

文章编号 10258-7106 (2010) 04-0640-09

新疆东天山南缘富钾硝酸盐盐湖成矿带地质特征及资源潜力*

葛文胜¹, 刘 斌^{1,2}, 邱 斌³, 宋文杰³, 蔡克勤¹, 付 强¹

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局, 新疆 乌鲁木齐 830000;

3 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第一地质大队, 新疆 昌吉 831100)

摘 要 新疆东部是中国主要的盐类矿床聚集区, 在东天山南缘形成了巨大的富钾硝酸盐盐湖成矿带。文章在系统总结东天山南缘富钾硝酸盐成矿带地质特征、成矿条件特征和晶间卤水特征的基础上, 分析了富钾硝酸盐矿床成矿的地质条件、物质来源和气候因素, 以及已有矿床的资源状况和资源潜力, 指出富钾硝酸盐矿床是一种特殊类型的盐类矿床, 特殊的构造条件是该类矿床物质来源和成矿作用发生的重要因素, 晶间卤水和层间、裂隙卤水具有较大的资源潜力。加强该区富钾硝酸盐矿床的研究和勘查评价工作, 不仅可以丰富中国陆相盐类矿床成盐理论, 而且可以为罗布泊钾盐基地提供后续资源保障, 同时也有利于新疆新型钾、氮肥工业基地的建立。

关键词 地质学 富钾硝酸盐 成矿带 资源潜力 新疆

中图分类号 P619.21⁺1

文献标志码 A

Geological characteristics and resource potential of K-rich nitrate salt lake minerogenetic belt in southern margin of East Tianshan, Xinjiang

GE WenSheng¹, LIU Bin^{1,2}, QIU Bin³, SONG WenJie³, CAI KeQin¹ and FU Qiang¹

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Urumqi 830000, Xinjiang, China; 3 No. 1 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, Changji 831100, Xinjiang, China)

Abstract

The main minerogenetic province of salt deposits occurs in eastern Xinjiang, where a gigantic minerogenetic belt of K-rich nitrate salt lakes lies in the southern margin of East Tianshan. In this paper, geological, ore-forming and chemical characteristics of the intercrystalline brine minerogenetic belt of K-rich nitrate in the southern margin of East Tianshan are summarized, geological and climatic factors, sources of mineral-forming elements and resource status are analyzed, and some prospecting suggestions concerning the potential resources are put forward. The K-rich nitrate deposits, a special kind of ore deposits, were formed under a particular structural condition, which seems to be an important factor for salt source and minerogenetic process. The intercrystalline brines, interstratal brines and fissure brines constitute considerable potential resources. Thus, the study and exploration of this type of ore deposits in the southern margin of East Tianshan can not only enrich the theories of continental salt lake deposits but also provide resource support for the Lop Nur potassic salt base area. It is suggested that a new kind of potassic and nitrogenous fertilizer base should be set up in Xinjiang.

Key words: geology, K-rich nitrate, minerogenetic belt, resource potential, Xinjiang

* 本文得到国家自然科学基金项目(40972062)的资助

第一作者简介 葛文胜, 男, 1968 年生, 副教授, 从事矿床学与地球化学研究。Email: gews@cugb.edu.cn

收稿日期 2010-03-15; 改回日期 2010-04-20。李德先编辑。

新疆地域辽阔,盐湖星罗棋布,是中国分布范围最大的现代成盐区(郑喜玉等,1995a),特别是在新疆东部形成了巨大的盐类矿床聚集区,自吐鲁番-哈密地区至罗布泊,由北向南形成了3个盐类矿床成矿区。吐鲁番-哈密钠硝石成矿区、东天山南缘的富钾硝酸盐成矿区和罗布泊钾盐成矿区。钠硝石成矿区主要分布在吐哈盆地及觉罗塔格山间凹陷中,已发现库姆塔格、大南湖、西戈壁等多个钠硝石矿床或矿点(高月珍,1993;李博昀等,2005;刘国庆等,2005;葛文胜等,2007),在区域上已构成了一个规模巨大的硝酸盐成矿带,普查资源量近2.7亿吨,接近著名的智利硝酸盐矿床(蔡克勤等,1991;葛文胜等,2008)。新疆钾盐成矿带主要分布在罗布泊地区,钾盐(KCl)资源量达2.50亿吨,为超大型规模(王弼力等,2001,2006;刘成林等,2003)。在吐哈盆地和罗布泊之间的东天山南缘,形成了富钾硝酸盐盐湖密集分布区,部分矿床自20世纪80年代就已开采,资源潜力巨大,虽然一些学者对此类盐湖已有过研究(蔡克勤等,1991;1992;郑喜玉等,1995b;2000;2002;张义民等,2000;郑大中等,2000;秦燕等,2008;陈永志等,2009),但对硝酸盐盐湖成矿带的特征、形成和演化等方面的研究工作尚有待加强。此

外,与该成矿区带毗邻的罗布泊已经建成年产100万吨生产规模的钾盐基地,按照现有可采资源量和生产能力计算仅可供15~20年开采(王弼力等,2006),从长远来看,罗北凹地等地区的地下卤水钾盐资源保障力度有限。因此,加强对富钾硝酸盐矿床成矿地质特征和资源潜力的研究,不仅可以丰富陆相盐湖成矿理论,而且可以为罗布泊钾盐基地提供后续资源保障,同时,也有利于新疆建成新型的钾、氮肥工业基地。

1 富钾硝酸盐盐湖成矿带地质特征

富钾硝酸盐盐湖矿床主要分布在东天山南缘阿齐克库都克断裂和卡瓦布拉克大断裂、兴都-库鲁克塔格大断裂之间的构造洼地或构造断陷盆地中,西自艾丁湖南的乌尔喀什布拉克,东至库姆塔格砂垄,已经发现的富钾硝酸盐湖矿床包括乌尔喀什布拉克、乌宗布拉克、乌勇布拉克、小横山、大洼地和裤子山等盐湖型钾硝石矿床等(图1),在区域上已经构成一个富钾硝酸盐成矿带。根据构造位置和水文地质单元分区情况,富钾硝酸盐盐湖矿床可以分为东、西2个成矿区,西成矿区的盐湖矿床主要分布在阿齐克

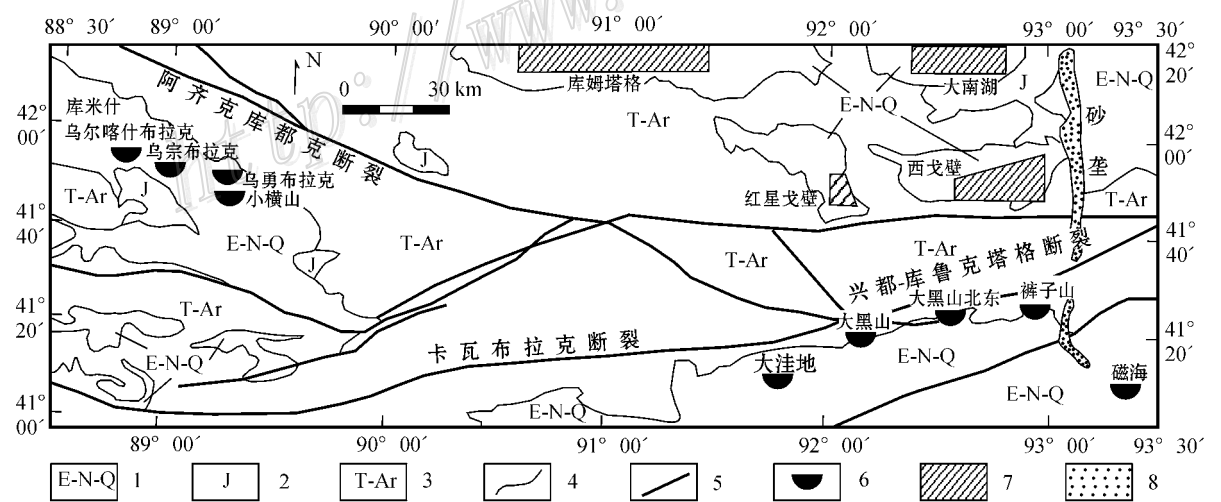


图1 新疆富钾硝酸盐盐湖成矿带地质矿产图(据张义民等,2000;郑喜玉等,1995a 改编)

1—新生界泥岩、砂岩及砾岩;2—侏罗系灰岩、泥岩、煤及碳质泥岩;3—三叠系-太古界石英片岩、砂岩、火山碎屑岩、闪长岩及花岗岩;
4—地质界线;5—断层;6—钾硝石矿床(点);7—钠硝石矿床;8—风成砂

Fig. 1 Sketch map of geology and mineral resources of the minerogenetic belt of K-bearing nitrate salt lake in Xinjiang (modified after Zhang et al., 2000; Zheng et al., 1995a)

1—Cenozoic mudstone; sandstone and conglomerate; 2—Jurassic limestone, mudstone, coal and carbonaceous mudstone; 3—Triassic-Archean quartz schist, sandstone, volcaniclastic rock, diorite and granite; 4—Geological boundary; 5—Fault; 6—Niter deposit (ore spot); 7—Nitratine deposit; 8—Aeolian sand

库都克断裂以南新生代库米什断陷盆地中,东成矿区的盐湖矿床主要分布在卡瓦布拉克和兴都-库鲁克塔格大断裂交汇部位或次级断裂形成的构造断陷凹地。此外,沿该构造带再向东延伸还分布有磁海、石英滩等多个硝酸盐盐湖。

1.1 地层

研究区位于东天山南缘构造活动带中,区内出露的地层主要有中元古界长城系星星峡组、蓟县系卡瓦布拉克组,志留系灰绿色绢云母绿泥石英片岩等浅海相变质碎屑岩系,泥盆系阿尔塔格组和克孜勒塔格组,中石炭统土古土布拉克组以及第三系、第四系(何国琦等,1994;冯瑞士等,1993)。第三系为内陆湖相碎屑沉积,其中含有多个石膏层;第四系为洪积砂泥碎石堆积和化学沉积(程捷等,2005)。成矿区内新生界分布广泛,厚度几十米到几百米不等(张义民等,2000)。

区内岩浆侵入活动比较强烈,从超基性岩到酸性岩皆有出露,主要有华力西中期超基性岩、闪长岩、花岗岩和元古代晚期片麻状花岗岩等。岩体多为面状和带状分布,呈岩基和岩株产出(何国琦等,1994;冯瑞士等,1993)。

1.2 构造

研究区构造比较发育,板块构造边界阿齐克库都克断裂和 2 条区域性大断裂兴都-库鲁克塔格大断裂和卡瓦布拉克大断裂交汇于此地(木合塔尔·扎日等,2009),地貌上形成南高北低的明显断阶,北东向、北西向、东西向次一级断裂也非常发育,2 组或多组断裂交汇地段,往往形成洼地(李博昀等,2005)。这些区域性断裂大致形成于晚古生代,且异常活跃,多是在古生代基底断层基础上,于新生代喜马拉雅运动中强烈复活再生,使两侧山区加剧上升,中间强烈下陷,堆积了厚度达 237 m 的第四系堆积物(何国琦等,1994;冯瑞士等,1993;杨兴科等,1996)。沿断裂带有狭长凹地、干谷、盐湖和一系列大小不等的长形断陷盆地。

2 富钾硝酸盐盐湖成矿带矿床特征

富钾硝酸盐盐湖矿床固相、液相并存,既有固相的钾硝石矿层,同时也有赋存于化学堆积层晶间卤水、基岩裂隙水含水层和第四系粗屑堆积层孔隙水中的液相富钾硝酸盐矿床。

2.1 固相矿床矿化特征

固相富钾硝酸盐矿化赋存在干盐湖的石盐壳中,常覆盖整个盐湖,以石盐和钾硝石矿化为主;固相富钾硝酸盐自然类型多为砂质含钾硝石和石膏石盐壳型,主要矿化矿物为钾硝石。钾硝石矿化通常位于晶间卤水水位之上、疏松泥沙质盐壳的块状盐壳中,厚度一般 0.5~1.8 m,产状基本水平。钾硝石矿化范围大小取决于盐湖本身的结构、物源区物质供给体系和水源地补给体系。盐湖范围较大时,可能有几个沉积中心,物源和水源多元时,矿化只发生在某些有利地段;盐湖范围较小时,通常物源和水源单一,整个湖区都存在硝酸盐矿化。

2.1.1 矿石矿物特征

固相富钾硝酸盐矿床盐类矿物可分为 3 大类,即硝酸盐矿物、氯化物矿物及硫酸盐矿物,主要有 9 种矿物(表 1),氯化物占主导地位,部分矿层出现少量钾石盐矿物。盐类矿物在矿石中呈细粒状,半自形-自形结构、斑点状结构、镶嵌结构、交代结构等,为角砾岩和含砂砾岩的胶结物,由于胶结致密,矿石十分坚硬。部分盐类在岩石中呈白色斑状、团块状构造分布,盐类在角砾周围结晶,则形成白色的环状圈层,构成环状构造、梳状构造或皮壳状构造。盐类矿物在岩石裂隙中分布时,构成细脉、网脉状构造,脉宽一般为 3~4 mm,少数可达 10~50 mm,稍宽的盐脉中石盐呈中-粗晶粒,但此类盐脉中,很少见有硝酸盐,主要是由石盐组成,属潜水淋滤形成的次生盐脉。在石盐脉发育处,可见淋滤形成的晶洞构造,以及晶洞中石盐沿洞壁生长的晶簇构造,或矿石中盐类被潜水淋滤溶解而形成多孔状构造。

2.1.2 矿石组分特征

根据几个矿床组合分析和光谱分析结果(表 2),钾硝石矿层的主要化学组成为: $w(\text{NaCl})$ 为 23.16%~75.03%, $w(\text{CaSO}_4)$ 为 1.22%~5.81%, $w(\text{MgSO}_4)$ 为 0.45%~2.51%, $w(\text{Na}_2\text{SO}_4)$ 为 3.73%~

表 1 硝酸盐矿床盐类矿物一览表	
Table 1 Saline sedimentary minerals in nitrate deposits	
矿物类型	矿物名称
硝酸盐	钾硝石(KNO_3)、钠硝石(NaNO_3)
氯化物	石盐(NaCl)
硫酸盐	无水芒硝(Na_2SO_4)、钾芒硝($3\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$)、软钾镁矾($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、钙芒硝($\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$)、石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、白钠镁矾($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)

表 2 固相硝酸盐矿床化学组分表[$w(B)/\%$]
Table 2 Chemical composition of solid nitrate deposits[$w(B)/\%$]

矿床名称	KNO ₃	NaNO ₃	NaCl	Na ₂ SO ₄	MgSO ₄	CaSO ₄	水不溶物	资料来源
乌勇布拉克	2.88	—	75.03	5.90	1.85	3.01	10.94	丁启交等,2002a ^① . 2002b ^②
乌尔喀什布拉克	1.50	—	60.90	5.18	2.51	2.89	26.88	丁启交等,2002a ^① . 2002b ^②
裤子山	4.34	3.64	36.70	3.73	0.45	1.22	—	丁启交等,2002a ^① . 2002b ^②
大洼地	12.48	12.23	23.16	5.24	1.73	1.63	43.53	张义民等,2000
乌宗布拉克	6.81	0.93	32.00	5.29	1.82	5.23	45.90	张义民等,2000
小横山	18.65	1.50	36.70	15.80	2.30	5.81	35.00	张义民等,2000

注：—为未测出。

15.8%, $w(KNO_3)$ 为 1.50%~18.65%, $w(NaNO_3)$ 为 0.93%~12.23%,水不溶物 10.94%~45.90%。

由表 2 可知,钾硝石矿与一般石盐矿相比较, Na_2SO_4 、 $CaSO_4$ 、 $MgSO_4$ 等硫酸盐矿物含量显著增高,部分品位较高的矿石 KNO_3 的含量远远高于工业品位 3.5% 的标准。

2.2 液相富钾硝酸盐矿床

液相富钾硝酸盐盐湖卤水通常与固相矿床共生,地表石盐壳中如果有富钾硝酸盐矿层存在,地下晶间卤水则可能是液相富钾硝酸盐矿床,两者互为依存。晶间卤水中 $w(KNO_3)$ 为 0.37%~0.91%,大部分盐湖晶间卤水已达到 0.6% 的工业品位。

2.2.1 赋存特征

液相卤水矿体主要有 3 种赋存状态:赋存于盐池中部盐壳下细、中粗粒粒状石盐中的晶间卤水;赋存于盐池下部及周边盐壳下的细砂、砂砾石、粘土质粉砂及底部残坡积层中的孔隙卤水;赋存于盐池边缘基岩裂隙中的裂隙卤水。卤水矿体主要为赋存于地表石盐壳之下的晶间卤水,晶间卤水含水层厚度一般 1~15 m,部分矿床可达到 28 m,下部为盐周边和底部的裂隙水,两者互相沟通,混为一体。

富钾硝酸盐卤水有明显的分层富集特性,石盐层中晶间卤水的 $w(KNO_3)$ 最高,而在镁盐层和芒硝层中则 $w(NaNO_3)$ 增高。

基岩裂隙潜水多分布在基岩裸露的丘陵地带,特别是断裂构造分布区域,基岩裂隙比较发育。当部分基岩裂隙与深部断裂沟通后,深部卤水成为上升泉溢出地表,如裤子山北泉。孔隙潜水多分布于盐湖周边松散的碎屑堆积物中,其水位埋深和含水层厚度在不同的盐湖中变化较大。基岩裂隙潜水和孔隙潜水往往与晶间卤水共同组成液相富钾硝酸盐

矿床。

2.2.2 卤水水化学特征

富钾硝酸盐卤水化学分析资料表明(表 3):晶间卤水中 $\rho(K^+)$ 为 1.39~3.46 g/L, $\rho(NO_3^-)$ 为 3.41~31.99 g/L, $\rho(Na^+)$ 为 101.99~137.10 g/L, $\rho(Cl^-)$ 为 174.03~183.41 g/L,总矿化度均大于 320 g/L。卤水中除主要组分 $NaCl$ 之外,还有 KNO_3 和 $NaNO_3$,其他组分 KCl 、 $MgCl_2$ 、 Na_2SO_4 、 $MgSO_4$ 、 $CaSO_4$ 等平均含量均较低,一般均小于 1%。水化学类型多为氯化钠型、硫酸盐型硫酸钠亚型,卤水分布在水平方向上水质变化甚小,卤水沿垂深方向水化学类型变化不大。在西部矿区的乌勇布拉克, $\rho(K^+)$ 相对于 $\rho(NO_3^-)$ 明显偏高,并已出现钾石盐矿物,而在东部矿区的裤子山地区, $\rho(NO_3^-)$ 明显偏高,没有钾石盐矿物析出。

3 富钾硝酸盐盐湖矿床成矿条件

富钾硝酸盐是一种特殊类型的盐类矿床,其成矿条件和成矿作用具有一定的特殊性,目前,世界上对此类矿床研究较少。以往研究认为,该类矿床多数都是在地壳活动带、大陆裂谷或山前凹陷等部位形成,并以干旱、半干旱气候和海水充足供应为先决条件(马万栋等,2008),陆相盐类沉积多数还应有深部卤水的补给和盐类物质供给(王弼力等,2001;刘成林等,2003;2006)。

3.1 成矿地质条件

盐类矿产的形成严格受构造的控制,构造运动除控制成盐盆地或洼地外,还控制着盐类矿床的形成和演化、盐类物质的来源以及盐类矿床形成后的保存和破坏(关绍曾等,1996)。中生代钾盐盆地

① 丁启交,吕东,王志成. 新疆地矿局第一地质大队. 2002. 乌尔喀什布拉克、乌宗布拉克硝酸钾矿床普查报告.
② 丁启交,吕东,杨友全. 新疆地矿局第一地质大队. 2002. 乌勇布拉克硝酸钾矿床详查报告.

表 3 富钾硝酸盐盐湖卤水及泉水化学组分 [$\rho(B)/(g/L)$]
Table 3 Chemical composition of springs and brines of K-rich nitrate salt lakes [$\rho(B)/(g/L)$]

矿床名称及卤水质	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	矿化度	pH 值	资料来源
乌勇布拉克矿床										
晶间卤水	3.11	101.99	0.25	1.06	180.16	19.80	3.41	342.36	5.8	丁启交等,2002a ^① 2002b ^②
晶间卤水	2.85	136.50	0.56	1.45	181.46	13.05	7.89	337.36	5.4	丁启交等,2002a ^① 2002b ^②
泉 1	0.14	14.50	0.87	0.51	19.86	8.09	0.31	39.16		丁启交等,2002a ^① 2002b ^②
乌宗布拉克矿床										
晶间卤水	1.77	137.10	0.57	0.37	183.41	11.34	5.77	344.30	5.5	丁启交等,2002a ^① 2002b ^②
晶间卤水	1.39	136.10	0.58	0.46	181.95	12.44	4.94	349.08	5.6	丁启交等,2002a ^① 2002b ^②
泉 3	0.10	1.33	0.49	0.15	12.30	3.22	0.05	20.30		丁启交等,2002a ^① 2002b ^②
裤子山矿床										
晶间卤水	3.04	131.41	0.48	0.54	179.56	17.27	27.18	358.15	8.8	本次工作
晶间卤水	3.46	135.18	0.19	0.88	174.03	39.00	31.99	376.65	9.0	本次工作
湖表卤水	1.39	108.62	0.05	2.80	159.82	12.87	1.54	293.21		本次工作
湖表卤水	1.34	104.39	0.05	3.12	156.91	13.24	1.52	289.10		本次工作
北泉	0.14	7.643	0.59	0.12	9.38	5.40	0.41			本次工作

的大地构造位置多与岩石张性断裂有关,或者是板块边界断裂区,或者是深大断裂所圈限的构造盆地,也可以是深大断裂所形成的地堑和裂谷(钱自强等,1994)。多期次、多层次、多形式的地质事件,可形成若干断裂相互平行、交叉联通的断裂网络系统,成为成矿物质聚集、运输的通道。地质事件产生的压力、热能为成矿物质运输提供动能(郑大中等,2000)。

东天山南缘富钾硝酸盐盐湖矿床分布区位于准噶尔-哈萨克斯坦板块与塔里木板块在东天山造山带的碰撞缝合部位(方国庆,1994;何国琦等,1994;马瑞士等,1993),区内构造比较发育(图 1),板块构造边界阿齐克库都克断裂与两条区域性大断裂兴都-库鲁克塔格大断裂和卡瓦布拉克大断裂为研究区内的主要断裂,北东向、北西向、东西向次一级断裂也非常发育。这些断裂多在古生代已经形成,长期处于活动的状态,一直持续到新构造运动重新复活。因此,形成了复杂的断裂构造系统,在两组或多组断裂交汇地段,往往形成洼地,为现代盐湖沉积提供了良好的场所;同时,断裂带内裂隙系统特别发育,也为深部卤水的补给提供了通道。

3.2 成矿物质来源

风化剥蚀是陆相盐类沉积中钾的来源之一。含钾较高的结晶岩和火山岩的风化产物以及古钾盐层的淋滤产物等都可以提供成盐物质。富钾硝酸盐矿床分布区广泛分布有石炭系、泥盆系、石炭系、侏罗系、第三系以及花岗岩、花岗闪长岩等侵入岩。在地

层中发育一套含 K、Na、Ca、Mg 的绢云石英片岩、黑云母绿泥片岩、砂岩、粉砂岩、泥岩及石灰岩等,它们又都处于强烈风化剥蚀区,经地表洪水搬运至洼地聚集,提供了丰富的 K、Na、Ca、Mg 等物源。

关于 NO₃⁻ 的来源和富集机制目前还没有形成较为统一的认识。以往多认为与基岩风化剥蚀(张义民等,2000)和北部吐-哈盆地的钠硝石矿床有关。近年来,许多学者对新疆干旱区的硝酸盐成因进行了研究,并提出了不同的见解。秦燕等(2008)对吐-哈地区硝酸盐矿床的氧同位素非质量分馏效应进行了研究,认为硝酸盐矿物是通过大气光化学反应产生的,大气的沉降作用对矿床的形成起到了重要的作用。陈永志等(2009)通过对新疆干旱区沉积物野外实地与室内模拟金属催化光化学反应试验,认为 Ti 等金属催化-光化学反应是新疆干旱区内硝酸盐形成的主要机制。

大气降雨及构造裂隙水为盐池的主要补给来源。许多学者曾提供了中国一些中、新生代盆地和现代盐湖中的盐类物质深部来源的直接和间接的证据(王弼力等,2001;刘成林等,2003)。通常海洋水的 $\rho(NO_3^-)$ 为 0.03 g/L(郑喜玉等,1995a),西部干旱区 $\rho(NO_3^-)$ 地表河水为 0.007 g/L,浅层地下水为 0.008~0.03 g/L、泉水为 0.004~0.035 g/L(王根绪等,2003)。笔者通过近年来的野外实地考察发现,该区的富钾硝酸盐盐湖矿床附近几乎都有深部卤水成为上升泉溢出地表,对这些上升泉水化学分

① 丁启交,吕东,王志成. 新疆地矿局第一地质大队. 2002. 乌尔喀什布拉克、乌宗布拉克硝酸钾矿床普查报告.
② 丁启交,吕东,杨友全. 新疆地矿局第一地质大队. 2002. 乌勇布拉克硝酸钾矿床详查报告.

析(表 3)表明,上升泉本身 $\rho(\text{NO}_3^-)$ 比较高,最高可达 0.41 g/L ,一般为 0.3 g/L 。相对于西部干旱区泉水 $\rho(\text{NO}_3^-)$ 富集 10 倍以上,应是富钾硝酸盐盐湖重要的来源之一。如裤子山矿区北部上升泉裤子山北泉,流量约为 $20 \text{ m}^3/\text{d}$;乌勇布拉克和乌宗布拉克矿区也都有上升泉水补给,如泉 1 出露在矿床北侧,最大流量出现在 1 月份,流量为 37.5 L/s ,最低流量出现在 10 月份,流量为 25 L/s ,补给量 $83.35 \times 104 \text{ m}^3/\text{a}$ 。由表 3 可知,泉水中的 K^+ 和 NO_3^- 通过蒸发富集 10~15 倍后基本就能达到湖表卤水和晶间卤水的浓度。富钾硝酸盐矿床分布区恰在构造断裂分布发育密集的地区,上升泉成为重要的盐湖物质和卤水的补给来源。此外,裤子山盐湖低洼处有卤水溢出补给盐湖,并形成了石盐、钠硝石、芒硝等矿物,说明富钾硝酸盐矿床地层中潜水应为具有承压性质的潜卤水。

对裤子山北泉水的氢氧同位素初步分析表明, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 为 -4.38‰ , $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 为 -52.8‰ ;裤子山湖表卤水的氢、氧同位素平均 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 2.95‰ , δD 为 17.5‰ (中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室刘爱华测试),与罗布泊大气降水和盐湖卤水比较(刘成林等,1999),裤子山北泉水氢氧同位素与大气降水接近, δD 具大气降水的性质, ^{18}O 发生漂移主要与围岩发生氧同位素交换有关。因此,裤子山泉水可能属于深部卤水与大气降水混合的产物。裤子山湖表卤水的氢、氧同位素表明其显然是泉水受到一定的蒸发作用的产物。

3.3 气候条件

富钾硝酸盐矿床同其他盐类矿床一样也需要干旱的气候条件。由于钾盐和硝酸盐的溶解度极高,是卤水演化的最后阶段的产物,故需要持续干旱的

气候条件。干旱气候带的形成受地形、地貌控制也很明显。喜马拉雅运动以来形成‘高山深盆’的构造格局(袁见齐等,1983),加剧了该区的干旱气候,造成地表水系基本干涸,水-盐运移以潜水式渗流,通过毛细孔隙和裂隙蒸发,成为水的主要排泄方式。因而浅表的第四纪沉积物中普遍盐硝化,孔隙、裂隙成为盐类主要堆积-结晶地点。强烈的蒸发作用和极低的降水量,是富钾硝酸盐盐湖矿床形成和保存的重要条件。

4 富钾硝酸盐矿床资源潜力

从已有的资料来看,该区液相富钾硝酸盐资源量为 124.5 万吨,固相富钾硝酸盐资源量为 38.86 万吨(表 4),部分资源量已经转化为经济价值。虽然已经开采近 20 多年,由于开采规模较小,尚可以满足资源供给,但资源勘查评价仅在 334 的水平上,还应具有较大的资源潜力。

据以往资料,对该区部分矿床分布区内的固相 KNO_3 预测资源量为 47.2 万吨(张义民等,2000),但从现有的 3 个上升泉补给来看,如果按照每年补给量 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、 $\rho(\text{K}^+)$ 平均值为 0.1 g/L ,考虑到新疆现代盐湖沉积历史约 3 万年左右(郑喜玉等,1995a),仅 3 个上升泉补给折合 KNO_3 资源量约 800 万吨。

从现有资料看,该区广泛沉积了巨厚的中新世,仅第四系的厚度就达近 300 m。虽然该区处于干旱、半干旱地区,但第四系内赋存了大量的潜卤水,成为富钾硝酸盐卤水的重要储集层,最浅处的水位仅 1 m,含卤水层厚度十几米到几十米不等,矿化度较高,如乌尊布拉克砂砾石孔隙潜水矿化度达 36.83

表 4 新疆东天山南缘富钾硝酸盐资源量表

Table 4 K-rich nitrate resource in the southern margin of east Tianshan, Xinjiang

矿区名称	类别	水深/盐层厚度/m	资源量/万吨	级别	数据来源
乌尔喀什布拉克	晶间卤水	4.51/0.2	15.9(液相) 3.28(固相)	334 ₃	丁启交等,2002a ^① 2002b ^②
乌宗布拉克	晶间卤水	7.4/0.3	13.5(液相) 20.19(固相)	334 ₃	丁启交等,2002a ^① 2002b ^②
裤子山	晶间卤水	12.65/0.29	18.88(液相) 2.79(固相)	333	丁启交等,2002a ^① 2002b ^②
乌勇布拉克	晶间卤水	9.77/0.29	63.62(液相) 4.8(固相)	333	丁启交等,2002a ^① 2002b ^②
大洼地	晶间卤水		12.6(液相) 7.8(固相)	334 ₃	丁启交等,2002a ^① 2002b ^②

① 丁启交,吕东,王志成. 新疆地矿局第一地质大队. 2002. 乌尔喀什布拉克、乌宗布拉克硝酸钾矿床普查报告.

② 丁启交,吕东,杨友全. 新疆地矿局第一地质大队. 2002. 乌勇布拉克硝酸钾矿床详查报告.

~180.08 g/L。同时,由于研究区所处的特殊的构造部位,大断裂、次级断裂以及构造裂隙极其发育,赋存大量裂隙水,如乌尊布拉克基岩裂隙水矿化度平均达到 40.15 g/L,虽然其来源是否是深部水目前尚不清楚,但一个明显的事实就是研究区内孔隙水、构造裂隙水是扩大富钾硝酸盐储量的必要条件。目前,对液相富钾硝酸盐卤水的资源量的评价还处于相当低的水平,对于富钾硝酸盐卤水层和潜水含钾情况尚不十分清楚,地质工作还相对薄弱,但从目前的地质工作程度来看,该区应具有巨大的资源潜力。

5 讨论与结论

新疆东部形成了中国巨大的盐类矿床聚集区,自吐哈地区至罗布泊,由北向南形成了 3 个盐类矿床成矿区带,即吐哈地区的钠硝石成矿区、东天山南缘的富钾硝酸盐盐湖成矿区和罗布泊钾盐成矿区。特别是富钾硝酸盐矿床是一种特殊类型的盐类矿产,加强富钾硝酸盐矿床的勘查评价,对于缓解中国钾盐短缺的状况,降低传统氮肥生产的能耗和污染具有重要意义。同时,考虑到罗布泊已成为中国新的钾肥基地,富钾硝酸盐矿床与罗布泊钾盐矿床地域毗连,客观上已构成了中国新的肥料工业基地。

研究区大型构造发育,这不仅控制着富钾硝酸盐矿床的分布,而且为此类矿床的形成和演化提供了必要的物质来源和水动力条件。该区富钾硝酸盐矿床通常都有上升泉补给,大气降水和深部卤水是盐类物质补给的重要来源,同时,该区极端干旱的气候是富钾硝酸盐矿床形成和保存的重要条件。

该区沿着大型断裂带分布的盐湖、干盐湖很多,但目前的勘查评价工作程度较低,特别是区域上晶间卤水和层间、裂隙卤水的分布状态和物质组成尚不清楚,具有较大的资源潜力,应加强该区富钾硝酸盐矿床的研究和勘查评价工作,推进此类硝酸盐矿床的地质勘查和开发利用工作的进程,早日建成新疆新型的钾、氮肥工业基地。

References

Cai K Q, Gao J H, Zhao D J and Yu Y K. 1992. Mineralogical studies of humberstonite and darapskite in Luobupo region, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 12(2): 143-151 (in Chinese with English abstract).

Cai K Q, Yu Y K, Yun L T, Mo M and Gao Y Z. 1991. The geologi-

cal summary of the Chilean nitrate deposits[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 13(1-2): 47-54 (in Chinese).

Chen Y Z, Liu C L, Jiao P C, Li S D and Han J M. 2008. Preliminary researches on nitrate formation by metal-catalyst photochemical reaction in arid region of Xinjiang[J]. *Mineral Deposits*, 28(5): 713-717 (in Chinese with English abstract).

Cheng J, Zhang Q Y, Zhang X J, Pan W, Zhang X W and Yu W Y. 2005. Environmental evolution during the Cenozoic in the Turpan basin[M]. Beijing: Seismological Press. 1-15 (in Chinese with English abstract).

Fang G Q. 1994. Paleozoic plate tectonics of eastern Tianshan Mountains, Xinjiang, China[J]. *Acta Geologica Gansu*, 3(1): 34-40 (in Chinese).

Gao Y Z. 1993. Composition and origin of soda-nitre deposit in Shanshan Hontai area, Xinjiang Province[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 15(1): 16-23 (in Chinese with English abstract).

Ge W S, Cai K Q, Sang S J, Qiu B and Shuai K Y. 2007. Composition and origin of the Kumtag large nitrate deposits in the Turfan-Hami basin[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 27(Supp.): 104-106 (in Chinese).

Ge W S, Cai K Q, Qiu B, Sang S J and Shuai K Y. 2008. Study on characteristics and accumulation model of large nitrate deposits in the Turfan-Hami basin, Xinjiang[A]. The proceeding of the 9th national conference of mineral deposits, China [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 365-366 (in Chinese).

Guan S Z, Jiang Z L, Wei D Y, Yang L P, Yang L P, Xuan Z Q, Chen Y C, Cui T X, Liu Z M, Deng X L and Yin X M. 1996. Chinese saline deposits in relation to plate tectonics[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 18(2): 73-78 (in Chinese with English abstract).

He G Q, Li S M, Liu D Q, Tang Y L and Zhou R H. 1994. Palaeozoic crustal evolution and mineralization in Xinjiang of China [M]. Urumqi: Xinjiang Pub. Houses. 1-437 (in Chinese with English abstract).

Li B Y, Xiong X X, Liu Z M and Liu G Q. 2005. The deposit types distribution and prospect of nitrate-ores of Tulufan-Hami area in Xinjiang[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 27(4): 193-200 (in Chinese with English abstract).

Liu C L, Wang M L and Jiao P C. 1999. Hydrogen, oxygen, strontium and sulfur isotopic geochemistry and potash-forming material sources of Lop salt lake, Xinjiang, China[J]. *Mineral Deposits*, 18(3): 268-275 (in Chinese with English abstract).

Liu C L, Jiao P C, Wang M L, Li S D and Chen Y Z. 2003. Ascending brine fluids in Quaternary salty lake of Lop Nur in Xinjiang and their significance in potash formation[J]. *Mineral Deposits*, 22(4): 286-291 (in Chinese with English abstract).

Liu C L, Wang M L, Jiao P C and Chen Y Z. 2006. The exploration experiences of potash deposits in the world and probing of countermeasures of China's future potash-deposits investigation [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 28(1): 1-17 (in Chinese with English Abstract).

Liu G Q, Xiong X X, Guo H Z, Liu Z M and Li B Y. 2005. Analysis of nitronatrite-mineralizing prospect in Heishanwei region Shanshan, Xinjiang

- [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 27(2): 91-95 (in Chinese with English Abstract).
- Ma R S, Ye S F and Wang C Y. 1993. The tectonic framework and crust evolution in eastern Tianshan[M]. Nanjing: Press of Nanjing University. 200-225 (in Chinese with English abstract).
- Ma W D and Ma H Z. 2008. Geological evolution and advance of seeking potash in Tarim basin [J]. *Northwest Geology*, 42(2): 63-70 (in Chinese with English abstract).
- Muhetaer Z, Zhang X F, Wu Z N, Wu C Z and Chen C. 2009. Plates in eastern Tianshan, Xinjiang, China and its redefinition of the suture zone between the Juggar Kazakhstan and Tarim significance[J]. *Earth Science Frontiers*, 16(3): 138-148 (in Chinese with English Abstract).
- Qian Z Q, Qu Y H and Liu Q. 1994. The potash deposits[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-41, 63-137 (in Chinese with English Abstract).
- Qin Y, Li Y H, Liu F, Hou K J and Wan D F. 2008. Mass independent oxygen isotope fractionation in nitrate deposits of the Turpan-Hami area, Xinjiang[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(6): 729-734 (in Chinese with English abstract).
- Wang G X, Cheng G D, Qian J and Chang J. 2003. N and P loading features and dynamical changes in arid inland water bodies of northwest China[J]. *Advance in Earth Sciences*, 18(3): 338-343 (in Chinese with English Abstract).
- Wang M L, Liu C L, Jiao P C, Han W T and Song S S. 2001. Saline lake potash resources in Lop Nur, Xinjiang[M]. Beijing: Geol. Pub House. 20-229 (in Chinese with English abstract).
- Wang M L, Liu C L and Jiao P C. 2006. Investigation and scientific research progress and exploitation present situation of Lop Nur salty lake potash deposits, Xinjiang, China[J]. *Geological Review*. 52(6): 757-764 (in Chinese with English Abstract).
- Yang X K, Tao H X, Luo G C and Ji J S. 1996. Basic features of plate tectonics in east Tianshan of China[J]. *Xinjiang Geology*, 14(31): 221-227 (in Chinese with English abstract).
- Yuan J Q, Huo C Y and Cai K Q. 1983. The high mountain-deep basin environment: A new genetic model of salt deposits[J]. *Geological Review*, 52(6): 757-764 (in Chinese with English Abstract).
- Zhang D Z and Zhang R F. 2000. Primary study on mechanism of forming of nitrate deposit and salt lake[J]. *Journal of Salt Lake Science*, 8(3): 6-12 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y M, Pan K Y, Zhao X S, Li S W, Guo J, Guo M D, Cai G H, Zhang K Q, Zhao M G and Yu L Q. 2000. The nitrate deposits in Xinjiang [M]. Urumqi: Xinjiang University Press. 15-60 (in Chinese).
- Zheng X Y, Li B X, Gao Z H, Xu C, Zhang M G, Cai B Q, Zhang B Z and Shan F S. 1995a. Salt lake in Xinjiang[M]. Beijing: Science Press. 69-85 (in Chinese).
- Zheng X Y and Liu J H. 1995b. The nitrate salt lakes in Xinjiang[J]. *Journal of Salt Lake Science*, 3(2): 20-25 (in Chinese with English abstract).
- Zheng X Y. 2000. Sedimentary features of sylvite nitrate in Lake Wuzunbulake[J]. *Journal of Salt Lake Science*, 8(1): 41-52 (in Chinese with English abstract).
- Zheng X Y, Zhang M G, Xu C and Li B X. 2002. Salt lake in China[M]. Beijing: Science Press. 1-413 (in Chinese).
- 附中文参考文献
- 蔡克勤, 于友库, 云连涛, 莫 珉, 高月珍. 1991. 智利硝酸盐矿床地质概要[J]. *化工地质*, 13(1-2): 47-54.
- 蔡克勤, 高建华, 赵德钧, 于友库. 1992. 新疆罗布泊地区水硝镁矾和钠硝石的矿物学研究[J]. *矿物学报*, 12(2): 143-151.
- 陈永志, 刘成林, 焦鹏程, 李树德, 韩建明. 2009. 新疆干旱区沉积物金属催化-光化学反应生成硝酸盐试验研究[J]. *矿床地质*, 28(5): 713-717.
- 程 捷, 张秋营, 张西娟, 潘 蔚, 张学文, 宇文洋. 2005. 吐鲁番盆地新生代环境演变[M]. 北京: 地震出版社. 1-15.
- 方国庆. 1994. 东天山古生代板块构造特点及其演化模式[J]. *甘肃地质学报*, 3(1): 34-40.
- 高月珍. 1993. 新疆鄯善红台钠硝石矿床物质组分和成因探讨[J]. *化工地质*, 15(1): 16-23.
- 葛文胜, 邱 斌, 桑少杰, 蔡克勤, 帅开业. 2007. 新疆吐-哈盆地库姆塔格钠硝石矿床特征及成因研究[J]. *矿物学报*, 27(增刊): 104-106.
- 葛文胜, 蔡克勤, 邱 斌, 桑少杰, 帅开业. 2008. 新疆吐哈盆地大型硝酸盐矿床特征及成矿模式研究[A]. 第九届全国矿床会议论文集[C]. 北京: 地质出版社. 365-366.
- 关绍曾, 江宗龙, 魏东岩, 杨流平, 宣之强, 陈延成, 崔天秀, 刘振敏, 邓小林, 尹学敏. 1996. 中国板块构造与盐类矿产[J]. *化工矿产地质*, 18(2): 73-78.
- 何国琦, 李茂松, 刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社. 1-437.
- 李博昀, 熊孝先, 刘振敏, 刘国庆. 2005. 新疆吐鲁番-哈密地区硝酸盐矿床类型、分布规律及找矿前景[J]. *化工矿产地质*, 27(4): 193-200.
- 刘成林, 王弼力, 焦鹏程. 1999. 新疆罗布泊盐湖氢氧锶碲同位素地球化学及钾矿成矿物质来源[J]. *矿床地质*, 18(3): 268-274.
- 刘成林, 焦鹏程, 王弼力, 李树德, 陈永志. 2003. 新疆罗布泊第四纪盐湖上升卤水流体及其成钾意义[J]. *矿床地质*, 22(4): 286-291.
- 刘成林, 王弼力, 焦鹏程, 陈永志. 2006. 世界主要古代钾盐找矿实践与中国找钾对策[J]. *化工矿产地质*, 28(1): 1-7.
- 刘国庆, 熊孝先, 郭洪周, 刘振敏, 李博昀. 2005. 新疆鄯善黑山尾地区钠硝石成矿远景分析[J]. *化工矿产地质*, 27(2): 91-95.
- 马万栋, 马海州. 2008. 塔里木盆地地质环境演化及钾矿寻找研究进展[J]. *西北地质*, 41(2): 63-70.
- 马瑞士, 叶尚夫, 王赐银. 1993. 东天山构造格架和演化[M]. 南京: 南京大学出版社. 200-225.
- 木合塔尔·扎日, 张晓帆, 吴兆宁, 吴昌志, 陈 川. 2009. 东天山准噶尔-萨克斯坦板块与塔里木板块缝合线的再厘定及其意义[J]. *地质学前沿*, 16(3): 138-148.
- 钱自强, 曲一华, 刘 群. 1994. 钾盐矿床[M]. 北京: 地质出版社. 1-41, 63-137.
- 秦 燕, 李延河, 刘 锋, 侯可军, 万德芳. 2008. 新疆吐-哈地区硝酸盐矿床的氧同位素非质量效应[J]. *地球学报*, 29(6): 729-734.
- 王根绪, 程国栋, 钱 鞠, 常 娟. 2003. 中国干旱内陆流域水体 N、P 负荷特征与动态变化——以黑河流域为例[J]. *地球科学进展*, 18(3): 338-343.

王弭力,刘成林,焦鹏程,韩蔚田,宋松山. 2001. 罗布泊盐湖钾盐资源[M]. 北京:地质出版社. 20-229.

王弭力,刘成林,焦鹏程. 2006. 罗布泊盐湖钾盐矿床调查科研与开发现状资源[J]. 地质论评,52(6):757-764.

杨兴科,陶洪祥,罗桂昌,姬金生. 1996. 东天山板块构造基本特征[J]. 新疆地质,14(31):221-227.

袁见齐,霍承禹,蔡克勤. 1983. 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,29(2):159-165.

张义民,潘克耀,赵兴森,李世文,郭军,郭名德,蔡国华,张克勤,赵美光,喻丽琴. 2000. 新疆硝酸盐矿床[M]. 乌鲁木齐:新疆大

学出版社. 15-60.

郑大中,郑若锋. 2000. 硝酸盐矿床及其盐湖形成机理初探[J]. 盐湖研究,8(3):8-12.

郑喜玉,李秉孝,高章洪,徐昶,张明刚,蔡碧琴,张宝珍,山发寿. 1995a. 新疆盐湖[M]. 北京:科学出版社. 69-85.

郑喜玉,刘建华. 1995b. 新疆的硝酸盐盐湖[J]. 盐湖研究,3(2):20-25.

郑喜玉. 2000. 乌尊布拉克湖硝酸钾沉积特征[J]. 盐湖研究,8(1):41-52.

郑喜玉,张明刚,徐昶,李秉孝. 2002. 中国盐湖志[M]. 北京:科学出版社. 1-413.

作者更正:

《矿床地质》2010 年第 3 期 511 页左栏第 8~10 行“2005~2007 年,经内蒙古地调院详细的地质勘查工作,探明了小狐狸山矿床是一个具有中型规模的隐伏岩型钼矿床。”应改为“2005~2007 年,经内蒙古地勘院详细的地质勘查工作,探明了小狐狸山矿床是一个具有中型规模的隐伏岩型钼矿床”。

<http://www.kcdz.ac.cn/>