

金沙江中游云南龙街粉砂层沉积环境演化特征

李朝柱^{1,2}, 王书兵^{1,2}, 傅建利^{1,2}, 蒋复初^{1,2,3}

LI Chaozhu^{1,2}, WANG Shubing^{1,2}, FU Jianli^{1,2}, JIANG Fuchu^{1,2,3}

1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京 100081;

3. 中国科学院湖泊沉积与环境开放研究实验室, 江苏 南京 210008

1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Key Laboratory of Neotectonic Movement & Geohazard, Ministry of Land and Resources, Beijing 100081, China;*

3. *Key Laboratory of Lake Science and Environment, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, Jiangsu, China*

摘要:沿金沙江攀枝花三堆子至武定县白马口段河谷两岸分布一套以灰黑色、灰黄色、灰白色粉砂、粘土质粉砂和粘土为主的湖相地层,尤以云南省元谋县龙街盆地内最为发育,被称为龙街粉砂层。通过龙街YA钻孔和龙街、白泥湾剖面的磁性地层学和光释光年代学的研究,探讨龙街粉砂层的时代与归属。龙街YA钻孔地层厚度101.18m,其中龙街粉砂层厚92.96m,上覆7.5m的红棕色细砂和砂砾石层,下伏厚度大于0.72m的灰绿色含角砾粗砂。综合分析YA钻孔的磁性地层学和光释光年龄,认为获取龙街粉砂层的沉积时代为150~30ka BP,属于晚更新世。通过地层沉积特征变化,反演晚更新世以来湖泊的形成及沉积环境变化,探讨晚更新世以来区域新构造的活动阶段及其对河流演化过程的控制作用。

关键词:金沙江;龙街粉砂层;上更新统;新构造

中图分类号:P534.63⁺1

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2015)01-0113-08

Li C Z, Wang S B, Fu J L, Jiang F C. Sedimentary environment evolutionary characteristics of Longjie silt layer in the middle reaches of the Jinsha River, Yunnan. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(1):113-120

Abstract: The Longjie silt layer consists of a series of silt, silty clay and clay lacustrine sediments which are grayish black, grayish yellow and grayish white in color. This silt layer is distributed along the valley of the Jinsha River from Sanduizi of Panzhihua City to Baimakou of Wuding County, and is well developed in the Longjie basin in Yunnan Province. The Longjie drill hole intersects the stratigraphic thickness of 101.18m, which includes 92.96m Longjie silt layer. Its sedimentation occurred about 150~30ka BP, as shown by the analysis of magnetostratigraphy and OSL dating. Through the study of sedimentary variation characteristics, this paper deals with the formation process of Longjie silt layer, the relative regional neotectonics movement stage and its influence on the development of the Jinsha River.

Key words: Jinsha River; Longjie silt layer; Late Pleistocene; neotectonics

青藏高原的阶段性隆升及板块间的构造挤压作用使得高原东部形成了多个活动块体和断裂构造带。在这些构造带中,川滇南北构造带是中国新构造运动最为活跃的地区之一^[1]。该构造带构造复杂,断裂十分发育^[2-8],其中尤以南北向深大断裂最为显著,其活动性影响了该区域的大地构造

格局,造就了金沙江直流水系的南北向特征,并形成了一系列沿河谷或断裂带发育的南北向构造断陷盆地。这些盆地的地貌发育和沉积地层特征都与区域内的新构造活动密切相关,构造运动发生的时间和强弱可以从盆地沉积特征中得到较好的反映。

收稿日期:2014-09-04;修订日期:2014-11-26

资助项目:国家自然科学基金项目(批准号:40772211)和中国科学院湖泊沉积与环境开放研究实验室基金项目(编号:HB0304)

作者简介:李朝柱(1979-),男,博士,助理研究员,从事第四纪地质与环境研究。E-mail: lichzh@163.com

1 地质概况

云南元谋龙街盆地位于金沙江南岸,地处川滇南北构造带南部,磨盘山—绿汁江断裂带纵穿盆地(图1)。区域内新构造活动强烈,不仅影响金沙江及其支流水系的变化,也控制区域内沉积物的堆积。因此,研究区内阶地的发育特征及河湖相沉积物是了解区域新构造活动特征理想的信息载体和研究对象。

龙街粉砂层为一套以灰黑色、灰黄色、灰白色粉砂和粘土为主的湖相沉积,主要沿金沙江攀枝花三堆子至武定县白马口段河谷两岸分布(图2)。其中以龙川江汇入金沙江处的龙街盆地内最为发育,因而被命名为龙街粉砂层^[9]。

龙街粉砂层不仅分布广、厚度大,而且沉积连续,出露最大厚度为40~50m。地质调查结果表明,龙街粉砂层在该分布区多成为拔河约20m和50m的金沙江Ⅰ、Ⅱ级阶地的基座。20世纪60年代进行水电站建设调查时的相关资料揭示,金沙江河谷砾石层下仍有约40m的粉砂及粉砂质粘土地层^[10]。龙街粉砂层特殊的地理位置及其连续性决定了其沉积时代和演化阶段,对绿汁江断裂带和安宁河断裂带的活动性具有指示意义。

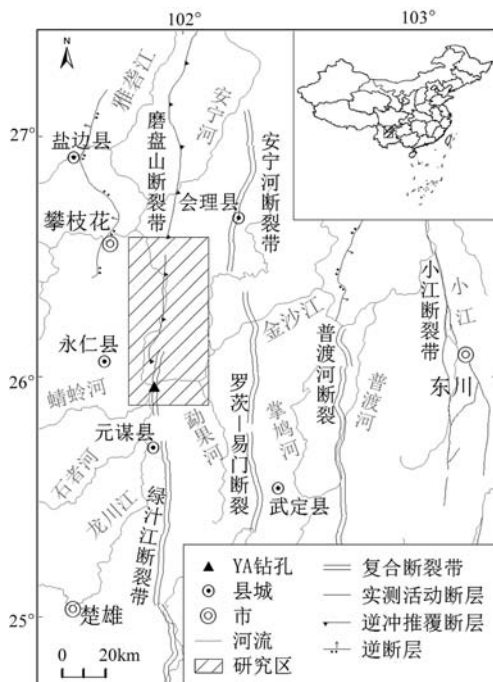


图1 研究区构造概图

Fig. 1 Structural sketch map of the study area

前人对这套湖相地层的成因、时代进行过许多研究和探讨。在成因上主要有全新世河漫滩沉积、晚更新世回水湾沉积、中更新世末期—晚更新世早期堰塞湖沉积、中更新世断陷湖盆沉积等多种观点^[11-13]。在形成时代上,闵隆瑞等^[11]认为,龙街粉砂层形成时代为中更新世初期—晚更新世末期;吕金福等^[14]根据地层接触关系及地貌部位推测,时代为晚更新世末期—全新世初期;蒋复初等^[15]认为,龙街组与元谋组之间存在沉积间断,结合¹⁴C测年结果推测龙街组的形成年代为122~12ka BP,即晚更新世中晚期;陈英玉等^[16]通过年代地层学和沉积学研究认为,龙街粉砂层形成的地质时代为晚更新世。龙街粉砂层在年代学研究方面尚存在不同认识,地层的完整性是其关键因素。

本次研究选择地层保持较好的龙街村阶地平台进行钻探。相较前人研究,本次钻孔获取了较为完整的龙街粉砂层地层剖面,前期的光释光年代学研究初步认为,龙街粉砂层的沉积时代为150~30ka BP^[17]。本文结合龙街YA钻孔的磁性地层学及沉积地层学特征的分析,探讨龙街粉砂层的沉积阶段及其反映的区域新构造活动性特征。

2 龙街粉砂层地层特征及时代

龙街粉砂层分布连续、厚度较大,在地貌上大



图2 龙街粉砂层分布

Fig. 2 The distribution of Longjie silt

致沿同一高程分布。龙街粉砂层在金沙江南岸龙川江入河口东侧龙街村保持较好,构成了金沙江2级阶地平台,可见龙街粉砂层厚度约45m,未见底,地层产状近水平,层理发育。粉砂层上覆厚5~10m的河流相砾石层及厚3~5m的红色粉砂。YA钻孔位于龙街平台东北部,剖面如图3所示。钻孔地理坐标为:E 101°53'、N 25°57',海拔979m,高于现代金沙江水面约57m,共钻取地层101.18m,其中龙街粉砂层厚92.96m。

自顶至底划分为19层,其中第3~18层为龙街粉砂层,厚92.96m。分层描述如下。

- | | |
|--|--------|
| 1.红棕色细砂,向下相变为中粗砂 | 2.70m |
| 2.砂砾石层,磨圆和分选均较好,砾径2~8cm,上部1.5m含红色粗砂,胶结略好;下部3.5m为砾石层,砾径以5~8cm为主,磨圆度较好 | 4.80m |
| ~~~~~ 不整合 ~~~~~ | |
| 3.青灰色粉砂、粘土薄层互层 | 0.55m |
| 4.灰黄色细砂层,层理不明显 | 1.20m |
| 5.棕黄色、棕灰色细砂、粉砂层,水平层理,夹少量直径约2cm的钙结核,局部夹少量碳屑 | 3.50m |
| 6.灰白色粉砂质粘土层夹薄的灰褐色粉—细砂 | 3.49m |
| 7.青灰色粉砂与薄层黄褐色粘土互层 | 12.65m |
| 8.灰黑色粘土 | 2.00m |
| 9.灰褐色粉砂与薄层灰黑色粘土互层 | 4.15m |
| 10.灰黑色粘土 | 5.66m |
| 11.灰黑色粉砂 | 1.37m |
| 12.灰黑色粘土,水平层理 | 4.06m |
| 13.灰色粘土质粉砂层,夹薄层灰黑色粘土 | 2.31m |
| 14.灰黑色粘土 | 34.96m |
| 15.浅灰色粘土,夹薄层棕灰色粉砂质粘土 | 8.88m |
| 16.红棕色粘土层,夹薄层浅灰色粘土 | 3.57m |
| 17.灰黑色粘土层 | 3.82m |

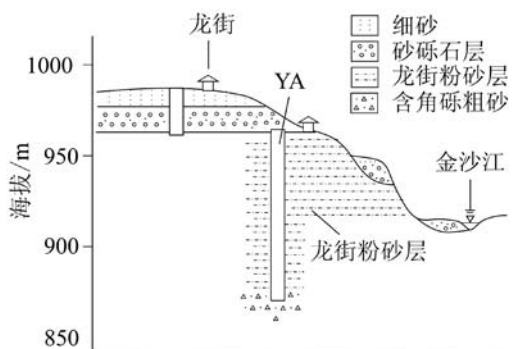


图3 钻孔剖面示意图

Fig. 3 Sketch diagram of YA drill hole

- 18.灰黄色粉砂,水平层理 0.79m

~~~~~ 不整合 ~~~~~

- 19.灰绿色含角砾粗砂,磨圆差,岩性单一,可能为基岩风化破碎并经过短距离水动力搬运的产物。未见底 >0.72m

## 2.1 龙街YA钻孔OSL年龄

对龙街YA钻孔岩心进行了系统的光释光测年分析,自上而下根据采样间距共选择测试光释光年龄17个<sup>[17]</sup>。全部样品在国土资源部地下水矿泉水及环境监测中心光释光实验室进行测试,测试结果见表1。

表1中的L-1和L-2样品为河流相冲积层红棕色中细砂。对粉砂层中的15个OSL测年数据与剖面深度进行相关性分析,结果如图4所示。上部14个样品的年龄与深度相关系数较高,达0.985,说明龙街粉砂层沉积速率相对稳定。底部Y-40的年龄为 $192.3 \pm 8.8$  ka BP,可靠性及相关性较差,分析中未予考虑。依据光释光测年结果分析,推算粉砂层顶界年龄约为30 ka BP,底界年龄约为150 ka BP<sup>[17]</sup>。

## 2.2 龙街YA钻孔磁性地层特征

龙街YA钻孔钻取地层厚度共101.18m,除上部河流相砾石层和底部含角砾粗砂层外,以10cm间距共采集古地磁样品915块。样品测试在中国科学院地球环境研究所古地磁实验室完成。样品采用交变退磁方法进行退磁,共分为NRM、25、50、75、100、150、200、250、300、400、500、600、800、900 gauss 14个磁场强度进行交变退磁,再使用2G超导磁力仪测试其剩磁强度。退磁样品统计分析的点数6~8个,统计结果拟合程度较高,在数据上较为可靠。

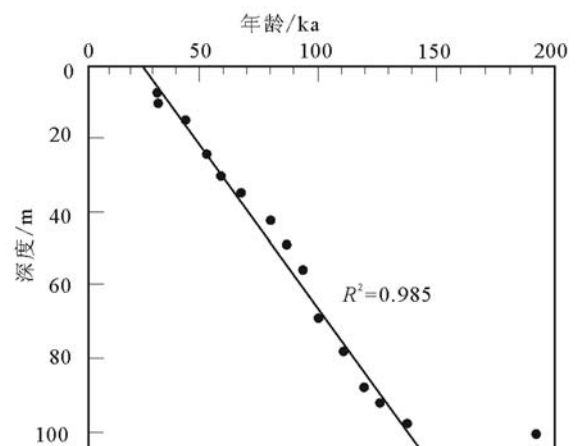


图4 龙街钻孔粉砂层年龄与深度相关性

Fig. 4 Relationship between age and depth

表1 钻孔岩心OSL样品测试结果及参数  
Table 1 OSL results and parameters of drill core samples

| 野外<br>编号 | 深度<br>/m | U/ $10^{-6}$ | Th/ $10^{-6}$ | K/%  | 等效剂量<br>/Gy  | 年剂量<br>/Gy·ka <sup>-1</sup> | 含水量<br>/% | 年龄<br>/ka BP |
|----------|----------|--------------|---------------|------|--------------|-----------------------------|-----------|--------------|
| L-1      | 0.30     | 2.11         | 9.84          | 1.65 | 46.72±3.11   | 3.41                        | 10.82     | 13.7±1.0     |
| L-2      | 2.60     | 2.28         | 8.95          | 1.41 | 89.11±2.48   | 3.03                        | 15.08     | 29.4±1.4     |
| LJosl-1  | 8.20     | 2.35         | 12.2          | 1.78 | 125.67±7.26  | 4.02                        | 2.21      | 31.2±1.4     |
| Y-1      | 11.06    | 2.66         | 12.6          | 1.58 | 116.21±5.55  | 3.68                        | 12.45     | 31.6±1.9     |
| Y-2      | 15.16    | 2.70         | 11.5          | 1.48 | 147.86±3.30  | 3.32                        | 20.91     | 44.5±2.0     |
| Y-6      | 24.47    | 3.06         | 15.6          | 2.23 | 227.31±1.21  | 4.21                        | 30.15     | 54.0±1.8     |
| Y-8      | 29.97    | 2.36         | 13.4          | 2.05 | 220.57±5.90  | 3.70                        | 27.14     | 59.6±2.3     |
| Y-10     | 35.13    | 3.07         | 16.7          | 2.31 | 307.34±4.34  | 4.40                        | 28.16     | 69.9±3.0     |
| Y-14     | 42.27    | 3.15         | 17.1          | 2.55 | 384.51±3.74  | 4.71                        | 25.96     | 81.7±3.4     |
| Y-18     | 48.71    | 2.91         | 15.2          | 2.74 | 401.75±3.63  | 4.51                        | 31.49     | 89.0±3.7     |
| Y-22     | 57.26    | 3.02         | 16.3          | 2.69 | 458.41±5.57  | 4.69                        | 27.35     | 97.7±4.1     |
| Y-26     | 68.38    | 3.24         | 16.1          | 2.62 | 475.52±6.65  | 4.59                        | 30.42     | 103.7±4.4    |
| Y-30     | 78.22    | 2.45         | 17.1          | 2.97 | 526.86±18.01 | 4.65                        | 34.02     | 113.4±6.0    |
| Y-34     | 88.09    | 2.95         | 15.9          | 2.54 | 536.06±6.16  | 4.42                        | 29.88     | 121.4±5.1    |
| Y-36     | 92.99    | 2.76         | 17.4          | 2.94 | 617.61±14.63 | 4.78                        | 32.33     | 129.1±5.5    |
| Y-38     | 97.62    | 3.45         | 17.6          | 2.71 | 696.40±17.08 | 4.88                        | 28.75     | 142.7±6.4    |
| Y-40     | 100.46   | 2.46         | 12.2          | 1.82 | 654.86±14.62 | 3.41                        | 25.88     | 192.3±8.8    |

YA 钻孔剖面磁倾角范围分布集中于 10~50° 之间。根据磁倾角的变化,得出极性柱(图 5),并与标准极性柱对比。依据磁倾角连续点数均大于 5 个,确定极性事件。整个钻孔剖面记录了 4 个负极性事件,分别位于 11.17~12.52m、20.74~22.72m、26.35~28.01m 和 69.8~70.58m。结合地层特征及 OSL 年龄推断,11.17~12.52m 的极性事件对应于蒙戈(Mungo),20.74~22.72m 和 26.35~28.01m 的极性事件对应于拉尚(Laschamp),69.8~70.58m 的极性事件可与布莱克(Blake)事件对比,对应的时间分别介于 20~33ka BP、40~60ka BP、100~120ka BP 之间。根据这些极性事件的时间及地层深度,计算出地层的平均沉积速率约为 75cm/ka。以该沉积速率外推,粉砂层顶界年龄约为 26.3ka BP,底界年龄约为 150.1ka BP。

综合考虑光释光测年结果及磁性地层学分析结果认为,龙街粉砂层形成时代为 150~30ka BP,属晚更新世。

### 3 龙街粉砂层粒度特征

沉积地层的粒度变化反映了沉积动力及环境的变化,在很大程度上指示了区域地貌的发育过

程和构造活动特征。龙街 YA 钻孔获取了研究区内相对完整的龙街粉砂层剖面,以 10cm 间距对整个剖面进行系统的粒度分析,并从粒度组分、参数等方面进行了沉积环境分析。

#### 3.1 粒度组分特征

各粒度组分所需的水动力条件存在明显差异。根据常用的沉积物粒度划分规则,对龙街钻孔剖面粒度组分的分析结果如图 6 所示,龙街粉砂层的粒度组分具有如下特征。

(1)中值粒径平均为 11.6  $\mu\text{m}$ ,中值粒径曲线显示,剖面上部(7.5~27m)颗粒整体较粗,介于 5~65  $\mu\text{m}$  之间,变化频率较低但幅度较大;中上部(27~49m)中值粒径介于 5~25  $\mu\text{m}$  之间,变化频率较高但幅度较小,且随深度增加粒径逐渐变小;中下部(49~99.5m)中值粒径较小且相对稳定,变化范围较小(介于 5~10  $\mu\text{m}$  之间);底部(>99.5m)中值粒径增大,介于 10~35  $\mu\text{m}$  之间。

(2)随深度增加,砂(粒径>63  $\mu\text{m}$ )含量逐渐降低,至 50m 以下时,含量基本为 0;粉砂粒级(4~63  $\mu\text{m}$ )在粒度组成中占绝对优势,平均含量可达 70.5%,其中粗粉砂(20~63  $\mu\text{m}$ )的平均含量为 20.3%,细粉砂(4~20  $\mu\text{m}$ )的平均含量为 50.3%;粘粒(粒径小于 4  $\mu\text{m}$ )含量为 4.8%~57.4%,平均值为 26%;当深度大于 50m 时,细粉砂及粘土含量变化幅度较大,达 30%。

#### 3.2 粒度频率分布曲线

根据钻孔样品的各粒级百分含量分析,得到粒度分布频率曲线图、累积曲线和概率累积曲线图,剖面的粒度分布特征主要分为 3 种类型,各类型的分布频率曲线、累积曲线和概率累积曲线对比如图 7 所示。

(a)粒度频率分布曲线具有相对一致的三峰分布特征,粒度整体较粗,其主峰偏于粗粒端,峰值为 5%~6%,对应的累积曲线也具有四段式分布特征。沉积物颗粒在沉积过程中可能受到多种动力因素的影响。主峰的分布区间及较高的峰值表明,搬运介质具有较强的动力条件,可能以较强的流水作用为主。

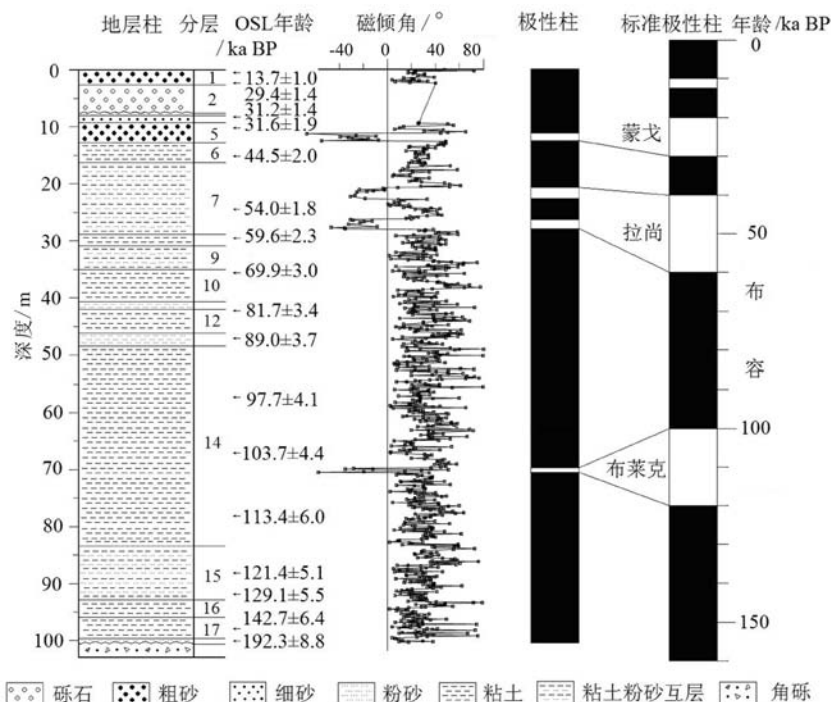


图5 龙街YA孔地层、OSL及古地磁分析

Fig. 5 OSL results and analysis of paleomagnetism for the Longjie drill core

(b) 粒度频率分布曲线具有明显的双峰分布特征, 粒度分布相对a类型向细粒端靠近, 峰态相对低平, 对应的粒度分布范围变宽, 介于5~8 $\phi$ 之间, 2个峰分别对应的粒度为5~6 $\phi$ 和7~8 $\phi$ , 且峰值均在

3.5%~5%之间。据此表明, 颗粒在搬运和沉积过程中主要受2种搬运动力的影响, 该类型的样品可能为湖滨相或者漫滩相沉积物。

(c) 粒度频率分布曲线具有相对一致的单峰分

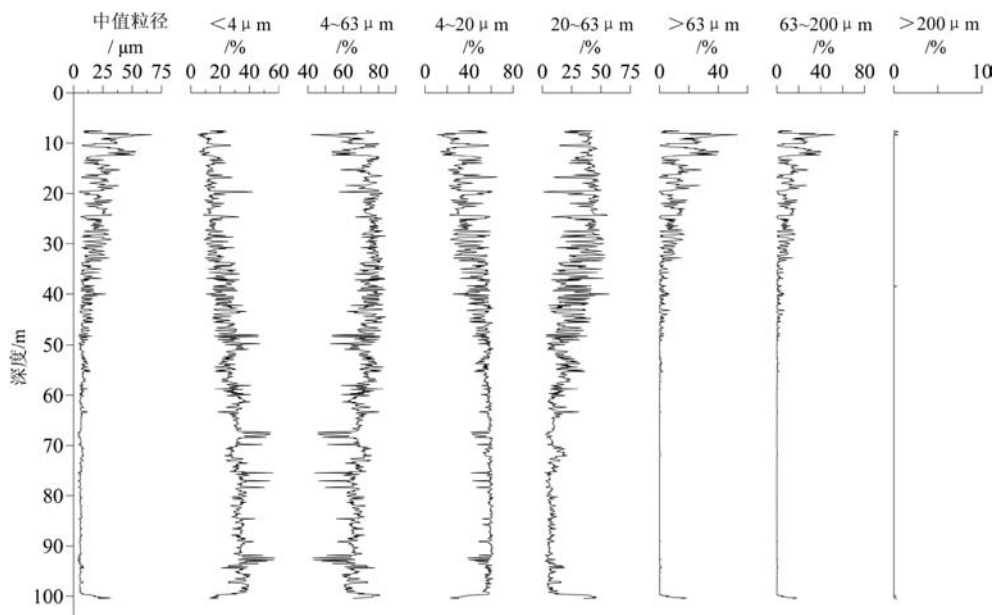


图6 龙街钻孔粒度组分特征

Fig. 6 The distribution of sedimentary grain-sizes of Longjie drill core

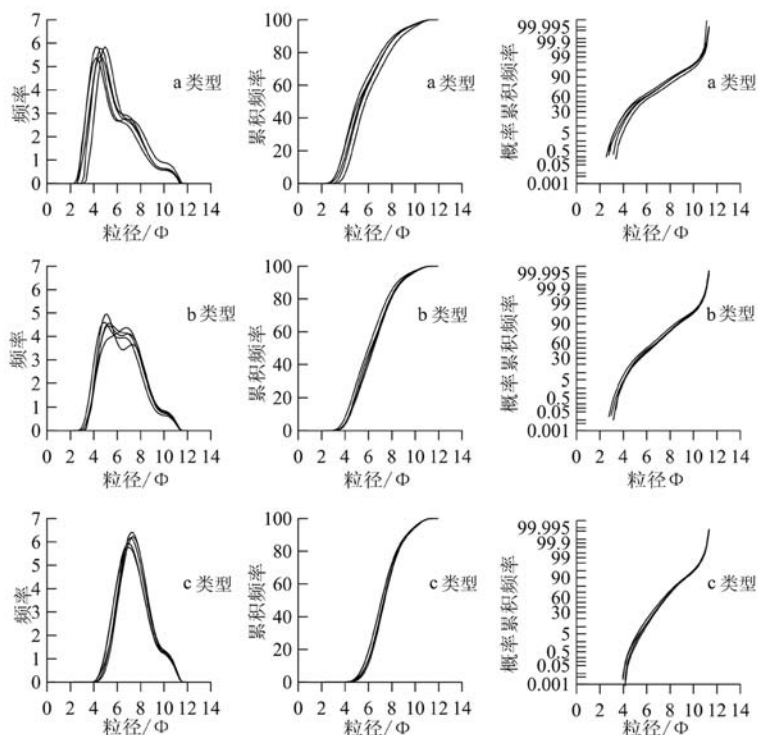


图7 龙街钻孔粒度频率分布、累积和概率累积曲线

Fig. 7 Grain-size frequency curves, cumulative curves and probability cumulative curves of the Longjie drill core

布特征,粒度整体较细,其主峰偏于细颗粒端,对应的粒径分布于7~8 $\phi$ 之间,峰值为5%~7%,对应的累积曲线近正态分布。据此表明,沉积物颗粒在沉积

过程中动力条件较弱,可能以湖相沉积作用为主。

通过分析可以看出,龙街粉砂层主要存在3种类型的沉积过程,即河流相、湖滨相或漫滩相及湖相沉积。在龙街粉砂层剖面中,a类型仅分布于剖面顶部(7.5~12.5m)及底部(99.6~100.46m),表明该层段沉积物可能以河流相沉积特征为主;b类型主要分布于剖面中上部(12.5~40m),表明该层段沉积物可能存在湖滨相或者河漫滩相沉积;c类型在剖面中占绝对优势,剖面中下部(40~99.6m)主体样品均属于该粒度分布类型,表明在改层段沉积形成过程中以较弱动力条件的湖泊相沉积作用为主。

### 3.3 粒度参数特征

粒度参数能更直观地表现粒度组分差异及变化,根据粒度参数计算公式,得出平均粒径( $M_z$ )、分选系数( $\sigma$ )、偏度( $S$ )和峰态( $K$ )4类粒度参数值结果,如图8所示。

剖面顶部至7.5m为上覆金沙江二级阶地砂砾石层,在下伏的龙街粉砂层中,沉积物以粉砂为主,且随剖面深度的增加,平均粒径明显呈变细的趋势;沉积物颗粒总体分选较好,随深度增加,分选变好。依据各参数特征和变

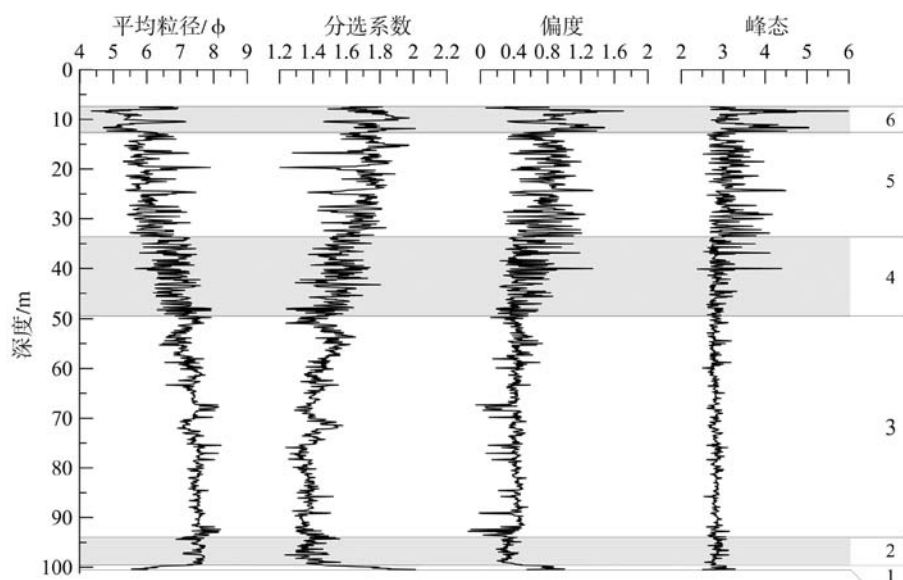


图8 龙街钻孔粒度参数

Fig. 8 Grain size parameters of Longjie drill core

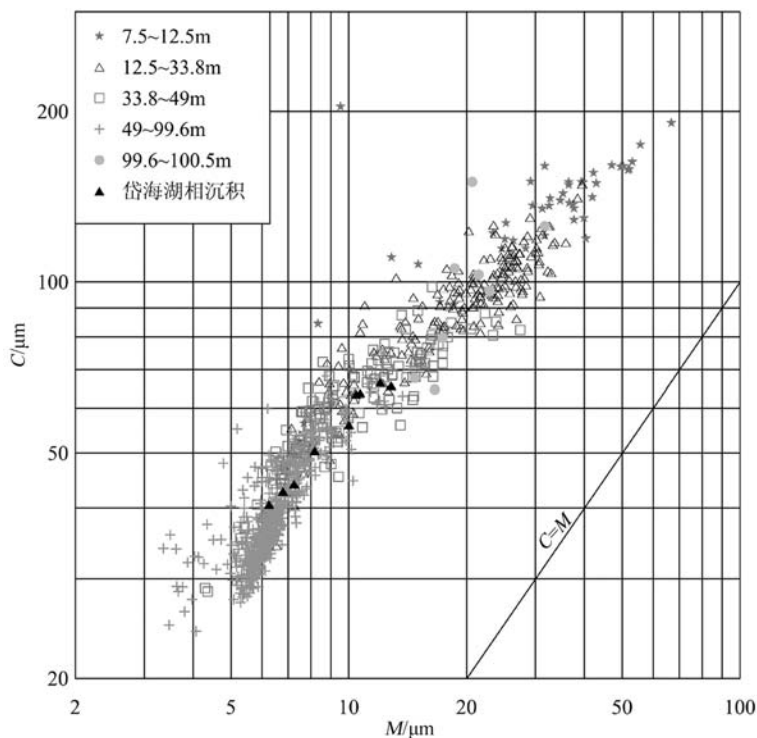


图9 龙街粉砂层与岱海湖相样品的综合C-M图

Fig. 9 Grain size C-M diagram of Longjie drill core and Daihai lacustrine samples

化趋势,剖面可划分为6段:①99.6~100.5m,为龙街粉砂层底部,粒度较粗,反映较强的水动力条件,分选较差;各参数波动幅度较大,表明沉积过程中沉积环境波动较大;②94~99.6m,沉积物颗粒较细,分选变好,偏度明显较小,各参数变化幅度较小,可能处于水动力条件较弱的浅湖泊环境;③51.1~94m,沉积物颗粒较细,平均粒径( $M_z$ )的平均值为 $7.51\phi$ ;分选系数( $\sigma$ )较小,分选很好;各参数变化幅度较小,表明处于水动力条件很弱的相对稳定的湖泊环境;④33.8~51.1m,平均粒径 $M_z$ 的平均值为 $6.85\phi$ ,分选变差;各参数呈小幅高度高频振荡,沉积物颗粒略粗并随深度变浅逐渐变粗,分选系数随深度变浅而变差;偏度、峰度波动范围较大,表明水动力条件开始逐渐增强,沉积环境波动加剧;⑤12.5~33.8m,颗粒略细,分选中等,随深度增加各参数大幅度低频率波动,表明该段地层沉积过程中动力条件变强且变化频繁;⑥7.5~12.5m,沉积物颗粒总体较粗,砂含量较高,平均粒径 $M_z$ 的平均值为 $5.58\phi$ ,表明分选相对其他层段较差,偏度与峰度值及其变化范围均较大,且随深度的增加

各参数大幅波动,反映沉积过程中水动力条件较强、波动较大。

### 3.4 C-M图解

C-M图作为一种根据粒度组成成分的差异通过图解的方式来探讨沉积物成因的方法<sup>[18-22]</sup>。其中,C值为沉积物粒度累积曲线1%处所对应的粒径(单位 $\mu\text{m}$ ),与样品中最粗颗粒的粒径相当,代表了搬运介质的最大能量;M值为累积曲线50%所对应的粒径(单位 $\mu\text{m}$ ),代表了搬运介质的平均能量。以沉积物样品的C值为纵坐标,以M值为横坐标进行对数坐标下的散点投图,从而根据其样品点分布范围的差异进行成因及沉积作用的判别,也可以通过与已知成因的典型样品进行同步图解比较,依据样品分布范围的差异探讨不同沉积物样品间的沉积环境异同。

为进一步了解龙街粉砂层不同层位样品的沉积环境,对YA钻孔剖面不同的层段样品进行C-M图解分析,并与内蒙古岱海湖相样品进行对比,图解结果如图9所示。从图9可以看出,龙街

粉砂层样品呈带状分布,且随深度的增加,样品点的集中范围由右上角向左下角移动,即最大搬运能力和平均搬运能力随深度增加均逐渐减弱;而剖面底部与顶部样品分布范围相对一致。同时,岱海湖相样品的分布范围与龙街粉砂层第2、3、4层段(深度33.8~99.6m)样品的分布范围一致。上述特征表明,龙街粉砂层底部第1层段(深度7.25~12.5m)与顶部的第6层段(深度99.6~100.5m)具有较强的水动力条件。同时,第2、3、4层段总体上具有与岱海湖相沉积物样品相近的沉积环境,均以动力较弱的湖泊沉积环境为主,而第5层段(深度12.5~33.8m)则介于2种动力条件之间,为过渡转换阶段。

## 4 讨论与结论

通过对龙街粉砂层沉积特征的分析,结合年代标尺及分布特征,认为龙街粉砂层形成时代约为150ka BP,其发育主要经历了以下6个阶段:成湖阶段,150~148.5ka BP(深度100.5~99.6m);湖泊扩张阶段,148.5~132ka BP(深度99.6~94m);深湖阶段,

132~91.5ka BP(深度 94~51.5m);湖泊收缩阶段, 91.5~67.2ka BP(深度 51.5~33.8m);浅湖阶段, 67.2~39.4ka BP(深度 33.8~12.5m);湖泊消亡阶段, 39.4~30ka BP(深度 12.5~7.5m)。结合阶地地貌特征及阶地年代, 湖泊消亡之后, 河流相沉积发育, 并于 13.7ka BP 之后强烈下切并形成现今的阶地平台。

龙街古湖的形成和演化过程在很大程度上反映了磨盘山—绿汁江断裂带、安宁河断裂带等区域新构造活动的阶段性特征。根据龙街粉砂层的形成时代和沉积特征认为, 中晚更新世(150ka)以来研究区新构造具有以下阶段性的特征: 150~132ka BP 活动强烈, 在龙街盆地一带断陷成湖, 古湖迅速扩张, 开始堆积龙街粉砂层; 132~91.5ka BP, 新构造活动变弱, 湖泊保持相对稳定; 91.5~67.2ka BP, 区域新构造活动进入相对平静期, 湖盆逐渐淤积, 湖泊变浅; 67.2~30ka BP, 新构造活动开始复苏, 河流开始出现, 进入河湖转换阶段; 30~13.7ka BP 河流发育; 13.7ka BP 开始新构造活动强烈, 河流强烈下切, 形成阶地。

对于新构造活动的更多细节和佐证还需要结合更多的地貌及构造证据进行分析和探讨。龙街粉砂层下伏为角砾粗砂, 岩性单一, 可能为基岩风化破碎的产物, 未见典型的河流相砾石堆积, 关于水系变迁问题还有待进一步的研究和探讨。

**致谢:** 华东师范大学孙千里博士提供了内蒙古岱海湖相沉积粒度数据, 中国地质科学院水文地质环境地质研究所赵华研究员在测试分析中给予大力帮助, 在此一并致谢。

## 参考文献

- [1] 张宗祜. 川滇南北构造带中段晚新生代地质研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 19~160.
- [2] 王铠元, 孙克祥, 段彦学. 云南新构造运动的几个问题[J]. 水文地质工程地质, 1982, (3): 25~27.
- [3] 颜丹平, 赵其强, 汪新文. 滇西新构造运动时期陆内伸展作用[J]. 现代地质, 1993, 7(3): 303~311.
- [4] 毛玉平, 吴伯黔, 何蔚, 等. 云南新构造运动年代学特征及其与地震活动关系研究[J]. 地震研究, 1997, (4): 98~106.
- [5] 卢海峰, 何仲太, 赵俊香, 等. 元谋断裂晚第四纪活动性定量分析[J]. 地球科学, 2008, 33(6): 852~860.
- [6] 韩慕康, 柴天俊. 元谋断裂北段的新活动与地震危险程度[J]. 地震地质, 1979, 1(1): 56~65.
- [7] 宋方敏, 汪一鹏, 沈军, 等. 小江断裂带中段盆地的发育阶段及其与区域构造运动的关系[J]. 地震地质, 1997, 19(3): 20~26.
- [8] 申旭辉, 陈正位, 许任德, 等. 凉山活动构造带晚新生代变形特征与位移规模[J]. 地震地质, 2000, 22(3): 232~238.
- [9] 卞美年. 云南元谋盆地地质[J]. 中国地质学会杂志, 1940, 20(1): 23~33.
- [10] 云南省水利电力局设计院. 金沙江龙街电站新地质构造的特点及其对水工建筑物影响的初步探讨[C]//新地质构造特征. 北京: 水利电力出版社, 1960: 2~9.
- [11] 闵隆瑞, 尹占国, 张金超. 龙街粉砂层形成时代及其古环境[J]. 第四纪研究, 1990, 4(4): 354~362.
- [12] 黄万波, 王景文, 翟人杰, 等. 元谋组、龙街组及昔格达组的时代对比[C]//地层古生物论文集. 北京: 地质出版社, 1978: 30~39.
- [13] 江能人, 孙荣, 梁其中, 等. 云南元谋盆地晚新生代地层和古生物[J]. 云南地质, 1989, (增刊): 63~71.
- [14] 吕金福, 曹家欣. 云南龙街盆地第四纪沉积及环境演化[J]. 第四纪研究, 1992, 4(3): 216~223.
- [15] 蒋复初, 吴锡浩, 钱方, 等. 云南元谋龙街地区的粉砂层[C]//黄土·第四纪地质·全球变化(第四集). 北京: 科学出版社, 1996: 99~106.
- [16] 陈英玉, 李朝柱, 王书兵, 等. 云南元谋龙街粉砂层的粒度特征与成因[J]. 地质通报, 2009, 28(5): 578~584.
- [17] 李朝柱, 蒋复初, 傅建利, 等. 云南元谋龙街粉砂层的形成时代研究[J]. 第四纪研究, 2011, 31(4): 933~934.
- [18] Passera R. Grain size representation by CM pattern as a geologic tool[J]. Journal of petrology, 1964, (34): 830~847.
- [19] 乔彦松, 郭正堂, 郝青振, 等. 中新世黄土—古土壤序列的粒度特征及其对成因的指示意义[J]. 中国科学(D辑), 2006, 36(7): 646~653.
- [20] 成都地质院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京: 地质出版社, 1978: 1~68.
- [21] 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比——红粘土风成成因的新证据[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 61~67.
- [22] Sun D, Bloemendal J, Rea D K. Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components[J]. Sedimentary Geology, 2002, 152(3): 263~277.