

# 库车前陆盆地古近系蒸发岩岩石学、 矿物学与成钾环境分析 ——以 DZK01 孔岩芯为例

邢万里<sup>1,2)</sup>, 刘成林<sup>2)</sup>, 王安建<sup>2)</sup>, 焦鹏程<sup>2)</sup>, 李国武<sup>3)</sup>, 赵宪福<sup>3)</sup>, 高 超<sup>3)</sup>

1)中国地质科学院, 北京 100037;

2)中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3)中国地质大学(北京), 北京 100083

**摘 要:** 库车盆地内古近系—新近系发育巨厚的蒸发岩沉积, 尤其是盆地的中部和西部盐层发育好, 厚度大, 局部盐层已暴露地表, 是找寻各种盐类矿床及钾盐的有利地区。DZK01 孔是近年来在库车盆地实施的一口以找钾为目的的科研探井。本文主要通过通过对钻孔古近系蒸发岩岩芯样品进行岩石学及矿物学特征研究, 进而对盆地成钾环境进行分析。DZK01 孔古近系蒸发岩以含泥砾石盐岩为主, 含泥砾石盐岩为构造成因, 是古盐湖高度浓缩的产物。盆地古近系蒸发岩以沉积石盐为主, 钻孔中含钾矿物为钾石膏, 钾石盐和光卤石, 同时含钾矿物的发现证明了库车盆地古盐湖可能达到钾盐析出阶段。通过样品分析可知, 库车盆地古近纪时期古盐湖沉积环境为封闭的浅湖沉积环境, 盐湖发育过程中有五次较大规模的淡化事件, 盐类物质得到很好的聚集, 具有良好的成钾环境。

**关键词:** 库车盆地; 岩石学; 矿物学; 成钾环境; 钾盐

中图分类号: P534.631; P588.247/04 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.05.06

## Analysis of Petrology, Mineralogy and K-forming Environment of Paleogene Evaporites in Kuqa Foreland Basin: A Case Study of Drill Hole DZK01

XING Wan-li<sup>1,2)</sup>, LIU Cheng-lin<sup>2)</sup>, WANG An-jian<sup>2)</sup>, JIAO Peng-cheng<sup>2)</sup>, LI Guo-wu<sup>3)</sup>,  
ZHAO Xian-fu<sup>3)</sup>, GAO Chao<sup>3)</sup>

1) Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3) China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083

**Abstract:** There are a lot of salty mineral resources in Paleogene-Neogene strata in Kuqa basin, especially in the central and western part. The Kuqa basin is one of the most favorable areas to find a variety of salty deposits. In recent years, Drill Hole DZK01 has been one of the scientific exploration drill holes in search for the resource of sylvite. The main purpose of this drill hole is to find out whether the Kuqa basin contains sylvite deposits or not. This paper mainly analyzed petrology, mineralogy, and potassium-forming environment of Paleogene evaporites in the basin. Salt rock containing mud conglomerates is the major lithology in Paleogene evaporites. Salt rock containing mud conglomerates is of tectonic origin and also a product of the highly concentrated saline lake. Halite

本文由国家“973”计划项目(编号: 2011CB403007)、中央地质勘查基金项目(编号: 200965004)和“十二五”国家科技支撑 305 项目课题(编号: 2011BAB06B06)联合资助。

收稿日期: 2013-05-27; 改回日期: 2013-06-24。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 邢万里, 男, 1986 年生。博士研究生。主要从事矿物学及矿产资源战略研究。E-mail: rock198699@163.com。

is the major mineral in Paleogene strata in Kuqa basin. There are three major kinds of K-bearing minerals in Drill Hole DZK01, i.e., syngenite, sylvite and carnallite, which indicates that the ancient saline lake had reached the high concentration degree. An analysis of samples shows that the ancient saline lake in Kuqa basin was in a closed and shallow sedimentary environment. There were five large-scale desalination events in the development of the saline lake, and therefore the salts were accumulated well, and Kuqa basin had a good K-forming environment.

**Key words:** Kuqa basin; petrology; mineralogy; potassium-forming environment; sylvite

库车盆地范围为:东经  $80^{\circ}28'44''$ — $84^{\circ}34'14''$ , 北纬  $41^{\circ}06'25''$ — $42^{\circ}20'38''$ , 总面积 25000 多  $\text{km}^2$ 。盆地内主要出露地层有二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系、第四系。盆地内古近系—新近系发育巨厚的蒸发岩沉积,尤其是盆地的中部和西部盐层发育好,厚度大,局部盐层已暴露地表,是找寻各种盐类矿床及钾盐的有利地区(刘成林等, 2013)。DZK01 孔是中国地质科学院矿产资源研究所承担中央地质勘查基金普查项目在库车盆地实施的一个钾盐科探井,本文主要通过对钻孔古近系蒸发岩岩芯进行岩石学及矿物学特征研究,进而对库车盆地成钾环境进行分析,为库车盆地找钾提供有利线索。

库车前陆盆地是塔里木盆地重要的中、新生代构造单元(贾承造, 1997),是一个与南天山造山带隆升和逆冲推覆密切相关、共轭的负向构造地貌单元,其北界为南天山南缘大断裂,南界则在不同时期不尽相同(田作基等, 1999)。库车前陆盆地主要为新生代期间响应于印度—青藏陆-陆碰撞形成(王良书等, 2003),青藏高原地壳缩短及在天山两侧所产生的挤压应力场逐渐向北扩展,使得南天山再次复活而隆升,形成再生前陆盆地(Avouac et al., 1993)。库车盆地自中生代以来经历了 6 次主要的古构造运动,它们分别是:印支运动、早燕山运动、晚燕山运动、早喜马拉雅运动、中喜马拉雅运动和晚喜马拉雅运动(曾联波等, 2004)。盆地内的构造单元自北向南依次划分为:北部单斜带,克拉苏—依奇克里克构造

带,拜城、阳霞凹陷,秋里塔格构造带,前缘隆起带(Graham et al., 1993; 曹守连等, 1994)。

库车盆地内古新—始新世主要沉积了一套海湾—泻湖的交替沉积物,渐新世泻湖逐渐趋于封闭,后被内陆盐湖沉积所代替,组成红色含盐碎屑建造。新近纪则为一套内陆盐湖相向咸化湖泊发展,最后被河湖沉积所代替,组成了红色碎屑建造。库车盆地新近系—古近系地层自上而下一般划分为:新近系的库车组、康村组、吉迪克组,古近系的苏维依组和库姆格列木群。

## 1 样品选取、实验仪器及实验方法

DZK01 孔位于拜城县托克逊乡努尔巴格北 10.5 km、克拉苏河东 3.5 km 处冲沟边缘。其所处的构造位置位于喀桑托开逆冲断裂上盘。本文主要研究的蒸发岩段位于古近系库姆格列木群。选取蒸发岩岩芯样品磨成薄片,在镜下对蒸发岩的岩石学及矿物学特征进行观察分析。将 DZK01 孔蒸发岩岩芯按半米的间隔等距离取样,将取得的 266 块岩芯样品缩分后磨成 200 目,进行 X 射线粉晶衍射物相鉴定,分析测试由中国地质大学(北京)科学研究院完成,使用仪器为日本 Rigaku 公司 D/max-rA12KW 旋转阳极 X 射线衍射仪,转靶为 Cu 靶,扫描角度  $2\theta$  为  $3^{\circ}$ ~ $70^{\circ}$ ,扫描步长为  $8^{\circ}/\text{min}$ 。使用 JADE 软件对衍射结果进行矿物半定量分析,半定量分析原理及标准采用矿物 RIR 值法进行分析(黄继武, 2006)。选取 18 块具有代表性的蒸发岩岩芯样品进行扫描电镜观察,从微观的角度对蒸发岩矿物进行形态观察和能谱鉴定,样品分析测试由中国石油勘探开发研究院石油地质实验研究中心完成,使用扫描电子显微镜/能谱仪,扫描电镜型号为 TESCAN-VEGA\\LMU,能谱仪型号为 Inca。

## 2 岩石学和矿物学特征

### 2.1 岩石学特征分析

通过 X 射线粉晶衍射分析结合 DZK01 孔岩芯手标本,将库车盆地古近系蒸发岩岩性划分为含泥砾石盐岩、含膏含泥砾石盐岩、泥砾质石盐岩、含盐泥岩、膏盐质泥岩、含膏含盐泥岩、灰绿色粉砂

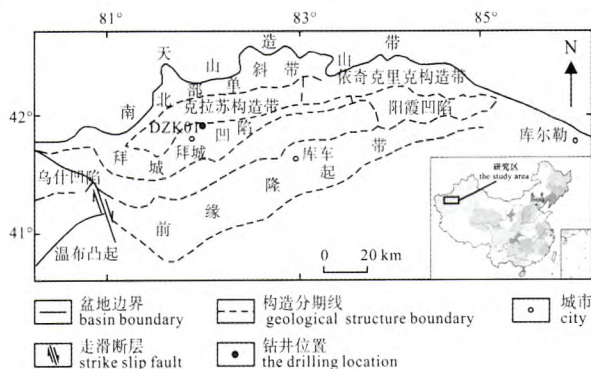


图 1 库车盆地构造简图(据曹养同, 2010 修改)

Fig. 1 Sketch structure geological map of the Kuqa basin (modified after CAO, 2010)



表 1 新疆库车盆地新生界主要出露地层及岩性(曹养同, 2010)  
Table 1 Main Cenozoic strata and lithology in the Kuqa basin(after CAO, 2010)

| 地层单位 |     |         |        | 岩性                                   | 厚度       |
|------|-----|---------|--------|--------------------------------------|----------|
| 界    | 系   | 统       | 组      |                                      |          |
| 新生界  | 第四系 | 全新统     |        | 现代沉积                                 | <1500 m  |
|      |     | 更新统     | 西域组    |                                      |          |
|      | 新近系 | 上新统     | 库车组    | 杂色砾岩, 紫红、灰绿含砾砂岩                      | 约 3000 m |
|      |     |         | 康村组    | 褐红色泥岩, 巨厚杂色砾岩、灰白细砂岩                  |          |
|      |     | 中新统     | 吉迪克组   | 紫红色含砾砂岩、灰绿色粉砂岩、泥岩、巨厚盐岩和石膏            |          |
|      | 古近系 | 渐新统     | 苏维依组   | 灰绿色粉砂岩, 泥岩少量石膏                       | 约 2000 m |
|      |     | 始新统一古新统 | 库姆格列木群 | 紫红色、灰绿色粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩夹灰绿色泥质条带、巨厚的盐岩和石膏 |          |

质泥岩和褐红色泥岩。按刘群等(1987)划分标准, DZK01 孔蒸发岩类型为碎屑-化学岩型。钻孔蒸发岩的整体沉积序列为: 底部粉砂质泥岩—膏盐质泥岩—石盐岩—顶板的褐红色泥岩。库车盆地古近系发育巨厚石盐岩, 但成分纯净的石盐岩较少, 主要以含泥砾石盐岩为主。蒸发岩中泥岩及泥砾均以褐红色为主。

DZK01 孔中泥质的存在形式有两种: 一种是以层状形式作为蒸发岩的夹层出现, 另一种以泥砾形式包裹于石盐岩中。库车盆地含泥砾石盐岩十分发育, 在野外蒸发岩露头中可见巨大的泥砾包裹于石盐岩中。前人分析全球含泥砾岩构造的石盐岩盐矿床时得出, 从时空分布规律看, 含泥砾岩的盐矿床均形成在一些特定的地质构造条件, 含盐系才伴生形成泥砾岩。据现已发现含有泥砾岩部分的盐类矿床, 在成盐期中或期后都有强烈的构造活动。从构造的观点分析, 这些构造活动带多处于裂谷拉张地带, 像死海和莱茵地堑, 塞尔希培和霍利盆地或处于裂谷封闭后挤压重熔期的剪切拉分盆地中, 如兰坪—思茅和喀尔巴阡盆地等(曲懿华, 1997)。

DZK01 孔中含泥砾石盐岩与兰坪—思茅盆地看到的含泥砾石盐岩的产出不同, 不是作为盐层之间的夹层出现。从分布来看含泥砾石盐岩在 DZK01 孔中广泛发育, 作为一种主要岩芯出现, 且泥砾显示与石盐同生沉积特征。通过 X 射线粉晶衍射分析, 泥砾与层状泥岩的成分相同的, 泥砾可能来自早期沉积泥岩。库车盆地是一个再生的前陆盆地, 是一个活动的构造单元。古近纪早期, 库车盆地仍然处于挤压的构造应力场之中, 主压应力方向近南北向(何光玉等, 2003)。前人研究证明库车盆受喜马拉雅构造运动影响, 盆地内沉积的蒸发岩对喜马拉雅构造运动有良好的响应关系(曹养同等, 2010a)。在盐湖发育早期盐湖面积较大, 随着蒸发岩作用的进行, 湖水高度浓缩湖盆面积急剧缩小, 原先在湖盆中沉积的泥岩暴露出地表, 这时在构造运动作用的影响下, 湖盆发生抬升, 在抬升过程中泥岩破碎形成的泥砾, 当发生暂时性洪泛事件时被带入盐湖中与石盐同时沉积形成含膏含泥砾石盐岩, 由于搬运距离不同, 与石盐同时沉积的泥砾呈现不同的棱角状-次棱角状及圆度较好近球形泥砾。盐湖在发育过程中

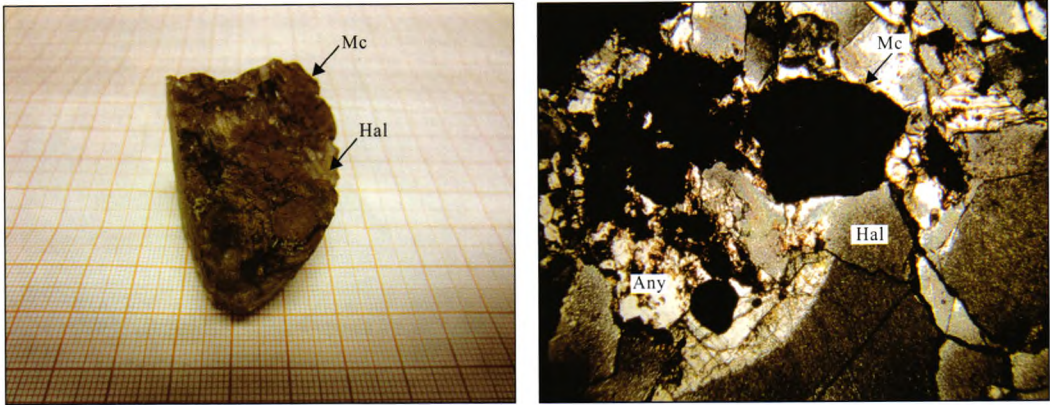


图 2 DZK01-B199 含泥砾石盐岩手标本及镜下特征(采样深度: 1476 m)  
Fig. 2 Photographs and photomicrographs of salt rock containing mud conglomerates (sampling depth: 1476 m)  
Mc-泥砾; Hal-石盐; Any-硬石膏  
Mc-mud conglomerates; Hal-halite; Any-anhydrite



离不开干旱的气候条件，在盐湖发育的后期，早期湖盆中沉积的泥岩也会随着湖盆面积减小而暴露地表，但不是所有的盐湖都会发育含泥砾石盐岩，因此笔者认为含泥砾石盐岩的形成离不开成盐过程中的构造运动，盆地内含泥砾石盐岩也是对盆地构造运动的一种良好的响应。

2.2 盐类矿物学特征分析

DZK01 孔蒸发岩岩芯中所含的主要盐类矿物有：石盐、硬石膏、天青石、重晶石、方解石、白云石，含钾矿物为钾石膏、钾石盐、光卤石。将衍射半定量分析结果用 Origin 软件绘制成矿物含量柱状图。DZK01 孔古近系蒸发岩以发育石盐矿物为主缺失碳酸盐类矿物，硬石膏含量与石盐反相关与泥质正相关，硬石膏与泥岩为陆源补给盐湖的产物。

2.2.1 石盐

石盐为 DZK01 孔中主要的蒸发岩矿物，石盐显原生沉积特征，有后期重溶结晶现象。自形晶少见，多数为成岩后期受挤压改变的他形-半自形晶，显微镜下可见石盐晶体呈镶嵌状，石盐晶体受后期构造挤压后呈多向排列。

2.2.2 硬石膏

DZK01 孔中硬石膏含量仅次于石盐。硬石膏多为自形晶，镜下薄片观察还可见硬石膏晶体呈流动状特征。硬石膏主要赋存于含泥砾石盐岩与泥岩中，硬石膏常分布于泥砾周围，或胶结于泥岩中，或呈脉状分布于泥岩中，少见成层状产出的硬石膏，显示原生沉积特征。可见流动状的硬石膏分布于石盐晶间，可能为石盐沉积时期，陆源淡水

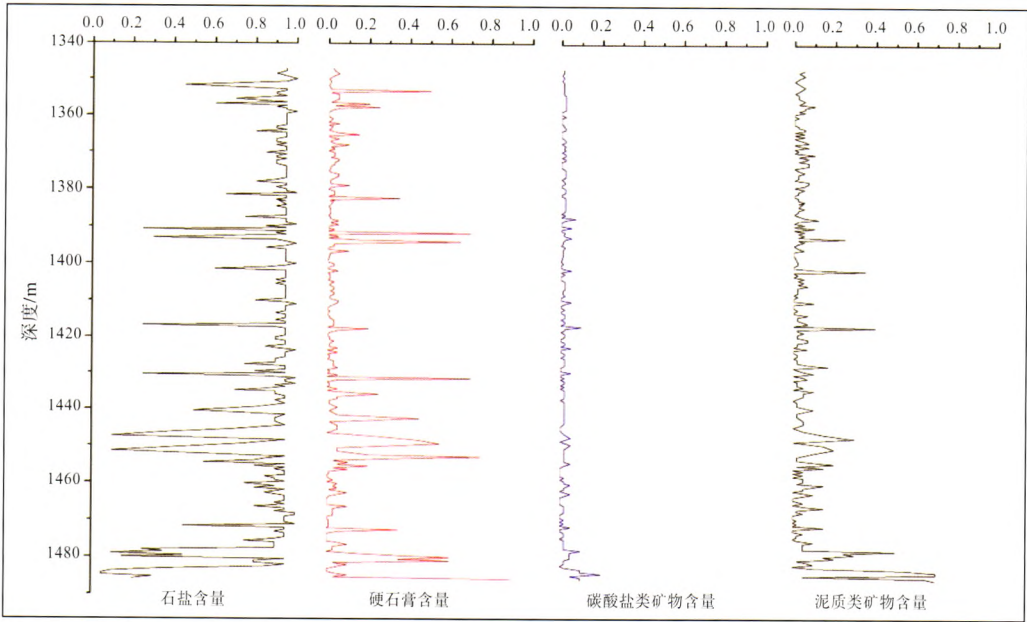


图 3 DZK01 孔矿物含量半定量柱状图  
Fig. 3 Mineral semi-quantitative columnar section of borehole DZK01

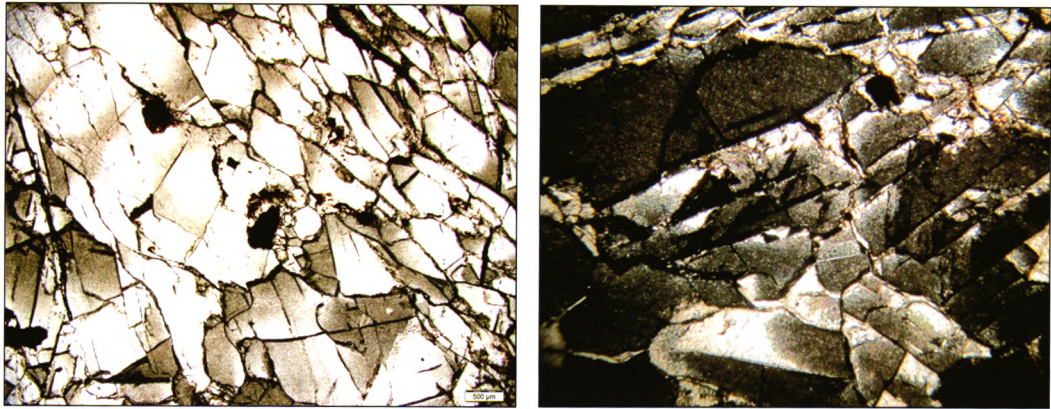


图 4 显微镜下 DZK01-B72 含泥砾石盐岩中石盐晶体呈镶嵌状及多向排列(采样深度: 1377m)  
Fig. 4 Photomicrographs of mosaic shape and multidirectional arrangement of halite crystals in salt rock containing mud conglomerates (sampling depth: 1377m)



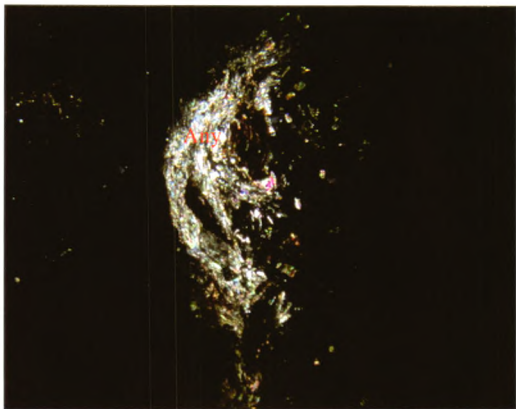


图 5 正交偏光下 DZK01-B72 含泥砾石盐岩中石盐晶间呈流动状硬石膏(采样深度: 1377 m; Any-硬石膏)  
Fig. 5 Photomicrographs of flow-shaped anhydrite between halite crystals in salt rock containing mud conglomerates (sampling depth: 1377 m; Any-anhydrite)

对盐湖进行补给时沿石盐晶间下渗,在蒸发作用下在石盐晶间析出石膏,后经埋深挤压脱水形成硬石膏。

2.2.3 钾石盐和光卤石

通过扫面电镜能谱测试在样品 DZK01-233 敲下的一块成分较为纯净的石盐样品,发现了钾石盐和光卤石两个含钾矿物,两者均沉积于石盐晶间。样

品的岩性为含泥砾石盐岩,但泥砾的含量较少。从其分布特征可以看出,钾石盐与光卤石显示原生沉积特征,为盐湖卤水浓缩到富钾卤水阶段后从卤水中析出,并沉积于石盐晶间。

2.2.4 钾石膏

钾石膏为 DZK01 孔又一种含钾矿物,通过 X 射线粉晶衍射分析在 2 块蒸发岩样品 DZK01-H512 和 DZK01-H331 中发现钾石膏的衍射峰,样品岩性均为泥砾含量较少的含泥砾石盐岩,通过半定量分析可得钾石膏的含量约 3%。前人的研究表明,盐湖中的硬石膏成因为有三种:①已沉积的固体钾盐层在成盐期水溶变质作用过程中交代硬石膏形成成因;②交代钙芒硝成因;③原生沉积成因(李亚文等, 1998; 郑绵平等, 1981; 徐其俊等, 1982)。按照正常的蒸发岩析出顺序,钙离子应在硫酸盐析出阶段和硫酸根一起沉淀消耗殆尽,而在石盐沉积阶段即盐湖高度浓缩阶段很难再有硫酸根析出形成硫酸盐,所以钾石膏不可能从高度浓缩的盐湖中析出。钾石膏常与石盐、硬石膏和泥质类矿物共生,而通过薄片分析硬石膏与泥质类矿物常分布于石盐晶间,说明硫酸根及钙离子可能来源于暂时性洪泛事件对盐

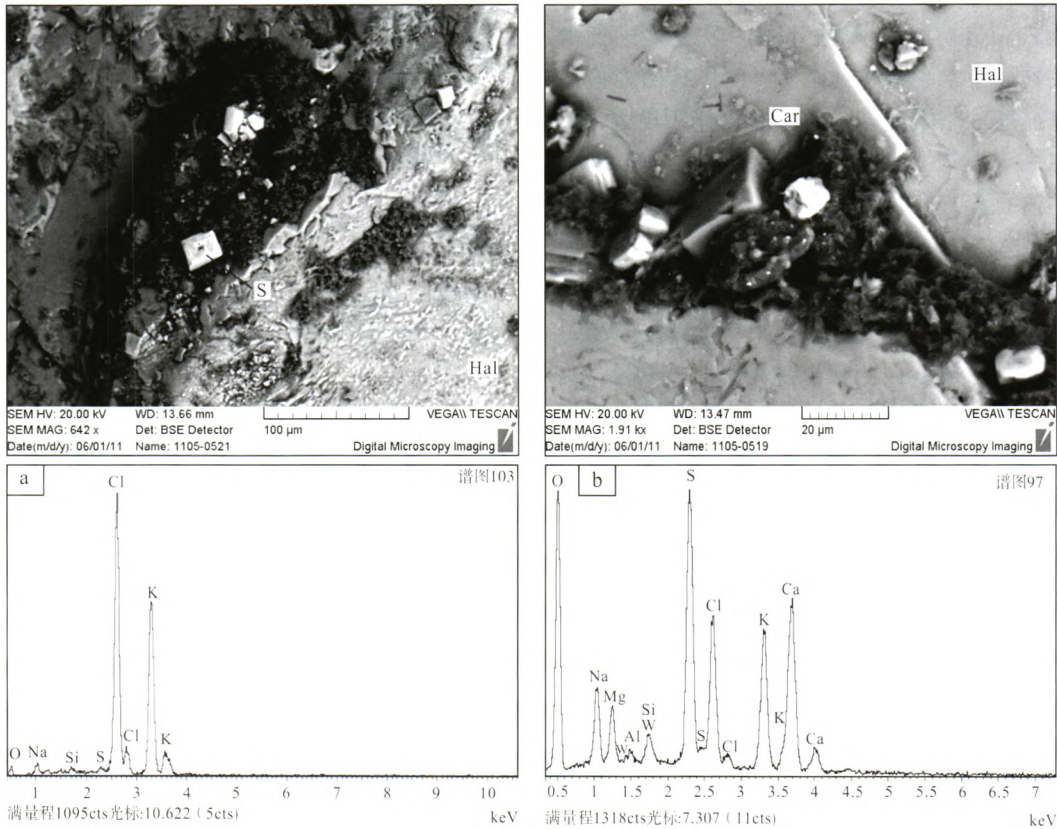


图 6 DZK01-233 含泥砾石盐岩中石盐晶间的白色钾石盐和光卤石(采样深度: 1456 m)  
Fig. 6 Photomicrographs of sylvite and carnallite between the halites in salt rock containing mud conglomerates (depth: 1456 m)  
a-钾石盐能谱图; b-光卤石能谱图; Syl-钾石盐; Hal-石盐; Car-光卤石  
a-energy spectrum of sylvite; b-energy spectrum of carnallite; Syl-sylvite; Hal-halite; Car-carnallite



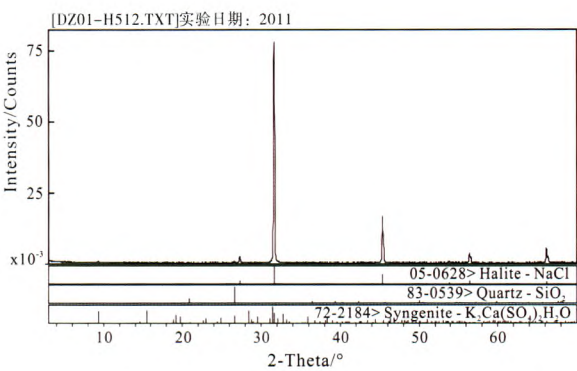


图 7 DZK01-H512 含泥砾石盐岩中的钾石膏衍射峰 (采样深度: 1458 m)

Fig. 7 Diffraction peaks of syngenite in salt rock containing mud conglomerates (depth: 1458 m)

湖进行补给的淡水。因此笔者认为 DZK01 孔中钾石膏的成因为, 当补给淡水下渗到石盐晶间时, 携带的钙离子与硫酸根与石盐晶间富钾卤水结合形成, 这类钾石膏为原生沉积成因。

3 成钾环境分析

库车盆地古近系蒸发岩的总体沉积序列为: 泥岩—含膏含泥砾石盐岩—含泥砾石盐岩—泥岩—含膏含泥砾石盐岩—含泥砾石盐岩, 说明古近纪时期库车盆地古湖最初为淡水沉积环境, 在干旱的气候条件下湖盆由淡水湖演化到咸水湖阶段析出膏盐质泥岩, 随着蒸发作用的进行湖盆咸化作用增强, 湖盆由咸水湖环境进入盐湖环境, 蒸发岩变为以沉积石盐为主的石盐岩。从蒸发岩的岩石组合规律可以看出, 石盐岩总是和膏岩、泥砾同时沉积, 反映了盐湖在演化过程中有来自地表水或暂时性洪水的补给。DZK01 孔蒸发岩在发育过程中会出现几段厚度不大的纯石盐岩或乳白色含少量泥砾石盐岩层, 说明该时期淡水补给作用弱; 泥砾含量少或者几乎不含泥砾, 反映了盐湖发育期间存在极端干旱的气候条件, 没有地表水的补给。蒸发岩含盐剖面中夹杂部分薄层碎屑岩沉积时, 构成了一个蒸发岩沉积旋回, 反映了演化水体在成盐期间有间断地淡水补给的特点(曹养同等, 2010b)。从 DZK01 孔蒸发岩沉积序列分析, 库车盆地古近纪时期盐湖水体呈淡—咸—盐—淡—咸—盐的变化, 按湖水淡—咸—盐的变化将所对应沉积的蒸发岩划分为一个沉积韵律, DZK01 孔蒸发岩从上至下可划分为 5 个沉积韵律, 说明盐湖在发育过程中有 5 次较大规模的淡化事件, 使得湖盆内盐类物质得到充分的补给。含钾矿物与第一和第四沉积韵律有关, 赋矿岩性均为含泥砾石盐岩。

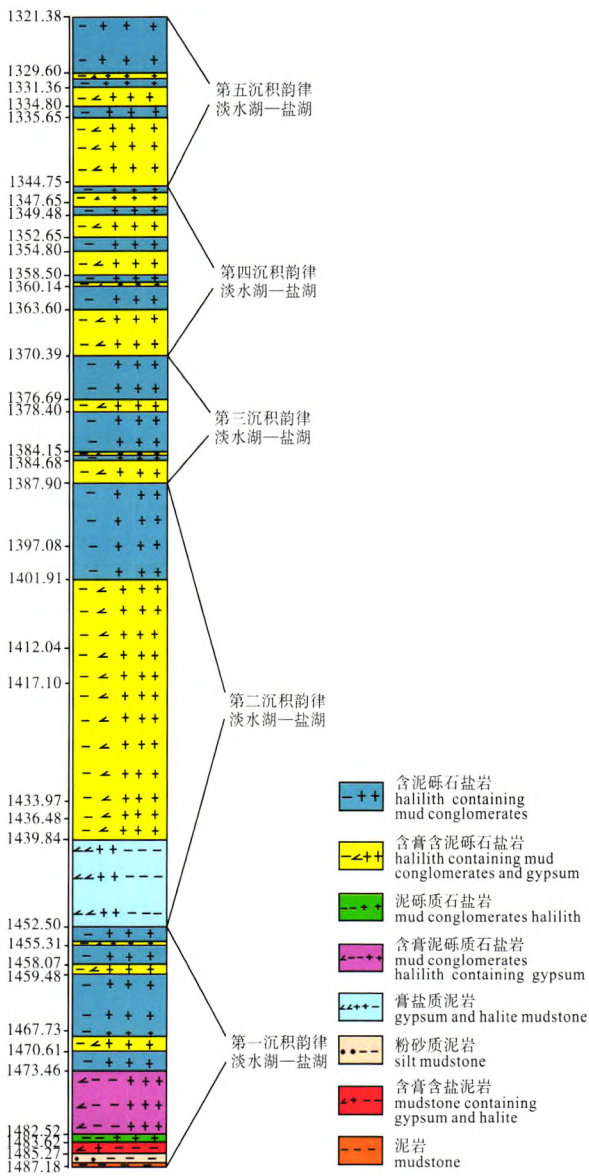


图 8 DZK01 孔蒸发岩库姆格列木群沉积韵律简图  
Fig. 8 Sketch diagram of evaporates sedimentary rhythm in borehole DZK01

库车盆地泥岩及泥砾的颜色以褐红色为主, 碎屑岩的自生色为褐红色则说明沉积时为氧化或强氧化环境(赵澄林等, 2001), 同时在扫描电镜下蒸发岩中赤铁矿的发现也证明了氧化环境的存在。含泥砾石盐岩在盆地中广泛分布说明其沉积环境为浅湖沉积环境, 易接受来自地表水的补给, 因此库车盆地古盐湖的沉积环境为一个封闭的浅湖沉积环境。含泥砾石盐岩的广泛发育及含钾矿物的发现证明了库车盆地古盐湖已经演化到了高度浓缩的钾盐析出阶段。

前人研究表明库车盆地在古近纪时期有过短暂的海侵事件(邱芳强等, 2000; 韩宁宁, 2007; 郭宪璞等, 2002; 郑绵平等, 2012), 当海水退后盆地由海相沉积转变为湖相沉积, 此时库车盆地广泛分布着海

侵时期的蒸发岩,当周围水系对盐湖进行补给时,可将海侵时期的盐类物质聚集于湖盆中,盐类物质不断浓缩,使得成钾物质得到聚集(刘成林等,2008,2010,2013)。如果盆地内存在因构造运动形成的次级凹陷,富钾卤水将会运移至此并析出钾盐。

#### 4 结论

(1)DZK01 孔古近系蒸发岩的整体沉积序列为:底部粉砂质泥岩—膏盐质泥岩—石盐岩—顶板的褐红色泥岩,岩性以含膏含泥砾石盐岩为主。含泥砾石盐岩为构造成因,是古盐湖高度浓缩的产物。

(2)DZK01 孔古近系蒸发岩以沉积石盐矿物为主,含钾矿物为钾石膏、钾石盐、光卤石,其中钾石膏为主要含钾矿物。钾石盐与光卤石为盐湖湖水浓缩到富钾卤水阶段,从卤水中析出并沉积于石盐晶间。钾石膏为补给的淡水下渗到石盐晶间时,携带的硫酸根和钙离子与石盐晶间的富钾卤水结合形成。

(3)库车盆地古盐湖沉积环境为封闭的浅湖沉积环境,盐湖在发育过程中有 5 次较大规模的淡化事件,使得成钾物质也得到了聚集。库车盆地内古盐湖已经演化到钾盐的析出阶段,此时盆地内积累了大量的富钾卤水,如果存在因构造运动形成的次级凹陷,富钾卤水将会运移至此并析出钾盐。因此库车盆地有良好的成钾远景。

致谢:感谢中国地质科学院曹养同博士给本文提出宝贵的修改意见,中化地质矿山总局宣之强高工在扫面电镜测试中给予的帮助。

#### 参考文献:

曹守连,陈发景,罗传容.1994.塔北中、新生代前陆盆地沉降机制的数值模拟[J].石油与天然气地质,15(2):113-120.

曹养同,刘成林,焦鹏程,陈永志.2010b.中新生代盆地蒸发岩沉积旋回对比及库车盆地成钾探讨[J].矿床地质,29(4):657-668.

曹养同,杨海军,刘成林,顾乔元,焦鹏程,卢玉红.2010a.库车盆地古—新近纪蒸发岩沉积对喜马拉雅构造运动期次的响应[J].沉积学报,28(6):41-52.

曹养同.2010.新疆库车盆地古近系—新近系蒸发岩发育规律及其金属成矿研究[D].北京:中国地质科学院:26-27.

曾联波,谭成轩,张明利.2004.塔里木盆地库车坳陷中新生代构造应力场及其油气运聚效应[J].中国科学 D 辑,34(增刊1):98-106.

郭宪璞,丁孝忠,何希贤,李汉敏,苏新,彭阳.2002.塔里木盆地中新生代海侵和海相地层研究的新进展[J].地质学报,76(3):299-307.

韩宁宁.2007.库车盆地古近系—新近系蒸发岩特征及其与古环境的关系[D].北京:中国地质大学:36-37.

何光玉,卢华复,王良书,贾东,李树新,王胜利,印栋浩.2003.塔里木盆地库车地区早第三纪伸展盆地的证据[J].南京大学学报(自然科学),39(1):40-45.

黄继武.2006.MDI Jade 使用手册[M].湖南:中南大学出版社:14-19.

贾承造.1997.中国塔里木盆地特征构造与油气[M].北京:石油工业出版社:348-365.

李亚文,蔡克勤,韩蔚田.1998.四川盆地三叠系蒸发岩的变质作用与富钾卤水的成因[J].现代地质,12(2):222-228.

刘成林,曹养同,杨海军,焦鹏程,顾乔元.2013.库车前陆盆地古近纪—新近纪盐湖环境变迁及其成钾效应探讨[J].地球学报,34(5):547-558.

刘成林,焦鹏程,曹养同.2008.蒸发岩盆地构造反转对钾盐成矿控制研究[C]//第九届全国矿床会议论文集.北京:地质出版社:370-373.

刘成林,焦鹏程,王弭力.2010.盆地钾盐找矿模型探讨[J].矿床地质,29(4):581-592.

刘成林,焦鹏程,宣之强,曹养同,赵宪福.2013.库车盆地古近系蒸发盐中钾盐矿物研究进展[J].地质评论,59(2):233-234.

刘群,陈郁华.1987.中国中、新生代陆源碎屑—化学岩型盐类沉积[M].北京:北京科学技术出版社:18-30.

邱芳强,丁勇,王辉.2000.库车盆地的沉积物源分析[J].新疆地质,18(3):252-257.

曲懿华.1997.试论岩系中泥砾岩成因[J].化工矿产地质,19(3):162-166.

田作基,宋建国.1999.塔里木库车新生代前陆盆地构造特征及形成演化[J].石油学报,20(4):8-13.

王良书,李成,刘绍文,李华,徐鸣洁,王勤,葛锐,贾承造,魏国齐.2003.塔里木盆地北缘库车前陆盆地地温梯度分布特征[J].地球物理学报,46(3):403-407.

徐其俊,刘群,陈荣林.1982.湖北 Q 盆地地下第三系盐类矿物[J].中国地质科学院院报矿床地质研究所分刊,3:67-78.

赵澄林,朱筱敏.2001.沉积岩石学[M].北京:石油出版社.

郑绵平,刘高文,金文山.1981.西藏盐湖盐类矿物的研究[J].中国地质科学院院报矿床地质研究所分刊,2(1):75-101.

郑绵平,张震,张永生,刘喜方,尹宏伟.2012.我国钾盐找矿规律新认识和进展[J].地球学报,33(3):280-294.

#### References:

AVOUAC J P, TAPPONNIER P, BAI M H. 1993. Active thrusting and folding along the northern TianShan and late Cenozoic rotation of the Tarim relative to Dzungaria and Kazakhstan[J]. Journal of Geophysical Research, 98(4): 6755-6804.

CAO Shou-lian, CHEN Fa-jing, LUO Chuan-rong. 1994. Numerical modeling of subsidence mechanism of a Meso-Cenozoic Foreland Basin in North Tarim[J]. Oil and Gas Geology, 15(2): 113-120(in Chinese with English abstract).

- CAO Yang-tong, LIU Cheng-lin, JIAO Peng-cheng, CHEN Yong-zhi. 2010b. Sedimentary cycles of correlation of evaporate in Paleogene-Neogene basin and formation mechanism of potash deposits in Kuqa basin[J]. *Mineral Deposits*, 29(4): 657-668(in Chinese with English abstract).
- CAO Yang-tong, YANG Hai-jun, LIU Cheng-lin, GU Yuan-qiao, JIAO Peng-cheng, LU Yu-hong. 2010a. Response on Sediment of Evaporate in Kuqa Basin from Paleogene to Neogene Period and Himalayan Tectonic Phase[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(6): 41-52(in Chinese with English abstract).
- CAO Yang-tong. 2010. Development and Regularity of Evaporates and its Metallization in Kuqa Basin[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences: 26-27(in Chinese with English abstract).
- GRAHAM S A, HENDRIX M S, WANG L B. 1993. Collision success or basin of western China: Impact of tectonic in heritage on sand composition[J]. *Geological Society of American Bulletin*, 105: 323-324.
- GUO Xian-pu, DING Xiao-zhong, HE Xi-xian, LI Han-min, SU Xin, PENG Yang. 2002. New Progress in the Study of Marine Transgression Events and Marine Strata of the Mesozoic in the Tarim Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 76(3): 299-307(in Chinese with English abstract).
- HAN Ning-ning. 2007. Evaporitic rock's characteristics of the Paleogene-Neogene in Kuqa basin and its relations with the palaeo-environment[B]. China University of Geosciences (Beijing) Master's thesis: 36-37(in Chinese with English abstract).
- HE Guang-yu, LU Hua-fu, WANG Liang-su, JIA Dong, LI Shu-xin, WANG Sheng-li, YIN Dong-hao. 2003. Evidence for Paleogene extensive Kuqa basin, Tarim[J]. *Journal of Nanjing University(Natural Science)*, 39(1): 40-45(in Chinese with English abstract).
- HUANG Ji-wu. 2006. The manual of MDI Jade[M]. Hunan: Central South University Press: 14-19(in Chinese).
- JIA Cheng-zhao. 1997. The Characteristics and petroleum of The Tarim Basin[M]. Beijing: Petroleum Press: 348-357(in Chinese).
- LI Ya-wen, CAI Ke-qin, HAN Wei-tian. 1998. Origin of potassium-riched brine and the metamorphism of Triassic evaporates in Sichuan basin[J]. *Geoscience*, 12(2): 222-228(in Chinese with English abstract).
- LIU Cheng-lin, CAO Yang-tong, YANG Hai-jun, JIAO Peng-cheng, GU Qiao-yuan. 2013. Discussion on Paleogene-Neogene Environmental Change of Salt Lakes in Kuqa Foreland Basin and Its Potash-forming Effect[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 34(5): 547-558(in Chinese with English abstract).
- LIU Cheng-lin, JIAO Peng-cheng, CAO Yang-tong. 2008. The roles of tectonic reversal on the potash formation in evaporation basins[A]//The paper collection of ninth congress of mineral deposits[C]. Beijing: Geological Press: 370-373 (in Chinese).
- LIU Cheng-lin, JIAO Peng-cheng, XUAN Zhi-qiang. 2013. Research progress of potassium mineral in Paleogene evaporites in the Kuqa basin[J]. *Geological Review*, 59(2): 233-234 (in Chinese).
- LIU Cheng-lin, WANG Mi-li, JIAO Peng-cheng. 2010. A tentative discussion on exploration model for potash deposits in basins of China[J]. *Mineral Deposits*, 29(4): 581-592(in Chinese with English abstract).
- LIU Qun, CHEN Yu-hua. 1987. The generation of terrigenous-chemical salt deposits in China[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press: 18-30(in Chinese).
- QIU Fang-qiang, DING Yong, WANG Hui. 2000. Source analysis on deposits of Kuqa Basin[J]. *Xinjiang Geology*, 18(3): 252-257(in Chinese with English abstract).
- QU Yi-hua. 1997. Causes of mud conglomerates of rock series[J]. *Chemical Minerals*, 19(3): 162-166(in Chinese with English abstract).
- TIAN Zuo-ji, SONG Jian-guo. 1999. Tertiary structure characteristics and evolution of kuqa foreland basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 20(4): 8-13(in Chinese with English abstract).
- WANG Liang-shu, LI Cheng, LIU Shao-wen, LI Hua, XU Ming-jie, WANG Qin, JIA Cheng-zhao, WEI Guo-qi. 2003. Geotemperature gradient distribution of Kuqa foreland basin, north of Tarim, China[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 46(3): 403-407(in Chinese with English abstract).
- XU Qi-jun, LIU Qun, CHEN Rong-lin. 1982. Salt mineral of Q basin Paleogene in Hubei[N]. The Bulletin of Chinese Academy of Geological Sciences, Institute of Mineral Resources Part, 3(1): 67-78(in Chinese).
- ZENG Lian-bo, TAN Cheng-xuan, ZHANG Ming-li. 2004. Kuqa depression of the Tarim Basin in the Mesozoic and Cenozoic tectonic stress field and hydrocarbon migration and accumulation effect [J]. *Science in China Ser.D Earth Sciences*, 34(S1): 98-106(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Cheng-lin, ZHU Xiao-min. 2001. Sedimentary Petrology[M]. Beijing: Oil Press(in Chinese).
- ZHENG Mian-ping, LIU Gao-wen, JIN Wen-shan. 1981. Study of Saline Lake minerals in Tibet[N]. The Bulletin of Chinese Academy of Geological Sciences, Institute of Mineral Resources Part, 2(1): 75-101(in Chinese).
- ZHENG Mian-ping, ZHANG Zhen, ZHANG Yong-sheng, LIU Xi-fang, YIN Hong-wei. 2012. Potash exploration characteristics in China: new understanding and research progress[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(3): 280-294(in Chinese with English abstract).