

# 新能源行业关键材料研究 — 锂

能源化工处 尚建壮

2022.9



石油和化学工业规划院

China National Petroleum & Chemical Planning Institute

# 报告提纲

1. 基本情况
2. 有锂走遍天下
3. 资源概况
4. 总体市场情况
5. 分产品情况
6. 发展建议





石油和化学工业规划院  
China National Petroleum & Chemical Planning Institute

# /01

基本情况



# 1.认识锂



1

地壳中约有0.0065%的锂，丰度居第三十三位

2

锂的密度为非气态单质中最小的一个，仅有 $0.534\text{g/cm}^3$

3

金属活动性为仅次于铯的金属；

4

1kg锂燃烧后可释放42998kJ的热量

5

1公斤氢化锂分解后，可以放出氢气2.78千升

6

Li-6捕捉低速中子能力很强

7

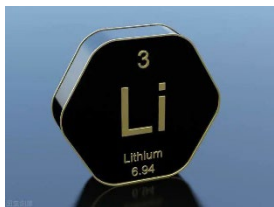
最低的标准电极电位 ( $Q=-3.045\text{V}$ )

8

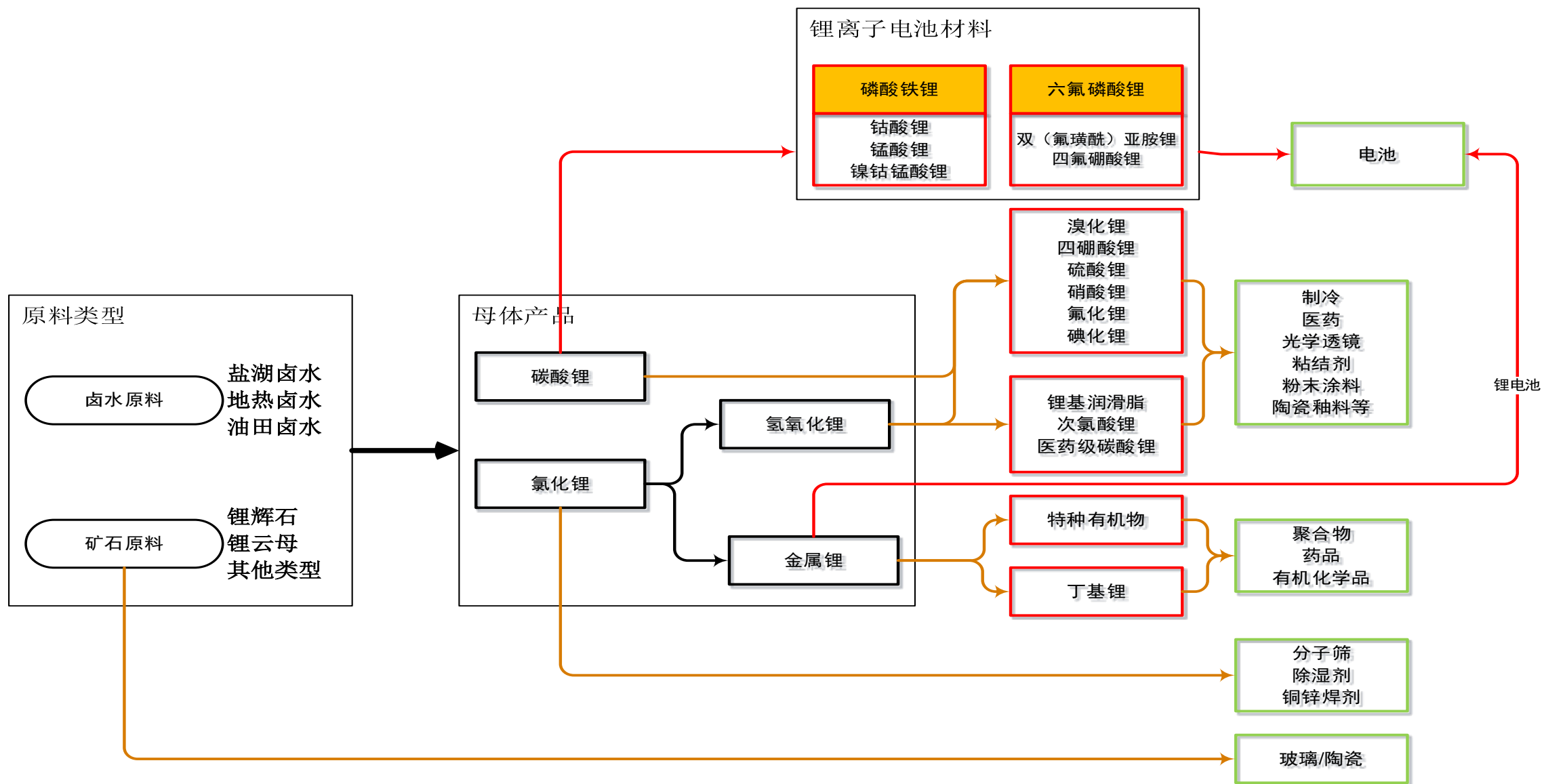
最高的比容量 (3860mAh/g)

9

最小的电化学当量 (0.269/Ah)



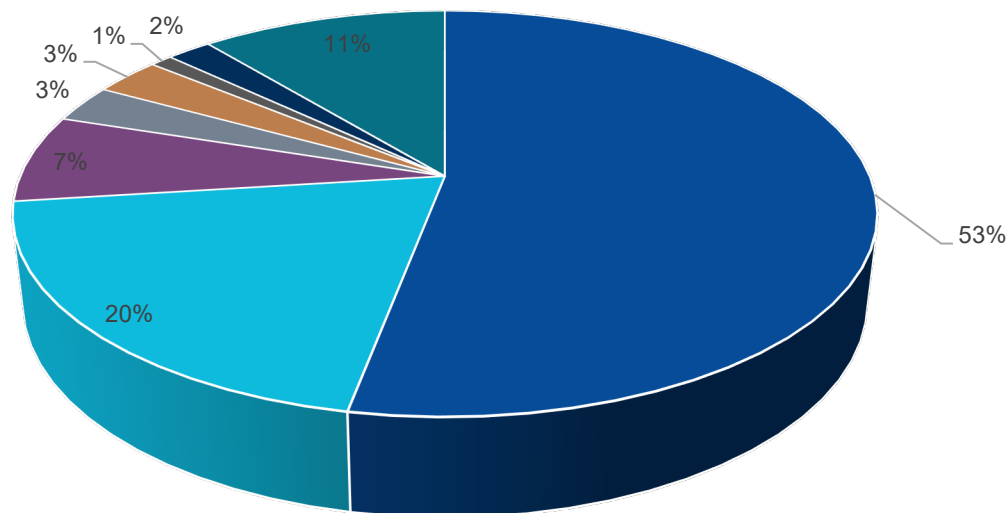
## 2. 产业链基本情况



# 3. 锂成为具备能源属性的金属

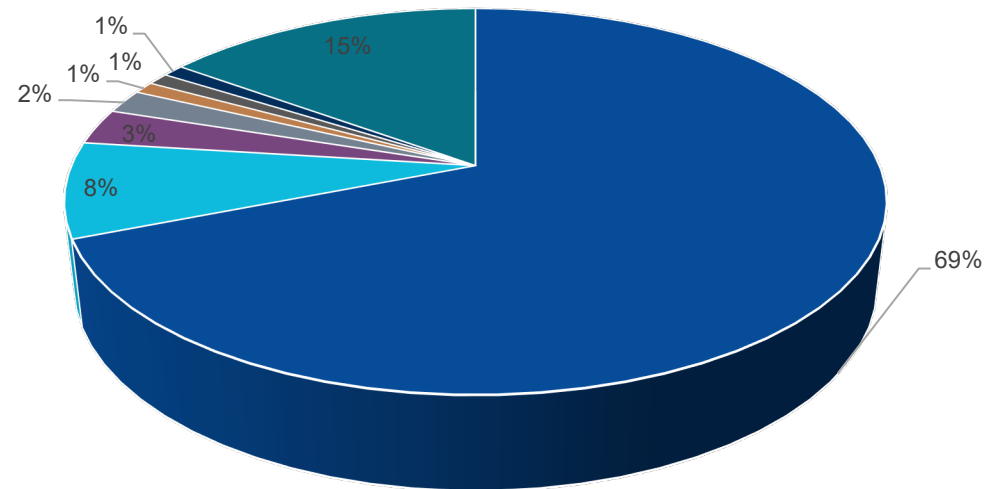


2013



■ 电池 ■ 陶瓷和玻璃 ■ 润滑剂 ■ 橡胶 ■ 空气处理 ■ 铝冶炼 ■ 医药 ■ 其他

2021



■ 电池 ■ 陶瓷和玻璃 ■ 润滑剂 ■ 橡胶 ■ 空气处理 ■ 铝冶炼 ■ 医药 ■ 其他





石油和化学工业规划院

China National Petroleum & Chemical Planning Institute

# /02

## 有锂走遍天下

提升能源效率

降低环境污染

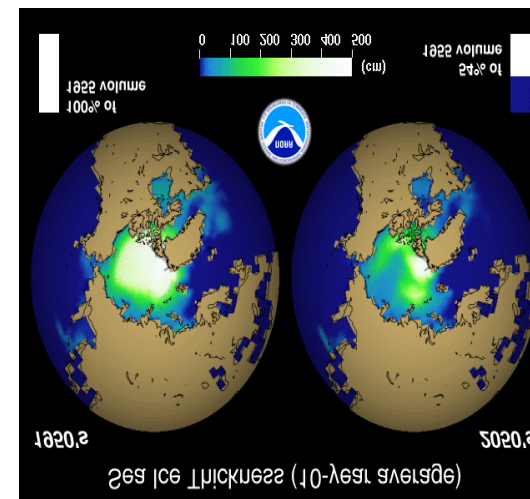
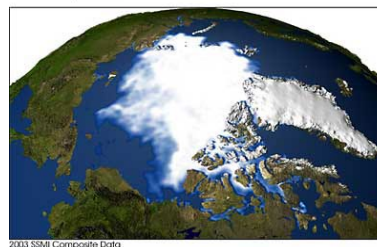
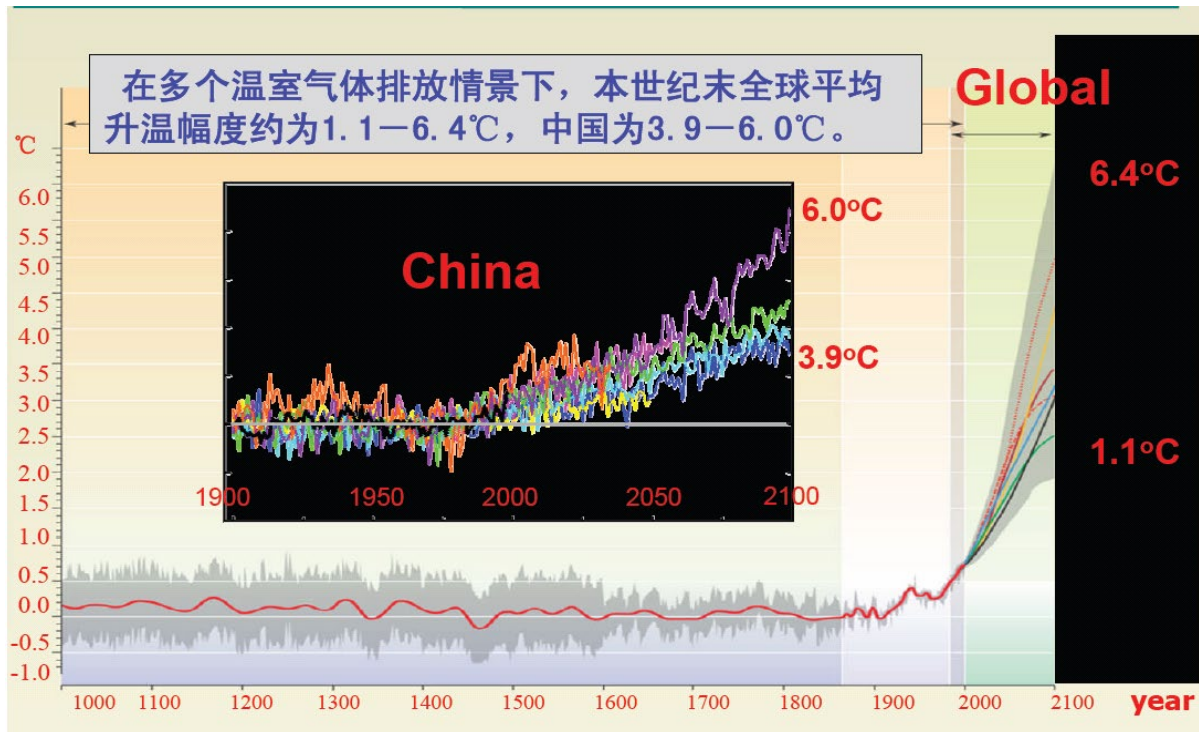
改变能源结构



# 1. 温室气体和污染问题迫在眉睫



- 近100年全球平均气温升高0.3 ~ 0.6℃,
- 我国的煤炭、石油等能源消耗居世界第一。
- 单位GDP能耗是发达国家8~10倍，每年新增碳排放量世界第一。
- 我国大城市大气的主要污染源：50%以上来自汽车排气污染。



改变能源结构  
提升能源效率  
降低环境污染

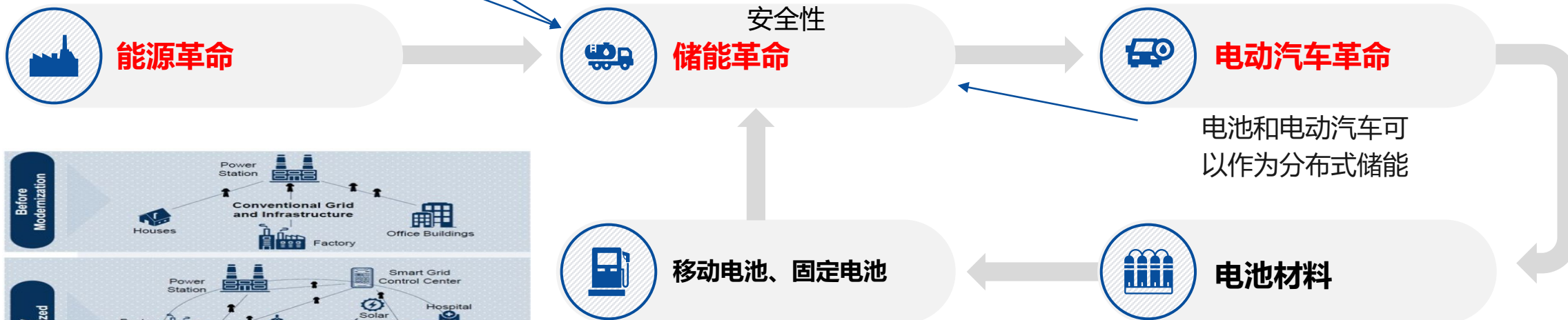


# 2. 锂电池在能源革命中的地位



可再生能源为主 - 行业处于快速爆发期  
煤油气能源为辅 - 储能介质? 效能提升  
电气化发展革命 - 已经形成共识, 好用不好存

载体选择要素:  
生产效能提升 - 能源转化率  
消费效能提升 - 能量密度  
运输效能提升 - 成本 (使用寿命)



新能源革命  
储能革命  
电动汽车革命

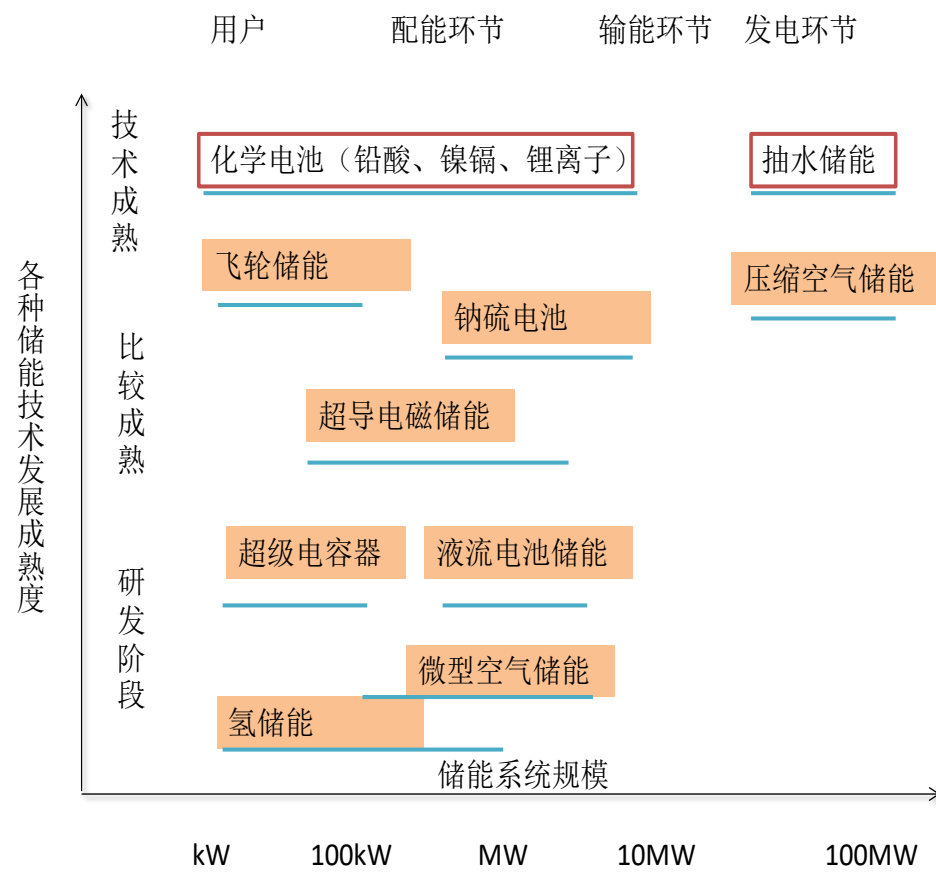
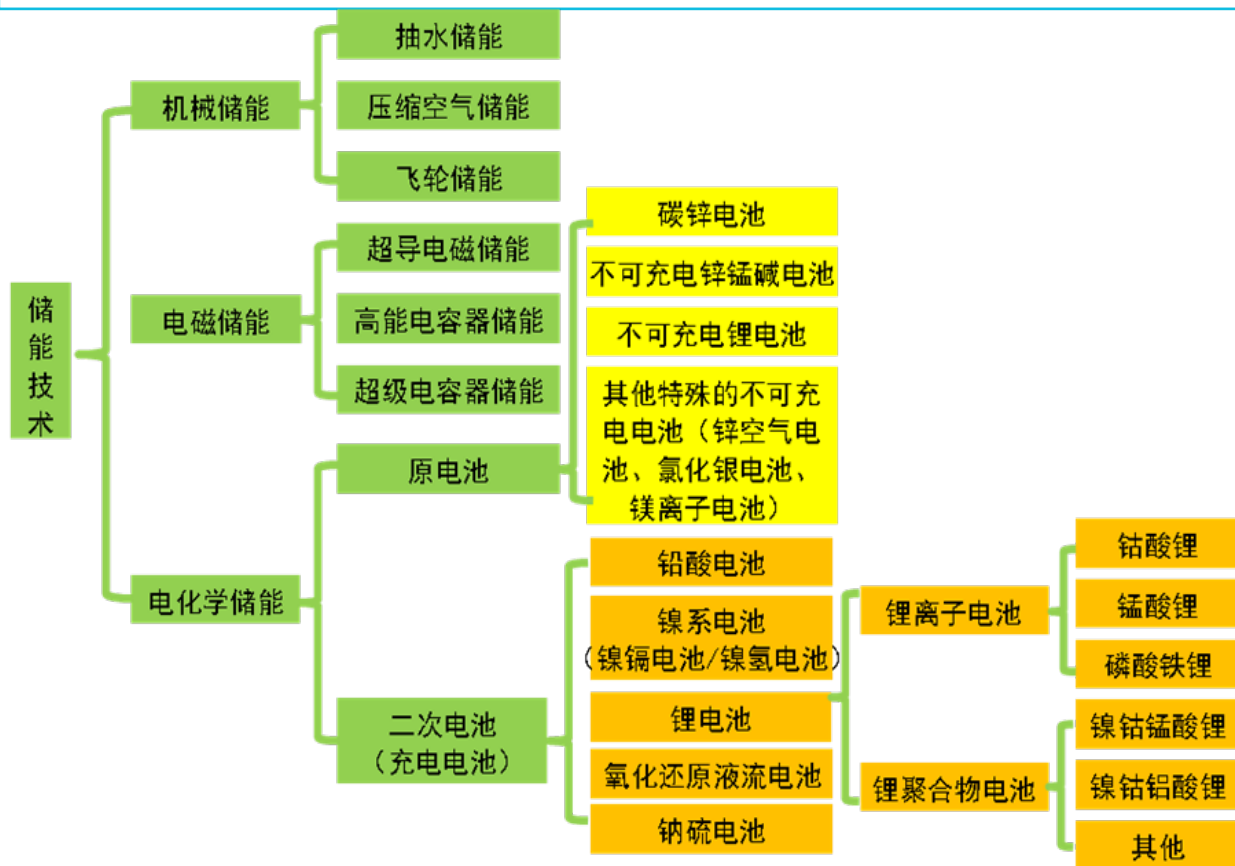
安全性 (Safety)  
能量密度 (Energy)  
功率密度 (Power)  
成本 (Cost)  
循环寿命 (Life)

三元电池  
锂离子电池  
锂电池  
铅蓄电池  
.....

动力电池和储能电池将在未来10年呈现爆发式增长

### 3. 储能方式以及应用场景

能量储存形式多种多样，储电、储热、储氢等皆属于储能领域范畴。其中，电能是清洁、高效、便利的终端能源载体，其终端能源消费占比是衡量一个国家终端能源消费结构和电气化程度的重要指标，因此储电也就成为解决能源供应和能源利用的最重要的储能方式，而**化学电池储能是储电行业发展的重中之重**。



机械储能需要特定场所，电磁类能量密度低，化学储能应用范围广

## 4. 锂离子电池是移动消费侧的最佳选择



锂离子电池代表着化学储电发展的最先进水平。由于这一新体系兼具高比能量、长循环寿命、安全性以及环境友好等显著优势，现已成为各类先进便携式电子产品的主要配套电源，在移动场合具有绝对的优势。

储能技术	功率	综合效率	循环寿命 (次)	单位容量造价(元/kWh)	典型储存期	优点	缺点
抽水储能	100-5000MW	71-80%	寿命期间无限制	5600	4-10h	成本低、容量最大	响应速度慢，地形限制大
压缩空气储能	1-300MW	60-70%	寿命期间无限制	5000-6000	1-4h	成本低、容量大	响应速度慢，效率较低
飞轮储能	1kW-1MW	80-90%	十万次以上	7000-30000	1s-1min	场地要求低、能量密度高	成本高、噪声污染
超导储能	100kW-10MW级	95-97%	1000-5000	7000-70000	1s-8s	体积小、损耗低、使用寿命长	比能量低、价格高
超级电容	1-500kW	90-97%	十万次以上	2000-14000	1s-30min	功率高、稳定性好	比密度低，比能量低
铅蓄电池	0.1kW-1MW	75-90%	500-1200	低于钠硫	1min-3h	性价比高、技术成熟	寿命短、比能量比功率低、污染
钠硫电池	10kW-10MW	75-90%	4000-5000	800	0.1-10h	储能密度高，成本低	300°C高温，维护成本高
液流电池	30kW-10MW	75-85%	8000-12000	3000-4000	1-20h	安全性高	能量密度低，运维成本高
锂离子电池	1kW-10MW	90-95%	1000-4000	1000	1min-5h	比功率比能量高，安全	一致性差

中国储能已经进入规模化发展阶段。2021年中国新增储能规模 10.5GW，其中新型储能规模 2.4GW（项目数量 361 个），累计储能和新型储能规模分别达到了 46.1GW 和 5.7GW

国家发改委、能源局发布的《关于加快推动新型储能发展的指导意见》提出，到 2025 年，要实现新型储能装机规模达 30GW 以上。 11

## 5. 能源利用效率和经济性




以燃煤为主的电动车

阶段	原煤	开采和运输	发电厂	传输电	蓄电池	电动车
效率		90%	35%-70%，取40%	94%	90%	90%
剩余能量	100%	90%	36%	33.84%	30.46%	27.41%


燃油 (原油) 发动机

阶段	原油	开采运输提炼	加油站	燃油汽车
效率		87	95	20%和35%
剩余能量	100%	87%	82.7%	16.54%和28.91%




01

制造成本：汽车发动机价格差别较大，单纯从制造成本，由于电池原料成本较高，制造成本不占优势。




02

装备成本：燃油发动机装配成本相对于发动机制造成本在3倍左右，电动车电池装备费用约1.6倍




03

运行成本：百公里油耗6-10L，油价7.5左右，则每公里油价格在6毛左右；10-20kwh/百公里，电价按照6毛左右，每公里单价在1毛左右。



04

社会效益：环保主要体现在集中治理；制造业弯道超车，主要体现在发动机制造



05

从能源利用来说，能源利用效率有所提高

## 6.经济内核，政策驱动



石油和化学工业规划院  
China National Petroleum & Chemical Planning Institute

中华人民共和国中央人民政府  
www.gov.cn

国务院 总理 新闻 政策 互动 服务

首页 > 信息公开 > 国务院文件 > 工业、交通 > 机械制造与重工业

索引号: 000014349/2020-00104  
发文机关: 国务院办公厅  
标题: 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  
发文字号: 国办发〔2020〕39号  
主题词:

主题分类: 工业、交通\机械  
成文日期: 2020年10月20日  
发布日期: 2020年11月02日

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  
国办发〔2020〕39号

中华人民共和国中央人民政府  
www.gov.cn

国务院 总理 新闻 政策 互动 服务 数据 国情 国家政务服务平台

首页 > 政策 > 国务院政策文件库 > 国务院部门文件

标题: 国家发展改革委 国家能源局关于印发《“十四五”新型储能发展实施方案》的通知  
发文字号: 发改能源〔2022〕209号  
主题分类: 国土资源、能源\其他  
成文日期: 2022年01月29日

发文机关: 发展改革委 能源局  
来源: 发展改革委网站  
公文种类: 通知  
发布日期: 2022年

【字体: 大 中 小】

国家发展改革委 国家能源局关于印发《“十四五”新型储能发展实施方案》的通知  
发改能源〔2022〕209号

2020年10月20日，国务院办公厅发布了《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》，该规划为未来十五年中国新能源汽车的发展指明了方向。

到2025年，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，高度自动驾驶汽车实现限定区域和特定场景商业化应用，充换电服务便利性显著提高。

力争经过15年的持续努力，纯电动汽车成为新销售车辆的主流，公共领域用车全面电动化，燃料电池汽车实现商业化应用，高度自动驾驶汽车实现规模化应用，充换电服务网络便捷高效，氢燃料供给体系建设稳步推进，有效促进节能减排水平和社会运行效率的提升。

新型储能是构建新型电力系统的重要技术和基础装备，是实现碳达峰碳中和目标的重要支撑，也是催生国内能源新业态、抢占国际战略新高地的重要领域。

到2025年，新型储能由商业化初期步入规模化发展阶段，具备大规模商业化应用条件。其中，电化学储能技术性能进一步提升，系统成本降低30%以上；火电与核电机组抽汽蓄能等依托常规电源的新型储能技术、百兆瓦级压缩空气储能技术实现工程化应用；兆瓦级飞轮储能等机械储能技术逐步成熟；氢储能、热（冷）储能等长时间尺度储能技术取得突破。到2030年，新型储能全面市场化发展。新型储能核心技术装备自主可控，技术创新和产业水平稳居全球前列，市场机制、商业模式、标准体系成熟健全，与电力系统各环节深度融合发展，基本满足构建新型电力系统需求，全面支撑能源领域碳达峰目标如期实现。



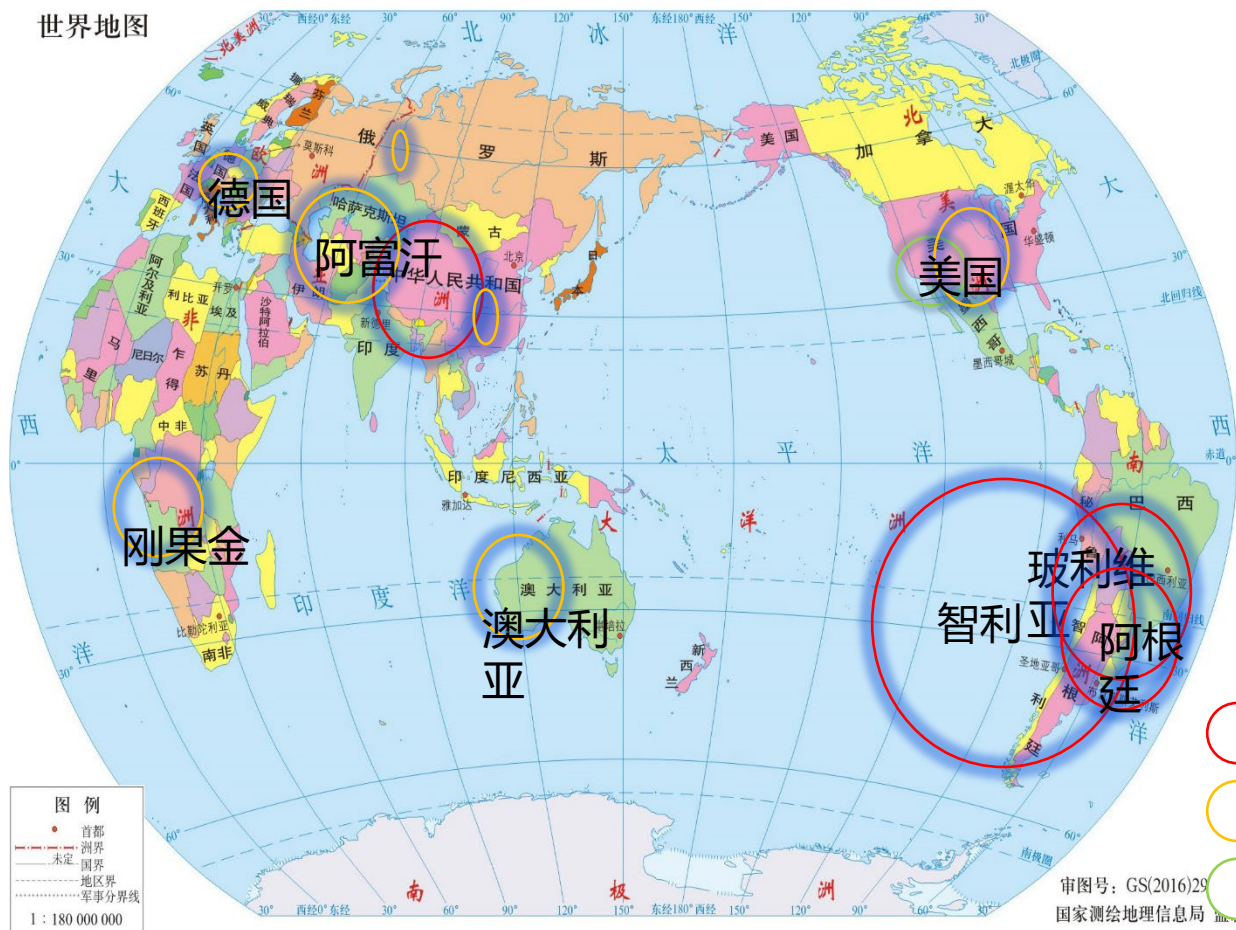
**石油和化学工业规划院**  
China National Petroleum & Chemical Planning Institute

**/03**

**资源保障**



# 1.资源分布高度集中



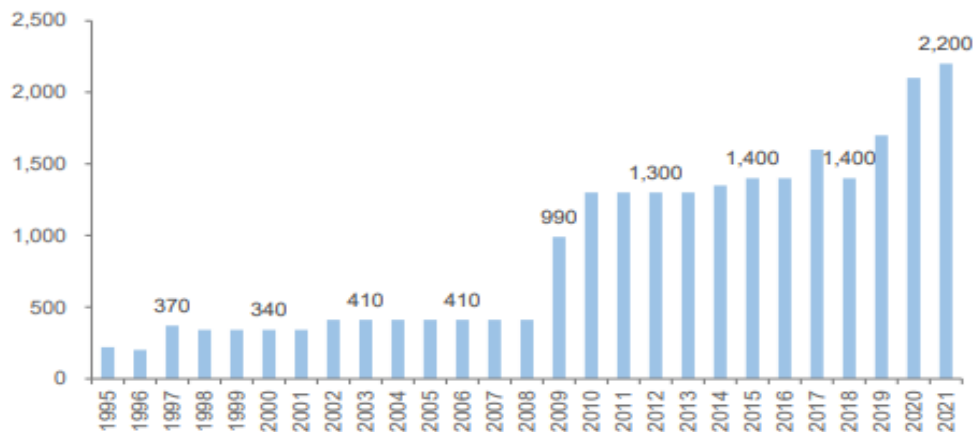
从国别看，全球锂资源主要分布在智利、玻利维亚、中国、阿根廷、澳大利亚等，五国锂资源占比超过 80%。其中，南美“锂三角” 锂资源占到50%以上

分企业看，全球主要的锂资源集中度非常高，由美国雅保（ALB）、美国Livent和澳大利亚泰利森（天齐锂业占股 51%，雅宝占股 49%）、智利矿业化工 SQM（天齐锂业占股 25%）四家垄断，四家合计约占全球 90%的锂上游资源。

## 2.全球资源储量较快增长

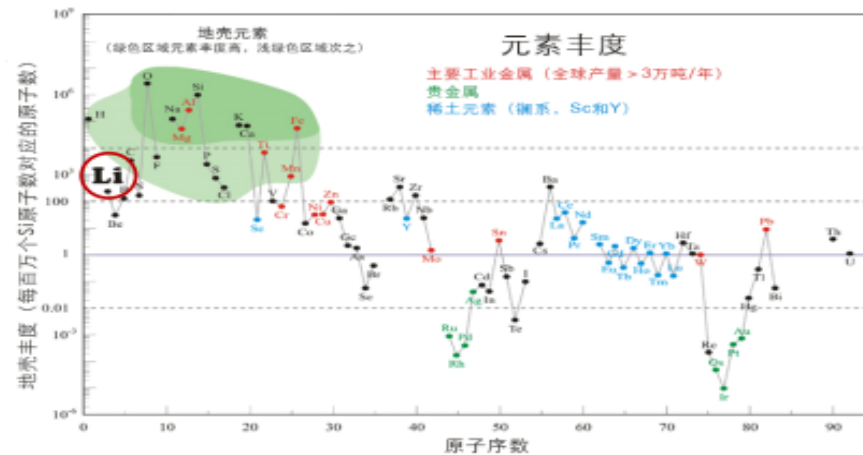


2021年全球锂的探明储量约2200万金属吨（折约1.2亿吨LCE）



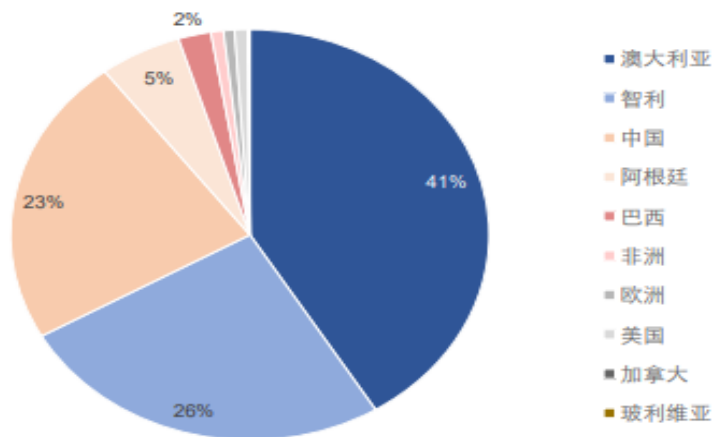
资料来源：USGS，五矿证券研究所

锂是自然界中第33丰富的元素，在地壳中的丰度并不稀缺



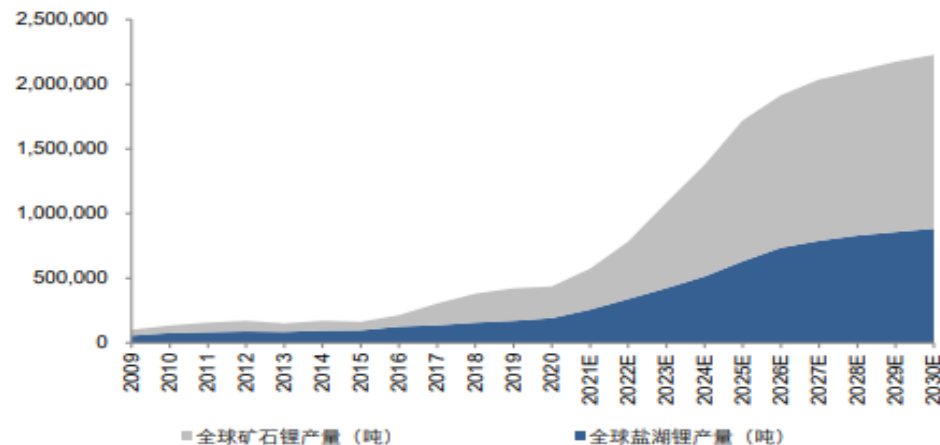
资料来源：USGS，五矿证券研究所

2021年全球分国别的锂资源供给结构，西澳锂矿份额第一



资料来源：各公司公告，五矿证券研究所预测

全球锂资源供应体系主要由盐湖提锂、矿石提锂组成



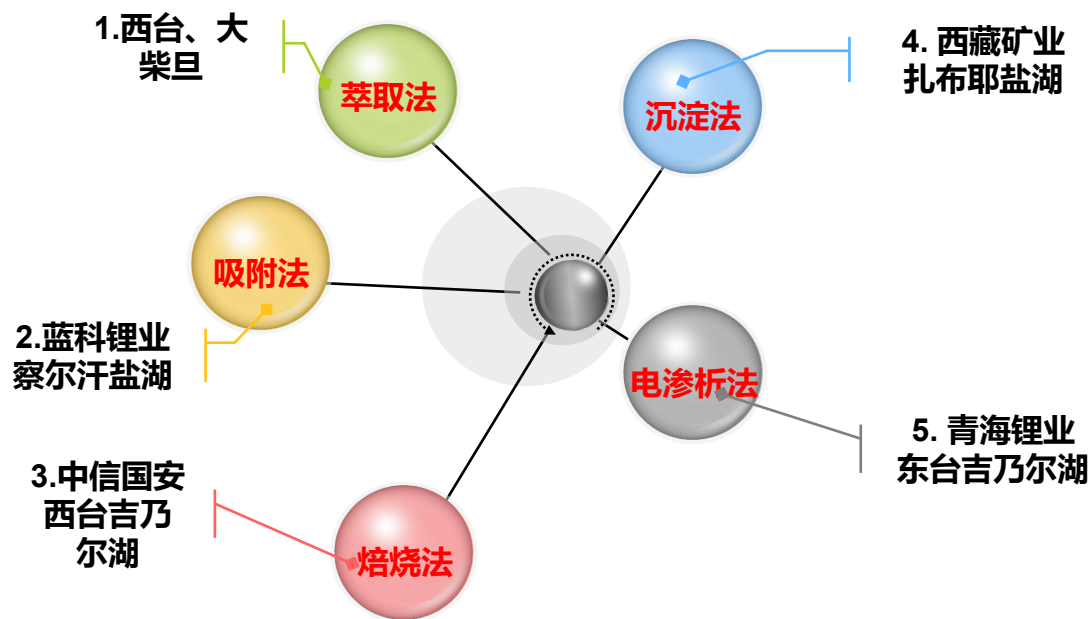
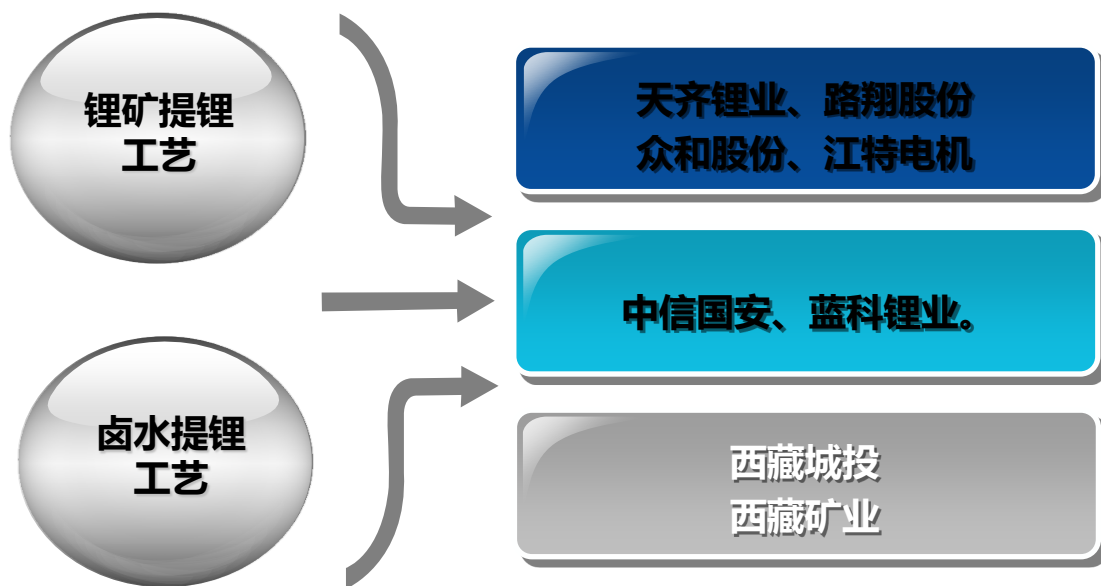
资料来源：各公司公告，五矿证券研究所预测



### 3.国内资源开发情况



中国锂矿资源丰富，青藏高原和柴达木盆地盐湖具有很好的卤水锂矿成矿条件，卤水锂矿资源潜力集中在西藏和青海；川西、新疆北部、江西、湖南也同样具有好的硬岩锂矿成矿条件，硬岩锂矿资源潜力集中于此。其中，柴达木盆地盐湖卤水锂预测资源量达1850万吨，四川西部、江西和新疆北部硬岩锂矿成矿条件较好，预测资源量分别为335万吨、215万吨和63万吨，这些地区是锂矿资源潜力巨大的远景区。



## 4.提锂技术优缺点



资源	主要方法	优点	缺点
矿石提锂	硫酸法	碳酸锂收率高，工艺简单并可处理锂含量低的矿石	消耗大量的硫酸及纯碱，成本较高
	硫酸盐混合烧结法	碳酸锂收率较低	流程长、工艺能耗高
	氯化焙烧法	流程简单，不消耗贵重金属	氯化锂收集难，氯气腐蚀性强，试剂用量大
	石灰石焙烧法	原料易得，不需要稀缺试剂	蒸发能耗大、锂回收率低，设备维护困难
盐湖提锂	沉淀法	工艺简单、成本低，适用于低镁锂比盐湖卤水提锂	当镁锂比高时，实际量消耗过大，锂盐损失严重
	吸附法	工艺简单、回收率高、选择性好、对环境无污染	吸附剂流动性和渗透性差，有溶损率，水量消耗比较大
	煅烧浸取法	工艺简单	水氯镁石完全分解困难，生成的HCl气体腐蚀性大，蒸发水量大，工艺能耗高
	电渗析法	工艺简单、产品纯度好，无污染	能耗较高
	太阳能池-碳化法	对基础设施要求较低	适用于碳酸性盐湖，受天气条件影响大，受二氧化碳气源限制
	溶剂萃取法	适用于从高镁锂比卤水中提取氯化锂	流程长，设备腐蚀问题



石油和化学工业规划院  
China National Petroleum & Chemical Planning Institute

/04

总体市场情况



# 1.整体供应和消费情况



2020年和2025年（预测）全球锂资源消费情况 单位：万吨

年份 类别	2020		2025	
	消费	占比	消费	占比
电池材料	5.32	67.0%	18.9	87.6%
陶瓷和玻璃	0.72	9.1%	0.79	3.7%
润滑剂	0.26	3.3%	0.29	1.3%
聚合物与橡胶	0.12	1.5%	0.14	0.6%
空气处理	0.09	1.1%	0.11	0.5%
药物	0.07	0.9%	0.08	0.4%
原铝	0.04	0.5%	0.04	0.2%
其他	1.32	16.6%	1.23	5.7%
总计	7.94	100.0%	21.6	100.0%

2020年和2025年（预测）中国碳酸锂消费情况 单位：万吨

年份 类别	2020		2025	
	消费	占比	消费	占比
电池材料	13.56	63.0%	33.13	76.6%
陶瓷和玻璃	2.69	12.5%	3.43	7.9%
聚合物与橡胶	0.25	1.2%	0.29	0.7%
空气处理	0.48	2.2%	0.55	1.3%
药物	0.16	0.7%	0.18	0.4%
原铝	0.1	0.5%	0.11	0.3%
其他	4.3	20.0%	5.55	12.8%
总计	21.54	100.0%	43.24	100.0%

2020年和2025年（预测）中国氢氧化锂消费情况 单位：万吨

年份 类别	2020		2025	
	消费	占比	消费	占比
电池材料	2.25	48.9%	17.0	86.4%
润滑剂	0.74	16.1%	0.84	4.3%
其他	1.61	35.0%	1.83	9.3%
总计	4.6	100%	19.67	100%

2020年和2025年（预测）中国锂矿产能（Li）

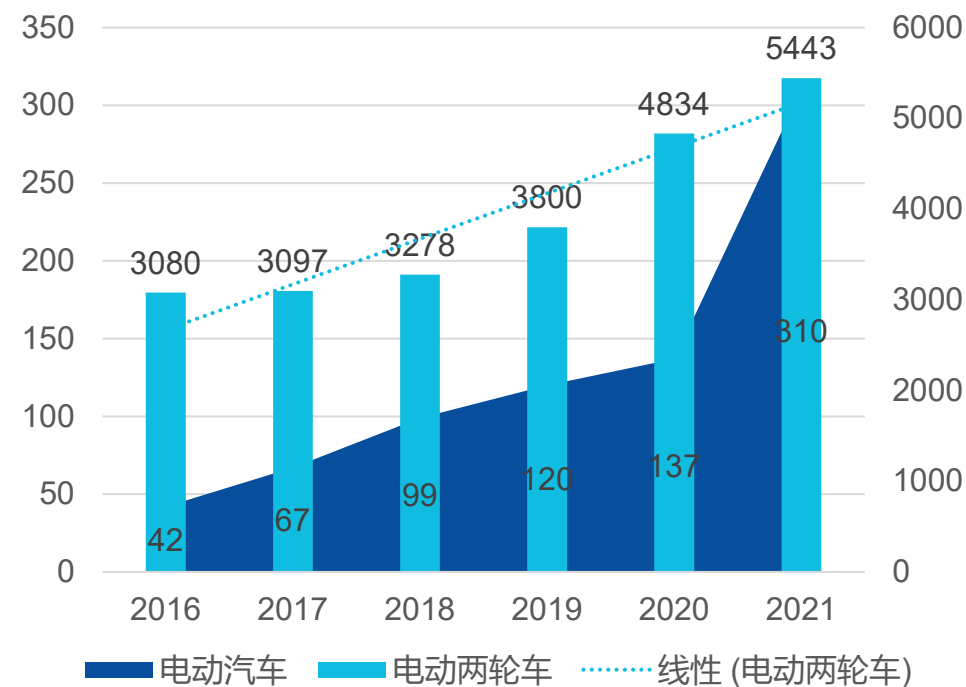
年份 类别	2020		2025	
	产能 (万吨)	占比	产能 (万吨)	占比
硬矿	1.30	40.1%	2.01	40.2%
盐湖	1.93	59.9%	2.99	59.8%
总计	3.23	100.0%	5.00	100.0%

## 2. 电动车市场现状



Country	2021 EV Sales	% of Total
China 🇨🇳	3,519,054	51.7%
U.S. 🇺🇸	631,152	9.3%
Germany 🇩🇪	695,657	10.2%
France 🇫🇷	322,043	4.7%
UK 🇬🇧	326,990	4.8%
Norway 🇳🇴	153,699	2.3%
Italy 🇮🇹	141,615	2.1%
Sweden 🇸🇪	138,771	2.0%
South Korea 🇰🇷	119,402	1.8%
Netherlands 🇳🇱	97,282	1.4%
Rest of Europe 🇪🇺	469,930	6.9%
Rest of the World 🌍	313,129	4.6%
<b>Total</b>	<b>6,809,322</b>	<b>100.0%</b>

电动车和两轮车产量



## 2. 电动车材料市场需求预测



### 电动汽车材料需求预测

项目名称	正极材料	石墨负极	隔膜	铜箔	电解液	电解质
单位	万吨	万吨	万平方米	万吨	万吨	万吨
2021	45	22	334800	15	26	3
2025	90	45	675000	30	53	5
2030	180	90	1350000	60	105	10
2035	270	135	2025000	90	160	15

### 3. 储能市场规模预测



新能源比例提升



储能成本逐渐下降



传统储能应用场景



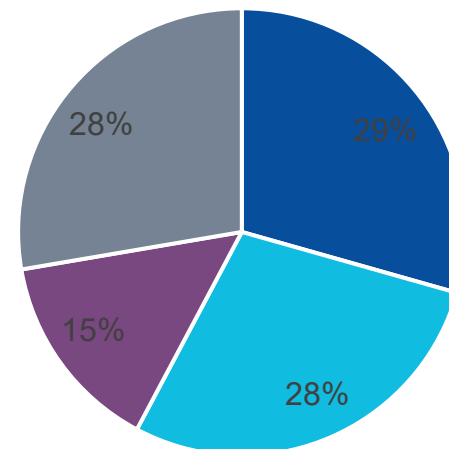
化学储能具有优势

发电侧：火储联合调频，稳定输出功率；新能源发电配储，平抑出力波动，提高消纳等。

电网侧：调峰、二次调频、冷备用、黑启动等。

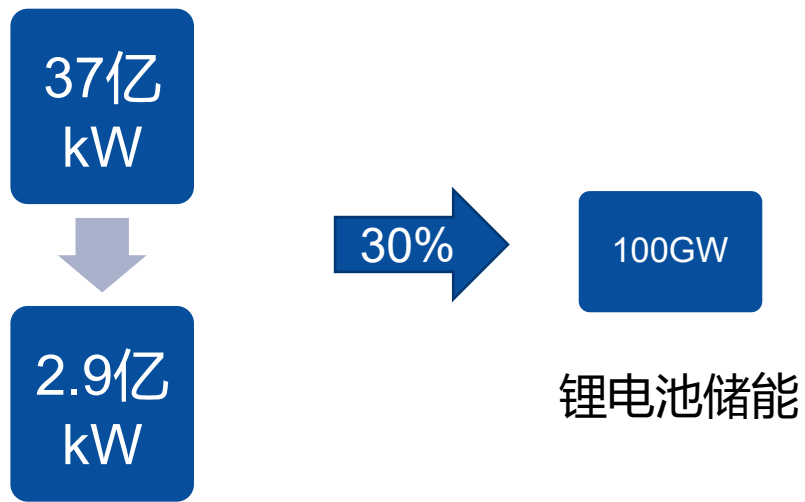
用户侧：峰谷套利、需量管理、动态扩容。用户主要分为家庭、工业、商业、市政等。

微电网：主要为离主电网络较远的无电、弱电地区，需要自建电网，可采用可再生能源与储能作为解决方案。

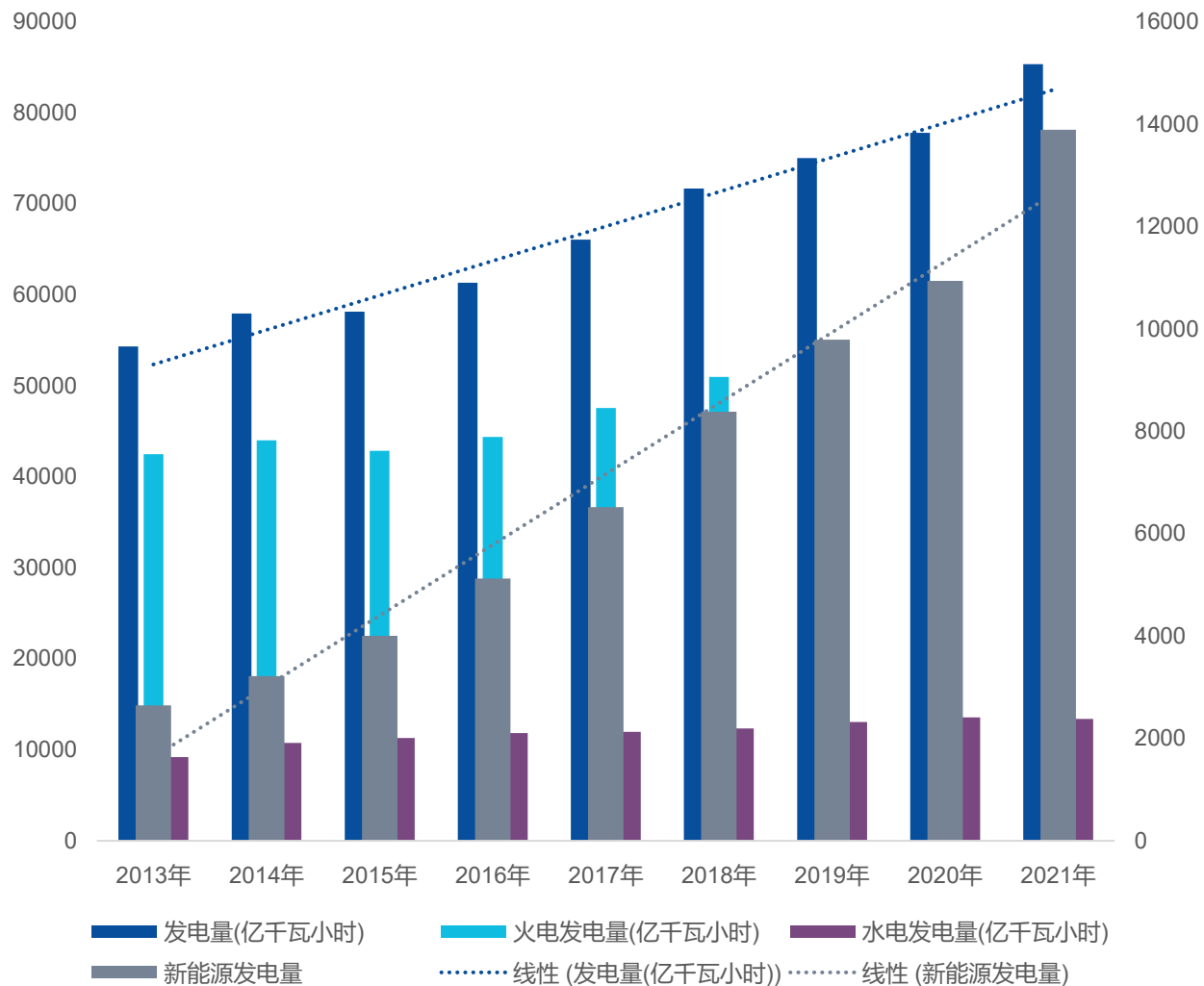


■ 新能源发电 ■ 用户侧 ■ 电网侧 ■ 辅助服务

# 3. 储能市场规模预测



单一情景模式







石油和化学工业规划院

China National Petroleum & Chemical Planning Institute

/05

分产品市场情况



# 1.正极材料性能对比



性能指标	磷酸铁锂	锰酸锂		钴酸锂	镍钴锰三元材料
材料成分	LiFePO <sub>4</sub>	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	LiMnO <sub>2</sub>	LiCoO <sub>2</sub>	LiNiCoMnO <sub>2</sub>
理论能量密度 (mAh/g)	170	148	286	274	278
实际能量密度 (mAh/g)	130-140	100-120	200	135-140	155-165
电压 (V)	3.2-3.7	3.8-3.9	3.4-4.3	3.6	3.0-4.5
循环性能	>2000	>500	差	>500	>1000 (放电深度和温度)
金属	丰富	丰富	丰富	贫乏	贫乏
环保型	无毒	无毒	无毒	钴放射性	钴、镍
安全性能	好	良好	良好	差	较好
适用温度 (°C)	-20~75	超过50快速衰减	高温不稳定	-20~55	-20~55
应用	便携式和固定式, 高负载电流和耐久性	电动工具、医疗设备、传统系统		手机、平板、笔记本、相机等	电动汽车、工业、电动自行车、医疗设备、工业
特点总结	最安全的锂离子电池	功率大、容量小, 比钴酸锂安全, 常与NMC混合提高性能		高比能量、钴价昂贵	高容量、高功率、钴价格偏高



# 1..电解质性能对比

## (一) 各自优点:

- 1.六氟磷酸锂盐 (LiPF<sub>6</sub>) 的离子电导率高, 电化学稳定窗口宽, 热稳定性好和安全、低毒, 能较好保证锂电池具备高电压、高比能等优点。
- 2.双氟磺酰亚胺锂(LiFSI)不但电导率高, 而具有热稳定性高 (200°C以下不分解)、低温性能优异、水解稳定性好, 还有抑制电池气胀等优势, 在实现电池高温循环稳定性方面, 包括延长循环寿命、提高倍率性能和安全性上均会有极大的提升。

## (二) 各自缺点:

- 1.六氟磷酸锂盐 (LiPF<sub>6</sub>) 的热稳定性较差、易水解的问题, 容易造成电池容量快速衰减, 在高温高压电领域应用有限。
- 2.双氟磺酰亚胺锂(LiFSI)的技术难度大、成本高, LiFSI 目前还未直接用作电解液的锂盐, 而是作为溶质添加剂与六氟混用, 用于三元动力电池电解液中以改善性能。

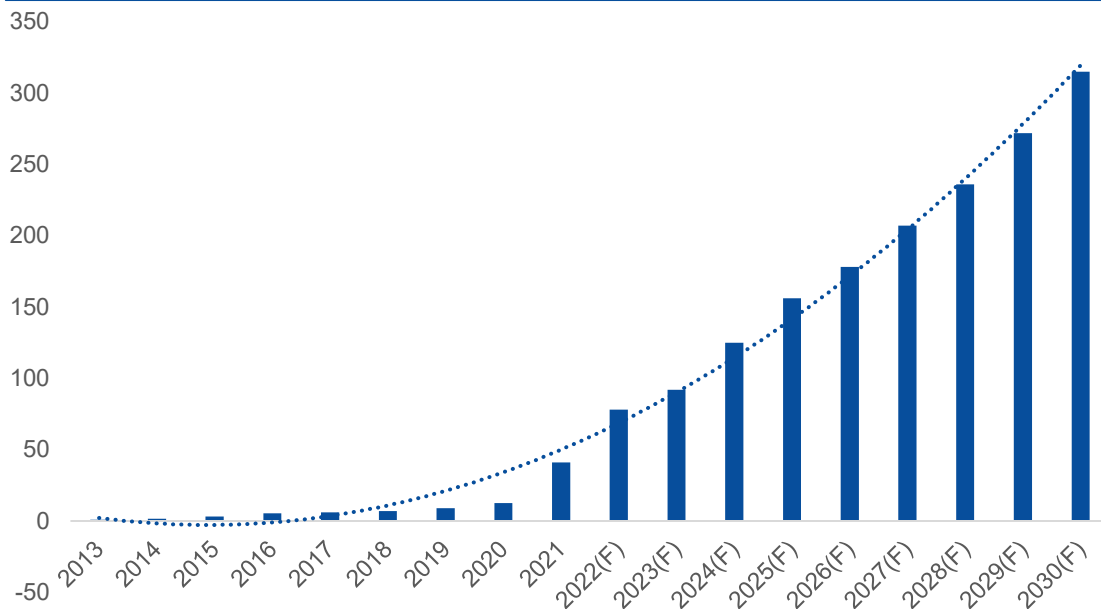
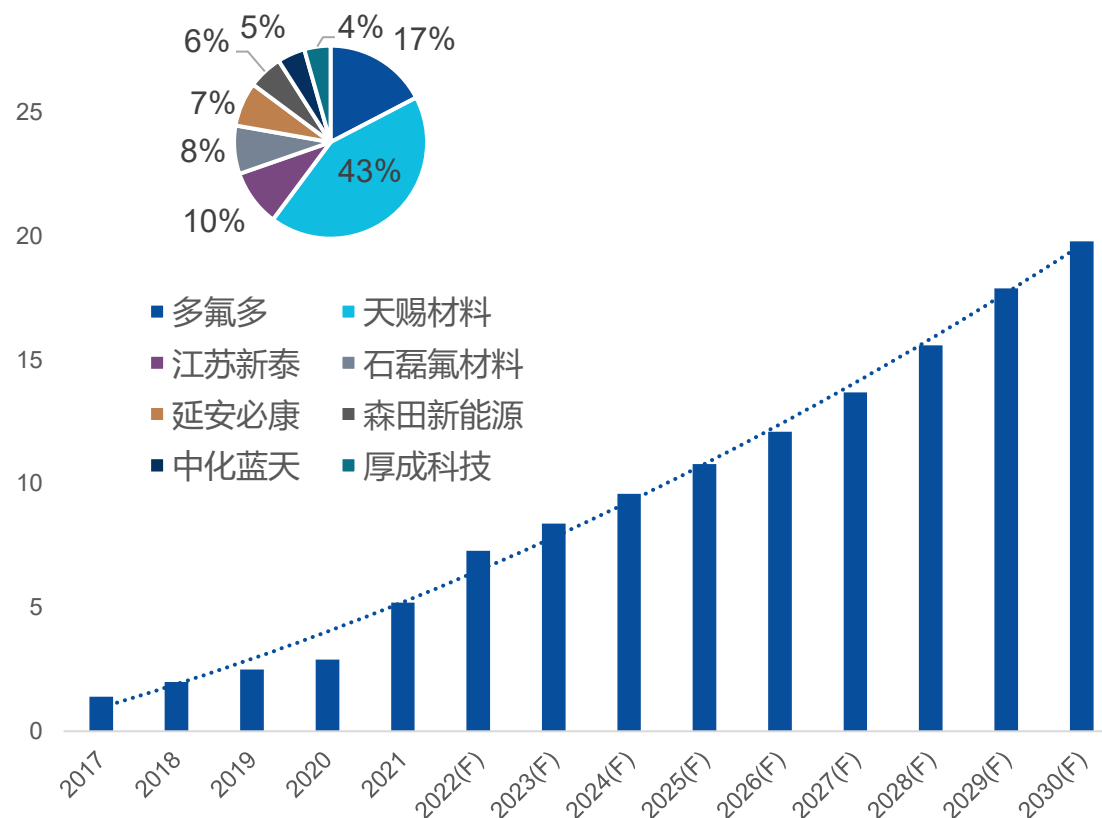
名称	优点	缺点
六氟磷酸锂	良好的离子电导率和电化学稳定性, 废电池处理简单、环保	抗热性和抗水解性差, 提纯可以改善
双氟磺酰亚胺锂	电导率高, 而具有热稳定性高 (200°C以下不分解)、低温性能优异、水解稳定性好, 还有抑制电池气胀等优势	技术难度大、成本高
六氟砷酸锂	循环效率最好, 热稳定性好, 电导率最高	含有毒元素, 环境污染严重
四氟硼酸锂	高温、低温性能较好	热稳定性差, 电导率低
高氯酸锂	适当电导率、热稳定性和抗氧化稳定性	安全性极差

## 4. 市场现状及预测



2021年，我国正极材料产量约111.17万吨，产量同比增加约100.78%。其中，钴酸锂产量10.1万吨，三元材料产量44.05万吨，磷酸铁锂产量45.91万吨，锰酸锂产量11.11万吨。2021年，中国磷酸铁锂产量同比上涨179%，2021年磷酸铁锂产量相较往年大幅提升，主要因为今年新能源汽车市场终端需求爆发，磷酸铁锂材料在电池端应用占比持续提升，对三元、锰酸锂形成替代。

2021年，我国六氟磷酸锂产量5.2万吨



正极材料产量现状及预测

电解质产量现状及预测

01



磷酸铁锂

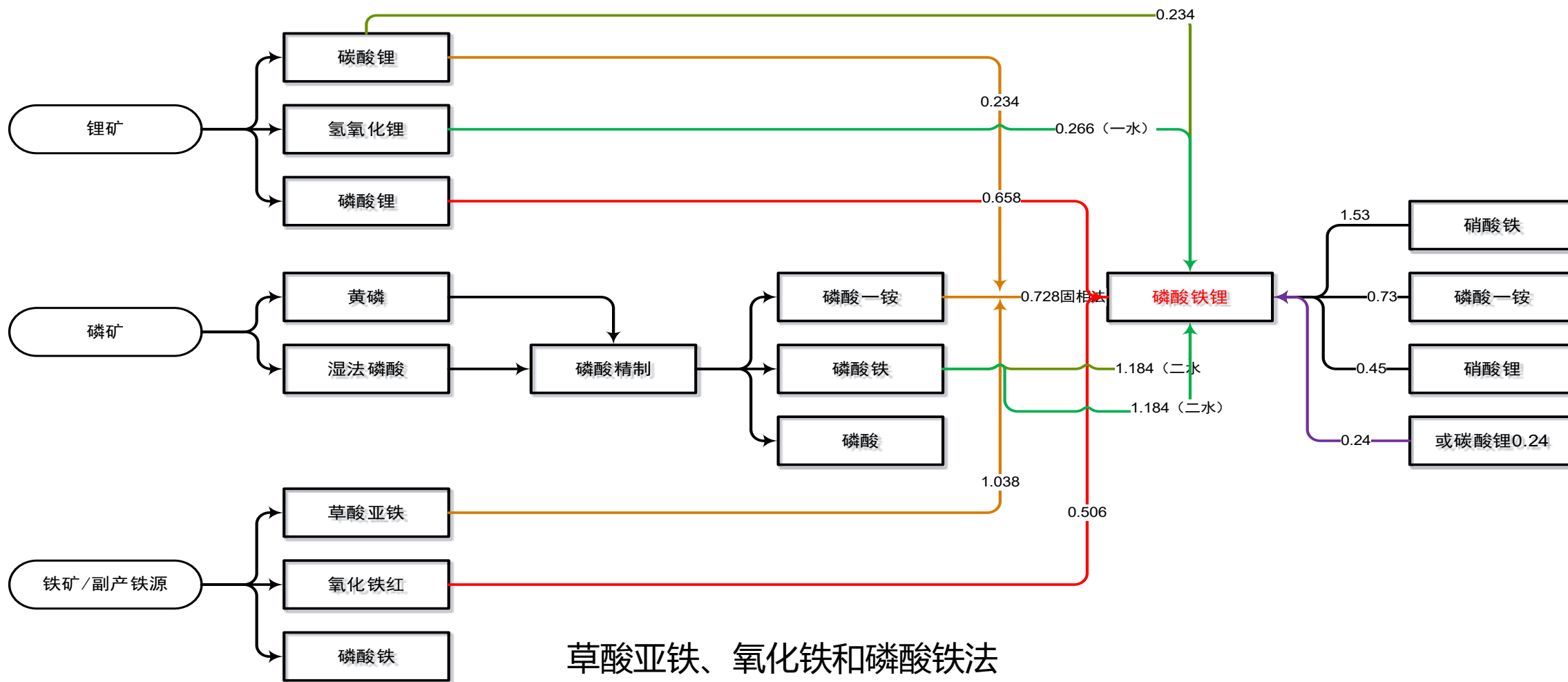
# 1. 生产工艺情况



磷酸铁锂正极材料具有循环性能好、比容量高、安全性能好以及原料来源广、价格低廉的特点，是目前动力锂电池材料的首选材料。目前可以合成磷酸铁锂的方法有很多，如高温固相合成法、溶胶凝胶法、水热法、共沉法、还原法、微波法等，不同方法各具特点，也存在不同问题，如高温固相合成法工艺简单但反应物不易混合均匀，产物粒径大；水热法产物稳定，易控制但设备投资大，工业化难度大；溶胶凝胶法周期长且工艺复杂；还原法工艺复杂；共沉淀法工艺复杂，且存在Li<sup>+</sup>扩散系数低、离子、电子传导率低的缺点。因此，综合各类优缺点，目前国内外已经能实现磷酸铁锂电池量产的合成方法主要是高温固相法。

制备方法		优点	缺点
固相法	高温固相烧结法	工艺简单，易实现工业化，制备条件易控制。	晶体尺寸大，产品倍率特性较差
	碳热还原法	避免了反应过程中Fe <sup>2+</sup> 可能氧化为Fe <sup>3+</sup> ，使合成过程更为合理。	反应时间仍相对过长，产物一致性要求的控制条件更为苛刻。
	微波合成法	该方法设备简单、加热温度均匀、易于控制，反应时间短。	工业化难度较大。
液相法	溶胶-凝胶法	化学均匀性好，热处理温度低、粒径小且分布窄、反应过程易于控制、设备简单。	干燥收缩大、工业化难度较大、合成周期较长、制备的过程较复杂。
	水热合成法	容易控制晶型和粒径，物相均一，粉体粒径小，过程简单。	需要高温高压设备，设备造价高，工艺复杂。
	共沉淀法	溶解过程中原料间可均匀分散，前驱体可实现低温合成。	反应后需沉淀、过滤、洗涤等，工艺较长。

# 2.产业链



### 3. 发展趋势



正极材料是锂离子电池的核心关键材料，决定了锂离子电池的性能和成本；磷酸铁锂依托成本和安全优势应用于储能与商用车。磷酸铁锂原料资源丰富，安全性好，续航里程已基本满足要求，磷酸铁锂电池将成为动力电池的主流。锂电池制造技术和汽车制造技术的提升，随着磷酸铁锂刀片电池、CTP和CTC等技术的应用，磷酸铁锂体积能量密度大幅提升，开始大规模应用乘用车市场；未来磷酸铁锂发展需要从原材料、生产工艺和关键生产设备等方面进行提升，大幅度降低生产成本提高产品性能。

(1) 高压实磷酸铁锂材料：磷酸铁锂材料的压实密度偏低，目前大约在 $2.2-2.3\text{g/cm}^3$  未来要求压实密度大于 $2.5\text{g/cm}^3$ 以上。

(2) 高倍率快充磷酸铁锂材料：磷酸铁锂能量密度偏低，在电动汽车续航里程方面没有竞争优势，因而在电动乘用车上应用受限。

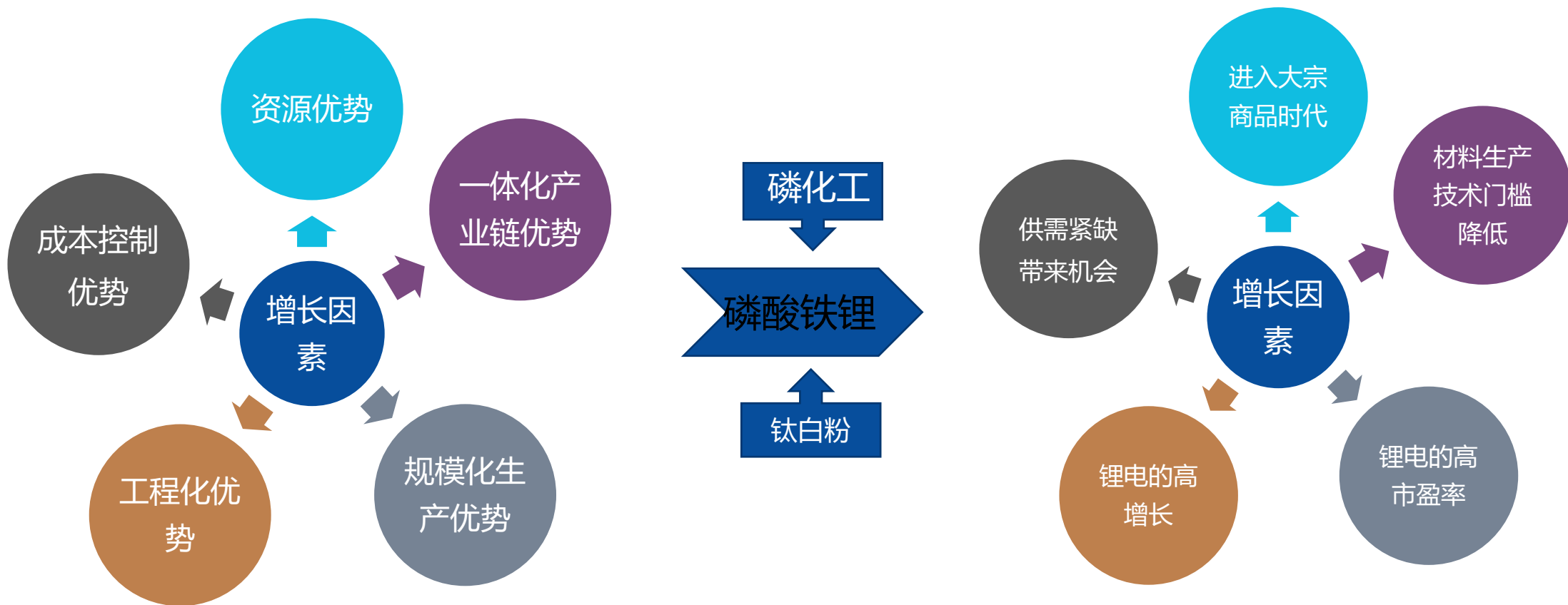
(3) 高能量密度磷酸锰铁锂材料：磷酸铁锂材料的能量密度几乎已达到极限，未来需要开发新的磷酸盐系材料如磷酸锰铁锂材料，其电压平台比磷酸铁锂高15%以上，能量密度也就能相应提高。

(4) 低温型磷酸铁锂材料：磷酸铁锂低温性能差，放电容量只有室温容量的60%以下，对寒冷地区电动汽车使用受限。

(5) 低成本磷酸铁锂生产工艺：未来要在原材料选择、生产装备、生产工艺等方面进行技术改造，大幅度降低成本。



## 4. 介入行业企业类型



传统磷化工企业大多具备磷矿石资源储备或者稳定的磷矿石采购渠道，在向磷酸铁锂产业延伸时具备先天优势。磷酸铁锂的生产包括磷酸到磷酸铁、磷酸铁到磷酸铁锂。磷酸铁生产就是传统磷化工技术路线，铁锂生产环节技术目前较为成熟，不存在重大的技术难题。因此，传统磷化工企业可以利用技术优势，在对磷酸铁锂进行延伸时有望保持领先。

02



钴酸锂

# 1.生产工艺情况

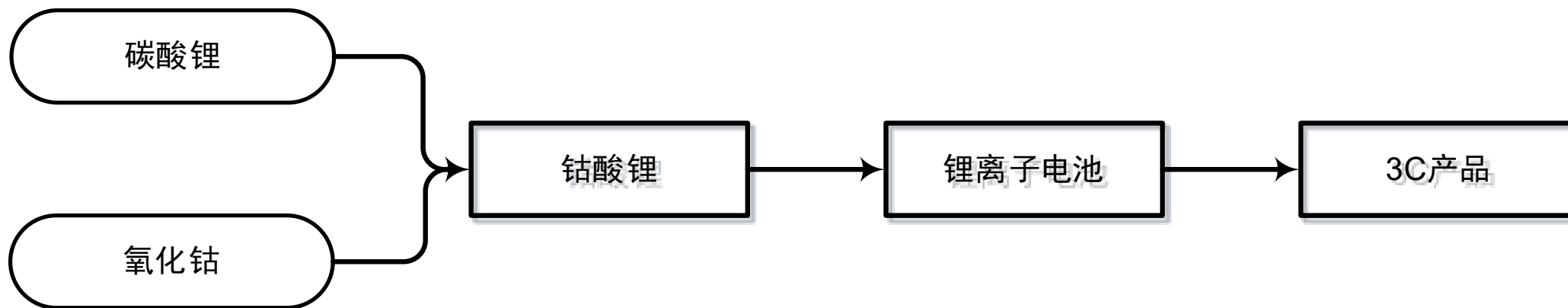


钴酸锂材料的合成方法主要分为干法和湿法，高温固相法合成钴酸锂是干法制备中最常见的方法。

合成方法	优点	缺点
高温固相法	工艺简单，易于大规模生产	烧结温度高、能耗高，颗粒均匀性低
溶胶-凝胶法	反应温度低、产物纯度高、结晶好	设备要求高，难以精确控制
水热法	工艺简单、纯度高、结晶好	难以大规模制备、设备要求高
共沉淀法	合成温度低、工艺简单	原料利用率低，废液难以处理

综合考虑经济环保、节能高效、可靠性、可装配性等因素，高温固相法是现阶段最佳工艺

## 2.产业链和发展趋势



钴酸锂电池结构稳定、比容量高、综合性能突出、但是其安全性差、成本非常高，主要用于中小型号电芯，广泛应用于笔记本电脑、手机、MP3/4等小型电子设备中，其中智能手机和平板电脑是目前主要需求来源，2021年以来，受益5G需求换新推动，我国智能手机出货量自2017年下降以来首次上升，达到3.51亿部，带动我国钴酸锂出货量上升。

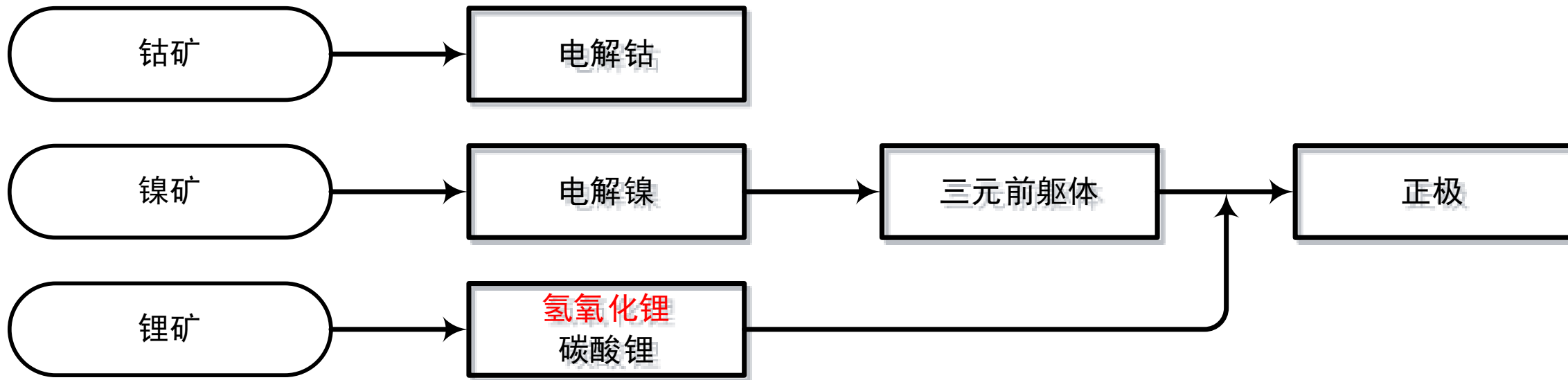
钴酸锂因材料自身结构的局限性，在高工作电压下因过量脱锂导致相结构发生变化，层状结构不稳定针对材料本身，目前主要通过体相掺杂、表面包覆改性等方式来改善高工作电压下钴酸锂的稳定性。

**03**



**三元正极材料**

# 1.产业链



有色企业

资源优势

电池企业

一体化优势

化工企业

技术优势

## 2.发展趋势



### 1.三元材料成为纯电动乘用车领域主流的正极材料之一

在新能源纯电动汽车商业化加速的背景下，纯电动乘用车在中国纯电动汽车市场中逐渐占据主导地位，引领新能源纯电动汽车行业的发展。相对于大巴、物流车等其他类型纯电动汽车，纯电动乘用车对续航和充电效率的要求更高，使用高比容量和高倍率动力电池及相应正极材料的必要性凸显。

相比于磷酸铁锂，三元材料具备高比容量、高能量密度和高倍率等优势，可满足纯电动乘用车动力电池的要求。此外，随着三元材料技术逐渐成熟，三元材料的市场价格逐渐降低，磷酸铁锂相对于三元材料的成本优势随之减弱。出于成本和性能的综合考虑，动力电池企业选择三元材料作为电池正极材料的意愿加强。

### 2.三元材料将向高镍路线发展

由于纯电动汽车对续航里程的要求不断提高，动力电池生产企业对提高锂电池能量密度的诉求上升。在三元材料中，三种元素的功能定位不同，镍在三元材料中起提高材料能量密度的作用。动力电池能量密度是影响纯电动乘用车续航的主要因素，而增加三元材料中镍的相对含量是提高电池能量密度的关键，因此提高三元材料中镍的相对含量，从而提高纯电动乘用车续航里程，是纯电动乘用车向高续航里程发展的必要选择。

此外，从成本角度而言，提高三元材料镍含量也是降低三元材料整体成本的必要途径。在三元材料的整体成本中，原材料成本占比超过80%。相比镍资源，中国钴资源更为匮乏，钴原材料的价格高企是制约三元材料成本下降的关键因素之一。在三元材料中，镍的使用量增加，钴用量则可大幅减少，使得三元材料单位成本获得大幅下降空间。尽管短期而言，高镍系列三元材料前期设备和研发投入大，导致其总体成本相比普通三元材料较高。然而伴随高镍系列三元材料技术成熟度的提高，高镍系列三元材料的规模化应用将使其总体成本逐渐低于普通三元材料。

04



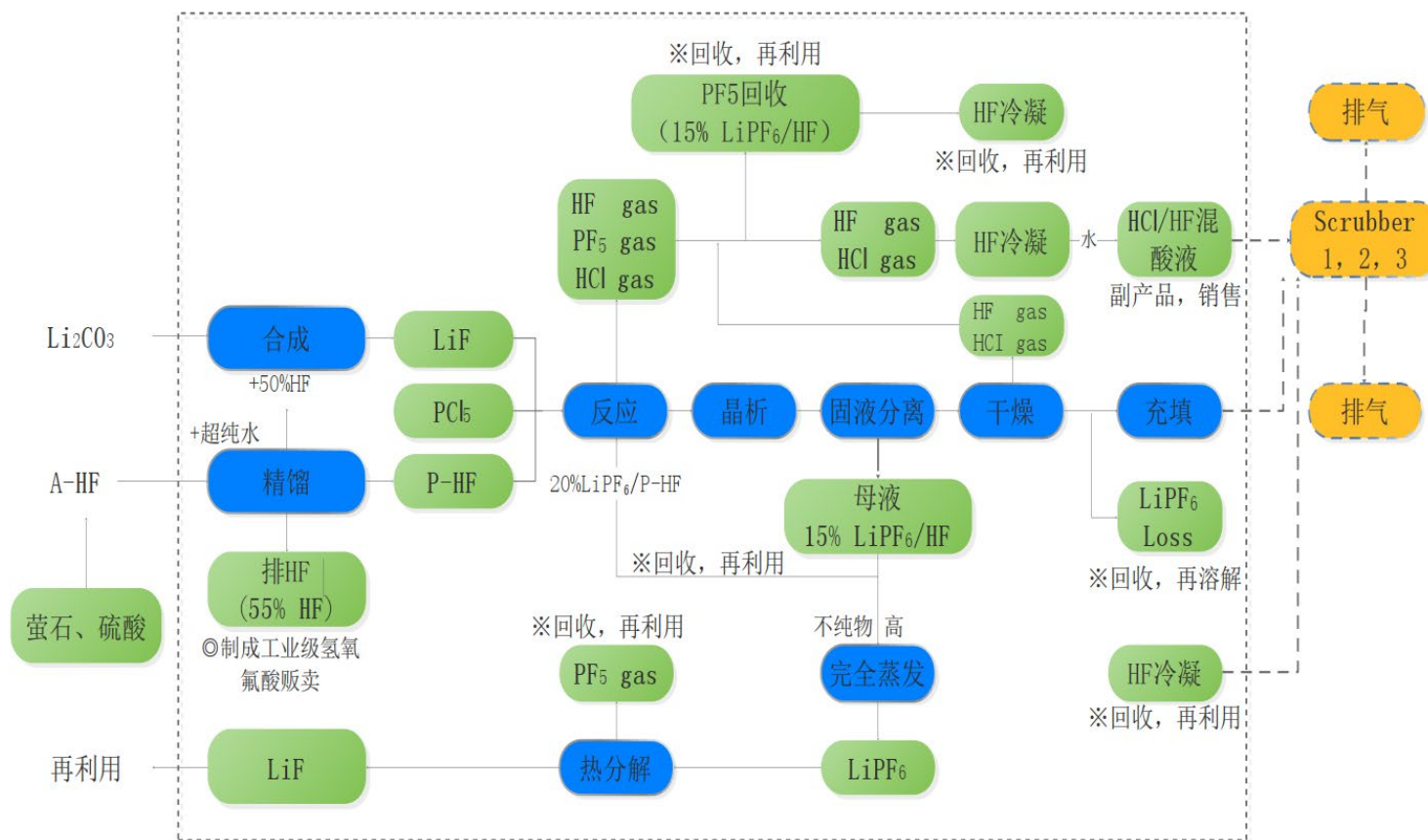
六氟磷酸锂



# 1. 生产工艺

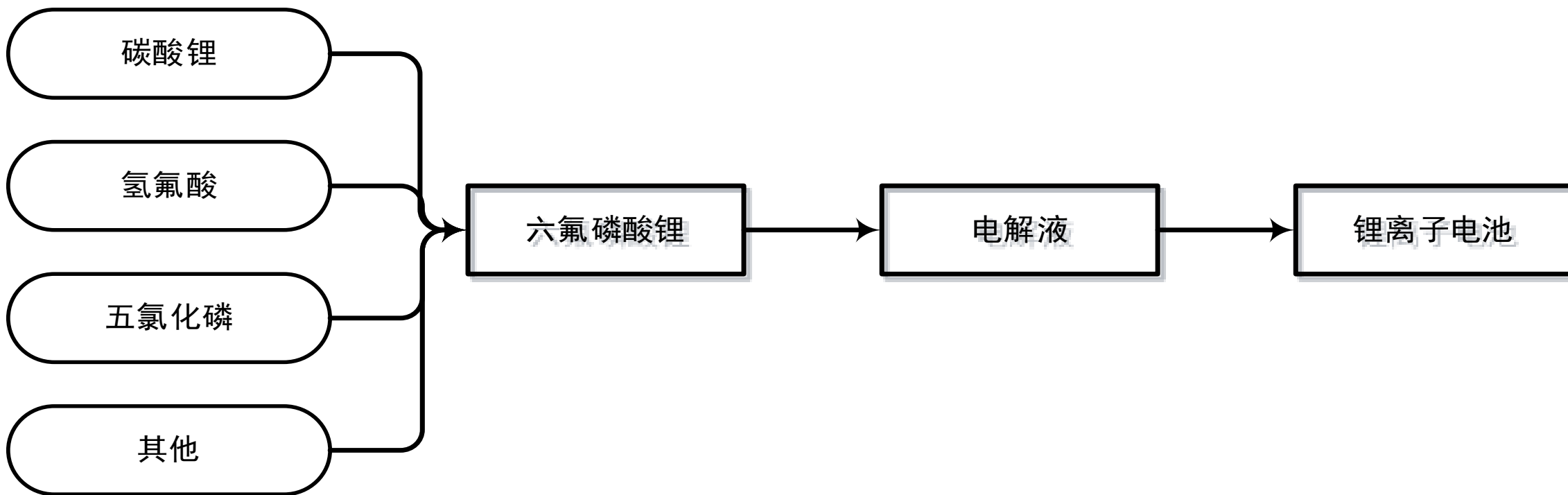


六氟磷酸锂较常采用的工艺技术主要有 (1) 气-固反应法; (2) HF溶剂法; (3) 有机溶剂法; (4) 离子交换法。



- 1.原料高纯
- 2.无水环境
- 3.设备防腐

## 2.六氟磷酸锂产业链



2021年以来，包括多氟多、天赐材料、永太科技、金石资源、天际股份、三美股份、杉杉股份、石大胜华等多家企业纷纷加码六氟磷酸锂产能，规划新增产能达37.7万吨，产能过剩黑犀牛现象显现。提升全流程绿色性，以及实现全球化布局是行业发展的重点。

**05**



**电池回收**

# 1. 废电池回收经济价值分析

## 2600mAh18650电池

材料名称	重量	占比
三元材料	14.618	
石墨	7.655g	17.8%
铝	2.159g	5%
铜	3.904g	9.5%
钢壳	6.61g	15.4%

重量占比  
**Li: 2.5%**  
**Ni: 10.3%**  
**Co: 4.1%**  
**Mn: 5.8%**

1吨废锂电池，考虑回收率及回收产品价格较低，价值**5**万元以上

材料	单价	含量	蕴含价值
金属锂	1500000元/吨	0.025吨	37500
电解钴	300000元/吨	0.041吨	12300
电解镍	150000元/吨	0.103吨	15450
电解锰	15000元/吨	0.058吨	870
废铜（纯度高）	50000元/吨	0.095吨	4750
废铝	15000元/吨	0.050吨	750
废304不锈钢	12000元/吨	0.154吨	1848
合计			73468元

## 2. 生产工艺



序号	步骤	方法	优缺点
1	预处理	深度放电 浸泡法：浸泡在电解质（纯碱和NaCl溶液为主）内放电	残余电压低，电能完全释放，不产生过热现象
		电阻法：连接电阻或导体，造成电池短路	放电快且完全。积聚大量热，容易爆炸
2	破碎过程	粉碎、研磨	破碎过程有机物挥发，避免电解液遇水生成HF
3	物理分选	根据比重、可浮性、磁性等，分选外壳和隔膜	大部分材料附着在基底上
4	二次处理	热处理法：一定温度下，促使PVDF挥发或分解	工艺简单，操作方便，但分解产生有害气体
		有机溶剂溶解法：选用NMP作为溶剂	处理时间较长
		碱液溶解法：NaOH溶液	完全脱落，对设备要求高，产生大量AlO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ，不利于分离提纯
		电解法：利用电解氢气冲击正极	得到纯净铝箔，便于后续处理，电耗大
5	深度处理	浸出过程 酸浸法：无机酸和有机酸	无机酸浸出效率高，广泛应用于工业生产中；浸出过程中产生有毒有害气体，残留的酸性废液难于处理。有机酸成本相对较高；处理效果好，易于后续处理回收。
		微生物浸出法	浸出时间长，细菌繁殖和生存很困难。
6	分离提纯	化学沉淀法：氢氧化钠（NaOH）、高锰酸钾（KMnO <sub>4</sub> ）、草酸铵（(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ）、丁二酮肟（C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ）、碳酸钠（Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ）等。	化学沉淀法只需控制溶液的pH，加入特定的沉淀剂，易于实现工业化生产，回收率较高，成本较低。但由于浸出液含有多种金属离子，在沉淀过程中不可避免的会出现几种离子共同沉淀的情况，从而导致最后得到的沉淀产品中含有杂质，纯度不高。
		溶剂萃取法：（2, 4, 4-三甲基戊基）磷酸（Cyanex272）、（2-乙基己基磷酸-单-2-乙基己基）酯（PC88A）、（2-乙基己基磷酸单-2-乙基）己酯（P507）、三辛胺（TOA）、二（2-乙基己基）磷酸（D2EHPA）	
		电化学法：通过电化学还原技术将浸出液中的Co <sup>3+</sup> 转化Co <sup>2+</sup> ，最后以Co(OH) <sub>2</sub> 的形式在阳极沉积下来。	电化学法的优点在于引入的杂质少，可得到纯度很高的钴的化合物，可直接用于电极材料的制备。缺点是需要消耗大量的电能。

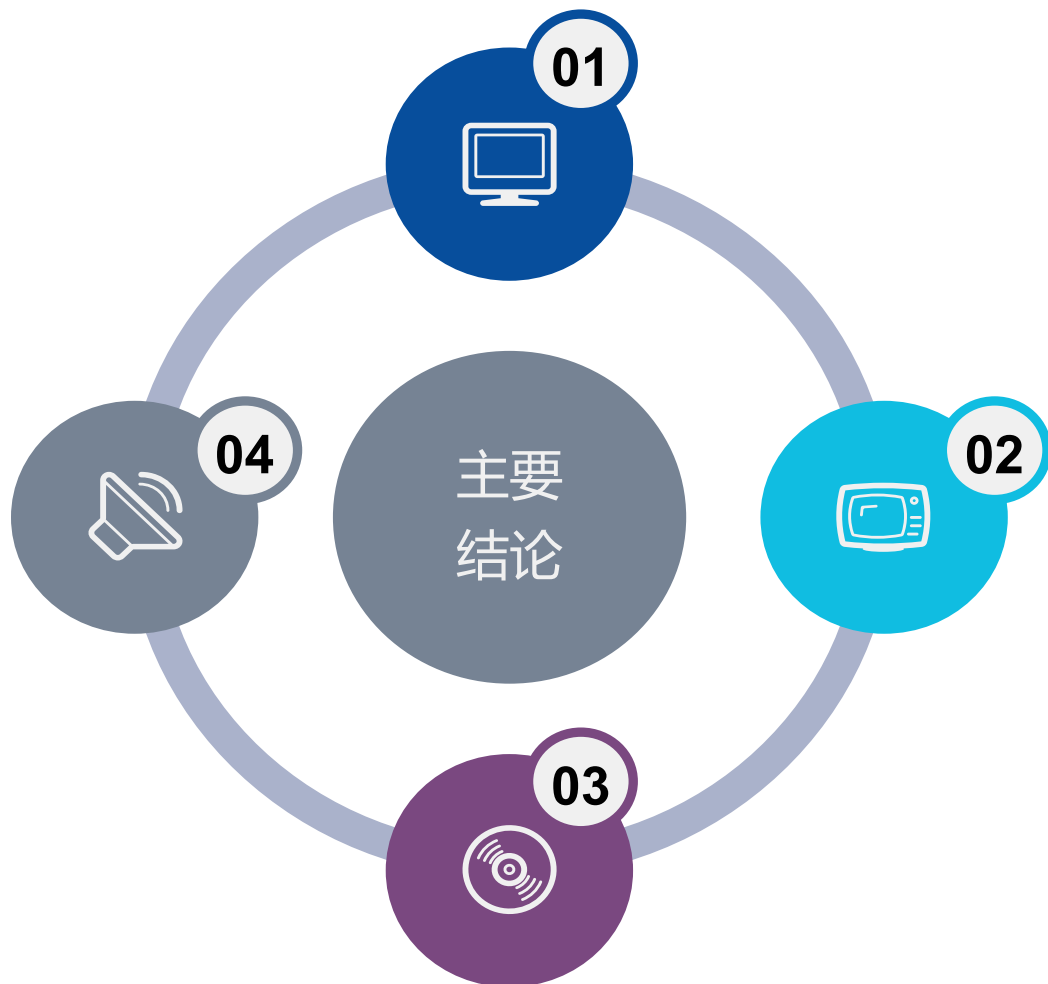


**石油和化学工业规划院**  
China National Petroleum & Chemical Planning Institute

**/06**

**结论和建议**





**01 锂的作用**  
由于锂元素性质决定，锂在整个能源革命体系中占据重要的位置

**02 资源保障**  
锂资源相对丰富，能够保障产业体系发展；但我国锂资源对外依存度将维持在60%以上

**03 产品情况**  
我国绝大多数锂材料具有世界领先地位，包括规模大、产品全、技术先进，具备全球布局的可能性，反哺国内市场需求。

**04 回收利用**  
废旧电池回收利用具有较好的经济效益和社会效益，也是构建城市矿山，保障锂行业产业链和供应链安全的重要一环。

欢迎探讨交流，谢谢！

能源化工处

010-64283277

13520431799

sjz@ciccc.com



(个人二维码)



石油和化学工业规划院

China National Petroleum & Chemical Planning Institute