

文章编号: 1000-0550(2003)02-0240-07

罗布泊第四纪含盐系成岩作用特征研究^①

刘成林^{1,2} 焦鹏程² 王弭力² 杨智琛² 李树德¹ 陈永志²

1(北京大学城市与环境学系 北京 100871) 2(中国地质科学院矿产资源研究所 北京 100037)

摘要 依据大量钻孔岩心与薄片的详细观察描述,对罗布泊罗北凹地第四纪含盐系盐层及储卤盐层的成岩作用变化进行深入研究。发现含盐系盐层内广泛出现各种成岩变化,主要是压榨作用、溶蚀作用、重结晶作用、交代作用、胶结作用及断裂构造作用等。它们对地层储卤水能力产生巨大影响。这些成岩作用与晶间流体的活动有密切关系。同时引入“成岩作用相”的概念,探讨其在富钾卤水资源评价上的作用和意义。

关键词 罗布泊 第四纪盐湖 含盐系 成岩作用

第一作者简介 刘成林 男 1963年出生 研究员 第四纪盐湖与钾盐研究

中图分类号 P588.2 **文献标识码** A

1 前言

罗布泊位于塔里木盆地东部,第四纪时期是塔里木盆地的汇水区。由于新构造活动的影响,罗布泊被分隔成数个大小不一的次级盆地。1995年调查研究发现,在其东北部的罗北凹地第四纪盐类沉积地层中储存大量的富钾卤水^②,进一步工作确定其钾盐资源量达大型规模^①。钾盐矿床主要为卤水矿, KCl 平均品位 1.40%,属硫酸镁亚型,卤水主要赋存于钙芒硝晶间孔隙中,为一种新类型钾盐矿床^{③④},关于含盐系盐类矿物及地层卤水钾富集成因已有一些研究^[2,3]。目前,新疆有关部门正准备对罗北凹地钾矿进行大规模开发。本文在对罗布泊罗北凹地大量钻孔岩心与薄片详细观察描述的基础上,对第四纪含盐系,尤其是对储卤盐层的成岩变化进行研究,并探讨成岩作用对卤水钾矿的储集作用影响。同时,引进“成岩相”的概念,以便更好服务于富钾卤水资源的评价与开发。

尽管国内外有关碎屑岩与碳酸盐岩的成岩作用研究文献浩如烟海,但关于盐类成岩作用研究很少。H Borchert^[20]认为,海相盐矿床中次生交代作用(Secondary replacement)比原生沉积成因作用,无论是在空间上和地质时间上的出现,都要更为广泛得多;石膏转变为硬石膏时脱出大量饱和 CaSO₄的水进入盐层时,将使光卤石转变为含钾石盐、无水钾镁矾、硫

镁矾等组合的相变。Ronald J Spencer^[4]研究蒸发盐盆地中孔隙流体的作用,认为流体对成岩反应有作用。G I Smith^[5]在研究美国加州西尔斯湖及欧文斯湖盐类沉积的结晶作用过程,发现水的流入使该区许多盐层中的矿物发生重结晶作用。В И Копнин^[6]总结评述了前人在盐类岩石的化学成岩作用方面的研究,并认为物理成岩作用在盐类岩石的成岩作用中发挥重要影响。H W Nesbitt^[7]研究了地下水演化与自生碳酸盐与硫酸盐的关系。袁见齐^[8]指出,盐类地层剖面类型与结构的多样性,及其与蒸发试验之间的明显差别,是盐类矿床成因理论研究中长期没有解决的问题,是成岩作用变化产生的后果;盐类埋藏后,盆地从外海通过海渠或浅水渗入补给的地方,不仅将使早沉积的盐层剖面层序发生改造,而且将引起矿物相的变化。关玉华等^[9]研究察尔汗盐湖的盐喀斯特现象,发现盐喀斯特的形成主要与侧面及下部承压水有关,是高浓度卤水中溶-析平衡交替的产物。王弭力、刘成林等^[10]发现,在盐类成岩过程中流体造成了石盐的溶蚀并形成大量溶蚀孔隙,这些次生孔隙则成为富钾卤水的主要储藏空间。

2 含盐系沉积物特征

2.1 盐类矿物

通过对罗北凹地钻孔岩心及地表浅坑样品分析,共鉴定出 15 种矿物,最常见有以下几种: (1)石膏; (2)

① 国土资源部科技项目(编号 992025)“罗布泊含盐系成岩作用及卤水钾矿储集性评价”、地质调查项目(DKD2002002)与国家 305 项目(96-915-08-05)资助。

② 中国地质科学院简报. 1995,第 8 期(总第 315 期)。

③ 中国地质科学院矿产资源所等.新疆罗布泊地区钾矿床研究及资源评价报告(地科 95-22). 1999

④ 中国地质科学院矿产资源所等.罗布泊地区钾盐资源开发利用研究报告(96-915-08-05). 2000

收稿日期: 2002-03-05 收修改稿日期: 2002-08-01

半水石膏; (3) 钙芒硝 (glauberite): 微细晶—粗巨晶, 0.1 mm~4 cm, 自形—半自形, 单晶多呈菱板状、菱柱状及片状, 部分为粒状, 集合体呈束状、花瓣状, 以厚层状 ($nm - n \times 10 m$) 产出为主, 薄层及分散状次之, 钙芒硝是罗北凹地分布最广泛的盐类矿物; (4) 石盐; (5) 杂卤石: 细微晶, 0.01~0.05 mm, 针状、纤维状, 集合体呈绒球状、放射状, 常见到杂卤石交代钙芒硝等, 主要呈薄层状 (厚 3~8 cm) 产出; (6) 白钠镁矾。

2 沉积岩及沉积物

已固结的盐类沉积岩有以下几种: (1) 钙芒硝岩; (2) 石盐岩; (3) 杂卤石岩; (4) 石膏岩; (5) 钠镁矾岩。

未固结或较松散盐类沉积物主要是: (1) 含粉砂石膏盐; (2) 石膏及淤泥质石膏; (3) 含砂钙芒硝。

3 含盐系成岩作用

3.1 压榨作用

本节探讨含盐系地层 (以 ZK1200B 孔岩心为主要对象, 沉积物埋藏深度最大达 230 m) 压榨情况, 具体对象是粘土与石膏层。

3.1.1 粘土层的压榨作用

粘土层在罗北凹地第四纪含盐系中分布较广, 在 ZK1200B 孔岩心柱沉积物 (岩) 中, 其累计厚度达 53.35 m, 所占比例为 25.92%, 它们大多为致密块状。据 J. F. Bust^[11], 粘土压实作用早期阶段, 孔隙水和矿物层间水受到重力的作用而移动, 保留的水只有水体积的 30%。罗北凹地粘土层的压实作用属此阶段, 可以推测, 从中可挤压出大量的水体。这些被挤出来的流体可能有三种汇集区: (1) 进入粗碎屑层; (2) 进入盐层, 如钙芒硝层, 并参与其成岩作用; (3) 可能通过越流方式向上排泄, 或通过盆内断裂向上涌溢。

3.1.2 石膏层的压榨作用

含盐系地层中广泛出现石膏, 主要呈层状产出, ZK1200B 孔中累计厚度达 38.09 m, 占岩心柱比例为 37.00%。研究发现, 绝大多数石膏已转变为半水石膏 (图版 I-1), 少部分为硬石膏。埋藏的石膏层被压实而失去孔隙水, 至一定埋藏深度, 石膏将被硬石膏交代, 这一转变过程将使沉积物体积损失 38%^[12]。在常压下形成的石膏, 当埋深大于 150 m 时, 均转变为硬石膏^[13]。罗布泊地层中石膏大部分转变为半水石膏, 尚未达到硬石膏的程度, 其体积损失应为 19%。若按 38.09 m 换算, 则石膏层被压缩了 8.9 m, 相应地, 将有大量的高压流体产生并外流。

3.2 溶蚀作用

3.2.1 大气降水淋漓

罗北凹地 ZK1203 孔附近地层剖面显示, 其顶部

的第一层石盐中出现垂向的漏斗状孔隙及或钟乳石, 地层中出现较多垂向孔隙 (图版 I-2), 反映出大气降水直接向下入渗溶解石盐层。

3.2.2 侧向流体溶蚀

剖面的中下部地层, 发育很多近水平向展布的孔隙 (图版 I-2), 孔隙度从 25%~40%, 与潜卤层钙芒硝岩中的孔隙度相当。此外, 在巨晶石盐晶间或晶体内部也发育较大的溶蚀孔洞 (图版 I-3)。从孔隙形态来看, 边界大致表现为浑圆状, 因而具有溶蚀、溶解的特征。现代, 尽管这些盐层大部分位于地下水位之上, 仍反映出该盐层中曾经历过水平方向的溶蚀作用。这种侧向溶蚀作用是流体由高水位向低水位流动过程产生的。

3.2.3 深部压榨水溶解

在有些埋藏较深的致密块状钙芒硝岩中, 出现大小为几厘米的溶蚀孔洞, 或称为晶洞, 其内生长透明、自形的钙芒硝 (图版 I-4)。晶洞特征和形成条件与地表浅部大气降水溶解产生的孔洞有明显不同。其溶蚀水或流体可能来自较深部地层的粉砂粘土层压榨水或石膏脱水。这种情况在柴达木盆地昆特依凹地富钾卤水储集层中也广泛出现, 储集层中的石盐被广泛溶蚀, 形成大量溶蚀孔隙^[10]。

由上可见, 成岩过程中的溶蚀作用可以促进蒸发盐类储卤层次生孔隙的发育, 这种情况在碎屑岩和碳酸盐岩中也广泛出现^[14, 15, 16]。

3.3 重结晶作用

沉积物内矿物发生重结晶的主要标志有: (1) 晶体为半自形—自形晶; (2) 晶体较粗大, 一般为粗晶; (3) 晶体之间发生相互顶刺, 或顶刺水平纹理。重结晶作用在罗布泊第四纪盐层中十分发育, 主要出现于石膏岩、钙芒硝岩中。

3.3.1 石膏的重结晶

罗北凹地浅部石盐层之下、钙芒硝层之上, 广泛分布有一层针状结构的石膏层, 石膏晶体长轴垂向生长 (图版 I-5), 该层较松软, 孔隙发育。其成因可能是, 全新世早期, 罗北凹地盐湖受到一次较大规模的淡化, 沉积环境从盐湖 (钙芒硝等沉积) 突然转变为咸水湖环境, 出现石膏沉积。石膏层在被埋藏后, 晶体继续生长, 形成粗晶—巨晶、针状晶体, 同时针状呈垂向排列。

3.3.2 钙芒硝的重结晶

钙芒硝有两种成因——交代石膏和水钙芒硝发生脱水转变。钙芒硝大量出现于罗北凹地含盐系地层中。钙芒硝矿物多为中粗晶结构, 部分为巨晶结构, 单晶体多为自形—半自形, 菱板状, 常见穿插顶托现象 (图版 I-6)。晶体的产状多样, 主要有: (1) 杂乱无序排列的“卡片多米加”结构^[17], 由不同世代矿物组成 (图版 I-

7)和同一世代矿物组成;(2)菊花状集合体(图版 I-8);(3)束状或扇状集合体。研究发现,由于钙芒硝岩具有杂乱无序排列的“卡片多米加”结构,在成岩过程中晶体重结晶长大,导致了钙芒硝沉积物(岩)发育丰富的蜂窝状孔隙^①。

3.3.3 石盐等矿物的重结晶

浅部石盐层中常常出现几厘米—几十厘米大小的石盐晶体,多为自形立方体;白钠镁矾也常呈巨晶,自形产出。它们均是在埋藏过程中晶体继续生长形成的。

总之,罗北凹地含盐系储卤层重结晶作用广泛,尤其钙芒硝最明显,这可能与该区晶间卤水运动较活跃有关^①。美国西尔斯湖盐层发生重结晶作用,就是由于地下水流入盐层引起的^[5]。

3.4 交代作用

大量薄片鉴定分析发现,罗北凹地含盐系中交代作用广泛出现,主要有以下几种:

(1)半水石膏交代石膏:罗北凹地地层中的石膏,大多数已变成半水石膏,并保留石膏假象。半水石膏的成因可能与地层压榨作用有关。

(2)钙芒硝交代石膏:罗北凹地含盐系中广泛出现钙芒硝交代石膏,在较大的钙芒硝晶体内大多具有(半水)石膏的残晶(图版 I-8)。钙芒硝常沿边部,呈环带状交代和包裹石膏残晶(图版 I-9),保留石膏的柱状—板状外形。有时一颗钙芒硝晶体包含两颗以上的石膏残体,或一颗石膏同时被两个钙芒硝晶体交代。

(3)杂卤石交代钙芒硝:在上更新统地层中,还广泛出现杂卤石交代钙芒硝的现象,杂卤石通常呈绒球状从边部和内部交代,穿插钙芒硝晶体(图版 I-10)。

(4)钠镁矾交代石盐:地层中也常见到石盐被钠镁矾交代,这是由于钠镁矾结晶析出比石盐晚。此外,也可见到石盐交代钙芒硝的情况。

由上可见,罗北凹地含盐系中盐类矿物之间出现一种“链状”化学交代反应,即,较早析出的矿物一般均被紧接其后析出的矿物交代。尤其是,石膏被钙芒硝交代,不仅范围广泛,而且强烈。显然,交代作用是晶间流体作用的结果。德国海相盐类和钾盐矿床的次生交代作用也是流体进入盐层产生的^[20]。

3.5 胶结作用

胶结作用,是指在沉积物或岩石孔隙中的孔隙水过饱和,析出(盐)矿物,即生成新的矿物晶体,并把早期矿物与碎屑沉积物粘结起来。

(1)石膏胶结作用:石膏在盐类矿物系列中是最早析出的矿物,通常对碎屑沉积物进行胶结。在胶结物状态中,石膏常呈连体晶结构及微细晶结构(图版 I-

11)

(2)钙芒硝胶结作用:钙芒硝作为胶结物较普遍,通常胶结碎屑物,多呈连体晶结构。

(3)石盐胶结作用:石盐在罗北凹地含盐系中属较晚结晶的矿物,也常常起到胶结作用,主要胶结石膏等较早析出的矿物,有时还胶结钾盐镁矾。

由上可见,罗北凹地沉积物中盐类矿物作为胶结物形式出现较常见,通常较晚析出矿物胶结较早析出矿物及碎屑物。不过,胶结作用常造成孔隙度的减少甚至消失^[18],不利于储卤层的发展与保存。

3.6 断裂构造作用

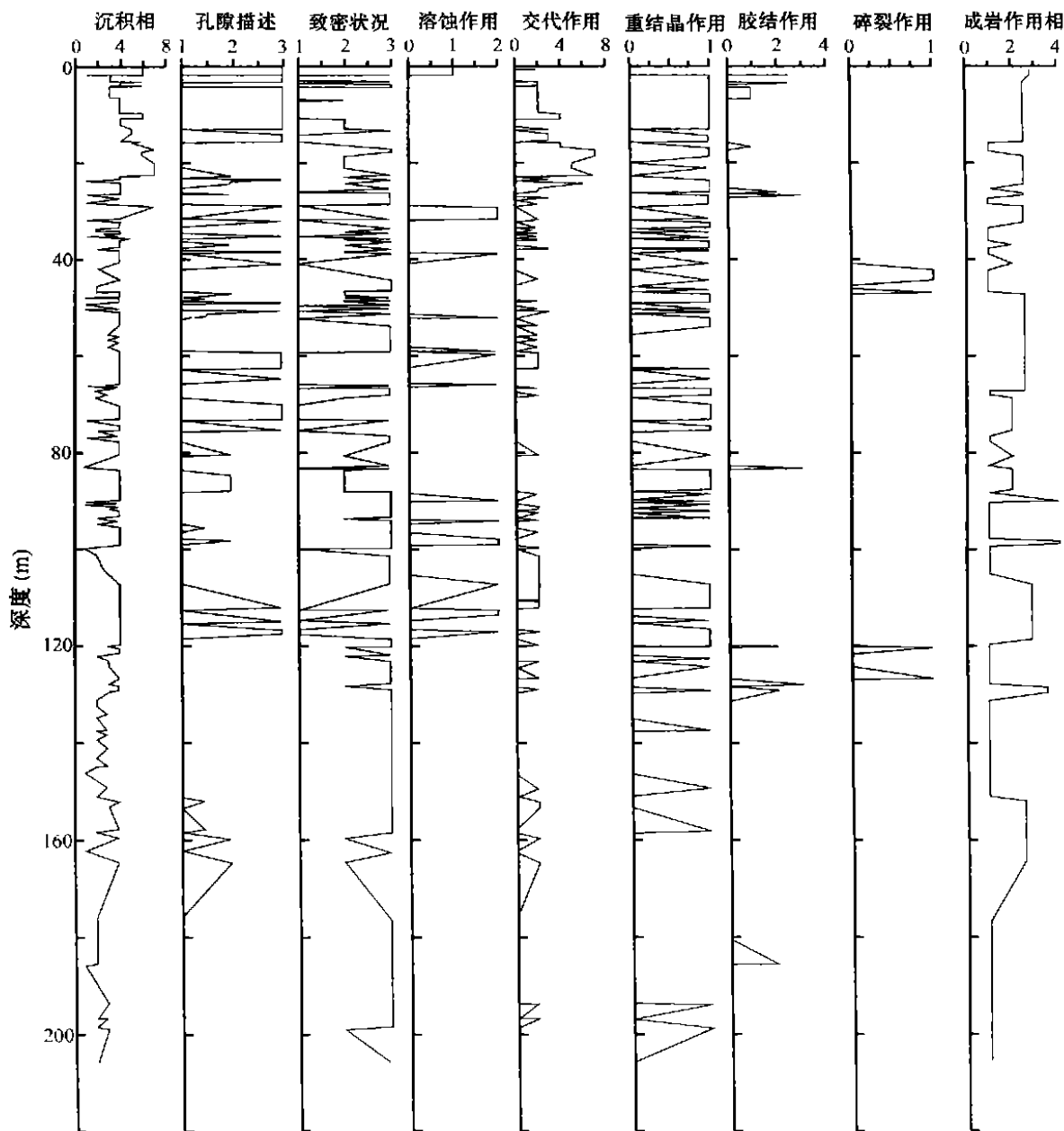
岩石薄片观察发现,罗北凹地第四系地层中部分钙芒硝岩出现一些类似断裂构造作用产生的“碎裂结构”及“碎裂岩”(图版 I-12),具碎斑结构,碎斑大小从0.5~2.2mm,碎斑呈尖棱状及次棱状,碎基也呈棱状和次棱状。钙芒硝属脆性矿物,在断裂作用和层间滑动等动力作用下易发生破碎。由此,推断罗北凹地第四纪地层中的“碎裂岩”应系受断裂或动力作用所产生。这也表明,该区含盐系及储卤层可能受到断裂影响甚至被切穿,对储卤层之间的水力联系产生重要影响,另外,沿断裂还会发生溶蚀作用与交代作用,今后工作中应对此问题加以重视。

4 成岩作用动力学及对成矿影响

由上述成岩作用特征分析可见,流体即晶间卤水在盐类沉积埋藏变化过程中发挥重要作用,是成岩变化的动力与物质运移的载体。由于流体的作用,在盐类沉积层内,广泛出现了溶蚀、淋滤、交代、重结晶、沉淀胶结等作用。这种动力学过程是与该地区的新构造活动、古气候变化、周边地下水补给、蒸发作用等有密切关系^①。

罗布泊钾矿的地球化学、沉积演化与矿床成因等研究^[19,3,21]表明,罗北凹地富钾卤水基本上是在盐湖沉积阶段形成的。而成岩作用则是在沉积物埋藏以后开始发生的一系列物理及物理化学等变化,其对卤水钾矿形成的影响可能有以下两方面。第一,广泛的交代作用与重结晶作用,促使卤水中的钙与钠等离子析出,从而更有利于钾离子在晶间卤水中的富集。第二,成岩作用变化使钙芒硝岩产生大量的蜂窝状孔隙,并将卤水储集保存于这些孔隙中,这是成岩作用对该钾盐矿形成所起作用的重要方面。

① 中国地质科学院矿产资源研究所.罗布泊含盐系成岩作用及卤水钾矿储集性评价(报告),2001



湖相: 1. 滨湖(砂质); 2. 湖心(粉砂粘土及淤泥); 3. 咸水湖(石膏) 盐湖相: 4. 钙芒硝相; 5. 杂卤石相; 6. 石盐相; 7. 钠镁矾相。 孔隙描述:
 1. 孔隙不发育; 1.5. 孔隙发育一般(小于 10%); 2. 较发育(10% - 15%); 3. 发育(目估 20% - 35%) 致密状况: 1. 松散; 2. 较松散—较软; 3. 致密。
 溶蚀作用: 1. 近地表溶蚀; 2. 深部溶蚀 交代作用: 1. 半水石膏交代石膏; 2. 钙芒硝交代半水石膏; 3. 杂卤石交代钙芒硝; 4. 杂卤石交代石盐;
 5. 杂卤石交代钠镁矾; 6. 钠镁矾交代钙芒硝; 7. 钠镁矾交代石盐 重结晶作用: 0. 重结晶作用不发育; 1. 重结晶作用发育。
 胶结作用: 1. 粉砂粘土胶结; 2. 石膏胶结; 3. 石盐胶结 碎裂作用: 0. 碎裂作用不发育; 1. 碎裂作用发育 成岩作用相:
 1. 弱压榨相; 2. 重结晶相; 2.5. 重结晶—交代相; 2.8. 重结晶—溶蚀相; 3. 交代相; 3.5. 交代—溶蚀相; 4. 溶蚀相。

图 1 罗北凹地 ZK1200B 孔含盐系成岩作用变化分布

Fig. 1 Diagenetic characteristics of the salt-bearing strata of drillhole ZK1200B in Lop Nur Lake

5 成岩作用相概念及其意义

5.1 成岩作用相概念

沉积相指在一定的沉积环境中形成的沉积物堆积体,它有一定的物质组成、几何形态、结构构造、产状

等,并包含有沉积环境的信息。罗北凹地的沉积相,按盐类矿物种类可分为:石膏相、钙芒硝相、杂卤石相、钠镁矾相、石盐相、混合相等。这些沉积相只能反映当时的沉积环境,即咸水环境、盐湖环境、高盐度盐湖及干盐湖环境等,而不能提供储卤性及含矿性的信息。沉积

物(相)一经沉积埋藏后,就转为成岩作用阶段,将经历漫长的物理、化学及生物作用变化,沉积物的结构构造、矿物组成等可能被改造得“面目全非”。现代,罗布泊第四纪含盐系沉积物晶间或孔隙中充满水体,故这些沉积物正在经历成岩作用变化,为了更好地把握成岩作用变化规律,评价地层含卤性及合理开采地层卤水,提出了成岩作用相的概念。成岩作用相指,沉积埋藏后主要被一种或多种成岩作用改造,并留下一定特征的沉积物堆积体。依据成岩作用的不同,该区含盐系成岩作用相可以分为:压榨相;溶蚀相;交代相;重结晶相;胶结相及破裂化相。

5.2 成岩作用垂向分布与相带划分

将 ZK 1200B 孔沉积相、成岩作用及其成岩作用相的分布绘制到柱状图上(图 1)。由图可见,由下至上,沉积相由湖相与咸水湖相,变为盐湖相,以及高盐度盐湖相,沉积物由碎屑物和石膏为主,逐渐变为以钙芒硝为主,最后变为石盐和钠镁矾等为主。反映古湖水逐渐浓缩的过程。孔隙的发育,也大致呈现由下向上增大的趋势。

压实作用(相):由下向上呈减弱的趋势。

溶蚀作用(相):主要分布于中上部,多出现于钙芒硝岩内。

交代作用(相):广泛出现,以钙芒硝交代石膏为主,含盐系地层从下至上,交代作用由弱变强,这可能与越到晚期,卤水浓缩强度不断增大有关。由于更多盐类矿物析出,出现了杂卤石交代钙芒硝、石盐、钠镁矾,及钠镁矾交代钙芒硝与石盐等。

重结晶作用(相):广泛出现,主要分布于孔深 120m 以上,对应着大量的钙芒硝沉积。

胶结作用(相):零星出现,反映晶间卤水尚未完全达过饱和或处于流动状态,沉淀析出物较少,卤水仍然充满晶间孔隙。

破裂作用(相):出现在深 120m 和 40m 附近,反映断裂构造活动对储卤层有一定影响,其是否对各储卤层的水力联系产生影响值得关注。

由于同一个沉积体(矿物相)可能同时或先后受到不同的成岩作用影响,几种特征迭加在一起,为突出重点,通常,以一种或两种主要的作用来定名成岩作用相;不同的沉积体受到同样的成岩作用,则划分为同一成岩作用相。根据上述原则,ZK 1200B 孔由下至上,压榨相逐渐减少,重结晶相、交代相及溶蚀相逐步占据主导地位。此外,重结晶相、交代相及溶蚀相均对应着孔隙较发育的地层。

5.3 成岩作用相意义

通常含盐系储卤层划分的主要依据是岩相岩性,

故盐类沉积层多为储卤层,碎屑层为隔水层。实际上,很多盐层具致密块状构造,可起到隔水层的作用,而一些碎屑层,尤其风成砂层,还是很好的储卤层。采用成岩作用相进行储卤层划分,不仅可以避免上述情况发生,使储卤层的划分依据更为科学,而且还可以推测地层沉积特征与储集性在横向上的变化趋势,为资源评价与卤水开采提供指导。

参考文献 (References)

- 1 王弭力,刘成林,焦鹏程等.罗布泊北凹地超大型钾矿床特征及其开发前景[J].矿床地质,1998,17(增刊):82~90[Wang Mili, Liu Chenglin, Jiao Pengcheng, Yang Zhichen, Li Yawen, The exploiting prospect and characteristics of super-large-sized potash deposits in Luobei depression, Lop Nur, Xinjiang, China [J]. Mineral Deposits, 1998, 17(Sup.): 82~90]
- 2 杨智琛,刘成林.罗布泊北凹地固体盐类矿物学研究进展[J].地质论评,1997,43(6):43~45 [Yang Zhichen, Liu Chenglin. The current situation of research on solid salt minerals of Luobei Depression, Lop Nur, Xinjiang, China [J]. Geological Review, 1997, 43(6): 43~45]
- 3 刘成林,王弭力,焦鹏程.新疆罗布泊盐湖氢氧硫同位素地球化学及钾矿成矿物质来源[J].矿床地质,1999,18(3):65~71 [Liu Chenglin, Wang Mili, Jiao Pengcheng. Hydrogen, oxygen, strontium and sulfur isotopic geochemistry and potash-forming material sources of Lop Nur Salt Lake, Xinjiang, China [J]. Mineral Deposits, 1999, 18(3): 65~71]
- 4 Ronald J Spencer. Sixth International Symposium on Salt [R]. 1983, 1: 231~244
- 5 史密斯 G I. 加利福尼亚州欧文斯湖、西尔斯湖的结晶作用及成岩过程.《美国专家讲座》[R].地质矿产部地矿司,青海地质矿产局编印,1988. 65~92 [Smith G I. Crystallization and diagenesis of Owens and Searles Lakes in California, Lectures of American Experts printed by Geological Department of Ministry of Geology and Mineral Resources, and Bureau of Geology and Mineral Resources of Qinghai Province. 1988. 65~92]
- 6 В. И. Коппин. 1984. 盐类岩石成岩作用的主要特征 [A]. 见: 国外沉积岩成岩作用 [C]. 北京: 地质出版社, 1988. 123~125 [В. И. Коппин. Main Characteristics of Diagenesis of Salt Rocks, Diagenesis of Sedimentary Rocks of Other Countries Out of China [A]. Beijing: Geological Publishing House, 1984. 123~125]
- 7 Nesbitt H W. Groundwater evolution, authigenic carbonates and sulfates, of the Basque Lake 1990, No. 2 Basin, Canada [A]. In: Spencer R J and Chou I-Ming, eds. Fluid-mineral interactions: A tribute to H. P [C]. Eugene: Geochemical Society Special Publication, 1990. 355~371
- 8 袁见齐,蔡克勤.盐类沉积的演化阶段与特征 [A]. 沉积学和有机地球化学学术会议论文集 [C]. 北京: 科学出版社, 1984. 146~152 [Yuan Jianqi, Cai Keqing. Evolution stages and characteristics of saline sedimentation [A]. Papers Collection of Sedimentology and Organic Geochemistry Symposium [C]. Beijing: Science Press, 1984. 146~152]
- 9 关玉华,徐耀先.青海察尔汗盐湖的盐喀斯特 [J]. 中国岩溶, 1985,

- 2 17~ 25 [Guan Yihua, Xu Yaoxian. Salt karst of salty lake of Qarhan, Qinghai, China [J]. *Karstologia Sinica*, 1985, 2: 17~ 25]
- 10 王弼力, 杨智琛, 刘成林等. 柴达木盆地北部盐湖钾矿床及其开发前景 [M]. 北京: 地质出版社, 1997. 84~ 86 [Wang Mili, Yang Zhichen, Liu Chenglin, Xie Zhichao, Jiao Pengcheng, Li Changhua. Potash deposits and their exploitation prospects of saline lakes of the Northern Qaidam Basin, Qinghai, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 84~ 86]
- 11 Bust J F. Diagenesis of gulf Coast clayed sediments and its possible relation to petroleum migration [J]. *AAPG*, 1969, 53: 73~ 93
- 12 Blatt H, Middleton G V, Murray R C. Origin of sedimentary rocks [M]. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1972. episode 6, chapter 15
- 13 曲懿华, 钱自强, 韩蔚田编著. 盐矿物鉴定手册 [M]. 北京: 地质出版社, 1979. 53 [Qu Yihua, Qian Ziqiang, Han Weitian. Identification Manual of Saline Minerals [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979, 53]
- 14 艾华国, 朱宏权, 张克银等. 伦坡拉盆地地下第三系储层的成岩作用和储集性能的成岩控因 [J]. *沉积学报*, 1999, 17(1): 100~ 105 [Ai Huaguo, Zhu Hongquan, Zhang Keyin, Zeng Tao, Luo Yu. The diagenetic controlling factors of reservoir property and diagenesis of reservoir of Lower-Tertiary in Lunpola Basin, Tibet [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(10): 100~ 105]
- 15 傅强. 成岩作用对储层孔隙的影响—以辽河盆地荣—37块气田下第三系为例 [J]. *沉积学报*, 1998, 16(3): 92~ 96 [Fu Qiang. Diagenesis effect on reservoir pores-taking the Rong-37 block of the Lower Tertiary, Liaohe Basin as an example [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(3): 92~ 96]
- 16 朱莲芳. 中国天然气碳酸盐岩储层形成的成岩模式 [J]. *沉积学报*, 1995, 13(2): 140~ 149 [Zhu Lianfang. A diagenetic model on the formation of carbonate gas reservoirs in China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1995, 13(2): 140~ 149]
- 17 Rosenquist I Th. Physico-chemical properties of soils; soil-water systems [R]. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 86: 1960. 75~ 77
- 18 曾允孚. 碳酸盐岩的成岩后生作用及孔隙演化. 《沉积专辑》[M]. 成都地质学院沉积岩室编, 1981. 294~ 311 [Zeng Yunfu. Diagenesis and Pore Evolution of Carbonate [M]. Special Compilation of Sedimentology by Division of Sedimentary Rocks of Chengdu Geology College, 1981, 294~ 311]
- 19 刘成林, 王弼力. 罗布泊第四纪沉积环境演化与成钾作用 [J]. *地球学报*, 1999, 20(增刊): 36~ 41 [Liu Chenglin, Wang Mili. Evolution of Quaternary depositional environments and forming of potash deposits in Lop Lake, Xinjiang, China [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1999, 20(Sup.): 36~ 41]
- 20 Borchert. Secondary Replacement of Marine Salts and Potash Deposits, *Geology of saline deposits [A]. Proceedings of the Hanover Symposium Organized by Unesco and the Bundesanstalt fur Bodenforschung and sponsored by the International Union of Geological Sciences*, 1972, 15~ 21, May, edited by G. Richter-Bernburg, UNESCO Paris, 1968
- 21 王弼力, 刘成林, 焦鹏程等. 罗布泊盐湖钾盐资源 [M]. 北京: 地质出版社, 2001, 151~ 152 [Wang Mili, Liu Chenglin, Jiao Pengcheng *et al.* Saline Lake Potash Resources in The Lop Nur, Xinjiang, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001. 151~ 152]

Characteristics of Diagenesis of the Quaternary Salt-Bearing Strata, Lop Nur Lake, Xinjiang

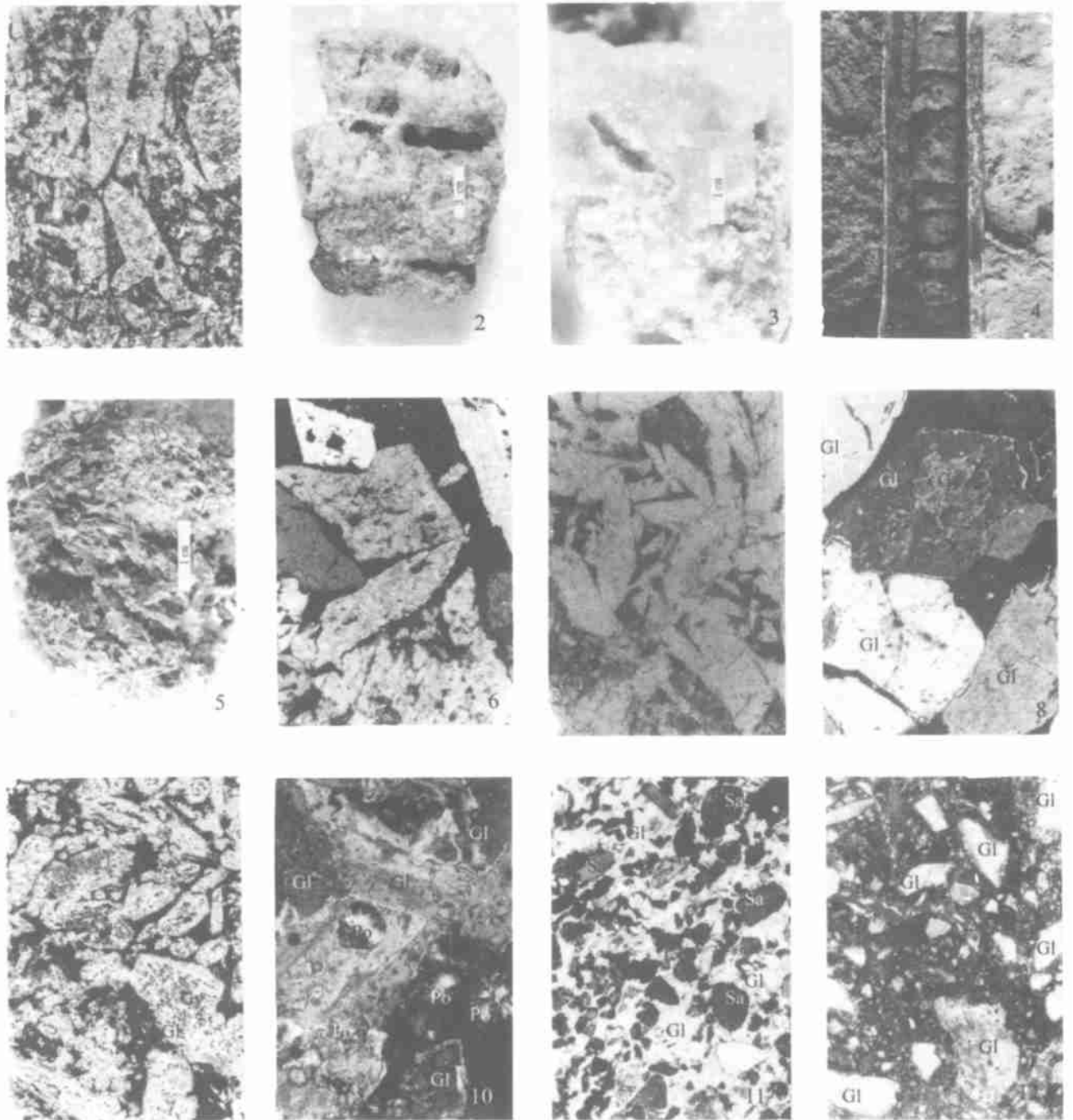
LIU Cheng-lin^{1,2} JIAO Peng-cheng² WANG Mi-li²
YANG Zhi-chen² LI Shu-de¹ CHEN Yong-zhi²

1(Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871)

2(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037)

Abstract According to the detailed observation of lots of rock core and sediment samples from drilled-holes and playa, authors have conducted a deeper research on diagenesis of the Quaternary salt strata of Luobei depression, Lop Nur lake. The studies showed that various kinds of diagenesis had occurred in the Quaternary salt-bearing strata, mainly including compaction, dissolution, re-crystallization, replacement, cementation, and fracturing. These actions exerted an enormous influence on the ability of strata holding brine. And their activities are closely related to the inter-crystalline fluid movement. Meanwhile, the “diagenesis phrase” has been proposed, and its significance and role are also probed for assessing potash-bearing brine resources.

Key words Lop Nur, Quaternary salty lake, the salt-bearing strata, diagenesis



图版I 说明 1.石膏假像,自形,板柱状,已被半水石膏替代, $10\times 4(+)$, ZK1200B- b103 (119.0 m); 2.石盐层中的溶蚀孔隙,形态为不规则浑圆状,呈垂向水平方向展布,水平产生状孔隙似乎按一定间距分布; 3.石盐巨晶中的长条形溶蚀孔隙; 4.承压层钙芒硝岩内的晶洞,系溶蚀形成,同时在晶洞生长出透明、自形的次生钙芒硝。 ZK0800孔; 5.石膏,针状,中粗晶,垂向生长,孔隙发育,埋藏于石盐层之下; 6.钙芒硝,呈自形,菱片—菱板状,晶体内部及边缘嵌有细粒碎屑物,晶体之间还有穿插顶托现象,这是在成岩过程中生长或重结晶形成的。 ZK12003- b115; 7.钙芒硝,自形,菱板状,晶径 0.2~1.0 mm,无序排列,呈“卡片多米加”结构。晶间孔隙发育。 $10\times 4(-)$, ZK1200B- b29; 8.钙芒硝 (Gl),自形,板状,其晶体内部包含石膏 (G_y)残晶,呈他形不规则状。 $10\times 10(+)$ ZK1200B- b100; 9.钙芒硝 (Gl),沿边缘交代半水石膏 (G_y)板柱状,假六边形,形成环带状结构。 $10\times 4(+)$, ZK1200B- b65; 10.钙芒硝 (Gl),呈板状,被杂卤石 (Po)交代,杂卤石呈绒球状、放射状。 $10\times 4(+)$, ZK0002- b04; 11.砂质沉积物,碎屑颗粒 (Sa)磨圆度较好,被钙芒硝 (Gl)胶结,钙芒硝具连生体结构; 12.钙芒硝 (Gl),呈碎斑状,棱角分明。基质为微细晶钙芒硝、粉砂及粘土。 $10\times 4(+)$, ZK1200B- b71