

# 柴达木盆地第四纪沉积环境演化

王永贵<sup>1</sup>, 李义民<sup>2</sup>, 陈宗颜<sup>3</sup>, 刘丽芬<sup>4</sup>, 安勇<sup>4</sup>, 康琴<sup>1</sup>, 任万英<sup>1</sup>, 马国珍<sup>5</sup>

(1. 青海省地质调查院, 西宁 810012; 2. 青海省地质基础施工总公司, 西宁 810012;

3. 青海师范大学, 西宁 810012; 4. 青海省地质环境监测总站, 西宁 810012;

5. 青海省国土资源勘察项目管理中心, 西宁 810001)

**摘要:** 文章以柴达木盆地察尔汗地区 ZK2 号钻孔沉积物为研究对象, 选取古气候替代指标——色度, 应用数理统计和时间序列的方法, 从色度  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  在整个钻孔剖面的变化曲线上, 找出特征值, 再参照年代数据, 划分出不同水平的色度变化区间, 揭示了柴达木盆地第四纪以来高分辨率古环境演变规律。

**关键词:** 柴达木盆地; 第四纪地质; 色度; 沉积环境演化

**中图分类号:** P534.63

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3665(2009)01-0128-05

柴达木盆地内第四纪地层沉积速率快、沉积厚度巨大, 详细记录了早更新世以来丰富的环境演变信息。柴达木盆地的演化与盆地盐湖资源的形成与开发一直是柴达木盆地研究中的焦点问题, 因此, 对柴达木盆地第四纪沉积环境演化的研究不仅迎合了国家西部大开发的战略倾向, 而且对盆地盐矿资源的综合开发具有指导意义。

## 1 自然地理概况

柴达木盆地的经纬度范围为  $90^{\circ}00' \sim 99^{\circ}20' E, 34^{\circ}40' \sim 39^{\circ}20' N$ 。盆地南通西藏, 北达甘肃, 西出新疆, 东临青海省海北、海南藏族自治州, 是青、甘、新、藏四省区交往的中心地带。

柴达木盆地位于青藏高原东北缘, 四周高山环抱, 为封闭的中新生代断陷盆地, 西北有阿尔金山, 东北有祁连山, 南为昆仑山, 东为鄂拉山。盆地中部的赛什腾山、阿木尼克山等山体将盆地分割为苏干湖、马海、德令哈等众多次级盆地, 形成了盆中有盆、盆盆相连的特殊地貌景观。宏观上盆地为不规则菱形的大型山间盆地, 从盆地周边山区到湖盆中心依次发育极高山、高山、丘陵、山前洪积平原、冲洪积平原、冲湖积平原和湖积平原, 沼泽、盐沼及湖沼等迭置在冲湖积平原和湖积

平原之上, 构成独特的地貌分带特征。最高点位于布喀达峰峰(海拔6 377m), 最低点位于达布逊湖南缘(海拔2 676m)(图 1)。

盆地内气候干旱, 降水稀少, 蒸发强烈, 太阳辐射强, 日照时间长且多风沙, 属高原干旱大陆性气候。多年平均气温  $1.53 \sim 4.77^{\circ}C$ , 极端最高气温在察尔汗达  $35.5^{\circ}C$ , 极端最低气温在冷湖达  $-34.3^{\circ}C$ ; 盆地年降水量  $16.09 \sim 189.73mm$ , 东南部都兰最高, 西部冷湖最低, 并随海拔高度和经度的增加而增大, 降水多集中在 4~10 月份, 占年降水量的  $87\% \sim 94\%$ <sup>[1]</sup>; 盆地年蒸发量  $1 973.62 \sim 3 183.04mm$ , 东南部低, 西部冷湖最高, 并随海拔高度的增高和经度的增加而降低, 蒸发量远大于降水量, 都兰蒸发量是降水量的 10.55 倍, 冷湖高达 198 倍<sup>[1]</sup>。

盆地内水系属内陆水系, 主要有那陵格勒河、格尔木河、香日德河、巴音郭勒河、塔塔陵河等大小河流 79 条, 河流多年平均流量为  $132.77m^3/s$ , 径流量  $41.78 \times 10^8 m^3/a$ , 多数河流河水在山前平原区入渗补给地下水, 至细土平原带地下水又大量泄出地表形成泉集河, 地表水和地下水多次相互转化。盆地内共有大小湖泊 63 个, 其中平原湖泊 48 个, 山区湖泊 15 个; 淡水湖泊 16 个(平原区只有 1 个), 面积  $476.9km^2$ , 其余均为微咸—盐湖, 且以盐湖居多, 总面积  $1 490.8km^2$ 。

## 2 第四纪地质

柴达木盆地第四系地层主要分布于盆地平原区, 面积广, 厚度大, 成因复杂, 主要有冲积、洪积、沼泽堆积、湖积、化学沉积、风积、冰碛及冰水沉积等。第四系厚度水平方向变化很大: 盆地西部的雁列式隆起带、老

收稿日期: 2008-04-09; 修订日期: 2008-07-11

基金项目: 中国地质调查局资助项目“柴达木盆地地下水资源及其环境问题调查评价”(200210400001)

作者简介: 王永贵(1962-), 男, 高级工程师, 主要从事水文地质工程地质研究工作。

E-mail: qhsddywyg@163.com

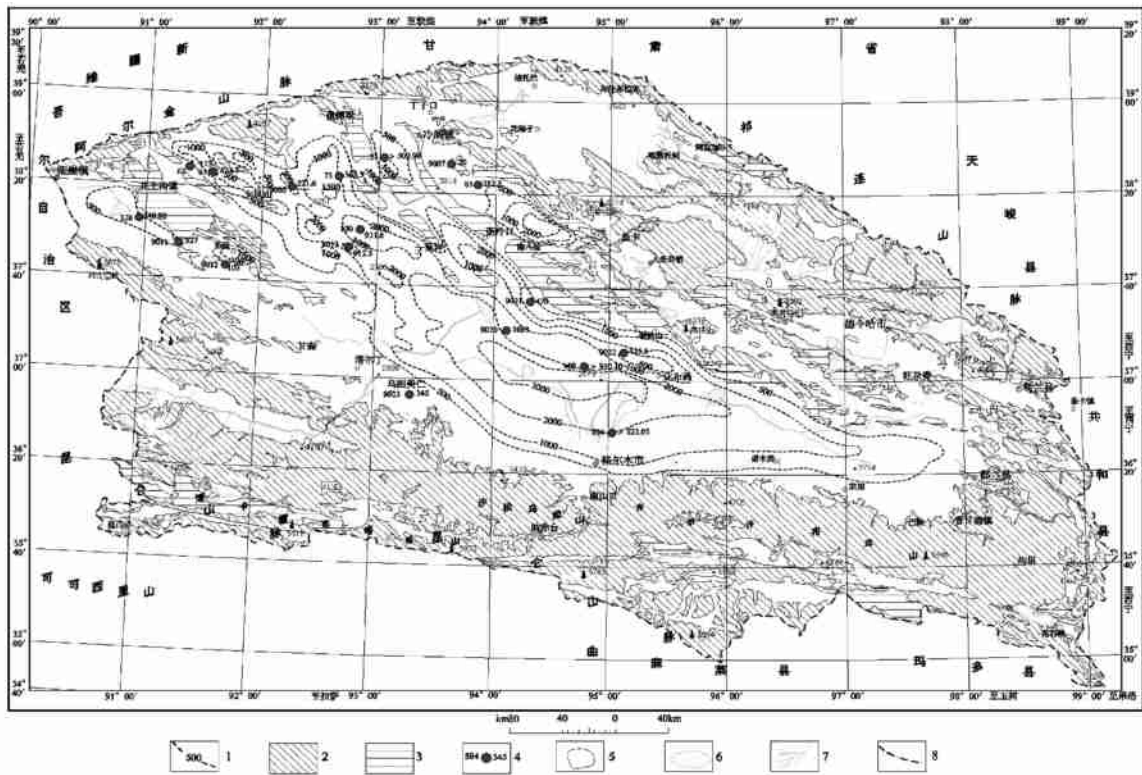


图1 柴达木盆地第四系厚度等值线图

Fig. 1 Contour map showing the thickness of the Quaternary layer in the Chaidam Basin

1—第四系厚度等值线(m); 2—古近纪基底; 3—新近纪基底; 4—钻孔(左:编号,右:第四系厚度);  
5—基底范围; 6—湖泊; 7—河流; 8—柴达木盆地界线

茫崖、各盆地近山前大部地区和山间宽谷区厚度多小于500m;盆地西北部的花土沟、冷湖、苏干湖等地和各盆地近山前—中部过渡带大部分地区厚500~1000m;盆地西北部的一里坪、马海盆地和东、西台吉乃尔等盆地中部地区厚1000~2000m,部分地区大于2000m;东达布逊湖和西达布逊湖地区是盆地最大的沉降中心,第四系厚度大于3000m(图1)<sup>[1]</sup>。

### 3 研究方法

研究沉积环境演化的产物——地层,不仅可以获得环境演变的第一证据,而且还可揭示这种环境演变的内在机制<sup>[2]</sup>。为了揭示柴达木盆地第四纪以来高分辨率古环境演变规律,本文在前人研究成果基础上,以柴达木盆地察尔汗地区ZK2号钻孔沉积物为研究对象,选取古气候替代指标——色度,应用数理统计和时间序列的方法,从色度 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 在整个钻孔剖面上的变化曲线上,找出特征值,另外参照年代数据,划分出不同水平的色度变化区间,分析盆地第四纪以来沉积环境的变化。

#### 3.1 方法原理

沉积物色度分析是近年来发展起来的一种沉积物研究新手段。色度是古环境演变的代用指标之一。基本原理是温暖潮湿的环境所沉积的物质由于当时的物理、化学、生物风化作用强烈,颜色将变得较深、浓;而寒冷干旱的环境所沉积的物质,由于风化作用比较微弱,成土作用较低,颜色将会较浅、淡。这样,根据岩芯碎屑颗粒物质的颜色变化旋回,就能对当时的古环境进行有效地反演。

当今最重要的颜色次序表达和测量系统有门赛尔表色系统和CIELAB等,CIE 1976使用 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 3个参量描述任何均匀连续的颜色空间: $L^*$ 代表明度,变化于黑(0)和白(100)之间,其变化与沉积物碳酸盐含量呈正相关关系, $L^*$ 值高时,气候冷干,碳酸盐含量较高;反之,气温上升,湿度增加。 $a^*$ 变化于红与绿之间,与沉积物中Mg含量相关,高 $a^*$ 值对应于沉积物中高MgO含量和高Mg/Ca比值,反映气温较高。 $b^*$ 变化于黄和蓝之间,可以用于反映湖水深度和有效湿度的变化, $b^*$ 值高,湖水浅,氧化作用强<sup>[3]</sup>。一般称 $+a^*$ 为红度,依次类推, $+b^*$ 可称为黄度, $-b^*$ 称为蓝度, $-a^*$ 可称为绿度。

### 3.2 研究对象

ZK2号钻孔的地理坐标为 36°22'32.7"E, 95°00'52.2"N, 在格尔木市以北 30km 215 国道西 100m 处, 孔口高程 2710m, 孔深 526m。本次采样采用 TSI-1000 型水源钻机, 先用  $\phi 127\text{mm}$  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 10cm 的间距系统采集了色度、电导率等 631 件, 并采集了古地磁、热释光等测年样。各类样品测试工作由兰州大学资源环境学院教育部西部环境重点实验室负责完成。

## 4 第四纪沉积环境演化

### 4.1 早更新世

由于三湖凹陷区第四系沉积巨厚, ZK2 孔未能揭穿至早更新世地层, 所以这里根据该区另一孔察尔汗水 6 孔及西北部钻孔的有关资料加以阐述。第四纪早更新世时, 气候明显变冷, 冷暖交替频繁, 冷暖波动旋回最多达 9.5 次。其底界位于古地磁 M/G 界限附近, 年代为 2.387 ~ 2.55MaBP 间, 而其顶界则是由冷转暖, 界面位于 B/M 界限之下不远, 年代为 0.674 ~ 0.777MaBP 间。第四纪早更新世伴随青藏运动 B、C 幕的发生、发展, 区内伴随阿尔金山左旋走滑的加剧, 盆内一系列反“S”型中生代盖层褶皱隆起与凹陷此起彼伏, 并改变了柴达木古湖盆地貌, 使东部的赛什腾山裸露地面接受剥蚀, 而西部及中部的油砂山、南翼山、大风山、俄博梁、冷湖构造带则初露头角, 使柴达木古湖进一步分化为大盐滩、昆特依、一里坪、南八仙等沉积盆地雏形, 花海子—马海古湖沉积环境开始形成, 沉积中心由西向东迁移, 使东西台吉乃尔湖处于深湖环境中, 同时湖水迅速东扩至达布逊湖区一线。此时盐类沉积中心由大浪滩向外扩展到大盐滩、昆特依、一里坪、南八仙及冷湖地区, 出现石盐薄层、石膏层和含石膏碎屑层。

### 4.2 中更新世

中更新世时, 昆黄运动发生、发展, 柴达木盆地西北部及阿尔金山继续抬升, 一方面, 使阿尔金山进入临界冰冻圈行列<sup>[4]</sup>, 北部冰雪融水及碎屑物源增加, 致使成盐期最早的大浪滩地区在中更新世晚期(距今  $12.5 \times 10^4 \sim 30 \times 10^4 \text{a}$ ) 盐层比例明显降低, 碎屑比例明显增高。另一方面, 盆地内部次级背斜隆起, 西部尕斯库勒湖及东部马海湖从古柴达木湖内分离成为独立的水文地质系统, 大浪滩、大盐滩、昆特依、一里沟等地进入终端自析盐系统。结合察尔汗水 6 孔的相关资料<sup>[5]</sup>, 推出该层下界位于 B/M 界限附近, 年代为 0.77 ~

0.72MaBP, 上界为 0.12 ~ 0.15MaBP。盆地气候仍继承早更新世冷暖交替的特点, 冷暖波动旋回可达 8 次之多, 这种冷暖波动特征, 在 ZK2 孔磁化率变化曲线和色度变化曲线上都有明显的反映(图 2 ~ 4), 其中在色度  $b^*$  上的反映最为明显, 且和磁化率的相关性最好, 相关系数达到 0.886。其中  $b^*$  值为 11 可作为区分冷期与暖期的特征值, 当  $b^*$  值大于 11 时, 湖泊处于较强的氧化环境, 湖水变浅, 环境变干;  $b^*$  值小于 11 时, 湖泊处于较弱的氧化环境, 水深变大, 为丰水环境。

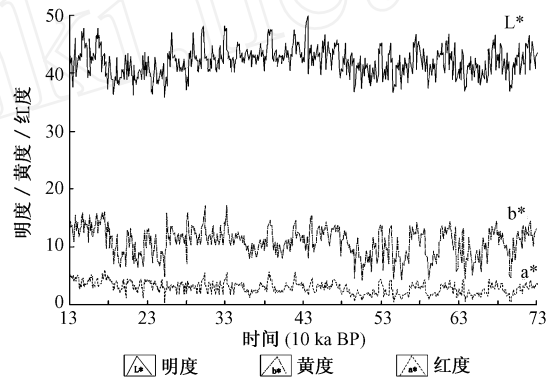


图 2 ZK2 孔中更新世色度变化曲线  
Fig. 2 Chroma curve of the ZK2 borehole over the mid-Pleistocene series

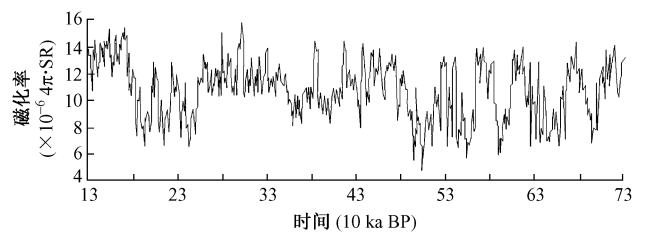


图 3 ZK2 孔中更新世磁化率变化曲线  
Fig. 3 Magnetic susceptibility curve of the ZK2 borehole over the mid-Pleistocene series

### 4.3 晚更新世

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, 大浪滩、大盐滩、察汗拉斯图、昆特依等盆地率先进入干盐湖环境, 而尕斯库勒湖、马海湖、一里坪仍处于盐湖或咸化湖浅湖环境。

晚更新世以来, 本区的沉积环境发生了很大的变化, 首先是经历了末次间冰期温暖湿润的气候环境, 其中, 柴达木盆地的末次间冰期的特征与其它地区有所不同, 该区末次间冰期过早的结束, 约为 90kaBP 前后, 在末次间冰期, 磁化率和色度  $b^*$  的变化都呈现出高值(图 5 ~ 7), 较晚更新世前有较大的不同, 从 90kaBP 以后, 又表现出从寒冷干燥到温暖略湿的周期性变化, 这

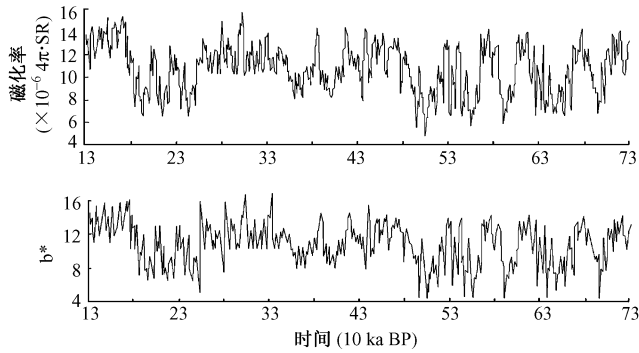


图4 ZK2孔中更新世磁化率与色度  $b^*$  变化对比图

Fig.4 Contrast between magnetic susceptibility and chroma ( $b^*$ ) of the ZK2 borehole over the mid-Pleistocene series

种变化可与古里雅冰芯等所记录的古气候变化趋势基本一致。再次,这种由暖湿到干冷的变化区间上,可以划分出末次间冰期以来古气候变化的5个阶段,第五段又可以划分成5个亚阶段。该变化特征说明柴达木盆地中古气候的变化具有全球一致性,即驱动因子相同。除此之外,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,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<sup>[6]</sup>。

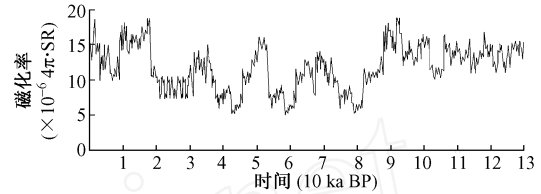


图5 晚更新世以来ZK2孔磁化率变化曲线

Fig.5 Magnetic susceptibility curve of the ZK2 borehole over the Late Pleistocene Epoch

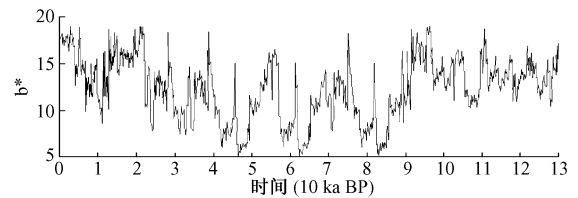


图6 晚更新世以来ZK2孔色度  $b^*$  变化曲线

Fig.6 Chroma of the ZK2 borehole over the Late Pleistocene Epoch

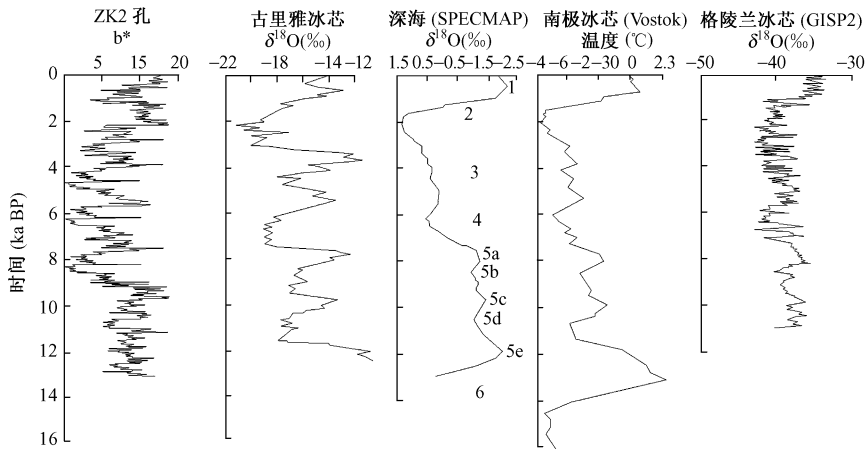


图7 晚更新世以来ZK2孔色度  $b^*$  与标准曲线的对比图

Fig.7 Contrast of the ZK2 borehole between magnetic susceptibility and chroma ( $b^*$ ) over the Late Pleistocene Epoch

#### 4.4 全新世

全新世之前,由于受到发生在30kaBP左右的末次构造强烈抬升的影响,加之气候已经极度干旱,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。发生在全新世初期的新仙女木事件,在ZK2孔色度  $b^*$  和磁化率上均有明显的记录,只是在盆地东南部发生的时间明显地偏早,大约为12~11kaBP。

#### 5 结论

色度能有效地反演气候环境的演化,其高值区间代表暖期,低值区间代表冷期。色度指标中,  $b^*$  值与  $a^*$  值、 $L^*$  值相比,与其它的气候指标更具有 consistency。

柴达木盆地经历了以下气候轮回: 0.72~0.68MaBP之间,寒冷干燥; 0.68~0.48MaBP之间,气候呈现出周期性的干湿冷暖振荡, 0.48~0.24MaBP之间,古环境明显变干, 0.23~0.18MaBP之间又变得相

对较暖湿, 0.18 ~ 0.09MaBP 明显地趋于冷干, 0.09 ~ 0.02MaBP 之间又经历了干湿冷暖振荡变化过程。

综上所述, 柴达木盆地第四纪沉积环境演化过程是: 早更新世盆地东部的赛什腾山裸露地面接受剥蚀, 而西部及中部的油砂山、南翼山、大风山、俄博梁、冷湖构造带则初露头角, 使柴达木古湖进一步分化为大盐滩、昆特依、一里坪、南八仙等沉积盆地雏形, 花海子—马海古湖沉积环境开始形成, 沉积中心由西向东迁移, 使东、西台吉乃尔湖处于深湖环境中, 同时湖水迅速东扩至达布逊湖区一线, 此时盐类沉积中心由大浪滩向外扩展到大盐滩、昆特依、一里坪、南八仙及冷湖地区; 中更新世时, 一方面阿尔金山进入临界冰冻圈行列, 北部冰雪融水及碎屑物源增加, 致使成盐期最早的大浪滩地区在中更新世晚期盐层比例明显降低, 碎屑比例明显增高, 另一方面盆地内部次级背斜隆起, 西部尔斯库勒湖及东部马海湖从古柴达木湖内分离成为独立的水文地质系统, 大浪滩、大盐滩、昆特依、一里沟等地进入终端自析盐系统; 晚更新世以来, 整个柴达木盆地周边山体及内部隆起区范围迅速扩大, 大浪滩、大盐滩、察汗拉斯图、昆特依等盆地率先进入干盐湖环境, 而尔斯库勒湖、马海湖、一里坪仍处于盐湖或咸化湖浅湖环

境中; 全新世之前, 由于受到发生在 30kaBP 左右的末次构造强烈抬升的影响, 加之气候已经极度干旱, 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形成干盐滩。

#### 参考文献:

- [1] 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]. 2008.
- [2] 刘东生. 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 - 494.
- [4] 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-台吉乃尔)[R]. 1981.
- [5] 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]. 1981.
- [6] 沈吉, 张恩楼, 夏威夷. 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.

## Evolution of the sedimentary environment in the Qaidam Basin over the Quaternary Period

WANG Yong-gui<sup>1</sup>, LI Yi-min<sup>2</sup>, CHEN Zong-yan<sup>3</sup>, LIU Li-fen<sup>4</sup>, AN Yong<sup>4</sup>, KANG Qin<sup>1</sup>, REN Wan-ying<sup>1</sup>, MA Guo-zhen<sup>5</sup>

- (1. Qinghai Geological Survey Institute, Xining 810012, China; 2. Total Company of Basic Geological Engineering, Xining 810012; 3. Qinghai Normal University, Xining 810012, China; 4. Qinghai Institute of Geo-environmental Monitoring, Xining 810012, China; 5. Qinghai Center of Land and Resources Exploration Project Management, Xining 810001, China)

**Abstract:** Information indicating environment evolution is recorded in the Quaternary sediments in the Qaidam Basin because of its thick layer and fast deposition. Based on some former researches, a substitute proxiesn, chroma, on a deposition at the ZK2 borehole in the Charhan region of the Qaidam Basin is selected. High resolution in the paleoclimate evolution is revealed. Mathematic statistics and time series are used and characteristic values from the curve of chroma ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) change is found and different intervals in the chroma curve are measured.

**Key words:** Qaidam Basin; Quaternary geology; chroma; evolution of sedimentary environment

责任编辑: 汪美华