

面向全面电动化的汽车 资源风险评估和资源效 率研究

中汽数据有限公司

2022.8

关于作者

赵冬昶，博士，中国汽车技术研究中心有限公司 首席专家，中汽数据有限公司 副总经理，主要从事汽车行业经济政策分析、资源效率分析及碳金融等研究，zhaodongchang@catarc.ac.cn。

赵明楠，硕士，工程师，中汽数据有限公司，主要从事汽车碳中和、绿色制造研究及碳金融，zhaomingnan@catarc.ac.cn。

孙铎，博士，高级工程师，主要从事生命周期评价、碳排放标准政策及资源效率分析等研究，中汽数据有限公司，sunxin@catarc.ac.cn

徐树杰，硕士，高级工程师，中汽数据有限公司，负责中汽数据生态业务部全面工作，包括经营发展、科研管理和人才发展等方面，xushujie@catarc.ac.cn。

季长兴，硕士，助理工程师，中汽数据有限公司，主要从事绿色低碳能源和新能源汽车资源风险及资源效率等研究，jichangxing@catarc.ac.cn。

李建新，硕士，助理工程师，中汽数据有限公司，从事车队碳排放核算、新能源汽车资源效率及碳减排决策支持等研究，lijianxin@catarc.ac.cn。

吴金龙，硕士，助理工程师，中汽数据有限公司，主要从事绿色低碳能源和新能源汽车资源风险及资源效率等研究，wujinlong@catarc.ac.cn。

张廷，硕士，工程师，中汽数据有限公司，从事汽车行业碳减排碳中和政策研究及资源效率分析等研究，zhangting@catarc.ac.cn。

焦显辉，硕士，助理工程师，中汽数据有限公司，主要从事绿色低碳能源和新能源汽车资源风险及资源效率等研究，jiaoxianhui@catarc.ac.cn。

致谢

本研究由中汽数据有限公司统筹撰写，由能源基金会提供资金支持。

本研究是【能源基金会交通项目的课题，是面向全面电动化的汽车资源风险评估和资源效率】。

研究团队感谢以下专家在项目研究过程中作出的贡献：

【代涛 中国地质科学院】

【张宇平 格林美股份有限公司】

【龚先政 北京工业大学】

【邓毅 生态环境部固体废物与化学品管理中心】

【汪鹏 中国科学院城市环境研究所】

【刘刚 南丹麦大学】

【谭娟 丹麦地质调查局】

【刘子瑜 宁德时代新能源科技股份有限公司】

【王德钊 合肥国轩高科动力能源有限公司】

【孟凡然 剑桥大学】

关于项目单位/关于能源基金会

中汽数据有限公司：

中汽数据有限公司以汽车大数据为基础，汽车领域模型算法为支柱，深入开展节能低碳、绿色生态、市场研究等工作。面向“新基建”、“新四化”发展，在中国汽车工业云、智能网联、智能座舱、工业互联网（工业软件）等领域精准发力，通过中国汽车产业数据基础设施建设及国家级汽车产业数据体系构建，以“‘数’驱产业变革，‘智’领汽车未来”为使命，致力于打造“国家级汽车产业数据中心、国家级汽车产业链决策支撑机构、国家级泛汽车产业数字化支撑机构”。

能源基金会：

能源基金会是在美国加利福尼亚州注册的专业性非营利公益慈善组织，于1999年开始在中国开展工作，致力于中国可持续能源发展。基金会在北京依法登记设立代表机构，由北京市公安局颁发登记证书，业务主管单位为国家发展和改革委员会。

能源基金会的愿景是通过推进可持续能源促进中国和世界的繁荣发展和气候安全。我们的使命是通过推动能源转型和优化经济结构，促进中国和世界完成气候中和，达到世界领先标准的空气质量，落实人人享有用能权利，实现绿色经济增长。我们致力于打造一个具有战略眼光的专业基金会，作为再捐资者、协调推进者和战略建议者，高效推进使命的达成。

摘要

自“双碳”目标发布以来，各行各业积极布局碳达峰、碳中和工作。汽车产业作为国民经济支柱产业之一，其社会影响巨大，因此如何推进汽车产业碳中和工作成为重中之重，其中汽车的全面电动化是解决汽车行业碳排放问题的关键。动力蓄电池是汽车的全面电动化进程中的关键环节，全面电动化下持续增长的动力蓄电池需求，让我国面临潜在的资源风险，特别是对锂、镍和钴等金属资源的风险。在全面电动化背景下，开展对锂、钴和镍等动力蓄电池关键材料的资源风险评估和资源效率研究，研究包括背景与政策现状调研，资源供给、需求与回收研究，资源风险与效率分析，风险应对策略研究及政策建议等内容。同时，依据产业发展状况设立保守情景与理想情景，采用全生命周期物质流方法，全方位分析全面电动化下我国未来会面临的锂、镍、钴资源风险。

供给研究显示，我国目前锂资源相对丰富，镍、钴储量相对匮乏，极其依赖资源进口；全球锂资源主要分布于智利、澳大利亚，镍资源主要分布于印度尼西亚、澳大利亚，钴资源主要分布于刚果；智利、澳大利亚、古巴、巴西等国未来有较大的关键矿产资源投资潜力。需求研究显示，随电动化推进，未来我国新能源汽车行业锂、镍、钴资源需求量快速上升，理想情景下到 2035 年新能源汽车行业锂、镍、钴资源分别可达 72 万吨、44 万吨与 5.3 万吨；未来新能源汽车行业在镍与钴资源上将分别面临来自不锈钢行业与 3C 电池行业的资源竞争。资源风险研究显示，在资源供需方面，理想情景下，我国锂资源在 2036 年前供不应求，钴资源在 2046 年前供不应求，镍资源不存在供不应求风险；在资源对外依存度方面，我国锂、镍、钴资源在 2050 年前资源对外依存度始终较高，保持在 50%以上，有潜在的供应链风险。资源效率研究显示，理想情景设置下，可大幅提升资源效率。风险应对策略研究显示，在 2054 年前电池优化策略的更显应对效果最好，2054 年后再生回收水平提升有更大更显应对潜力。

根据研究结果针对我国政府、行业、企业提供针对性建议。在政府层面，一是加快矿产布局，包括我国锂矿布局及国外镍、钴矿布局；二是开展技术创新，推进新型电池包研发及应用，推进高密度锂离子动力蓄电池包技术攻关，推进低碳替代燃料发展；三是发布相应资源风险应对政策，完善、健全回收法规，建立动力蓄电池标签/护照制度，建立资源税制度等。在行业层面，充分发挥行业的引导作用，引导建立资源友好的新能源汽车发展路线图，推进电动车换电、燃料电池、新型电池的发展。在企业层面，一是提升企业新矿产资源获取能力，尽快开

展全球上游矿产布局；二是确保企业二次资源的保障，保障企业对动力蓄电池所有权，鼓励企业于海外建立废弃动力蓄电池回收、拆解、再生工厂等。

内容目录

摘要	I
表目录	VI
图目录	VII
1. 研究背景与政策现状	1
1.1. 研究背景	1
1.2. 国内外政策现状	2
1.2.1. 国外政策	2
1.2.2. 国内政策	5
1.3. 资源风险和资源效率研究现状	10
1.3.1. 关键金属的物质存量核算	10
1.3.2. 关键金属的资源风险	11
1.3.3. 资源风险应对策略	12
1.4. 研究必要性	13
1.4.1. 研究内容	13
1.4.2. 研究必要性	14
1.4.3. 研究目的	14
2. 研究方法 with 范围	15
2.1. 研究边界范围	15
2.2. 研究方法	15
2.2.1. 方法论	15
2.2.2. 技术路线图	16
2.2.3. 情景设置 with 关键参数设置	16
3. 新能源汽车产业发展分析	17
3.1. 中国新能源汽车销量预测	17
3.2. 全球新能源汽车销量预测	17
4. 锂、镍、钴资源供给研究	19
4.1. 我国锂、镍、钴资源供给研究	19
4.1.1. 我国锂资源供给研究	19
4.1.2. 我国镍资源供给研究	20

4.1.3. 我国钴资源供给研究	21
4.2. 全球锂、镍、钴资源供给研究	22
4.2.1. 全球锂资源供给研究	22
4.2.2. 全球镍资源供给研究	24
4.2.3. 全球钴资源供给研究	26
5. 锂、镍、钴资源需求研究	28
5.1. 锂、镍、钴资源需求研究方法	28
5.1.1. 新能源汽车行业锂、镍、钴资源需求研究方法	28
5.1.2. 其他行业锂、镍、钴资源需求研究方法	30
5.2. 中国锂、镍、钴资源需求预测	30
5.2.1. 新能源汽车行业锂、镍、钴资源需求预测	30
5.2.2. 中国全行业锂、镍、钴资源需求预测	32
5.3. 全球锂、镍、钴资源需求预测	34
5.3.1. 新能源汽车行业锂、镍、钴资源需求预测	34
5.3.2. 全球全行业锂、镍、钴资源需求预测	36
6. 锂、镍、钴资源回收研究	38
6.1. 锂、镍、钴资源回收研究方法	38
6.2. 中国锂、镍、钴资源回收量预测	40
7. 新能源汽车行业锂、镍、钴资源物质流分析	43
8. 锂、镍、钴资源风险分析	45
8.1. 锂、镍、钴资源供需不平衡风险	45
8.1.1. 我国锂、镍、钴资源自身供需关系分析	45
8.1.2. 全球锂、镍、钴资源供需关系分析	47
8.1.3. 我国整体锂、镍、钴资源供需研究	49
8.1.4. 我国锂、镍、钴进口资源需求与国外资源供给关系分析	51
8.2. 锂、镍、钴资源对外依存度风险	53
8.2.1. 锂、镍、钴资源对外依存度计算方法	53
8.2.2. 锂、镍、钴资源对外依存度结果	54
8.3. 锂、镍、钴资源风险分析小结	55
9. 锂、镍、钴资源效率分析	56
9.1. 锂、镍、钴资源效率分析方法	56
9.2. 锂、镍、钴资源利用次数分析	57
9.3. 锂、镍、钴资源单位资源能源载荷量分析	58

10. 锂、镍、钴资源风险应对策略研究	60
10.1. 锂、镍、钴资源风险应对策略敏感性分析	60
11. 政策建议.....	62
11.1. 政府层面风险应对建议	62
11.2. 行业层面风险应对建议	64
11.3. 企业层面风险应对建议	64
12. 研究结论	64
13. 参考文献	65
免责声明	70

表目录

表 1-1	各国汽车电动化的资源风险管理现状.....	3
表 1-2	汽车产业中长期发展规划关于新能源汽车的主要内容.....	7
表 1-3	中国关于新能源汽车的相关法规.....	8
表 1-4	新能源汽车动力蓄电池的相关法规.....	10
表 1-5	资源风险与资源效率研究现状.....	12
表 2-1	保守情景与理想情景设置.....	17
表 4-1	中国锂资源储量分布情况.....	19
表 4-2	中国镍资源储量分布情况.....	20
表 4-3	中国钴资源储量分布情况.....	21
表 4-4	2020 年全球锂资源储量及开采量.....	23
表 4-5	2020 年全球镍资源储量及开采量.....	25
表 4-6	2020 年全球钴资源储量及开采量.....	27
表 6-1	动力蓄电池寿命设置.....	39
表 6-2	动力蓄电池回收相关参数设置.....	40
表 10-1	各风险应对策略于 2020—2060 年较基准线一次资源需求累计降低量.....	60

图目录

图 1-1	全球不同地区的新能源汽车保有量（从 2010—2020 年）	1
图 1-2	中国新能源汽车销量（2010—2020 年） ^[30]	6
图 1-3	中国新能源汽车保有量（2014—2019 年） ^[30]	6
图 1-4	我国新能源汽车动力蓄电池装机量（2013—2020 年） ^[31]	7
图 2-1	ISO 14040 标准 LCA 的技术框架	15
图 2-2	材料的生命周期物质流	16
图 2-3	研究技术路线图	16
图 3-1	中国新能源汽车销量预测	17
图 3-2	全球主要国家新能源乘用车销量预测	18
图 3-3	全球主要国家新能源商用车销量预测	19
图 4-1	中国锂资源储量分布图	20
图 4-2	中国镍资源储量分布图	21
图 4-3	中国钴资源储量分布图	22
图 4-4	全球锂资源储量分布	24
图 4-5	全球锂资源开采量分布	24
图 4-6	全球镍资源储量分布	26
图 4-7	全球镍资源开采量分布	26
图 4-8	全球钴资源储量分布	28
图 4-9	全球钴资源开采量分布	28
图 5-1	我国新能源汽车行业锂资源需求量预测（LCE 吨）	31
图 5-2	我国新能源汽车行业镍资源需求量预测（吨）	31
图 5-3	我国新能源汽车行业钴资源需求量预测（吨）	32
图 5-4	我国全行业锂资源需求量预测	33
图 5-5	我国全行业镍资源需求量预测（吨）	33
图 5-6	我国全行业钴资源需求量预测（吨）	34
图 5-7	全球新能源汽车行业锂资源需求量预测（LCE 吨）	35
图 5-8	全球新能源汽车行业镍资源需求量预测（吨）	35
图 5-9	全球新能源汽车行业钴资源需求量预测（吨）	36
图 5-10	全球全行业锂资源需求量预测（LCE 吨）	37
图 5-11	全球全行业镍资源需求量预测（吨）	37
图 5-12	全球全行业钴资源需求量预测（吨）	38
图 6-1	资源回收模型技术路线图	39
图 6-2	我国动力蓄电池锂资源回收量及新电池循环锂占比	41
图 6-3	我国动力蓄电池镍资源回收量及新电池循环镍占比	42
图 6-4	我国动力蓄电池钴资源回收量及新电池循环钴占比	43
图 7-1	2020 年与 2035 年新能源汽车行业锂资源物质流分析	44
图 7-2	2020 年与 2035 年新能源汽车行业镍资源物质流分析	44
图 7-3	2020 年与 2035 年新能源汽车行业钴资源物质流分析	45
图 8-1	我国锂资源自身供需曲线（LCE 吨）	46
图 8-2	我国镍资源自身供需曲线（吨）	46

图 8-3	我国钴资源自身供需曲线（吨）	47
图 8-4	全球锂资源供需曲线（LCE 吨）	48
图 8-5	全球镍资源供需曲线（吨）	48
图 8-6	全球钴资源供需曲线（吨）	49
图 8-7	我国锂资源总供需（LCE 吨）	50
图 8-8	我国镍资源总供需（吨）	50
图 8-9	我国钴资源总供需	51
图 8-10	国外锂资源供给量与我国进口一次锂资源需求量关系（LCE 吨）	52
图 8-11	国外镍资源供给量与我国进口一次镍资源需求量关系（吨）	52
图 8-12	国外钴资源供给量与我国进口一次钴资源需求量关系（吨）	53
图 8-13	我国新能源汽车行业锂资源对外依存度与进口资源需求量	54
图 8-14	我国新能源汽车行业镍资源对外依存度与进口资源需求量	55
图 8-15	我国新能源汽车行业钴资源对外依存度与进口资源需求量	55
图 9-1	锂资源利用次数	57
图 9-2	镍资源利用次数	58
图 9-3	钴资源利用次数	58
图 9-4	锂资源单位资源能源载荷量（kWh/kg LCE）	59
图 9-5	镍资源单位资源能源载荷量（kWh/kg）	59
图 9-6	钴资源单位资源能源载荷量（kWh/kg）	60
图 10-1	不同风险应对策略下新能源汽车行业一次锂资源需求量变化 （LCE 吨）	61
图 10-2	不同风险应对策略下新能源汽车行业一次镍资源需求量变化（吨）	61
图 10-3	不同风险应对策略下新能源汽车行业一次钴资源需求量变化（吨）	62

1. 研究背景与政策现状

1.1. 研究背景

交通是全球能源消耗、资源消耗、污染物和温室气体排放的重要部门。全球交通行业的二氧化碳排放量逐年增加，是碳排放量第二大的部门（2019 年二氧化碳排放量占全球的 24%），也是城市空气污染的主要原因（全球由于交通运输的尾气排放造成的与环境细颗粒物（PM2.5）和地面臭氧引起疾病而死亡的人数分别占总人数的 11.7%和 11.4%）^[1,2]。近年来，各国政积极推广电动汽车来减少交通行业的能源消耗、资源消耗、温室气体排放和环境污染^[3-9]。如图 1-1 所示，在过去十年中，新能源汽车的存量在全球呈现指数性增长的趋势，2020 年全球电动乘用车存量约 1020 万辆，是 2019 年的 1.4 倍^[10]。其中，中国是全球最大的新能源汽车市场，2020 年存量达 451 万辆， 占全球电动汽车存量的 44.2%，欧洲和美国紧随其后。欧盟针对汽车制造商制定二氧化碳排放标准，并立法为清洁车辆公共采购设定了成员国的最低标准，也大大推动了其电动汽车的普及^[11]。法国、英国和瑞典等 10 余个欧洲国家提出了燃油车禁售声明，预计在 2040 年前这些国家所销售的新乘用车和轻型商用车将实现 100%零排放（车辆行驶阶段）。

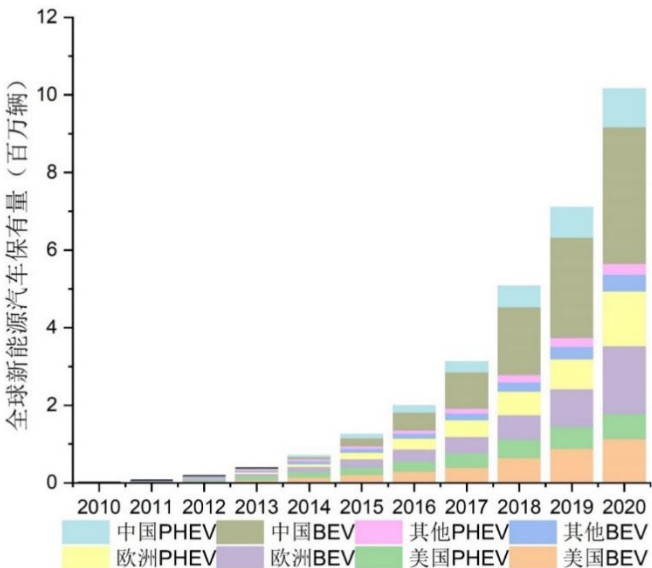


图 1-1 全球不同地区的新能源汽车保有量（从 2010—2020 年）

此外，各国政府或行业协会针对于废弃电动汽车的处理处置也出台了一系列的管理政策。锂电池是电动汽车的关键设备。随着电动汽车的大力推广和普及，

锂离子电池的使用增速势必呈现逐年上升的趋势，且电动汽车的锂离子电池往往在达到其最大使用寿命之前往往就被废弃，从而导致大量废弃锂离子电池进入城市垃圾流^[12]。锂离子电池有很多有毒物质，例如重金属和有机电解质，会分解成有害气体，如醛和酮。因此处理不当，将对环境和人类健康造成严重风险。因此，合理处理处置废弃电动汽车，特别是锂离子电池成为各国政府汽车电动化普及的资源管理和利用的关键环节。

1.2. 国内外政策现状

1.2.1. 国外政策

许多国家和地区出台了一系列法律法规来管理和回收废旧电动汽车，并取得了显著的效果（表 1-1）^[13,14]。欧盟在管理废旧电动汽车及其锂离子电池上制定了较为先进和严格的规定。2000 年，欧洲颁布了报废汽车回收的指令，并要求汽车制造商和消费者在 2015 年对于 M1 和 N1 这两种型号的汽车实现再利用+回收（recovery）达 95%，以及再利用+回收（recycle）达 85%的目标^[11]。而在 2006 年，欧盟就出台了关于回收废弃锂离子电池的严格法规，要求其回收率必须在 2012 年达到 25%，在 2016 年达到 45%^[15]。德国作为欧盟的先进国家，积极实施该指令，建立了废弃锂离子电池管理的生产者责任制度。另外德国在此基础上制定了本国的电池法令，要求电动汽车生产企业承担回收责任和费用。其他成员国如丹麦、瑞典和荷兰也积极参与其中，并达到指令的回收目标^[16]。在 2020 年，欧盟再次更新了关于废电池回收的指令，以 2025 年和 2030 年为时间节点，设置了三个目标，即中等，高等和理想目标，以望在 2025 年，废旧锂离子电池的回收率达 65%以上^[17]。2022 年，欧洲议会投票通过《欧盟电池与废电池法规》最新修改版本（以下简称“新电池法”），将电池管控方式由指令上升为法规，更新了部分金属与电池的回收率要求，同时提出新动力蓄电池循环材料含量要求，该法规尚未正式发布与生效。在美国，没有关于具体的关于废旧电动汽车和动力蓄电池管理的联邦法规，但是有一些法律法规涉及到了对于电动汽车的管理，例如《资源保护恢复法》、《清洁空气法》、《反汽车盗窃法》以及《模范消费者电池管理法案》。电车回收行业的汽车回收协会运营一个信息网站，提供相关法规，以达到更严格的规定^[18]。作为一个汽车和电子工业非常发达的国家，日本已经制定了几项法律来应对大量汽车和锂离子电池的产生，例如颁布了《报废车辆回收法》，以期在 2015 年后对于报废汽车的回收达到 70%以上。根据 2001 年批准的《促进资源有效利用法》和 2012 年批准的《促进废旧小型电子设备回收再利用法》这两项法律，政府、制造商、零售商、消费者、加工企业和移动电话运营商都有责任回收废旧锂离子电池^[19,20]。韩国在 2017 年出台了《清洁空气保护法》，指出消费者有义务返还电动汽车电池，并获得补贴，但是并没有对于其电池回收率做出

明确的目标规定^[21]。加拿大政府没有对废旧锂离子电池的回收做出明确的规定，但是各个州颁布了严格的法律法规，例如英属哥伦比亚省和安大略省分别颁布电池回收法规，以望最终的电池回收率分别能达到 75%和 80%^[22,23]。作为世界上最大的电池和汽车生产和使用国，中国也采取了必要的措施来应对这种情况^[24]。

表 1-1 各国汽车电动化的资源风险管理现状

国家	法规名称	发布时间	管理部门	主要内容	管理要求
欧洲	《关于报废车辆的指令 2000/53/EC》	2000	欧洲委员会	汽车制造商和进口商以及最终用户对 M1 和 N1 型号汽车进行回收利用	2006 年:再利用+回收 (recovery) :85% 再利用+回收 (recycle) :80% 2015 年:再利用+回收 (recovery) :95% 再利用+回收 (recycle) :85%
	《关于废电池，废除 2006/66/EC 指令，修订 2019/1020 号条例》	2020 年	欧洲委员会	建立基于延伸生产者责任制的电池回收系统	中等目标：2025 年锂离子电池回收率：65%；铅酸电池回收率：75%；Co，Ni，Li，Cu 和 Pb 的原料回收率：90%，90%，35%，90%和 90%；对不可充电便携电池的技术参数和耐用性进行了设定。
					高等目标：2030 年锂离子电池回收率：70%；铅酸电池回收率：80%；Co，Ni，Li，Cu 和 Pb 的原料回收率：95%，95%，70%，95%和 95%；逐步淘汰不可充电的便携式电池。
					理想目标：2025 年便携式电池回收率：75%；一般性便携电池完全淘汰。
	《欧盟电池与废电池法规》（草案）	2020 年发布；2022 年更新	欧盟委员会	针对于动力蓄电池全生命周期和价值链；提出新动力蓄电池循环材料含量要求	加入镍铬电池、其他废电池的回收率要求，更新 Li 的回收要求：镍铬电池 2025 年回收率 85%；Li 在 2026 年与 2030 年回收率分别提升至 70%与 90%。新动力蓄电池循环材料要求：2030 年 Co、Pb、

国家	法规名称	发布时间	管理部门	主要内容	管理要求
					Li、Ni 分别为 12%、85%、4%、4%；2035 年 Co、Pb、Li、Ni 分别为 20%、85%、10%、12%；
德国	《新电池法》	2006 ， 2020	德国政府	关于废旧蓄电池的回收利用与欧盟类似	目标和欧盟 2006 年的电池法令类似，但主要是电动汽车生产企业承担回收责任和费用。新法令颁布后，所有制造商统一通过德国 ear 官方办理注册申请。
美国	《资源保护恢复法》； 《清洁空气法》；《反汽车盗窃法》		美国政府； 汽车回收行业协会	在国家层面上没有直接管理废旧电动汽车的监管体系；但回收商收集的车辆信息由国家管理。电车回收行业的汽车回收协会运营一个信息网站，提供相关法规，以达到更严格的规定。	无具体目标（目前 95% 的电动汽车进入回收路线，其中 80% 的材料被回收）
	《模范消费者电池管理法案》	2014	Call2Recycle 和电池回收公司联合立法	法案未包含详细或严格的条款来解决电池收集和回收问题，且很多现有的州法律未包含具体明确的回收率目标	实施后 2 年达到 10%，五年达到 20%
日本	《促进资源有效利用法》；《促进废旧小型电子设备回收再利用法》	2001 ； 2012	主管大臣（经产省、国交省、农水省、财务省、厚生劳动省和环境省大臣）	鼓励制造商自愿收集和回收资源；政府、制造商、零售商、消费者、加工企业和移动电话运营商都负责回收废品	对于电池的回收率并没有专门的法律规定
	《报废车辆回收法》	2006	日本政府	对所有车辆(包括巴士、卡车等)，但两轮车辆除外进行回收	回收率：2005 年—2009 年：30% 2010 年—2014 年：50% 2015 年后：70%

国家	法规名称	发布时间	管理部门	主要内容	管理要求
韩国	《清洁空气保护法》	2017	韩国环境管理部门	消费者有义务返还电动汽车电池，并获得补贴	没有关于电动汽车报废电池回收的规定
加拿大	英属哥伦比亚回收法（BC Reg 449/2004）	2004	英属哥伦比亚省环境管理部门	回收所有类型的电池包括手机电池	2012 年电池回收率：25%；2016 年电池回收率：45%；最终目标 75%
	2002 年固废转移行动	2002	安大略省环境管理部门	转移危险和特殊的固废	2012 年电池回收率：25%；2016 年电池回收率：45%；最终目标 80%

1.2.2. 国内政策

为推广新能源汽车，我国于 2009 年启动了“十城千辆”工程，在 2010—2013 年共推广了新能源汽车 11.14 万辆（见图 1-2）^[25]。2014 年以后，随着国家和各地方新能源汽车相关法规、标准、直接和间接激励政策的强力推出^[26]，新能源汽车进入大规模推广应用阶段。仅 2014 年一年的新能源汽车销售量即为过去四年的 2.0 倍。从 2014 年到 2018 年，中国的新能源汽车销量成线性增长趋势，到 2018 年中国新能源汽车销量达 125.6 万辆，是 2014 年的 16.8 倍。2018 年之后，中国电动汽车市场处于一个稳定供需阶段，销量在 120.6 万~132.09 万辆之间^[27]。值得注意的是，在过去的 10 年里，中国新能源汽车销售占比最大的是纯电动汽车，其占比在 60.2%~90.3%之间^[27]。因此，中国居民的新能源汽车保有量，特别是电动汽车保有量，也呈现线性增加的趋势（见图 1-3）。截至 2020 年底，新能源汽车保有量达 492 万辆，占汽车总量的 1.75%；其中纯电动汽车保有量达 400 万辆，占新能源汽车总量的 81.32%。2020 年，新能源汽车产销分别完成 136.6 万辆和 136.7 万辆，其中纯电动汽车产销分别完成 110.5 万辆和 111.5 万辆，占新能源汽车的 80.9%和 81.6%。预计 2025 年将达到 3500 万辆左右^[28,29]。未来，中国乘用车交通系统电动化进程将进一步加快。到 2025 年新能源汽车的总销量将占当年汽车总销量的 25%，预计将超过 800 万辆。而动力蓄电池的装机量随着电动汽车的推广也呈现指数性增长，从 2013 年约 1.4GWh 增长到 2020 年的 270.7GWh（图 1-4）。因此，我国针对于新能源汽车特别是电动汽车以及锂离子电池的管理包括推动产业发展，废物拆解，回收处理处置都制定了一系列的政策。

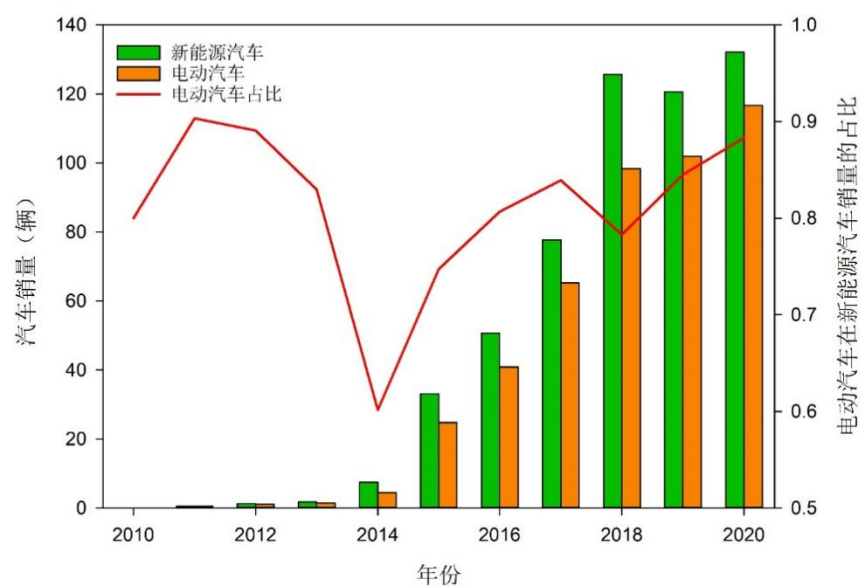


图 1-2 中国新能源汽车销量（2010—2020 年）^[30]

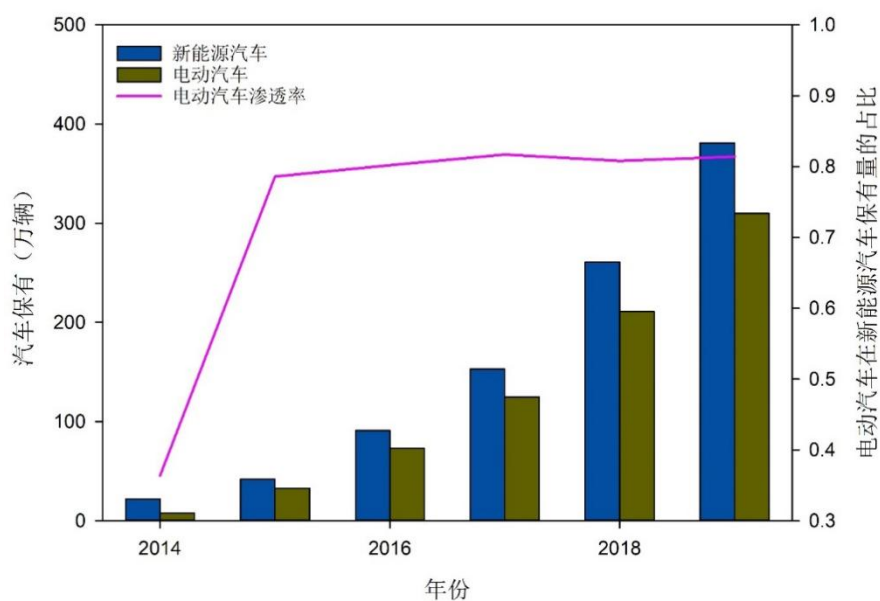


图 1-3 中国新能源汽车保有量（2014—2019 年）^[30]

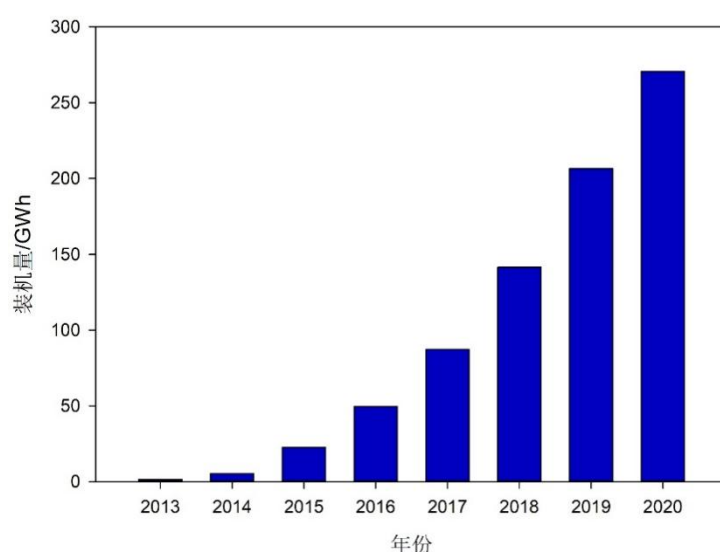


图 1-4 我国新能源汽车动力蓄电池装机量（2013—2020 年）^[31]

我国对于新能源汽车的回收行业管理是在现有框架下，结合新的发展规划开展的，且是在中国新能源汽车行业发展具有一定规模进行的资源风险管理。2017 年，我国颁布了《汽车产业中长期发展规划》，提出了加快新能源汽车行业发展的政策，例如培养全球领先的新能源汽车企业，加快技术研发和产业化以及建立智能示范区等，并在规划目标中明确要求新能源汽车行业的绿色发展水平须大幅提高，即新能源汽车能耗处于国际先进水平，汽车可回收利用率达到 95%（表 2）^[32]。2019 年，我国首次在《报废机动车回收管理办法》和《报废机动车回收拆解企业技术规范》中添加了有关新能源汽车的内容，针对于报废新能源机动车的回收以及拆解的特殊事项进行明确规定，例如将动力蓄电池包完整交给具有资质的企业进行处理（表 1-3）。目前，报废机动车回收管理办法正在制定中，将会对新能源电动车回收企业，特别是动力蓄电池回收企业的资质认定以及其管理、回收拆解和利用行为，进行进一步细化。2020 年，国务院办公厅进一步颁布关于新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）的规划，规划中明确指出要提高技术创新能力和构建新型产业生态，特别是发展电池技术和构建新型产业生态^[33]（表 1-2）。

表 1-2 汽车产业中长期发展规划关于新能源汽车的主要内容

法规名称	发布时间	发布单位	具体内容	
汽车产业中长期发展规划	2017 年 4 月	工信部；发改委和科技部	指导思想	以新能源汽车和智能网联汽车为突破口，引领产业转型升级
			规划目标	关键技术取得重大突破：到 2020 年，培育形成若干家进入世界前十的新能源汽车企业；到 2025 年，新能源汽车骨干企业在全球的影响力和市场份额进一步提升

法规名称	发布时间	发布单位	具体内容	
				中国品牌汽车全面发展：在新能源汽车领域形成全球创新引领能力
				绿色发展水平大幅提高：新能源汽车能耗处于国际先进水平，汽车可回收利用率达到95%
			重点任务	发布实施节能与新能源汽车、智能网联汽车技术路线图，明确近、中、远期目标
				突破重点领域，引领产业转型升级。加快新能源汽车技术研发及产业化。加大新能源汽车推广应用力度。建设新能源汽车分布式利用可再生能源的智能示范区
新能源汽车产业发展规划（2021—2035年）	2020年10月	国务院办公厅	总体思路	坚持电动化、网联化、智能化发展方向，深入实施发展新能源汽车国家战略
			发展目标	到2025年，我国新能源汽车市场竞争力明显增强，关键技术取得重大突破，安全水平全面提升。纯电动乘用车新车平均电耗降至12.0千瓦时/百公里，新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售总量的20%左右
			重点措施	提高技术创新能力，特别是电池技术的突破 构建新型产业生态：支持生态主导型企业发展；促进关键系统创新应用（动力蓄电池高效循环利用体系）

表 1-3 中国关于新能源汽车的相关法规

法规名称	发布时间	发布部门	管理要求
报废机动车回收管理办法	2019年5月	国务院	首次在报废机动车回收管理的专项法规中提出机动车生产企业承担生产者责任的管理要求，推动确立生产者责任延伸制度的实行依据；提出报废新能源汽车回收的特殊事项，另行制定管理规定，为后续相关政策体系的完善提供了依据。
报废机动车回收拆解企业技术规范	2019年12月	市场监督管理总局，国家标准委	新增电动汽车回收拆解技术规范内容。新增报废电动汽车回收拆解场地、设施设备、技术人员、存储、拆解等技术要求；与《实施细则》衔接，规定从报废电动汽车上拆卸下来的动力蓄电池包（组）完整交给具有资质的动力蓄电池回收利用企业进行处理，禁止进一步拆解，并接受生产企业技术指导。
报废机动车回收管理办法实施细则	2020年7月	商务部等	提出报废新能源汽车动力蓄电池回收相关管理要求。向回收拆解企业提供报废机动车拆解指导手册；机动车所有人应当书面说明情况，并对其真实性负责；回收拆解企业应当将报废新能源汽车及其动力蓄电池相关信息录入“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”系统。回收拆解

法规名称	发布时间	发布部门	管理要求
			企业应当按照国家对新能源汽车动力蓄电池回收利用管理有关要求，加强动力蓄电池回收利用全过程安全管理。拆卸的动力蓄电池应当交售给新能源汽车生产企业建立的动力蓄电池回收服务网点或从事废旧动力蓄电池综合利用的企业。生产企业未向回收拆解企业提供技术支持：责令改正，并处 1 万元以上 3 万元以下的罚款；回收拆解企业违反动力蓄电池回收管理有关规定：责令改正，并处 1 万元以上 3 万元以下的罚款。
HJ348 报废机动车回收拆解企业建设运行标准	修订中	市场监督管理总局，国家标准委	增加对新能源汽车方面的内容要求

同样，对于新能源汽车动力蓄电池（锂离子电池）的回收管理的起步也相对较晚。在电子行业发展初期，大部分的法律法规都是针对于铅酸电池的。而随着手机和纯电动车等设备的普及，与锂离子电池相关的管理规定也开始逐步出台（表 1-4）。在 2015 年，《废弃电器电子产品回收处理管理条例》中首次将废旧锂离子电池正式纳入到回收处理的范围内。2016 年 1 月和 3 月，我国颁布了《电动汽车动力蓄电池回收利用技术政策》和《废电池污染防治技术政策》，分别对废旧电动车汽车的回收利用和污染防治技术进行了规定^[34,35]。2018 年 2 月，工信部等七部委联合制定了《新能源汽车动力蓄电池回收利用管理暂行办法》，强调汽车制造商应承担动力蓄电池回收的首要责任，对动力蓄电池进行全生命周期管理^[36]。随后，工业和信息化部于 2018 年 7 月发布了《新能源汽车动力蓄电池回收利用溯源管理暂行规定》，要求建立国家监测和新能源汽车动力蓄电池回收利用可追溯综合管理平台，对动力蓄电池生产、销售、使用、报废、回收利用全过程进行可追溯管理^[37]。2018 年 7 月，工信部等七部委发布《关于开展新能源汽车动力蓄电池回收试点工作的通知》，确定北京、上海、江苏等为试点地区，这标志着我国动力蓄电池回收已进入大规模实施阶段^[38]。在这种情况下，各大重点城市根据当地动力蓄电池的发展状况，补充或出台相关的地方法规，推动动力蓄电池回收标准化。截至 2018 年底，29 个省的 109 家相关企业已被纳入废电器电子产品处置资金补贴清单。2020 年 4 月 29 日，第十三届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议对《中华人民共和国固体废物污染防治法》进行了修改并通过，自 2020 年 9 月 1 日起施行。本次修正案主要新增内容包括建立固体废物(含废资源库)污染防控信用记录制度，将违法信息纳入国家信用信息共享平台并予以公示，并明确了中国将逐步实现固体废物零进口^[39]。为了实现固体废物进口管理的修改内容，生态环境和其他三个部门发布了相关事项的通知，全面禁止进

口固体废物，并将从 2021 年 1 月 1 日生效^[40]。

表 1-4 新能源汽车动力蓄电池的相关法规

法规名称	发布时间	发布部门	管理要求
废弃电器电子产品回收处理管理条例	2015 年 2 月	发改委；环保部；工信部；财政部；海关总署以及税务总局	废锂离子电池正式纳入到回收处理范围内
电动汽车动力蓄电池回收利用技术政策	2016 年 1 月	发改委；环保部；工信部；商务部以及质检总局	对废旧电动汽车电池回收利用进行了规定
废电池污染防治技术政策	2016 年 3 月	环保部	对废锂离子电池污染防治技术进行了规定
新能源汽车动力蓄电池回收利用管理暂行办法	2018 年 8 月	工信部、科技部、环保部、交通运输部、商务部、质检总局、能源局	汽车厂商应承担动力蓄电池回收的主要责任
新能源汽车动力蓄电池回收利用溯源管理暂行规定	2018 年 8 月	工信部	必须建立新能源汽车国家监测和动力蓄电池回收利用溯源综合管理平台
关于新能源汽车动力蓄电池回收利用试点工作的通知	2018 年 7 月	工信部	确定部分试点地区和试点企业开展动力蓄电池回收试点工作
中华人民共和国固体废物污染环境防治法	2020 年 4 月	人大常委	建立固体废物(含废锂电池)污染防治信用记录制度
关于全面禁止进口固体废物有关事项的公告	2020 年 11 月	生态环境部、商务部、发改委、海关总署	禁止以任何方式进口固体废物

1.3.资源风险和资源效率研究现状

目前，全球，特别是中国，正处于一个向新能源汽车，特别是电动汽车过渡的阶段。因此，在未来，电动汽车的大量普及会带来锂、镍、钴等关键资源的需求量大量提升。我国/全球资源够不够支撑交通行业全面电动化？我国未来在全面电动化之路上会面临怎样的风险？通过提高电动汽车的资源效率是解决资源风险的一个十分有前景的方案。目前不少研究者就提高电动汽车的资源效率进行了一系列的研究，主要是三个方面：

1.3.1.关键金属的物质存量核算

了解电动汽车行业发展的所需的战略性金属资源存量，尤其是镍钴锂，对于整个行业的发展是十分必要的。从锂的物质存量来讲，Sun 等(2018) 使用动态物质流的方法分析了全球尺度的 1994—2015 年金属锂的产生和消费量，估算得出

锂在 2015 年的在用存量达到了 29Kt，且主体应用于陶瓷、玻璃和电池上^[41]。各个国家也分别估算了本国的金属锂的存量和使用量。Miatto 等（2020）使用物质流的分析方法估算了美国 1910—2016 年期间的金属锂消费量，结果发现 2016 年的金属锂的使用量为 6.5Gg，其中应用于电池的金属锂约占 43.1%^[42]。Hao 等（2017）使用物质流的分析方法，估算得 2015 年中国碳酸锂当量消费量为 86.7Kt，占全球总量的 50%。剩余的锂在用库存体现在电动汽车、消费电子产品、润滑油和玻璃/陶瓷中^[43]。Liu 等（2021）通过自下而上的物质流分析方法估算了中国锂离子电池的消费量，发现自 2000—2018 年，中国锂离子电池消费量从 1.4Kt 增加到了 547.1Kt。用于生产电池消耗的锂和钴累计为 61.8Kt 和 247.6Kt。且 2015 年之后电动汽车成为锂和钴消费增长的主要推动力，但值得注意的是锂离子电池的回收率仅不到 10%^[44,45]。从镍的物质存量来讲，Nakajima 等（2017）使用物质流的分析方法从全球尺度估算了 2010 年金属镍的库存量为 29000Kt，其中，中国、美国和日本是库存量最大的三个国家，分别占总量的 18%，11%以及 8.1%^[46]。而 Zeng 等（2015）则研究了中国镍的物质流，发现金属镍在 2015 年消费量达 1010Kt，且只有 30%的镍被进行回收^[47]。从钴的物质存量来讲，Sun 等（2019）使用动态物质流的方法估算全球 2015 年在用钴存量为 220Kt，其中钴回收的主体是在电池上^[48]。Chen 等（2019）则指出截止到 2016 年中国钴在用库存已超过 140Kt，其中电池中钴含量约占 77%，但钴的回收率一直保持在很低的水平，过去几十年不到 20%^[49]。

1.3.2. 关键金属的资源风险

为满足电动汽车的发展，材料供应链的限制尤其是其资源存量的限制也被考虑了进来，比如电池级石墨、电动汽车镍、钴和锂以及电机所需稀土元素（镨，铽，镱和钕）^[50]。有学者针对于限制电动汽车电池发展关键的七种金属进行了研究，结果发现，锂、镍、钴、钒、镉、铅和稀土元素在 1999 年的全球存量分别为 64，0.60，46，4.5，10，3.4 和 10Tg，且锂离子电池受到资源的约束相对较小，其材料库存可满足 120 亿万辆电动汽车的制造^[51]。Olafsdottir 和 Sverdrup 使用 WORLD7 模型评估了 1850—2200 年全球尺度金属镍长期供应的可行性，结果发现，目前镍的可开采量在 650~750 百万吨之间，在 2050 年其开采率达到最大值，而在 2130 年原生镍资源则会处于一个枯竭的状态^[52]。Zeng 等（2018）通过物质流和情景模拟的方法对 1950—2050 年中国镍资源供应的可持续性进行了评价，指出中国已查明的镍资源仅能维持中国产业到 2017 年，而镍的使用量在 2020—2022 年会在中国达到利用高峰，因此考虑到中国每年 5%的应用增长和镍进口的不断增加，要求国内的镍金属镍的回收达到 90%以上，以满足中国对于镍资源的需求^[53]。Chen 等（2019）指出根据情景模拟，预计到 2022 年左右，中国的钴累计需求量将超过中国的钴资源储备基数。

1.3.3. 资源风险应对策略

由于受到材料供应和环境影响相关的风险,电动汽车的发展极度依赖于被确定为关键元素的材料。新技术提供了最有希望的策略来大幅减少对关键金属的依赖,但可能导致负担转移,例如其他金属需求的增加。为避免后者,技术发展应与有效的回收系统相结合^[54]。回收和二次利用关键金属材料能够极大地提高电动汽车的制造潜力和制造容量。完善循环经济战略,可成功应对整个电动汽车供应链当前和未来的资源挑战。Abdelbaky et al., (2021)通过物质流分析和情景模拟的方法分析关键金属材料在电动汽车电池不同生命周期阶段的流动,预测到2040年,欧盟电动汽车库存将在72~7800万辆之间,而将会有3~1100个电池(125GWh)被进行二次利用。其不确定性有一定程度归因于废弃电池的潜在二次使用^[55]。Elshkaki (2020)使用动态物质流分析模型去分析九个模拟情景下的电动汽车的市场份额、材料含量、寿命及材料回收,结果发现,延长电动汽车的使用寿命以及使用多种类型的电池可降低与关键金属存量相关的风险^[56]。Watari 等(2019)通过动态物质流模型估算在当前回收率的情况下,到2050年,电动汽车的发展将会导致额外的300Mt的CO₂产生,并通过情景模拟发现,将回收率提高至80%则可大大促进电动汽车的引入^[57]。相关研究如表1-5所示。

表 1-5 资源风险与资源效率研究现状

作者(年份)	研究内容	主要方法	相关结论	数据来源
Sun 等(2018)	全球金属锂存量估算	动态物质流	锂在2015年的在用存量为29Kt	自统计年鉴、相关文献及各国数据库
Miatto 等(2020)	美国金属锂消费量	动态物质流	2016年的金属锂的使用量为6.5Gg	美国地质和矿业调查局、统计年鉴以及联合国商品贸易统计数据库
Hao 等(2017)	中国碳酸锂	物质流	2015年中国碳酸锂当量消费量为86.7Kt	政府部门的数据
Liu 等(2021)	中国锂离子电池消费量	动态物质流	18年间,锂离子电池消费量增加了近390倍	官方统计数据 and 调查数据
Nakajima 等(2017)	全球尺度金属镍的库存量	物质流	2010年金属镍的表观消费量为2100Kt	CEPII 产品级国际贸易世界数据库
Zeng 等(2015)	中国金属镍库存量	物质流	金属镍在2016年消费量达1090Kt	统计年鉴以及相关参考文献
Sun 等(2019)	全球金属钴存量	动态物质流	全球2015年在用钴存量为220Kt	相关的行业研究报告和参考文献
Chen 等(2019)	中国钴在用库存	物质流	2016年中国钴在用库存已超过140Kt	相关的行业研究报告和参考文献

Andersson 和 Rade (2001)	电池发展关键的七种金属的可使用量	静态物质流	锂、镍、钴、钒、镉、铅和稀土元素在1999年的全球存量分别为64,0.60,46,4.5, 10, 3.4 和 10Tg	统计年鉴, 行业标准和相关参考文献
Olafsdottir 和 Sverdrup(2021)	评价 1850-2200 年全球尺度金属镍长期供应的可行性	WORLD7 模型	镍的可开采量在650~750 百万吨之间, 在 2050 年其开采率达到最大值	统计年鉴和相关参考文献
Zeng 等(2018)	评价 1950-2050 年中国镍资源供应的可持续性	物质流和情景模拟	中国已查明的镍资源仅能维持中国产业到2017年, 而镍的使用量在2020-2022年会在中国达到利用高峰	政府网站和相关文献
Chen 等(2019)	估算中国1994-2016年钴的使用, 交易和未来需求	生命周期评价+情景模拟	2022 年左右, 中国的钴累计需求量将超过中国的钴资源储备基数。	统计年鉴和相关参考文献
Abdelbaky et al., (2021)	欧洲关键金属材料在电动汽车电池不同生命周期阶段的流动	物质流+情景模拟	2040 年, 欧盟电动汽车库存将在72~7800 万辆之间, 而将会有3~1100 个电池(125GWh) 被进行二次利用	行业报告和相关参考文献
Elshkaki (2020)	计算电动汽车的市场份额、材料含量、寿命及材料回收	动态物质流+情景模拟	延长电动汽车的使用寿命以及使用多种类型的电池可降低与关键金属存量相关的风险	统计年鉴, 行业报告和相关参考文献
Watari 等 (2019)	低碳情境下电动汽车的锂使用	物质流+情景模拟	将电动汽车回收率提高至80%则可大大促进电动汽车的引入	统计年鉴, 行业报告和相关参考文献

1.4. 研究必要性

1.4.1. 研究内容

本研究在汽车全面电动化的背景下, 进行新能源汽车动力蓄电池关键材料进行资源风险评估和资源效率研究, 主要研究内容包括:

1) 调研我国及全球锂、镍、钴资源供给状况。调研资源储量分布、开采情况, 清晰目前的全球矿产供应状况, 从供给侧识别潜在的资源风险。

2) 开展我国及全球锂、镍、钴资源需求与回收研究。结合我国与全球新能源汽车规模预测、未来动力蓄电池发展方向等要素,构建新能源汽车行业镍、钴、锂资源需求模型,对我国及全球新能源汽车行业镍、钴、锂资源需求量进行预测;结合当前各行业镍、钴、锂资源需求状况,以及各行业未来发展状况预测,对我国及全球全行业镍、钴、锂资源需求量进行预测。结合需求模型、当前及未来我国动力蓄电池回收及资源再生水平,对我国未来镍、钴、锂资源回收状况进行预测。

3) 开展锂、镍、钴资源风险与资源效率研究。构建镍、钴、锂等关键金属资源的资源风险与资源效率评估模型,分析未来我国在镍、钴、锂资源上会面临怎样的资源风险,资源使用效率会如何变化。

4) 开展资源风险应对策略研究。针对主要的风险应对策略进行资源减量能力敏感度分析,探索各类技术措施及管理方向的更显应对潜力,为政府、行业及企业指明更显应对方向与路径。

5) 提出应对资源风险的相关政策建议。针对于政府、行业及企业分别提出相应的镍、钴、锂资源风险应对措施建议。

1.4.2. 研究必要性

在全面电动化背景下,通过对锂、钴和镍等动力蓄电池关键材料进行资源风险评估和资源效率研究,将有利于了解锂、镍、钴三种资源供应链风险状况,帮助我国政府、行业、企业提前进行风险的应对,有助于我国以经济、平稳和环境友好的方式实现向绿色低碳交通运输的转变,助力碳中和目标的实现。

1.4.3. 研究目的

本研究聚焦全面电动化,开展汽车资源风险评估和资源效率研究,主要研究目的包括以下三个方面:

- 1) 全面分析我国及全球锂、镍、钴三种资源供需状况,准确识别潜在的锂、镍、钴资源风险。
- 2) 探寻资源风险应对方案,协助政府、行业及企业进行资源风险的应对。
- 3) 对不同的主体提出针对性建议和意见,保障我国全面电动化与交通行业碳中和顺利推进。

2. 研究方法与范围

2.1. 研究边界范围

2.2. 研究方法

2.2.1. 方法论

本研究采用全生命周期物质流方法，将生命周期理论方法与物质流分析相结合，从全生命周期角度量化新能源汽车系统中锂、镍、钴物质流动与库存。

生命周期评价（LCA）是对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价（GB/T 24040:2008）。生命周期评价作为产业生态学的主要理论基础和分析方法，从 20 世纪 60 年代末以来，经过 50 多年的发展，已被广泛应用与汽车企业和政府管理部门，用于汽车产品的研发和设计、汽车环境保护政策的制定和环保汽车产品的消费。国际标准化组织将生命周期评价（Life Cycle Assessment, LCA）定义为对一个产品系统的生命周期中输入、输出及其潜在环境影响的汇编和评价（ISO 14040:2006）^[58]，ISO 14040 规定 LCA 的技术框架为 4 个阶段：目的和范围的确定、清单分析、影响评价，以及每个阶段都要开展的结果解释，如图 2-1 所示。

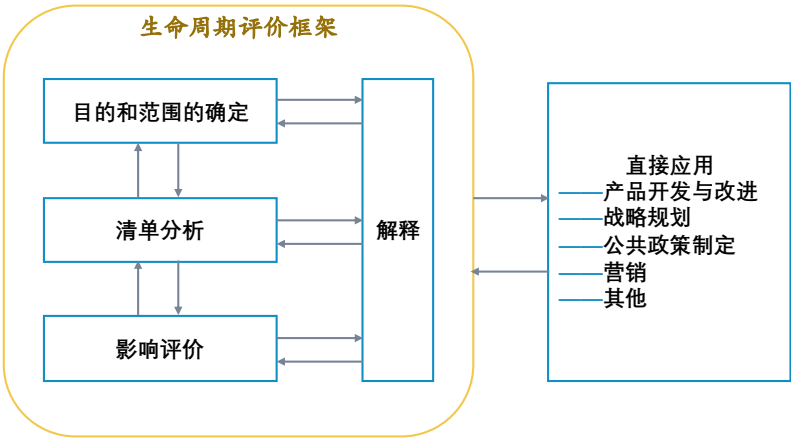


图 2-1 ISO 14040 标准 LCA 的技术框架

物质流分析是一种量化特定系统内物质流动和库存的分析方法，它利用质量守恒来跟踪物质在给定系统中整个生命周期的流动，分析物质、人类活动和环境变化之间的关系。目前很少有物质流研究使用全生命周期的动态模型，并且模型中很少使用产品使用寿命和回收率等动态参数，本研究可以填补这一空白，并利用动态自下而上的全生命周期物质流模型分析中国新能源汽车关键材料（锂、镍、钴）的演变。图 2-2 显示了一个一般材料生命周期物质流图。

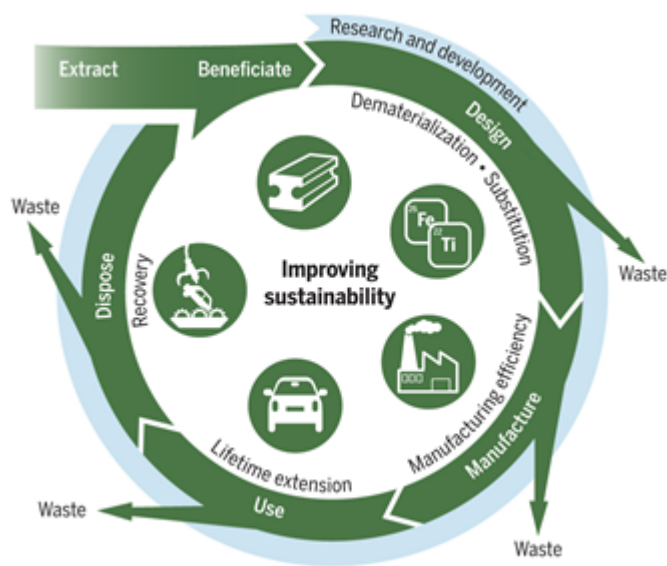


图 2-2 材料的生命周期物质流

2.2.2. 技术路线图

图 2-3 为研究的技术路线图，研究首先进行了中国及全球新能源汽车产业的发展分析，为后续的研究提供基础；其次研究对新能源汽车产业及全行业的锂、钴、镍供给、需求及回收进行研究，探索供需关系；建立资源风险与资源效率分析方法，对锂、钴、镍资源的资源风险与资源效率进行量化分析；对主要的风险应对策略进行资源减量能力敏感度分析，横向对比分析每种风险应对策略的更显应对效果；最后根据研究结果，分别针对于企业、行业与政府提出相应的风险应对建议，协助各主体进行资源风险应对。

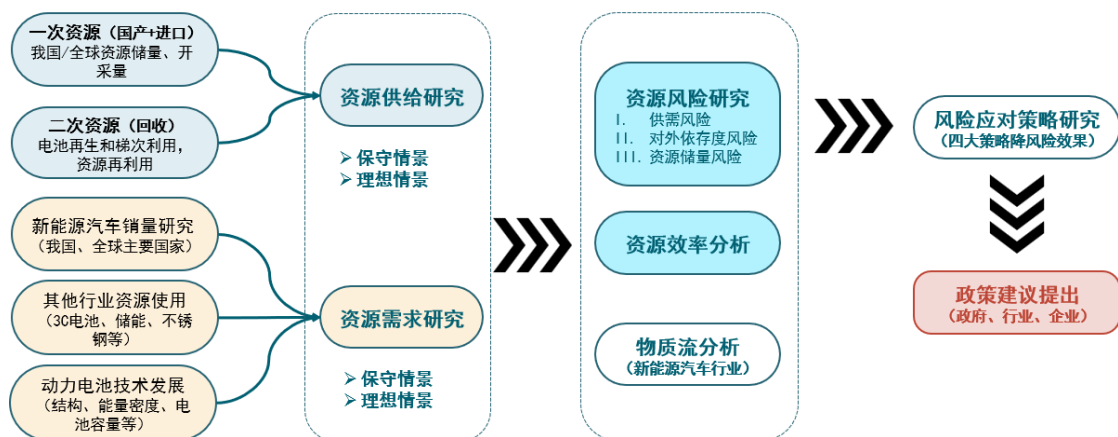


图 2-3 研究技术路线图

2.2.3. 情景设置与关键参数设置

本研究根据不同的技术参数设置，在研究中设置两种情景——理想情景与保守情景，如表 2-1 所示。两种情景的区别体现在回收水平、锂电池结构与电池能

量密度的差异上，保守情景保持 2020 年的回收水平、锂电池结构与电池能量密度不变，理想情景则分别根据专家调研、文献调研等方式设置相应的发展趋势——回收水平与电池能量密度持续提升，低钴锂电池持续发展。

表 2-1 保守情景与理想情景设置

	技术因素		
	资源回收水平	锂电池结构	电池能量密度
保守情景	保持 2020 年不变	保持 2020 年不变	保持 2020 年不变
理想情景	持续提升	低钴电池发展	持续提升

3. 新能源汽车产业发展分析

3.1. 中国新能源汽车销量预测

与欧美等发达国家相比，我国千人汽车保有量水平较低^[59]，汽车保有量与销量在未来仍有较大的提升空间，因此本研究参照了中国汽车生命周期评价车队模型（CALCM-Fleet）中的汽车销量预测预测结果，结合《中国汽车全面电动化路线 2035 研究》新能源汽车渗透率结果，与新能源汽车寿命变化结果对中国未来新能源汽车销量进行预测，预测结果如图 3-1 中国新能源汽车销量预测所示。研究预测到 2040 年，我国乘用车新车销售实现全面电动化（指包括纯电动汽车、插电混合动力汽车与氢燃料汽车），销售量在 3542 万台；到 2045 年，我国商用车新车销售实现全面电动化，销量在 581 万台。

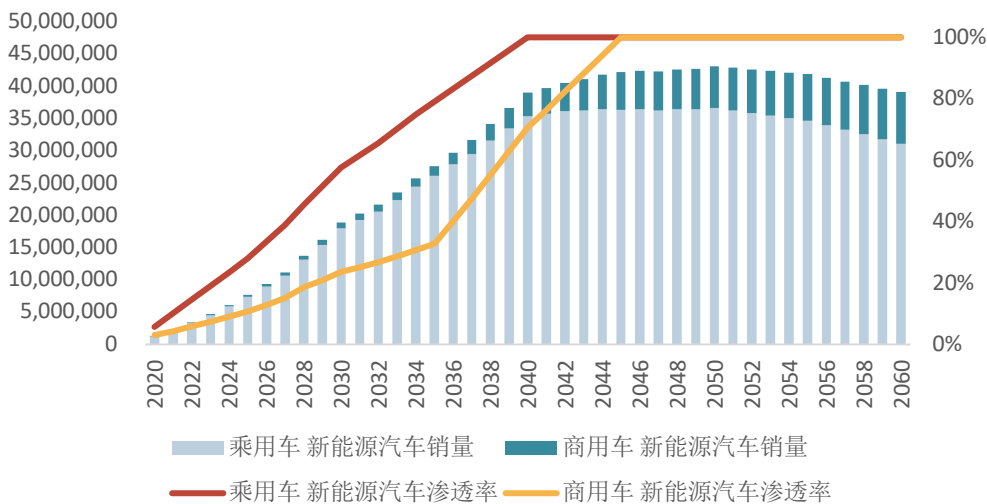


图 3-1 中国新能源汽车销量预测

3.2. 全球新能源汽车销量预测

除了中国外，同时对全球主要国家新能源汽车未来销量进行预测，包括欧洲、

美国、日本、韩国、印度以及其他国家。

日本与韩国当前新能源汽车销量数据来自于 Wind 数据库与《中国汽车工业年鉴 2021》，按其 2050 年碳中和目标，设置 2035 年汽车销量全面电动化（2035 年汽车平均寿命设置为 15 年，到 2050 年恰好实现道路交通全面电动化，汽车寿命参考《中国汽车低碳行动计划 2021》^[60]）。欧洲、美国、印度及其他国家 2020—2030 年新能源汽车销量预测数据来自于 IEA 研究报告^[61]，根据欧盟与美国 2050 年的碳中和目标，设置汽车销量 2035 年全面电动化。根据 Wind 数据库显示，主要发达的汽车销量近年来已逐步趋于稳定，甚至有轻微下降趋势，因此，针对于发达国家汽车销量，本研究中采取销量后续不再变化处理，并且假设未来发达国家年度汽车总销量可以达到疫情前较高的水平。印度碳中和目标为 2070 年，同理设置其销量全面电动化时间点为 2055 年，其中 2030 年后印度汽车规模的发展来自于 Singh 等人^[62]的研究，由于其他国家主要为发展中国家，参照印度的电动化节点设置。全球新能源汽车销量预测数据如图 3-2 与图 3-3 所示。

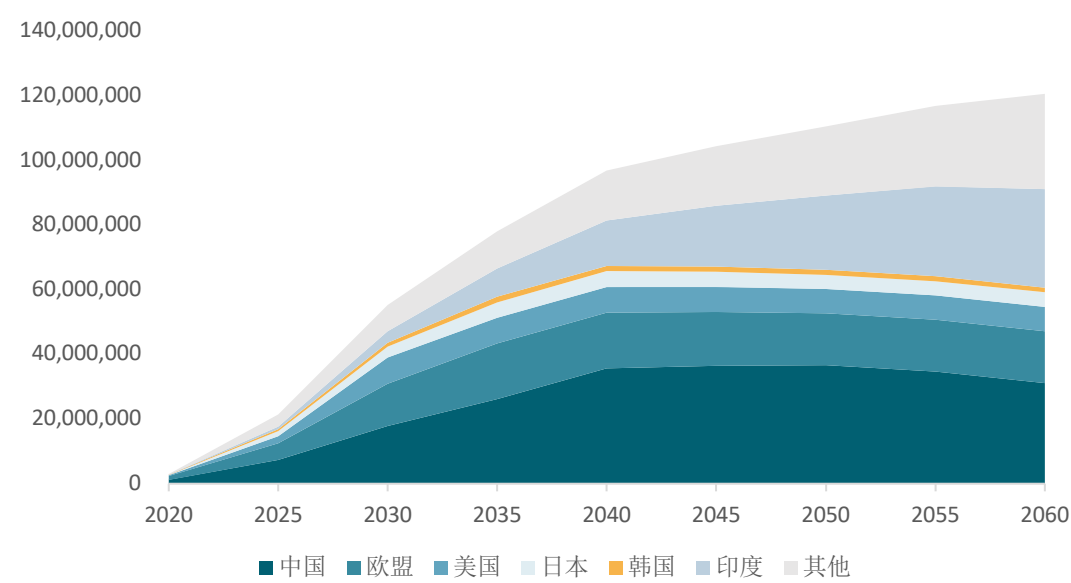


图 3-2 全球主要国家新能源乘用车销量预测

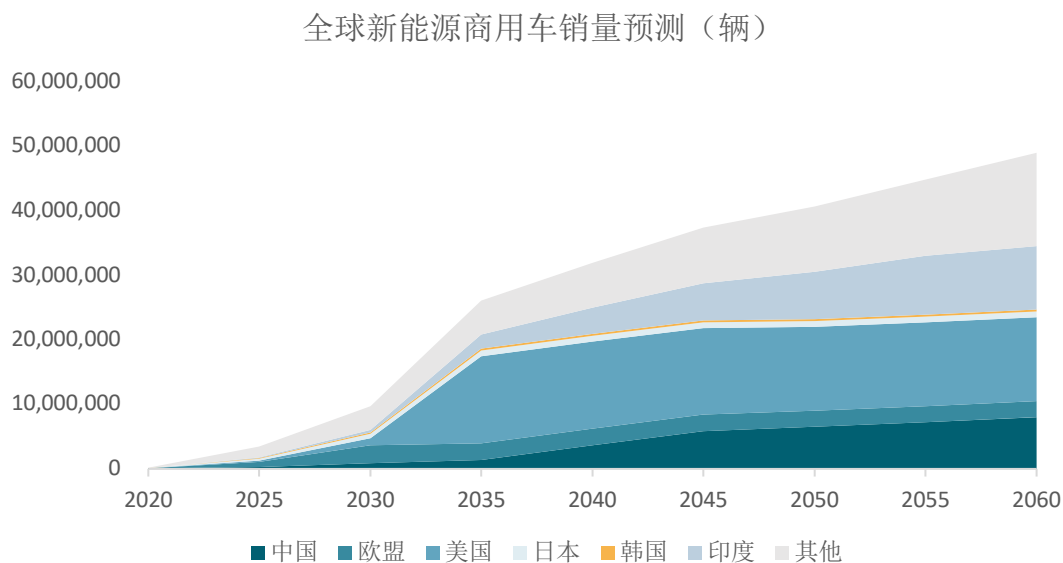


图 3-3 全球主要国家新能源商用车销量预测

4. 锂、镍、钴资源供给研究

4.1.我国锂、镍、钴资源供给研究

4.1.1.我国锂资源供给研究

根据自然资源部《2020 年全国矿产资源储量统计表》^[63]显示，截止 2020 年，我国锂资源已探明储量约为 109 万吨（金属当量），主要分布在江西、青海、西藏、河南、新疆和四川等地，如表 4-1 与图 4-1 所示。正在开发的盐湖锂资源主要集中在青海和西藏，矿石锂资源集中在江西，主要为锂云母矿石。与国外相比，中国锂资源丰富且潜力巨大，但国内锂产业却面临着硬岩锂开采难度大、高镁锂比盐湖提锂分离技术尚未完全成熟、科技含量高性能先进的深加工锂产品需要大量从海外进口等现实问题。

表 4-1 中国锂资源储量分布情况

地区	锂矿储量（万吨金属锂）	占比（%）
全国	108.93	100.0%
青海	70.51	64.7%
江西	17.14	15.7%
四川	10.08	9.3%
西藏	9.15	8.4%
河南	1.90	1.7%
新疆	0.14	0.1%

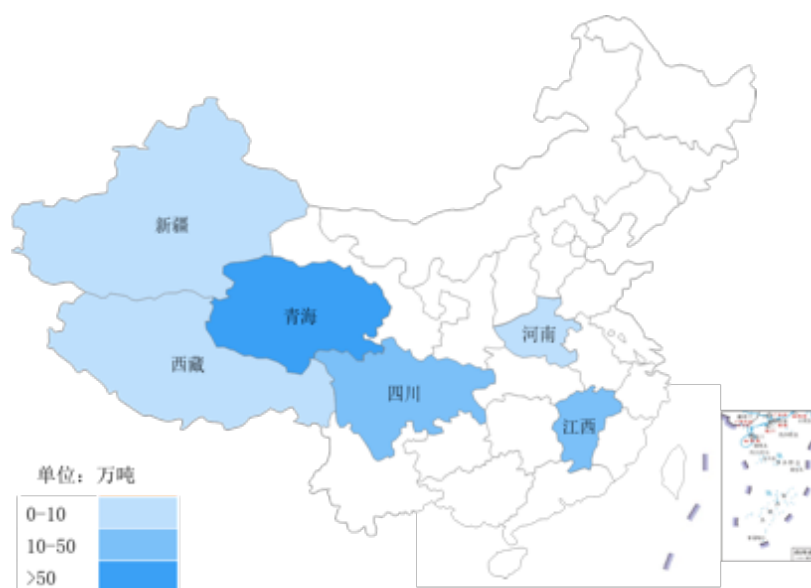


图 4-1 中国锂资源储量分布图

4.1.2. 我国镍资源供给研究

我国镍资源以硫化镍矿为主（主要分布在甘肃、青海、新疆等地），红土镍矿储量少，是一个镍资源相对缺乏的国家。根据自然资源部《2020 年全国矿产资源储量统计表》^[63]显示，就各省（区）来看，甘肃储量最多，占全国镍矿总储量的 66%，其次是青海和新疆，分别占 22.1% 和 4.5%，如表 4-2 与图 4-2 所示。目前在产的镍矿山仅有金川、新疆新鑫及吉恩镍业三家，均为自用，年产量稳定在 10.5 万吨，未来随着夏日哈木矿的投产，预计产量将增至 13 万吨左右^[64]。

2010 年，青海省地矿局首次在柴达木盆地南缘探明了夏日哈木镍钴矿。2018 年 11 月，国家电投集团黄河上游水电开发有限责任公司（黄河公司）、青海省地质矿产开发局、金川集团公司共同签署青海省夏日哈木镍钴矿项目合作三方协议，标志着中国第二大硫化镍钴矿开发进入新阶段。夏日哈木镍矿目前探明镍资源储量约 110 万吨，共伴生铜 21.76 万吨、钴 3.81 万吨，达到超大型规模，为我国第二大镍矿床。据了解，该项目计划于 2022 年 8 月 31 日前试车，预计 2022 年内投产^[64]。

表 4-2 中国镍资源储量分布情况

地区	镍矿储量（万吨金属镍）	占比（%）
全国	399.64	100.0%
甘肃	263.62	66.0%
青海	88.19	22.1%
新疆	18.14	4.5%

陕西	7.94	2.0%
贵州	6.70	1.7%
云南	6.03	1.5%
吉林	4.49	1.1%
内蒙古	3.43	0.9%
四川	0.72	0.2%
湖南	0.32	0.1%
广西	0.06	0.0%

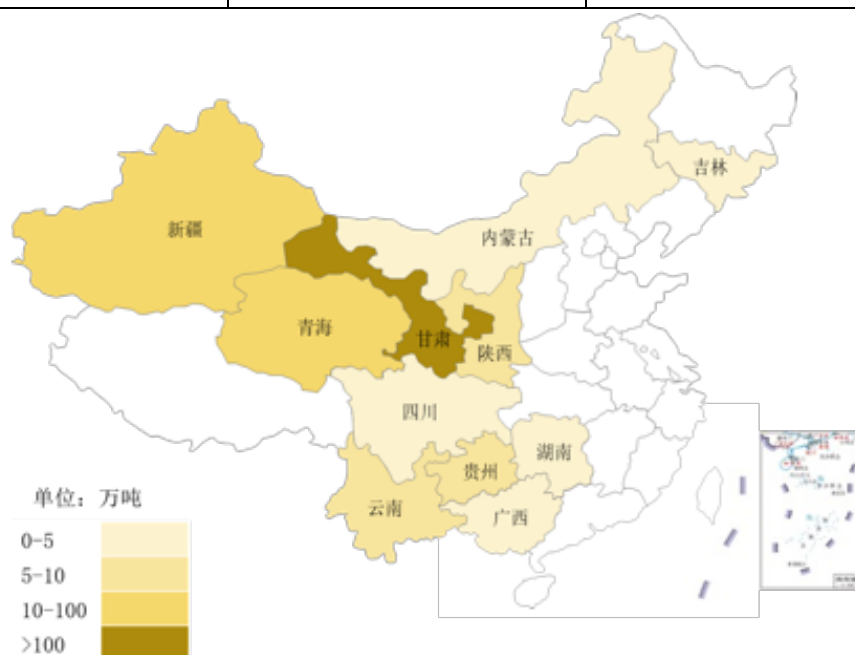


图 4-2 中国镍资源储量分布图

4.1.3.我国钴资源供给研究

根据自然资源部《2020 年全国矿产资源储量统计表》显示¹²,截止 2020 年,中国钴基础储量为 14 万吨(金属当量),分布于 11 个省区,如表 4-3 与图 4-3 所示,其中甘肃的钴资源最为丰富,储量为 9.87 万吨,占比达到了 71.8%。我国钴资源特点是富矿少,贫矿多,品位较低,平均品位仅为 0.02%。目前国内在产的矿山只有甘肃金川龙首矿和新疆富蕴喀拉通克等矿。由于我国是贫钴国,原料基本靠进口,2019 年我国钴原生料的自给率约为 3%^[64,65]。

2020 年中国精炼钴产量为 10 万吨,同比增长 11.1%,其中钴盐产量接近 8.4 万吨,金属钴产量约为 1.2 万吨,钴粉产量约为 5,000 吨。预计到 2025 年我国精炼钴产量将达到 15 万吨,从 2020 年至 2025 年复合年均增长率约为 8.4%^[64]。

表 4-3 中国钴资源储量分布情况

地区	钴矿储量(万吨金属钴)	占比(%)
全国	13.74	100.0%

甘肃	9.87	71.8%
吉林	1.28	9.3%
内蒙古	0.97	7.1%
山东	0.35	2.5%
四川	0.34	2.5%
陕西	0.31	2.3%
新疆	0.24	1.7%
江西	0.20	1.5%
湖南	0.09	0.7%
云南	0.06	0.4%
湖北	0.03	0.2%

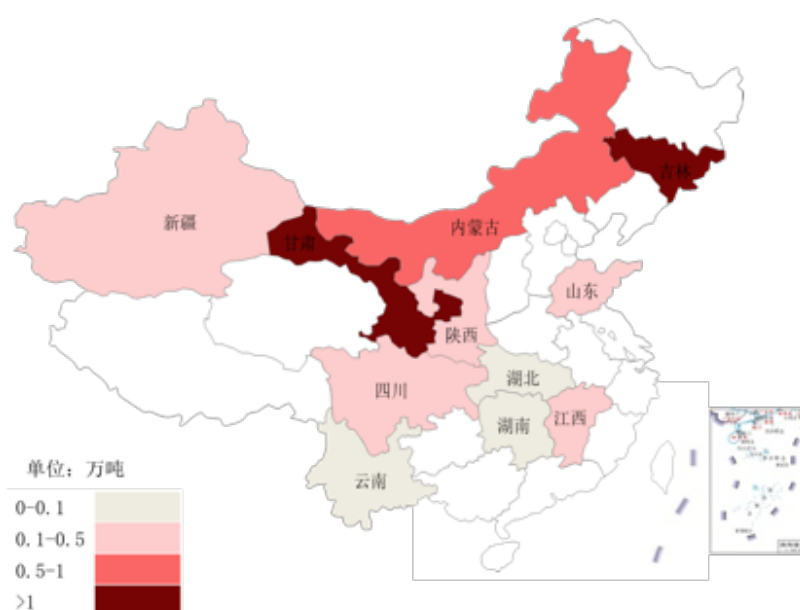


图 4-3 中国钴资源储量分布图

4.2.全球锂、镍、钴资源供给研究

4.2.1.全球锂资源供给研究

根据 USGS 报告^[66]，2020 年全球锂储量约为 2100 万吨（锂金属含量），折合约 1.1 亿吨碳酸锂当量。其中，智利的储量最多，约 920 万吨，占比约 43.7%；澳大利亚储量排名第二，储量约 470 万吨，占全球锂资源储量的 22.3%；阿根廷资源储量排名第三，占全球总储量的 9.0%。在资源开采量方面，澳大利亚开采量最多，约 4 万吨，占全球总开采量的 48.7%；其次为智利，月为 1.8 万吨，占全球总开采量的 21.9%。详细锂资源储量与开采量信息见表 4-4、图 4-4 与图 4-5。

全球锂矿资源主要分为岩石矿物和卤水矿物两大类型，其中封闭的盆地卤水（盐湖）占 58%，伟晶岩（包括富锂花岗岩）占 26%，锂蒙脱石黏土占 7%，油田

卤水、地热卤水、锂硼硅酸盐矿各占 3%（来自安泰科）。

卤水锂矿资源主要分布在南美智利、阿根廷、玻利维亚的“锂三角”高原地区和美国西部及中国西部等干燥地区，世界上的岩石锂矿资源主要分布在澳大利亚、中国、津巴布韦、葡萄牙、巴西、加拿大、俄罗斯等国。

“锂三角”是全球锂资源禀赋最好的地区。“锂三角”地区大多数盐湖的镁锂比在 1.4-10 之间，一般 <8 ，镁锂比全球最低，盐湖中锂离子的浓度为 0.04~0.15%，资源禀赋好，易于开发利用。该地区分布有智利的阿塔卡马（Atacama）、玛丽贡加（Maricunga），阿根廷的翁布雷穆埃尔托（Hombre Muerto）、高查理-奥拉罗斯（Cauchari-Olaroz）、林孔（Rincon）和玻利维亚的乌尤尼（Uyuni）等世界级优质盐湖。中国盐湖除了扎布耶盐湖的镁锂比较低外，其他大多盐湖镁锂比是“锂三角”的几十至几百倍，如大柴旦盐湖镁锂比 134，察尔汗盐湖镁锂比 1577。

澳大利亚作为全球最大的硬岩型锂资源生产国，也是全球最大的锂资源供给国，目前开采的锂矿石均为伟晶岩型锂辉石，主要伴生元素为钽，部分含有铁和锡等元素。其中，Talisson 锂业公司的 Greenbushes 锂矿的 Li_2O 平均品位最高，为 2.1%，其余矿山的 Li_2O 品位分布在 1.0%-1.5%之间。

表 4-4 2020 年全球锂资源储量及开采量

国家	锂资源开采量（吨锂）	锂资源储量（吨锂）	储量占比（%）
美国	-	750000	3.6%
阿根廷	6200	1900000	9.0%
澳大利亚	40000	4700000	22.3%
巴西	1900	95000	0.5%
加拿大	-	530000	2.5%
智利	18000	9200000	43.7%
中国	14000	1500000	7.1%
葡萄牙	900	60000	0.3%
津巴布韦	1200	220000	1.0%
其他国家	-	2100000	10.0%

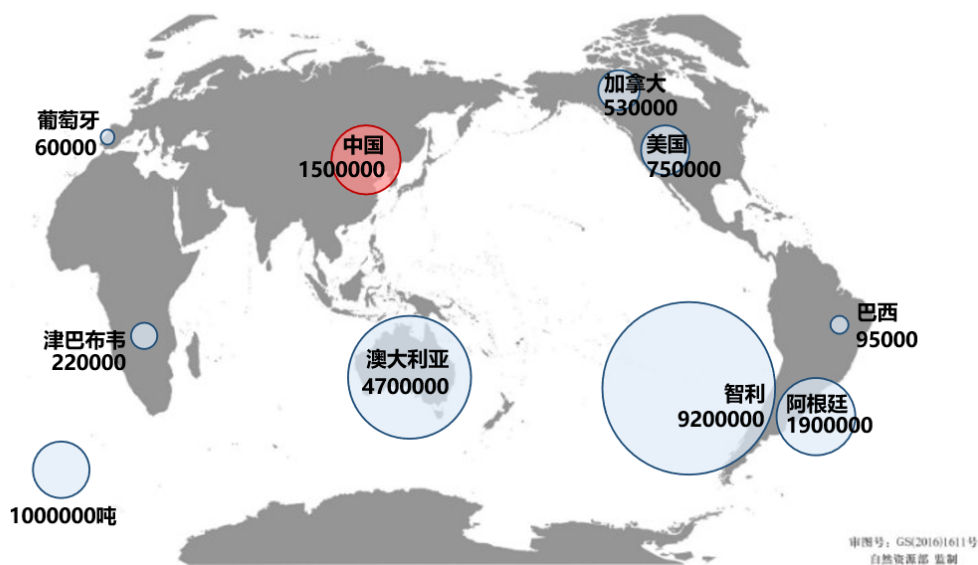


图 4-4 全球锂资源储量分布

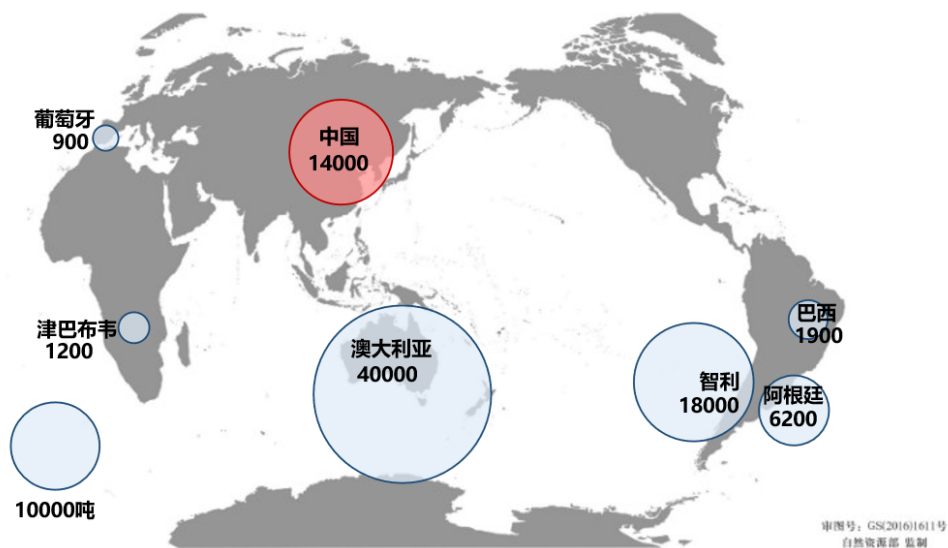


图 4-5 全球锂资源开采量分布

4.2.2. 全球镍资源供给研究

据美国地质调查局 (USGS) 的最新数据^[66], 2020 年全球镍资源储量约为 9400 万吨 (镍金属量), 其中红土镍矿占 60%, 硫化镍矿占 40%。按照 2020 年的矿产量计算, 还可开采约 38 年, 资源储量相对比较丰富。硫化镍矿主要分布在俄罗斯、加拿大、澳大利亚、南非和中国, 红土镍矿主要分布在南北回归线以内的国家, 以澳大利亚, 新喀里多尼亚、印尼、巴西和古巴为主。全球镍资源分布不均衡, 主要集中在: 印度尼西亚 (22.4%), 澳大利亚 (21.3%), 巴西 (17.0%) 和俄罗斯 (7.3%)。全球镍矿生产量主要集中于印度尼西亚 (30.7%)、菲律宾 (12.9%)、俄罗斯 (11.3%) 等国家, 详细信息如表 4-5、图 4-6 与图 4-7 所示。

Roskill^[67]最新的调研报告指出到 2025 年期间，全球约 50%的新增镍产量将来自印度尼西亚红土镍矿项目，使得该国对亚洲乃至全世界的镍资源供应链都起着至关重要的作用。

红土型镍矿大多为露天矿，开采方便，但是由于品位较低，处理工艺比较复杂。随着镍价的回升以及技术的进步，从红土矿中生产出来的原生镍比例稳步上升。特别是近十年来红土矿冶炼规模提高幅度较大，全球红土镍矿供给占镍矿供给比已从 2017 年的 51%提高至 2019 年的 62%，改变了此前以硫化矿为主的镍金属生产格局。

表 4-5 2020 年全球镍资源储量及开采量

国家	镍资源开采量（吨镍）	镍资源储量（吨镍）	储量占比（%）
美国	16000	100000	0.1%
澳大利亚	170000	20000000	21.3%
巴西	73000	16000000	17.0%
加拿大	150000	2800000	3.0%
中国	120000	2800000	3.0%
古巴	49000	5500000	5.9%
多美尼加共和国	47000	-	-
印度尼西亚	760000	21000000	22.4%
新喀里多尼亚	200000	-	-
菲律宾	320000	4800000	5.1%
俄罗斯	280000	6900000	7.3%
其他国家	290000	14000000	14.9%
全球	2475000	93900000	100.0%

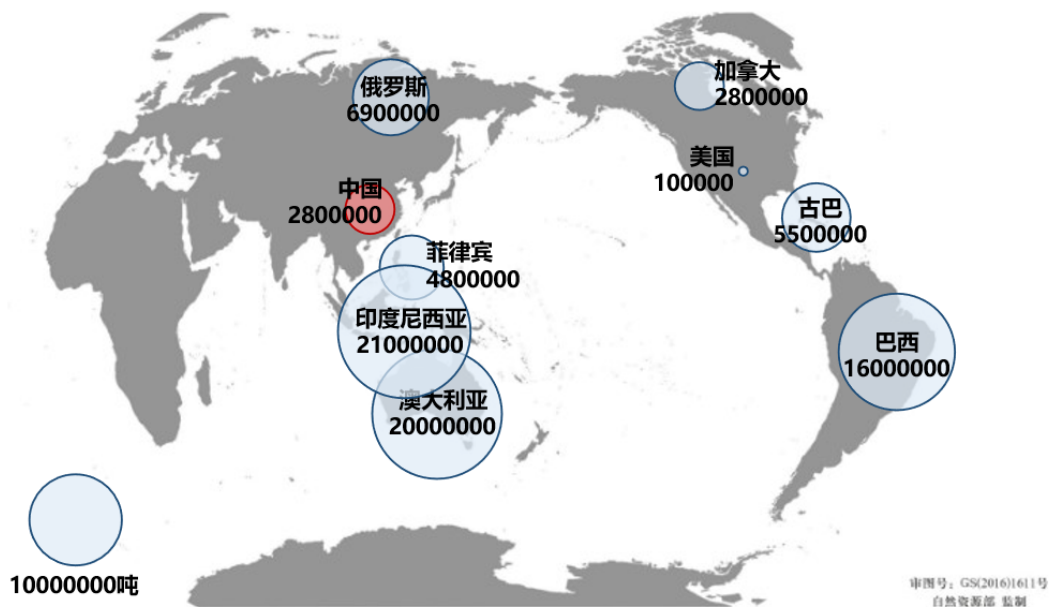


图 4-6 全球镍资源储量分布

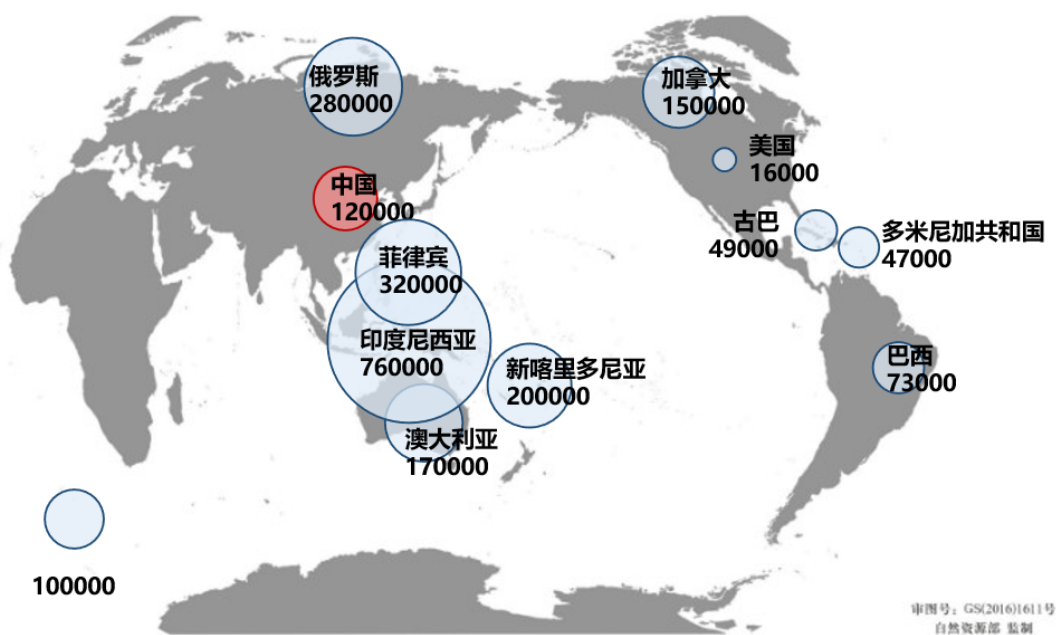


图 4-7 全球镍资源开采量分布

4.2.3. 全球钴资源供给研究

根据 USGS 报告^[66]，2020 年全球钴储量约为 710 万吨（钴金属含量），其中 51% 来自非洲铜矿带（ACB）。钴极少单独成矿，多伴生于铜、镍、锰、铁、砷、铅等矿床中，且全球资源分布极不均衡，主要集中在：刚果（50.5%），澳大利亚（19.6%）和古巴（7.0%）。刚果拥有世界上最大的钴储量，约 360 万吨。全

球钴产业链极度依赖刚果钴矿资源，2020 年刚果钴矿产量为 95000 吨，在全球钴矿产量中占比超过 70%，详细信息如表 4-6、图 4-8 与图 4-9 所示。

全球钴资源主要分布在以下地区^[64]：a). ACB 的层状铜沉积物；b). 澳大利亚、印度尼西亚、菲律宾、新喀里多尼亚、马达加斯加和古巴的红土镍矿床；c). 澳大利亚、加拿大、俄罗斯和美国含有硫化矿物的超镁铁质岩石；d). 大西洋、印度洋和太平洋海底发现的锰结核。

表 4-6 2020 年全球钴资源储量及开采量

国家	锂资源开采量（吨钴）	锂资源储量（吨钴）	储量占比（%）
美国	600	53000	0.7%
澳大利亚	5700	1400000	19.6%
加拿大	3200	220000	3.1%
中国	2300	80000	1.1%
刚果	95000	3600000	50.5%
古巴	3600	500000	7.0%
马达加斯加	700	100000	1.4%
摩洛哥	1900	14000	0.2%
巴布亚新几内亚	2800	51000	0.7%
菲律宾	4700	260000	3.6%
俄罗斯	6300	250000	3.5%
南非	1800	40000	0.6%
其他国家	6400	560000	7.9%
全球	135000	7128000	100.0%

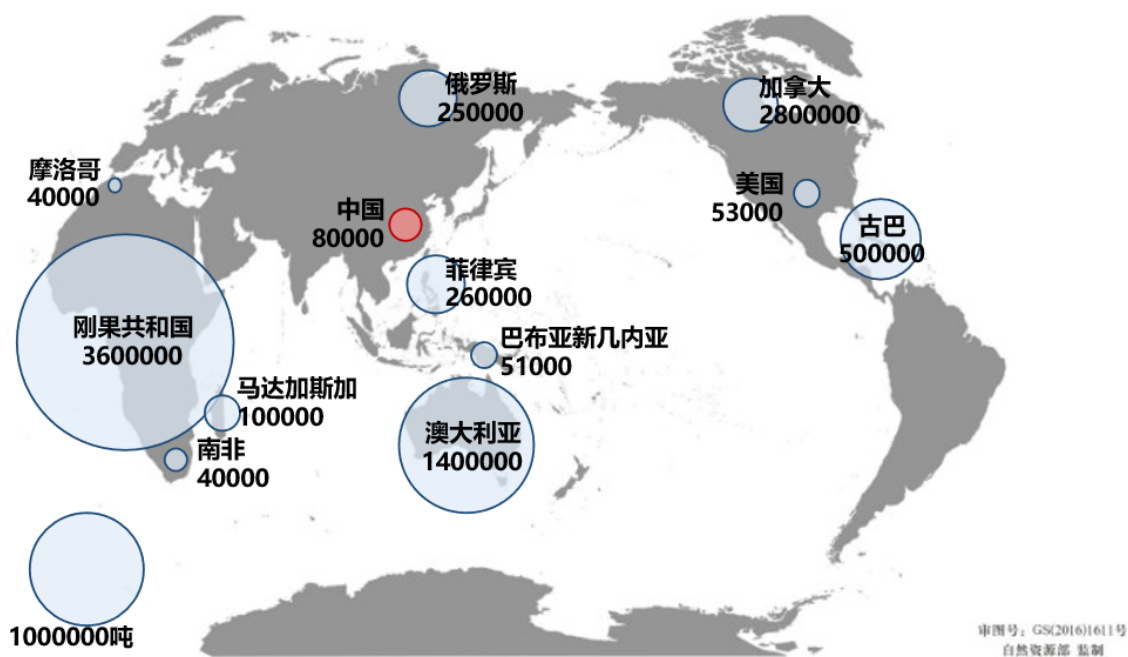


图 4-8 全球钴资源储量分布

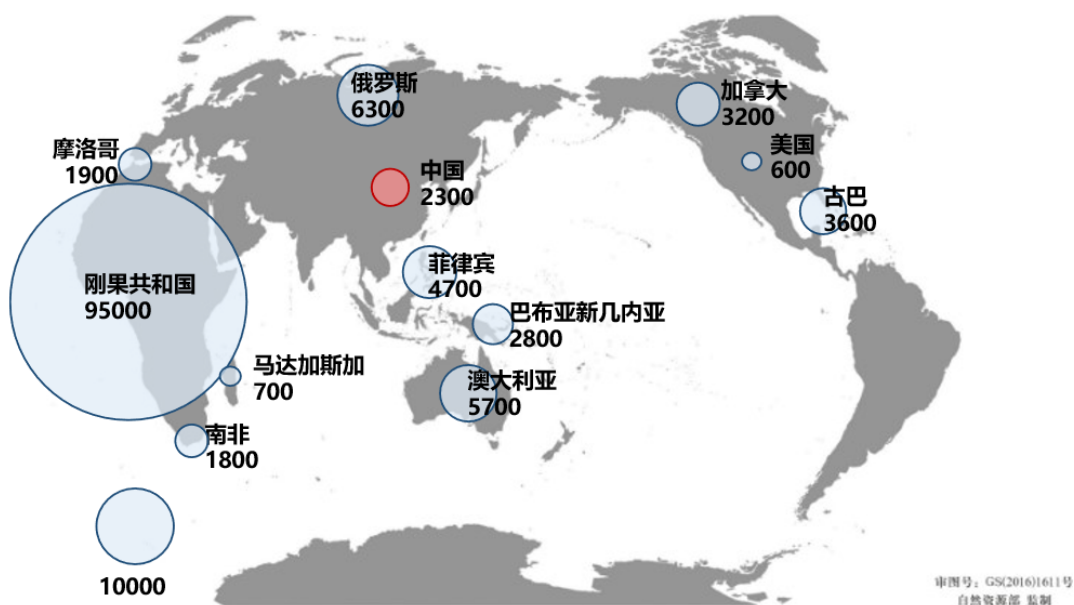


图 4-9 全球钴资源开采量分布

5. 锂、镍、钴资源需求研究

5.1. 锂、镍、钴资源需求研究方法

5.1.1. 新能源汽车行业锂、镍、钴资源需求研究方法

新能源汽车行业的锂、镍、钴资源需求主要取决于新能源汽车每年的销量及

动力蓄电池的相关参数，如电池结构、电池能量、电池能量密度、动力蓄电池金属资源含量等参数，具体计算方法按公式（1）、（2）所示。

$$Q_{i,t} = \sum_x C_{t,x} \times E_{i,t,x} \dots\dots\dots (1)$$

$$C_{t,x} = \sum_y W_{t,x,y} \times O_{t,y} \dots\dots\dots (2)$$

其中：
 $Q_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的需求量（ton）
 $C_{t,x}$: t 年新能源汽车 x 种类动力蓄电池装机量（kWh）
 $E_{i,t,x}$: t 年新能源汽车 x 种类动力蓄电池 i （锂或钴或镍）金属的含量（吨/kWh）
 $W_{t,x,y}$: t 年所装机新能源汽车 x 种类动力蓄电池 y 车型的新车销量（辆）
 $O_{t,y}$: t 年 y 型新车电池能量（kWh/辆）

电池能量参数设置方面，分别乘用车/轻卡、客车/公交、重卡三大类车型进行电池能量的设置，电池能量参考 IEA 研究报告^[61,68]，以及来自近百款新能源汽车车型的具体调研，电池能量设置预测至 2035 年，2035 之后年份的动力蓄电池能量统一按照 2035 年设置。

电池结构设置中考虑镍钴锰酸锂电池（NCM）与磷酸铁锂电池（LFP），NCM 电池中共考虑四种电池类型，NCM111、NCM523、NCM622 与 NCM811，不同的数字比例代表不同电池的镍、钴、锰元素组成比例，如 NCM811，代表在动力蓄电池正极材料中元素镍：钴：锰为 1：1：1。在本研究中乘用车考虑上述所有的动力蓄电池类型，商用车采取全部采用 LFP 电池的处理，电池结构设置预测至 2035 年，2030 之后年份的动力蓄电池结构统一按照 2030 年设置。数据来源于 CRU^[64]与中国电化学与物理电源行业协会统计数据。

当前电池能量密度根据电池企业调研获得，后续的预测根据《中国制造 2025》中对动力蓄电池的能量密度目标要求按同比例提升处理，预测至 2030 年，2030 之后年份的动力蓄电池能量密度统一按照 2030 年处理，具体能量密度设置如 **Error! Reference source not found.**所示。

当前电池关键资源含量数据来自于 IEA 研究报告^[69,70]，后续预测数据根据

《中国制造 2025》^[71]中对动力蓄电池的能量密度目标要求按比例折算处理，预测至 2030 年，2030 年之后年份的动力蓄电池关键金属含量统一按照 2030 年处理。

5.1.2. 其他行业锂、镍、钴资源需求研究方法

我国储能行业资源需求按照储新比^[72]进行预测，储新比即为新能源发电装机量(主要指风光电)与所匹配的储能装机量之比。2020 年，我国储新比为 6.7%，2021 年多个省份发布了新建风光电站储新比规划，甘肃、湖北、天津、山东、河北等省份储新比设置为 10%，采取 10%为 2025 年前储新比规划，据陈永翀等人的研究^[72]，15%储新比即可满足风光电储能需求，2025 年后储新比采取统一设置为 15%处理。当前我国储能状况（装机量、各类储能占比等参数）参照《储能产业研究白皮书 2021》^[73]；我国未来风光电发展状况来自于中国电力企业联合会研究预测与《“十四五”现代能源体系规划》^[74]；我国未来抽水蓄能发展来自于《抽水蓄能中长期发展规划（2021-2035）》^[75]；化学储能结构来自于《中国储能、二轮车、电动工具锂电池行业大数据》^[76]。全球储新比统一设置为 15%^[72]，化学储能发展参照 IEA 研究报告^[77]与彭博社数据。

我国及全球 3C 电池行业资源需求参照历年《锂电池产业发展白皮书》^[78]，与夏利爽等人^[79]的研究，在上述研究预测的基础上，由于未来智能家电等电子产品可能会有持续的发展，未来预测赋予了手机、平板等消费电子稍小的增长率，赋予其他消费电子产品（智能家电等）稍大的增长率。

不锈钢行业资源需求量研究参照中国地质调查局、中国冶金产业研究院与上海有色网等机构的研究结果，对不锈钢行业发展分别赋予 2020—2025 年、2025—2030 年、2030—2035 年、2035—2040 年以及 2040 年后以 6%、5%、4%、2%及 0%的增长率。

其他传统行业资源需求量参照中国地质调查局、上海有色网、安泰科等机构的历史研究数据进行线性预测。

5.2. 中国锂、镍、钴资源需求预测

5.2.1. 新能源汽车行业锂、镍、钴资源需求预测

我国新能源汽车行业锂资源需求量预测结果如图 5-1 所示，在 2040 年前，随新能源汽车销量不断提升，新能源汽车行业锂资源需求量持续提升，2040 年后锂资源需求随全面电动化而逐步稳定。理想情景与保守情境下，新能源汽车锂资源需求量有着较为明显的区别，到 2035 年保守情景下我国新能源汽车行业锂资源需求量约为 139 万吨（LCE 当量），而理想情景下约为 72 万吨，需求降低幅度接近 50%。2030 年后，相对于保守情景，理想情景需求量一直保持 50%左右的降幅。

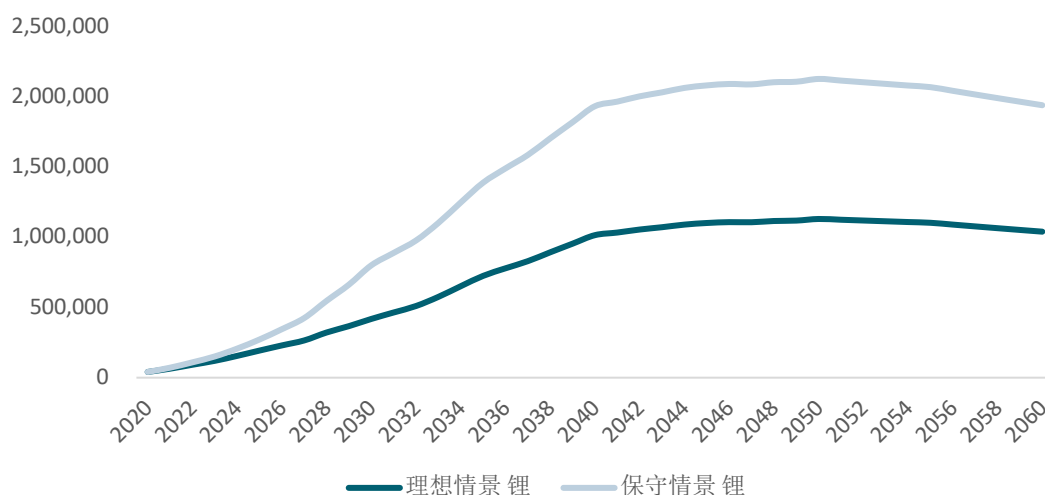


图 5-1 我国新能源汽车行业锂资源需求量预测（LCE 吨）

我国新能源汽车行业镍资源需求量预测结果如图 5-2 所示，在 2040 年前，随新能源汽车销量不断提升，新能源汽车行业镍资源需求量持续提升，2040 年后镍资源需求随全面电动化而逐步稳定。理想情景与保守情境下，新能源汽车镍资源需求量有着较为明显的区别，到 2035 年保守情景下我国新能源汽车行业镍资源需求量约为 79 万吨（金属当量），而理想情景下约为 44 万吨，需求降低幅度接近 45%。2030 年后，相对于保守情景，理想情景需求量一直保持 45%左右的降幅。

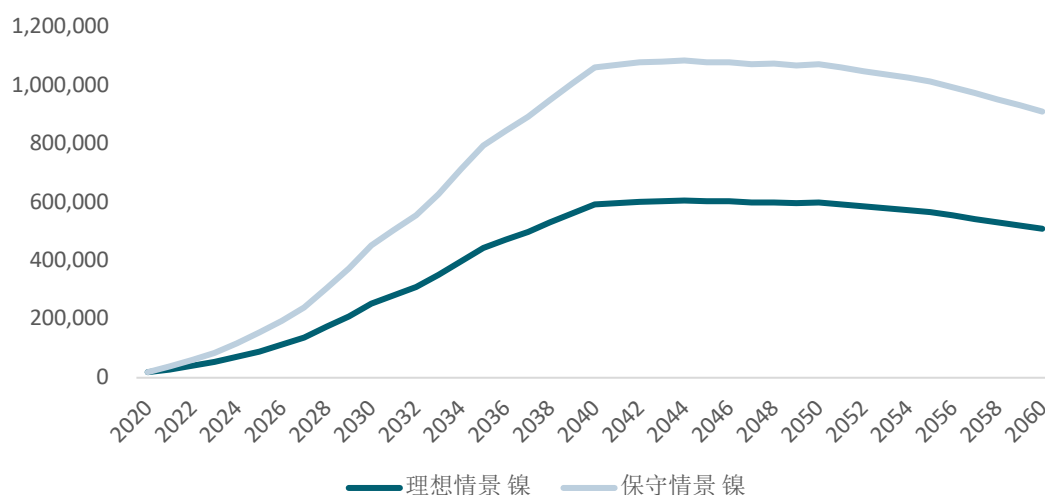


图 5-2 我国新能源汽车行业镍资源需求量预测（吨）

我国新能源汽车行业钴资源需求量预测结果如图 5-3 所示，在 2040 年前，随新能源汽车销量不断提升，新能源汽车行业钴资源需求量持续提升，2040 年后钴资源需求随全面电动化而逐步稳定。理想情景与保守情境下，新能源汽车钴资源需求量有着较为明显的区别，到 2035 年保守情景下我国新能源汽车行业钴

资源需求量约为 26.6 万吨（金属当量），而理想情景下约为 5.3 万吨，需求降低幅度接近 80%。2030 年后，相对于保守情景，理想情景需求量一直保持 80%左右的降幅。

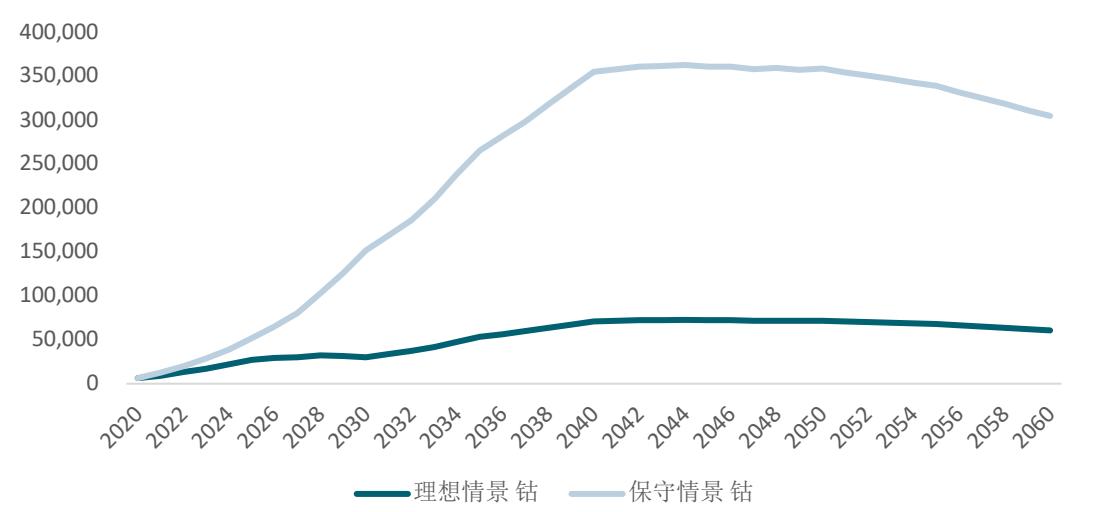


图 5-3 我国新能源汽车行业钴资源需求量预测（吨）

5.2.2.中国全行业锂、镍、钴资源需求预测

除了新能源汽车行业之外，对主要存在锂、镍、钴资源消耗的行业进行了需求的研究，主要包括 3C 电池行业、不锈钢行业、储能行业等，其中理想情景与保守情景仅针对于动力蓄电池行业进行设置，对于其他行业不考虑情景变化所带来的需求量变动。

我国各主要行业与整体锂资源需求量预测如 **Error! Reference source not found.**所示，3C 电池行业未来锂资源需求保持稳步提升；储能行业锂资源需求在 2020—2025 年有所下降，其与十四五期间规划建成的大量抽水蓄能电站有关，大量新抽水蓄能电站的建立缩小了化学储能的需求，在 2025 年需求后稳步提升，但是其体量始终较小，其与未来我国电网中长期规划中对抽水蓄能的大量规划有关；对于其他行业的锂资源需求，采取线性增长处理。

当前，我国全行业锂资源消费主要集中于 3C 电池行业与其他行业，但随全面电动化的推进，动力蓄电池所消费的锂资源占比逐渐增大，由 2020 年的 30% 左右提升至 80%以上，未来面临较小的来自其他行业资源竞争。在理想情景处理下的动力蓄电池行业，可较大降低全行业锂资源需求量，2030 年后普遍可以降低 40%以上的全行业锂资源需求。

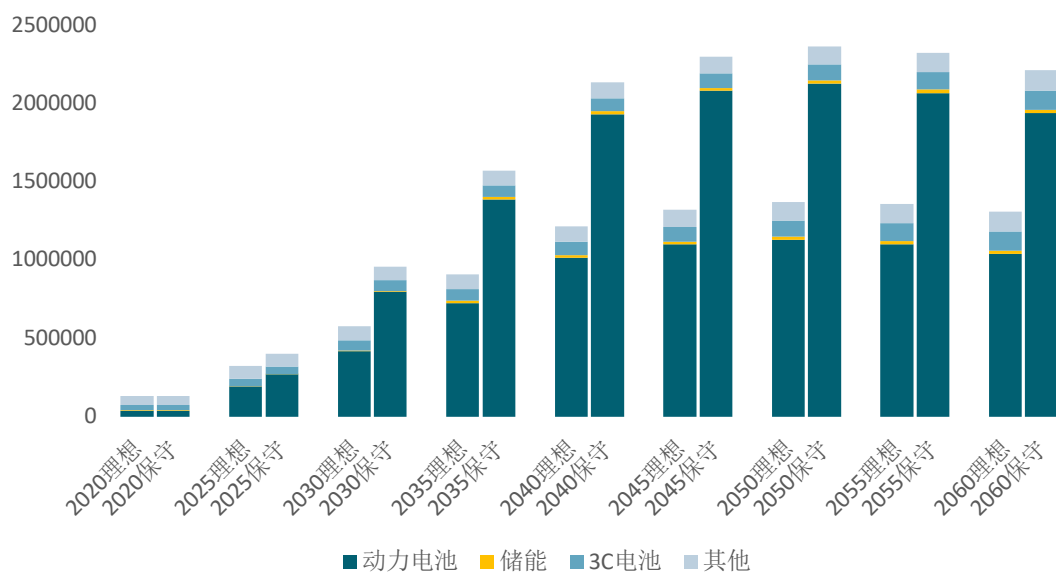


图 5-4 我国全行业锂资源需求量预测

我国各主要行业与整体镍资源需求量预测如 **Error! Reference source not found.5** 所示，不锈钢行业镍资源需求未来先经历平稳上涨阶段，约 2040 年后需求逐渐稳定；对于其他行业的镍资源需求，采取线性增长处理。

无论是当前还是未来，不锈钢行业一直占据最大的镍资源消费比例，而随电动化逐步推进，动力蓄电池镍资源需求占比也逐步增大，从 2020 年的不足 2%，到 2035 年的超 15%。未来，新能源汽车行业将持续面临来自不锈钢行业的资源竞争压力。另外，在理想情景处理下的动力蓄电池行业，可在一定程度上降低全行业镍资源需求量，2035 年后普遍可以降低 10% 以上的全行业镍资源需求。

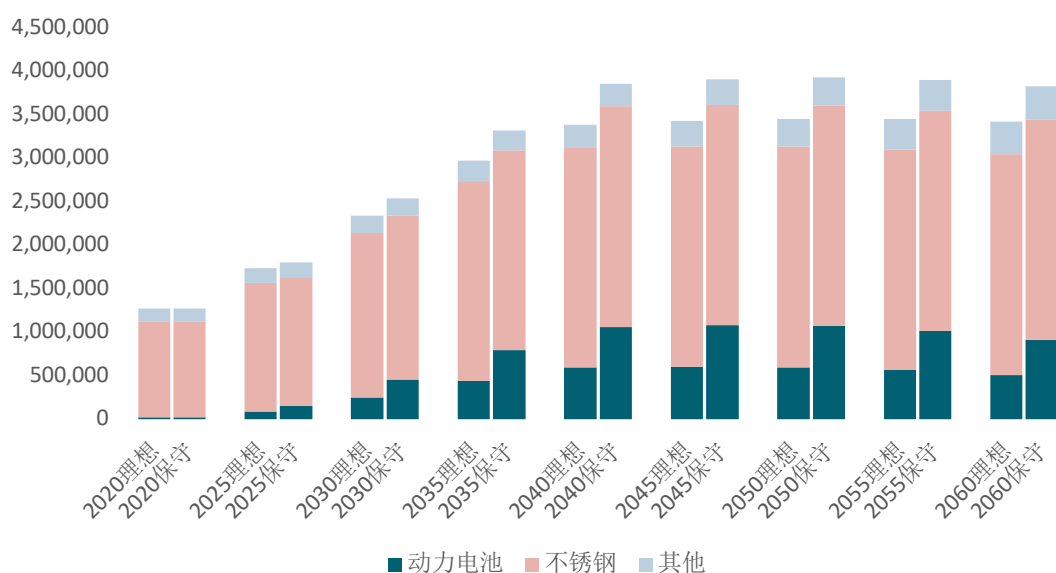


图 5-5 我国全行业镍资源需求量预测（吨）

我国各主要行业与整体钴资源需求量预测如 **Error! Reference source not found.6** 所示，3C 电池行业钴资源需求未来保持稳步上升；对于其他行业的钴资

源需求，采取线性增长处理。

无论是当前还是未来，3C 电池行业一直占据较大的钴资源消费比例，未来新能源汽车发展将持续面临 3C 电池行业的资源竞争。而随电动化逐步推进，动力蓄电池钴资源需求占比也逐步增大，但是不同情景下动力蓄电池钴资源需求在全行业钴资源需求占比中有较大的差别，在理想情景动力蓄电池钴资源需求占比从 2020 年的 9% 提升至 2035 年的 27%，而在保守情景下这一比例将提升至 65%。另外，在理想情景处理下的动力蓄电池行业，可大幅降低全行业钴资源需求量，2035 年后普遍可以降低 40% 以上的全行业钴资源需求。

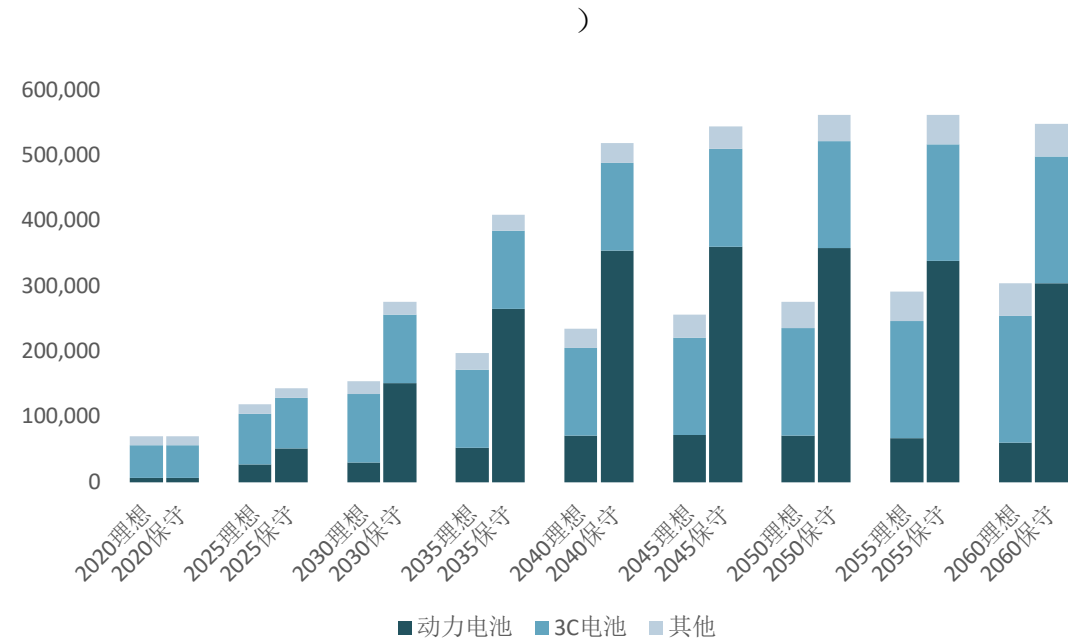


图 5-6 我国全行业钴资源需求量预测（吨）

5.3.全球锂、镍、钴资源需求预测

5.3.1.新能源汽车行业锂、镍、钴资源需求预测

全球新能源汽车行业锂资源需求量预测结果如图 5-77 所示，随算求新能源汽车销量不断提升，新能源汽车行业锂资源需求量持续提升。理想情景与保守情境下，新能源汽车锂资源需求量有着较为明显的区别，到 2035 年保守情景下全球新能源汽车行业锂资源需求量约为 516 万吨（LCE 当量），而理想情景下约为 280 万吨，需求降低幅度超 45%。2030 年后，相对于保守情景，理想情景需求量一直保持 45% 左右的降幅。

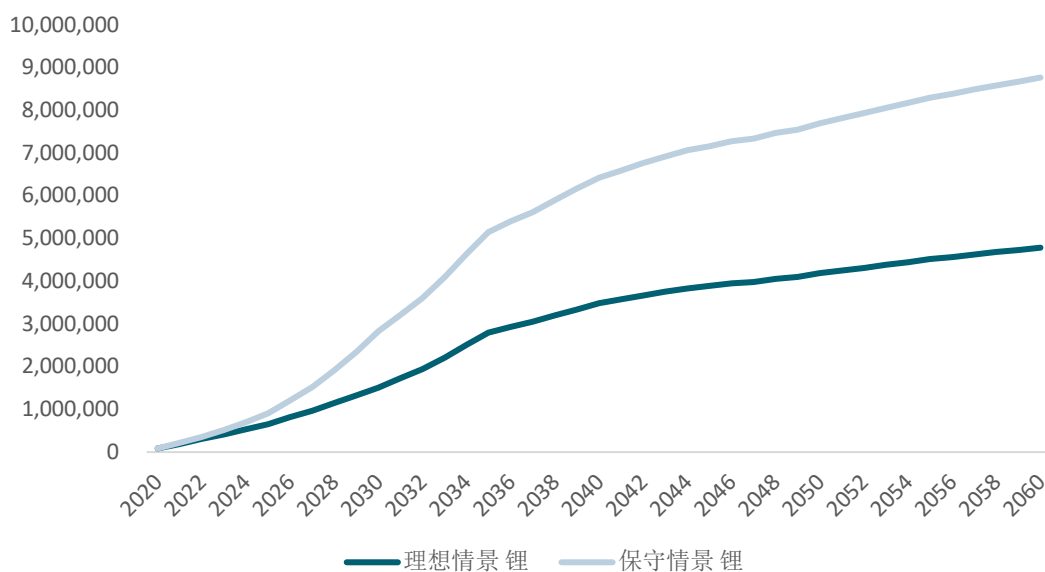


图 5-7 全球新能源汽车行业锂资源需求量预测（LCE 吨）

全球新能源汽车行业镍资源需求量预测结果如图 5-88 所示，随新能源汽车销量不断提升，新能源汽车行业镍资源需求量持续提升。理想情景与保守情境下，新能源汽车镍资源需求量有着较为明显的区别，到 2035 年保守情景下全球新能源汽车行业镍资源需求量约为 219 万吨（金属当量），而理想情景下约为 123 万吨，需求降低幅度接近 45%。2030 年后，相对于保守情景，理想情景需求量一直保持接近 45%的降幅。

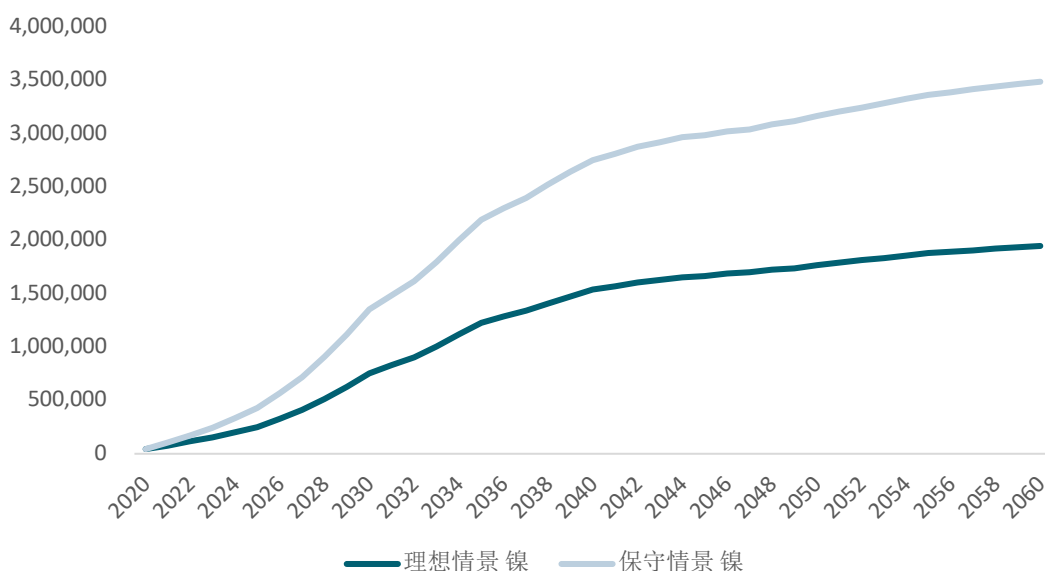


图 5-8 全球新能源汽车行业镍资源需求量预测（吨）

全球新能源汽车行业钴资源需求量预测结果如图 5-99 所示，随新能源汽车销量不断提升，新能源汽车行业钴资源需求量持续提升。理想情景与保守情境下，新能源汽车钴资源需求量有着较为明显的区别，到 2035 年保守情景下全球新能

源汽车行业钴资源需求量约为 26.6 万吨（金属当量），而理想情景下约为 5.3 万吨，需求降低幅度接近 80%。2030 年后，相对于保守情景，理想情景需求量一直保持 80%左右的降幅。

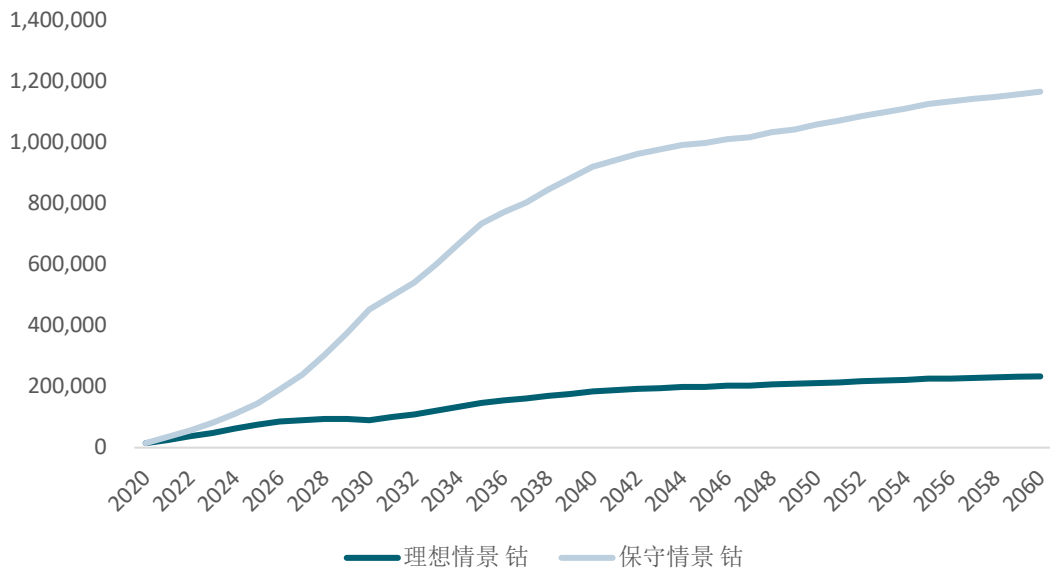


图 5-9 全球新能源汽车行业钴资源需求量预测（吨）

5.3.2.全球全行业锂、镍、钴资源需求预测

全球全行业锂、镍、钴资源需求方法参照中国全行业资源需求计算方法，理想情景与保守情景仅针对于动力蓄电池行业进行设置，对于其他行业不考虑情景变化所带来的需求量变动。

全球各主要行业与整体锂资源需求量预测如 **Error! Reference source not found.0** 所示，3C 电池行业、储能行业及其他行业未来锂资源需求均将保持稳步提升。

当前，全球全行业锂资源消费主要集中于 3C 电池行业与其他行业，但随全面电动化的推进，动力蓄电池所消费的锂资源占比逐渐增大，由 2020 年的 30% 左右提升至 2035 年的 85%以上，未来只面临很小的来自其他行业资源竞争。在理想情景处理下的动力蓄电池行业，可极大降低全行业锂资源需求量，2030 年后普遍可以降低 40%以上的全行业锂资源需求。

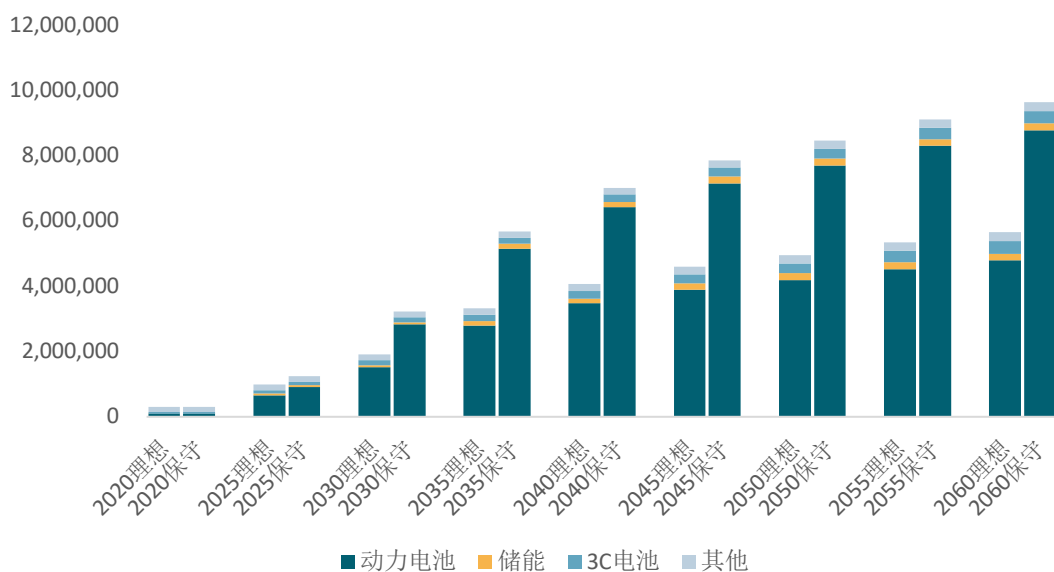


图 5-10 全球全行业锂资源需求量预测 (LCE 吨)

全球各主要行业与整体镍资源需求量预测如 **Error! Reference source not found.**所示，不锈钢行业镍资源需求未来先经历平稳上涨阶段，约 2040 年后需求逐渐稳定；对于其他行业的镍资源需求，采取线性增长处理。

无论是当前还是未来，不锈钢行业一直占据最大的镍资源消费比例，而随电动化逐步推进，动力蓄电池镍资源需求占比也逐步增大，从 2020 年的不足 2%，到 2035 年的超 20%。未来，新能源汽车行业将持续面临来自不锈钢行业的资源竞争压力。另外，在理想情景处理下的动力蓄电池行业，可在一定程度上降低全行业镍资源需求量，2035 年后普遍可以降低 10% 以上的全行业镍资源需求。

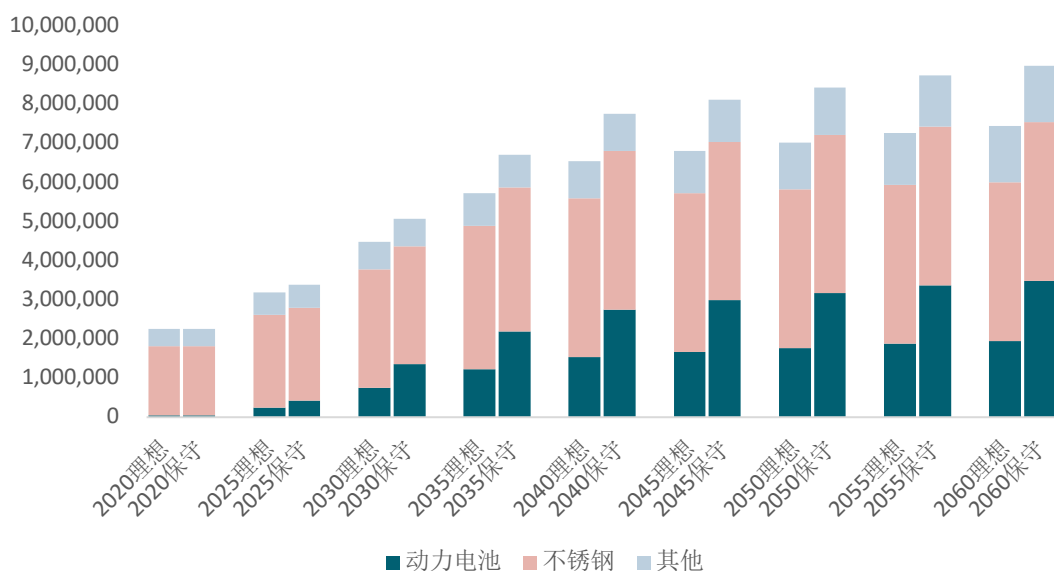


图 5-11 全球全行业镍资源需求量预测 (吨)

全球全行业钴资源需求量预测如图 5-12 所示，3C 电池行业、储能行业及其他行业未来钴资源需求均将保持稳步提升。

无论是当前还是未来，3C 电池行业一直占据较大的钴资源消费比例，未来新能源汽车发展将持续面临 3C 电池行业的资源竞争。而随电动化逐步推进，动力蓄电池钴资源需求占比也逐步增大，但是不同情景下动力蓄电池钴资源需求在全行业钴资源需求占比中有较大的差别，在理想情景动力蓄电池钴资源需求占比从2020年的 10%提升至2035 年的 28%，而在保守情景下这一比例将提升至 60%。另外，在理想情景处理下的动力蓄电池行业，可大幅降低全行业钴资源需求量，2035 年后普遍可以降低 45% 以上的全行业钴资源需求。

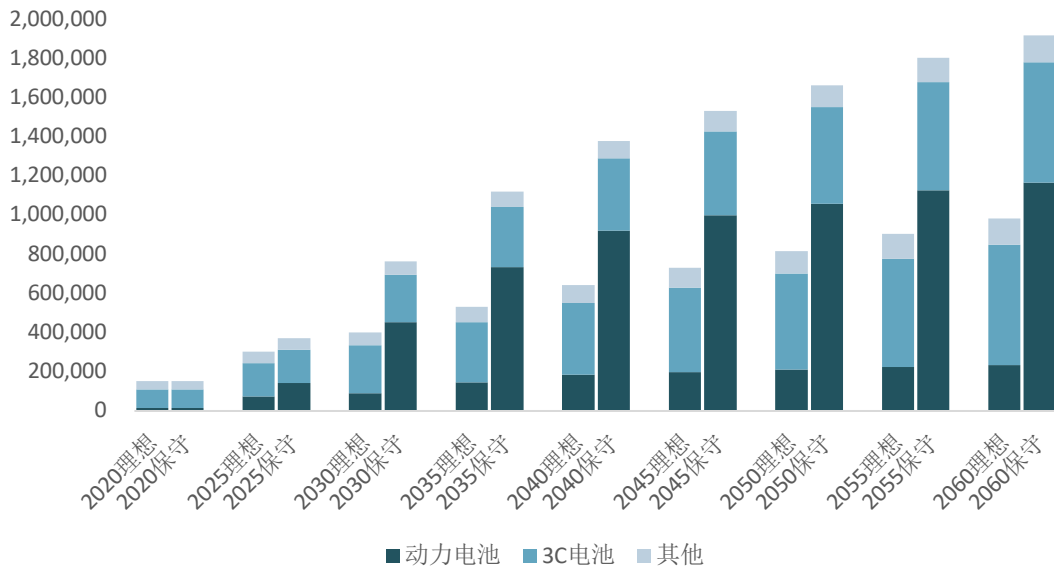


图 5-12 全球全行业钴资源需求量预测（吨）

6. 锂、镍、钴资源回收研究

6.1. 锂、镍、钴资源回收研究方法

采用全生命周期物质流方法对锂、镍、钴资源回收量进行研究，建立动力蓄电池关键资源回收预测模型，模型技术路线图如图 6-1 所示，模型基于动力蓄电池装机量进行预测，引入动力蓄电池退役时间参数，从而展开对动力蓄电池退役量的预测，通过考虑动力蓄电池收集率参数得到每年实际回收到的退役动力蓄电池。收集到的动力蓄电池一部分进行直接再生利用，一部分参与梯次利用，经过数年的梯次利用后进入再生利用，继而根据动力蓄电池中各金属回收率对所回收的资源进行计算，具体计算方法参照公式（3）。

生产。

表 6-2 动力蓄电池回收相关参数设置

		2020	2025	2030	2035 及以后
电池收集率		75%	90%	100%	100%
直接再生比例	LFP	40%	30%	30%	30%
	NCM111	85%	70%	60%	35%
	NCM523	85%	70%	60%	35%
	NCM622	85%	70%	60%	35%
	NCM811	85%	70%	60%	35%
	NCA	85%	70%	60%	35%
梯次利用比例	LFP	60%	70%	70%	70%
	NCM111	15%	30%	40%	65%
	NCM523	15%	30%	40%	65%
	NCM622	15%	30%	40%	65%
	NCM811	15%	30%	40%	65%
	NCA	10%	30%	40%	65%
电池中金属再生率	锂	85%	92%	95%	95%
	镍	98%	98%	98%	98%
	钴	98%	98%	98%	98%

6.2.中国锂、镍、钴资源回收量预测

根据上述研究方法,对我国未来新能源汽车行业动力蓄电池资源回收量进行了预测,预测结果如图 6-2 所示。随我国电动化不断推进,动力蓄电池锂资源回收量也随之加大,理想情景下 2035 年锂资源回收量为 2020 年的 54 倍。随锂资源回收量的提升,新电池的循环材料占比也逐渐提升,按当前参数设置下,2030 年理想情景与保守情景下均可满足欧盟电池法 4%的新电池再生材料要求,而在 2035 年,仅理想情景可满足欧盟电池法 10%的新电池再生材料要求。另外保守情景与理想情景的锂资源回收量有一定差距,理想情景累计回收量比保守情景低 27%。

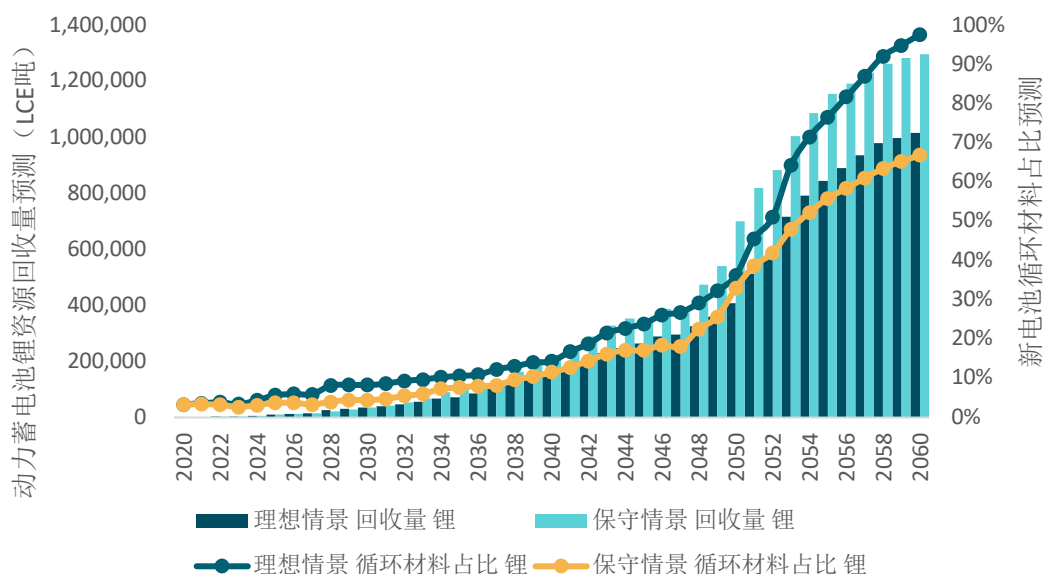


图 6-2 我国动力蓄电池锂资源回收量及新电池循环锂占比

根据上述研究方法,对我国未来新能源汽车行业动力蓄电池镍资源回收量进行了预测,预测结果如图 6-3 所示。随我国电动化不断推进,动力蓄电池镍资源回收量也随之加大,理想情景下 2035 年镍资源回收量为 2020 年的 166 倍。随镍资源回收量的提升,新电池的循环材料占比也逐渐提升,按当前参数设置下,2030 年理想情景与保守情景下均可满足欧盟电池法 4%的新电池再生材料要求,而在 2035 年,两种情景均无法满足欧盟电池法 12%的新电池再生材料要求。以 2035 年理想情景为例,电池收集率、镍资源再生率均已达到非常高的水平,难以再在此方面有所提升,此时需要采取其他行业如不锈钢中镍资源的回收等措施,来保证新动力蓄电池中的循环材料占比达到欧盟电池法规要求。另外保守情景与理想情景的镍资源回收量有一定差距,理想情景累计回收量比保守情景低 36%。

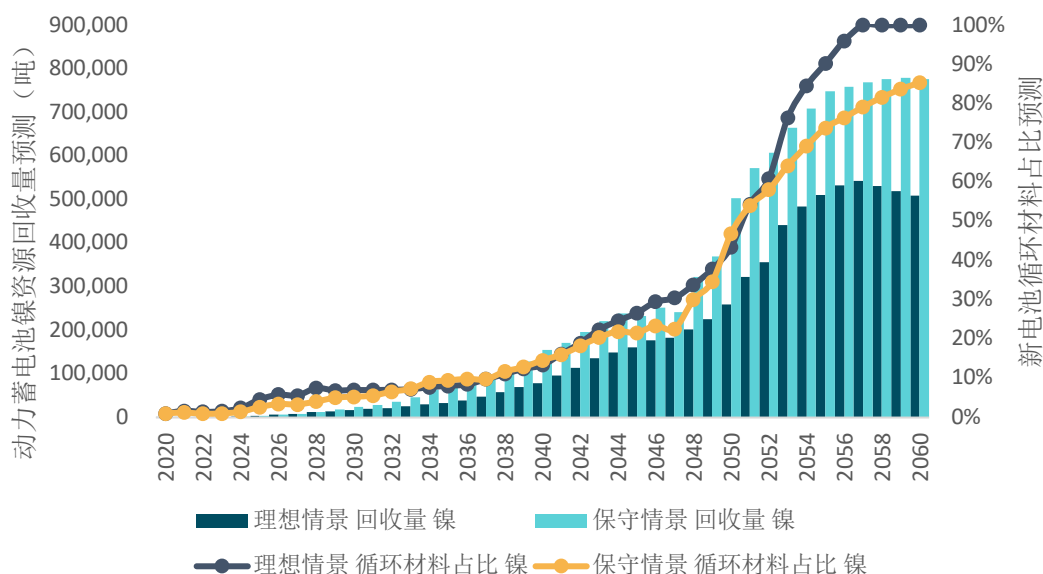


图 6-3 我国动力蓄电池镍资源回收量及新电池循环镍占比

根据上述研究方法,对我国未来新能源汽车行业动力蓄电池钴资源回收量进行了预测,预测结果如图 6-4 所示。随我国电动化不断推进,动力蓄电池钴资源回收量也随之加大,理想情景下 2035 年钴资源回收量为 2020 年的 60 倍。随锂资源回收量的提升,新电池的循环材料占比也逐渐提升,按当前参数设置下,2030 年理想情景可满足欧盟电池法 12%的新电池再生材料要求,保守情景无法满足,而在 2035 年,理想情景可以满足欧盟电池法 20%的新电池再生材料要求,保守情景无法满足。另外保守情景与理想情景的钴资源回收量差距较大,理想情景累计回收量比保守情景低 74%。

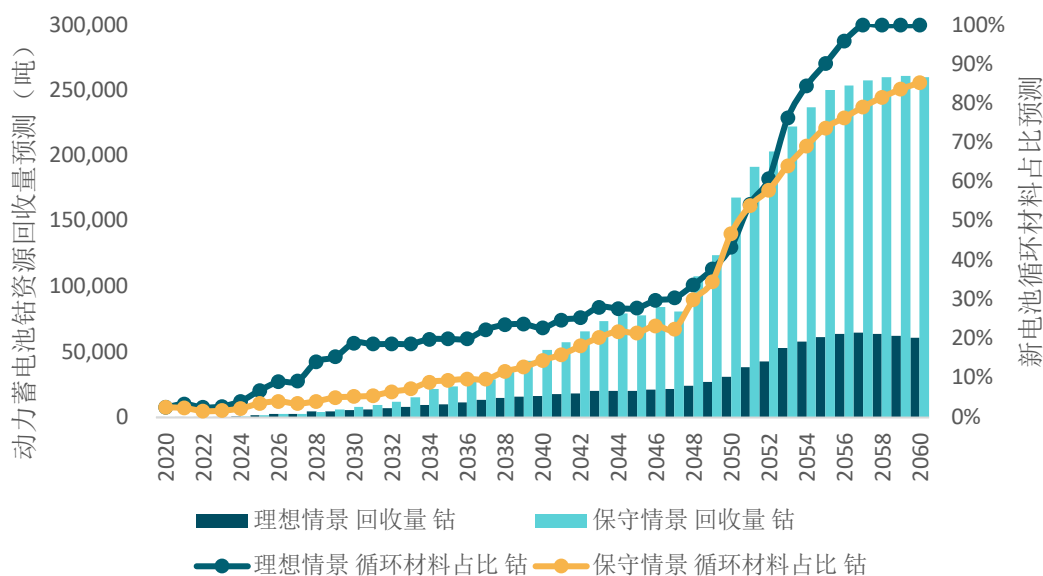


图 6-4 我国动力蓄电池钴资源回收量及新电池循环钴占比

7. 新能源汽车行业锂、镍、钴资源物质流分析

根据对上述资源需求、回收的研究，遵循全生命周期物质流方法，对新能源汽车行业锂、镍、钴资源物质流进行分析，物质流分析为对供给、需求、回收研究的综合展示。物质流分析只针对了理想情景进行了分析，包含 2020 年与 2035 年两个年份进行对比。

图 7-1、图 7-2 与图 7-3 为理想情境下 2020 年与 2035 年所销售的新能源汽车的全生命周期锂、镍、钴资源物质流图，物质流图变动与上文假设与研究结果相符合，即从 2020 年到 2035 年，二次资源供给占比增加，未再生资源占比降低，梯次利用资源占比增加。

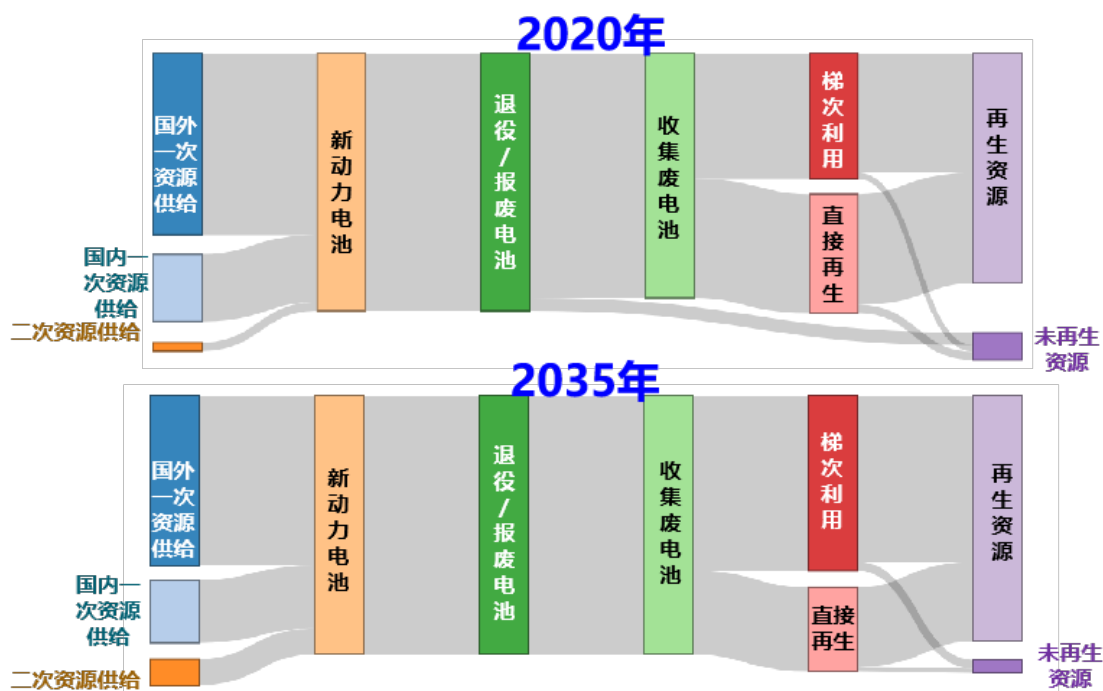


图 7-1 2020 年与 2035 年新能源汽车行业锂资源物质流分析

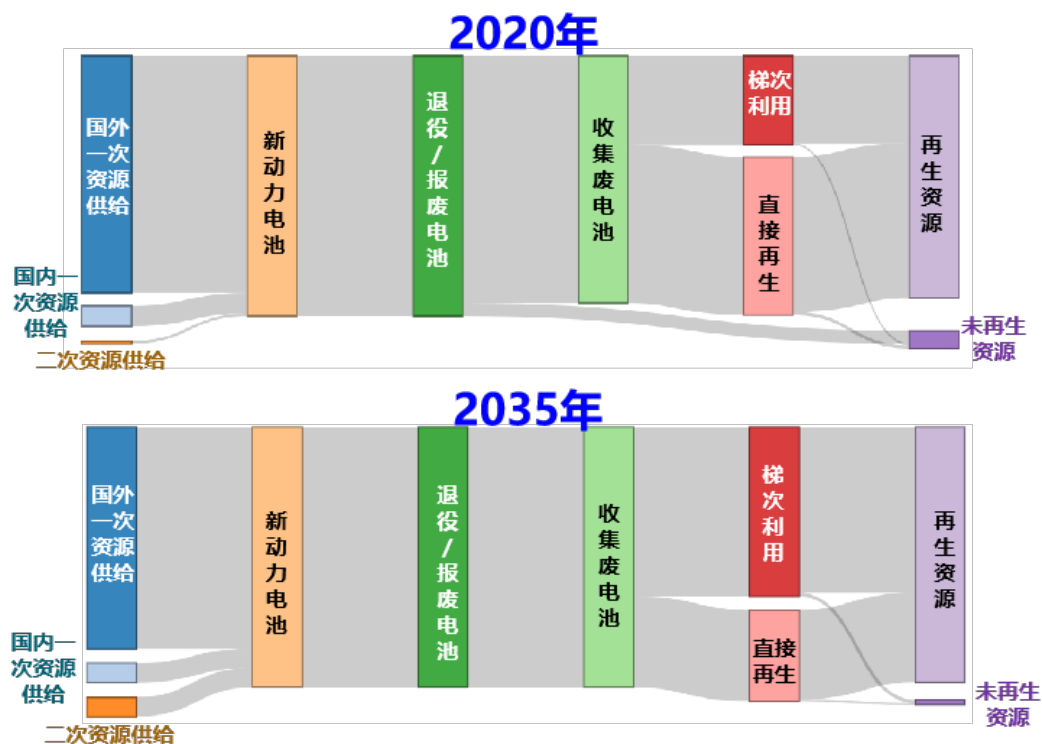


图 7-2 2020 年与 2035 年新能源汽车行业镍资源物质流分析

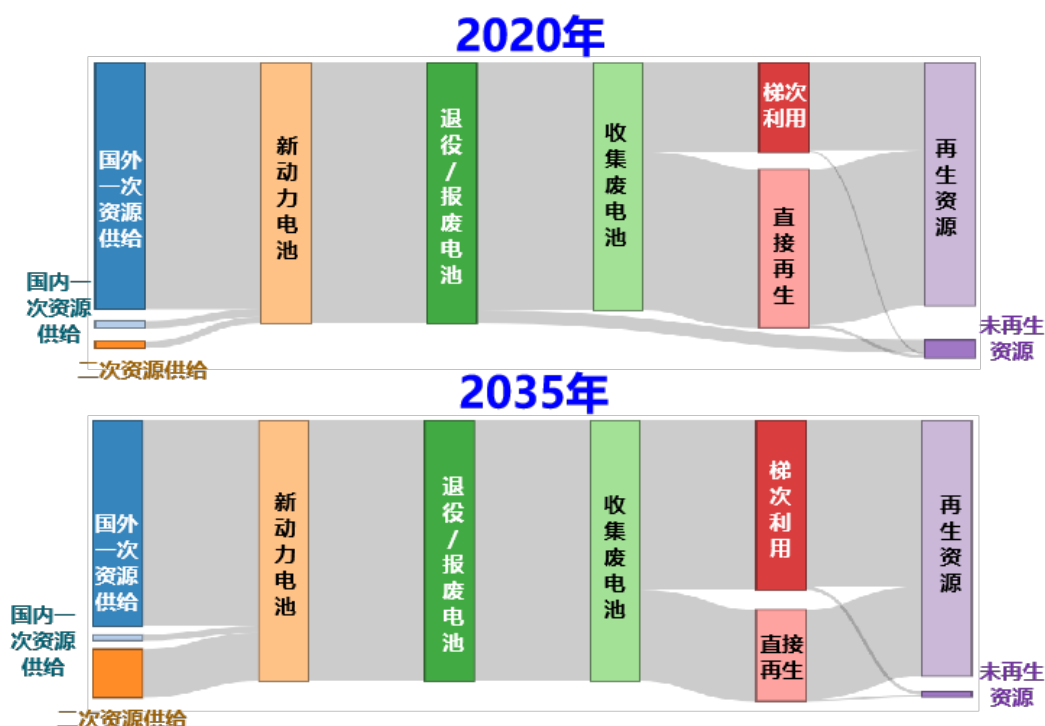


图 7-3 2020 年与 2035 年新能源汽车行业钴资源物质流分析

8. 锂、镍、钴资源风险分析

采用三个层面对锂、镍、钴资源风险进行分析——供需不平衡层面、资源对外依存度层面、资源储量层面。

8.1. 锂、镍、钴资源供需不平衡风险

在锂、镍、钴资源供需层面，共进行四方面的考虑（前三个方面之间相对独立），一是我国锂、镍、钴资源自身供需关系分析，探究我国仅考虑国内供给的话能否满足资源的需求；二是全球锂、镍、钴资源供需关系分析，探究全球供需关系，供给是否可以满足需求；三是我国锂、镍、钴资源整体需求状况，判断考虑多重因素下（国内一次资源供给、国外一次资源供给、二次资源供给），我国整体资源供需状况；四是单独将国外一次资源供给与我国进口资源需求之间的关系进行研究，探究未来国外资源供给是否可以满足我国进口资源需求。

8.1.1. 我国锂、镍、钴资源自身供需关系分析

我国资源自身供需曲线包括三部分，需求曲线、一次资源供给曲线、资源总供给曲线（一次资源供给量+二次资源供给量）。需求曲线来自于第 5 章节中对我国锂、镍、钴资源总需求的研究，一次资源供给曲线以 2020 年我国自供资源为基点，采取 USGS 报告中我国十年矿产开采复合增长率对其进行预测，资源总供给量为一次资源供给量与二次资源供给量之和，二次资源供给量来自于第 6 章节

中对资源回收量的计算（此处仅考虑新能源汽车行业的资源回收量，暂不考虑其他行业的资源回收量）。

我国锂资源自身供需曲线如图 8-1 所示，在不考虑二次资源供给的情况下，理想情景 2052 年我国自身的供给可以满足我国全行业锂资源需求，保守情景下 2056 年可以满足需求。在考虑二次资源供给的情况下，理想情景与保守情景供需平衡点分别提前至 2048 年与 2052 年。

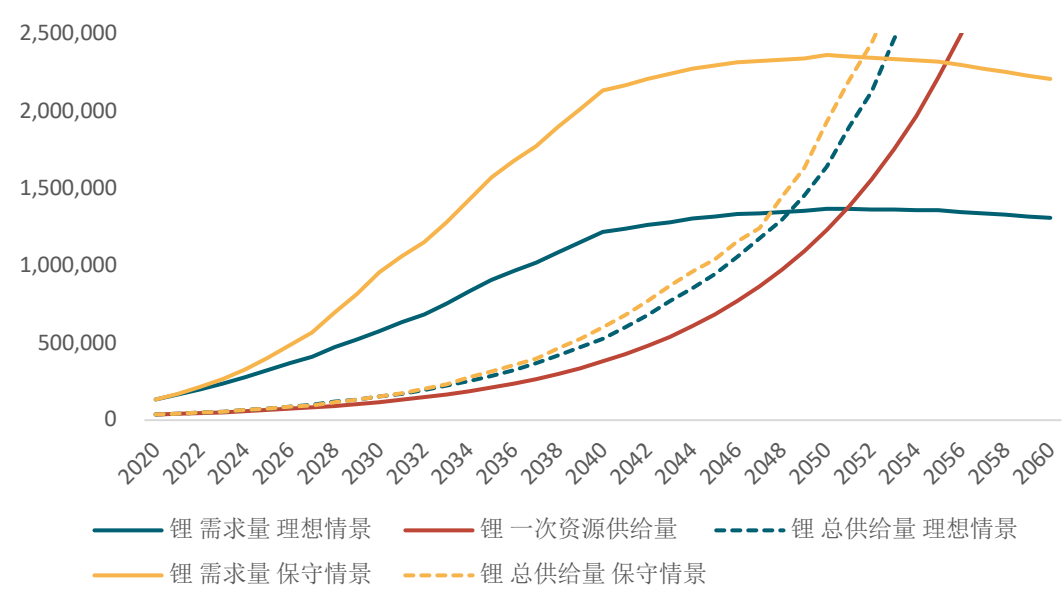


图 8-1 我国锂资源自身供需曲线（LCE 吨）

我国镍资源自身供需曲线如图 8-2 所示，如图所示，无论是理想情景还是保守情景，我国自身镍资源供给始终无法满足自身的镍资源需求。

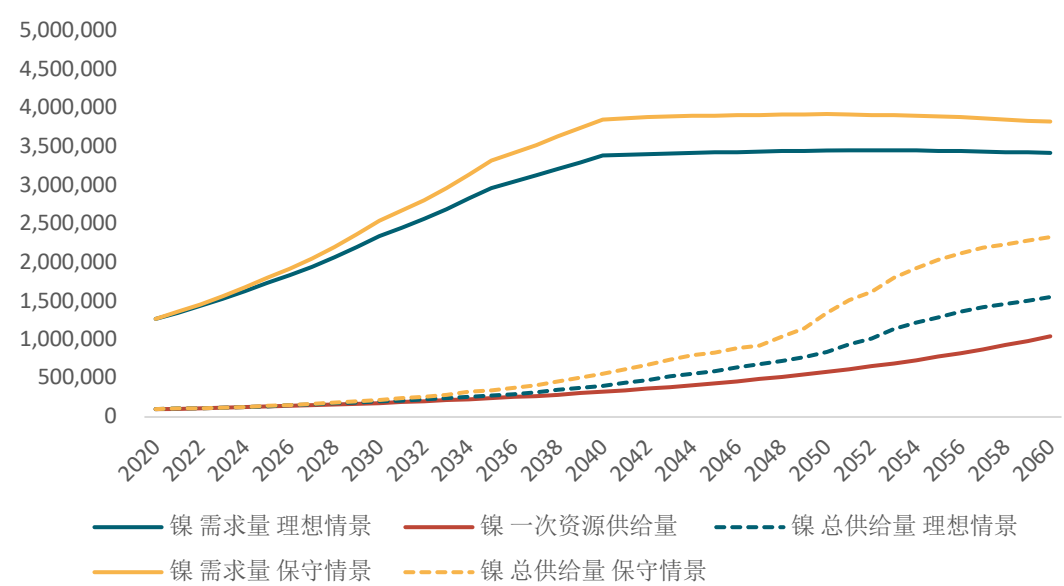


图 8-2 我国镍资源自身供需曲线（吨）

我国钴资源自身供需曲线如图 8-3 所示，如图所示，无论是理想情景还是保守情景，我国自身钴资源供给始终无法满足自身的钴资源需求。

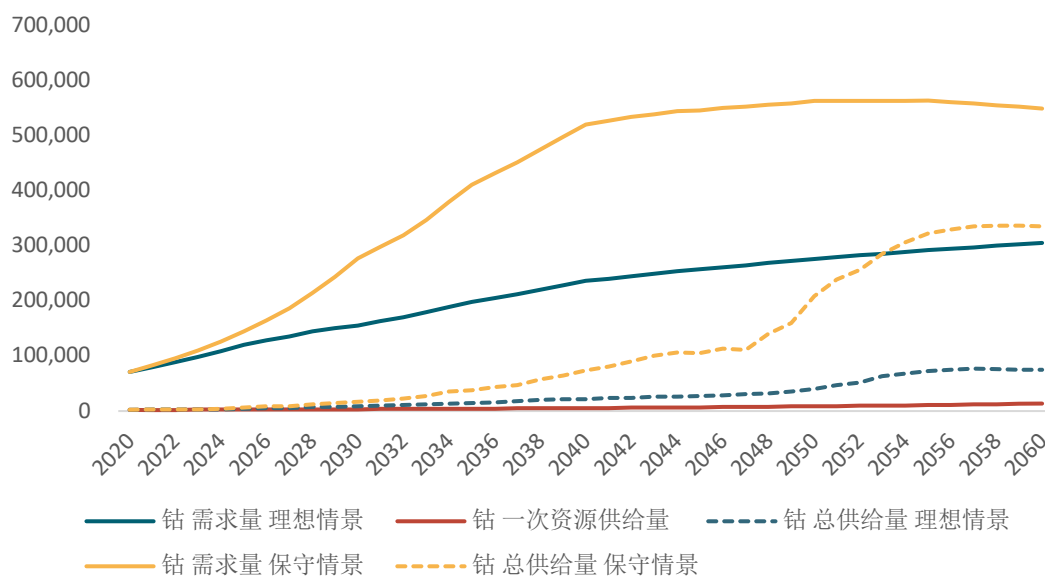


图 8-3 我国钴资源自身供需曲线（吨）

8.1.2. 全球锂、镍、钴资源供需关系分析

全球资源供需曲线包括三部分，需求曲线、一次资源供给曲线、资源总供给曲线（一次资源供给量+二次资源供给量）。需求曲线来自于第 5 章节中对全球锂、镍、钴资源总需求的研究，一次资源供给曲线以 2020 年为基点，采取 USGS 报告中全球十年矿产开采复合增长率对其进行预测，资源总供给量为一次资源供给量与二次资源供给量之和，二次资源供给量来参照第 6 章节中对我国资源回收量的计算进行相同的处理（此处仅考虑新能源汽车行业的资源回收量，暂不考虑其他行业的资源回收量）。

全球锂资源供需曲线如图 8-4 所示，在不考虑二次资源供给的情况下，理想情景 2039 年全球的供给可以满足全行业锂资源需求，保守情景下 2045 年可以满足需求。在考虑二次资源供给的情况下，理想情景与保守情景供需平衡点分别提前至 2037 年与 2043 年。

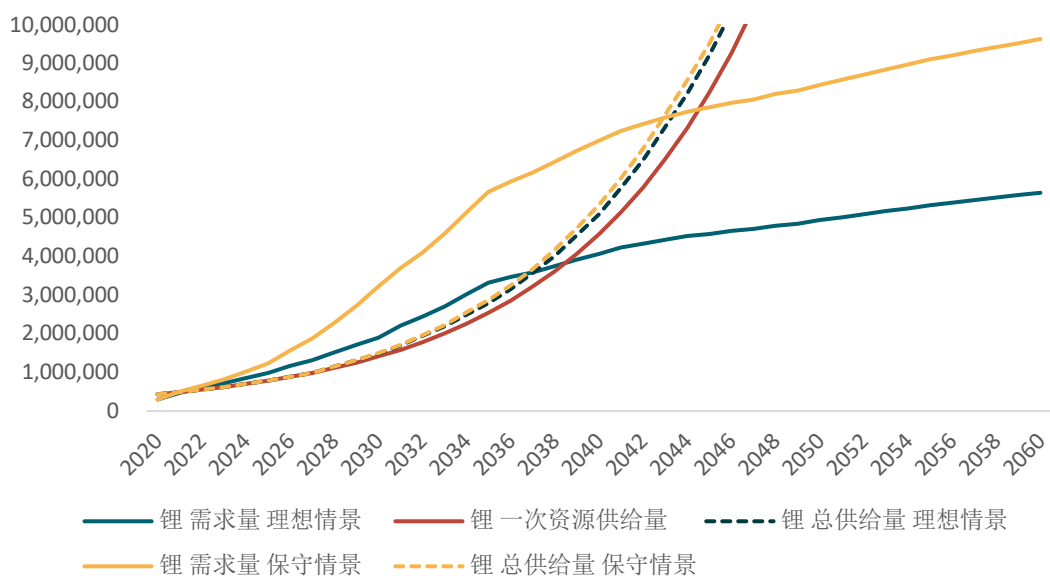


图 8-4 全球锂资源供需曲线（LCE 吨）

全球镍资源供需曲线如图 8-5 所示，在不考虑二次资源供给的情况下，理想情景下一次镍资源供给几乎可以满足全行业资源需求，保守情景下 2039 年可以满足需求。在考虑二次资源供给的情况下，保守情景供需平衡点提前至 2038 年。

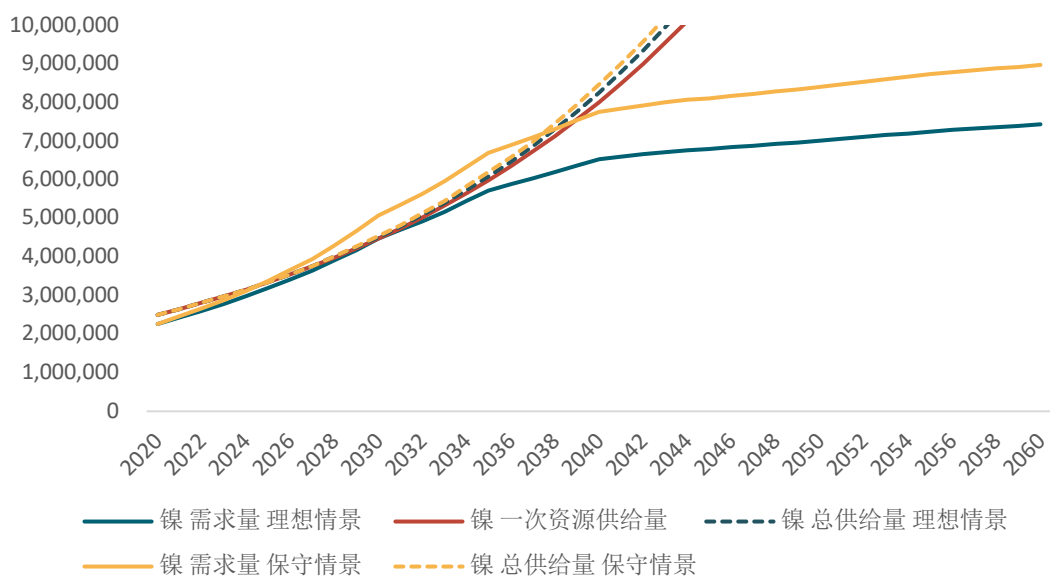


图 8-5 全球镍资源供需曲线（吨）

全球钴资源供需曲线如图 8-6 所示，在不考虑二次资源供给的情况下，两种情景下一次钴资源供给均无法满足全行业资源需求。在考虑二次资源供给的情况下，理想情景于 2058 年达到供需平衡，然而保守情景依旧无法达到供需平衡。

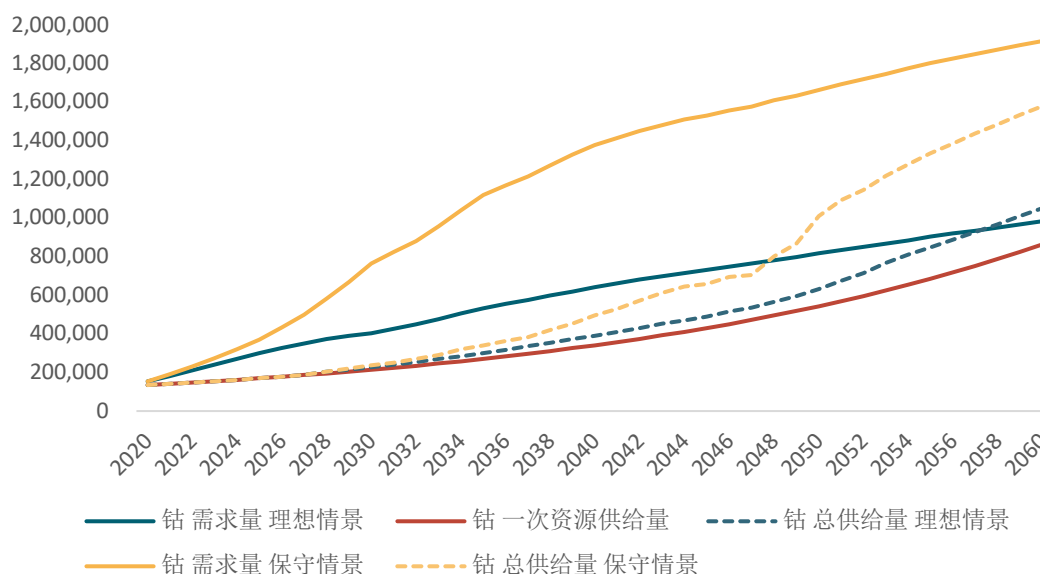


图 8-6 全球钴资源供需曲线（吨）

8.1.3. 我国整体锂、镍、钴资源供需研究

我国资源整体供需曲线包括四部分，需求曲线、一次资源国外供给曲线、一次资源总供给曲线（国外一次资源总供给量+国内一次资源总供给量）与资源总供给曲线（一次资源总供给量+二次资源供给量）。需求曲线来自于第 5 章节中对我国锂、镍、钴资源总需求的研究，一次资源国内供给曲线以 2020 年我国自供资源为基点，采取 USGS 报告^[66]中我国十年矿产开采复合增长率对其进行预测，一次资源国外供给曲线以 2020 年我国进口资源为基点，采取 USGS 报告中我国十年矿产开采复合增长率对其进行预测，资源总供给量为一次资源供给量与二次资源供给量之和，二次资源供给量来自于第 6 章节中对资源回收量的计算（此处仅考虑新能源汽车行业的资源回收量，暂不考虑其他行业的资源回收量）。另外进口比例采取锂 73%^[81]、镍 92%、钴 97%^[65]不变处理。

我国锂资源整体供需曲线如图 8-7 所示，在不考虑二次资源供给的情况下，理想情景 2038 年一次资源供给可以满足我国全行业锂资源需求，保守情景下 2045 年可以满足需求。在考虑二次资源供给的情况下，理想情景与保守情景供需平衡点分别提前至 2036 年与 2042 年。

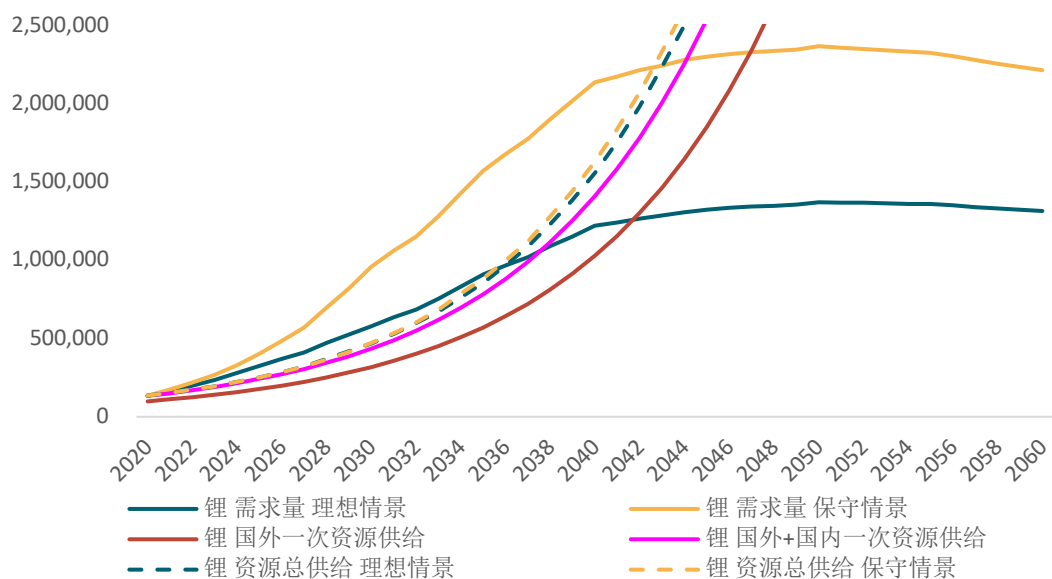


图 8-7 我国锂资源总供需（LCE 吨）

我国镍资源整体供需曲线如图 8-8 所示，在不考虑二次资源供给的情况下，理想情景下我国镍资源几乎可以始终保持供需平衡，保守情景 2041 年一次资源供给可以满足我国全行业镍资源需求。在考虑二次资源供给的情况下，保守情景供需平衡点提前至 2038 年。

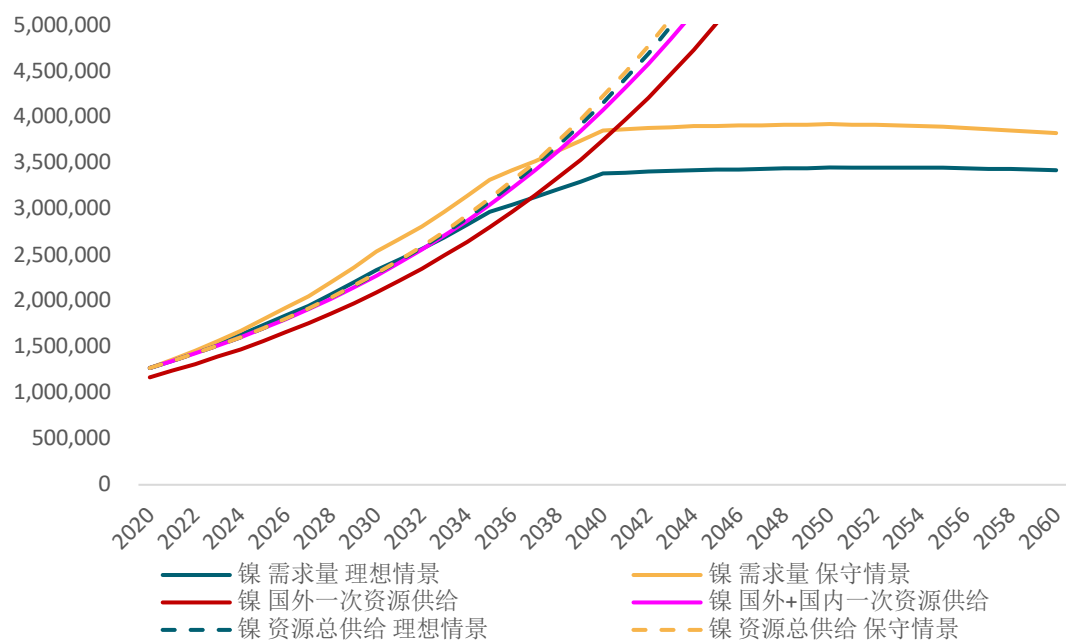


图 8-8 我国镍资源总供需（吨）

我国钴资源整体供需曲线如图 8-8 所示，在不考虑二次资源供给的情况下，保守情景下我国钴资源供给始终无法满足需求，理想情景 2049 年一次资源供给可以满足我国全行业钴资源需求。在考虑二次资源供给的情况下，理想情景供需平衡点提前至 2046 年，同时保守情景可以于 2054 年达到供需平衡。

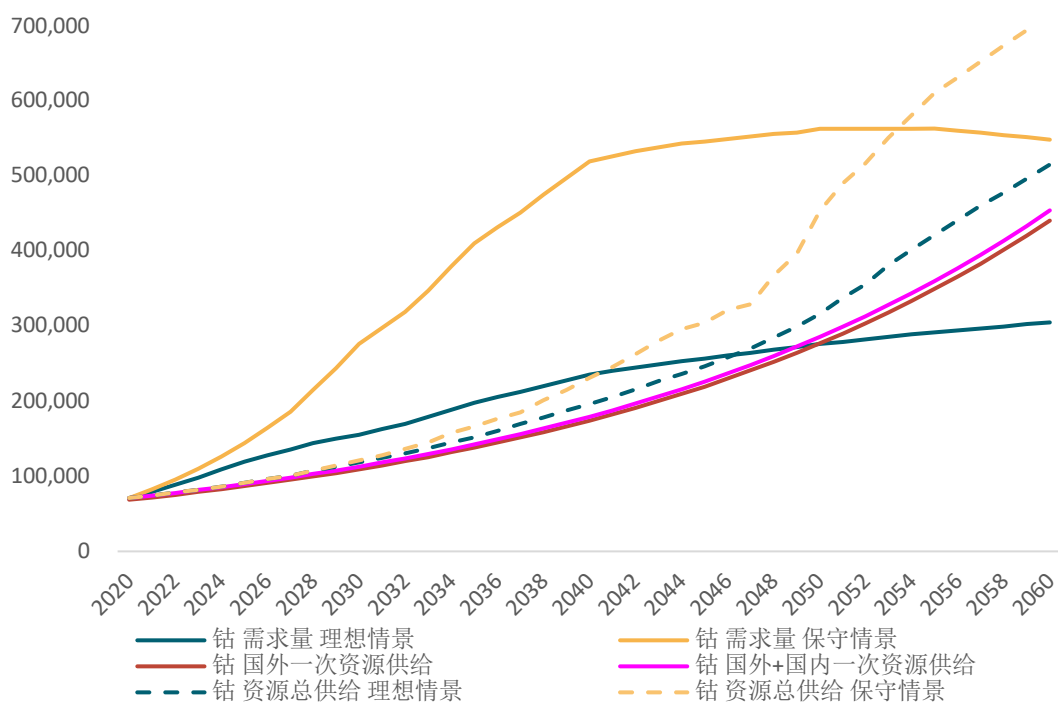


图 8-9 我国钴资源总供需

8.1.4. 我国锂、镍、钴进口资源需求与国外资源供给关系分析

由于我国一次资源进口比例较高，单独将 8.1.3 中国外一次资源供给部分单独进行研究，该部分供需曲线共包括两部分。需求曲线由一次资源进口比例与一次资源需求量（资源总需求量减去资源总回收量）的乘积获得，供给曲线与 8.1.3 中国外一次资源供给量相同。

我国进口锂资源需求量与国外锂资源供给量之间的供需关系图如图 8-10 所示，理想情景下国外锂资源供给可以在 2036 年满足我国进口锂资源需求，保守情景下 2042 年供给满足需求。

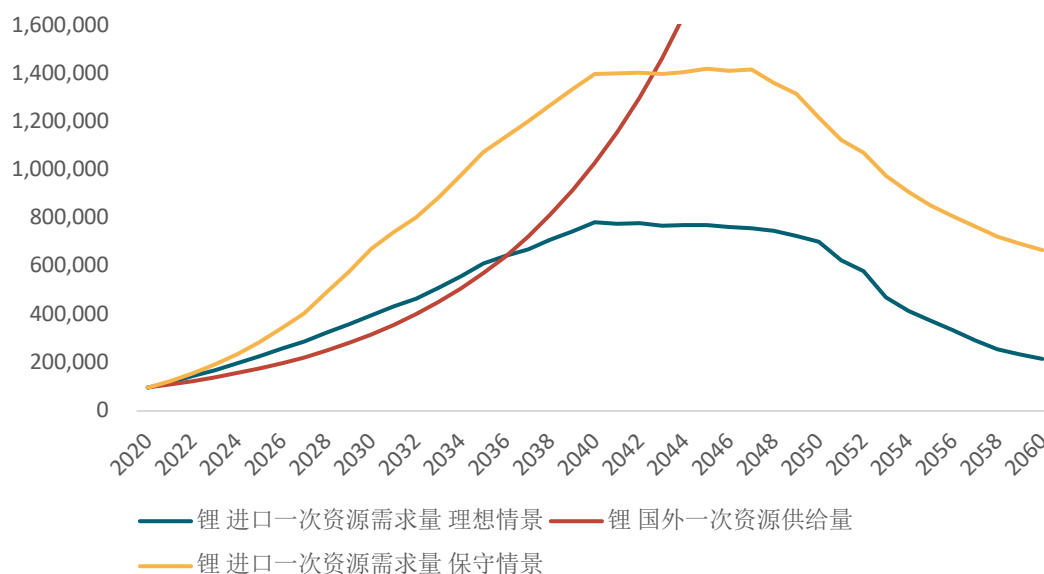


图 8-10 国外锂资源供给量与我国进口一次锂资源需求量关系（LCE 吨）

我国进口镍资源需求量与国外镍资源供给量之间的供需关系图如图 8-11 所示，理想情景下国外镍资源供给几乎一直可以满足我国进口镍资源需求，保守情景下 2037 年供给满足需求。

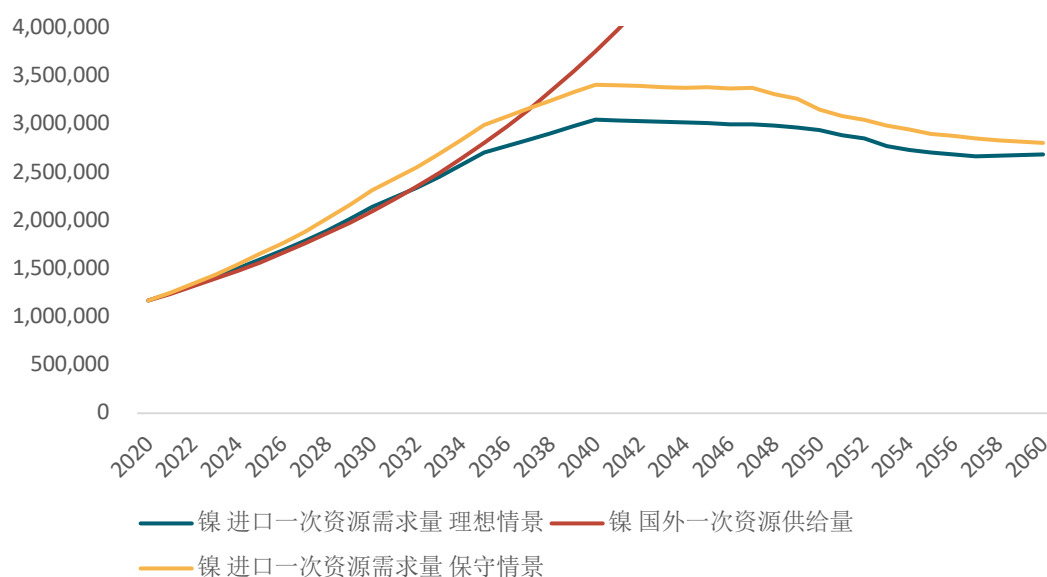


图 8-11 国外镍资源供给量与我国进口一次镍资源需求量关系（吨）

我国进口钴资源需求量与国外钴资源供给量之间的供需关系图如图 8-12 所示，理想情景下国外钴资源供给可以在 2046 年满足我国进口钴资源需求，保守情景下 2054 年供给满足需求。

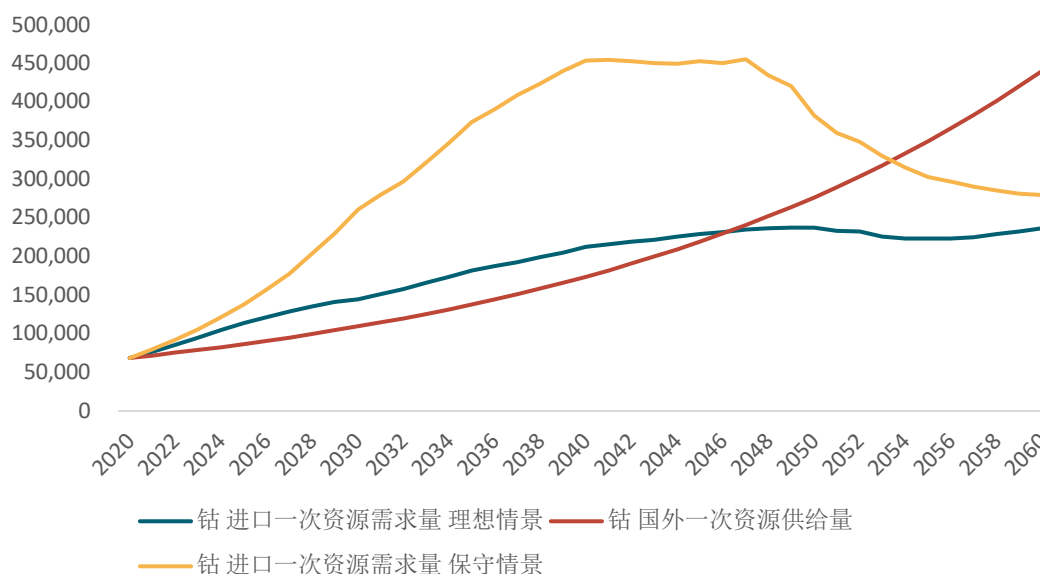


图 8-12 国外钴资源供给量与我国进口一次钴资源需求量关系（吨）

8.2. 锂、镍、钴资源对外依存度风险

8.2.1. 锂、镍、钴资源对外依存度计算方法

资源对外依存度是指一个国家某类资源（本研究中特指锂、钴、镍资源）净进口量占本国该资源（锂、钴、镍资源）消费量的比例，体现了一个国家该资源（锂、钴、镍资源）消费对国外资源（锂、钴、镍资源）的依赖程度。“对外依存度”是一个经济概念，是各国广泛采用的一个衡量一国经济对国外依赖程度的指标，是用一国的进出口总额除以该国的 GDP。而将“对外依存度”引入矿产资源领域则并没有一个严格的定义和统一的口径。对外依存度计算方法如公式(4)、(5)、(6) 所示：

$$M_{i,t} = N_{i,t} \times L_{i,t} \dots\dots\dots (4)$$

其中：

$M_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的对外资源依存度（%）

$N_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的一次资源依存度（%）

$L_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的进口比例（%）

$$N_{i,t} = 1 - R_{i,t} / Q_{i,t} \dots\dots\dots (5)$$

其中：

$N_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的一次资源依存度（%）

$R_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的回收量（ton）

$Q_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的需求量（ton）

$$P_{i,t} = M_{i,t} \times Q_{i,t} \dots\dots\dots (6)$$

$P_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的进口资源需求量（ton）

$M_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的对外资源依存度（%）

$Q_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的需求量（ton）

8.2.2. 锂、镍、钴资源对外依存度结果

如图 8-13 所示，随新能源汽车行业资源回收量的持续提升我国新能源汽车行业锂资源的对外依存度将从 2020 年的 73%持续降低，理想情景在 2049 年可使锂资源对外依存度降至 50%以下，保守情景在 2050 年降至 50%以下。

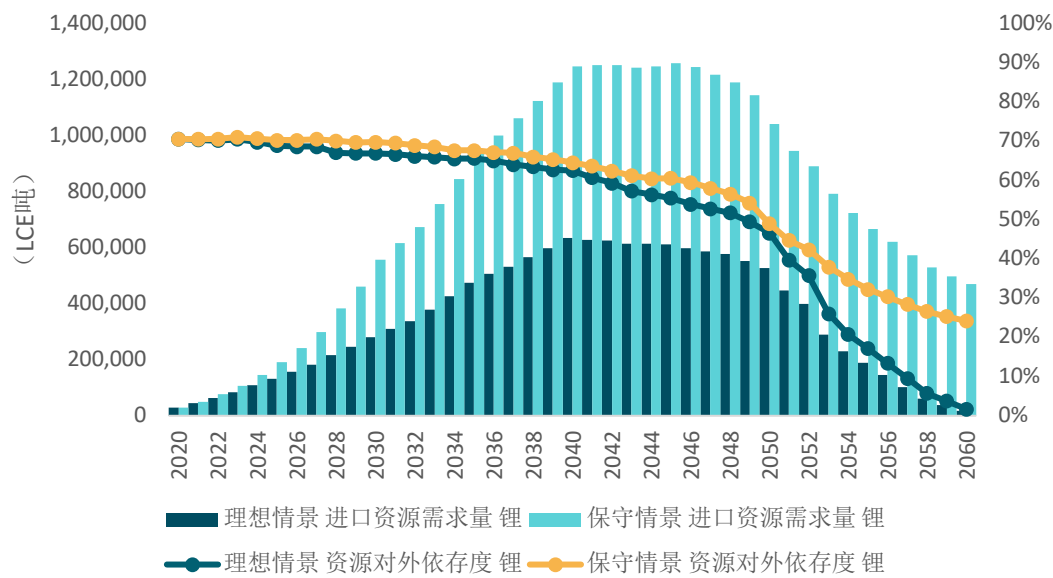


图 8-13 我国新能源汽车行业锂资源对外依存度与进口资源需求量

如图 8-14 所示，随新能源汽车行业资源回收量的持续提升我国新能源汽车行业镍资源的对外依存度将从 2020 年的 92%持续降低，理想情景在 2051 年可使镍资源对外依存度降至 50%以下，保守情景在 2050 年降至 50%以下。

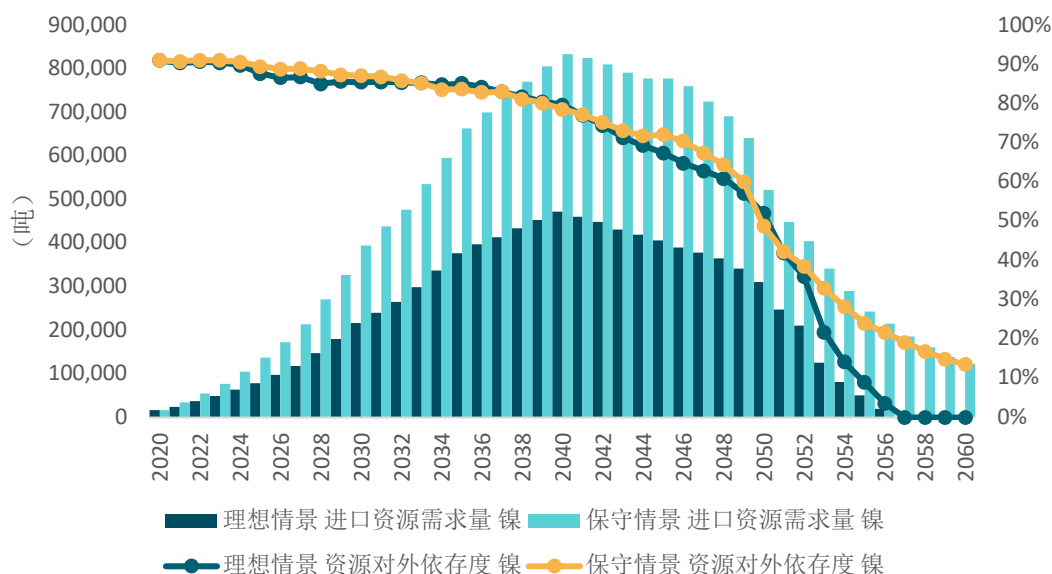


图 8-14 我国新能源汽车行业镍资源对外依存度与进口资源需求量

如图 8-15 所示，随新能源汽车行业资源回收量的持续提升我国新能源汽车行业钴资源的对外依存度将从 2020 年的 97%持续降低，理想情景在 2051 年可使钴资源对外依存度降至 50%以下，保守情景在 2051 年降至 50%以下。

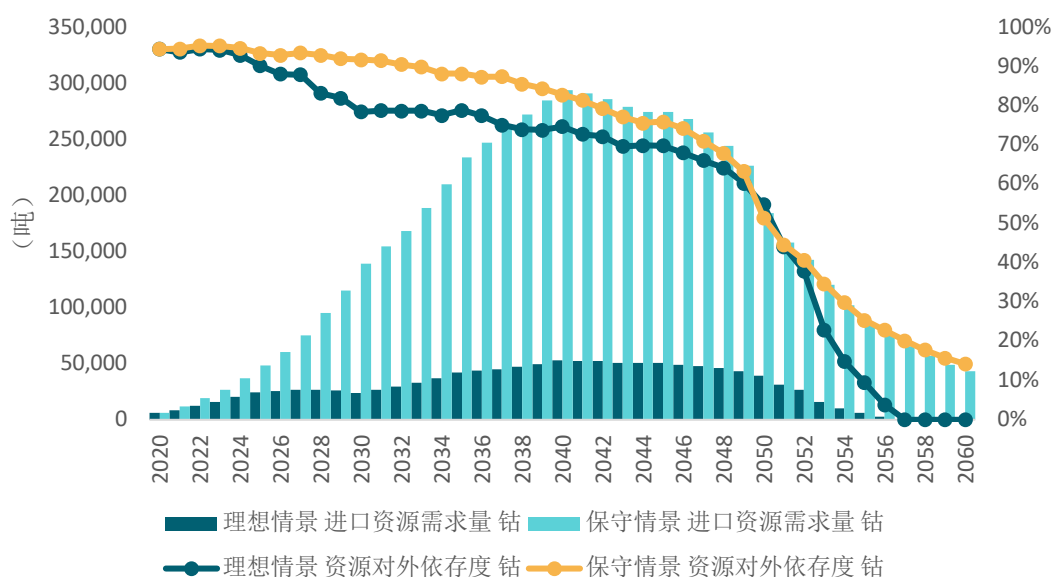


图 8-15 我国新能源汽车行业钴资源对外依存度与进口资源需求量

8.3. 锂、镍、钴资源风险分析小结

供需风险分析显示，我国镍、钴资源未来无法实现自给自足，锂资源长远来看（2048 年后）有实现自给自足的可能性；全球镍资源供给未来可一直满足需求，供需风险较小，钴资源存在较大的风险（2058 年后供需平衡），其次为锂资源（2037 年后供需平衡）；我国整体供需上，镍资源存在较小的供需平衡风险，

钴资源存在较大的供需风险（2046年后供需平衡），其次为锂资源（2036年后供需平衡）；在我国进口资源需求与国外资源供给方面，未来镍资源几乎不存在进口风险，钴资源存在较大进口风险（2046年后供需平衡），其次为锂资源（2036年后供需平衡）。

资源依存度风险分析显示，我国将长期面临锂、镍、钴资源的对外依存度风险，三种资源普遍在2050年后才可使对外依存度降低至50%以下。

9. 锂、镍、钴资源效率分析

9.1. 锂、镍、钴资源效率分析方法

采取两个参数进行资源效率的表征——资源利用次数与单位资源能源载荷量。

资源利用次数指单位金属资源全生命周期（指从资源开采到回归自然）作为电池材料的利用次数。资源利用次数与金属的循环利用次数有关，一次资源的资源利用次数为1，经过一次循环利用的资源利用次数为2，经过两次循环利用的资源利用次数为3……资源的平均利用次数取加权平均，具体计算方法如公式（8）所示：

$$K_{i,t} = \frac{\sum_{m=1}^n A_{i,t,m} \times B_{i,t,m}}{Q_{i,t}} \dots\dots\dots (8)$$

其中：

$K_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的资源利用次数（次）

$A_{i,t,m}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的 m 部分资源量； m 指一次资源部分（ $m=1$ ）、新回收资源部分（ $m=2$ ）、一次迭代回收部分（ $m=3$ ）、二次迭代回收部分（ $m=4$ ）……，共 n 部分。（ton）

$B_{i,t,m}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的 m 部分资源利用次数；（一次资源部分利用一次、新回收资源部分利用两次、一次迭代回收部分利用三次、二次迭代回收部分利用四次……）。（次）

$Q_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的需求量（ton）

单位资源的能源载荷量指单位金属资源全生命周期（指从资源开采到回归自然）所荷载的电池装机能量（kWh/kg）。资源的能源荷载量与资源利用次数正相关。每多一次利用次数，便多一次重新作为电池材料的机会，则增加一倍的能源荷载能力。具体计算方法如公式（9）、公式（10）所示：

$$D_{i,t}^* = \frac{\sum_{m=1}^n A_{i,t,m} \times (\sum_{k=0}^m D_{i,t-sk})}{Q_{i,t}} \dots\dots\dots (9)$$

$$D_{i,t} = C_t / Q_{i,t} \dots\dots\dots (10)$$

其中：

$D_{i,t}^*$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的单位资源能源荷载量（考虑回收）（kWh/kg）
 $A_{i,t,m}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的 m 部分资源量； m 指一次资源部分（ $m=1$ ）、新回收资源部分（ $m=2$ ）、一次迭代回收部分（ $m=3$ ）、二次迭代回收部分（ $m=4$ ）……，共 n 部分。（kg）
 $Q_{i,t}$: t 年 i （锂或钴或镍）金属的需求量（kg）
 $D_{i,t-sk}$: $t-sk$ 年 i （锂或钴或镍）金属的单位资源能源荷载量（不考虑回收）； k 指回收利用次数； s 指电池寿命。（ kWh/kg ）
 C_t : t 年新能源汽车动力蓄电池装机量 （kWh）

9.2. 锂、镍、钴资源利用次数分析

资源利用次数分析如图 9-1、图 9-2 与图 9-3 所示，2050 年前，资源利用次数提升缓慢，2050 年后随新能源汽车销量逐渐达峰，资源利用次数快速上升。相较于 2020 年的 1 次的资源利用次数，随回收再生水平的逐步提升，2060 年理想情景锂、镍、钴资源利用次数可提升至 2.8~3.5，保守情景下资源利用次数可提升至 2.0~2.5。资源利用次数提升，资源效率随之提升。

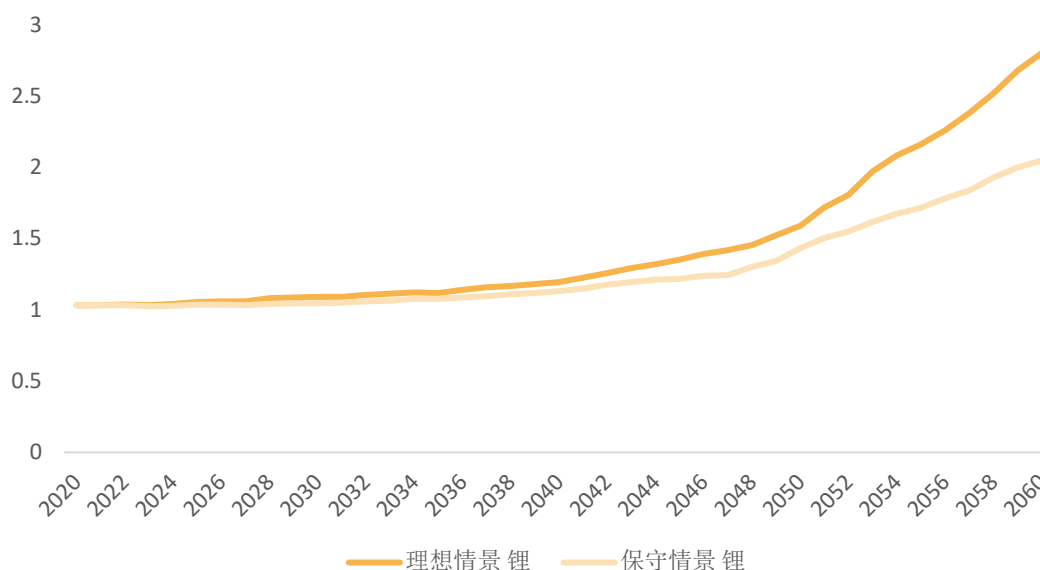


图 9-1 锂资源利用次数

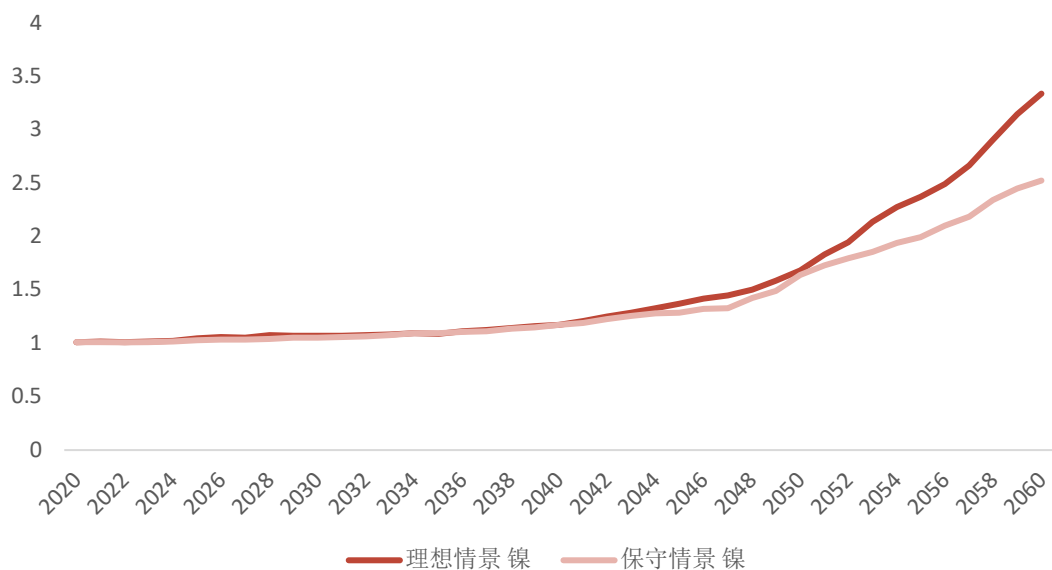


图 9-2 镍资源利用次数

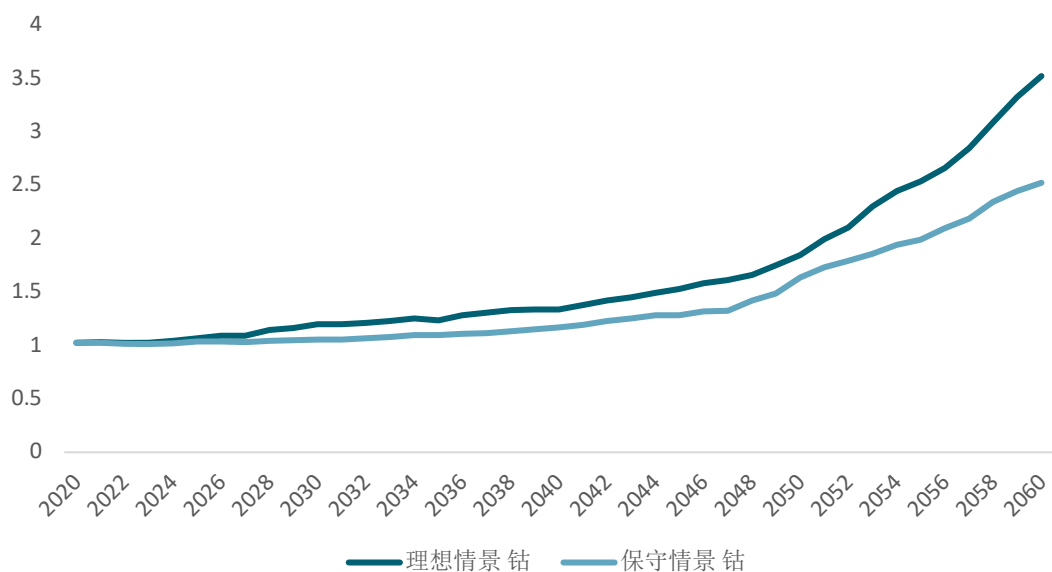


图 9-3 钴资源利用次数

9.3. 锂、镍、钴资源单位资源能源载荷量分析

单位资源能源载荷量分析如图 9-4、图 9-5 与图 9-6 所示，2050 年前，单位资源能源载荷量提升缓慢，2050 年后随新能源汽车销量逐渐达峰，单位资源能源载荷量快速上升。到 2060 年，理想情景锂、镍、钴单位资源能源载荷量可分别达 6.8 kWh/kg LCE、15.7 kWh/kg 与 134.9 kWh/kg，分别为 2020 年的 4.1 倍、4.5 倍与 12.9 倍，同时也为 2020 年理想情景的 2.4 倍、2.2 倍与 6.5 倍，其中钴资源的提升幅度最大，其与低钴电池的使用有关。单位资源能源载荷量提升，资源效率随之提升。

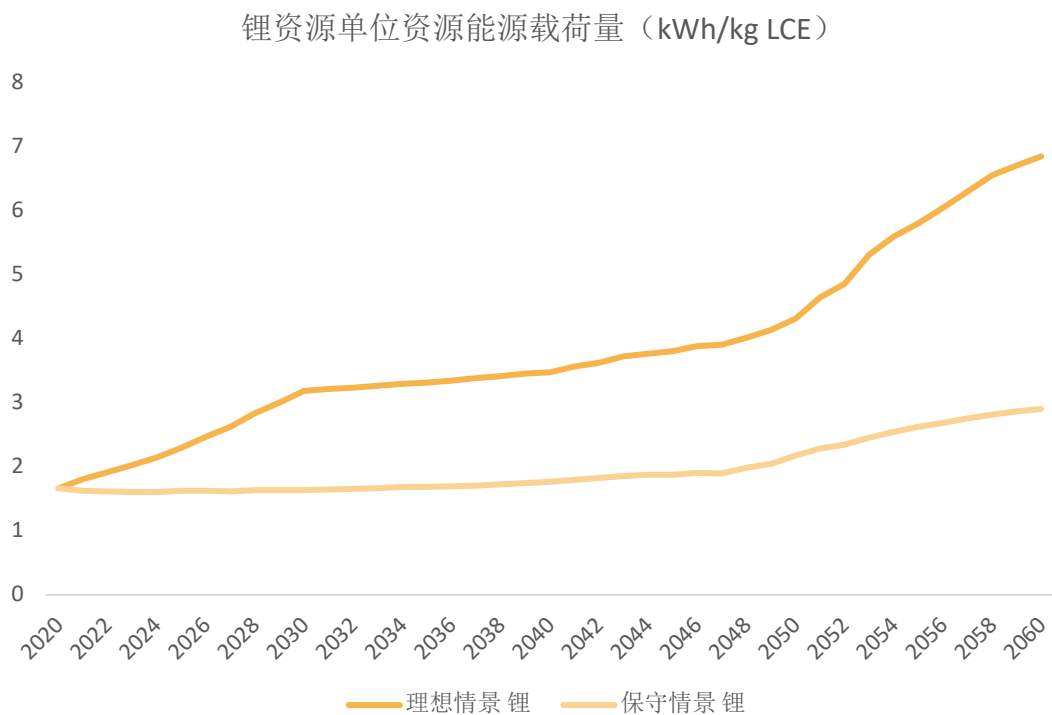


图 9-4 锂资源单位资源能源载荷量 (kWh/kg LCE)

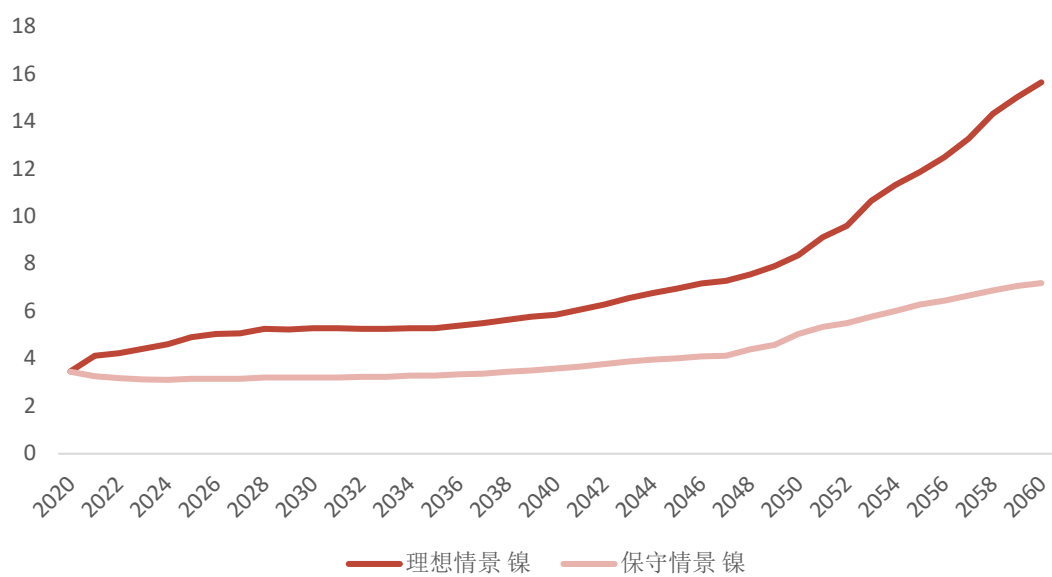


图 9-5 镍资源单位资源能源载荷量 (kWh/kg)

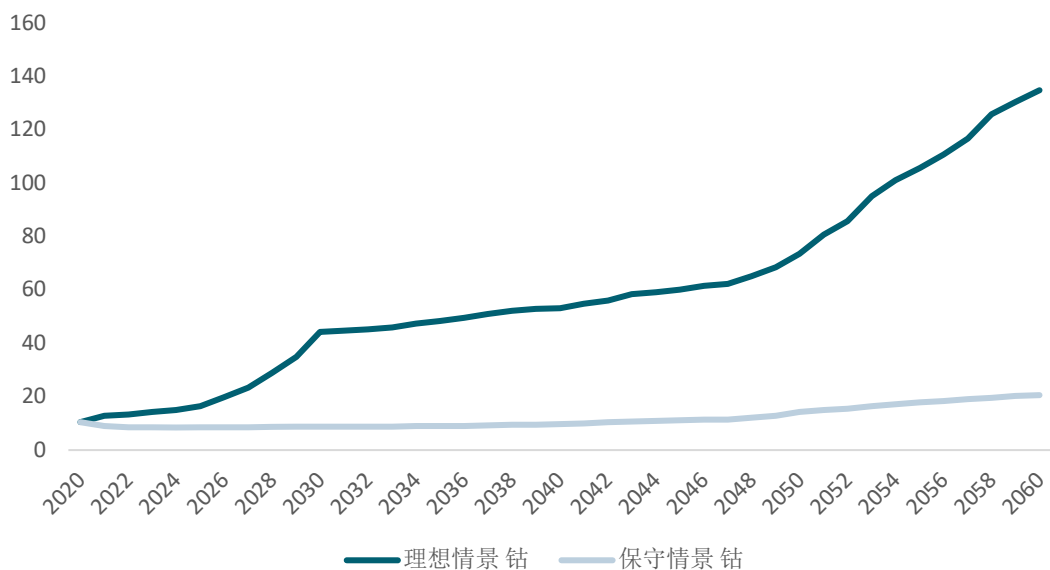


图 9-6 钴资源单位资源能源载荷量 (kWh/kg)

10. 锂、镍、钴资源风险应对策略研究

10.1. 锂、镍、钴资源风险应对策略敏感性分析

选取四个大资源风险应对策略（再生回收水平提升、能量密度提升、低钴电池使用与钠离子电池使用）的资源减量能力进行敏感性分析，探究各风险应对策略在新能源汽车行业具体的风险应对效果，采取一次资源需求量来衡量各风险应对策略的资与风险应对效果，一次资源需求量越小说明风险应对效果越好。敏感性分析以保守情景为研究基准，再生回收水平提升、能量密度提升与低钴电池使用三个参数分别采取理想情景的参数设置，钠离子电池使用方面，采取合理假设，假设 2035 年及之后有 30%的乘用车与 50%的商用车采用钠离子电池。

表 10-1 各风险应对策略于 2020—2060 年较基准线一次资源需求累计降低量

	钠离子电池使用	低钴电池使用	再生回收水平提升	能量密度提升
锂	32%	11%	14%	40%
镍	29%	7%	8%	39%
钴	29%	66%	8%	39%

各风险应对策略下锂资源减量能力敏感性分析结果如表 10-1 与图 10-1 所示，在 2054 年前钠离子电池使用与动力蓄电池能量密度提升所对应的一次锂资源需求量最低，其风险应对效果最好，2054 年后，再生回收水平提升策略拥有最好的风险应对效果。从 2020 年至 2060 年 40 年间，相对于基准曲线，能量密度提升、钠离子电池使用、再生回收水平提升、低钴电池使用累计一次资源需求量

分别降低 40%、32%、14%、11%。

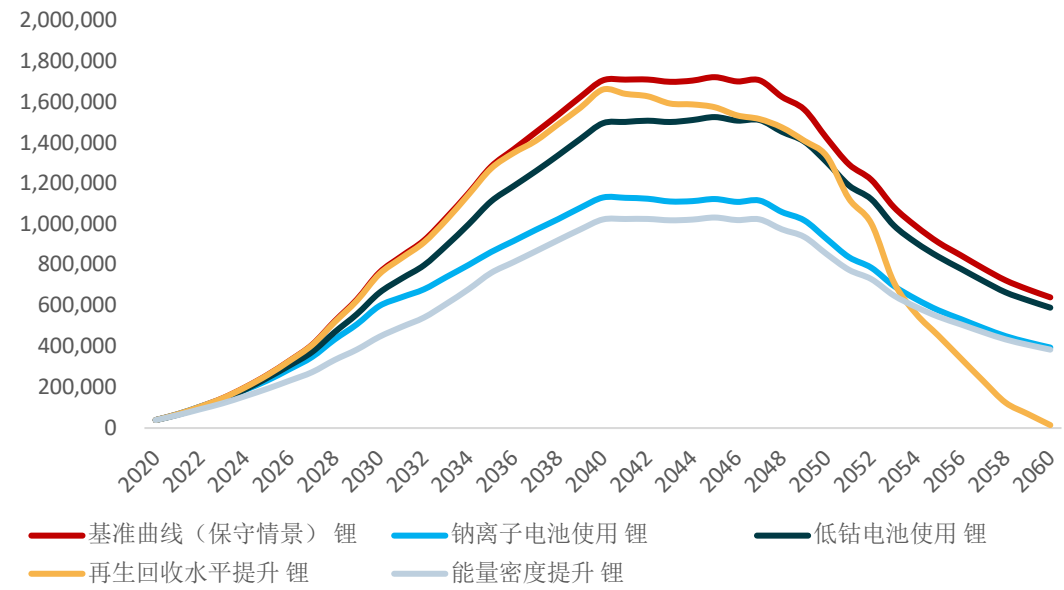


图 10-1 不同风险应对策略下新能源汽车行业一次锂资源需求量变化
(LCE 吨)

各风险应对策略下镍资源减量能力敏感性分析结果如表 10-1 与图 10-2 所示，在 2054 年前钠离子电池使用与动力蓄电池能量密度提升所对应的一次镍资源需求量最低，其风险应对效果最好，2054 年后，再生回收水平提升策略拥有最好的风险应对效果，并且在 2057 年可以使一次资源需求量降低至 0。从 2020 年至 2060 年 40 年间，相对于基准曲线，能量密度提升、钠离子电池使用、再生回收水平提升、低钴电池使用累计一次资源需求量分别降低 39%、29%、8%、7%。

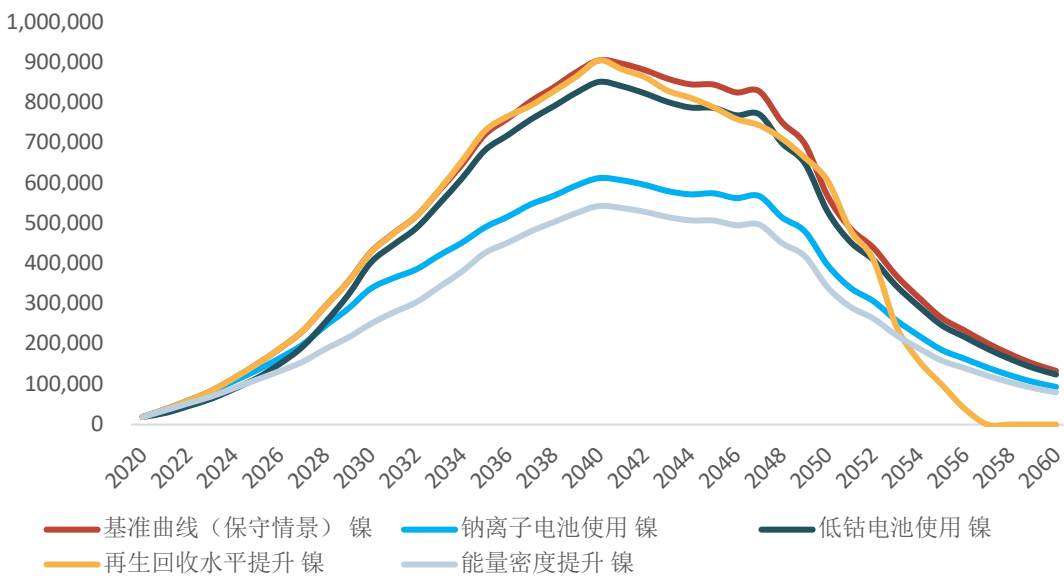


图 10-2 不同风险应对策略下新能源汽车行业一次镍资源需求量变化

(吨)

各风险应对策略下钴资源减量能力敏感性分析结果如表 10-1 与图 10-2 所示，在 2055 年前低钴电池使用策略所对应的一次钴资源需求量最低，其更显应对效果最好，其次为钠离子电池使用与动力蓄电池能量密度提升，2055 年后，再生回收水平提升策略拥有最好的更显应对效果，并且在 2057 年可以使一次资源需求量降低至 0。从 2020 年至 2060 年 40 年间，相对于基准曲线，低钴电池使用、能量密度提升、钠离子电池使用、再生回收水平提升累计一次资源需求量分别降低 66%、39%、29%、8%。

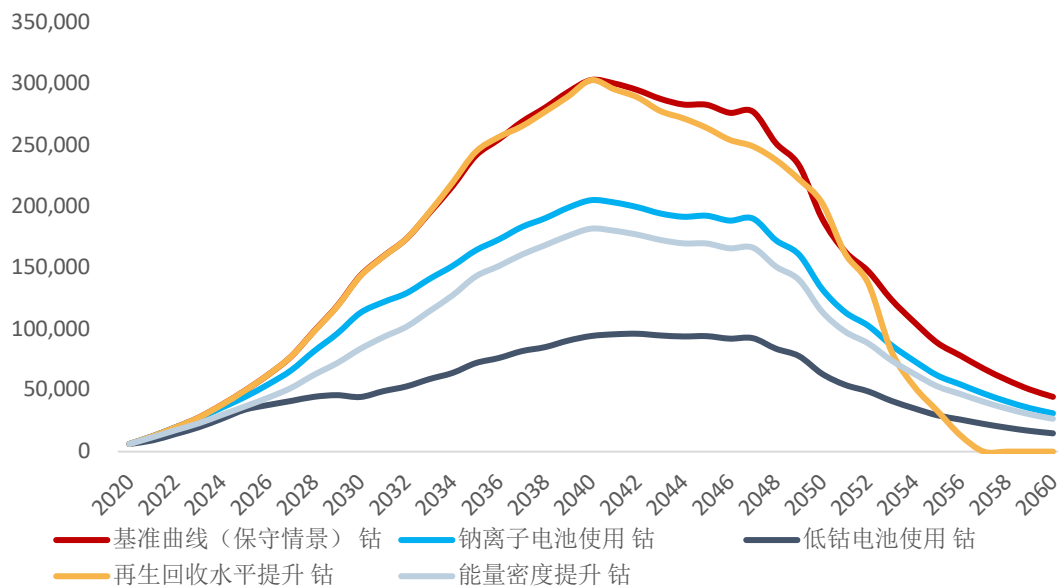


图 10-3 不同风险应对策略下新能源汽车行业一次钴资源需求量变化

(吨)

11. 政策建议

11.1. 政府层面风险应对建议

根据上述研究结果，为降低我国未来新能源汽车行业面临的锂、镍、钴资源风险，保障我国汽车电动化进程顺利推进，研究提出在政府层面提出三个方面的建议——矿产方面、技术方面与政策方面。

矿产方面建议：1) 降低锂资源矿产风险的关键在于对国内矿产的开采，将“看得见”的锂资源变为“用得上”的锂资源。开展锂矿、锂盐开采技术科技创新活动，推进开采技术的科研成果转化，逐步提升我国锂资源开采水平，提升初级资源利用效率，提高锂资源自给能力，提升锂资源供应链稳定性。2) 降低镍、钴资源矿产风险的关键在于对国外矿产进口的保障。一是采取外交措施，与富镍、

钴矿国家（如巴西、古巴等）签订国家间贸易协定，拓展上游矿产资源供应商，保障进口资源供给；二是采取经济措施，以国有企业开展对国外镍、钴矿的投资、收购，开发新矿场、提高旧矿产能，保障镍、钴资源的供应；三是采取市场激励措施，鼓励企业与国外矿场签订长期供应协议，鼓励企业参与入股、收购国外矿场，保障企业自身的供应链稳定

技术方面建议：1）推进新型电池包的研发及应用。一是推进低钴/无钴电池的研发及应用，针对风险性最高的钴资源，采取降钴措施势在必行，不断降低动力电池含钴量，逐步降低与摆脱对钴资源的依赖；二是探索钠离子电池的分场景使用，在电动自行车、低速汽车以及无长续航需求的市内运营的商用车上采用钠离子电池，替代部分锂离子电池市场份额，抵消该部分锂、镍、钴资源的需求；三是探索混合电池包的应用，降低三元锂电池的使用量，同步降低镍、钴资源的需求。2）推进高能量密度锂离子动力电池包的技术攻关。据中汽数据研究，电池密度的提升是降低资源风险的最有效技术措施之一。一是要提升动力电池单体能量密度，二是研究单体电池的合理布局，提升电池包的单体电池容纳量。3）推进低碳替代燃料发展，减轻电动车快速发展伴随的资源压力。鼓励低碳燃料技术革新，推进低碳生物燃料研发、绿氢等低碳替代燃料发展，分担电动车面临的锂、钴、镍资源压力。

政策方面建议：1）完善、健全回收法规，保障新能源汽车行业二次锂、钴、镍资源供应。一是采取更严格的新能源汽车和动力电池回收与再生法规，扶持高水平资源再生企业发展，提高资源使用效率，提升二次资源供应能力，间接降低供应链资源风险；二是建立完善废 3C 电池、电动自行车电池、废不锈钢回收与再生法规，标准化 3C 电池、废不锈钢行业回收再生产业，降低 3C 电池、废不锈钢行业一次锂、镍、钴资源需求量，大幅减轻新能源汽车行业锂、钴、镍资源需求压力；三是考虑允许进口国外废弃动力电池与 3C 电池，增加我国二次资源储备；四是鼓励企业于海外建立废弃动力电池与 3C 电池回收、再生工厂，保障我国二次资源供应。2）建立动力电池标签/护照制度，推进资源使用效率的提升，同步提升新能源汽车国际竞争力。通过建立动力电池标签/护照制度实现对动力电池资源使用的信息披露，包括资源使用量、一次资源与二次资源使用量以及全生命周期碳足迹信息等，进一步激励企业使用二次资源，推进资源使用效率的提升，同时提升我国新能源汽车软实力，提高我国新能源汽车国际竞争力。3）成为规则制定者，提升产品竞争力，把握资源的主动性。一是支持鼓励国内企业、机构积极参与、引领国际规则的制定，并加强中国认证机构在相关机制、业务领域的能力，提高中国动力电池、汽车产品在国际市场的符合性，提升产品竞争力；二是支持行业制定属于我国的贸易壁垒，将更多的电池产品、二次资源留在我国，降低我国资源风险。4）建立动力电池资源税制度，保障

资源使用效率稳步提升。对锂、钴、镍等关键资源，建立动力蓄电池资源税制度，动力蓄电池所采用的一次资源需缴纳一定量的资源税，所采用的二次资源可给予一定补贴。

11.2. 行业层面风险应对建议

充分发挥行业的引导作用，引导建立资源友好的新能源汽车发展路线图，推进新能源汽车换电模式、燃料电池、新型电池的发展。据中汽数据研究，对比进行动力蓄电池的寿命延长与电池梯次利用，电动车换电模式更可以提升资源使用效率，降低一次资源需求量，从而大幅降低镍、钴、锂资源供应的风险。

11.3. 企业层面风险应对建议

对于企业而言，建议提高两方面的能力——新矿产资源获取与资源回收保障。

新矿产资源获取建议：尽快开展上游矿产布局。目前国外各大车企上游矿产资源竞争愈加剧烈，为保证未来我国新能源汽车的资源保障，建议企业逐步开启全球的矿场争夺赛，打造企业专属矿场，保障未来锂、镍、钴资源的正常供给。在锂矿方面，建议企业将目标放在国内锂矿开采上，通过入股、收购、签订长期供应协议等保障锂资源供应。对于钴资源，则需要将目标置于国外，如刚果、澳大利亚古巴等国家。

资源回收保障建议：从内而外提升企业废旧动力蓄电池回收水平，保障企业二次资源供应。对内完善废旧动力蓄电池回收系统，实施退役动力蓄电池收回原厂措施、新能源汽车以旧换新措施、动力蓄电池租赁模式，从而保障企业对于动力蓄电池的所有权。对外在海外建立废弃动力蓄电池回收、拆解、再生工厂，供应国内新车需求。

12. 研究结论

经过上述研究，得出以下重要结论：

- 1) 我国锂资源丰富，储量居世界第 4 位，镍、钴资源缺乏，储量居世界第 8 位。
- 2) 锂资源主要分布于智利、澳大利亚，镍资源主要分布于印度尼西亚、澳大利亚，钴资源主要分布于刚果；智利、澳大利亚、古巴、巴西等国较大的关键矿产资源投资潜力。
- 3) 未来，我国新能源汽车锂、镍、钴资源需求将快速上涨，理想情景 2035 年，新能源汽车行业锂、镍、钴资源分别可达 72 万吨、44 万吨与 5.3 万吨。
- 4) 未来，新能源汽车行业在镍与钴资源上将分别面临来自不锈钢行业与 3C 电池行业的竞争。

5) 动力蓄电池回收量持续上升, 未来我国锂、钴资源回收及新电池循环材料含量可满足欧盟电池法要求, 镍资源则无法满足, 需要在提高动力蓄电池镍资源回收水平之外采取其他保障措施。

6) 我国锂资源在 2036 年前存在供不应求风险, 钴在 2046 年前存在供不应求风险; 全球锂资源在 2037 年前存在供不应求风险, 钴在 2058 年前存在供不应求风险。

7) 我国锂、镍、钴资源在 2050 年前对外依存度始终保持 50%以上, 存在较大风险。

8) 2054 年前电池优化策略的风险应对效果最好, 2054 年后再生回收水平提升有更大风险应对潜力。

13. 参考文献

[1] Anenberg S C, Miller J, Henze D K, et al. The global burden of transportation tailpipe emissions on air pollution-related mortality in 2010 and 2015[J]. Environmental Research Letters, 2019, 14 (9).

[2] Iea. Energy technology perspectives 2020[R]. International Energy Agency, 2020.

[3] European Green Vehicle Initiative. EGVI Yearly Monitoring Report 2018[R]. Brussels, 2018.

[4] Commission of the European Communities. A European Economic Recovery Plan[R]. Communication from the Commission to the European Council, Brussels, 2008.

[5] China's State Council. China's State Council published the Energy saving and NEV industry development plan (2012-2020). Beijing, 2012.

[6] China's State Council. Guidance on Accelerating the Promotion and Application of NEVs. Beijing, 2014.

[7] Ministry of Finance A Notice of Further Adjusting Fiscal Subsidies for Promoting New Energy Vehicles http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefagui/201903/t20190326_3204190.html[EB/OL].

[8] Politico. Newsom calls for California ban on new gas-fueled cars by 2035[EB/OL]. <https://www.politico.com/states/california/story/2020/09/23/newsom-calls-for-california-ban-on-new-gas-fueled-cars-by-2035-1317947>.

[9] The European Parliament and the Council of the European Union. Regulation (EU) 2019/631 of the European Parliament and of the Council of 17 April 2019 setting CO2 emission performance standards for new passenger cars and for new light commercial vehicles, and repealing Regulations (EC) No 443/2009 and (EU) No 510/2011: REGULATION (EU) 2019/631[S]. Official Journal of the European Union, 2019.

[10] Iea. Global EV Outlook 2020[R]. Available from: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020,2020> [cited 2019 June].

[11] Union T E. Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of-life vehicles[J]. Official Journal of the European Communities, 2000: 1-9.

[12] Sun S, Jin C, He W, et al. Management status of waste lithium-ion batteries in China and a complete closed-circuit recycling process[J]. Science of The Total Environment, 2021, 776: 145913.

[13] Choi Y, Rhee S-W. Current status and perspectives on recycling of end-of-life battery of electric vehicle in Korea (Republic of)[J]. Waste Management, 2020, 106: 261-270.

[14] Turner J M, Nugent L M. Charging up Battery Recycling Policies Extended Producer Responsibility for Single-Use Batteries in the European Union, Canada, and the United States[J]. Journal of Industrial Ecology, 2016, 20 (5): 1148-1158.

[15] Directive B. Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC[J]. Off. J. Eur. Union, 2006, 266 (26.9): 1-14.

[16] Zhang W, Xu C, He W, et al. A review on management of spent lithium ion batteries and strategy for resource recycling of all components from them[J]. Waste Management & Research, 2018, 36 (2): 99-112.

[17] Commission E. Commission Staff Working Document on the evaluation of the Directive 2006/66/EC on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC, 2019.

[18] Corporation for Battery Recycling. CBR officially re-releases RFP, seeking stewardship organization to oversee voluntary national household battery recycling program[EB/OL].

[19] Asari M, Sakai S I. Li-ion battery recycling and cobalt flow analysis in Japan[J]. Resources Conservation & Recycling, 2013, 81 (81): 52-59.

[20] Winslow K M, Laux S J, Townsend T G. A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries[J]. Journal of environmental management, 2018, 129: 263-277.

[21] Klt. Clean Air Conservation Act. https://elaw.klri.re.kr/kor_service/lawView.do?hseq=42429&lang=ENG: Korea Law Translation Center, 2017.

[22] Sbc. The Recycling Regulation is under the authority of the Environmental Management Act. 2008 amendment to the 2004 Recycling Regulation, BC Reg449/2004, 2003.

[23] Mhsw. The amendment is under the authority of the Ontario's 2002 Waste Diversion Act: The 2006 Municipal Hazardous or Special Waste (MHSW) Amendment, 2002.

[24] Xu C, Zhang W, He W, et al. The situation of waste mobile phone management in developed countries and development status in China[J]. Waste Management, 2016, 58: 341-347.

[25] 中华人民共和国科学技术部, 中华人民共和国财政部, 中华人民共和国国家发改委, et al. 十城千辆节能与新能源汽车示范推广应用工程. 北京, 2009.

- [26] Zheng J, Sun X, Jia L, et al. Electric Passenger Vehicles Sales and Carbon Dioxide Emission Reduction Potential in China's Leading Markets[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 243: 118607.
- [27] IEA. Global EV Outlook 2020[EB/OL]. [09-25]. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>.
- [28] <http://news.10jqka.com.cn/20210108/c626036096.shtml>[EB/OL].
- [29] 工信部. 2020 年 12 月汽车工业经济运行情况[J], 2021.
- [30] <https://d.qianzhan.com/>[EB/OL].
- [31] 中国汽车技术研究中心有限公司, 北京理工大学. 我国新能源汽车动力电池装机量行业发展报告[R]. 电子工业出版社, 2020.
- [32] 工业和信息化部, 发展改革委, 科技部. 汽车产业中长期发展规划[R]. 2017.
- [33] 国务院办公厅关于印发新能源汽车产业发展规划(2021—2035 年)的通知[EB/OL].
- [34] 国务院办公厅. 报废汽车回收管理办法[R]. 2019.
- [35] 国家环保总局. 废电池污染防治技术政策[R]. 2016.
- [36] 工信部. 新能源汽车动力电池回收利用管理暂行办法[R]. 2018.
- [37] 工信部. 新能源汽车动力电池回收利用溯源管理暂行规定[R]. 2018.
- [38] 关于开展新能源汽车动力电池回收试点工作的通知[EB/OL].
- [39] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国固体废物污染环境防治法[J], 2020.
- [40] 关于全面禁止进口固体废物有关事项的公告[EB/OL].
- [41] Sun X, Hao H, Zhao F, et al. Global Lithium Flow 1994-2015: Implications for Improving Resource Efficiency and Security[J]. Environmental Science & Technology, 2018, 52 (5): 2827-2834.
- [42] Miatto A, Reck B K, West J, et al. The rise and fall of American lithium[J]. Resources Conservation and Recycling, 2020, 162.
- [43] Hao H, Liu Z W, Zhao F Q, et al. Material flow analysis of lithium in China[J]. Resources Policy, 2017, 51: 100-106.
- [44] Liu W, Liu W, Li X, et al. Dynamic material flow analysis of critical metals for lithium-ion battery system in China from 2000-2018[J]. Resources Conservation and Recycling, 2021, 164.
- [45] Wang Y, Ge J. Potential of urban cobalt mines in China: An estimation of dynamic material flow from 2007 to 2016[J]. Resources Conservation and Recycling, 2020, 161.
- [46] Nakajima K, Daigo I, Nansai K, et al. Global distribution of material consumption: Nickel, copper, and iron[J]. Resources Conservation and Recycling, 2018, 133: 369-374.
- [47] Zeng X, Zheng H, Gong R, et al. Uncovering the evolution of substance flow analysis of nickel in China[J]. Resources Conservation and Recycling, 2018, 135: 210-215.
- [48] Sun X, Hao H, Liu Z, et al. Tracing global cobalt flow: 1995-2015[J]. Resources Conservation and Recycling, 2019, 149: 45-55.
- [49] Chen Z, Zhang L, Xu Z. Tracking and quantifying the cobalt flows in

mainland China during 1994-2016: Insights into use, trade and prospective demand[J].Science of the Total Environment,2019, 672: 752-762.

[50] Ballinger B, Stringer M, Schmeda-Lopez D R, et al.The vulnerability of electric vehicle deployment to critical mineral supply[J].Applied Energy,2019, 255.

[51] Andersson B A, Rade I.Metal resource constraints for electric-vehicle batteries[J].Transportation Research Part D-Transport and Environment,2001, 6 (5): 297-324.

[52] Olafsdottir A H, Sverdrup H U.Modelling Global Nickel Mining, Supply, Recycling, Stocks-in-Use and Price Under Different Resources and Demand Assumptions for 1850-2200[J].Mining Metallurgy & Exploration,2021, 38 (2): 819-840.

[53] Zeng X, Xu M, Li J.Examining the sustainability of China's nickel supply: 1950-2050[J].Resources Conservation and Recycling,2018, 139: 188-193.

[54] Baars J, Domenech T, Bleischwitz R, et al.Circular economy strategies for electric vehicle batteries reduce reliance on raw materials[J].Nature Sustainability,2021, 4 (1): 71-79.

[55] Abdelbaky M, Peeters J R, Dewulf W.On the influence of second use, future battery technologies, and battery lifetime on the maximum recycled content of future electric vehicle batteries in Europe[J].Waste Management,2021, 125: 1-9.

[56] Elshkaki A.Long-term analysis of critical materials in future vehicles electrification in China and their national and global implications[J].Energy,2020, 202.

[57] Watari T, Nansai K, Nakajima K, et al.Integrating Circular Economy Strategies with Low-Carbon Scenarios: Lithium Use in Electric Vehicles[J].Environmental Science & Technology,2019, 53 (20): 11657-11665.

[58] Iso. ISO 14040: 2006 Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework: 2006.

[59] Iea. Greenhouse Gas Emissions from Energy Data Explorer.Paris: IEA,2021.

[60] 中汽数据. 中国汽车低碳行动计划 2021[R].2021.

[61] Iea.Global EV Outlook 2021[J],2021.

[62] Singh N M T, Banerjee R . .Projection of Private Vehicle Stock in India up to 2050[J].Transportation Research Procedia,2020, 48:3380-3389.

[63] 中华人民共和国自然资源部. 2020 年全国矿产资源储量统计表[R].2021.

[64] 英国商品研究所 (Cru). 新能源汽车上游投资建议与策略分析[R].2021.

[65] 徐爱东 陈, 李烁,等. .镍钴行业发展形势分析及建议[J].中国有色金属,2021, 50(6):7.

[66] Usgs. Mineral commodity summaries 2021[R].2021.

[67] Roskill.Study on future demand and supply security of nickel for electric vehicle batteries,[J],2021.

[68] Iea.Global EV Outlook 2022,[J],2022.

[69] Iea. Global EV Outlook 2018[R].2018.

[70] Iea. Global EV Outlook 2019[R].2019.

[71] 中华人民共和国国务院. 中国制造 2025[R].

[72] 陈永翀 冯, 刘勇. 双碳背景下中国储新比的发展趋势[J]. 能源,2021, 2021(8):5.

- [73] 中关村产业技术联盟, 中国能源研究专委会. 储能产业研究白皮书 2021[R].2021.
- [74] 国家能源局. “十四五”现代能源体系规划[R].2022.
- [75] 国家能源局. 抽水蓄能中长期发展规划(2021-2035) [R].2021.
- [76] 高工产研锂电研究所. 中国储能、二轮车、电动工具锂电池行业大数据 [R].2021.
- [77] Iea. Net Zero by 2050-A Roadmap for the Global Energy Sector[R].2021.
- [78] 中国电子信息产业研究院. 锂离子电池产业发展白皮书[R].2021.
- [79] 夏立爽、谢召军、沈恋、周震. LiCoO_2 :获诺贝尔奖的锂离子电池正极材料还有多少潜力[J].电源技术,2020, 44(10):7.
- [80] 李震彪.我国新能源汽车动力蓄电池退役量预测[J],2020.
- [81] 韩佳欢, 方朝合,等.中国锂资源供需现状分析[J].无机盐工业,2021, 53(12):6.

免责声明

- 若无特别声明，报告中陈述的观点仅代表作者个人意见，不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性，不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。
- 凡提及某些公司、产品及服务时，并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐，或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。