

文章编号: 1000-0550(2014)01-0085-08

柴达木盆地西部尕斯库勒盐湖 280 ka 以来沉积特征^①

叶传永^{1 2} 王志明¹ 赵世勤¹ 郝伟林^{1 2} 林效宾^{1 2} 韩 军^{1 2}

(1. 核工业北京地质研究院 北京 100029; 2. 中核集团铀资源勘查与评价技术重点实验室 北京 100029)

摘要 以柴达木盆地西部尕斯库勒盐湖干盐滩 6 个钻孔岩芯为研究对象,从岩性特征、成盐期、沉积类型、沉积结构、沉积幅度等方面探讨尕斯库勒盐湖沉积特征。研究表明,自 280 ka 以来尕斯库勒盐湖经历相对湿润—干旱的气候波动和气候演化,在距今 43.6 ka 左右进入最干旱时期,可能属于柴达木盆地第二次成盐期;沉积结构层分异现象不明显;各成盐期平均沉积速率变化不大,平均沉积速率比新疆和内蒙古地区高;该湖沉积中心在盐湖的西北部。

关键词 尕斯库勒盐湖 岩性特征 成盐期 沉积类型 沉积结构

第一作者简介 叶传永 男 1984 年出生 博士研究生 水文地质 E-mail: chuanyongye@163.com

中图分类号 P588.2 **文献标识码** A

盐湖沉积,是盐湖(含一般湖泊)在形成演化过程中的重要地质作用,通常称为盐湖或湖泊的沉积作用。它是反映湖泊演化各阶段,包括淡水湖、微咸水湖、咸水湖到盐湖发展阶段的历史佐证^[1]。它包括盐湖碎屑物沉积、黏土矿物沉积和蒸发岩类矿物沉积。由于气候条件和古地理环境等因素的影响,使盐湖的沉积类型、成分、结构等方面具有很大的差异性^[2]。目前国内外很多盐湖已开展这方面研究^[3~14]。

柴达木盆地新生代成盐期有两次,第一次(早期)成盐作用发生在上新世,集中分布于盆地西部的中心地区;第二次(晚期)成盐作用发生在更新世晚期,集中于盆地的中部和新构造运动所形成的次一级构造盆地或洼地中。这两次成盐期的出现与世界性的干旱气候变异是一致的^[15]。尕斯库勒盐湖位于柴达木盆地西部,与整个柴达木盆地演化过程类似,从上新世开始就发生成盐作用,至今成盐作用仍在进行,现代湖盆是两次盐类物质长期演化的结果。因此,本文根据现场 6 个钻孔岩芯编录和室内分析资料,从沉积岩性特征、成盐期、沉积类型、沉积结构、沉积幅度等方面探讨尕斯库勒盐湖沉积特征对研究该湖乃至柴达木盆地演化过程是十分有意义的。

1 研究区概况

尕斯库勒盐湖位于柴达木盆地西部,地理坐标为 37°57′~38°11′N, 91°40′~90°10′E(图 1)。是一个以石盐、芒硝沉积为主的盐湖,卤水水化学类型属硫

酸镁亚型。盐湖发育于柴达木盆地西南部茫崖拗陷之尕斯库勒断陷中。盐湖北部是石油开采重镇花土沟,南部为祁漫塔格山,西部是以牧为主的阿拉尔乡,东部是青海油田开采区。区内交通方便,315 国道经过湖北部,到湖区亦有公路,对于开展钻探工作十分有利。湖区为典型的内陆干旱气候,表现为干燥多风、降雨稀少、蒸发强烈、昼夜温差大的特征。湖盆内年降水量 13.4 mm;年蒸发量为 2 929.6 mm,是年降水量的 220 倍左右,最大风速可达 40 m/s,风向主要为北西和北北西向。流入尕斯库勒盐湖的河流主要分布在西部和南部^[16]。

2010 年在尕斯库勒盐湖东部干盐滩实施 6 个钻孔,位置见图 1,编号、经纬度、孔深、取芯率见表 1。

表 1 尕斯库勒盐湖 6 个钻孔基本信息

Table 1 Basic information of about six drilling cores Gasikule Salt Lake

编号	坐标		孔深 /m	取芯率 /%
	X	Y		
ZK01	4 223 150	16 315 000	37.16	81.31
ZK02	4 220 000	16 315 000	46.00	90.11
ZK03	4 214 598	16 319 330	24.25	85.24
ZK04	4 219 978	16 321 797	25.59	88.28
ZK05	4 214 799	16 324 379	7.10	90.85
ZK06	4 218 990	16 319 132	102.69	83.98

2 盐湖沉积特征

2.1 盐湖岩芯岩性特征

尕斯库勒盐湖 6 个钻孔的岩性特征见图 2。岩

①核能开发科研究技术项目“含铀盐湖铀富集条件和资源评价与开发技术研究”(编号:地 HY230-1)资助
收稿日期:2012-10-28;收修改稿日期:2013-01-29

质为含粉砂的中粗粒石盐和含粉砂的淤泥、黏土互层,韵律变化频繁。总体趋势是由顶部至孔底,碎屑层比例增加,蒸发岩层比例减小。现将各个孔岩性特征分别介绍如下。

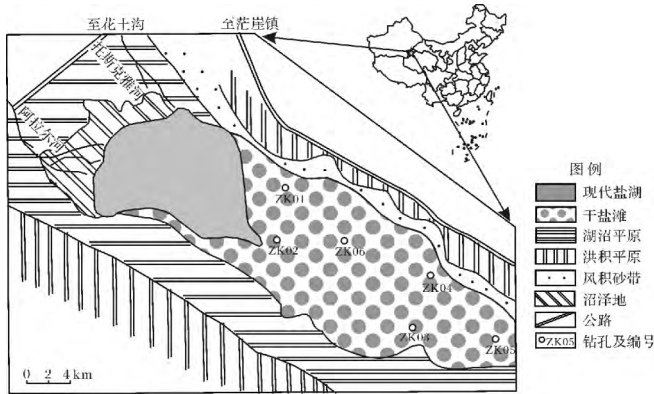


图1 尔斯库勒盐湖位置及钻孔布置图

Fig. 1 The location of the Gasikure Salt Lake and the position of drilling cores

ZK01 孔

从 0 ~ 22.04 m, 据其岩性特征不同划分为 8 个层段, 从上而下每层的具体岩性特征如下(图 2a):

(1) 0 ~ 2.43 m, 灰色含粉砂的中细粒石盐。粒状结构, 松散状, 石盐约占 95%, 粉砂占 5%。石盐为半自形—自形立方体晶形, 透明, 玻璃光泽; 粉砂分布不均, 上部 20 cm 较密集, 充填于石盐晶隙间。

(2) 2.43 ~ 3.59 m, 灰白色含石膏的中粒石盐。块状结构, 石盐约占 85%, 石膏占 15%。石盐为半自形—自形立方体晶形, 透明, 玻璃光泽; 石膏分布不均, 充填于石盐空隙中。

(3) 3.59 ~ 10.40 m, 灰色含泥砂的中粗粒石盐。块状结构, 石盐约占 90%, 泥砂占 10%。偶见大块石盐, 半自形—自形立方体晶形, 透明, 玻璃光泽; 泥砂分布较均匀, 充填于石盐晶隙间; 无色透明状粗—巨粒的泻利盐夹层分布在岩芯底部 40 cm。

(4) 10.40 ~ 20.70 m, 灰白色含碎屑、泻利盐的中粗粒石盐。块状结构, 石盐约占 75%, 泻利盐占 20%, 碎屑占 5%。偶见大块石盐; 泻利盐, 中粒, 贝壳状断口, 分布较均匀, 和石盐交互存在; 碎屑, 主要分布于上半部, 充填于石盐晶隙间。

(5) 20.70 ~ 21.02 m, 深灰色含石盐的泥岩。泥质结构, 泥岩约占 80%, 石盐约占 20%。泥岩, 质软, 可塑性好; 石盐, 透明, 玻璃光泽。

(6) 21.02 ~ 27.27 m, 黄褐色含石盐的黏土, 泥

质结构。黏土约占 82%, 石盐占 18%。黏土, 褐色, 黏性及可塑性好; 石盐分布不均, 主要分布于下部; 岩芯的最下部 70 cm 有少量石膏。

(7) 27.27 ~ 28.54 m, 灰褐色含黏土的中粗粒石盐。块状结构, 石盐约占 62%, 黏土占 38%。黏土分布不均匀, 上部较多。

(8) 28.54 ~ 37.16 m, 灰褐色黏土。泥质结构, 灰褐色, 黏性及可塑性好。

ZK02 孔

从 0 ~ 46.00 m, 据其岩性特征不同划分为 11 个层段, 从上而下每层的具体岩性特征如下(图 2b):

(1) 0 ~ 1.50 m, 黄褐色含泥沙及碎屑物的盐壳。石盐: 约占 75%, 白色, 自形—半自形, 粗粒; 泥沙及碎屑物: 约占 25%, 黄褐色, 粉末状, 极细粒。

(2) 1.50 ~ 13.51 m, 灰白色含泻利盐、泥、粉砂的石盐。石盐约占 90%; 泥和粉砂主要充填于石盐晶隙间, 有些还形成薄的泥质夹层(厚 0.1 ~ 1 cm); 泻利盐: 无色透明, 晶形不规则, 具有贝壳状断口, 味咸微苦, 主要分布在 3.5 ~ 5.5 m; 白色细条状石膏穿插其中。

(3) 13.51 ~ 14.06 m, 黄褐色含泥、粉砂的粗粒石盐层。石盐约占 80%; 泥、粉砂: 黄褐色, 细小, 充填在盐的晶体间。

(4) 14.06 ~ 22.21 m, 灰褐色含石膏、粉砂和泻利盐的中粗粒石盐。石盐约占 50%; 泻利盐: 约占 30%, 无色透明, 晶形不规则, 具有贝壳状断口, 味咸微苦; 粉砂: 约占 10%, 黄褐色, 细小, 充填盐晶隙间; 石膏: 约占 10%, 粉末状。

(5) 22.21 ~ 23.11 m, 灰褐色含泻利盐、石膏的黏土。黏土: 约占 70%, 灰褐色; 石膏: 约占 20%, 白色, 粉末状或条带状分布在黏土中; 泻利盐: 约占 10%, 中粒, 自形, 主要分布在岩芯的中部。

(6) 23.11 ~ 23.71 m, 灰色含粉砂的中粒石盐。石盐: 约占 90%; 粉砂: 约占 10%, 黄褐色, 细小, 充填于石盐晶隙。

(7) 23.71 ~ 28.40 m, 灰色含石盐、石膏、粉砂的黏土。黏土: 约占 65%, 灰色; 粉砂: 约占 15%, 粒径 1 ~ 2 cm; 石膏: 10%, 白色, 条带状分布在黏土中; 石盐: 约占 10%, 细粒, 零星出现在岩芯中。

(8) 28.40 ~ 29.53 m, 杂色细砂。砂粒(粒径 0.1 ~ 0.15 cm) 结构松散粒状, 孔隙发育, 含水。

(9) 29.53 ~ 35.46 m, 灰色含石盐、石膏、粉砂的黏土。黏土: 约占 70%, 灰色; 粉砂: 约占 15%, 粒径

1~2 cm; 石膏: 10% ,白色 条带状分布在黏土中; 石盐: 约占 5% 细粒 零星出现在岩芯的中部。

(10) 35.46~37.75 m ,黑色含黏土的石盐和黑色含石盐的黏土互层。黏土: 约占 50% ,黑色; 石盐: 约占 50% 细粒—中粒。夹层交叉出现。

(11) 37.75~46.00 m ,灰白色含泻利盐、黏土的中粒石盐。石盐: 约占 50%; 黏土: 约占 45% ,灰色; 泻利盐: 约占 5% ,无色透明 ,晶形不规则 ,具有贝壳状断口 ,充填于石盐晶隙中。

ZK03 孔

从 0~24.25 m ,据其岩性特征不同划分为 5 个层段 ,从上而下每层的具体岩性特征如下(图 2c):

(1) 0~2.03 m ,黄褐色含尘土和粉砂的细粒石盐。石盐: 多晶聚集块状结构 ,约占 80%; 尘土、粉砂 黄褐色 粉、细粒 不均匀地充填于石盐晶隙间 约占 20%。

(2) 2.03~9.33 m ,黄褐色含泥质粉砂的中粗粒石盐。石盐约占 90%; 泥、粉砂: 黄褐色 ,粉细微粒状 较均匀地充填于石盐晶隙间 约占 10%。岩芯顶部 2 cm 为灰白色含细粒石盐的粉砂层 ,石盐约占 5%; 底部 3 cm 为灰黑色含黏土的中粗粒石盐。

(3) 9.33~12.71 m ,含粉砂、黏土的泥膏岩层。泥膏岩: 灰白和灰褐色相间 ,细腻、块状结构 ,石膏和泥质物各约占 50%; 黏土: 灰黑色 ,细腻、板状 ,约占 25%; 粉砂: 黄褐色 ,粒细 ,约占 20%; 石膏: 白色 ,细 ,主要分布在前后两端 ,中间较少; 黏土: 灰黑色 ,黏性较强 ,主要分布于中前部; 粉砂和石膏分布类似。

(4) 12.71~17.04 m ,灰褐色黏土层黏土: 细腻光滑 板状; 上半部分偶见黄土沉积薄层。

(5) 17.04~24.25 m ,灰褐色含粉砂质的黏土。黏土: 细腻、光滑、板状 ,约占 70%; 粉砂: 黄褐色 ,粒细 ,分布不均匀 ,主要分布于本段岩芯的后面 4.65 m 处; 约占 30%。

ZK04 孔

从 0~25.59 m ,据其岩性特征不同划分为 6 个层段 ,从上而下每层的具体岩性特征如下(图 2d):

(1) 0~2.00 m ,黄褐色含砂土的盐壳。石盐约占 85%; 砂土: 黄褐色 约占 15% 均匀分布在岩芯中。

(2) 2.00~12.09 m ,灰褐色含黏土的石盐。石盐约占 95%; 黏土: 约占 5% 褐色 填充在石盐间隙中。

(3) 12.09~23.09 m ,灰色含泻利盐、泥膏岩、泥质夹层的石盐。石盐约占 85%; 泥质夹层: 单层厚 0.5 cm ,共 4 层; 泥膏薄层: 单层厚约 0.1~0.2 cm ,

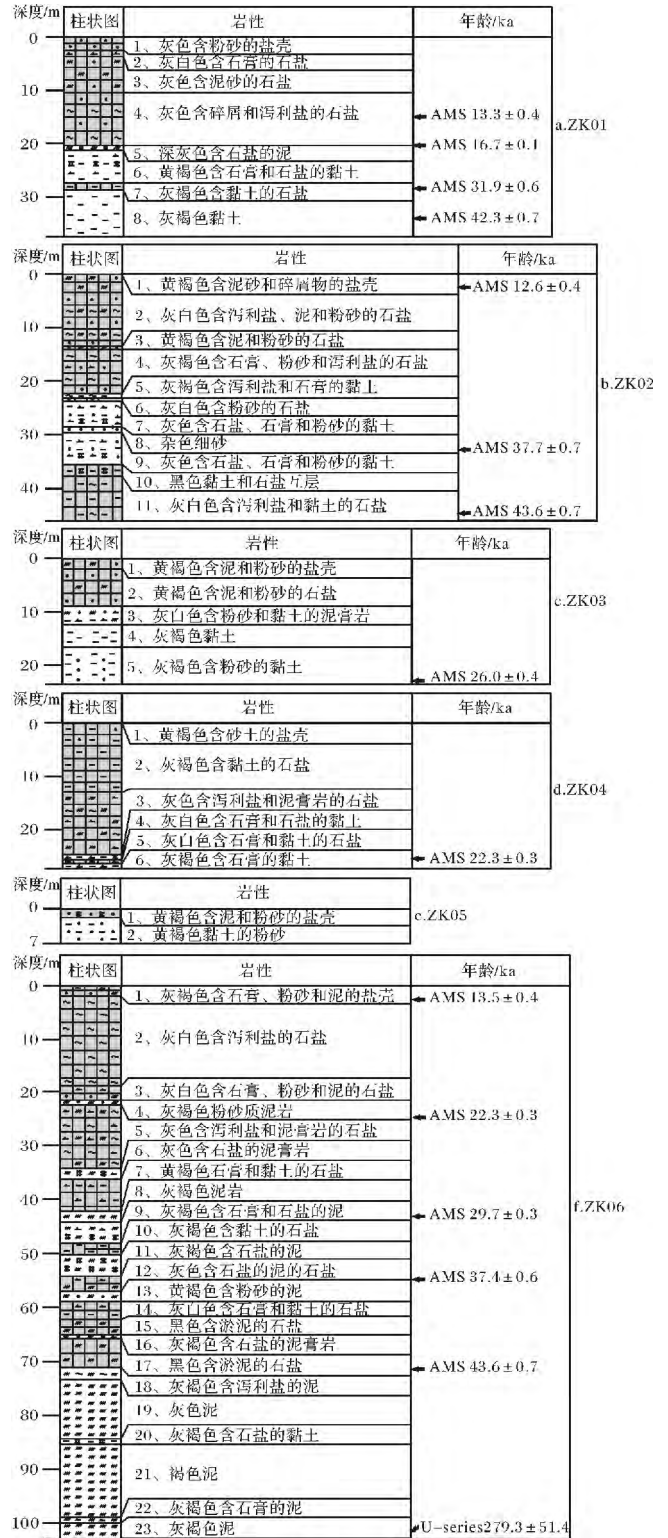


图 2 杂斯库勒盐湖 6 个钻孔岩性特征及年龄 (图例同图 4)
Fig. 2 The main lithologic characters and sedimentary ages of 6 cores (the legend is the same as in Fig. 4)

呈白色条带; 泻利盐: 无色透明 ,贝壳状断口 块状体 ,大小不一 约占 5%。

(4) 23.09 ~ 24.09 m, 灰白色含石膏夹层、石盐的黏土。黏土: 约占 50%, 褐色, 主要分布于岩芯中下段, 夹有石膏薄层; 石盐: 约占 40%, 主要分布在岩芯上段; 石膏夹层: 约占 10%, 灰白色, 与黏土互层产出, 厚约 1 ~ 2 cm。

(5) 24.09 ~ 24.69 m, 灰白色含石膏、黏土的石盐。石盐约占 50%; 黏土: 约占 40%, 与石盐互层产出, 厚约 2 ~ 4 cm; 石膏: 约占 10%, 填充在石盐和黏土互层中。

(6) 24.69 ~ 25.59 m, 灰褐色含石膏的黏土。黏土: 灰褐色, 约占 90%; 石膏: 白色, 10%, 与黏土互层产出。

ZK05 孔

从 0 ~ 7.00 m 据其岩性特征不同划分为 2 个层段, 从上而下每层的具体岩性特征如下(图 2e):

(1) 0 ~ 0.40 m, 黄褐色含粉砂、石盐的黏土。黏土: 黄褐色, 约占 70%; 石盐: 白色, 约占 20%, 粉砂: 细粒—中细粒, 和黏土混合在一起, 约占 10%。

(2) 0.40 ~ 7.00 m, 黄褐色含黏土的粉砂。

ZK06 钻孔岩性特征见图 2f, 详细描述将另文发表。

2.2 盐湖成盐期

根据钻孔垂直岩性分布特性, 分别选取 ZK01、ZK02、ZK03、ZK04 和 ZK06 钻孔黏土样品测定 ^{14}C 年龄。样品在北京大学考古文博学院 AMS ^{14}C 年代学综合实验室完成, 共获得 14 个 ^{14}C 年龄数据并进行了日历年龄校正(表 2)。

ZK05 钻孔由于未取到合适样品, 未进行年代学

分析。ZK06 钻孔孔底年龄已明显超出 AMS ^{14}C 测定范围, 而且黄麒等 2007 年用全样溶解等时线不平衡铀系法测定了位于该孔西边约 100 m 的 ZK2605 沉积物中自生碳酸盐年龄, 通过 ZK2605 钻孔 109.7 m 处 302.0 ± 56 ka 和 ZK06 钻孔 71.8 m 处 43.6 ± 0.7 ka 线性拟合得到 ZK06 钻孔 102.69 m 年龄为 279.3 ± 51.4 ka。该孔底部基本涵盖了更新世晚期以来的时间段, 沉积物反映的是柴达木盆地第二成盐期以来的沉积作用。

尕斯库勒盐湖湖区自 280 ka 以来大约经历相对湿润—干旱的气候波动和气候演化, 在距今 43.6 ka 左右进入最干旱时期。在未成盐和成盐两个阶段中, 沉积了物性上具有明显差异的沉积物, 前者以黏土、碎屑沉积为主, 后者以盐类化学沉积为主, 它们代表了两种不同的沉积环境, 也是在气候逐渐变干的条件下, 湖泊长期演化的结果。

2.3 盐湖沉积类型

盐湖沉积类型分为盐湖碎屑沉积、盐湖黏土—淤泥沉积、盐湖蒸发岩沉积三种沉积类型^[1, 2]。每种沉积类型都有它特定的形成演化条件, 极其相对应的古地理环境, 尤其是在物质来源、岩石矿物组成、物理化学条件、古气候环境、沉积韵律、沉积作用等内容上, 均有各自特有的沉积环境和沉积特征。将尕斯库勒盐湖的沉积类型介绍如下:

碎屑沉积主要是湖区碎屑沉积, 岩性较简单, 主要为粉砂岩, 分布不广, 基本上分布在岩芯的上部。

黏土—淤泥沉积分布较广, 主要分布在岩芯的中

表 2 尕斯库勒盐湖 4 个钻孔 ^{14}C 年龄测定与日历年龄校正

Table 2 ^{14}C dating and calendardating calibration of 4 cores in Gasikule Salt Lake

样品号	被测物质	样品深度/m	实验室名称	^{14}C 年龄/a B. P.	校正日历年龄/cal a B. P.	校正方法
ZK01-1	黏土	15.11	北京大学 ^{14}C 年代实验室	$12\ 760 \pm 45$	$13\ 291 \pm 361$	文献[17]
ZK01-2	同上	20.30	同上	$15\ 345 \pm 50$	$16\ 679 \pm 135$	同上
ZK01-3	同上	28.47	同上	$29\ 150 \pm 150$	$31\ 949 \pm 602$	同上
ZK01-4	同上	34.23	同上	$40\ 380 \pm 340$	$42\ 293 \pm 654$	同上
ZK02-1	同上	2.53	同上	$12\ 405 \pm 45$	$12\ 582 \pm 414$	同上
ZK02-2	同上	33.44	同上	$34\ 650 \pm 190$	$37\ 718 \pm 733$	同上
ZK02-3	同上	44.90	同上	$42\ 210 \pm 390$	$43\ 559 \pm 663$	同上
ZK03-1	同上	24.05	同上	$23\ 020 \pm 130$	$26\ 018 \pm 443$	同上
ZK04-1	同上	23.57	同上	$20\ 310 \pm 90$	$22\ 249 \pm 292$	同上
ZK06-1	同上	3.29	同上	$12\ 875 \pm 45$	$13\ 506 \pm 448$	同上
ZK06-2	同上	25.40	同上	$20\ 350 \pm 70$	$22\ 271 \pm 284$	同上
ZK06-3	同上	43.22	同上	$27\ 470 \pm 110$	$29\ 654 \pm 296$	同上
ZK06-4	同上	55.29	同上	$34\ 280 \pm 170$	$37\ 366 \pm 623$	同上
ZK06-5	同上	71.8	同上	$42\ 260 \pm 390$	$43\ 593 \pm 665$	同上



图 3 尕斯库勒盐湖蒸发岩形态

Fig. 3 The morphology of evaporate in Gasikure Salt Lake

下部,一般同蒸发岩沉积形成交替相间的互层。

蒸发岩沉积分布广,各个钻孔的顶部都出现盐类沉积,但是到了下部,一般与黏土层交替相间。盐类沉积主要为石盐、石膏和泻利盐。石盐多为白色—灰白色,中细粒—中粗粒—粗粒,结构由松散逐渐过渡到集结、块状或大块状多呈厚层状,成层较稳定;石膏一般呈透镜状或是呈星点碎片混杂在石盐或泥岩沉积层;泻利盐 玻璃光泽 纤维状 集合体具丝绢光泽,断口贝壳状,常与石盐或泥岩混杂。尕斯库勒盐湖石盐、石膏、泻利盐形状见图 3。

综合上述 尕斯库勒盐湖沉积类型为粉砂质碎屑沉积、黏土—淤泥沉积、泻利盐—石膏—石盐型蒸发岩类型。

2.4 盐湖沉积结构

沉积结构包括碎屑(粉砂)、黏土(淤泥)沉积和蒸发岩沉积三种沉积结构。根据岩性特征 尕斯库勒盐湖沉积结构分为黏土(淤泥)沉积和蒸发岩沉积两种沉积结构,局部含有粉砂沉积(图 4),与内蒙古盐湖、新疆盐湖的沉积结构有所不同。现分别介绍如下:

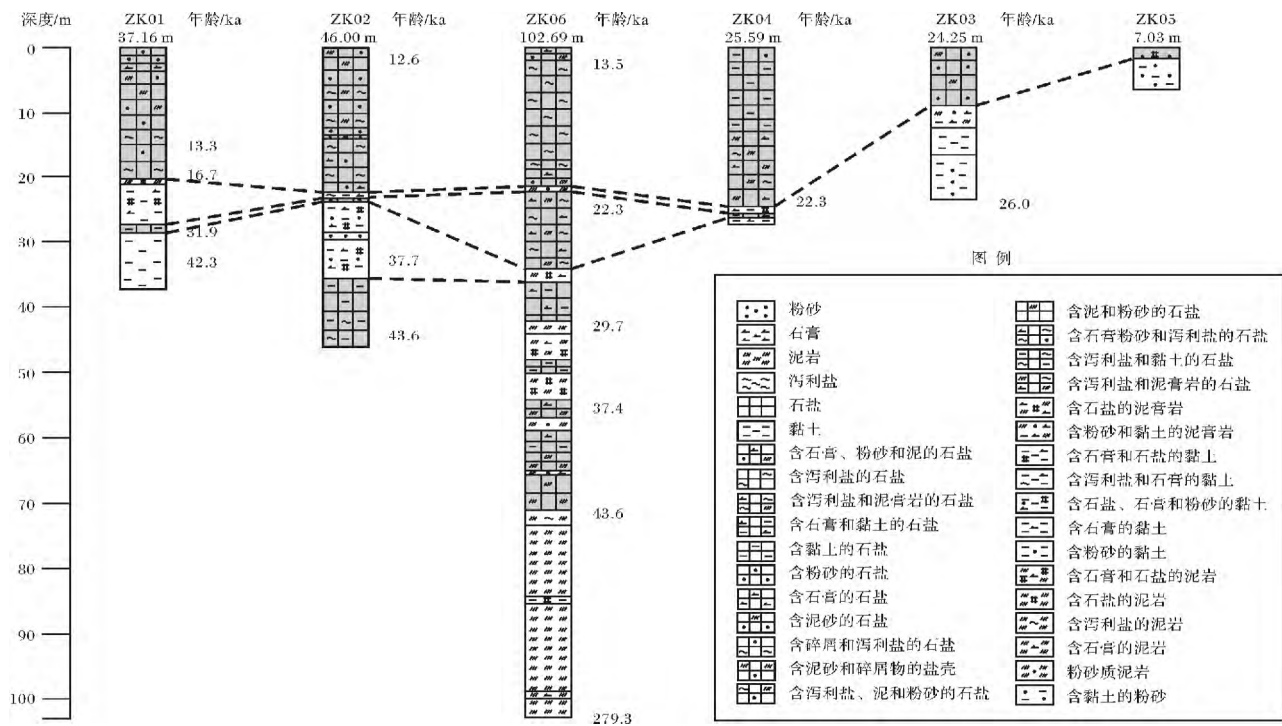


图 4 尕斯库勒盐湖晚更新世以来盐类沉积剖面

Fig. 4 The salt sedimentary profile in Gasikure Salt Lake from Late Pleistocene

黏土(淤泥)沉积,分布于湖相沉积中下部,属于盐湖或盐湖盆地形成演化中期发展阶段—在湖相粗碎屑岩沉积之后和盐类化学沉积之前所形成的沉积物。从岩性上看,黏土矿物以伊利石为主,次为绿泥石,存在高岭石。ZK06 钻孔 59.06 ~ 71.22 层段出现含淤泥的石盐,灰黑色淤泥并且有 H_2S 气味,主要是淤泥沉积物中含有大量的有机物质引起的。

蒸发岩类沉积分布于沉积的上部,属于湖泊发展后期阶段的产物。因为尕斯库勒盐湖位于柴达木盆地西南缘茫崖坳陷之尕斯库勒断陷盆地中,而且尕斯库勒断陷由大断裂构成边框,区内断裂多为老断裂,深部断距大,向底部逐渐消失^[16]。因此,该盐湖经过较长时间的演化过程和成盐分异作用,盐类沉积结构清楚,成层明显,沉积厚度较大,形成了规模较大的盐类沉积。

碎屑(粉砂)沉积物少,位于沉积上部,并且夹杂在黏土或石盐当中。

2.5 盐湖沉积幅度

尕斯库勒盐湖 6 个钻孔蒸发岩厚度、蒸发岩厚度占岩芯长度比例、盐类矿物见表 3。结合钻孔位置图(图 1),可见干盐滩上的蒸发岩沉积层距离现代盐湖湖面(盐湖西部)越近,蒸发岩层数越多、厚度越大、盐矿种类也越多。说明该湖自最下层盐层形成以来,沉积中心在盐湖的西北部,即现代盐湖湖面附近。总体而言,该湖盐类沉积幅度同柴达木盆地西部盐湖具有地槽型—多旋回沉积特征是完全一致的。

表 3 尕斯库勒盐湖 6 个钻孔蒸发岩特征

Table 3 The character of evaporate in Gasikule Salt Lake

钻孔号	蒸发岩层数	蒸发岩厚度	蒸发岩厚度/岩芯长度/%	盐类矿物
ZK01	2	21.59	58.10	泻利盐、石膏、石盐
ZK02	3	33.35	72.50	泻利盐、石膏、石盐
ZK03	1	9.33	38.47	石膏、石盐
ZK04	2	23.69	92.58	石膏、石盐
ZK05	1	0.40	5.69	石盐
ZK06	7	55.37	53.92	泻利盐、石膏、石盐

ZK01、ZK02、ZK04、ZK06 四个钻孔最顶部蒸发岩层厚度大约有 20 m, ZK03 顶部石盐层较浅,约为 10 m, ZK05 钻孔顶部没有石盐层,仅有少量石盐参杂在粉砂中。结合钻孔位置(图 1),说明自晚更新世以来盐湖的沉积中心在西北部,靠近现在的湖表,与沈振枢等人 1993 年^[18]的研究结果一致。

ZK06 钻孔最底层的沉积年龄值约为 280 ka,属

于更新世晚期时间段,钻孔未能钻到上新世成盐期沉积物。根据盐湖沉积幅度和成盐作用时间分析,将晚更新世以来该盐湖的成盐期进行细分,共划分成 7 个成盐期和 7 个相对潮湿期。各成盐期的深度、沉积厚度、年限、平均沉积速率见表 4。

表 4 尕斯库勒盐湖晚更新世以来各成盐期沉降幅度

Table 4 Each salified periods' subsidence amplitude in Gasikule Salt Lake from Late Pleistocene

成盐期	深度/m	沉积厚度/m	年限/a	平均沉积速率/mm/a
第一成盐期	0.00 ~ 21.40	21.40	8.52	2.513
第二成盐期	22.25 ~ 34.01	11.76	4.83	2.435
第三成盐期	36.01 ~ 42.01	6.00	2.49	2.408
第四成盐期	48.01 ~ 50.01	2.00	1.28	1.568
第五成盐期	54.40 ~ 57.00	2.60	1.21	2.149
第六成盐期	59.06 ~ 65.23	6.17	2.32	2.663
第七成盐期	65.78 ~ 71.22	5.44	2.04	2.663

自孔底往上,沉积厚度有递增的趋势。第六、七成盐期的沉积速率比上面略高,可能是原因是晚更新世前期当地气候较温热,降水量较大,碎屑物质来源较充足。然后随着时间推移,气候愈加干燥,蒸发愈加强烈,碎屑物质来源减少,该区孢粉研究也说明了从晚更新世以来气候越来越干旱(另文发表),造成了沉积速率有些放缓。但是纵观整个钻孔,各成盐期平均沉积速率变化不大,保持在 2.5 mm/a 左右。

3 讨论

(1) 尕斯库勒盐湖在 102.69 m 深度的范围内,没有单独的碳酸盐盐层和硫酸盐盐层出现。碳酸盐只是混入粉砂和黏土沉积中,形成广泛分布的含碳酸盐的粉砂和黏土;硫酸盐主要是以泻利盐和石膏矿物形式出现,石膏一般和粉砂、泥、石盐夹杂在一起,泻利盐和石膏、泥、石盐、黏土夹杂在一起,二者都没有单独成层,只有石盐单独成层。换言之,尕斯库勒盐湖蒸发岩沉积是以石盐沉积为主,石膏和泻利盐以伴生组分出现。因此尕斯库勒盐湖蒸发岩层和黏土—淤泥沉积层分异现象不明显。

(2) 尕斯库勒盐湖最底部成层的石盐层是在晚更新世末期与全新世初期大约距今 43.6 ka 左右形成的。43.6 ka 之前有少量、断续的石盐和石膏碎屑出现。在 99.09 ~ 100.09 m 之间出现灰褐色含石膏的泥岩,石膏约占 20%,呈条纹状不均匀得分布在泥岩间隙中。因此,从 109.09 m 开始是石盐析出阶段,与黄麒等^[15]研

究的 ZK2605 钻孔的石盐析出的深度相当。

(3) 据前人研究结果表明,新疆地区盐湖的平均沉积速率为 0.5 mm/a,内蒙古盐湖的平均沉积速率为 1.0 mm/a。可见尕斯库勒盐湖平均沉积速率约为新疆地区的 5 倍、内蒙古地区的 2.5 倍。这种沉积幅度的差别,可能是因为自更新世晚期以来柴达木盆地西部地区的气候和自然环境比内蒙古和新疆地区更为干燥,风沙影响更大,荒漠化现象更严重所造成的。

4 结论

(1) 尕斯库勒盐湖岩性为含粉砂的中粗粒石盐和含粉砂的淤泥、黏土互层,韵律变化频繁。由顶部至孔底,粉砂碎屑层比例增加,蒸发岩层比例减小。

(2) 自 280 ka 以来,尕斯库勒盐湖经历相对湿润—干旱的气候波动和气候演化,而且在距今 43.6 ka 左右进入最干旱时期,沉积物反映的是柴达木盆地第二成盐期以来的沉积作用。

(3) 尕斯库勒盐湖沉积类型为粉砂质碎屑沉积、黏土—淤泥沉积、泻利盐—石膏—石盐型蒸发岩类型。沉积结构分为黏土(淤泥)沉积和蒸发岩沉积两种沉积结构,局部含有粉砂沉积,沉积结构层分异现象不明显。

(4) 各成盐期平均沉积速率变化不大,保持在 2.5 mm/a 左右。

(5) 湖沉积中心在盐湖的西北部,靠近现在湖表。

参考文献(References)

- 1 郑喜玉. 新疆盐湖[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 99-117 [Zheng Xiyu. Salt Lakes in Xinjiang[M]. Beijing: Science Press, 1995: 99-117]
- 2 郑喜玉. 内蒙古盐湖[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 163-190 [Zheng Xiyu. Salt Lakes in Nei Mongol(Inner Mongolia)[M]. Beijing: Science Press, 1992: 163-190]
- 3 顾兆炎, 赵慧敏, 王振海, 等. 末次间冰期以来新疆巴里坤湖蒸发岩的沉积环境记录[J]. 第四纪研究, 1998, (4): 328-334 [Gu Zhaoyan, Zhao Huimin, Wang Zhenhai, et al. Evaporation salt records of environmental response to climate change in Bankol Lake Basin, northwestern China[J]. Quaternary Sciences, 1998, (4): 328-334]
- 4 侯献华, 郑绵平, 杨振京, 等. 柴达木盆地大浪滩 130 ka BP 以来的孢粉组合与古气候[J]. 干旱区地理, 2011, 34(2): 243-251 [Hou Xianhua, Zheng Mianping, Yang Zhenjing, et al. Spore-pollen assemblage and palaeoenvironment since 130 ka BP in Dalangtan Lake of Qaidam Basin[J]. Arid Land Geography, 2011, 34(2): 243-251]
- 5 侯献华, 郑绵平, 张成君, 等. 柴达木盆地西部大浪滩 140 ka 以来沉积特征与古环境[J]. 地质学报, 2010, 84(11): 1623-1630 [Hou Xianhua, Zheng Mianping, Zhang Chengjun, et al. Sedimentary characteristics and paleoenvironment of Dalangtan Lake in Western Qaidam Basin, since 140 ka BP[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(11): 1623-1630]
- 6 刘成林, 焦鹏程, 陈永志, 等. 罗布泊盐湖晚更新世末期芒硝岩沉积及其古气候意义[J]. 地球学报, 2008, 29(4): 397-404 [Liu Chenglin, Jiao Pengcheng, Chen Yongzhi, et al. Late Pleistocene mirabilite deposition in the Lop Nur Saline Lake, Xinjiang and its paleoclimate implications[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2008, 29(4): 397-404]
- 7 旁小鹏, 韩凤清, 吕亚平, 等. 可可西里盐湖及其沉积特征初步研究[J]. 盐湖研究, 2010, 18(1): 9-14 [Pang Xiaopeng, Han Fengqing, Lü Yaping, et al. A preliminary study of salt lakes and their sedimentary characteristics in Hoh Xil region[J]. Journal of Salt Lake Research, 2010, 18(1): 9-14]
- 8 张辉, 韩凤清, 梁青生. 柴达木盆地东台吉乃尔盐湖盐类沉积特征及成盐年代的初步研究[J]. 化工矿产地质, 2001, 23(2): 83-85 [Zhang Hui, Han Fengqing, Liang Qingsheng. Preliminary studies on deposition characters and ages of the salt sediments of Dongtajinerier Salt Lake in Qinghai province[J]. Geology of Chemical Minerals, 2001, 23(2): 83-85]
- 9 朱立平, 王君波, 林晓, 等. 西藏纳木错深水湖芯反映的 8.4 ka 以来气候环境变化第四纪盐湖沉积与古环境[J]. 第四纪研究, 2007, 27(4): 588-597 [Zhu Liping, Wang Junbo, Lin Xiao, et al. Environmental changes reflected by core sediments since 8.4ka in Nam Co, central Tibet of China[J]. Quaternary Sciences, 2007, 27(4): 588-597]
- 10 郑绵平, 赵元艺, 刘俊英. 第四纪盐湖沉积与古环境[J]. 第四纪研究, 1998, (4): 297-307 [Zheng Mianping, Zhao Yuanyi, Liu Junying. Quaternary saline lake deposition and paleoclimate[J]. Quaternary Sciences, 1998, (4): 297-307]
- 11 Roy P D, Nagar Y C, Juyal N, et al. Geochemical signatures of Late Holocene paleo-hydrological changes from Phulera and Pokharan saline playas near the eastern and western margins of the Thar Desert, India[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2009, 34(3): 275-286
- 12 Sinha R, Raymahashay. Evaporite mineralogy and geochemical evolution of the Sambhar Salt Lake, Rajasthan, India[J]. Sedimentary Geology, 2004, 166: 59-71
- 13 Yan J P, Hinderer M, Einsele G. Geochemical evolution of closed-basin lakes: general model and application to Lakes Qinghai and Turkana[J]. Sedimentary Geology, 2002, 148: 105-122
- 14 Zanon G, Piovano E, Ariztegui D, et al. A modern subtropical playa complex: Salina de Ambargasta, central Argentina[J]. Journal of South American Earth Sciences, 2011
- 15 张彭熹. 柴达木盆地盐湖[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1-13 [Zhang Pengxi. Salt Lakes in Qaidam Basin[M]. Beijing: Science Press, 1987: 1-13]
- 16 黄麒. 柴达木盆地盐湖演化与古气候波动[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 52-90 [Huang Qi. Evolution of Salt Lakes and Palaeoclimate Fluctuation in Qaidam Basin[M]. Beijing: Science Press, 2007: 52-90]
- 17 Stuiver M, Reiner P J. Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.

- 0 ^{14}C age calibration program[J]. Radiocarbon, 1993, 35(1): 215-230
- 18 沈振枢. 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: 120-125 [Shen Zhenshu. Stratigraphic Classification and Sedimentary Environment of the Quaternary Salt-bearing Series of Salt Lakes in Qaidam Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 120-125]

Sedimentary Characteristics Since 280 ka B. P. in Gasikule Salt Lake in Western Qaidam Basin

YE Chuan-yong^{1 2} WANG Zhi-ming¹ ZHAO Shi-qin¹ HAO Wei-lin^{1 2}
LIN Xiao-bin^{1 2} HAN Jun^{1 2}

(1. Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029;

2. Key Laboratory of Uranium Resources Exploration and Evaluation Technology of CNNC, Beijing 100029)

Abstract: Qaidam Basin develops nearly continuous, integrative and ultra-thick Quaternary sediment sequences. Salt lake deposits are the product of the physic-geographical and geological environments. This paper discussed the sedimentary characteristics of Gasikule Salt Lake where located in the northwestern margin of Qaidam Basin. Brine in the lake belong to magnesium sulphate subtype and halite was the mainly chemical sedimentation. From the studies on cores from 6 boreholes which distributed in the east playa area by the on-the-spot documentation and indoor studies, the lithological features, salinization periods, sedimentary type, sedimentary structure and sedimentary amplitude have been studied. The research work will be of great importance to study the evolution process of Qaidam basin and Gasikule Salt Lake.

The results revealed that the sedimentary sequences of silt-bearing medium and coarse halite and silt-bearing mud and clay were the main lithological features and sedimentary rhythm changes frequently in Gasikule Salt Lake. The overall trend is that detrital sediment ratio gradually increased from top to bottom and evaporate salt layer decreased in boreholes.

Sedimentary characteristics showed obvious difference in the non-salinization phase and salinization phase. These represent two different sedimentary environments, and also indicate the result of long-term salt lake evolution with gradually becoming dry climate conditions. The sedimentary types can be divided into three kinds of silt clastic sediments, clay and silt deposition, and evaporates of epsomite gypsum halite respectively. The detrital sediments in Gasikule Salt Lake district showed relatively simple in lithologic features with mainly silt sandstone distributed in the upper portion of the core. Clay and mud-bearing sediments were widespread in the middle-lower portion of the core and mostly occurred in interstratified layers with evaporate deposition. But evaporate deposition was widely distributed at the top of each boreholes. The evaporite deposition was mainly halite while gypsum and epsomite were occurred as associated component in sedimentation sequence in Gasikule Salt Lake area. Therefore, there exist not obvious variations between evaporite layer and clay-silt layers. The sedimentary amplitude of Gasikule Salt Lake was completely consistent with geosynclines-polycyclic sedimentary characteristics in western Qaidam basin. According to the salt lake sedimentary amplitude and duration of salinization time, the salinization deposition period had been divided into seven stage of saline deposition and seven relative humid epoch since Late Pleistocene. Average deposition rate in each period of saline sedimentation had little variation and retained in around 2.5mm/a. It is thus evident that Gasikule Salt Lake deposition rate on average is about 5 times than that of Xinjiang region, and 2.5 times of Inner Mongolia region. The difference of the deposition rate may be contributed by the dry climate and desertification in Western Qaidam Basin than that of in Inner Mongolia and Xinjiang region since Late Pleistocene.

Key words: Gasikule Salt Lake; lithologic feature; salinization period; sedimentary type; sedimentary structure