

加速政策行动， 实现电动车电池安全绿色回收利用

简报

2023年6月

执行摘要

电动汽车电池的回收利用将同时创造三大机会：1) 有望将电池生命周期内的碳足迹降低40%¹；2) 创造就业机会；3) 降低对矿山原材料的依赖。

然而，要想扩大电动汽车电池的回收利用，尚需克服以下具体挑战：

- 保障电池的公平、足量和稳定供应；
- 提高低价值电池化学成分回收利用的经济价值；
- 进一步降低回收利用对环境和社会的影响。

中国、欧盟和美国的决策者都认识到了电动汽车电池的战略意义，并正致力于通过《欧盟电池与废电池法》和《美国通货膨胀削减法案》等雄心勃勃的政策行动，不断扩大回收利用规模。

决策者需要加强合作，通过采取下列举措，促进废旧电池安全、清洁的跨境流动和管理：

- 制定统一的定义和交易触发标准²；
- 制定和统一黑粉构成标准³；
- 通过溯源技术提高信息可用性；
- 鼓励发展新型回收利用技术，以经济节约的方式处理磷酸铁锂电池；
- 支持制定安全措施。

随着电池回收利用持续推进，创新将颠覆这一行业。

2020-2021年，全球电动汽车销量增加了50%，达到660万辆⁴。到2030年，随着技术的进步和逐步淘汰内燃机汽车的监管政策的实施，电动汽车占汽车销量的比例将超过50%^{5,6}。

如果二次利用或梯次利用的方案不可行，则必须对电池进行回收、处置和循环再利用。仅从欧洲来看，发展电动汽车可能就需要在2030年前对100多万块废旧电池进行回收利用⁷。电动汽车电池回收利用有望创造三个机会：和使用矿山原材料相比，能将电池的碳足迹减少40%⁸；创造就业机会；以及降低对矿山原材料的依赖。到2050年，回收利用能够满足欧洲45%-77%的电池金属需求⁹。

从短期来看，由于电动汽车市场不断增长，电动汽车电池使用寿命不断延长，上述比例还非常低。

电池回收利用旨在回收原材料，共可分为三个步骤¹⁰：

1. 回收利用的准备工作
2. 预处理
3. 主要工艺流程

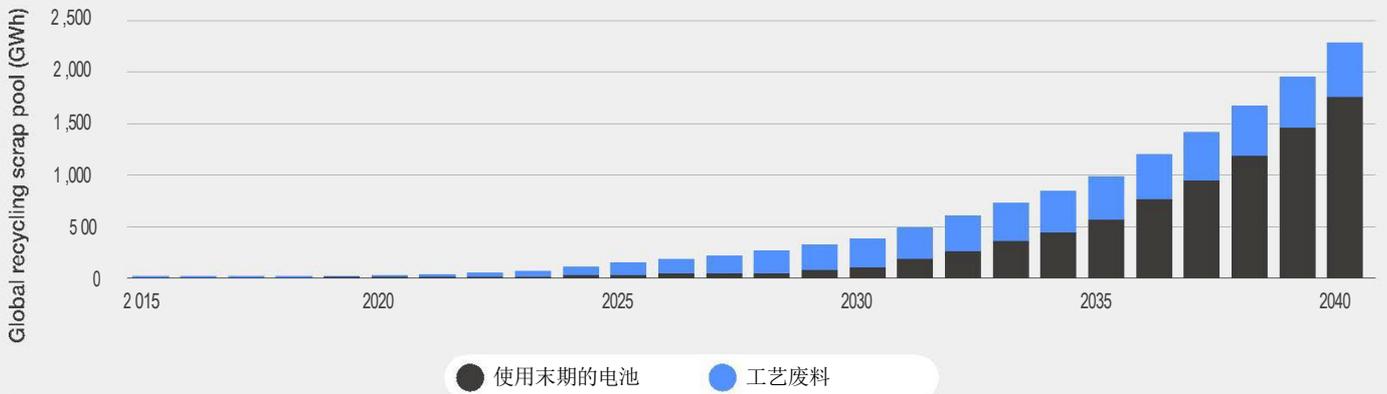
准备工作主要包括放电和拆解，而预处理则对电池成分进行分离，以便进入深度工艺流程。预处理的结果是产生电极粉料（即所谓的黑粉）。黑粉包含大量的电池金属，可在后续的工艺流程中进行提取和回收利用。

最后一步的主要工艺流程包括火法冶金和湿法冶金¹¹，这两大工艺在工业电池回收利用过程中通常被同时使用。

- 火法冶金技术使用高温进行熔炼和精炼，从黑粉中提取金属。
- 湿法冶金技术是将电池材料溶解成酸，以回收材料。在此过程中，首先是浸出中间产物，然后通过深度工艺，提取出目标金属。

此外，还有其他颇有发展前景的新型回收利用方法，比如直接回收利用。这种方法能够实现正极的化学再生，使其无需进一步处理便可再次使用。再比如，生物回收利用方法使用专门的微生物来提取资源。这两种技术有望大幅减少能耗和工艺需求，但目前还处于研发或试点阶段，能否以及何时产业化尚未可知。

图1 2030年前，工艺废料是全球电池回收利用的主要对象



来源：Green Car Congress, 2022.¹²

电动汽车电池回收利用面临三大挑战

对于决策者和汽车业来说，首要任务是在全球范围内扩大电池的安全、清洁回收利用。为此，他们需要克服以下三大挑战：

1. 保障电池的足量供应——近年来，电池回收利用的热潮骤然兴起。2021-2025年，全球回收利用产能预计将增长近十倍¹³。到2025年，回收工厂面积将增加三倍，但供应这些工厂的废料却远远不够¹⁴。由于电池的使用寿命长，到2025年，78%的供应预计来自生产废弃物，只有22%的供应来自废旧车辆¹⁵。

对于电池回收商而言，最大的挑战在于获取足够的废料。电池制造商和汽车制造商拥有直接渠道，特别容易获得生产废料。因此，欧盟和美国的回收商尤其会面临此问题。对于使用末期的电池来说，关键挑战在于再次回收，防止废旧电池泄露到环境中，尤其是电动摩托车使用的小型手持式电池。

凭借占据世界一半的电池回收利用产能，中国可能会抢先获得很高的市场份额¹⁶，这使得欧洲和美国的产能投资面临风险。

2. 提高低价值电池化学成分回收利用的经济价值——回收利用的经济可行性严重依赖于高价值过渡料（尤其是钴和镍）的回收¹⁷。但是，随着正极中的钴含量越来越低，磷酸铁锂等便宜的化学物质日益受到欢迎，当前的回收利用方法会逐渐失去经济可行性。到2030年，磷酸铁锂化学物质预计约占电池需求的45%¹⁸。因此，一个关键的问题是防止以不负责任的方式处置低价值的电池化学物质。有三个方法可以助力提高回收利用的盈利水平：

- **降低回收利用工艺的成本**：电池的多元化和人工拆解的特点影响了回收利用工艺的经济性¹⁹。

为了改变这一状况，可以在拆解流程引入自动化和机器人技术，并实行电池护照，让电池类型、健康状况和荷电状态等信息一目了然，从而提高电池处理量²⁰。汽车厂商也可以提高电池设计的标准化水平，采用便于拆解的设计，比如减少使用固定部件的粘合剂，从而减轻回收利用的压力。最后，需要构建成熟的逆向物流和拆解网点，最大程度地降低运输成本（回收利用成本的最大驱动因素之一）²¹。

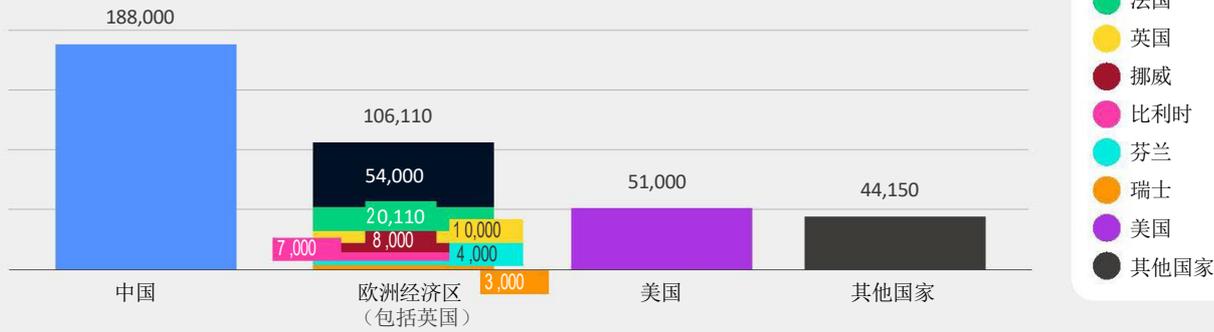
- **将回收利用重点放在成本更低的国家**：聚焦那些劳动力成本和固定成本²²（比如能源成本）低的国家（比如中国或北非国家），也有利于实现低价值电池化学物质的回收利用。虽然不断上涨的锂价格增强了磷酸铁锂回收利用的经济吸引力，但中国凭借其成本结构仍然具备实施回收利用的最佳条件。

- **推广新型回收利用技术**：与火法冶金和湿法冶金技术不同，直接回收利用技术能够实现正极的化学再生，从而在无需进一步加工的情况下便可再次投入使用，成为目前适用于所有地区、可以盈利实现磷酸铁锂化学物质回收利用的唯一技术²³。但是，这项技术目前尚未实现商业化。和传统电池技术相比，这项技术对废料的同质性要求更高，因此可能仅限于生产废料的回收利用。这项技术若能实现商业化，有望推动低价值电池化学物质的回收利用。

3. 进一步降低回收利用对环境和社会的影响²⁴：在环境方面，应当重点关注降低火法冶金和湿法冶金工艺排放的温室气体，减少湿法冶金路径使用的化学物对环境造成的风险。为此，就需要在设备、资源投入和工艺流程等环节进行脱碳，尽量少用溶浸剂和溶剂，防止浸出或其他形式的环境污染。在社会影响方面，应当重点关注电池拆解过程中工具使用和操作的安全性，以及在湿法冶金工艺中最大程度降低健康风险。

图2 现有和规划中的锂离子电池回收利用产能

现有和规划中的锂离子电池回收利用产能（截至2021年）
（吨/年）



来源: Baum et al., 2022.²⁵

表1 电动汽车电池回收利用现行政策汇总

循环汽车行动倡议 政策杠杆框架	中国	欧盟	美国
打造跨领域的市场促成因素	引入溯源系统，管理电动汽车电池回收利用	《欧盟电池法规》推出电池数字产品护照	
重建经济激励机制		《欧盟可持续金融分类法规》引导投资进入电动汽车电池的可持续制造和回收利用领域	为电池回收利用的近岸外包提供补贴和税收抵免；为回收利用基础设施建设提供补贴
统一和强化现有措施	让汽车原始设备制造商对电池回收利用负责；针对电池回收利用制定指南	《欧盟电池法规》针对每类材料制定了具体的回收利用和循环成分比例标准；并明确了生产者对废旧电池的责任。	

全球多地开展重大行动，促进电动汽车电池循环发展

近年来，中国、欧盟和美国均出台了全面政策，防范以不负责的方法处置废旧材料，确保关键原材料的供应，并建设国内回收利用基础设施。表1简要介绍了上述三个地区最相关的电池回收利用政策。

中国

自2016年起，中国出台了一系列举措，针对电动汽车电池回收利用制定了全面的政策框架。中国决策者在2016-2018年期间重点关注奠定基础的工作，然后从2019年开始整合并全面实施政策。采取的政策措施包括：

- 《新能源汽车动力蓄电池回收利用管理暂行办法》促使汽车厂商对电动汽车蓄电池的回收利用负责。
- 《新能源汽车动力蓄电池回收利用溯源管理暂行规定》要求制造商、汽车厂商和回收商提供各阶段的电池回收利用信息，以确定回收利用的成效。
- 《新能源汽车动力蓄电池回收服务网点建设和运营指南》进一步明确了锂离子电池回收利用设施的定义。
- 《新能源汽车动力蓄电池梯次利用管理办法》规定了梯次利用电池的质量和回收利用标准。



欧盟

欧盟全面的电池政策框架始于2006年出台的《欧盟电池指令》。欧盟通过《欧盟绿色协议》及其针对电池的战略行动计划，制定了可持续发展目标，并通过修改后的2022年《欧盟电池法规》和《欧盟可持续金融分类法规》，改革了整个监管框架。

- **2022年《欧盟电池法规》²⁶**：法规要求制造商确保电池便于取出和替换，旨在为拆解流程提供便利。同时，法规明确了每类材料的具体回收利用目标和电池循环成分最低比例。此项法规激励了对更有价值的材料进行高质量的循环和回收利用。比如，针对目前尚未大量回收的锂电池，该法规要求其回收利用率到2027年达到50%，到2031年达到80%，循环成分比例到2031年达到6%，到2036年达到12%。此外，法规还推出了电动汽车电池数字产品护照，致力于提高整个价值链的数据可用性。遵守这项法规是获准进入欧盟市场的前提条件。产品护照包含电池类型、化学物质、健康状态和荷电状态等关键信息，有助于后续的拆解和回收利用。制造商将对所有电池的报废管理负责。

- **《欧盟可持续金融分类法规》²⁷**：该法规将回收利用归类为可持续经济活动，因此强调改善电池设计，为后续回收利用提供便利。法规鼓励制造商设计可回收电池，并使用循环材料，以此吸引投资。循环材料包括生产废料和使用末期的电池。



美国

美国政府致力于提高国内回收利用水平，实行电动汽车电池供应链近岸外包，并确保材料供应。

- **《通货膨胀削减法案》²⁸**：这部法案将提供巨额税收优惠和其他补贴，支持打造本地供应链和提高电动汽车普及率。如果特定比例的关键矿物质和电池部件是在美国或与美国签订自由贸易协议的国家提取、加工或制造的，则电动汽车的购买者可以申请最高额度达7,500美元的税收抵免。对于矿物质，其比例标准是2023年达到40%，到2026年后提高至80%。对于电池部件，其比例标准是2023年达到50%，2028年后达到100%。

- **《两党基础设施法》²⁹**：该项法律将向电池材料处置计划提供30亿美元的专项费用，向国内电池制造和回收利用提供30亿美元专项经费。

上述政策举措表明，中国、欧盟和美国都致力于促进可持续发展，提高电动汽车电池价值链的竞争力。但与此同时，这也会加剧三方之间的利益冲突，其中欧盟和美国旨在降低对中国的依赖。加强资源区域化会降低二手电动汽车电池和循环材料的

贸易，中国在全球制造业产能的比例将从2022年的77%降至2027年的69%³⁰，但仍将是电动汽车电池制造领域的主导者。因此，要想将循环材料充分用于电动汽车新电池的生产，全球贸易依然至关重要。

建议：对废旧电池实行安全绿色管理

欧盟、美国和中国决策者的挑战在于打造政策框架条件，促进全球电动汽车电池的安全、绿色和高效回收利用^{31, 32}。为此，他们可以利用零排放汽车转型委员会这一现行行动倡议³³。潜在行动方案应当包括以下内容：

- **统一定义和交易触发标准³⁴**：统一各地区对于废弃物、回收利用和循环材料等关键术语的定义，确保实行统一的处置方式，促进电动汽车电池的回收利用。此外，决策者可以统一监管框架，实行一致、高效和透明的产品分类，提高循环经济的价值。比如，如果签署了一份回收利用协议，则可以保留电池的“产品”属性，避免默认为“废弃物”。

- **针对黑色物质构成制定统一标准³⁵**：电池内部黑粉的构成非常多元，并且因电池化学工艺和设计的不同而存在差异，因此要制定统一标准，明确内含金属物质的数量和质量标准，为后续贸易创造便利条件。立法机构应当敦促行业制定标准，并要寻求获得学术界的支持，确保相关工作具有科学的严谨性。

- **通过溯源提高信息可用性**：加强和统一全球可追溯性和透明度要求，确保可以获得足够的信息，促进电池的高效、有效和可持续回收利用。比如，可以统一数字化电池护照要求，提高电池回收利用和循环材料使用的便捷性。

- **鼓励发展回收利用新技术，以经济节约的方式处理磷酸铁锂电池**：通过支持研发工作或建立其他的公共-私营部门合作伙伴关系，助力实现直接回收利用等新技术的商业化。

- **支持制定安全举措**：支持在全球范围内制定回收利用安全做法，比如规定在回收利用的操作环节实行国际公认的标准。

贡献者

此份简报体现了循环汽车行动倡议政策工作组和Systemiq的合作成果。获得了气候工作基金会的资助和支持，并获得了中国汽车技术研究中心的支持。

尾注

- Rinne et al., 2021, Simulation-based life cycle assessment for hydrometallurgical recycling of mixed LIB and NiMH waste, Resources, Conservation and Recycling, Volume 170, 105586, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105586>.
- Global Battery Alliance, 2021, A Framework for the Safe and Efficient Global Movement of Batteries, https://www3.weforum.org/docs/WEF_Battery_Alliance_Opportunity_Statement_2021.pdf.
- Kwade, A. et al., 2020, Resource-Efficient Battery Life Cycles – Driving Electric Mobility with the Circular Economy, Circular Economy Initiative Deutschland, acatech/SYSTEMIQ, https://static1.squarespace.com/static/5b52037e4611a0606973bc79/t61c1e856a32b9841b83e0034/1640097893046/TB_Gesambericht+EN_DOI.pdf.
- Melin et al., n.d., The lithium-ion battery end-of-life market – A baseline study, Global Battery Alliance, https://www3.weforum.org/docs/GBA_EOL_baseline_Circular_Energy_Storage.pdf.
- World Economic Forum, 2022, Here's how we can track the carbon footprint of car batteries, <https://www.weforum.org/agenda/2022/10/track-carbon-footprint-car-batteries/>.
- International Council on Clean Transportation (ICCT), n.d., Internal Combustion Engine Phase-Outs, <https://theicct.org/ice-phase-outs/>.
- Melin et al., n.d., The lithium-ion battery end-of-life market – A baseline study, Global Battery Alliance, https://www3.weforum.org/docs/GBA_EOL_baseline_Circular_Energy_Storage.pdf.
- Rinne et al., 2021, Simulation-based life cycle assessment for hydrometallurgical recycling of mixed LIB and NiMH waste, Resources, Conservation and Recycling, Volume 170, 105586, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105586>.
- Ku Leuven, 2022, Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge, Eurometaux, <https://www.eurometaux.eu/media/hr2fhp3/2022-policy-maker-summary-report-final-13-5-22.pdf>.
- Brückner, L. et al., 2020, Industrial Recycling of Lithium-Ion Batteries—A Critical Review of Metallurgical Process Routes, Metals 2020, 10, 1107, <https://doi.org/10.3390/met10081107>.
- Ciez, R.E. & Whitacre, J.F., 2019, Examining different recycling processes for lithium-ion batteries, Nat Sustain 2, 148–156 (2019), <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0222-5>.
- Green Car Congress, Benchmark: world needs more than 300 new mines by 2035 to keep up with Li-ion battery demand; need for recycling, 2022, <https://www.greencarcongress.com/2022/09/20220910-benchmark.html>.
- Burton, M. & Biesheuvel, T., 2022, The Next Big Battery Material Squeeze Is Old Batteries, Bloomberg, 1 September 2022, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-09-01/the-next-big-battery-material-squeeze-is-old-batteries?leadSource=verify%20wall>.
- Ibid.
- Green Car Congress, Benchmark: world needs more than 300 new mines by 2035 to keep up with Li-ion battery demand; need for recycling, 2022, <https://www.greencarcongress.com/2022/09/20220910-benchmark.html>.
- Baum et al., Lithium-Ion Battery Recycling—Overview of Techniques and Trends, ACS Energy Lett. 2022, 7, 2, 712–719, 19 January 2022, <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsenergylett.1c02602>.
- Harper, G. et al., 2019, Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles, Nature 575, 75–86 (2019), <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>.
- Breiter, A. et al., 2022, Power spike: How battery makers can respond to surging demand from EVs, McKinsey & Company, 18 October 2022, <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/power-spike-how-battery-makers-can-respond-to-surging-demand-from-evs>.
- Lander, L. et al., 2021, Financial viability of electric vehicle lithium-ion battery recycling, iScience, Volume 24, Issue 7, 2021, 102787, ISSN 2589-0042, <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102787>.
- Harper, G. et al., 2019, Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles, Nature 575, 75–86 (2019), <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>.
- Kwade, A. et al., 2020, Resource-Efficient Battery Life Cycles – Driving Electric Mobility with the Circular Economy, Circular Economy Initiative Deutschland, acatech/SYSTEMIQ, https://static1.squarespace.com/static/5b52037e4611a0606973bc79/t61c1e856a32b9841b83e0034/1640097893046/TB_Gesambericht+EN_DOI.pdf.
- Lander, L. et al., 2021, Financial viability of electric vehicle lithium-ion battery recycling, iScience, Volume 24, Issue 7, 2021, 102787, ISSN 2589-0042, <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102787>.
- Ibid.
- Morse, I., 2021, A Dead Battery Dilemma – With millions of electric vehicles set to hit the road, scientists are seeking better battery recycling methods, Science, 20 May 2021, <https://www.science.org/content/article/millions-electric-cars-are-coming-what-happens-all-dead-batteries>.
- Baum et al., Lithium-Ion Battery Recycling—Overview of Techniques and Trends, ACS Energy Lett. 2022, 7, 2, 712–719, 19 January 2022, <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsenergylett.1c02602>.
- European Commission, 2022, Green Deal: EU agrees new law on more sustainable and circular batteries to support EU's energy transition and competitive industry, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7588.
- European Union, 2022, Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation (EU) 2019/2088, Official Journal of the European Union, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852&from=EN>.
- U.S. Government, 2022, H.R.5376 - Inflation Reduction Act of 2022, <https://www.congress.gov/bills/117/house-bills/5376/text>.
- U.S. Government, 2021, Infrastructure Investment and Jobs Act (IIJA) (Public Law 117-58, also known as the "Bipartisan Infrastructure Law"), <https://www.fhwa.dot.gov/bipartisan-infrastructure-law/>.
- Bhutada, G., 2023, Visualizing China's Dominance in Battery Manufacturing (2022-2027P), Visual Capitalist, <https://www.visualcapitalist.com/chinas-dominance-in-battery-manufacturing/>.
- Global Battery Alliance, 2019, A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 : Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation, https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_Vision_for_a_Sustainable_Battery_Value_Chain_in_2030_Report.pdf.
- Global Battery Alliance, 2021, A Framework for the Safe and Efficient Global Movement of Batteries, https://www3.weforum.org/docs/WEF_Battery_Alliance_Opportunity_Statement_2021.pdf.
- Zero Emission Vehicle Transition Council, <https://zevtc.org/>.
- Global Battery Alliance, 2021, A Framework for the Safe and Efficient Global Movement of Batteries, https://www3.weforum.org/docs/WEF_Battery_Alliance_Opportunity_Statement_2021.pdf.
- Kwade, A. et al., 2020, Resource-Efficient Battery Life Cycles – Driving Electric Mobility with the Circular Economy, Circular Economy Initiative Deutschland, acatech/SYSTEMIQ, https://static1.squarespace.com/static/5b52037e4611a0606973bc79/t61c1e856a32b9841b83e0034/1640097893046/TB_Gesambericht+EN_DOI.pdf.