

行业研究

降本与突破锂约束，构成锂电循环闭环

——锂电回收行业深度报告

要点

动力电池退役期来临与锂资源约束，锂电回收势在必行。碳中和背景下，电动车和储能市场将快速增长。综合考虑环保因素、锂资源区域约束、锂价格因素，废旧锂电池回收是一项必要工作。然而当前政策正在完善，标准、价格是核心掣肘。

2030 年三元与磷酸铁锂电池回收将成为千亿市场。对于三元电池，根据我们测算，在金属处于均价时，2030 年三元电池锂/镍/钴/锰回收市场空间预计 273/157/138/10 亿元。2030 年三元电池金属合计回收空间在均价情况下将达近 600 亿元。

磷酸铁锂电池通过梯次利用再回收，锂价高位带动回收环节利润。磷酸铁锂电池直接拆解回收的经济效益并不大，弥补经济性方案：1) 先通过梯次利用提高收益，2) 处理成本通过行政手段及补贴内部化。对于磷酸铁锂电池，我们预测在中残值下，2030 年铁锂电池梯次利用市场空间预计 339 亿元，在锂金属处于均价时，2030 年磷酸铁锂电池锂元素回收市场空间预计 144 亿元。

锂电回收可作为“城市矿山”，弥补碳酸锂供给紧张。动力和消费锂电回收途径增加的碳酸锂供给逐年增加可作为“城市矿山”，有助于弥补碳酸锂供给紧张。

海外动力电池回收模式可作为他山之石。参考欧美发达国家，动力电池生产商往往承担电池回收的主要责任，主机厂和电池租赁公司起到配合回收的作用。依据责任主体的不同可以分为以日本为代表的动力电池生产商回收模式（包括经过电动汽车经销商、电池租赁公司）、以欧美国家为代表的行业联盟回收模式（动力电池生产商联合形成回收联盟）以及第三方回收模式。

互利共赢，“降本”与“闭环”为商业模式的源动力。根据国内现有的商业模式主导企业性质的不同，我国动力电池回收市场催生出动力电池企业回收商业模式、锂电材料企业回收商业模式与梯次利用商业模式。（1）动力电池企业回收模式，提高原料的上游议价能力，降低电池成本，国内代表性的企业有宁德时代、比亚迪、国轩高科等。（2）锂电材料企业回收模式，回收关键金属资源，形成产业闭环与降本空间。许多三元前驱体企业均在动力电池回收领域有所布局，如格林美、邦普循环（宁德时代子公司）、华友钴业、厦门钨业控股的赣州豪鹏、中伟股份、赣锋锂业等。（3）梯次利用商业模式，如中国铁塔等。

投资建议：锂电回收有助于弥补上游资源、特别是锂资源供给缺口，锂电回收市场空间及发展前景广阔。关注：（1）具备完善金属资源回收能力的锂电回收企业：天奇股份、光华科技；（2）转型切入锂电回收领域的企业：旺能环境、浙富控股；（3）形成产业链一体化闭环的三元前驱体及正极企业：邦普循环（宁德时代）、芳源股份、中伟股份、格林美等。

风险分析：政策补贴不及预期；动力电池回收率、工艺降本不及预期，环保风险较大；锂电材料技术进步、相关金属价格下跌。

电力设备新能源 买入（维持）

环保 买入（维持）

作者

分析师：殷中枢

执业证书编号：S0930518040004

010-58452063

yinzs@ebsecn.com

分析师：郝骞

执业证书编号：S0930520050001

021-52523827

haoqian@ebsecn.com

分析师：黄帅斌

执业证书编号：S0930520080005

021-52523828

huangshuaibin@ebsecn.com

联系人：陈无忌

chenwuji@ebsecn.com

联系人：和霖

helin@ebsecn.com

行业与沪深 300 指数对比图



资料来源：Wind

投资聚焦

2021 年政府工作报告中强调了“加快建设动力电池回收利用体系”，动力电池回收行业发展即将加速。发展新能源汽车是推进节能减排的重点，规模庞大的动力锂电池市场伴生的将是锂电池回收和下游梯次利用行业机遇，锂电回收产业链正在加速建立与完善。锂电回收具有经济性和环保双重意义，还有助于突破锂资源约束，构成动力电池产业链的闭环。

我们的创新之处

- 1、从锂资源区域约束、锂价格因素角度分析了动力电池回收对于实现碳中和的意义。
- 2、测算了不同金属价格假设下锂电回收的市场空间。
- 3、我们构建了经济性评估模型，针对动力电池回收过程中投入成本和回收材料用于后续动力电池生产成本降低，定量分析了回收成本与循环利用效益。

股价上涨的催化因素

- 1、动力电池上游资源品价格持续上涨；
- 2、政策、补贴大力扶持，相关报废回收标准和技术标准的建立。

投资建议

锂电回收有助于弥补上游资源、特别是锂资源供给缺口，锂电回收市场空间及发展前景广阔。关注：（1）具备完善金属资源回收能力的锂电回收企业：天奇股份、光华科技；（2）转型切入锂电回收领域的企业：旺能环境、浙富控股；（3）形成产业链一体化闭环的三元前驱体及正极企业：邦普循环（宁德时代）、芳源股份、中伟股份、格林美等。

目 录

1、着眼于未来：我们为什么要回收锂电？	6
1.1、 电动车产业快速发展，动力电池退役量庞大	6
1.2、 全球电动化趋势下，锂资源约束几何	7
1.3、 动力电池梯次利用与材料回收市场空间	8
1.3.1、 动力电池报废量及梯次利用量空间预测	8
1.3.2、 动力电池报废及梯次利用市场空间敏感性分析	11
2、 聚焦产业链：应当如何回收动力电池？	13
2.1、 政策正在完善，标准、价格是核心掣肘	13
2.2、 动力电池回收渠道与再生利用方法论	15
2.2.1、 磷酸铁锂电池的梯次利用和金属回收	16
2.2.2、 三元电池正极材料回收与再生	18
2.2.3、 负极材料回收与再生	19
2.2.4、 电解液回收与再生	19
2.3、 他山之石，海外动力电池回收政策与模式	20
2.3.1、 美国：健全的电池回收法律与回收知识普及	20
2.3.2、 欧盟：《电池法（草案）》规定最低回收材料使用比例、生产者责任延伸制度	21
2.3.3、 日本：“未雨绸缪”发展下的动力电池回收模式	24
2.3.4、 韩国：新能源车快速起量，回收模式发展正当时	26
2.3.5、 海外公司电池回收技术路线	27
3、 国内动力电池回收利用产业链全梳理	29
3.1、 国内动力电池回收“素描”：“分羹者”众多	29
3.2、 互利共赢：电池产业链间回收业务合作逐渐加强	33
3.3、 “降本”与“闭环”为商业模式的源动力	34
3.4、 构建降本模型：从另一个角度看待降本逻辑	39
3.4.1、 拆解回收降本测算：锂电材料企业的降本逻辑	39
3.4.2、 梯次利用之“峰谷套利”降本测算	40
4、 投资建议	41
5、 风险分析	41

图目录

图 1：全球新能源汽车销量	6
图 2：国内新能源汽车销量	6
图 3：全球动力电池装机量	6
图 4：我国动力电池年新增装机量	6
图 5：世界锂矿储量和资源量	7
图 6：中国目前锂矿资源对外依赖度	7
图 7：我国电池级碳酸锂价格走势	7
图 8：锂盐产能与成本分布	7
图 9：我国三元电池锂金属回收市场空间	11
图 10：我国三元电池镍金属回收市场空间	11
图 11：我国三元电池钴金属回收市场空间	12
图 12：我国三元电池锰金属回收市场空间	12
图 13：我国三元电池金属回收市场预测	12
图 14：动力电池回收路线	15
图 15：动力电池生产商回收路径模式	16
图 16：行业联盟回收路径模式	16
图 17：第三方回收路径模式	16
图 18：磷酸铁锂电池应用区段	16
图 19：废旧磷酸铁锂电池回收和再生流程图	17
图 20：废旧三元电池（NCM）回收和再生过程流程图	18
图 21：火法处理流程图	18
图 22：湿法处理流程图	18
图 23：美国三层次的电池回收法律框架	21
图 24：欧盟新《电池法（草案）》	22
图 25：欧盟新《电池法（草案）》最新审理进度	22
图 26：欧盟新《电池法（草案）》重要规定时间轴	23
图 27：德国动力电池回收体系	24
图 28：宝马集团电池价值链形成产业闭环	24
图 29：日本动力电池回收体系	25
图 30：4R 公司在住宅上将退役动力电池与太阳能电池板组合进行能源储存	25
图 31：4R 株式会社对于不同电池容量的退役动力电池梯次利用领域划分	26
图 32：韩国新能源汽车快速起量，配套充电桩数量快速增长	26
图 33：学者提出的基于 EPR 制度的韩国动力电池回收体系	27
图 34：Umicore 回收工艺流程图	28
图 35：德国 IME 公司回收工艺流程图	28
图 36：AEAT 回收工艺流程图	28
图 37：Batretec Industrie AG 回收工艺流程	29
图 38：Accurec Recycling GmbH 回收工艺流程图	29
图 39：格林美废旧电池回收工艺流程图	32

图 40：邦普循环利用废旧动力电池生产 NCM 新材料流程图	35
图 41：宁德时代控股公司邦普设置的回收网点（部分）	35
图 42：华友钴业原料供应渠道	36
图 43：格林美“全生命周期价值链模式”示意图	37
图 44：以中国铁塔为例梯次利用商业模式	38

表目录

表 1：三元正极各类型材料占比假设	8
表 2：不同三元电池技术路线度电质量	8
表 3：磷酸铁锂电池梯次利用比例假设	9
表 4：国内退役三元电池正极回收量	9
表 5：国内退役三元电池总的各金属回收量	9
表 6：国内磷酸铁锂电池梯次利用与拆解回收量	10
表 7：金属价格假设	11
表 8：磷酸铁锂电池每瓦时价格预测	11
表 9：三元电池金属回收市场空间	12
表 10：磷酸铁锂电池梯次利用市场空间	13
表 11：磷酸铁锂电池锂金属回收市场空间	13
表 12：动力电池梯次利用及材料回收法律框架体系	14
表 13：国家标准主要技术内容	15
表 14：锂离子电池石墨负极主要回收方法	19
表 15：常见电解液的溶剂、溶质及添加剂种类	20
表 16：4R 公司电池回收利用理念（4 个 R）	25
表 17：国外领先的废旧锂离子动力电池回收企业	27
表 18：国外主要电池回收公司的工艺及产物	28
表 19：国内主要电池回收及材料公司的工艺及产物	30
表 20：国内主要电池回收及材料公司的工艺及产物	31
表 21：在动力电池回收领域锂电、储能等企业	32
表 22：产业链主要企业间合作情况	33
表 23：中国铁塔梯次利用锂电池的三种主要模式	38
表 24：废旧三元电池、磷酸铁锂电池吨回收处理成本	39
表 25：1 吨废弃三元电池各金属材料质量	40
表 26：使用退役、新电池的峰谷套利模型下 IRR（全投资回报率）比较	40

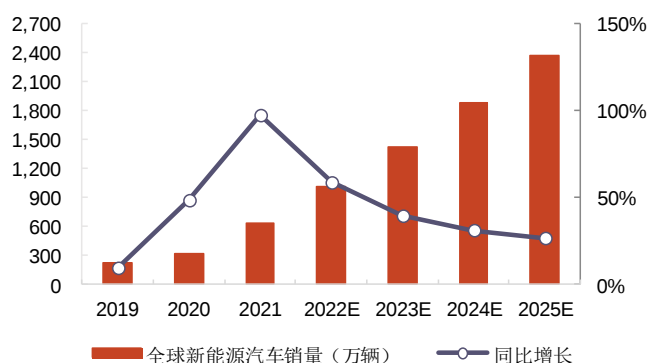
1、着眼于未来：我们为什么要回收锂电？

1.1、 电动车产业快速发展，动力电池退役量庞大

全球新能源汽车行业发展迅速，2021 年全球新能源汽车销量 644 万辆，同比 +98%，在新冠肺炎疫情的冲击下逆势增长。我们预计 2021-25 年全球新能源汽车销量复合增速有望在 30% 以上，到 2025 年销量将突破 2300 万辆。

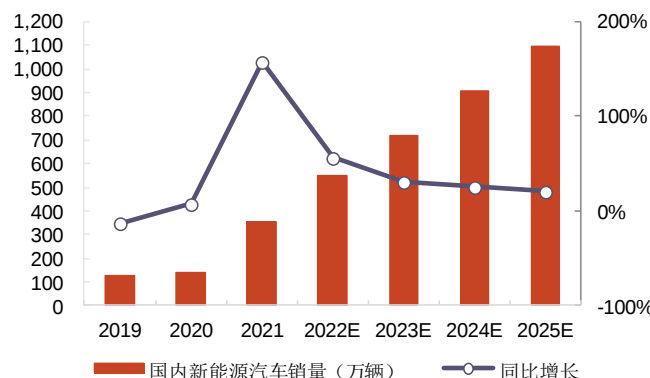
中国新能源汽车产业于 21 世纪初期兴起，自 09 年“十城千辆”工程启动，2013-14 年推广应用新能源汽车并免征购置税，2015 年 4 月财政部发布《关于 2016-2020 年新能源汽车推广应用财政支持政策的通知》，对新能源汽车购买给予补助实行普惠制，财政补贴成为推动中国新能源产业的主要增长力量。随着新能源汽车购置补贴逐步退坡，2017 年开始推行的“双积分”政策接力继续推动新能源产业发展。我们预计我国新能源汽车销量 2021-25 年年均复合增速在 30% 左右，到 2025 年有望超过 1000 万辆。

图 1：全球新能源汽车销量



资料来源：Marklines，光大证券研究所预测

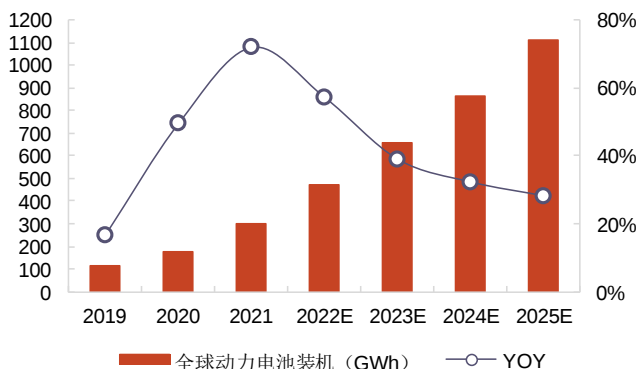
图 2：国内新能源汽车销量



资料来源：中汽协，Wind，光大证券研究所预测

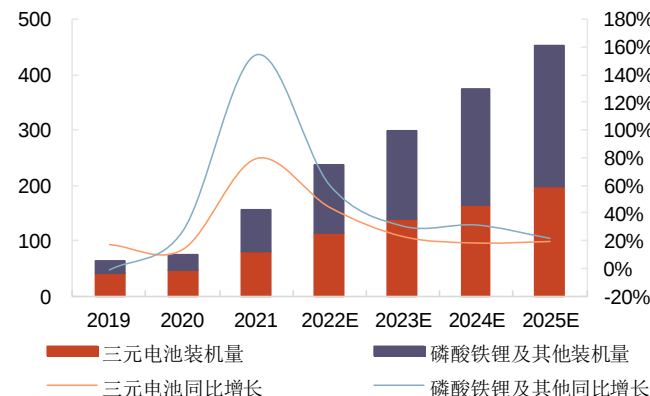
在电动汽车市场快速增长带动下，动力型锂离子电池继续保持快速增长势头。按照正极材料动力电池可分为三元电池、磷酸铁锂电池及其他电池。目前看，海外以三元电池为主，国内三元电池和磷酸铁锂同步发展。全球动力电池年新增装机量保持稳定增长，我们预计 2025 年装机量超 1100GWh；国内装机量可达 453GWh。其中三元电池装机量达 196GWh，磷酸铁锂及其他装机量达 257GWh。

图 3：全球动力电池装机量



资料来源：SNE Research，光大证券研究所预测

图 4：我国动力电池年新增装机量



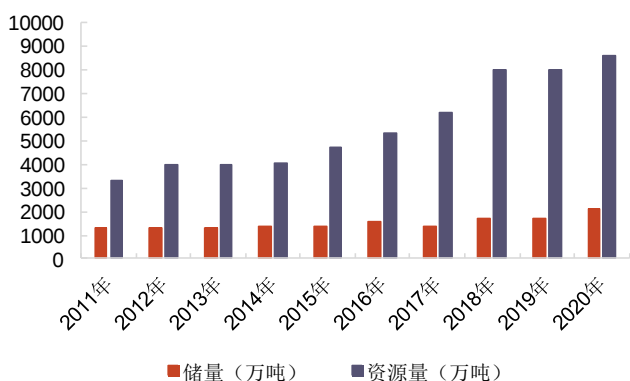
资料来源：Wind，上海有色网，光大证券研究所预测；装机量单位：GWh

1.2、全球电动化趋势下，锂资源约束几何

从世界锂资源的勘探量来看，我们并不需要担心锂资源不够用，但我们依然需要关注区域上的资源约束。

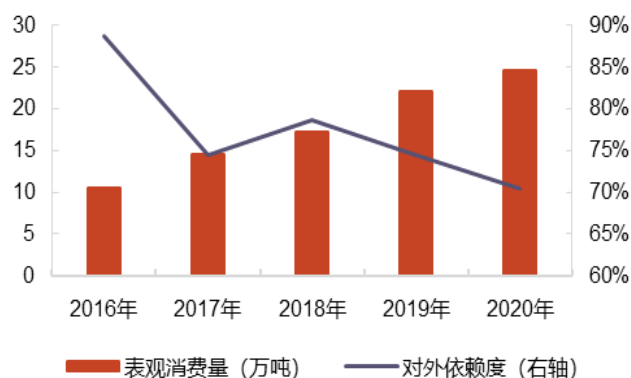
(1) 资源量较高的是盐湖中的锂，如果提纯技术能够进步、生产成本能够降低，问题将能够较好的解决；

图 5：世界锂矿储量和资源量



资料来源：USGS，光大证券研究所

图 6：中国目前锂矿资源对外依赖度

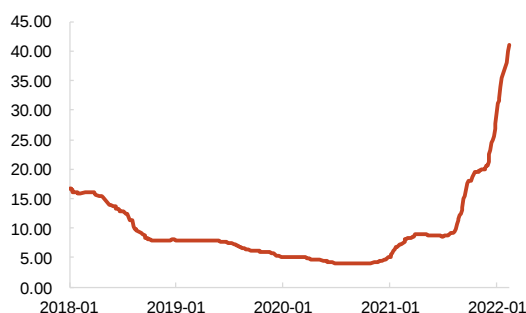


资料来源：USGS；百川盈孚；光大证券研究所

(2) 中国优质的锂资源与世界其他地区相比较少，考虑我国是锂电中游产业链以及下游应用市场核心，因此需要考虑资源掣肘；

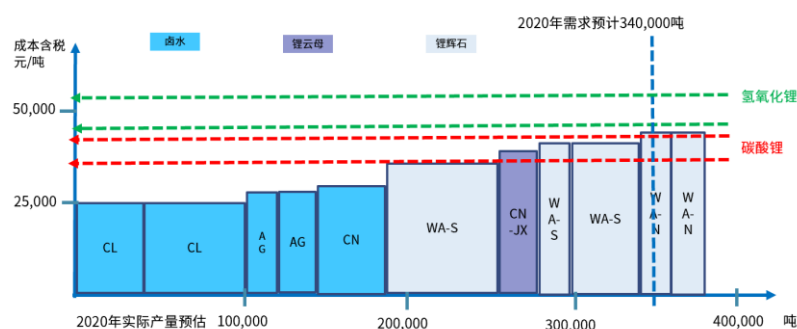
(3) 从锂盐产能、成本分布和锂价趋势看，不同资源禀赋、地区政策导致开采难度和投资、成本不同，未来不同时间、不同区域供需有一定的错配，锂价格大幅波动也在所难免，若锂价大幅上涨，将不利于实现碳中和愿景。

图 7：我国电池级碳酸锂价格走势



资料来源：Wind，2018.01-2022.3，单位：万元/吨

图 8：锂盐产能与成本分布



资料来源：Galaxy Resources

因此，综合考虑环保因素、锂资源区域约束、锂价格因素，对使用过的锂电池进行回收也是一项必要的工作。

1.3、动力电池梯次利用与材料回收市场空间

1.3.1、动力电池报废量及梯次利用量空间预测

我们对未来三元电池的金属回收市场空间及磷酸铁锂电池的梯次利用与回收市场空间设计了测算模型，首先作出如下假设：

(1) 三元电池：

1) 在循环充放电过程中电池容量会逐渐衰减，当衰减至 80% 以下时，便达到退役状态。通常，动力电池的服役年限在 5 年左右。我们假设三元电池与磷酸铁锂电池的有效寿命均为 5 年。因此，截至目前，第一批动力电池已经到达退役年限，今后将迎来较为持续且不断扩大的动力电池回收市场。在此假设下，2014 年装机的三元（磷酸铁锂）电池将在 2019 年全部拆解回收，2015 年装机的三元（磷酸铁锂）电池将在 2020 年全部拆解回收，以此类推。

2) 对退役三元电池的处理主要采取拆解回收的方式。拆解回收主要是对正极材料中的钴、镍、锰、锂等金属材料的回收再利用，而正极材料又分为 NCM333、NCM523、NCM622、NCM811 等，且不同的技术路线能量密度不同。随着三元电池行业的发展，高镍、无钴成为主要发展趋势，依据鑫椤锂电三元电池类型占比，我们对未来年份正极材料各金属占比进行假设，并进行测算。

表 1：三元正极各类型材料占比假设

正极材料占比	2014E	2015E	2016E	2017E	2018E	2019E	2020E	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
NCM333	100%	100%	51%	41%	15%	8%	5%	0%	0%	0%	0%	0%
NCM523	0%	0%	49%	50%	69%	62%	53%	48%	38%	35%	35%	33%
NCM622	0%	0%	0%	9%	14%	19%	20%	20%	23%	23%	21%	21%
NCM811	0%	0%	0%	0%	2%	11%	22%	32%	39%	42%	44%	46%

资料来源：鑫椤锂电，光大证券研究所假设

表 2：不同三元电池技术路线度电质量

技术路线	三元正极 (kg/kWh)
NCM333	1.96
NCM523	1.86
NCM622	1.66
NCM811	1.55

资料来源：光大证券研究所假设

(2) 磷酸铁锂电池：

1) 2017 年 9 月 28 日，工信部、财政部、商务部等五部门联合公布了《乘用车企业平均燃料消耗量与新能源汽车积分并行管理办法》即“双积分”政策，强调提高新能源车电池能量密度。由于磷酸铁锂电池能量密度的劣势，其市场竞争力一度下滑。补贴政策退坡后，由于钴价的持续走高，无钴电池受到市场青睐，而高镍三元电池的安全性还有待进一步提升，同时 CTP 技术的不断深化及对低成本电池的需求提升，磷酸铁锂电池重新焕发生机。

2) 磷酸铁锂退役电池宜采用先梯次利用，后拆解回收的处理顺序。目前，回收及梯次利用体系尚不健全，锂元素回收也存在经济性问题，但我们相信，随着政策的支持，以及随着储能市场兴起以及锂资源约束，市场和经济性会逐步好转。

在测算中，我们对梯次利用比例进行了假设，比例从 2019 年的 5%逐步提高到 2030 年的 80%，而对没进入梯次利用体系的磷酸铁锂电池做了相对极端的假设，即假设其进入了拆解及材料回收体系，否则将污染环境，产生环境成本。

表 3：磷酸铁锂电池梯次利用比例假设

	2019E	2020E	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
磷酸铁锂梯次利用比例	5%	12%	19%	25%	32%	39%	45%	52%	59%	66%	73%	80%

资料来源：光大证券研究所假设

3) 我们假设提升前的磷酸铁锂正极度电质量为 2.4kg/kWh，提升后变为 2.3kg/kWh，并假设 17-20 年市场逐步从低能量密度铁锂电池过渡为高能量密度铁锂电池，磷酸铁锂电池报废前后的能量密度不变。

4) 储能是磷酸铁锂电池的应用场景之一，但由于其应用周期较长，一般是 15-20 年以上，故暂时不考虑储能市场磷酸铁锂电池的报废。

5) 对于梯次利用后的磷酸铁锂电池，3 年后再进行拆解回收锂元素。

对于三元电池，我们估算：2021 年国内预计可回收三元正极 1.2 万吨，随后逐年递增至 2030 年的 33 万吨。

表 4：国内退役三元电池正极回收量

单位：万吨	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
NCM333	0.6	1.3	1.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NCM523	0.6	1.5	4.3	5.3	4.8	7.0	8.0	9.0	10.7	12.1
NCM622	0.0	0.2	0.8	1.2	1.5	2.6	4.4	5.4	5.7	6.8
NCM811	0.0	0.0	0.1	0.3	1.4	3.9	6.9	9.1	11.2	14.0
正极回收总量	1.2	3.0	6.1	7.0	7.7	13.6	19.2	23.4	27.6	32.8

资料来源：光大证券研究所测算

根据各类型三元正极测算金属回收量，汇总得到三元电池总的各金属回收量：

- 1) **NCM333**：随着 2014 年安装的 NCM333 三元电池于 2019 年开始退役，2019 到 2022 年 NCM333 回收量逐步增加，2022 年达峰值 1.3 万吨，随后由于 NCM333 的退出而逐步减少，至 2026 年回收量归零；
- 2) **NCM523**：2016 年开始进入市场的 NCM523 于 2021 年开始报废回收，随后回收量于 23-27 年稳定在 4-8 万吨之间，预计 2030 年上涨至 12 万吨；
- 3) **NCM622**：2017 年流入市场的 NCM622 于 2022 年开始报废回收，回收量小幅上涨，直到 27 年上涨幅度增加，预计 2030 年可回收 7 万吨；
- 4) **NCM811**：2018 年流入市场的 NCM811 于 2023 年开始报废回收，预计 2030 年可增长至 14 万吨。

预计 2030 年可回收锂 2.4 万吨，镍 13 万吨，钴 3 万吨，锰 3.6 万吨。

表 5：国内退役三元电池总的各金属回收量

单位：万吨	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
锂回收量	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	2.4
镍回收量	0.3	0.8	1.8	2.2	2.7	5.0	7.3	9.1	10.7	12.9
钴回收量	0.2	0.5	0.8	0.8	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7	3.1
锰回收量	0.2	0.5	1.0	1.1	1.1	1.7	2.2	2.7	3.1	3.6

资料来源：光大证券研究所测算

对于磷酸铁锂电池，我们预测：

- 1) 2030 年，报废铁锂电池将达到 59 万吨；
- 2) 随着梯次利用逐年上升，预计 2030 年可梯次利用的铁锂电池达 206GWh,共 47 万吨；其余 12 万吨进行拆解回收，可回收锂元素 0.5 万吨；
- 3) 2027 年梯次利用的磷酸铁锂电池将在 2030 年达到报废标准，此时拆解回收 16.5 万吨，可回收锂元素 0.7 万吨。二者总计可以回收锂元素 1.2 万吨。

表 6：国内磷酸铁锂电池梯次利用与拆解回收量

项目	2019E	2020E	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
磷酸铁锂电池报废总量（万吨）	0.8	3.0	5.2	4.8	5.5	5.4	6.9	17.4	28.0	36.5	48.1	58.6
磷酸铁锂梯次利用量（Gwh）	0.2	1.5	4.1	5.0	7.6	9.2	13.5	39.8	72.3	105.8	154.0	205.7
磷酸铁锂梯次利用量（万吨）	0.04	0.36	0.99	1.21	1.77	2.11	3.09	9.07	16.50	24.12	35.10	46.90
磷酸铁锂拆解回收（万吨）	0.7	2.6	4.2	3.6	3.8	3.3	3.8	8.4	11.5	12.4	13.0	11.7
拆解回收锂元素量（万吨）	0.03	0.12	0.19	0.16	0.17	0.15	0.17	0.37	0.50	0.55	0.57	0.52
梯次利用后磷酸铁锂回收量（万吨）				0.04	0.4	1.0	1.2	1.8	2.1	3.1	9.1	16.5
梯次利用后锂元素回收量（万吨）				0.00	0.02	0.04	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.7
铁锂电池回收锂元素总量（万吨）	0.03	0.12	0.19	0.16	0.18	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	1.0	1.2

资料来源：光大证券研究所测算

1.3.2、动力电池报废及梯次利用市场空间敏感性分析

由于金属价格变动对动力电池回收和梯次利用经济性、市场释放和产值空间有着巨大影响,我们对未来三元电池的金属回收市场空间及铁锂电池的回收与梯次利用市场空间进行了价格敏感性分析,并作出如下假设:

1) 为测算市场空间,我们选取了三个不同时期的金属价格进行敏感性测算,分为高价、低价、均价。其中高价(2022.2.17)与低价采用了2014Q1以来的历史价格进行评估测算。

表 7: 金属价格假设

单位(万元/吨)	高价	低价	均价
Li	193	39	116
Ni	18	6.42	12.21
Co	68.5	19.4	44.0
Mn	4.4	0.9	2.7

资料来源: Wind; 光大证券研究所整理, 价格截至 2022.2.17, 均值为最高价与最低价的平均值

2) 进行敏感性分析时,我们在改变金属市场价格的同时,三元电池正极材料占比与磷酸铁锂电池梯次回收比例不变。

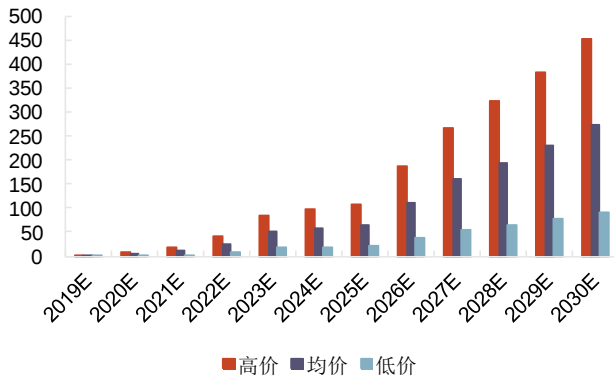
3) 我们假设磷酸铁锂电池的每瓦时价格从 2014 年的 2.71 元/Wh 降低至 2025 年的 0.55 元/Wh, 其中 21-25 年降低速度逐渐减慢。梯次利用的残值价格分为高(40%)、中(30%)、低(20%)三档分别进行残值折算。

表 8: 磷酸铁锂电池每瓦时价格预测

均价(元/wh)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
磷酸铁锂动力电池	2.71	2.55	2.38	1.69	1.25	0.99	0.79	0.71	0.64	0.61	0.58	0.55

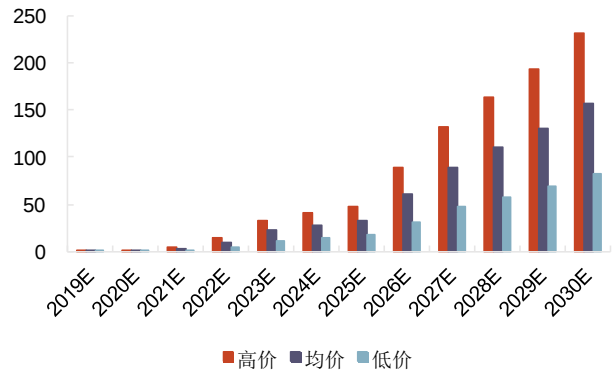
资料来源: CIAPS, 光大证券研究所假设

图 9: 我国三元电池锂金属回收市场空间



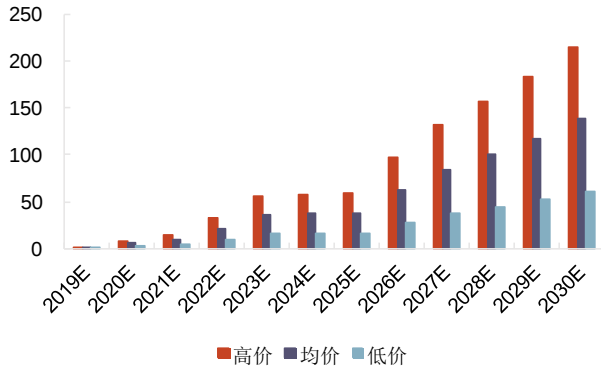
资料来源: Wind, 光大证券研究所测算; 单位: 亿元

图 10: 我国三元电池镍金属回收市场空间



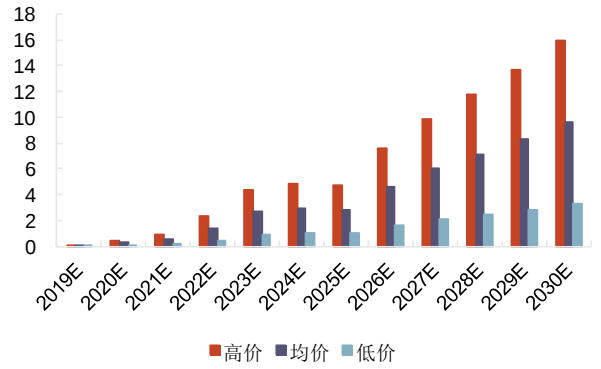
资料来源: Wind, 光大证券研究所测算; 单位: 亿元

图 11：我国三元电池钴金属回收市场空间



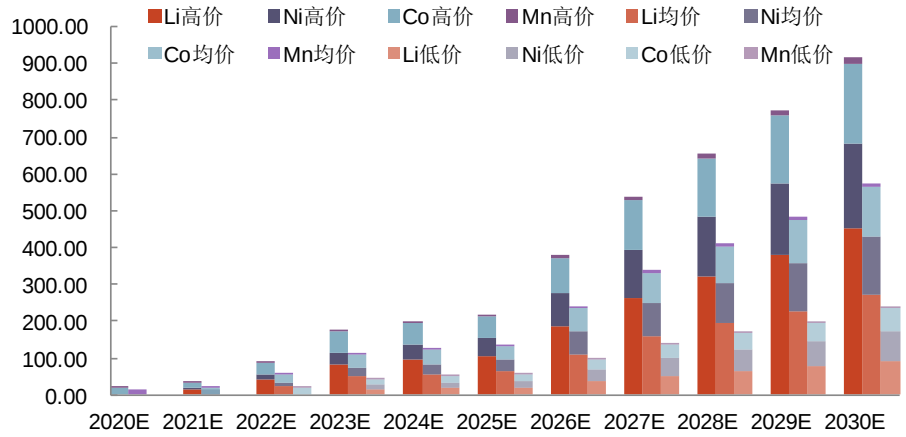
资料来源：Wind，光大证券研究所测算；单位：亿元

图 12：我国三元电池锰金属回收市场空间



资料来源：Wind，光大证券研究所测算；单位：亿元

图 13：我国三元电池金属回收市场预测



资料来源：光大证券研究所测算；单位：亿元

在金属处于高价时，2030 年三元电池锂/镍/钴/锰回收市场空间预计 454/232/215/16 亿元。在金属处于低价时，2030 年三元电池锂/镍/钴/锰回收市场空间预计 92/83/61/3 亿元。在金属处于均价时，2030 年三元电池锂/镍/钴/锰回收市场空间预计 273/157/138/10 亿元。**2030 年三元电池金属合计回收空间在均价情况下将接近 600 亿元。**

表 9：三元电池金属回收市场空间

市场空间 (亿元)	2020E	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
Li 高价	8	17	42	85	97	107	188	265	324	382	454
Ni 高价	2	5	14	33	40	48	90	132	163	193	232
Co 高价	8	14	32	56	58	59	97	131	158	184	215
Mn 高价	1	1	2	4	5	5	8	10	12	14	16
Li 低价	2	3	8	17	20	22	38	54	65	77	92
Ni 低价	1	2	5	12	14	17	32	47	58	69	83
Co 低价	2	4	9	16	16	17	27	37	45	52	61
Mn 低价	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3
Li 均价	5	10	25	51	58	64	113	159	195	230	273
Ni 均价	1	4	10	22	27	33	61	89	111	131	157
Co 均价	5	9	21	36	37	38	62	84	101	118	138
Mn 均价	0	1	1	3	3	3	5	6	7	8	10

资料来源：光大证券研究所测算

在中残值下，2030 年铁锂电池梯次利用市场空间预计 339 亿元，高残值时预计 451 亿元，低残值时预计 226 亿元。中残值情况下，2020-2030 年铁锂电池梯次利用累计市场空间将超 1100 亿元。

表 10：磷酸铁锂电池梯次利用市场空间

市场空间（亿元）	2020E	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
高残值	15	39	34	38	36	43	113	185	257	356	451
中残值	12	29	25	29	27	32	85	139	193	267	339
低残值	8	20	17	19	18	21	57	93	129	178	226

资料来源：光大证券研究所测算

在锂金属处于均价时，2030 年磷酸铁锂电池锂元素回收市场空间预计 144 亿元，低价时预计 48 亿元，高价时预计 240 亿元。2020-2030 年磷酸铁锂电池锂累计回收市场空间在均价情况下将达到 579 亿元。

表 11：磷酸铁锂电池锂金属回收市场空间

市场空间（亿元）	2020E	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
高价	22	36	31	35	36	42	86	115	132	187	240
低价	5	7	6	7	7	9	17	23	27	38	48
均价	14	22	19	21	22	25	52	69	79	113	144

资料来源：光大证券研究所测算

2、聚焦产业链：应当如何回收动力电池？

2.1、政策正在完善，标准、价格是核心掣肘

2016 年 12 月，工信部发布《新能源汽车动力蓄电池回收利用管理暂行办法》（征求意见稿），明确了汽车生产企业承担动力蓄电池回收利用主体责任。生产者责任延伸制度（EPR）是指将生产者的责任延伸到产品的整个生命周期，特别是产品消费后的回收处理与再生利用阶段，要求生产者在产品全生命周期担责，把生产和回收串联起来，提升回收利用率。

2018 年 7 月，工信部、科技部等七部门联合印发《关于做好新能源汽车动力蓄电池回收利用试点工作的通知》，决定在京津冀地区、山西、上海、江苏、浙江、安徽、广东等 17 个地区及中国铁塔开展新能源汽车动力蓄电池回收利用试点工作，并确定各试点地区相应的目标任务，这有助于建立相对集中、跨区联动的回收体系。随着相关政策的陆续出台，动力电池回收体系也将加速完善。动力电池回收试点工作的开展，标志着我国动力电池回收进入大规模实施阶段。

2020 年 7 月，工信部发布《2020 年工作节能与综合利用工作要点》，要求推动新能源汽车动力蓄电池回收利用体系建设；深入开展试点工作，加快探索推广技术经济性强、环境友好的回收利用市场化模式，培育一批动力蓄电池回收利用骨干企业；研究制定《新能源汽车动力蓄电池梯次利用管理办法》，建立梯次利用产品评价机制；依托“新能源汽车国家监测与动力蓄电池回收利用溯源综合管理平台”，健全法规，督促企业加快履行溯源和回收责任。动力电池回收体系的评价机制及法律法规的完善，标志着我国动力电池回收体系框架正在日趋成熟。

表 12：动力电池梯次利用及材料回收法律框架体系

时间	发布主体	政策名称	主要内容
2009.6	工信部	《新能源汽车生产企业及产品准入管理规则》	新能源汽车生产企业准入条件及审查要求应当建立完整的销售和售后服务管理体系，包括整车和零部件（如电池）回收，并有能力实施。
2012.4	国务院	《节能与新能源汽车产业发展规划（2012-2020）》	五大重点任务之一：加强动力电池梯级利用和回收管理。
2014.7	国务院	《关于加快新能源汽车推广应用的指导意见》	在“加快售后服务体系建设”环节，提出“研究制定动力电池回收利用政策，探索利用基金、押金、强制回收等方式促进废旧动力电池回收，建立健全废旧动力电池循环利用体系。”
2015.1	工信部	《新能源汽车废旧动力蓄电池综合利用行业规范条件》	新建、改扩建废旧动力蓄电池综合利用企业应努力提高废旧动力蓄电池中相关元素再生利用水平。
2015.9	国家发改委、工信部	《电动汽车动力蓄电池回收利用技术政策（2015 年版）》	落实生产者责任延伸制度。废旧动力蓄电池的利用应遵循先梯级利用后再生利用的原则，提高资源利用率。
2016.12	国务院	《生产者责任延伸制度推行方案》	明确建立电动汽车动力蓄电池回收利用体系。
2017.2	工信部、科技部、环保部等七部门	《新能源汽车动力蓄电池回收利用管理暂行办法》	鼓励电池生产企业与综合利用企业合作，在保证安全可控前提下，按照先梯次利用后再生利用原则，对废旧动力蓄电池开展多层次、多用途的合理利用。
2017.5	国家标准化委员会	《车用动力蓄电池回收利用拆解规范》	2017 年 12 月 1 日正式实施，明确指出回收拆解企业应具有相关资质，进一步保证了动力电池安全、环保、高效的回收利用。
2017.7	国家标准化委员会	《电动汽车用动力蓄电池产品规格尺寸》、《汽车动力蓄电池编码规则》、《车用动力蓄电池回收利用余能检测》	2018 年 2 月实施，使动力电池产品规格尺寸、编码规则和回收利用余能检测有标准可依。
2018.7	工信部	《新能源汽车动力蓄电池回收利用溯源管理暂行规定》	要求建立“新能源汽车国家监测与动力蓄电池回收利用溯源综合管理平台”。
2019.11	工信部	《新能源汽车动力蓄电池回收服务网点建设和运营指南（征求意见稿）》	明确指出，新能源汽车生产及梯次利用等企业应按照国家有关管理要求建立回收服务网点，新能源汽车生产、动力蓄电池生产、报废机动车回收拆解、综合利用等企业可共建、共用回收服务网点。
2019.12	工信部	《新能源汽车废旧动力蓄电池综合利用行业规范条件（2019 年本）》《新能源汽车废旧动力蓄电池综合利用行业规范公告管理暂行办法（2019 年本）》	明确指出，综合利用是指对新能源汽车废旧动力蓄电池进行多层次、多用途的合理利用，主要包括梯级利用和再生利用，让动力电池回收体系更加完善安全。
2020.3	工信部	《2020 年工作节能与综合利用工作要点》	推动新能源汽车动力蓄电池回收利用体系建设。深入开展试点工作，加快探索推广技术经济性强、环境友好的回收利用市场化模式，培育一批动力蓄电池回收利用骨干企业。建立梯次利用产品评价机制，健全法规，督促企业加快履行溯源和回收责任。
2021.6	国家能源局	《新型储能项目管理规范（暂行）（征求意见稿）》	在电池一致性管理技术取得关键突破、动力电池性能监测与评价体系健全前，原则上不得新建大型动力电池梯次利用储能项目。
2022.1	工业和信息化部、科技部、生态环境部、商务部、市场监管总局	《新能源汽车动力蓄电池梯次利用管理办法》	鼓励采用先进适用的工艺技术及装备，对废旧动力蓄电池优先进行包（组）、模块级别的梯次利用，电池包（组）和模块的拆解符合《车用动力蓄电池回收利用拆解规范》的相关要求。鼓励梯次利用企业研发生产适用于基站备电、储能、充换电等领域的梯次产品。鼓励采用租赁、规模化利用等便于梯次产品回收的商业模式。

资料来源：工信部等，光大证券研究所整理

虽然顶层设计逐步在完善，但目前动力电池回收受到以下三个问题的掣肘，使政策开展较为困难：

1. 电池残值量的测量标准难以估计：动力电池在循环充放电过程中电池容量会逐渐衰减，当衰减至 80% 以下时，便达到退役状态。而目前对于动力电池的健康度 SOH（State-of-health）有很多定义标准，包括根据容量衰减定义、根据剩余放电量定义、根据剩余循环次数定义以及根据内阻定义。因此政策制定者对于动力电池残值剩余量的测定标准存在一定困难。

2. 金属价格波动影响材料回收经济性：金属价格的波动会最终决定动力电池回收市场的盈亏，而金属价格又是受资源供给、技术进步、下游市场综合因素所影响，存在技术周期、产能周期，故金属价格是动力电池回收的市场驱动的决定性要素，既影响动力电池的商业模式，也影响政策制定和执行的有效性。

3. 梯次利用技术标准：对于磷酸铁锂电池一个重要的回收方式就是梯次利用，梯次利用方式、安全性等因素困扰着标准制定，标准过高会造成梯次利用市场的萎缩，标准过低又不利于梯次利用市场长期发展。

因此，这些问题都需要在实践中不断总结、不断反馈，进一步完善政策标准、以及商业模式。

2.2、动力电池回收渠道与再生利用方法论

动力电池的回收过程中有不同的参与主体和回收路径，这主要是由于不同动力电池间存在销售方式、使用形式、所有权归属的不同。目前我国，动力电池的回收渠道主要有小型回收公司、专业回收公司、政府回收中心。近年来，为规范动力电池回收市场，我国相继出台了动力电池拆解回收相关技术标准：

表 13：国家标准主要技术内容

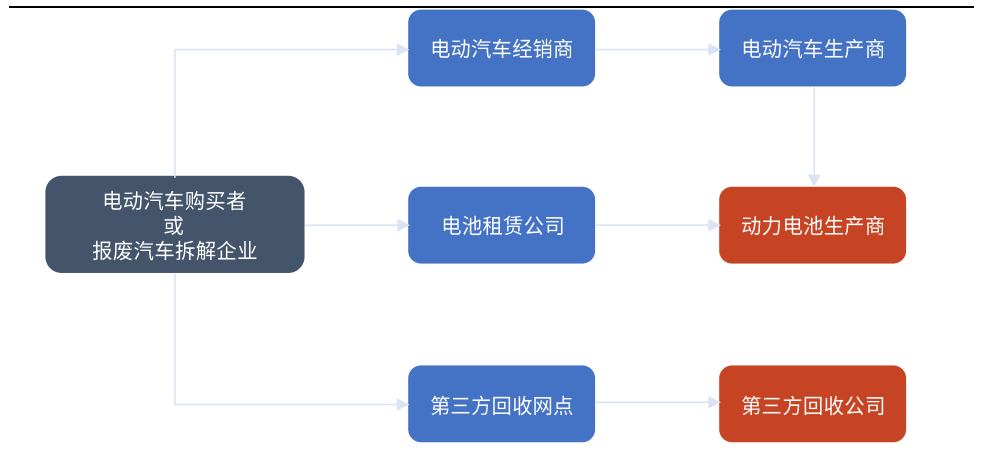
处理程序	内容
预处理	1.采集废旧动力电池的型号、制造商、电压、标称容量、尺寸及质量等信息；2.对液冷动力电池进行排空收集冷却液；3.对废旧动力电池包组应进行绝缘检测，并进行放电或绝缘等处理；4.拆除废旧动力电池外接导线及脱落的附属件；5.粘贴回收追溯码（如电池已使用符合 GB/T 34014—2017 要求的编码可省略贴码步骤），将预处理采集信息录入回收追溯系统
动力电池包组拆解	1.将动力电池包组起吊至拆解工装台；2.拆除动力电池包组外壳；3.外壳拆除后,应先拆除托架、隔板等辅助固定部件；4.拆除高压线束、线路板、电池管理系统、高压安全盒等功能部件；5.拆除相关固定件、冷却系统等部件，移除模块（为保证安全，编制说明已明确说明不应采用手工取出方式）
动力电池模块拆解	1.将动力电池模块起吊至拆解工装台或模块拆解设备进料口；2.拆除电池模块外壳；3.外壳拆除后，拆除导线、连接片等连接部件，分离出电池单体（标准编制说明推荐模块级操作全部采用机械手完成）

资料来源：北极星储能网，光大证券研究所整理

参考欧美发达国家的电池回收路径，动力电池生产商往往承担电池回收的主要责任，而参与主体中的电动汽车生产商和电池租赁公司起到配合动力电池生产商回收的作用。根据动力电池从消费者回收至动力电池生产商的路径经过的参与主体差异，理论上可分为三种回收路线。

第一种回收路径为废旧动力电池通过电动汽车经销商回收；第二种回收路径为通过电池租赁公司回收，废旧动力电池经过上述两种回收路径最终流向动力电池生产商（部分生产商也可以联合形成生产商联盟）进行回收处理；第三种回收路径最终流向为第三方回收公司回收处理，但是第三方回收公司需要依靠自主建立的动力电池的回收网点。

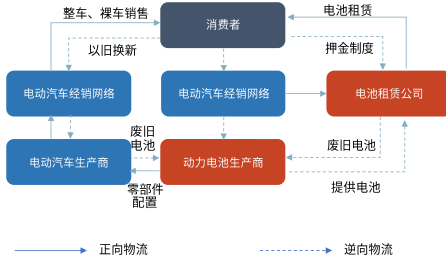
图 14：动力电池回收路线



资料来源：《电动汽车动力电池回收模式研究》，侯兵，2015；光大证券研究所整理

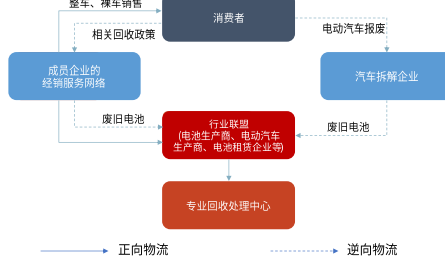
具体的，根据上述三种回收路线，参考逆向物流理论，可以建立不同的动力电池回收路径模式。分别是以日本为代表的动力电池生产商回收模式（包括经过电动汽车经销商、电池租赁公司）、以欧美国家为代表的行业联盟回收模式（动力电池生产商联合形成回收联盟）以及第三方回收模式。对于不同类型的公司，由于公司现状存在差异，需要根据实际情况，选择不同的回收路径模式使得利益最大化。

图 15：动力电池生产商回收路径模式



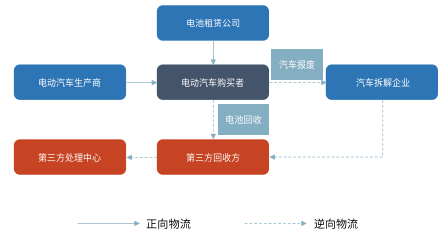
资料来源：《电动汽车动力电池回收模式研究》，侯兵，2015

图 16：行业联盟回收路径模式



资料来源：《电动汽车动力电池回收模式研究》，侯兵，2015

图 17：第三方回收路径模式



资料来源：《电动汽车动力电池回收模式研究》，侯兵，2015

2.2.1、磷酸铁锂电池的梯次利用和金属回收

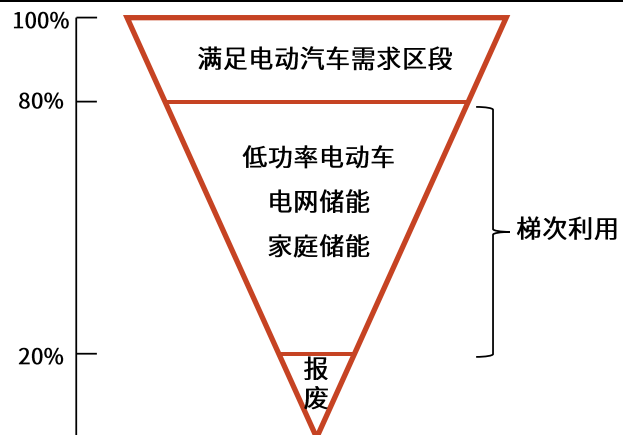
磷酸铁锂电池回收后两大利用途径：梯次利用与拆解回收，这两个途径并不是排斥关系，而是互补关系。

废旧电池梯次利用是指动力电池在达到设计使用寿命时，通过修复、改装或再制造等方法使其能够在合适的工作位置继续使用的过程，而这个过程一般是同级或降级的应用形式。

废旧电池的拆解回收则主要指通过化学、物理或生物手段拆解废旧电池并回收其中的可利用资源。2017 年 2 月，国家出台的《新能源汽车动力蓄电池回收利用管理暂行办法》提到，鼓励电池生产企业与综合利用企业合作，在保证安全可控前提下，按照先梯次利用后再生利用原则，对废旧动力蓄电池开展多层次、多用途的合理利用。

废旧磷酸铁锂动力电池回收后先梯次利用，后拆解回收，将最大化电池的退役后价值。动力电池的性能会随使用次数的增加而衰减，但当动力电池不能达到电动汽车的使用标准而退役时，其性能（电池容量）往往只下降到原性能的 80%。在电池性能仍维持在 80%-20%时，退役的动力电池可以经过相关的检测评价依次用于低功率电动车、电网储能、家庭储能领域。而当电池性能下降至 20%时，可以对其进行报废处理。

图 18：磷酸铁锂电池应用区段



资料来源：郭京龙等《动力电池梯次利用进展研究》，光大证券研究所整理

现行条件下，退役动力电池梯次利用在技术、市场上仍然存在较大的难度。

(1) 技术角度看，动力电池与储能电池遵循的技术标准不同、储能领域对电池的温度性能要求高，而部分退役的动力电池可能达不到储能电池的使用要求、基于容量衰减机理分析建立电池寿命预测模型还不完善，造成梯度利用退役动力电池在评价检测环节出现困难。

(2) 市场角度看，建立梯次利用逆向物流系统较为复杂，中间涉及的环节较多，比直接的物理、化学、生物拆解回收复杂、消费者心理上对梯次利用电芯的市场接受度较低。

相较于梯次利用，退役动力电池拆解回收在技术上则相对成熟。废旧的动力电池处理技术可以分为物理法、生物法及化学法；物理方法包括破碎浮选法和机械研磨法，但其分离效率极低，有价金属回收一般还需要后续的处理流程；生物法利用微生物分解代谢，实现金属离子的选择性浸出与回收，但是生物法基本还停留在实验室研究侧层面，离大规模应用有一定距离。

拆解回收的主流方法基本上属于化学法，包括三种处理工艺，火法处理、湿法处理、电极修复再生。火法处理是一种比较初级的废物处理方法，主要原理是将电池拆解或破碎后高温焚烧使电池内的有机物氧化分解，电极材料和包装材料中的金属元素转变为稳定的金属氧化物，然后再进行分离回收。湿法处理工艺的相关研究开展较多，主要原理是利用酸液和碱液将电极材料溶解，然后在液相中实现各元素的分离和提纯。电极修复再生工艺是近些年兴起的处理工艺，将废旧锂离子电池中的电极材料拆解分离，使用电化学或物理化学等方法处理，恢复其受损的结构、电化学性能，使得材料可以再次用于使用场合或作为制备新的电极材料的前驱体。

图 19：废旧磷酸铁锂电池回收和再生流程图



资料来源：光大证券研究所整理

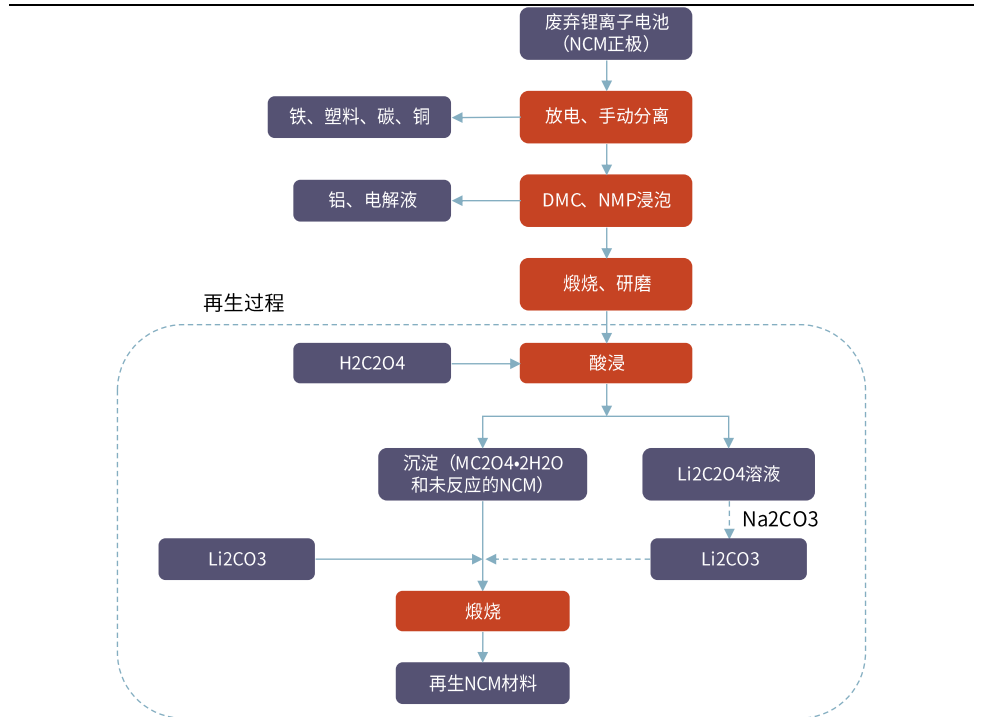
2.2.2、三元电池正极材料回收与再生

目前，三元正极材料回收与再生的技术路线主要分以下两种形式：

物理修复再生，对只是失去活性锂元素的三元正极材料，直接添加锂元素并通过高温烧结进行修复再生；对于严重容量衰减、表面晶体结构发生改变的正极材料，进行水热处理和短暂的高温烧结再生；

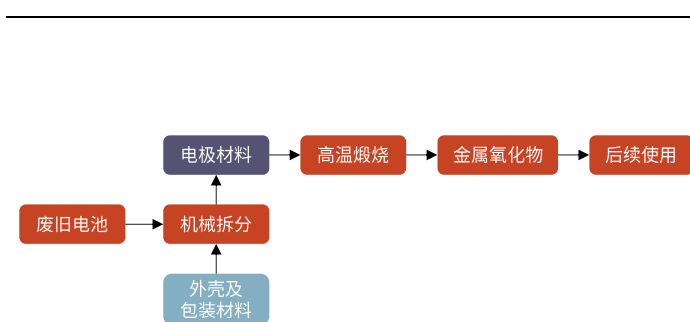
冶金法回收，主要有**火法**、**湿法**、**生物浸出法**三种方式。其中火法耗能高，会产生有害成分损失，且产生有毒有害气体；生物浸出法处理效果差，周期较长，且菌群培养困难；相比之下，湿法具有效率高、运行可靠、能耗低、不产生有毒有害气体等优点，因此应用更普遍。

图 20：废旧三元电池（NCM）回收和再生过程流程图



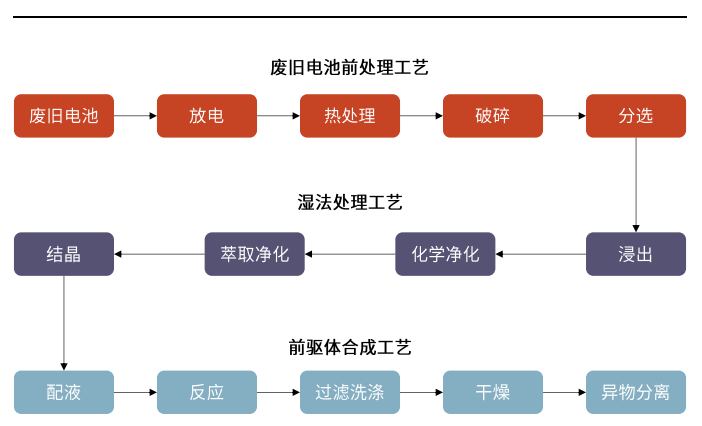
资料来源：光大证券研究所整理

图 21：火法处理流程图



资料来源：赵翔宇《废旧磷酸铁锂电池回收处理的研究》，光大证券研究所整理

图 22：湿法处理流程图



资料来源：宁德时代公司公告，光大证券研究所整理

2.2.3、负极材料回收与再生

锂电池负极材料的种类繁多：（1）金属材料，如锂金属。（2）无机非金属材料，主要是碳材料、硅材料及其他非金属的复合材料。（3）过渡金属氧化物。

目前应用较多的是碳、石墨类和非石墨类碳材料。钛酸锂因具有非常优异的循环寿命、安全性和倍率性能，也可作为负极材料在电动汽车上使用，主要的缺点是会降低电池的能量密度。也有一些公司开发锡合金作负极材料，但仍处于研究阶段，应用较少。

目前锂离子电池石墨负极回收方法主要包括直接物理回收、热处理、湿法冶金、热处理与湿法冶金相结合、萃取和电化学方法等。

表 14：锂离子电池石墨负极主要回收方法

方法	特点
浮选法	以同时回收正极和负极为目标，提高了回收的效率，但是回收的产物纯度不足以满足商业应用。
热处理法	可有效再生石墨，但该过程能源成本高，聚合物分解会产生有毒气体，需要安装尾气吸收装置。该过程无法实现高附加值锂资源的回收。
湿法冶金	是提取正极高价过渡金属(如钴和镍)的常用方法，对于负极高价值锂的提取同样适用。但是由于 LiF 等难溶锂盐的存在，该过程消耗大量的强酸(硫酸，盐酸)并会产生毒性更强的氢氟酸，废酸的排放将对环境造成严重污染。
电化学法	将石墨和铜箔的分离及锂资源的回收相结合，简化了回收流程和成本，但由于未考虑黏结剂及导电剂的去除，因此回收的石墨纯度不足。

资料来源：李东旭《废旧锂离子电池负极材料再生和利用进展》

近年来，锂离子电池石墨负极材料的回收已取得了初步进展，回收负极可以在一定程度上缓解电池回收的成本压力。石墨矿只能生产 90%到 98%的片状石墨，并且需要较为复杂(粉碎分类-改性或造粒-石墨化等)的流程及高温(2500~3000℃)条件才能将片状石墨升级为电池级球形石墨。考虑到从石墨矿中获得电池级石墨需要复杂而昂贵的技术，从废旧电池中再生石墨是更经济的选择。

目前针对废旧锂离子电池负极材料的回收工作,虽然整个回收体系已初步完善,但也存在很多不足：

- 1) 现阶段回收的负极材料再利用方向主要是制备石墨烯或新的电池材料,但大多停留于研究阶段,难以在工业上大规模应用,仍需开发新技术以实现其经济价值。
- 2) 部分回收方法对环境污染严重，或回收所得石墨纯度不高，仍需开发更环保、更高效的回收工艺。

2.2.4、电解液回收与再生

如今有关废旧锂离子电池处理工艺的研究大多集中在贵金属方面，镍、钴、锰、锂等金属资源因其自身的经济价值而受到多数回收企业的重视。

而电解液由于成分复杂，并且易水解难回收，一般采用焚烧的办法来处理，但是焚烧会带来重大的污染问题。另外，电解液本身也具有回收价值，因此，回收利用电解液是值得深入探讨的重要课题。

市面上常用的锂离子电池体系中，液态电解液占主流地位，一般包括三个部分：有机溶剂、溶质以及少许的添加剂。

表 15：常见电解液的溶剂、溶质及添加剂种类

电解液成分	性质		危害
锂盐	六氟磷酸锂	潮解性强，易溶于水	长期接触对器官造成伤害
	高氯酸锂	易潮解，溶于水和乙醇	对眼睛、皮肤等有刺激性，助燃
有机溶剂	聚碳酸酯（PC）	高抗冲击性，耐受极端温度	
	碳酸乙烯酯（EC）	沸点为 248 摄氏度，试问为结晶固体难	对眼睛有危害，刺激呼吸系统
	碳酸二甲酯（DMC）	溶于水，易溶于有机溶剂	易燃
	氯化乙基汞（EMC）	不溶于水	易燃
添加剂	碳酸亚乙烯酯（VC）	常温常压下稳定	严重损害眼睛
	乙酸乙酯（EA）	无色透明有刺激性气味的液体	易燃，燃烧可生成有毒的 CO
	联苯（BP）	不溶于酸、碱、水，溶于部分有机溶剂	低毒性，对人体有一定刺激性

资料来源：陆剑伟，《锂离子电池电解液的清洁回收利用及废气治理》

废旧锂离子电池电解液的处理大致分为两大技术路线：

(1)**火法处理**，即将电池或破碎后的电池用高温处理，在此过程中若通入空气或氧气，则电解液挥发并被氧化燃烧，烟气必须进行无害化处理。采用这种方法电解液不能回收利用；若此过程在真空下或惰性气体保护下进行，则电解液在高温下分解，一般不能重新用作电解液，但可作为燃料等使用。

(2)**物理法处理**，即采用冷冻、蒸馏、离心、萃取等非破坏性方法将电解液从电池中分离出来，采用这种方法电解液可以回收利用。

由于电解液本身为液态，并吸附在隔膜及电极活性物质中，同时其挥发性较大，而且还存在回收率不高和废液废气二次污染等问题，因而电解液的回收技术难度大，回收成本较高。

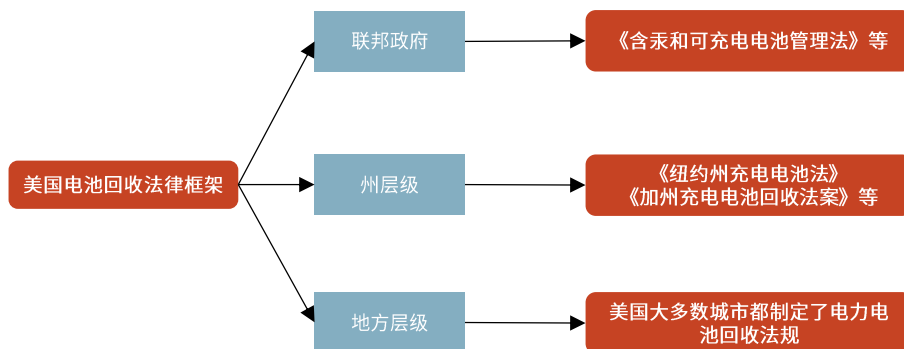
目前处理废旧锂离子电池电解液的绝大多数方法还处于实验室阶段，多为手工操作，应用于生产则还需研发相应的大型自动化处理设备。

2.3、他山之石，海外动力电池回收政策与模式

2.3.1、美国：健全的电池回收法律与回收知识普及

美国废旧电池的回收法律健全，其相关法律法规的体系涉及联邦、州和地方各级。三个层次的法律互相补充、互相规范，从而使得美国的电池回收法律体系完善、全面、具体。

图 23：美国三层次的电池回收法律框架



资料来源：光大证券研究所整理

在联邦政府层级，政府通过颁发许可证用于监管电池制造商和废电池回收公司。

在州层级，大多数州已经采纳了由美国国际电池理事会(BCI)提出的电池回收法规，通过参与废旧电池回收的价格机制来指导零售商和消费者。例如，《纽约州可充电电池法》和《加州可充电电池回收法案》要求可充电电池零售商回收消费者的一次性可充电电池而不收取任何费用。

在地方法级，美国大多数城市已经制定了电力电池回收法规，以减轻废旧电池的环境危害。美国国际电池理事会颁布了《电池产品管理法》，该法案创建了一个电池回收押金制度来鼓励消费者收集和交还用过的电池。

美国废旧电池的回收知识普及机构众多，国民回收意识普遍较强。以美国国家国际电池理事会为例（BCI）为例，作为一个权威的电池回收第三方组织，该组织不仅统筹各州的电池回收，并且具体细化到了电池回收的分类流程、规范等知识的普及。BCI 在其官网有大量的文件与图片用于指导个人、企业的电池回收，并且，由于铅酸电池和锂电池的回收处理方式不同，BCI 的流程指导甚至包括了指导回收电池中个人、企业对于铅酸电池和锂电池的区分。

2.3.2、欧盟：《电池法（草案）》规定最低回收材料使用比例、生产者责任延伸制度

欧盟是最早关注电池回收并采取措施的地区。1991 年推出《含有某些危险物质的电池与蓄电池指令》，规定了这些电池需要单独回收。欧盟在 3C 电池，铅酸电池的回收方面起步较早，积累了很多相关经验。2006 年出台废旧电池处理和回收政策（2006/66/EC），形成由动力电池生产企业来承担回收主体的配套体系（生产者责任延伸制）。

欧盟于 2020 年 12 月发布《电池法（草案）》，旨在取代电池指令（2006/66/EC），原定 2022 年 1 月生效，但截至 2022 年 3 月 1 日仍在审理流程中。该法案规定了电池的可持续性、安全性和标签要求，并着重提及了废电池的收集、处理和回收。

图 24：欧盟新《电池法（草案）》



资料来源：欧盟官网，光大证券研究所

图 25：欧盟新《电池法（草案）》最新审理进度



资料来源：欧盟官网，光大证券研究所

该《电池法（草案）》提到的电池回收重要条目如下：

(1) 第 8 条：电池材料中再生原材料含量要求。

自 2027 年 1 月 1 日起，包含钴、铅、锂、镍等活性元素的储能和动力电池，其技术文件应包含关于已回收的上述材料数量的信息。

截至 2030 年 1 月 1 日，电池材料所使用的再生原材料最低含量(the minimum share of recovered cobalt, lead, lithium or nickel from waste of the cobalt, lead, lithium or nickel) 应满足如下要求：

- 12%钴
- 4%锂
- 4%镍
- 85%铅

截至 2035 年 1 月 1 日，电池的钴、锂、镍再生原材料含量将增加到

- 20%钴
- 10%锂
- 12%镍
- 85%铅

(2) 第 47 条：生产者责任延伸制度。要求电池生产商履行废物管理义务，包括：

- 资助和组织废电池的收集与处理
- 向主管当局报告
- 促进电池的单独收集
- 提供电池报废方面的信息

(3) 第 49 条：厂商组织回收废电池的要求

该条规定汽车电池、工业电池和电动汽车电池厂商有责任组织收集废弃电池。

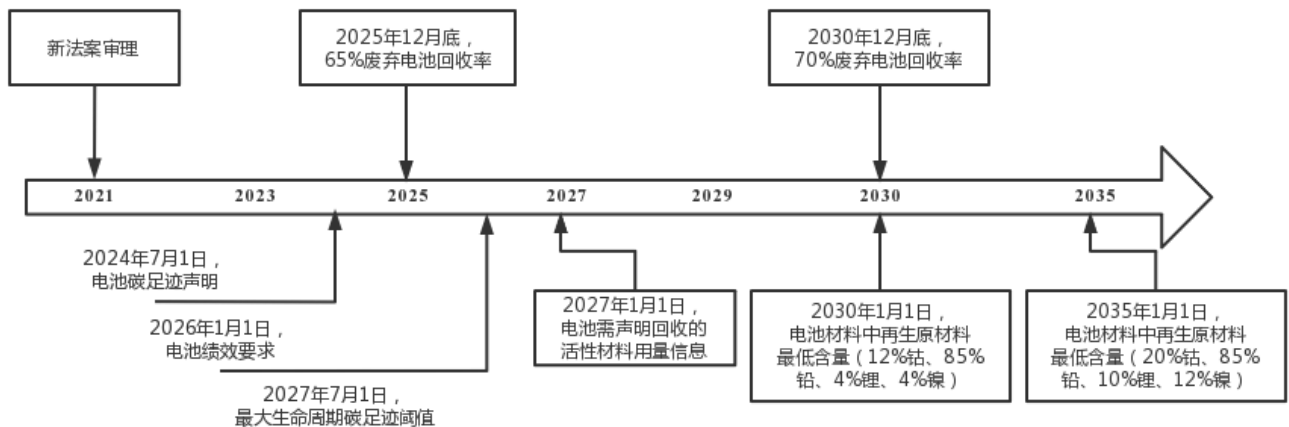
- 收集应是免费的，最终用户没有义务购买新电池
- 生产商应与此类电池、废弃电气和电子设备以及报废车辆处理和回收设施的经销商、公共机构和代表他们进行废物管理的第三方合作，从最终用户或回收站点回收废弃汽车电池、工业电池和电动车辆电池

(4) 第 55 条：废弃便携式电池的回收率

要求成员国逐步提高废弃便携式电池（不包括目前轻型运输工具中的废弃电池）的收集率。

- 到 2025 年底，收集 65%的废弃便携式电池
- 到 2030 年底，收集 70%的废弃便携式电池

图 26：欧盟新《电池法（草案）》重要规定时间轴



资料来源：欧盟官网，光大证券研究所

以德国为例，生产者责任意识与回收分工明确是源动力，对于动力电池回收的重视，使得德国在电池回收的法律制度、责任分工、技术路线等方面都取得了显著的成就。

责任、义务、法律三者之间的互相融合贯穿，是德国完整的动力电池回收系统的基础。德国政府根据《废物框架指令》(Directive 2008/98/EC)、《电池回收指令》(Directive 2006/66/EC)、《报废汽车指令》(Directive 2000/53/EC)等指令，颁布了《回收法》、《电池回收法》、《报废汽车回收法》等一系列相关回收法律。

在相关法律框架的约束下，德国的废旧电池回收系统具有明确的分工。产业链中的生产者、消费者和回收者都有相应的责任和义务。电池生产商生产或进口电池需要在政府进行登记，下游经销商需要负责构建电池回收网络，用户同样有义务将废旧电池交还相应的回收机构。

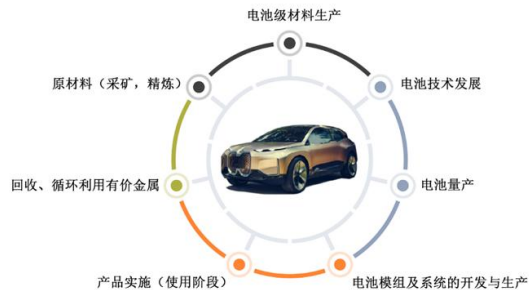
图 27：德国动力电池回收体系



资料来源：光大证券研究所整理

此外，德国在动力回收非常强调“生产者责任延伸制度”。例如，大众、宝马等新能源汽车制造商积极回收废旧电池。其中，宝马致力于通过建立产业闭环实现动力电池价值链，在这一价值链中，从电池生产的原材料、电池研发、电池生产、电池装机，至电池回收利用得到有价值的电池生产原材料，形成了闭环，实现动力电池的价值最大化。同时，BMW 也与优美科、Vattenfall、Bosch、NextEra 等进行合作，致力于探讨退役动力电池在储能系统中的梯次利用。宝马已经成功地利用宝马 i3 和 MINI E 原型车的废旧动力电池实现了储能电网稳定。其位于宝马集团莱比锡工厂的能量储存场共储存了 700 节宝马 i3 电池，展示了在汽车电池使用寿命结束时，可以通过给电池第二次使用寿命(作为可持续能源模式的一部分)来实现利润。

图 28：宝马集团电池价值链形成产业闭环



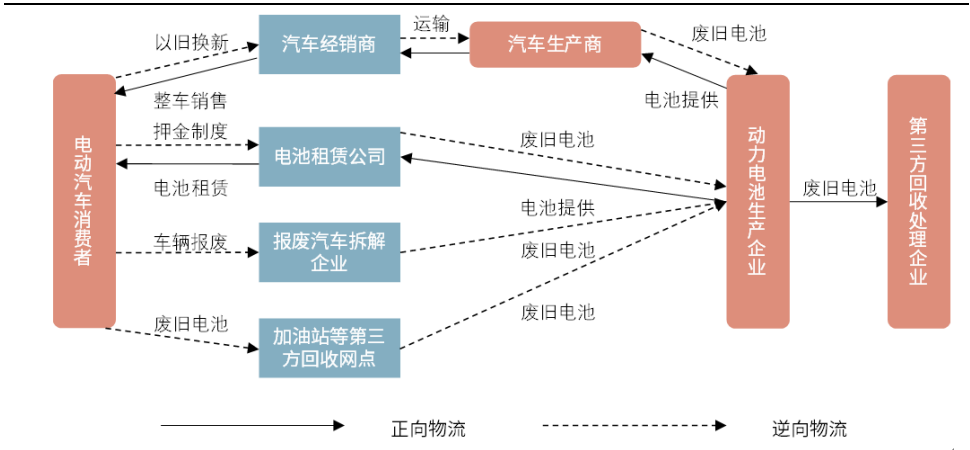
资料来源：美国国际电池理事会（BCI）官网，光大证券研究所

2.3.3、日本：“未雨绸缪”发展下的动力电池回收模式

受原材料短缺的影响，日本在废旧电池回收方面处于全球领先地位。日本的电池回收体系构建时间较早，在 1994 年时，日本已经开始推行电池回收计划，并建立了“电池生产-销售-回收”的回收体系。发展至今，日本已经建立了主要由电池企业主导构建，以“逆向物流”为思路的回收渠道。该回收渠道由电池生产商利用零售商家、汽车销售商和加油站等的服务网络,免费从消费者那里回收废旧电池,再交给专业的电池回收利用公司进行处理。

为了规范废旧电池回收行业的发展，日本从基本法、综合法、特别法三个层面出台了相应的法律法规，并且鼓励汽车制造商关注与汽车电池回收技术相关的资源回收研究。丰田、日产和三菱等汽车制造商都积极投资于电池回收的研究和开发以响应日本政府的“新能源汽车制造商有义务对废旧电池进行回收处理”理念。

图 29：日本动力电池回收体系



资料来源：光大证券研究所整理

同时，日本频繁的自然灾害促使了应急电源的使用，促进了退役动力电池在该领域上的梯次利用。除了传统的汽车生产企业投身于梯次利用，日本涌现了一批以“4R Energy”为代表的致力于退役电池梯次利用（特别是在应急电源、储能等方面）的公司，该类型公司遵从着较好的回收理念，比如 4R 公司提出的“再利用、再转售、再制造、再循环”的回收理念，有很好的现实意义。

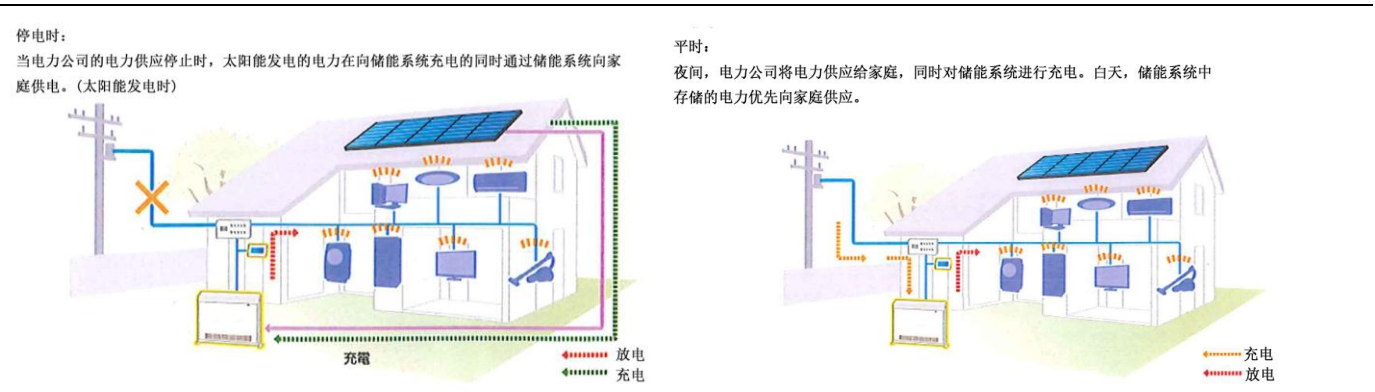
表 16：4R 公司电池回收利用理念（4 个 R）

理念	相关说明
再利用（Reuse）	高剩余容量电池（容量 70-80%）二次利用
再转售（Resell）	根据不同用途重新销售电池
再制造（Refabricate）	电池包分解后重新包装满足不同顾客需求
再循环（Recycle）	回收报废电池中的原材料

资料来源：4R 株式会社官网，光大证券研究所

在梯次利用方面，日本 4R 公司在住宅用途上将高容量退役动力电池与太阳能电池板组合进行能源储藏的技术发展快速，从而给退役电池在住宅停电时作为备用能源、房屋节能等功能上树立了梯次利用的范本。另外，4R 株式会社对于不同电池容量的退役动力电池梯次利用领域进行划分，其中 10-24KWh、100KWh 是当前 4R 公司发展的重点。

图 30：4R 公司在住宅上将退役动力电池与太阳能电池板组合进行能源储存



资料来源：4R 株式会社官网，光大证券研究所

图 31：4R 株式会社对于不同电池容量的退役动力电池梯次利用领域划分

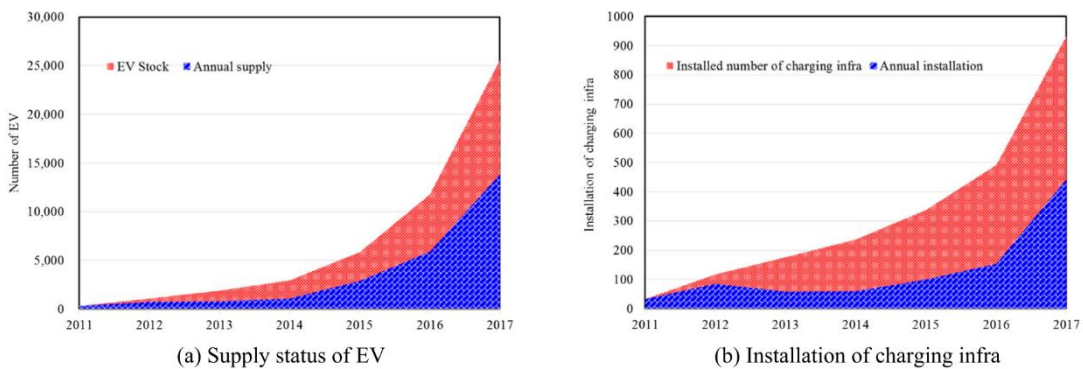


资料来源：4R 株式会社官网，光大证券研究所

2.3.4、韩国：新能源车快速起量，回收模式发展正当时

韩国新能源汽车快速起量，配套的充电桩等产业快速发展，其相应的电池回收也将在近年迎来加速增长，但是，韩国的动力电池回收产业仍不健全，亟待发展。

图 32：韩国新能源汽车快速起量，配套充电桩数量快速增长

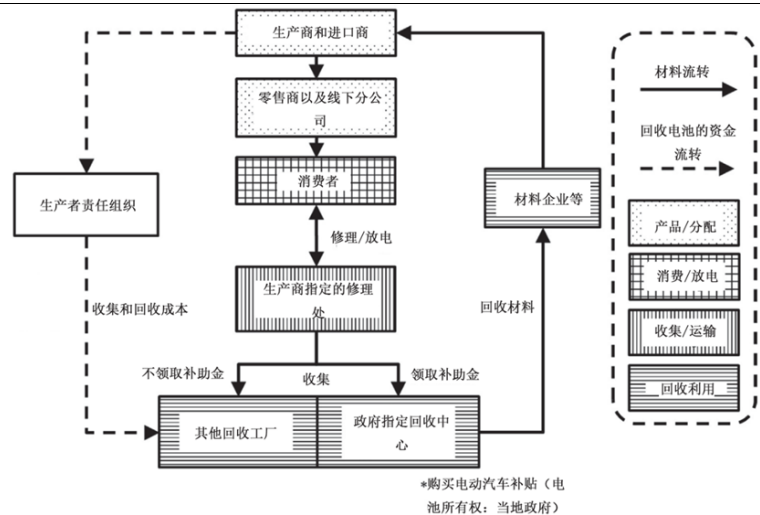


资料来源：Yong Choi, Current status and perspectives on recycling of end-of-life battery of electric vehicle in Korea (Republic of)[J], Waste Management 106 (2020) 261–270，光大证券研究所

根据韩国的《清洁空气保护条例》，所有购买电动汽车并获得补贴的消费者必须向地方政府归还电动汽车的电池，但是，对于电动汽车报废电池的回收在韩国仍然没有具体的规定。因此，在韩国，有必要制定计划，使得电动汽车报废电池回收的储存区域的规范、运输和回收标准有法律可以依据。

有鉴于此，有韩国学者也提出基于 EPR 制度的适用于韩国可行的动力电池回收体系，在该回收体系中，电池生产者成立生产者责任组织以统筹安排回收动力电池的相关费用，并且政府通过补助金形式促进消费者将电池转交给政府指定回收中心，材料企业通过拆解回收获得金属并流转回生产商或进口商，从而形成电池回收的良好循环。值得注意的是，在韩国的动力电池回收体系建立中，也有中国公司的身影，例如，格林美在 2019 年 10 月与韩国浦项市政府、ECOPRO，就新能源汽车电池梯次利用及循环再生项目推进，签署谅解备忘录。

图 33：学者提出的基于 EPR 制度的韩国动力电池回收体系



资料来源：Yong Choi, Current status and perspectives on recycling of end-of-life battery of electric vehicle in Korea (Republic of)[J], Waste Management 106 (2020) 261–270, 光大证券研究所

2.3.5、海外公司电池回收技术路线

相较于国内，国外的技术路线以火法为主。以优美科为例，优美科利用高温冶金法将动力电池直接高温还原，电池外壳、负极材料、塑料隔膜等部分分别提供还原剂和能量，最终金属以合金的方式回收，并且在回收过程中对气体进行净化。高温还原的金属合金将经过酸浸后经萃取得到金属盐，并通过高温还原回收金属单质。

表 17：国外领先的废旧锂离子动力电池回收企业

国家	公司	主要工艺过程
英国	AEA	在低温下破碎后,分离出钢材后加入乙腈作为有机溶剂提取电解液,再以 N-甲基吡咯烷酮(NMP)为溶剂提取黏合剂(PVDF),然后对固体进行分选,得到 Cu、Al 和塑料,在 LiOH 溶液中电沉积回收溶液中的 Co,产物为 CoO
法国	Recupyl	使用机械工艺来缩小和分离材料成不同的部分。铜、铝和塑料通过物理过程被移除,锂和钴用湿法冶金方法回收
日本	Mitsubishi	采用液氮将废旧电池冷冻后拆解,分选出塑料,破碎、磁选、水洗得到钢铁,振动分离经分选筛水洗后得到铜箔,剩余的颗粒进行燃烧得到 LiCoO ₂ ,排出的气体用 Ca(OH) ₂ 吸收得到 CaF ₂ 和 Ca ₃ (PO ₄) ₂
德国	Accurec GmbH	预备步骤涉及机械处理和真空热解以除去塑料,电解质和溶剂。进一步的机械处理用来去除铝,铜和钢。采用火法冶炼工艺生产钴锰合金。锂于渣中,用湿法冶金来回收碳酸锂
芬兰	Akkuser OY	先进行破碎研磨处理,然后采用机械分选出金属材料、塑料盒纸等
瑞士	Batrec	将锂离子电池进行压碎,分选出 Ni、Co、氧化锰、其他有色金属和塑料
美国	Retriev Technologies	利用机械和湿法冶金工艺回收锂离子电池中有价值的金属,如铜、铝、铁、钴、镍等

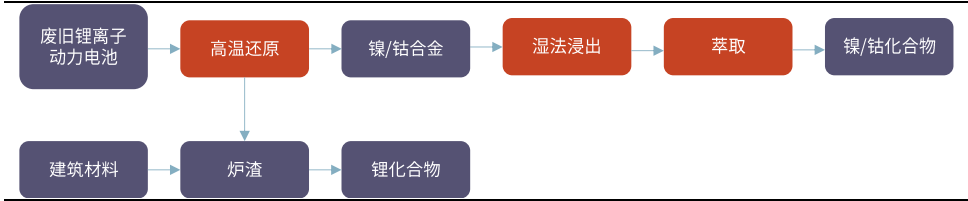
资料来源：第一电动网，光大证券研究所整理

表 18：国外主要电池回收公司的工艺及产物

公司名称	回收工艺	国家	产物	回收规模
Accurec Recycling GmbH	火法-湿法	德国	钴合金、Li ₂ CO ₃	年处理量 1500~2000 吨
AEAT	湿法-电沉积	英国	CoO	-
Akkuser OY	机械破碎-火法	芬兰	合金	-
Batrec Industrie AG	湿法、火法	瑞士	化合物、合金	-
Fortum	湿法	芬兰	电池级锂、钴化合物	-
GRS Batterien	火法	德国	合金	至 2019 年 9 月,收集超过 150 万吨废电池
IME	火法、湿法	德国	合金, Ni、Co 氢氧化物	-
Mitsubishi	火法	日本	LiCoO ₂	-
Onto Technology	超临界恢复	美国	恢复充放电性能电池	-
Recupyl	Valibat(湿法)	法国	Co(OH) ₃ 、Li ₂ CO ₃	年处理量 8000 吨
Retriev Technologies	冷冻-湿法	美国	Li ₂ CO ₃	累积回收锂离子电池超过 1.1 万吨
SNAM	火法	法国	合金	电池回收率超 80%
Sumitomo	火法	日本	合金	-
Umicore	火法-湿法	比利时	镍钴合金、锂化合物	年处理量 7000 吨

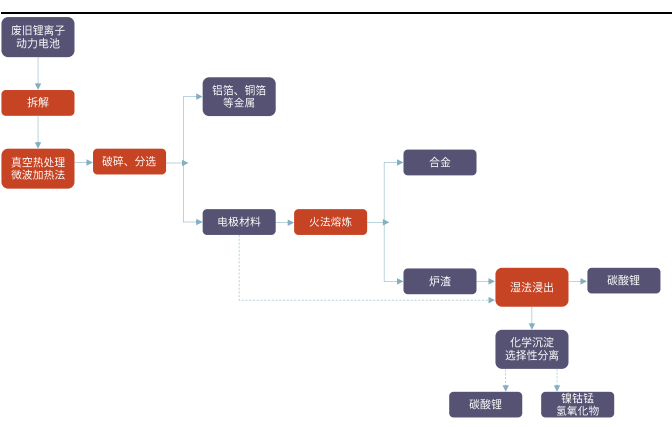
资料来源：《废旧动力电池处理》，肖松文

图 34：Umicore 回收工艺流程图



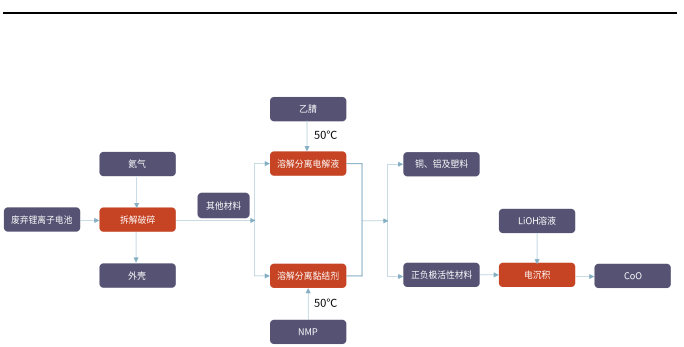
资料来源：光大证券研究所整理

图 35：德国 IME 公司回收工艺流程图



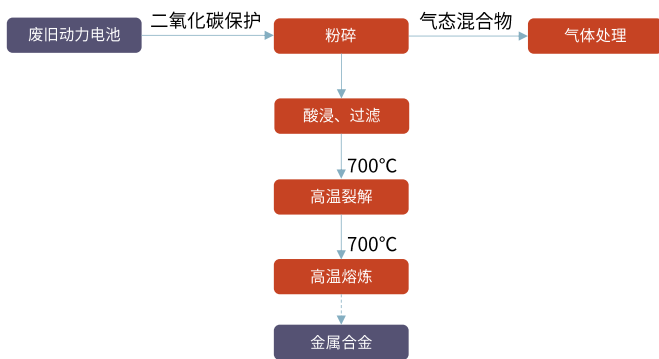
资料来源：光大证券研究所整理

图 36：AEAT 回收工艺流程图



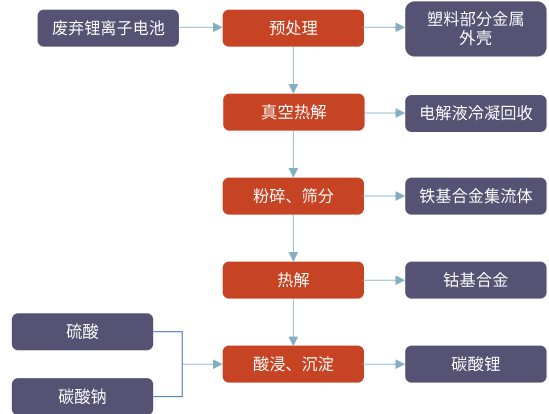
资料来源：光大证券研究所整理

图 37: Batrec Industrie AG 回收工艺流程



资料来源：光大证券研究所整理

图 38: Accurec Recycling GmbH 回收工艺流程图



资料来源：光大证券研究所整理

3、国内动力电池回收利用产业链全梳理

3.1、国内动力电池回收“素描”：“分羹者”众多

由于动力电池回收市场的潜在价值和其回收的社会必要性与需求,众多类型企业在动力电池回收的产业布局中都有所行动。这其中,梯次利用可以更好地发挥退役动力电池的余热,一直是相关的企业布局较频繁的领域。

经过相关企业前期的尝试以及代表企业(如中国铁塔等)“筚路蓝缕”,国内动力电池回收行业正逐渐向商业化、规模化发展。作为退役电池梯次利用领域最大的用户单位,中国铁塔规划继续扩大梯次利用电池的使用规模,并且停止采购铅酸电池,以梯次利用锂电池作为替代。

同时,参与动力电池回收的企业类型逐渐多元化,这也渐渐成为未来趋势。布局动力电池回收市场的企业包括了电池生产链上的大部分企业类型,如电池用户单位、电池生产企业、材料企业、储能企业、设备制造商、车企等。

国内主要的动力电池回收企业主要技术路线为湿法。其中北京赛德美以磷酸铁锂修复再生为技术路线,衢州华友、哈尔滨巴特瑞、山东威能生产电池原材料,其余均为三元材料的生产。以荆门格林美为例,回收得到的动力电池经放电、拆解、破碎及分选等预处理步骤后,经过硫酸进行浸出,其滤渣进行无害化处理。滤液经过中和除去 Fe、Al 等杂质离子,再经萃取得到 Mn、Cu、Zn 硫酸盐,再经电沉积得到 Cu 和 Zn。利用化学沉淀分离 Ni 盐 Co 盐,并经过酸浸,最后氢还原得到金属单质。

表 19：国内主要电池回收及材料公司的工艺及产物

公司名称	省份	回收工艺	产物	回收规模	渠道布局
华友钴业新材料有限公司	浙江	湿法开发为主，火法作为阶段性快速补上供应链的基础	电池材料	目前公司再生利用产线已实现年处理退役动力电池 6.5 万吨，每年可综合回收钴 5783 吨（金属量）、镍 9432 吨（金属量）、锂 2050 吨（金属量）以及锰、铜箔、铝箔等有价值元素，可再生金属回收率高达 98.5%，碳酸锂的提取率达到 88%	由汽车生产企业向华友提供退役动力电池，保障彼此资源供应，降低双方制造成本；回收梯次利用的研究应用
豪鹏科技有限公司	江西	湿法；将放电处理后的锂电池拆解后获取含石墨负极材料的负极铜箔片和正极材料，粉碎后的正极粉料首先经过浮选回收 Cu 材料，再经过过滤脱水得到初选后的正极粉料，初选后的正极粉料在进入后续工序中进行处理	硫酸钴、硫酸镍等	2020 年回收 5 万吨	赣州豪鹏利用股东优势，已初步构成动力电池回收闭环生态圈；生产电池（豪鹏国际）—汽车制造（北汽新能源）—电池回收利用（赣州豪鹏）—电池原材料制造（厦门钨业）—电池生产（豪鹏国际）
格林美新材料有限公司	湖北	湿法-湿法-火法；回收得到的动力电池经放电、拆解、破碎及分选等预处理步骤后，经过硫酸进行浸出，其滤渣进行无害化处理。滤液经过中和除去 Fe、Al 等杂质离子，再经萃取得到 Mn、Cu、Zn 硫酸盐，再经电沉积得到 Cu 和粉、钴粉等。利用化学沉淀分离 Ni 盐 Co 盐，并经过酸浸，最后还原得到金属单质。	硫酸镍、镍用电池	建立 10 万吨年处理量的生产，2020 年公司回收可梯次利用硫酸镍、镍用电池超过 10,000 套组；碳酸锂回收率 90%，镍钴锰回收率 99%	与比亚迪、大众、戴姆勒奔驰、丰田、长安、蔚来、威马、小鹏等 280 多家整车厂与电池厂达成战略合作；布局长三角，依托区域优势，构建无锡格林美与泰兴格林美相互联动的长三角地区“新能源汽车回收拆解—动力电池包回收—梯次利用—报废—动力电池材料再制造—动力电池再制造—动力电池包再制造”的新能源全生命周期价值链
邦普循环科技有限公司	湖南	湿法；废旧动力电池经过放电、破碎、电解液回收、隔膜纸回收、裂解、分选等工序得到三元前驱体产物，能对电池中的电解液、隔膜纸、电池粉体和金属物料进行全组分回收		12 万吨废旧电池处理能力，99.3%镍钴锰金属回收率，51%废旧电池综合回收国内占比	与清华大学、中科院过程工程研究所等知名高校及研究院建立战略合作关系，携手宁德时代打造“电池生产-使用-梯次利用-回收与资源再生”产业闭环
光华科技股份有限公司	广东	机械拆解-湿法-火法；主要分为 3 个步骤：一是预处理，对废旧锂离子电池进行放电、拆解、直接或经简单筛选后破碎以及处理拆解过程中产生的有毒有害物质。二是 Co、Ni、Mn、Li、Al、Cu 及电解液中有有机溶剂等多种有价值材料的回收。主要方法为通过溶解、萃取、沉淀、电解等以单质、化合物或混合物的形式分类回收各种有价值材料。三是经溶解、萃取、沉淀等处理后加入 MnSO ₄ 、NiSO ₄ 、CoSO ₄ 等物质调整溶液中各种材料的比例，制成硫酸镍、硫酸钴、氯化钴等化学品。	电池级原料	年处理量 1.2 万吨	现已分别与北汽集团、南京金龙客车、广西华奥汽车等企业达成动力电池回收战略合作
巴特瑞资源再生科技有限公司	黑龙江	密封机械拆解-湿法；带电物理拆解技术，电池无须放电直接破碎，从源头避免传统工艺下电池“放电”可能产生的电解液污染	电池级原料		以天津工厂为示范基地，打造“电池租赁+资源再生”的闭环运营模式，未来三年全国布局八个基地、规划总产能 40 万吨
芳源环保股份有限公司	广东	湿法；公司的“萃杂不萃镍”湿法冶炼技术包含了一系列溶剂萃取法，针对铁、镁、钙等不同杂质在不同生产工艺流程环节进行高效去除，可从原生矿产资源以及锂电池正极废料和镍电池废料在内的各种含镍钴粗制资源中，分三元材料离提纯镍、钴、锰、锂等元素，得到高纯硫酸镍、高纯硫酸钴、电池级硫酸锰和电池级碳酸锂、氢氧化锂等，提高原料综合利用、提高生产效率、降低生产成本		未来实现年处理 5 万吨废旧动力电池	公司以“萃杂不萃镍”湿法冶炼技术为核心，实现了对黄渣、粗制硫酸镍、镍钴矿湿法冶炼中间品等镍钴资源的高效综合利用；与包括松下、贝特瑞、杉杉能源、当升科技、万华化学、科恒股份、天力锂能、比亚迪、科力远、鹏辉能源、凯恩电池、量能科技在内的多家行业龙头企业建立了长期合作关系
赣锋循环科技有限公司	江西	火法-湿法联合处理工艺。赣锋将矿石提锂技术（火法焙烧，含氟废弃物的处理）嫁接到铁锂电池的回收，形成了具有赣锋特色的火法-湿法联合处理铁锂技术，有效地解决含氟尾气处理及能耗高的问题	氯化锂、镍钴混合硫酸盐净液；电池立每年可回收 10 万吨退役锂电级碳酸锂、电池的大型综合设施，锂回收率 91.8%	2020 年处理量 3.4 万吨，将建先后与东风汽车、巴特瑞、晶科能源等达成战略合作意向，合作范围涵盖汽车动力电池、固态电池开发、光伏储能应用及废旧锂电池综合回收利用等多个领域	
赛德美资源再利用研究院有限公司	北京	修复再生，目前国内“物理法”回收技术（物理拆解+材料修复）的倡导者与先行者，能够回收湿法冶金工艺不能回收的电解液与隔膜，真正做到将电池中七种原材料（废正极粉、废磷酸铁锂负极粉、铝箔、铜箔粉、电解液、隔膜、电池壳体）全组分自动精确分离和收集，按电池整体重量算，回收率高达 90%以上		2019 年处理量 1.2 万吨，回收率超过 90%	与国内众多电池回收企业采用湿法冶金的技术路线不同，赛德美是“物理回收法”的大力倡导者。其正极材料和负极材料的回收率均在 95%以上，电解液和隔膜也可以实现全组分回收。

天奇自动化工程股份有限公司	江苏	湿法；于 2021 年下半年成功开发了氢氧化亚钴和氧化亚镍的一些新产品，在橡胶粘合剂、磁性材料等行业做一些深度开发	电子级氧化钴、工业级氧化钴、电池级硫酸钴、饲料级硫酸锰、电池级硫酸镍等	具备年处理量 2 万吨能力，2020 年金泰阁回收废旧电池（含粉料）合计约 10,000 吨，回收钴约 1400 金吨，回收镍约 592 金吨，回收锰约 403 金吨。	公司核心子公司金泰阁及赣州天奇锂致专注于废旧锂电池回收资源化利用，具备实现锂离子电全部金属提取工艺，其生产工艺成熟且有较强盈利能力；在金泰阁及天奇锂致现有的元素提取业务上进一步向下游电池材料制造业务延伸，最终形成“电池回收-元素提取-材料制造。”的废旧电池资源化利用完整产业链。原料中约 70%来自社会贸易商；约 30%来自电池厂。为满足 2022 年扩产项目建成投产后的原料需求，公司拟增加部分大型社会贸易商的采购量。
威能环保电源科技股份有限公司	山东	梯次利用 拆解-（外包处理）	电芯、铜质建成年后回收废旧动力锂离子导线等	电池 6GWh	
泰力废旧电池回收技术有限公司	广东	机械拆解，通过相关工艺从各种废旧动力电池中提炼出有用的材料，然后把这些材料再深加工成诸如：铜、铝、铁、锌、镍、镉、钴、锰等金属原材料。	电极材料	年处理量 3000 吨，再生回收率 98.88%	主要的回收渠道有：与车企、电池厂建立电池回收体系；直接去电池厂上门回收；通过互联网和 APP 建立全国回收网络进行回收
旺能再生资源利用有限公司	浙江	湿法；先提钴镍、后提锂	硫酸钴、氯化钴、氢氧化钴、硫酸镍、碳酸锂等	以硫酸锂电池废料、三元锂离子电池废料为原料，建成后可年产 3150 吨硫酸钴、1350 吨氯化钴、1305 吨氢氧化钴、2561 吨硫酸镍、1458 吨碳酸锂等	2022 年 1 月，收购浙江立鑫新材料科技 60%股权，后者正在建设一条电池回收产线，预计 2022 年一季度可建成进入试运营
中伟集团股份有限公司	湖南	火法技术，前期投入较小，会对后期的毛利率产生一定影响	镍钴原料	具备每年处理 2.4 万吨锂离子电池材料的能力，并将进一步提升至年处理能力 5.6 万吨	与韩国电池回收公司 SungEel HiTech 达成合作，双方拟在欧洲开展电池回收、拆解及湿法冶炼项目合作
天赐高新材料股份有限公司	广东	湿法	碳酸锂、磷酸铁、镍钴锰硫酸盐	计划投建 10 万吨铁锂电池回收项目	与宁德时代、LG 等战略客户签订长期供货协议；拟在四川彭山设立全资子公司
浙富控股集团股份有限公司	浙江	湿法和火法交替冶炼，先提取合金块，再进入湿法提取单质。先提铜，通过电解铜。其他金属在阳极泥里，富集到一定程度再送到各自产酸钴、硫酸镍。镍在硫酸镍混合液里，送到硫酸镍产线上锂精制提硫酸镍。	硫酸镍、硫酸钴、硫酸铜、硫酸镍、硫酸锰、硫酸锂	已经通过环评批复的与汽车锂电池材料级别相关的产能规划包括：1.5 万吨精制硫酸镍(Ni≥22%)、1.5 万吨精制硫酸钴(Co≥20.5%)和 790 吨碳酸锂(Li2CO3≥98.5%)	业务由子公司江西自立环保科技有限公司负责实施，生产线正在建设中，母公司浙富控股掌握废旧电池处置及锂、钴等金属分离技术。现在原料主要来自于固废工业废弃物。还没有整车厂、电池厂渠道。

资料来源：各公司官网，各公司公告，光大证券研究所整理

国内主流电池回收厂商中，中伟集团使用火法技术；衢州华友、豪鹏、格林美、邦普循环、巴特瑞、芳源、旺能、天赐等均使用湿法工艺进行电池回收；格林美、光华科技、赣锋循环、浙富控股等则使用湿法-火法交替冶炼的工艺技术。

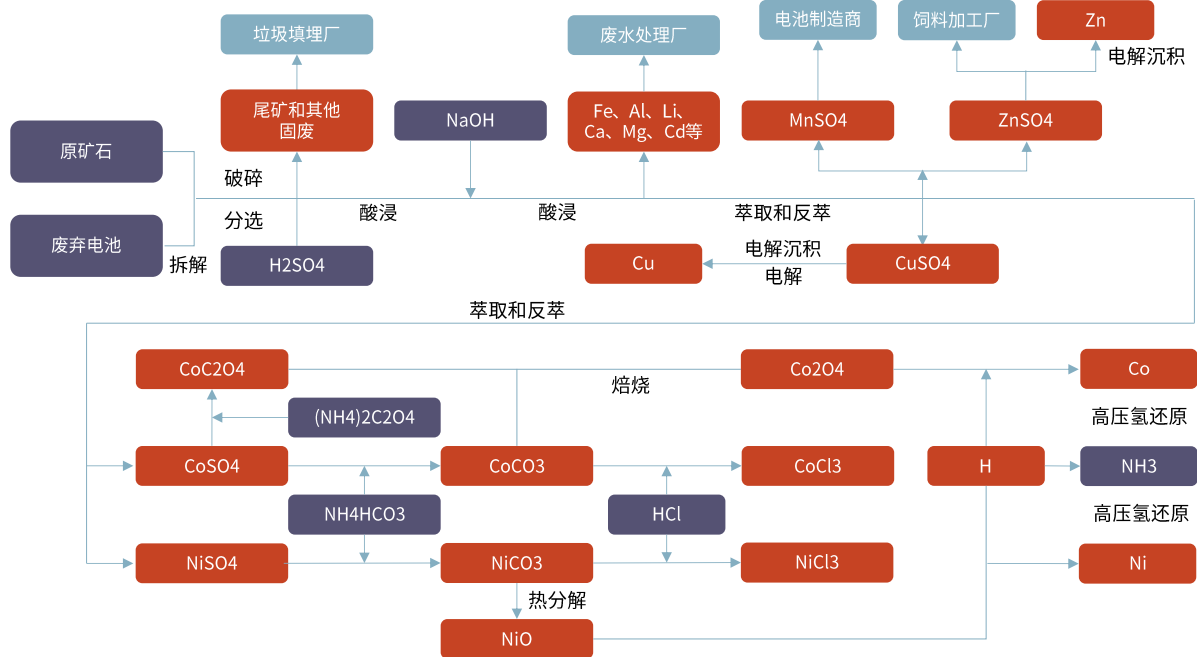
表 20：国内主要电池回收及材料公司的工艺及产物

回收工艺	回收材料	工艺特点	能量效率	工艺适应性	效果评价
火法	金属回收	前处理具有通用性，可以标准化大规模回收，且大大减少了回收后的体积，涉及大型和高温焚烧的装置。前处理只需简单分类和机械粉碎，通过高温焚烧分离碎片中的金属，分解有机物。火法得到的金属合金可供进一步提炼，用于生产新电池。	电池本身包含高温分解所需的能量物质，超出部分可以回收，火法是一个能量自给的过程，可以大大减少助熔剂等化学试剂的使用量。	工艺稳定性好，可以使废旧电池的稳定性好，同时成本较低，但环保处理压力较大。	火法技术相对简单，工
湿法	金属元素及其化合物	采用专门的程序以处理不同材料体系的锂电池，涉及小型和专门的回收装置，回收有价值化合物；前处理需要将样品分类和机械粉碎，物理分离破碎片，并采用适当的技术从破碎片中提取电解质，正负极活性材料等有价值的目标物。	需要综合考虑就近处理节省运输成本和大规模操作的能量损失的问题；需要消耗大量化学品	工艺稳定性较好，不同类型的锂电池需采用专门的湿法工艺，需要产业链信息来提高废旧锂电池的分类；现有的处理工艺未必适用于将来出现的新型动力电池	湿法技术更复杂，工艺流程长，成本较高，但回收产品纯度高，是当前回收工艺的首选。
火法-湿法联合处理	金属元素及其化合物	“火法预处理+湿法酸浸+金属沉淀”的回收路线，通过酸浸的方法浸出有价值金属。	传统使用的酸主要是无机强酸，但该类无机酸对设备腐蚀性大，对人体的危害也较大，此方法使用性质较为温和的有机酸来代替，这样不仅环保，部分有机酸还具有还原性，可以代替传统的“无机酸+还原剂”体系。	工艺相比传统火法/传统湿法更复杂，综合利用各种方法长处	基于上述两种工艺的进步，旨在在保证传统湿法产物纯度的同时，尽可能减少传统火法会带来尾气排放以及能耗较高等问题。

资料来源：何宏恺,王粤威,陈朝方,樊锐,何毓辉.《废旧动力锂电池回收利用技术的进展》;光大证券研究所整理

我们以格林美废旧电池回收工艺为例：

图 39：格林美废旧电池回收工艺流程图



资料来源：格林美公司公告，光大证券研究所整理

未来，锂电、储能企业将成为梯次利用、材料再利用的关键环节，材料企业将成为动力电池材料回收、体量的关键。

表 21：在动力电池回收领域锂电、储能等企业

企业名称	企业性质	动力电池回收领域布局近况
宁德时代	电池企业	2013 年，宁德时代对“邦普循环”完成收购，目前锂电池回收业务板块已经成为三大核心业务之一；与宇通、上汽、北汽、吉利等车企开展合作回收废旧动力电池，将其改造用于储能。
比亚迪	电池企业	委托授权经销商将废旧动力电池运到宝龙工厂进行梯次利用；废旧电池运送到惠州材料工厂拆解回收。
中航锂电	电池企业	中航锂电采用框架式低成本结构设计的梯次利用电池，已应用于铁塔公司通讯基站移动电源系统产品，分别在河南洛阳和四川眉山两个地区试点使用；并在园区实施了太阳能储能示范项目，同时建成了国内首套磷酸铁锂电池再生利用试产线，未来的回收工艺将兼容三元材料电池和磷酸铁锂电池。
国轩高科	电池企业	2017 年 8 月，国轩高科公告称，全资子公司合肥国轩与兰州金川合资，将分别在合肥、金昌设立安徽金轩和甘肃金轩两大子公司。其中，安徽金轩主要从事动力锂电，特别是磷酸铁锂、锰酸锂为正极的锂离子电池的回收、拆解、处理等全流程服务。甘肃金轩主要从事动力锂电，特别是含镍钴废旧锂离子电池的回收处理。
超威动力	电池企业	2019 年，浙江省工信委发布《浙江省新能源汽车动力电池回收利用试点实施方案》，超威集团旗下超威创元成为参与本次试点工作的第一批动力电池企业之一，超威创元参与的试点工作主要涉及回收网点建设、梯次利用、设计提升和余能检测四大部分。
沃特玛	电池企业	2012 年，沃特玛利用退役的电动汽车动力电池，建成了一座 3MW 磷酸铁锂电池储能电站，为废旧动力蓄电池的梯级利用奠定了基础；2010 年沃特玛推出了通讯基站的储能产品；2011 年推出 3MWh 储能电站启动电源；2014 年自主研发移动补电车；2016 年推出了集装箱式储能系统和 800MWh 的家庭储能产品。目前，沃特玛已经形成了储能电站系统、移动储能系统、家庭储能系统和运行监控系统四套成熟的解决方案。
骆驼股份	电池企业	18 年 3 月公司与谷城县政府签署框架协议，拟投资骆驼集团动力电池梯次利用及再生产业园项目，预计总投资 50 亿元。项目全部达产后，将于 2025 年形成年回收处理约 30 万吨废旧动力电池的能力。
杉杉股份	材料企业	杉杉公司向下游布局了电池系统集成、电池在工业储能的梯次利用、充电桩建设和新能源汽车租赁运营，并与电芯厂、整车厂等建立战略合作关系，通过纵向整合电池产业链，建立了动力电池的绿色能源闭环，可有效降低动力电池全生命周期的应用成本，并建立电池的全生命周期应用大数据，保证了公司的综合成本及技术优势。
中天鸿锂	材料企业	公司在技术研发方面，取得了 1 个发明专利和 8 个实用新型专利的授权，参与了多个“动力电池回收和梯次利用行业团体标准”“动力电池回收和梯次利用装备设备标准”的牵头起草和起草工作；在商业模式方面，公司旗下的“中天动力”品牌首先开河，开创“以租代售”的梯次利用新商业模式。
中国铁塔	电池用户单位	自 2015 年 10 月，中国铁塔陆续在广东、福建、浙江、上海、河南、黑龙江、辽宁、山东、天津、山西、四川、云南等 12 省市 3000 多个基站开展退役动力电池替换现有的铅酸蓄电池的试验，在备电、削峰填谷、微电网等不同工况条件下应用了梯次利用电池，试验站点运行取得了良好效果，充分验证了梯次利用电池应用于通信基站领域的技术及经济可行性。

煦达新能源	储能电池	2017 年 9 月，由煦达新能源主导设计的国内首套 MWh 级基于电动汽车退役动力电池梯次利用的工商业储能系统项目成功投运，该系统由 9 套 20kW/122kWh 储能基本单元并联组成，共计 180kW/1.1MWh；煦达新能源已在上海、江苏和浙江等地落地了退役动力电池梯次利用储能项目并预计在 2018 年的梯次利用储能项目规模将达到 20MWh 以上。
东风汽车	汽车制造商	2018 年 8 月，东风汽车有限公司发布了“绿色 2022 计划”，在资源循环利用方面，东风将通过动力电池回收利用，减少环境污染，增加车辆回收价值。同时，公司还将布局商业储能，通过回收电池储能设备，利用峰谷电价差或可再生能源充电，向电动汽车以及社会供电。
北汽新能源	新能源车企	2017 年，公司在新能源汽车生态大会上发布“擎天柱计划”，到 2022 年，该计划将预计投资 100 亿元人民币，其中梯次储能电池利用超过 5GWh；2019 年 8 月，北汽新能源梅赛德斯-奔驰能源有限责任公司正式建立技术开发伙伴关系，双方拟计划共同在北京建立首个电池梯次利用储能单元。
泰尔股份	设备制造企业	公司控股子公司众迈科技在 2020 年五月获 1506 万元动力电池梯次利用智能拆解装备销售合同，助力打造国内首条动力电池梯次利用智能拆解线。

资料来源：各公司公告，中国储能网，光大证券研究所整理

为了规范动力电池报废回收，我国制定了动力电池回收企业“白名单”制度，进入名单的企业均具有较强的处理废旧动力电池的实力，以尽可能减少报废动力电池对环境的污染。截至 2022 年 3 月，工信部共公布了三批共 47 家《新能源汽车废旧动力蓄电池综合利用行业规范条件》企业名单。

然而，随着动力电池报废数量的增加，动力电池回收乱象也逐渐显现，企业也反映：由于市场的不规范，即使是“白名单”企业也很难收到废旧动力电池，诸多废旧动力电池都流入了非正规渠道。

3.2、 互利共赢：电池产业链间回收业务合作逐渐加强

电池产业链上下游的合作是未来必然趋势，这是动力电池回收过程的复杂性所决定的。

(1) 责任角度：无论是生产者责任延伸制度的建立还是环保成本内部化的必然要求，位于消费终端的车企对所销售的电动车有义务开展相关工作，也是最直接与消费者对接的环节，其优势在渠道，但其劣势在于再利用和材料制造能力。因此，车企与电池企业的合作是重要趋势。

(2) 方法角度：低速车、家用储能等是梯次利用重要去向，而三元前驱体、正极制备则是其材料回收后的重要去向，因此，回收企业与下游应用企业的合作也是重要趋势。

(3) 经济性角度：经济性是推动回收利用市场兴起的核心要素，此前电池企业因资源约束和上游价格问题，通常采用向上游纵向拓展手段，而锂电回收市场发展起来后，可以起到降本作用，因此材料制造企业、电池企业均有动力进行相关业务的拓展。

目前，我国电池产业链间的合作已在许多龙头企业中有所展现。从开始的动力电池企业、材料企业、相关再生利用企业合作，越来越多的车企也将随着梯次利用市场的打开而参与“合作联盟”的模式。

表 22：产业链主要企业间合作情况

企业名称	合作方式	具体细节
宁德时代、邦普循环	间接控股	宁德时代在 2013 和 2015 年相继收购股权并增资邦普循环，共计持有其 69.02% 的股份。邦普循环是国内专业从事废旧电池及报废汽车资源化回收处理和电池材料生产的企业；19 年 9 月，宁德时代与邦普循环合资 36 亿元设立宁波邦普时代新能源有限公司，预示着宁德时代在上游正极材料方面的布局进一步扩大。
宁德时代、格林美	企业间合作	2016 年，格林美与邦普公司（宁德时代子公司）签订了《正极材料前驱体委托加工战略合作协议》，按照协议约定，邦普公司计划 2016-2021 年每年向公司采购不少于 1 万吨镍钴锰氢氧化物前驱体。
宁德时代、丰田	企业间合作	2019 年 6 月，丰田在东京正式宣布在电动化领域的最新合作，其未来将从宁德时代、比亚迪两家企业采购电池，以加快向电动汽车的转变；同年 7 月，宁德时代与丰田汽车公司在新能源汽车（NEV）动力电池的稳定供给和发展进化领域建立全面合作伙伴关系。此外，双方在电池的新技术开发、以及电池回收再利用等多个领域开始进行广泛探讨。
中国铁塔、国轩高科	企业间合作	2018 年 1 月，国轩高科与中国铁塔签订动力电池梯级再生利用战略合作协议，国轩高科将成为中国铁塔的战略合作伙伴，大力推动梯级动力电池在通讯基站领域的应用。

中国铁塔与一汽、东风、比亚迪等车企	企业间合作	2018 年，中国铁塔在“新能源汽车动力电池回收利用体系建设论坛”上，与 11 家新能源汽车主流企业签署了战略合作协议，该合作协议服务于新能源汽车退役电池的回收利用。这 11 家企业包括传统车企一汽、东风、江淮、比亚迪，以及新造车势力蔚来等。
中国铁塔、赣州豪鹏	企业间合作	2019 年，在“中国汽车动力电池产业创新联盟回收利用分会 2019 年动力电池回收与梯次利用年度峰会”上，赣州豪鹏与中国铁塔签署战略合作协议，双方将发挥各自优势，加强在动力电池回收再利用、梯次利用方面紧密合作，进一步保证新能源汽车产业与环境协调发展，解决新能源汽车发展后顾之忧。
格林美、比亚迪	企业间合作	2017 年 9 月，格林美与比亚迪签署《储能电站和光伏电站项目合作框架协议书》，旨在进一步推广储能电站和光伏电站在工业园区的商业化应用，促进电池制造、储能电站、光伏电站到报废产品循环再造的全产业链建设。
格林美、北汽鹏龙	企业间合作	2018 年 5 月，北汽鹏龙与格林美签署了《关于退役动力电池回收利用等领域的战略合作框架协议》，根据协议，双方将在共建新能源汽车动力电池回收体系、退役动力电池梯次利用及再生利用等循环经济领域等领域展开深度合作。
赣州豪鹏、立信能源	企业间合作	2018 年 11 月，立信能源与赣州豪鹏签订了战略合作协议，正式达成“动力电池回收处理”战略合作。
杉杉股份、凯泰新能源	合资创业	2016 年 9 月，杉杉股份与哈尔滨凯泰新能源公司及北京励知行新能源公司共同投资成立北京杉杉凯励新能源科技有限公司，其主要业务包括动力电池回收、梯次利用再制造以及报废电池的再生利用。
国轩高科、兰州金川	合资创业	2017 年 8 月，国轩高科与兰州金川达成战略合作，共同推进动力电池再生利用。二者分别出资 5000 万元在安徽、甘肃合资成立了两家电池再生利用公司。其中依托于国轩高科原有磷酸铁锂电池再生利用线成立的安徽金轩公司中，国轩高科占比 51%；依托于兰州金川三元电池回收线成立的甘肃金轩公司中，国轩高科占比 49%。
光华科技、北汽鹏龙	企业间合作	2018 年 11 月，光华科技北汽鹏龙签署了《关于退役动力电池回收等领域的战略合作框架协议》。根据协议，双方将在退役动力电池梯次利用和废旧电池回收处理体系等业务上开展合作，通过双方的合作可实现经济效益、环境效益与社会效益的有机统一，动力电池回收利用与循环经济典范。
中天鸿锂、华友钴业	企业间合作	2020 年 4 月，中天鸿锂与华友循环在广州签署了“退役动力电池回收利用战略合作协议”，双方将在动力蓄电池回收网络建设、梯次利用和再生利用环节上开展合作。其中，浙江华友循环科技有限公司是华友钴业全资子公司。
北汽新能源、奔驰	企业间合作	2019 年 8 月，梅赛德斯-奔驰能源有限责任公司与北汽新能源正式建立技术开发伙伴关系，双方拟计划共同在北京建立首个电池梯次利用储能单元。
厦门钨业、赣州豪鹏	增资参股	2018 年 2 月，为了提高公司电池材料的钴镍原料保障能力，厦门钨业拟向赣州豪鹏增资 7884.87 万元。增资后，公司持股比例达到了 47%，成为赣州豪鹏第一大股东。

资料来源：北极星储能网，公司公告，光大证券研究所整理

3.3、“降本”与“闭环”为商业模式的源动力

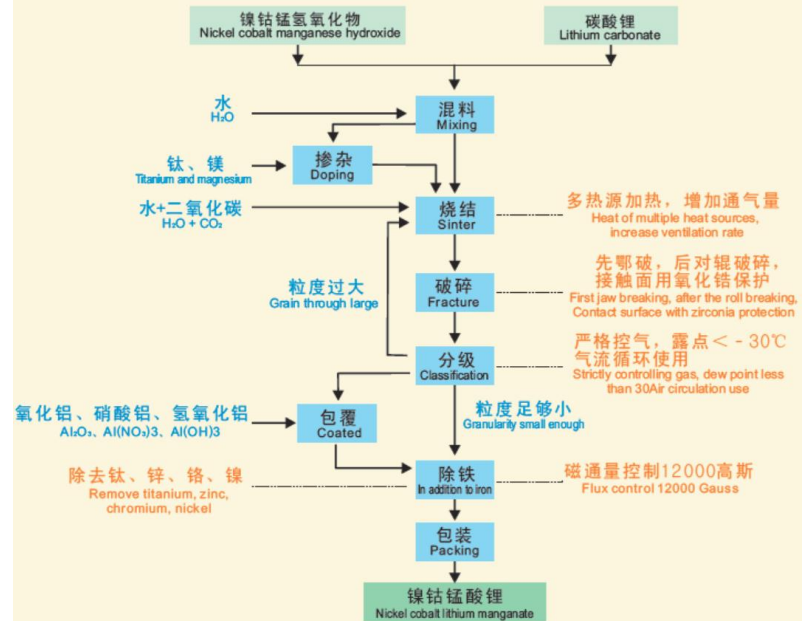
根据国内现有的商业模式主导企业性质的不同，我国动力电池回收市场催生出了：动力电池企业回收商业模式、锂电材料企业回收商业模式、梯次利用商业模式。

(1) 动力电池企业回收商业模式以动力电池生产企业为主导，卡位“回收处理”，提高原料的上游议价能力，降低电池生产成本，成为该类商业模式的源动力。国内代表性的企业有宁德时代、比亚迪、国轩高科等。另一方面，从生产责任延伸制度的要求看，动力电池生产商往往肩负着动力电池回收的责任。目前，随着动力电池回收市场潜力的进一步扩大，各大动力电池企业纷纷以建立战略联盟、参股等形式与材料企业、第三方回收机构合作，布局电池回收业务。

例如，宁德时代巧妙绕过布局原材料开采行业，通过布局回收业务，一定程度上提升了自身电池的降本空间。

宁德时代在 2013 和 2015 年相继收购股权并增资邦普循环，共计持有其 69.02% 的股份，之后于 2019 年 9 月，又与邦普循环合资 36 亿元设立了宁波邦普时代新能源有限公司，标志着宁德时代在上游正极材料方面的布局进一步扩大。

图 40：邦普循环利用废旧动力电池生产 NCM 新材料流程图



资料来源：邦普循环官网公告，光大证券研究所

宁德时代控股子公司邦普循环早在 2008 年就创造性地提出“上下游”回收结合的概念，在政府引导下首创了中国废旧电池回收体系。截至 2022 年 3 月，邦普已在全国范围内设置 131 个回收网点，这些网点直接对接车企销售售后服务网络，从而可以部分解决车企回收网点的短板。在资源回收技术上，邦普对废旧锂电池进行破碎、热解、粉碎及反复筛分磁选等全自动化预处理后得到含镍、钴的精料，然后经过一系列化学除杂等工艺生成特定形状的三元材料前驱体（镍氢锰氢氧化物）。而三元前驱体与碳酸锂按一定比例配比均匀混合，在氧气氛围下，进行分段程序升温热处理，控制烧结温度和时间，从而得到镍钴锰酸锂材料。宁德时代通过布局正极材料业务，为未来在材料层面的成本降低提供了空间。

图 41：宁德时代控股公司邦普设置的回收网点（部分）

回收服务网点信息申报表		存档号：	
企业基本信息		填报日期	2020/6/15
序号	回收服务网点名称	企业统一社会信用代码	回收服务网点信息
1	上海福康汽车服务有限公司	91310115MA1H988T1U	上海市浦东新区中江南路
2	常州拓迪汽车服务有限公司	91320404MA1XNY1766	常州市武进区湖塘镇东新村
3	肇庆金丰汽车服务有限公司	91430203MA1MTC456	肇庆市江川区东山街道井涌
4	广州市威客汽车服务有限公司	91430101MA59328133	广州市南沙区东涌镇大田村安下街
5	佛山市联昇汽车贸易有限公司	91440606MA4390557H	佛山市顺德区陈村镇南涌社区105国道
6	深圳市品昌汽车服务有限公司	91440300MA5DKLRT3P	深圳市龙岗区横岗镇义城社区
7	中山市嘉成汽车服务有限公司	914420006752357569	中山市西区沙朗路一工业区
9	惠州市普环汽车服务有限公司	914301246707862411	惠州市长沙市金湖路金球二路018号
10	广东邦普环保科技有限公司	914406007829923656	佛山市一水区东平镇智信大道6号
11	福建邦普汽车服务有限公司	91350104MA3287114N	福建省福州市仓山区城门镇工业区
12	北京邦普汽车服务有限公司	91110109MA019P113P	北京市丰台区成义路四号
13	天津邦普汽车服务有限公司	91120118MA05439P33	天津市滨海新区塘沽镇工业大街
14	宁德邦普环保科技有限公司	91350982MA32180P29	福建省宁德市福鼎市安发路
15	杭州邦普汽车服务有限公司	91330110MA2H16H134	杭州市余杭区五常大道
企业联系人信息		职务	经理
姓名	邵国鹏	职务	经理
联系电话	18602071947	E-mail	qiaokun@bump.com.cn

备注：请如实填写回收服务网点信息，并发送至资源管理平台客服邮箱：service@bump.org。

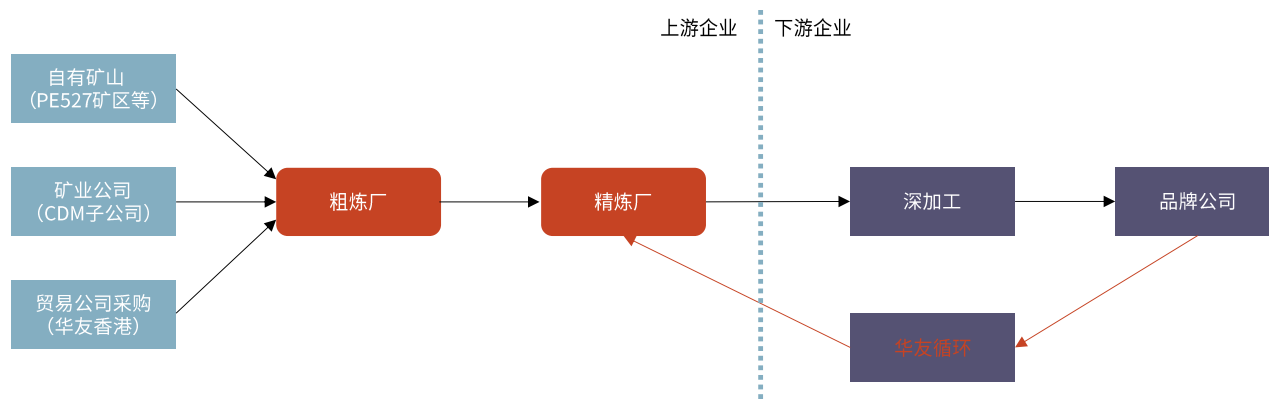
资料来源：邦普循环官网公告，光大证券研究所

(2) 锂电材料企业回收商业模式以锂电材料企业为主导，通过回收废弃电池中的关键金属资源，从而形成产业闭环与降本空间，成为该类商业模式发展的源动力。许多三元前驱体企业均在动力电池回收领域有所布局，光华科技、格林美、邦普、衢州华友以及厦门钨业控股的赣州豪鹏均已入选第一批符合《新能源汽车废旧动力蓄电池综合利用行业规范条件》企业名单，而中伟新材料、赣锋循环、广东佳纳、金驰能源等企业也都具备了废旧动力电池的回收处理技术。

1) 华友钴业在加码上游资源布局、购买矿产资源的同时，布局其下游的回收产业，可以潜在地拓宽其在钴资源领域原料供应的渠道，保证资源供应稳定与成本稳定。

“华友钴业”拥有全资子公司——“浙江华友循环科技有限公司”。华友循环在2018年被浙江省经信委举荐为省新能源汽车动力蓄电池回收利用试点工作牵头单位，主要任务为回收拆解网点建设、环保拆解线研发等。华友循环2018年投产的再生利用专用生产线，已实现年处理退役动力蓄电池64680吨，每年可综合回收钴5783吨（金属量）、镍9432吨（金属量）、锂2050吨（金属量）以及锰、铜箔、铝箔等有价值元素。

图 42：华友钴业原料供应渠道

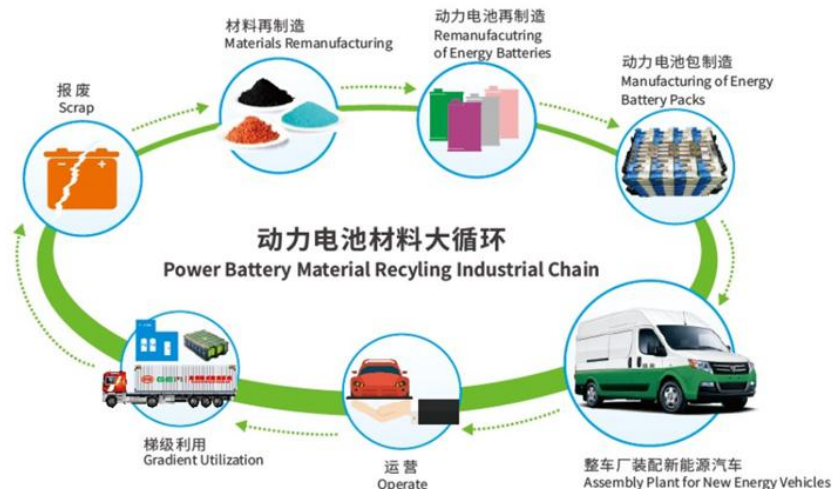


资料来源：公司官网公告，光大证券研究所整理

2) 格林美公司通过整合资源、加强产业间合作，积累了动力电池再生产业上的技术优势、规模优势。

格林美大力发展“电池回收—原料再造—材料再造—电池包再造—新能源汽车服务”新能源全生命周期价值链。公司联合北汽、比亚迪、三星等国内外知名企业，开启汽车厂牵头、电池厂参与、回收企业承办的社会责任大循环体系，实现全生命周期价值链模式的落地实施。同时，公司先后与280多家车企、电池企业签订了车用电池回收处理协议。

图 43：格林美“全生命周期价值链模式”示意图



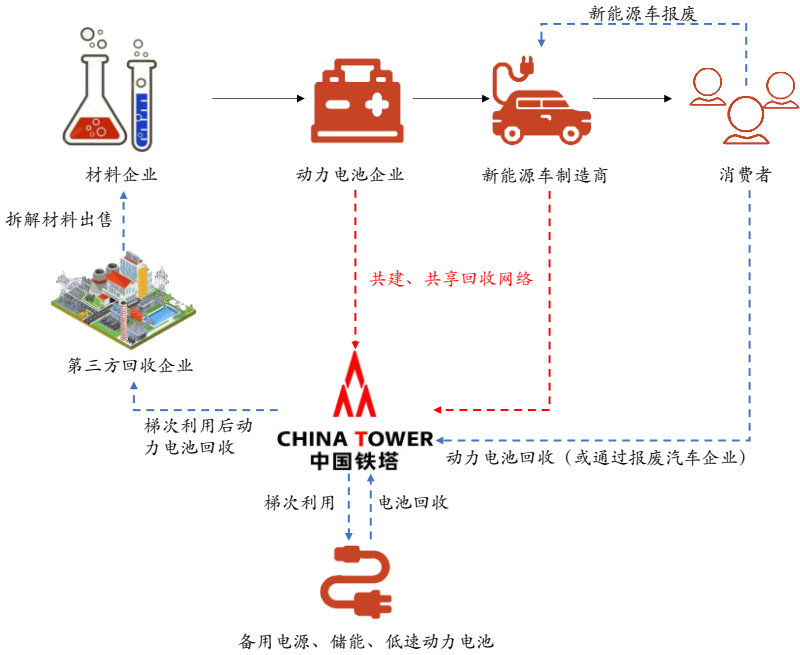
资料来源：格林美官网，光大证券研究所整理

(3) 梯次利用商业模式的代表企业为中国铁塔。作为第三方企业，其主业并非电池以及电池回收业务，但是其主营业务类型与动力电池回收的梯次利用有比较好的契合点，例如，中国铁塔既是退役电池的消费者，也是退役电池的回收者，根据中国铁塔经验，总结出了三种梯次利用锂电池的方式，分别为重新组装、直接组合电池模组与整包使用。

中国铁塔的商业回收模式关键在于与车企、动力电池企业合作，从而共建共享回收网络。目前，中国铁塔与一汽、东风、江淮、比亚迪、蔚来等众多新能源车企签署了战略合作协议，这些合作协议主要服务于新能源汽车退役电池的回收利用。同时，中国铁塔也积极与动力电池企业进行战略合作，2018 年 1 月，中国铁塔与国轩高科签订动力电池梯级再生利用战略合作协议，国轩高科与中国铁塔成为战略合作伙伴，协力推动梯级动力电池在通讯基站领域的应用。

中国铁塔以退役动力电池作为基站用储能电池的梯次利用潜力巨大，市场广阔。中国铁塔公司早在 2015 年便陆续在 12 个省市 3 000 多个基站开展梯次利用电池替换铅酸电池试验，充分验证了梯次利用安全性和技术经济性可行。2018 年，中国铁塔公司已停止采购铅酸电池，而是从深圳比亚迪等 20 个企业采购退役动力电池。截至 2018 年底，中国铁塔已在全国 31 个省市约 12 万个基站使用梯次电池约 1.5GWh，替代铅酸电池约 4.5 万吨，成为全国梯次利用行业的领头者。

图 44：以中国铁塔为例梯次利用商业模式



资料来源：中国储能网，光大证券研究所整理

随着 5G 时代来临，中国铁塔的 5G 基站建设将在未来几年内迎来快速增长，若梯次利用电池应用于 5G 基站，则铁塔对于梯次利用电池的需求将进一步攀升。我们以每个基站使用 12.5kWh 梯次利用电池为基础，综合 5G 频谱及相应覆盖增强方案，预计未来十年国内 5G 宏基站约为现有 4G 基站数量的 1-1.2 倍（截至 2019 年，国内现有 4G 基站 445 万个），合计约 500-600 万，对应梯次利用电池的总需求将达到 62.5GWh-75GWh，基本可以消化未来的退役梯次利用电池。

表 23：中国铁塔梯次利用锂电池的三种主要模式

模式	具体方法	备注
重新组装	将回收的退役动力电池包拆散，对每颗锂电芯进行剩余容量等性能评估，根据测试结果将容量相当的锂电池重新成组组装，制作成标准的 48V 通信基站 PACK。	目前，这个工作主要由电池厂和 PACK 厂两类企业承担，尤其以后者居多。初步统计，中国铁塔合作的电池及 PACK 厂约达 20 家。
直接组合电池模组	一般来说，电池模组主要分为 4 节、8 节、12 节三种类型。在锂电池一致性较高的前提下，电池厂或 PACK 厂会根据电池模组类型进行直接组合，比如 8+8、12+4、4+4+4 等。	目前这种模式以比亚迪为主导，除过自己承担部分 PACK，比亚迪也会释放一部分电池至市场，这将由其他 PACK 厂采购消纳，然后再进行成组售卖，中国铁塔也是其中的顾客之一。
整包使用	在采购退役动力电池包后直接使用，不再拆散重组，不会组合。	目前，这种模式还停留在试点摸索阶段。阻碍原因在于：电池包的生命周期经济性还未能判定，基于使用寿命和更换维护成本二者的考量，中国铁塔在该模式上还是比较谨慎。

资料来源：高工锂电，光大证券研究所整理

3.4、构建降本模型：从另一个角度看待降本逻辑

3.4.1、拆解回收降本测算：锂电材料企业的降本逻辑

废旧动力电池资源的拆解回收能够缓解资源紧张，从而减少相关资源的开采以及对市场材料的依赖。同时，材料企业还能通过回收利用的金属直接销售带来一定的经济效益。为此，我们构建经济性评估模型，针对动力电池回收过程中投入成本和回收材料用于后续动力电池生产而降低的成本，以相应的数学模型的形式表达出来，便于量化分析。

按成本分析法建立废旧动力电池的收益模型，收益（E）可以用下式表示：

$$E = E_{\text{Sell}} - C_{\text{Recycle}}$$

其中 E_{Sell} 表示拆解回收的有价金属全部直接出售（这里只考虑镍、钴、锰、锂）， C_{Recycle} 表示拆解回收得到有价金属过程中所需要考虑的相关成本。

而 C_{Recycle} 可以拆分为 $C_{\text{Depreciation}}$ （废旧动力电池设备的折旧成本）、 C_{Use} （废旧动力电池回收时的使用成本）、 C_{Tax} （废旧动力电池回收企业的税收）三样成本类型，即：

$$C_{\text{Recycle}} = C_{\text{Depreciation}} + C_{\text{Use}} + C_{\text{Tax}}$$

进一步，废旧动力电池回收时的使用成本可以分为六项：

$$C_{\text{Use}} = C_{\text{Battery}} + C_{\text{Environment}} + C_{\text{Material}} + C_{\text{Power}} + C_{\text{Labor}} + C_{\text{Maintenance}}$$

以上六项依次表示收购废旧动力电池回收费用、环境处理成本、辅助材料成本（如化学材料、水）、能源成本、人工成本、设备维护成本。

表 24：废旧三元电池、磷酸铁锂电池吨回收处理成本

项目成本		三元电池（元）	磷酸铁锂电池（元）
$C_{\text{Depreciation}}$	设备折旧费用	1200	400
C_{Battery}	废旧动力电池回收费用（+破碎分选的预处理费用）	36300+700=37000	36300+700=37000
$C_{\text{Environment}}$	环境处理成本	470	400
C_{Material}	辅助材料成本	3600	1920
C_{Power}	能源成本	600	1200
C_{Labor}	人工成本	450	1900
$C_{\text{Maintenance}}$	设备维护成本	80	80
C_{Tax}	企业税费	1200	1200
C_{Spent}	总成本	44600	44100

资料来源：黎宇科《车用动力电池回收利用经济性研究》，贾晓峰《动力电池梯次利用场景与回收技术经济性研究》，光大证券研究所整理，废旧动力电池回收费用为光大证券研究所预测

根据上表测算：回收 1 吨废弃的三元电池，其成本为 44600 元，而回收 1 吨废弃的磷酸铁锂电池的成本为 44100 元。我们后续将测算三元电池拆解回收得到的 Ni、Co、Mn、Li 的循环利用效益。由于磷酸铁锂电池拆解回收的产物为磷酸铁、碳酸锂、铝料，直接拆解回收的经济效益并不大，优先梯次利用，或处理成本通过行政手段、补贴内部化后，经济性才会出现。

确定了拆解回收成本 C_{Recycle} 后，我们需要确定 E_{sell} ，即拆解回收的有价金属直接销售的收益。

根据不同类型三元电池正极材料的金属含量差异，经测算，每吨 NCM333 正极材料的回收价值介于 8.2-32.3 万元；每吨 NCM523 正极材料的回收价值介于 7.3-28.4 万元；每吨 NCM622 正极材料的回收价值介于 7.6-29.1 万元；每吨 NCM811 正极材料的回收价值介于 7.1-26.8 万元。

表 25：1 吨废弃三元正极材料各金属材料质量

正极材料	回收金属量 (kg)				回收价值 (万元/1 吨三元正极材料)		
	Li	Ni	Co	Mn	高价	低价	均价
NCM333	71.96	202.82	203.65	189.84	32.3	8.2	20.3
NCM523	71.89	303.93	122.07	170.69	28.4	7.3	17.9
NCM622	71.61	363.31	121.60	113.35	29.1	7.6	18.4
NCM811	71.35	482.66	60.58	56.47	26.8	7.1	17.0

资料来源：光大证券研究所测算；单位：kg；正极质量/回收电芯质量=40%；回收率为 90%

3.4.2、梯次利用之“峰谷套利”降本测算

鉴于未来大量的磷酸铁锂电池退役，而单纯的磷酸铁锂电池的拆解回收没有太大的经济效益。因此，梯次利用将成为退役磷酸铁锂电池最佳的选择。退役的磷酸铁锂电池的电池容量往往仍在 70%-80%，在某些场合，仍然具有很好的储能效益。

因此，我们设计了一个使用退役的磷酸铁锂电池为基础的储能电站模型，利用“峰谷套利”获得收益，基础假设如下：

(1) 储能电站规模为 1MWh，回收梯次利用动力电池价格 0.7 元/wh，退役后梯次利用时 SOH 为 70%，二次利用的成品率为 90%。采用新电池购买组装价格为 1.4 元/Wh。

(2) 假设每经过一次使用，电池容量衰减为原来的 99.98%。

(3) 电价收益部分：在峰价时期，进行放电，在谷价时期，进行充电。每天放电时间为 8:00-11:00、19:00-22:00（共 6 小时），充电时间为 0:00-8:00、12:00-19:00（共 15h）。

表 26：使用退役、新电池的峰谷套利模型下 IRR（全投资回报率）比较

平均电价差 (元/kWh)	退役磷酸铁锂电池	购买新的磷酸铁锂电池
0.40	6.10%	--
0.45	8.29%	1.70%
0.50	10.35%	3.86%
0.55	12.37%	5.91%
0.60	14.32%	7.88%
0.65	16.24%	9.77%

资料来源：光大证券研究所测算

4、投资建议

锂电回收有助于弥补上游资源、特别是锂资源供给缺口，锂电回收市场空间及发展前景广阔。关注：（1）具备完善金属资源回收能力的锂电回收企业：天奇股份、光华科技；（2）转型切入锂电回收领域的企业：旺能环境、浙富控股；（3）形成产业链一体化闭环的三元前驱体及正极企业：邦普循环（宁德时代）、芳源股份、中伟股份、格林美等。

5、风险分析

- 1、**政策风险**：政策推进、补贴规模不及预期导致锂电回收推行受阻；
- 2、**市场风险**：新能源车需求不及预期；动力电池回收渗透率不及预期；相关金属价格大跌导致电池回收不具经济性；
- 3、**技术风险**：动力电池回收工艺降本不及预期；
- 4、**环保风险**：回收过程相关工艺有污染风险，相关环保风险较大。

行业及公司评级体系

	评级	说明
行业及公司评级	买入	未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上
	增持	未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；
	中性	未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
	减持	未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至 15%；
	卖出	未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；
	无评级	因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。
基准指数说明：		A 股主板基准为沪深 300 指数；中小盘基准为中小板指；创业板基准为创业板指；新三板基准为新三板指数；港股基准指数为恒生指数。

分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。负责准备以及撰写本报告的所有研究人员在此保证，本研究报告中任何关于发行商或证券所发表的观点均如实反映研究人员的个人观点。研究人员获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户反馈、竞争性因素以及光大证券股份有限公司的整体收益。所有研究人员保证他们报酬的任何一部分不与、不与，也将不会与本报告中的具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

法律主体声明

本报告由光大证券股份有限公司制作，光大证券股份有限公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格，负责本报告在中华人民共和国境内（仅为本报告目的，不包括港澳台）的分销。本报告署名分析师所持中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格编号已披露在报告首页。

中国光大证券国际有限公司和 Everbright Securities(UK) Company Limited 是光大证券股份有限公司的关联机构。

特别声明

光大证券股份有限公司（以下简称“本公司”）创建于 1996 年，系由中国光大（集团）总公司投资控股的全国性综合类股份制证券公司，是中国证监会批准的首批三家创新试点公司之一。根据中国证监会核发的经营证券期货业务许可，本公司的经营范围包括证券投资咨询业务。

本公司经营范围：证券经纪；证券投资咨询；与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问；证券承销与保荐；证券自营；为期货公司提供中间介绍业务；证券投资基金代销；融资融券业务；中国证监会批准的其他业务。此外，本公司还通过全资或控股子公司开展资产管理、直接投资、期货、基金管理以及香港证券业务。

本报告由光大证券股份有限公司研究所（以下简称“光大证券研究所”）编写，以合法获得的我们相信为可靠、准确、完整的信息为基础，但不保证我们所获得的原始信息以及报告所载信息之准确性和完整性。光大证券研究所可能将不时补充、修订或更新有关信息，但不保证及时发布该等更新。

本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次发布时光大证券研究所的判断，可能需随时进行调整且不予通知。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。客户应自主作出投资决策并自行承担投资风险。本报告中的信息或所表述的意见并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。

不同时期，本公司可能会撰写并发布与本报告所载信息、建议及预测不一致的报告。本公司的销售人员、交易人员和其他专业人员可能会向客户提供与本报告中所载观点不同的口头或书面评论或交易策略。本公司的资产管理子公司、自营部门以及其他投资业务板块可能会独立做出与本报告的意见或建议不相一致的投资决策。本公司提醒投资者注意并理解投资证券及投资产品存在的风险，在做出投资决策前，建议投资者务必向专业人士咨询并谨慎抉择。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。投资者应当充分考虑本公司及本公司附属机构就报告内容可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一信赖依据。

本报告根据中华人民共和国法律在中华人民共和国境内分发，仅向特定客户传送。本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、复制、转载、刊登、发表、篡改或引用。如因侵权行为给本公司造成任何直接或间接的损失，本公司保留追究一切法律责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

光大证券股份有限公司版权所有。保留一切权利。

光大证券研究所

上海

静安区南京西路 1266 号
恒隆广场 1 期办公楼 48 层

北京

西城区武定侯街 2 号
泰康国际大厦 7 层

深圳

福田区深南大道 6011 号
NEO 绿景纪元大厦 A 座 17 楼

光大证券股份有限公司关联机构

香港

中国光大证券国际有限公司
香港铜锣湾希慎道 33 号利园一期 28 楼

英国

Everbright Securities(UK) Company Limited
64 Cannon Street, London, United Kingdom EC4N 6AE