

中国超级电容产业技术路线图

China Supercapacitors Industry Technology Roadmap

2023年版

超级电容产业联盟

2023年10月

● 指导单位

工业和信息化部电子信息司

● 编制单位

超级电容产业联盟

● 联合参编单位

中国科学院电工研究所 防化研究院 北京化工大学 南京航空航天大学

工业与信息化部电子第一研究所 中国电工技术学会

● 指导专家

杨裕生 院士

● 编委会顾问专家

曹高萍、马衍伟

● 编制组专家

孙现众 沈明辉 张 熊 徐 斌 张文峰 高 波

● 编委会专家委员（按拼音排名）

安仲勋 蔡 丹 蔡澍炜 常 亮 陈成猛 陈合柏 陈胜军 陈书礼 陈勇进 陈再华

崔维国 段泉滨 付 垚 高一飞 关百令 华 黎 黄顺达 荆 葛 李常利 李慧颖

李建林 李立斌 李灵宏 李文生 厉一军 廖 琼 林俊鸿 刘俊杰 刘 淼 刘 萍

刘双翼 刘忆恩 刘泳澎 卢 文 马 猛 毛玉华 蹇伟中 钱弼淼 邱介山 荣常如

阮殿波 沈 敏 施苏萍 时志强 苏方远 王学斌 吴惠东 吴明霞 夏永姚 向晓霞

肖成伟 解 明 熊 鲲 徐 斌 徐飞龙 杨维清 张 刚 张 浩 张校刚 张永林

张智勇 赵 涛 郑俊生 郑志锋

● 支持单位（按拼音排名）

北海星石碳材料科技有限责任公司

重庆中科超容科技有限公司

福建火炬电子科技股份有限公司

福建元力活性炭股份有限公司

复旦大学

河南省大潮炭能科技有限公司

湖南耐普恩科技有限公司

惠州市冠业新材料科技有限公司

江苏国泰超威新材料有限公司

金风科技风电产业集团

锦州凯美能源有限公司

力容新能源技术（天津）有限公司

辽宁博艾格电子科技有限公司

南京大学

宁波柔创纳米科技有限公司

宁波中车新能源科技有限公司

旗禾科技（吉林）有限责任公司

清华大学

厦门大学

厦门法拉电子股份有限公司

山西德益科技有限公司

山西沃特海默新材料科技股份有限公司

上海奥威科技开发有限公司

上杭百泓新材料科技有限公司

深圳市今朝时代股份有限公司

深圳新宙邦科技股份有限公司

石河子开发区天富科技有限责任公司

天津工业大学

天津力神超电科技有限公司

天津普兰能源科技有限公司

同济大学

西南交通大学

协合新能源集团有限公司

云南大学

肇庆绿宝石电子科技股份有限公司

浙江阿佩克斯能源科技有限公司

浙江凯恩新材料有限公司

中固时代（北京）新能源科技有限公司

中国第一汽车股份有限公司高端汽车集成与

控制全国重点实验室

中国电力科学研究院

中国科学院山西煤炭化学研究所

中轻特种纤维材料有限公司

中天超容科技有限公司

序 言

习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论上代表中国庄严宣布：“二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”，提出了减少二氧化碳排放的两个阶段奋斗目标。发展风力和光伏等可再生能源发电是实现此“双碳”战略目标的基本措施，而超级电容器作为一种高功率、超长寿命的储能器件，已经在其中日益发挥着重要的作用。

2023 年是全面贯彻落实党的二十大精神的关键之年，是实施“十四五”规划承前启后的关键一年，也是全面建设社会主义现代化国家开局起步的重要一年。当前，我国发展正面临新的战略机遇、新的战略任务、新的战略阶段、新的战略要求和新的战略环境，为践行新发展理念，加快实施创新驱动发展战略，推动能源电子产业发展，培育我国能源电子核心技术，构建产业创新发展格局，做优做强产业基础和稳固产业链供应链，推动我国能源电子产业协同和融合发展，以新气象新作为助力经济高质量发展取得新成效。

为此，在工业和信息化部指导下，超级电容产业联盟组织多家单位及相关企业、科研院所、专家团队联合编制了《中国超级电容产业技术路线图（2023 版）》（简称《路线图》），《路线图》从产业上下游各环节的分细、规模、政策导向、技术、市场、应用场景等层面，对关键指标进行科学论证，力求客观、准确反映现阶段我国超级电容器产业的发展概况及对未来发展趋势进行合理预测，形成行业技术路线发展共识。

《路线图》的编制将有利于为我国积极培育超级电容核心产业链和关键环节，提升产业链、供应链韧性和安全水平，助力关键核心技术攻关，创新发展模式，健全技术创新支撑体系，推广应用示范，引领产业发展指明方向。

超级电容产业一手连着“新能源”一手连着“双碳”，赋能新时代是一种责任，也是一种能力，更是一种机遇。把准方向、守正创新、真抓实干，祝愿我国超级电容产业突飞猛进、为国家新能源、清洁能源、能源电子、双碳大策贡献力量！

中国工程院院士、超级电容产业联盟名誉理事长 杨裕生

前 言

经过多年的发展，超级电容器已经在风电、电力、交通等领域成熟应用，市场规模逐年稳步增长。超级电容器作为短时高频储能技术的代表，已经成为电网调频、平滑间歇性可再生能源功率波动、提高电网稳定性、能量回收等领域的重点发展技术。近年来，在国家双碳、能源电子等政策引导支持下，技术研发、应用示范、市场推广、资金等方面都获得了较大力度的支持，超级电容产业正在大踏步发展，前景广阔。

为引领产业发展方向，引导我国超级电容产业健康有序发展，在工业和信息化部电子信息司指导下，超级电容产业联盟联合了中国科学院电工研究所、北京化工大学、防化研究院、工业与信息化部第一研究所等多家单位及相关企业编制了《中国超级电容产业技术路线图（2023）》，内容涵盖了超级电容器产业的上下游各环节，包括电极材料、隔膜、集流体、电解液、辅助材料、单体、模组、应用场景、关键制备技术等各环节近 150 个关键指标，根据产业发展概况、政策导向、技术迭代以及应用场景，总结了当前的发展现状并预测未来近期和中期的一个发展趋势。这些指标涵盖产业、技术、应用场景等各个层面，力求客观展示中国超级电容产业发展现状，因时间仓促，数据样本还不够充分和详实，模组、应用场景及关键制备技术等部分还需要进一步深入调研和研究分析。同时也抛砖引玉，希望借此机会，引发业内对超级电容产业发展技术路线的讨论和思考，集全行业的力量，积极探索产业发展之路。

超级电容产业联盟

2023 年 10 月

目 录/CONTENTS

一、我国超级电容产业发展概况	1
(一) 超级电容器概念	1
1. 双电层超级电容器	1
2. 赝电容超级电容器	1
3. 混合型超级电容器	2
4. 电池型超级电容器	2
(二) 超级电容器发展历程概况	3
(三) 全球超级电容产业发展概况	4
(四) 我国超级电容产业概况	6
(五) 我国超级电容器产业政策导向	8
1. 国家政策密集支持	8
2. 地方政策大力扶持	10
(六) 我国超级电容产业分布	13
(七) 我国超级电容器应用领域	15
(八) 我国超级电容产业投资概况	17
(九) 我国超级电容器专利概况	21
(十) 我国超级电容器标准概况	22
(十一) 超级电容产业助力“双碳”目标实现	29
(十二) 我国超级电容产业存在的问题	31
1. 行业较为年轻，规模尚未成熟	31
2. 技术壁垒、生产工艺、产量造成成本较高	32
3. 超级电容器材料长期依赖进口，国产替代难	32
4. 应用领域受限，项目投入周期较长	33
5. 整体发展水平不均衡，产业链协同不强	33
6. 行业资本关注少，投融资支持力度不大	33
7. 加强产学研联系，加快成果转化	34
8. 政策力度及长效性不足，产业基金配套缺乏	34
9. 知识产权布局薄弱，技术标准缺乏国际话语权	34
二、我国超级电容产业链各环节关键指标	35
(一) 超级电容器用电极材料	35
1. 活性炭	35
2. 硬碳	37
3. 软碳	38
4. 小粒径石墨	39
5. 三元材料	40
6. 磷酸铁锂	41
7. 钛酸锂	42
8. 钛铌氧化物	43
(二) 超级电容器用隔膜	44
1. 纤维素隔膜	45
2. 纳米纤维复合隔膜	46
3. 聚合物微孔隔膜	47
(三) 超级电容器用集流体	48
1. 铝箔	48

2.铜箔	51
(四) 超级电容器用电解液	54
1.双电层电容器用电解液	54
2.超级电容器用锂离子电解液	55
(五) 辅助材料	56
1.粘结剂	56
2.导电剂	58
3.锂箔	60
4.补锂剂	60
(六) 超级电容器单体	61
1.双电层超级电容器	62
2.混合型超级电容器	65
3.电池型超级电容器	66
(七) 超级电容器模组	67
(八) 超级电容器重点应用场景	68
1.电力系统	68
2.风电变桨	69
3.轨道交通领域	70
4.智能仪器仪表	71
5.智能电子	72
6.机械装备	73
7.国防军工	73
8.其它	74
(九) 关键制备技术	75
1.关键材料制备	75
2.电极制备	76
3.器件制备	77
三、我国超级电容产业技术的发展愿景与目标	79
(一) 超级电容器用电极材料技术路线图	79
(二) 超级电容器用隔膜技术路线图	80
(三) 超级电容器用集流体技术路线图	81
(四) 超级电容器用电解液技术路线图	81
(五) 超级电容器单体技术路线图	82
(六) 超级电容器关键制备技术路线图	84
1.双电层超级电容器关键制备技术路线图	84
2.混合型超级电容器关键制备技术路线图	85
3.电池型超级电容器关键制备技术路线图	85
四、我国超级电容产业发展建议	86
(一) 制定产业发展目录，引导产业健康发展	86
(二) 全面推进国产化进程，强化全产业链协同	86
(三) 加强知识产权保护，掌握市场话语权	87
(四) 规范检验检测，建立公共服务平台	87
(五) 积极开展国际标准化工作，提升我国超级电容产业影响力	87

编制说明

近些年来，我国超级电容器市场一直保持稳步增长，超级电容产业已基本形成较为完整的产业链，随着超级电容器终端市场规模的增长，器件制造企业发展加快，对上游材料企业的发展有较强的带动作用。超级电容器在新能源领域应用最广，大力发展超级电容产业，对促进能源结构调整、绿色低碳发展具有重要意义。

（一）涵盖内容

《技术路线图》编制的主要目的是为国家制定产业政策提供支撑、为行业技术发展指明方向、为企业战略决策提供参考。基于当前超级电容技术和产业发展现状，从超级电容产业链的电极材料、隔膜、集流体、电解液、辅助材料、单体、模组、应用场景、关键制备技术等各个环节抽取出可代表该领域发展水平的指标，这些指标涵盖产业、技术、应用场景等各个层面。

（二）指标值的确定

本次技术路线图的制订，是在超级电容产业联盟《2022 超级电容产业白皮书》《2021 超级电容器用多孔炭材料产业研究报告》、2021~2022 年行业统计数据等的基础上，秉持客观性、科学性、广泛性和前瞻性的原则，通过调查问卷、现场调研、专家研讨、专家评审等形式，广泛征求意见尤其是重点企业和行业专家的建议，由此确定各环节关键指标 2020~2030 年发展现状与趋势。本次修订问卷调查包括产业链各环节，主要是超级电容产业上中下游企业、科研机构为主，多次通过电子邮件等形式广泛征求企业和专家意见，并组织 5 次以上专家研讨会，对各个指标的合理性及必要性等进行详尽分析，以此确定指标取值。考虑到未来发展的不确定性会增加指标值预判的难度，技术路线图在制定过程中力求准确预测近期的发展方向，中期的预测更多代表行业各界对未来的一种趋势反映。今后，我们将定期对技术路线图进行更新，以更好地、及时地反映行业发展实情，并为行业发展提供有效指导意见。

一、我国超级电容产业发展概况

超级电容器是一种能快速储存和释放电能的储能装置它具有功率密度高、充放电时间短、节能环保等优点，目前已在越来越多的领域取代传统电池，以其独特的性能为各种应用领域提供便利。目前，我国超级电容产业上游原材料的国产化产业配套已日趋成熟，高技术壁垒的电极、隔膜等领域国产化进程也在加快推进；中游超级电容器的生产制造环节正在有序稳步推进，生产工艺水平日益提升，国内各超级电容生产企业也在不断新建产能；下游应用领域也在不断拓展，应用场景日益多元化专业化。同时，产业链也在不断扩张，正在形成新的协同发展产业集群。随着技术进步、成本降低、政策驱动等多重利好的推动下，我国超级电容产业链的日益完善，“卡脖子”的技术难关持续突破，我国超级电容产业正迎来新一轮的发展机遇期。

（一）超级电容器概念

随着技术的发展尤其是新能源技术的兴起，储能作为新能源技术应用的重要组成部分，已经成为解决未来新能源产业发展的关键性环节，应用前景和市场规模十分巨大。

超级电容器（Supercapacitor）是一种电化学储能器件，至少有一个电极主要是通过电极/电解液界面形成的双电层电容或电极表面快速氧化还原反应形成的赝电容实现储能，在恒流充电或放电过程中时间与电压的关系曲线通常近似于线性。按照原理分类，超级电容器可分为双电层超级电容器、赝电容超级电容器、混合型超级电容器和电池型超级电容器。

1.双电层超级电容器

双电层超级电容器是通过电极/电解液界面形成的双电层电容实现储能的超级电容器。其正、负极多为对称结构，电极材料多为高比表面积的多孔炭材料。在充/放电过程中，带电离子在电极表面发生吸附/脱附，属于静电电容，并不发生化学反应。因此，双电层超级电容器具有响应时间短、倍率性能好、循环寿命长等特点，是起步最早、技术水平最高、产业化生产和商业应用最为成熟的器件，也是当前市场的主流产品。双电层超级电容器产品容量最小为法拉级，最大达万法级，基本可以满足不同的应用需求。

2.赝电容超级电容器

赝电容超级电容器是通过电极表面或近表面快速氧化还原反应形成的赝电容实现储能的

超级电容器，其储能时的氧化还原反应为准二维化学反应。这种化学反应可以使电极存储高密度的电荷，在同等比表面积下，赝电容超级电容器的容量高于双电层超级电容器。赝电容超级电容器的电极材料主要为金属氧化物（如氧化钨、二氧化锰等）和导电聚合物（如聚苯胺、聚吡咯、聚噻吩等）等。

同双电层超级电容器相比，赝电容超级电容器容量高，循环寿命和稳定性较差、成本高。但是，双电层超级电容和赝电容超级电容器是可以共存的。在双电层超级电容器的容量中，约 1%~5%为赝电容，主要由电极表面官能团的法拉第反应引起；同时，在赝电容超级电容器中也会呈现一定的双电层电容，约占总容量的 5%~10%，与可以利用的双电层界面面积成正比¹。目前，由于技术发展和成本所限，赝电容超级电容器还没有实现大规模产业化。

3.混合型超级电容器

混合型超级电容器是指两极分别利用双电层电容和氧化还原反应实现储能的超级电容器。混合型超级电容器在工作电压和能量密度大幅度提升的同时，功率密度和循环寿命均有所下降，但随着超级电容器电极材料等关键材料性能提高及电容器制备技术的进步，功率密度和能量密度性能均呈上升的趋势，在电力、交通运输、工程机械等领域具有较好的应用潜力。

根据电极材料组合方式的不同，当前研究较多的混合型超级电容器的结构为含锂化合物正极//多孔炭负极，多孔炭正极//预嵌锂负极，多孔炭正极//钛酸锂负极等。其中多孔炭正极//预嵌锂负极中，正极为多孔炭，负极为预先嵌入锂离子的石墨、硬碳等锂离子电池负极材料。

4.电池型超级电容器

电池型超级电容器是指正极和（或）负极中兼有双电层和氧化还原反应实现储能的超级电容器。电池型超级电容器同时具有电池和超级电容的特点。但在制备过程中，多孔炭材料与电池电极材料按照一定比例混合，制备成复合电极。复合电极多用于正极，多孔炭主要与锰酸锂、三元材料、磷酸铁锂等材料复合。通常锂离子电池材料的电导率较低，导致电池的倍率性能较差；在充放电过程中，电极材料因为离子的嵌入和脱出而产生体积变化，降低电极的稳定性，引起循环寿命的降低。多孔炭可以在电极中形成导电网络，提高离子传导的效率，改善倍率性能；同时，多孔炭还可充当骨架，与电极材料复合后形成更为稳定的结构，提高循环寿命。

¹ 电化学超级电容器：科学原理及技术应用, B.E.Conway 著, 化学工业出版社, 2005, 20.

目前，在现有的超级电容器技术中，双电层超级电容器技术发展较为成熟，已经形成了较为完善的产品体系，产品容量从法拉级至万法拉级，包含纽扣式、圆柱形、方形、软包式等多种规格结构，是超级电容器市场应用最多的产品。混合型超级电容器和电池型超级电容器方面，近年来技术和产品也取得了长足的发展，我国已有多个超级电容器生产企业研制出此类器件并实现产业化，尤其是在通信、公共交通、新能源车等装机规模较大的领域具有良好的发展和应用前景。

表 1-1 不同类型的超级电容器性能对比

参数	双电层超级电容器	赝电容超级电容器	混合型超级电容器	电池型超级电容器
主要电极材料	正负极为多孔炭材料	金属氧化物或导电聚合物	一个电极为多孔炭材料， 一个电极为二次电池材料	多孔炭与二次电池电极材料混合而成的复合材料
单体电压 (V)	0.8~1.8 (水系)， 0~3.0 (有机系)	1.0~1.8	2.2~3.8	2.5~4.2
工作温度 (°C)	-40~85°C	-20~60°C	-40~60°C	-20~60°C
循环寿命 (次)	10 万~100 万次	几万次	10 万~100 万次	5 万次
产业化程度	已实现大规模商业化	未商业化	实现商业化并在一定领域内应用	实现商业化并在一定领域内应用

(二) 超级电容器发展历程概况

人类第一个储能装置电容器出现于 1745 年，即 von Musschenbrock 发明的莱顿瓶，这是公认的电容器鼻祖。

1874 年，亥姆霍兹 (von Helmholtz) 在研究胶体悬浮液的工作中首次提出了双电层的概念并建立了第一个描述金属电极表面离子分布的模型。

直到 1957 年，通用气公司的 Becker 申请发表了第一个关于双电层电容器的专利，从而预示着超级电容器进入储能领域。

随后美国俄亥俄州标准石油公司 (Standard Oil Company of Ohio, SOHIO) 的 Rightmire 于

1966 年发明了以 LiCl-KCl 作为共晶电解液的超级电容器，其可真正视一种电能储存设备。

同样，在 1960 年以后，加拿大太华大学 Conway 小组开始研究电容机理，将法拉第反应带入超级电容器，丰富了超级电容器的储能机制。从此以后，双电层电容器和赝电容电容器取得了快速的发展。

1971 年，日本电气公司（NEC）在 SOHIO 的许可下开发了水系电解液的双电层电容器，标志着电化学电容器在商业设备中使用的开端。同年，意大利科学家 Trasatti 报道了 RuO₂ 的电容储能机制。

1975 年，Conway 小组同加拿大大陆集团合作，开发了以 RuO₂ 作为电极材料的电容电容器。

而超级电容器的真正商品化开始于 1978 年日本松下公司推出的 Goldcap[®] 双电层电容器，两年之后本 NEC 公司和三菱公司先后将超级电容器产业化，推出了面向市场的超级电容器。至此人们认识到超级电容器和电池在未来的能源储存系统中具有同样重要的地位，其开发应用将成为储能领域的革命性突破。

世界各国加快了研发超级电容器的进程，日本和美国分别于 1993 年和 1989 年制定了关于超级电容器发展的长期规划项目。

1995 年，美国 Evans 公司首次提出了混合型电容器的概念，俄罗斯 ESMA 公司生产出了 C/KOH/NiOOH 体系商品化水系混合型电容器。混合型电容器的提出进一步丰富了超级电容器的储能机制，为制备兼具高能量密度和高功率密度的下一代超级电容器奠定了理论基础。

进入 21 世纪后我国的超级电容器的产业化也逐步开展，2007 年，生产工艺成熟的 Maxwell 公司进入中国市场，促进了我国超级电容器相关行业的发展。

2016 年 12 月，中国超级电容产业联盟在北京成立，这是世界上第一个超级电容器产业联盟，涵盖了国内 95% 以上的从业单位，杨裕生院士任第一届理事长，从此我国超级电容器产业进入了快速发展的阶段。²

（三）全球超级电容产业发展概况

近年来，全球超级电容器市场呈现快速发展的态势。据超级电容产业联盟及相关机构数

²马衍伟，张熊，孙现众. 锂离子电容器. 2023, 4.

据统计，2022 年全球超级电容器市场规模为 44 亿美元（以 1 美元≈7 元人民币测算，以下同），约合人民币 308 亿元，同比增长 17.42%。预计 2023 年将达到 54 亿美元，约合人民币 378 亿元³。

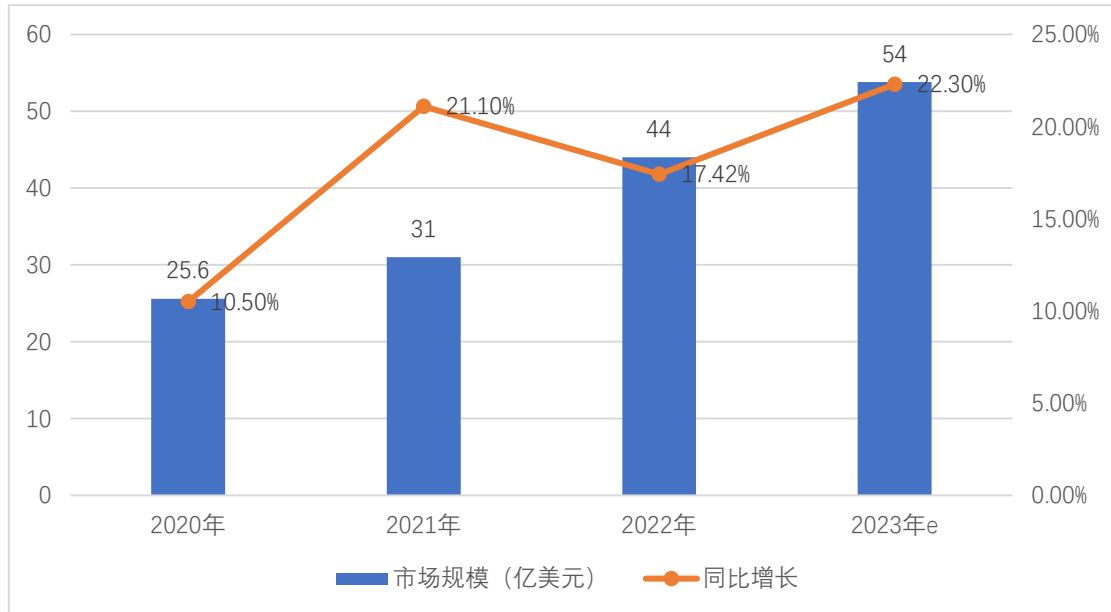
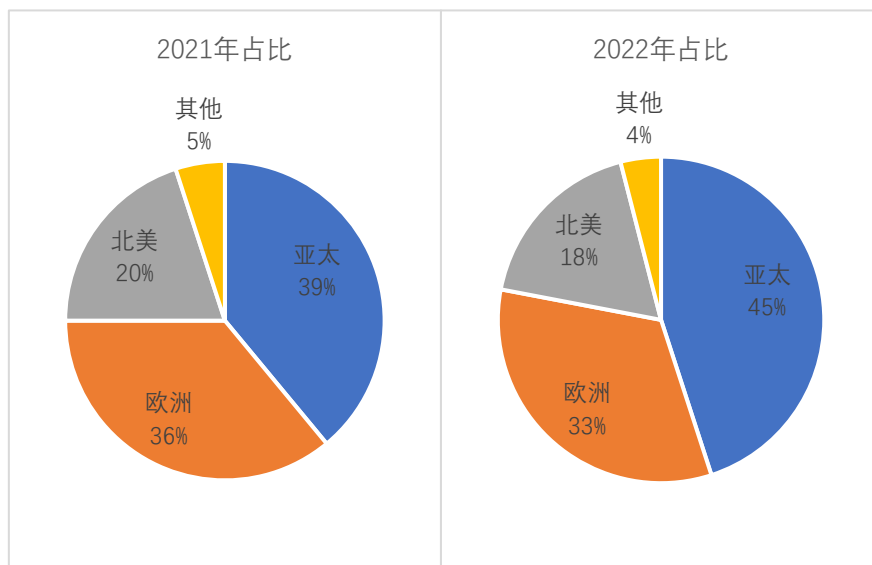


图 1-1 2020~2023 年全球超级电容器市场规模情况

2022 年，全球超级电容器市场规模（以器件为统计对象）按区域划分，亚太地区排名第一，占全球超级电容器市场的 45%，市场推动力主要来自风电、光伏、电力、工业、智能仪表等领域，其次是欧洲和北美地区，分别占 33%和 18%，其他地区占 4%。



³ 数据来源：IMARC Group 等机构预测数据

图 1-2 2021~2022 年全球超级电容器市场规模分地域占比情况

随着后疫情经济的逐步开放以及超级电容器市场的快速发展，中国现已成为亚太地区超级电容器市场发展最快的国家。2022 年中国超级电容器市场规模（以器件为统计对象）占全球市场规模的 26.07%，占亚太地区市场规模的 57.94%，占比较 2021 年分别提升了 2.41 个百分点和下降了 2.74 个百分点。

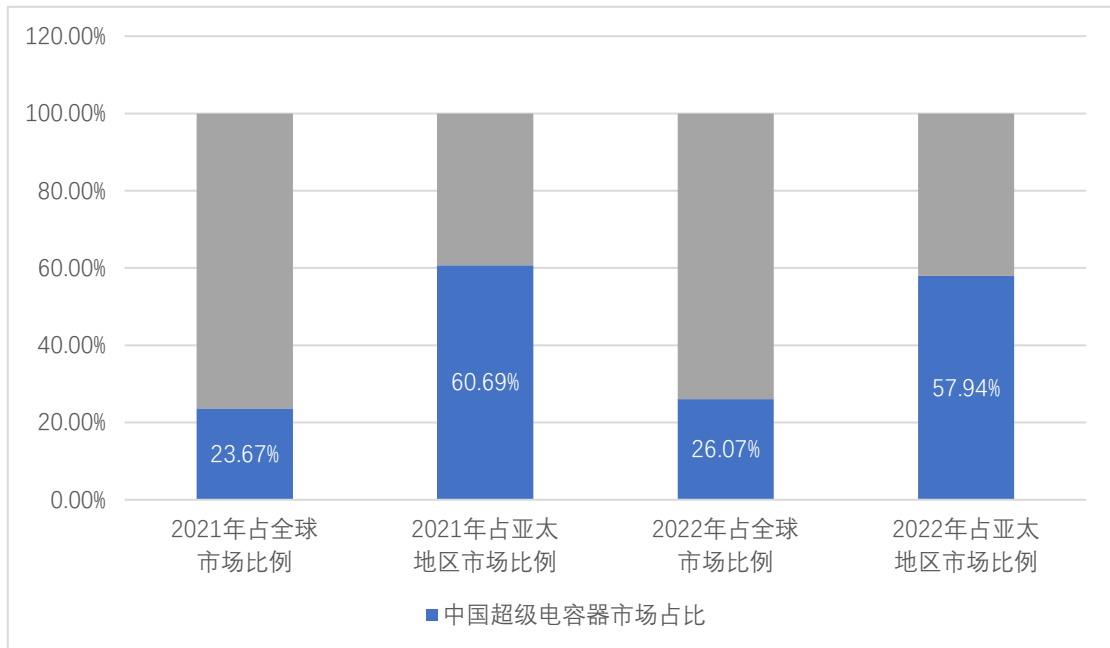


图 1-3 2021~2022 年我国超级电容器市场规模占全球及亚太超级电容器市场规模情况

（四）我国超级电容产业概况⁴

根据超级电容产业联盟行业监测，2022 年我国超级电容产业总规模达到 178.39 亿元，同比增长 19.90%，继续保持稳步增长态势。由于受疫情影响，2020 年以来产业规模增幅出现一定程度下降，但近 6 年来，我国超级电容产业复合增长率依然达到了 31.37%，产业规模保持稳中有升的发展态势。随着后疫情行业的复苏及相关政策支持，预计 2023 年产业规模达 278.84 亿元，到 2030 年产业规模有望将达到 1000 亿元，产业保持健康发展趋势。⁵

⁴ 我国超级电容器市场规模测算公式为：双电层超级电容器+混合型超级电容器+电池型超级电容器+其他类型+应用端+进出口等市场规模的总和

⁵ 数据来源，根据联盟已发的问卷进行统计分析，超级电容产业规模的测算依据为：产业规模=材料+隔膜+集流体+电解液+进出口+器件+应用+产业投资等市场规模的总和。

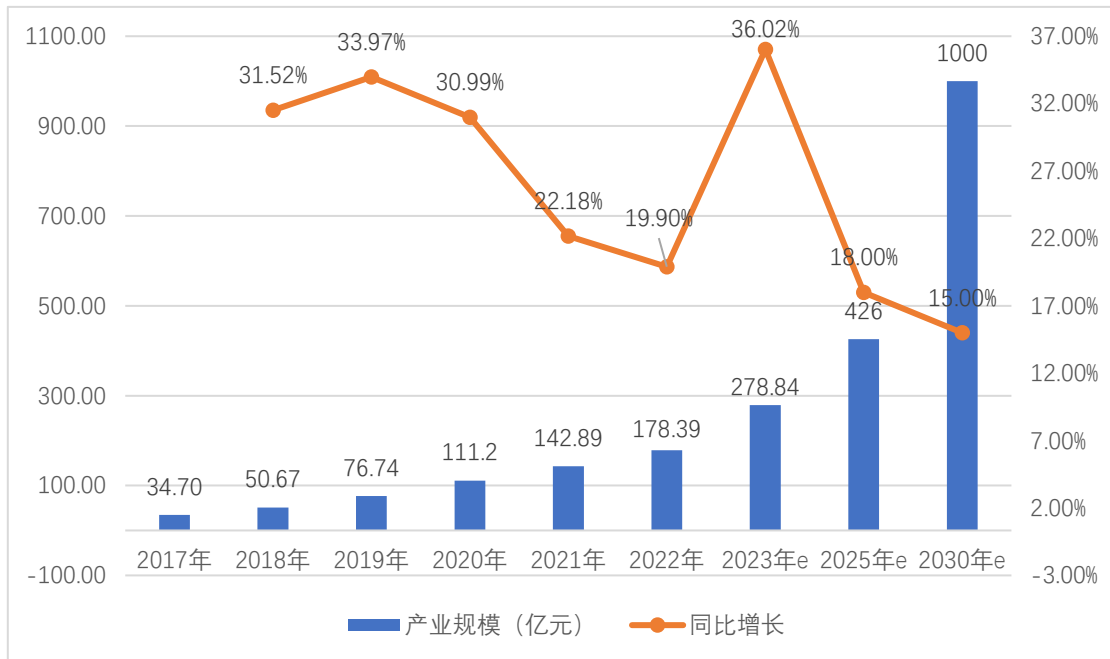


图 1-4 2017~2030 年我国超级电容产业规模增长趋势

根据超级电容产业联盟统计数据显示，2022 年我国超级电容器总体市场规模达到 80.31 亿元，同比增长 36.05%，纵观 2017~2022 年我国超级电容器市场规模复合年均增长率超过 45.69%。预计到 2023 年年底我国超级电容器市场规模将达到 126.73 亿元，2030 年将有望突破 500 亿元，达到 550 亿元，依然保持快速增长态势。

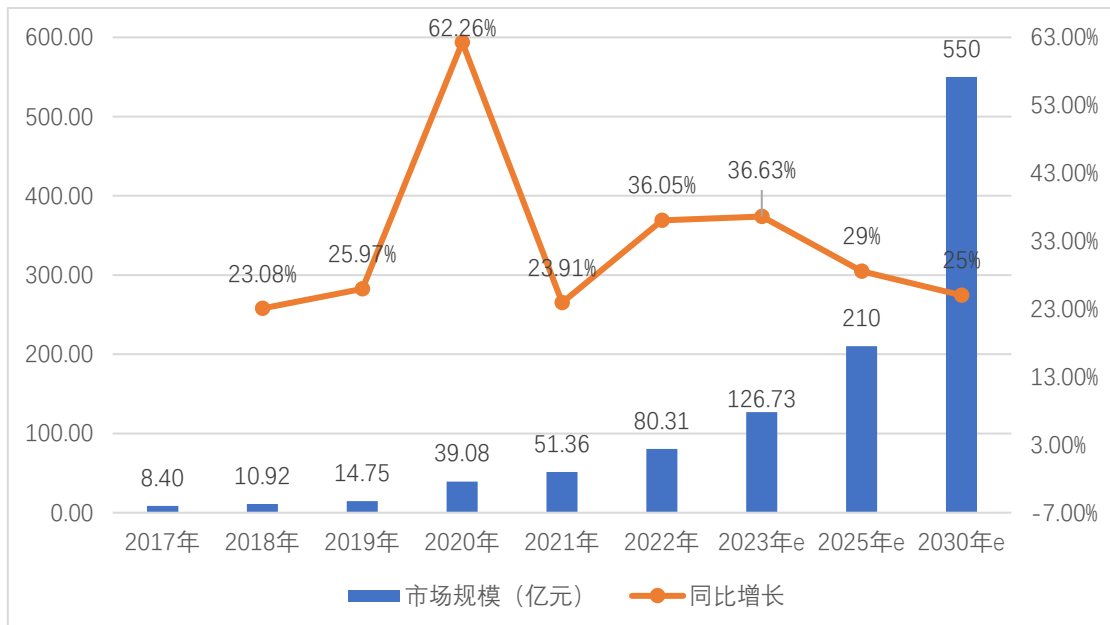


图 1-5 2017~2030 年我国超级电容器市场规模增长趋势

（五）我国超级电容器产业政策导向

20世纪90年代末，我国将超级电容器纳入国家研究计划，持续支持超级电容器及其关键材料的研究。当前，随着“双碳”政策的进一步推进，超级电容器产品及技术供给能力提升行动日益加快，特别兆瓦级超级电容器系统的技术攻关和应用也获得了一系列政策的大力支持，已成为产业发展的重点。

1. 国家政策密集支持

据不完全统计，2020年~2023年，国家各部委出台了近十项相关政策，主要从重点推动应用、关键材料技术研发和产业化、绿色低碳创新、技术装备与系统集成技术集中攻关、系统设计与应用示范、标准体系建设等方面进行了大力扶持，为“十四五”超级电容产业的突破共性关键技术，增强创新能力，促进科技成果转化和产业化，支撑技术创新，产业安全、规模化发展，形成较为完善的系列标准体系等方面进一步支撑产业健康有序发展。这为我国超级电容产业在材料上减少进口依赖，增强核心技术自主创新能力，加强标准体系建设，健全补强产业链，为我国新型超级电容产业体系奠定了坚实基础。

表 1-2 2020 年~2023 年超级电容器产业主要国家政策

日期	发布单位	政策文件	对超级电容产业的影响
2020 年 12 月	国家发展改革委、商务部	《外商投资产业指导目录（2020 年版）》	把超级电容器作为新型电子元器件制造主要鼓励投资方向，便于外商资本参与合作，对回速产业发展有很大的助推作用。
2021 年 1 月	工信部	《基础电子元器件产业发展行动计划（2021-2023 年）》	列入行动计划，有利于突破关键材料技术，支持关键材料技术研发和产业化。
2021 年 5 月	科技部	《储能与智能电网技术重点专项 2021 年度项目申报指南》	主要通过储能与智能电网基础科学和共性关键技术研究的布局，促进科技成果转化和产业化。
2021 年 11 月	国家能源局、科技部	《“十四五”能源领域科技创新规划》	“双碳”目标下，集中攻关超级电容器的相关功率型/备用型储能技术装备与系统集成技术，对加快推动超级电容器技术革命，具有应用示范意义。
2022 年 1 月	国家发展改革委、国家能源局	《“十四五”新型储能发展实施方案》	列入“十四五”国家重点研发计划，及 2021 年度重点专项项目申报指南，为超级电容着力突破共性关键技术，增强创新能力，促进科技成果转化和产业化。
2022 年 8 月	工信部等五部门联合印发	《加快电力装备绿色低碳创新发展行动计划》	有利于行业在推动装备绿色低碳创新发展，加快推进配电装备升级换代、提高用电设备能效匹配水平，助力国家碳达峰目标顺利实现。
2022 年 10 月	国家市场监管总局等九部门	《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》	开展超级电容器储能系统及设备标准研制，为构建新型电力系统，对推进新型储能标准制定具有重要意义。
2022 年 12 月	工信部等四部门	《关于深入推进黄河流域工业绿色发展的指导意见》	鼓励黄河流域相关企业应用超级电容技术化改造，有序推动技术工艺升级，帮助黄河流域企业、园区培育新型电力储能装备，具有现实重要意义。
2023 年 1 月	工信部等六部门	《关于推动能源电子产业发展的指导意见》	加强新型储能电池产业化技术攻关，推进先进储能技术及产品规模化应用。
2023 年 2 月	国标委、国家能源局	《新型储能标准体系建设指南》	从规划设计、设备试验、施工验收、运行维护、安全应急等上要求超级电容器执行相应的标准。有利于支撑超级电容技术创新，产业安全、规模化发展。

从下图可以看出，围绕着我国超级电容器不同时期的国家产业政策看，2020年~2023年的高频词，主要在重点推动、研发/开发、应用推广、标准等方面的词出现频率相对较高，体现了当前这一时段的产业政策导向范围。

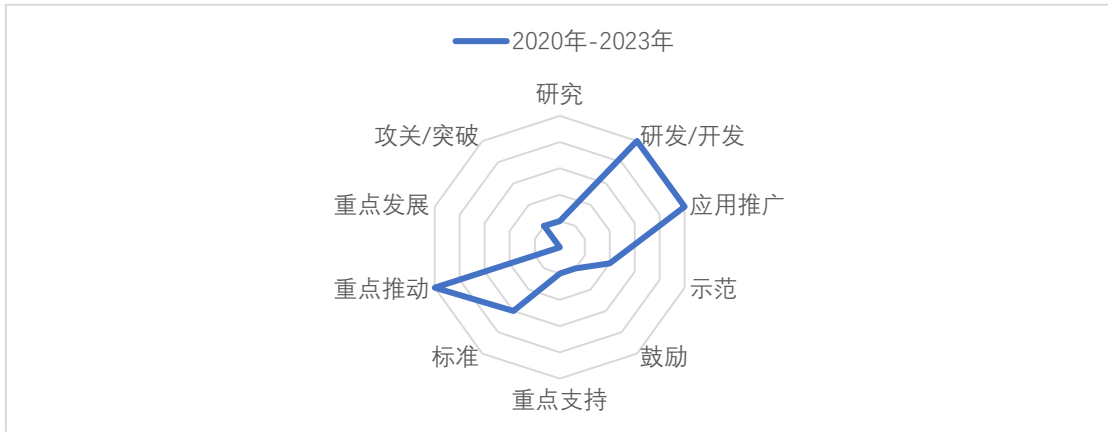


图 1-6 不同时段超级电容器国家产业政策相关高频词情况

2. 地方政策大力扶持

为响应超级电容产业国家政策，全国多个省市结合自身产业特点、结构和发展现状，制定了多项支持超级电容产业发展的政策，积极落实“技术攻关、重点突破”的主旨，充分发挥本地优势企业的积极作用，重点支持超级电容器关键技术突破、创新成果转化、加快推广和示范应用等领域，推动具有当地特色的超级电容产业快速发展。

从 2020 年~2023 年，这个时段围绕着超级电容产业的主要高频词有研究、加快孵化、重点发展、发展产品、重点突破、应用等，高频率主要集中在重点发展、重点突破和应用领域，代表着当前时期，超级电容器产业发展的方向和政策要扶持的重点。

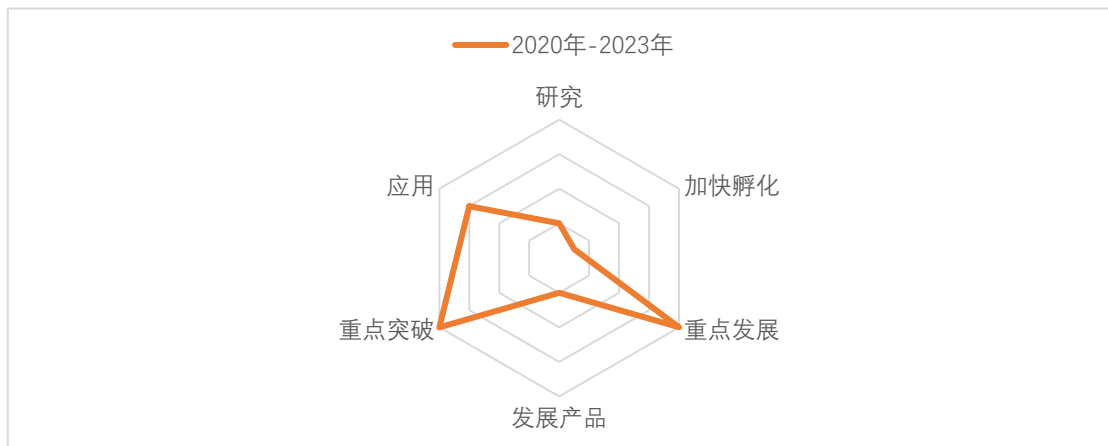


图 1-7 不同时段超级电容器地方产业政策相关高频词情况

表 1-3 2020 年~2023 年超级电容器产业主要地方政策

省/市	日期	政策文件	对超级电容产业的影响
湖南	2020 年 12 月	《湖南省碳基材料产业链三年行动计划（2021-2023 年）》	重点就超级电容器领域进行理论和应用研究，有利于湖南加速突破一批关键技术的成果转化。
浙江	2021 年 5 月	《浙江省新材料产业发展“十四五”规划》	明确把高性能超级电容材料作为重点发展的十大新材料之一，打造具有国际竞争力的新材料产品体系。
重庆	2022 年 12 月	《关于印发重庆市材料工业高质量发展“十四五”规划的通知》	把超级电容作有其他新材料的应用重点，对完善上下游产业链起到补链强链延链作用。
	2023 年 1 月	《重庆市工业领域碳达峰实施方案》	加大绿色低碳产品供给方面，把超级电容作为能源供应成套装备重点，起到绿色供给支撑作用。
	2023 年 3 月	《重庆市新材料产业发展行动计划（2023—2025）》（征求意见稿）	在行动计划上，把超级电容产品作为前沿新材料产业来大力推进，有利于形成较强的自主能力的新型储能材料体系。
山西	2021 年 4 月	《山西省“十四五”14 个战略性新兴产业规划》	把大容量超级电容器关键电极材料的批量化制备技术、碳基新材料开发作为重点突破，对布局产业链、创新链及明确超级电容发展方向具有重要的战略意义。
	2023 年 1 月	《山西省碳达峰实施方案》	通过市场导向，把超级电容炭作拳头产品，对提高产品附加值，延伸产业链条有重要导向作用。
四川	2021 年 3 月	《四川省油气化工产业绿色发展技术指南（2021）》	将超级电容器列入绿色发展技术，为产业发展指明方向。
黑龙江	2021 年 6 月	《黑龙江省石墨产业发展规划》	以高校及科研单位为主体，在创新成果转化上，有利于实现产业链与创新链的有效对接。
	2021 年 9 月	《黑龙江省中长期科学和技术发展规划（2021—2035 年）》	开展超级电容储能系统一体化等关键技术的研究与应用，有利于中长期内加快新能源关键技术研发与示范应用。
	2021 年 9 月	《黑龙江省“十四五”科技创新规划》	在新材料重点研究方向和在智能电网及储能系统中，把超级电容器纳入到应用中，有利于打造先进复合材料等优势产业，推动产业基础高级化。
福建	2021 年 10 月	《福建省“十四五”科技创新发展专项规划》	把新型超级电容器及其相关关键作为未来“十四五”科技创新的重点突破方向。
陕西	2021 年 11 月	《陕西省“十四五”制造业高质量发展规划》	有序推进超级电容器研发生产，助推产业高质量发展。

青海	2021年11月	《青海省“十四五”工业和信息化发展规划》	发展超级电容技术，突破超级电容及电池系统集成技术，并开展规模化生产应用，有利于助力青海实施装备制造产业拓展工程，打造装备制造竞争新优。
河北	2022年4月	《河北省“十四五”新型储能发展规划》	加快超级电容等储能技术攻关，通过新型储能创新发展工程建设，有利于推动河北省的超级电容产业推动不同场景及区域规模化试点示范。
广西	2022年9月	《广西能源发展“十四五”规划》	对超级电容储能、电能质量调节系统上进行先进技术创新应用，可有效激发市场活力，为能源安全提供坚强保障。
湖北	2022年10月	《湖北省应对气候变化“十四五”规划》	加快推动超级电容等化学储能设施产业化发展，对构建清洁低碳安全高效的能源体系有应用示范作用。
吉林	2022年11月	《吉林省能源科技装备“十四五”规划》	把超级电容储能等技术，纳入能源科技装备“十四五”规划的研发与应用试点，提供了技术路线。
山东	2022年12月	《山东省新型储能工程发展行动方案》	开展超级电容等快速储能技术应用，作构建鲁西南多场景应用储能重点，可起到有效推广应用的效应。
江西	2023年1月	《江西省未来产业发展中长期规划（2023-2035年）》	把超级电容器作为未来新型储能的重点发展方向，对未来产业体系构建有重要战略意义。
广东	2023年3月	《广东省推动新型储能产业高质量发展的指导意见》	开展超级电容器储能技术装备研发及前瞻技术研究，有利于促进研发创新与推广应用相结合。
河南	2023年3月	《河南省工业领域碳达峰实施方案》	把超级电容活性炭作为高端碳产业重点发展，加快应用绿色技术，有力支持碳基新材料产业集群建设，对促进河南省工业领域碳达峰实现提供坚实基础。
广西	2023年5月	《广西新型储能发展规划（2023-2030年）》	以需求为导向，推动超级电容储能等功率型储能技术示范应用，加强先进技术攻关。研究超级电容等储能技术，以及适合南方地区的低温蓄冷、储热等实用技术。
河北	2023年5月	《河北省推动能源电子产业发展的实施方案》	明确超级电容器为发展重点，推动超级电容器在相关领域推广应用。

（六）我国超级电容产业分布

目前，我国已经形成较为完整的超级电容产业链，产业链主要由上游材料、中游器件（包括单体、模组和系统）、下游应用组成。

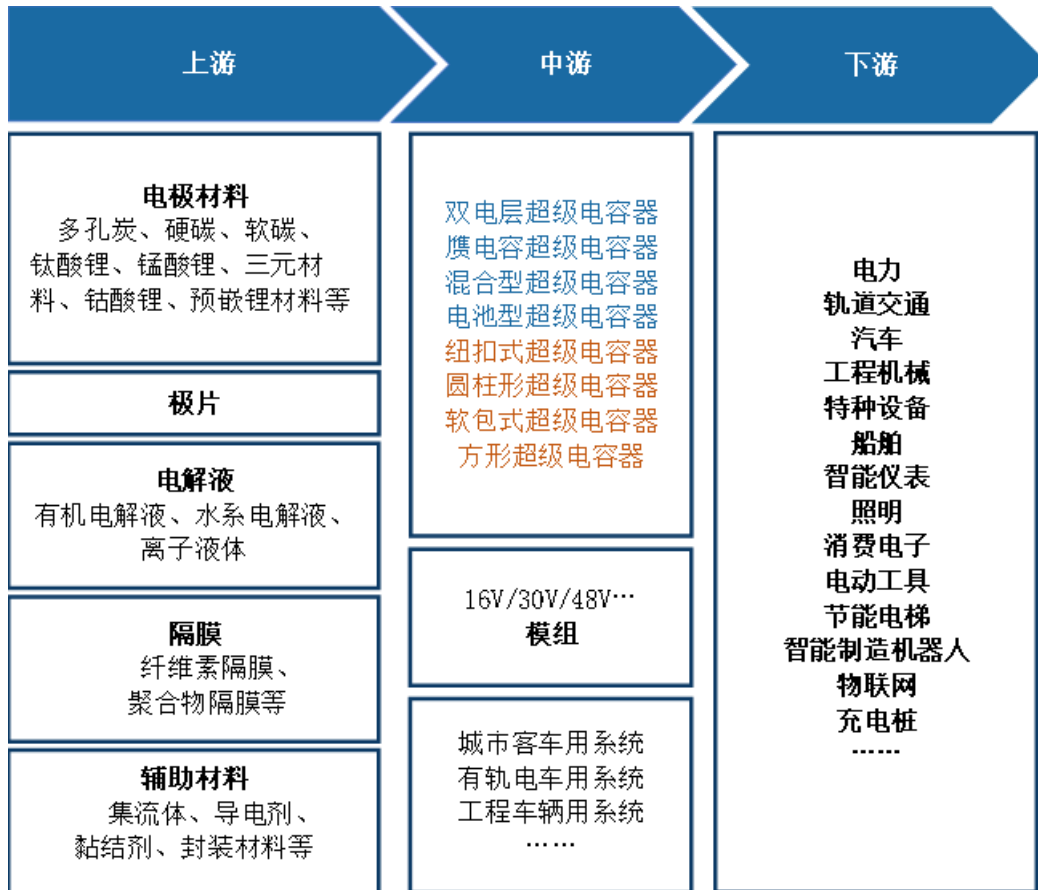


图 1-8 超级电容产业链示意图

据超级电容产业联盟不完全统计，截至 2023 年，我国超级电容器主要材料生产企业（如多孔炭、隔膜、电解液、集流体、电极等）和器件制造企业及系统集成企业等超过 200 家，分布在北京、天津、上海、重庆、山东、山西、陕西、河南、安徽、浙江、广东、广西、福建、新疆等地区。

我国超级电容产业链的各类企业发展水平并不均衡。随着超级电容器终端市场规模的增长，器件制造企业发展加快，对上游材料企业的发展有较强的带动作用。此类企业多分布在我国中东部地区，主要是由中东部地区拥有较多高校资源，技术积累丰厚，地方优惠政策多、区域经济发达等因素导致。

多孔炭材料由于受政策支持力度大、技术基础好、产品种类多等因素的影响，进入此行业的企业较多。目前我国多孔炭材料产业已经形成多种技术并举，多元发展的态势。在石油焦基活性炭、椰壳基活性炭、煤基活性炭等技术方向，我国均有性能优良的产品上市。此外，处于中试研发过程中的多孔炭技术方向更实现了扩充，不仅涵盖传统的生物质基活性炭、煤基活性炭等，还包括了炭气凝胶、碳纳米管、石墨烯等高性能的新型材料。电极片的制备是超级电容器制造的一个重要步骤，主要是由器件企业完成。随着工艺技术和过程分工的精细化，电极制备逐渐成为一个独立的产业环节，起到了承上启下的作用。我国的超级电容器用电极片行业发展仅有 5~8 年的历史，技术水平和运营模式还在不断探索中。目前已经涌现出以干法电极、车规级电极为特色的电极片生产企业。超级电容器电解液已经实现国产化，可面向国内外市场稳定供货。与之相比，超级电容器用集流体和隔膜长期以来一直依赖进口产品，但随着技术的发展，我国已经有多个企业的技术开始成熟，产品性能逐步接近进口产品，国产化替代工作已经展开。

在系统集成中，超级电容器企业通过系统集成为应用方提供包括超级电容在内的整体解决方案，企业通过提供整体系统解决方案来带动对超级电容产品的需求。当前，由于下游客户对超级电容器的认识不足以及需求的不明确，对市场扩大应用产生了一定影响。

纵观我国超级电容器产业链，目前发展较快的企业大多位于中东部地区，尤其是在长三角和珠三角地区，已经形成结合较为紧密的产业集群，为形成产业链协同效应提供了有利条件。在京津冀及周边的山东、山西、辽宁、河南等地区，产业链也在不断扩张，有望形成新的协同发展产业集群。

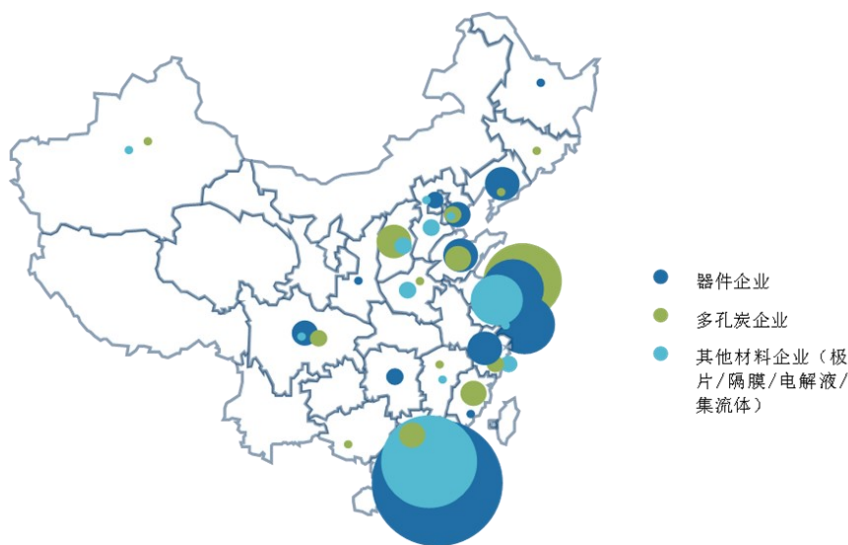


图 1-9 我国超级电容器产业链主要企业分布

（七）我国超级电容器应用领域

作为一种新型的储能器件，超级电容器因其突出的功率性能，良好的环境适应性和超长寿命，在国民经济的很多细分领域都具有非常广阔的应用前景，如图 1-10 列出了当前超级电容器的主要应用领域和相关商业化程度。在风力发电变桨系统、智能仪表、消费电子、家电、电动工具等领域，超级电容器已经拥有较为稳定的市场；在轨道交通、城市公交车、备用电源、光伏照明等领域，超级电容器的市场份额正在迅速提升；而在电力、智能制造、工业、物联网等领域，超级电容器也具有独特的优势，相关应用研究与市场化工作也在积极开展。



图 1-10 超级电容器主要应用领域的商业化程度

在电力领域，超级电容器在短时高功率充放电的应用场景中具有得天独厚的优势。因此，在电力辅助服务（调频、负荷跟踪、电压支持等）、提高电网可靠性和弹性、提高电能质量、可再生能源稳定输出等领域有广泛的应用需求。超级电容器还可作为电网控制设备和风电变桨系统等的后备电源，保证设备安全运行。

在交通领域，超级电容器可快速吸收车辆制动能量，并在车辆启动时释放，节能减排。对于轨道交通来说，还能减少机车启动和制动时引起的电压波动，降低对电网的冲击。此外，超级电容器作为有轨电车、城市公交车等的动力电源，可在短时间内完成充电过程，非常适用于线路固定的公共交通，显著提高运营效率。在乘用车领域，超级电容器不仅可以实现能

量回收，还能与其他能源技术组成混合电源系统更好地发挥作用。

在工程机械和特种设备领域，超级电容器是能量回收装置的重要组成部分。在智能制造领域，超级电容器是自动导引运输装置（AGV）等自动化设备的重要电源。

在智能仪表和消费电子领域，超级电容器作为主电源或备用电源，在智能表（智能电表、智能水表、智能燃气表、智能热量表）、远程抄表系统、电子门锁、数码相机、掌上电脑、智能芯片等领域得到了广泛的应用。

在国防军工领域，超级电容器因其高可靠性成为野外装备必不可少的后备电源和启动电源，同时也是新型高能武器的驱动电源。超级电容器还可用于航空、航天领域的重要设备中。

此外，随着超级电容器技术的进步，其应用场景不断被挖掘，应用范围不断拓展。在新的形势下，超级电容器作为重要的储能器件，必将在 5G、人工智能、大数据中心、工业互联网、物联网、特高压和能源互联网、新能源汽车等新兴领域迎来更多的发展机遇。

当前我国超级电容器的应用结构已经有了一个雏形，主要涉及交通运输、新能源、机械设备、智能仪表、智能电网、工程机械、消费电子、车载电子、医疗设备、网络通信及计算机、智能家居、国防军工、应急管理、航空航天、商业设备等领域，其中，应用场景达 150 余个类别，随着新能源汽车、新能源发电、5G 通信、智能制造等新兴领域的爆发性增长，应用场景会越来越广，超级电容行业将迎来发展的新拐点，进入到一个新的快速成长轨道。

表 1-4 超级电容应用领域（不完全统计）

序号	应用领域	应用场景
1	交通运输	轨道交通、客车、卡车、船舶、乘用车、内燃机启动系统、公铁两用车辆、物流设备、游览车
2	新能源	电网后备电源、储能光电、风电、光伏、充电桩、潮汐能、路灯、分布式储能、调频、微电网储能
3	机械设备	直流智能电子设备、不间断电源、集中器、转换器、物料分选机、交通电控箱、发电机组、电梯、AGV 机器人、UPS 储能、安防、警用手电棍
4	智能仪表	智能水表、智能电表、智能气表、智能热表、直流智能电子设备
5	智能电网	DTU 无线终端设备、FTU 馈线终端装置
6	工程机械	起重机、农机、港口机械、矿山机械、混合动力机械、石油钻探器、修井机、混合动力挖掘机
7	消费电子	蓝牙音箱、录音笔、便携式电动工具、电动玩具、智能计时器、蓝牙探针温度计、控温器、IC 控制、CPU、MCU 电源、RTC 电源、有记忆存储功能电子仪器、移动电话、打印机、信号灯、照

		相机、照相机闪光灯、税控机
8	车载电子	行车记录仪、音响、车载充电手机支架、报警器、ETC、储能元件
9	医疗设备	B 超机、宠物医疗设备、制氧机、微创手术设备、负离子养生仪
10	网络通信及计算机	无线通信、定位导航、HPLC 载波模块、LTU 线路单元、智能网关、UPS 电源、大数据中心后备电源、5G 基站后备电源、5G 域能量自给的电子器件、故障指示器、集中器和采集器
11	智能家居	LED 照明、开关、家电断电数据保护、家电时钟维持
12	国防军工	电磁发射器、激光武器、束能武器、微波武器、电磁炮、雷达、战车混合电传动系统、无人战车、智能战场机器人、无人机、人造卫星、宇宙飞船空间站、潜艇水下推进；坦克、飞机、火箭、导弹等作为起动电源、无人机弹射装置
13	应急管理	应急照明灯储能系统、应急/低温启动电源
14	航空航天	机舱门开启电源，航空航天用移动通信基站、卫星通信系统、无线电通信系统等均需要高可靠大功率脉冲电源
15	商业设备	商用收款机、快递柜

（八）我国超级电容产业投资概况

随着超级电容产业的发展，业内科技成果转化、增产扩产、投融资等活动日益活跃。据超级电容产业联盟不完全统计，从 2022 年至 2023 年 5 月，我国超级电容产业具有代表性的新增投资项目超过 10 个，主要有建设新生产基地、扩充现有产能和产品系列、超级电容储能系统等领域。在持续提高和巩固现有技术的基础上，业内企业在超级电容炭、高电压超级电容器、锂离子电容器、干法电极、高端储能电容器器件、电解质、储能电站等技术领域不断拓展，加大了投资力度。

据超级电容产业联盟不全完统计，2022 年，我国超级电容产业投资规模达 61.93 亿元，同比下降 1.73%，增长有所下降，主要投资领域在高性能超级电容器研发及产业化、电容炭工业化生产线、扩产建厂、高端储能电容器生产基地，以及超级电容器用先进电极材料和新材料等。截至 2023 年 5 月底，2023 年的投资规模已达到 87.82 亿元，随着超级电容产业技术壁垒不断突破，国产化替代能力不断提升，以及应用场景不断拓展，当前超级电容行业处于快速推广阶段，预计到 2030 年前我国超级电容产业将迎来新一轮发展高峰。

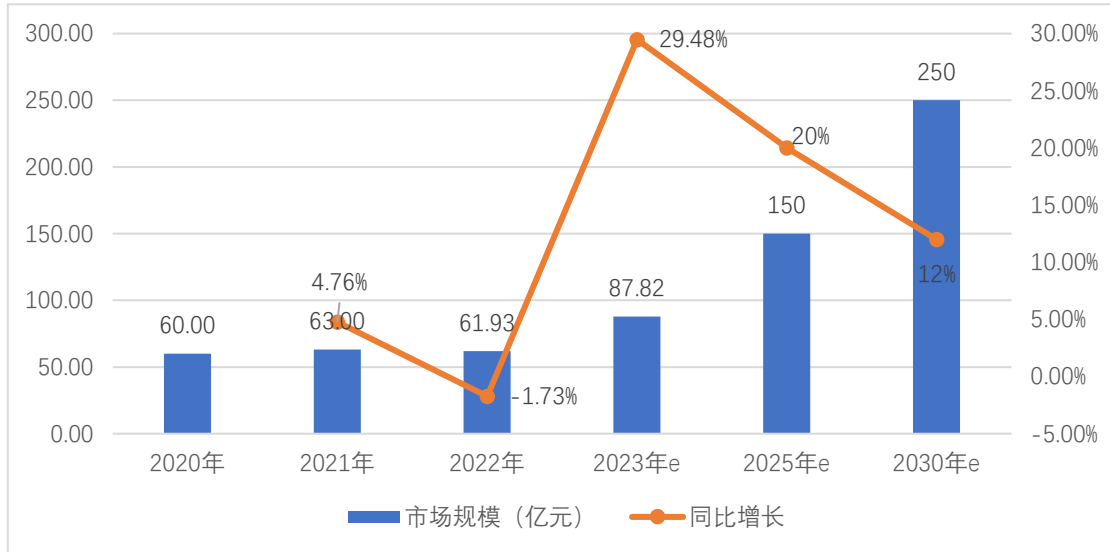


图 1-11 2020~2023 年我国超级电容产业投资规模增长趋势

表 1-5 2022~2023 年 4 月我国超级电容产业投资概况

项目方	项目名称	项目分类	项目时间	项目概况
山东精工电子科技有限公司	高性能超级电容器研发及产业化项目	器件制造	2022.2	项目位于枣庄市高新区，总投资 7 亿元人民币，占地 115 亩，建筑面积 11 万 m ² 。项目新建年产 1 亿只扣式超级电容器和 100 万平干法电极极片生产线。
山西中科美锦炭材料有限公司	电容炭工业化生产线（一期）	材料生产	2022.4	项目位于山西省太原市清徐精细化工循环产业园，共分二期建设。一期项目完成后，将具备年产 500 吨电容炭的生产能力。
锦州凯美能源有限公司	扩产建厂项目	器件制造	2022.5	锦州凯美能源有限公司扩产项目竣工投产，项目包含 30 条生产线，开展双八五超级电容器开发等多项技术研发。扩产后可实现年产值 4 亿元人民币，纳税额 4,100 万元人民币。
肇庆绿宝石电子科技股份有限公司	高端储能电容器件生产基地项目	器件制造	2022.6	肇庆绿宝石电子科技股份有限公司于 2022 年 6 月 30 日在肇庆新区大湾区生态科技产业园举行高端储能电容器件生产基地项目动工仪式。
深圳市寒暑科技新能源有限公司	新能源电池先进电极材料项目	材料生产	2022.7	永平县新能源电池先进电极材料项目位于永平县博南工业（物流）园区，项目用地面积约 100 亩，总投资 2.2 亿元，将建设年产 1 万吨新能源电池先进电极材料生产线及配套的公用工程等设施，主要生产基于生物质核桃壳的新能源电池、超级电容器电极材料及环保用炭材料。
水地资本集团	氮化硅陶瓷粉体材料和电子级超级炭材料生产基地	材料生产	2022.9	兰考县政府与水地资本集团战略合作，在兰考县投资建设国内首个万吨级氮化硅陶瓷粉体材料和电子级超级炭材料生产基地，此次合作项目的签约落地将为兰考县经济发展注入新动力。
张家港国泰超威新能源有限公司	锂电池/超级电容器电解质新材料项目	材料生产	2022.12	超威新能年产 4000 吨锂电池/超级电容器电解质新材料项目正式开工。拟投资 6 亿元人民币建设 4000 吨/年新能源材料项目，用地面积达 100 亩。
天津市裕丰碳素股份有限公司	化工及新材料基地项目	材料生产	2023.2	项目在南港工业区开工建设。该项目总投资约 2.9 亿元，预计 2024 年上半年试运行，达产后年产值约 4 亿元。其生产的新型碳素材料将应用于光伏、环保、新型复合材料、锂电池负极材料及超级电

容器等新兴产业。项目建成后，将拥有 1000 吨碳纤维针刺毡和 5000 吨锂（钠）离子电池硬碳负极材料的自主生产能力。

上海奥威开发有限公司	奥威超级电容器研制改扩建	器件制造	2023.2	2023 年 2 月 1 日，上海市浦东新区举行“2023 年重大科技产业及配套项目首轮集中签约暨开工仪式”，“奥威超级电容器研制改扩建”项目作为本次入选的 146 个重大科技产业及配套项目之一。
沧州渤海新区黄骅市临港经济技术开发区	锂离子超级电容器电解液中试项目	材料试验	2023.2	深化与京津全面融合协同，全速推进锂离子超级电容器电解液等 6 个中试项目
今朝时代(青岛)新能源科技有限公司	今朝时代超级电容器生产基地	器件制造	2023.3	莱西市姜山湿地总部港储能和高端装备制造产业园项目投资总额 30 亿元，规划建筑面积 34 万平方米，项目拟于 2023 年 3 月开工建设，预计 2025 年 12 月竣工投产。
华能罗源发电公司	大容量 5MW 超级电容器储能系统	系统集成	2023.4	4 月 17 日，世界最大容量 5MW 超级电容储能系统在华能罗源发电厂完成电网调度联合调试，系统正式转入商业运行。该项目于 2022 年 9 月底开工。采用“5MW 超级电容+15MW 锂电池”的混合储能模式。
力容新能源技术(天津)有限公司	力容超级电容及干法电池项目	生产线	2023.7	计划投资 50 亿元，分两期建设：一期建设干法电极生产线 1 条、超级电容生产线 4 条、锂离子电容器中试线 1 条、超级电容模组线 1 条、储能系统 PACK 线 1 条，年产超级电容器 2500 万只、干法电极 720 万 m ² ，年产值 18 亿元；二期新上 6GWh 干法储能电池线、4GWh 干法动力电池线、6GWh 电池 PACK 线，年产值 78 亿元。

(资料来源：根据公开资料整理)

（九）我国超级电容器专利概况

随着超级电容器技术和产业的不断发展，我国超级电容器领域的专利申请量也不断增加。据超级电容产业联盟不完全统计，使用“超级电容器”、“电化学电容器”等作为关键词⁶，共有超过 45001 件专利信息，尤其近 10 年间（2013 年~2023 年 6 月 1 日），超级电容器领域的专利数量增长迅速，专利申请总量达 37637 件，公开总量为 41170 件，授权总量为 22585 件。专利授权数量稳步逐年上升；专利公开数量在 2018 年以后略有波动，稳定在 6000 和 7000 区间；专利申请数在 2018 年左右达到高峰，随后呈下降趋势，说明超级电容器技术在 2018 年以前经历了技术和产业快速成长的阶段，目前已经逐渐走向成熟。由于专利公开和授权存在一定的周期，专利的公开数和授权数相应的高峰存在一定的滞后，2022 年，专利申请与专利授权迎来了一个历史的转折点，我们专利授权数量首次超过了专利申请的数量。从这些专利的技术发展趋势可知，由于超级电容器属于储能器件，大部分专利均属于电化学范畴，材料和制备技术也有部分归属到化学和冶金、物理、纺织和造纸领域；其余涉及到的技术领域多为超级电容器的应用。

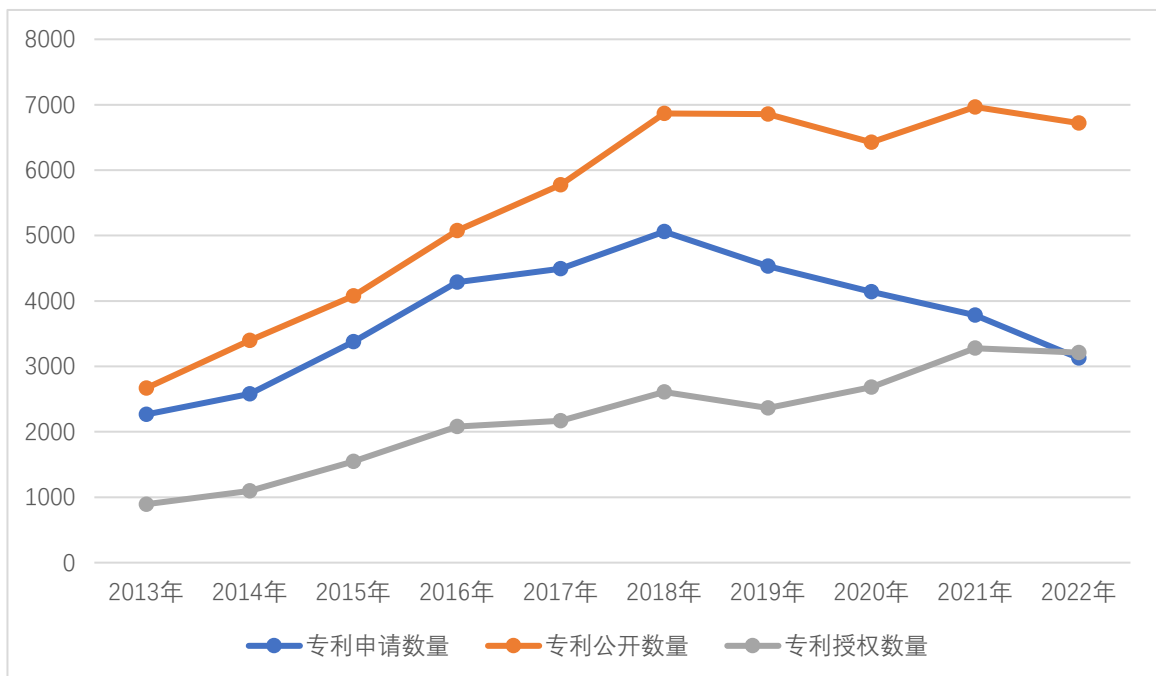


图 1-12 2013~2022 年超级电容器领域专利概况

⁶ 数据来源于国家知识产权局专利检索及分析系统的检索整理

(十) 我国超级电容器标准概况

随着超级电容产业的不断发展，我国超级电容领域标准工作发展较快。经过“十二五”、“十三五”等时期的发展，我国超级电容领域标准已经涵盖超级电容器基础标准、关键材料、器件、相关仪器设备、生产和工艺控制、包装、储存和运输以及综合应用等方面。据不完全统计，截止到 2023 年 6 月，与超级电容领域相关的已发布及在研标准：国家标准 15 项，行业标准 34 项、地方标准 4 项和团体标准 26 项，标准类别从基础标准、产品规范、安全技术规范到测试方法等；涉及方向从基础、材料、器件、应用、仪器设备、报废回收、安全等，较为全面的支撑超级电容产业的发展，超级电容产业标准体系日益完善。

在工业和信息化部电子信息司及中国工程院杨裕生院士的指导下，在中国电子技术标准化研究院与超级电容产业联盟共同搭建完成超级电容领域“十三五”标准体系后，超级电容产业联盟在相关支持单位、专家与企业的共同努力下，共完成工信部相关国家标准、行业标准、团体标准制修订共 40 余项，其中 24 项团体标准中有 8 项被评为工信部“百项团体标准应用示范项目”，为我国超级电容器标准的发展和行业推动做出了贡献。

表 1-6 我国超级电容器相关标准概况

标准类型	标准数量	标准状态	主管部门
国家标准	15 项	已发布 4 项，在研 11 项	工业和信息化部、中国人民解放军总装备部、中国电器工业协会、国家铁路局、中国钢铁工业协会、全国危险化学品管理标委会等
行业标准	34 项	已发布 19 项，在研 15 项	工业和信息化部、国家林业局、全国汽车标委会、中国轻工联合会、中国煤炭工业协会、中国电器工业协会、中国电力企业联合会、中国石油和化学工业联合会等
地方标准	4 项	已发布 4 项	湖南省质量技术监督局、上海市质量技术监督局、广东省质量技术监督局、北京市城市管理委员会
团体标准	26 项	已发布 26 项	中国电子工业标准化技术协会（超级电容产业联盟）、中国智能交通协会、浙江省品牌建设联合会、上海市检验检测认证协会等

在国家标准方面，GB/T 34870.1-2017《超级电容器 第一部分：总则》规定了超级电容器的术语和定义、使用条件、分类、质量要求和试验、安全要求、标志、包装、运输与储存以及环境保护等要求。该项标准的发布，规范了超级电容器领域的基础技术，促进了产业的交流与合作，对技术和产业的可持续发展有重要意义。同时，在上游原材料和下游应用方面，结合实际的应用情况，共有两项国家标准发布，分别是GB/T 37386-2019《超级电容器用活性炭》和GB/T 25121.3-2018《轨道交通 机车车辆设备 电力电子电容器 第3部分：双电层电容》，在各自领域都起到了很好的指导作用。

表 1-7 我国超级电容器领域现行国家标准

标准名称	标准类别	涉及方向	标准号	发布单位	发布时间	实施时间
双电层电化学电容器通用规范	产品规范	基础	GJB 8357-2015	中国人民解放军总装备部	2015年6月19日	2015年10月1日
超级电容器 第1部分：总则	产品规范	基础	GB/T 34870.1-2017	国家质量监督检验检疫局	2017年11月1日	2018年5月1日
轨道交通 机车车辆设备 电力电子电容器 第3部分：双电层电容	产品规范	应用	GB/T 25121.3-2018	国家市场监督管理总局	2018年12月28日	2019年7月1日
超级电容器用活性炭	产品规范	材料	GB/T 37386-2019	国家市场监督管理总局	2019年3月25日	2020年2月1日

同国家标准相比，我国超级电容器领域行业标准更全面化和具体化。在“十三五”超级电容行业标准体系框架下，现行行业标准已经覆盖材料、器件、应用、仪器设备等领域，有效的指导了实际生产和市场开拓。其中，QC/T 839-2010《超级电容电动城市客车供电系统》更是随着我国的超级电容公交车走出了国门。该项标准已经转化为以色列国家标准颁布并实施，成为先进标准海外应用示范的成功案例。

表 1-8 我国超级电容器领域现行行业标准

标准名称	标准类别	涉及方向	标准号	发布单位	发布时间	实施时间
双电层超级电容器专用活性炭	产品规范	材料	LY/T 1617-2004	国家林业局	2004年11月3日	2004年12月1日
超级电容电动城市客车	产品规范	应用	QC/T 838-2010	工业和信息化部	2010年11月10日	2011年3月1日

标准名称	标准类别	涉及方向	标准号	发布单位	发布时间	实施时间
超级电容电动城市客车供电系统	产品规范	应用	QC/T 839-2010	工业和信息化部	2010年 11月22日	2011年 3月1日
超级电容电动城市客车定型试验规程	测试方法	应用	QC/T 925-2013	工业和信息化部	2013年 4月25日	2015年 4月1日
车用超级电容器	产品规范	应用	QC/T 741-2014	工业和信息化部	2014年 10月14日	2015年 4月1日
动力型超级电容器电性能测试方法	测试方法	器件	SJ/T 11582-2016	工业和信息化部	2014年 10月14日	2015年 4月1日
六氟磷酸锂电解液	产品规范	材料	HG/T 4067-2015	工业和信息化部	2015年 7月29日	2016年 1月1日
双电层超级电容器纸	产品规范	材料	QB/T 4900-2015	工业和信息化部	2015年 10月10日	2016年 3月1日
超级电容器用充电器通用规范	产品规范	仪器设备	SJ/T 11626-2016	工业和信息化部	2016年 4月5日	2016年 9月1日
超级电容器分类及型号命名方法	基础标准	器件	SJ/T 11625-2016	工业和信息化部	2016年 4月5日	2016年 9月1日
电能计量设备用超级电容器技术规范	产品规范	应用	DL/T 1652-2016	国家能源局	2016年 12月5日	2017年 5月1日
风力发电机组变桨系统用超级电容器技术规范	产品规范	应用	NB/T 31149-2018	国家能源局	2018年 6月6日	2018年 10月1日
超级电容器用有机电解液规范	产品规范	材料	SJ/T 11732-2018	工业和信息化部	2018年 10月22日	2019年 1月1日
矿用一般型超级电容器电机车	产品规范	应用	MT/T 1194-2020	国家煤矿安全监察局	2020年 7月9日	2021年 1月1日
电力储能用超级电容器	产品规范	器件	DL/T 2080-2020	国家能源局	2020年 10月23日	2021年 2月1日
电力储能用超级电容器试验规程	测试方法	器件	DL/T 2081-2020	国家能源局	2020年 10月23日	2021年 2月1日
节能电梯用双电层超级电容器规范	产品规范	应用	SJ/T 11895-2023	工业和信息化部	2023年 5月22日	2023年 8月1日
船用超级电容器总规范	产品规范	应用	SJ/T 11894-2023	工业和信息化部	2023年 5月22日	2023年 8月1日
膜电容超级电容器总规范	产品规范	器件	SJ/T 11892-2023	工业和信息化部	2023年 5月22日	2023年 8月1日

下面表为我国超级电容器领域现行地方标准，主要面向当地的实际需求，为超级电容器产品应用和项目运营起到了规范和促进作用。

表 1-9 我国超级电容器领域现行地方标准情况

标准名称	标准类别	涉及方向	标准号	发布单位	发布时间	实施时间
电梯用超级电容节能应急 平层装置	产品规范	应用	DB43/T 963-2014	湖南省质量技术监督局	2014年 11月11日	2014年 12月11日
电气设备用双层固定电容器(超级电容器)第1部分:通用规范	产品规范	基础	DB44/T 1498.1-2014	广东省质量技术监督局	2014年 12月9日	2015年 3月9日
超级电容电动城市客车营运技术规范	其他	应用	DB31/T 480-2018	上海市质量技术监督局	2018年 9月18日	2018年 12月1日
电力储能系统建设运行规范	运营规范	电力、热力、燃气及水生产和供应业	DB11/T 1893-2021	北京市城市管理委员会	2021-12-28	2022-04-01

团体标准具有内容多样化、市场化、灵活化、创新化等特点，是国家标准和行业标准的有益补充。团体标准可以填补行业相关领域的标准空白，促进市场向更加健康、有序的方向发展；可以引导市场规范管理，推动标准有效落地；可以贴近行业发展热点，督促行业自律和服务水平的提升；可以释放标准化能量激发创新活力，助力企业协同创新。我国超级电容器领域的团体标准，主要由中国电子工业标准化技术协会和超级电容产业联盟制定。

表 1-10 我国超级电容器领域现行团体标准情况

标准名称	标准类别	涉及方向	标准号	发布单位	发布时间	实施时间
超级电容器用充电器通用规范	产品规范	仪器设备	T/CESA 5009-2015	中国电子工业标准化技术协会	2015年 7月1日	2015年 9月1日
动力型超级电容器电性能测试方法	测试方法	器件	T/CESA 5010-2015	中国电子工业标准化技术协会	2015年 7月1日	2015年 9月1日
轨道交通用双层超级电容器规范	产品规范	器件	T/CESA 5022-2015	中国电子工业标准化技术协会	2015年 10月1日	2015年 12月1日

膜电容超级电容器总规范	产品规范	器件	T/CSCI 001-2018	中国电子工业标准化技术协会	2018年 1月6日	2018年 3月6日
混合型超级电容器总规范	产品规范	器件	T/CSCI 002-2018	中国电子工业标准化技术协会	2018年 1月6日	2018年 3月6日
超级电容器报废处置要求	其他	报废回收	T/CSCI 007-2018	中国电子工业标准化技术协会	2018年 1月6日	2018年 3月6日
路灯用超级电容器总规范	产品规范	应用	T/CESA 1022-2018/ T/CIES 015-208	中国电子工业标准化技术协会，中国照明协会	2018年 1月6日	2018年 1月16日
电池型超级电容器总规范	产品规范	器件	T/CESA 1023-2018	中国电子工业标准化技术协会	2018年 1月6日	2018年 3月6日
超级电容器电极用多孔炭规范	产品规范	材料	T/CESA 1025-2018	中国电子工业标准化技术协会	2018年 1月6日	2018年 3月6日
超级电容器电极用多孔炭测试方法	测试方法	材料	T/CESA 1054-2018	中国电子工业标准化技术协会	2018年 1月6日	2018年 3月6日
超级电容器总规范	产品规范	器件	T/CESA 1021-2018	中国电子工业标准化技术协会	2018年 1月16日	2018年 1月16日
超级电容器安全技术规范 第1部分：通用要求	安全技术规范	安全	T/CESA 1024-2018	中国电子工业标准化技术协会	2018年 1月16日	2018年 1月16日
超级电容器隔膜纸	产品规范	材料	T/ZZB 0316—2018	浙江省品牌建设联合会	2018年 3月1日	2018年 3月1日
高功率型超级电容器	产品规范	器件	T/ZZB 0925—2019	浙江省品牌建设联合会	2019年 1月11日	2019年 1月11日
超级电容器安全技术规范 第2部分：测试方法	测试方法	安全	T/ CESA 1051-2019	中国电子工业标准化技术协会	2019年 1月12日	2019年 1月12日
移动机器人用锂离子电容器总规范	产品规范	应用	T/ CESA 1052-2019	中国电子工业标准化技术协会	2019年 1月12日	2019年 1月12日
超级电容器安全使用指南	安全技术规范	安全	T/ CESA 1053-2019	中国电子工业标准化技术协会	2019年 1月12日	2019年 1月12日
有机体系超级电容器用椰壳基活性炭	产品规范	材料	T/CESA 1055-2019	中国电子工业标准化技术协会	2019年 1月12日	2019年 1月12日
轨道交通车载储能系统测试方法 第2部分：超级电容器储能系统	产品规范	器件	T/CITSA 08.2—2021	中国智能交通协会	2021年 4月19日	2021年 4月19日
轨道交通用超级电容器单体和模组测试规范	测试方法	器件	T/CITSA 08.3—2021	中国智能交通协会	2021年 4月19日	2021年 4月19日

车用超级电容器	产品规范	应用	T/STIC110027-2021	上海市检验检测认证协会	2021年 9月15日	2021年 9月30日
超级电容器用泡沫铝集流体总规范	产品规范	材料	T/CESA 1185-2022	中国电子工业标准化技术协会	2022年 2月23日	2022年 5月23日
超级电容器用微孔铝箔集流体	产品规范	材料	T/CESA 1210-2022	中国电子工业标准化技术协会	2022年 6月30日	2022年 9月30日
超级电容器用微孔铜箔集流体	产品规范	材料	T/CESA 1211-2022	中国电子工业标准化技术协会	2022年 6月30日	2022年 9月30日
智能免维护超级电容直流电源产品规范与测试方法	测试方法	应用	T/TBPS 4009-2022	由中国机电一体化技术应用协会电能系统分会、中国电子节能技术协会电能质量专业委员会、北京电源行业协会联合发布	2022年 9月6日	2022年 9月26日
消费类电子产品用超级电容器总规范	产品规范	应用	T/CESA 1253—2023	中国电子工业标准化技术协会	2023年 3月30日	2023年 6月30日

在材料领域，相关标准更是填补了国内乃至全球标准的空白，具有重要的开创意义。随着技术的发展，活性炭、电解液、隔膜和集流体等材料已经有不同类型的标准覆盖，为材料的生产和应用提供了有力依据。

同时，近年来，随着我国超级电容器在各个领域的广泛应用，应用标准也越发引起重视，2018年发布了国家标准 GB/T 25121.3-2018 即《轨道交通 机车车辆设备 电力电子电容器 第3部分：双电层电容》；2010年至2023年，行业标准上发布了《超级电容电动城市客车》《超级电容电动城市客车供电系统》《超级电容电动城市客车》《电能计量设备用超级电容器技术规范》《矿用一般型超级电容器电机车》《节能电梯用双电层超级电容器规范》《船用超级电容器总规范》《舰电容超级电容器总规范》等相关应用标准，为超级电容器的推广应用提供了有力支撑。

此外，在超级电容器的研制中，电极片是影响和决定其性能的关键因素之一，然而，国际国内对于超级电容器电极片的相关标准技术处于空白之中，亟需完善。中国科学院山西煤炭化学研究所在国产化超级电容器的技术攻关过程中发现了这一盲点，于2018提案，2020年

立项，历时三年，终于由国际电工委员会纳米电工产品与系统技术委员会正式发布了国际标准 IEC/TS 62565-5-2 “Nanomanufacturing – Material Specifications – Part 5-2: Nano-enabled electrodes of electrochemical capacitor – Blank detail specification（纳米制造-材料规范-第 5-2 部分:电化学电容器的纳米电极-空白详细规范）”。该标准详细梳理了电极片影响器件性能的化学、物理、结构和电化学关键控制特性及其相应测试方法，为超级电容器电极片统一术语概念、规范生产流程、建立产品规范提供指导，对于促进相关领域行业技术交流合作与消除贸易壁垒提供标准支持。

2023 年 6 月，由中国科学院山西煤炭化学研究所主持，宁波中车新能源科技有限公司、深圳市标准技术研究院及国家纳米科学中心共同参与制定的国际标准——IEC/TS 62565-5-1: 2023 Nanomanufacturing - Product specifications - Part 5-1: Nanoporous activated carbon - Blank detail specification: Electrochemical capacitors (电化学电容器多孔炭（简称“电容炭”)-空白详细规范)，经国际电工委员会纳米电工产品与系统技术委员会（IEC/TC 113）通过，对外正式发布。这是电容炭领域首个国际材料空白详细规范，全面梳理了材料对器件性能的影响因素，包括电容炭的化学、物理、结构及电化学关键控制特性 23 项，其中电化学关键控制特性除了比容量、倍率性能等一些短期性能指标，还包括了下游用户更加关心的长期稳定性、温度耐受性等指标。

因此，随着由我国科研单位及企业积极发起的国际标准，开启了国际电工委在超级电容的标准化制定工作，提升了我国在超级电容器用电极片、材料领域的国际影响力，具有重大意义。

（十一）超级电容产业助力“双碳”目标实现

随着全球气候变化的加剧，各国纷纷制定了减排目标，以应对日益严重的环境问题。其中，“碳达峰”和“碳中和”成为了许多国家的重要目标。超级电容作为一种高效能量存储技术，具有很大的潜力来助力实现这些目标并为产业的发展提供了新的机遇和空间。

一是超级电容器具有高能量密度和长寿命的特点，使其成为一种理想的能量存储解决方案。相比于传统的化石燃料，超级电容器能够更高效地存储和释放能量，从而减少对传统能源的依赖。超级电容器的长寿命也意味着可以减少能源设备的更换频率，进一步降低了碳排放。因此，超级电容器在能源存储方面的应用，可以显著减少二氧化碳和其他温室气体的排放，为实现“碳达峰”和“碳中和”目标提供了重要的支持。

二是超级电容器在可再生能源领域的应用也能够推动“碳达峰”和“碳中和”目标的实现。可再生能源如太阳能和风能具有间歇性的特点，需要高效的能量存储技术来平衡能源供需。超级电容器作为一种快速响应的能量存储解决方案，能够有效地储存和释放可再生能源，提供稳定的电力供应。通过将超级电容器与可再生能源系统相结合，可以实现对可再生能源的充分利用，减少对传统能源的依赖，从而推动“碳达峰”和“碳中和”目标的实现。

三是超级电容器的广泛应用还可以促进电动车辆的普及，进一步减少碳排放。电动车辆作为一种清洁能源交通工具，可以有效地减少尾气排放和噪音污染。然而，电动车辆的发展仍面临着一些挑战，如续航里程和充电时间等问题。超级电容器作为一种高效的能量存储技术，能够提供快速充电和释放能量的能力，解决了电动车辆的续航里程和充电时间等问题。因此，超级电容器的应用可以推动电动车辆的普及，进一步减少碳排放，为实现“碳达峰”和“碳中和”目标做出贡献。

在能源绿色低碳转型的大背景下，可再生能源和节能技术发展迅速，也为超级电容器在风电、节能、电网辅助服务、新能源汽车、绿色船舶等领域带来新的发展机遇，国家层面上也是政策支持不断。随着“碳达峰”、“碳中和”及绿色低碳发展等工作不断深入，超级电容器在这些应用领域都将迎来快速发展的大好时机，如在电力领域中的发电侧储能电力调频、电网侧储能电能质量调节、用户侧储能功率支持等应用，风电领域中的风电变桨系统备用电源等应用，交通领域中的储能式有轨电车和城市公交车主电源、船舶及岸电系统辅助电源和功率支持、新能源汽车安全冗余电源、轨道交通制动能量回收、汽车电子备用电源等应

用，智能制造领域中的自动导引机器人主电源等应用，智慧城市领域中的智能仪表备用电源等应用，物联网领域中的物联网器件备用电源等应用，为可再生能源与新型电网、节能、智能制造和智慧城市等产业服务提供有力支撑。因此，超级电容产业将在实现“碳达峰”和“碳中和”目标中发挥着越来越重要的作用。

表 1-11 超级电容产业发展机会（不完全统计）

主题	应用领域	细分领域	超级电容器的作用
可再生能源与新型电网	电力	发电侧储能	调频（一次调频、二次调频等）
	电力	电网侧储能	电能质量调节
	电力	用户侧储能	源网荷储一体化中的功率支持
	风电	风电变桨系统	备用电源
	交通	储能式有轨电车	主电源
	交通	城市公交车	主电源
	交通	船舶及岸电系统	辅助电源和功率支持
	交通	乘用车	安全冗余电源等
节能	交通	轨道交通	制动能量回收
	工业	工程车辆和特种设备	能量回收
智能制造和智慧城市	智能制造	自动导引机器人	主电源
	智慧城市	智能仪表	备用电源
	智慧交通	汽车电子	备用电源
	物联网	物联网器件	备用电源

表 1-12 2021~2022 年相关绿色低碳发展政策

日期	发布单位	政策文件	对超级电容产业的影响
2021年 2月	国务院	《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》	在风电、节能等领域为超级电容产业带来发展机会。
2021年 10月	国务院	《2030年前碳达峰行动方案》	促进超级电容器及关键材料的技术发展。
2021年 10月	国家发展改革委、国家能源局等	《“十四五”可再生能源发展规划》	促进超级电容器在调频等调节服务方面的应用。
2021年 11月	工信部、中国人民银行等	《关于加强产融合作推动工业绿色发展的指导意见》	促进超级电容器及关键材料的产业发展和促进超级电容器在新能源汽车、绿色船舶、高效储能等领域的应用。
2022年 1月	国家发展改革委、国家能源局	《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》	新能源电力的发展为超级电容产业带来发展机会。
2022年 3月	国家发展改革委、国家能源局	《“十四五”现代能源体系规划》	新能源电力和电网侧储能的发展为超级电容产业带来发展机会。
2022年 3月	国家发展改革委、生态环境部等	《关于推进共建“一带一路”绿色发展的意见》	促进超级电容技术的发展及支持超级电容企业拓展国外市场，提升我国超级电容标准的影响力。
2022年 3月	国家能源局	《2022年能源工作指导意见》	新能源电力的发展为超级电容产业带来发展机会。
2022年 5月	中共中央办公厅、国务院办公厅	《乡村建设行动实施方案》	乡村清洁能源建设工程为配套产业带来新机遇。
2022年 5月	国家发展改革委、国家能源局	《关于促进新时代新能源高质量发展实施方案》	完善调频调峰的市场机制，促进新技术研发和上游材料产业的发展，提升我国超级电容标准的影响力。
2022年 5月	财政部	《财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见》	多渠道加大资金、税收等的支持力度，推动储能、新材料的发展。

（十二）我国超级电容产业存在的问题

1. 行业较为年轻，规模尚未成熟

我国超级电容器行业的起步较晚，第一批制造生产超级电容器的企业基本成立于九十年代，真正的大规模商业化制造及应用只有二三十年的历史。虽然我国超级电容器行业的几家头部企业通过自身努力后来者居上，占领大部分中国市场并实现出口创汇，但是超级电容器行业的整体规模还是较小，无法跟锂离子电池行业相比。行业内真正专门研发制造超级电容

器的公司多为科技型中小企业，公司规模无法同大型企业相比。

2.技术壁垒、生产工艺、产量造成成本较高

一是技术壁垒。超级电容器目前存在价格较高的问题，这与所使用的原材料有较大的关系。由于我国超级电容器用电极材料与隔膜，因技术壁垒较高且长期依赖进口，如电极材料中用量最大的超级电容炭，70%~80%依赖进口；隔膜也仍以进口为主，其中纤维素基隔膜占比达到85%以上，主要从美国、日本等国进口，因此造成我国超级电容器的相关材料生产成本较高。元力股份、北海星石、凯恩股份等本土厂商正大力推动电极、隔膜材料国产化，在原材料国产替代进度加快趋势下，超级电容材料成本下降将成为必然趋势。

二是生产工艺。超级电容器的生产工艺也会直接影响着它的价格，不同的工艺生产出来的产品会存在一定差异，其不同的质量和性能，也会直接影响其价格。但随着生产工艺水平的不断提升，生产成本及价格将越来越趋合理化。

三是产量不足。由于上游原材料、隔膜长期依赖进口，高昂的价格直接影响生产产量不足，限制了国内生产成本的降低。

3.超级电容器材料长期依赖进口，国产替代难

活性炭、隔膜、铝箔等主要原材料，之前长期被国外生产企业垄断，没有实现国产化。国内相应原料性能及质量尚未达到国外水平，超级电容器企业苦于没有低价优质的原材料供给，只能进口高价的国外材料。

此外，超级电容器的生产技术难度较高，所涉及到材料、隔膜、集流体、电解液、辅助材料、模组以及制备技术等环节较多，生产工艺要求高且较为复杂，制造难度也相对较大，目前在批次稳定性、一致性、可靠性等方面仍然存在不足，造成国产替代成本高、应用性不强等问题。近些年来，国内一直在加大超级电容产业的研发投入，技术越来越成熟，并全实现了产业化，使得产量规模稳步提升，可一定程度上满足国内部分市场需求，国产替代进度加速。

我国超级电容器活性碳起步晚，技术相对不成熟，主要是产品指标稳定性差、内阻偏高、金属等杂质含量大、产气量偏高、成本高等问题难以产业化。目前国内高端的超级电容器用活性炭完全被日本和韩国等垄断，导致生产成本低，国产替代难，严重制约行业的发展，但随着国内超级电容器应用领域和需求市场不断扩大，国内超级电容器用活性炭企业产

能不断扩张，生产技术也逐步成熟，我国超级电容器用活性炭产业国产化进程正在进一步加快。

4.应用领域受限，项目投入周期较长

当前，由于下游客户对超级电容器的认识不足以及需求不明确，对市场扩大应用产生了一定影响，致使超级电容器的应用领域相对较狭窄，主要应用在一些高功率应用中，如汽车动力系统、风力发电机组、储能系统等领域，应用范围有待进一步拓展。

我国超级电容器主要作为辅助动力源应用及储能应用，而作为主动力源应用较少，加之受限于超级电容器项目投入周期较长，总体市场规模还不是很大，且原材料长期依赖进口，导致我国本土企业在收入规模上体量仍然较小，不利于生产规模的扩大，应用有限。

5.整体发展水平不均衡，产业链协同不强

当前，我国超级电容器产业已基本形成较为完整的产业链，但产业链的各类企业发展水平并不均衡，区域发展水平也存在较大差异。国内超级电容器行业产能前几名的企业基本位于华东、东北等地区，产品类型各有侧重。而上游材料企业多分布于广东、福建等省份，无法形成有效的地区集群化优势、未能更好的促进产业协同。下游应用市场的开拓程度还不充分，目前只能依靠超级电容器生产企业自身去介绍超级电容器的原理、推广超级电容器的应用，许多客户不了解超级电容器，很多潜在的市场领域尚未被发掘。

超级电容器可以作为超大功率电源、高可靠后备电源、启动及能量回收电源等，有希望用在特殊军工、芯片制造、新能源汽车等重要领域。但是相关领域内的企业和专家对超级电容器的认知程度不高甚至并不知道超级电容器这种新型器件，导致许多企业的设计方案乃至政府部门的政策制定有时并未涉及超级电容器这一最适合的储能器件。

6.行业资本关注少，投融资支持力度不大

纵观 2021~2023 年（截至 2023 年 5 月）全球超级电容产业的投融资活动，大部分企业的经营保持稳定，海外企业投融资项目较少。不完全统计，从 2022 年至 2023 年 5 月，我国超级电容产业具有代表性的新增投资项目仅为 10 余个，但其中大部分资金由股东或非专业投资机构进行投入，在专业投资领域目前超级电容器行业所获得的投资数额并不乐观，近期受固态电池、氢燃料电池等热点的影响，已经开始有专业投资机构把目光看向了超级电容器行业。

7.加强产学研联系，加快成果转化

目前超级电容器的研究也是一大热门课题，许多大专院校和科研院所都在积极研究新型材料以提高超级电容器的性能水平。但研究单位与生产企业的对接联系仍需加强，高校和等科研院所的技术研究方向与企业的现实技术需求往往也有一定的偏离。因此应更加重视产学研联系，加快研究成果转化为产业化的超级电容器产品，开拓新的市场领域。

8.政策力度及长效性不足，产业基金配套缺乏

“十一五”到“十四五”期间，各部委相继出台多项政策以在技术创新、应用拓展、产业培育等方面支持超级电容产业发展。其中，超级电容作为新型储能核心技术，在国家能源局 2022 年 1 月发布的《“十四五”新型储能发展实施方案》中，被作为“十四五”新型储能核心技术装备攻关重点方向列示，政策同时要求积极推动各新型储能示范区项目建设。但是各地在产业政策及奖补方面力度仍然不足，特别是产业基金还没能形成套配支撑，不能满足企业生产及技术提升需求。各地更多是在传统储能方面的支持，而在新型储能特别是超级电容系统的发展上力度明显不足，长效性也不足。

9.知识产权布局薄弱，技术标准缺乏国际话语权

大量材料制备方面的国内专利，其申请主体是高校和研究机构，国内企业在电极材料、器件单体和系统等方面的专利布局较为薄弱，尤其是 PCT 国际专利较少，国内产品“走出去”时会遇到专利壁垒。国内科研机构和企业较少参与国际技术标准的制订，缺少国际话语权。目前，我国在超级电容器管理系统和芯片方面的研究、应用和开发相对滞后和薄弱。与国外相比，我国在超级电容器管理系统的设计、控制算法和性能优化等方面和在超级电容器芯片的制造工艺、封装技术和性能优化等方面还存在一定的差距，缺乏技术标准和话语权。

二、我国超级电容产业链各环节关键指标

（一）超级电容器用电极材料

超级电容器是由电极材料、隔膜、电解液、粘结剂、导电剂等组成部分。其中，电极材料是超级电容器中存储电荷的场所，作为超级电容器最重要的组成部分，其性能的好坏直接影响了超级电容器性能的发挥。目前，超级电容器所用的电极材料主要有：活性炭、硬碳、软碳、小粒径石墨、镍钴锰三元、磷酸铁锂、钛酸锂和钛铌氧化物等。

1. 活性炭

活性炭主要是将生物质、石油焦和树脂等碳源通过物理活化或化学活化得到的。活性炭作为双电层电容器的电极材料，主要是在电极/电解液界面通过电子和离子或偶极子的定向排列所产生的双电层电容进行存储电荷，因此，活性炭材料应具有：一是高电导率，尽量减少双电层电容器的内阻，加快电子的传输；二是高比表面积，加大电极材料与电解质的接触有利于双电层电容器存储更多的电荷，使器件的能量密度得到提升；三是高振实密度，有利于减少双电层电容器的体积，提升双电层电容器的体积能量密度；四是合理的孔径分布，有利于电解质的浸润，加快电解液离子的传输，提高双电层电容器的功率密度；五是较低的杂原子含量和灰分，提升双电层电容器的抗自放电性能。其中，活性炭材料的孔隙结构需根据双电层电容器所需要的性能指标而设计，例如高比表面积有利于比质量能量密度，但有时不利于比体积能量密度；高孔隙率有利于比质量功率密度，但有时不利于比体积指标，存在一个最优值。

活性炭材料在超级电容器中的指标要求主要有：碳含量、比表面积、含水量、表面官能团含量、振实密度、金属元素含量、粒径分布、比电容量和灰分等，具体指标如表 2-1：

表 2-1 超级电容器用活性炭材料的一般性指标要求⁷

指标	数值
碳含量 (%)	>99.5
比表面积(m ² /g)	≥1300
含水量 (%)	<0.50

⁷ 部分数据参照 T/CESA 1055-2019《有机体系超级电容器用椰壳基活性炭》标准中有机体系超级电容器活性炭的技术要求

表面官能团含量(meq/g)	<0.50
振实密度(g/cm ³)	0.35~0.45
粒径分布 (μm, D50)	4~7
比电容量 (F/g)	≥100
灰分(%)	≤0.5

超级电容器用活性炭的国外主要生产厂家有：日本可乐丽株式会社、斯里兰卡 Haycarb PLC 等。国内的活性炭制造厂商主要有：山东海科化工集团有限公司、福建元力活性炭股份有限公司、浙江阿佩克斯能源科技有限公司、河南省大潮炭能科技有限公司、深圳市贝特瑞新能源材料股份有限公司、上海合达炭素有限公司、朝阳立源新能源有限公司、北海星石碳材料科技有限公司、上杭百泓新材料科技有限公司、中钢集团马鞍山矿院新材料科技有限公司、济南圣泉集团股份有限公司、石河子开发区天富科技有限责任公司等。

2022年，我国超级电容器生产用活性炭电极材料超过1000吨，同比增长36.59%；同年，我国超级电容器用活性炭电极材料的产量达到650吨，同比增长47.69%，但相较于需求量，仍存在较大的差距，每年仍需大量进口，对外依赖度较高。

表 2-2 2020~2030 年超级电容器用活性炭材料国内需求量和产量的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
活性炭需求量（吨）	600	650	1025	1560	2100	3200
活性炭产量（吨）	320	340	650	780	3800	4500

活性炭电极材料的选用直接影响了超级电容器的性能，随着超级电容器产业的不断进步，2022年我国主流的活性炭电极材料的比表面积可达2000m²/g左右，质量比电容量为145F/g。

表 2-3 2020~2030 年活性炭材料性能的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
比表面积（m ² /g）	1800	1800	2000	2000	2200	2500
质量比电容量（F/g）	130	140	145	150	155	160

近年来，随着越来越多厂商对活性炭产业投入的增加，制备活性炭的工艺不断优化，活性炭材料的销售价格波动较为平缓，但总体呈下降趋势。

表 2-4 2020~2030 年活性炭材料价格的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
价格 (万元/吨)	20	20	20	20	15	10

随着活性炭生产工艺的进步，活性炭的电耗较为平稳，保持在 4kWh/kg 的水平，预计到 2025 年可以降到 3.5kWh/kg，2030 年可以降到 3kWh/kg。

表 2-5 2022~2030 年活性炭材料电耗的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
电耗量 (kWh/kg)	4	4	4	4	3.5	3

2. 硬碳

硬碳是在 2500℃ 的高温下也难以石墨化的碳材料，其来源主要有生物质基材料和树脂基材料等。在大规模商业化方面，硬碳具有廉价易得、性能稳定的优势。在锂离子混合型超级电容器和电池型超级电容器中，硬碳既可以直接用作负极材料，也可以与石墨复合作为嵌锂的载体。硬碳的生产厂家主要有：可乐丽株式会社、吴羽化学、贝特瑞新材料集团股份有限公司、上海杉杉科技有限公司、上海璞泰来新能源科技股份有限公司、中国科学院山西煤炭化学研究所、国科炭美新材料（湖州）有限公司、四川佰思格新能源有限公司、湖南中科星城石墨有限公司、湖南中科电气股份有限公司、江西紫宸科技有限公司、福建元力活性炭股份有限公司、济南圣泉集团股份有限公司等。目前，国内硬碳材料主要以进口为主，进口硬碳价格为 20 万元/吨，国产硬碳价格普遍在 10 万元/吨或更低。

表 2-6 2020~2030 年超级电容器用硬碳材料需求量的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
硬碳需求量 (吨)	20	20	20	30	50	500

表 2-7 2020~2030 年硬碳材料价格的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
价格 (万元/吨)	18	18	18	12	8	5

日本在硬碳产业应用方面起步早，且长期处于垄断地位。国内公司的硬碳产品比容量已经基本对标日本可乐丽株式会社进口产品，在首次库仑效率、振实密度、循环寿命等性能方面还有一定差距，但国内公司产品胜在售价低，基本都在日本进口产品的一半或以下。

表 2-8 2020~2030 年硬碳产品性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
粒径 (μm , D_{50})	5	5	1	1	1	1
振实密度 (g/cm^3)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
比容量 (mAh/g , 0.2C)	380	380	405	405	410	415
首次库仑效率(%)	88	88	90	90	92	92
充电倍率性能 (脱锂) (%,5C/0.2C)	92	92	95	95	98	98
放电倍率性能 (嵌锂) (%,5C/0.2C)	85	85	88	88	90	90

表 2-9 2022~2030 年硬碳产品电耗的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
硬碳(kWh/kg)	2	2	2	2	2	1.8

3.软碳

软碳是易石墨化碳，是指在 2000℃ 以上可以石墨化的无定形碳，具有结晶度低、晶粒尺寸小、晶面间距较大、与电解液相容性好等特性，常见的软碳原料主要有石油焦、针状焦等。此外，软碳应用于锂离子混合型超级电容器和电池型超级电容器的负极材料时，具有快速充放电、良好的低温性能和循环性能及成本优势，但其首次库仑效率较低，压实密度低，相对于石墨类负极材料器件的能量密度偏低。2022 年，国内软碳材料的年需求量为 20 吨，软碳价格为 10 万元/吨。2022 年，软碳材料的电耗约为 1.8 kWh/kg。生产厂家主要有：上海杉杉科技有限公司、山东海科化工集团有限公司等。

表 2-10 2020~2030 年超级电容器用软碳材料需求量的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
软碳需求量 (吨)	20	20	20	30	50	500

表 2-11 2020~2030 年软碳材料价格的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
价格 (万元/吨)	15	12	10	8	6	3

表 2-12 2020~2030 年软碳产品性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
振实密度 (g/cm ³)	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0
粒径 (μm, D ₅₀)	10	10	8	8	5	5
比容量 (mAh/g, 0.2C)	240	260	280	280	330	360
首次库仑效率 (%)	80	82	84	87	89	91
放电倍率性能 (嵌锂) (%,5C/0.2C)	52	52	53	53	60	65
充电倍率性能 (脱锂) (%,5C/0.2C)	90	92	94	95	96	97

表 2-13 2022~2030 年软碳材料电耗的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
电耗量 (kWh /kg)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.5

4.小粒径石墨

小粒径石墨因晶粒细小且结构致密均匀，具有粗颗粒石墨无法比拟的优点，如机械强度高、气孔率和孔径分布低、表面精细加工性能优良等特点，有助于增加极片的振实密度，提高器件的体积能量密度。但是，小粒径石墨的加入，能够与电解液接触的比表面积越大，首次充放电过程中形成的 SEI 膜所消耗的锂离子就越多，不可逆容量损失也就越大。2022 年，小粒径石墨的需求量为 10 吨，价格为 10 万元/吨。小粒径石墨的生产厂家主要有：日本昭和电工株式会社、贝特瑞新材料集团股份有限公司、上海杉杉科技有限公司、江西紫宸科技有限公司等。

表 2-14 2020~2030 年超级电容器用小粒径石墨需求量的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
小粒径石墨需求量 (吨)	10	10	10	15	25	200

表 2-15 2020~2030 年小粒径石墨价格的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
价格 (万元/吨)	10	10	10	10	8	5

表 2-16 2020~2030 年小粒径石墨产品性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
---------	------	------	------	------	------	------

粒径 (μm , D_{50})	15	15	10	10	8	8
振实密度 (g/cm^3)	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0
比容量 (mAh/g , 0.2C)	350	350	360	360	360	360
首次库仑效率 (%)	96	96	96	96	96	96
放电倍率性能 (嵌锂) (%, 5C/0.2C)	90	90	90	90	92	92
充电倍率性能 (脱锂) (%, 5C/0.2C)	92	92	92	92	95	95

2022 年小粒径石墨的电耗约为 3.2kWh/kg,小粒径石墨的电耗呈平稳下降的趋势。

表 2-17 2022~2030 年小粒径石墨电耗的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
电耗量 (kWh/kg)	4.8	4.8	3.2	3.2	3.2	3.2

5.三元材料

镍钴锰三元材料是当前市场应用最广泛、研究最为热门的几类锂离子电池正极材料之一，其合成方法主要有高温固相法、溶剂热法、溶胶-凝胶法和共沉淀法等，目前较适用的方法是共沉淀法。该方法可解决高温固相法中材料难以按化学计量比达到分子级、原子级混合的难题，且操作较简单，制备的产品形貌均匀、振实密度高。但在实际应用中，三元正极材料存在因阳离子混排、岩盐相生成与氧损失、表面残余锂、电极/电解液界面副反应、二次颗粒微裂纹等问题，这会使其循环稳定性与倍率性能较差。目前，主流的镍钴锰三元电极材料有 NCM111，NCM523，NCM622，NCM811，从三元材料的产品结构来看，2020 年仍以 NCM523 为主，占比超一半，为 53%；其次为 NCM811 和 NCM622，分别占比 22%和 20%；NCM111 占比 4%。2020 年，我国三元材料产量为 23.6 万吨，到 2022 年我国三元材料产量增至 65.6 万吨，同年全球三元材料产量为 99.3 万吨。国内三元材料主要的生产企业有：宁波容百新能源科技股份有限公司、北京当升材料科技股份有限公司、天津巴莫科技有限责任公司、湖南长远锂科股份有限公司、厦门钨业股份有限公司、贵州振华新材料股份有限公司、贝特瑞新材料集团股份有限公司、巴斯夫杉杉电池材料有限公司、南通瑞翔新材料有限公司、江门市优美科长信新材料有限公司、格林美股份有限公司等。2022 年三元正极材料市场依旧延续高镍化趋势，产品迭代升级不断加速。同时我国正在引领着全球三元正极材料市场的发展和走向。本线路图主要对适用于电池型超级电容器，且技术较为成熟、倍率性能较好的

NCM523 和 NCM111 三元材料进行统计。

表 2-18 2020~2030 年电池型超级电容器对三元材料的需求量和年均价格的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
需求量 (吨)	85	65	127	300	550	1880
年均价格 (万元/吨)	20	25	38	28	30	30

表 2-19 2020~2030 年 NCM523 材料性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
粒径 (μm , D_{50})	4.1	3.9	3.9	3.8	3.7	3.7
振实密度 (g/cm^3)	1.9	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0
比容量 (mAh/g , 0.2C)	170	190	195	200	207	207
首次库仑效率 (%)	87	88	88.5	90	91	92.5
放电倍率性能 (嵌锂) (%, 5C/0.2C)	89	90	91.5	92	93.8	95
充电倍率性能 (脱锂) (% 5C/0.2C)	87	87.5	89	90	91.6	94

2022 年超级电容器用三元材料的电耗约为 0.58kWh/kg，超级电容器用三元材料的电耗将呈下降的趋势。

表 2-20 2020~2030 年超级电容器用三元材料电耗的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
电耗量 (kWh/kg)	0.76	0.71	0.58	0.41	0.40	0.39

6. 磷酸铁锂

磷酸铁锂是典型的橄榄石结构，其理论储锂容量为 170mAh/g，实际容量已高达 150mAh/g。磷酸铁锂具有较长的使用寿命和较低的成本，是锂离子电池中应用最为广泛的电极材料之一，而较低的电位和较差的低温活性限制了其进一步应用。将活性炭材料与磷酸铁锂复合应用于电池型超级电容器，可以有效避免正极区域的锂盐耗尽，有助于电极从靠近活性材料颗粒的电解质中获得锂盐，因此能够改善电极的倍率性能和循环寿命，同时，在充放电的过程中活性炭可以通过其快速响应来缓冲大电流对磷酸铁锂的冲击，减缓磷酸铁锂的衰退速率，在两个组分之间建立快速的电子转移通道，协同双电层充电过程和法拉第反应，从

而产生优异的倍率性能和循环性能。本线路图主要对应用于电池型超级电容器的高倍率型磷酸铁锂进行统计，超级电容器用高倍率磷酸铁锂需求量从 2020 年的 13.6 吨增长至 2022 年的 77 吨，年均价格从 3.7 万元/吨，增长至 16.9 万元/吨。国内磷酸铁锂的厂商主要有：湖南裕能新能源电池材料股份有限公司、深圳市德方纳米科技股份有限公司、常州锂源新能源科技有限公司、贝特瑞新材料集团股份有限公司、重庆特瑞电池材料股份有限公司、青海泰丰先行锂能科技有限公司等。

表 2-21 2020~2030 年超级电容器用高倍率型磷酸铁锂年均价格和需求量的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
需求量 (吨)	13.6	44	77	122	265	350
年均价格 (万元/吨)	3.7	9.79	16.9	12	8	6

表 2-22 2020~2030 年超级电容器用高倍率型磷酸铁锂性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
粒径 (μm , D_{50})	1.2	1	0.9	0.6	0.5	0.45
振实密度 (g/cm^3)	0.78	0.85	0.9	1.2	1.4	1.5
质量比容量 (mAh/g , 0.2C)	105	130	142	145	150	165
充电倍率性能 ($\%$, $5\text{C}/0.2\text{C}$)	78	82	85	87	90	95
放电倍率性能 ($\%$, $5\text{C}/0.2\text{C}$)	78	82	85	87	90	95

从 2020 年到 2022 年高倍率型磷酸铁锂材料的电耗约为 $3.3\text{kWh}/\text{kg}$ ，变化趋势较为平稳，未来随着技术的进步，磷酸铁锂材料的电耗将呈下降的趋势。

表 2-23 2020~2030 年高倍率型磷酸铁锂电耗的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
电耗量 (kWh/kg)	3.3	3.3	3.3	3.3	1.3	1.3

7. 钛酸锂

钛酸锂具有高功率密度、快速充放电速率、长循环寿命和优异的安全性能等优点。钛酸锂相较于石墨拥有更高的工作电位，在电池负极处不会生成钝化膜影响电池内部反应且同时能有效避免锂枝晶的生成，在锂离子电池电容量中，一般采用钛酸锂作为负极材料。目前，对钛酸锂材料研究及产业化方面比较成熟的有格力钛新能源股份有限公司、安徽科达铂锐能源

科技有限公司、天津普兰纳米科技有限公司等。在钛酸锂电池生产方面有：格力钛新能源股份有限公司、天津普兰能源科技有限公司、天津力神超电科技有限公司、湖州永兴锂电池技术有限公司、深圳博磊达新能源科技有限公司、中信国安盟固利电源技术有限公司等几家具备一定规模的钛酸锂电池生产厂家。目前，超级电容器用钛酸锂的年需求量从 2020 年的 18 吨增长到 2022 年的 25 吨，价格由 15 万元/吨涨到了 30 万元/吨。

表 2-24 2020~2030 年超级电容器用钛酸锂需求量和年均价格的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
需求量 (吨)	18	20	25	30	35	40
年均价格 (万元/吨)	15	18	30	20	15	10

表 2-25 2020~2030 年超级电容器用钛酸锂性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
粒径 (μm , D_{50})	10	10	10	10	8	8
振实密度 (g/cm^3)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
质量比容量 (mAh/g , 0.2C)	168	168	168	168	170	170
放电倍率性能 (嵌锂) (%, 5C/0.2C)	93	93	93	95	95	95
充电倍率性能 (脱锂) (%, 5C/0.2C)	96	96	96	96	98	98

2022 年钛酸锂材料的电耗约为 11.2kWh/kg，在工艺没有太大变化的情况下，钛酸锂材料的电耗相对比较平稳。

表 2-26 2020~2030 年超级电容器用钛酸锂电耗的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
电耗量 (kWh/kg)	11.2	11.2	11.2	11.2	10	8

8. 钛铌氧化物

钛铌氧化物型 (TiNb_2O_7) 负极材料具有高比容量，高安全性，持久的循环稳定性，容易的荷电状态评估和显著的赝电容特性，因此受到了广泛的关注。然而，这类材料的电子导电性不佳、倍率性能差，目前其研究和应用还处于起步阶段，其锂化机理和在锂离子混合型超

级电容器应用方面的研究都亟待深入推进。针对于钛铌氧化物型负极材料的研究主要集中于氧缺陷和碳包覆改性、分级结构材料制备等方面，对于锂离子混合型超级电容器，还要考虑预嵌锂工艺问题。另外，钛铌氧化物的胀气现象也不可忽视。主要生产厂家有：日本东芝、双日株式会社及巴西矿冶公司（CBMM）等。

表 2-27 2020~2030 年钛铌氧化物性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
粒径 (μm , D_{50})	4.8	4.8	4.6	4.6	4.2	4.0
振实密度 (g/cm^3)	1.15	1.15	1.20	1.20	1.25	1.28
质量比容量 (mAh/g , 0.2C)	387.6	387.6	390.2	390.2	394.0	400.0
放电倍率性能 (嵌锂) (%, $5\text{C}/0.2\text{C}$)	90	90	93	93	95	97
充电倍率性能 (脱锂) (%, $5\text{C}/0.2\text{C}$)	93	93	94	94	95	97

(二) 超级电容器用隔膜

隔膜位于正极和负极之间，起到阻止电子传导和防止两电极内部短路的作用，隔膜的多孔结构还可以为电解液中的阴、阳离子的迁移提供通道，是超级电容器的重要组成部分。超级电容器用隔膜应满足如下要求：一是具有良好的电子绝缘性和离子导电性；二是化学性能稳定好，在常用化学溶剂中不发生显著溶胀和分解，在电池型超级电容器和混合型电容器中不与金属锂发生反应，在超级电容器工作电压区间不发生氧化还原反应，不发生老化和降解，在加速老化实验后隔膜保持完整和柔韧性，整体不发生脆化和粉化；三是具有一定的机械强度和热稳定性，具有较高的熔点或熔融温度，在高温下的收缩比例较小。此外，隔膜的孔径分布、孔隙率、空气透过性、电解液的吸液能力和保液能力均应与超级电容器的性能相适应。

超级电容器隔膜主要可分为纤维素隔膜和纳米纤维复合隔膜（纤维素-化纤复合隔膜），电池型超级电容器和混合型电容器还可采用聚合物微孔隔膜。2022 年超级电容器隔膜市场仍以进口产品为主，在我国超级电容器隔膜市场规模中，纤维素基隔膜及纳米纤维复合隔膜占比超过 90%。

表 2-28 2022~2030 年各种隔膜市场占比变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
名称						

纤维素隔膜 (%)	56.66	58.55	58.95	59.81	62	65
纳米纤维复合隔膜 (%)	29.80	30.51	31.13	31.39	32	34
聚合物微孔隔膜 (%)	13.54	10.93	9.92	8.80	6	1

从碳达峰和碳中和的角度看，需用电耗指标来称量生产技术的节能效果。电耗是指工厂生产单位面积的隔膜所耗用的全部电力（不包括办公区域及生活用电）。2022年，纤维素隔膜的电耗约 200Wh/m²，纳米纤维复合隔膜的电耗约 200Wh/m²，聚合物微孔隔膜的电耗约 130Wh/m²。

表 2-29 2022~2030 年各种隔膜电耗的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
纤维素隔膜 Wh/m ²	330	315	200	180	100	60
纳米纤维复合隔膜 Wh/m ²	420	400	200	130	115	80
聚合物微孔隔膜 Wh/m ²	130	130	130	85	55	40

1. 纤维素隔膜

在超级电容器隔膜领域，纤维素隔膜是用量最大的隔膜材料。该类材料的产能主要依赖少数几家日本企业，如 Nippon Kodoshi Corporation（日本高度纸工业株式会社，简称 NKK）和 Mitsubishi Paper Mills Limited（三菱制纸株式会社，简称三菱制纸）等，国内隔膜企业有浙江凯恩特种材料股份有限公司、宁波柔创纳米科技有限公司、中轻特种纤维材料有限公司等。日本 NKK 生产的纤维素隔膜占据全球 90% 以上的纤维素隔膜生产销售份额。2022 年，在我国制造的超级电容器用纤维素隔膜需求量超过 2000 万 m²，达到 2125 万 m²，同比增长 23.76%。

表 2-30 2020~2030 年纤维素隔膜国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
需求量 (万 m ²)	1350	1620	2125	2250	3150	4800

纤维素隔膜的厚度可以影响超级电容器的自放电和隔膜对电解液的吸液量，主流纤维素隔膜产品的厚度为 30 μm 左右。随着超级电容器能量密度的快速提升，纤维素隔膜的厚度有不断减薄的趋势。

表 2-31 2020~2030 年纤维素隔膜厚度变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
厚度 (μm)	30	30	30	25	20	20

随着纤维素隔膜市场的不断扩大，当前纤维素隔膜的价格也在不断降低，预计 2023 年纤维素隔膜的价格可降至 5 元/m²。

表 2-32 2020~2030 年纤维素隔膜价格变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
价格 (元/m ²)	7	6.5	6	5	4	2

2. 纳米纤维复合隔膜

纳米纤维复合隔膜主要是由微纳米天然和人造纤维复合制造的隔膜，具有良好的透气性、孔隙率和电解液亲和性，可明显改善隔膜材料的浸润性，提高隔膜的耐热性和离子传导性能，主要应用于双电层超级电容器和电池型超级电容器领域。

表 2-33 2020~2030 年超级电容器用纳米纤维复合隔膜国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
需求量 (万 m ²)	75	90	125	240	450	800

纳米纤维复合隔膜是一种新型的隔膜材料，其厚度与传统纤维素隔膜的厚度相当。当前纳米纤维复合隔膜产品的厚度为 20-40μm。随着双电层超级电容器和电池型超级电容器能量密度的快速提升，纳米纤维复合隔膜的厚度也有不断减薄的趋势。

表 2-34 2020~2030 年纳米纤维复合隔膜厚度变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
厚度 (μm)	30	30	30	25	20	15

国内相关纳米纤维隔膜的代表性，如公司宁波柔创纳米科技有限公司所开发的纳米纤维隔膜，已经达到日本长野工业株式会社同类产品水平，为多家国内超级电容龙头生产企业实现了国产替代，到 2023 年底隔膜产能将达到 3300 万平方米，比日本同类产品便宜 30% 以上。

表 2-35 2020~2030 年纳米纤维复合隔膜价格变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
价格 (元/m ²)	7	7	6	5.5	4	2

3. 聚合物微孔隔膜

聚合物微孔隔膜主要由聚丙烯和聚乙烯等聚烯烃通过干法拉伸和湿法流延工艺制备而成，还可在微孔隔膜表面涂覆无机陶瓷涂层和/或有机涂层，以改善隔膜的浸润性，提高隔膜的热稳定性和机械强度，并提高单体的热传导性能进而提高锂离子电容器的安全性。聚酰亚胺微孔隔膜具有耐高温、低热收缩率、高阻燃和有机电解液浸润性好等优点，具有较好的应用潜力。

表 2-36 2020~2030 年聚合物微孔隔膜国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
需求量 (万 m ²)	75	90	250	510	900	2400

聚合物微孔隔膜在锂离子电池行业应用较为广泛，与纤维素隔膜相比其厚度更薄，拉伸强度更好，但是不耐高温，对于电解液的浸润性差。当前，随着国内聚合物微孔隔膜制造工艺和成套自动化装备的不断发展，聚合物微孔隔膜产品的厚度已从 16 μ m 逐渐降至 5 μ m。

表 2-37 2020~2030 年聚合物微孔隔膜厚度变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
厚度 (μ m)	16	12	8	5	3	3

随着锂离子电池行业近年来产业规模的迅速扩大，国内聚合物微孔隔膜的产能也不断扩大，隔膜的价格也在不断降低。

表 2-38 2020~2030 年聚合物微孔隔膜（未涂覆、干法）价格变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
价格 (元/m ²)	1	0.8	0.8	0.6	0.4	0.2

（三）超级电容器用集流体

集流体指在超级电容器中起到汇集电流作用的元件，一般采用金属箔。集流体是电极材料的载体，在超级电容器中，集流体与活性物质充分接触，起到集电流和支撑的作用。集流体的选择主要取决于导电性、耐腐蚀性、抗过载能力、加工性、与电极浆料的浸润性和粘附性、密度、成本等因素。

目前在商业化的双电层超级电容器中，通常使用铝箔作为集流体，包括腐蚀铝箔、光铝箔、涂碳铝箔、微孔铝箔等，随着技术的发展，泡沫铝箔等新型集流体也开始应用。在电池型超级电容器和混合型超级电容器中，正极集流体采用铝箔，负极集流体采用铜箔（含铜光箔、涂碳铜箔和微孔铜箔）。

超级电容器用集流体主要的生产厂家有：日本蓄电器工业株式会社、日本富士新材料、山西沃特海默新材料科技股份有限公司、惠州市冠业新材料科技有限公司、广州纳诺新材料技术有限公司、吴江飞乐天电子材料有限公司等。

1. 铝箔

目前商用的铝箔集流体多采用腐蚀铝箔，一般厚度大于 $20\ \mu\text{m}$ 。腐蚀铝箔是由光箔经过化学和/或电化学腐蚀的表面处理后获得的电子材料，与光箔相比，虽然腐蚀铝箔的导电性和机械强度有所下降，但随着表面粗糙度的提高，集流体与电极材料的粘结性显著增强，界面电阻可显著降低，器件容量和循环寿命提高。

在商业化超级电容器中，铝箔集流体用量最大的是腐蚀铝箔。2022年，我国生产超级电容器所用的集流体主要包括腐蚀铝箔和涂碳铝箔，总用量超过 1500 万 m^2 。其中，腐蚀铝箔应用占比较高。一直以来，性能较为优良的集流体多为进口产品，国产电极箔在板形质量、表面质量、端面质量、几何尺寸、机械性能、异物质的管控、达因值方面还需进一步优化和提高。但随着技术的发展，我国企业开始进入超级电容器用集流体行业，出货量逐年提升。

表 2-39 2022~2030 年超级电容器用铝箔集流体国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
腐蚀铝箔 (万 m ²)	300	500	1000	1500	2500	5000
涂碳铝箔 (万 m ²)	2	5	10	15	20	30
微孔铝箔 (万 m ²)	5	5	5	10	20	50
泡沫铝 (万 m ²)	/	0.1	0.2	0.5	5	50

表 2-40 2022~2030 年超级电容器用铝箔集流体市场占比变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
腐蚀铝箔 (%)	97.7	98	98.1	97.9	98	97.4
涂碳铝箔 (%)	0.6	0.98	1.2	1.2	0.98	0.97
微孔铝箔 (%)	1.6	0.98	0.6	0.8	0.98	1.6
泡沫铝 (%)	/	0.04	0.1	0.1	0.04	0.03

表 2-41 2022~2030 年超级电容器用铝箔集流体价格变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
腐蚀铝箔 (元/m ²)	6.5	6.5	6.2	6	5.8	4.5
涂碳铝箔 (元/m ²)	6	5.2	4.8	3.5	3.5	3.5
微孔铝箔 (元/m ²)	4.6	4.2	3.8	2.8	2.1	1.9
泡沫铝 (元/m ²)	/	50000	5000	1000	300	100

表 2-42 2022~2030 年超级电容器用铝箔集流体电耗变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
腐蚀铝箔 (kWh/m ²)	0.35	0.35	0.35	0.33	0.30	0.25
涂碳铝箔 (kWh/m ²)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
微孔铝箔 (kWh/m ²)	20	17	15	13	10	8
泡沫铝 (kWh/m ²)	/	10	8	6	6	5

超纯、高导电率、高强度、高柔韧性和超薄的集流体是未来的发展趋势。提高材料的纯

度和导电率可显著减少电子传输内阻，改善倍率性能；提高料的强度和柔韧性，可优化制程工艺，有利于提高器件的稳定性和循环寿命；降低材料的厚度，可缩减非活性物质的质量占比，提高能量密度，降低成本。

表 2-43 2022~2030 年超级电容器用光铝箔性能变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
纯度 (%)	99.93	99.93	99.93	99.95	99.95	99.95
电阻率(cm)	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
抗拉强度 (N/mm ²)	160	160	170	170	185	200
延伸率 (%)	3	3	3	3	3	3

表 2-44 2022~2030 年超级电容器用铝箔厚度变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
腐蚀铝箔 (m)	22	22	22	21	20	19
涂碳铝箔 (m)	15	15	12	12	12	12
微孔铝箔 (m)	25	20	15	13	12	12
泡沫铝 (m)	/	1000	300	1500	100	80

集流体的表面改性是有效降低集流体和活性物质之间的接触电阻、提高活性物质利用率的重要技术发展方向。集流体的表面改性主要包括表面涂覆技术、穿孔技术等。

表面涂覆技术指在金属集流体的表面，涂覆一层导电材料（如碳、石墨等），可大幅度提高集流体与活性物质的接触面积，提高集流体与活性物质的粘接强度，降低了电极材料的脱落风险，改善器件的循环性能；降低了器件的内阻，有利于容量的发挥和倍率性能的提升；同时，涂层阻隔了解液对集流体的腐蚀，也会降低内阻，提高循环寿命。

表 2-45 2022~2030 年超级电容器用涂碳铝箔厚度变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
铝箔基体厚度 (m)	15	15	12	12	12	12
涂层厚度 (m)	1	1	1	1	1	1
电阻率 (cm)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5

穿孔技术是指在金属集流体上，通过机械冲孔、激光成孔、电化学成孔、电解成孔等工艺，制备具有一定孔径和孔密度的多孔集流体。此类集流体多应用于锂离子混合型超级电容器，可为锂离子混合型超级电容器的预嵌锂提供锂离子通道，还具有承载电极活性物质，加快电荷转移，减少电化学极化，电流传输等功能。

表 2-46 2022~2030 年超级电容器用微孔铝箔性能变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
铝箔厚度 (m)	25	20	15	13	12	12
孔径 (m)	20	18	12	12	12	12
孔隙率 (%)	26	21	17	14	13	13
电阻率 (cm)	3.993	3.472	3.019	2.817	2.712	2.712

随着技术的发展，泡沫铝等新型集流体也开始应用于超级电容器。泡沫铝集流体具备三维网络状通孔结构，在相同的面积下，与箔带材相比，活性物质与泡沫铝具有更大的接触面积，铝丝处可吸附更多的活性物质，从而达到更快的电子输运响应，发生快速充放电反应；与泡沫铜、泡沫镍相比，泡沫铝集流体的比重、价格和使用寿命具有更明显的优势。

表 2-47 2022~2030 年超级电容器用泡沫铝性能变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
泡沫铝厚度 (m)	/	1000	500	300	100	100
孔径 (m)	/	300	100	50	30	30
孔隙率 (%)	/	85	70	50	50	50
电阻率 (cm)	/	/	/	/	/	/

2.铜箔

铜箔是锂离子混合型超级电容器和电池型超级电容器的负极集流体，具有电导率高、导热性能好、加工性能优异等优点，2022 年超级电容器用铜箔的总需求量为 20 万 m²。

表 2-48 2022~2030 年超级电容器用铜箔集流体国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
光铜箔 (万 m ²)	7.3	10.8	12.8	14	18	30
涂碳铜箔 (万 m ²)	1.4	1.8	2.2	2.7	5.3	16.3
微孔铜箔 (万 m ²)	5	5	5	10	20	50

表 2-49 2022~2030 年超级电容器用铜箔集流体市场占比变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
光铜箔 (%)	53.4%	61.6%	64.1%	52.5%	41.5%	31.2%
涂碳铜箔 (%)	10.2%	9.9%	10.9%	10.2%	12.3%	16.9%
微孔铜箔 (%)	36.4%	28.5%	25.0%	37.3%	46.2%	51.9%

表 2-50 2022~2030 年超级电容器用铜箔集流体价格变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
光铜箔 (元/m ²)	6	6	6	5.9	4.8	4.6
涂碳铜箔 (元/m ²)	12	12	12	10	6	5
微孔铜箔 (元/m ²)	15	14	13	12	11	10

表 2-51 2022~2030 年超级电容器用铜箔集流体电耗变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
光铜箔 (kWh/m ²)	1.2	1.2	1.2	1.1	1	0.9
涂碳铜箔 (kWh/m ²)	2.5	2.5	2.5	2	1.2	1
微孔铜箔 (kWh/m ²)	3	2.4	2	1.7	1.3	6

超纯、高导电率、高强度、高柔韧性和超薄的铜箔是未来的发展趋势。提高铜箔的纯度和导电率可显著减少电子传输内阻，改善超级电容器的功率性能；提高铜箔的强度，可优化极片制备工艺、提高生产效率，有利于提高超级电容器的批次稳定性和循环寿命；降低材料的厚度，可缩减非活性物质的质量占比，提高超级电容器的能量密度，降低瓦时成本。

表 2-52 2022~2030 年超级电容器用光铜箔性能变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
纯度 (%)	99.95	99.95	99.95	99.95	99.95	99.95
厚度 (m)	12	8	6	4.5	3.5	3
电阻率(cm)	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178	0.178
抗拉强度 (kN/cm ²)	35	35	35	35	35	35
延伸率 (%)	6	6	6	6	6	6

铜箔的表面改性可以有效降低集流体和活性物质之间的接触电阻、提高活性物质利用率。

铜箔的表面改性主要包括表面涂覆技术、穿孔技术等。

表 2-53 2022~2030 年超级电容器用涂碳铜箔厚度变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
铜箔基体厚度 (m)	12	12	8	6	5	3.5
涂层厚度 (m)	1	1	1	0.5	0.5	0.2
涂碳铜箔 (m)	14	14	10	7	6	3.9

微孔铜箔主要应用于锂离子混合型超级电容器，可为锂离子混合型超级电容器的预嵌锂提供锂离子通道，还具有承载电极活性物质，加快电荷转移，减少电化学反应极化，电流传输等功能。

表 2-54 2022~2030 年超级电容器用微孔铜箔性能变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
厚度 (m)	15	12	12	10	9	9
孔径 (m)	10	9	9	8	8	8
孔隙率 (%)	17.5	17	16	14	14	14
电阻率 (cm)	1.85	1.82	1.78	1.78	1.77	1.77

(四) 超级电容器用电解液

电解液被称作超级电容器的“血液”，可以起到离子传输载体的作用。电解液与电极材料的界面稳定性，决定了器件的工作电压。超级电容器对电解液的技术要求为：①电解质盐浓度高、溶剂化离子半径小、离子电导率高；②电化学稳定性好、电化学窗口宽；③黏度低、挥发性低，热稳定性好；④环境友好、安全性好，成本低。超级电容器的产业界还需要关注电解质盐和溶剂的提纯，以及高性能电解液的设计与开发。超级电容器用电解液的主要生产厂商有：江苏国泰超威新材料有限公司、深圳新宙邦科技股份有限公司、东莞市杉杉电池材料有限公司、天津金牛电源材料有限责任公司等。

表 2-55 2022~2030 年超级电容器用电解液市场占比变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
双电层电容器用电解液 (%)	95	94	92	90	85	70
锂离子电容器电解液 (%)	5	6	8	10	15	30

从碳达峰和碳中和的角度看，需用电耗指标来称量生产技术的节能效果。电耗是指工厂生产单位质量电解液所耗用的全部电力（不包括办公区域及生活用电）。2022 年，双电层电容器用电解液的电耗约 5kWh/kg，锂离子电解液的电耗约 6kWh/kg。

表 2-56 2022~2030 年各种电解液电耗的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
双电层电容器用电解液 (kWh/kg)	5.5	5.3	5	4.7	4	3
锂离子电容器电解液 (kWh/kg)	6.5	6.3	6	5.7	5	3.5

1. 双电层电容器用电解液

双电层电容器电解液的发展方向主要是宽电化学窗口(器件工作电压 $\geq 3.0V$)和宽使用温限范围($-50^{\circ}C \sim 85^{\circ}C$)；开发具有低黏度、高电导率和高电化学稳定性的离子液体基电解液；同时，研究电解质与电极材料相互作用机理，优化电解质与电极材料之间的构-效关系，将是双

电层电容器用电解液研究的重点和发展趋势。

2022年，我国生产电容器所用的电解液已经实现全部自主供货，年需求量为2500吨，同比增长8%。

表 2-57 2020~2030 年双电层电容器用电解液国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
需求量 (吨)	2200	2300	2500	2700	3100	4500

电解液的电学窗口决定了超级电容器的能量密度，主流双电层电容器用电解液的标称电压大部分为2.7V。随着超级电容器能量密度的快速提升，电解液的标称电压有不断提高的趋势，目前，已出现标称电压达到3.0V，甚至3.2V的双电层电容器产品。

表 2-58 2020~2030 年双电层电容器用电解液的标称电压变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
电压 (V)	2.85	2.85	3.0	3.0	3.2	3.5

随着超级电容器市场的不断扩大，电解液的价格也在不断降低。2022年，双电层电容器用电解液的价格降至120元/kg。

表 2-59 2020~2030 年双电层电容器用电解液价格变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
价格 (元/kg)	150	140	120	110	90	40

双电层电容器在特定的应用场景需要达到双“85”性能指标，即高温85℃、高湿85%的工况，这两项参数尤其是工作温度有不断提高的趋势。

表 2-60 2020~2030 年双电层电容器用电解液的耐高温特性变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
耐高温特性 (°C)	80	85	85	85	90	100

2. 超级电容器用锂离子电解液

锂离子电解液应用于电池型超级电容器和锂离子混合型电容器，其重点解决的问题是：

一是锂离子电解液常用的碳酸酯溶剂挥发性强，安全性较差；二是电解液的液态温区较窄，在低温下性能下降较多，高温下循环寿命下降较快；三是高电压电解液也是锂离子电解液的重要发展方向之一，添加耐高电压的含氟溶剂或添加剂，选用耐高电压电解质盐和溶剂，抑制电极表面与电解液的分解副反应，针对不同类型的超级电容器，研究开发高电压添加剂。采用混合电解质盐和混合溶剂是常用的改进措施。

锂离子电解液的主要溶剂和电解质盐与锂离子电池用电解液高度相似。2022年，我国生产超级电容器用锂离子电解液达600吨，同比增长16.67%。

表 2-61 2020~2030 年超级电容器用锂离子电解液国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
需求量 (吨)	400	500	600	700	1100	2600

目前，锂离子混合型电容器的电压窗口为2.2-3.8V，电池型电容器的电压窗口为2.5-4.2V。随着超级电容器能量密度的快速提升，电解液的耐高电压性能有不断提高的趋势。

表 2-62 2020~2030 年锂离子电解液的耐高电压变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
锂离子混合型电容器用电解液 (V)	3.8	3.8	3.8	3.8	4.1	4.3
电池型超级电容器用电解液 (V)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.5

随着锂离子电池和超级电容器市场的不断扩大，碳酸酯溶剂和电解质锂盐电解液的价格也在不断降低。2022年，超级电容器用锂离子电解液的价格降至100元/kg。

表 2-63 2020~2030 年超级电容器用锂离子电解液价格变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
价格 (元/kg)	150	160	100	90	80	70

(五) 辅助材料

1. 粘结剂

粘结剂是将电极活性物质、导电添加剂、集流体等紧密地结合在一起的重要非活性材料，

它通过自身分子链的机械互锁作用和界面结合力来维持颗粒间的接触以及颗粒与集流体之间的接触，从而保持电极的机械完整性并维持良好的电子通路。

超级电容器对粘结剂的技术要求有：一是粘附性能好，涂覆层不易脱落；二是热稳定性好，在极端温度环境下不发生老化；三是化学稳定性好，在高温和高电压下不与电解液发生氧化还原反应、不分解，对于锂离子混合型超级电容器和电池型超级电容器，不与金属锂发生反应。

粘结剂可分为水性体系和油性体系，水性体系主要包括聚苯乙烯-丁二烯（SBR）乳液、羧甲基纤维素（CMC）、聚四氟乙烯（PTFE）、海藻酸钠（SA）、聚丙烯酸（PAA）及其衍生物聚丙烯酸钠（NaPAA）、丙烯腈共聚物（LA）等粘结剂；油性体系主要为聚偏二氟乙烯（PVDF）。在本路线图中，对于粘结剂乳液而言，统计数据中未包含溶剂的质量。

SBR 主要的生产厂家有：德国巴斯夫(BASF)、日本瑞翁(ZEON)、日本捷时雅(JSR)、日本 NIPPON A&L、韩国大金、广州松柏化工有限公司等；CMC 生产厂家有：美国斯比凯、江门市赫克力士化工有限公司、荷兰阿克苏诺贝尔、日本制纸、日本大赛路（Daicel）、诺力昂、新乡金榜电源科技有限公司、瑞红(苏州)电子化学品股份有限公司、重庆力宏精细化工有限公司、广州松柏化工有限公司等；PTFE 的生产厂家有：美国杜邦、日本大金、日本旭硝子等；PVDF 生产厂家有：荷兰阿克苏诺贝尔、法国苏威、上海三爱富新材料股份有限公司、中化蓝天集团有限公司等。

表 2-64 2022~2030 年超级电容器用粘接剂粘结剂国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
需求量(吨)	-	-	80	110	150	210

表 2-65 2022~2030 年超级电容器用粘接剂市场占比变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
CMC (%)	-	-	30	27	22	18
SBR (%)	-	-	40	35	32	28
PTFE (%)	-	-	15	18	20	22

PVDF (%)	-	-	10	12	17	22
其他 (%)	-	-	5	8	9	10

表 2-66 2022~2030 年超级电容器用粘结剂价格变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
CMC (元/kg)	-	-	40	30	20	10
SBR (元/kg)	-	-	100	100	80	50
PTFE (元/kg)	-	-	200	180	150	100
PVDF (元/kg)	-	-	200	100	90	80

随着电极制备工艺和装备的提高，粘结剂的单位用量（即粘结剂在涂覆层中的质量百分比）呈下降趋势。

表 2-67 2022~2030 年超级电容器用粘结剂单位用量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
双电层超级电容器 (g/Wh)	2.18	1.96	1.26	1.12	1.04	0.98
混合型超级电容器 (g/Wh)	0.74	0.74	0.59	0.43	0.40	0.38
电池型超级电容器 (g/Wh)	0.22	0.22	0.17	0.10	0.07	0.07

2. 导电剂

导电添加剂（简称导电剂）可以在电极材料之间形成导电网络，有效改善电极的电子导电性、降低单体内阻；对于比表面积较小的负极材料，还可以提高电极的孔隙率和保液量，使电极材料可以更好的与电解液接触，同时缓解充放电过程中的体积膨胀并保证颗粒间的电连接。对导电剂的技术要求有：一是高电子导电性、高导热性；二是良好的耐腐蚀性和电化学稳定性；三是良好的分散性，具有尺寸稳定性和机械稳定性，可缓冲体积膨胀造成的影响；四是高纯度，成本低廉。

锂离子电容器常用的导电剂包括导电炭黑、导电石墨、碳纳米管、石墨烯和气相生长碳纤维等，这些导电剂都具有较小的电流渗流阈值，能以较少的添加量在极片中形成良好的导电网络。导电剂的生产厂家有：法国益瑞石集团、日本狮王公司、日本电气化学株式会社、

美国卡博特公司、江苏天奈科技股份有限公司、焦作市和兴化学工业有限公司、深圳市德方纳米科技股份有限公司和深圳市纳米港有限公司等。

在本路线图中，对于导电剂浆料而言，统计数据中未包含分散剂和溶剂的质量。

表 2-68 2022~2030 年超级电容器用导电剂国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
需求量(吨)	33	36	57	87	117	178

表 2-69 2022~2030 年超级电容器用导电剂市场占比变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
导电炭黑 (%)	75	70	65	59	52	37
碳纳米管 (%)	19	24	28	32	37	47
导电石墨及石墨烯(%)	5	5	6	8	10	15
其他 (%)	1	1	1	1	1	1

表 2-70 2022~2030 年超级电容器用导电剂价格变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
导电炭黑(元/kg)	60	90	86.9	83.2	82.7	79.6
导电石墨(元/kg)	46	45	42.6	41.2	40.6	39.5
碳纳米管(元/kg)	71.5	46	44	40	41	41.9
石墨烯(元/kg)	100000	120000	100000	80000	75000	70000

表 2-71 2022~2030 年超级电容器用导电剂电耗变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
导电炭黑 (kWh/kg)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
碳纳米管 (kWh/kg)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
石墨烯 (kWh/kg)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6

随着电极制备工艺和装备水平的提高，导电剂的单位用量（即导电剂在涂覆层中的质量百分比）呈下降趋势。

表 2-72 2022~2030 年超级电容器用导电剂单位用量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
双电层超级电容器 (g/Wh)	2.18	1.40	1.26	1.12	1.04	0.98
混合型超级电容器 (g/Wh)	0.74	0.74	0.54	0.48	0.40	0.30
电池型超级电容器 (g/Wh)	0.28	0.28	0.21	0.21	0.17	0.09

3. 锂箔

锂离子混合型超级电容器和电池型超级电容器主要通过器件负极放置锂箔的工艺对负极进行补锂。锂箔的生产厂家主要有天津中能锂业有限公司、赣锋锂业股份有限公司等。锂箔化学性质活泼，质地柔软、延展性好，超薄和超窄锂带的加工较为困难。

表 2-73 2022~2030 年国内锂箔性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
纯度 (%)	99.9	99.9	99.9	99.9	99.99	99.999
厚度 (μm)	20	20	20	5	5	5

4. 补锂剂

锂离子混合型超级电容器和电池型超级电容器可以通过在正极添加补锂剂的工艺进行补锂，商品化的补锂剂主要为富锂铁酸锂 (Li_5FeO_4) 和富锂镍酸锂 (Li_2NiO_2)，主要生产厂家有：深圳市研一新材料有限责任公司、深圳市德方纳米科技股份有限公司、胜华新材料集团股份有限公司、安普瑞斯（无锡）有限公司、湖南杉杉能源科技股份有限公司等。

表 2-74 2022~2030 年国内富锂铁氧化物(包括富锂铁酸锂和富锂镍酸锂)产能变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
产能 (吨)	1000	3800	5500	12000	30000	400000

表 2-75 2022~2030 年锂铁氧化物性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
纯度 (%)	-	-	99.9	99.9	99.9	99.9
首次充电容量 (mAh/g)	-	-	750	750	750	750
一次性补锂效率 (%)	-	-	98	98	98	98
价格 (万元/吨)	55	55	50	45	20	5

(六) 超级电容器单体

当前，双电层超级电容器技术发展较为成熟，已经形成了较为完善的产品体系，单体容量从法拉级至万法拉级，包含纽扣式、圆柱形、方形、软包式等多种规格结构，是超级电容器市场应用最多的产品。混合型超级电容器和电池型超级电容器制备技术和产品性能近年来取得了长足的发展，已实现商业化并在一定领域内得到应用。目前，赝电容超级电容器尚未实现产业化。2022年双电层超级电容器市场占比达到63.1%，增长放缓，而混合型超级电容器和电池型超级电容器市场有所增长。

表 2-76 2022~2030 年各类超级电容器销售额市场占比变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
双电层超级电容器 (%)	52.6%	61.7%	63.1%	59.6%	53.9%	40.6%
混合型和电池型超级电容器(%)	45.4%	37.3%	36.5%	40.2%	46.0%	59.3%
其他 (%)	2.0%	1.0%	0.4%	0.2%	0.1%	0.1%

2022 年我国生产的超级电容器主要应用于国内外市场的电力系统、风电变桨、轨道交通、智能三表、智能电子、机械装备、国防军工、其他等领域。

表 2-77 2022~2030 年超级电容器进出口额变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
超级电容器进口额 (亿元)	/	/	/	/	/	/
超级电容器出口额 (亿元)	0.04	0.12	0.67	1.81	3.51	15

从碳达峰和碳中和的角度看，需用电耗指标来称量生产技术的节能效果。电耗是指工厂生产超级电容器产品所耗用的全部电力（不包括办公区域及生活用电）。2022 年，双电层超级电容器的电耗约 0.8kWh/Wh，混合型超级电容器的电耗约 0.09kWh/Wh，电池型超级电容器的电耗约 0.09kWh/Wh。

表 2-78 2022~2030 年各类超级电容器生产电耗的变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
双电层超级电容器(kWh/Wh)	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.45
混合型超级电容器(kWh/Wh)	0.09	0.09	0.09	0.075	0.045	0.030
电池型超级电容器(kWh/Wh)	0.09	0.09	0.09	0.075	0.045	0.030

1.双电层超级电容器

双电层超级电容器是我国市场技术最成熟、应用最广泛、市场规模最高的超级电容器产品。双电层超级电容器已经形成丰富的产品体系,单体产品容量为 0.1F~95000F，工作电压也有 2.7V、2.8V、2.85V、3.0V、3.2V 等多种等级，大容量双电层超级电容器多为方形、圆柱形和软包装，采用卷绕和叠片工艺制备；小容量双电层超级电容器多为圆柱形、纽扣式，采用卷绕工艺制备。双电层超级电容器的国外生产企业主要有：Maxwell（韩国）、Elna（日本）、Panasonic（日本）、KORCHIP（韩国）、Nippon（日本）、Eaton（美国）、CapTop（意大利）、LS Matron（韩国）、VITZROCELL（韩国）、Skeleton(爱沙尼亚)等。国内生产企业主要有：湖南耐普恩科技有限公司、北京合众汇能科技有限公司、锦州凯美能源有限公司、力容新能源技术（天津）有限公司、南通江海电容器股份有限公司、宁波中车新能源科技有限公司、上海奥威科技开发有限公司、深圳市今朝时代股份有限公司、天津力神超电科技有限公司、肇庆绿宝石电子科技股份有限公司、福建火炬电子科技股份有限公司、中天超容科技有限公司、西安合容新能源科技有限公司、重庆中科超容科技有限公司、天津普兰能源科技有限公司、上海永铭电子股份有限公司、广州广华精容能源技术有限公司、成都和佳高分子材料有限公司、西安合容新能源科技有限公司等。

2022 年我国生产的双电层超级电容器总销售额为 28.64 亿元，其中 82.25 % 在国内销售，17.75 % 出口至美国、欧洲等地区。其中大容量双电层超级电容器（单体容量 > 100F）的销售占比为 73.52%，小容量双电层超级电容器（单体容量 ≤ 100F）的销售占比为 26.48%

表 2-79 2020~2030 年双电层超级电容器分产品类型销售额

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
小容量电容器（单体容量 ≤ 100F）(亿元)	2.02	3.44	7.58	13.10	20.18	42.66
大容量电容器（单体容量 > 100F）(亿元)	8.06	12.19	21.06	30.56	37.49	63.99

表 2-80 2020~2030 年双电层超级电容器分产品类型销售额占比趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
小容量电容器（单体容量 ≤ 100F）(%)	20	22	26.48	30	35	40
大容量电容器（单体容量 > 100F）(%)	80	78	73.52	70	65	60

表 2-81 2020~2030 年双电层超级电容器国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
需求量(GWh)	0.42	0.58	0.7	0.8	1.2	2.2

商业化生产的一般区分能量型和功率型。能量型双电层超级电容器以高能量密度为特点，主要用于偏高能量的输入、输出；功率型双电层超级电容器则以高功率密度为特点，主要用于瞬间高功率输入、输出。双电层超级电容器的功率密度性能和能量密度性能相互矛盾，此消彼长。随着超级电容器电极材料等关键材料性能提高及电容器制备技术进步，功率密度和能量密度性能均呈上升的趋势。

表 2-82 2020~2030 年能量型双电层超级电容器性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
能量密度(Wh/kg)	12	12	12	12	20	30
功率密度(kW/kg)	5	5	6	6	8	10
额定电压(V)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.5	3.8
循环寿命(万次)	100	100	100	100	100	100

表 2-83 2020~2030 年功率型双电层超级电容器性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
能量密度(Wh/kg)	3	4	5	5	6	7
功率密度(kW/kg)	22	25	26	30	50	80
额定电压(V)	2.7	2.7	2.85	2.85	2.9	2.9
循环寿命(万次)	100	100	100	100	100	100

表 2-84 2022~2030 年纽扣式双电层超级电容器性能变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
电容(F)	1	3	5	6	7	10
额定电压(V)	5.5	5.5	5.5	5.5	6	9
能量密度 (Wh/kg)	4.23	4.31	4.41	4.44	4.53	6.12
30 天电压保持率 (%)	20	25	40	70	80	90

表 2-85 2022~2030 年圆柱形双电层超级电容器性能变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
电容(F)	3000	3000	3000	3300	3600	4000
额定电压(V)	2.7	2.85	3	3	3.2	3.4
能量密度(Wh/kg)	6.1	6.8	8.3	8.5	9.6	11
30 天电压保持率(%)	83%	83%	84%	84%	85%	85%

表 2-86 2022~2030 年软包双电层超级电容器性能变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
电容(F)	120	200	1000	2000	10000	20000
额定电压(V)	3.8	3.8	3.8	3.8	4.2	4.6
能量密度(Wh/kg)	12.9	13.2	13.9	14.5	15.3	18.3
30 天电压保持率(%)	60	70	75	86	90	95

随着双电层超级电容器市场的不断扩大、技术发展及规模化效应，产品价格也在不断降

低，2023 年双电层超级电容器的价格可降至 20 元/Wh。

表 2-87 2020~2030 年双电层超级电容器价格变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
双电层超级电容器价格(元/Wh)	40	40	40	20	15	10

2.混合型超级电容器

混合型超级电容器是指正极和负极分别利用双电层电容和法拉第准电容机制实现储能的超级电容器。混合型超级电容器在工作电压和能量密度大幅度提升的同时，功率密度和循环寿命均有所下降，在电力、交通运输、工程机械等领域具有较好的应用潜力。

表 2-88 2020~2030 年能量型混合型超级电容器性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
能量密度(Wh/kg)	25	25	25	25	40	60
功率密度(kW/kg)	5	5	5	5	5	5
额定电压(V)	3.8	3.8	3.8	3.8	4.1	4.3
循环寿命(万次)	5	5	5	5	5	5

表 2-89 2020~2030 年功率型混合型超级电容器性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
能量密度(Wh/kg)	10	10	12	12	15	20
功率密度(kW/kg)	20	20	30	30	50	60
额定电压(V)	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	4.1
循环寿命(万次)	100	100	100	100	100	100

表 2-90 2022~2030 年软包锂离子混合型超级电容器性能变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
电容(F)	1100	2300	2300	3300	3300	10000
额定电压(V)	3.8	3.8	3.8	3.8	4.0	4.2
能量密度(Wh/kg)	11.0	18	20	24	40	50
30 天电压保持率(%)	95	95	96	98	98	98

随着混合型超级电容器技术的发展及应用范围与规模的不断扩大，混合型超级电容器的价格逐渐下降。

表 2-91 2020~2030 年混合型超级电容器价格变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
能量型价格(元/Wh)	100	80	60	40	20	10
功率型价格(元/Wh)	200	150	100	60	40	20

3. 电池型超级电容器

电池型超级电容器在制备过程中，一般将多孔炭材料与二次电池电极材料按照一定比例混合，制备成复合电极。电池型超级电容器在电力、交通运输、工程机械等领域具有较好的应用潜力。

表 2-92 2020~2030 年混合型超级电容器和电池型超级电容器国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
需求量(GWh)	0.06	0.05	0.07	0.20	0.5	2

电池型超级电容器的能量密度性能接近电池，目前商品化电池型超级电容器的能量密度一般在 50~100Wh/kg，在对能量要求相对较高的领域有巨大应用潜力。随着超级电容器电极材料等关键材料性能提高及电容器制备技术进步，功率密度和能量密度性能均呈上升的趋势。

表 2-93 2020~2030 年电池型超级电容器性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
能量密度(Wh/kg)	60	60	80	100	125	150
功率密度(kW/kg)	5	5	5	5	6	8
额定电压(V)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3
循环寿命(万次)	2	2	2	2	2	2

表 2-94 2022~2030 年软包电池型超级电容器性能变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
电容(F)	10000	10000	14000	28000	50000	100000
额定电压(V)	3.8	3.8	4.1	4.1	4.2	4.3
能量密度(Wh/kg)	60	80	100	110	120	150
30 天电压保持率(%)	95	95	96	98	98	98

随着电池型超级电容器技术的发展及应用范围与规模的不断扩大，电池型超级电容器的价格逐渐下降。

表 2-95 2020~2030 年电池型超级电容器价格变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
价格(元/Wh)	40	30	20	10	8	5

(七) 超级电容器模组

为了满足不同应用场景的电压和容量需求，需要将一定数量的超级电容器单体通过串联和并联的方式装配成组。超级电容器模组的主要技术指标有：最高工作电压、储存能量、能量密度和循环寿命。

表 2-96 2022~2030 年双电层超级电容器模组性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
额定电压 (V)	200	500	800	1000	1000	1000
储存能量 (Wh)	243	500	1000	1500	1500	1500

表 2-97 2022~2030 年混合型和电池型超级电容器模组性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
额定电压 (V)	810	820	820	1500	2000	5000
储存能量 (kWh)	2.7	3	3	6	16	48

随着超级电容器的应用场景不断拓宽，越来越多的应用于新能源储能系统，用于电力调频和电能质量提高，超级电容器的系统装机容量和功率不断提高。表 2-98 和表 2-99 侧重于

单个储能系统或储能电站的设计装机容量和装机功率。

表 2-98 2022~2030 年超级电容器储能系统的装机容量变化趋势

名称	年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
双电层超级电容器 (MWh)		0.3	0.2	0.2	0.5	2	10
锂离子混合型和电池型超级电容器 (MWh)		26	19	20	260	500	1000

表 2-99 2022~2030 年电池型超级电容器储能系统的装机功率变化趋势

名称	年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
双电层超级电容器 (MW)		30	20	20	50	200	1000
锂离子混合型和电池型超级电容器 (MW)		260	190	200	2600	5000	10000

(八) 超级电容器重点应用场景

1. 电力系统

电力系统以新能源为主体，适应极高比例新能源接入，贯通清洁能源供需各个环节。储能是支撑高比例可再生能源电力系统的关键技术。在“源-网-荷-储”电力系统中，既有瞬时的冲击功率，又有长时间的释能需求，同时还需兼顾系统的经济性与安全性，目前单一形式的储能技术无法完全满足以上要求。超级电容器作为功率型储能技术具有功率密度高、响应速度快、循环寿命长和使用温度范围宽等优势，适合高功率充放电、短期储能等应用场景，将在电网与可再生能源发电等领域获得广泛应用。

分布式发电能够充分利用可再生能源，是我国实现节能减排目标的重要举措，也是集中式发电的有效补充。当分布式电源大规模接入中低压配电网时，风、光等可再生分布式电源的间歇性和随机性将加剧配电网的电压和频率波动，而分布式电源并网采用的大量电力电子设备也带来了诸如谐波污染、电压闪变等不稳定因素，这些对于配电网的功率平衡和安全运行、以及用户侧供电可靠性和电能质量都具有严重的影响。超级电容器作为储能装置，应用于独立光伏、风力发电、燃料电池等分布式发电系统，充分发挥其高功率等技术优势，既可以对系统起到瞬时功率补偿的作用，也可以在发电中断时作为备用电源，减小分布式发电并

网时对电网的冲击，以提高供电的稳定性和可靠性。

表 2-100 2022~2030 年超级电容器在电力系统的应用趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
销售额（亿元）	0.85	0.71	1.15	1.6	2.2	3.5
新增装机总容量（MWh）	1.13	0.84	0.78	1.2	1.76	5.5
系统成本（元/Wh）	75	85	76	64	62	54

表 2-101 电力系统领域需求端对超级电容器性能的要求

	发电侧	电网侧	用户侧	其他
适用技术	双电层超级电容器	混合型超级电容器	混合型超级电容器	双电层超级电容器 混合型超级电容器
工作时间	秒级~分钟级	分钟级~十几分钟级	十几分钟级~小时级	-
寿命	100 万次	3 万次	5000 次	-
工作环境	-40~65℃	-25~55℃	-15~55℃	-40~65℃
电流	30C-200C 倍率	5C-25C 倍率	2C-5C 倍率	-
应用场景	传统电源侧调频，可 再生能源并网等	缓解电网阻塞、延缓输 配电设备扩容升级、辅 助发电侧进行调峰、调 频等	分时电价管理、电能质 量调节、电力自发自用 等	风力变桨系统备用电源、二次设备备用电源等

2. 风电变桨

风电变桨是风电机组控制系统的核心部件，是支撑风电机组的安全、稳定、高效运行的关键。正常运行期间，根据风速的变化，风机变桨角度会自动进行调整，通过控制叶片的角度使风机的转速保持恒定；当机组发生严重故障或重大事故的情况下进行安全停机，风电变桨系统配备的备用电源系统确保机组安全停机。由于风电场的随机和不规律性，风电机组的输出电压会出现约 10%、毫秒至分钟量级的“脉冲式”扰动，要求备用电源能够对这些扰动进行快速响应，并具备良好的倍率性能；另外，风机通常安装在高海拔、或者海上等地区，环境温度变化大，维护成本高，维护难度大，备用电源免维护和长寿命特性备受关注。相较

于铅酸电池和锂离子电池，超级电容器具备更高功率密度，能够承受瞬时大电流充放电，且工作温度范围宽、使用寿命长，全寿命周期内无需维护更换，可以大幅度降低风机维护成本，因此超级电容器将在风电变桨系统领域获得广泛应用。

表 2-102 2022~2030 年超级电容器在风电变桨的应用趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
销售额（亿元）	1	3	2.1	4.5	11	120
新增装机总容量（MWh）	1.96	5.94	4.2	10	30	400
系统成本（元/Wh）	51	50.5	50	45	38	30

表 2-103 风电领域需求端对超级电容器系统的要求

性能要求	描述
一致性	材料、工艺、产品初始性能一致性好，全生命周期性能和衰减性能一致
可靠性	性能耐久稳定，环境应力（热、腐蚀、振动、电磁干扰等）适应性强，工作温度范围宽
可用性	整个生命周期性能的最大偏移量满足设计需求，环境应力的最大偏移量满足设计需求
维护性	单体免维护，模块化管理系统可实时监控，进而快速定位故障
安全性	任何时候不爆炸不起火

表 2-104 风电领域需求端对超级电容器单体性能的要求

性能	循环寿命 （万次）	30 天电压保持率 （%）	工作温度 （℃，高温）	工作温度 （℃，低温）	工作湿度 （%）
指标	10	83%	65	-40	85

3. 轨道交通领域

超级电容器作为功率型储能电源既可以实现交通领域相关车辆在短时间内的功率牵引及制动能量的回收，也可以与电池联用，实现高功率储能及能量快速释放，延长电池的使用寿命。其中，轨道交通具有运量大、速度快、安全、准点、环保等特点，既是能源消耗和碳排放的重要来源，也是推动绿色发展、实现碳中和的关键领域。因此，超级电容器作为储能装置将在轻轨、有轨电车、地铁、内燃机车、高铁等交通领域将获得广泛应用。

表 2-105 2022~2030 年超级电容器在轨道交通领域的应用趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
销售额（亿元）	0.55	0.51	1.94	4.9	14	25
新增装机总容量（MWh）	1.08	1.01	3.88	11	37	83
系统成本（元/Wh）	51	50.5	50	45	38	30

表 2-106 轨道交通领域需求端对超级电容器系统的要求

性能要求	描述
再生制动系统	车辆在进站制动过程中，回馈的能量通过供电线路输送并储存在超级电容储能系统中；列车在出站启动时，电能从超级电容储能系统中释放，减少总电能消耗，并降低车辆频繁启动时对电网电压带来的影响，解决电压波动问题
主动力电源系统	充电速度方面，整车最高充电功率 2MW，充电时间可控制在 30 秒以内；节能效果方面，车辆再生能量回收利用率大于 85%，牵引能耗降低 30%以上，小于 3kWh/车公里；产品维护方面，产品寿命长，全寿命周期成本低，维护、运营成本低

表 2-107 轨道交通领域需求端对超级电容器单体性能的要求

性能	循环寿命 （万次）	30 天电压保持率 （%）	工作温度 （℃，高温）	工作温度 （℃，低温）	工作湿度 （%）
指标	100	90%	55	-40	85

4.智能仪器仪表

当前，智能仪器仪表主要以智能三表应用为主。其中，智能三表是指智能水表、电表、燃气表等，智能三表是一种新型的电子式智能表，具备水/电/燃气计量、实时监控、自动控制、信息交互、数据处理等功能。超级电容器可取代传统电池作为智能三表的备用电源，当断电时，超级电容器可用于数据备份、智能表底码设置和抄读、无线通信等，且超长循环寿命促使智能三表免维护更换电源。

表 2-108 2022~2030 年超级电容器在智能三表的应用趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
销售额（亿元）	0.76	1.03	1.51	4.65	6.97	10
新增装机总容量（MWh）	1.49	2.04	3.02	10	16	25
系统成本（元/Wh）	51	50.5	50	45	45	40

表 2-109 智能三表领域需求端对超级电容器单体性能的要求

性能	循环寿命 （万次）	30 天电压保持率 （%）	工作温度 （°C，高温）	工作温度 （°C，低温）	工作湿度 （%）
指标	100	83%	55	-40	85

5.智能电子

超级电容器高功率密度特性适合应用于具有大功率充放电需求的电子产品领域。如在相机应用中，超级电容器可解决相机电池不能满足闪光灯大电流输出的要求。在便携式电子产品中，超级电容器作为短时断电的后备储能装置应用于便携式电子设备，可以满足热插拔、数据保存和传输功能。在税控装置中，国家因加强对企业税控管理，税务部门推广使用的税控装置都具有断电保护功能。当出现突然断电时，超级电容器作为税控装置的后备电源能够为税控机的控制电路提供能量，CPU 可在短时间执行数据存储，并在读写完成后，超级电容器再提供瞬间脉冲大电流将 IC 卡弹出。

表 2-110 2022~2030 年超级电容器在智能电子的应用趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
销售额（亿元）	0.19	0.26	0.46	0.25	0.55	1.2
新增装机总容量（MWh）	0.37	0.51	0.91	0.5	1.2	3
系统成本（元/Wh）	51.5	51	50.5	50	48	45

表 2-111 智能电子领域需求端对超级电容器单体性能的要求

性能	循环寿命 （万次）	30 天电压保持率 （%）	工作温度 （°C，高温）	工作温度 （°C，低温）	工作湿度 （%）
指标	100	84%	70	-40	85

6.机械装备

起重机械广泛应用于港口、建筑和矿业等领域，属于高耗能设备。起重机械是具有典型位能性负载特征的工程机械，当工作负载下降时会释放大量的势能，内燃机驱动的起重机怠速运转时也存在无功状态的能量损耗。起重机在工作过程中的能量利用率不足 40%，60%以上的能量消耗在工作过程的无功功率状态。采用超级电容器作为储能装置能够及时释放和吸收起重机械升降过程中的驱动和制动的大功率能量，无需发动机提供峰值功率，并可满足其他必要的电气功能。电梯作为人们日常工作、生活中的重要工具，是楼宇建设中不可或缺的重要建筑设备之一。随着电梯使用数量增多，电梯能耗问题越来越受到社会的关注。使用储能装置来收集电梯的制动能量，可以节省 20%~40%的耗电量，是解决电梯能耗的有效方案。超级电容器作为储能装置应用于节能电梯，能够快速地将曳引机产生的电能吸收、存储和释放，当电梯发生停电或故障的时候，超级电容器储能装置可维持照明、通风和通讯，将电梯送至临近楼层并开门，从而达到电梯节能和应急安全的目的。

表 2-112 2022~2030 年超级电容器在机械装备的应用趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
销售额（亿元）	0.14	0.35	0.92	1.5	6.1	10
新增装机总容量（MWh）	0.28	0.69	1.84	3.3	16	33
系统成本（元/Wh）	51	50.5	50	45	38	30

表 2-113 机械装备领域需求端对超级电容器单体性能的要求

性能	能量密度 (Wh/kg)	功率密度 (kW/kg)	循环寿命 (万次)	30 天电压 保持率 (%)	工作温度 (°C, 高温)	工作温度 (°C, 低温)	工作湿 度 (%)
指标	15	10	10	90%	65	-20	85

7.国防军工

国防军工用能源存储技术是确保和提升军用装备和武器性能的核心和关键技术，超级电容器具有功率密度高、低温特性好等优势，既可以作为低温冷启动电源应用，也可以作为高功率脉冲电源应用。因此，超级电容器将在坦克低温冷启动、潜艇、电磁炮、定向武器等具

有非常重要的应用价值。超级电容器的工作温度范围宽，可在-40℃及更低温度环境工作，而蓄电池在低温环境放电能力明显下降，会造成坦克战车无法启动，影响了军事战备。超级电容器配合蓄电池应用于内燃发动机电启动系统，能够保证低温和蓄电池亏电的情况下电启动系统的正常供电，仅需一次点火即可启动，同时起到保护蓄电池，延长其寿命，减小其配备容量的作用。

表 2-114 2022~2030 年超级电容器在国防军工的应用趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
销售额（亿元）	0.2	0.6	0.35	0.65	1.85	12
新增新增装机容量（MWh）	0.31	1	0.58	1.12	3.5	24
系统成本（元/Wh）	65	60	60	58	55	50

表 2-115 国防军工领域需求端对超级电容器单体性能的要求

性能	能量密度 (Wh/kg)	功率密度 (kW/kg)	循环寿命 (万次)	30 天电压 保持率(%)	工作温度 (°C, 高温)	工作温度 (°C, 低温)	工作湿 度 (%)
指标	5	20	5	90%	65	-40	85

8.其它

在民用客机领域，超级电容器作为机舱门开启电源具有功率大、质量小、循环寿命长、可靠性高和免维护等优势，能够为客机机舱门开启提供爆发动力。在航空航天用移动通信基站、卫星通信系统、无线电通信系统等均需要高可靠大功率脉冲电源，超级电容器将在这些领域获得更广泛的应用。

表 2-116 2022~2030 年超级电容器在其他领域的应用趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
销售额（亿元）	0.01	0.06	0.25	0.31	0.85	1.2
新增装机总容量（MWh）	0.02	0.11	0.47	0.59	2	3
系统成本（元/Wh）	55	55	53	53	48	43

(九) 关键制备技术

1. 关键材料制备

活性炭的制备是指将各种含碳原料在适当的温度下预炭化、活化、炭化后漂洗、烘干得到碳产物的过程。其中，活化过程是活化剂与含碳前驱体发生复杂化学反应造孔的过程，直接决定了活性炭的最终比表面积和孔径分布情况，因而是活性炭制备的关键技术环节。

碳材料的活化可以通过两种工艺进行：(1) 采用不同的氧化性气体进行的物理活化，如空气、氧气、二氧化碳、蒸汽或混合气体；(2) 采用各种化学氧化剂进行的化学活化，如KOH、NaOH、H₃PO₄、ZnCl₂或这些化学试剂的混合物等。

表 2-117 物理活化法与化学活化法制备活性炭的特点

活化方式	活化剂	活化温度(°C)	活化时间	比表面积(m ² /g)	产率(%)
物理活化	空气、CO ₂ 、水蒸汽	300~1000	较长	<1500	15-30
化学活化	KOH、H ₃ PO ₄ 、ZnCl ₂	450~900	较短	>2000	50-60

表 2-118 2022~2030 年不同活化方法制备的活性炭国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
物理活化(吨)	20	50	150	400	500	1000
化学活化(吨)	30	50	280	400	450	850

表 2-119 2022~2030 年不同活化方法制备的活性炭国内市场占比变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
物理活化(%)	40	50	35	50	53	54
化学活化(%)	60	50	65	50	47	46

表 2-120 2022~2030 年物理活化方法制备的活性炭性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
比表面积(m ² /g)	1900	1900	1900	1900	1900	1900
比电容(F/g)	115	115	115	115	115	115
堆积密度(g/cm ³)	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
产率(%)	50%	65%	75%	100%	100%	100%

电耗(kWh/kg)	5	4	3	3	3	3
产能(吨)	10	30	50	100	500	1000

表 2-121 2022~2030 年化学活化方法制备的活性炭性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
比表面积(m ² /g)	1800	1800	2000	2000	2200	2500
比电容(F/g)	112	112	120	120	144	152
堆积密度(g/cm ³)	0.5	0.5	0.48	0.48	0.46	0.42
产率(%)	52	52	50	50	50	50
电耗(kWh/kg)	2.6	2.6	2.5	2.5	2.2	2
产能(吨)	100	100	300	300	600	1000

2. 电极制备

根据制备过程中溶剂的含量和粉末混合物的流动状态，电极的制备工艺可分为湿法工艺和干法工艺。湿法工艺需要用大量溶剂均匀分散粉体，并形成具有一定流动性的非牛顿流体，典型代表为转移涂布和挤压涂布等；干法工艺所采用的粉体混合物几乎不含溶剂或仅含非常少的溶剂，粉体混合物几乎无流动性。国内干法工艺电极产业化主要厂家有天津普兰能源科技有限公司、烯晶碳能电子科技无锡有限公司、力容新能源技术(天津)有限公司等。

表 2-122 电极的干法工艺和湿法工艺

工艺类型	湿法工艺	干法工艺
溶剂用量	固液比接近 1:1	不使用或很少使用
粉体混合物状态	粘度小于 1 万	无流动性
典型代表	固含量 50%，粘度 6000	热压、静电沉积

表 2-123 2022~2030 年不同电极制备方法的活性炭电极国内需求量变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
物理活化(吨)	2	3	3	5	20	100
化学活化(吨)	2	3	5	8	30	300

表 2-124 2022~2030 年不同电极制备方法的活性炭电极国内市场占比变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
物理活化(%)	50%	50%	38%	38%	40%	25%
化学活化(%)	50%	50%	63%	62%	60%	75%

表 2-125 2022~2030 年湿法工艺制备的活性炭电极性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
厚度(m)	200	200	240	240	240	240
幅宽(mm)	500	500	500	500	500	500
面密度(g/m ²)	115	115	135	135	135	135
电耗(Wh/m ²)	0.65	0.63	0.63	0.6	0.6	0.5
成本(元/m ²)	70	70	65	65	60	40
产能(万 m ²)	200	200	200	200	400	900

表 2-126 2022~2030 年干法工艺制备的活性炭电极性能指标变化趋势

名称 \ 年份	2020	2021	2022	2023	2025	2030
厚度(m)	250	235	250	210	200	180
幅宽(mm)	220	220	220	220	220	220
面密度(g/m ²)	0.012	0.013	0.014	0.015	0.015	0.015
电耗(Wh/m ²)	5500	5000	4500	4000	4000	3500
成本(元/m ²)	80	78	75	70	60	50
产能(万 m ²)	50	100	150	200	250	350

3.器件制备

双电层超级电容器主要有纽扣式、圆柱形、方形、软包式等形式。纽扣形双电层超级电容器常用于消费类电子产品中；卷绕软包双电层超级电容器和大型圆柱双电层超级电容器的电极通过卷绕方式形成卷芯，然后将电极箔焊接到引流端子，使外部的承流能力得到扩展。叠片软包双电层超级电容器和方型双电层超级电容器的内部是基于极片的堆叠，集流体从每片电极中引出并被连接到引流端子，从而扩展超级电容器的承流能力。

纽扣式双电层超级电容器主要采用单片式电极制备。制备过程中将极片和隔膜按照外壳的尺寸要求进行压片和冲片，以极片-隔膜-极片的顺序叠片放入壳体中，在经过干燥后，注液并封口，形成电容器单体，根据产品的设计要求可对电容器单体进行串联得到高电压的纽扣式双电层超级电容器。

圆柱形双电层超级电容器主要采用卷绕的方式制备电芯。制备过程中先将成卷的极片和隔膜裁成一定宽度，以极片-隔膜-极片-隔膜的层叠顺序，进行电芯的卷绕；卷绕结束后用耐腐蚀胶带黏结电芯，防止松弛。卷绕过程中严格控制卷绕的张力及错边，保证电芯中极片对齐及卷绕紧密。随后电芯入壳，焊接引流端子，并在 120~200℃ 下真空干燥 6~20 小时，以去除电芯中的水分。干燥后的单体需在水分含量控制严格的环境中进行组装、注液和封装。注液过程主要采用真空注液，可有效提高电解液的渗透能力。

方形双电层超级电容器和软包式双电层超级电容器主要采用叠片的方式制备电芯。制备过程中根据外壳的尺寸要求，冲切成一定规格尺寸的电极片，并清洗冲切过程中剥落的粉尘。得到的电极片将与隔膜按照 Z 型方式进行叠片，根据产品的尺寸要求进行电芯厚度的设定。叠片过程中，叠片张力、电芯重量及电芯干态内阻值是主要的技术控制参数。叠片并用胶带黏结完成的电芯在经过引流端子焊接、入壳后，通过真空干燥去除电芯内部的水分。最后将进行注液和封装工序。集流体与单体引流端子的连接多采用高功率超声波焊接、激光焊接和铆接的方式进行。

锂离子混合型超级电容器还具有独特的预锂化制备工艺，主要有金属锂嵌锂法和正极添加剂辅助嵌锂法。

三、我国超级电容产业技术的发展愿景与目标

我国超级电容行业的发展愿景与目标：一是下游应用需求推动行业增长，在新能源汽车、智能电网、轨道交通和电力领域得到广泛应用，应用场景在不断拓展，市场需求持续增长；二是全产业链加速国产化进程，我国在电解液等原材料的国产化配套已日趋成熟，电极和隔膜的国产化进程也在稳步推进；三是政策驱动行业多元化发展，风电、光伏的并网产生了电网消纳等问题，具有电网调节能力的超级电容器，已被列为“十四五”期间的重点研究技术之一；四是伴随应用市场的扩大，技术发展也不断实现突破，超级电容器将向高能量密度方向发展，推动应用领域渗透和市场规模的增长；五是产品技术水平和产能规模达到国际先进水平，服务于中国与国际化的现代化进程，服务于人类越来越美好的绿色、健康生活。

（一）超级电容器用电极材料技术路线图

从超级电容器用电极材料的总体目标、关键指标和核心技术等角度，提出了超级电容器用电极材料技术的路线图。

表 3-1 超级电容器用电极技术路线图

	现在	2025	2030	2035
总体目标	<ul style="list-style-type: none"> ● 活性炭容量保持率 1500h\geq78% ● 实现插层提升比容量技术工业化应用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 活性炭容量保持率 1500h\geq82% ● 实现插层提升比容量技术工业化应用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 活性炭容量保持率 1500h\geq85% ● 实现插层提升比容量技术工业化应用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 活性炭容量保持率 1500h\geq90% ● 实现插层提升比容量技术工业化应用。
关键指标	<ul style="list-style-type: none"> ● 比电容 140F/g ● 纯度 	<ul style="list-style-type: none"> ● 比电容 160F/g ● 比电容、孔分布 	<ul style="list-style-type: none"> ● 比电容 180F/g 	<ul style="list-style-type: none"> ● 比电容 200F/g
核心技术	<ul style="list-style-type: none"> ● 干法电极 ● 活化工序 ● 插层技术工艺及工业化应用 ● 提纯技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 干法电极 ● 预锂化技术 ● 活化工序 ● 插层技术工艺及工业化应用 ● 造孔技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 干法电极 ● 预锂化技术 ● 活化工序 ● 插层技术工艺及工业化应用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 干法电极 ● 预锂化技术 ● 固态超级电容器技术 ● 活化工序 ● 插层技术工艺及工业化应用

从超级电容器用活性炭材料的总体目标、关键指标和核心技术等角度，提出了超级电容器用活性炭材料技术的路线图。

表 3-2 超级电容器用活性炭技术路线图

	现在	2025	2030	2035
总体目标	<ul style="list-style-type: none"> ● 活性炭的国产化制造 ● 高品质活性炭产品批次稳定性及低成本制造 	<ul style="list-style-type: none"> ● 灰分、金属元素少，质量比容量高、振实密度高的活性炭材料 ● 一体化活性炭制备工艺 	<ul style="list-style-type: none"> ● 基于活性炭改性复合材料或新型碳化物衍生碳的制造开发 	<ul style="list-style-type: none"> ● 基于活性炭改性复合材料或新型碳化物衍生碳的制造开发
关键指标	<ul style="list-style-type: none"> ● 比电容 $\geq 130\text{F/g}$ 	<ul style="list-style-type: none"> ● 灰分 $\leq 0.2\%$ ● 振实密度 $\geq 0.45\text{g/cm}^3$ ● 比电容 160F/g 	<ul style="list-style-type: none"> ● 比电容 $\geq 180\text{F/g}$ 	<ul style="list-style-type: none"> ● 比电容 $\geq 200\text{F/g}$
核心技术	<ul style="list-style-type: none"> ● 自主的活性炭制备技术 ● 成套制造装备的国产化技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 一体化活性炭制备工艺 	<ul style="list-style-type: none"> ● 低成本活性炭制备技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 低成本活性炭制备技术

(二) 超级电容器用隔膜技术路线图

从超级电容器用隔膜的总体目标、关键指标和核心技术等角度，提出了隔膜技术的路线图。

表 3-3 超级电容器用隔膜技术路线图

	现在	2025	2030	2035
总体目标	<ul style="list-style-type: none"> ● 高强度、高孔隙率、高吸液性能纸隔膜材料研制 ● 高安全性新型复合隔膜的研制 ● 耐高电压隔膜的研制 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高安全性新型复合隔膜的规模化生产 ● 离子导电涂层复合隔膜的产业化 ● 耐高电压隔膜的产业化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高安全性、耐高电压的高性能隔膜规模化生产 ● 固体电解质(隔膜)的产业化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高安全性、耐高电压隔膜规模化生产 ● 固体电解质隔膜的产业化
关键指标	<ul style="list-style-type: none"> ● 纵向抗张强度 0.6kN/m ● 纵向吸水高度 $\geq 16\text{mm}/10\text{min}$，透气度 $\leq 140\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ 	<ul style="list-style-type: none"> ● 安全使用温度：250°C ● 受热收缩率：$<1\%$ (250°C，双向) ● 孔隙率：$35\% \sim 50\%$ ● 电化学窗口：$\geq 4.9\text{V}$ ● 透气性：$<500\text{ s}/100\text{mL}$ 	<ul style="list-style-type: none"> ● 安全使用温度：300°C ● 受热收缩率：$\leq 1\%$ (300°C，双向) ● 电化学窗口：$\geq 5.0\text{V}$ 	<ul style="list-style-type: none"> ● 安全使用温度：300°C ● 受热收缩率：$\leq 1\%$ (300°C，双向) ● 电化学窗口：$\geq 5.0\text{V}$
核心技术	<ul style="list-style-type: none"> ● 高强度、高孔隙率、高吸液性能纸隔膜及复合隔膜的制备技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 耐高电压隔膜制备技术 ● 离子导体涂层材料制备技术 ● 新型复合隔膜制造技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高安全性、耐高电压隔膜制备技术 ● 固体电解质/隔膜的制备技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 固体电解质/隔膜的制备技术

（三）超级电容器用集流体技术路线图

从超级电容器用集流体的总体目标、关键指标和核心技术等角度，提出了集流体的技术路线图。

表 3-4 超级电容器用集流体技术路线图

	现在	2025	2030	2035
总体目标	<ul style="list-style-type: none"> ● 轻薄化、耐高电压集流体的研制 ● 复合集流体的研制 ● 高面载量集流体的研制 	<ul style="list-style-type: none"> ● 轻薄化、耐高电压集流体的研制 ● 复合集流体的研制 ● 高面载量集流体的研制 	<ul style="list-style-type: none"> ● 轻薄化、耐高电压集流体的研制 ● 复合集流体的研制 ● 高面载量集流体的研制 	<ul style="list-style-type: none"> ● 耐高电压集流体的研制 ● 复合集流体的研制 ● 高面载量集流体的研制
关键指标	<ul style="list-style-type: none"> ● 腐蚀铝箔大比例国产化 ● 涂碳铝箔厚度降至 12 μm，涂碳铜箔厚度降至 7 μm ● 微孔铝箔厚度降至 13 μm，微孔铜箔厚度降至 10 μm ● 泡沫铝的成本降至 1000 元/m² 	<ul style="list-style-type: none"> ● 腐蚀铝箔实现国产化替代 ● 涂碳铝箔厚度降至 10 μm，涂碳铜箔厚度降至 6 μm ● 微孔铝箔厚度降至 12 μm，微孔铜箔厚度降至 9 μm 	<ul style="list-style-type: none"> ● 涂碳铝箔厚度降至 8 μm，涂碳铜箔厚度降至 4 μm ● 微孔铝箔厚度降至 10 μm，微孔铜箔厚度降至 8 μm ● 泡沫铝的成本降至 100 元/m² ● 复合集流体的重量和成本较大幅度降低 	<ul style="list-style-type: none"> ● 微孔铝箔厚度降至 8 μm，微孔铜箔厚度降至 6 μm ● 泡沫铝的成本降至 100 元/m² ● 复合集流体重量降低 2/3，成本降低 1/2
核心技术	<ul style="list-style-type: none"> ● 腐蚀铝箔批量化制备技术 ● 微孔箔批量化制备技术 ● 集流体精密涂覆技术 ● 泡沫集流体制备技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 腐蚀铝箔批量化制备技术 ● 微孔箔批量化制备技术 ● 集流体精密涂覆技术 ● 泡沫集流体制备技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 腐蚀铝箔批量化制备技术 ● 微孔箔批量化制备技术 ● 集流体精密涂覆技术 ● 泡沫集流体制备技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 微孔箔批量化制备技术 ● 集流体复合技术 ● 泡沫集流体制备技术

（四）超级电容器用电解液技术路线图

从超级电容器用电解液的总体目标、关键指标和核心技术等角度，提出了电解液技术的路线图。

表 3-5 超级电容器用电解液技术路线图

	现在	2025	2030	2035
总体目标	<ul style="list-style-type: none"> ● 2.85V 双电层电容器用电解液 ● 3.8V 锂离子混合型超级电容器电解液 ● -50℃超低温双电层电容器用电解液实现商用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 溶剂：使用部分氟化溶剂与少量离子液体 ● -60℃超低温双电层电容器用电解液实现商用 ● 4.1V 锂离子混合型超级电容器电解液 	<ul style="list-style-type: none"> ● 85℃双电层电容器用电解液实现商用 ● 4.3V 锂离子混合型超级电容器电解液 	<ul style="list-style-type: none"> ● 温度 85℃湿度 85%双“85”双电层电容器用电解液实现商用 ● 4.5V 锂离子混合型超级电容器电解液 ● 固态超级电容器用电解质的开发
关键指标	<ul style="list-style-type: none"> ● 双电层电容器工作电压 2.85V ● 锂离子混合型超级电容器工作电压 3.8V 	<ul style="list-style-type: none"> ● 双电层电容器工作电压 3.0V ● 锂离子混合型超级电容器工作电压 4.1V 	<ul style="list-style-type: none"> ● 满足双电层电容器 85℃工作需要 ● 锂离子混合型超级电容器工作电压 4.3V 	<ul style="list-style-type: none"> ● 满足温度 85℃湿度 85%双“85”双电层电容器工作需要 ● 锂离子混合型超级电容器工作电压 4.5V
核心技术	<ul style="list-style-type: none"> ● 电解质盐合成技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 电解质盐、高纯度氟化溶剂合成技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 低成本离子液体合成技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 固态超级电容器电解质合成技术

(五) 超级电容器单体技术路线图

从超级电容器单体的总体目标、关键指标和核心技术等角度，提出了超级电容器单体技术的路线图。

表 3-6 超级电容器单体技术路线图

	现在	2025	2030	2035
总体目标	<ul style="list-style-type: none"> ● 提升双电层超级电容器比能量 ● 提高双电层超级电容器性价比 ● 研发更高功率的锂离子混合型超级电容器 ● 低阻抗型模组的量产 ● 能量管理型系统模组的量产 ● 提高耐高温性能 ● 高压低内阻产品实现批量生产 	<ul style="list-style-type: none"> ● 提升单位体积容量 ● 提升温度范围 ● 提升耐电压值 ● 降低内阻 ● 改善漏电流 ● 开发大容量（如 4.2V38000F 等）混合型超级电容器 ● 耐高温产品实现批量生产 	<ul style="list-style-type: none"> ● 耐高温型超级电容器的研发 ● 高电压超级电容器的开发 ● 贴片式柱式超级电容器规模生产 ● 固态超级电容器的开发替代 ● 开发超大容量超级电容器 ● 电池型超级电容器性能提升 ● 高压极低内阻产品实现批量生产 	<ul style="list-style-type: none"> ● 固态超级电容器的开发替代 ● 开发超大容量超级电容器

<p>关键指标</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 通过 85℃、95%RH 测试 ● 双电层超级电容器能量密度：12.5Wh/Kg ● 成本下降 15% 	<ul style="list-style-type: none"> ● 双电层超级电容器额定电压达到 3.2V ● 内阻在现有基础上下降 20% ● 成本下降 30% ● 低温-55℃ ● 漏电流由 μA 级降到 nA 级 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高温：125℃，可过回流焊 ● 双电层超级电容器电压：3.5V ● 固态混合材料替代电解液 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高温：125℃，可过回流焊 ● 双电层超级电容器电压：3.5V ● 固态混合材料替代电解液
<p>核心技术</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 分级烘烤技术 ● 高功率密度单体制备技术 ● 高比容量的电极制备技术 ● 机台自动化工艺技术 ● 低内阻电极片制备技术 ● 高电导高压电解液技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 耐 3.5V 双电层超级电容器电解液制备技术 ● 高能量密度单体制备技术 ● 高比容量活性炭及电极制备技术 ● 耐低温的电解液制备技术 ● 低内阻全极耳单体制备技术 ● 高温稳定电极片制备技术 ● 高温电解液技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高能量密度单体制备技术 ● 耐高温电极的制备技术 ● 耐 4.5V 以上的电解液制备技术 ● 先进的超级电容器制备工艺技术 ● 混合式固体电解质的制备技术 ● 低内阻电极片制备技术 ● 高电导高压电解液技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高能量密度单体制备技术

由于双电层、混合型及电池型超级电容器等器件又可分能量型、功率型、长循环型，各分项指标是独立的，该部分的分项性能指标技术路线图侧重于技术研发和技术导向，所以单个器件不需要同时满足各项技术指标，如表 3-7、3-8、3-9。

表 3-7 双电层超级电容器分项性能指标技术路线图

	现在	2025	2030	2035
<p>性能指标</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 能量密度：10Wh/kg ● 功率密度：50kW/kg ● 循环寿命：100 万次 	<ul style="list-style-type: none"> ● 能量密度：12Wh/kg ● 功率密度：80kW/kg ● 循环寿命：100 万次 	<ul style="list-style-type: none"> ● 能量密度：15Wh/kg ● 功率密度：100kW/kg ● 循环寿命：100 万次 	<ul style="list-style-type: none"> ● 能量密度：20Wh/kg ● 功率密度：200kW/kg ● 循环寿命：100 万次

表 3-8 混合型超级电容器分项性能指标技术路线图

	现在	2025	2030	2035
性能指标	<ul style="list-style-type: none"> ● 能量密度：40Wh/kg ● 功率密度：50kW/kg ● 循环寿命：100 万次 	<ul style="list-style-type: none"> ● 能量密度：50Wh/kg ● 功率密度：80kW/kg ● 循环寿命：100 万次 	<ul style="list-style-type: none"> ● 能量密度：60Wh/kg ● 功率密度：100kW/kg ● 循环寿命：100 万次 	<ul style="list-style-type: none"> ● 能量密度：80Wh/kg ● 功率密度：200kW/kg ● 循环寿命：100 万次

表 3-9 电池型超级电容器分项性能指标技术路线图

	现在	2025	2030	2035
性能指标	<ul style="list-style-type: none"> ● 能量密度：100Wh/kg ● 功率密度：50kW/kg ● 循环寿命：30 万次 	<ul style="list-style-type: none"> ● 能量密度：120Wh/kg ● 功率密度：80kW/kg ● 循环寿命：30 万次 	<ul style="list-style-type: none"> ● 能量密度：150Wh/kg ● 功率密度：100kW/kg ● 循环寿命：30 万次 	<ul style="list-style-type: none"> ● 能量密度：180Wh/kg ● 功率密度：150kW/kg ● 循环寿命：30 万次

（六）超级电容器关键制备技术路线图

从超级电容器关键制备技术（双电层、混合型和电池型）的总体目标、关键指标和核心技术等角度，提出了超级电容器关键制备技术的路线图。

1. 双电层超级电容器关键制备技术路线图

表 3-10 双电层超级电容器关键制备技术路线图

	现在	2025	2030	2035
总体目标	● 耐高温超级电容器制备	<ul style="list-style-type: none"> ● 智能制造装备的开发与导入 ● 实现工业数字化管理体系 	<ul style="list-style-type: none"> ● 超大容量超级电容器制备 ● 无人化的制造工艺 	● 超大容量超级电容器制备
关键指标	● 通过 85℃、95%RH 测试	<ul style="list-style-type: none"> ● 自动化普及率 75% ● 全价值链实现数字化管理 	● 智能连体机的应用	<ul style="list-style-type: none"> ● 实现全智能远程操作，提升机器生产占比 ● 开发新的器件结构提升单体安全水平，加强单体使用过程中的智能控制
核心技术	● 分级烘烤技术	<ul style="list-style-type: none"> ● 智能制造技术 ● 5G 与物联网技术的应用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 连体机技术 ● 零缺陷制备工艺 	<ul style="list-style-type: none"> ● 智能制造和工业物联网技术 ● 材料基因工程方法在材料和器件研发中的应用技术

2.混合型超级电容器关键制备技术路线图

表 3-11 混合型超级电容器关键制备技术路线图

	现在	2025	2030	2035
总体目标	<ul style="list-style-type: none"> ● 提高耐高温、耐低温、耐高电压单体制备 ● 高效低成本预锂化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 智能制造装备的开发与导入 ● 实现工业数字化管理体系 ● 高效低成本预锂化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 超大容量单体制备 ● 无人化的制造工艺 ● 高效低成本预锂化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 超大容量单体制备 ● 高安全单体的设计与制备
关键指标	<ul style="list-style-type: none"> ● 通过 85℃、95%RH 测试 	<ul style="list-style-type: none"> ● 自动化普及率 75% ● 全价值链实现数字化管理 	<ul style="list-style-type: none"> ● 智能连体机的应用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 实现全智能远程操作，提升机器生产占比 ● 单体使用过程中的智能控制
核心技术	<ul style="list-style-type: none"> ● 分级烘烤技术 ● 预锂化技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 分级烘烤技术 ● 预锂化技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 分级烘烤技术、预锂化技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 智能制造和工业物联网技术 ● 材料基因工程方法在材料和器件研发中的应用技术 ● 高安全的自动化预锂化技术

3.电池型超级电容器关键制备技术路线图

表 3-12 电池型超级电容器关键制备技术路线图

	现在	2025	2030	2035
总体目标	<ul style="list-style-type: none"> ● 提高耐高温、耐低温、长循环单体制备 ● 高效低成本预锂化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 智能制造装备的开发与导入 ● 实现工业数字化管理体系 ● 高效低成本预锂化 ● 干法电极 	<ul style="list-style-type: none"> ● 超大容量单体制备 ● 无人化的制造工艺 ● 高效低成本预锂化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 超大容量单体制备 ● 固态电池型超级电容器制备
关键指标	<ul style="list-style-type: none"> ● 通过 85℃、95%RH 测试 	<ul style="list-style-type: none"> ● 自动化普及率 75% ● 全价值链实现数字化管理 	<ul style="list-style-type: none"> ● 智能连体机的应用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 实现全智能远程操作，提升机器生产占比 ● 单体使用过程中的智能控制
核心技术	<ul style="list-style-type: none"> ● 分级烘烤技术 ● 预锂化技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 分级烘烤技术 ● 预锂化技术 ● 干法电极技术 ● 电容-电池复合电极制备技术 ● 单体轻量化技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 分级烘烤技术 ● 预锂化技术 ● 电容-电池复合电极制备技术 ● 单体轻量化技术 	<ul style="list-style-type: none"> ● 智能制造和工业物联网技术 ● 材料基因工程方法在材料和器件研发中的应用技术 ● 高安全的自动化预锂化技术 ● 固态电池型超级电容器单体制备技术

四、我国超级电容产业发展建议

当前，虽然我国超级电容产业链条较为完整，关键技术不断提升，国产替代日益加强，应用场景不断拓宽。但在我国超级电容产业 20 多年的发展过程中，还存在许多问题亟待解决，如政策支持力度不够、区域发展不平衡、产业协同不强、产业链发展不均衡、技术水平需要提高、应用模式和商业模式需要创新、青年人才队伍建设需要加强、综合指标还不能完全满足人们的生产生活需求等。因此，在技术性能提升、市场开拓、产业协同等方面还有很长的路要走，需要产业同仁上下一心精诚合作，出谋划策，共同为行业的高质量发展贡献力量。

（一）制定产业发展目录，引导产业健康发展

建议从国家战略层面对产业的发展予以重视，对整个产业链通盘考虑，加强统筹规划。对关键材料等建立产业支持政策，促进产业链上下游健康均衡发展。近年来，超级电容器作为一种新型储能应用技术，已列为“十四五”期间的重点研究技术之一。与此同时，各部委和地方政策相继出台多项政策，从技术创新和产业培育方面支持超级电容产业的发展。但从国家层面上，缺乏超级电容产业发展目录，不能很好的从产业政策、项目开发、项目资金、投融资导向等方面给予明确的支持，因此，制定国家级的产业发展目录至关重要，可以更好地引导各地支持产业健康发展。

（二）全面推进国产化进程，强化全产业链协同

要坚持扶优扶强策略，引导财政、产业、金融等资源向重点企业倾斜，加快形成产业核心竞争力；鼓励企业间通过兼并重组、强强联合等方式扩大优质的生产经营规模，实现集约化发展；加强产业链横向、纵向合作和融合，提高我国在超级电容器领域的核心竞争力。目前，我国超级电容产业上游环节电解液等原材料的国产化配套已日趋成熟，电极、隔膜等高科技壁垒的国产化进程也在不断推进，中游超级电容器的生产制造环节正在稳步推进，国内各大生产企业也在不断新建和扩产，下游应用领域也持续发展。但我国超级电容产业存在区域发展不平衡、产业链分布不均、高端原材料及隔膜等技术壁垒还有待突破等问题，因此，需扶优扶强，加快国产化进程，强化全产业链协同，共同推动产业均衡稳步发展。

（三）加强知识产权保护，掌握市场话语权

国外企业技术相对成熟，已经实现全自动生产，对原材料控制和生产过程控制精细而严格，最大程度保证了产品性能的稳定。而我国超级电容器生产企业需要坚定“打铁还要自身硬”的认识，以关键材料、系统集成和应用技术的研发和产业化为目标，不断增加投入和突破关键技术，做好产品研发和工艺研发，做好质量控制体系和建立标准，提高自主创新能力，提升产品质量和降低生产成本，加强知识产权保护力度，提高产品核心竞争力，打开产品的销售市场，掌握市场话语权，为企业间技术合作和技术推广提供便利。加大对超级电容器管理系统和超级电容器芯片的研究和开发投入，提高其制造工艺和性能水平，以满足超级电容器管理系统的需求，提高其核心技术水平和市场竞争力；加强超级电容器管理系统及芯片产业链的建设，提高其整体竞争力和市场份额；应积极拓展超级电容器管理系统及芯片的应用领域，例如新能源汽车、智能电网和可再生能源等领域。通过加强知识产权保护及加入投资，促进行业话语权的提升。

（四）规范检验检测，建立公共服务平台

超级电容器的制备工艺复杂，技术控制点较多，新材料验证过程耗时很长。目前多数国内企业仅具有基本的性能检测能力，无法准确考察材料在器件中的性能表现，缺乏业内普遍认可的评价方法，在一定程度上增加了企业的市场推广的时间成本和经济成本，市场推广较为被动。利用行业社团资源，构建公共技术服务平台，未来应在加大系统集成等市场推广活动的同时，规范测试方法、建设具有公信力的第三方检测平台，开展产品技术鉴定、认证等行业自律工作，规范产业发展，依托行业组织建立产业公共服务平台。

（五）积极开展国际标准化工作，提升我国超级电容产业影响力

当前，国际相关超级电容的相关产业标准技术大多还处于空白之中，因此，从概念、技术规范、生产流程、产品等方面，要积极参与国际标准工作，为规范我国产业提供指导，促进产业相关领域技术交流与合作，消除贸易壁垒提供标准支持，提升我国超级电容产业在国际中的话语权和影响力。加强与国际超级电容器管理系统及芯片领域的合作与交流，积极参与国际标准的制定和推广。



产业



学术

联系我们

电话：13311368548

网址：www.china-sc.org.cn

邮箱：13311368548@163.com

地址：北京市海淀区万寿路27号



小秘书



超级电容+