

doi:10.3969/j.issn.1007-7545.2021.06.006

“十四五”中国锂动力电池产业关键资源供需分析

杨俊峰¹, 潘寻²

(1. 中国电子信息产业发展研究院, 北京 100048;

2. 生态环境部 固体废物与化学品管理技术中心, 北京 100029)

摘要:随着我国新能源汽车产业的不断发展壮大,对矿产资源的需求快速增长,同时对未来关键资源的供需形势产生深刻影响。以国家相关产业规划为主要依据,对我国“十四五”新能源汽车产量及锂动力电池装机量进行了预测,在识别产业关键材料的基础上测算了锂、钴、镍等矿产资源的需求量,重点分析了动力电池回收再利用对产业关键资源需求的保障程度。结果显示,“十四五”期间,锂、钴、镍需求量分别为12.9万t、70.8万t和15.1万t;通过废旧锂动力电池回收及资源再生可分别产生3.1万t锂、12.0万t镍和4.8万t钴,占同期国内锂动力电池产业资源需求量的比例分别为24.0%、16.8%和31.2%。

关键词:新能源汽车;锂动力电池;资源;供需;对策

中图分类号: X24; X77

文献标志码: A

文章编号: 1007-7545(2021)06-0037-05

Analysis on Supply and Demand of Key Resources of Lithium Power Battery Industry in China during the 14th Five-Year Plan Period

YANG Jun-feng¹, PAN Xun²

(1. Electronic Information Industry Development Research Institute of China, Beijing 100048, China;

2. Solid Waste and Chemicals Management Center, Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, Beijing 100029, China)

Abstract: With development of new energy automobile industry in China, demand for mineral resources is expanding rapidly, which will exert profound impact on supply and demand of key resources. Based on relevant industry plans of China, production of new energy automobiles and installed capacity of lithium power batteries in China during the “14th Five-Year Plan” was predicted. Demand of lithium, cobalt, nickel and other key mineral resources was calculated and guarantee degree of power battery recycling to the demands of industry key resources was analyzed based on identification of key industrial materials. The results show that demands for lithium, cobalt, and nickel estimated to be 129 kt, 708 kt and 151 kt during the 14th five-year period. Besides, through recycling of lithium power battery and resource regeneration, 31 kt of lithium, 120 kt of nickel and 48 kt of cobalt can be produced, accounting for 24.0%, 16.8% and 31.2% respectively in domestic demand for lithium power battery resources during the same period.

Key words: new energy automobile; lithium power battery; resources; supply and demand; countermeasures

收稿日期: 2021-01-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFC1908504)

作者简介: 杨俊峰(1981-), 男, 辽宁沈阳人, 博士, 高级工程师; 通信作者: 潘寻(1982-), 男, 山东平度人, 博士, 高级工程师

我国将大力发展新能源汽车作为建立健全绿色低碳循环发展经济体系,培育新的经济增长点和国际竞争优势,改善生态环境质量的重大战略决策。国务院发布的《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》提出了“到2020年,纯电动汽车和插电式混合动力汽车生产能力达200万辆、累计产销量超过500万辆”的发展目标^[1]。2020年,我国新能源汽车产销分别完成136.6万辆和136.7万辆,市场规模连续6年居全球首位,累计销售550万辆。其中,纯电动汽车产销分别完成110.5万辆和111.5万辆,分别占我国新能源汽车总产销量的80.9%和81.6%^[2]。

动力电池是电动汽车动力系统的核心,锂动力电池回收再利用问题会随着新能源汽车保有量的不断扩大而逐步凸显出来。一方面,锂动力电池产业锂、钴、镍等关键矿产资源消费量必然随着新能源汽车产量的连年增长而快速增长;另一方面,锂动力电池大量退役后,如未经妥善处置和回收再利用,将造成环境污染和有价金属资源的浪费^[3-4]。因此,本研究量化预测了“十四五”(2021—2025年)期间中国新能源汽车的产量及锂动力电池装机量,识别了产业关键资源材料,测算了锂、钴、镍等关键矿产资源的需求量,重点分析了动力电池回收再利用对产业关键资源需求的保障程度。

1 产业关键资源识别

1.1 正极材料

根据不同的技术路线,目前正极材料主要分为

钴酸锂、镍钴锰酸锂、锰酸锂、磷酸铁锂、镍钴铝酸锂等类型。

1.2 负极材料

负极材料一般分为非碳性负极和碳系负极,其中非碳系负极包括钛酸锂、锡类合金负极、硅类合金负极等;碳系负极可分为石墨、中间相炭微球等。目前锂动力电池的负极材料主要选择石墨材料(包括人造石墨和天然石墨),而人造石墨已成为主流^[5]。

1.3 电解液

有机溶剂是电解液的主体部分,常用电解液体系有碳酸乙烯酯、碳酸丙烯酯、碳酸二甲酯、碳酸二乙酯和碳酸甲乙酯等。电解质锂盐主要包括高氯酸锂、六氟磷酸锂、四氟硼酸锂等,目前应用最多的是六氟磷酸锂^[6]。

1.4 隔膜

隔膜占电池总成本的10%以内,隔膜的性能直接影响电池的容量、循环以及安全性能。隔膜生产材料以聚烯烃为主,主要包括聚丙烯、聚乙烯、聚丙烯和聚乙烯复合材料等^[7]。

1.5 其他材料

锂动力电池其他材料主要包括铝塑膜、黏结剂、铝箔、铜箔、钢壳、塑料外壳、铜电缆、铝电缆、线路板和塑料等。

汇总上述锂动力电池资源需求情况,电池生产所需资源主要包括:锂、镍、钴、锰、铝、铁、铜、锡、钛等金属资源,以及煤炭、石油、石墨、沥青、硅、氟、磷、硼、氯、砷等非金属资源,具体如表1所示。

表1 锂动力电池生产所需主要资源种类

Table 1 Main resource types needed for production of lithium power battery

大类	小类	材料明细	主要资源种类
正极	正极材料	镍钴锰酸锂、镍钴铝酸锂、磷酸铁锂、锰酸锂、钴酸锂	金属矿产:锂、镍、钴、锰、铝、铁;非金属矿产:磷矿、煤炭、石油、石墨矿
	导电剂	炭黑、石墨、碳纳米管、石墨烯等	
负极	黏结剂	聚偏氟乙烯、丁苯橡胶、羧甲基纤维素等	金属矿产:钛、锂、锡等;非金属矿产:硅矿、煤炭、石油、沥青、石墨矿
	隔膜	硅碳复合材料、人造石墨、天然石墨、中间相炭微球、石墨烯、钛酸锂	
电解液	电解液	碳酸乙烯酯、碳酸丙烯酯、碳酸二甲酯、碳酸二乙酯、碳酸甲乙酯;	金属矿产:锂、硼、砷;非金属矿产:煤炭、石油、氟、磷、氯
	电解质	六氟磷酸锂、四氟硼酸锂、高氯酸锂、六氟砷酸锂	
	添加剂	1,3-丙烷磺酸内酯、碳酸亚乙烯酯、双三氟甲基磺酰亚胺锂、氟代碳酸乙烯酯	
其他	隔膜	聚丙烯、聚乙烯、聚丙烯和聚乙烯复合材料	非金属矿产:煤炭、石油
	铝塑膜	铝箔、铜箔	
	黏结剂	聚偏氟乙烯、丁苯乳液等	金属矿产:铜、铝、铁等;非金属矿产:煤炭、石油
	外壳	钢壳、铝壳、塑料外壳	
	电池组管理	电缆、连接器、线路板、塑料等	

1.6 主要资源稀缺性分析

对锂动力电池生产所需主要资源的稀缺性开展分析识别,稀缺性分析指标包括以下4项:1)占消费量比例。指目前某种资源用于生产锂动力电池的消费量占全社会消费量的比例,占比超过5%认为评价结果为大,反之为小。2)占新增消费量比例。指到2025年某种资源用于生产锂动力电池的新增消费量占全社会新增消费量的比例,占比超过10%认为评价结果为大,反之为小。3)是否容易替代。评估在2025年前某种资源在锂动力电池生产领域被替代或减少使用的可能性。4)是否属于我国24种战略性矿产。根据《全国矿产资源规划(2016—2020年)》中确定的我国24种战略性矿产名录判定^[8]。

根据4项指标的评价情况,综合确定关键材料的资源安全风险,结果如表2所示。锂、镍、钴三种金属在锂动力电池领域需求量占新增消费量比例均超过10%,又属于我国24种战略性矿产资源,未来可能存在稀缺性问题,是本研究重点分析的品种。

表2 锂动力电池生产上游材料稀缺性分析

Table 2 Analysis on scarcity of upstream materials for production of lithium power battery

类别	占消费量比例	占新增消费量比例	是否容易替代	是否属于我国战略性矿产	资源安全风险水平
锂	大	大	否	是	高
镍	小	大	否	是	高
钴	大	大	是	是	高
锰	小	小	是	否	低
铝	小	小	难	是	低
铁	小	小	是	是	低
铜	小	小	否	是	低
硅	小	小	否	否	低
煤炭	小	小	是	是	低
石油	小	小	是	是	低
沥青	小	小	是	否	低
石墨	小	小	否	是	低

2 产业关键资源供需分析

2.1 新能源汽车规模预测

根据中国汽车工业协会统计数据,2020年新能源汽车产量达到136.6万辆,其中新能源乘用车124.7万辆,包括纯电动99.1万辆、插电式混合动力25.6万辆;新能源商用车12.0万辆,包括纯电动11.4万辆、插电式混合动力0.4万辆、燃料电池0.2万辆^[2]。2020年我国锂动力电池装机量累计63.6GWh,同比增长2.3%。其中三元锂电池装机量累计38.9GWh,磷

酸铁锂电池装机量累计24.4GWh,其他类型锂电池装机量0.3GWh。从车型看,乘用车电池装机量为48GWh,约占比75%;客车电池装机量为12GWh,约占比19%;专用车电池装机量为4GWh,占比6%^[9]。

未来随着技术进步和政策扶持等推动,新能源汽车市场份额和产销量还将持续扩大。2020年11月发布的《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》提出,到2025年新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售总量的20%左右^[10]。根据中国汽车工业协会统计和预测,2020年中国汽车销量为2531.1万辆,预计2021年中国汽车市场将实现恢复性正增长,2022—2025年可能会有年均4%左右的增长,据此估算2025年我国汽车销量约为2950万辆,其中新能源汽车新车约为590万辆^[2]。

2.2 动力电池装机量预测

2020年我国新能源乘用车中纯电动占比为79.5%,新能源商用车中纯电动占比为95%。到2025年新能源汽车中纯电动占比将进一步提高,预计在新能源乘用车、新能源商用车中占比分别达到85%左右和95%左右。2020年新能源汽车中乘用车占比为90%,预计到2025年这一比例将保持在85%~90%左右(按87.5%计算),新能源商用车占新能源汽车的比重维持在10%~15%(按12.5%计算),预测2025年我国新能源乘用车销量为516.2万辆,新能源商用车销量为73.8万辆。2025年不同类别的新能源汽车销售量测算结果见表3。新能源乘用车中纯电动和插电式混合动力单车装机量分别按60kWh和15kWh计算^[11];新能源商用车中纯电动和插电式混合动力单车装机量分别按200kWh和30kWh计算。测算结果显示,2025年我国新能源汽车动力电池总装机量为374GWh,复合年增长率为35%,推算2021年至2025年动力电池历年装机量分别为113、153、207、279和374GWh,“十四五”期间累计需求量为1126GWh。

2.3 锂资源供需分析

不同类型的锂动力电池锂使用强度(锂含量,下同)见表4。未来几年,随着特斯拉中国工厂达产和新车型的投放,镍钴铝三元路线将迎来快速增长。镍钴锰三元锂电池将持续走向高镍化路线,NCM622、NCM811将占据主导地位。根据上述趋势,结合表4,2025年平均每千瓦时动力电池锂资源用量按0.105kg估算,中国动力电池产业锂资源需求量约为3.9万t,2021—2025年中国动力电池产业锂资源累计需求量约为12.9万t(表5)。

表3 2025年我国新能源汽车动力电池装机量测算

Table 3 Calculation of installed capacity of lithium power battery in China in 2025

类别	数量/万辆	单车装机量/kWh	总装机量/GWh
新能源乘用车	纯电动	416.8	60
	插电式混合动力	73.6	15
	燃料电池等其他	25.8	—
	小计	516.2	
新能源商用车	纯电动	56.1	200
	插电式混合动力	2.9	30
	燃料电池等其他	14.8	—
	小计	73.8	
合计	590	—	374.2

表4 不同类型锂动力电池资源使用强度

Table 4 Resource usage intensity of different types of lithium power batteries /((kg·kWh⁻¹))

锂动力电池型号	锂	镍	钴
镍钴铝(NCA)三元	0.10	0.67	0.13
镍钴锰(NCM)三元	NCM111	0.15	0.40
	NCM433	0.14	0.47
	NCM532	0.14	0.59
	NCM622	0.13	0.61
磷酸铁锂(LFP)	NCM811	0.11	0.75
		0.10	0

表5 2021—2025年动力电池资源需求

Table 5 Demand for resources of lithium power battery in 2021—2025

年份	锂动力电池装机量/GWh	锂使用强度/(kg·kWh ⁻¹)	金属锂/万t	镍使用强度/(kg·kWh ⁻¹)	金属镍/万t	钴使用强度/(kg·kWh ⁻¹)	金属钴/万t
2021	113	0.13	1.5	0.50	5.7	0.16	1.8
2022	153	0.125	1.9	0.55	8.4	0.15	2.3
2023	207	0.12	2.5	0.60	12.4	0.14	2.9
2024	279	0.11	3.1	0.65	18.1	0.13	3.6
2025	374	0.105	3.9	0.70	26.2	0.12	4.5
合计			12.9		70.8		15.1

截至2019年,全球锂资源储量为1 700万t,其中中国锂储量164.3万t,约占全球的9.7%。综合考虑我国新能源汽车历年产量和未来预测产量、电池质保年限、车辆运行工况等因素,预计至2025年,我国锂动力电池年退役量将达到80 GWh,累计退役量将达到274 GWh。《新能源汽车废旧动力蓄电池综合利用行业规范条件(2019年版)》要求从事再生利用的企业,应努力提高废旧动力电池再生利用水平,通过冶炼或材料修复等方式保障主要有价金属得到有效回收。其中,镍、钴、锰的综合回收率应不低于98%,锂的回收率不低于85%。根据锂动力电池中的锂含量,按80%的回收率测算,每再生利用1 GWh的废旧动力电池可回收约113 t锂。因此2025年通过废旧动力电池再生利用可获得锂9 040 t,2021—2025年通过废旧动力电池再生利用累计获得锂3.1万t,占同期中国动力电池产业锂资源累计需求量(12.9万t)的24%。我国累计新增约9.8万t的锂资源需求,约占国内锂储量的6.0%,约占全球锂储量的0.58%。到2025年,中国锂动力电池产业的锂资源需求从储量上看可以保障,但因为国内锂资源开发成本较高,锂矿对外依存度预计仍将保持在70%以上。

2.4 镍资源供需分析

根据表5锂动力电池装机量预测数据,2025年平均每千瓦时锂动力电池镍资源用量按0.7 kg估算,中国动力电池产业镍资源需求量约为26.2万t,2021—2025年中国动力电池产业镍资源累计需求量约为70.8万t。

截至2019年,全球镍资源储量为8 900万t,其中中国镍储量280万t,约占全球的3.1%。虽然废旧动力电池镍的综合回收率比锂资源高,但是到2025年通过回收的镍资源可能并没有想象的多。一方面,因为2025年报废的动力电池中磷酸铁锂电池仍占据一定的比例,这类电池不含镍;另外,报废的三元锂电池大多数不是高镍电池。根据锂动力电池中的镍含量,按90%的回收率测算,2025年我国从退役动力电池中可回收镍资源约3.5万t,2021—2025年通过废旧动力电池再生利用累计获得镍12.0万t,占同期中国动力电池产业镍资源累计需求量(70.8万t)的16.8%。我国累计新增约58.8万t的镍资源需求,约占国内镍储量的21%,约占全球镍储量的0.66%。

我国镍消费量大,国内镍资源相对贫乏,对外依存度常年超过80%。目前印尼和菲律宾是我国镍矿的主

要进口源,合计占比高达95%。到2025年,依靠国内资源保障锂动力电池产业的镍资源需求压力仍较大。

2.5 钴资源供需分析

根据表5锂动力电池装机量预测数据,2025年平均每千瓦时锂动力电池钴资源用量按0.12 kg估算,中国动力电池产业钴资源需求量约为4.5万t,2021—2025年中国动力电池产业钴资源累计需求量约为15.1万t。

截至2019年,全球钴资源储量为700万t,其中中国钴储量8万t,约占全球的1.1%。中国是世界最大的钴消费国,2019年国内钴消费量约6.8万t,占全球总消费量的50%左右。我国80%以上的钴用在了锂电池领域,目前废旧三元锂电池中钴的综合回收率较高。按95%的回收率测算,2025年我国从退役动力电池中可回收钴资源约1.4万t,2021—2025年通过废旧动力电池再生利用累计获得钴4.8万t,占同期中国动力电池产业钴资源累计需求量(15.1万t)的31.2%,高于锂和镍的比例。我国累计新增约10.3万t的钴资源需求,约占国内钴储量的129%,约占全球钴储量的1.5%。

3 结语

随着新能源汽车产业的迅速扩张,锂动力电池将是我国钴消费的主要增长点,而国内资源禀赋决定了钴产业的健康发展必须依赖国外钴资源的稳定供应。目前,中国80%~90%的进口钴资源来自于刚果(金),未来国内资源不能满足锂动力电池产业的钴资源需求,预计对外依存度将常年高于95%。预计到2025年,我国锂矿和镍对外依存度仍将保持在70%以上。

参考文献

- [1] 国务院. 国务院关于印发节能与新能源汽车产业发展规划(2012-2020年)的通知(国发[2012]22号)[EB/OL]. [2021-03-27]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2012-07/09/content_3635.htm.
The State Council of The People's Republic of China. Circular of the State Council on the issuance of energy-saving and new energy vehicle industry development plan(2012-2020)(Guo Fa [2012] No. 22)[EB/OL]. [2020-12-01]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2012-07/09/content_3635.htm.
- [2] 中国汽车工业协会. 2020年汽车工业经济运行情况[EB/OL]. [2021-03-27]. http://www.caam.org.cn/chn/1/cate_3/con_5232916.html.
China Association of Automobile Manufactures. The economic operation of the auto industry in 2020[EB/OL]. [2021-03-27]. http://www.caam.org.cn/chn/1/cate_3/con_5232916.html.
- [3] 文博杰. 基于中国新能源汽车发展规划的资源环境效应分析[J]. 中国矿业, 2017, 26(10): 76-80.
WEN B J. Analysis of the resource and environment effect based on China's new energy vehicle development plan[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(10): 76-80.
- [4] 殷仁述, 杨沿平, 谢林明, 等. 新能源汽车动力电池对有色金属资源需求预测[J]. 资源与产业, 2016, 18(5): 85-91.
YIN R S, YANG Y P, XIE L M, et al. Demand prediction of non-ferrous metal resources driven by new energy vehicle battery[J]. Resources & Industries, 2016, 18(5): 85-91.
- [5] 新材料在线. 锂电池负极材料行业研究报告[R/OL]. 深圳: 新材料在线, 2019. [2020-12-01]. http://xincailiao.com/news/news_detail.aspx?id=504803.
Xincailiao Corporation. Research report on negative electrode material industry of lithium battery[R/OL]. Shenzhen: Xincailiao Corporation, 2019. [2020-12-01]. http://xincailiao.com/news/news_detail.aspx?id=504803.
- [6] 新材料在线. 锂电池电解液行业研究报告[R/OL]. 深圳: 新材料在线, 2019. [2020-12-01]. http://www.xincailiao.com/news/news_detail.aspx?id=511883.
Xincailiao Corporation. Research report on lithium battery electrolyte industry [R/OL]. Shenzhen: Xincailiao Corporation, 2019. [2020-12-01]. http://www.xincailiao.com/news/news_detail.aspx?id=511883.
- [7] 新材料在线. 锂电池隔膜行业研究报告[R/OL]. 深圳: 新材料在线, 2019. [2020-12-01]. http://www.xincailiao.com/news/news_detail.aspx?id=561806.
Xincailiao Corporation. Research report on lithium battery separator industry [R/OL]. Shenzhen: Xincailiao Corporation, 2019. [2020-12-01]. http://www.xincailiao.com/news/news_detail.aspx?id=561806.
- [8] 中华人民共和国国土资源部. 《全国矿产资源规划(2016—2020年)》正式实施[EB/OL]. [2021-03-27]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-11/30/content_5140508.htm.
Ministry of Land and Resources of The People's Republic of China. The National Mineral Resources Planning (2016—2020) was formally implemented[EB/OL]. [2020-03-27]. http://www.gov.cn/xinwen/2016-11/30/content_5140508.htm.

(下转第52页)

- immobilization of *Thiobacillus ferrooxidans* and oxidation of Fe^{2+} [J]. Journal of Kunming Metallurgy College, 2012, 28(5): 5-8, 18.
- [11] 黄亚洁, 陈宁, 梁颖, 等. 氧化亚铁硫杆菌固定化生物反应器运行的工艺条件[J]. 化工进展, 2008(3): 421-425.
HUANG Y J, CHEN N, LIANG Y, et al. Process condition of immobilized *Thiobacillus ferrooxidans* in fixed-bed bioreactor[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2008(3): 421-425.
- [12] 杨晓娟, 王玉建, 李红玉, 等. 固定化氧化亚铁硫杆菌培养条件对黄铁矾沉淀的影响[J]. 中国生物工程杂志, 2006, 27(1): 64-68.
YANG X J, WANG Y J, LI H Y, et al. Effect of culture conditions on jarosite for immobilized *Acidithiobacillus ferrooxidans* [J]. China Biotechnology, 2006, 27(1): 64-68.
- [13] 李生琳. 分析化学实验[M]. 天津: 南开大学出版社, 1987: 73-77.
LI S L. Analytical Chemistry Experiment[M]. Tianjin: Nankai University Press, 1987: 73-7.
- [14] 白燕, 王士斌, 刘源岗. 细胞固定化载体材料的研究进展及应用[J]. 广东化工, 2010, 37(4): 11-12, 39.
BAI Y, WANG S B, LIU Y G. Development and application of materials used as cell immobilization carriers [J]. Guangdong Chemical Industry, 2010, 37(4): 11-12, 39.

(上接第 41 页)

- [9] 上海有色网. 2020 年中国动力电池装机数据解析[EB/OL]. [2021-03-27]. <https://news.smm.cn/news/101383993>.
Shanghai Metals Market. Data analysis of China's power battery installed capacity in 2020 [EB/OL]. [2021-03-27]. <https://news.smm.cn/news/101383993>.
- [10] 国务院办公厅. 国务院办公厅印发《新能源汽车产业发展规划(2021—2035 年)》国办发[2020]39 号[EB/OL]. [2020. 12. 02]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-11/02/content_5556762.htm.
The General Office of the State Council of the People's Republic of China. The General Office of the State Council issued New Energy Vehicle Industry Development Plan(2021—2035) Guo Ban Fa [2020] No. 39[EB/OL]. [2020. 12. 02]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-11/02/content_5556762.htm.
- [11] 陈光辉, 王中奎, 罗宁川. 新能源汽车动力电池锂资源保障程度分析[J]. 世界有色金属, 2020(10): 171-173.
CHEN G H, WANG Z K, LUO N C. Analysis of lithium resources guarantee degree of new energy vehicle power battery [J]. World Nonferrous Metals, 2020(10): 171-173.