

尕斯库勒湖 DG03 孔碳酸盐含量及其环境意义

陈 忠¹, 马海州¹, 曹广超^{1,2}, 张西营¹, 周笃珪¹, 姚 远³, 谭红兵¹, 韩凤清¹

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008; 2. 青海师范大学生命与地理科学学院, 青海 西宁 810008; 3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘 要: 通过对尕斯库勒湖 DG03 孔岩芯碳酸盐含量的测定, 表明碳酸盐含量指标较好地记录了 尕斯库勒湖地区自冰消期晚期以来的气候环境变化。对阿勒罗德暖期和新仙女木期都有较好的反映, 并揭示出 早全新世气候变暖且波动明显, 中全新世早期暖湿, 后期温凉偏干, 晚全新世气候明显变干, 早期较为寒冷, 后期偏暖。碳酸盐含量的变化反映了湖水的浓缩程度, 与湖泊所处的沉积阶段相联系, 同时与岩性特征所反映的环境也有关。在风成作用堆积的粉砂至中砂层, 碳酸盐含量降至很低; 在滨湖相沉积的细砂层, 碳酸盐含量也较低, 因此, 碳酸盐含量指示的气候环境意义应与岩性及其他指标相结合进行分析, 方可得到可信的结论。

关键词: 碳酸盐含量; 尕斯库勒湖; 烧失量; 冰消期晚期; 全新世

中图分类号: P59 文献标识码: A 文章编号: 1008—858X(2007) 02—0006—06

在古气候环境演变研究中, 碳酸盐含量指标已广泛应用于黄土^[1-3]、海洋沉积物^[3-4]和湖泊沉积物^[5]中。黄土碳酸盐含量反映的是黄土的淋溶程度。在古土壤层, 由于气候暖湿, 淋溶作用较强, 因此古土壤层中保存的碳酸盐含量低; 而在黄土层, 碳酸盐受到的淋溶作用较弱, 因而碳酸盐含量较高。在海洋沉积物中, 碳酸盐含量由于受到陆源碎屑物质、海洋生物的作用, 以及碳酸盐的保存和溶解等多种因素的影响, 因而没有统一的模式。但是, 通过对具体岩芯碳酸盐含量的分析, 仍可反映出沉积环境的变化^[8]。对于湖泊沉积物来说, 碳酸盐含量也是一良好的指标。一般的淡水湖泊, 沉积物中碳酸盐含量高, 指示水体蒸发较强, 气候偏干; 碳酸盐含量低, 则指示气候偏湿。对于封闭的盐湖而言, 碳酸盐含量指标的气候意义则要区分盐湖所处的沉积阶段。如果盐湖处于硫酸盐或氯化物沉积阶段, 那么碳酸盐含量高指示了湖泊水体淡化, 湖泊处于逆向演化阶段; 含量低则指示了湖泊正向演化, 湖水正不断浓缩。

对尕斯库勒湖 DG03 孔岩芯分析中, 碳酸盐含量大体上反映了尕斯库勒湖水的浓缩程度, 与湖泊的沉积阶段相联系, 其值的高低还与岩性特征所反映的环境有关。通过对碳酸盐含量及烧失量 (LOI) 指标的分析, 得到了尕斯库勒湖地区自冰消期晚期以来的气候环境演变序列。

1 湖区的基本概况

尕斯库勒湖位于海西蒙古族藏族自治州德令哈市郭里木乡境内, 地理坐标为 E97°33', N37°08'。湖区东侧有铁路和公路经过, 西北距州府德令哈市区45 km, 交通较方便。

湖盆为新生代沉降盆地, 盆内冲积、湖积粉砂粘土和含盐淤泥覆盖, 湖表有薄层石盐沉积, 边缘为冲积、洪积平原, 形成砂砾石、平坦戈壁沉积, 接近湖滨为盐碱沼泽沉积。湖泊面积 37 km², 水深平均8 m, 最大15 m。湖盆无常年地表河流, 依靠大气降水和地下潜水补给。湖水矿化度90.6 g/L, 相对密度1.061, pH值8.28,

盐湖化学类型为硫酸盐型硫酸镁亚型^[9]。

尕海湖区属典型的荒漠半荒漠干旱气候,气候的特征表现为夏季燥热、冬季寒冷、多风少雨、日照时间长、日温差大和风大沙多。年均降水量不足 124.6 mm, 年均蒸发量达 2 242.8 mm, 为降水量的 18 倍; 年大风日数达 22~41 天, 平均风速为 2.7 m/s, 年均温度 2~4℃^[10]。

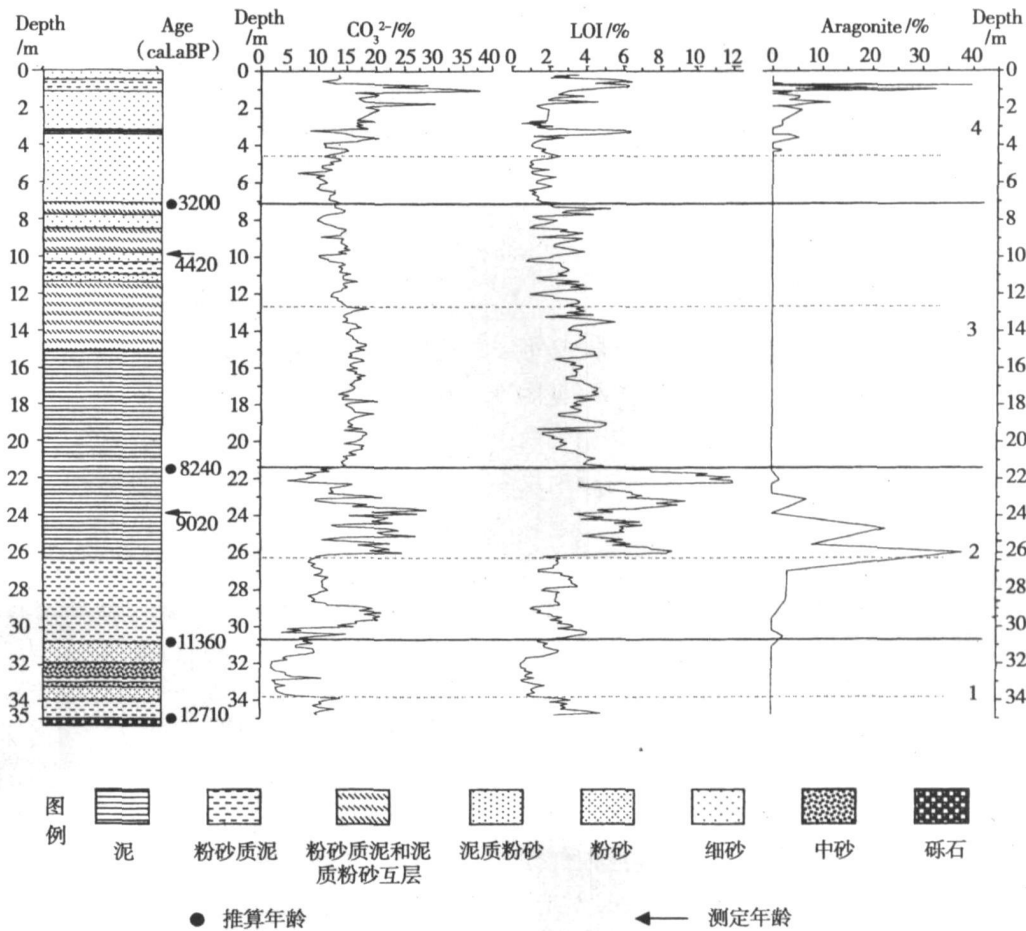


图 1 尕海湖 DG03 钻孔沉积物碳酸盐含量及烧失量变化

Fig. 1 Variations of carbonate contents and LOI of sediments in the core DG03 of the Lake Gahai

2 样品的获取与实验方法

DG03 孔于 2003 年 5 月在尕海湖边钻取, 钻孔的地理位置为 N37°10′, E97°33′。岩芯长度为 3 705 cm, 取芯率达到 95%。在实验室按 10 cm 取样, 由于底部 3 483 cm 以下为砾石层, 未进行采样, 因此取样至 3 483 cm 处, 共得到 348 个样品。从岩芯的 977 cm 和 2 367 cm 取得陆源有机质样品, 在美国迈阿密 Beta 实验室进行了加速器质谱(AMS¹⁴C) 年龄测定, 977 cm 处的年龄为 4 420 Cal. aBP, 2 367 cm 处的年龄为 9 020

cal. aBP, 结合沉积速率, 得到底部 3 483 cm 的年龄为 12 710 cal. aBP。

碳酸盐含量的测定采用烧失法, 将样品放入衡重的坩锅中在 105℃ 烘箱里干燥一夜, 然后送入马弗炉, 在 550℃ 下烧 2 小时, 烧失部分的重量占干样重量的百分比为烧失量(LOI)。尔后, 再将样品送入马弗炉, 在 950℃ 下烧 4 小时, 此次烧失部分的重量(950℃ 后的重量与 550℃ 后的重量之差)再乘以 1.36(CO₃²⁻ 与 CO₂ 的分子量之比)后占干样重量的百分比, 即可粗略地代表碳酸盐(CO₃²⁻) 的含量^[11]。实验证明, 烧失法测得的碳酸盐含量与洗失法得到的结果

相关性很好,整体上,烧失法得到的结果低于洗失法,这与采用 CO_3^{2-} 来代表碳酸盐含量有关。文石含量的测定由 X 衍射完成,具体操作为用 10% 的 H_2O_2 除掉有机质,然后将样品送入日本理学 D/max-III β 型粉晶 X 射线衍射仪进行矿物测试。文石的最强衍射峰的绝对强度与各碳酸盐矿物最强衍射峰的总绝对强度的比值即为文石的相对百分含量,此相对百分含量乘以实测碳酸盐含量为文石的绝对百分含量。

3 分析与讨论

尕斯库勒湖岩芯碳酸盐含量的变化较大,最低 1.87%,最高 37.98%,变幅达到 36.11%(见图 1)。其变化反映了湖水的浓缩程度,与湖泊所处的沉积阶段相联系,同时还与岩性特征所反映的环境有关。

在岩芯的底部 3 483 ~ 3 073 cm,碳酸盐含量明显呈一低值区,而这一低值与岩性有明显的联系,整段岩芯呈浅黄至黄色,明显不同于其上部的岩芯,粒径较粗,主要为粉砂至中砂。在最底部的 3 483 ~ 3 384 cm,岩性为粉砂质泥,粒径相对较小,碳酸盐含量也相对较高,为 10.99%,烧失量 (LOI) 也较高,为 3.08%,年龄为 12 710 ~ 12 380 cal. aBP,大致可和晚冰期气候环境相对较好的阿勒罗德暖期 (Allerød) 对应。在 3 384 ~ 3 073 cm,岩性为粉砂和中砂,特别是在中砂段,碳酸盐含量很低,平均只有 3.78%,LOI 只有 0.93%,从沉积相判断为风成沉积,不具湖相沉积的特征,估计当时风沙活动强烈,气候相当干冷,尕斯库勒湖退缩至很小,在钻孔位置接受了大量的风成沉积,造成此段的碳酸盐含量相当低。此段的年龄为 12 380 ~ 11 360 cal. aBP,气候特征和年龄都可和新仙女木事件对应,因此判定其为新仙女木期。

在 3 073 ~ 2 130 cm 段,碳酸盐含量剧烈变化,最高 27.27%,最低 3.77%。尽管此段碳酸盐含量和烧失量 (LOI) 变化较大,但却反映的是一种较为干旱的气候环境,碳酸盐含量变化明显可和尕斯库勒湖所处的沉积阶段相联系。本段还出现了文石 (图 1),而文石的结晶是在湖泊水体中 Mg^{2+} 含量较多的时候发生^[1],反映当时湖水

浓度相对较高,因此 3 073 ~ 2 130 cm 段反映出比较干旱的气候环境。碳酸盐含量高且变幅较大,而 LOI 表现为明显的偏高,变幅也很大,结合岩性,推测当时为沼泽环境,大量的植物发育导致 LOI 的偏高,植物的光合作用吸收了水中的 CO_2 导致碳酸盐的沉积,从而使得碳酸盐的含量偏高。此段文石的含量较高,也反映出温度的上升,以及湖水浓度较高。本段年龄为 11 360 ~ 8 240 cal. aBP,属于早全新世,早期温度偏低,后期温度上升明显,整体上都较干旱。不过碳酸盐含量和 LOI 的大幅变化也表明,早全新世气候环境波动明显,不稳定。关于早全新世气候的这种波动不稳定性,已有许多的研究报道^[13-14]。

在 2 130 ~ 1 270 cm 段,碳酸盐含量的变化不大,相对比较稳定,在 16% 左右波动。岩性基本以泥为主,粒径较小,LOI 也较高,波动也不太大,岩性特征指示当时尕斯库勒湖为深水相沉积,湖泊相对比较稳定,湖水盐度较低,因而碳酸盐含量不高。此段可以说是整个岩芯最稳定的一段,各指标均反映出气候环境较好,其年龄为 8 240 ~ 5 390 cal. aBP,因此属于中全新世气候环境最好的时期,较为暖湿,大致可和西北欧的大西洋期对应。

在 1 270 ~ 450 cm 段,碳酸盐含量变化和岩性能很好地对应起来。在细砂段,碳酸盐含量明显偏低,而在粉砂、含泥的层位,碳酸盐含量则明显较高。LOI 指标的变化和碳酸盐含量变化相似,也是在粒径较大的细砂段下降,粒径较小段则上升。两指标的同步变化表明,在钻孔位置处于滨湖相沉积,也即粒径较大时,碳酸盐含量和 LOI 降低,而处于浅水相沉积,即粒径较小时,碳酸盐含量和 LOI 升高。低碳酸盐含量可能是在钻孔位置接受了淡水输入,水动力较强带来细砂沉积,这种滨湖环境不利于碳酸盐的沉淀。较高的碳酸盐含量可能是在浅水环境中,随着水体的不断蒸发,不断有碳酸盐沉淀,因而碳酸盐含量较高。在 1 270 ~ 707 cm 段,岩性主要以粉砂质泥和泥质粉砂为主,碳酸盐含量已明显较下段的泥质层偏低,但又高于上部的细砂层,可能由于温度有所降低,湖水蒸发减弱,导致碳酸盐沉淀减少。在 800 cm、1 000 cm

和1 100 cm附近为细砂或粉砂层,其碳酸盐含量明显为该段的低值区,其原因即是由于前述的滨湖环境不利于碳酸盐的沉淀。LOI 的变化与碳酸盐含量变化基本一致。该段(1 270 ~ 707 cm)的年龄为5 390 ~ 3 200cal. aBP,属于中全新世的晚期,其气候环境反映为温凉偏干。在707 ~ 450 cm段,岩性基本为细砂,碳酸盐含量在550 cm处降到最低后开始逐步升高,不过碳酸盐含量整体上很低,LOI 值也相当低。碳酸盐含量低同样也是由于滨湖的环境,淡水的输入带来细砂沉积,不利于碳酸盐的沉淀,从550 cm开始碳酸盐含量的升高表明此时湖水有浓缩的趋势。该段反映出干冷的气候环境,这可能是新冰期的到来,导致尕斯库勒湖地区干冷的气候。

从450 cm至顶部段,碳酸盐含量呈明显的上升趋势,不过在顶部 75 ~ 0 cm段碳酸盐含量又变低。在碳酸盐含量上升阶段,文石大量析出,反映湖水不断浓缩且温度有所升高,结合较低的 LOI 值,可知该段气候明显变干。顶部(75 ~ 0 cm)碳酸盐含量降低可能是由于小冰期温度降低所致。在318 ~ 343 cm处,碳酸盐含量为低值,此段的岩性为泥质,结合 LOI 等指标,可确定此为一暖湿事件,年龄为1 550 ~ 1 440 cal. aBP。整体上,从碳酸盐含量以及 LOI 反映当时气候较为干燥,即晚全新世气候明显比较干旱。

4 尕斯库勒湖地区冰消期晚期以来的气候环境演化

根据尕斯库勒湖 DG03 孔岩芯的碳酸盐含量,结合 LOI 和岩性变化的特征,根据确定的 AMS¹⁴C 年龄测定的结果,尕斯库勒湖地区自冰消期晚期以来的气候环境演变可分为以下 4 个阶段:

冰消期晚期(12 710 ~ 11 360cal. aBP),深度为3 483 ~ 3 073 cm,岩性以灰黄色至黄色的粉砂至中砂为主。底部3 483 ~ 3 384 cm,年龄为12 710 ~ 12 380cal. aBP,碳酸盐含量相对较高,LOI 也较高,岩性为粉砂质泥,气候相对暖湿,为阿勒罗德(Alleröd)暖期。3 384 ~ 3 073 cm,

年龄为12 380 ~ 11 360cal. aBP,岩性为粉砂至中砂,碳酸盐含量和 LOI 都很低,显示出风沙作用强烈的冷干气候,为新仙女木期。

早全新世(11 360 ~ 8 240 cal. aBP),深度3 070 cm ~ 2 130 cm,岩性以泥为主。碳酸盐含量具有明显的波动性,早期(11 360 ~ 9 830 cal. aBP)温度较低,湖泊基本处于硫酸盐沉积阶段,湖水浓度较高。后期(9 830 ~ 8 240 cal. aBP)湖泊逆向演化,转为碳酸盐沉积,温度升高,蒸发相对较强,形成的沼泽环境使得碳酸盐含量和 LOI 都较高,但波动明显,较高的文石含量也说明了温度的升高和湖水的浓缩。整个早全新世都较为干旱。

中全新世(8 240 ~ 3 200cal. aBP),深度2 130 ~ 707 cm,岩性以泥、粉砂质泥与泥质粉砂互层为主,并含有细砂层。早期(8 240 ~ 5 390 cal. aBP),碳酸盐含量比较稳定,LOI 较高且较稳定,气候特征表现为比较暖湿,为中全新世稳定的暖湿期。后期(5 390 ~ 3 200cal. aBP),碳酸盐含量明显降低,特别是粒径较大的细砂质层,碳酸盐含量降低明显,LOI 也较前期偏低,气候特征表现为温凉偏干。

晚全新世(3 200cal. aBP 至今),深度707 ~ 0 cm,岩性以细砂为主,含有粉砂和泥质层。在707 ~ 450 cm(3 200 ~ 2 000cal. aBP)段碳酸盐含量和 LOI 均较低,反映该时段气候比较干冷。自2 000cal. aBP 至小冰期前,温度有所升高,但依然比较干旱。整个晚全新世以干旱的气候为特点,也存在暖湿的波动,如1 500cal. aBP 左右(318 ~ 343 cm)为明显的一次暖湿事件。

5 结 论

利用烧失法测定的尕斯库勒湖 DG03 岩芯碳酸盐含量,结合 LOI 和岩性特征,反映出自冰消期晚期以来尕斯库勒湖地区的气候环境演变。对阿勒罗德暖期和新仙女木期都有反映;并揭示出早全新世气候的不稳定性,气温开始上升但较干旱;中全新世早期温暖湿润,晚期变得温凉偏干;晚全新世早期温度较低,后期温度有所上升,气候整体较为干旱,存在湿波动。此气候环境演化模式与柴达木盆地^[15]和青海湖^[16~17]的

研究结果具有较好的可比性。

尕斯库勒湖的碳酸盐含量变化反映出, 碳酸盐含量的 高低反映了湖泊水体的浓缩程度, 与湖泊的沉积阶段相联系, 反映气候的干湿程度, 且与岩性特征所反映的环境有关。在底部粉砂至中砂沉积的时候, 碳酸盐含量异常的 低, 其与风沙沉积作用有关。在 1 270 ~ 450 cm 段, 岩性为粉砂至细砂沉积时, 碳酸盐含量明显很低, 这与钻孔位置当时所处的沉积环境有关, 滨湖的环境水动力较强, 沉积物粒径较大, 碳酸盐含量较低。因此, 根据碳酸盐含量变化反映气候环境状况须结合其它指标以及岩性进行综合分析, 以推断古气候环境演变的真实情况。

致谢: 张彭熹院士、徐黎明、李海军、杨海镇、沙占军、谭伟等进行了野外采样, 董亚萍副研究员、杨波副研究员在实验过程中给予了指导和帮助, 在此一并深表谢意。

参考文献:

[1] 地质部水文地质工程地质研究所. 中国的黄土及黄土状岩石[M]. 北京: 科学出版社, 1959. 38— 48.

[2] 文启忠, 等. 有关黄河中游黄土地球化学的某些问题[J]. 第四纪地质问题, 1964; 111— 125.

[3] 汪品先, 郑连福. 太平洋美拉尼西亚海盆深海碳酸盐溶解旋回的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1982, 13(5): 389— 394.

[4] 汪品先, 阎秋宝, 卞云华, 等. 十三万年来南海北部陆坡的浮游有孔虫及其古海洋学意义[J]. 地质学报, 1986, 60(3): 215— 225.

[5] 沈吉, 吴瑞金, 等. 大布苏湖沉积剖面碳酸盐含量、氧同位素特征的古气候意义[J]. 湖泊科学, 1997, 9(3): 219— 222.

[6] 曹建廷, 徐爱霞, 等. 内蒙岱海湖岩芯碳酸盐含量变化与气候环境演化[J]. 海洋湖沼通报, 1999(4): 21— 26.

[7] 张恩楼, 沈吉, 等. 青海湖近 900 年来气候环境演化的湖泊沉积记录[J]. 湖泊科学, 2002, 14(1): 32— 38.

[8] Thunell, R. C. , Miao Q. M, Calert, S. E and Pedersen, T. F. Glacial-Holocene sedimentation patterns in the South China Sea: productivity variations and surface water PCO[J]. Paleocceanography, 1992, 7(2): 143— 162.

[9] 郑喜玉, 张明刚, 徐昶, 等. 中国盐湖志[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 173— 174.

[10] 杜进新. 尕斯库勒湖虫减少原因及保护对策[J]. 柴达木开发研究, 2001(2): 25— 27.

[11] 张家武, 金明, 陈发虎, 等. 青海湖沉积岩芯记录的青藏高原东北部过去 800 年以来的降水变化[J]. 科学通报, 2004, 49(1): 10— 14.

[12] 中国科学院兰州分院, 中国科学院西部资源环境研究中心. 青海湖近代环境的演化和预测[M]. 北京: 科学出版社, 1994. 119— 130.

[13] 李升峰, 张建新, 张兆干, 等. 化石硅藻新指标在西藏昂仁湖环境演变中的应用[J]. 古生物学报, 2001, 40(2): 143— 152.

[14] 朱艳, 陈发虎, Madsen, B. D. 石羊河流域早全新世湖泊孢粉记录及其环境意义[J]. 科学通报, 2001, 46(19): 1596— 1602.

[15] 沈振枢, 程果, 等. 柴达木盆地第四纪含盐地层划分及沉积环境[J]. 北京: 地质出版社, 1993. 1— 162.

[16] 张彭熹, 张保珍, 钱桂敏, 等. 青海湖全新世以来古环境参数的研究[J]. 第四纪研究, 1994, 14(3): 225— 238.

[17] 陈克造, Bowler, J. M, Kelts, K. 四万年来青藏高原的气候变迁[J]. 第四纪研究, 1990, 10(1): 21— 31.

Carbonate Content in the Core DG03 of Lake Gahai and its Paleoenvironmental Significance

CHEN Zhong¹, MA Hai-zhou¹, CAO Guang-dao^{1,2}, ZHANG Xi-ying¹, ZHOU Du-jun¹, YAO Yuan³,
TAN Hong-bing¹, HAN Feng-qing¹

- (1. *Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;*
- 2. *College of Life and Geography Science, Qinghai Normal University, Xining, 810008, China,*
- 3. *Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, 210008, China)*

Abstract: Carbonate content determined from the sediment core DG03 depicts climate and environmental evolution in the Lake Gahai area since the late Deglacial period. The core provides evidence of a warm period and then a cold-dry period before Holocene based on the analysis of carbonate content, loss-on-ignition (LOI) and lithology. The two periods correspond with the Allerød period and the Younger Dryas period. In the early Holocene, the climate was unstable with a warming trend. The mid-Holocene was warm and humid in the early period, while cold and dry in the late period. The late-Holocene was also dry with lower temperatures in the early period and a warming trend in the period just before the Little Ice Age (LIA). Carbonate content identifies the density of the lake water and its variation also connects with the environmental changes reflected by sediment lithology. The layer composed of silt and medium particle sand which was deposited by eolian, was found to be very low in carbonate content as well as fine sand layer.

Key words: Carbonate content; Lake Gahai; Loss-on-ignition (LOI); Late Deglaciation; Holocene

(上接第 5 页)

Study on the Causes and Impacts of Water-salt Change of Ebinur Lake

CHEN Zhi-jun
(*Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Xinjiang Bortala
Mongol Autonomous Prefecture, Bole, 833400, China*)

Abstract: Based on the relationship between the Lake and its drainage basin, a series of the changes of hydrological factors, such as the lake area and salinity of the Ebinur Lake in recent 50 years, are analyzed using correlation analysis, and the causes resulting in such changes are researched in this paper. The results show that the self-regulation capability of the lake is weak because of the effects of geographical and hydrological factors in the systems of water resources in the drainage basin; the water carrying capacity of the drainage basin and the inflow of the lake are continuously reduced due to the increase of human activities and evaporation, thus the salinity of the lake is increased. Moreover, the trend and impacts of water-salt change of the Ebinur Lake are also discussed.

Key words: Change of area; Salinity; Correlation analysis; Ebinur Lake