

柴达木盆地昆特依盐湖磁化率特征及古气候意义

曾方明¹, 向树元²

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 中国科学院盐湖资源综合高效利用重点实验室, 青海 西宁 810008; 2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 昆特依盐湖是柴达木盆地盐湖演化和古气候研究的重要对象。前人对昆特依盐湖钻孔的年代学和地球化学组成特征开展过一些研究, 但由于采样间距大, 限制了对成盐演化过程的深入理解。目前关于昆特依盐湖磁化率特征的研究尚未见报道。对昆特依盐湖 ZK1402 钻孔(35 m 深)的¹⁴C 年代和磁化率进行了初步研究。结果表明: 1) 钻孔由含盐碎屑层和盐层的互层所组成。盐层的低频磁化率值低, 含盐碎屑层的低频磁化率值高。低频磁化率清晰地记录到古盐湖经历了 4 次显著的成盐期。钻孔的低频磁化率和高频磁化率的变化极为相似。2) 低频磁化率和频率磁化率(百分比形式)呈负相关关系。3) 钻孔 9.6 m 深处的加速器质谱(AMS)¹⁴C 校正年代为 23 333 ± 255 cal a BP, 24.8 m 深处的年代为 31 780 ± 442 cal a BP, 33.0 m 深处的年代(19 259 ± 207 cal a BP)出现倒转。钻孔 24.8 m 和 33.0 m 深处的¹⁴C 年龄可能被低估。

关键词: 柴达木盆地; 昆特依盐湖; 磁化率; 古气候

中图分类号: P534.63; P532

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2017)01-0001-07

1 引言

盐湖在形成发展过程中记录了周围气候变化的信息, 其沉积物是古气候研究的重要对象^[1-7]。柴达木盆地被阿尔金山、祁连山和东昆仑山所围限, 为典型高原内陆盆地。一般认为, 自新生代以来, 由于柴达木盆地周缘山体抬升, 形成“高山深盆”的沉积环境, 发源于周围高山的河流向盆地输入大量的盐类离子(K⁺, Li⁺, Na⁺等), 再加上经历新近纪和第四纪气候的干旱时期, 在盆地内部沉积了大量的盐层^[8-10]。柴达木盆地是我国重要的盐湖分布区^[11], 蕴含着丰富的盐类资源, 对保障我国农业安全以及促进西部经济发展发挥了重要作用。

柴达木盆地新生代沉积记录完整, 由于盐

湖区地层出露很差, 通常采取钻探手段获取完整的沉积记录。学者们对柴达木盆地盐湖的钻孔开展了年代学和地球化学组成特征的研究^[3, 12-15], 为盐湖演化研究积累了重要资料。古地磁年代学结果显示, 柴达木盆地西部的成盐历史(昆特依地区最早的盐层年代约为 1.18 Ma)远远早于东部地区(察尔汗盐湖最早的盐层出现年代约为 54 ~ 24 ka)^[10]。

柴达木盆地的盐湖沉积与古气候演化是盐湖地质与环境研究的重点内容。察尔汗盐湖 CK-6 钻孔记录的去 73 万年以来的气候变化可与深海沉积、中国黄土所记录的气候事件进行较好的对比, 响应全球性气候事件^[2]。ZK3208 钻孔是昆特依盐湖钻探工作中最具代表性的钻孔之一, 水溶 F/Cl 比值显示 2 Ma 以来昆特依盐湖经历了 10 次大的干湿变化^[3]。ZK3208 钻孔的石盐氯同位素揭示了昆特依盐

收稿日期: 2015-10-13; 修回日期: 2015-11-19

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(12120113033029); 中国科学院青海盐湖研究所青年引导基金(Y460261051)

作者简介: 曾方明(1982-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事第四纪地质和环境变化研究。Email: fmzeng@163.com。

湖 73 万年以来气候逐渐向干旱方向发展^[16]。上述研究为昆特依盐湖的古气候演化提供了重要的第一手资料。

受研究条件的限制,以往的工作对昆特依盐湖晚第四纪成盐演化的研究程度较低。由于样品间距较大,难以为昆特依盐湖晚第四纪的演化历史提供更丰富的信息^[3, 16]。磁化率作为古气候研究常用的替代性指标,被广泛用于古季风演化研究^[17-19]。然而,昆特依盐湖的磁化率指标及古气候意义的研究尚未见报道。因此,本文对昆特依盐湖 ZK1402 钻孔的 AMS (accelerator mass spectrometry)¹⁴C 年代和磁化率特征开展初步研究,目的是探讨昆特依盐湖晚第四纪以来磁化率指标的变化及古气候意义。

2 材料与方法

2.1 研究区与样品采集

昆特依盐湖地处柴达木盆地北部。研究区地形起伏不大,海拔 2 700 ~ 3 045 m;盐碱滩广布,沙丘和雅丹地貌散布。在大地构造上昆特依凹陷属于秦祁昆造山系内二级构造单元柴北缘结合带与柴达木地块的衔接部位^[20]。昆特依盐湖位于柴达木盆地中——新生代油气、盐

类成矿区,是重要的油气、盐类资源开发区。冷湖气象资料显示,该地区年降水量为 18 mm,年蒸发量达 3 298 mm;年平均温度为 2.6 °C;全年平均风速为 4.0 m/s^[21]。

ZK1402 钻孔位于冷湖镇西边,地理坐标为 38°43′17.72″N, 93°8′38.60″E (图 1)。钻取时间为 2014 年 7 月,总厚度为 35 m,钻孔从上到下的岩性特征简述如下。0.0 ~ 3.9 m,黄褐色—灰绿色粘土和粉砂等组成的碎屑层,含中细粒石盐、石膏;3.9 ~ 6.9 m,白色中粗粒石盐和芒硝,晶体干净透明;6.9 ~ 10.3 m,深灰色—灰黄色粘土和粉砂等组成的碎屑层,含少量石盐;10.3 ~ 11.5 m,灰白色中粗粒石盐;11.5 ~ 18.3 m,黄褐色—灰绿色粘土和粉砂等组成的碎屑层,含少量石盐;18.3 ~ 22.1 m,灰白色中粗粒石盐,含少量细砂;22.1 ~ 25.3 m,深灰色—灰黄色粘土和粉砂组成的碎屑层,含少量石盐;25.3 ~ 26.9 m,灰黑色—灰白色中粗粒石盐,含少量粘土和粉砂;26.9 ~ 35.0 m,灰绿色—灰黄色粘土和粉砂组成的碎屑层,含少量细粒石盐。野外按照大约 20 cm 间距采集了 155 块散样,用于磁化率等指标的分析。并在碎屑层选择 3 个¹⁴C 年代样品,深度分别为 9.6 m、24.8 m 和 33.0 m,前两个样品取自深灰色粘土和粉砂层,后一个样品取自灰黄色粉砂层。



图 1 昆特依盐湖 ZK1402 孔位置

Fig. 1 Location of core ZK1402 from Kuntayi salt lake

2.2 方 法

¹⁴C 年代样品用小刀削去块状样品的表面,将样品用锡箔纸包好,寄往美国 Beta 实验室,采用酸洗法对样品中的有机质进行 AMS¹⁴C 年代测定。

散样采集回来后,在室内风干,对于难以风干的样品放入 40 °C 的烘箱中烘干。风干和烘干样品的磁化率采用英国产 Bartington MS2 磁化率仪进行测定。低频磁化率(χ_{lf})和高频磁化率(χ_{hf})分别在 470 Hz 和 4 700 Hz 的频率下测定。绝对值形式的频率磁化率 $\chi_{fd} = \chi_{lf} - \chi_{hf}$;

百分比形式的频率磁化率 $\chi_{fd} \% = (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \times 100$ 。磁化率详细的测试流程依据文献^[22]。

3 结果与讨论

3.1 AMS¹⁴C 年代

ZK1402 钻孔 3 个样品的 AMS¹⁴C 年龄结果见表 1。钻孔 9.6 m 深处的校正年代为 23.3 ± 0.3 cal ka BP; 24.8 m 深处的年代为 31.8 ± 0.4 cal ka BP; 33.0 m 深处的年代发生倒转, 为 19.3 ± 0.2 cal ka BP。

¹⁴C 测年是盐湖沉积常用的测年方法。基于¹⁴C 测年方法, 学者们对柴达木盆地的湖泊沉积物开展了大量年代学研究^[23-24]。不过, 对于同一套沉积, ¹⁴C 年龄与其它测年方法的结果往往存在不一致现象。例如, 贝壳堤剖面的 AMS¹⁴C 年代与铀系年代^[25]和光释光年代^[26]存在显著的差异, ¹⁴C 年代明显比铀系年代和光释光年代年轻。西台吉乃尔盐湖沉积物的 AMS¹⁴C 年代集中分布在 33 ~ 40 cal ka BP, 明显比光释光年代年轻^[27]。最近东北兴凯湖和新疆伊犁黄土的 AMS¹⁴C 年代和光释光年代对比研究结果表明, 当¹⁴C 校正年代老于 ~ 30 cal ka BP 时, 其年代极有可能因测年材料受污染而趋近饱和^[28-29]。

以有机质和碳酸盐作为测年材料, 别勒滩盐湖 CK2022 钻孔 96.36 ~ 96.76 m 深处的常规¹⁴C 年龄为 31.8 ka BP, 察尔汗盐湖 CK826 钻孔 14.15 ~ 14.65 m 深处的年代为

33.8 ka BP^[23]。贝壳堤剖面 124.5 cm 深处的 AMS¹⁴C 年代为 32.18 ka BP (采用 IntCal13 数据库校正后的年代为 36 cal ka BP), 139.0 cm 深处的年代为 31.03 ka BP (35 cal ka BP), 152 cm 深处的年代为 27.89 ka BP (32 cal ka BP), 上述年代的测年材料均为有机质中的腐殖酸组分^[25]。察尔汗盐湖 ISL1A 钻孔有机质的 AMS¹⁴C 年代结果表明, 22 m 深度以下的年代趋近饱和, 最大年龄超过 34 cal ka BP^[30-31]。前已述及, 当¹⁴C 校正年代超过 ~ 30 cal ka BP 时, 其结果很有可能被低估^[26, 28, 31]。上述研究中^[23, 25, 30], ¹⁴C 校正年代超过 ~ 30 cal ka BP 的结果需要谨慎对待。

由于盐湖沉积中的有机质含量稀少, 且易受地下水作用等因素将现代碳带入地层, 从而使测年材料的碳受到污染导致¹⁴C 测年结果被低估。察尔汗盐湖 ISL1A 钻孔 22 ~ 55 m 深处地层的 AMS¹⁴C 年代趋近饱和^[15, 31]。柴达木盆地的盐湖演化受西风环流强度调控的气候变化等因素影响。晚第四纪以来, 昆特依盐湖和察尔汗盐湖在演化模式和沉积模式上具有相似性。此外, 高密度的¹⁴C 测年与其它测年手段的对比结果显示, ¹⁴C 校正年代老于 ~ 30 cal ka BP 的结果可能被低估^[28-29]。因此, 昆特依盐湖 ZK1402 钻孔 24.8 m 深处的¹⁴C 年代结果 ($31\ 780 \pm 442$ cal ka BP) 可能被低估。该钻孔 33.0 m 深处的¹⁴C 年代结果出现倒转, 进一步说明¹⁴C 测年结果的复杂性和不确定性。运用多种测年方法 (如铀系测年、光释光测年), 结合已有的¹⁴C 测年结果, 是下一步 ZK1402 钻孔年代学研究需要开展的工作。

表 1 ZK1402 钻孔的 AMS¹⁴C 年代
Table 1 AMS¹⁴C ages for ZK1402 core

样品号	实验室编号	深度 /m	测年材料	¹⁴ C 测定年代 /a BP	¹⁴ C 校正年代* (cal a BP, 2σ)
ZK1402-048	beta-396791	9.6	总有机质	$19\ 390 \pm 60$	$23\ 333 \pm 255$
ZK1402-119	beta-396792	24.8	总有机质	$27\ 980 \pm 130$	$31\ 780 \pm 442$
ZK1402-153	beta-396793	33.0	总有机质	$15\ 960 \pm 50$	$19\ 259 \pm 207$

* 采用 IntCal13 数据库^[32]校正

3.2 磁化率特征和古气候意义

ZK1402 钻孔中,低频磁化率 χ_{lf} 的变化范围为 $-0.80 \sim 78.30$ (单位 $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$), χ_{hf} 的变化范围为 $-0.86 \sim 77.40$ (单位 $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)。低频磁化率和高频磁化率变化极为相似(图 2)。

盐层中的 χ_{lf} 和 χ_{hf} 均比碎屑层的低。盐层以盐类矿物(石盐等)为主,缺少磁铁矿、赤铁矿、磁赤铁矿等铁氧化物,因而盐层的低频和高频磁化率值低,甚至出现负值。相反,以碎屑沉积为主的沉积物中含有磁铁矿、赤铁矿、磁赤铁

矿等磁性矿物,故具有相对较高的磁化率值。

ZK1402 钻孔的低频磁化率变化清晰地记录到昆特依盐湖经历了 4 次显著的成盐期,分别出现在 $3.9 \sim 6.9 \text{ m}$ 、 $10.3 \sim 11.5 \text{ m}$ 、 $18.3 \sim 22.1 \text{ m}$ 和 $25.3 \sim 26.9 \text{ m}$ 处(图 2)。气候干湿的周期性变化是导致盐层和碎屑层交替出现的重要原因。由于 ZK1402 钻孔的年代学标尺尚需要进一步研究,目前还不能从时间尺度上去讨论古气候变化的具体过程和规律。准确厘定成盐期的具体年代依然有待年代学研究的进一步工作。

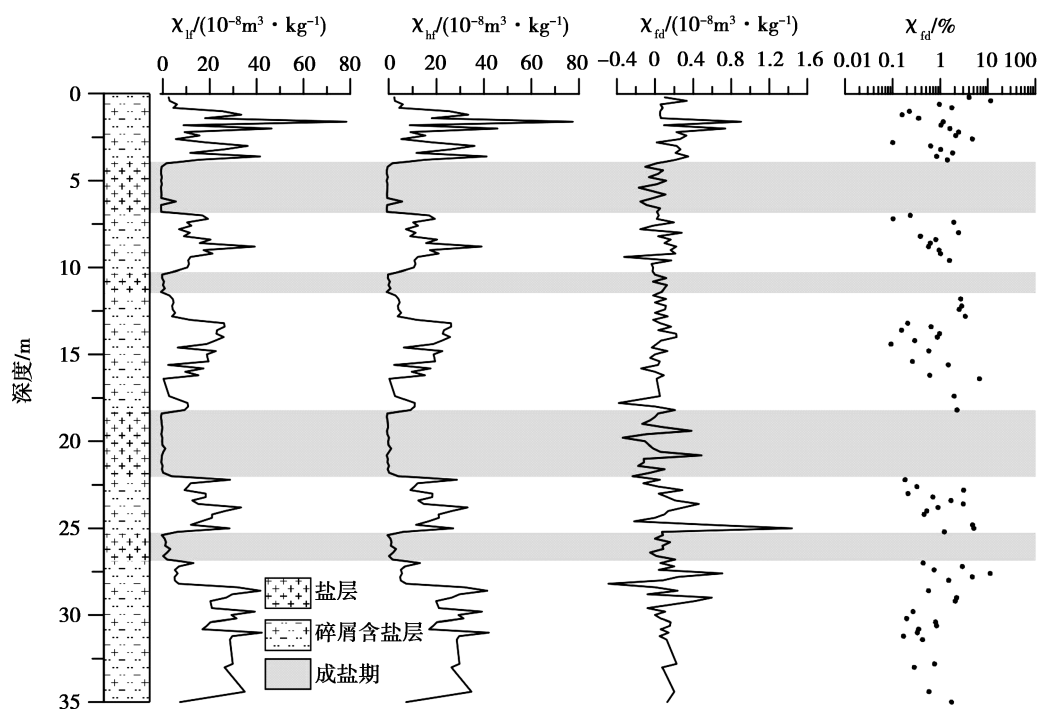


图 2 ZK1402 钻孔岩性与磁化率变化

Fig. 2 Lithology and variations of magnetic susceptibility of core ZK1402

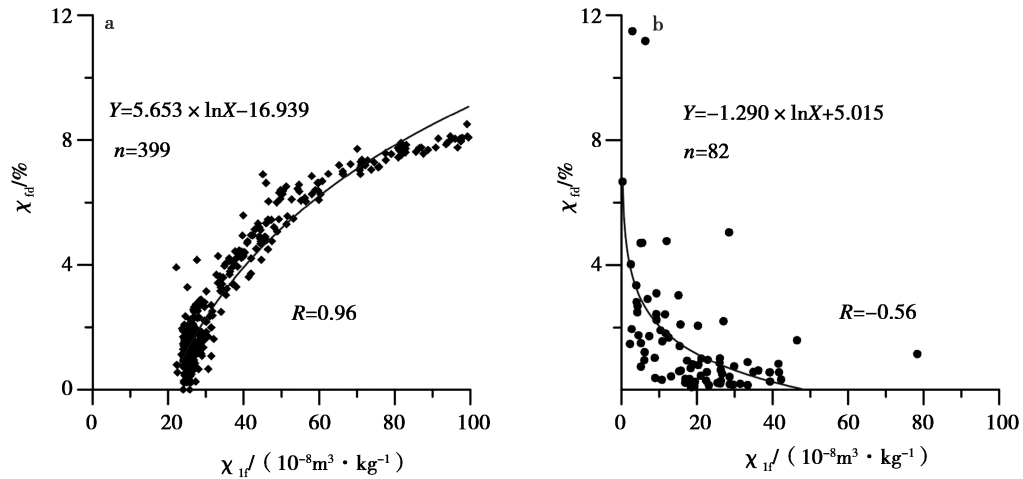
频率磁化率 χ_{fd} 和 $\chi_{fd}\%$ 只对超顺磁/单畴的临界点附近的颗粒影响最大,因此频率磁化率就反映了这些临界颗粒的信号^[33-34]。一般地,频率磁化率可以用来反映样品中是否存在超顺磁颗粒,前提条件就是必须存在处于超顺磁和单畴的临界点附近的颗粒^[35]。当频率磁化率为零时,要么不存在超顺磁颗粒,要么存在着非常细小的超顺磁颗粒^[33]。ZK1402 孔的 χ_{fd} 变化范围为 $-0.49 \sim 1.44$ (单位 $10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)

(图 2), $\chi_{fd} < 0$ 时表明沉积物中不存在超顺磁颗粒。在计算 $\chi_{fd}\%$ 时,考虑到样品中的 χ_{lf} 、 χ_{hf} 存在负值,而且有时 χ_{hf} 大于 χ_{lf} ,故本文只计算了当 χ_{lf} 、 χ_{hf} 为正值,且 $\chi_{hf} < \chi_{lf}$ 时的 $\chi_{fd}\%$ 值;对于钻孔的盐层,没有计算 $\chi_{fd}\%$ 值(图 2)。钻孔 ZK1402 的 $\chi_{fd}\%$ 最大值为 11.50。

在第四纪黄土—古土壤序列中, χ_{lf} 越高, $\chi_{fd}\%$ 也越高。较高的磁化率值通常出现在古土壤层,对应湿润的气候条件,较高的 $\chi_{fd}\%$ 指

示了超顺磁颗粒因较强的成壤作用而增多^[36]。临洮晚第四纪黄土—古土壤序列(从全新世 S_0 土壤层到 L_2 黄土层)的 χ_{lf} 与 $\chi_{fd}\%$ 呈现极显著的正相关关系(图 3a)。然而,昆特依盐湖 ZK1402 钻孔中的 χ_{lf} 与 $\chi_{fd}\%$ 存在负相关关系(图 3b)。沉积过程的差异可能会引起 χ_{lf} 与

$\chi_{fd}\%$ 的相关性在不同类型的沉积物中存在差异。由于缺少岩石磁学方面更多的证据,昆特依盐湖沉积的磁性矿物组成类型以及影响 $\chi_{fd}\%$ 的主要因素依然是未知的。此外,气候和环境因素也会影响 χ_{lf} 与 $\chi_{fd}\%$ 的相关关系。这些推测还需要进一步研究。



a, 临洮黄土—古土壤序列; b, 昆特依盐湖 ZK1402 钻孔沉积

a, Lintao loess-paleosol sequence; b, deposit of ZK1402 core from Kuntayi salt lake

图3 低频磁化率与频率磁化率(百分比形式)相关分析

Fig. 3 Correlations between low frequency magnetic susceptibility and frequency-dependent magnetic susceptibility in percentage

综上所述,昆特依盐湖 ZK1402 孔的磁化率特征表明,盐层的低频磁化率显著低于碎屑层的低频磁化率, χ_{lf} 与 $\chi_{fd}\%$ 存在负相关关系。这些特征对于采用磁化率作为替代性指标解译昆特依盐湖沉积的古气候信息具有重要启示。

4 结 论

1) ZK1402 钻孔在 24.8 m 深处的 AMS¹⁴C 校正年代为 31.8 cal ka BP, 在 33.0 m 深处的 AMS¹⁴C 年龄出现倒转。该钻孔 24.8 m 深处的¹⁴C 年龄可能已出现了低估, 支持¹⁴C 校正年代大于 ~30 cal ka BP 时其年代可能被低估的结论^[28]。

2) ZK1402 钻孔中, 盐层的低频磁化率显著低于碎屑层的低频磁化率, χ_{lf} 与 $\chi_{fd}\%$ 存在负相关关系。低频磁化率特征清晰地记录到昆特依盐湖经历了 4 次显著的成盐期。

3) 由于初步的¹⁴C 年代学结果可能存在低估的现象, 尚不能从时间序列上探讨该钻孔记录的成盐演化和古气候变化。未来需要采用其它测年手段进一步开展 ZK1402 钻孔的年代学研究, 为准确厘定成盐期的时代以及古气候变化提供可靠的年代标尺。

致谢:感谢审稿专家对本文提出了建设性修改意见。

参考文献:

- [1] Chen K Z, Bowler J M. Late Pleistocene evolution of salt lakes in the Qaidam basin, Qinghai province, China [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1986, 54(1): 87 - 104.
- [2] 黄麒, 陈克造. 七十三万年来柴达木盆地察尔汗盐湖古气候波动的形式 [J]. 第四纪研究, 1990, 10(3): 205 - 212.
- [3] 韩凤清, 黄麒, 王克俊, 等. 柴达木盆地昆特依盐湖的

- 地球化学演化与古气候变化 [J]. 盐湖研究, 1991, (4): 1-6.
- [4] 张彭熹, 张保珍. 柴达木地区近三百万年来古气候环境演化的初步研究 [J]. 地理学报, 1991, 46(3): 327-335.
- [5] 刘卫国, 肖应凯. 马海盐湖区卤水和盐类矿物的氯同位素特征及意义 [J]. 盐湖研究, 1995, 3(2): 29-33.
- [6] Zheng M P, Yuan H, Liu J Y, *et al.* Sedimentary characteristics and paleoenvironmental records of Zabuye Salt Lake, Tibetan Plateau, since 128 ka BP [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(5): 861-874.
- [7] 曹广超, 马海州, 陈忠, 等. 尕斯库勒湖 DG03 孔元素地球化学特征及其环境意义 [J]. 盐湖研究, 2008, 16(2): 13-18.
- [8] 袁见齐, 霍承禹, 蔡克勤. 高山深盆的成盐环境——一种新的成盐模式的剖析 [J]. 地质论评, 1983, 29(2): 159-165.
- [9] 樊启顺, 马海州, 谭红兵, 等. 柴达木盆地西部卤水水化学特征与找钾研究 [J]. 地球学报, 2007, 28(5): 446-455.
- [10] Wang J, Fang X, Appel E, *et al.* Magnetostratigraphic and radiometric constraints on salt formation in the Qaidam Basin, NE Tibetan Plateau [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2013, 78: 53-64.
- [11] 张彭熹, 等. 柴达木盆地盐湖 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [12] 沈振枢, 程果, 乐昌硕, 等. 柴达木盆地第四纪含盐地层划分及沉积环境 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [13] 施林峰, 郑绵平, 李金锁, 等. 柴达木盆地大浪滩梁 ZK05 钻孔的磁性地层研究 [J]. 地质学报, 2010, 84(11): 1631-1640.
- [14] 秦永鹏, 侯献华, 郑绵平, 等. 柴达木盆地大浪滩梁-ZK02 孔的磁性地层及其古环境研究 [J]. 地质论评, 2012, 58(3): 553-564.
- [15] Fan Q S, Ma H Z, Wei H C, *et al.* Late Pleistocene paleoclimatic history documented by an oxygen isotope record from carbonate sediments in Qarhan Salt Lake, NE Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 85: 202-209.
- [16] 刘卫国, 肖应凯, 韩凤清, 等. 昆特依盐湖氯同位素特征及古气候意义 [J]. 海洋与湖沼, 1998, 29(4): 431-435.
- [17] An Z S, Kukla G J, Porter S C, *et al.* Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of Central China during the last 130,000 years [J]. *Quaternary Research*, 1991, 36(1): 29-36.
- [18] Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z, *et al.* Onset of Asian desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China [J]. *Nature*, 2002, 416: 159-163.
- [19] Hao Q Z, Wang L, Oldfield F, *et al.* Delayed build-up of Arctic ice sheets during 400,000-year minima in insolation variability [J]. *Nature*, 2012, 490: 393-396.
- [20] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年. 中国大地构造单元划分 [J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-28.
- [21] 人地系统主题数据库. <http://www.data.ac.cn/index.asp> [DB]. 2015.
- [22] 曾方明, 赖忠平, 刘向军. 磁化率测量过程中样品重量对磁化率的影响 [J]. 盐湖研究, 2014, 22(3): 22-26.
- [23] Huang Q, Cai B Q, Yu J Q. The ^{14}C age and cycle of sedimentation of some saline lakes on the Qinghai-Xizang Plateau [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1981, 26(1): 66-70.
- [24] He Y, Zheng Y, Pan A, *et al.* Biomarker-based reconstructions of Holocene lake-level changes at Lake Gahai on the northeastern Tibetan Plateau [J]. *The Holocene*, 2014, 24(4): 405-412.
- [25] Zhang H C, Fan H F, Chang F Q, *et al.* AMS dating on the shell bar section from Qaidam Basin, NE Tibetan Plateau, China [J]. *Radiocarbon*, 2008, 50(2): 255-265.
- [26] Lai Z P, Mischke S, Madsen D. Paleoenvironmental implications of new OSL dates on the formation of the "Shell Bar" in the Qaidam Basin, northeastern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2014, 51(2): 197-210.
- [27] Zeng F M, Xiang S Y. Geochronology and mineral composition of the Pleistocene sediments in Xitaijinair salt lake region, Qaidam Basin; preliminary results [J]. *Journal of Earth Science*, 2017, doi:10.1007/s 12583-016-0712-6.
- [28] Long H, Shen J, Wang Y, *et al.* High-resolution OSL dating of a late Quaternary sequence from Xingkai Lake (NE Asia): Chronological challenge of the "MIS 3a Mega-paleolake" hypothesis in China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2015, 428: 281-292.
- [29] Song Y G, Lai Z P, Li Y, *et al.* Comparison between luminescence and radiocarbon dating of late Quaternary loess from the Ili Basin in Central Asia [J]. *Quaternary Geochronology*, 2015, 30: 405-410.
- [30] Fan Q S, Ma H Z, Ma Z B, *et al.* An assessment and comparison of ^{230}Th and AMS ^{14}C ages for lacustrine sediments from Qarhan Salt Lake area in arid western China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 71(3): 1227-1237.
- [31] Long H, Shen J. Underestimated ^{14}C -based chronology of late Pleistocene high lake-level events over the Tibetan Plateau and adjacent areas: Evidence from the Qaidam Basin and Tengger Desert [J]. *Science China Earth Sciences*, 2015, 58(2): 183-194.
- [32] Reimer P J, Bard E, Bayliss A, *et al.* IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0-50000 years

- cal BP [J]. Radiocarbon, 2013, 55(4): 1869 – 1887.
- [33] 刘青松, 邓成龙. 磁化率及其环境意义[J]. 地球物理学报, 2009, 52(4): 1041 – 1048.
- [34] Song Y, Hao Q, Ge J, *et al.* Quantitative relationships between magnetic enhancement of modern soils and climatic variables over the Chinese Loess Plateau [J]. Quaternary International, 2014, 334 – 335: 119 – 131.
- [35] Liu Q, Torrent J, Maher B A, *et al.* Quantifying grain size distribution of pedogenic magnetic particles in Chinese loess and its significance for pedogenesis [J]. Journal of Geophysical Research, 2005, 110(B11): B11102.
- [36] Zhou L P, Oldfield F, Wintle A G, *et al.* Partly pedogenic origin of magnetic variations in Chinese loess [J]. Nature, 1990, 346: 737 – 739.

Magnetic Susceptibility of Kunteyi Salt Lake during the Late Quaternary and Its Paleoclimatic Significance

ZENG Fang-ming¹, XIANG Shu-yuan²

- (1. Key Laboratory of Comprehensive and Highly Efficient Utilization of Salt Lake Resources, Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;
2. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan, 430074, China)

Abstract: Kunteyi salt lake is of significance for studying evolution of salt lake in the Qaidam Basin. Some researches on geochronology and geochemistry have been investigated for drilling core from the Kunteyi salt lake. However, due to large intervals of samples, more details of paleoclimatic information recorded in the drilling core from the Kunteyi salt lake are not recorded by geochemical proxies. Moreover, magnetic susceptibility in the Kunteyi salt lake is not reported until now. Here, we present AMS (accelerator mass spectrometry) ^{14}C ages and magnetic susceptibility in a 35 m depth core (ZK1402) from Kunteyi salt lake. The results show that: (1) The core is composed of salt layers and detrital layers. The value of low frequency magnetic susceptibility in salt layers is low, but it is high in detrital layers. Four periods of salt formation have been clearly implicated by variations of low frequency magnetic susceptibility. Variations of low frequency magnetic susceptibility and high frequency magnetic susceptibility are extremely similar. (2) Low frequency magnetic susceptibility and frequency-dependent magnetic susceptibility in percentage are negatively correlated. (3) The calibrated AMS ^{14}C ages at the depth of 9.6 m and 24.8 m in the ZK1402 core are $23\,333 \pm 255$ cal a BP and $31\,780 \pm 442$ cal a BP, respectively. However, the AMS ^{14}C age at the depth of 33.0 m is reversed, with an age of $19\,259 \pm 207$ cal a BP. ^{14}C ages at the depth of 24.8 m and 33.0 m are probably underestimated.

Key words: Qaidam Basin; Kunteyi salt lake; Magnetic susceptibility; Paleoclimate