

doi: 10.12097/gbc.2022.11.032

## 南美锂三角地区锂资源特征及开发环境评价

朱意萍<sup>1,2</sup>, 姜瀚涛<sup>1,2\*</sup>, 徐梦洁<sup>3</sup>, 赵宇浩<sup>1,2</sup>, 马灿璇<sup>1,2</sup>, 谭桂丽<sup>1</sup>, 隰弯弯<sup>1,2</sup>, 姚春彦<sup>1,2</sup>  
ZHU Yiping<sup>1,2</sup>, JIANG Hantao<sup>1,2\*</sup>, XU Mengjie<sup>3</sup>, ZHAO Yuhao<sup>1,2</sup>, MA Canxuan<sup>1,2</sup>, TAN Guili<sup>1</sup>,  
XI Wanwan<sup>1,2</sup>, YAO Chunyan<sup>1,2</sup>

1. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016;

2. 中国阿根廷地球科学合作中心, 江苏 南京 210016;

3. 南京农业大学土地管理学院, 江苏 南京 210095

1. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China;

2. China-Argentina Geosciences Cooperation Center, Nanjing 210016, Jiangsu, China;

3. College of Land Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China

**摘要:** 南美“锂三角”地区是当前新能源产业革命的热点矿产开发区域,有必要对当地的锂资源分布情况和锂矿投资环境进行梳理与比较,为中资企业在该区开发锂矿提供参考。概述了锂三角地区锂资源成矿地质背景、资源概况及勘查开发现状,认为中新世以来的火山作用提供了丰富的成矿物质来源,上新世构造沉降形成大量封闭汇水盆地,锂矿在安第斯高原沙漠极度干旱气候下在盐湖中蒸发富集。研究区锂资源广泛分布于阿根廷、玻利维亚、智利三国,锂离子浓度高,镁锂比值低,品质优越。结合其所在的锂三角三国具体情况,采用层次分析法和线性加权综合评价法对区内锂矿的开发环境展开评价,建立评价指标体系。在评价过程中,综合分析了资源禀赋、政策法律、社会环境、基建便利度 4 个一级指标和资源品位、盐湖镁锂比值、资源量、勘探投入、锂矿外资开发政策、财税制度、收益兑回、通货膨胀率、矿业冲突、基建质量、水资源可得性 11 个二级指标,以定量赋值方式对区内三国的锂矿开发环境差异进行量化分析。经计算,阿根廷锂矿开发环境综合分值为 0.8,智利 0.36,玻利维亚 0.27,认为阿根廷为锂三角地区最佳锂矿投资目标国,且翁布雷穆艾托、考查理-奥拉罗兹等盐湖值得关注投资。研究结论对于中资企业赴锂三角地区开展锂矿开采投资具有现实指导意义。

**关键词:** 锂三角; 锂资源特征; 开发环境; 指标评价体系; 矿产勘查工程; 南美洲

**中图分类号:** P618.71 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2024)02/03-0258-12

**Zhu Y P, Jiang H T, Xu M J, Zhao Y H, Ma C X, Tan G L, Xi W W, Yao C Y. Characteristics of lithium resources and assessment on mining environment in “Lithium Triangle”, South America. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(2/3): 258-269**

**Abstract:** “Lithium Triangle”, a junction area among Argentina, Bolivia and Chile in South America, is a hot spot for lithium mining in this era of new energy industry revolution, hence it is necessary to discuss and compare the lithium resources distribution and mining investment environment of the area, so as to provide Chinese enterprises with suggestions for investing in the local lithium mining. The paper analyzes the metallogenic geological settings, resources distribution, exploration and development of lithium mining in the study area. It's concluded that the vocalism since Miocene provided abundant metallogenic materials, and numerous closed catchment basins were formed in the process of Pliocene tectonic subsidence, coupled with the perennial evaporation in extremely arid climate of the Andean desert, then lithium resources were accumulated and conserved in the salt lakes. The superior-quality lithium resources, featured with high content of lithium ion and low ratio of Mg/Li in the brine water, are widely distributed in the junction of Argentina, Bolivia and Chile. Based on the specific conditions of the three countries in the Lithium Triangle, this paper adopted Analytic

收稿日期: 2022-11-24; 修订日期: 2023-06-16

资助项目: 中国地质调查局项目《拉丁美洲-大洋洲大型铜镍锂资源基地评价》(编号: DD20190441)和《美洲大洋洲国际合作地质调查工程》(编号: DD20221803)

作者简介: 朱意萍(1988-), 女, 硕士, 高级工程师, 从事境外地质矿产调查和国际矿业研究。E-mail: 49120202@qq.com

\* 通信作者: 姜瀚涛(1997-), 男, 硕士, 工程师, 从事区域成矿规律、矿床成因及勘查技术方法研究。E-mail: 372410833@qq.com

Hierarchy Process and Linear Weighted Comprehensive Evaluation to establish an evaluation index system of lithium mining environment. Four Tier I indexes including mineral resources endowment, policy and law, social environment and infrastructure, and 11 Tier II indexes including resource grade, Mg/Li ratio, resource quantity, exploration input, lithium mining foreign policy, fiscal and tax system, restrictions on profit repatriation, inflation rate, mining conflicts, infrastructure quality and water availability were generally analyzed. By calculation, the overall score of lithium mining environment in Argentina is 0.8, Chile 0.36 and Bolivia 0.27, indicating that Argentina is the best mining target in the region, and salt lakes such as Hombre Muerto, Cauchari-Olaroz deserve investment attention. The research conclusion may practically guide Chinese mining companies' investment choice in Lithium Triangle.

**Key words:** Lithium Triangle; characteristics of lithium resources; mining environment; assessment index system; mineral exploration engineering; South America

锂是第四次工业革命最重要的金属矿产资源之一,在新能源电动汽车行业、核工业等领域应用广泛。国际能源署预计,全球锂矿需求到 2040 年将比 2020 年增加 40 多倍(IEA, 2021)。目前,中国是全球第一大新能源汽车开发生产国,对锂的需求量极高。据预测,2030 年中国锂的需求量为  $70 \times 10^4$  t (碳酸锂当量,下同),其中  $45 \times 10^4$  t ~  $50 \times 10^4$  t 锂依赖进口(马哲等, 2018),锂资源已成为能源转型过程中需求增长最大的矿产资源。

“锂三角”区地理位置介于南纬  $18^\circ \sim 28^\circ$ 、西经  $65^\circ \sim 70^\circ$  之间,行政区划上属于智利东北部、阿根廷西北部和玻利维亚西南部的交界处,是安第斯造山带中含锂盐湖密集分布的三角形区域。得天独厚的锂矿资源优势使其成为当前全球锂矿开发的热点地区之一,对全球新能源产业供应链安全产生了关键影响。然而,锂三角地区也是重要的盐湖生态景观旅游胜地和印第安居民聚集区,区内矿业开发面临环境、社会、治理等问题及资源民族主义政策风险(Molina, 2016; Agusdinata et al., 2018)。虽然锂三角盐湖具备相似的资源优势,但盐湖锂矿品质、开采条件、所属国家经济社会情况不同,开发环境存在明显差异。做好区内矿业开发环境评估,对于引导中资企业投资,规避投资风险,保障中国的资源供应链安全具有重要意义。

前人对锂三角地区的研究主要集中在锂资源分布及开发利用情况(陈玉明等, 2013; 周平等, 2014)、各国矿业总体开发环境定性分析(于银杰等, 2013; 康立等, 2015)或定量评分评级(张光进等, 2011),以及锂矿开发带来的区内环境影响(Petavratzi et al., 2022)等方面,目前尚缺少将锂资源特征与开发环境友好度有机结合的相关综合研究,也没有针对该区不同国家的锂矿开发环境做出横向对比研究。因此,本文在总结锂三角地区锂矿资源特征的基础上,

首次对区域所处不同国家影响锂矿开发的环境因素展开调查,构建锂矿开发环境指标体系并进行优选评价,以期为中资企业在该区开发锂矿提供参考。

## 1 地质背景、资源概况及勘查开发现状

### 1.1 成矿地质背景

“锂三角”位于南美洲中安第斯造山带的阿尔蒂普拉诺(Altiplano)-普纳(Puna)高原地区。中安第斯造山带是典型的由俯冲作用形成的活动大陆边缘,太平洋板块向南美板块俯冲使陆缘遭受强烈的构造变形,形成了褶皱山系,并导致南美大陆向西增生,形成了中生代活动陆缘增生造山带(Ramos et al., 2000)。延续至今的洋壳俯冲作用导致造山带发育大规模强烈的中酸性岩浆-火山活动(卢民杰等, 2016),并将蚀变洋壳和俯冲沉积物中的物质转移到陆壳。中生代—新生代,岩浆-火山活动的中心逐渐从现在的海岸安第斯带向东迁移到中部火山带(CVZ)(Coira et al., 1982; Scheuber et al., 1994)。

早古生代造山作用中旧物质重熔形成了长英质厚层陆壳,伴随底部岩石圈的顶蚀作用,阿尔蒂普拉诺-普纳高原于 40 ~ 30 Ma 逐渐开始隆升(Reutter et al., 1994),并于 15 Ma 达到现今 3000 ~ 4000 m 的海拔高度(Isacks et al., 1988; Allmendinger et al., 1997; Quade et al., 2015)。高原的隆升同时导致该地区发育干旱—半干旱气候(Strecker et al., 2007)。气候和地质的双重作用使高原形成了大量干旱内陆盆地(Bookhagen et al., 2008),部分盆地发育盐湖,形成了世界级卤水型锂矿床(Alonso et al., 1991; Munk et al., 2016; Meixner et al., 2020)。高原大部分地区被新生代火山岩及其沉积地层覆盖。盐湖周边主要发育中酸性熔岩及熔结凝灰岩(Schnurr et al., 2007; Wörner et al., 2018),部分地区出露古生代基底(Reutter et al., 2006)。

锂三角盐湖在成因上与洋-陆俯冲造山引发的大规模岩浆活动带来的挥发分矿物质有密切相关性,伴随着太平洋板块向美洲板块俯冲,洋壳及上覆沉积物中锂、钾、铷、铯等物质随着流体进入地幔楔并引起地幔楔发生部分熔融,形成初始岩浆,岩浆在向上运移过程中不断分异演化,使得锂等成矿物质富集并最终形成富矿岩浆岩(Giggenbach, 1995)。上新世以来的构造沉降在区内形成大量封闭盆地,并引发了大量温热带活动,河流和热泉化水体中Li等元

素汇集到盆地流域。此外,火成岩风化产物或含锂岩石风化也可能带来锂(刘成林等, 2021)。全新世以来,由于高原挡住大洋水汽,导致区内气候极度干旱,年均降雨量 100 mm,年均蒸发量超过 1500 mm,蒸发量长期大于补给量,卤水不断浓缩,各类盐矿物在盐湖内沉淀, Li, K 离子因较大的溶解度在卤水内不断富集,并在盐田及其周边的沙粒及石盐混层沉积物中赋存,在水岩反应和蒸发作用下形成了盐湖卤水型锂钾矿(Bradly et al., 2013)(图 1)。

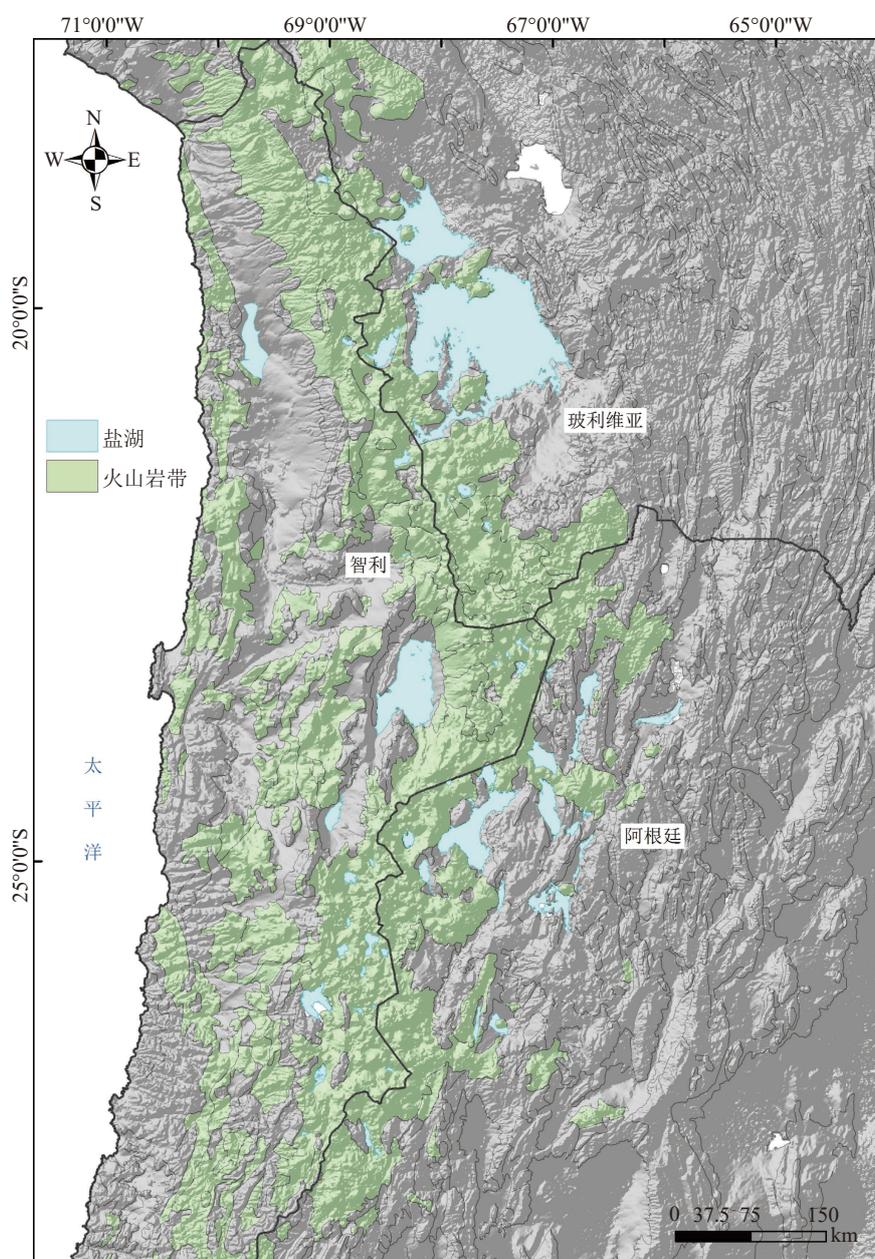


图 1 锂三角地区新生代火山岩分布图

Fig. 1 The distribution of Cenozoic volcanic rocks in Lithium Triangle

## 1.2 资源概况及勘查开发现状

锂三角地区分布有乌尤尼(Uyuni)、阿塔卡玛(Atacama)、翁布雷穆埃托(Hombre Muerto)等富锂盐湖(Munk et al., 2016), 蕴藏着丰富的卤水型锂矿, 锂储量约  $6708 \times 10^4$  t, 占全球卤水型锂矿总储量的 80%, 探明+控制资源量为  $13268.1 \times 10^4$  t, 占全球卤水型锂矿总资源量的 88%, 推断资源量为  $13495.2 \times 10^4$  t。因勘探程度不同, 锂矿资源量呈现较大差别, 其中阿根廷和智利的勘探程度较高。阿根廷已勘得锂矿储量  $1442.58 \times 10^4$  t, 探明+控制资源量  $6756.9 \times 10^4$  t; 智利勘得储量  $5265.2 \times 10^4$  t, 探明+控制资源量  $5446.6 \times 10^4$  t。锂三角地区已系统勘探盐湖的 Li 离子平均浓度 600 mg/L, Mg/Li 平均值为 9, 同时富含 K、Ca、Na、B 等其他元素, 总体上品质优于美国、中国等其他地区的盐湖(隰弯弯等, 2023)。

卤水型锂矿的生产工艺相对硬岩型锂矿较简单, 是目前生产成本最低的锂矿类型(孙景文等, 2022), 在新能源产业革命浪潮下, 锂三角地区吸引了不少矿业公司的关注, 成为近年来的勘探开发热点。经研究统计, 锂三角具备锂资源开发潜力的盐湖 53 个, 总面积  $2.5 \times 10^4$  km<sup>2</sup>(Gruber, 2011)。目前已有智利、玻利维亚、阿根廷、加拿大、美国、澳大利亚、中国、日本、韩国等多个国家的矿业公司在区内 19 个盐湖开展了 25 个锂矿项目的勘探开发工作(表 1)。其中, 阿根廷在 15 个盐湖开展了 19 个项目的勘探开发; 智利在 3 个盐湖开展了 5 个项目的勘探开发; 玻利维亚的锂矿勘探程度较低, 只在乌尤尼盐湖部分区域开展了勘探工作(图 2)。现阶段, 尚有大量优质盐湖资源处于待开发状态, 锂资源潜力极大。

## 2 评价指标体系构建

### 2.1 评价指标

采用线性加权综合评价法构建锂矿开发环境评价指标体系, 基于指标分析进行赋值, 利用层次分析法(A analytical Hierarchy Process, 以下简称 AHP)加权综合得出锂三角国家的开发环境总分。最后根据评价结果探讨各国锂矿开发环境的差异与特征。重点选取与锂矿开发关系密切, 且被评价对象之间指标数值差异大的影响要素。设定锂矿资源禀赋、政策法律、社会环境、基础设施 4 个方面为锂矿开发环境影响要素, 并细分出 11 个二级指标(图 3), 具体指标选择依据如下。

#### 2.1.1 锂矿资源禀赋

区域矿产资源的优良禀赋是开展资源采掘活动的前提, 包括资源品位、镁锂比值、资源量和勘查投入 4 个二级指标。

(1) 矿产资源品位是评价矿床经济价值的重要因素之一。盐湖型锂矿的品位决定了资源开发利用价值大小、加工利用方向与生产技术的工艺流程等(叶松青等, 2011)。卤水中 Li 离子的平均浓度(mg/L)越高, 资源品位越佳。

(2) 由于锂、镁具有非常相似的性质及离子半径, 镁锂分离一直是盐湖卤水提锂工艺的难点之一(程丹续等, 2022)。高镁锂比限制了盐湖卤水中锂的分离和提取。因此, 盐湖镁锂比值越低, 越有利于镁锂的分离, 进而减少提取成本。

(3) 矿产资源量包括具有经济开采意义的储量资源, 以及在边际经济以下的探明、控制和推断的矿产资源。资源量越大, 表明该盐湖价值越大。

(4) 勘查投入的高低能反映区域勘查工作程度、开发适宜性与趋势, 以及矿产资源集中程度与矿业项目吸引力。

#### 2.1.2 政策法律

因矿业投入周期长、风险大, 需要稳定可持续的政策支持, 政策法律包括锂矿开发政策、财税制度、收益兑回政策 3 个二级指标。

(1) 锂矿外资开放政策体现了该国政府对外资介入锂矿开采的开放程度, 即国家对矿业开发行为的管控是否严格, 是否允许独立购买矿权, 或者同意以合资、租赁形式进行锂矿开发。

(2) 优惠的财税制度可以降低企业经营成本。

(3) 收益兑回反映了中国在东道国获得投资收益的利润汇回自由程度, 直接影响矿业投资资本运转能力和转回能力。

#### 2.1.3 社会环境

包括通货膨胀率和矿业社区冲突 2 个二级指标。

(1) 通货膨胀率反映了东道国经济泡沫大小, 为负向指标。通货膨胀会造成投资成本上升, 加深社会贫困状况, 扰乱社会稳定性及矿业生产的正常运行。

(2) 矿业公司与社区之间的矛盾冲突是造成矿业项目停产的直接影响因素。

#### 2.1.4 基础设施

包括基建质量和水资源可获得性 2 个二级指标。

(1) 基建质量包括电力、通信、交通运输等各项公

表 1 锂三角地区已开展勘探、生产工作的盐湖项目信息 (S&amp;P, 2022)

Table 1 The active lithium projects in Lithium Triangle

国家	项目	所在盐湖	所在省份	勘探开发状态	控股公司
阿根廷	帕斯托斯·格兰德斯(Pastos Grandes)	帕斯托斯·格兰德斯	萨尔塔	在建	加拿大美洲锂业
	3Q(Tres Quebradas)	3Q	卡塔马卡	勘探	中国紫金矿业
	翁布雷穆艾托北(Hombre Muerto)	翁布雷穆艾托	萨尔塔	勘探	加拿大NRG金属
	萨拉林孔(Salar de Rincon)	林孔	萨尔塔	在建	澳大利亚力拓
	萨拉奥罗拉兹(Salar de Olaroz)	奥罗拉兹	胡胡伊	在产	澳大利亚澳肯(Allkem)
	萨拉维达(Sal de Vida)	翁布雷穆艾托	卡塔马卡	在建	澳大利亚澳肯
	萨拉考查理(Salar de Cauchari)	考查理	胡胡伊	在建	澳大利亚澳肯
	萨拉萨利纳斯格兰达(Salar de Salinas Grandes)	萨利纳斯格兰	胡胡伊	勘探	荷兰Pluspetrol资源
	林孔	林孔	萨尔塔	勘探	澳大利亚Argosy矿业
	萨尔塔锂矿(Salta Lithium)	普拉尔(Pular)	萨尔塔	勘探	澳大利亚PepinNimi锂矿
	卡奇(Kachi)	卡拉奇(Carachi ) Pampa	卡塔马卡	勘探	澳大利亚雷克资源(Lake Resources)
	坎德拉斯(Candelas)	翁布雷穆艾托	卡塔马卡	勘探	澳大利亚加兰锂业(Galan)
	萨拉翁布雷穆艾托	翁布雷穆艾托	卡塔马卡	在产	美国里文特
	玛丽安娜(Mariana)	尤雅阿里亚戈 (Llullaillaco)	萨尔塔	在建	中国赣锋锂业
	考查理—奥罗拉兹	考查理—奥罗拉兹	胡胡伊	在建	中国赣锋锂业
萨拉洛杉矾(Sal de los Angeles)	迪亚比利约斯 (Diablillos)	萨尔塔	在建	中国香港维摩亚洲(Revotech Asia)	
里约格兰德(Rio Grande)	里约格兰德	萨尔塔	勘探	荷兰Pluspetrol资源	
波苏爱洛斯(Pozuelos)	波苏爱洛斯	萨尔塔	勘探	荷兰Pluspetrol资源	
昆卡·森特纳里乌-拉顿(Cuenca Centenario-Ratones)	森特纳里乌-拉顿	萨尔塔	在建	法国ERAMET	
玻利维亚	乌尤尼(Uyuni)	乌尤尼	波托西	勘探	玻利维亚国家锂业公司YLB
智利	Nx Uno	阿塔卡马	安托法加斯塔	勘探	智利Inversiones Errazuriz
	萨拉阿塔卡马(Salar de Atacama)	阿塔卡马	安托法加斯塔	在产	智利国家化学矿业公司(SQM)
	拉古那贝雷德(Laguna Verde Salar)	拉古那贝雷德	阿塔卡马(Atacama)	勘探	加拿大Wealth矿业
	立提奥(Litio)	阿塔卡马	安托法加斯塔 (Antofagasta)	在产	美国雅保
	马里昆加(Maricunga)	马里昆加	阿塔卡马	在建	澳大利亚锂能国际 (Lithium Power) International)

共设施的配备, 本文选取综合基建质量进行宏观评判。

(2) 锂矿开采需要消耗大量淡水资源。锂三角处于安第斯高原区和阿塔卡马沙漠区, 水资源稀缺, 降雨量差别导致各国对工业用水的限制程度不同。

## 2.2 权重矩阵

AHP 法由美国运筹学家萨迪教授 (Saaty) 在 20 世纪 70 年代初提出, 是一种定性与定量结合的多因素决策分析方法 (赵阳等, 2021)。AHP 依据层次关系, 目标层 A 受制约因素层 B 的制约, 各制约子因

素层  $B_i$  由次级因素层  $C_i$  制约。再采用专家咨询法对指标重要性进行判断, 参照 9 级比例尺 (孙强等, 2018) (表 2) 对各层因素进行两两比较, 确定诸因素权重排序, 建立判断矩阵。

(1) 本文利用和积法求得判断矩阵  $A$  的特征向量  $W$  及其对应的最大特征根  $\lambda_{\max}$ , 特征向量  $W$  经过归一化后即为权重向量, 为保证判断矩阵具有大体的一致性, 需要计算一致性检验指标  $CI$  和随机一致性比率  $CR$  (张炳江等, 2014; Zhang et al., 2016; 曹雪

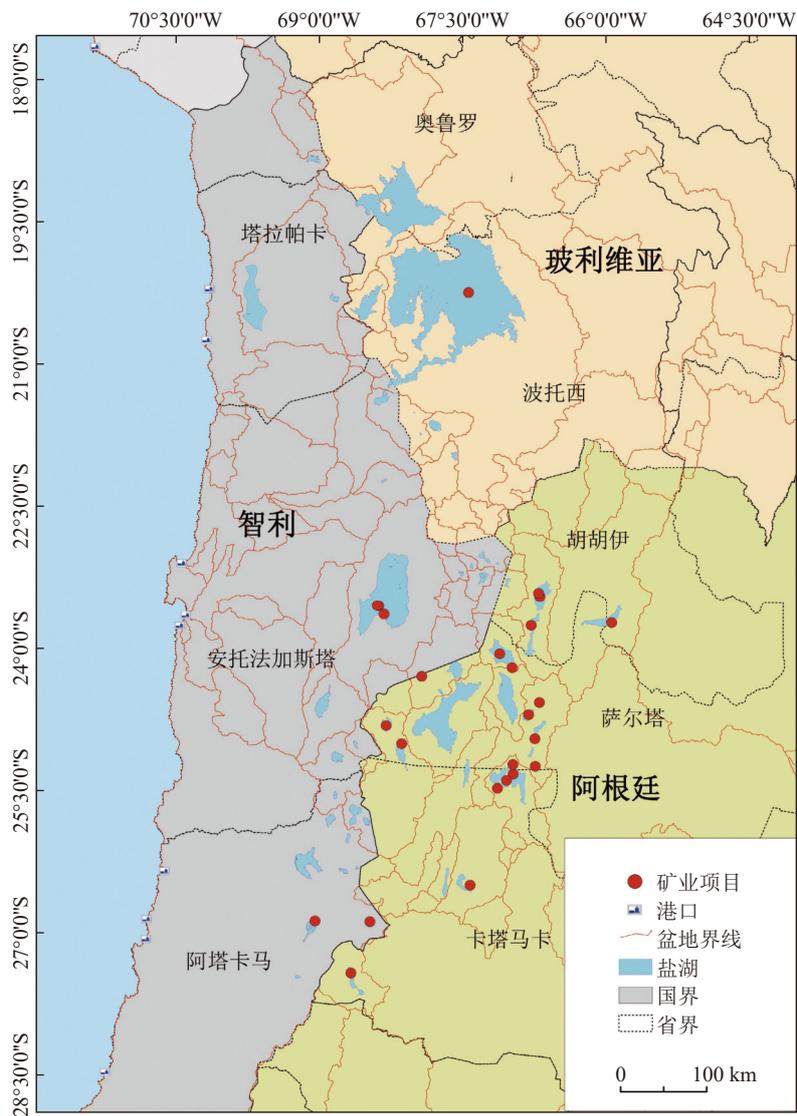


图 2 锂三角地区盐湖及锂矿项目分布图

Fig. 2 Salt lakes and brine lithium projects in Lithium Triangle

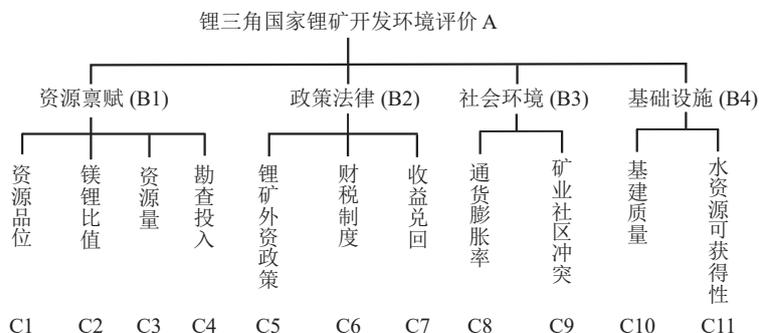


图 3 锂三角国家开展锂矿开发环境评价指标体系

Fig. 3 The assessment index system of the lithium mining environment in Lithium Triangle countries

表2 AHP评价标度  
Table 2 AHP assessment scale

标度	意义
1	表示2个指标具有相同的重要度
3	表示指标A比指标B稍微重要
5	根据主观经验判断非常倾向于指标A
7	事实上非常倾向于指标A
9	已证实指标A明显强于指标B可控制的最大可能
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值

上述数值的倒数即: 1/3, 1/5, 1/7, 1/9, 1/2, 1/4, 1/8      若指标A与指标B的重要性之比为 $a_{ij}$ , 则指标2与指标1的重要性之比 $a_{ij}=1/a_{ji}$

芝等, 2018)。

(2) 本文采用极差标准化方法对不同单位的指标数值进行无量纲化处理:

当 $X_j$ 为正向指标时, 数值越大代表结果越积极,

$$X_j = (X_j - \min X_j) / (\max X_j - \min X_j) \quad (1)$$

当 $X_j$ 为逆向指标时, 即数值越小代表结果越积极,

$$X_j = (\max X_j - X_j) / (\max X_j - \min X_j) \quad (2)$$

式中:  $X_j$ 表示某一项指标的数值,  $\max X_j$ 为该指标的最大值,  $\min X_j$ 是其最小值。

(3) 线性加权综合法是将各指标评价值求得其代数和而获得综合评价的一种综合方法, 基本公式为:

$$Z = \sum_{j=1}^p Q_j W_j \quad (3)$$

式中:  $Z$ 为被评价事物的综合评价;  $Q_j$ 为第 $j$ 个指标的权重数值;  $W_j$ 为第 $j$ 个指标的评价值,  $p$ 为指标个数(郭亚军, 2012)。

### 3 评价指标体系应用

#### 3.1 指标量化

锂矿开发环境评价指标体系由定量指标组成, 指标取值过程如下。

#### 3.1.1 锂矿资源禀赋

中新世以来, 区域火山活动十分发育, 在区内形成了广泛的英安岩和熔结凝灰岩(Rapela et al., 2018), 为锂矿形成提供了物质来源。由于日照长、蒸发量大等独特的安第斯高原干旱气候, 加之丰富的锂来源, 使得该地区成为全球锂资源最丰富和最优质的卤水型锂矿富集区(隰弯弯等, 2023)。区内各盐湖均拥有较低镁锂比例和高含锂量, 品质优良。

根据项目所在盐湖分布情况, 锂资源品位数据选取了三国中面积较大、资源品位较好的代表性盐湖项目的Li离子平均品位和镁锂比值为评价指标, 玻利维亚选取乌尤尼盐湖为评价对象, 智利选择阿塔卡玛盐湖, 阿根廷的盐湖由于个体面积较小且分散, 故选取考查理-奥罗拉兹和翁布雷穆艾托2个优质盐湖的平均值(表3)。

基于全球标普财智数据库勘探数据汇总得出, 锂三角地区盐湖锂矿探明+控制+推断总资源量约为 $26763 \times 10^4$  t, 其中, 阿根廷约 $9746 \times 10^4$  t, 玻利维亚约 $11172 \times 10^4$  t, 智利约 $5845 \times 10^4$  t(S&P, 2023)。

锂三角国家中, 阿根廷、智利的盐湖勘探投入和勘探程度较高, 玻利维亚勘探工作较少。勘查投入采用2011—2020年三国的锂矿勘探投入总和进行对比(表4)。

表3 锂三角各国代表性优质锂矿项目锂资源品位数值(S&P, 2023)

Table 3 Resources grade of representative quality lithium projects in Lithium Triangle countries

国家	盐湖名称	锂金属资源量/ $10^4$ t	矿权体积/ $m^3$	平均品位/( $mg \cdot L^{-1}$ )	Mg/Li值
阿根廷	考查理-奥罗拉兹	373	$6.3 \times 10^9$	611	2.45
	翁布雷穆艾托	85.4	$1.2 \times 10^9$		
玻利维亚	乌尤尼		350		18.87
智利	阿塔卡玛		2380		6.8

表 4 2011—2020 年锂三角国家的锂矿勘探投入 (S&P, 2022)

**Table 4 Capital input for lithium exploration of Lithium Triangle countries from 2011—2020** 百万美元

国家	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	总投入
阿根廷	51.5	29.9	17.0	8.0	3.4	17.7	18.8	73.5	65.9	31.2	316.9
玻利维亚	2.8	0.8	\	0.4	0.5	0.5	3.5	1.5	\	2.0	12.0
智利	21.0	38.5	20.1	17.3	7.6	7.2	11.4	4.8	8.7	3.2	139.8

3.1.2 政策法律、社会环境、基建便利度

锂矿对外资开放政策指标采用外资可参与锂矿开发股权比例进行量化, 设定一国准许外资购买全部股权得 100 分, 准许外资以少额参股形式 (<50%) 与国有企业合作开发得 49 分。

财税制度、收益兑回便利度、基建便利度等指标采用度弗雷泽矿业调查报告中有相关指标对矿业开发有利度分值, 由于弗雷泽报告以阿根廷各省为考察对象, 阿根廷数值取胡胡伊、卡塔马卡、萨尔塔等西北三省平均分 (Yunis et al., 2021)。对华外交政策指标根据一国与华签订友好经贸协定数量进行量化评分。通货膨胀率选取世界银行 2023 年统计数据。矿业社区冲突根据非政府组织收录的区内锂

矿业开发与当地社区冲突案例数量除以锂矿项目总数得出冲突发生频率。水资源可获得性主要依据锂三角各国地质调查局官网收集的区域降雨量数据。

本文在对指标数据进行定量提取和标准化处理后 (表 5、表 6), 再利用层次分析法确定权重, 最后加权综合得出各国总分值。

3.2 权重计算

根据图 3 评价指标体系所示的三层结构模型, 层次分析法要求基于专家经验进行两两比较构建权重判断矩阵, 本文咨询 6 位长期从事境外地质调查的专业人士经验后, 对指标值进行两两比较赋权, 经过逐层评价指标体系的权重判断矩阵计算和一致性检验, 最终得出权重值见表 7。

表 5 锂矿开发环境评价指标数值

Table 5 Index evaluation of lithium mining environment

C层指标	D1阿根廷	D2玻利维亚	D3智利	数据来源
C1资源品位/(mg·L <sup>-1</sup> )	611	350	2380	标普全球市场财智数据库
C2镁锂比值	2.45	18.87	6.8	
C3资源量/(10 <sup>4</sup> t)	9746	11172	5845	勘探报告、矿业公司年报
C4勘查投入/百万美元	316.9	12	139.8	标普全球市场财智数据库
C5锂矿外资开放政策	100	49	49	东道国矿业法律
C6财税制度	0.49	0.06	0.44	弗雷泽矿业环境调查报告
C7收益兑回	0.08	0	0.18	
C8通货膨胀率	80%	2.9%	11.6%	世界银行、Trading economics
C9矿业社区冲突	0.07	0.67	0.32	拉美矿业冲突网站、 环境司法案例云图
C10基建质量	0.39	0.23	0.86	弗雷泽矿业环境调查报告
C11水资源可得性/mm	200	300	100	锂三角国家地质调查局网站

表 6 无量纲化处理后的各评价指标数值 (指标含义同图 3)

Table 6 Each index value after nondimensionalization

指标	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
D1	0.13	1	0.73	1.00	1.00	1.00	0.44	0.00	1.00	0.25	0.50
D2	0.00	0	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
D3	1.00	0.74	0.00	0.42	0.00	0.88	1.00	0.89	0.58	1.00	0.00

表7 组合权重计算得出指标权重值(指标含义同图3)

Table 7 The combined weight calculation

指标	B1	B2	B3	B4	权重
	0.34	0.52	0.09	0.04	
C1	0.24	0	0	0	0.08
C2	0.14	0	0	0	0.05
C3	0.56	0	0	0	0.20
C4	0.05	0	0	0	0.02
C5	0	0.70	0	0	0.35
C6	0	0.24	0	0	0.12
C7	0	0.06	0	0	0.03
C8	0	0	0.80	0	0.04
C9	0	0	0.20	0	0.07
C10	0	0	0	0.30	0.02
C11	0	0	0	0.67	0.03
$CI_j$	0.05	0.05	0	0	
$RI_j$	0.89	0.58	0	0	

$CI=0.04; RI=0.60; CR=0.07$

### 3.3 评价结果

基于标准化处理后的指标数据和各级指标权重进行线性加权综合运算,运用建立的指标评价体系计算得出阿根廷、玻利维亚、智利三国锂矿开发环境影响评价结果(表8)分别为:阿根廷以0.80分列居首位,锂矿开发综合条件较理想,智利以0.36分居中,玻利维亚以0.27分位居末位。

## 4 讨论

### 4.1 指标分析

#### 4.1.1 资源禀赋

根据矿业公司43-101勘探报告数据,阿根廷两

大典型盐湖的平均品位为611 mg/L,次于智利唯一在产的阿塔卡玛盐湖(2380 mg/L),优于玻利维亚的乌尤尼盐湖(350 mg/L)(表5)。阿根廷盐湖的镁锂比平均值在2.45左右,为区内最低。玻利维亚资源量集中于乌尤尼盐湖,高达 $11172 \times 10^4$  t;阿根廷已获得勘探数据的15个盐湖单体面积较小,但数量众多且分布较散,资源量居中,共计 $9746 \times 10^4$  t(表5)。近10年智利和玻利维亚鲜有外资介入,锂矿勘探投入较少。阿根廷因外资政策宽松,近年来外资企业纷纷进驻,锂矿勘探投入较多,未来留给中资企业的勘探空间和资源潜力较大。

#### 4.1.2 政策法律

锂矿外资开发政策的区别主要在于锂三角各国政府对外资采矿权开放程度。阿根廷的锂矿开发对外资没有限制,仅个别省政府机构在锂矿项目中占较小股权(Frias, 2021)。玻利维亚政府对锂矿实行国有化,外资可通过少量参股国家锂业公司进行合作开发(Cuellar et al., 2017)。智利锂矿权主要由智利国家化工集团SQM掌控,已有天齐锂业通过购买该公司股权形式合作开发,但当前智利政府致力于建立国有锂业公司,未来锂许可证将颁发给与国家控股企业合作的公司联营公司,控股比例和所有权尚不明确。

财税制度方面,阿根廷税负较高,为抓住清洁能源发展契机,阿根廷政府在2021年宣布致力于推动吸引外资、税收减免、推动锂电池生产等相关法律议案的通过。阿根廷西北三省矿产资源丰富,设定了

表8 锂三角国家锂矿开发环境影响评价各指标得分情况

Table 8 The assessment index value of the lithium mining environment in the Lithium Triangle

指标	权重	阿根廷	玻利维亚	智利
C1资源品位	0.08	0.01	0.00	0.08
C2镁锂比值	0.05	0.05	0.00	0.04
C3资源量	0.20	0.15	0.20	0.00
C4勘查投入	0.02	0.02	0.00	0.01
C5锂矿外资开放政策	0.35	0.35	0.00	0.00
C6财税制度	0.12	0.12	0.00	0.11
C7收益兑回	0.03	0.01	0.00	0.03
C8通货膨胀率	0.04	0.00	0.04	0.04
C9矿业社区冲突	0.07	0.07	0.00	0.04
C10基建质量	0.02	0.01	0.00	0.02
C11水资源可获得性	0.03	0.02	0.03	0.00
综合分值		0.80	0.27	0.36

较多矿业财税优惠政策(商务部国际贸易经济合作研究院, 2021a)。在玻利维亚开发锂矿需要交纳 3% 的权益金及其他税款, 矿业资本货物进口享受零关税(Ministerio de Minería Y Metalurgia, 2018; 商务部国际贸易经济合作研究院, 2021b)。智利税法制度稳定完备, 监管公开透明, 在智利生产锂矿需缴纳 6.8%~40% 的权益金, 但智利政府近年来积极推行加收铜锂开采特许权使用费方案, 对矿企造成一定财税压力(商务部国际贸易经济合作研究院, 2021c; Vásquez, 2023)。

收益兑回管理方面, 由于阿根廷经济长期疲弱, 为控制外汇流程、维护金融稳定, 阿根廷政府采取了一系列贸易和外汇管理措施(商务部国际贸易经济合作研究院, 2021a)。玻利维亚对外汇实行管制政策, 凡在银行提取、转让或汇出 1 万美元以上者需填写表格, 详述资金来源和去向用途。在存取美元现金时, 均收取 0.15% 的金融交易税。银行账户所收外汇须按照一定比率缴纳金融交易税, 由国外汇款至玻利维亚收 1% 的外汇进入税(商务部国际贸易经济合作研究院, 2021b)。智利法律规定, 撤资需在投资完成 1 年后进行, 只要符合税收规定, 投资利润汇出没有时间限制。投资者可自行决定汇出资金和利润币种。利润汇回需要缴纳 35% 的所得税及附加税(商务部国际贸易经济合作研究院, 2021c)。

#### 4.1.3 社会环境

阿根廷当前社会主要矛盾是外债违约引起的高通货膨胀, 由于近年来通货膨胀率居高不下, 2023 年通货膨胀率高达 80%(Trading Economics, 2023), 公共服务成本、物价水平、劳动力及其他费用相对较高, 企业投资方面需精细核算成本。当前玻利维亚物价水平保持基本稳定, 通货膨胀率较低。近些年, 全球金融市场通胀风险上升, 智利通货膨胀率自 2017 年的 2.2% 持续上升至 2022 年的 11.6%(World Bank, 2023), 食品、燃料价格也有所上浮, 通货膨胀较严重。

安第斯国家多是小政府、大社区、高度民主化的社会, 国家对当地社区的制约力有限(卢佳义等, 2017)。社区与矿业公司的冲突主要是环境保护和土地权益纠纷, 锂矿开采对淡水的大量消耗影响了以农牧业为生的印第安人社区(Liu et al., 2020)。自 20 世纪 90 年代以来, 阿根廷 19 个项目发生了 4 起矿业冲突, 冲突频率为 0.21, 在 3 个国家中最低, 因

此得分最高; 玻利维亚 1 个项目发生了 2 起矿业冲突, 冲突频率为 2, 在 3 个国家中最高, 得分最低; 智利 5 个项目发生了 8 起矿业冲突, 冲突频率为 1.6, 得分居中(CMAL, 2021; EJAtlas, 2021)。

#### 4.1.4 基建便利度

阿根廷国内电网覆盖率达 96.4%, 公路和铁路较发达, 阿根廷和智利边界亦有公路和铁路联通, 锂矿可经公路和铁路从阿根廷大西洋港口出海或借道智利太平洋港口出海, 运输成本在三国中居中(商务部国际贸易经济合作研究院, 2021a)。玻利维亚北部的乌尤尼盐湖和科伊帕萨盐湖紧邻高压路网, 电力供应相对充足, 但南部盐湖区输电网络较少, 其安第斯铁路网可到达秘鲁、智利等国的太平洋港口, 运输成本较高(YLB, 2020; 商务部国际贸易经济合作研究院, 2021c)。智利锂矿发育的北部省份电网覆盖率较高, 电力充足, 公路交通和港口条件十分便利, 运输成本最低(商务部国际贸易经济合作研究院, 2021c)。

矿业生产用水便利度主要依据锂三角各国降雨量数据。玻利维亚锂三角地区的降雨量最为充足, 年均降雨量为 50~300 mm, 得分最高。阿根廷锂三角地区年均降雨量为 25~200 mm, 得分居中。智利地处阿塔卡玛沙漠腹地, 水资源最为紧缺, 年均降雨量仅为 10~100 mm, 得分最低。

## 4.2 评价推荐

锂三角地区普遍拥有优质的盐湖型锂矿资源, 但三国之间各有差异: 智利盐湖品位最优但资源量较少, 玻利维亚资源量最大, 但镁锂比值高、盐湖品位低。阿根廷盐湖的资源品位和资源量居中, 优势在于主要盐湖的卤水镁锂比值低, 易于提取锂矿, 且近年来锂矿勘探投入最多, 反映出外国资本重视程度高、投资潜力巨大。在政策法律、社会环境和基建便利度方面, 不同于玻利维亚和智利不断收紧的锂矿国有化趋势, 阿根廷为提振矿业经济, 采取了开放式的锂矿外资政策, 企业拥有自由股权配比权。阿根廷的财税制度较宽松, 且朝着政策鼓励方向发展。阿根廷的电力、交通、生产用水等基础设施指标居中。相比玻利维亚浓厚的民族资源保护主义氛围、智利因水资源稀缺凸显的社区矛盾, 阿根廷全国原住民社区范围较少, 因此引发的矿业社区冲突较少。但阿根廷经济受外债严重制约, 导致通货膨胀率居高不下, 收益兑回限制较多。

综上所述, 在锂三角国家, 阿根廷的资源禀赋、

政策法律、社会环境和基建便利整体居中上水平,适合中资企业优先在此开展勘探投资布局。就具体盐湖而言,位于胡胡伊省的考查理-奥拉罗兹、萨尔塔省的翁布雷穆艾托两大盐湖面积较大,所含锂资源丰富、品位优良,镁锂比值在阿根廷境内盐湖中最低,同时富含 Na, K, Ca, B 等其他成矿元素(表 9)。盐湖位于普纳高原西部,所在盆地地表水流经硅质火山岩区域,是卤水锂的重要补给来源,锂富集机理为高温水-岩反应补给盐湖的温热水锂富集(Vinante et al., 2006)。两大盐湖距离附近的国道距离不超过 50 km,交通与电力设施方便。目前已有赣锋锂业、Livent 等公司介入开发,但尚有部分未勘探区域,中资企业可关注此类盐湖并购、包销等投资信息。

## 5 结论

(1)采用层次分析法和线性加权综合评价方法,在锂三角地区建立了针对不同国别的锂矿开发环境影响评价指标体系。在评价过程中,综合分析了资源禀赋、政策法律、社会环境、基建便利度 4 个一级指标及 11 个二级指标,以定量赋值方式对阿根廷、玻利维亚、智利的锂矿开发环境进行评价。

(2)据指标数值显示,阿根廷的盐湖镁锂比值、锂矿勘探投入、锂矿外资开发政策、财税制度、矿业社区冲突等指标的矿业开发友好度最高,但高通胀问题需要警惕;玻利维亚锂资源量大、通胀率低、水资源相对充沛,其他指标均居末尾;智利的盐湖锂资源品位最优,但资源可开发空间少,水资源稀缺,其他指标居中。经加权评价计算,阿根廷锂矿开发环境综合分值最高,其锂矿开发环境指标在区内均处于中上水平。根据盐湖品质,优先推荐考查理-奥拉罗兹、翁布雷穆艾托两大盐湖为投资开发重点目标。

**致谢:**本文在编写过程中得到了中国地质调查局南京地质调查中心姚仲友教授级高级工程师、王天刚教授级高级工程师和中国地质调查局发展研究中心张伟波研究员的支持与指导,审稿专家对论文提出了较多宝贵的修改意见,在此一并表示感谢。

## 参考文献

- Agusdinata D, Liu W J, Eakin H R, et al. 2018. Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: towards a research agenda[J]. *Environmental Research Letters*, 13(12): 123001.
- Allmendinger R W, Jordan T E, Kay S M, et al. 1997. The evolution of the Altiplano-Puna plateau of the Central Andes[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 27: 139-174.
- Alonso R N, Jordan T E, Tabbutt K T, et al. 1991. Giant evaporate belts of the Neogene Central Andes[J]. *Geology*, 19: 401-404.
- Bookhagen B, Strecker M R. 2008. Orographic barriers, high-resolution TRMM rainfall, and relief variations along the eastern Andes[J]. *Geophysical Research Letters*, 35(6): 403-406.
- Bradly D, Munk L A, Jochens H, et al. 2013. A Preliminary Deposits Model for Lithium Brines[R]. USGS, Openfile, 1006-1011.
- Coira B, Davidson J, Mpodozis C, et al. 1982. Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina and Chile[J]. *Earth-Science Reviews*, 18: 303-332.
- Conflictos Mineros en América Latina. 2021. [EB/OL]. [2021-11-12]. [https://mapa.osmineros.net/ocmal\\_db-v2/](https://mapa.osmineros.net/ocmal_db-v2/).
- Cuellar V D. 2017. The political economy of mining in Bolivia during the government of the Movement Towards. Socialism (2006-2015)[J]. *The Extractive Industries and Society*, (4): 120-130.
- EJAtlas-Global Atlas of Environmental Justice. 2021. [EB/OL]. [2021-11-12]. <https://ejatlas.org/>.
- Frias Saravia. 2021. Marco Normativo Minero: NOA Argentino[M]. Salta: Estudio Saravia Frias.
- Giggenbach W F. 1995. Variations in the chemical and isotopic composition of fluids discharged from the Taupo Volcanic Zone, New Zealand[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 68: 89-116.
- Gruber P W. 2011. Global lithium availability[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 5: 760-775.
- IEA. 2021. The role of critical minerals in clean energy transitions[R]. France International Energy Agency.
- Isacks B. 1988. Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian orocline[J]. *Journal of Geophysical Research:Solid Earth*, 93: 3211-3231.
- Liu W J, Agusdinata D B. 2020. Interdependencies of lithium mining and communities' sustainability in Salar de Atacama, Chile[J]. *Journal of Cleaner Production*, 260: 120838.
- Meixner A, Sarchi C, Lucassen F, et al. 2020. Lithium concentrations and isotope signatures of Palaeozoic basement rocks and Cenozoic volcanic rocks from the Central Andean arc and back-arc[J]. *Mineralium Deposita*, 55(6): 1071-1084.
- Ministerio de Minería y Metalurgia. 2018. Ley de Minería y metalurgia título i disposiciones generales capítulo i objeto, dominio y alcance. 2014[Z] La Paz: Ministerio de Minería y Metalurgia.

表 9 阿根廷优质盐湖资源信息(据高峰等, 2011; Munk et al., 2016; S&P, 2023)

Table 9 Information of quality salt lakes in Argentina

推荐盐湖	锂储量/10 <sup>4</sup> t	锂资源量/10 <sup>4</sup> t	推断资源量/10 <sup>4</sup> t	卤水化学成分/(mg·L <sup>-1</sup> )	水化学类型	面积/km <sup>2</sup>
翁布雷穆艾托	560.7	1050.1	145.8	Mg2000, Li700	硫酸钠亚型	590
考查理-奥拉罗兹	464.9	2460.5	626.3	Mg1800-2000, Li900	氯化物型	510

- Molina C F. 2016. Intergenerational dynamics and local development: mining and the indigenous community in Chiu Chiu, El Loa Province, northern Chile[J]. *Geoforum*, 75: 115–124.
- Munk L A, Hynek S A, Bradley D C, et al. 2016. Lithium brines: A global perspective[J]. *Reviews in Economic Geology*, 18: 339–365.
- Petavratzi E, Sanchez L D, Hughes A, et al. 2022. The impacts of environmental, social and governance(ESG) issues in achieving sustainable lithium supply in the Lithium Triangle[J]. *Mineral Economics*, 10: 1007.
- Quade J, Dettlinger M P, Carrapa B, et al. 2015. The growth of the central Andes, 22°S–26°S[C]// DeCelles P G, Ducea M N, Carrapa B, Kapp P A. *Geodynamics of a Cordilleran Orogenic System: The Central Andes of Argentina and Northern Chile*. Geological Society of America, 212:[https://doi.org/10.1130/2015.1212\(15\)](https://doi.org/10.1130/2015.1212(15)).
- Ramos V A, Aleman A. 2000. Tectonic Evolution of the Andes[M]. Rio de Janeiro.
- Rapela C W, Pankhurst R J, Casquet C, et al. 2018. A review of the Famatinian Ordovician magmatism in southern South America: evidence of lithosphere reworking and continental subduction in the early proto-Andean margin of Gondwana[J]. *Earth-Science Reviews*, 187: 259–285.
- Reutter K J, Munier K. 2006. Digital Geological map of the Central Andes[C]// Oncken O, Chong G, Franz G, et al. *The Andes*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Reutter K J, Scheuber E, Wigger P. 1994. Tectonics of the southern Central Andes[M]. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Scheuber E, Bogdanic T, Jensen A, et al. 1994. Tectonic development of the North Chilean Andes in relation to plate convergence and magmatism since the Jurassic[C]//Reutter K J, Scheuber E, Wigger P J. *Tectonics of the Southern Central Andes* Springer-Verlag, Heidelberg: 7–22.
- Schnurr W, Trumbull R B, Clavero J, et al. 2007. Twenty-five million years of silicic volcanism in the southern central volcanic zone of the Andes: geochemistry and magma genesis of ignimbrites from 25 to 27°S, 67 to 72°W[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 166: 17–46.
- Standard & Pool Capital IQ. 2022. [EB/OL]. [2022-12-03]<https://www.capitaliq.spglobal.cn/web/client/auth=inherit#dashboard/metalsandmining>.
- Standard & Pool Capital IQ. 2023. [EB/OL]. [2023-06-03]<https://www.capitaliq.spglobal.cn/web/client?auth=inherit#dashboard/metalsandmining>.
- Strecker M R, Alonso R N, Bookhagen B, et al. 2007. Trauth M H. Tectonics and climate of the southern Central Andes[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35: 747–787.
- Trading Economics. 2023. [EB/OL]. [2023-06-09]<https://tradingeconomics.com/argentina/inflation-expectations>.
- Vásquez P I. 2023. Lithium production in Chile and Argentina: Inverted roles[R]. Washington D C: Woodrow Wilson International Center for Scholars, 6.
- Vinante D, Alonso R N. 2006. Evapofacies del Salar Hombre Muerto, Puna Argentina: Distribucion y Genesis.[J]. *Revista de la Asociacion Geologica Argentina*, 61: 286–297.
- World Bank. 2023. [EB/OL]. [2023-06-09]<https://data.worldbank.org/country>.
- Wörner G, Mamani M, Blum-Oeste M. 2018. Magmatism in the Central Andes[J]. *Elements*, 14: 237–244.
- YLB. 2020. Yacimientos de Litio Bolivianos annual report 2019 [R]. La Paz: YLB.
- Yunis J, et Aliakbari E. 2021. Fraser institute annual survey of mining companies 2021 [R]. Vancouver: The Fraser Institute, 8.
- Zhang Z J, Zhang S M, Zhang F F, et al. 2016. Validity of sustainability framework for China's mining cities—a structural equation modelling approach[J]. *Applied Economics*, 48(48): 4585–4605.
- 曹雪芝, 徐梦洁. 2018. 基于 GIS 的住宅小区人居环境评价[J]. *地理空间信息*, 16(1): 83–85+9.
- 陈玉明, 邓小林. 2013. 阿根廷锂资源潜力及开发利用[J]. *盐湖研究*, 21(4): 67–71.
- 程丹续, 成怀刚, 高姣丽, 等. 2022. 基于盐湖尾卤溶液结构变化的镁锂分离研究[J]. *盐湖研究*, 30(4): 146–153.
- 高峰, 郑绵平, 乜贞, 等. 2011. 盐湖卤水锂资源及其开发进展[J]. *地球学报*, 32(4): 483–492.
- 郭亚军. 2012. 综合评价理论、方法与拓展[M]. 北京: 科学出版社.
- 康立, 王国梁. 2015. 阿根廷矿业投资环境分析[J]. *资源与产业*, 17(6): 33–37.
- 刘成林, 余小灿, 袁学银, 等. 2021. 世界盐湖卤水型锂矿特征、分布规律与成矿动力模型[J]. *地质学报*, 95(7): 2009–2029.
- 卢佳义, 赵宏军, 朱小三. 2017. 安第斯国家矿业法律特点及对中国企业矿业投资的影响[J]. *地质通报*, 36(12): 2332–2343.
- 卢民杰, 朱小三, 郭维民, 等. 2016. 南美安第斯地区成矿区带划分探讨[J]. *矿床地质*, 35(5): 1073–1083.
- 马哲, 李建武. 2018. 中国锂资源供应体系研究: 现状、问题与建议[J]. *中国矿业*, 27(10): 1–7.
- 商务部国际贸易经济合作研究院, 中国驻阿根廷大使馆经济商务处, 商务部对外投资和经济合作司. 2021a. 阿根廷对外投资合作国别(地区)指南[R].
- 商务部国际贸易经济合作研究院, 中国驻玻利维亚大使馆经济商务处, 商务部对外投资和经济合作司. 2021b. 玻利维亚对外投资合作国别(地区)指南[R].
- 商务部国际贸易经济合作研究院, 中国驻智利大使馆经济商务处, 商务部对外投资和经济合作司. 2021c. 智利对外投资合作国别(地区)指南[R].
- 孙景文, 吴霜. 2022. 全球盐湖提锂的变革: 技术为资源加持, 唤醒“高原上的沉默宝藏”[R]. 北京: 五矿证券研究所. 17.
- 孙强, 张泰丽, 伍剑波, 等. 2018. 基于 GIS 与层次分析法的龙溪流域滑坡风险评价[J]. *华东地质*, 39(3): 227–233.
- 隰弯弯, 赵宇浩, 倪培, 等. 2023. 锂矿主要类型、特征、时空分布及找矿潜力分析[J]. *沉积与特提斯地质*, 43(1): 19–35.
- 叶松青, 李守义. 2011. 矿产勘查学[M]. 北京: 地质出版社.
- 于银杰, 赵宏军. 2013. 玻利维亚矿业管理体制与税费制度[J]. *中国国土资源经济*, 2: 51–53.
- 张炳江. 2014. 层次分析法及其应用案例[M]. 北京: 电子工业出版社: 12–77.
- 张光进, 徐帅, 罗辉. 2011. 世界著名咨询机构矿业投资环境评价综述[J]. *中国矿业*, 11: 39–40.
- 赵阳, 倪化勇, 伍剑波, 等. 2021. 基于 AHP-CF 模型的地质灾害易发性评价——以泰顺县仕阳镇为例[J]. *华东地质*, 42(1): 66–75.
- 周平, 唐金荣, 张涛. 2014. 全球锂资源供需前景与对策建议[J]. *地质通报*, 33(10): 1532–1538.