁 mg/l	Ca ²⁺	Mg ²⁺
特征值	1.5m	19.08℃	8.83	6.71 ~ 7.09	3.06	3.15	2.1 ~ 2.5	0.0923	22.14	23.55

滋育湖中有机质生产能力高,湖底迅速堆积有机碎屑,在湖底淤泥中含丰富植物碎屑。

三、湖水动力学

湖浪和湖流是星云湖湖水的主要运动形式,星云湖位于多风区,湖的长轴方向与主导风方向一致,湖浪大小与吹程有关。据观察,大波浪高达 1.2m,一般 0.8m,按正弦摆动波形式估计波长在 10m 以上;斯利(sly. 1978)介绍了风速和吹程对湖浪规模及湖底沉积物的影响(表 1-3)。据江川水电局资料,星云湖风速为 10m/s,大风风速可达 33m/s,一般为 17.0m/s,吹程为 10.5km,由(表 1-3)可知该湖区有效波高为 1.0m,四分之一波长的浪基面为

表 1-3 风逐浪影响底部沉积物的潜力

吹 程 (km)	持续风速				持续风速			
	20.6	15.5	10.3	7.8	20.6	15.5	10.3	7.8
	有效波高=1/3 波高(m)				浪基面一波长的 25%(m)			
50	2.9	2.1	1.3	0.9	20	15	10	8
20	2.1	1.5	1.1	0.6	12	10	6	4.5
10	1.5	1.2	1.0	<0.5	9	6.5	4.5	3
5	1.2	0.9	0.8	—	6	4.5	3	2
2	1.0	0.6	<0.5	—	3	3	1.5	—

(据斯利,1978)

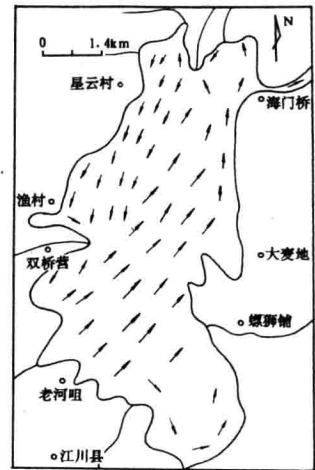


图 1-6 星云湖表层湖流示意图

4.5m;地质上一般把浪基面放在 1/2 波长处,故星云湖的浪基面为 9m,而特大风暴浪基面深度为 13m,星云湖水深为 11.50m,平均 7m,一般情况下,部分湖底处于浪基面以下,但特大风浪可以影响湖底沉积物,故星云湖湖底淤泥大部分具褐红色等氧化色调。

湖浪搬运沉积物,引起大规模湖水运动。在滨线较粗的沉积物被搬运和改造,而细的沉积物被搬向岸外(Norrman, 1964),特别大的风浪还可以搬运较多的介壳碎屑进入湖盆,形成风浪介壳层(如 902 井中的介壳层),湖浪对岸的作用与持续性风相对方向有关,如星云湖东岸的侵蚀型湖岸,是湖浪作用及扇三角洲退缩的产物。

星云湖的湖流通常由河水入湖的惯性以及风的拖曳力产生的,表面剪切作用产生表面潮流,据实地测量星云湖表面潮流方向(图 1-6),湖流速度为 0.35m/s~0.40m/s,无风

时湖流方向不明显。湖流不能以底负载的方式搬运沉积物,仅对水体的混合及悬浮较细的沉积物的分散搬运起一定的作用。

四、水生生物分布状况

生活于湖中的水生生物与环境相适应,构成一个稳定的生态平衡,湖水的变化,导致环境体系的改变,从而影响沉积物中生物的分布。

湖区各类生物较发育,据云南省水产研究所调查,浮游生物以蓝藻、绿藻、硅藻最多,约占年平均数的90%左右,其次有甲藻、隐藻和金藻等,此外,有芦苇、菱草、马来眼子菜、苦草及狐尾藻等。浮游动物有原生动物、轮虫、棱角类、挠足类及软体动物螺、蚌,丰富的鱼、虾及淤泥中的钻孔生物。星云湖水生植物主要分布在西岸、西北、西南岸,水深在4.2m以上一般均有水生植物分布(赵长寿等,1985),面积约6.67km²,湖滨区植物分布(图1-7)所示,植物群落的配置因湖底生态环境而有一定的差异,如靠近岸线(东岸、老河咀、西河口)主要以茨藻群落和狐尾藻群落,在湖湾区(西河以东、大营)则出现芦苇及菱草。

由于星云湖中,存在大量的水生生物,因此湖泊沉积物中不同程度上还存在着动物遗体或碎片,同时水生生物在地质过程中是成煤、泥炭的重要物质,湖水中富含钙质,但无碳酸钙沉淀,这可能与湖中的生物有关。



图 1-7 星云湖水生植物分布现状图
(据赵长寿修改,1985)

第三节 星云湖沉积与环境

一、星云湖现代沉积体系与环境组合

星云湖盆现代沉积环境受构造、地貌的控制,盆内河流的分布明显受构造的控制,东岸仅仅有间歇性河流入湖,南、西、北三面的分水岭离湖岸相对较远,有10余条河流汇入星云湖,这些河流可分为两类:一是平行于南北向构造,与盆地长轴方向平行发育的纵向河流,如北部的东河、西河、下西河和南部的白龙潭河、大寨河和棒寨河等,分别从两端注入星云湖,它们的流域面积总和为整个盆地面积的62%,为永久性河流;二是与星云湖长轴方向斜交或近于直交的,从侧向注入星云湖的侧向河流,如西岸的前卫河、小街河以及



图 1-8 星云湖现代沉积环境配置图

1. 冲积扇; 2. 扇三角洲; 3. 河流三角洲;
4. 岸线砾石带; 5. 岸线砂质带(包括三角洲前缘);
6. 浅湖沉积; 7. 湖湾沉积; 8. 沉积环境界线;
9. 星云湖界线; 10. 盆地边缘周界;
11. 现代河流编号; 12. 湖心取样点

发育于大麦地、螺蛳铺、棒寨河等河流出口外,地貌呈明显的扇形,实测地面坡度为 $2.5^{\circ} \sim 3^{\circ}$,具明显的阶地,在大麦地河流出口处露头剖面如(图 1-9)。沉积物由分选、磨圆极差的砾石和含砂砾石层组成,砾径介于 $4\text{cm} \sim 5\text{cm}$,个别可达 10cm ,呈漂砾;砾石成分复杂,与出露的基岩成分相近,有碳酸盐岩、白云岩及碎屑岩;砾石间为粗砂、细砂等基质充填,下部不含泥,发育块状层理和递变层理,块状层理系未经

东岸的螺蛳铺河等,这些河流相对较短小,为季节性间歇性河流;位于湖北西岸的隔河为星云湖的泄水河,往北经抚仙湖流入南盘江。因此湖区沉积环境显示相对差异性,整个湖区以湖泊沉积体系为主,靠近东缘主断裂一侧发育扇三角洲沉积体系,而靠近南缘和西缘发育冲积扇和广阔的冲积-湖积平原,上游方向发育大型三角洲沉积体系(图 1-8)。

二、扇三角洲沉积体系

扇三角洲是一个紧临高地进入静水体(湖、海)的冲积扇(Holmes, 1965; Wessatt and Ethridge, 1980),邻接沿岸地带的大高差和高坡度易于形成扇形沉积体;星云湖盆受断裂控制的东翼,坡度较陡,发育大小不等的扇三角洲,如星云湖村、大麦地等扇三角洲面积只有 0.5km^2 左右,而竹城、螺师铺等扇三角洲面积可达 10km^2 左右(表 1-4)。通过野外考察及对钻井岩心的研究,结合现代沉积物的分布、水动力及粒度资料,将扇三角洲分为扇根、扇中及扇缘三部分,其沉积物各具特征。

(一) 扇根沉积

表 1-4 星云湖扇三角洲面积统计表

名称	长 (km)	宽 (km)	面积 (km^2)
大麦地	0.85	0.80	0.70
星云村	0.80	0.45	0.35
海门桥	0.45	1.20	0.50
螺蛳铺	1.75	3.50	5.0
竹城	5.00	2.50	10
大凹	0.20	0.40	0.10

分选的沉积物快速堆积而成,递变层理则表现为从下往上均有细颗粒作为基质,粗颗粒往上逐渐减少,推测是一种碎屑流;在野外所见的多旋回反映了季节性洪流的特征。

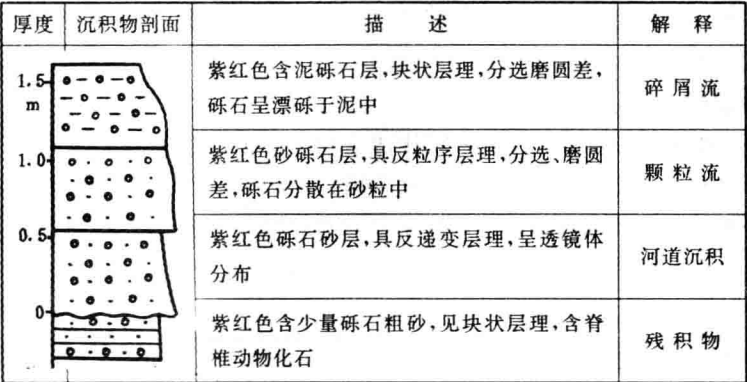


图 1-9 大麦地扇根沉积物剖面图

沉积物的粒度曲线以低斜率多段型为特征,基本上呈一平缓向上微凸的曲线,说明大于 -1ϕ 的颗粒处于递变悬浮状态,反映为一种碎屑流沉积。

从沉积物特征、沉积构造及粒度曲线反映了扇根以碎屑流、季节性洪流为主要的搬运营力。

(二) 扇中沉积

扇中为扇三角洲的陆上部分,离河流出山处稍远,与扇根呈过渡关系,平面上呈扇形,实测坡度为 $2^{\circ}\sim 2.5^{\circ}$,其沉积物剖面如(图 1-10)。沉积物与扇根相比,分选、磨圆变好,砾



图 1-10 竹城扇中沉积物剖面图

径变小,介于 2cm~3cm 间;沉积物由浅黄灰色、紫红色砾石、含砾石砂、含泥砾石组成,砾石成分以碳酸盐和碎屑岩为主,类似于基岩成分,为一种近源沉积。上部 F 层由于携带着沉积物的水流从河道末端漫出,形成砂泥、砾石互层,洪水期沉积砂砾,洪水后沉积砂泥,