

# 西藏扎布耶湖 ZK 91-2 钻孔沉积特征 与气候环境演化

齐文 郑绵平\*\*

(中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心, 北京 100037)

**摘要** 扎布耶盐湖位于青藏高原腹地, 1991年在其南部干盐滩中钻取了 20m 深湖相沉积, 以 5~10cm/个 的密度进行高分辨率取样, 详细探讨了沉积标志、矿物组合(尤其 Mg、Ca、Li 碳酸盐)、干旱与潮湿两种气候类型的元素组合等气候环境指标, 推导了晚更新世以来该湖区湖面涨缩、水质咸淡及气温高低变化。

**关键词** 西藏扎布耶盐湖 岩芯记录 环境与气候

全球变化是当今和今后几十年内人类所关心的科学焦点之一, 青藏高原由于其特殊的地理位置, 对中国乃至北半球当今气候格局的形成都有重要影响, 因而引起了科学界的极大关注, 相继展开了对青藏高原多学科的研究<sup>[1-4]</sup>。青藏高原湖泊星罗棋布, 保有清晰可靠的古气候、古环境变化信息, 基本没有受到人类生产活动的影响。但迄今为止, 对青藏高原晚第四纪以来湖相沉积的古气候研究工作很少。

扎布耶盐湖隶属西藏自治区阿里地区措勤县, 东经 84°04', 北纬 31°21', 湖面海拔 4421m, 现代盐湖面积 243km<sup>2</sup>, 是一个干盐滩与表卤共存的半干盐湖。该湖位于冈底斯喜马拉雅褶皱带, 为南北向延伸的构造湖。在全新世以前曾和其南面的大型湖泊塔若错及北面的拉果错相连, 现仍保存有完好的多级古滨线及古通道, 后逐步退缩形成今天的面貌<sup>[1]</sup>。盆地内部沉积了晚第四纪以来淡水—咸水—盐湖相沉积。ZK 91-2 钻孔位于该湖南部干盐滩中部, 孔深 20.20m。对岩芯以 5~10cm 为样长连续采样, 进行高分辨率地层沉积学、岩矿和标志性元素地球化学以及微体古生物与年代学等研究, 较好地揭示了晚更新世晚期以来该湖区古环境、古气候变化过程。现仅就沉积学等研究作一报导。

## 1 沉积特征与环境

湖盆中的沉积物, 除少部分是地热水带出的地壳深部来源外, 极大部分是湖盆四周地表

\* 国家自然科学基金(编号: 49070123)及地矿部重点科研资助项目。

\*\* 参加野外工作的还有张发胜、肖家仪、贺超兴等。

收稿日期: 1994年5月12日; 接受日期: 1994年6月21日。

作者简介: 齐文, 男, 1966年生, 1989年中国地质大学矿床系毕业, 助理研究员。主要从事盐湖地质矿床与全球变化研究, 发表有“晚更新世以来罗布泊盐湖的沉积环境和找钾前景初析”等论文。

岩石风化产物。除了围岩类型、构造活动性等地质背景因素外,气候变化是最活跃的影响因素,对物源区风化、泥沙搬运和沉积作用类型与强弱有重大影响,往往控制湖盆沉积物组成与沉积结构构造。研究湖泊沉积物沉积特征,可以推导沉积过程中的物理-化学条件,重塑沉积环境与古气候面貌。

ZK91-2 钻孔岩芯自下而上可分为 22 层,大致为 6 段(图 1)。各段岩性<sup>①</sup>、沉积标志及沉积环境分析如下:

I. 20.12~19.79m(第 22 层),未见底 土黄色含砾长石石英细砂,松散未胶结。其粒度较粗,分选较好,次圆一次棱状,代表了高能动荡的滨浅湖沉积环境。

II. 19.79~17.55m(第 21~19 层) 下部(第 21 层)为青灰色含粉砂粘土,致密块状,无层理,粒度较细,水深较大。沉积物中碳酸盐含量在 10%以下,为低镁方解石,其晶格中%克分子  $MgCO_3$  含量在 2.3 左右;中部(第 20 层)粒度稍粗,出现粘土粉砂、粉细砂,波纹层理发育,含细砾并见冲刷面,代表了典型的高能浅水环境。沉积物中碳酸盐含量在 25%左右,出现白云石沉积;上部(17.55~16.85m,第 19 层)为青灰色含粉砂质碳酸盐粘土夹三层团粒状钠硼解石,沉积物中碳酸盐占 45%左右,全部为白云石,其晶格中%克分子  $MgCO_3$  高达 54。本段由下到上,代表湖水由深到半深、半浅并逐渐咸化,化学沉积作用逐渐增强,气候由较湿到半干的过程。

III. 16.85~11.79m(第 18~14 层) 下部(第 18、17 层)为青灰色粉砂质碳酸盐粘土,致密块状无层理,是深湖相静水沉积。沉积物中碳酸盐含量由底部(第 18 层)的 40%,逐渐降低到 15%以下,白云石占 10%左右,方解石占 4%左右。气候由早期的半干旱向潮湿转变,湖面扩张,水质淡化;中部(15.07~14.17m,第 16 层)为青灰色粉砂质碳酸盐粘土夹 4 层窝状钠硼解石层,代表了一次短暂的气候干旱波动。其上部(第 15 层)为青灰色含粉砂质碳酸盐粘土、粘土碳酸盐,致密块状无层理,为深湖相沉积。顶部(第 14 层)见 3~4 个冲刷面及由粗到细的粒序层,是碎屑物质悬浮沉降或浊流沉积形成的,代表了半深水环境。上部(第 13~14 层)碳酸盐含量较高,达 40~50%,以白云石为主(占沉积物的 40%左右),晶格中%克分子  $MgCO_3$  为 47~48,方解石较少(9%),为低镁方解石(%克分子  $MgCO_3$  为 2.3),其时气候已趋向干旱。

第 14 层底部孢粉有机<sup>14</sup>C 年代为  $29330 \pm 420a$ ,其下覆沉积层约为末次冰期间冰段沉积(相当于苏北灌南海侵)。气候较为潮湿,湖面扩张,湖水深邃,其间有两次干旱波动与成硼事件,后期气候已趋向干旱。由于沉积物中有机质含量很少,推测当时湖区气温较低,不利于生物繁生。

IV. 11.79~5.94m(第 13~9 层) 为厚层灰黑色与青灰色含砾粉砂质粘土互层,波纹层理极为发育,局部见冲刷面构造,砾石大多为盆内泥砾,部分为盆缘岩屑砂砾,有机质含量高并见蜥蜴类牙化石等<sup>②</sup>,沉积物中碳酸盐含量低,一般在 5%左右,主要为方解石,含微量白云石。本层顶部孢粉有机<sup>14</sup>C 年代为  $22130 \pm 235a$ 。本段约相当于末次冰期间冰段晚期至盛冰期早期的温暖湿润期,较高的蒸发率使古扎布耶湖水位下降到溢流临界点以下<sup>[1]</sup>,湖

① 粒度划分:粘土<0.0039mm,粉砂 0.0625~0.0039mm,砂 2~0.0625mm,砾>2mm。

② 据刘俊英等分析鉴定。

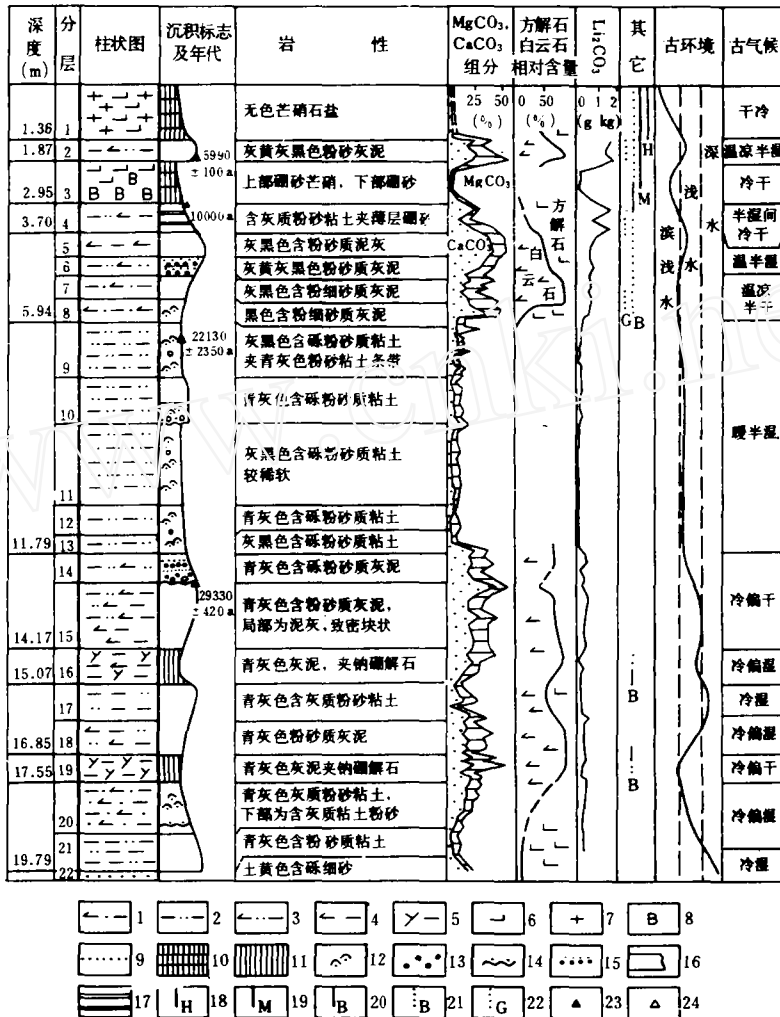


图 1 西藏扎布耶湖 ZK91-2 钻孔沉积特征与古环境、古气候

1. 含粉细砂碳酸盐粘土, 2. 含粉砂质粘土, 3. 含粉砂质碳酸盐粘土, 4. 碳酸盐粘土,
5. 夹钠硼解石碳酸盐粘土, 6. 芒硝, 7. 石盐, 8. 硼砂, 9. 粉细砂, 10. 盐类化学沉积,
11. 夹盐类沉积, 12. 波纹层理, 13. 盆内砾石, 14. 冲刷面, 15. 粒序层, 16. 块状层理
17. 水平层理, 18. 含石盐沉积层, 19. 含芒硝层, 20. 含硼砂层, 21. 含分散硼晶,
22. 含单斜钠钙石, 23. 孢粉有机<sup>14</sup>C 年代数据, 24. 推测年代

Fig. 1 Sedimentary characters of ZK91-2 core and palaeoclimate, palaeoenvironment of Zabuye Lake, Tibet Plateau

水位维持在较深~半浅水,是本区一个重要的温暖潮湿、生物繁盛期。

V. 5.94~3.70m(第 8~5 层) 灰黑色含粉砂质碳酸盐粘土。局部夹粘土碳酸盐。其下部(第 8~7 层)粒度稍粗,粉砂、粉细砂含量较多。有时与碳酸盐粘土呈互层出现,波纹层理发育,为高能动荡的滨浅水环境。碳酸盐含量高,达 40~50%,Mg/Ca 比大,以白云石为主,并沉积了钠钙复盐-单斜钠钙石,含硼砂晶体,说明气候干旱,湖水矿化度较高,本阶段相当

于盛冰期;中部(第6~5层)粒度稍细,见由粉细砂—粉砂—粘土组成的粒序层及无层理段,反映了相对静水沉积环境。碳酸盐含量很高,在50%左右,以低镁方解石为主(达34%,%克分子 $MgCO_3$ 为5.8)。其中白云石占20%(%克分子 $MgCO_3$ 为48),出现暖性含锂碳酸盐<sup>[1]</sup>高值,未见单斜钠钙石沉积,代表盛冰期和晚冰期之间一个小的相对潮湿波动。

VI. 3. 70~0m(第4~1层) 自第5层顶部至第4层,碳酸盐迅速减少,盐类沉积增加,见单斜钠钙石及薄层细粒硼砂沉积,气候干旱。其中部有一个成盐作用减弱,碳酸盐含量增加, $Mg/Ca$ 比值减小的潮湿气候波动。第3层为芒硝-硼砂沉积层。二者为冷相盐类矿物,其大量析出,是气候寒冷、干旱的标志。第2层为灰黑、灰黄等杂色含硼晶粉砂质碳酸盐粘土,见单斜钠钙石。本段为一个小的成盐强度降低段,代表成盐期中的一个相对温湿气候波动。上部第1层为1.36m厚的现代地表石盐芒硝盐层,本层反映气候以干冷为主,湖泊已处于消亡阶段。

第9层上部及第2层底部孢粉有机<sup>14</sup>C分别为 $22130 \pm 255a$  B. P. 和 $5990 \pm 100a$  B. P., 据此初步推算全新世底界在第5层顶部<sup>①</sup>。这说明自末次盛冰期(约20000a B. P.)以来,本湖区气候趋向干冷,湖泊收缩,湖水咸化,但至约13000a B. P. 或12000~11000a B. P. 左右,出现一次偏温湿的气候波动,嗣后气候又向冷干发展,有大量冷相芒硝、硼砂沉积,至6000~4000a B. P. 左右(第4层)可溶盐成盐作用近于中断,但出现大量暖相含锂碳酸盐。此期可与印度迪德瓦纳湖暖湿期相对比<sup>[6]</sup>,是大西洋气候最宜期在本区的反映。约4000a B. P. 左右,本区继续向干旱化发展。

## 2 岩矿标志

湖盆中矿物沉积组合类型与古气候、古环境密切相关。在气候潮湿期,由于围岩风化作用与地表径流搬运能力强,大量蚀源碎屑进入盆地沉积下来,沉积物以各种砂、粘土为主;在气候干旱期,蚀源碎屑大大减少,水体蒸发浓缩,水介质条件发生变化,形成以各类化学沉积物为主的沉积,如碳酸盐、硫酸盐、硼酸盐、氯化物等。

扎布耶盐湖 ZK 91-2 剖面中,碎屑物质的含量与气候的湿润程度成正相关,在9~13层潮湿期沉积速率达 $0.87mm/a$ ,而其上部干旱期平均沉积速率仅 $0.2mm/a$ 。粘土矿物成分与我国西部地区大部分湖泊沉积物一样,主要为伊利石,反映了一种干旱-半干旱区面貌;其它盆缘碎屑还有石英、钾钠长石等。碎屑与粘土的相对含量及其粒度特征与沉积环境有关,间接地反映了气候的变化。

湖相钙镁碳酸盐中,镁可以替代钙进入晶格,形成文石、低镁方解石→高镁方解石→白云石、水菱镁矿系列。随着干旱程度增加, $Mg$ 在水体中更加富集,更易形成高镁方解石、白云石与水菱镁矿。Goldsmith等(1961)、Graf等(1958)曾用碳酸盐的粉晶x-射线衍射数据确定其晶格中%克分子 $MgCO_3$ 含量<sup>[7]</sup>。扎布耶 ZK 91-2 剖面中碳酸盐矿物主要为白云石与方解石,大部分呈泥晶状,与粘土矿物混杂在一起;部分为细长棒状(白云石)自生矿物及碳酸

① 本文<sup>14</sup>C数据承周卫建博士测定;测年数据尚少,可靠性较低,加密<sup>14</sup>C样品正测试中,容后再报。

盐岩盆内细粒砾屑。钙镁碳酸盐总量、 $MgCO_3$  与  $CaCO_3$  组分含量、碳酸盐中白云石和方解石相对含量对气候变化较为敏感。锂也可以进入碳酸盐的晶格,形成含锂白云石等<sup>[1]</sup>,随着气候的干旱与卤水的浓缩,锂在水体及沉积物中的含量也越高,并且随着温度升高碳酸锂溶解度越小。扎布耶 ZK91-2 剖面中可见到含锂白云石与扎布耶石两种含锂碳酸盐,其在剖面纵向上的变化参见图 1。此外,当水体浓缩到一定程度时,还可以形成钠钙复盐-单斜钠钙石,成细粒楔状晶体分散于含粉砂质碳酸盐粘土中(剖面中 6m 以上)。芒硝、石盐、硼酸盐(硼砂、钠硼解石)都是典型的干旱阶段沉积。

### 3 地球化学标志

进入盆地的元素,大都是盆地汇水区域内地表岩石风化产物,以成岩矿物、离子溶液及被吸附方式搬运进入湖盆。气候越潮湿,风化作用与机械搬运作用愈强,则较不活动元素的迁移能力越大,能大量进入盆地沉积下来,而活动元素(碱金属、碱土金属与卤族元素等成盐元素)则会保留于水体中。在气候干旱的条件下,风化作用与地表水的搬运能力弱,不活动元素难以大量进入湖泊,活动元素也以化学沉积方式进入沉积物中。因此,湖盆沉积物中元素分异组合规律,可以反映地史时期古环境、古气候变化。

对扎布耶 ZK91-2 钻孔 143 个样品,分析了 Ca、Mg、K、Na、Sr、Ba、B、Li、 $Fe^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$ 、Mn、Cr、Co、Ni、V、Cl 等 15 个元素含量<sup>①</sup>数据的 R-型聚类分析结果表明(图 2),相关性较大的元素表现为四组(相关系数 > 0.57):

(1) Mn、 $Fe^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$ 、Co、K<sup>②</sup>、V、Cr、Ni 组。它们主要富集于粉砂、粘土及灰泥中,趋向于在湿润气候下富集。

(2) Ca、Sr、Mg 组。它们富集于粘土碳酸盐、碳酸盐粘土中,以化学沉积方式从水体中沉积下来,趋向于在干旱条件下富集。

(3) Na、Li、B 组。它们富集于盐类矿物中,是干旱气候下富集的典型代表性元素。

(4) Ba 组。其含量在剖面上下变化不大。

这四组元素可大致分为两大类:湿润气候下易富集的碎屑沉积型元素(Mn、 $Fe^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$ 、Co、V、Cr、Ni)和在干旱气候下易富集的化学沉积型元素(Ca、Mg、Sr、K、Na、B、Li、Ba)。比值

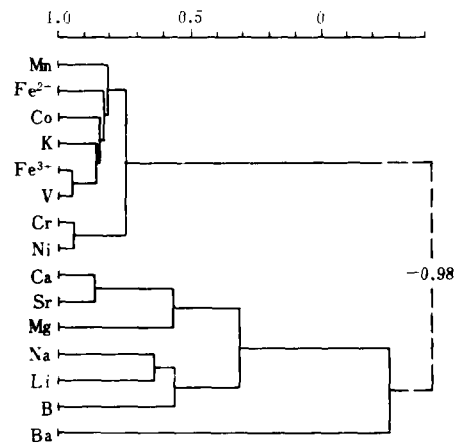


图 2 西藏扎布耶 ZK91-2 钻孔剖面元素聚类图谱  
Fig. 2 Graph of cluster analysis of ZK91-2 core in Zabuya Lake, Tibet Plateau

① 分析单位:北京师范大学。

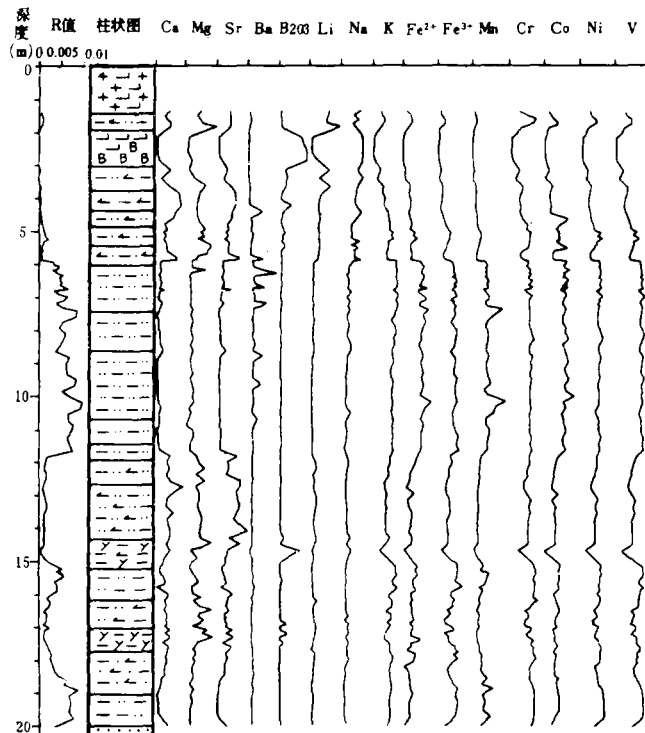
② 全溶分析结果,此中 K 主要为钾长石反映。

$R = \frac{\sum \text{碎屑沉积型元素}}{\sum \text{化学沉积型元素}}$ , 代表了盆地中二种类型元素的分异富集程度, 可以作为反映水

体盐度与古气候变化的一个地球化学指标, 结合沉积标志与岩矿标志解释古气候效果较好。就扎布耶 ZK 91-2 钻孔剖面看,  $R$  值峰值变化与沉积、岩矿标志较吻合, 比  $Mg/Ca$  等地化系数更可靠。其变化情况如下(图 3):

第一气候轮回(16.85~19.79m) 至早期(18.84~19.79m)  $R$  值很大, 达 0.006~0.009, 碎屑沉积型元素富集, 化学沉积型元素较少, 气候潮湿; 中期(17.55~18.34m)  $R$  值逐渐减小, 由 0.006 降至 0.002, 化学沉积型元素富集, 气候向半干旱转化; 晚期(16.85~17.55m)  $R$  值小于 0.0015, 气候较干, 有一次成壤事件。

第二气候轮回(11.79~16.85m) 早期(15.07~16.85m)  $R$  值逐渐由小于 0.0015 增加到 0.005 左右, 化学沉积作用由强至弱, 碎屑沉积作用逐渐增强, 气候转为潮湿。随后  $R$  值突然减小到 0.001 以下, 其后较长一段时间内一直波动在 0.001~0.002 间, 化学沉积作用较强, 气候较干旱, 扎布耶湖水因此而降至最高溢流面之下。



$$R = \frac{\sum (\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Cr} + \text{Co} + \text{Ni} + \text{V})(\text{mg}/\text{kg})}{\sum (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{Sr} + \text{Ba} + \text{Li})(\text{w}\%)}$$

图 3 西藏扎布耶 ZK 91-2 钻孔元素分布曲线

Fig. 3 Distribution curves of elements in ZK91-2 core, Zabuye Lake, Tibet Plateau

第三气候轮回(0~11.79m) 早期(11.79~5.94m)  $R$  值从前一阶段突然增大到 0.006 以上。个别达到 0.01 以上, 9m 以上逐渐降低到 0.003~0.005 之间, 化学沉积作用微

弱,气候潮湿;5.94m 以上,  $R$  值突然减小到 0.001 以下,为整个剖面中平均最低值段,化学沉积作用强烈,气候干旱。其中在 5m 和 1.7m 左右有两个较小的峰值,  $R$  值在 0.001~0.0015 之间,代表着干旱背景下的两次相对潮湿气候波动。

## 4 结 论

(1) 详细的湖相沉积物沉积相划分与研究,可以很好地反映水动力条件与湖水深度等沉积环境,重塑湖泊扩张与收缩、气候干旱与潮湿的变化历程。

(2) 潮湿气候期碎屑沉积作用强,干旱气候期化学沉积作用强,碎屑沉积型元素与干旱沉积型元素的相对丰度  $R$ ,是反映湖盆区风化作用强度、地表水搬运能力及盆地内化学沉积作用强度的一个综合指标,比单元素或其比值能更好地反映古气候古环境变化。

(3) 矿物沉积组合特征也是古气候、古环境的很好标志。化学沉积物与碎屑沉积物总量在剖面上的相对变化;化学沉积物矿物种及其量的变化,如进入碳酸盐晶格的 Ca、Mg、Sr、Li、Na 等碱-碱土金属离子数量及其对应矿物种的变化,其它如硼酸盐、硫酸盐、氯化物等盐类矿物,都是古环境、古气候的很好标志。

(4) 扎布耶湖 ZK 91-2 钻孔的沉积标志、地化标志、矿物标志研究表明:在 29ka B. P. 以前(往前约至 4 万余年),扎布耶湖尚处于高湖面期,有两次短暂的成硼事件。约在 29ka B. P. 扎布耶湖与其南北的大型补给湖泊分开,约在 22ka B. P. 气候进一步干化,湖水咸化,进入咸-盐湖发育阶段,全新世始进入大量可溶盐沉积阶段。其中最为重要的温暖潮湿期在 29~21ka B. P. 之间,在 13~11ka B. P. 和 6~4ka B. P. 之间有两次较为明显的潮湿气候波动。大西洋期在本剖面中有短暂而明显的记录。

## 参 考 文 献

- 1 郑绵平等. 青藏高原盐湖. 北京:科学技术出版社,1989. 192~270
- 2 叶笃正等. 中国的全球变化预研究. 北京:地震出版社,1992
- 3 顾兆炎等. 12000 年来青藏高原季风变化——色林错沉积物地球化学证据. 科学通报,1993,38(1). 60~64
- 4 王云飞. 青海湖、岱海的湖泊碳酸盐化学沉积与气候环境变化. 海洋与湖沼,1993,24(1). 31~36
- 5 刘宝君. 沉积岩石学. 北京:地质出版社,1980
- 6 Smith G I etc. Late Quaternary Sediments, minerals, and inferred geochemical history of Didwana lake Thar desert, India *palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 1984, (46). 345~372
- 7 Milliman J D etc. Recent sediment carbonate, Part 1, marine carbonate, 1982. 16~22

## SEDIMENTARY CHARACTERISTICS OF ZK91-2 CORE AND CLIMATE—ENVIRONMENT EVOLUTION OF ZABUYE LAKE, TIBET PLATEAU

Qi Wen    Zheng Mianping

(Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

### Abstract

Zabuye saline lake is situated in the hinterland of Tibet Plateau. In 1991, a core of 20m was drilled up in the southern lake, and 5~10-cm-long sampler taken in succession. Valuable studies were performed on the climate-environmental indicator of sedimentary marks, mineral association, and element assemblage, etc.

Sedimentary structure, size distribution, and organic materials etc. clearly revealed the fluctuation of water depth and air temperature, and it was consistent with the variation of content of dolomite and calcite. We have also paid special attention to Li-bearing carbonate, borate and mirabilite etc. which are sensitive to salinity and temperature of the lake water and exist commonly in salt lake sediments in Tibet Plateau. Cluster analysis of some elements (Ca, Mg, Sr, K, Na, B, Ba, Li, Fe, Mn, Cr, Co, Ni, V, Ci) in the sediments shows that they can be distinguished into two parts: some elements (Ca, Mg, Sr, K, Na, B, Li, Ba) accumulate in the sediment during arid period — an arid type, and the others concentrate in the sediments during humid period — a humid type. It is found that the ratio of the arid type to the humid type is a better indicator of the climate for the sediments in geological era.

The study shows that before  $2.9 \times 10^4$  a B. P., the old Zabuye Lake was deep and had a vast area, the climate then was cold and a little humid; during  $2.9 \times 10^4 \sim 2.2 \times 10^4$  a B. P., the climate of the lake area turned warm and humid; from  $2.0 \times 10^4$  a B. P. onwards, the climate became dry and cold, the lake water dropped greatly and got salinized; but during  $1.3 \times 10^4 \sim 1.1 \times 10^4$  a B. P., there existed a warm and humid period; from Holocene Epoch onwards, some soluble salt began to deposit, during 6000~4000 a B. P., there was an obvious fluctuation to warm and humid; from then on, the climate was getting dryer and colder.

**Key Words**    Xizang (Tibet) Zabuye Lake, core records, climate and environment