

气凝胶国内发展正当时，关注泛亚微透

报告摘要：

气凝胶产业化日趋成熟，国内产业逆境崛起。气凝胶自 1931 年发现，目前正处在新一轮产业化浪潮的快速发展中。过去国内气凝胶发展承压，近年来逐步崛起，SiO₂ 气凝胶为目前产业化最成熟产品，其干燥技术是主要制备工艺。对气凝胶材料进行改性复合是提升性能的主要方案。

气凝胶是处于成长期的新材料，新能源车应用意义重大。综合估算气凝胶是一个百亿美元空间的新材料赛道。能化领域是目前主要应用市场，油气管道、工业保温为主；建筑建材赛道大，将成为第二大应用场景，中性预计潜在市场空间超 20 亿美元；新能源车应用将成为气凝胶在交通领域的主要增长引擎，气凝胶高温耐受性能有望解决三元电池安全痛点，意义非凡，预测 2025 年全球新能源车电池用气凝胶空间达百亿人民币规模。

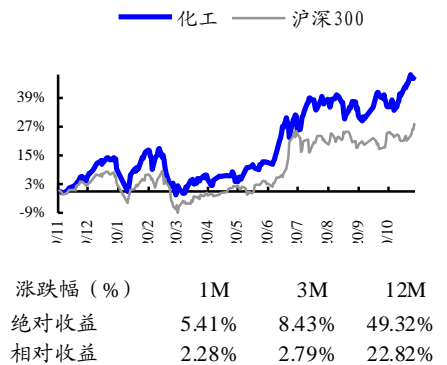
生产成本端改善，利于国内发展。气凝胶材料相较于传统保温材料生产成本高昂，主要集中在原材料成本以及干燥工艺。原材料硅源供给未来将得到释放，缓解成本端压力，而干燥工艺的成本中枢也随着常压工艺的日益成熟而实现数量级的下降。成本的下降可以为气凝胶替代传统保温材料提供强催化剂。

海外气凝胶企业成长经验值得借鉴。Aspen Aerogel 作为专注于气凝胶的全球龙头，其成长值得国内企业借鉴学习：领先的工艺技术，巨大的客户潜力、持续的研发投入。我国气凝胶行业虽发展较晚，但速度快，国内企业借势扩张产能，主流企业已经开始注重自主创新，向规模化、一体化、高端化发展，国内气凝胶有望弯道超车。

推荐泛亚微透：国内 ePTFE 引领者，气凝胶蓄势待发。公司目前主业围绕 ePTFE 展开，产品享受长尾利基市场。SiO₂ 气凝胶复合材料募投项目将成为支撑公司成长的又一重要方向。预计公司 2020-2022 年实现营收 2.96、4.54、6.52 亿元，实现归母净利润 0.61、1.12、1.69 亿元，对应 PE 分别为 92X/50X/33X。公司气凝胶业务布局核心方向为新能源赛道，渗透空间大，我们认为泛亚微透可给予较高市盈率，考虑当前处于年底估值切换期，建议对应 2022 年净利润给予 60 倍 PE，对应一年目标市值 101 亿元，首次覆盖给予“买入”评级。

风险提示：新产能投放低于预期；新产品推广低于预期。

历史收益率曲线



行业数据

成分股数量 (只)	391
总市值 (亿)	45558
流通市值 (亿)	33454
市盈率 (倍)	27.15
市净率 (倍)	1.88
成分股总营收 (亿)	50979
成分股总净利润 (亿)	1232
成分股资产负债率 (%)	52.53

相关报告

- 《金发科技 (600143): 一季报利空落地，低油价主业弹性显现》
--20200428
- 《联瑞新材 (688300): 加码高端，产品结构优化打开成长空间》
--20200629
- 《万盛股份 (603010): 阻燃剂价格全面上行，加码主业看好长期发展》
--20200812
- 《泛亚微透 (688386): 国内 ePTFE 引领者，气凝胶蓄势待发》
--20201124

重点公司主要财务数据

重点公司	现价	EPS			PE			评级
		2019A	2020E	2021E	2019A	2020E	2021E	
泛亚微透	79.68	0.62	0.87	1.59	128	92	50	买入

证券分析师：陈俊杰

执业证书编号：S0550518100001
010-58034571 chenjunjie@nescn

目 录

1. 气凝胶概述	5
1.1. 气凝胶的产业化日趋成熟.....	5
1.2. 国内气凝胶产业逆境崛起.....	6
1.3. 气凝胶的种类.....	8
1.3.1. 氧化物气凝胶材料.....	9
1.3.2. 炭气凝胶与碳化物凝胶材料.....	10
1.4. SiO ₂ 气凝胶的制备.....	10
1.4.1. 干燥技术.....	11
1.4.2. 溶胶-凝胶法.....	12
1.4.3. 气凝胶改性赋予其更强性能.....	12
2. 气凝胶应用广泛，处于生命周期的成长期	16
2.1. 能化领域是目前最大下游，保温防水应用成熟.....	17
2.2. 新能源将成为交通领域主要增长引擎.....	20
2.2.1. 动力电池应用呼之欲出，有望解决安全痛点.....	20
2.2.2. 汽车传统应用亦存在优化空间.....	23
2.3. 建筑建材赛道大，有望成气凝胶渗透最快领域.....	23
2.3.1. 内外墙渗透率将显著提升.....	24
2.3.2. 建筑涂料新市场有望打开.....	25
2.3.3. 气凝胶玻璃对 Low-E 玻璃形成替代.....	28
2.4. 高科技服装逐步打开应用.....	28
3. 气凝胶成本端改善，利于国内发展	29
3.1. 常压工艺逐步成熟.....	30
3.2. 硅源供给得到释放，缓解成本端压力.....	31
3.2.1. 四氯化硅供给充足，支撑常压工艺发展.....	32
3.2.2. 功能性硅烷需求景气带动供给扩张，解决超临界工艺的硅源问题.....	32
4. 海外气凝胶企业成长复盘	35
4.1. Aspen Aerogel.....	36
4.2. Cabot.....	39
4.3. AJA.....	40
4.4. 气凝胶全球市场长期向好，国内快速扩张.....	41
5. 投资建议：推荐泛亚微透——国内 ePTFE 引领者，气凝胶蓄势待发	44

图表目录

图 1: SiO ₂ 气凝胶材料.....	5
图 2: 气凝胶行业的发展历程.....	6
图 3: 中国气凝胶专利申请人数量趋势.....	7
图 4: 气凝胶的分类.....	8
图 5: Al ₂ O ₃ 气凝胶材料.....	10
图 6: 气凝胶制备工.....	11
图 7: 气凝胶玻璃纤维毡（左）及陶瓷纤维毡（右）.....	13
图 8: 新型的气凝胶隔热毡（1.膨体聚四氟乙烯复合层；2.纤维增强二氧化硅气凝胶复合层；3.保护层）.....	13
图 9: SiO ₂ 气凝胶保温复合面料.....	15
图 10: 气凝胶材料的应用领域.....	16
图 11: 气凝胶材料 2019-2029 年下游市场变化.....	17
图 12: 蒸馏塔气凝胶外保温材料.....	17
图 13: 气凝胶毡在长输蒸汽管道（1km）经济效益.....	18
图 14: 气凝胶毡在地上管道（1km）经济效益.....	18
图 15: 气凝胶保温材料所需的厚度或间距较小.....	19
图 16: 大型石化企业均逐渐采用气凝胶材料作为保温材料.....	19
图 17: 未来我国炼油能力或仍将保持大幅增长（单位：万吨/年）.....	20
图 18: 2016-2025 年全球三元正极出货量及预测（单位：万吨）.....	21
图 19: SiO ₂ 气凝胶玻纤毡复合材料在电池包中应用场景示意图.....	21
图 20: 气凝胶复合材料在客车中的应用.....	22
图 21: 气凝胶阻燃材料在客车中的应用.....	23
图 22: 气凝胶保温装饰一体板.....	24
图 23: 墙体保温材料分类.....	24
图 24: 我国房屋竣工面积及同比增速.....	25
图 25: 2015-2019 年全球涂料需求与同比增速.....	26
图 26: 涂料按用途分为三大类.....	26
图 27: 气凝胶涂料的优势.....	27
图 28: 2018 年我国涂料分类.....	27
图 29: 气凝胶玻璃.....	28
图 30: 气凝胶材料与普通衣物填充物热导率对比.....	28
图 31: 气凝胶成衣与常规羽绒服厚度对比.....	29
图 32: Primaloft 保温棉纤维示意图.....	29
图 33: 气凝胶聚酯纤维.....	29
图 34: 气凝胶产业链.....	30
图 35: 气凝胶产业链成本分布.....	30
图 36: 中国多晶硅产量.....	32
图 37: 中国多晶硅价格.....	32
图 38: 2019 全球功能性硅烷消费结构.....	33
图 39: 2019 全球功能性硅烷产能分布.....	33
图 40: 2018 美国功能性硅烷企业产能（万吨）.....	33
图 41: 我国功能性硅烷产量消费量（万吨）.....	34
图 42: 我国功能性硅烷进出口量（万吨）.....	34

图 43: 功能性硅烷开工率	34
图 44: 2018 我国功能性硅烷进口品种	35
图 45: 2018 我国功能性硅烷出口品种	35
图 46: 不同生命周期的气凝胶企业	36
图 47: Aspen Aerogel 产品销售地区分布	37
图 48: Aspen Aerogel 营收、净利润 (万美元)	37
图 49: Aspen Aerogels 专利数量 (张)	39
图 50: 气凝胶企业研发支出占比	39
图 51: Cabot 产品销售国家分布 (百万美元)	40
图 52: 2019 Cabot 特殊化学品销售地区分布	40
图 53: Armacell 高级绝缘材料销售 (百万美元)	41
图 54: Armacell 高级绝缘材料应用领域	41
图 55: 全球气凝胶行业市场规模	42
图 56: 气凝胶产品分类	42
图 57: 中国二氧化硅气凝胶行业市场规模	43
图 58: 中国凝胶制品进出口	43
图 59: SiO ₂ 气凝胶与 ePTFE 膜复合材料应用场景示意图	45
图 60: SiO ₂ 气凝胶玻纤毡复合材料在电池包中应用场景示意图	46
表 1: 气凝胶相关政策逐步完善	7
表 2: 主要气凝胶特点及其应用	8
表 3: 超临界与常压干燥技术的对比	12
表 4: 涂覆气凝胶材料后的隔热性能对比	14
表 5: 气凝胶复合材料相关专利	15
表 6: 气凝胶材料在国内新能源汽车市场的规模预测	22
表 7: 气凝胶材料在全球新能源汽车市场的规模预测	22
表 8: 气凝胶复材在建筑保温材料中性能优异	23
表 9: 气凝胶涂料专利方法举例	27
表 10: 气凝胶技术突破历程	31
表 11: Aspen Aerogel 产品信息	37
表 12: Aspen Aerogels 产品应用领域	38
表 13: Cabot 气凝胶产品信息	40
表 14: AJA 气凝胶产品信息	41
表 15: 气凝胶国内企业产能	43
表 16: 以埃力生为例, 气凝胶产品	44
表 17: 泛亚微透与可比公司估值对比	46

1. 气凝胶概述

气凝胶是一种隔热性能优异的固体材料，具有高比表面积，纳米级孔洞，低密度等特殊的微观结构，基于这些结构在热学方面表现出优异的性能。它的导热率~0.012mw/mk、密度~0.16mg/cm³、比表面积在 400-1000m²/g、孔隙率为 90-99.8%，它化学性能稳定，内部体积 99% 由气体组成，是目前已知密度最小的固体。

图 1: SiO₂ 气凝胶材料



数据来源：东北证券，互联网公开信息整理

1.1. 气凝胶的产业化日趋成熟

气凝胶从发现至今已经经历过三次产业化，目前正处在第四次产业化浪潮的快速发展中。气凝胶诞生于 1931 年，由 Steven.S.Kistler 在 Nature 杂志上发表《共聚扩散气凝胶与果冻》标志着气凝胶的发现。也正是 Kistler 首次通过乙醇超临界干燥技术，制备出世界上第一块气凝胶—SiO₂ 气凝胶。

第一次产业化发生在 20 世纪 40 年代早期，但是由于高昂的成本，第一次产业化最终失败。美国孟山都公司 (MonsantoCorp.) 与 Kistler 合作生产名为 Santocel 的气凝胶粉体，用来作化妆品、硅橡胶添加剂、凝固汽油增稠剂等。但因为高昂的制造成本及应用开发的滞后，孟山都公司于 20 世纪 70 年代终止了气凝胶项目。

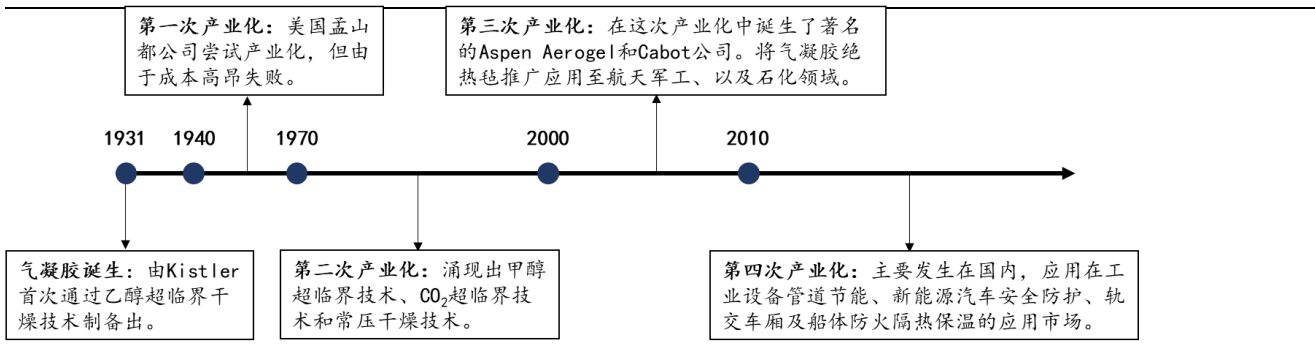
第二次产业化浪潮中，出现了不同技术方向的典型代表。(1) 1984 年，瑞典 Airglass 公司使用甲醇超临界技术，该材料用于切伦科夫探测器；(2) 1989 年，美国 Thermalux 公司使用 CO₂ 超临界技术，由于经营不善，项目终止；(3) 1992 年，德国 Hoechst 公司以常压干燥技术生产气凝胶粉体，推动其在隔热涂料、消光剂等多个领域的应用；(4) 2003 年，同济大学开始发表常压干燥的研究论文，中国技术工作者在常压干燥领域的投入逐步增多。

第三次产业化发生在 21 世纪初，在这次产业化中诞生了著名的 Aspen Aerogel 和 Cabot 公司。1999 年美国 Aspen Systems 公司承接美国宇航局的课题，成功制备出纤维复合的气凝胶超级绝热材料。2001 年正式成立了 Aspen Aerogel 公司进行气凝

胶的商业化运作，开始将气凝胶绝热毡推广应用至航天军工、以及石化领域。由此开启了气凝胶材料第三次产业化浪潮，气凝胶终于找到了一个好的商业化产品模型。2003 年全球领先的特种化学品和高性能材料公司 Cabot 通过兼并德国 Hoechst，掌握了常压干燥制备 SiO₂ 气凝胶材料的生产技术，成立了气凝胶专业公司，主要产品为气凝胶粉体颗粒，作为涂料添加剂或采光玻璃中的填充层应用。2004 年国内开始出现从事气凝胶材料产业化研究的企业。

第四次产业化主要发生在国内，随着气凝胶工艺成本的降低和产业规模的不断扩大，一些新兴应用不断开发出来，气凝胶市场日益成熟。2010 年开始，国内首批气凝胶生产企业陆续成功开拓了工业设备管道节能、新能源汽车安全防护、轨交车厢及船体防火隔热保温的应用市场。2017 年，我国发布了《纳米孔气凝胶复合绝热制品》(GB/T34336-2017) 国家标准；同年，气凝胶被列入国家重点节能低碳技术推广目录。2019 年，我国气凝胶产量 7.82 万立方米，2019 年我国气凝胶市场规模约为 11.23 亿元。

图 2: 气凝胶行业的发展历程



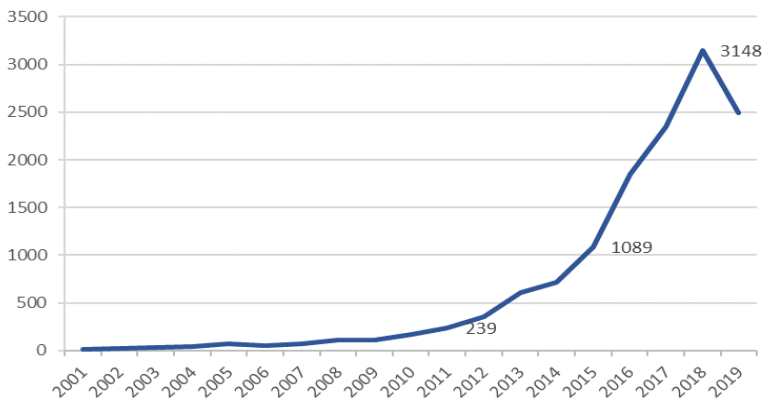
数据来源：东北证券，互联网公开信息整理

1.2. 国内气凝胶产业逆境崛起

气凝胶产业逆境崛起，国内不断重视并快速发展。2016 年，美国阿斯彭气凝胶股份有限公司 (Aspen Aerogels) 向美国国际贸易委员会 (ITC) 提起了 337 调查申请，称来自中国的两家企业的产品侵犯其复合气凝胶隔热材料和制造方法相关的专利权，请求 ITC 发布一般排除令 (或有限排除令) 和禁止令。2018 年，ITC 对气凝胶隔热复合材料及其制造工艺做出 337 调查部分终裁：裁定两家中国公司存在侵犯知识产权的行为。此次调查事件引起了国内气凝胶行业及科研人员对气凝胶专利权的高度重视。

2010 年之后专利和申请人数量增长迅速。从专利检索数据来看，气凝胶专利申请中年度新增的申请人数量逐年快速增加，每年有大量新增申请人涌入气凝胶领域。从国内气凝胶专利申请人排名来看，排名前二十位的，三分之二为高校和科研院所，企业申请人相对较少，且平均专利申请数量不到 50，授权发明量更少。从发明专利的技术方向来看，目前主要集中在气凝胶制备工艺及设备，这也是气凝胶产业化的需要重点突破的方向。从国内气凝胶专利申请情况来看，气凝胶产业目前处于产业化初期，已经有大批企业和研发机构涌入这一领域。

图 3: 中国气凝胶专利申请人数量趋势



数据来源: 东北证券, 专利产业化运营大会

政策支持逐步明确, 气凝胶推手频出。国际顶级权威学术杂志《科学》杂志在第 250 期将气凝胶被列为十大热门科学技术之一, 称之为可以改变世界的多功能新材料。2014 年和 2015 年, 发改委连续两年将气凝胶材料列为《国家重点节能低碳技术推广目录》, 开始了对气凝胶材料的初步推广应用。2018 年 6 月气凝胶被列入建材新兴产业, 同年 9 月发布第一个气凝胶材料方面的国家标准, 2019 年 12 月国家发改委发布文件鼓励气凝胶节能材料, 2020 年 11 月, 《气凝胶保温隔热涂料系统技术标准》启用, 有利于规范气凝胶保温隔热涂料在建筑工程中的应用, 为建筑领域新建、扩建和既有建筑改造工程中气凝胶应用的设计、施工和验收提供了技术保证。

表 1: 气凝胶相关政策逐步完善

时间	部门	文件	内容
2019 年 12 月	国家发改委	《产业结构调整指导目录 (2019 年本)》	鼓励气凝胶节能材料
2018 年 12 月	工业和信息化部、国防科工局	《军用技术转民用推广目录》和《军民参军技术与产品推荐目录》	纳米孔二氧化硅气凝胶岩棉复合保温板入围 2018 年度“军转民”目录
2018 年 11 月	国家统计局	《战略性新兴产业分类(2018)》	气凝胶及其制品、真空绝热板被列入战略性新兴产业分类重点产品和服务项
2018 年 9 月	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局	《纳米孔气凝胶复合绝热制品》	我国第一个气凝胶材料方面的国家标准
2018 年 6 月	中国建筑材料联合会	《中国制造 2025——中国建材制造业发展纲要》	气凝胶被列入建材新兴产业中
2016 年 12 月	国务院办公厅	《关于成立国家新材料产业发展领导小组的通知》	成立国家新材料产业发展领导小组, 推动新材料产业发展
2016 年 3 月	全国人大财政经济委员会、国家发展和改革委员会	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	支持新材料类新兴产业发展, 突破相关核心技术
2015 年 5 月	国务院办公厅	《中国制造 2025》	提出发展高性能结构材料、功能性高分子材料和先进复合材料
2012 年	工信部	《新材料产业“十二五”发展规划》	支持建设新材料工程研发平台和公共服务平台

数据来源: 东北证券, 网络公开资料整理, 泛亚微透环评报告

2020年9月，国家主席习近平在联合国大会上讲话，表示中国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，这一承诺意味着未来碳排放量需要比目前减少90%以上，发展气凝胶等新兴材料顺应趋势。据中国石油管道科技研究中心评估，以350℃蒸汽管道的保温应用为例，相比于传统保温材料，气凝胶的保温厚度减少2/3，节约能耗40%以上，每公里管道每年可减少二氧化碳排放125吨。

随着气凝胶行业进入企业不断增多，产品应用不断扩宽，市场规模不断扩大，技术研发速度加快，产品价格显著降低，行业领先的公司进入快速增长阶段，目前国内尚没有一家企业形成稳固的龙头地位，掌握低成本核心技术和一定市场资源的企业将获得巨大发展空间，整个行业将进入快速发展的窗口期。

1.3. 气凝胶的种类

气凝胶可分为无机气凝胶、有机气凝胶、混合气凝胶和复合气凝胶。常见的气凝胶主要是硅气凝胶、碳气凝胶和二氧化硅气凝胶，新发展的气凝胶主要是氧化石墨烯气凝胶、富勒烯气凝胶和纤维/二氧化硅气凝胶。

图 4: 气凝胶的分类

无机气凝胶	有机气凝胶	混合气凝胶	复合气凝胶
<ul style="list-style-type: none"> 氧化物 氟化物 碳化物 混合氧化物 	<ul style="list-style-type: none"> 醛系 脲衍生物 聚合物 碳类 	<ul style="list-style-type: none"> 有机+无机 	<ul style="list-style-type: none"> 纤维增强气凝胶 其他复合气凝胶

数据来源：东北证券，赛瑞研究

目前市场上常见的以及研究较多的可分为氧化物气凝胶材料、炭气凝胶材料（耐高温性可达3000℃）和碳化物气凝胶材料。

表 2: 主要气凝胶特点及其应用

名称	特点	应用	工业生产情况
氧化物气凝胶材料	具有孔隙率高、比表面积大、热导率低等特点	主要应用于航空航天、军事、电子、建筑、家电和工业管道等领域的保温隔热。	SiO ₂ 气凝胶是目前隔热领域研究最多也是较为成熟的一种高温气凝胶
	孔隙率极高，固体所占的体积比很低，使气凝胶的热导率很低	高温隔热保温材料方面具有极大的应用潜力	目前关于ZrO ₂ 气凝胶应用于隔热领域的报道还比较少，研究者主要致力于ZrO ₂ 气凝胶制备工艺的研究
	具有纳米多孔结构、使其具有更轻质量、更小体积达到等效的隔热效果，同时具有高孔隙率，高比表面积和开放的织态结构	用作高压绝缘材料，高速或低俗集成电路的衬底材料，真空电极的隔离介质以及超级电容器	氧化铝气凝胶材料的制备方法主要有铝醇盐法和无机铝盐法两种。

炭气凝胶材料	在惰性及真空氛围下高达 2000℃ 的耐温性, 石墨化后耐温性能甚至能达到 3000℃。	主要应用于高温隔热保温材料方面	有氧化情况, 炭气凝胶在 350℃ 以上便发生氧化, 成为其制备和应用难点
碳化物气凝胶材料	具备极好的抗氧化性能		国内外对于碳化物气凝胶的研究还相对较少, 特别是对于成形性良好的块状碳化物气凝胶的研究尚处于初始阶段。

数据来源: 东北证券, SAMPE

1.3.1. 氧化物气凝胶材料

氧化物气凝胶材料在高温区 ($>1000^{\circ}\text{C}$) 容易发生晶型转变及颗粒的烧结, 其耐温性相对较差, 但是其在中高温区 ($<1000^{\circ}\text{C}$) 具备较低的热导率。氧化物气凝胶材料主要有 SiO_2 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 CuO 等。

1) SiO_2 气凝胶材料

SiO_2 气凝胶是目前隔热领域研究最多也是较为成熟的一种耐高温气凝胶, 其孔隙率高达 80%~99.8%, 孔洞的典型尺寸为 1~100nm, 比表面积为 200~1000 m^2/g , 而密度可低至 3 kg/m^3 , 室温热导率可低至 12 $\text{m.W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。 SiO_2 气凝胶材料通常是将与红外遮光剂以及增强体进行复合, 以提高 SiO_2 气凝胶的隔热和力学性能, 使其既具有实用价值的纳米孔超级绝热材料, 同时还兼有良好的隔热和力学性能, 主要应用于航空航天、军事、电子、建筑、家电和工业管道等领域的保温隔热。常用的红外遮光剂有碳化硅、 TiO_2 (金红石型和锐钛型)、炭黑、六钛酸钾等; 常用的增强材料有陶瓷纤维、无碱超细玻璃纤维、多晶莫来石纤维、硅酸铝纤维、氧化锆纤维等。

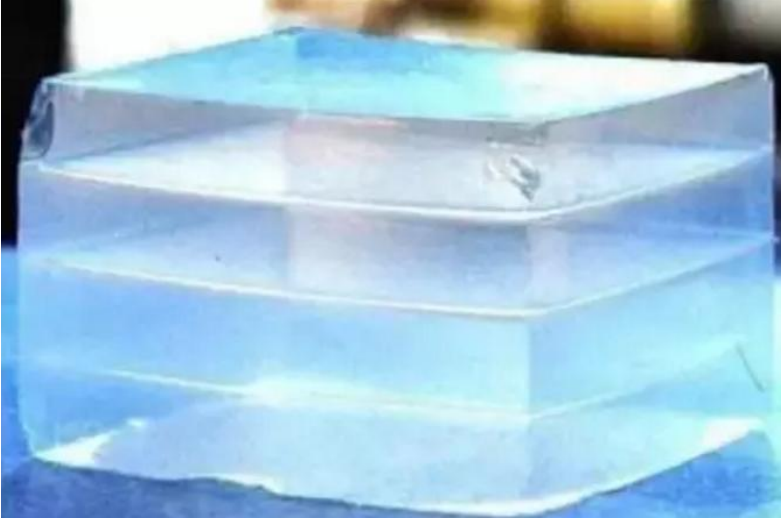
2) ZrO_2 气凝胶材料

与 SiO_2 气凝胶材料相比, **ZrO_2 气凝胶的高温热导率更低, 更适宜于高温段的隔热应用, 在作为高温隔热保温材料方面具有极大的应用潜力。** ZrO_2 气凝胶材料的孔径小于空气分子的平均自由程, 在气凝胶中没有空气对流, 孔隙率极高, 固体所占的体积比很低, 使气凝胶的热导率很低。目前关于 ZrO_2 气凝胶应用于隔热领域的报道还比较少, 研究者主要致力于 ZrO_2 气凝胶制备工艺的研究。

3) Al_2O_3 气凝胶材料

氧化铝气凝胶材料具有纳米多孔结构, 使其具有更轻质量、更小体积达到等效的隔热效果, 同时具有高孔隙率、高比表面积和开放的织态结构, 在催化剂和催化载体方面具有潜在的应用价值。氧化铝气凝胶还可用作高压绝缘材料, 高速或超速集成电路的衬底材料, 真空电极的隔离介质以及超级电容器。

图 5: Al_2O_3 气凝胶材料



数据来源：东北证券，互联网公开信息整理

1.3.2. 炭气凝胶与碳化物凝胶材料

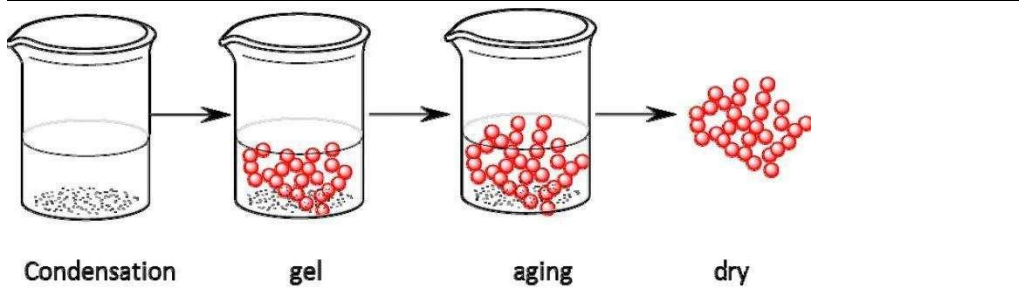
炭气凝胶最大的特点就是其在惰性及真空氛围下高达 2000°C 的耐温性，石墨化后耐温性能甚至能达到 3000°C ，而且炭气凝胶中的炭纳米颗粒本身就具备对红外辐射极好的吸收性能，从而产生类似于红外遮光剂的效果，因此其高温热导率较低。但是在有氧条件下，炭气凝胶在 350°C 以上便发生氧化，这使得其在高温隔热领域的应用受到了极大地限制。随着 SiC 、 MoSi_2 、 HfSi_2 、 TaSi_2 等高抗氧化性涂层的发展，在炭气凝胶材料表面涂覆致密的抗氧化性涂层，阻止氧气的进一步扩散，将使该材料具备极大的应用前景。

碳化物材料具备极好的抗氧化性能，但是其本身热导率较高，将其制成含有三维立体网络状结构的气凝胶，可以极大地降低材料的热导率，进一步提高材料的隔热性能。目前国内外对于碳化物气凝胶的研究还相对较少，特别是对于成形性良好的块状碳化物气凝胶的研究尚处于初始阶段，对于其作为高效隔热材料的研究也较为匮乏，仅限于对该材料的制备与表征。

1.4. SiO_2 气凝胶的制备

由于 SiO_2 气凝胶是目前产业化最成熟的产品，该类气凝胶的制备包括两种方法：干燥法和溶胶-凝胶法。目前产业化中主要使用的技术是干燥技术。

图 6: 气凝胶制备工



数据来源：东北证券，网络公开资料整理

1.4.1. 干燥技术

目前产业化中主要使用的技术是超临界干燥技术和常压干燥技术，其他尚未实现批量生产技术还有真空冷冻干燥、亚临界干燥等。

超临界干燥技术是最早实现批量制备气凝胶技术，已经较为成熟，也是目前国内外气凝胶企业采用较多的技术。超临界干燥可以实现凝胶在干燥过程中保持完好骨架结构。

常压干燥技术一种新型的气凝胶制备工艺，是当前研究最活跃，发展潜力最大的气凝胶批产技术。其原理是采用疏水基团对凝胶骨架进行改性，避免凝胶孔洞表面的硅羟基相互结合并提高弹性，同时采用低表面张力液体置换凝胶原来高比表面积的水或乙醇从而可以在常压下直接干燥获得性能优异的气凝胶材料。

表 3: 超临界与常压干燥技术的对比

干燥技术	设备投入	生产成本	产品性能	技术门槛	拓展空间
超临界干燥	需要高压釜，一般工作压力高达 7~20MPa，属于特种设备中的压力容器，设备系统较为复杂，运行和维护成本也较高	硅源：采用有机硅源，价格较为昂贵，但是纯度高，工艺适应性好； 设备折旧：较高； 能耗方面：干燥系统耗电较高，蒸汽消耗方面两者差别不大。	产品没有任何显著或实质意义的区别，在非二氧化硅气凝胶制备方面，超临界干燥工艺要成熟很多，不过还没有量产的报道。	超临界干燥技术的生产效率、安全性，乃至工艺变更都对设备系统有较高依赖度，如果设备厂家提供设备系统较为成熟可靠，业主进入技术门槛相对较低。	采用超临界干燥技术的设备投入将高达数十亿，十分不利于气凝胶企业的做大做强。
常压干燥	采用常规的常压设备，设备投入低，设备系统也较为简单	硅源：可采用水玻璃，价格低廉，但是杂质较多，去除杂质的工艺较为繁琐； 设备折旧：较低； 能耗方面：干燥系统耗电较低		常压干燥技术设备的投资门槛较低，但是技术门槛却较高，对配方的设计和流程组合优化有较高要求，如果技术不过关，不仅生产成本可能高于超临界，甚至性能指标也不能达到要求。	随着规模扩大，投入产出比会进一步提高，可以较少投资获得较大生产规模，因而更能适应未来大生产的需要。

数据来源：东北证券

相比超临界干燥技术，常压干燥技术在设备投入、硅源上均具有显著的成本优势，在技术上存在一定的门槛，适合于后期气凝胶的大规模量产。

1.4.2. 溶胶-凝胶法

通过硅源物质的水解和缩聚获得具有三维网络结构的 SiO_2 凝胶，反应生成以 $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ 为主体的聚合物，再经过老化阶段后，形成网络结构的凝胶。在凝胶形成的过程中，部分水解的有机硅发生缩聚反应，缩聚的硅氧链上未水解的基团可继续水解。通过调节反应溶液的酸碱度，控制水解-缩聚过程中水解反应和缩聚反应的相对速率，可得到凝胶结构。在酸性条件下 ($\text{pH}=2.0-5.0$)，水解速率较快，有利于成核反应形成较多的核；在碱性条件下，有利于核的长大及交联，易形成致密的胶体颗粒。强碱性或高温条件下 SiO_2 的溶解度增大，使最终凝胶结构形成胶粒聚集体。

1.4.3. 气凝胶改性赋予其更强性能

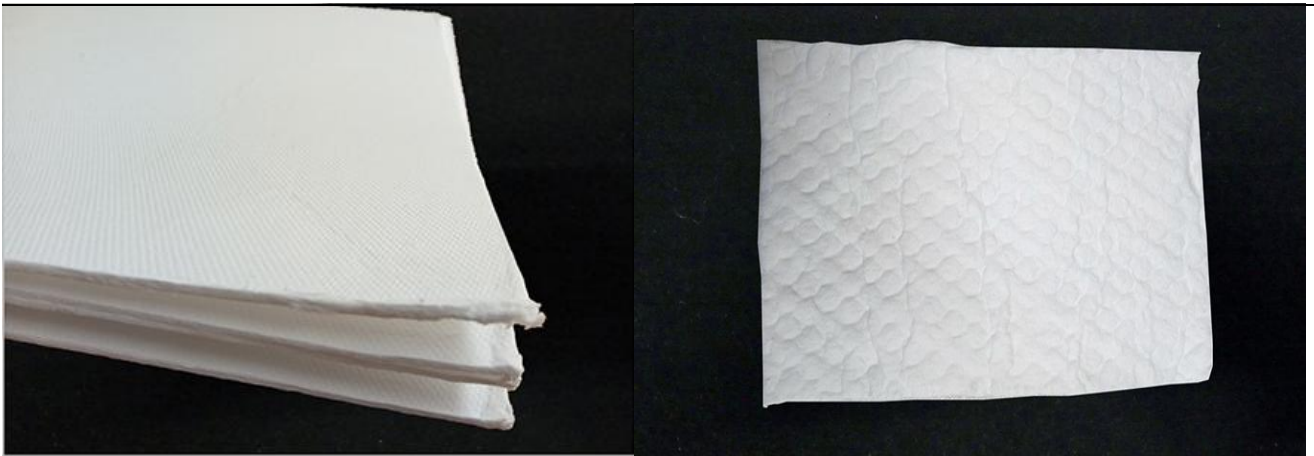
气凝胶材料本身具有强度低、脆性高的缺点，为了克服这一缺点，需要对气凝胶材料进行改性，这是目前最重要的工艺，通过改性可赋予气凝胶材料不同性能。目前气凝胶材料改性最常用的方法就是掺杂，即加入掺杂剂或者增强/增韧材料，制备复合气凝胶材料。

复合气凝胶材料的制备方法通常有两种：一种是在凝胶过程前加入掺杂材料；另一

种是先制备气凝胶颗粒或者粉末，再加入掺杂材料和黏结剂，经模压或注塑成型制成二次成型的复合体。常用的掺杂材料有玻璃纤维、莫来石纤维、岩棉、硅酸铝纤维等。掺杂材料种类的选择主要依气凝胶复合材料的应用目的而定。

气凝胶可与玻璃纤维、陶瓷纤维或者碳纤维进行复合，提高体系的结合力，使表面不易脆裂粉化。常见的产品如，气凝胶玻璃纤维毡、气凝胶陶瓷纤维毡、预氧化纤维等，该产品主要应用于管道炉体等保温隔热，可取代聚氨酯泡沫、石棉保温垫、硅酸盐纤维等不环保、保温性能差的传统柔性保温材料。

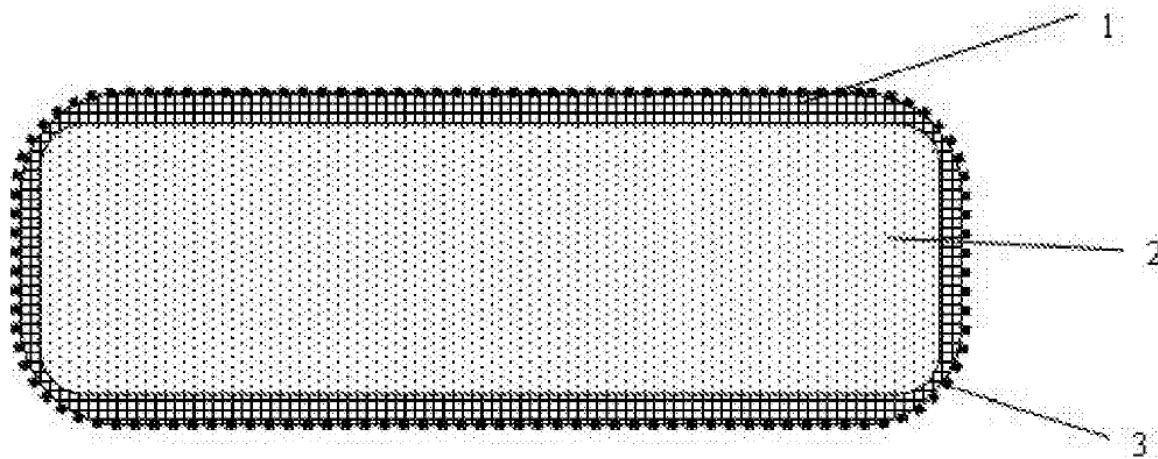
图 7: 气凝胶玻璃纤维毡（左）及陶瓷纤维毡（右）



数据来源：东北证券，泛锐研究院有限公司官网

在气凝胶基体材料表面与更高强度与韧性的材料进行复合，可提高整个材料体系的强度，拓宽更多的应用领域。纯纤维毡虽然有隔热效果，但是表面纤维容易断裂粉化，造成浮纤或粉末污染，不适合长时间在高温、压缩和振动条件下使用。为解决该问题，市场上出现了一种新的气凝胶材料复合办法。在气凝胶复合层的外部覆盖一层更高强度、高韧性的材料如膨体聚四氟乙烯和阻燃 PET 纤维的复合层，这类材料能够应用在汽车隔热等特殊领域。

图 8: 新型的气凝胶隔热毡（1-膨体聚四氟乙烯复合层；2-纤维增强二氧化硅气凝胶复合层；3-保护层）



数据来源：东北证券，CNKI

气凝胶材料也可用作涂覆材料，在基体表面添加隔热保护。将气凝胶颗粒以及粘合剂、阻燃剂、发泡剂进行混合制备出气凝胶粘合剂组合物，并在气凝胶涂料表面再涂覆热反射层面，可大幅提升原材料的耐热性能。

表 4: 涂覆气凝胶材料后的隔热性能对比

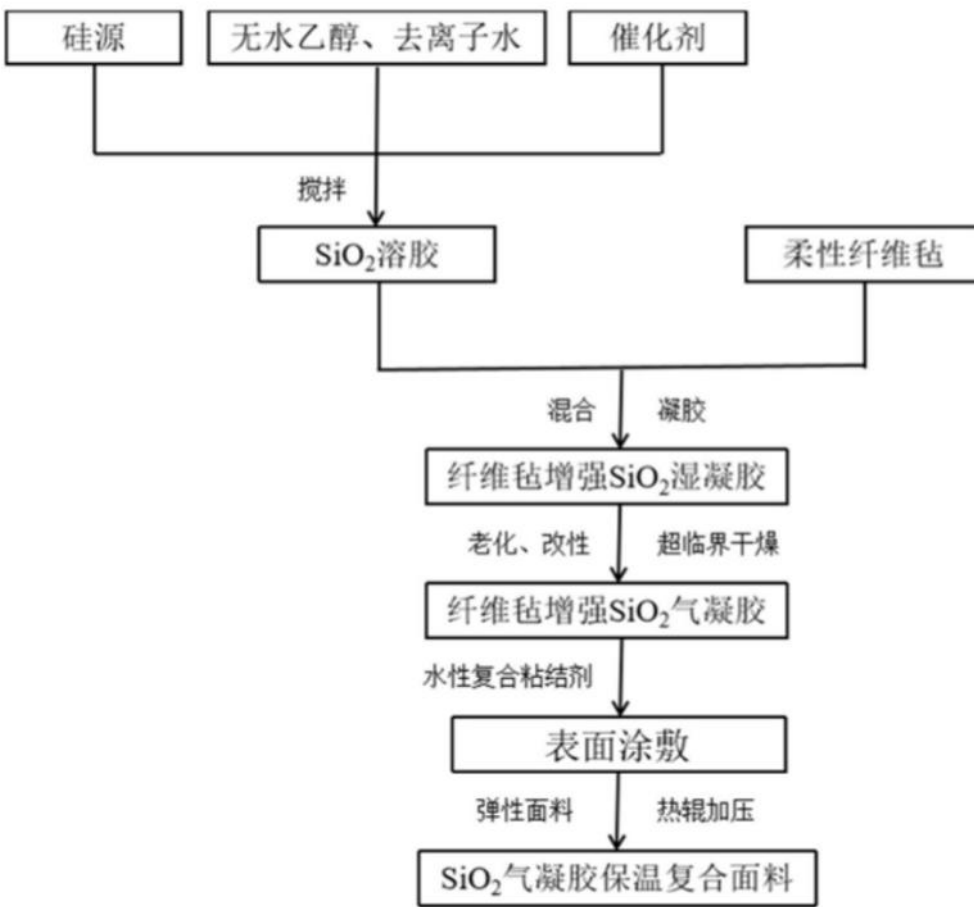
样板	样品	温度 (°C)	加热时间	观察
1A	塑料	142	10 分钟	发生塑料的分解
1B	塑料和常规的铝制热防护罩	39	1 小时	没有可见分解
1C	用气凝胶绝缘复合材料涂覆的塑料	46	2.5 小时	没有可见分解

数据来源：东北证券，CNKI

气凝胶材料也可与阻燃剂协同使用，获得更好的阻燃性的同时也能够提高材料的强度和韧性。有一种 $Sb_2O_3-SiO_2$ 复合气凝胶无机阻燃剂，具有较大的比表面积，其与塑料，橡胶等高分子聚合物基体产生了牢固的界面粘合力，提高了复合气凝胶阻燃剂在聚合物熔体中的分散性、流动性，提高了阻燃效果，减少了因添加无机类阻燃剂给聚合物基体造成的力学性能的损失。

气凝胶材料也可与纺织纤维如无纺布、聚酯短纤、尼龙等制作成衣服面料，该面料可用于羽绒服、棉袄、户外用品、防火服、宇航服及特种作业服等领域。该材料拥有良好的保温性、隔热性、耐磨性、防水性、防风型，导热系数低于 $0.05W/(m \cdot K)$ ，比羽绒羊毛导热系数还低。

图 9: SiO₂ 气凝胶保温复合面料



数据来源：东北证券，CNKI

表 5: 气凝胶复合材料相关专利

参考专利	气凝胶复合材料	复合材料组分	性能特点
绝热隔音气凝胶层复合透气膜的复合材料	气凝胶毡	二氧化硅气凝胶、玻璃纤维、预氧化纤维等	
绝热隔音气凝胶层复合透气膜的复合材料	气凝胶层复合透气膜材料	透气膜层（膨体聚四氟乙烯）、粘连层、气凝胶层	克服气凝胶易碎特点，保温绝热
基于二氧化硅气凝胶复合材料防火服	二氧化硅气凝胶复合防火材料	二氧化硅气凝胶、玻璃纤维、表层为铝箔的陶瓷纤维	防火、柔韧性强、绝热
一种高韧性、高阻燃性的PBT/PC复合材料及其制备方法	PBT/PC 复合材料	氢氧化铋、二氧化硅气凝胶、乙烯-辛烯共聚物、PC、PBT	良好韧性、缺口冲击强度高、阻燃性
一种高阻燃的汽车保险杠用形状记忆聚丙烯材料	形状记忆聚丙烯材料	聚丙烯、二氧化硅气凝胶	二氧化硅气凝胶降低汽车重量、阻燃型
一种绝缘阻燃的复合材料及其制备方法	含有气凝胶的绝缘复合材料	纤维材料（自然纤维、矿物棉、木丝）、气凝胶	绝缘、阻燃、隔音
一种纳米 Sb ₂ O ₃ -SiO ₂ 复合气凝胶无机阻燃剂的制备方法	纳米 Sb ₂ O ₃ -SiO ₂ 复合气凝胶无机阻燃剂	三氧化二锑、二氧化硅气凝胶	阻燃绝热、更高的机械强度、更好的疏水性能

一种纳米气凝胶复合隔热板	纳米气凝胶复合隔热板	硅酸铝棉毡、超细玻璃纤维、气凝胶	解决目前导热板保温和隔热性能差
一种气凝胶复合材料的制备方法	气凝胶复合材料	二氧化硅气凝胶、基材（陶瓷纤维毡、硅酸铝板、玻璃纤维、硅酸铝纤维、莫来石纤维、膨胀珍珠岩、高分子树脂制成的板材等等）	导热系数低、憎水性能优异、加工性能好
一种阻燃隔音复合材料	气凝胶复合材料	高阻尼硅橡胶、二氧化硅气凝胶等	质轻、机械性能好、防火阻燃

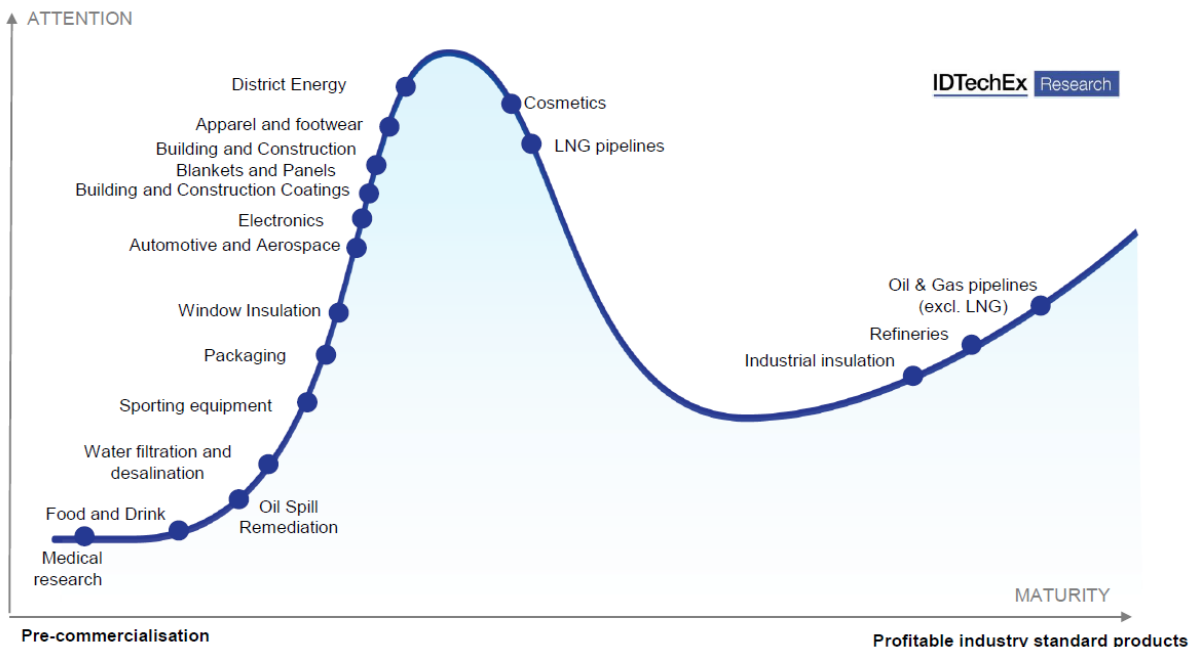
数据来源：东北证券，CNKI

2. 气凝胶应用广泛，处于生命周期的成长期

气凝胶材料由于其优异的保温隔热性能，应用领域广泛，主要分布在能源设备、交通、建筑材料、服装等领域，潜在规模巨大，我们判断全球市场空间在百亿美元以上。

整体处于生命周期的成长期，多领域蓬勃发展。据 IDTechEX Research 提及，由于气凝胶技术近年来才逐渐进步，目前大多数应用领域仍处于气凝胶推广的早期及成长期，区域能源、建筑建造、服装、日化、LNG 管道等领域发展较快。目前应用相对成熟的领域主要是油气管道（LNG 管道除外）、炼化项目、工业隔热等。

图 10: 气凝胶材料的应用领域

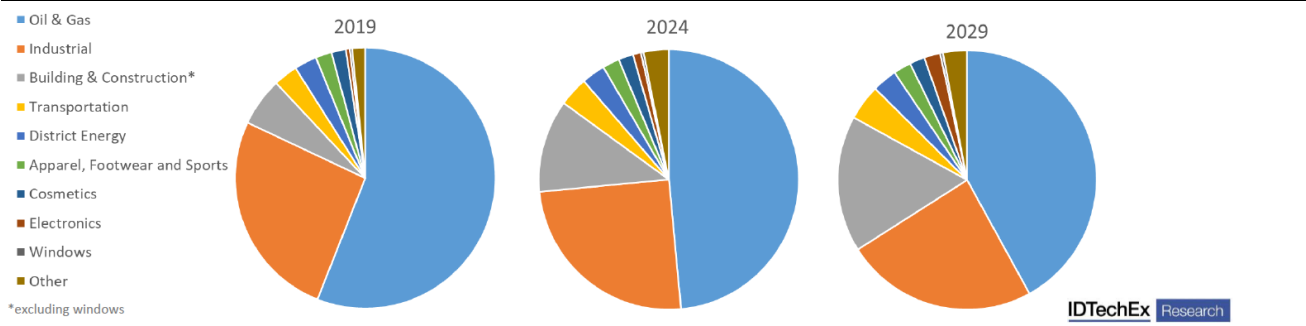


数据来源：东北证券，IDTechEX Research

建筑建造、交通领域将会获得更快增长。2019 年气凝胶下游大部分应用集中于油气项目（56%）、工业隔热（26%），该两部分市场占比 82%，建筑建造占比 6%，交通项目占比 3%。而 IDTechEX Research 分析，2024 年建筑建造领域的占比将会提升，

应用占比预计较原来提升一倍，占比接近 12%，到 2029 年，建筑建造占比将会达到接近 18%，交通领域也会提升至 5%，而传统油气领域占比将降低到 41%，建筑建造以及新兴领域将成为主要消费驱动。

图 11: 气凝胶材料 2019-2029 年下游市场变化



数据来源：东北证券，IDTechEX Research

2.1. 能化领域是目前最大下游，保温防水应用成熟

气凝胶材料在能化领域主要应用在能源基础设施的外保温材料，包含蒸馏塔、反应管道、储罐、泵、阀门的保温材料，天然气和 LNG 液化气管道的保温材料，深海管道保温材料，发电厂设备保温材料等。

图 12: 蒸馏塔气凝胶外保温材料

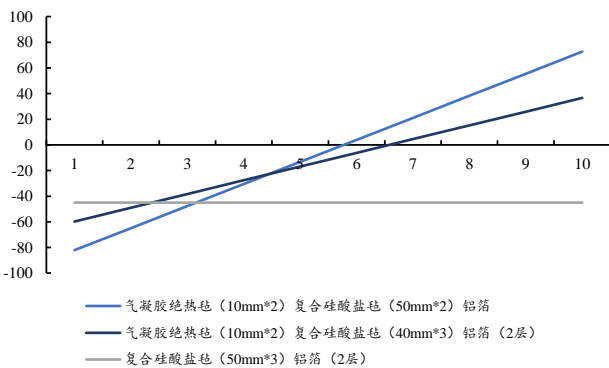


数据来源：东北证券，Aspen Aerogel 官网

气凝胶的疏水性可以使管道的保温层防水，并防止温差引起的凝结反应，当气凝胶具有相同的保温效果时，气凝胶保温层所需的厚度或间距较小，综合成本显著降低。管道保温应用环境复杂，既有室内保温，也有室外保温，还有直埋管道保温。与室内外管道保温相比，气凝胶毡作为保温材料在直埋管道保温中的应用凸显了气凝胶的突出特点，既可以减少保温层的厚度，又减少土方工程量和工期。这两项的成本下降可以完全抵消选择气凝胶作为保温材料的成本。

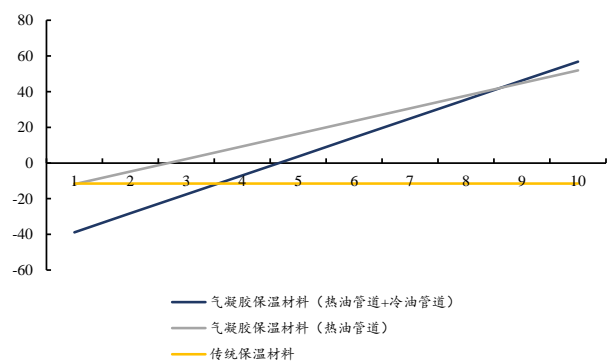
与传统保温材料复合，有望达到最佳经济性。气凝胶主要应用领域为隔热保温，而作为尚未大规模普及的新型材料，气凝胶保温材料的劣势在于价格较高，初始投资较大。但由于其优异的耐老化性、尺寸稳定性、疏水性、隔热性能及易于施工的优势，其在投入使用一定的时间后，就会体现出综合优势。根据中国石油管道科技研究中心研究，将三种保温方案对蒸汽管道以及地上管道上气凝胶材料与传统保温材料的保温性能、初始投资费用、以及运行维护成本进行了对比，发现在管道上使用气凝胶材料较传统保温材料具有较大综合优势。使用气凝胶材料所节约的能源和运行维护费用（主要指更换传统保温层的材料和人工费用），可在2~4年内超过初期多花费的投资。在随后的利用过程中，可持续因能源节约和减少保温层更换次数为管道运营商节省开支。此外，当管道内外温差较大、年加热时长较长、加热燃料或电能涨价时，复合使用气凝胶材料和传统保温材料的效果更好。

图 13: 气凝胶毡在长输蒸汽管道 (1km) 经济效益



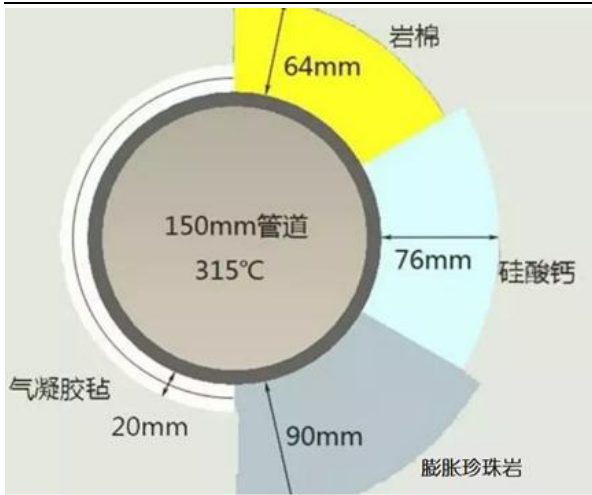
数据来源: 东北证券, 中国石油管道科技研究中心

图 14: 气凝胶毡在地上管道 (1km) 经济效益



数据来源: 东北证券, 中国石油管道科技研究中心

图 15: 气凝胶保温材料所需的厚度或间距较小



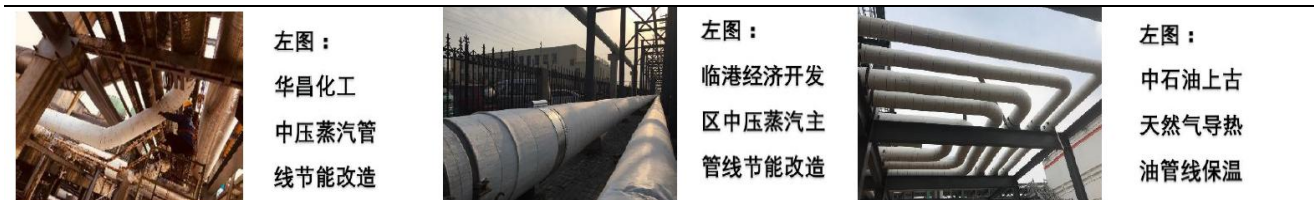
数据来源: 东北证券

气凝胶材料方便施工, 提高施工效率 30% 以上。将气凝胶毡切割成一定尺寸后, 会产生一定程度的弧度, 可直接放置在管道上安装固定。气凝胶毡轻巧、硬度一定、柔韧性强、不易破碎、切割非常方便。与传统保温材料相比, 施工效率提高 30% 以上, 也避免了传统保温材料后期使用不便维护的担忧。

虽然气凝胶保温的初期投资较传统材料偏高, 但其诸多的优良性能、持久的节能收益、显著的绿色环保优势, 使之成为一种综合性价比较高的节能产品。高温蒸汽、导热油以及工艺流体介质管线是热电、炼油、化工等领域至关重要的设备, 管道常年暴露于空气中, 其热损失占整个厂区自然热损失的绝大部分, 且所输送介质能量保持率直接关系到产品的保质保量水平, 所以选用优良的保温材料至关重要。目前全球大型石化企业如埃克森美孚、壳牌、雪佛龙、中石油、华昌化工等公司炼厂均大量采用气凝胶材料作为保温材料。

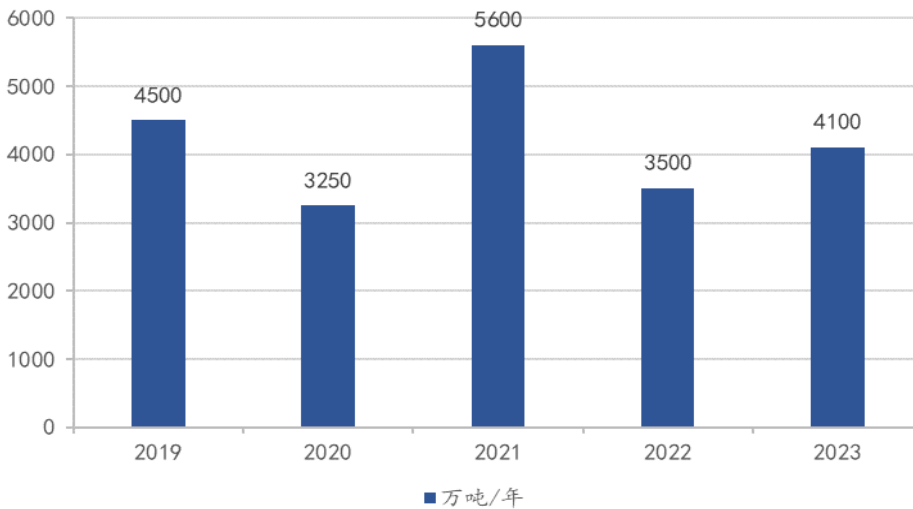
国内大炼化产业快速崛起, 气凝胶应用场景放大。据资料显示, 2019 年我国炼油能力已超过 8.5 亿吨, 2020-2023 年, 我国将新增炼油能力 1.65 亿吨, 增长 19.4%, 全球 2020-2025 年将会新增炼能约 2.67 亿吨, 中国以及全球炼能的扩张将为气凝胶复材带来一定的增长空间。

图 16: 大型石化企业均逐渐采用气凝胶材料作为保温材料



数据来源: 东北证券

图 17: 未来我国炼油能力或仍将保持大幅增长 (单位: 万吨/年)



数据来源: 东北证券, 中石化经济技术研究院, 金联创

能化领域是目前气凝胶材料主要的应用市场, 根据 Aspen Aerogel 19 年年报预测, 能化领域的全球市场空间约 31 亿美元。

2.2. 新能源将成为交通领域主要增长引擎

气凝胶材料不但能够解决目前三元电池体系及其它电池体系的安全问题, 也能够发挥阻燃性能应用于汽车内饰材料中。

2.2.1. 动力电池应用呼之欲出, 有望解决安全痛点

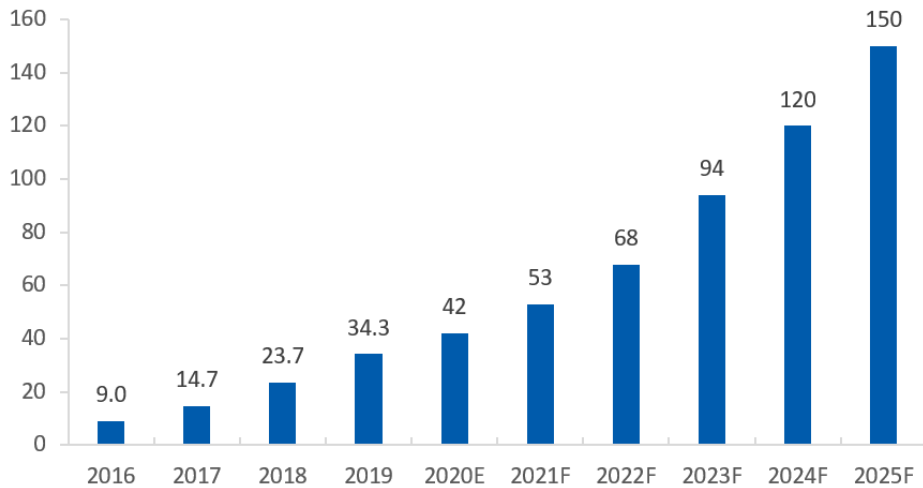
气凝胶高温耐受能力解决三元电池安全痛点。当车载电池长时间输出电能后, 电池内长时间进行化学反应会使得电池体明显发热, 存在燃烧、爆炸的风险。传统的芯模组都是采用塑料隔板将电池相互隔开, 并没有实际用处, 这样不仅重量大还无法起到保护作用, 且容易造成电池温度过高导致隔板溶解、着火等问题。现有的采用的防护毡结构简单, 容易变形, 使其不能很好地与电池组全面接触, 且在电池发热严重时其并不能起到很好的隔热效果, 而气凝胶复合材料的出现有望解决这一痛点。

三元电池对安全性要求更高。其优势在于储能密度和抗低温两个方面: 1) 储能密度, 三元锂电池能量密度在 170-200Wh/kg, 后期能量密度还会进一步提升, 而磷酸铁锂电池能量密度为 140-160Wh/kg; 2) 低温使用性能, 三元锂电池低温使用下限值为 -30℃, 磷酸铁锂电池低温下限值为 -20℃, 在相同低温条件下, 三元锂电池冬季衰减不到 15%, 磷酸铁锂电池衰减高达 30% 以上。但由于三元电池能量密度更高, 电池的稳定性 and 安全性相对较差, 在使用时更依赖高性能的阻燃材料来增强三元电池体系的安全性能。

动力电池发展迅猛, 三元电池占主要份额。数据显示, 2020 年 1-7 月, 我国动力电池装车量累计 22.5GWh。其中三元电池装车量累计 15.9GWh, 占总装车量 70.6%;

磷酸铁锂电池装车量累计 6.5GWh，占总装车量 28.8%，预计 2025 年全球三元正极出货量达到 150 万吨。

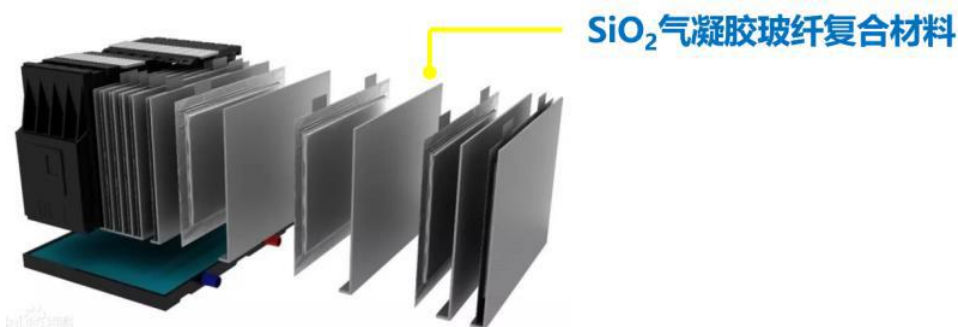
图 18: 2016-2025 年全球三元正极出货量及预测 (单位: 万吨)



数据来源: 东北证券, 高工产研锂电研究所 (GGII)

气凝胶复合材料作为阻燃材料, 相比于传统阻燃材料具有质轻、阻燃性能优异、环保性能好等优点。目前新能源汽车蓄电池芯模组采用隔热阻燃材料主要有两种: 1) 塑料类 PP、ABS、PVC 等, 其中以 ABS 工程塑料为主, 通常将阻燃剂添加进 PP、ABS 等塑料制成阻燃塑料; 2) 玻璃纤维、陶瓷纤维棉等防火类材料制成的防火毡。气凝胶作为一种新兴材料, 具有优良的绝热阻燃性能, 将气凝胶与工程材料复合而成的气凝胶复合材料具有极为优异的阻燃性能。泛亚微透开发的 SiO₂ 气凝胶玻纤毡复合材料, 该类材料在常温 25℃ 环境下, 导热系数可以达到 0.017W/(m·k) 以下, 在 600℃ 高温环境下, 导热系数介于 0.047~0.066W/(m·k) 之间, 它能够将电池包高温耐受能力提高至 800℃ 以上。

图 19: SiO₂ 气凝胶玻纤毡复合材料在电池包中应用场景示意图

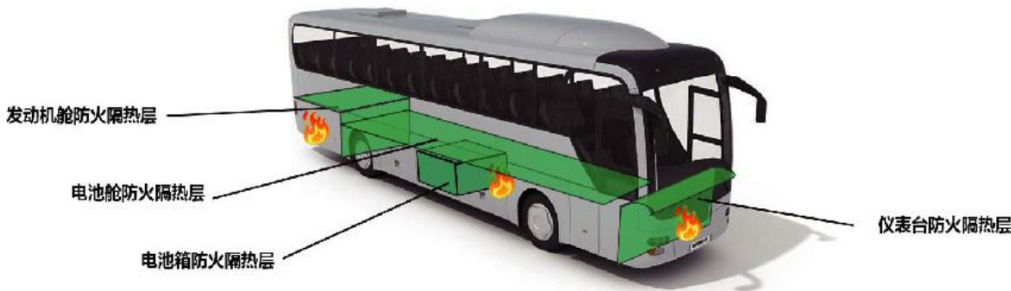


数据来源: 东北证券, 泛亚微透公司招股说明书

该类气凝胶复合材料可以耐受住电池包短路造成的高温能量瞬间冲击, 更好地解决动力电池安全问题。根据《电动客车安全技术条件》要求, 可充电储能系统 (或安装舱体) 与客舱之间应使用阻燃隔热材料隔离, 该材料的燃烧性能应符合 GB8624-2012 中规定的 A 级不燃要求, 并且在 300℃ 时导热系数应小于等于

0.04W/(m·k)。专利 CN210136903U 中公布了一种用于新能源车电池中的二氧化硅气凝胶毡制品。其二氧化硅气凝胶毡层的各个表面均由高硅氧玻璃纤维布层包覆连接，包覆开口处通过高硅氧线连接。该材料达到了新能源汽车要求的 UL94 的 V0 级不燃的性能指标，在 400℃ 时的导热系数小于等于 0.04W/(m·k)，在 800℃ 高温下能够长期工作，满足了锂离子动力电池芯在发生撞击短路或过充电发热自燃的条件下，隔离耐受故障电池芯瞬间释放的高温能量，使得电池芯自燃起火不再扩大延展。

图 20: 气凝胶复合材料在客车中的应用



数据来源：东北证券

预计 2025 年气凝胶复合材料在国内新能源汽车市场的潜在规模约 6.28 亿美元。根据 Aspen Aerogel 19 年年报，气凝胶材料近年平均价格约为 30 美元/平方米，每辆新能源汽车约需要 2-5 平方米的气凝胶复合材料，则每辆新能源汽车平均需要价值 105 美元的气凝胶复合材料。根据《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》中要求，2025 年时，新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售总量的 20% 左右，工业和信息化部副部长辛国斌表示，按照规划每年的年复合增长率必须达到 30% 以上。

表 6: 气凝胶材料在国内新能源汽车市场的规模预测

	2019	2020E	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
新能源汽车产量（万辆）	124	161	210	272	354	460	599
单车气凝胶材料价值（美元）	105	105	105	105	105	105	105
市场规模（亿美元）	1.30	1.69	2.20	2.86	3.72	4.83	6.28

数据来源：东北证券、Wind、《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》

预计 2025 年气凝胶复合材料在全球新能源汽车市场的潜在规模约 15.75 亿美元，2030 年达到 31.50 亿美元。新能源汽车也是全球主流发展方向，根据主流车企的规划目标，对应全球销量在 2025 年将接近 1500 万辆，在 2030 年将达到 3000 万辆。

表 7: 气凝胶材料在全球新能源汽车市场的规模预测

	2019	2020E	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
新能源汽车产量（万辆）	212	294	407	564	782	1084	1500
单车气凝胶材料价值（美元）	105	105	105	105	105	105	105
市场规模（亿美元）	2.23	3.09	4.28	5.93	8.21	11.39	15.75

数据来源：东北证券、Global EV Outlook

2.2.2. 汽车传统应用亦存在优化空间

气凝胶阻燃复材不仅有更好的阻燃性能和疏水性能，还可以增强材料基体的强度使其韧性得以提高。二氧化硅气凝胶经过特定改性后可具有较大的比表面积，其与塑料、橡胶等高分子聚合物基体产生了牢固的界面粘合力，提高了复合气凝胶阻燃剂在聚合物熔体中的分散性、流动性、提高了阻燃效果，其中改性后的橡胶热稳定性、热分解温度均有不同程度提高。

气凝胶材料可添加阻燃剂协同使用，共同制备出性能更加优越的阻燃材料，潜在市场空间也较大。气凝胶阻燃材料也可广泛的应用于不同场景，如汽车的不同部位，如座椅阻燃内衬以及车身阻燃内衬，可对传统隔热阻燃材料进行替代。其阻燃性可遏制火势蔓延，低烟密度特性会降低火灾的杀伤力，大幅降低火灾隐患，保护乘客安全。

图 21: 气凝胶阻燃材料在客车中的应用



数据来源：东北证券

2.3. 建筑建材赛道大，有望成气凝胶渗透最快领域

气凝胶在建材领域主要应用于墙体保温材料、保温涂料以及节能玻璃中，面向新建建筑和既有建筑节能改造两大场景。我国日渐完善的建筑能耗标准和逐步建立的建筑节能运行监管体系将推动建筑墙体保温材料行业快速发展；近年房地产市场向着高质量迈进，开发投资增速连年保持在 10% 左右，将带动保温建材市场快速发展。我们对市场空间进行中期估算，未来十年我国气凝胶用在建筑建材的潜在市场规模约 29 亿美元，其中墙体保温材料为主要部分，约 20 亿美元。

表 8: 气凝胶复材在建筑保温材料中性能优异

保温材料	抗拉强度/MPa	导热系数/(W/mk ⁻¹)	抗拉强度/MPa
TPS 板	≤0.036	≤0.2	≤0.15
EPS 板	≤0.04	≤0.1	≤0.01

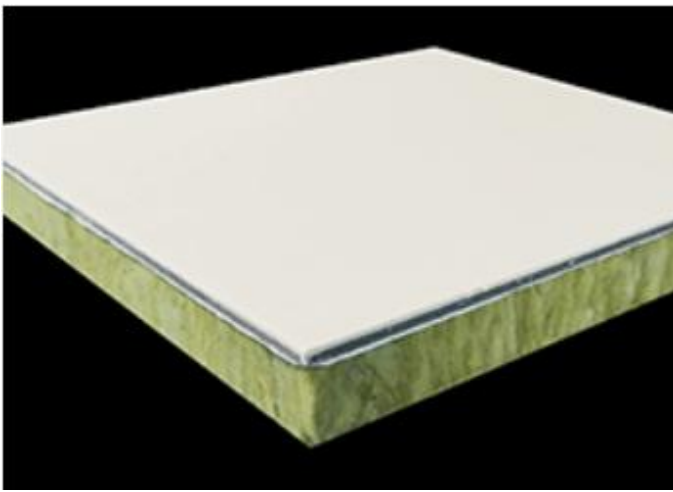
岩棉板	≤0.04	≤0.04	≤0.10
硬泡聚氨酯	≤0.025	≤0.15	≤0.10
XPS 板	≤0.03	≤0.2	≤0.15
石墨气凝胶		≤0.05	≤0.66
二氧化硅气凝胶		≤0.0275	≤1.31

数据来源：东北证券、CNKI

2.3.1. 内外墙渗透率将显著提升

根据使用位置的不同，建筑的墙体保温材料一般可以分为外墙保温材料和内墙保温材料，气凝胶的应用可以大大提升墙体的保温和阻燃性能，并且能够降低环境影响。

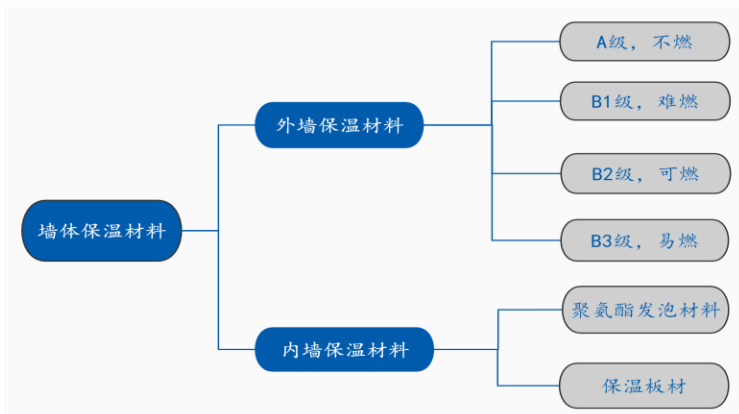
图 22: 气凝胶保温装饰一体板



数据来源：东北证券，中凝科技官网

预计到 2030 年，用于外墙保温的气凝胶材料国内市场规模为 11 亿美元；用于内墙保温的气凝胶材料国内市场规模为 9 亿美元，合计 20 亿美元。

图 23: 墙体保温材料分类



数据来源：东北证券

气凝胶外墙保温材料适用于有轻量化、绿色化需求的高端建筑以及有严苛保温要求的特种建筑，应用前景乐观，测算潜在市场规模将达到 11 亿美元。外墙保温材料按照可燃程度分为 A、B1、B2 和 B3 共四个等级，目前在建筑上常用的是 B1 和 B2 等级的产品，主要有聚苯板、聚氨酯等。聚苯板价格低廉、应用广泛，但是受热容易变形；聚氨酯性能更加理想，是欧美国家主流的外墙保温材料，但其在中国市场渗透率不足 10%。我国目前拥有世界上最大的建筑市场，2019 年房屋竣工面积为 9.6 亿平方米。外墙面积一般按照建筑面积 0.7 倍计算，2019 年新增外墙面积为 6.72 亿平方米。假设未来十年我国房屋竣工面积的复合增长率按照市场上的中性假设为 3%，气凝胶材料能够抢占部分高端市场，参考目前聚氨酯材料在中国建筑保温市场 10% 的渗透率。那么至 2030 年，新增外墙面积达 9.3 亿平米，假设按照 10% 的渗透率计算，气凝胶材料在外墙中的应用量达 9302 万平方米。现有的技术专利显示，大多数气凝胶材料是以单层毛毡的形式应用于墙体材料中，按照 10mm 气凝胶毡 80 元/平方米测算，气凝胶外墙保温材料的潜在市场规模可达 11 亿美元。

图 24: 我国房屋竣工面积及同比增速



数据来源：东北证券、中经网

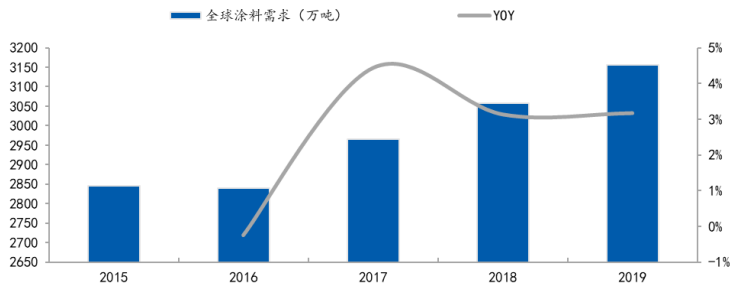
气凝胶凭借其阻热能力强、轻质、无毒、易降解等优势，成为一种理想的内墙保温材料，测算潜在市场规模达到 9 亿美元。由于气候和生活习惯差异，我国南、北方对内墙保温材料的偏好呈现明显的不同，内墙保温材料在北方更加受到青睐，目前常用的内墙保温材料主要有聚氨酯发泡材料和保温板材，其中以后者为主。2019 年房屋竣工面积为 9.6 亿平方米，内墙面积通常按照建筑面积 2.7 倍计算，2019 年新增内墙面积为 25.92 亿平方米。内墙保温材料的需求主要存在于我国长江以北的地区，则存在内墙保温材料需求的面积约占全国新增内墙面积 55%。据《新型墙材推广应用行动方案》要求，新建建筑中新型保温墙材应用比例需要达到 90%，则新增保温内墙面积约为 12.83 亿平方米。假设未来十年我国房屋竣工面积的复合增长率为 3%，假设气凝胶内墙应用渗透率达到 2%，那么至 2030 年，我国新增内墙面积 35.88 亿平方米，气凝胶内墙保温材料的需求量约为 7176 万平方米。按照 10mm 气凝胶毡 80 元/平方米测算，气凝胶内墙保温材料的潜在市场规模可达 9 亿美元。

2.3.2. 建筑涂料新市场有望打开

保温涂料是涂料市场的一个分支，气凝胶材料将参与到未来涂料市场的竞争中。2019 年全球涂料市场规模约 9195 亿元，其中建筑涂料占比 39%，中国涂料市场为

3000 亿元，建筑涂料占比 29%。

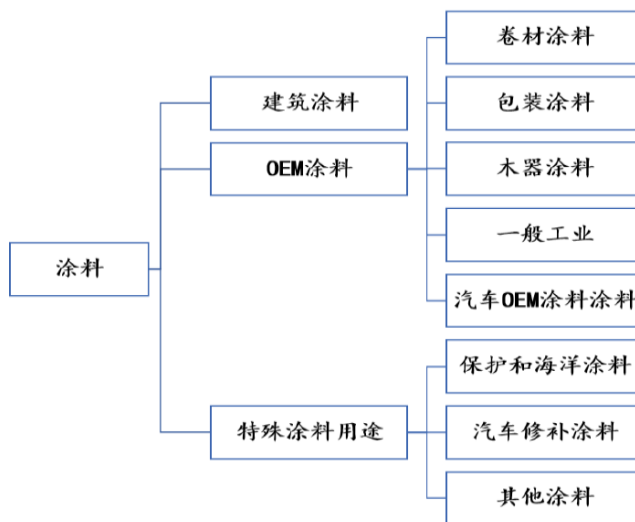
图 25: 2015-2019 年全球涂料需求与同比增速



数据来源: KNG Global Research, 东北证券

一般而言，涂料根据化学属性可以分为有机涂料和无机涂料，其中有机涂料按用途可以分为建筑涂料、OEM 涂料（Original Equipment Manufacture，相当于国内常用的工业涂料）和特种涂料三大类。

图 26: 涂料按用途分为三大类



数据来源: 东北证券

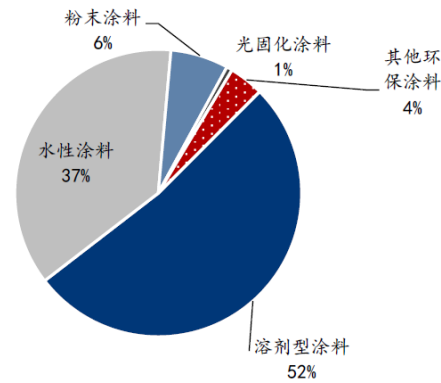
气凝胶涂料具有防火阻燃、隔音降噪、降低建筑无机垃圾处理难度，简化施工工序等优点，后期将广泛应用在涂料市场。气凝胶涂料是采用特殊工艺将气凝胶粉体分散在专用高性能树脂乳液中，或与无机粘结剂体系复合制备而成的具有保温隔热、隔音降噪、抗震、防火等功能的水性涂料，水性气凝胶涂料以 SiO₂ 气凝胶作为主要功能性填料，以水为溶剂，无机体系，安全环保，关注度较高。

图 27: 气凝胶涂料的优势



数据来源: 东北证券, 中凝科技官网

图 28: 2018 年我国涂料分类



数据来源: 东北证券, 涂界

国内用于建筑保温的气凝胶涂料潜在市场规模达 9 亿美元。从市场需求看, 保温属性可以使普通建筑涂料广受欢迎。2019 年中国建筑涂料产量为 694 万吨, 同比增长 7%。2019 年我国建筑涂料人均产量仅为 5.0 千克/人, 显著低于美国的 7.9 千克/人, 随着未来存量需求的不断释放, 人均产量的提升将带动建筑涂料产量的不断增长, 同时轻量、环保且具有保温特性的气凝胶涂料也会受到更多消费者的青睐。假设十年内我国人均建筑涂料产量达到 7.9 千克/人, 则 2030 年我国建筑涂料产量为 1106 万吨, 同时考虑到客户对功能性建筑涂料的青睐, 我们假设未来十年内, 气凝胶环保类保温涂料的市场渗透率为 10%。按照目前几种气凝胶涂料专利方法中气凝胶质量组分情况, 假设涂料中添加气凝胶质量占比为 12%, 则我国每年有 5.3 万吨的气凝胶涂料需求, 按照目前 SiO₂ 气凝胶涂料的市场价 45 元/kg 进行计算, 则该应用领域的潜在市场约 9 亿美元。

表 9: 气凝胶涂料专利方法举例

参考专利方法	具体参数	气凝胶质量组分	申请人
玻璃节能透明气凝胶涂料 (实施例 1)	导热系数 0.029 W/(m K), 透明度 98.6%, 耐水洗次数 156	6.80%	潍坊天奇新型材料有限公司
玻璃节能透明气凝胶涂料 (实施例 3)	导热系数 0.027 W/(m K), 透明度 98.9%, 耐水洗次数 160	16.30%	潍坊天奇新型材料有限公司
隔热涂料、隔热涂层和建筑材料 (实施例 6)	体积收缩率 10.2%, 粘接强度 55kPa、导热系数 0.0268 W/(m K)	19.80%	广东金意陶陶瓷集团有限公司
隔热涂料、隔热涂层和建筑材料 (实施例 7)	体积收缩率 9.4%, 粘接强度 53kPa、导热系数 0.0245 W/(m K)	6.60%	广东金意陶陶瓷集团有限公司
环保型的气凝胶保温涂料 (实施例 1)	导热系数为 0.045 W/(m K) (25℃ 环境), 涂膜烧蚀余量 99%, 耐水洗次数 70, 阻燃等级 B1 级	7.20%	湖北硅金凝节能减排科技有限公司
基于二氧化硅气凝胶改性的保温隔热防水涂料及其制备方法 (实施例 1)	拉伸强度 1.3MPa, 导热系数 0.034 W/(m K)	17.50%	广东青龙建筑工程有限公司
基于二氧化硅气凝胶改性的保温隔热防水涂料及其制备方法 (实施例 3)	拉伸强度 1.5MPa, 导热系数 0.030 W/(m K)	10.00%	广东青龙建筑工程有限公司

平均值



12.03%

数据来源：东北证券，CNKI

2.3.3. 气凝胶玻璃对 Low-E 玻璃形成替代

气凝胶材料也可制备节能玻璃，对传统的 Low-E 镀膜玻璃形成一定替代。通过两片玻璃，中间夹充气凝胶，形成“三明治”结构，具有很好的保温隔热、隔音、防火等性能。气凝胶节能玻璃可用于节能要求较高的建筑，同时可取代高层建筑一般幕墙玻璃，大大减轻建筑物自重，并起防火作用。相对于其他种类玻璃而言，气凝胶玻璃能帮助建筑更好地实现节能与舒适、环境方面三者平衡。

图 29: 气凝胶玻璃

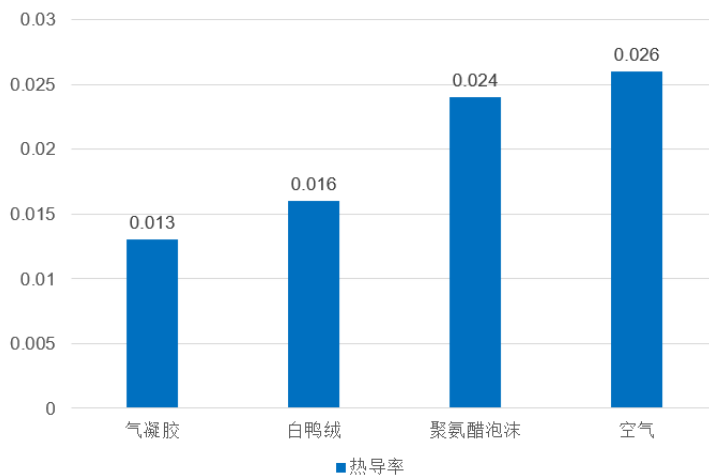
气凝胶采光玻璃		气凝胶透明玻璃	
产品外观	产品功能	产品外观	产品功能
	拥有优异的采光效果，能够使自然光均匀的分布在整个界面，同时拥有优异的隔热保温、防火防爆、隔音降噪的功能。		拥有新型气凝胶采光玻璃绝大部分优异特性的同时，能满足良好的透光性。

数据来源：东北证券、新材料在线

2.4. 高科技服装逐步打开应用

气凝胶材料用来制作户外防护用品具有较大优势，能够加工出更加轻薄且保温性能同样优异的衣物。气凝胶制作的材料热导率比市面上羽绒服填充物白鸭绒低，是空气热导率的一半。将气凝胶制成成衣，在相同保暖效果下气凝胶成衣厚度是传统保暖服装的 1/4。

图 30: 气凝胶材料与普通衣物填充物热导率对比



数据来源：东北证券，CNKI

目前国内应用气凝胶技术制作成衣的厂商主要有 OROS、SUPILD、龙牙等，OROS

是一家于 2015 年在 Kickstarter 网站上通过众筹活动成立的高科技外套生产商,主要为户外探险提供外套和冲锋衣,其产品采用 SolarCore 气凝胶隔热材料,这种材料与美国国家航空航天局(NASA)在最恶劣的环境中使用的保护火星探测器和宇航服的绝缘材料类似。SUPILD 是一家专注于开发及运用纺织新材料的先进科技服饰品牌,分别在美国硅谷及中国上海两地建立了新材料研发中心和供应链中心,已经获得了国内首份正式推向市场的气凝胶服装专利,成为中国气凝胶服装的开创者。

图 31: 气凝胶成衣与常规羽绒服厚度对比



数据来源: 东北证券, SUPILD 官网

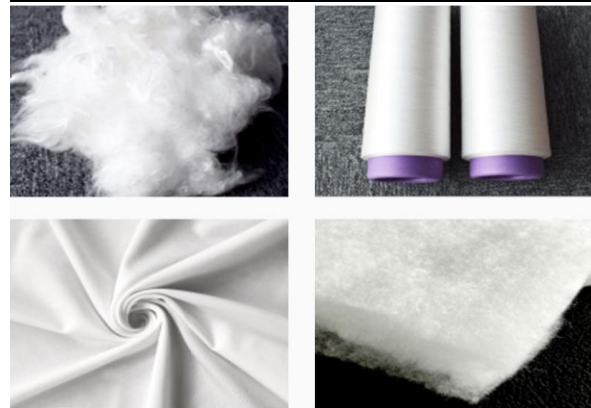
气凝胶应用于服装制品可通过与复合纤维无纺布协同成复合材料,例如 P 棉(Primaloft 保温棉)将气凝胶融合至复合纤维内部,提高气凝胶本身的机械性能,同时让纤维具有更加优异的隔热保温性能,也可以通过与聚酯纤维完美结合制备出气凝胶纤维。根据相关专利数据,根据无纺布厚度和克数不同,通过相关制备工艺可以制成 1-3mm 厚,掺杂气凝胶浓度为 200-400g/m²的二氧化硅气凝胶复合材料。

图 32: Primaloft 保温棉纤维示意图



数据来源: 东北证券, Primaloft 官网

图 33: 气凝胶聚酯纤维



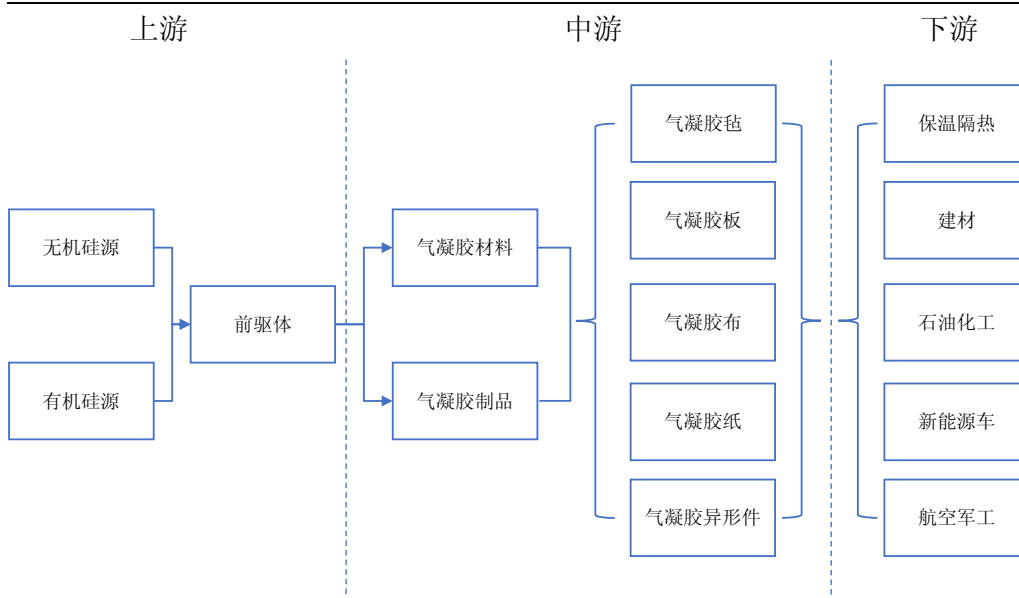
数据来源: 东北证券, 中凝科技官网

3. 气凝胶成本端改善, 利于国内发展

与传统保温材料相比, 气凝胶优势明显, 但缺点也仍然突出: 生产成本高昂, 产品

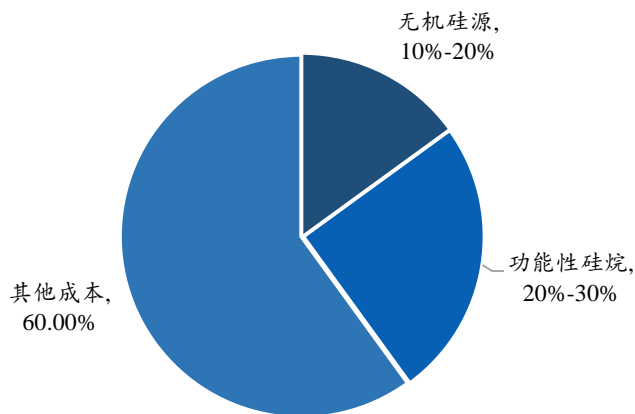
价格昂贵。气凝胶的生产成本主要集中在原材料硅源、设备折旧以及能耗方面。其中设备折旧以及能耗成本约占产业链总成本的6成。有效降低成本一方面依赖于制备工艺的突破，一方面通过低成本原材料的大规模产业化实现。

图 34: 气凝胶产业链



数据来源: 东北证券

图 35: 气凝胶产业链成本分布



数据来源: 东北证券, SAGSI

3.1. 常压工艺逐步成熟

常压工艺逐步成主流选择。气凝胶制备成本占比约产业链总成本的60%，根据美国国家航空航天局数据，每磅气凝胶平均制造成本高达23000美元。其中干燥工艺是制约制备流程成本的主要因素。

全球常见干燥工艺分为常压干燥工艺和超临界干燥工艺。超临界干燥工艺使用核心设备为高压釜，一般工作压力高达 7~20MPa，属于特种设备中的压力容器，设备系统较为复杂，运行和维护成本也较高，扩大生产规模的固定资产投入巨大。气凝胶未来如果迎接建筑保温的巨大市场，就需要达到年产 50 万立方米以上，采用超临界干燥技术的设备投入将高达数十亿，十分不利于气凝胶企业的规模扩张。而常压干燥技术随着规模扩大，投入产出比会进一步提高，实现以较少投资获得较大生产规模，因而更能适应未来大规模生产的需要。此外，受限于硅源，超临界的原料成本降低空间有限，只能通过优化系统提高生产效率，而常压干燥对廉价硅源有较强接纳能力，流程优化方面也有较高自由度，因而拥有更大的成本下降空间。

2004 年我国气凝胶材料商业化以来，气凝胶制备工艺优化取得了持续突破性进展。制备成本大幅下降。气凝胶材料走出实验室，实现了从年产千立方米到万立方米级的规模化生产，而制备工艺也逐步实现更新换代，用成本较低的无机硅源搭配优化的常压制备工艺取代原有的成本较高、周期较长的有机硅源超临界制备工艺，所生产出的气凝胶质量达到了超临界干燥技术的技术指标，且大大缩短了投资回收期，从根本上脱离了由于超临界干燥所带来的各种弊端，制造成本降低至超临界工艺的 1/20。我们预计未来气凝胶制备的发展方向仍为常压干燥技术的硅源选择和流程组合优化，制备成本将进一步降低至与传统保温材料制备相当。而超临界技术虽然制备成本的下降难度较大，但由于产品纯度极高，在军工、航天等特殊领域市场具有不可替代性，未来将共存于市场。

表 10: 气凝胶技术突破历程

年份	技术突破主要内容	效应
2008	NHT 干燥成型	为连续式全自动生产提供了技术支持
2011	TEOS 常压制备	将有机硅源与常压干燥技术相结合
2012	首套 1000L 超临界二氧化碳气凝胶干燥设备	实现规模化生产
2014	“多重互穿网络”结构模型 “气凝胶流变体技术”	降低生产成本至原有的 20%，生产流水线设备整体造价约为 2500 万元，仅为国外同功能生产流水线设备投资的 1/10 左右
2016	水玻璃替代有机硅源、采用常压干燥设备	显著降低原材料成本
2017	低成本减压干燥技术	年产 100 立方米气凝胶的生产设备投资由 5000 万元降到 200 万元，产品价格下降 80%
2017	气凝胶隔热管研制	气凝胶隔热管工业化生产

数据来源：东北证券，X-MOL

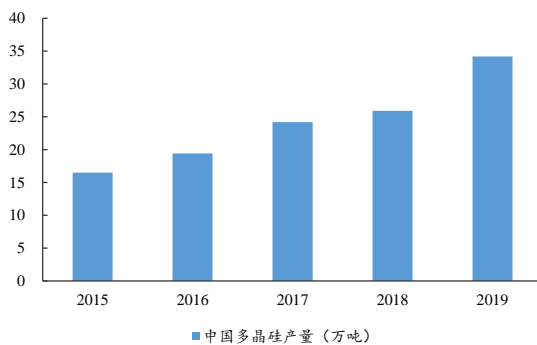
3.2. 硅源供给得到释放，缓解成本端压力

硅源材料根据干燥方式以及制备方法种类的不同，主要分为无机硅源，包括四氯化硅和水玻璃，以及有机硅源，包括正硅酸甲酯（TMOS）和正硅酸乙酯（TEOS）、烷氧基硅烷等功能性硅烷。现在 TMOS 价格 500ML 在 300-400 元之间，TEOS 价格 500ML 在 50-100 元之间；而水玻璃价格在 500-1000 元/吨，四氯化硅价格在 5000-6000 元/吨，相比之下有机硅源的成本要高很多。水玻璃价格低廉，但是杂质较多，去除杂质的工艺较为繁琐，目前主要应用于常压干燥技术中。

3.2.1. 四氯化硅供给充足，支撑常压工艺发展

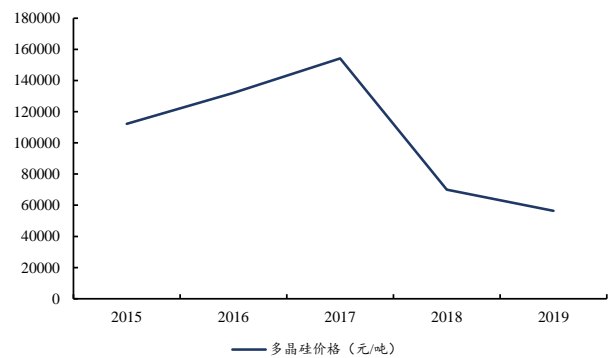
四氯化硅作为无机硅源，其兼备的成本优势以及杂质去除技术的突破为循环利用创造了条件。四氯化硅大部分为多晶硅副产物。我国从 2015 年至今，国内企业已经打破国外技术壁垒，提纯技术已经在不断突破，在金属离子杂质的去除方面已有较好的表现，并且实现了电子级四氯化硅的产业化生产。通过副产物四氯化硅制备气凝胶，可以将多晶硅产业和气凝胶产业结合，形成产业链，变废为宝。据统计每生产 1 千克多晶硅将产生 10~15 千克四氯化硅，随着多晶硅下游光伏行业的快速发展，2015-2019 年中国多晶硅年产量从 16.5 万吨增长至 34.2 万吨，复合增速 20%。预计到 2025 年我国多晶硅年产量将达到 102.2 万吨，副产的四氯化硅就将达 1022 万~1533 万吨。原材料充足以及产业链一体化的形成将有效降低气凝胶材料成本中枢，在市场上的替代效应更为明显。

图 36: 中国多晶硅产量



数据来源：东北证券，中国光伏行业协会

图 37: 中国多晶硅价格

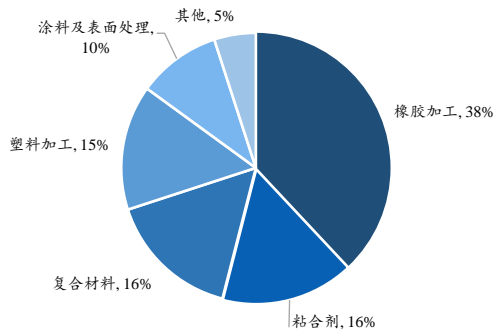


数据来源：东北证券，中国光伏行业协会

3.2.2. 功能性硅烷需求景气带动供给扩张，解决超临界工艺的硅源问题

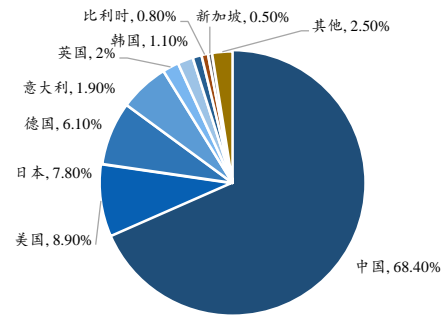
有机硅源纯度高，工艺适应性好，可同时满足超临界干燥工艺和常压干燥工艺的纯度要求，目前国内外采用超临界干燥工艺的企业基本上都是采用有机硅源。据市场调研机构 Markets and Markets 发布报告显示，全球功能性硅烷市场规模将从 2015 年的 13.3 亿美元增加至 2020 年的 17 亿美元，年复合增长率约为 5%。其中亚太地区硅烷需求强劲，是推动全球硅烷市场增长的主要因素。中国作为世界主要硅烷消费国，将引领亚太地区硅烷市场的发展。此外，巴西和印度等其他新型经济体硅烷市场也将伴随本国经济增长而逐步壮大。全球功能性硅烷主要用于橡胶加工、粘合剂、复合材料等领域。供应端，2018 年全球功能性硅烷产能约为 59.6 万吨/，产量约为 41.5 万吨。中国是最大的生产大国，其目前的产能占到了世界产能的 68.4%。其次是美国、日本和德国，产能分别占比 8.9%、7.8%和 6.1%，另外还有英国、意大利、韩国、比利时和新加坡，分别占比 2.0%、1.9%、1.1%、0.8%和 0.5%。虽然东南亚地区目前产能占比较小，但未来上涨空间较大。

图 38: 2019 全球功能性硅烷消费结构



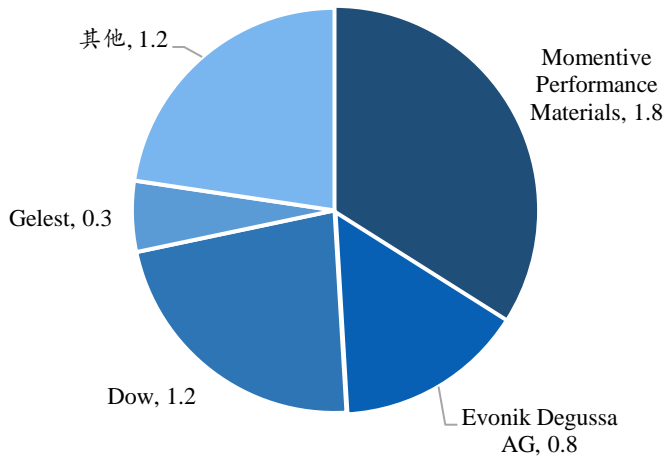
数据来源: 东北证券, SAGSI

图 39: 2019 全球功能性硅烷产能分布



数据来源: 东北证券, SAGSI

图 40: 2018 美国功能性硅烷企业产能 (万吨)

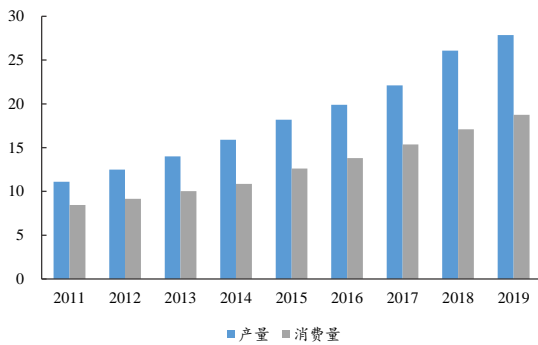


数据来源: 东北证券, SAGSI

根据德国瓦克年度报告, 人均 GDP 水平与人均有机硅消费量基本呈正比关系, 而且低收入国家有机硅需求增长对收入增长的弹性更大。近年来, 伴随着经济快速增长, 我国已成为全球最大的功能性硅烷生产、消费与出口国。

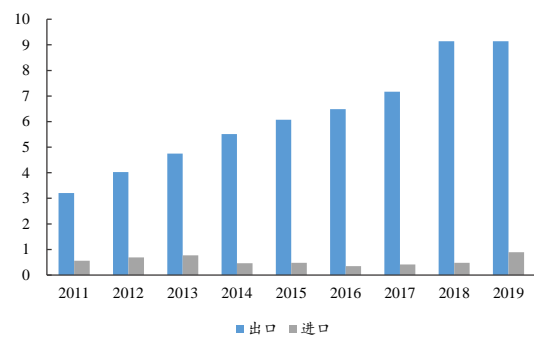
我国功能性硅烷价格有望下行。根据 SAGSI 数据统计, 2011-2019 年, 我国功能性硅烷产能由 18.80 万吨迅速增长到 43.1 万吨, 年产量也从 11.1 万吨提高到 27.9 万吨。2017 年之前, 由于产能扩张较快, 伴随供给侧改革及环保督查等因素综合影响下, 中小企业大面积关停, 行业整体开工率不高。之后我国硅烷行业开工率持续改善, 分别在 2017 年和 2018 年达到 58.6% 和 64.6%。2019 年初以来, 全球主要经济体均出现不同程度的增长放缓迹象, 以中美及欧美贸易摩擦、英国脱欧为代表的“逆全球化”行为进一步冲击世界各国经济。在下游需求增速有所放缓、行业供应能力继续提高的情况下, 2019 年我国硅烷行业开工率同比基本保持稳定。伴随 2020 年功能性硅烷生产企业晨光新材、宏柏新材等的上市和亚拓化工等项目投产, 我国功能性硅烷产能将新增超过 16 万吨。供需差的进一步扩大有望带动功能性硅烷平均价格水平下降, 为气凝胶成本下降带来空间。

图 41: 我国功能性硅烷产量消费量 (万吨)



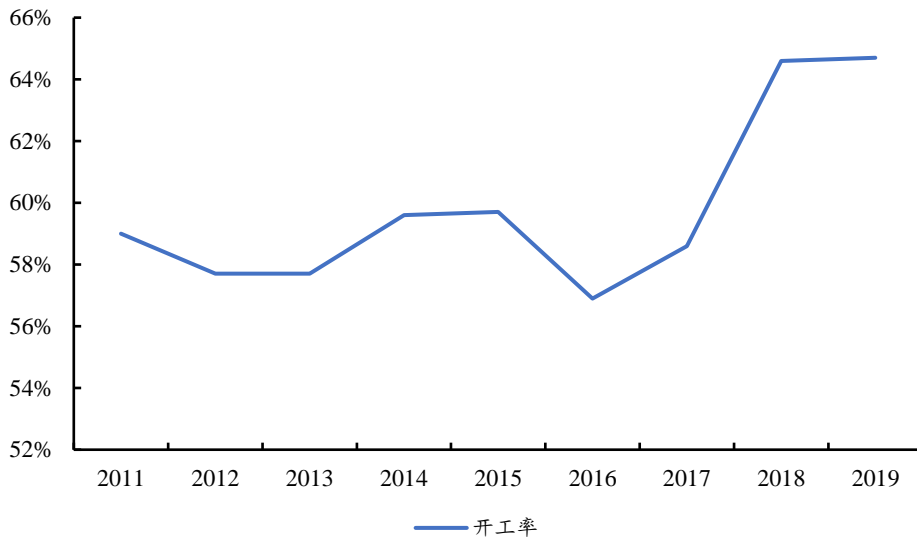
数据来源: 东北证券, 中国产业信息网

图 42: 我国功能性硅烷进出口量 (万吨)



数据来源: 东北证券, 中国产业信息网

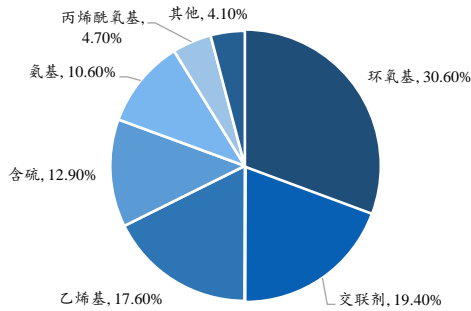
图 43: 功能性硅烷开工率



数据来源: 东北证券, SAGSI

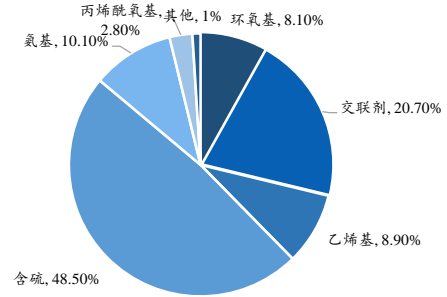
硅烷交联剂逐渐摆脱进口依赖。出口方面, 2019 年我国功能性硅烷出口量较 2018 年小幅下降, 达到 9.14 万吨, 我国出口的硅烷品种主要为含硫硅烷, 主要出口市场为美国、印度、韩国、日本等国家或地区。我国进口的硅烷品种主要为环氧基硅烷及交联剂, 主要来自美国、日本和韩国。而气凝胶主要的有机硅源 TMOS、TEOS、甲基三甲氧基硅烷等均属于脱醇型交联剂, 这也是有机硅源成本昂贵的主要原因之一。随着我国未来硅烷交联剂产能的大幅扩张, 气凝胶的有机硅源将逐渐摆脱进口依赖, 自给率提升带来的成本效益会更加明显。

图 44: 2018 我国功能性硅烷进口品种



数据来源: 东北证券, SAGSI

图 45: 2018 我国功能性硅烷出口品种



数据来源: 东北证券, SAGSI

市场趋势来看, 随着新能源汽车、复合材料和表面处理等新兴市场需求的壮大成熟, 加之我国功能性硅烷人均消费量仍低于发达国家, 未来我国功能性硅烷的产销量会继续增长, 增速保持稳定。根据 SAGSI 估计, 到 2025 年, 功能性硅烷总产能将达到 80.1 万吨, 总产量将达到 55.5 万吨, 同期消费量将达 34.1 万。规模效应以及供需的绝对差异增大会降低硅烷整体平均价格水平。

产品趋势来看, 经过多年的发展, 我国功能性硅烷的品种、质量以及产量均得到大幅提升, 随着太阳能、锂电池、LED 灯具, 5G 网络等新兴行业发展迅猛, 对密封胶及粘合剂特定种类的需求也越来越分化, 如在室温硫化硅橡胶中, 中性胶需求增长较快, 使得脱酮脲型胶成为市场主流, 酸型胶则呈萎缩态势, 未来中性胶发展将是顺势而为。此外, 国内高端功能性硅烷发展非常迅猛, 交联剂等高端硅烷产品技术不断突破, 未来我国功能性硅烷将向着高端化、专一化、新型化方向发展。

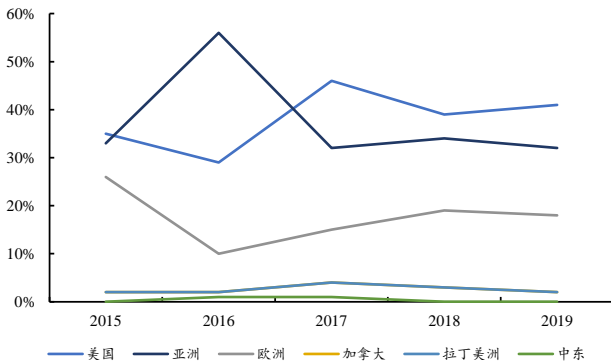
竞争趋势来看, 最近几年功能性硅烷行业在爆发式的增长后出现了明显的整合, 部分小企业陆续退出, 产能向大型企业集中的趋势较为明显。2020 年龙头企业新产能陆续投产, 产能的大规模释放将对功能性硅烷行业供需关系起到冲击作用。且新增产能大部分为国内尚存缺口的硅烷种类, 这部分缺口的填补将提高我国产品的议价能力。

在现有隔热保温市场上, 传统保温材料成本一平方米几十元, 而气凝胶保温材料归因于规模化生产的实现, 成本从两三年前每平方米 200 元以上, 到现在降到了 100 多元。但目前气凝胶的价格与市场接受程度还有差距。一旦气凝胶材料生产成本得以显著下降, 市场价格下降至可对比水平, 市场规模就会急剧扩大。

4. 海外气凝胶企业成长复盘

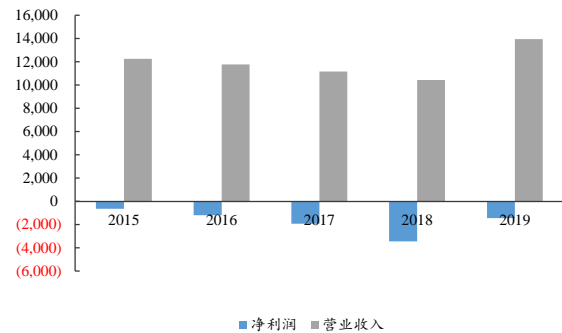
根据 IDTechEx 2019 年发布的市场报告, 企业发展所处生命周期可以分为概念阶段、早期半商业原型阶段、半商业试运行阶段、早期商业化阶段、全面上市阶段、市场渗透阶段以及成熟阶段。企业处于后两个阶段意味着已经在市场占据一定的份额, 其中包括 Aspen Aerogels, Inc.、Cabot 以及 Armacell Jios Aerogels Ltd(“AJA”)。

图 47: Aspen Aerogel 产品销售地区分布



数据来源: 东北证券, Aspen Aerogel 年报

图 48: Aspen Aerogel 营收、净利润 (万美元)



数据来源: 东北证券, Aspen Aerogel 年报

表 11: Aspen Aerogel 产品信息

型号	性能	炼油	石油 化工	LNG	能源 动力	海底	区域 能源	建筑	OEM 户外 服装	新能 源车
	工业应用柔性绝缘气凝胶 导热系数极低 耐振动、疏水性、透气性好 包装密度高	✓	✓		✓		✓		✓	
	易切割、可重复使用 抗冲击、低废品率, 可塑性好 耐高温、防腐蚀性良好	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
	防火隔热组合 恢复速度更快 资产保护比率更高		✓	✓	✓	✓			✓	
	亚低温和低温应用工业应用 柔性绝缘气凝胶 隔音、防止冷溅	✓	✓	✓			✓		✓	
	海底管道中管道应用 安装灵活					✓				
	节省空间提高能源利用率 隔热效果好、建筑保护性高							✓		
	亚低温和低温应用工业应用 远程应用、耐用性好、重量轻								✓	
	为太空应用提供热防护和防火保护, 置于电池之间延缓热扩散									✓
	通过高温热响应抵抗热失控, 厚度 2, 3, 5 毫米									✓
	热导率极低, 解决最受空间限制的应用, 更高可压缩性									✓

数据来源: 东北证券, Aspen Aerogel 官网

表 12: Aspen Aerogels 产品应用领域

应用领域	细分子行业	客户
能源基础设施	炼油	埃克森美孚、壳牌、雪佛龙
	石化	信实工业、台塑石化、利安德巴塞尔工业
	天然气	PTT LNG、埃克森美孚、Dominion Energy
	陆上	Suncor Energy, ConocoPhillips、Husky Energy
	海上	Total, Marathon Oil、ConocoPhillips、壳牌
	发电	NextEra Energy Resources、Southern Company、Duke Energy
	地区能源	美国、亚洲的大学和城市的中高温蒸汽配网
建筑材料	建筑材料	BASF
其他	冷热电器、冷库设备、汽车、飞机、火车、电子行业、户外装备、服装制造商	

数据来源：东北证券，Aspen Aerogel 年报

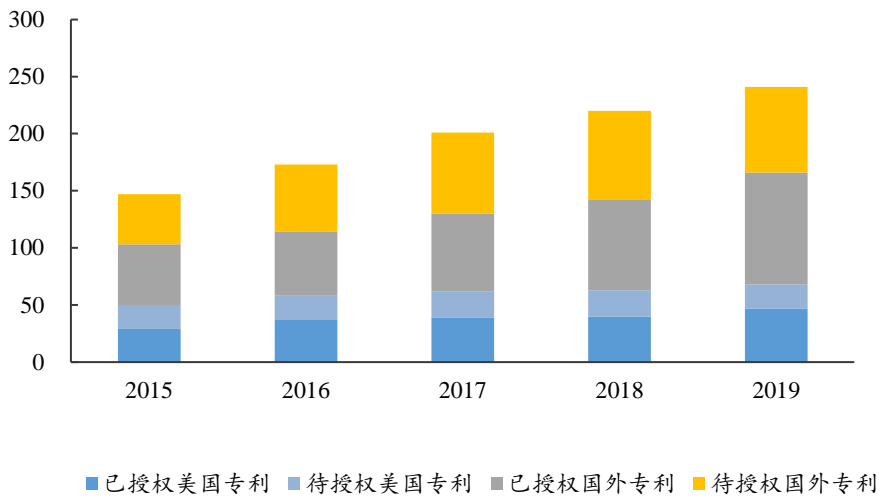
我们认为，Aspen Aerogels 可成为全球气凝胶企业成长的教科书。Aspen Aerogels 气凝胶的发展历程，有很多值得借鉴的经验：

(1) 成熟领先的工艺技术。其气凝胶产品生产的核心原材料是硅前驱体。制备半固态醇凝胶，在二氧化硅结构中填充乙醇，再通过超临界萃取过程，用空气从凝胶中除去乙醇，从而防止凝胶中的固体基质因毛细管力而崩溃。关键步骤涉及到凝胶制备、铸造、老化、萃取、热处理、涂层和质量控制等。

(2) 产品升级深化，大客户业务弹性较大。产品下游从最主要的炼油、天然气、发电等能源基础设施板块延伸到冷热电器、冷藏设备、汽车、飞机、火车和电子行业的零部件和系统制造商，以及户外装备和服装制造商等新兴板块；受众客户群体大，合作客户多为世界五百强企业，气凝胶前景获得广泛认可，客户需求弹性较大。

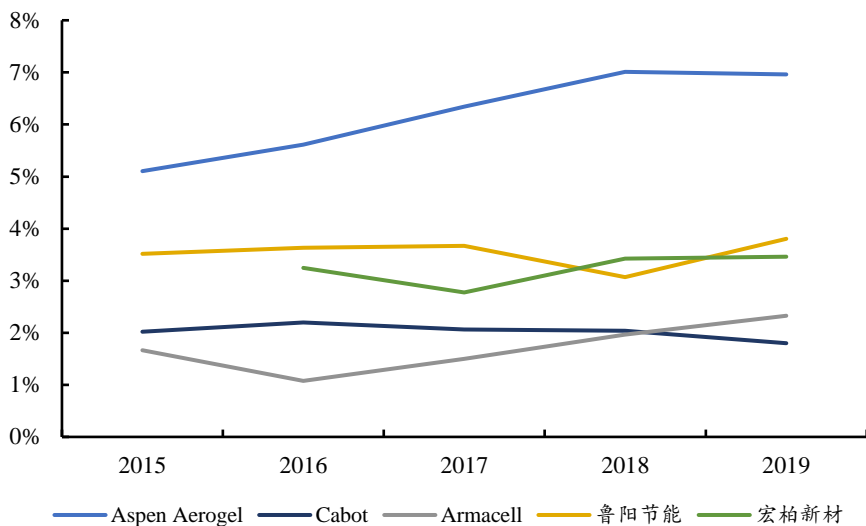
(3) 持续的研发投入，延长产品生命周期，保持竞争力。作为美国航空航天局下属的技术公司，Aspen Aerogels 不光自身注重研发投入，美国联邦以及其他政府机构每年赞助超过 100 万美元用于公司气凝胶新技术开发，从成立到 2019 年 12 月 31 日，政府共资助 5830 万美元支持公司研发，研发占比在全球气凝胶行业中保持高位领先，每年的研究收入也超过了 200 万美元。**专利数量遥遥领先**，截至 2019 年 12 月 31 日，Aspen Aerogels 已拥有 145 项气凝胶相关授权专利，还有 96 项专利正在申请中，相比于国内企业个位数的相关专利，技术壁垒较高，有助于延长产品的生命周期。

图 49: Aspen Aerogels 专利数量 (张)



数据来源: 东北证券, Aspen Aerogel 年报

图 50: 气凝胶企业研发支出占比



数据来源: 东北证券, Aspen Aerogel 年报

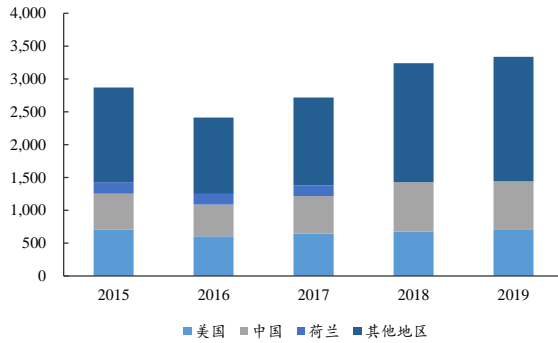
4.2. Cabot

Cabot 是一家全球特种化学品和功能材料公司, 总部位于马萨诸塞州波士顿。主要产品包括橡胶和特种级炭黑, 特种化合物, 气相金属氧化物, 活性炭, 喷墨着色剂和气凝胶。截止到 2019 年 6 月 28 日, Cabot 业务分为四个部分: 增强材料 (气凝胶属于该范畴)、高性能化学品、净化解决方案和特种流体 (自 2019 年 6 月 28 日起剥离)。2019 年公司营业收入达到 33.37 亿美元。

2015 年至 2019 年, Cabot 销售国家中美国、中国的占比逐渐升高。2019 年特殊化学品销售地区分布中, 亚太已经成为营收占比最高地区, 达到 35.48%。凸显了 Cabot 对于中国市场布局的重视程度。2017 年 7 月 20 日, Cabot 与加新科技签署了战略合作协议, 加新科技成为 Cabot 气凝胶产品大中华区唯一指定总代理, 以及气凝胶技

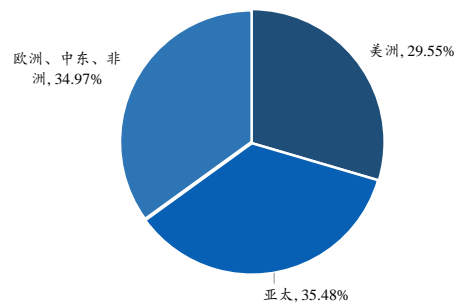
术的共同研发方。2020年1月7日，Cabot收购了中国领先的碳纳米管（CNT）生产商深圳三顺纳米新材料有限公司，旨在增强Cabot在电池市场的市场份额，尤其是中国电动汽车市场的地位和配方能力，也为未来气凝胶板块业务在汽车领域的市场份额提前布局。

图 51: Cabot 产品销售国家分布 (百万美元)



数据来源: 东北证券, Cabot 年报

图 52: 2019 Cabot 特殊化学品销售地区分布



数据来源: 东北证券, Cabot 年报

表 13: Cabot 气凝胶产品信息

产品分类	型号	应用范围及性能
气凝胶颗粒	ENOVA Aerogel	涂料、防火、能效改进 红外反射和低辐射涂层互补
	ENOVA Aerogel for Matte Coatings	磨砂涂料、与树脂溶剂兼容、分散均匀性、高透明度
	LUMIRA Aerogel for Daylighting	商业住宅建筑、透光率好、减少热负荷、隔音、碳排放少
气凝胶毡	ThermalWrap	建筑、服装以及工业隔热 透光性、透气性、防水性好
气凝胶压缩包	Compression Packs	管道中管道工程 厚度可调节, 内外管可独立活动

数据来源: 东北证券, Cabot 官网

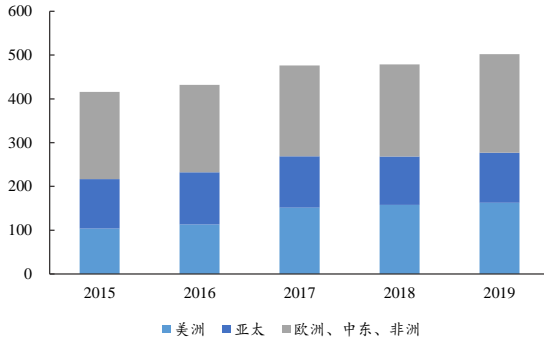
4.3. AJA

Armacell Jios Aerogels Ltd. (以下简称“AJA”)是2016年11月由设备绝缘市场柔性泡沫的全球领导者和工程泡沫的领先供应商 Armacell International S.A. (以下简称“Armacell”)以及韩国气凝胶制造商 JIOS Aerogel Ltd. (以下简称“JIOS”)共同成立的合资企业。由 Armacell 提供气凝胶毡生产设备、工业化认证以及全球分销网络, JIOS 贡献其超过 30 个关于气凝胶的工艺技术、专有制造技术以及知识产权。2019年8月, 韩国天安 (AJA 气凝胶生产基地) 的工业级气凝胶生产线正式投产, 意味着 Armacell 的气凝胶毡年产能由原来的 250000 平方米提高到 750000 平方米。

Armacell 的气凝胶业务归属于高级绝缘材料部门, 2015 年至 2019 年, Armacell 高级绝缘材料销售额稳步增长, 其中销售地区主要分布于欧美, 而应用领域主要分布

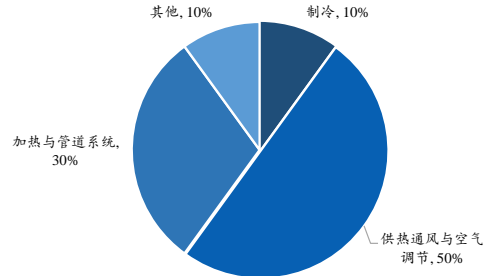
在供热通风和管道系统，也是气凝胶现在的主要应用市场。现有市场份额的逐步扩大以及新兴市场的应用开拓会持续促进气凝胶在全球的普及。

图 53: Armacell 高级绝缘材料销售 (百万美元)



数据来源: 东北证券, Armacell 年报

图 54: Armacell 高级绝缘材料应用领域



数据来源: 东北证券, Armacell 年报

表 14: AJA 气凝胶产品信息

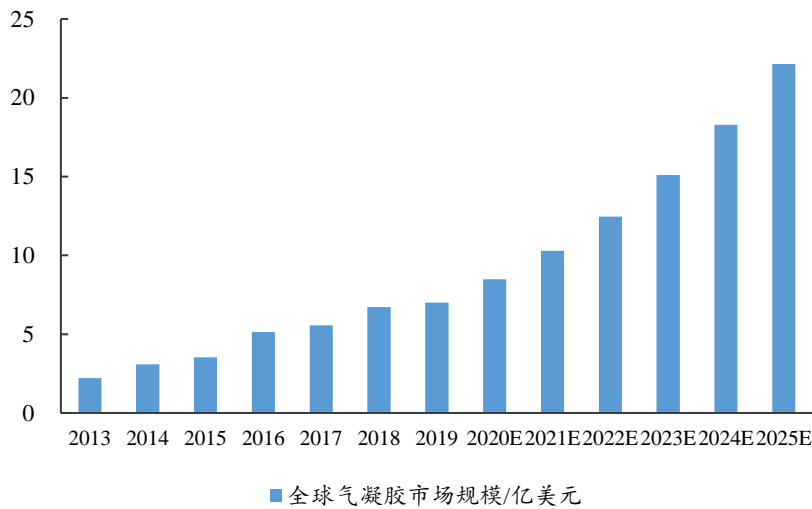
产品分类	型号	应用范围及性能
气凝胶粉末	AeroVa	石膏、水泥、热涂层、塑料、汽车涂料、垫材、化妆品
气凝胶毡	ArmaGel	建筑、服装以及工业隔热 透光性、透气性、防水性好
气凝胶涂层	roVa Black Label	节能、低成本、隔音
	roVa Green Label	应用简易、节能、成本低
	roVa Top Coating	顶部施涂不开裂
	roVa Solar Reflective Coating	抗辐射、房屋、工厂、谷仓、RV
	roVa Hydrophobic Coating	喷雾、干燥快、摩擦即掉
	roVa Fire Resistant Coating	防火
气凝胶胶带	roVa Insulation Tape	轻薄、隔音、电气设备
气凝胶垫	roVa Insulation Padding	超疏水性、透气、防水、隔音

数据来源: 东北证券, 公司官网

4.4. 气凝胶全球市场长期向好, 国内快速扩张

全球气凝胶市场规模从 2013 年的 2.22 亿美元发展到 2019 年的 7.01 亿美元, 年复合增长率为 21.14%。近两年亚太地区特别是中国气凝胶产业快速崛起。据 Allied Research 预计, 2025 年全球气凝胶行业的市场规模将远超 22 亿美元。

图 55: 全球气凝胶行业市场规模

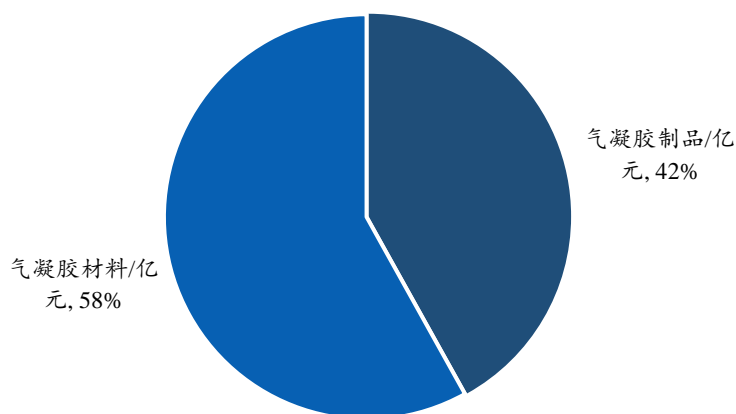


数据来源: 东北证券, Allied Research

据中国产业信息网, 2019 年我国二氧化硅气凝胶材料市场规模为 11.23 亿元, 2014 年以来复合增长率为 40.24%; 2019 年我国二氧化硅气凝胶制品市场规模为 15.56 亿元, 2014 年以来复合增长率为 53.43%, 国内气凝胶产品增速明显快于全球。

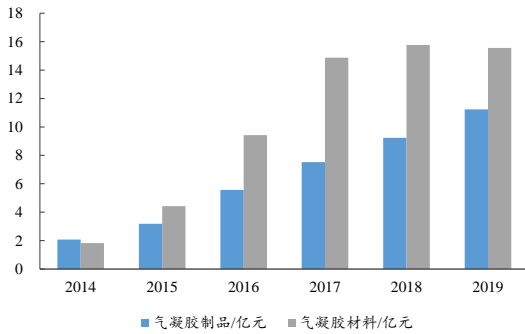
气凝胶产品主要分为气凝胶材料和气凝胶制品, 其中气凝胶材料相较于制品生产难度小, 故占据更多份额, 2019 年我国气凝胶材料占比达 58%, 气凝胶制品占比为 42%, 行业集中度较高。国内气凝胶产业主要以中低端初级产品为主, 大部分气凝胶企业所产产品为气凝胶粉体颗粒, 气凝胶复合材料产能有限。但其中不乏出现一些自主创新企业逐渐开发出自有品牌复合材料, 在国内国际均受到认可。

图 56: 气凝胶产品分类



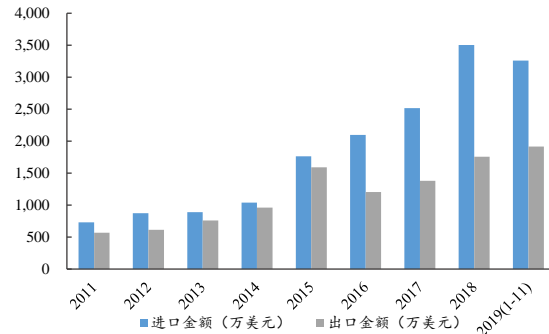
数据来源: 东北证券, IDTechEx Research

图 57: 中国二氧化硅气凝胶行业市场规模



数据来源: 东北证券, 中国产业信息网

图 58: 中国凝胶制品进出口



数据来源: 东北证券, 中国产业信息网

国内自主崛起, 技术逐步成熟, 产能快速扩张。我国气凝胶市场起步较晚, 前期主要是采购国外气凝胶产品, 价格较昂贵, 市场推广力度也较小, 近年来随着国内气凝胶技术成熟, 产能增多, 规模不断扩大, 成本下降, 再得益于国内节能减排政策推行和经济体量的迅速扩大, 气凝胶行业驶入了快赛道。2018 年美国 Aspen 公司发起对华的 337 调查, 一定程度上倒逼了国内自主崛起, 在学习和借鉴国外先进制备工艺时, 注重自主创新, 规避知识产权竞争。总体来看, 现在我国气凝胶行业仍处于早期发展阶段, 未来气凝胶材料的发展趋势仍然是降低成本, 提升材料隔热性能, 升级深化复材应用。作为新兴材料, 相信国内会给予更多政策及研发支持。

国内主流企业目前包括埃力生高新科技有限公司、中国化学华陆科技有限公司、爱彼爱和新材料有限公司等。埃力生开创了国内完整、连续的气凝胶隔热材料大型产业化生产技术, 具备大型工业化生产气凝胶及气凝胶复合隔热材料能力, 现已发展成为国内第一家、全球第二大能规模化生产气凝胶材料的领军企业。主要产品包括气凝胶颗粒、气凝胶毡以及气凝胶板。华陆科技是中国化学全资子公司, 前身是化工部第六设计院, 2020 年 7 月签署纳米气凝胶复合材料一体化项目, 总投资 40 亿元, 分三期建设, 建成后将成为中国领先、世界一流的集研发、生产、上下游供应链为一体的气凝胶新材料产业基地。爱彼爱是国内最早介入气凝胶工业化的企业之一, 2017 年初, 爱彼爱拥有自主知识产权的全球单条产能最大的气凝胶生产线调试、运行成功。全部达产后, 爱彼爱将具备 30,000M³/年的气凝胶材料生产能力。

整体来看, 我国的气凝胶产业在逐渐摆脱之前的产品结构低端化严重, 产品成本优势不明显等劣势, 行业的规模扩张进程加快。现阶段气凝胶产品下游主要集中在油气、工业管道保温领域。借鉴欧美日等发达国家及地区气凝胶产业发展路径, 建筑、交通等领域气凝胶未来市场潜力巨大。

表 15: 气凝胶国内企业产能

企业	已达产能/(M ³ /年)	拟建产能
广东埃力生高新科技有限公司	50000	
中国化学华陆科技有限公司		50000
河北省沧州市爱彼爱和新材料有限公司	10000	20000
山西阳中新材有限责任公司	20000	

河北金纳科技有限公司	20000	
浙江省纳诺科技有限公司	15000	
贵州航天乌江机电设备有限公司	12000	
武汉宏大科技有限公司	10000	
山东金石高温材料有限公司	8000	
河南泛锐复合材料研究院有限公司	5000	
弘大科技有限公司常州高新区	5000	
湖北硅金凝节能减排科技有限公司	5000	
北京建工新型建材有限责任公司	1000	
合计	161000	70000

数据来源：东北证券，网络整理

表 16: 以埃力生为例，气凝胶产品

产品分类	型号	应用范围
气凝胶颗粒	超级纳米孔隙二 氧化硅气凝胶	高性能纳米隔热材料、新型气体过滤材料 超级储能材料和催化剂载体 缓冲捕材料、超声探测器的声阻耦合材料
	DRT02	液氮、低温储运管道设备、LNG 管线和储罐保温保冷 各类保冷储藏运输载体、各类高、低温炉体设备
	DRT03	新能源行业、特殊电器设备保温 小尺寸管道保温或保冷、高速列车等车体保温
气凝胶毡	DRT05	动力电池、汽车、地铁等车体保温隔热、特殊电器设备保温 小尺寸管道保温或保冷
	DRT06	石油开采蒸汽管线、预制保温管、热电厂、石化厂、化工厂 管线
	DRT10	储罐、容器等设备保温、石油开采蒸汽管线
	气凝胶加工垫片	汽车车厢、动力电池箱、动力电池组、电子产品
气凝胶板	DY06	特殊军事设备设备保温、特殊要求保温壳体、建筑用一体化 保温板
	DY10	特殊军事设备设备保温、特殊要求保温壳体、建筑用一体化 保温板

数据来源：东北证券，埃力生官网

5. 投资建议：推荐泛亚微透——国内 ePTFE 引领者，气凝胶蓄势待发

公司是 ePTFE 国内引领者，享受长尾利基市场。公司主要从事膨体聚四氟乙烯膜（ePTFE）等微观多孔材料及其改性衍生产品，从最初的传统汽车装配材料业务到 ePTFE 膜相关产品，立足产品多元，享受长尾利基市场。该类市场各个分类市场规模较小，但是随着应用成熟放量，公司营收有望提速，公司毛利率和净利率均长期处于较高的水平。

IPO 募投 SiO₂ 气凝胶系列材料，布局热学应用领域，匹配不同客户的差异化需求。目前公司 ePTFE 膜及其组件业务已覆盖“声、电、气”等方向，因此 ePTFE 膜及其组件在“热学”方向的产业化应用将是下一步战略规划的重要环节。SiO₂ 气凝胶

是十分优良的保温隔热材料，而公司将 SiO₂ 气凝胶与 ePTFE 膜结合形成的复合材料还同时具备优秀的绝缘性、阻燃性以及柔韧性，可以被广泛应用于消费电子、汽车、新能源、航空航天以及军工等行业。通过实施本项目，公司将推出 SiO₂ 气凝胶、SiO₂ 气凝胶与 ePTFE 膜复合材料以及 SiO₂ 气凝胶玻纤毡复合材料等新产品。其中 SiO₂ 气凝胶玻纤毡复合材料通过在 SiO₂ 气凝胶制程中引入玻纤毡增强复合，将其高温耐受能力提高至 800℃ 以上，可以实现耐受住电池包短路造成的高温能量瞬间冲击的能力，可作为电池包热管理的理想材料。

SiO₂ 气凝胶与 ePTFE 膜复合材料同时具备优秀的绝缘性、阻燃性以及柔韧性，可以被应用于消费电子内置芯片以及汽车隔热保温箱体中，具有良好的隔热支撑、缓冲及隔音作用。同时，该复合材料对重大输气输油工程的管道也能起到高度隔热防护功效，在极低的温度环境中无冻裂，能够长期暴露在户外照射的紫外线下工作 20 多年不老化，使得需要隔热隔音的工程造价降低且长期免维护。目前公司该复合材料作为隔热隔音材料已被应用于上汽大众途昂车型。

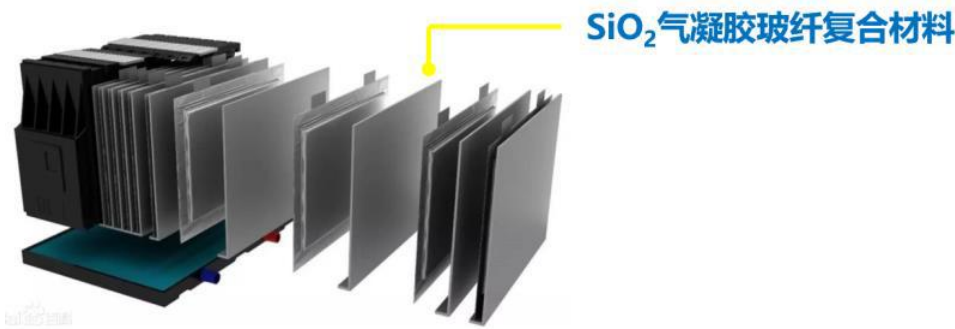
图 59: SiO₂ 气凝胶与 ePTFE 膜复合材料应用场景示意图



数据来源：东北证券，公司招股说明书

另外公司还研发了 SiO₂ 气凝胶玻纤毡复合材料，该材料主要应用于新能源动力电池包中，将电池包高温耐受能力提高至 800℃ 以上。该电池包可以耐受住电池包短路造成的高温能量瞬间冲击，从而为汽车驾乘人员争取了宝贵的逃生时间。该产品在常温 25℃ 环境下，导热系数可以达到 0.017W/(m·k) 以下，在 600℃ 高温环境下，导热系数介于 0.047~0.066 W/(m·k) 之间，产品性能超过上汽通用电池包对导热系数的要求。据招股说明书披露，目前公司正在与宁德时代商谈合作事宜。

图 60: SiO₂ 气凝胶玻纤毡复合材料在电池包中应用场景示意图



数据来源：东北证券，公司招股说明书

募投项目的达产，将进一步增强公司在 ePTFE 膜及 SiO₂ 气凝胶相关领域的行业领先地位。项目规划位于武进区礼嘉镇工业集中区，用地约 40.5 亩，规划建设厂房、研究中心等建筑约 7 万平方米，新增窄幅 ePTFE(膨体聚四氟乙烯)膜生产线、ePTFE 膜生产线、高耐水压涂层精密涂布机、高耐水压透声 ePTFE 膜组件自动生产线、二氧化硅气凝胶生产线、激光切割机等 45 台(套)生产设备、测试仪器及辅助设施，达产后形成二氧化硅气凝胶 1604 立方米，微纳孔二氧化硅气凝胶、ePTFE 膜复合材料 24 万平方米，消费电子用高耐水压透声 ePTFE 改性膜 10300 平方米的生产能力。

基于长尾利基市场特征，以及在消费电子、汽车应用领域的趋同，我们建议估值参考松井股份(消费电子、汽车用精细化工品)。

表 17: 泛亚微透与可比公司估值对比

股票代码	公司简称	总市值(亿元) (11月20日收盘价)	归母净利润(亿元)				PE			
			19A	20E	21E	22E	19A	20E	21E	22E
688157.SH	松井股份	84.22	0.93	1.14	1.68	2.33	91	74	50	36
688386.SH	泛亚微透	56.35	0.44	0.61	1.12	1.69	128	92	50	33

数据来源：东北证券，松井股份参考 Wind 一致预测

盈利预测：预计公司 2020-2022 年实现营收 2.96、4.54、6.52 亿元，实现归母净利润 0.61、1.12、1.69 亿元，对应 PE 分别为 92X/50X/33X。公司对标美国戈尔，ePTFE 领域延展潜力较大，同时享受长尾利基市场的高盈利特性，我们预计公司未来三年净利润复合增速约 57%，当前 PEG 小于 1。公司气凝胶业务布局核心方向为新能源赛道，渗透空间大，我们认为泛亚微透可给予较高市盈率，PE 应不低于松井股份等可比对象，建议对应 2022 年盈利给予 60 倍 PE，对应一年目标市值 101 亿元，首次覆盖给予“买入”评级。

风险提示：新产能投放低于预期；新产品推广低于预期。

分析师简介:

陈俊杰: 清华大学有机化学硕士, 华南理工大学应用化学本科, 现任东北证券化工行业首席分析师。曾任申银万国证券研究所材料部高级分析师。2015年以来具有4年证券研究从业经历, 2015年、2016年新财富入围, 2019年水晶球入围。在农化、玻纤、新材料等领域具有独到深刻见解, 曾挖掘扬农化工、利尔化学、中国巨石、金发科技等标的, 基本面研究扎实获市场认可。

重要声明

本报告由东北证券股份有限公司(以下称“本公司”)制作并仅向本公司客户发布, 本公司不会因任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本公司具有中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。

本报告中的信息均来源于公开资料, 本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。报告中的内容和意见仅反映本公司于发布本报告当日的判断, 不保证所包含的内容和意见不发生变化。

本报告仅供参考, 并不构成对所述证券买卖的出价或征价。在任何情况下, 本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的证券买卖建议。本公司及其雇员不承诺投资者一定获利, 不与投资者分享投资收益, 在任何情况下, 我公司及其雇员对任何人使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。

本公司或其关联机构可能会持有本报告中涉及到的公司所发行的证券头寸并进行交易, 并在法律许可的情况下不进行披露; 可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务、财务顾问等相关服务。

本报告版权归本公司所有。未经本公司书面许可, 任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表或引用。如征得本公司同意进行引用、刊发的, 须在本公司允许的范围内使用, 并注明本报告的发布人和发布日期, 提示使用本报告的风险。

本报告及相关服务属于中风险(R3)等级金融产品及服务, 包括但不限于A股股票、B股股票、股票型或混合型公募基金、AA级信用债或ABS、创新层挂牌公司股票、股票期权备兑开仓业务、股票期权保护性认沽开仓业务、银行非保本型理财产品及相关服务。

若本公司客户(以下称“该客户”)向第三方发送本报告, 则由该客户独自为此发送行为负责。提醒通过此途径获得本报告的投资者注意, 本公司不对通过此种途径获得本报告所引起的任何损失承担任何责任。

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格, 并在中国证券业协会注册登记为证券分析师。本报告遵循合规、客观、专业、审慎的制作原则, 所采用数据、资料的来源合法合规, 文字阐述反映了作者的真实观点, 报告结论未受任何第三方的授意或影响, 特此声明。

投资评级说明

股票 投资 评级 说明	买入	未来6个月内, 股价涨幅超越市场基准15%以上。
	增持	未来6个月内, 股价涨幅超越市场基准5%至15%之间。
	中性	未来6个月内, 股价涨幅介于市场基准-5%至5%之间。
	减持	在未来6个月内, 股价涨幅落后市场基准5%至15%之间。
	卖出	未来6个月内, 股价涨幅落后市场基准15%以上。
行业 投资 评级 说明	优于大势	未来6个月内, 行业指数的收益超越市场平均收益。
	同步大势	未来6个月内, 行业指数的收益与市场平均收益持平。
	落后大势	未来6个月内, 行业指数的收益落后于市场平均收益。

东北证券股份有限公司

 网址: <http://www.nesc.cn> 电话: 400-600-0686

地址	邮编
中国吉林省长春市生态大街 6666 号	130119
中国北京市西城区锦什坊街 28 号恒奥中心 D 座	100033
中国上海市浦东新区杨高南路 729 号	200127
中国深圳市福田区福中三路 1006 号诺德中心 34D	518038
中国广东省广州市天河区冼村街道黄埔大道西 122 号之二星辉中心 15 楼	510630

机构销售联系方式

姓名	办公电话	手机	邮箱
公募销售			
华东地区机构销售			
阮敏 (副总监)	021-20361121	13636606340	ruanmin@nesc.cn
吴肖寅	021-20361229	17717370432	wuxiaoyin@nesc.cn
齐健	021-20361258	18221628116	qijian@nesc.cn
陈希豪	021-20361267	13262728598	chen_xh@nesc.cn
李流奇	021-20361258	13120758587	Lilq@nesc.cn
李瑞暄	021-20361112	18801903156	lirx@nesc.cn
周嘉茜	021-20361133	18516728369	zhoujq@nesc.cn
刘彦琪	021-20361133	13122617959	liuyq@nesc.cn
金悦	021-20361229	17521550996	jinyue@nesc.cn
华北地区机构销售			
李航 (总监)	010-58034553	18515018255	lihang@nesc.cn
殷璐璐	010-58034557	18501954588	yinlulu@nesc.cn
温中朝	010-58034555	13701194494	wenzc@nesc.cn
曾彦戈	010-58034563	18501944669	zengyg@nesc.cn
周颖	010-63210813	19801271353	zhouyingl@nesc.cn
过宗源	010-58034553	15010780605	guozhy@nesc.cn
华南地区机构销售			
刘璇 (副总监)	0755-33975865	18938029743	liu_xuan@nesc.cn
刘曼	0755-33975865	15989508876	liuman@nesc.cn
王泉	0755-33975865	18516772531	wangquan@nesc.cn
王谷雨	0755-33975865	13641400353	wanggy@nesc.cn
周金玉	0755-33975865	18620093160	zhoujy@nesc.cn
陈励	0755-33975865	18664323108	Chenli1@nesc.cn
张瀚波	0755-33975865	15906062728	zhang_hb@nesc.cn
非公募销售			
华东地区机构销售			
李茵茵 (总监)	021-20361229	18616369028	liyinyin@nesc.cn
杜嘉琛	021-20361229	15618139803	dujiachen@nesc.cn
王天鸽	021-20361229	19512216027	wangtg@nesc.cn