

# 锂金属回收潜力研究—基于现有回收技术与工艺

黄莉<sup>1</sup>, 李芳琴<sup>2\*</sup>, 代涛<sup>2</sup>, 汪鹏<sup>3</sup>

1. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083;
2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
3. 中国科学院城市环境研究所 中科院城市环境与健康重点实验室, 福建 厦门 361021

中图分类号: TD955; TF826+.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2021)05-0031-07  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2021.05.005

**摘要** 锂金属作为支撑战略性新兴产业发展的关键性原材料,亦是本世纪的重要新能源金属。收集整理了全球范围内从终端报废产品中回收再利用锂金属的技术及工艺流程,比较了不同技术条件下的最优回收率。2000—2019年,锂离子电池锂金属的在用存量迅速增加,从30 t增加到1.8万 t;在现有回收技术与工艺条件下,只有合金和锂离子电池中的锂金属可以回收,且回收对象主要集中于锂离子电池。基于此,进一步采用物质流分析方法,评估了2020—2035年中国大陆范围内锂金属回收再利用潜力。研究结果表明:(1)锂离子电池是主要回收锂的来源;(2)到2035年锂金属的在用存量将增加至43万 t,锂金属回收潜力逐年递增,到2035年将超过4万 t;(3)合金中锂的回收潜力小,困难大。最后提出了相关建议,以期对锂金属资源的有效供给提供支撑。

**关键词** 锂;回收技术;回收潜力;物质流;动力电池;循环经济

锂是密度最小的金属,主要应用于电池、玻璃陶瓷、润滑脂和冶金等领域<sup>[1]</sup>。在过去十年,随着新能源汽车产业的快速发展,锂金属的消费结构发生了显著变化,如图1所示,从2010年到2019年,电池消费占比从34%增加到70%,消费量从2010年的0.3万 t(金属量,下同)增加到2019年2.4万 t,增长了7倍。未来,根据《新能源汽车产业发展规划(2021—2035

年)》目标,电池领域锂金属需求量将快速增长<sup>[2]</sup>(图2)。虽然我国锂资源储量位居世界前列,但资源禀赋状况导致开采成本高,难以满足国内井喷式需求增长。在此背景下,研究从终端报废产品中回收锂金属对保障资源供给安全具有重要意义。

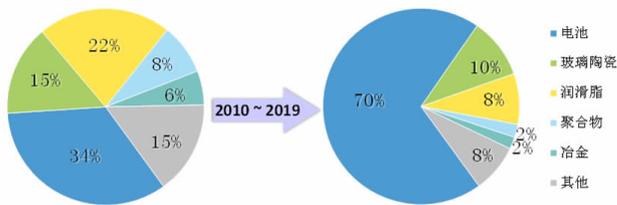


图1 中国锂消费结构  
Fig. 1 Lithium consumption structure in China  
数据来源:中国有色金属工业协会

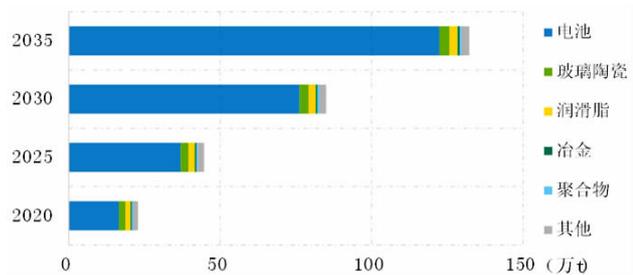


图2 中国锂需求预测<sup>[2]</sup>  
Fig. 2 China lithium demand forecast

收稿日期:2021-09-21

基金项目:中国地质调查项目(DD20190676);国家自然科学基金青年项目(71904182);福建省科技计划对外合作项目(2020I0039)

作者简介:黄莉(1998-),女,硕士研究生,主要从事金属存量、流量及精细化管理研究,E-mail:aria\_2020@163.com。

通信作者:李芳琴(1982-),女,副研究员,主要研究方向为资源战略,资源与环境经济,E-mail:lifangqin.1@163.com。

## 1 锂金属回收技术及工艺流程

回收再利用终端报废产品中的锂金属是增加供给的有效途径。就目前的回收利用技术而言,只有报废铝锂合金和锂离子电池中的锂可以回收<sup>[3-4]</sup>。锂合金应用时间相对较长,范围较广,国外早在 30 多年前便对锂合金回收做了研究<sup>[5]</sup>,而从报废锂离子电池中回收锂更是研究的焦点(如表 1 所示)。过去,受经济利益驱动,从报废锂离子电池中回收的主要目标是高价值钴金属,锂金属的回收率则很低,全球回收率不足 1%<sup>[6]</sup>。从环境角度而言,大量的锂离子电池处理不当将导致严重污染,甚至引发火灾<sup>[7]</sup>。为了减少锂离子电池对环境的污染和资源的浪费,对其进行有效回收势在必行。

表 1 锂金属的回收方法及回收率

Table 1 Recovery methods and recovery rate of lithium metal

回收来源(报废产品)	回收技术	回收率	发表年份	参考文献
锂合金	-	50%	2018	[3]
混合电极材料	无氧焙烧和湿式磁选	98.93%	2019	[4]
锂离子电池	火法冶炼	>99%	2019	[8]
锂离子电池	湿法冶金	94.1%	2018	[9]
锂离子电池	湿法冶金	99.11%	2018	[10]
锂离子电池	-	98.50%	2012	[11]
锂离子电池	-	>90%	2019	[12]
新能源汽车锂离子电池	湿法冶金	72%	2019	[13]
锂离子电池	生物浸出	99.2%	2018	[14]
手机锂离子电池	生物浸出	95%	2016	[15]
锂离子电池	-	36%	2020	[16]
锂离子电池	湿法冶金	96%	2011	[17]
锂离子电池	湿法冶金	72%	2019	[18]

注:回收率均为最优条件下的值

通常,从锂离子电池中回收锂金属包括电池预处理、材料分选、金属富集和金属分离提纯四个过程<sup>[19]</sup>。如图 3 所示,首先是对电池进行放电,以防止短路或自燃。然后通过拆卸、破碎、筛分和分离等一系列过程得到塑料、电解质、黏合剂和锂化合物等材料<sup>[20-21]</sup>。通过湿法冶金<sup>[9-10]</sup>、火法冶金<sup>[8]</sup>和生物冶金<sup>[14-15]</sup>等实现锂的富集,最后利用化学沉淀、溶剂萃取和水吸收等方法对金属分离提纯。一般来说,采用上述工艺可获得两种锂资源,一种是锂金属,另一种是锂化合物。锂离子电池中金属回收过程是综合利用的过程,每一方法有各自优缺点,常常根据不同材料将各种方法联合使用来提高金属的回收率及纯度(见图 4)。

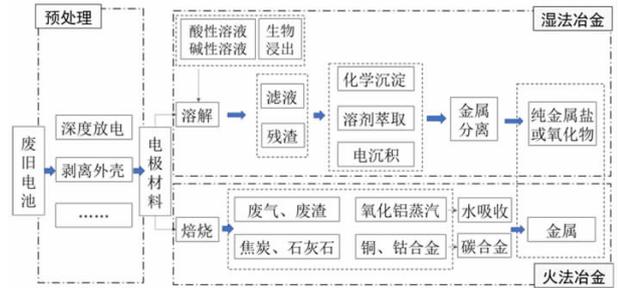


图 3 从锂离子电池中回收锂的工艺流程

Fig. 3 Flow chart of recovery from lithium ion battery

	湿法冶金	火法冶金	生物浸出
原理	利用化学药剂将物体中的金属分离、富集提取出来	通过控制温度提取不同沸点的金属,来达到金属分解的目的	通过微生物代谢的酸溶解浸出
方法	采用溶剂溶解法、碱性溶解法、酸浸出法等溶解电极材料,进而分离浸出液中的金属元素	高温焚烧去除黏合剂,使其中的金属发生氧化还原反应,以冷凝的形式回收低沸点金属及其化合物	利用微生物将报废锂电池的电极材料转换成离子溶液,进而得到所需的金属元素
特点	能耗低、分离效果好 工艺复杂、产生大量废液	工艺简单、效率高 能耗高、回收率低、产生废气	污染小、成本低 浸出周期长,菌种不易培养

图 4 主要回收锂的方法

Fig. 4 Main recovery methods of lithium

本文基于上述工艺流程及回收技术,围绕当前可回收的合金和电池两部分,通过对在用锂金属存量、未来理论报废量的核算,评估 2000—2035 年锂金属回收潜力,具体研究框架见图 5。

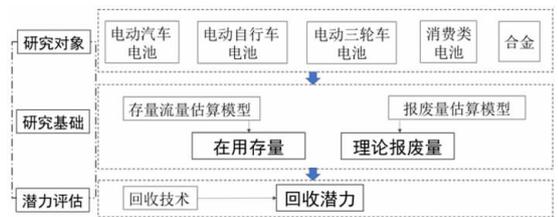


图 5 研究框架

Fig. 5 The research framework diagram

## 2 锂金属回收潜力研究的基础

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 存量流量估算模型

金属存量流量估算是物质流分析的一种主流方法<sup>[22]</sup>。物质流分析模型通常分为静态模型和动态模型,主要区别在于某一时间和长时间尺度内金属物质流量的变化。本文利用动态物质流分析模型中存量流量驱动模型,根据不同产品的保有量及其锂金属使用强度,确定了 2000—2019 年主要行业(电池和合金)中的锂金属在用存量,并根据不同产品保有量未来发展趋势,估算了 2020—2035 年的锂金属存量。基于质量守恒原理的存量流量模型<sup>[23]</sup>,公式如下:

$$C(t) = S(t) - S(t-1) + D(t) \quad (1)$$

$$D(t) = \sum_{t'=t_0}^{t-1} C(t') \times (1 - S(t-t')) \quad (2)$$

式中,  $C(t)$  为第  $t$  时刻物质流入的量,  $D(t)$  为第  $t$  时刻物质流出的量,  $S(t)$  为第  $t$  时刻物质的现有存量。

### 2.1.2 报废量估算模型

为了评估锂金属回收潜力(指现有技术条件下与其回收率兼容的量,是理论报废量,而不是实际可回收量),需在式(1)和(2)的基础上,确定各类含锂金属产品的平均寿命、平均服务年限和平均使用强度。以动力电池中锂金属的回收潜力估算为例,首先,建立寿命分布函数对动力电池的报废量进行估算,然后根据不同类型动力电池中锂金属使用强度评估报废量。本文选择了 Weibull 寿命分布模型<sup>[24-25]</sup>来确定动力电池在第  $i$  年的报废率,其概率密度函数为:

$$f(T) = \frac{k}{\lambda} \times \left(\frac{T}{\lambda}\right)^{k-1} \times e^{-\left(\frac{T}{\lambda}\right)^k} \quad (3)$$

$$\lambda = T_{ave} \times \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{-\frac{1}{k}} \quad (4)$$

$$\left(\frac{T_{ave}}{T_{max}}\right)^k = \frac{k-1}{k \cdot \ln 100} \quad (5)$$

式中,  $k$  为形状参数,  $\lambda$  为比例参数,  $k$  和  $\lambda$  的大小均与动力电池的寿命相关,  $T_{ave}$  为动力电池的平均寿命,  $T_{max}$  为 99% 的电池报废所需的时间,即产品的最大寿命。

## 2.2 数据来源

本文选取锂金属主要应用行业(电池和合金)为研究对象。其中,新能源汽车产销数据来自于 2011—2020 年《节能与新能源汽车年鉴》;电动自行车产销量和电动三轮车产销量以及消费类产品消费量从万德数据库(Wind)、国家统计局、中华人民共和国工业和信息化部获得;各类产品的贸易数据来自《中国海关统计年鉴》,各类产品保有量根据上述数据计算而得;各类锂离子电池的容量、装配现状、电池寿命以及重量数据来源于《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020)》《2020 年中国新能源汽车行业白皮书》和中国行业信息网;各类电池材料锂金属使用强度来自于《中国退役动力电池循环利用技术与产业发展报告》;合金的产销量数据来自中国有色金属工业协会,合金中锂金属使用强度和回收率来自参考文献。

## 3 锂金属回收潜力研究

### 3.1 锂金属存量

#### 3.1.1 电池中锂金属的在用存量

2000—2019 年锂金属在用存量<sup>[23]</sup>(指在一个时间

段内锂金属在某行业中存量的变化)从 30 t 增加到 1.8 万 t,如图 6 所示。20 年以来,锂金属在用存量聚集领域发生了显著变化,由消费类电池(手机、电脑、平板和数码相机等)转向动力电池和储能电池。具体而言,2000—2009 年消费类电池在用锂存量占比高达 90% 以上;2010—2019 年,动力电池在用锂存量从 8% 增长至 77%,消费类电池锂存量占比则下降至 11%,储能电池锂金属在用存量保持小幅度增长。



图 6 电池中锂金属的在用存量  
Fig. 6 In-use stock of lithium metal in batteries

#### 3.1.2 电池中锂金属存量预测

##### (1) 电动汽车电池

电动汽车电池中锂金属的在用存量,从 2009 年的 35 t 快速增长至 2019 年的 1.5 万 t。本文估算结果表明 2025、2030 和 2035 年电动汽车电池中锂金属的存量分别为 12 万 t、30 万 t 和 42 万 t。如图 7 所示,中国纯电动乘用车用锂金属快速增长,2019 年纯电动乘用车锂金属在用存量为 1 万 t,占电动汽车锂金属总存量的 68%。

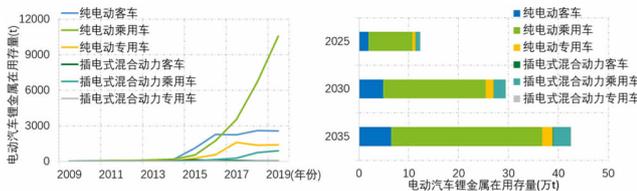


图 7 电动汽车电池锂金属存量预测  
Fig. 7 Lithium metal in-use stock forecast for electric vehicles batteries

##### (2) 电动自行车与电动三轮车电池

如图 8 所示,2019 年我国电动自行车锂离子电池中锂金属的在用存量达 1 100 t。预计未来电动自行车将小幅度增长,并趋于平稳,本文估算结果表明,2025、2030 和 2035 年电动自行车锂离子电池中锂金属在用存量分别为 0.12 万 t、0.24 万 t 和 0.30 万 t。我国电动三轮车 2019 年锂离子电池中锂金属在用存量为 150

t,估算结果表明,2025、2030 和 2035 年电动三轮车锂离子电池中锂金属在用存量分别为 150 t、350 t 和 470 t。

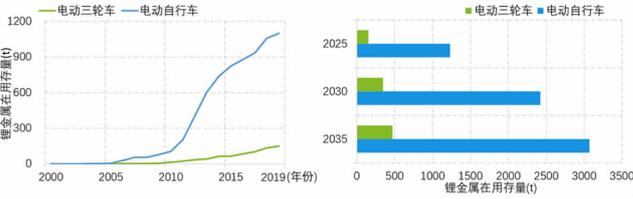


图 8 电动自行车和电动三轮车电池锂金属存量预测  
Fig. 8 Lithium metal in-use stock forecast for electric bicycles and electric tricycles

### 3.2 锂金属的理论报废量

#### 3.2.1 电池中锂金属的理论报废量

##### (1) 电动汽车电池

基于电动汽车动力电池锂金属在用存量数据,估算到 2035 年中国电动汽车电池中锂金属理论报废量 4.1 万 t。如图 11 所示,锂离子电池锂金属报废量中主要以三元锂电池和碳酸铁锂电池,其中,在电动汽车三元锂电池报废锂金属从 2020 年 0.17 万 t 增长至 2035 年 2.9 万 t,占比从 52% 上升到 70%,是未来锂离子电池报废行业中的主要研究对象。在不同车型中,纯电动乘用车的锂金属报废量快速递增,从 2020 年 0.17 万 t 增长到 2035 年的 3.0 万 t,2035 年占总电动汽车电池报废量的 71%,是全国电动车电池锂金属报废的主要产品。

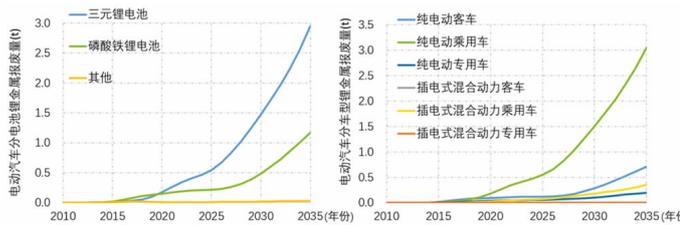


图 11 电动汽车电池中锂金属的理论报废量  
Fig. 11 Theoretical scrap of lithium metal in batteries of electric vehicles

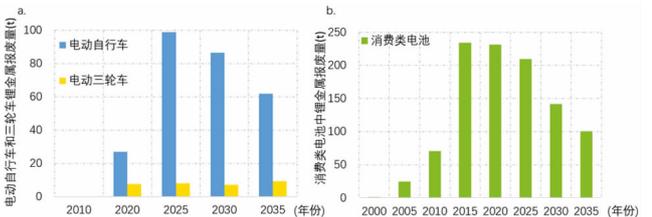


图 12 电动汽车和三轮车锂金属理论报废量 (a) 和消费类电池中锂金属理论报废量 (b)  
Fig. 12 Theoretical scrap volume of lithium metal in electric vehicles and tricycles (a) as well as theoretical scrap volume of lithium metal in consumer batteries (b)

##### (2) 电动自行车与电动三轮车的电池

如图 12(a) 所示,由于我国交通出行方式逐渐改变,预计 2025—2030 年将迎来电动自行车行业的报废高潮,2025 年电动自行车电池中将报废 100 t 锂金属,2035 年报废量减少至 62 t。电动三轮车使用人群较为固定,电动三轮车电池报废量不会出现明显变化,估算结果表明,到 2035 年电动三轮车电池中锂金属理论报废量为 10 t,整体呈现较稳定的态势。

#### (3) 消费类电池

2000—2019 年锂离子电池的锂金属累计在用存量达 30 万 t。如图 9 所示,2000—2019 年消费类电池锂金属在用存量整体呈现先上升后下降的趋势,消费类电池中锂金属在用存量从 0.05 万 t 上升到 2012 年的 3.3 万 t 后下降到 2019 年的 1.8 万 t。本文预估结果表明,2025、2030 和 2035 年消费类电池中锂金属在用存量分别为 1.7 万 t、1.5 万 t 和 1.2 万 t。

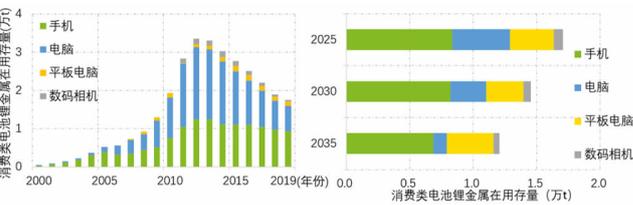


图 9 消费类电池锂金属存量预测  
Fig. 9 Lithium metal in-use stock forecast for digital batteries

#### 3.1.3 合金中锂金属存量预测

由于合金中锂的使用强度相对较低,因此合金中锂金属的存量较小,2019 年锂金属在用存量 1 万 t,占全国锂金属在用存量的 2%。如图 9 所示,合金中锂金属的在用存量从 2000 年的 470 t 增长至 2035 年的 2.7 万 t。

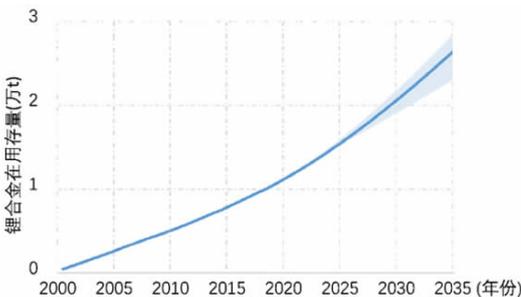


图 10 合金中锂金属存量预测  
Fig. 10 Lithium metal in-use stock forecast for alloy

### (3) 消费类电池

2000—2010年消费类产品是锂金属报废的主要行业,消费类电池中锂金属累计报废290 t。如图11(b)显示,在2015年前后消费类电池报废量达到最高点,理论报废锂金属235 t,预计到2035年消费类电池中锂金属理论报废量为100 t。

### 3.3 锂金属回收潜力

综上所述,回收技术改进前后报废产品中锂金属的回收潜力如图13所示,基于现有回收技术与工艺流程、回收率较低情况下,2035年锂金属回收量预计达到4.0万t;回收率中等情况下,2035年锂金属回收量预计达到4.1万t,是2020年锂金属回收量的10倍;回收技术改进、回收率较高情况下,2035年锂金属回收量预计达到4.3万t,报废产品中锂金属资源的回收潜力巨大。对于合金而言,由于技术难度较大,回收成本较高,锂金属的回收潜力较小。锂金属的回收主要来源于锂离子电池,随着电动汽车行业的快速发展,带动锂金属用量的增加,2035年电动汽车电池理论回收锂金属量占总锂金属回收量的98%,是锂金属回收的主要行业部门;消费类电池2035年用锂需求量占比较小,预估回收10 t锂金属,而随着电动自行车和电动三轮车锂电池技术的发展,锂金属的需求量增大,2035年回收锂金属量达140 t。2014年之前,由于锂金属回收困难,报废电池中的锂金属大量损失。

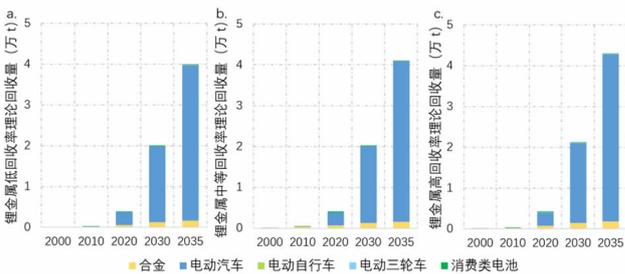


图13 从报废产品中锂金属理论回收潜力

Fig. 13 Theoretical recovery potential of lithium metal from scraps

## 4 结论与建议

本文聚焦于在现有回收技术与工艺条件下,研究终端报废产品中锂金属的回收潜力。对于锂离子电池而言,产品设计复杂,不同的电池配置不同。要从含塑料、电解液、黏合剂、铝、钴、铜、铁、锂、锰和镍等十多种锂离子电池材料<sup>[26]</sup>中单一回收锂金属不经济,亦不可行。另外,报废电池中含有毒物质,如果处理不当,生态环境也将遭到破坏。对锂离子电池回收技术的发展和回收市场也提出了更高要求。对于锂合金而言,缺

乏有效的分离技术给回收带来了极大困难<sup>[27]</sup>。不同的合金,使用材料不同,回收方法难以规范。随着技术的不断突破,产品类型仍在不断更新,给回收锂金属带来重重挑战。此外,消费者/生产者回收意识薄弱,缺乏有效的回收利用基础设施等都是制约锂金属回收再利用的关键因素<sup>[28]</sup>。

理论上,锂金属回收潜力可观,是增加资源供给的有效途径,并且,对报废产品进行关键金属回收再利用是提高资源利用效率、发展循环经济、建设生态文明的必然选择。然而,目前的研究几乎停留在实验室阶段,且需要回收利用的报废产品数量较少,随着报废数量的急剧增加,回收业将出现成本过高和环境污染等问题,如果要想实现产品的完全可循环利用,就迫切需要多种方法来解决<sup>[29]</sup>。

未来,实现高效回收再利用锂金属需要从多方面着手。首先,建立包括收集、分类、物流、存储和加工冶炼等回收链各环节的基础设施是回收得以进行的基础;其次,发展规模经济,采取适当的激励措施确保回收金属有利可图是核心;再次,开发多种金属同时回收利用的技术是保障。除此外,制定合理的报废产品管理条例尤为重要,适当的管理条例是提高回收效率的重要工具,在人类健康和环境保护方面也发挥着不可替代的作用。

### 参考文献:

- [1] 李芳琴,李建武. 金属矿产资源经济重要性评估研究[J]. 中国矿业, 2018, 27(12): 6-13.
- [2] 文博杰,陈毓川,王高尚,等. 2035年中国能源与矿产资源需求展望[J]. 中国工程科学, 2019, 21(1): 68-73.
- [3] WANG P, LI W, KARA S. Dynamic life cycle quantification of metallic elements and their circularity, efficiency, and leakages[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 174: 1492-1502.
- [4] ZHANG L, XU Z. Towards minimization of secondary wastes: Element recycling to achieve future complete resource recycling of electronic wastes[J]. Waste Management, 2019, 96: 175-180.
- [5] DEWING BW. Electrolytic recovery of Li from Al-Li alloys[J]. Journal of Metals, 1988: 661-665.
- [6] SWAIN B. Recovery and recycling of lithium: A review[J]. Separation and Purification Technology, 2017, 172: 388-403.
- [7] KEVIN MW, STEVEN JL, TIMOTHY GT. A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries[J]. Resources, Conservation & Recycling, 2018, 129: 263-277.
- [8] YANG Y, SONG S, LEI S, et al. A process for combination of recycling lithium and regenerating graphite from spent lithium-ion battery[J]. Waste Management, 2019, 85(85): 529-537.
- [9] SONOC A C, JESWIET J, MURAYAMA N, et al. A study of the application of Donnan dialysis to the recycling of lithium ion batteries[J]. Hydrometallurgy, 2018, 175(175): 133-143.
- [10] LV W, WANY Z, CAO H, et al. A sustainable process for metal recycling from spent lithium-ion batteries using ammonium chloride[J].

- Waste Management, 2018, 79(79): 545–553.
- [11] LI L, LU J, REN Y, et al. Ascorbic – acid – assisted recovery of cobalt and lithium from spent Li – ion batteries[J]. Journal of Power Sources, 2012, 218(218): 21–27.
- [12] MAI KT, MARCO – TULLIO FR, KEIKO K, et al. Deep eutectic solvents for cathode recycling of Li – ion batteries [J]. Nature Energy, 2019, 4(4): 339–345.
- [13] ATIA TA, ELIA G, HAHN R, et al. Closed – loop hydrometallurgical treatment of end – of – life lithium ion batteries: Towards zero – waste process and metal recycling in advanced batteries[J]. Journal of Energy Chemistry, 2019, 35(8): 220–227.
- [14] HEYDARIAN A, MOUSAVI SM, VAKILCHAP F, et al. Application of a mixed culture of adapted acidophilic bacteria in two – step bioleaching of spent lithium – ion laptop batteries [J]. Journal of Power Sources, 2018, 378(378): 19–30.
- [15] HOREH NB, MOUSAVI SM, SHOJAOSADATI SA. Bioleaching of valuable metals from spent lithium – ion mobile phone batteries using *Aspergillus niger*[J]. Journal of Power Sources, 2016, 320: 257–266.
- [16] ZHONGLIN D, TAO J, BIN X, et al. Comprehensive recoveries of selenium, copper, gold, silver and lead from a copper anode slime with a clean and economical hydrometallurgical process [J]. Chemical Engineering Journal, 2020, 124762.
- [17] SIMON FG, HOLM O, BERGER W. Resource recovery from urban stock, the example of cadmium and tellurium from thin film module recycling[J]. Waste Management, 2013, 33(4): 942–947.
- [18] SHIN SH, KIM HO, RIM KT. Worker Safety in the Rare Earth Elements Recycling Process From the Review of Toxicity and Issues [J]. Safety and Health at Work, 2019, 10(4): 409–419.
- [19] 卫寿平, 孙杰, 周添, 等. 废旧锂离子电池中金属材料回收技术研究进展[J]. 储能科学与技术, 2017, 6(6): 1196–1207.
- [20] LIU Y, LINH D, SHUI L, et al. Metallurgical and mechanical methods for recycling of lithium – ion battery pack for electric vehicles [J]. Resources, Conservation & Recycling, 2018, 136: 198–208.
- [21] ZENG XL, SONG QB, LI JH, et al. Solving e – waste problem using an integrated mobile recycling plant [J]. Journal of Cleaner Production, 2015a, 90: 55–59.
- [22] DANIEL BM. Stock dynamics for forecasting material flows—Case study for housing in The Netherlands [J]. Ecological Economics, 2005, 59(1): 142–156.
- [23] ESTHER M, HILTY LM, WIDMER R, et al. Modeling metal stocks and flows: a review of dynamic material flow analysis methods. [J]. Environmental science & technology, 2014, 48(4): 2102–2113.
- [24] SONG JL, YAN WY, CAO HB, et al. Material flow analysis on critical raw materials of lithium – ion batteries in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2019: 570–581.
- [25] UTTAM KD, LFTEKHAR A, DARYOUSH H. Quantifying economic benefits of second life batteries of gridable vehicles in the smart grid [J]. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2014, 63: 577–587.
- [26] YUN L, LINH D, SHUI L, et al. Metallurgical and mechanical methods for recycling of lithium – ion battery pack for electric vehicles [J]. Resources, Conservation & Recycling, 2018, 136: 198–208.
- [27] MOSSALI E, PICONE N, GENTILINI L, et al. Lithium – ion batteries towards circular economy: A literature review of opportunities and issues of recycling treatments [J]. Journal of Environmental Management, 2020, 264: 110500.
- [28] GU F, GUO J F, YAO X, et al. An investigation of the current status of recycling spent lithium – ion batteries from consumer electronics in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 161: 765–780.
- [29] GAVIN H, ROBERTO S, EMMA K, et al. Recycling lithium – ion batteries from electric vehicles [J]. Nature, 2019, 575(7781): 75–86.

# Recycling Potential Assessment of Lithium Metal—Based on Existing Recycling Technology and Process

HUANG Li<sup>1</sup>, LI Fangqin<sup>2\*</sup>, DAI Tao<sup>2</sup>, WANG Peng<sup>3</sup>

1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, CAS, Xiamen 361021, China

**Abstract:** As a key raw material supporting the development of strategic emerging industries, lithium metal is also an important new energy metal in this century. In this paper, the technology and process flowsheet of lithium metal recovery and reuse from terminal waste products in the world were studied. The optimal recovery rate was obtained under different technical conditions. From 2000 to 2019, the in-use stock of lithium metal in lithium ion batteries increased rapidly, from 30 tons to 18 000 tons, and will increase to 430 000 tons in 2035; Under the existing recycling technology, only lithium metal in alloy and lithium ion battery used can be recycled, and the recycling technology is mainly focused on lithium ion battery. Based on this, the material flow analysis method was further used to evaluate the potential of lithium metal recovery and reuse in Mainland China from 2020 to 2035. The results show that: (1) Lithium ion batteries are the main source of recovered lithium; (2) By 2035, the in-use stock of lithium metal will increase to 430 000 tons, and the recovery potential of lithium metal will increase year by year and exceed 40 000 tons by 2035; (3) The recovery potential of lithium in alloy is small and difficult. Finally, relevant suggestions are put forward in the conclusion to provide support for effective supply of lithium metal resources.

**Key words:** lithium; recycling technologies; recycling potential; material flow analysis; power battery; recycling economy

引用格式:黄莉,李芳琴,代涛,汪鹏. 锂金属回收潜力研究—基于现有回收技术与工艺[J]. 矿产保护与利用,2021,41(5):31-37.

HUANG Li, LI Fangqin, DAI Tao, WANG Peng. Recycling potential assessment of lithium metal—based on existing recycling technology and process[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2021, 41(5): 31-37.

投稿网址:<http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail:kcbh@chinajournal.net.cn