

新疆硝酸盐矿床地质特征及成因研究进展

宋建国^{1,2,3}, 程怀德^{1,2}, 马学海^{1,2,3}, 李长忠^{1,2,3}, 海擎宇^{1,2}, 李俊^{1,2,3}

(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. 青海省盐湖地质与环境重点实验室, 青海 西宁 810008; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:硝酸盐矿产资源在工农业领域应用广泛, 世界范围内大规模的硝酸盐矿床主要分布于国内新疆和智利阿塔卡玛沙漠地区。目前, 国内外学者就硝酸盐矿床氮来源与富集成矿的解释仍存有争议, 尚未形成一个完善的硝酸盐成矿理论体系。简述了国内新疆硝酸盐矿床的地质特征与成因研究进展, 通过与智利阿塔卡玛硝酸盐成因与成矿模式的对比, 认为新疆硝酸盐矿床的成因成矿过程更复杂, 进一步研究硝酸盐矿床有助于完善成矿理论体系, 具有现实意义。

关键词:新疆; 硝酸盐矿床; 地质特征; 成因; 成矿模式

中图分类号: P578.5

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2020)04-0102-10

硝酸盐类矿产是重要的工业原料, 世界范围内大规模的硝酸盐矿床主要分布于国内新疆吐—哈盆地与智利阿塔卡玛沙漠地区, 此外, 埃及、秘鲁、南极干谷等也有少量分布^[1-6], 矿物类型以钾硝石和钠硝石最为常见。

新疆维吾尔自治区位居大陆内部, 地形高差显著, 盆山相间分布, 气候干旱, 盐湖众多, 但分布不均, 具有区域性和地带性差异。智利位于南美洲的西南部, 临近太平洋, 境内地貌特征显著, 自然地理条件差别大, 气候复杂多样, 多干盐湖, 其硝酸盐资源储量丰富。根据区域地质构造和自然地理环境等可将新疆盐湖划分为准噶尔界山—阿尔泰山山间盆地盐湖区、准噶尔盆地盐湖区、天山山间盆地盐湖区、塔里木盆地盐湖区、昆仑山—阿尔金山山间盆地盐湖区五个盐湖分布区^[7], 其中分布有罕见的硝酸盐型盐湖^[8], 盐类矿物可分为碳酸盐、硫酸盐、硼酸盐、氯化物和硝酸盐等五大类38种矿物。新疆硝酸盐矿床主要分布于吐—哈盆地山间拗陷和罗北洼地中, 区域上已构成一个规模巨大的硝酸盐成矿带, 普查钠硝石资源储量近 2.7×10^8 t, 仅次于智利阿塔卡玛硝酸盐矿

床^[9], 位居世界第二。

国外对硝酸盐矿床研究较早, 从19世纪以来学者们先后从不同角度对智利阿塔卡玛硝酸盐矿床进行研究, 主要涉及到矿区地质特征、矿床矿物沉积分布特征、成矿过程、硝酸盐氮来源、补给源、古气候演变、资源开采利用等方面^[2,4-5,10-24], 就硝酸盐矿床来说存有最大争议的是硝酸盐的来源以及如何富集成矿^[4,12,14,16,25]。此外, 阿塔卡玛沙漠极度干旱的起因和持续性也存有争议^[26-29]。国内对硝酸盐矿床研究起步较晚, 从20世纪80~90年代以来学者们陆续对新疆硝酸盐矿床开展研究, 主要涉及到矿区的地质地貌特征、矿床矿物沉积分布特征、硝酸盐氮来源与富集成矿机制、湖盆和古环境演化历史、水盐体系相平衡、资源状况及其勘探开发利用等方面^[30-53], 同样对于新疆干旱区巨量的硝酸盐的来源与富集成矿机制至今尚未完全解释清楚。本文简述了国内新疆硝酸盐矿床的地质特征和成因研究进展, 通过对比阿塔卡玛硝酸盐矿床研究现状认为新疆硝酸盐矿床的成因与成矿过程更复杂, 矿床类型不同, 其形成机制存在差异。

收稿日期: 2019-10-23; **修回日期:** 2020-03-20

基金项目: 中国科学院西北生态环境资源研究院“一三五”重点培育项目(Y760031090)和科技部专项项目(2012FY112600)

作者简介: 宋建国(1993-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向蒸发岩矿床。Email: songjgchina@163.com。

通信作者: 程怀德(1976-), 男, 研究员, 主要从事蒸发岩矿床学相关研究工作。Email: chenghuaide@isl.ac.cn。

1 地质概况

吐—哈盆地是一个东西向狭长的内陆封闭盆地,大地构造处于准噶尔—北天山褶皱系的东部,塔里木准台地北缘,南邻塔里木盆地,北邻准噶尔盆地,地势北高南低。吐—哈盆地为复式内陆盆地,其构造演化可分为晚二叠世—三叠纪、侏罗纪、白垩纪—第四纪三个演化阶段,构造特征具有初期伸展、主要成盆期压缩的特点^[54]。区内地层出露齐全,前寒武系至新生界地层均有出露,古生界石炭系地层广布,新生界地层在各大盆地中分布广泛,第四系地层为硝酸盐矿床的主要赋矿层位^[37]。区内火山岩岩性以中基性火山岩为常见,分布广泛。罗布泊位于塔里木盆地东缘,是塔里木盆地内的一个次级拗陷盆地和最低汇水中心,北为龟背山低山丘陵区,东为北山及阿齐克谷地,南为阿尔金山山前冲洪积扇和沙丘,西南为广阔的沙漠覆盖区,北部与东北部为雅丹地貌或风蚀

残丘、台地,区内第四系地层遍布,岩性复杂,主要为冲洪积成因的中粗碎屑岩和化学沉积物^[55]。罗布泊盐湖是在新近系晚期塔里木盆地东部拗陷的基础上,经早更新世—中更新世早期阶段、中更新世中期—晚更新世早期阶段、晚更新世中晚期—全新世阶段三个阶段逐步演化形成^[56]。此区断裂构造发育,侵入岩发育广泛。智利阿塔卡玛盆地为一新生代断陷盆地,东西边界均为深大断裂,盆地从新近纪开始被断裂活动分割为百余个地形洼地,地层主要是侏罗纪和白垩纪的深成岩和火山岩,以及第三纪和第四纪的火山岩、相关的未固结冲积物和湖相沉积物,中央洼地中包含填充的冲积层和湖泊沉积物互层,而海岸带被盐水胶结的碎石和风沙混合覆盖^[3]。硝酸盐矿床主要富存于第四纪表层冲洪积物和化学堆积物中,相比智利硝酸盐矿床,国内新疆硝酸盐矿床分布区新构造活动发育,构造活动对富钾硝酸盐矿床成因成矿的影响有待进一步深入研究(图1)。

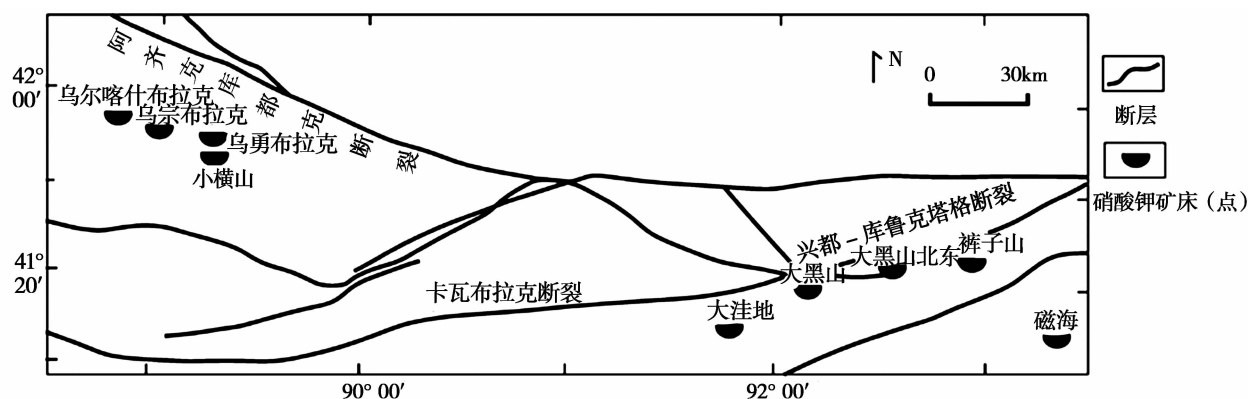


图1 新疆富钾硝酸盐矿床(点)与构造的关系(据文献^[9]修改)

Fig. 1 Relationship between structure and K-rich nitrate deposits(ore spot) in Xinjiang

2 矿床地质特征

新疆硝酸盐矿床形成于第四纪中晚期,为表生矿床,埋藏于地表或浅地表,主要分布在准噶尔优地槽褶皱带的三塘湖—淖毛湖拗陷(北区)、北天山优地槽褶皱带的吐—哈山间拗陷(中区)和塔里木准地台库鲁克塔格—星星峡断隆的库米什山间拗陷(南区)三个中新世山间拗陷内^[37],矿

床(点)大体上沿着兰新铁路呈东西向展布(图2)。自吐—哈地区至罗布泊地区由北向南形成了三个盐类矿床成矿区:吐—哈钠硝石成矿区、东天山南缘的富钾硝酸盐成矿区和罗布泊钾盐成矿区,富钾硝酸盐矿床主要分布在阿齐克库都克断裂以南新生代库米什断陷盆地与卡瓦布拉克和兴都—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中^[9]。智利阿塔卡玛硝酸盐矿床矿区为圆形山丘、山脊以及宽阔而浅的碎石

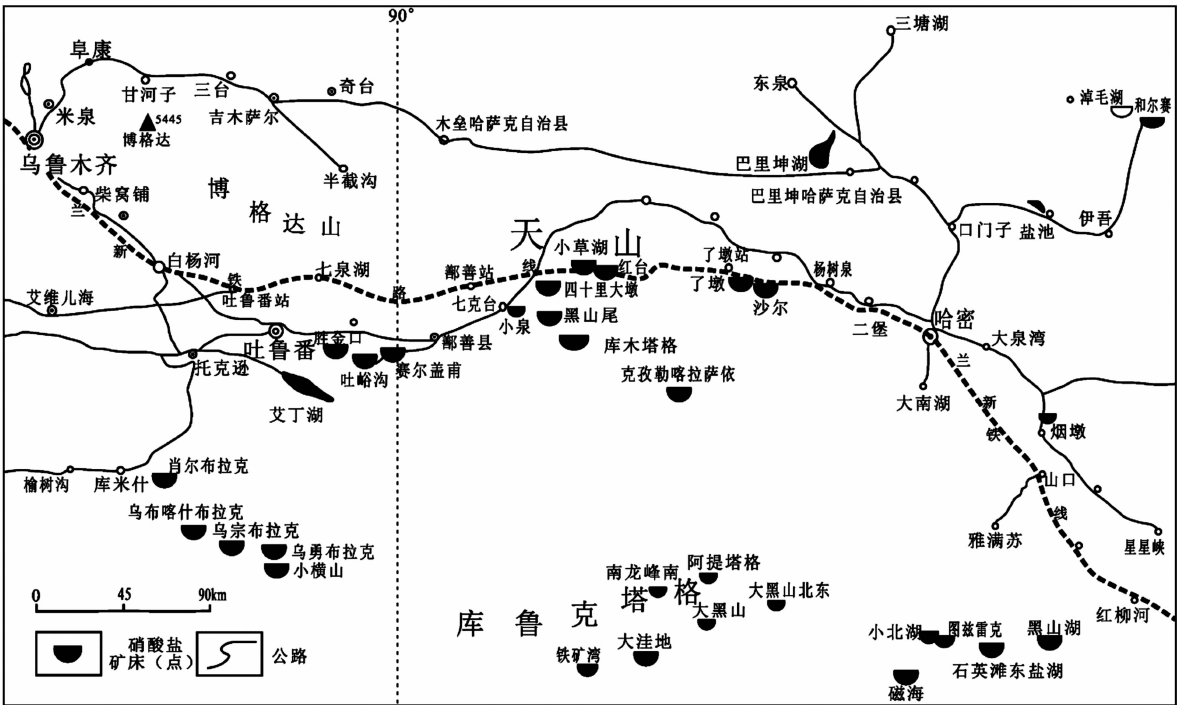


图 2 新疆硝酸盐矿床(点)分布简图(据文献^[37]修改)

Fig. 2 A simplified distribution map of nitrate-ores in Xinjiang

表 1 新疆硝酸盐矿床分类表

Table 1 Classification of nitrate-ores in Xinjiang

类 型			亚 型	实 例
盐滩 型硝 酸盐 矿床	固相 矿床	表生孔隙卤水蒸发型矿床	第四系冲洪积物孔隙卤水蒸发型矿床	小草湖钠硝石矿床 黑山尾钠硝石矿床 红台钠硝石矿床 四十里大墩钠硝石矿床
			现代盐湖化学堆积物孔隙卤水蒸发型矿床	小横山钾硝石矿床
			第四系残坡积物裂隙卤水充填型矿床	淖毛湖和尔赛钠硝石矿床 沙尔钠硝石矿床
			基岩构造裂隙卤水充填型矿床	吐峪沟钠硝石矿床 赛尔盖甫钠硝石矿床
				石英滩东盐湖硝酸盐矿床 磁海硝酸盐矿床
盐湖 型硝 酸盐 矿床	液相 矿床	现代盐湖晶间卤水型矿床		乌勇布拉克硝酸钾矿床 图孜雷克硝酸盐矿床
	固液 并存 矿床		现代盐湖化学堆积孔隙充填型矿床	大洼地硝酸钾矿床 铁矿湾硝酸钾矿床

充填的沟谷低起伏地形区^[12],矿体分布于海岸山脉的东坡、冲洪积扇前缘、盆地边缘、丘陵或缓坡的坡脚处、近地表破碎基岩裂隙、盐沼带间的平坦高地,受地形地貌的控制明显,但高品位的硝酸盐矿床多分布于较低的山丘斜坡脚处,属盆地边缘,通常地表以下1~5m富矿,表层硝酸盐的结土厚数十厘米至1~2m^[3]。

2.1 矿床分类

新疆硝酸盐矿床多为复合型矿床,可划分为盐湖型和盐滩型硝酸盐矿床^[45],依据矿床形成条件、赋存状态和矿物组合等特征又可划分为两大类三种类型四种亚型^[37,45,57](表1)。中更新世成矿期主要形成固相钠硝石矿,晚更新世成矿期以硝酸钾矿为主,全新世成矿期既形成钠硝石矿床,又形成钾硝石矿与固液相矿层^[57],各成矿期和成盐期形成的硝酸盐矿床特征差别较大。智利硝酸盐矿床按成因可分为冲积型、基岩型和粉砂质盐壳型三种类型^[3]。

表1显示新疆硝酸盐矿床类型多样,不同类型与同类型的硝酸盐矿床成因上是否具有同源性与关联性值得探究。

2.2 盐类矿物

新疆盐滩型硝酸盐矿床以钠硝石矿床为主,主要分布在北区和中区山前拗陷的更新世—全新世沉积物的表生孔隙和裂隙中,产状与地层一致,矿床具有垂直分带现象,矿石以角砾状石盐质钠硝石矿和泥砂质含砾石盐钠硝石矿为主,盐类矿物组合为钠硝石、钠硝矾、无水芒硝、石盐^[9,37,43]。盐湖型硝酸盐矿床以液相或固液相硝酸钾矿床为主,主要分布在南区第四系构造洼地或与构造断陷盆地相关的盐湖或干盐湖中,盐类矿物组合为钾硝石、钠硝石、钠硝矾、无水芒硝、石盐^[43]。固相富钾硝酸盐矿床常赋存在整个干盐湖晶间卤水之上的疏松泥砂质或石膏质石盐壳中,液相富钾硝酸盐盐湖卤水矿体赋存在地表石盐壳之下的沉积物以及边部断裂构造较发育的基岩裸露丘陵地带的基岩裂隙中,通常与固相硝酸钾矿床共生,具有分层富集的特征^[9,37-38,43]。智利硝酸盐矿床除含有硝酸盐、硫酸盐、氯化物等主要盐类矿物外,还含少量的硼酸盐、铬酸盐、碘酸盐等矿物,

碘/溴比很高,硝酸盐矿物与石盐等其它盐类矿物共生,主要赋存在渗透性较好的碎屑沉积物和孔隙发育的岩石中^[3]。如此复杂多样的盐类矿物,其形成与组合转变特征对硝酸盐成因、成矿的指示意义,国内外学者尚研究较少。

3 矿床成因

吐—哈盆地和罗布泊地区皆属内陆荒漠气候,新近纪以来新构造运动使盆山间发生强烈的差异性升降运动,为硝酸盐矿床的形成和保存提供了条件。据资料统计,新疆大部分岩石中 K_2O 、 Na_2O 的含量高于克拉克值,基岩、残坡积物、冲洪积物、盐湖周边土壤和地下水中含有一定量的硝酸根^[35,53]。硝酸盐矿区主要靠大气降水、地表水以及地下水的补给,且硝酸钾和硝酸钠具有极高的溶解度,对环境极为敏感,保存难度大,硝酸盐矿床与区域干旱气候明显相关^[58]。智利硝酸盐矿床主要分布在低缓的丘陵区,同样受地形地貌的控制。干旱的阿塔卡玛沙漠年降水量远小于年蒸发量,但沿岸山脉多雷雨,除暴雨、冰雪融水和现代活动断裂的补给水外,还有相对丰富的潜藏地下水的补给,矿床形成于极度干旱的气候、微生物活动弱、成矿物质长期积累的条件下^[3]。硝酸盐矿床受地质构造、地形地貌、物源条件、气候条件等因素的控制明显,对其形成条件要求苛刻。

3.1 成矿物质来源

硝酸盐矿床形成条件特殊,处于强烈的干旱风化剥蚀区,普遍认为区内火山岩、古盐层等沉积地层的风化、淋滤为成矿提供了丰富的K、Na、Ca、Mg等离子的来源^[40,49,53,59]。关于硝酸盐矿床中硝酸盐氮来源的问题,近年来国内外学者提出了不同的见解,主要的观点和认识如表2所示。

各观点从不同的角度研究并提供相关证据来解释硝酸盐的来源,说明硝酸盐矿床中盐分的来源复杂,矿床分布类型不同其硝酸盐的来源就有所差异。总体来看新疆巨量堆积的硝酸盐物源应具有多源性,单来源难以解释清楚,不同氮源对硝酸盐成矿贡献率不同。

3.2 成矿模式

硝酸盐矿床成矿机制的研究,最关键的是要

深入认识硝酸盐是如何形成并富集成矿的,而稳定同位素是示踪硝酸盐来源的重要方法,更是示踪成矿过程的重要指标。智利阿塔卡玛硝酸盐中 $\delta^{17}\text{O}$ 为 $14\text{‰} \sim 21\text{‰}$, 硫酸盐中 $\delta^{17}\text{O}$ 为 $0.4\text{‰} \sim 4\text{‰}$ ^[5]。大气光化学产生的硝酸盐其 $\delta^{15}\text{N}$ 通常介于 $-5\text{‰} \sim 5\text{‰}$ 之间,显示生物参与成矿的特征^[63],但大多数接近 0‰ 。高品位生硝层 0‰ 附近的 $\delta^{15}\text{N}$ 值与大气中大量氮沉积或微生物固氮作用的结果一致^[4]。智利阿塔卡玛沙漠硝酸盐 $\delta^{15}\text{N}$ 为 $-1.0\text{‰} \sim 3.0\text{‰}$ 之间^[2],从阿塔卡玛硝酸盐的 N、O 同位素组成来看,基本可认为由较典型的大气光化学作用形成^[5]。大多数内陆盐土 $\delta^{34}\text{S}$ 值在 $+5.0\text{‰} \sim +8.0\text{‰}$ 之间, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的比值在 $0.7070 \sim 0.7076$ 之间,这些值与安第斯山脉和

阿塔卡玛地区的溪流、湖泊和盐湖 $\delta^{34}\text{S}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的平均值 ($\delta^{34}\text{S} + 5.4 \pm 2\text{‰}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.70749 ± 0.00045) 相似^[14]。N、O 和 C 同位素地层学研究表明,阿塔卡玛硝酸盐矿床是在极度干旱期(降水量 $< 2 \text{ mm/年}$)通过非生物的差异淋滤形成,碳同位素值表明这种情况发生在土壤微生物数量不多但活跃的时期,硝酸盐矿床似乎主要是非生物的二次富集形成^[25]。不过, ^{129}I 和 Cr 稳定同位素的研究认为物源为多来源,构造抬升和气候变化、深层和古地下水近地表的反复氧化可能对硝酸盐矿床的形成起到重要的作用^[20]。智利硝酸盐矿床非传统稳定同位素的地质学研究对我国新疆硝酸盐矿床物质来源和形成机制的研究具有指导意义和借鉴意义。

表 2 硝酸盐矿床硝酸盐的来源
Table 2 The source of nitrate in nitrate-ores

类 型	国外研究	国内研究
大气来源	通过氮、氧同位素的研究认为物源为大气沉降 ^[4] 通过氧同位素非质量分馏效应的研究认为物源主要为长期大气沉降 ^[5] 通过对土壤石膏和碳酸盐中 S、Ca 来源的同位素研究认为阿塔卡玛沙漠盐土中的硝酸盐主要来源于大气中对流层 ^[14]	通过氮、氧同位素和氧同位素非质量分馏效应的研究认为物源主要为大气沉降 ^[7,47-49] ;通过稳定同位素地球化学特征的研究认为物源主要为大气沉降 ^[51,60]
有机来源	来源于海洋生物腐烂、植被的腐败 盐湖及海湾地区鸟类粪便的淋滤和氨的硝化 ^[10] 细菌硝化作用形成的硝酸盐 ^[2]	侏罗系煤系地层应是硝酸盐的主要物源,生物的硝化作用和固氮作用为地表及表层系统中形成硝酸根的重要演化机理 ^[42,46]
火山来源	安第斯火山活动,硝酸盐来源于大气热—电固氮作用 ^[16]	矿区内的火山岩、次火山岩、古火山为硝酸盐的主要源区 ^[59,61]
其他来源	海洋蒸发与喷雾,海水泡沫富含 NH_4^+ ,闪电促使其转变为氮氧化物 硝酸盐的形成与毛细管蒸发迁移作用有关 ^[11] 通过 ^{129}I 和 Cr 稳定同位素的研究认为物源为多来源,构造抬升和气候变化、深层和古地下水近地表的反复氧化可能起到重要的作用 ^[20] N、O 和 C 同位素地层学研究表明阿塔卡玛硝酸盐矿床是在降水量 $< 2\text{mm/年}$ 的干旱期通过非生物的差异淋滤二次富集形成 ^[25]	金属催化光化学反应形成硝酸盐 ^[50,55] 地质事件所产生的高温、高压和自然触媒条件下形成硝酸盐、亚硝酸盐 ^[62] 硝酸盐矿物的形成主要与潜水(包括晶间卤水)的毛细管蒸发迁移作用有关 ^[30] 除矿区古火山来源外,认为成矿物质是多来源的 ^[59] ;硝酸盐来源复杂,深部卤水补给不容忽视 ^[45]

吐一哈地区硝酸盐矿床的 N、O 同位素组成与智利硝酸盐矿床相比存在差异性^[45],说明新疆硝酸盐矿床成因更加复杂。吐一哈地区硝酸盐的 $\delta^{17}\text{O}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值变化范围为 $9.5\text{‰} \sim 17.1\text{‰}$ 和 $3.4\text{‰} \sim 12.5\text{‰}$,盐滩型硝酸盐矿床 $\delta^{17}\text{O}$ 较高而 $\delta^{15}\text{N}$ 值较低,盐湖型硝酸盐矿床 $\delta^{17}\text{O}$ 较低而 $\delta^{15}\text{N}$ 值较高,其原因为盐湖型矿床微生物更活跃^[60]。从 $\delta^{17}\text{O}$ 存在的异常分析,应有 $60\% \sim 80\%$ 的盐滩型硝酸盐,50% 的盐湖型硝酸盐由大气光化学反应形成,其它的硝酸盐可能由有机质参与成矿形

成^[45]。吐一哈盆地水样 δD 范围值为 $-167.7\text{‰} \sim -7.5\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}$ 范围值为 $-23.46\text{‰} \sim 2.29\text{‰}$,说明盐湖卤水中水主要来源于大气^[60]。横穿吐一哈盆地剖面 $\delta^{15}\text{N}$ 呈现北高南低的变化趋势,吐一哈地区硝酸盐矿床中硝酸盐的 $\delta^{18}\text{O}$ 与 $\delta^{15}\text{N}$ 之间整体呈负相关关系, $\delta^{17}\text{O}$ 与 $\delta^{15}\text{N}$ 之间亦呈明显的负相关关系^[49]。稳定同位素的研究对示踪硝酸盐氮来源与富集成矿过程具有重要意义,应尝试从多同位素的角度进行示踪,以避免单同位素造成的多解性问题。

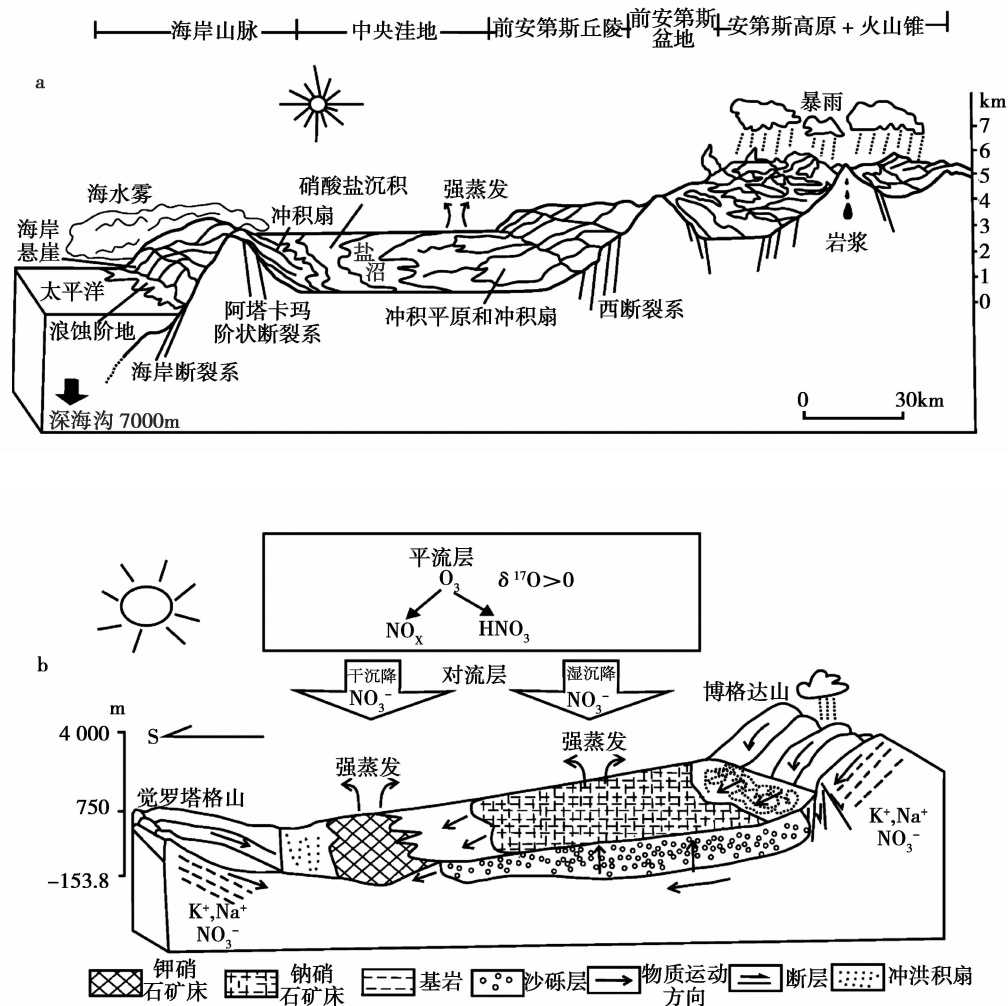


图3 硝酸盐矿床成矿模式图(a图据文献^[3]修改;b图据文献^[49])

Fig. 3 Metallogenic pattern diagram of nitrate deposits

图3为硝酸盐成矿模式图,简明反映出矿床形成时的沉积环境、构造、水文、气候和生物等成矿因素,指示了成矿的主要过程。国内外学者关

于成矿过程的认识既有相似也有不同。Erickson^[12]认为智利硝酸盐矿床的形成是各来源盐分长期广泛积累的结果。Seral 和 Rankin^[13]认为盐类

矿物共生组合的多样性可以反映成矿流体的来源和迁移过程,盐类主要通过置换而生长累积,硝酸盐矿床的形成是安第斯山脉高度演化的地下盐水向硝酸盐沉积区输送的过程中反复溶解沉淀的极端演化结果。智利北部地表分布广泛的低品位硝酸盐土壤、风化层以及先成的硝酸盐矿床等被地表水和地下水以淋滤、溶解、迁移等方式部分破坏后,再次富集形成与地形密切相关的高品位矿床;而一部分位于干盐湖边缘的硝酸盐矿床被认为是由毛细管作用形成的^[3]。李博昀等^[38]研究认为新疆硝酸盐矿床是由盆地内冲洪积平原砂砾石层孔隙或山前断裂破碎带地下水汇集后经蒸发析盐形成,也可由盆地内湖泊经蒸发浓缩乃至干涸而析盐形成。秦燕^[49]认为大气光化学反应形成的硝酸通过干沉降和湿沉降两种形式从大气圈转移到地表,被大气降水溶解淋滤到地下深处并通过地表径流水平迁移或沉降在地表的盐分又被大风吹扬迁移;早期在强烈的蒸发环境中因毛细管作用向地表迁移并在矿体的最上部富集形成钠硝石矿床,部分硝酸盐等盐类成矿物质经地表水搬运到沉积中心,然后通过蒸发浓缩形成盐湖,经过长期生物作用和分异演化最后形成钾硝石矿床。钠硝石矿床形成时代早于钾硝石矿床,富钾硝酸盐矿床在富集成矿过程中生物反硝化作用强烈。葛文胜等^[45]认为硝酸根进入水体后通过淋滤、毛细管蒸发和蒸发干化等作用形成盐湖型和盐滩型硝酸盐矿床,这些过程还包含大气光化学、微生物硝化和反硝化以及蒸发淋滤等作用。

综合国内外硝酸盐矿床的区域地质背景和矿床地质特征、硝酸盐来源和成矿模式图来看,硝酸盐矿床因硝酸盐来源具有多源性而造成成矿机制具有复杂性,目前国内外还没有建立起完善的成矿理论。硝酸盐矿床的形成主要经历了盐分汇集、强烈蒸发、成盐成矿和后期保存等阶段,成矿机制可以简略地概括为在特殊的成矿条件下,各来源的硝酸盐经雨水、地表水、地下水等的溶解淋滤、搬运迁移至沉积区,蒸发浓缩转化为高矿化度卤水,复经毛细管蒸发作用和盐湖逐步干涸化等一系列复杂作用,逐渐蒸发形成硝酸盐矿床。与智利不同,新疆维吾尔自治区位居大陆内部,硝酸盐矿床类型多,盐湖型与盐滩型硝酸盐矿床的形成机制有待进一步补充完善。

4 结 语

随着国内外对硝酸盐产品需求量的增加,进一步研究硝酸盐矿床的地质特征和富集成矿机制对补充完善硝酸盐成矿理论体系与资源综合利用具有现实意义。综合上述硝酸盐矿床相关研究存在的问题,还可以看出关于新疆硝酸盐矿床硝酸盐来源和富集形成机制的研究,以下几个方面具有可观的应用潜力:1)新疆硝酸盐矿床受新构造活动的控制,多期次地质事件影响硝酸盐矿床的形成与保存,对硝酸盐物源补给的影响有待深入研究;2)硝酸盐矿床含多种盐类矿物,应依据盐类矿物的形成与组合转变关系并结合矿物包裹体特征与水盐体系相平衡理论等探讨硝酸盐成因成矿过程中的物理化学机制;3)新疆硝酸盐矿床类型多,矿床类型不同其形成机制存在差异性,盐湖型硝酸盐矿床在富集成矿过程中受生物活动的影响,微生物硝化与反硝化作用对硝酸盐矿床的影响尚不明确,可借助非传统稳定同位素的生物地球化学效应探讨微生物活动对硝酸盐矿床的影响程度。

参考文献:

- [1] 张宝全. 中国硝酸盐资源开发利用现状及其前景展望[J]. 化工矿物与加工, 2007, 36(11): 1-5.
- [2] Erickson G E. The Chilean nitrate deposits[J]. American Scientist, 1983, 71: 366-374.
- [3] 蔡克勤, 于友库, 云连涛, 等. 智利硝酸盐矿床地质概要[J]. 化工地质, 1991, 13(增1): 47-54.
- [4] Böhlke J K, Erickson G E, Revesz K, et al. Stable isotope evidence for an atmospheric origin of desert nitrate deposits in northern Chile and southern California, U. S. A. [J]. Chemical Geology, 1997, 136(1-2): 135-152.
- [5] Michalski G, Böhlke J K, Thiemens M. Long term atmospheric deposition as the source of nitrate and other salts in the Atacama Desert, Chile: New evidence from mass-independent oxygen isotopic compositions[J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 2004, 68(20): 4023-4038.
- [6] Qin Y, Li Y H, Liu F, et al. N and O isotopes and the ore-forming mechanism of nitrate deposits in the Turpan-Hami Basin, Xinjiang, China[J]. Science China: Earth Sciences, 2012, 55(2): 213-220.
- [7] 郑喜玉. 新疆盐湖的形成演化环境[J]. 盐湖研究, 1993, 1(1): 1-10.

- [8] 郑喜玉,刘建华. 新疆的硝酸盐盐湖[J]. 盐湖研究,1995(2):20-25.
- [9] 葛文胜,刘斌,邱斌,等. 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[J]. 矿床地质,2010,29(4):640-648.
- [10] Penrose R A F. The Nitrate Deposits of Chile[J]. The Journal of Geology,1910,18(1):32.
- [11] Mueller G. Genetic histories of nitrate deposits from Antarctica and Chile[J]. Nature,1968,219(5159):1131-1134.
- [12] Erickson G E. Geology and origin of the Chilean nitrate deposits, U S Geological Survey Professional Paper No. 1188 [R]. Washington: U. S. Government Printing office,1981:5-36.
- [13] Seral A, Rankin S. A preliminary petrographic study of the Chilean nitrates [J]. Geological Magazine, 1993, 130 (3): 319-333.
- [14] Rech J A, Quade J, Hart W S. Isotopic evidence for the source of Ca and S in soil gypsum, anhydrite and calcite in the Atacama Desert, Chile[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,2003, 67(4):575-586.
- [15] Dunai T J, González López, Gabriel A, et al. Oligocene-Miocene age of aridity in the Atacama Desert revealed by exposure dating of erosion-sensitive landforms[J]. Geology,2005,33(4):321.
- [16] Oyarzun J, Oyarzun R. Massive Volcanism in the Altiplano-Puna Volcanic Plateau and Formation of the Huge Atacama Desert Nitrate Deposits: A Case for Thermal and Electric Fixation of Atmospheric Nitrogen[J]. International Geology Review,2007, 49(10):962-968.
- [17] Garreaud R D, Molina A, Farias M. Andean uplift, ocean cooling and Atacama hyperaridity: A climate modeling perspective [J]. Earth and Planetary Science Letters,2010,292(1-2):1-50.
- [18] Michalski G, Bhattacharya S K, Mase D F. Oxygen isotope dynamics of atmospheric nitrate and its precursor molecules [M]// Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Berlin: Springer,2012.
- [19] Sáez A, Cabrera L, Garcés M, et al. The stratigraphic record of changing hyperaridity in the Atacama desert over the last 10Ma [J]. Earth & Planetary Science Letters,2012,355-356:32-38.
- [20] Perez-Fodich A, Reich M, Alvarez F, et al. Climate change and tectonic uplift triggered the formation of the Atacama Desert's giant nitrate deposits[J]. Geology,2014,42(3):251-254.
- [21] Ritter B, Binnie S A, Stuart F M, et al. Evidence for multiple Plio-Pleistocene lake episodes in the hyperarid Atacama Desert [J]. Quaternary Geochronology,2017,44:1-12.
- [22] Herrera C, Gamboa C, Custodio E, et al. Groundwater origin and recharge in the hyperarid Cordillera de la Costa, Atacama Desert, northern Chile[J]. Science of The Total Environment, 2018,624:114-132.
- [23] Sun T, Bao H M, Reich M, et al. More than Ten Million Years of Hyper-aridity recorded in the Atacama Gravels[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,2018,227:123-132.
- [24] Tapia J, González R, Townley B, et al. Geology and geochemistry of the Atacama Desert [J]. Antonie van Leeuwenhoek, 2018,111:1273-1291.
- [25] Melchiorre E B, Sickman J O, Taly B C, et al. Isotope stratigraphy: Insights on paleoclimate and formation of nitrate deposits in the Atacama Desert, Chile [J]. Journal of Arid Environments,2017,148:45-53.
- [26] Kober F, Ivy-Ochs S, Schlunegger F, et al. Denudation rates and a topography-driven rainfall threshold in northern Chile: Multiple cosmogenic nuclide data and sediment yield budgets [J]. Geomorphology,2007,83(1-2):0-120.
- [27] Gayo E M, Latorre C, Jordan T E, et al. Late Quaternary hydrological and ecological changes in the hyperarid core of the northern Atacama Desert (~ 21° S) [J]. Earth-Science Reviews,2012,113(3-4):120-140.
- [28] Jordan T E, Kirk-Lawlor N E, Blanco N, et al. Landscape modification in response to repeated onset of hyperarid paleoclimate states since 14 Ma, Atacama Desert, Chile[J]. Geological Society of America Bulletin,2014,126(7-8):1016-1046.
- [29] Evenstar L A, Mather A E, Hartley A J, et al. Geomorphology on geologic timescales: Evolution of the late Cenozoic Pacific paleosurface in Northern Chile and Southern Peru [J]. Earth-Science Reviews,2017,171:1-27.
- [30] 蔡克勤,高建华,赵德钧,等. 新疆罗布泊地区水硝碱镁矾和钠硝矾的矿物学研究[J]. 矿物学报,1992,12(2):143-151.
- [31] 王冰生. 库米什盆地的硝酸盐型钾盐矿床[J]. 新疆地质, 1993,11(1):74-79.
- [32] 张德华. 航空伽马能谱测量发现乌勇布拉克硝酸钾盐矿床[C]// 地球物理与中国建设——庆祝中国地球物理学会成立50周年文集,1997.
- [33] 李亚文,韩蔚田. 硝酸盐钾盐沉积的物理化学分析[J]. 地质论评,1999,45(3):301-305.
- [34] 梁青生. 新疆乌尊布拉克东部干盐湖成盐环境和成盐年代的初步研究[J]. 盐湖研究,1999,7(2):1-5.
- [35] 张义民,潘克耀,赵兴森,等. 新疆硝酸盐矿床[M]. 乌鲁木齐:新疆大学出版社,2000.
- [36] 郑喜玉. 乌尊布拉克湖硝酸钾盐沉积特征[J]. 盐湖研究, 2000,8(1):41-45.
- [37] 李博昀,熊先孝,刘振敏,等. 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, 2005,27(4):193-200.
- [38] 李博昀,熊先孝,刘振敏,等. 新疆硝酸盐矿床地质特征及成因探讨[C]// “十五”重要地质科技成果暨重大找矿成果交流会材料三,2006.
- [39] 黄铁栋,张灿丽,姚军. 乌勇布拉克洼地微地貌形态与盐类找矿标志[J]. 西部探矿工程,2004,16(9):100-102.
- [40] 黄铁栋. 新疆库米什断陷盆地内盐湖及钾硝石矿的形成

- [J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(6): 20-24.
- [41] 黄雪莉. 新疆罗布泊硝酸盐矿开发利用研究及技术进展[J]. 现代化工, 2006, 26(7): 10-12.
- [42] 邱斌, 葛文胜, 曹洁. 新疆库姆塔格世界级特大型钠硝石矿床[J]. 中国科技成果, 2011, 66(19): 41-42.
- [43] 邱斌, 宋文杰, 葛文胜, 等. 新疆硝酸盐资源状况及其开发利用前景[J]. 资源与产业, 2009, 11(3): 55-58.
- [44] 张玉萍, 张明. 新疆乌勇布拉克盐湖中的硝酸钾矿床特征简述[J]. 新疆有色金属, 2013, 36(6): 29+31.
- [45] 葛文胜, Michalski G, 魏乐军, 等. 新疆吐—哈地区硝酸盐巨量富集特征及机制探讨[J]. 矿床地质, 2010, 29(z1): 437-438.
- [46] 葛文胜, 邱斌, 桑少杰, 等. 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, 2007, 27(z1): 104-106.
- [47] 秦燕, 李延河, 刘锋, 等. 新疆吐—哈地区硝酸盐矿床氮、氧同位素组成特征及成矿机制[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(7): 983-991.
- [48] 秦燕, 李延河, 刘锋, 等. 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, 2008, 29(6): 729-734.
- [49] 秦燕. 新疆吐—哈地区硝酸盐矿床氮、氧同位素研究及矿床成因[D]. 北京: 中国地质科学院, 2010.
- [50] 陈永志, 刘成林, 焦鹏程, 等. 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, 2009, 28(5): 713-717.
- [51] 张志伟. 新疆哈密大南湖钠硝石矿床地质特征及成因探讨[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
- [52] 田忠锋, 吴春伟, 王宗斌, 等. 新疆大洼地硝酸盐卤水矿体赋存和形态特征[J]. 西部探矿工程, 2018(2): 134-135.
- [53] 吴春伟, 田忠锋, 万初发. 罗布泊北部大洼地硝酸盐矿床成矿机制研究意义[J]. 西部探矿工程, 2018, (2): 174-175.
- [54] 郭宏, 顾少顺, 范丽俊. 吐哈盆地构造演化特征分析[J]. 科技创新与应用, 2016, (13): 167-167.
- [55] 韩建明. 新疆罗布泊铁矿湾硝酸盐矿床沉积特征及氮源研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2006.
- [56] 牟伦洵, 魏勇, 张磊, 等. 新疆罗布泊第四纪沉积演化史与成矿关系浅析[J]. 新疆有色金属, 2012, (S2): 25-26.
- [57] 党延霞, 潘克耀, 刘照泉. 新疆硝酸盐矿床的基本特征和成矿机理[J]. 新疆有色金属, 2010, 33(5): 1-5.
- [58] Ge W, Michalski G, Cai K, *et al.* The Characteristics and Genesis of the Massive Nitrate Deposits in the Turpan-Hami Basin of Xinjiang, China [J]. Acta Geologica Sinica-English Edition, 2014, 88(s1): 218-219.
- [59] 高月珍. 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, 1993, 15(1): 16-24.
- [60] 刘亚然. 新疆吐哈盆地硝酸盐矿床稳定同位素地球化学特征及其地质意义[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- [61] 熊先孝. 鄯善红台硝酸盐矿床地质特征及其成因探讨[J]. 化工地质, 1992, (4): 42.
- [62] 郑大中, 郑若锋. 硝酸盐矿床及其盐湖形成机理初探[J]. 盐湖研究, 2000, 8(3): 6-13.
- [63] Lehmann MF, Sigman D M, Berelson W M. Coupling the $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ of nitrate as a constraint on benthic nitrogen cycling[J]. Marine Chemistry, 2004, 88(1-2): 1-20.

Review on the Geological Characteristics and Origin of Nitrate Deposits in Xinjiang

SONG Jian-guo^{1,2,3}, CHENG Huai-de^{1,2}, MA Xue-hai^{1,2,3}, LI Chang-zhong^{1,2,3}, HAI Qing-yu^{1,2}, LI Jun^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Comprehensive and Highly Efficient Utilization of Salt Lake Resources, Qinghai Institute of Salt Lake, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China; 2. Qinghai Provincial Key Laboratory of Geology and Environment of Salt Lakes, Xining, 810008, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)

Abstract: Nitrate resources are widely used in industry and agriculture. The large-scale nitrate deposits are mainly distributed in the extremely arid regions, such as Atacama Desert in Chile and Xinjiang in China. At present, there are still some controversies between domestic and overseas scholars on the interpretation of nitrate source and mineralization process in nitrate deposits. A theoretical system of nitrate mineralization has not been established. In this paper, the geological characteristics and origin of nitrate deposits in Xinjiang were reviewed. Compared with the origin and metallogenic model of Atacama Nitrate Deposit in Chile, we think that those of the Nitrate Deposits in Xinjiang are more complex. The study of nitrate deposits will help to improve the theoretical system of nitrate mineralization, and has practical significance.

Key words: Xinjiang; Nitrate deposit; Geological characteristics; Origin; Metallogenic model

《盐湖研究》2021 年征订启事

《盐湖研究》是原国家科委批准的学术类自然科学期刊,由中国科学院青海盐湖研究所主办,科学出版社出版,1993 年创刊并在国内外公开发行。《盐湖研究》是国内唯一有关盐湖科技基础理论和资源利用的专业期刊,面向国内外报道、交流盐湖演化、卤水成矿、提取工艺、材料应用等领域的研究亮点、论文报告和技术成果。

《盐湖研究》为季刊,A4 开本,110 页,每季末月 5 日出版发行。单价:15.00 元/本,全年订价:60.00 元。中国标准刊号:ISSN1008-858X;CN63-1026/P。邮发代号:56-20。全国各地邮局均可订阅,也可直接与《盐湖研究》编辑部联系,联系电话:0971-6301683。