藏南高温地热水锂资源及其提取利用技术经济性探讨

周总瑛,罗璐,靳迪

(中国石化集团新星石油公司,北京 100083)

摘要:这是一篇地球科学领域的论文。基于藏南高温地热水锂资源分布特征、成因机制、锂提取技术和 经济性研究不足。本文通过板块构造分析、地热水组分测试、盐湖锂提取技术的适用性对比分析和建立地热水 提取锂的经济评价模型,取得了如下成果: (1)藏南地热水锂主要分布在雅鲁藏布江深大断裂带两侧及其南 部,富含锂花岗岩围岩淋滤和岩浆热液,为富锂地热水的形成提供了丰富的锂来源; (2)根据地热水锂具有 低浓度和低镁/锂比的特性,选择了萃取法和沉淀法两种技术用来提取地热水锂元素; (3)以古堆地热田某地 热井,其地热水锂浓度为 23.5 mg/L,采用萃取法工艺提锂为例,建立经济评价模型,采用现金流量法对经济 性进行评估,经济评估结果表明,当碳酸锂价格不低于 25 万元/t 情况下,地热水提锂项目具有良好的经济效益。

关键词: 地球科学; 高温地热水; 锂资源; 提取技术; 经济评价

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.01.010

中图分类号: TD983 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2024)01-0085-07

引用格式:周总瑛,罗璐,靳迪.藏南高温地热水锂资源及其提取利用技术经济性探讨[J].矿产综合利用,2024, 45(1): 85-91.

> ZHOU Zongying, LUO Lu, JIN Di. Discussion on lithium resources of high temperature geothermal water in Southern Xizang and its technical and economic efficiency of extraction and utilization[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(1): 85-91.

锂是一种重要的战略性矿产,广泛应用于电 池材料、航空航天、化工、冶金、陶瓷等众多领 域。我国锂资源主要包括硬岩矿山型锂和盐湖卤 水型锂^[1-2](盐湖卤水和深层地下卤水)。目前, 已查明的以锂辉石、锂云母等形式存在的硬岩型 锂矿主要分布在四川、江西、新疆等地区,约占 锂资源储量的 33%; 卤水型锂矿主要分布在青 海、西藏、湖北等地区,约占锂资源储量的 67%。

随着我国新能源汽车的迅速发展,对锂盐需 要也快速增加,锂资源的供应缺口越来越大,对 外依存度达到了 70% 以上。

藏南高温地热田集中分布在雅鲁藏布江深大断裂带两侧及其南部。其中,古堆、谢通门、萨 迦及仁布等部分地热田,其地热水中锂元素浓度 超过15 mg/L^[3]。与盐湖卤水锂相比,虽然地热水 锂浓度低,但其镁锂比非常低(Mg/Li小于1), 锂提取利用难度较小^[4]。当前盐湖提锂技术主要有 对沉淀法、萃取法、吸附法、电渗析膜法及纳滤 膜法,对比分析这几种技术的优劣势,并结合地 热水中低锂浓度、低镁/锂比的特性,筛选了萃取 法和沉淀法两种技术提取地热水锂元素。针对地 热水锂提取工艺和流程,采用现金流量法在不同 碳酸锂价格下对项目经济性进行了探讨。以往高 温地热水发电后,尾水直接回灌地下或排放,尾 水中锂资源没有被利用而造成浪费。研究认为随 着提取技术的不断进步,提取利用高温地热水锂 资源,变废为宝,具有良好的经济效益,有望成 为一种矿锂和卤水锂的补充新型锂资源。

1 藏南高温地热水锂资源分布

晚白垩世—始新世,印度大陆板块向欧亚大 陆板块发生俯冲,两个陆壳在雅鲁藏布江一线直

收稿日期: 2023-03-23; 修回日期: 2023-05-04

作者简介:周总瑛(1966-),男,博士,教授级高级工程师,主要从事油气资源、地热资源勘探等工作。

接相碰,形成了雅鲁藏布缝合线,沿线则出现喜 马拉雅地热带。喜马拉雅地热带上的高温地热资 源分布严格受板块消减构造带和活动构造带控 制,高温地热田集中分布在班公湖-怒江缝合带以 南的藏南地区^[5],尤其在与雅鲁藏布江深大断裂相 交接的 NS 向断陷盆地或裂谷,其中申扎-定结、 那曲-羊八井-亚东及日多-错那三条断裂带为著名 的高温地热田分布带。陆—陆碰撞引起地壳增厚 放射性元素生热增强和青藏高原深部构造运动在 上地壳形成的局部熔融体,为藏南高热流异常和 高温地热资源的形成提供了强大的热源。

藏南地热水 pH 值大多在 6.8~9.0 之间 (表 1),呈中性至弱碱性,TDS 主要分布范围为 500~3000 mg/L,地热水中阴离子主要为 Cl⁻和 HCO³⁻,阳离子主要为 Na⁺,水化学类型以 Cl⁻HCO₃-Na 水为主。

表1 藏南地热水物理化学组分分析结果/(mg/L)

Table 1 Analysis results of physical and chemical components of geothermal water in Southern Xizang													
地热田	样品编号	pH值	TDS/ (mg/L)	Na ⁺	K^+	Mg^{2+}	Ca ²⁺	Cl	HCO ₃ -	SO4 ²⁻	CO3 ²⁻	Li ⁺	水化学类型
	G106	6.77	2929	680.00	70.78	11.95	107.68	797.00	774.10	165.43	0.00	23.84	Na-Cl-HCO ₃
谢通门	G107	6.86	2614	584.88	68.08	9.78	120.16	660.25	755.53	144.92	0.00	20.74	Na-Cl-HCO ₃
	G108	7.68	3241	719.08	70.27	16.28	164.18	873.81	867.54	189.60	0.00	23.67	Na-Cl-HCO ₃
定结	G110	7.68	419	120.29	6.36	1.50	19.26	47.97	287.31	25.60	0.00	0.35	Na-HCO ₃ -Cl
	G111	7.86	653	181.17	9.55	2.27	25.01	56.77	345.22	88.05	0.00	0.59	Na-HCO ₃
	G121	8.24	2188	589.52	79.64	0.54	9.38	587.41	604.34	43.58	46.09	17.26	Na-Cl-HCO ₃
萨迦	G122	9.17	2194	536.13	71.65	0.28	4.11	590.87	344.73	46.80	169.62	18.34	$Na\text{-}Cl\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$
	G125	8.58	2156	564.90	79.59	0.25	3.07	594.56	541.12	29.75	72.43	17.65	Na-Cl-HCO ₃
卡嘎	G127	9.37	336	97.73	1.54	0.10	1.71	26.36	88.34	64.35	19.18	0.22	Na-HCO3-SO4
	G128	9.35	334	99.68	1.58	0.10	1.86	27.19	90.93	66.36	18.09	0.21	Na-HCO ₃ -SO ₄
	G201	8.7	608	142.93	7.73	0.21	10.57	88.57	72.39	123.80	10.73	1.45	Na-SO4-Cl
化不	G202	8.44	613	157.80	7.36	0.46	8.91	93.22	93.91	129.31	10.98	1.48	$Na\text{-}SO_4\text{-}Cl\text{-}HCO_3$
羊八井	G205	7.64	1385	391.16	42.73	0.10	2.41	339.44	413.42	53.96	0.00	9.07	Na-Cl-HCO ₃
	G206	9.5	1295	329.76	21.08	0.41	2.76	145.47	242.16	202.91	86.50	8.51	$\operatorname{Na-SO_4-Cl-HCO_3}$
光日	G208	9.11	1454	360.45	33.44	0.10	3.79	152.29	389.91	203.32	53.55	13.31	$\operatorname{Na-HCO_3-Cl-SO_4}$
千勿	G209	8.02	817	179.31	13.34	9.57	33.49	84.28	422.26	85.96	0.00	4.88	Na-HCO ₃ -Cl
仁布	G221	6.79	3933	1181.66	104.42	10.68	89.40	1372.75	1131.79	58.84	0.00	24.34	Na-HCO ₃ -Cl
台山	G224	8.12	2010	569.09	89.07	7.11	27.18	460.56	756.32	219.08	0.00	8.48	Na-Cl-HCO ₃
1 十	G225	7.25	2028	570.74	89.46	7.14	32.01	459.45	772.14	221.38	0.00	8.39	Na-Cl-HCO ₃
古堆	G302	8.34	2875	673.25	67.06	0.24	4.59	591.50	460.24	142.23	53.20	23.50	Na-Cl-HCO ₃
	G303	8.83	2828	648.05	73.19	0.49	4.22	574.94	373.27	131.38	114.52	24.40	Na-Cl-HCO ₃
	G316	6.6	3053	680.65	93.40	13.88	133.12	862.38	834.95	132.96	0.00	31.53	Na-Cl-HCO ₃
口夕	G323	7.02	1268	318.73	25.94	3.64	64.7	151.05	482.6	263.04	0.00	1.45	Na-HCO ₃ -SO ₄ -Cl
日多	G326	6.97	1299	316.24	25.86	3.65	64.96	153.01	483.01	265.87	0.00	1.40	Na-HCO ₃ -SO ₄ -Cl

注:数据来源于中国石化科研项目《地热水中稀碱金属富集机理及开发利用潜力探索研究》^[3](2022)。

藏南地热水锂主要分布在雅鲁藏布江深大断 裂带两侧及其南部,北部含量偏低(图1)。Li元 素含量大于15 mg/L的地热田有4个,有2个位于 申扎-定结地热带的谢通门和萨迦地热田,1个位 于亚东-谷露地热带的仁布地热田,1个位于错那-沃卡地热带的古堆地热田。

富锂地热水形成的关键因素在于是否有丰富 的锂元素来源。藏南地热田锂元素主要有两个来 源:花岗岩围岩淋滤和岩浆热液。(1)喜马拉雅 新生代碰撞造山带近 2500 km 长度范围内产出巨 量、富含锂铌钽等稀有金属的淡色花岗岩^[6]。强烈 活动的地热水流经富含锂元素岩石地层(如淡色 花岗岩)而发生水-岩作用,淋滤出其中的锂元 素,地热水温度越高,径流途径和水岩作用时间 越长,则可以溶解更多围岩中的锂元素,锂元素 浓度也就越高。(2)印度板块向北飘移与欧亚板 块发生俯冲碰撞,使欧亚板块下部的边缘部分被 加热熔融形成富含锂元素岩浆(局部熔融体)。 富锂岩浆沿着深大断裂上升过程中逐渐冷却结 晶,在结晶分异晚期锂元素在汽水热液中富集^[7]。



图1 藏南锂元素含量分布等值线

Fig.1 Contour map of lithium element content distribution in Southern Xizang

富锂岩浆热液沿断裂带上升并与地层中地热水混 合形成富锂地热水。

山区大气降水或冰雪融水在重力作用下,沿 山前断裂带向地下深部下渗过程所淋滤围岩的锂 元素和浅部岩浆活动的富锂热液混合,赋存于地 热流体之中并沿断裂通道上升至热储中形成富锂 地热水(图2)。

2 地热水锂元素提取技术

盐湖卤水提锂的工艺难度和成本主要受盐湖 中锂的浓度及镁锂比影响^[8]。由于锂、镁具有非常 相似的性质及水合半径,卤水中的镁锂比越高, 提锂难度越大^[9]。目前盐湖提锂技术主要有沉淀 法、萃取法、吸附法、电渗析膜法及纳滤膜 法^[10-12](表2)。其中,沉淀法适用于低镁锂比的 盐湖卤水,工艺流程简单,技术成熟,但但同时 会产生大量的废渣及高盐废水,不利于环保;萃 取法适合于锂浓度较低的卤水,具有分离系数 高、成本低、回收率高的特点,但原料消耗高、 设备腐蚀较大;吸附法更适合高镁锂比卤水,工 艺简单、选择性好、回收率高、无污染,但工艺 复杂,成本较高;膜分离技术如电渗析法和纳滤 法,可实现锂镁的高效分离,但存在选择系数 低、膜污染严重等问题。



1. Early Cretaceous diorite 2. Triassic silty mudstone 3. Lower Jurassic carbonaceous mudstone 4. Middle and Lower Jurassic Marl 5.fault 6. plate movement direction 7. atmospheric precipitation recharge area 8. runoff direction of underground cold water 9. runoff direction of underground hot water

10. geothermal display area 图 2 藏南富锂地热水形成概念模式 Fig.2 Conceptual model map of lithium rich geothermal water formation in Southern Xizang

			U		
提锂 技术	沉淀法	萃取法	吸附法	电渗析膜法	纳滤膜法
技术 特点	利用富锂老卤经脱硼、 除钙、除镁等分离工 序,再利用纯碱沉锂	利用有机溶剂先进行萃 取得到萃合物,然后用 盐酸反萃取	利用对Li有选择性吸附 能力的吸附剂吸附Li, 再将Li洗脱,使Li与杂 子分离	外加直流电场驱动下, 离子交换膜对卤水中离 子具有选择性,从而实 现镁锂分离	利用对Li有选择性吸附 能力的吸附剂吸附Li, 再将Li洗脱,使Li与杂 子分离
工艺 优势	工艺流程简单,技术成 熟,生产成本低	适合锂浓度较低的卤 水,易工业化	适合高镁锂比卤水,工 艺简单、选择性好、回 收率高、无污染	母液可循环利用	操作压力低,成本低; 部分解决晒盐处理量、 面积大、生产效率低等 问题
工艺 劣势	对卤水要求高,低镁 锂比	原料消耗高、环境污 染、设备腐蚀较大	工艺复杂,成本略高	工业化生产不稳定	工艺复杂 分离效率低, 滤膜成本高,使用周期 短
代表 盐湖	智利阿塔卡玛盐湖	青海大柴旦盐湖	青海察尔汗盐湖	青海东台吉乃尔盐湖	青海西台吉乃尔盐湖
年产 能	10.3万t	正进行千t级的中试试验	1万t	预计1万t	完成0.2万t中试试验,正 建2万t

表 2 盐湖卤水锂提取技术比较 Table 2 Comparison of lithium extraction technologies from salt lake brine

地热水与盐湖卤水中锂元素相比(表3), 地热水锂具有明显的"双低"特点,即浓度明显低 于盐湖卤水锂浓度,镁/锂比也明显低于盐湖卤水 镁/锂比,镁/锂比都小于1,这种低镁/锂比特征非 常有利于工业化开采利用。针对地热水中低锂浓 度、低镁/锂比的特性,选择了萃取法和沉淀法两 种技术提取地热水锂元素。

表 3 盐湖卤水与地热水中锂浓度、镁/锂比值对比^[3,11] Table 3 Comparison of lithium concentration and magnesium/lithium ratio between salt lake brine and

geothermal water									
地点	盐湖/ 地热田	TDS/ (g/L)	Li/%	Li/TDS	Mg/Li				
	班戈湖	68.5	0.0104	0.104	0.64				
主萨	扎仓茶卡	210	0.0426	0.002029	15.96				
月减	察尔汗盐湖	358	0.0124	0.000346	512.00				
	一里坪	327	0.0262	0.000801	51.00				
	谢通门	2.929	0.002384	0.008139	0.5				
西藏南部地热水	措美-古堆	2.875	0.002394	0.008327	0.01				
	羊易	3.089	0.003451	0.011172	0.28				

2.1 萃取法锂提取技术

由于地热水 Li⁺浓度较低,在正式提取锂资源 前,都需要对地热水进行蒸发浓缩,使地热水 Li⁺浓度达到一定浓度要求。由于西藏气候干燥, 年平均降水量 476.8 mm,年平均蒸发量 1725.7 mm,因此可以利用蒸发池对地热水进行自然蒸发 浓缩(图3)。

萃取法提取地热水中锂的工艺流程见图 4。在 地热水浓缩液中,加入混合萃取液 TBP(磷酸三 丁酯)/FeCl₃/P507(磷酸酯),经过一段时间的搅 拌萃取,地热水中的锂将进入油相。经过水相和 油相分离后,将盐酸加入到油相中,对 Li进行反 萃,锂进入到水相。经过滤后,水相中加入碳酸 钠,锂离子与碳酸根反应生成碳酸锂沉淀。过滤 后,将碳酸锂固相经过多次洗涤后干燥,获得碳 酸锂产品。



图 3 地热水自然蒸发浓缩示意

Fig.3 Schematic of natural evaporation and concentration of geothermal water



图 4 萃取法提取地热水锂工艺流程



2.2 沉淀法锂提取技术

沉淀法提取地热水中锂的工艺流程见图 5。首 先,在地热水中加入少量的 NaOH,地热水中的 Mg 和 Ca 离子 与 OH 离子 反应,生成沉淀 Mg(OH)₂/Ca(OH)₂沉淀,滤去 Mg 和 Ca 杂质,取 上清液。

上清液中加入适量的 NaCO₃,生成碳酸锂沉 淀,经过过滤、洗涤和干燥,获得较纯净的碳酸 锂产品。如果在上清液中加入适量的氢氧化钠, 则生成氢氧化锂沉淀。将沉淀过滤,经过洗涤和 干燥,获得氢氧化锂产品。

3 地热水锂元素提取经济性分析

针对地热水锂提取工艺和流程,对相关的成 本进行估算,包括资源税、盐田建设费、厂房建



图 5 沉淀法提取地热水锂工艺流程 Fig.5 Process flow of extracting lithium from geothermal water by precipitation method

设费、设备费、原料费、人员费和电费等项目。 沉淀法因原材料费用低于萃取法,其经济性略高 于萃取法。本次地热水锂提取经济性分析以萃取 法方案为例。

利用地热发电项目尾水作为水源,前期地热 井钻井及发电工程费用不纳入本项目经济性分析 范围。为了便于成本定量测算,以古堆地热田某 地热井为例,地热井出水量 95 m³/h,地热水中锂 元素浓度约为 23.5 mg/L,生产系统年运行时间为 6000 h,年出水量 57×10⁴ m³。

蒸发浓缩阶段:由于地热水中锂的含量较低,需要利用自然干燥进行长时间的挥发浓缩,浓缩后锂元素浓度提升至1mg/L再进入提取阶段。该阶段的投资主要为盐田建设费用,成本费用主要为盐田土地租金。

锂提取分离阶段:地热尾水浓缩到目标浓度 后,将浓缩液转移,进入到锂元素提取分离阶 段,进行锂元素分离。该阶段投资主要包括厂房 建设及工艺设备购置。采用萃取法工艺方案,需 购置离心萃取设备、反萃设备、洗涤及离心干燥 设备。该阶段主要运行成本费用为:原材料采购 费、设备动力费、人工费、设备维护费以及产品 储运等其他管理、销售成本。此外,考虑地热水 利用后无法回灌,还须相应缴纳资源税。

年产碳酸锂:单井地热尾水可生产碳酸 锂71 t/a。

在地热水中锂元素浓度 23.5 mg/L 的条件下, 萃取法提锂各项成本参数取值见表 4。根据锂元素 浓度对投资、成本、产出的影响关系,以及碳酸 锂价格波动比较大的情况,建立经济评价模型, 采用现金流量法在不同碳酸锂价格下对项目经济 效益进行测算(表 5)。从测算结果看,当碳酸锂 价格不低于 25 万元/t 情况下,锂资源提取经济效 益非常显著。譬如,碳酸锂价格取 40 万元/t,税 后投资回收期 4.04 年,税后财务内部收益率 45%,投资收益率 24%,资本金净利润率 18%; 碳酸锂价格取 25 万元/t,税后投资回收期 9.1 年, 税后财务内部收益率 13%,投资收益率 7%,资本 金净利润率 5%;但是,碳酸锂价格取 20 万元/t,税后财务内部收益率 2%,远低于企业要求的 8%收益率,不具备投资价值。

表 4	萃取法提取地热水锂元素成本估算
Table 4	Cost estimation of extracting Lithium from
σe	othermal water by extraction method

0						
		盐田建设	3380			
		厂房建设	1000			
		萃取设备	112			
建设投资		反萃设备	112			
	设备购直	洗涤及离心干燥设备	50			
	小		1273			
		投资合计	4654			
		萃取剂	136			
		FeCl ₃	3			
		煤油	14			
	材料成本	反萃剂	20			
		沉淀剂	51			
		小计	223			
经营成本	土地租金					
(万元/牛)	动力成本					
	维修成本					
	年回成本					
	八工成本					
						
	官埋成本					
资源税	运宫成本合计					
(万元/年)	矿泉水资源税(3元/m ³)					
磁酸細 辛 量 (t/年)			71			

表 5 不同碳酸锂价格下经济效益测算结果

 Table 5
 Calculation results of economic benefits under different lithium carbonate prices

时夕北仁	工业级碳酸锂价格(万元/t)									
则分疽怀	60	50	40	35	30	25	20	15		
年均收入/万元	3786	3155	2524	2208	1893	1577	1262	946		
税后投资回收期/年	2.34	2.96	4.04	4.94	6.40	9.10	17.11			
税后财务内部收益率/%	122	76	45	33	22	13	2	一扫		
投资收益率/%	47	35	24	18	13	7	1	フ坝		
资本金净利润率/%	35	27	18	14	9	5	1			

4 结 论

藏南地热水锂资源分布主要受近东西向雅鲁 藏布江深大断裂带和南北向张性构造控制,地热 水具有 Mg/Li 比低的特点;随着从地热水中提取 锂技术的进步和成熟,开发利用地热发电尾水中 的锂资源,不但可以变废为宝,而且具有良好的 经济效益,将来有望成为一种矿锂和卤水锂的补 充新型锂资源。

参考文献:

[1] 吴西顺, 王登红, 杨添天, 等. 碳中和目标下的锂矿产业创 新及颠覆性技术[J]. 矿产综合利用, 2022(2):1-8.

WU X S, WANG D H, YANG T T, et al. Lithium mining industry innovation and disruptive technology under the goal of carbon neutrality[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(2):1-8.

[2] 韩佳欢, 乜贞, 方朝合, 等. 中国锂资源供需现状分析[J]. 无机盐工业, 2021, 53(12):61-66.

HAN J H, NIE Z, FANG C H, et al. Analysis of existing circumstance of supply and demand on China's lithium resources[J]. Inoganic Chemicals Industry, 2021, 53(12):61-66. [3] 地热水中稀碱金属富集机理及开发利用潜力探索研究 [R]. 北京: 中国石化集团新星石油公司, 2022.

Study on the enrichment mechanism and exploitation potential of rare lkali metals in geothermal water[R]. Beijing: SINOPEC Star Petroleum Company, 2022.

[4] 王琪, 赵有璟, 刘洋, 等. 高镁锂比盐湖镁锂分离与锂提取 技术研究进展[J]. 化工学报, 2021, 72(6):2905-2921.

WANG Q, ZHAO Y J, LIU Y, et al. Recent advances in magnesium/lithium separation and lithium extraction technologies from salt lake brine with high magnesium/lithium ratio[J]. Journal of Chemical Engineering, 2021, 72(6):2905-2921.

[5] 周总瑛, 罗璐. 西藏高温地热资源分布特征与发电建议 [J]. 可持续能源, 2022, 12(1):1-8. ZHOU Z Y, LUO L. Distribution characteristics of hightemperature geothermal resources in Tibet and suggestions for power generation[J]. Sustainable Energy, 2022, 12(1):1-8.

[6] 曾令森, 高利娥. 喜马拉雅碰撞造山带新生代地壳深熔作 用与淡色花岗岩[J]. 岩石学报, 2017, 33(5):1420-1444.

ZENG L S, GAO L E. Cenozoic crustal anatexis and the leucogranites in the Himalayan collisional orogenic belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(5):1420-1444

[7] WANG Chenguang, ZHENG Mianping, ZHANG Xuefei, et al. Geothermal-type lithium resources in Southern Xizang Plateau[J]. Science & Technology Review, 2020, 38(15):24-36.
[8] 漆贵财. 锂离子筛复合材料的制备及性能研究[D]. 西宁:中国科学院大学(中国科学院青海盐湖研究所), 2019.

QI G C. Preparation and properties of Lithium ion sieve composites[D]. Xining: University of Chinese Academy of Sciences(Qinghai Salt Lake Research Institute, Chinese Academy of Sciences), 2019.

[9] 王生彪, 王世蛟. 高镁锂比盐湖提锂工艺技术的研究[J]. 化工管理, 2020(28):147-148.

WANG S B, WANG S J. Research on technology of extracting lithium from salt lake with high magnesium-lithium ratio[J]. Chemical Management, 2020(28):147-148.

[10] 蒋晨啸, 陈秉伦, 张东钰, 等. 我国盐湖锂资源分离提取 进展[J]. 化工学报, 2022, 73(2):481-503.

JIANG C X, CHEN B L, ZHANG D Y, et al. Progress in isolating lithium resources from salt lake brine in China[J]. Journal of Chemical Engineering, 2022, 73(2):481-503.

[11] 李增荣, 刘国旺, 唐发满. 青海盐湖锂资源及提锂技术概述[J]. 资源信息与工程, 2017, 32(5):94-97.

LI Z R, LIU G W, TANG F M. Summary of lithium resources and Lithium extraction technology in Qinghai salt lake[J]. Resource Information and Engineering, 2017, 32(5):94-97.

[12] 张梦龙, 田欢, 魏昊, 等. 锂资源提取工艺现状及发展趋势[J]. 稀有金属与硬质合金, 2018, 46(4):11-19.

ZHANG M L, TIAN H, WEI H, et al. Current situation and development trend of Lithium resource extraction process[J]. Rare Metals and Cemented Carbides, 2018, 46(4):11-19.

Discussion on Lithium Resources of High Temperature Geothermal Water in Southern Xizang and its Technical and Economic Efficiency of Extraction and Utilization

ZHOU Zongying, LUO Lu, JIN Di

(SINOPEC Star Petroleum Company, Beijing 100083, China)

Abstract: This is an article in the field of earth sciences. According to insufficient research on the distribution characteristics, genetic mechanism, lithium extraction technology, and economic benefits of high-temperature geothermal water lithium resources in Southern Xizang. Through the analysis of plate tectonics, the test of geothermal water components, the comparative analysis of the applicability of lithium

extraction technology in salt lakes, and the establishment of an economic evaluation model for lithium extraction from geothermal water, the following achievements have been achieved: (1) The geothermal water lithium in Southern Xizang is mainly distributed on both sides of the Yarlung Zangbo River deep fault zone and its southern region, Lithium-rich granite wall rock leaching and magmatic hydrothermal solution, it provides rich lithium sources for the formation of lithium-rich geothermal water. (2) In accordance with the characteristics of low concentration and low magnesium/lithium ratio in geothermal water lithium, the extraction method and precipitation method are selected to extract and utilize lithium in geothermal water. (3) Take geothermal water, and the extraction process is used to extract lithium, establishing an economic evaluation model, using cash flow method to evaluate the economy, and the economic evaluation results showed that when the price of lithium carbonate is not less than 250000 yuan/t, the extraction of lithium from geothermal water has good economic benefits.

Keywords: Earth sciences; High temperature geothermal water; Lithium resources; Extraction technology; Economic evaluation

(上接第49页)

breakthrough work, the Xidamingshan mineral exploration, the Nongtun large-scale Pb-Zn deposit has been newly discovered. However, the understanding of the metallogenic characteristics of the deposit, especially the genesis of the deposit, is still at the superficial stage. Based on detailed field geological investigations and previous work, this paper systematically summarizes the regional metallogenic geological background, mining area and geological characteristics, and analyzes the genesis of the Nongtun lead-zinc deposit to find out the metallogenic mechanism. The study shows the Nongtun Pb-Zn deposit is related-magmatic hydrothermal deposit, the ore-forming fluids originated from magmatic, and later mixed with meteoric water. The fluids extracted Pb and Zn ore-forming elements from the strata during long-distance transport, and combined with S of magmatic fluids to synthesize [HS]⁻ligand that converged in the fracture zone and transported to the shallow part, thus forming Pb-Zn ore vein. The above research results have established the metallogenic model of the Nongtun Pb-Zn deposit, which provides a good guidance for prospecting prediction and exploration.

Keywords: Earth Sciences; Geological characteristics; Deposit genesis; Metallogenic model; Nongtun leadzinc deposit; Xidamingshan area