

赵亮,王蒙蒙,夏永高,等. 铷和铯离子的分离提取技术研究进展[J]. 盐湖研究, 2024, 32(5): 1-9.

Zhao L, Wang M M, Xia Y G, et al. Research progress on the extraction and separation technology of rubidium and cesium ions[J]. Journal of Salt Lake Research, 2024, 32(5): 1-9.

DOI: 10.3724/j.yhyj.2024025

CSTR:32273.14.j.yhyj.2024025

铷和铯离子的分离提取技术研究进展

赵亮^{1,2}, 王蒙蒙², 夏永高², 高洁^{2*}

(1. 浙江工业大学材料科学与工程学院, 浙江 杭州 310014;

2. 中国科学院宁波材料技术与工程研究所, 浙江 宁波 315201)

摘要: 随着科技的高速发展, 铷和铯因其优异的理化性质, 应用范围不再局限于催化剂、特种玻璃、医学等传统领域, 在磁流体发电、离子推进器和钙钛矿电池等新型能源领域也有了一席之地。我国的铷铯资源主要存在于矿石和盐湖卤水中, 从矿石中提取铷和铯的工艺比较成熟, 主要有硫酸浸出法和焙烧—水浸法, 该方法仍存在工艺流程复杂, 能量消耗大等问题, 且大量尾气排放会对环境产生一定影响, 不符合绿色产业理念, 对实现我国的“双碳”目标具有较大的影响。从盐湖卤水中提取铷、铯一般采用溶剂萃取法和离子交换法等技术, 这些方法具有工艺流程简单、连续性强、能耗低、低排放等优势, 具有更广阔的发展前景。文章综述了铷铯的资源现状、目前的提取难点和现阶段技术研究进展, 深入探讨了硫酸浸出法、焙烧—水浸法、萃取法和离子交换法等技术的优缺点, 并展望了未来铷、铯提取技术的发展方向。

关键词: 铷; 铯; 浸出; 焙烧; 萃取; 离子交换

中图分类号: TD826.4; TD826.5

文献标志码: A

文章编号: 1008-858X(2024)05-0001-09

随着科学技术的高速发展, 铷、铯及其化合物凭借着优秀的物理、化学和光电性能^[1], 不仅应用于传统催化剂和铯原子钟领域, 如今还在钙钛矿电池、磁流体发电、离子推进剂等高科技领域也有着不可替代的作用。但是铷、铯在自然界中的独立矿物很少, 基本存在于含锂矿石之中, 如钾长石、白云母、锂云母以及铯榴石等, 目前工业用铷、铯的主要来源还是提锂的尾矿。我国铷铯矿石资源十分有限, 铷铯资源大部分存在于盐湖卤水中, 铷、铯的平均浓度在盐湖中很低, 且与大量的 Li^+ 、 Na^+ 、 K^+ 等碱金属离子共存, 这是从盐湖卤水中提取铷、铯的最大难点。本文概括了铷、铯的资源概况、性质及应用状况, 并总结了不同提取技术的优劣势, 从提取技术研究现状出发, 探讨和展望了绿色、高效提取铷、铯技术的发展方向。

1 铷铯的资源概况、性质与应用

1.1 铷和铯资源概况

全球铷铯资源主要存在于矿石和盐湖卤水之中。铷铯矿石主要以伟晶岩型矿石为主, 在全球范

围内, 花岗伟晶岩中铷储量和铯榴石中的铯储量主要集中在三个国家: 津巴布韦、纳米比亚和加拿大。国外花岗伟晶岩中 Rb_2O 资源储量约为 $17 \times 10^4 \text{ t}$, 而上述三个国家的 Rb_2O 资源储量约为 $16.2 \times 10^4 \text{ t}$, 占95%的国外铷资源, 资源储量分布如图1a所示。国外 Cs_2O 资源储量共计为 $21.71 \times 10^4 \text{ t}$, 上述三个国家的 Cs_2O 资源储量占世界铯矿石储量的64%^[2], 资源储量分布如图1b所示。国内外的盐湖卤水中也存在大量的铷铯资源, 其中美国索尔顿盐湖中铷和铯的含量分别达到了 $169 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 全球天然盐湖卤水铷、铯含量见表1所示。

我国铷铯矿石资源极为稀缺, 主要分布在新疆、四川、江苏、河南和湖南等地的伟晶岩、锂云母矿中。但我国的铷铯资源整体比较丰富, 主要分布于西藏和青海等地的盐湖中, 具有较高的开发价值, 青海察尔汗盐湖中 Rb_2O 储量按盐湖浓度和数量计算, 至少含有超过 $6 \times 10^4 \text{ t}$ 的铷资源^[3]。而西藏拥有离子含量丰富的地热水溶液矿床, 部分地方已达到了工业开采的标准^[4]。

收稿日期: 2023-05-11; 修回日期: 2023-06-25

基金项目: 宁波市2025重大科技任务攻关项目(2022Z021); 省重点研发项目(领雁研发攻关)(2022C03074); 国家自然科学基金项目(U21A20305)

作者简介: 赵亮(1997-), 男, 硕士, 研究方向: 盐湖卤水中铷和铯的提取。Email: zhaoliang@nimte.ac.cn。

通信作者: 高洁(1980-), 女, 博士, 正高级工程师, 主要从事盐湖矿石资源综合利用、退役动力电池循环利用研究工作。Email: gaojie@nimte.ac.cn。

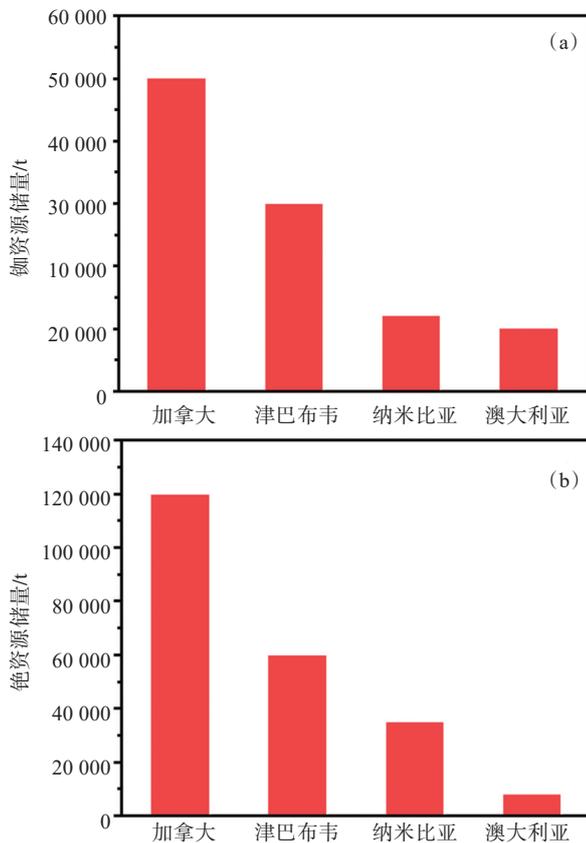


图1 (a) 铷资源分布图;(b) 铯资源分布图

Fig. 1 Distribution diagram of rubidium (a) and cesium resources (b)

表1 世界上含Rb⁺和Cs⁺的液体^[5]

Table 1 Liquid ores with Rb⁺ and Cs⁺ in the world^[5] mg·L⁻¹

国家	区域	Rb ⁺	Cs ⁺
俄罗斯	西伯利亚盐湖	21	—
俄罗斯	乌尔干湖	0.3 ~ 20	—
以色列	死海	60	—
美国	索尔顿盐湖	137 ~ 169	16 ~ 20
美国	木盐湖	25	25
中国	察尔汗盐湖	10.8 ~ 14	0.034
中国	扎布耶盐湖	50 ~ 60	12 ~ 21
中国	威远气田	5.2	11.9
日本	有马温泉	3.5	3.5

1.2 铷和铯性质与用途

铷和铯是稀有碱金属元素,因其优异的物理、化学以及光电性能,应用范围十分广泛。铷和铯主要应用于催化剂领域,在钢铁和有色金属的冶炼、工业硫酸的制备和石油勘探的钻井液等领域都有应用^[6]。在能源方面,铷、铯因为具有很强的活泼性,在热离子转换发电和磁流体发电领域都发挥着重要的作用^[7]。铷、铯在光照或者电磁辐射下能释放出自由电子,是光电倍增管^[8]、电视显像管、光电池^[9]、空心

阴极灯^[10]和原子钟^[11]等电子器件的关键材料,因此在电子行业中也有着重要的价值。在传统玻璃领域,铷、铯盐作为添加剂可以提高玻璃的稳定性,大大延长了玻璃的使用寿命。除此之外氯化铷、碘化铷、铷的放射性同位素、氯化铯、硝酸铯和丙酸铯等也被广泛应用于医学领域^[12],铷和铯的性质及其用途详见表2。

表2 铷铯及其化合物的用途和性质^[13]

Table 2 Properties and applications of rubidium, cesium and their compounds^[13]

特 性	用 途
甲酸盐溶液的高密度、高稳定性和低腐蚀性	甲酸铯用作高温高压下的钻井液
易电离性	磁流体发电、燃料电池、离子火箭
光敏性	光电设备、夜视设备
催化作用	有机化工催化剂、烟气脱硫剂
生化作用	铷盐铯盐在医药领域治疗癫痫和镇静剂
吸收作用	真空管的吸气剂和提纯特殊物质
放射性	医学领域用作癌症的放射源
量子效应	量子计算
原子外层电子的超精准跃迁频率	原子钟、卫星导航、频率表征等
碳酸盐可降低玻璃的导电性、提高抗腐蚀性和稳定性	特种玻璃、特种陶瓷、光导纤维(添加碳酸铷效果较好)

2 铷和铯的提取方法

固体矿主要存在于锂云母等含锂矿石和铯榴石之中,主要的提取方法为石灰石焙烧法、硫酸法、高压釜法^[12]、硫酸盐焙烧法以及氯化焙烧法,各提取法的优缺点如表3所示。而我国的大部分铷铯资源主要存在于盐湖卤水与地热水中,从溶液中提取铷铯是近年来研究的重点。由于盐湖中共存的干扰离子浓度很高且铷、铯的初始浓度很低,大大增加了提取与分离技术的难度,还未找到一条经济的提取工艺路线,目前常见的方法主要有沉淀法^[14]、萃取法^[15,16]、吸附法^[17]和分步结晶法^[18]等。

2.1 从矿石中提取铷铯

2.1.1 氯化焙烧法

在焙烧法提取铷、铯的工艺中最为常见的为氯化焙烧法,反应原理是利用氯化剂和矿石在高温下将矿物中的目标金属转换为可以溶解于水中的氯化物(800 ~ 900 °C),反应后再通过水浸法将目标金属浸出到溶液之中,以达到对目标金属离子的提取效

表3 锂云母中铷铯的提取技术^[27]
Table 3 Extraction technology of rubidium and cesium from lepidolite^[27]

方法	优势	缺点
石灰石焙烧	适用性强,原料易得,成本低	提取率低,能耗高,废渣量大
硫酸法	能耗低,回收范围广	反应时间长,酸碱消耗大,除杂导致锂损失,污染大
高压釜法	操作简单,金属回收率高	反应条件要求高,高二氧化碳消耗
硫酸盐焙烧	适用性广,杂质含量少,浸出率高,过程简单	硫酸盐消耗量高,成本高,残渣量大,铷和铯资源无法回收,含硫尾气的排放
氯化焙烧	高金属回收率,反应时间短,废渣少	含氯废气会腐蚀设备并污染环境

果。Zhang等^[17]研究从锂云母精矿中高效共萃取锂、铷、铯和钾的氯化焙烧工艺。氯化剂使用了氯化钙和氯化钠的混合物,其最终混合比例为锂云母精矿:CaCl₂:NaCl的质量比为5:3:2,并在750℃下焙烧45 min后再使用25℃的水在液固比为3:1的情况下进行水浸处理,最终锂、铷、铯和钾的提取率分别为92.49%、98.04%、98.33%和92.09%。但是传统氯化焙烧会因为含氯废气的排放对环境造成影响,因此环保的焙烧工艺成为了现今研究的重点之一。Liu等^[19]在使用氯化物对锂云母焙烧的时候,选择氢氧化钙作为固氯剂,反应过程所需氯化剂的用量从50%~100%降至25%。焙烧渣主要为正长石(Ca(Al₂Si₂O₈))、氯化钾、安拉石(Ca₃Fe₂(SiO₄)₃)、氯化钙和氧化铁,浸出过程中也只有可溶性的氯化钾被溶解掉了,氯化物排放废气被吸收了,其中氯气的总挥发量从80%降至20%。

氯化焙烧在工业中有所应用,可以应用于各种类型的矿石中提取锂、铷和铯,但是大规模工业化应用还需要控制含氯尾气的排放。

2.1.2 硫酸盐焙烧法

在硅酸盐类矿物的处理中,通常会选择硫酸盐类焙烧剂来进行提取。Zhang等^[20]使用硫酸亚铁(Ⅱ)对锂云母在低温下进行提取,结果表明在硫酸亚铁(Ⅱ)与锂云母的比例为2:1,焙烧温度为675℃,保温时间为90 min的条件下对锂、铷、铯和钾的提取率分别为92.7%、87.1%、82.6%和86.2%。硫酸盐焙烧法的研究也比较多,因为这种方法具有很好的浸出率,广泛应用于各种类型的焙烧-浸出工艺,而且这个过程无须使用大量酸碱,具有经济性,但存在污染性气体排放的问题,未来如果需要扩大应用范围,必须解决含硫尾气排放的问题。

2.1.3 氯化物-硫酸盐联用焙烧法

工业中对于铷和铯矿石的焙烧不仅仅局限于单独使用氯化物或者硫酸盐进行焙烧水浸提取,联用能够结合两种盐的优势进行提取铷和铯。Yan等^[21]

使用Na₂SO₄和CaCl₂进行联合焙烧,用于提取锂云母中的碱金属离子,焙烧过程中的最佳比例为锂云母:Na₂SO₄:CaCl₂=1:0.5:0.3。在880℃、0.5 h的焙烧条件下,锂、铷和铯的提取率都在90%以上。再将提取液在-5℃冷却2 h,使得92.1%的硫酸盐和3.9%的氯化物分别结晶成Na₂SO₄·10H₂O和NaCl,最后用Na₂CO₃进行沉淀蒸发,得到纯度99.5%以上的碳酸锂和含铷、铯的溶液。

氯化物-硫酸盐焙烧法结合两种盐的优势联合浸出铷、铯的方法,在矿石中也有应用,其具有提取率高的优点,但存在焙烧过程中产生含硫和氯的污染性尾气的缺点,这也是制约其工业化应用的主要原因。

2.1.4 石灰石焙烧法

石灰石焙烧法指在焙烧时加入CaCO₃作为焙烧剂,然后在焙烧后通过水浸提取矿石中铷和铯的工艺。这是一种钙化焙烧过程,利用石灰石中的氧化钙与矿石反应生成可溶盐。工艺流程为将石灰石与矿石按一定的比例混合后在800~900℃之间进行焙烧,焙烧后的熟料用水将目标元素浸出后得到浸出液和浸出渣(主要为硫酸钙),浸出液经过萃取、除杂等一系列操作后可以得到相应的铷、铯产品。

Mulwanda等^[22]使用NaOH和Ca(OH)₂作为焙烧剂从锂云母中高压浸出锂和其他有价金属,Ca(OH)₂的加入促进了锂的浸出,并生成Ca₃Al₂Si₃O₁₂、CaF₂和NaCaHSiO₄等固相,使得浸出液中硅酸盐和氟化物的浓度降到最低,在最佳条件下对锂、钾、铷和铯的提取率分别为94%、98%、96%和90%。Jandová等^[23]对铋矿的处理方法是用CaCO₃焙烧精矿,然后通过水浸焙烧熟料得到目标产物,这种方法大约可以提取90%的锂和铷,在经过沉锂过程后能够得到高纯度的含铷溶液。

2.1.5 酸处理法

酸处理法是一种常见的铷铯提取方法,主要包括硫酸法和盐酸法,由于硫酸的价格便宜且不易挥

发,在工业提取铷、铯中有所应用。硫酸法是利用硫酸的强腐蚀性将锂辉石、锂云母和铯榴石等矿石中的含铝物质进行溶解,从而破坏矿石原有的结构,实现目标元素的浸出,得到含有铷、铯的浸出液,再经过除杂、萃取后得到最终的高纯铷、铯产品。

Zhang 等^[24]使用低温硫酸焙烧—水浸的方法,在硫酸浓度为 85 wt%,焙烧温度为 200 °C,酸与精矿的比例为 1.7:1,焙烧的时间为 4 h,水浸的温度选择 85 °C 的条件下,锂、铷和铯的最大提取率分别为 97.1%、96.0% 和 95.1%。在焙烧过程中,锂云母与热硫酸反应可以生成水溶性的硫酸盐,分别为 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 、 $\text{Al}(\text{SO}_4)\text{OH}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 和 Li_2SO_4 ,同样的铷和铯也可以转换为 $\text{RbAl}(\text{SO}_4)_2$ 和 $\text{CsAl}(\text{SO}_4)_2$,以同构形存在于 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ 之中。而邢鹏^[25]改进了硫酸浸出的工艺,采用了一种新的酸碱联合工艺提取矿石中的铷和铯,其主要步骤为先使用酸处理破坏锂云母的结构,再通过碱浸破坏钾长石中的硅氧骨架结构,从而释放出矿石中的铷和铯,工艺的最佳条件:熟化温度为 300 °C、硫酸浓度为 55 wt%、熟化时间为 20 min、碱浸温度为 150 °C、NaOH 浓度为 250 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、液固比为 15:1($\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$)。在该条件下,铷、铯和钾的浸出率都在 92% 以上。图 2 所示为从锂云母、钾长石、铯榴石等含铷铯矿物中提取铷和铯的主要工艺流程图。

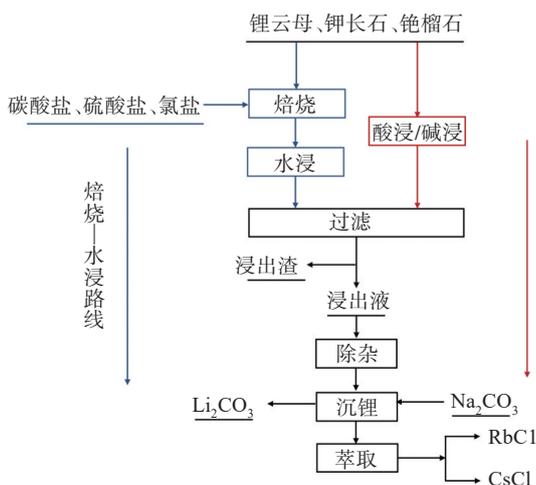


图 2 铷铯提取工艺流程示意图^[28]

Fig. 2 Schematic of rubidium and cesium extraction process^[28]

2.1.6 分步结晶法

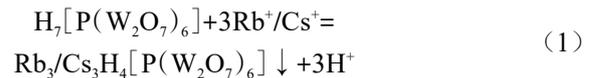
分步结晶法是分离具有相似化学性质离子的方法之一,其分离原理是利用不同金属化合物之间溶解度的差异,通过多次溶解和结晶过程,达到分离提

纯的效果。由于该方法比较陈旧,这方面的研究相对较少,耶鲁大学的 Browning 教授和 Spencer S 教授^[26]曾致力于通过分步结晶法从含铷和铯的锂云母中分离铷和铯。但由于分离效率并不佳,相关研究也越来越少,研究者将重心放在了离子交换法和萃取法上面。

2.2 盐卤体系中铷铯的提取

2.2.1 沉淀法

沉淀法是通过控制沉淀剂的浓度、时间、pH、温度等一系列条件,利用目标金属离子和沉淀剂进行沉淀反应,生成不溶性固体,将金属离子从溶液中过滤分离出来的方法。铷铯常用的沉淀剂包括络合酸盐、多卤化物^[29]、杂多酸、矾类化合物^[30]和一些有机试剂。目前研究较多的沉淀剂包括硅钨酸、氯铂酸、四氯化锡和碘双酸钾等,其中磷钨酸分离铷、铯的研究比较多,其反应式如(1)所示。



沉淀法广泛应用于放射性元素的沉淀分离,但很少有研究直接应用于盐湖沉淀铷、铯,主要原因是盐湖中铷、铯的浓度低,且受共存离子干扰严重。因此,沉淀法只适用于从铷、铯含量高的液态矿中沉淀分离铷、铯。徐等^[31]通过磷钨酸与铷、铯的沉淀反应来将其从溶液中分离出来,回收率能够达到 99.72%,分离效果十分突出。Fang 等^[32]使用磷钨酸铵(AWP)作为沉淀剂,十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)为捕收剂和起泡剂,研究了从水溶液中沉淀浮选铷和铯的工艺性能,AWP 的提取率可达到 100%。Lei 等^[33]利用不溶性的镁盐来提高沉淀铯的效率,使其生成硬石膏($\text{CsMgPO}_4\cdot 6\text{H}_2\text{O}$),能够高效地分离铷和铯。Bengiat 等^[34]发现一种水溶性的有机配体四氧嘧啶和 1,3,5-苯三酚,可以选择性地沉淀溶液中的铯离子,该配体的特殊刚性结构是由一个芳香平面上下的“三足鼎立”的羰基组成,有利于对铯离子的选择性结合,生成不溶性的高分子复合物。沉淀剂的应用汇总如表 4 所见。

2.2.2 萃取法

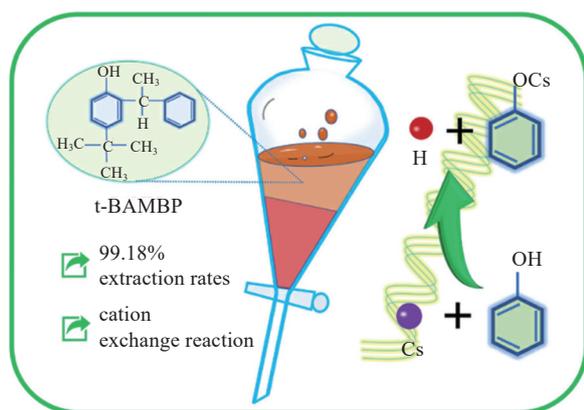
萃取法是近年研究的热点,其优点是反应速度快、操作简单、提取效率高,在工业提取铷、铯上也有很多的应用。萃取法的机理是目标离子能够和萃取剂上的某些基团反应络合,或者和有机试剂发生离子交换,从而使目标离子进入与水不互溶的有机相

表4 沉淀剂的类型和特点^[5]Table 4 Type and characteristics of precipitant^[5]

沉淀剂类型	代表物	沉淀形式	应用	优点	缺点
杂多酸 络合酸盐	硅钼酸	$Rb_4H_4[Si(Mo_2O_7)_6]$	光卤石提取铷铯	沉淀率高	沉淀组分不定
	氯铂酸	$Cs_2(PtCl_6)$	铯的分析	沉淀率高	试剂贵
多卤化物	四氯化锡	Rb_2SnCl_6	锂云母提取铷铯	简单	时间长,损失大
	三氯化铋	$3CsCl \cdot 2SbCl_3$	铯榴石提取铯	过程简单	经济性低
	氯化碘	RbI_2	粗产品提纯	产品纯度高	结晶次数多
矾类	碘铋酸钾	$Cs_3Bi_2I_9$	粗产品提纯	产品纯度高	需要重复提取
	硫酸铝	$RbAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	铯榴石中分离提取铷铯	对环境无污染	过程复杂

之中,达到从溶液中提取铷、铯离子的效果。目前,能够高效萃取溶液中铷和铯的有机试剂主要有酚醇类试剂^[35]、冠醚^[36]、二苦胺及其衍生物^[37]和硝基类化合物^[38,39]等,其中后者由于其本身存在一些问题,在当今的环境下很少使用。

(1) 酚醇类试剂 酚醇类试剂中应用最广泛的是4-叔丁基-2-(α -甲基苄基)苯酚(t-BAMBP)和4-仲丁基-2(α -苄基)苯酚(BAMBP),而环己烷、二甲苯和磺化煤油是上述萃取剂最为常见的溶剂。t-BAMBP属于苯酚类取代基萃取剂,呈弱酸性,基本不溶于水,具有不易挥发、稳定无毒、选择性高、反应快、萃取率高、反萃取简单和循环性好等优点其萃取原理如图3所示。Liu等^[15]用t-BAMBP-磺化煤油体系从工厂提钾的尾液中提取铷、铯,并探究了溶液的提取碱度,萃取相比(O/A),萃取级数等条件,最终铷、铯的萃取率都超过了95%,且基本上达到了对铷、铯的分离。Wang等^[40]对含锂卤水进行萃取,使用t-BAMBP为萃取剂,环己烷为溶剂,并对萃取剂浓度,pH等条件进行了探索,对铷、铯具有比较好的萃取效果。

图3 t-BAMBP萃取剂的萃取原理^[35]Fig. 3 Extraction principle of phenol alcohol extractants^[35]

(2) 冠醚 冠醚是一种具有中空结构的化合物,当其中间空洞的大小与目标金属阳离子的半径相近时,可以对该元素进行萃取分离。目前研究比较广

泛的冠醚有二苯并-21-冠-7(DB21C7)、二苯并-18-冠-6(DB18C6)、5-冠-8(DB24C8)和双环己基-18-冠-6(DCH18C6)等。

Wang等^[41]研究了冠醚衍生物(18C6, 21C7, B18C6, B21C7)与金属离子(Li^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+)的结合机制。Liu等^[42]利用 Fe_3O_4 与18-冠-6之间的酰胺化反应制备了具有超顺磁性且易于富集回收的 $Fe_3O_4@R-COOH$ 纳米颗粒。即使在含有碱金属族阳离子干扰的情况下, $Fe_3O_4@R-COOH$ 也对铯离子具有很好的选择性,其平衡吸附量 $q_e(Cs^+)$ 为 $24.25 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,根据密度泛函理论(DFT)结果表明,冠醚对铯离子的吸附是放热过程,其吸附过程不仅受冠醚环大小的影响,还受螯合对称性和结合能的影响。

2.2.3 吸附法

吸附法主要应用于低浓度溶液体系中铷和铯的分离及提取,有很好的应用前景。该方法具有高选择性、易操作性、工艺简单、高回收率等优点,是提取盐湖卤水中铷铯最具潜力的方法。吸附剂按照组成可分为无机吸附剂和有机吸附剂,目前研究也主要集中在这两方面。

(1) 有机吸附剂 有机吸附剂主要为螯合树脂,因为耐热性和耐辐射性差,易受金属离子干扰,离子交换势较大,即使具备高的交换容量,也仅适用于柱填料,在实际工业中价值有限。贾等^[43]制备了高聚物接枝邻苯二酚聚苯乙烯树脂并测定了其交换量,并用离子交换色谱柱动态吸附法研究了该树脂对铷离子的吸附性能,结果表明其对铷和铯具备良好的吸附能力。

(2) 无机吸附剂 无机吸附剂的优点是具有优异的稳定性、耐热性、耐辐射性、高选择性、优秀的机械性能、高离子交换率、反应过程易于控制和可进行连续的柱式操作。近年来,新型无机吸附剂成为了研究的热点。

① 铝硅酸盐(沸石和蒙脱石):铝硅酸盐是一种具有较大比表面积与孔体积的物质,结构分为含水架状结构和含水层状结构两种。铝硅酸盐的优点有资源丰

富、价格低、离子交换性能优异。沸石是铝硅酸盐的典型代表物,其化学通式为 $M_xD_y[Al_{x+2y}Si_{n-(x+2y)}O_{2n}] \cdot mH_2O$ (M为碱金属元素或一价阳离子,D为碱金属元素或二价阳离子),孔径通常在 0.3~1.3 nm 之间。Munthali 等^[44]采用多种沸石对铯、铷进行吸附探究,结果得到发光沸石对铯的选择性最好,能从溶液中富集铯离子。铝硅酸盐多用于工业生产中,由于无法实现铷和铯的分步洗脱,应用越来越少。

② 多金属氧酸盐:多金属氧酸盐又称为杂多酸盐,是由 Mo、W 等过渡金属元素通过氧桥连接形成的一类无机金属-氧簇,目前研究较多的是磷钼酸铵(AMP),分子式为 $(NH_4)_3PMo_{12}O_{40} \cdot xH_2O$,它是一种细粉微晶结构的多金属氧酸盐。Bostick 等^[45]对磷钼酸铵的吸附性能进行了研究,探究了时间、温度和竞争吸附等的影响,结果显示其离子交换量高达 $1.56 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$,而钾和钠对于铯的吸附存在较大的干扰效果。黄等^[46]研究了磷钼酸铵以及其他磷钼酸盐复合材料对溶液中 ^{137}Cs 的吸附并进行了分析总结,虽然具备不错的吸附量,但由于其对铷、铯的分离系数太低,无实际应用价值。

③ 多价金属酸性盐:不溶性多价金属酸式盐主要为磷酸金属盐,其原料易得,生产方法简单,物理化学性能优良,交换性能出众。目前研究较多的是 ZrP 和 TiP,对铷、铯和半径较大的阳离子具有好的优先结合性和高的结合稳定性,吸附后交换柱易于循环再生。但是酸度和盐浓度对吸附过程影响较大,且无法分离铷、铯。目前,该方法广泛应用于从多种金属离子共存的废液中选择性地分离富集铷、铯。Kapnisti 等^[47]合成了磷酸钛吸附剂,实验表明当背景电解质为硝酸钠时,吸附容量较大,高达 $167 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

④ 金属亚铁氰化物和铁氰化物:金属亚铁氰化物及铁氰化物具有良好的交换性能。其中,金属亚铁氰化物在氧化性酸中会使部分 Fe(II) 转化为 Fe(III),而 Fe(II) 在碱性溶液中水解,因此只能在非氧化性酸中保持较高的离子交换稳定性和效率。Naidu 等^[48]制备了亚铁氰化钴(镍、铜)等无机吸附剂,考察了它们对海水反渗透卤水中铷的吸附能力,结果表明亚铁氰化铜吸附效果最佳,利用聚丙烯腈对亚铁氰化铜进行改性,解析后铷的纯度可达到 68%。传统方法制备的亚铁氰化物离子交换剂优点有制备方法简单,吸附性能优异,适用性广等,但也具备微晶结构与形状复杂多样导致机械强度差、难以解吸等缺点,因此当前科研工作者的研究重点为改进吸附剂在溶液中的水力学性能。Zhang 等^[49]提出了一种以钾为穿梭离子从盐湖中提取铷的电化学

辅助新方法,通过将钾嵌入铁氰化铜,再通过电化学方法从模拟卤水中提取铷,最终脱嵌效率高达 98%,且可以循环使用。

⑤ 复合吸附剂:早期采用单一物质作为交换剂提取铷和铯,存在分离和回收困难,不能满足工业应用的需求。复合吸附剂是由两种或两种以上的离子交换剂复合而成,能够克服单一交换剂体系存在的缺点,结合相互之间的优点,通常能够改善离子交换剂的交换性能。因此,研究和制备能够有效分离和提取盐湖卤水中铷和铯的复合吸附剂成为了关键,这也是未来研究的重点方向。

无机复合吸附剂:磷酸钼铵-二氧化硅是比较热门的复合吸附剂体系,得到了广泛的研究。Ahn 等^[50]通过羧酸和胺之间的共价键将颗粒固定在环芳烃上,制备了介孔复合吸附剂(AMP/Al-SiO₂),其对铯的吸附容量能够达到 $72.2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。Yuan 等^[51]以 N,N-二甲酰胺为模板,合成了均匀掺杂的普鲁士蓝纳米颗粒(PBMSG)的新型介孔硅胶,其比表面积高达 $505 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,其最高理论吸附容量可以达到 $80.29 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。Lee^[52]等实验多壁碳纳米管改性亚铁氰化铜,制备得到的复合吸附剂探究吸附性能,尽管在碱金属离子的干扰下,仍然保持良好的吸附效果,实验结果还表明此吸附剂具有较大的比表面积。Jin 等^[53]采用共沉淀法制备了负载 NiHCF 的氧化石墨烯纳米颗粒(NiHCF/RGO),该颗粒对于碱金属离子可以经过通电进行可逆的操作,通过外部点位控制粒子的交换。对 Cs⁺ 的吸附容量可以高达 $320 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,吸附效率达到了 92%,分配系数为 $625 \text{ L} \cdot \text{g}^{-1}$,吸附过程能循环 160 次,是一种高效分离铷和铯的材料。

杂多酸与无机材料的分子杂化通常是通过静电作用来实现的,缺点是吸附剂在使用过程中很容易从基体上脱落,为了让复合吸附剂更加稳定,选择使用吸附质和载体进行共价键杂交结合的方式,这可以使吸附剂在使用过程中更加稳定,不容易脱落,但是在无机吸附剂上实现这种共价键杂交结合的方法存在一定难度。

有机复合吸附剂:这些年来,学术工作者们专门研究了 AMP、金属亚铁氰化物、亚铁氰化物与聚合物的复合吸附剂,这为吸附分离铷和铯提供了一系列的新思路。Seko 等^[54]通过辐射诱导乳液聚合将 AMP 引入到聚乙烯无纺布上,可以选择性地去除铷和铯离子。宝阿敏^[55]合成了(AMP-PAN)、(STA-PAN)、(TPB-PAN)三种复合吸附剂,其吸附能力排

序分别为 AMP-PAN > TPB-PAN > STA-PAN。在最佳的条件下,TPB-PAN 对铷和铯的最大吸附量分别为 $44.64 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $118.48 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。Jia 等^[56]在多孔 PAN 膜上原位生成一层纳米普鲁士蓝层,制备了普鲁士蓝基聚丙烯腈膜来快速有效地吸附掉溶液中的铷和铯,其吸附容量为 $0.714 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$, Cs^+/Li^+ 、 Cs^+/K^+ 、 Cs^+/Na^+ 的分离系数分别为 41.76、35.50 和 23.67。Zong 等^[57]用 PB 和 CMC 制备了 (CMC/PB-la) 微孔吸附剂,对 Cs^+ 的最大吸附量为 $35.22 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。Lu 等^[58]利用高内相乳液模板法 (HIPes) 开发了一种高分子互连孔结构的吸附剂,可以快速高效地吸附溶液中的铷和铯,其中对于铷和铯的吸附在 30 min 内就能分别达到 $79.69 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $229.52 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。Zhu 等^[59]利用高内相 Pickering 乳液模板法聚合了高分子吸附剂,使用具有磁性的 Fe_3O_4 作为乳液的稳定粒子,可以通过磁性从溶液中回收吸附剂,其对铷和铯的吸附容量分别高达 $236.46 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $239.88 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。Wang 等^[60]在原位合成 ZIF-8 的过程中,引入活性组分磷钨酸杂多钨酸盐 AWP 并磁化得到复合磁吸附剂 ($\text{Fe}_3\text{O}_4@ZIF-8\text{-AWP}$),对铷和铯的最大吸附量分别能达到 $0.78 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $0.85 \text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

与沉淀法和溶液萃取法对比,吸附法更加简单、环保,是从盐湖中分离提取铷和铯最具前途的技术之一。但也存在吸附剂的制备难度大、机械强度低、再生过程损失难控制等问题,限制了其在工业上的大规模应用。因此,开发可多次循环、机械强度高、交换容量大、易回收和对环境友好的复合吸附剂,成为吸附法未来主要的研究方向。

3 总结与展望

铷和铯被广泛应用于能源、电子、医学、特种玻璃与催化剂等领域,具有不可替代的作用,开发高效、环保的铷铯提取技术具有重要的意义。本文总结了铷、铯资源的现状,并详细分析了铷、铯分离提取工艺的研究现状。

全球铷铯资源主要分为矿石和盐湖卤水两种,提取方法主要有硫酸浸出法、焙烧—浸出法、溶剂萃取法和离子交换法四种。其中,硫酸浸出法和氯化焙烧法是从矿石中提取铷、铯应用最成熟的技术,也是目前工业化的主要方案,但存在耗能高、排放高、环境影响大等问题。而溶剂萃取法和离子交换法则具有低能耗、工艺简单、连续性强、可循环利用且对环境

友好等优势。目前盐湖卤水提取铷铯技术仍还未实现工业化,但是萃取剂与复合吸附剂等都在快速研发中,优势也越来越突出。萃取法操作简单,分离系数高,能够反萃取等优点,目前开发毒性小、环境友好、循环性能好的萃取剂与萃取体系是重要的研究方向。离子交换法操作简单、对环境友好且经济性强,同样具有巨大的发展空间,开发循环性能高、交换容量大、环境友好的复合吸附剂及解决再生过程的损失问题是未来的研究方向。

参考文献:

- [1] Protesescu L, Yakunin S, Bodnarchuk M I, *et al.* Nanocrystals of cesium lead halide perovskites (CsPbX_3 , $X=\text{Cl}$, Br , and I): novel optoelectronic materials showing bright emission with wide color gamut[J]. *Nano letters*, 2015, 15(6):3692-3696.
- [2] 张霜华. 浅谈拓宽我国铷铯的应用领域[J]. *新疆有色金属*, 1998, (2):43-47.
- [3] 郭秀红, 郑绵平, 刘喜方, 等. 西藏盐湖卤水铷资源及其开发利用前景[J]. *盐业与化工*, 2008, (3):8-13.
- [4] 卢智. 平落坝构造海相深层卤水中铷分离提取技术研究[D]. 成都:成都理工大学, 2011.
- [5] 王斌, 吉远辉, 张建平, 等. 盐湖 Rb, Cs 资源提取分离的研究进展[J]. *南京工业大学学报:自然科学版*, 2008, 30(5):104-110.
- [6] Haider M H, Dummer N F, Zhang D, *et al.* Rubidium-and caesium-doped silicotungstic acid catalysts supported on alumina for the catalytic dehydration of glycerol to acrolein[J]. *Journal of Catalysis*, 2012, 286:206-213.
- [7] Visconti P J, Slevin J A, Rubin K. Absolute total cross sections for the scattering of low-energy electrons by rubidium, cesium, and potassium[J]. *Physical Review A*, 1971, 3(4):1310.
- [8] Liu D, Peng H, Zeng H, *et al.* A promising all-inorganic double perovskite Rb_2TiBr_6 for photovoltaic applications: Insight from first-principles calculations[J]. *Journal of Solid State Chemistry*, 2021, 303:122473.
- [9] Zhang M, Yun J S, Ma Q, *et al.* High-efficiency rubidium-incorporated perovskite solar cells by gas quenching[J]. *ACS Energy Letters*, 2017, 2(2):438-444.
- [10] Shen L, Ma R, Yin L, *et al.* A Faraday anomalous dispersion optical filter based on rubidium hollow-cathode lamp[J]. *Applied Sciences*, 2020, 10(20):7075.
- [11] Petrov A A, Davydov V V, Myazin N S, *et al.* Rubidium atomic clock with improved metrological characteristics for satellite communication system[C]//Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems; 17 th International Conference, NEW2AN 2017, 10 th Conference, ruSMART 2017, Third Workshop NsCC 2017, St. Petersburg, Russia, August 28-30, 2017, Proceedings 17. Springer International Publishing, 2017:561-568.
- [12] Pitz G A, Stalnaker D M, Guild E M, *et al.* Advancements in flowing diode pumped alkali lasers[C]//High Energy/Average Power Lasers and Intense Beam Applications IX. SPIE, 2016, 9729:9-16.
- [13] 刘昊, 刘亮明. 铷和铯的应用前景及其制约因素[J]. *南方国土资源*, 2015, (11):31-33.

- [14] Liu Y, Ma B, Lv Y, *et al.* Thorough extraction of lithium and rubidium from lepidolite via thermal activation and acid leaching [J]. *Minerals Engineering*, 2022, 178: 107407.
- [15] Liu S M, Liu H H, Huang Y J, *et al.* Solvent extraction of rubidium and cesium from salt lake brine with t-BAMBP-kerosene solution [J]. *Transactions of nonferrous metals society of China*, 2015, 25(1): 329-334.
- [16] Qian Y, Ding D, Li K, *et al.* Extraction of rubidium and cesium from a leach solution of lepidolite with biomass carbon adsorbents [J]. *Hydrometallurgy*, 2022, 208: 105802.
- [17] Zhang X, Aldahri T, Tan X, *et al.* Efficient co-extraction of lithium, rubidium, cesium and potassium from lepidolite by process intensification of chlorination roasting [J]. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 2020, 147: 107777.
- [18] 曹冬梅, 张雨山, 高春娟, 等. 提铷技术研究进展 [J]. *盐业与化工*, 2011, 40(5): 44-47.
- [19] Liu Y, Lv Y, Ma B, *et al.* An environmentally friendly improved chlorination roasting process for lepidolite with reduced chlorinating agent dosage and chlorinated waste gas emission [J]. *Separation and Purification Technology*, 2023, 310: 123173.
- [20] Zhang X, Chen Z, Rohani S, *et al.* Simultaneous extraction of lithium, rubidium, cesium and potassium from lepidolite via roasting with iron (II) sulfate followed by water leaching [J]. *Hydrometallurgy*, 2022, 208: 105820.
- [21] Yan Q, Li X, Wang Z, *et al.* Extraction of valuable metals from lepidolite [J]. *Hydrometallurgy*, 2012, 117: 116-118.
- [22] Mulwanda J, Senanayake G, Oskierski H, *et al.* Leaching of lepidolite and recovery of lithium hydroxide from purified alkaline pressure leach liquor by phosphate precipitation and lime addition [J]. *Hydrometallurgy*, 2021, 201: 105538.
- [23] Jandová J, Dvořák P, Vu H N. Processing of zinnwaldite waste to obtain Li_2CO_3 [J]. *Hydrometallurgy*, 2010, 103(1-4): 12-18.
- [24] Zhang X, Tan X, Li C, *et al.* Energy-efficient and simultaneous extraction of lithium, rubidium and cesium from lepidolite concentrate via sulfuric acid baking and water leaching [J]. *Hydrometallurgy*, 2019, 185: 244-249.
- [25] 邢鹏. 花岗岩型铷矿资源综合利用的基础研究 [D]; 北京: 北京科技大学, 2020.
- [26] Browning P E, Spencer S. On the separation of caesium and rubidium by the fractional crystallization of the aluminium and iron alums and its application to the extraction of these elements from their mineral sources [J]. *American Journal of Science*, 1916, 4(249): 279-281.
- [27] Lv Y, Qiu Z, Liu Y, *et al.* Emission reduction treatment of chlorine-containing waste gas during the chlorination roasting process of lepidolite: thermodynamic analysis and mechanism investigation [J]. *Separation and Purification Technology*, 2023, 315: 123686.
- [28] 刘磊, 马保中, 王成彦, 等. 铷的应用及提取工艺研究进展 [J]. *有色金属科学与工程*, 2022, 13(5): 8-15.
- [29] Finch A, Gates P N, Peake S J. Thermochemistry of polyhalides—III: Caesium and rubidium tetrachloroiodates [J]. *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*, 1977, 39(12): 2135-2138.
- [30] Jandova J, Dvořák P, Formánek J, *et al.* Recovery of rubidium and potassium alums from lithium-bearing minerals [J]. *Hydrometallurgy*, 2012, 119: 73-76.
- [31] 徐伟强, 丁兴成. 磷酸铷沉淀法分离反应堆底泥中的 ^{137}Cs [J]. *安庆师范学院学报: 自然科学版*, 2004, 10(1): 51-52.
- [32] Fang D, Wang Y, Liu H, *et al.* Efficient extraction of Rb^+ and Cs^+ by a precipitation flotation process with ammonium phosphowolframate as precipitant [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2021, 608: 125581.
- [33] Lei Z, Li X, Huang P, *et al.* Mechanochemical activation of antigorite to provide active magnesium for precipitating cesium from the existences of potassium and sodium [J]. *Applied Clay Science*, 2019, 168: 223-229.
- [34] Bengiat R, Bogoslavsky B, Mandler D, *et al.* Selective Binding and Precipitation of Cesium Ions from Aqueous Solutions: A Size-Driven Supramolecular Reaction [J]. *Chemistry-A European Journal*, 2018, 24(13): 3161-3164.
- [35] Lv Y, Ma B, Liu Y, *et al.* Selective extraction of cesium from high concentration rubidium chloride leach liquor of lepidolite [J]. *Desalination*, 2022, 530: 115673.
- [36] Smirnov I, Karavan M, Kenf E, *et al.* Extraction of cesium, strontium, and stable simulated HLW components with substituted crown ethers in new fluorinated diluents [J]. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 2022, 40(7): 756-776.
- [37] Kyrš M, Rais J, Selucký P. Novel applications of dipicrylamine as an extractant in the determination of alkali metals [J]. *Talanta*, 1969, 16(8): 1169-1176.
- [38] Ertan B, Erdoğan Y. Separation of rubidium from boron containing clay wastes using solvent extraction [J]. *Powder Technology*, 2016, 295: 254-260.
- [39] Makrlík E, Vaňura P, Selucký P. Extraction of microamounts of cesium into nitrobenzene by using sodium, ammonium and thallium dicarbollycobaltates in the presence of benzo-15-crown-5 [J]. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, 2008, 278: 131-135.
- [40] Wang J, Che D, Qiu W. Extraction of rubidium by t-BAMBP in cyclohexane [J]. *Chinese journal of chemical engineering*, 2015, 23(7): 1110-1113.
- [41] Wang L, Xiong Y, Zhou X, *et al.* Complexation mechanism of crown ethers with rubidium and cesium ions using density functional theory [J]. *Computational and Theoretical Chemistry*, 2023, 1225: 114139.
- [42] Liu Z, Zhou Y, Guo M, *et al.* Experimental and theoretical investigations of Cs^+ adsorption on crown ethers modified magnetic adsorbent [J]. *Journal of hazardous materials*, 2019, 371: 712-720.
- [43] 贾莉英, 陈晓青, 危俊婷, 等. 新型离子交换树脂的合成及其对 Rb^+ 的交换性能 [J]. *中南工业大学学报*, 2001, 32(1): 54-57.
- [44] Munthali M, Johan E, Aono H, *et al.* Cs^+ and Sr^{2+} adsorption selectivity of zeolites in relation to radioactive decontamination [J]. *Journal of Asian ceramic societies*, 2015, 3(3): 245-250.
- [45] Bostick B C, Vairavamurthy M A, Karthikeyan K, *et al.* Cesium adsorption on clay minerals: An EXAFS spectroscopic investigation [J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, 36(12): 2670-2676.
- [46] 黄召亚, 谭昭怡, 汪小琳, 等. 磷钼酸盐去除酸性高放废液中 (^{137}Cs) 的研究进展 [J]. *材料导报*, 2015, 29(S1): 319-322.
- [47] Kapnist M, Hatzidimitriou A, Noli F, *et al.* Investigation of cesium uptake from aqueous solutions using new titanium phosphates ion-exchangers [J]. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2014, 302: 679-688.
- [48] Naidu G, Loganathan P, Jeong S, *et al.* Rubidium extraction using an organic polymer encapsulated potassium copper hexacyanoferrate sorbent [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2016, 306: 31-42.
- [49] Zhang Z, Zhao T, He L, *et al.* Electrochemical extraction of ru-

- bidium from salt lake by using cupric ferrocyanide based on potassium shuttle[J]. *Desalination*, 2023, 549: 116331.
- [50] Ahn J, Lim N Y, Park J S, *et al.* Fabrication of calix[4] arene-attached mesoporous ammonium molybdophosphate-silica hybrid and its application as an adsorbent for cesium ions[J]. *New Journal of Chemistry*, 2017, 41(8): 3196-3203.
- [51] Yuan T, Chen Q, Shen X. Adsorption of cesium using mesoporous silica gel evenly doped by Prussian blue nanoparticles[J]. *Chinese Chemical Letters*, 2020, 31(10): 2835-2838.
- [52] Lee H K, Choi J W, Oh W, *et al.* Sorption of cesium ions from aqueous solutions by multi-walled carbon nanotubes functionalized with copper ferrocyanide [J]. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2016, 309: 477-484.
- [53] Jin X, Huang L, Yu S, *et al.* Selective electrochemical removal of cesium ion based on nickel hexacyanoferrate/reduced graphene oxide hybrids [J]. *Separation and Purification Technology*, 2019, 209: 65-72.
- [54] Seko N, Hoshina H, Kasai N, *et al.* Development of a water purifier for radioactive cesium removal from contaminated natural water by radiation-induced graft polymerization [J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2018, 143: 33-37.
- [55] 宝阿敏. 盐湖卤水中低浓度铷(铯)的分离提取研究[D]. 西宁: 中国科学院青海盐湖研究所, 2018.
- [56] Jia Z, Cheng X, Guo Y, *et al.* In-situ preparation of iron (III) hexacyanoferrate nano-layer on polyacrylonitrile membranes for cesium adsorption from aqueous solutions [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2017, 325: 513-520.
- [57] Zong Y, Zhang Y, Lin X, *et al.* Preparation of a novel microsphere adsorbent of prussian blue capsulated in carboxymethyl cellulose sodium for Cs (I) removal from contaminated water [J]. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2017, 311: 1577-1591.
- [58] Lu T, Zhu Y, Wang W, *et al.* Interconnected superporous adsorbent prepared via yeast-based Pickering HIPEs for high-efficiency adsorption of Rb^+ , Cs^+ and Sr^{2+} [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2019, 361: 1411-1422.
- [59] Zhu Y, Zhang H, Wang W, *et al.* Fabrication of a magnetic porous hydrogel sphere for efficient enrichment of Rb^+ and Cs^+ from aqueous solution [J]. *Chemical Engineering Research and Design*, 2017, 125: 214-225.
- [60] Wang Y, Li K, Ma L, *et al.* A magnetic adsorbent with metal-organic framework based on ammonium phosphomolybdenum heteropoly tungstate (AWP): Selective adsorption of Rb^+ and Cs^+ from aqueous resources and stripping with ammonium salts [J]. *Hydrometallurgy*, 2023, 216: 106011.

Research Progress on the Extraction and Separation Technology of Rubidium and Cesium Ions

ZHAO Liang^{1,2}, WANG Mengmeng², XIA Yonggao², GAO Jie^{2*}

- (1. *College of Materials Science and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, 310014, China*;
2. *Ningbo Institute of Materials Technology & Engineering, Chinese Academy of Sciences, Ningbo, 315201, China*)

Abstract: With the rapid development of science and technology in recent years, rubidium and cesium are not limited to traditional fields such as catalyst, special glass and medicine because of their excellent physical and chemical properties, but have a place in high-tech fields such as magnetohydrodynamic power generation, ion thruster propellant and new energy sources such as perovskite solar cells. Rubidium and cesium resources in China mainly exist in ores and brine of salt lakes, the process of extracting rubidium and cesium from ores is relatively mature, mainly sulfuric acid leaching method and roasting-water leaching method, there are still problems such as complex process flow and large energy consumption, and a large amount of tail gas emission will have a certain impact on the environment, which is not in line with the concept of green industry, and has a great impact on the realization of China. It is not in line with the green industry concept and has a great impact on the realization of “double carbon” target in China. The extraction of rubidium cesium from salt lake brine generally adopts technologies such as solvent extraction and ion exchange method, which have the advantages of simple process, strong continuity, low energy consumption and low emission, and have broader development prospects. This paper reviews the current status of rubidium cesium resources, the current extraction difficulties and the progress of technical research at the present stage, discusses in depth the advantages and disadvantages of sulfuric acid leaching, roasting-water leaching, extraction and ion exchange methods and other technologies, and looks forward to the future development direction of rubidium cesium extraction technology.

Key words: Rubidium; Cesium; Leaching; Roasting; Extraction; Ion exchange