察尔汗地区 130 ka B. P. 以来湖相沉积物 颜色记录的气候变化探讨

陈宗颜,陈克龙,罗正霞

(青海师范大学生命与地理科学学院,青海 西宁 810008)

摘 要:通过柴达木盆地察尔汗地区湖相沉积物的 L^{*}、a^{*}和 b^{*} 值与有关地球化学指标的相关关系分析,对 湖相沉积物颜色指标在古气候研究中的意义进行了探讨,并据此分析了 130 ka B. P. 以来该区的古气候演 变过程。结果表明,L^{*} 值与沉积物碳酸盐含量正相关,L^{*} 值高时,气候冷干,碳酸盐含量较高;反之,气温上 升,湿度增加。b^{*} 值和 a^{*} 值与沉积物中 Fe、Mg含量相关,高 a^{*} 值反映气温较高,b^{*} 值可用于反映湖水深度 变化和有效湿度的变化,b^{*} 值高,湖水浅,氧化作用增强。察尔汗地区色度曲线反映的气候变化特征与其他 的气候指标曲线相吻合。

关键词:察尔汗;颜色;湖相沉积物;气候变化

中图分类号: P512.3 文献标识码: A

文章编号:1008-858X(2011)04-0001-07

1 前 言

利用高分辨率的信息载体来恢复古气候环 境变化是全球变化研究的重要内容^[1]。多年 以来,利用沉积物粒度、磁化率、氧同位素、冰芯 和孢粉等指标揭示了古气候变化,特别是促进 了短时期高分辨率气候变化研究。利用沉积物 颜色指标研究古气候变化是近年来古气候研究 中又一新的探索方法,研究表明颜色指标可作 为第四纪沉积物高分辨率气候指标^[2-3],黄维、 剑志民等利用黄土一古土壤颜色 CIE L* a* b* 表色系统中的 L 数据进行分析来揭示的千年 尺度气候波动^[4],方小敏、潘保田等利用土壤 颜色(色相)作为夏季风变化代替指标在对夏 季风不稳定性研究中取得良好效果^[5]。但目 前该方法主要用于土壤、黄土和古土壤颜色与 气候关系的研究,而其它沉积环境沉积物颜色 与气候变化缺乏研究。Aziz 等对西班牙东北部 Teruel 盆地晚中新世冲积扇缘至湖相沉积物利 用颜色指标进行古气候研究,揭示了晚中新世 存在 Milankovitch 天文气候周期,并以此指标的时间序列分析提出对目前广泛应用的古地磁年表(GPTS)晚中新世时段(特别是其 C5 和 C4r)进行修正^[6],已初步显示出沉积物色度指标在古气候研究中的作用。宋春晖、白晋锋等利用湖相沉积物色度参数为辅助指标分析长时期高分辨率古气候变化,得出临夏盆地在8 Ma 和 6.2 Ma 左右存在两次重大的气候变干转型事件^[7]。湖泊沉积具有沉积连续、沉积速率大、分辨率高、信息量丰富的特点,而且湖泊的地理覆盖面很广,远远超过冰芯、黄土,所以,一旦证实湖泊沉积物颜色指标可作为反映气候替代性指标,由于其研究具有用量少、灵敏度高、方法简单快速和费用低的特点,在长时期高分辨率气候变化研究中具有广泛的应用前景。

地处 青藏高 原东北部的柴达木盆地 (35°00′N~39°20′N,90°16′E~99°16′E)是中 新生代断陷盆地。位于三湖坳陷区的察尔汗盆 地位于柴达木盆地东南部,为柴达木盆地众多 次级盆地之一,面积近2500 km²,是第四纪期 间柴达木盆地沉降最强烈的地区,第四纪地层

作者简介:陈宗颜(1978-),男,硕士,讲师,主要从事资源开发、环境演化和自然地理研究、教学工作。

收稿日期:2011-05-27;修回日期:2011-06-27

厚达2000 m以上^[8](图1)。20世纪以来许多 学者对该区地质和盐湖演化方面做了大量扎实 的工作,取得了柴达木盆地形成演化和古气候 研究的重大进展^[9],建立了晚更新世以来有高 精度年代控制的较连续沉积序列。前人的研究 表明,察尔汗地区130 ka B. P. 以来一直处于 封闭古湖状态,直到32 ka B. P. 以来一直处于 封闭古湖状态,直到32 ka B. P. 气候由冷干逐 渐转为暖干,加之构造隆升的影响,柴达木盆地 东南部及察尔汗盆地湖水急剧浓缩,开始形成 广布的石盐沉积,普遍进入盐湖阶段,并在全新 世中期部分盐湖全面干涸成干盐滩^[9]。整个 察尔汗盆地沉积以低能湖相细粒沉积为主,是 研究气候变化的理想地区。前期研究主要侧重 于通过盐湖地球化学特征变化确定盐湖的形成 过程和盐湖资源的开发,同时也进行过低分辨 率(样品间距大)气候环境指标(孢粉、常量和 微量元素)的研究。在"柴达木盆地地下水资 源及其环境问题调查评价"项目的支持下,通 过野外调查发现察尔汗盆地地层以稳定细粒湖 相沉积为主,发育的不同尺度和各种形式沉积 韵律旋回记录着丰富的古气候变化信息,并且 这些不同尺度和形式的沉积韵律旋回主要表现 在颜色、结构(粒度)和物质成分等方面,而这 些变化可以用颜色指标较准确的定量描述出 来。因此,本文尝试对察尔汗盆地末次间冰期 以来(130 ka B. P.)湖相沉积物进行高分辨率 颜色变化序列研究,探讨干旱内陆盆地湖相沉 积物色度指标变化的古气候意义。



1. 第四系厚度等值线; 2. 前古近纪基底; 3. 古近 - 新近纪基底; 4. 基底范围; 5. 湖泊; 6. 河流; 7. 柴达木盆地界限

图1 柴达木盆地三湖地区第四系厚度等值线图 **Fig.**1 The thickness isoline map of Sanhu area

2 地层和沉积相分析

研究剖面 ZK2 孔位于察尔汗盆地的古湖 盆中央附近(图1),是2002 年青海省地质调查 院施工完成的综合水文地质钻孔 (36°22′32.7″N,95°00′52.2″E),孔口高程 2710.00 m,孔深 526.00 m。研究时段选择该 剖面上部的察尔汗组和达布逊组,其年代数据 和岩性特征见表1、表2。利用 ZK2 孔剖面,结 合本区基础地质资料,根据岩性、粒度曲线、沉 积结构和构造等特征,将该研究时段地层划分 为4 个岩相(表3) 以及盐湖沉积、低流态湖泊 沉积、静态咸水浅湖沉积和滨湖相沉积4 种沉 积相。

Table 1 Age data of ZK2 bore					
样号	采样深度/cm	测年结果/a	误差范围/a	测年方法	
CH0310BU 泥炭层样 1	3 880	16 800	2 300	碳 – 14	
CH-OSL-BUI	4 242	21 380	2 800	光释光	
CH0310BU 泥炭层样 2	4 770	25 068	2 800	碳 – 14	
CH0310BU 泥炭层样 3	5 246	25 270	3 300	碳 – 14	
CH-OSL-C3	10 720	56 000	1 200	光释光	
CH-C14-C1	12 340	大于 52 000		碳 – 14	
CH-OSL-C4	12 950	76 000	4 200	光释光	
CH-OSL-B1	14 570	85 324	2 300	光释光	
CH-OSL-C1	22 660	135 600	12 000	光释光	

表1 ZK2 钻孔年代数据表

表 2 察尔汗地区 ZK2 孔剖面 130 ka B. P. 地层划分

年代序列	地层划分	年代/ka	厚度/m	地层特征
	上		54.87	灰褐色含粉砂石盐、夹含石盐的粉砂石膏薄层,层状构造
全新世	达布逊组 下	0 ~ 12	21. 24	土黄色粘土质粉砂等,不含石膏,姜黄色泥纹层分布,水 平纹理极发育
晚更新世	察尔汗组	12 ~ 128	171.45	灰色含粘土粉砂,局部含鲕粒、岩屑、较多球状泥屑,夹数 层泥炭

表3 察尔汗地区 ZK2 孔剖面沉积岩相划分 [据沉积盆地分析原理(1991) 修改]

Table 3 Lithofacies of	lassfication	of ZK2	section	in	Qarhan	Basin
------------------------	--------------	--------	---------	----	--------	-------

岩相	沉积构造	解释成因
石盐、石膏,少量粉砂、粘土和细砂碎屑物	无规则的层理	盐湖沉积或风积,部分是由于石盐的溶解蒸 发再沉积作用形成盐坪
粉砂	略具波状层理	低流态或湖泊沉积
粘土质粉砂	具微细水平层理	静态咸水浅湖沉积
粘土质粉砂、含粘土粉砂为主,夹泥炭、 粉砂质碳酸盐薄层	不具水平纹理	滨湖相沉积,水动力条件除湖浪外,还有牵引 流作用

盐湖沉积相分布于全新世达布逊组上段, 主要由石盐、石膏组成,碎屑物较少,多为粉砂、 粘土和少量细砂,部分是由于石盐的溶解蒸发 再沉积作用形成。地表因风化作用以盐坪相呈 现,盐坪表面的盐壳广泛发育多边形的干缩裂 纹,盐坪沉积物无规则的层理,粉砂、泥质等碎 屑物不规则地充填于石盐等蒸发岩矿物的晶间 孔隙中,或在表面富集成不规则的薄层。低流 态沉积相或湖泊沉积相分布于全新世达布逊组 下段,主要为灰褐色含粉砂石盐及粉砂石盐,夹 含石盐的粉砂石膏薄层,岩层中见有球状泥屑、 鲕粒和小砾石,往上为一规模较大的淡化层,其 后沉积含光卤石、石盐,反映湖水高度浓缩、湖 水流态很弱。静态咸水浅湖沉积相分布于察尔 汗组,主要为粘土质粉砂、含粘土粉砂,粉砂含 量较低,断续分布有姜黄色含铁质泥纹层,具微 细水平纹理,偶见植物碎屑,岩性纵向呈韵律性 变化。滨湖沉积相分布于察尔汗组,代表性层 段位于76 m以下,以粘土质粉砂、含粘土粉砂 为主,夹泥炭、粉砂质碳酸盐薄层,含鲕粒、植物 碎屑等,不具水平纹理,表明滨湖相环境水动力 条件较强,除湖浪外,可能还具有牵引流的作用。

3 样品采集与测试

采样采用 TSJ-1000 型水源钻机,先用 φ127 mm 硬质合金钻头和岩芯管小口径采样, 后从岩芯中人工采样,以 10 cm 的间距系统采 集了色度样品,并采集了古地磁、热释光等测年 样品。

本文所用的色度指标,用 CIE L^{*}、 a^* 、 b^* 表色系统,它是使用 L^* 、 a^* 、 b^* 3 个参数描述 任何均匀连续的颜色空间,其中 L* 代表明度, 变化于黑(0)和白(100)之间; a* 变化于红和绿 之间($+a^*$ 描述红色的饱和程度, $-a^*$ 描述绿 色的饱和程度); b^* 变化于黄和蓝之间(+ b^* 描述黄色的饱和程度,-b^{*} 描述蓝色的饱和程 度)。已有的研究表明,沉积物色度 L* 值与碳 酸盐含量、有机质含量有关,L^{*} 值高时,气候冷 干,碳酸盐含量较高,在暖的气候背景上,当有 效湿度较低时(湖泊蒸发量大于降水量),利于 碳酸盐沉积,在冷的气候背景下,干旱的气候条 件更利于碳酸盐沉积。赤铁矿和针铁矿对a* 值和 b^{*} 值有较显著的影响。针铁矿广泛地分 布于不同温度带的各类沉积物中,赤铁矿则仅 分布温度较高地区氧化条件较强的沉积物中。

因此,b^{*} 值和 a^{*} 值的高低,可以间接地反映湖 水深度和有效湿度的变化。在间冰期,b^{*} 值普 遍较高,氧化作用强;反之,在冰期,b^{*} 值偏低, 氧化作用弱^[3]。

4 测试结果与讨论

通过对沉积物色度指标的系统测试,获得 察尔汗地区 130 ka B. P. 以来湖相沉积物高分 辦率色度指标变化序列(图2、图3和图4), 从图中可看出颜色指标 a* 、b* 、L* 可明显分 4个阶段,分别是130~86 ka,86~57 ka, 57~32 ka 和 32 ka 以来, 这种变化与磁化率 曲线所反映的变化模式极为吻合(图5)。其 中 a^* 值和 b^* 值变化非常相似,因此三者曲线 特征为,在130~86 ka 变幅小、数值较大, 在 86~57 ka 段, a^{*}、b^{*}、L^{*} 值均在一个较 低的数值上下大幅震荡,在57~32 ka3条曲 线数值增大,变幅减小,自32 ka 以来,a^{*}、 b*、L* 值都表现出快速大幅变动。在3条曲 线中, b* 值的区分最为明显, 上述 4 个阶段 中, b^{*} 的中值分别为 11.39、9.39、13.70 和 11.39。因此, 察尔汗盆地在 130 ka B.P. 以 来湖相沉积物高分辨率颜色指标变化序列反映 在 86 ka、57 ka 和 32 ka 左右可能存在某种沉 积环境剧变或转型。



Fig. 2 The b^* curve of ZK2 bore

沉积物的颜色差异主要取决于成分,并与 形成的环境和古气候变化密切相关。通过湖泊 沉积物色度参数与样品元素的相关关系分析 (表4),表明沉积物颜色 a^{*} 值和 b^{*} 值具有较 好正相关性的元素分别是 Mg、Fe (相关系数 分别为 0.593 和 0.784),而与 a^{*} 和 b^{*} 值具有 负相关性的是 Ca、碳酸盐 (Carbonate)。沉积 物颜色的 L^{*} 值与常量元素碳酸盐岩及 Ca 具有 较好正相关性 (相关系数为 0.761、0.537)。 因此,湖泊沉积物中 Fe、Ca 含量在很大程度 上影响了其颜色变化,这与 Helmke 等依据对 北大西洋深海 M23414 岩芯的红 – 绿颜色变化 是由沉积物中含铁矿物所控制的结论^[10] 基本 一致。

在研究区 130 ka 以来时段主要为稳定湖 泊沉积环境且物源区母岩一定,沉积物成分变 化主要受风化作用类型和强度、沉积介质条件 以及气候变化控制,而气候变化影响着风化作 用类型和强度、沉积介质条件以及湖泊水位高 低的变化。气候干旱使湖泊水位降低、介质浓 度增大,形成湖相沉积物中的 CaCO₃ 含量相对 增加,导致湖相沉积物颜色的 a^{*}和 b^{*}值减小 以及 L^{*}值增大;气候湿润导致湖泊水位升高, 使湖相沉积物 ph CaCO₃ 含量相对减小,造成 湖相沉积物颜色的 a^{*}和 b^{*}值增大以及 L^{*}值 减小。因此,稳定湖相沉积物颜色指标能间接 代表气候的变化。



Fig. 5 The magnetic susceptibility curve of ZK2 bore

表 4 ZK2 孔沉积物色度指标及部分地球化学指标的相关系数 Table 4 Correlation between sediment color and some geochemical proxies of ZK2 bore

	MgO	Fe_2O_3	CaO	Carbonate
L*	- 0. 067	0. 389	0. 537	0. 761
a^*	0. 539	0.031	-0.519	-0.359
\mathbf{b}^*	0. 125	0. 784	- 0. 465	0.109

将察尔汗盆地沉积物颜色指标与前人在研 究区另一剖面(察尔汗水6孔)进行沉积物 CaCO₃含量和风成石英砂含量研究结果对比, 察尔汗盆地沉积物碳酸钙含量大约在130~ 120,90~60以及30ka有明显的高值,说明在 这些时期气候干旱。由于沉积物色度 a^{*}、b^{*} 的变化曲线基本一致,而与 L^{*} 的曲线变化大致 相反。因此,以b^{*}值为例,b^{*}值在130~86 ka 以高值为主,且变幅较小,而86 ka 以后数值明 显减小而变幅却增大,至57 ka 后数值增至原 先水平,变幅明显减小,这种状态持续到32 ka。 从32 ka 开始进入多次高幅变化的阶段。这种 变化与前人研究的 CaCO₃ 含量和风成石英砂 含量变化模式基本吻合。



图 6 ZK2 孔 b^{*}曲线与格陵兰冰芯、古里雅冰芯氧同位素曲线对比图 Fig. 6 The comparision among b^{*} of ZK2 bore and δ¹⁸O curve in Greenland and Guliya ice-bore

5 130 ka B. P. 以来察尔汗盆地的 古气候变化

依据察尔汗盆地 ZK2 孔沉积物色度变化

曲线,结合古里雅冰芯和格陵兰冰芯氧同位素 曲线(图6),可以概括出本区古气候变化的基 本事实。130 ka B. P. 左右,伴随着共和运动的 发生、发展,使整个柴达木盆地周边山体及内部 隆起区范围迅速扩大,本区气候环境发生了很 大的变化。

首先是中更新世末期较为暖湿的环境特征 的延续,在130~86 ka B. P. 之间,磁化率和色 地 130 ka B. P. 以来较为暖湿的时段;其次,从 86 ka B. P. 开始进入极为干冷的时期,一直持 续到 57 ka B. P. 前后,该时段表现出从寒冷干 燥到温暖略湿的大幅变化,其间约有2~3次由 冷到暖的短暂突变,每次变暖持续时间极短;再 次,从57 ka B.P. 开始气候又逐渐趋于暖湿, 具体表现是色度 a* 值和 b* 值同步增大以及 L^{*} 的减小。气候环境的这种特征,也表现在沉 积相的变化上,该时段沉积了略具波状层理的 粉砂,属于低流态流水或湖泊沉积。此外,色度 曲线和磁化率曲线的周期性变化还与 ZK2 孔 所在区域的湖泊在地质历史时期曾发生几次较 大规模的湖水进退有关。湖水的退缩是一个渐 变的过程,而相对而言,湖水的推进则是一个突 变的过程,这可能是周边山区的冰盖在经历了 冰期后,消融速度相对迅速的缘故。

最后,约32 ka B. P. 前后,本区气候由暖 湿逐渐转为暖干,加之构造隆升的影响,盆地西 北部分地区已进入干盐湖阶段,东南部及察尔 汗盆地湖水急剧浓缩,开始形成广布的石盐沉 积,普遍进入盐湖阶段,并在全新世中期部分盐 湖全面干涸成干盐滩。

可见,湖泊沉积物的颜色指标可以作为研 究古气候变化的辅助性代用指标。需要指出的 是,湖泊沉积物颜色变化与气候关系的分析仅 是初步工作,由于影响湖相沉积物颜色的因素 复杂,如沉积物的介质条件、物质组成等,要正 确理解和认识湖泊沉积物颜色指标与气候的关 系和机制,需要进一步大量的研究工作和验证。

参考文献:

- Oldfield P. Past global changes(PAGES) : Status report and imple-menration plan [R]//Global Change Report, 45, Stockholm: IGBP, 1998: 1 – 112.
- [2] 刘东生,等.第四纪环境[M].北京:科学出版社,1997.
- [3] 吴艳宏,李世杰.湖泊沉积物色度在短尺度古气候研究

中的应用[J]. 地球科学进展,2004,19(5):489-194.

- [4] 黄维,剑志民, Buhring C. 南海北部 ODP 1144 站颜色反 射率揭示的千年尺度气候波动 [J]. 海洋地质与第四纪 地质, 2003,23(3):6-10.
- [5] 方小敏,潘保田,管东红,等.兰州约 60ka 以来夏季风 干年尺度不稳定性研究[J].科学通报,1999,44(4):
 436-439.
- [6] Aziz H A, Dam J, Hilgen F J, et al. Astronomical forcing in upper miocean continental sequences: implications for the Geom ag-netic Polarity Time Scale [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 222: 243 – 258.
- [7] 宋春晖,白晋锋,赵彦德,等.临夏盆地13-4.4Ma湖相 沉积物颜色记录的气候变化探讨[J].沉积学报,2005, 23(3):507-513.
- [8] 青海省地质调查院.柴达木盆地地下水资源及其环境 问题调查评价报告[R].西宁:青海省地质调查院, 2006.
- [9] 朱允铸,钟坚华,李文生.柴达木盆地新构造运动及盐 湖发展演化[M].北京:地质出版社,1994.
- [10] Helmke J P, Bauch H A. Galcial interglacial relationship between carbonate components and sediment reflectance in the north Atlantic [J]. Geology Marine Letters, 2001, 21 (1):16-22.
- [11] 黄维, 翳知滑, Buhring C. 南海北部 ODP 1144 结颜色 反射率揭示的千年尺度气候波动 [J]. 海洋地质与第四 纪地质,2003,23(3): 5-10.
- [12] 张恩楼,夏威岚.青海湖近千年来气候环境变化的湖泊 沉积记录[J].第四纪研究,2001,21(6):508-513.
- [13] 青海省地质局第一水文地质工程地质队.《区域水文地 质普查报告》甘森一台吉乃尔幅[R].西宁:青海省地 质局,1981.
- [14] 青海省地质局第一水文地质工程地质队.《区域水文地 质普查报告》乌图美仁幅[R].西宁:青海省地质局, 1981.
- [15] 孙千里,肖举乐.岱海沉积记录的季风/干旱过度区全新世适宜期特征[J].第四纪研究,2006,26(5):781-790.
- [16] 张成君,陈发虎,尚华明,等.中国西北干旱区湖泊沉积物中有机质碳同位素组成的环境意义一以民勤盆地三角城古湖泊为例[J].第四纪研究.2004,24(1):88-95.
- [17] 陈发虎,黄小忠,杨美临,等.亚洲中部干旱区全新世气 候变化的西风模式一以新疆博斯腾湖记录为例[J].第 四纪研究,2006,26(6):881-887.

(下转第14页)

Clay Minerals of Paleocene in Lanping–Simao Basin and A Tentative Discussion of Salt–forming Environment

SHI Lin^{1,2}, GAO Dong-lin¹, ZHANG Cong-wei^{1,2}, ZHANG Xi-ying¹, TANG Qi-liang¹

(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China)

Abstract: Yunnan Lanping-simao basin is an important basin with K salt deposition in China. The clay minerals samples exist in Paleocene Mengyejing formation of muddy gravel phase(salt-forming epoch) in Lanping-simao basin including the samples of the same strata (Yuanyongjing Formation) in Chuxiong basin of central Yunnan are experimented by the method of XRD. The experiment results show that the dominant assemblage of clay minerals in Lanping-simao basin are illite and chlorite, and indicates that the dry paleoclimate and high paleosalinity in salt-forming epoch; but in Chuxiong basin, illite and chlorite, illite/smectite mixed-layer minerals are coexisting, it reflects the wetter paleoclimate than Lanping-simao basin. It indicates that the salt-forming epoch in Lanping-simao basin is later and the salification in Lanping-siman basin is stronger by calculating the relatively composition of the clay minerals. Based on previous researches, the tentative discussion of salt-forming environment in Lanping-Simao basin sugges-ted that the overall degree of brine concentration in the southern part of the basin is higher than the northern, and the salt ore-forming environment in the southern is better than the northern too.

Key words: Lanping-Simao basin; Clay minerals; XRD; Salt-forming epoch; Salt-forming environment

(上接第7页)

Climatic Change Recorded by the Chroma of Lacustrine Sediments from 130 ka B. P. in Qarhan Area

CHEN Zong-yan, CHEN Ke-long, LOU Zheng-xia

(Biology & Geography College of Qinghai Normal University, Xining, 810008, China)

Abstract: The present paper discusses the meaning of lacustrine sediments chroma to paleoclimate research, then the paleoclimate change since 130 ka B. P. in Qarhan area was analyzed through the correlation ship between L^* , a^* and b^* of lacustrine sediments with other geochemical indexes. The result shows that it is correlation between L^* and carbonate, L^* is high when the environment is cold, dry and the content of carbonate is high also, while the L^* is low when environment is warm and humid. Besides, it is correlation between a^* , b^* and the content of Mg and Fe in sediments, it means warm when a^* is high, b^* response to the depth of lake and humid, b^* is high when lake is shallow and strong oxidation. The curve of chrome is consistent with other paleoclimate indexes curve.

Key words: Qarhan; Chrome; Lacustrine sediments; Climatic change