

AI 算力竞赛 1.0 到 2.0 对液冷化工（乙二醇、电子氟化液等）意味着什么？

报告要点

算力竞赛 1.0 到 2.0 对液冷化工品需求拉动明显，液冷相关的制冷剂、乙二醇冷却液、电子氟化液需求迎来新增量。

摘要

（一）算力竞赛 1.0 到 2.0 对液冷化工品需求拉动明显，液冷相关化工品需求迎新增量

结论：AI 算力爆发式增长、PUE 逐年下行液冷设备成为主流，浸没式液冷设备有望迎来高速增长带动氟化工产品需求。PCB 板、液冷相关的制冷剂、乙二醇冷却液、电子氟化液需求迎来新增量：假设 2025 年中国数据中心机架 1400 万台，带动环氧树脂、酚醛树脂需求 10.5 万吨、3.5 万吨——对应纯苯需求 19 万吨；按照液冷数据中心占比 50%——冷板式占比 60%、浸没式占比 40%——氟化液数据中心占比 70%，2025 年 25%乙二醇冷却液需求 76 万吨、电子氟化液需求有望达 51 万吨——对应全氟聚醚上游甲醇需求 27 万吨。

（二）策略配置建议

在配额限制供应以及氟化工下游旺盛需求、电子氟化液等新兴需求带动下氟化工处于景气周期，氟化工一体化公司利润有望维持高位。

风险因子：下行风险：各国大幅削减算力投资

能源化工组：

研究员：

杨家明

从业资格号 F3046931

投资咨询号 Z0015448

重要提示：本报告非期货交易咨询业务项下服务，其中的观点和信息仅作参考之用，不构成对任何人的投资建议。中信期货不会因为关注、收到或阅读本报告内容而视相关人员为客户；市场有风险，投资需谨慎。如本报告涉及行业分析或上市公司相关内容，旨在对期货市场及其相关性进行比较论证，列举解释期货品种相关特性及潜在风险，不涉及对其行业或上市公司的相关推荐，不构成对任何主体进行或不进行某项行为的建议或意见，不得将本报告的任何内容据以作为中信期货所作的承诺或声明。在任何情况下，任何主体依据本报告所进行的任何作为或不作为，中信期货不承担任何责任。

目录

一、 AI 算力竞赛 1.0 到 2.0，电力、液冷化工需求迎新增量	5
二、 液冷冷却液需求预期向好，电子氟化液需求维持高景气	18
三、 需求景气叠加国产替代，氟化工产业迎利润上行周期	23
四、 总结与思考	40

图表目录

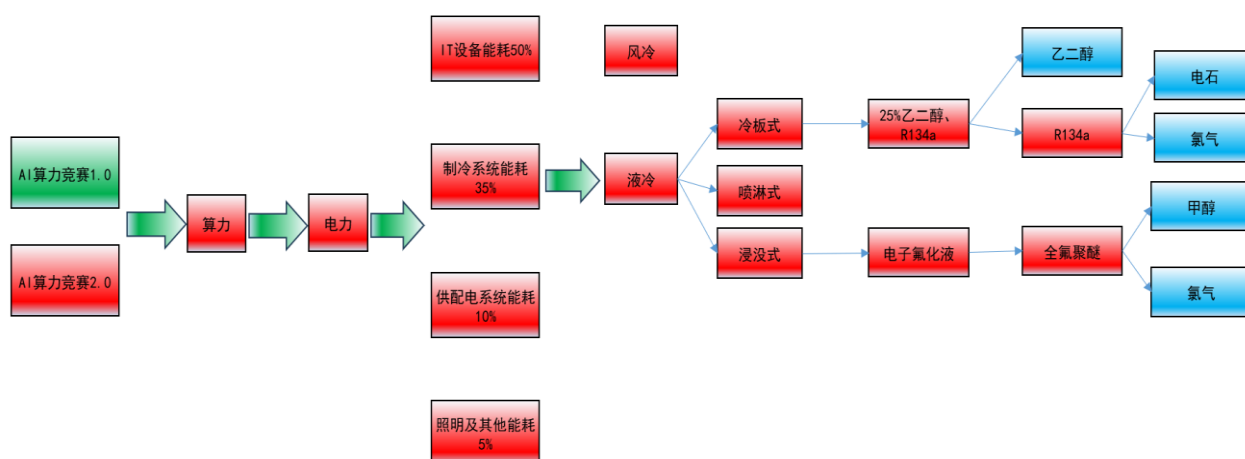
图表 1： AI 算力竞赛 1.0 到 2.0 对液冷化工品影响路径	5
图表 2： 中国数据中心耗电量占比 亿度.....	6
图表 3： 美国数据中心耗电量占比 TWh.....	6
图表 4： 数据中心基础设施示意图	6
图表 5： 中国数据中心机架数量 万台.....	7
图表 6： 中国算力规模预估 EF.....	7
图表 7： 全球人工智能服务器出货量 万台.....	7
图表 8： 中国人工智能服务器出货量 万台.....	7
图表 9： 数据中心耗电占比	9
图表 10： 数据中心耗电分项	9
图表 11： IT 设备构成.....	9
图表 12： 制冷系统构成	9
图表 13： 风冷与液冷特性对比	11
图表 14： 风冷和液冷数据中心能耗分布	11
图表 15： 单相全浸没式液冷	12
图表 16： 相变全浸没式液冷	12
图表 17： 相不同冷却路线的 2MW 机架能耗比较.....	12
图表 18： 相变浸没式液冷计算机功耗分布	12
图表 19： 三种液冷方式对比	13
图表 20： 2017-2022 年全球液冷数据中心投资分布	14
图表 21： 2017-2022 中国液冷数据中心市场 亿元.....	14
图表 22： 国内外液冷技术发展	15

图表 23: 全球液冷服务器市场规模	15
图表 24: 数智赋能类技术（推广类）	16
图表 25: 中国乙二醇供应 万吨.....	19
图表 26: 中国丙二醇供应 万吨.....	19
图表 27: 浸没式液冷冷却液性能对比	20
图表 28: 数据中心冷却液及优缺点	21
图表 29: 部分适用于单相液冷浸没液冷冷却液.....	21
图表 30: 部分适用于双相浸没式液冷冷却液	21
图表 31: 全氟烷基和多氟烷基物质（PFASs）	22
图表 32: 国内部分公司电子氟化液产品情况	23
图表 33: 萤石品级划分	24
图表 34: 氟化工产业链	24
图表 35: 2022 年萤石下游应用占比	25
图表 36: 2022 年国内氢氟酸下游应用占比	25
图表 37: 制冷剂产业链	26
图表 38: 主流制冷剂特征	27
图表 39: 主流制冷剂生产工艺	27
图表 40: 制冷剂分产品需求预测 万吨.....	28
图表 41: 我国含氟制冷剂需求占比	29
图表 42: 我国含氟制冷剂终端需求占比	29
图表 43: 我国不同制冷剂需求占比	29
图表 44: 家用空调新机制冷剂市场份额占比	29
图表 45: 中国四大制冷剂产量（2024） 万吨.....	29
图表 46: 中国四大制冷剂出口量（2024） 万吨.....	29
图表 47: 中国 R22 下游消费结构（2021）	30
图表 48: 中国 R142b 下游消费结构（2023）	30
图表 49: 二代制冷剂含氟聚合物产业链（原料用途）	30
图表 50: 二代制冷剂削减计划	31
图表 51: 二代制冷剂削减进程	31
图表 52: 二代制冷剂生产配额 万吨.....	31
图表 53: 二代制冷剂配额与产量 万吨.....	31

图表 54: 三代制冷剂削减计划	32
图表 55: 三代制冷剂削减时间表	32
图表 56: 三代制冷剂下游需求结构	32
图表 57: 市场主流制冷剂升级路线	32
图表 58: 我国四代制冷剂主要生产商	33
图表 59: 制冷剂行业周期	33
图表 60: 全球氟化工龙头企业	34
图表 61: 液冷化工需求测算	35
图表 62: 制冷剂最上游原料价格 元/吨.....	36
图表 63: 制冷剂上游原料价格 元/吨.....	36
图表 64: 萤石及氢氟酸价格 元/吨.....	36
图表 65: 主流制冷剂价格 元/吨.....	36
图表 66: 制冷剂上游产品生产利润 元/吨.....	37
图表 67: 主流制冷剂生产利润 元/吨.....	37
图表 68: 全球含氟高分子材料需求结构	37
图表 69: 中国含氟高分子材料需求结构	37
图表 70: 氟化工聚合物产业链	38

一、AI 算力竞赛 1.0 到 2.0，电力、液冷化工需求迎新增量

图表1：AI 算力竞赛 1.0 到 2.0 对液冷化工品影响路径



资料来源：中信期货研究所

我们在【中信期货能源化工（能化）】AI 算力竞赛 1.0 到 2.0 对中美电力意味着什么？——专题报告 20250211 中指出：回顾算力的发展历程，从最初虚拟货币驱动的“挖矿热潮”到如今的大国算力竞赛，AI 算力需求爆发式增长驱动投资持续提升，电力将成为决定算力发展高度的重要一环。我国可再生能源电力装机高速增长，数据中心绿电需求增长潜力巨大，我国算力用能结构中绿电占比将持续快速提升；美国数据中心电力需求激增以及由传统能源和可再生能源相结合的能源结构转变推动电力格局不断演变，当前美国 70% 的电网接入和输电设施已老化和落后，特朗普上台后拥抱化石能源态度、美国廉价的天然气资源等因素叠加，限制美国数据中心绿电需求的同时将对天然气、煤炭等传统化石能源需求带来提振。美国数据中心耗电 176TWh，2028 年增至 325TWh，年均增长 40TWh（全部用天然气发电则天然气需求年增量为 0.4 十亿立方英尺/天，美国天然气消费量 108 十亿立方英尺/天，年需求增量占比 0.4%，数据中心电力需求或成打破美国天然气需求逐年下行趋势重要变量）。

“十四五”以来，像快手、抖音这些视频直播的生态爆发式发展，图片、视频存储等通用算力需求快速增长，推动数据中心用电量年均增速达到两位数超过 15%，GPU 服务器的能耗功率通常是 CPU 服务器的 4—5 倍，智能算力较基础算力能耗明显增加。根据《2022—2023 全球计算力指数评估报告》，在数据中心电能使用效率 1.1 的情况下，人工智能大语言模型 GPT—3 一次训练的耗电量为 128.7 万 kWh，相当于我国的 430 个家庭一整年的使用量。生成式大模型不断更新迭代伴随着计算参数翻倍，能耗也随着大幅增加，GPT—4 的能耗是上一代的 40 倍以上。人工智能的规模化应用推动了数据中心用电量井喷式的增长，随着人工智能的广泛应用，尤其是在大规模语言模型（如 ChatGPT）的推动下，数据中心的电力需求呈现急剧上升的趋势。生成式 AI 的普及是耗电量显著提升的重要原因，据 IEA 统计，使用开放人工智能研究中心（OpenAI）的聊天生成预训练转换器（ChatGPT）进行一次对话会消耗 2.9 瓦时的电量，耗电量相当于

普通谷歌搜索的 10 倍^[1]。

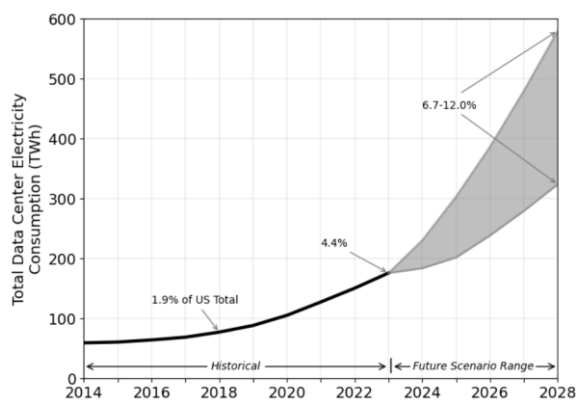
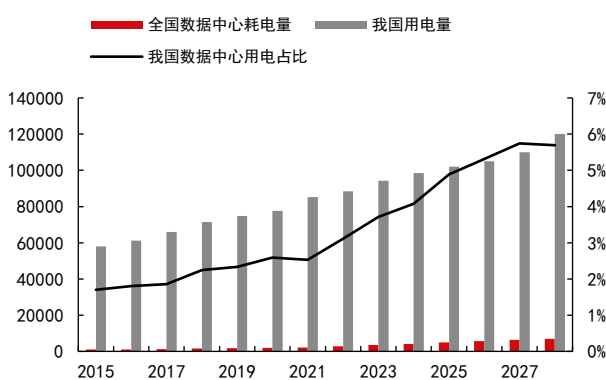
人工智能技术，尤其是深度学习和大数据分析，需要处理大量的数据，这对计算能力提出了极高的要求。为了支持这些计算任务，数据中心需要配备更强大的处理器、更多的存储资源以及更高效的散热系统，这些都直接导致了电力需求的增长。据中国科学院院刊数据，2026 年我国数据中心用电量有望超 6000 亿千瓦时^[2]，数据中心耗电量占我国用电量比重预计将从 2016 年的 1.86% 增长至 2026 年的 6.06%；2023 年，美国数据中心发电装机为 22GW，占全球需求的 40%，预计 2035 年前，美国将额外增加 60GW 装机，驱动美国数据中心发电量将从 325TWh 增至 580 TWh，占美国总用电量的 6.7%-12%^[3]（注：1TWh=10¹²Wh=10⁹KWh=10 亿度）。算力竞赛背景下，数据中心的在中美两国总电耗中的占比将持续提升，拉动数据中心上下游相关工业品需求。

图表2：中国数据中心耗电量占比

亿度

图表3：美国数据中心耗电量占比

TWh



资料来源：Wind IDC 中信期货研究所

资料来源：Berkeley Lab 中信期货研究所

图表4：数据中心基础设施示意图



资料来源：中国电信 中信期货研究所

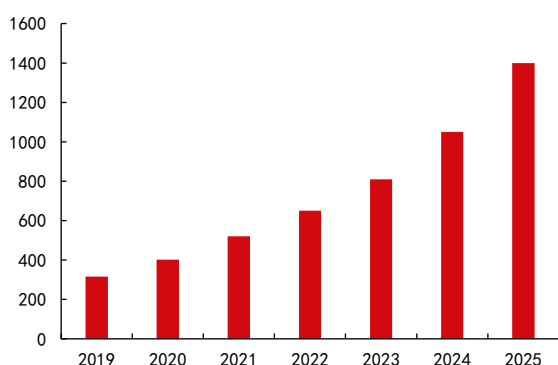
算力实体化的载体就是数据中心(IDC, Internet Data Center)，从作用上来看，数据中心就是一个超大号的机房，里面有很多很多的服务器，专门对数据进行集中管理（存储、计算、交换）。数据中心的硬件分为两类，分别是主设备和配套设备。主设备，是真正实现计算和通信功能的设备，也就是以服务器、

存储为代表的 IT 算力设备，以及以交换机、路由器、防火墙为代表的通信设备。配套设备，则是为了保证主设备正常运转而存在的底层基础支撑设备（也包括一些设施）。数据中心最基础的主设备是服务器，服务器其实也就是个高性能计算机，里面和台式机一样，是 CPU、内存、主板、硬盘、显卡（GPU）、电源等。

服务器，一般都摆放在机架（也叫机柜）上，一个常见标准机架，高度尺寸通常是 42U（U 是一种表示服务器外部尺寸的单位，是 unit 的缩略语，1U 等于 4.445cm）；机架宽度的话，有 600mm 或 800mm。数据中心为智算资源供给方搭建和运维物理平台，并为其提供海量的数据存储，高速的网络传输和实时处理服务，为配合高性能智算资源的供给，传统数据中心在架构、性能、可扩展性和安全性等方面都进行了升级改造^[4]。

图表5：中国数据中心机架数量

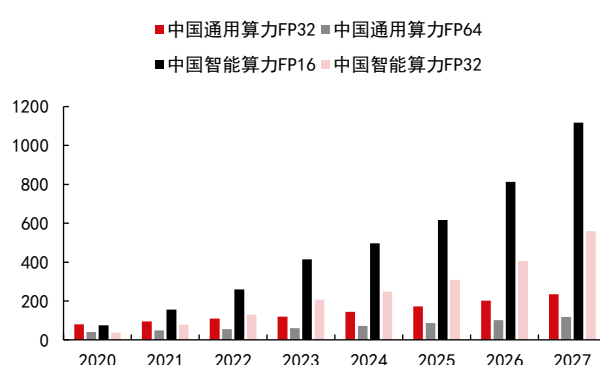
万台



资料来源：沙利文 中信期货研究所

图表6：中国算力规模预估

EF

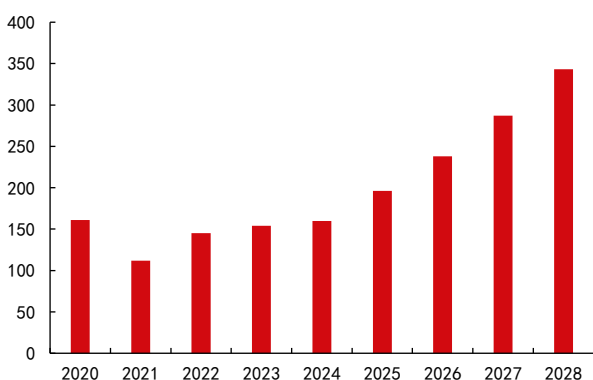


资料来源：IDC 中信期货研究所

2023 年底，我国在用的数据中心机架超过 810 万架，算力总规模达到了全球居第 2 位，算力规模在近 5 年的年均增速达到近 30%，尤其是智能算力，呈爆发式增长态势^[5]。

图表7：全球人工智能服务器出货量

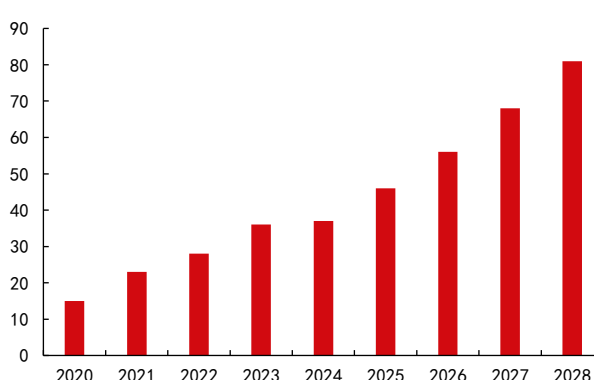
万台



资料来源：沙利文 中信期货研究所

图表8：中国人工智能服务器出货量

万台



资料来源：沙利文 中信期货研究所

人工智能服务器是智能算力的载体，在全球 AIGC 的驱动下，基于 GPU、ASIC 等加速芯片的 AI 服务器需求上升，作为数据中心的核心硬件设备和算力的重要载体，全球 AI 服务器出货量保持高速增长，2023 年全球 AI 服务器出货量达 154 万台，预计 2028 年全球 AI 服务器出货量将达到 343 万台。中国人工智能服务器市场在人工智算行业高速发展的带动下持续走高，服务器出货量 2023 年增至 36 万台，其中浪潮、坤前与新华三三家提供了超过 50% 的人工智能服务器。当前我国机架数量远大于服务器数量，DeepSeek 给

出的分析是①扩展空间，为未来服务器增加预留空间，确保有足够的物理空间和电力支持②散热与电力，服务器密度较低时，有助于改善散热和电力分配，避免过热和电力过载。机架数量多余服务器数量通常是为了满足扩展、散热、高可用性、管理、安全等需求。

我们在【中信期货能源化工（化工）】合成树脂材料新变局（二）——新材料崛起与纯苯景气周期开启——专题报告 20241101 中指出，算力好比 AI 产业链的“原油”，算力的核心系统在于各类服务器。2022 年 OpenAI 发布的 ChatGPT 将大型语言生成模型和 AI 推向新高度以来，全球各大科技巨头纷纷拥抱 AIGC（AI-Generated Content，人工智能生成内容），AI 服务器作为算力的发动机，算力需求的增长将迎来 AI 服务器需求的快速增长。

随着算力需求指数增长，AI 服务器零部件的迭代升级，对上游材料也提出更高的性能要求，AI 服务器主要由 GPU、动态存储器、加速芯片、网卡、散热模组等电子组件组成，受益于 AI 需求的爆发，高频高速 PCB（Printed Circuit Board，简称 PCB）的需求将快速增长。PCB 是一种用于支持电子组件、连接它们并传导电信号的机械交互装置，PCB 产业链的上游原材料主要为玻璃纱（或玻璃纤维布）、环氧树脂、铜箔等，中间产品为覆铜板（CCL），覆铜板的原材料包括电子铜箔、玻纤布、电子级树脂等。PCB 行业中常用的树脂体系有以下几种：酚醛树脂板、环氧树脂板、聚脂树脂板、BT 树脂板（一种特殊的高性能环氧树脂基板）、PI 树脂板（聚酰亚胺树脂）和马来酰亚胺树脂等^[6]。

酚醛树脂（Phenol Formaldehyde Resin，简称 PF），是最早商品化的合成树脂，呈无色或黄褐色透明固体，是制备“电木”的基础，电木（Bakelite）又称胶木，因广泛用于电气设备而得名。酚醛树脂在电子品行业领域的应用非常广泛，涵盖了电子封装材料、电子胶粘剂、电子外壳材料和电子绝缘材料等多个方面。

0.92 吨纯苯+0.52 吨丙烯→1 吨苯酚+0.62 吨丙酮

0.9 吨苯酚+0.29 吨甲醛→1 吨酚醛树脂

环氧树脂是指分子中含有两个以上环氧基团的一类聚合物的总称。它是环氧氯丙烷与双酚 A 或多元醇的缩聚产物，以双酚 A（BPA）为主要原材料，合成的环氧树脂称为双酚 A（BPA）型环氧树脂，是目前产量最大、用途最广的环氧树脂，又称为通用型环氧树脂，属于缩水甘油醚型，将双酚 A（BPA）和环氧氯丙烷（ECH）在 NaOH 作用下进行缩聚。

1 吨苯酚+1.14 吨丙酮→1 吨双酚 A

0.67 吨双酚 A+0.55 吨环氧氯丙烷+0.26 吨 50%烧碱→1 吨环氧树脂

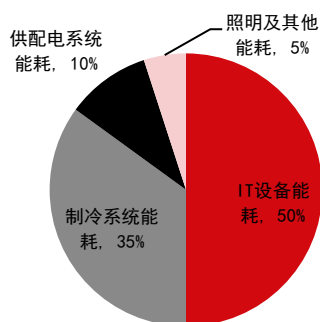
当前 FR-4（玻纤环氧树脂基板）为全球电子业界最泛用的材料，FR 是一种耐燃材料等级的代号，代表的意思是树脂材料经过燃烧状态必须能自行熄灭的一种材料规格，它并不是一种材料名称，而是一种材料等级，因此目前一般电路板所用的 FR-4 等级材料就有非常多的种类，但多数都是以四功能环氧树脂加上填充剂（Filler）以及玻璃纤维所做出的复合材料^[7]。此外工程塑料聚酰亚胺（Polyimide，简称 PI）——具有优异的高温性能和电气性能，适用于高温环境和高密度线路的应用聚四氟乙烯（Polytetrafluoroethylene，简称 PTFE）——具有优异的化学稳定性和绝缘性能，适用于高频和高速传输线路的应用，聚酰胺腈（Polyaramid，简称 PAA）——具有良好的机械强度和耐热性能，适用于高速电子设备和汽车电子领域，聚酰胺（Polyamide，简称 PA）——具有较好的机械强度和绝缘性能，适用于一般性的电子设备也有较多应用。

假设一台 AI 服务器所需环氧树脂和酚醛树脂共计 10KG，按照环氧树脂占比 75%，酚醛树脂占比 25% 计算，一台服务器消耗环氧树脂和酚醛树脂分别为 7.5KG 和 2.5KG。2025 年我国数据中心机架有望达到 1400

万台，消耗环氧树脂和酚醛树脂数量为 10.5 万吨和 3.5 万吨，对应纯苯的需求为 $10.5/0.67/0.92+3.5/0.9/0.92=19$ 万吨，尽管当前数量较小，但未来增长潜力较大。

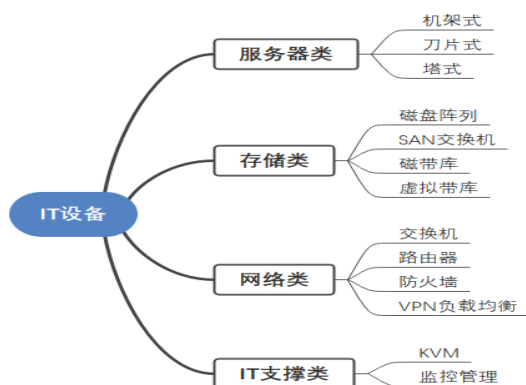
IT 设备包括数据中心的计算、存储、网络等不同类型的设备，用于承载在数据中心中运行的应用系统，并为用户提供信息处理和存储、通信等服务，同时支撑数据中心的监控管理和运行维护。数据中心耗电量主要集中在 IT 设备能耗和制冷系统能耗，其中前者约占电力输入的 50%-60%，后者约占 35%（其中冷水系统占 19%，加湿系统占 3%，精密空调占 11%），配电系统占 9%（其中 UPS 能耗占 6%，PDU 能耗占 3%），照明及辅助设备占 2%，开关装置/发电机占 1%。IT 设备在进行数据运算、存储和交换的过程中同时产生大量的热量，随着芯片性能的提高，数据中心热流显著升高，高温对电子元器件的正常运行产生影响，甚至导致其受损失效。因此为了维持整个数据中心的平稳运行，需要通过温控系统全天候运行来严格控制温度、湿度等关键数据。目前发展的冷却技术主要有风冷和液冷两大类，随着算力提升以及节能要求的提高，**液冷温控技术成为发展趋势**。以数据中心为例，采用风冷的数据中心，可以解决 12KW 以内的机柜制冷，随着服务器单位功耗增大，服务器机可容纳的服务器功率往往超过 15KW，风冷系统已经满足不服务器柜的散热需求。以英伟达的机柜设计为例，B200 芯片的热设计功耗将达 1000W，GB200 NVL36 及 NVL72 整机柜的 TDP 甚至将高达 70kW 及近 140kW，传统风冷散热方案不足以满足需求，需要搭配液冷方案方以有效解决散热问题。

图表9：数据中心耗电占比



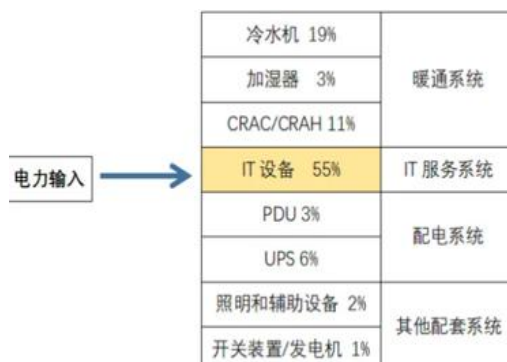
资料来源：公开资料 中信期货研究所

图表11：IT 设备构成



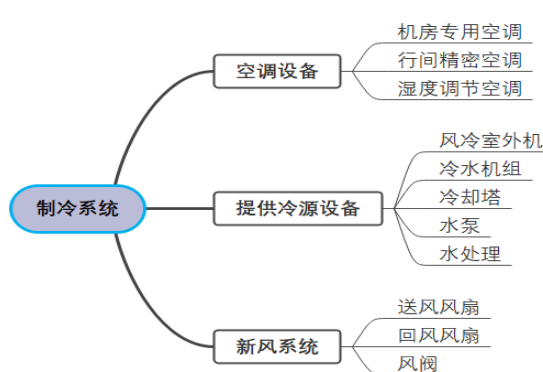
资料来源：公开资料 中信期货研究所

图表10：数据中心耗电分项



资料来源：公开资料 中信期货研究所

图表12：制冷系统构成



资料来源：公开资料 中信期货研究所

PUE 值（Power Usage Effectiveness，电源使用效率）是衡量数据中心能效的核心指标，它直接反映了数据中心的能源使用情况。

PUE 计算公式为： $PUE = P_t / P_{IT}$

其中 P_t 为数据中心全年总耗电量，单位是 KWh； P_{IT} 为数据中心的 IT 设备全年耗电量，单位也是 KWh。

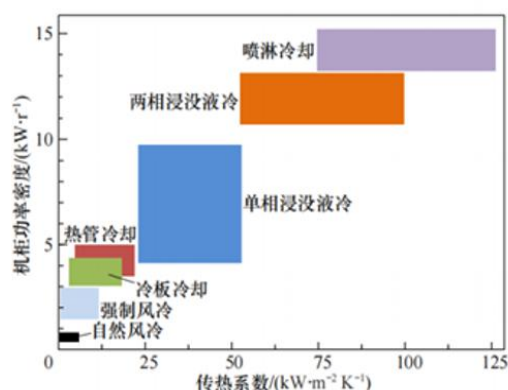
也可以表示为 $PUE = 1 + CLF + PLF$ 。其中，CLF 为散热系统耗电量与服务器用电的比值，PLF 为供电系统损耗与服务器用电的比值。CLF（制冷能效因子）：CLF 代表单位功率 IT 负载上消耗的制冷用电量，计算公式为 $CLF = \text{制冷设备耗电} \div \text{IT 设备耗电}$ 。冷却系统是影响 PUE 值的关键因素之一，在实际应用中，液冷数据中心的 PUE 值相比传统风冷数据中心更具优势。传统的空调冷却方式往往效率不高，而新型的自然冷却和液冷技术则能大幅降低能耗。比如，自然冷却利用外部空气降低数据中心温度，大大减少了空调的使用，从而降低了 PUE 值。液冷技术则通过液体导热，提高了冷却效率，进一步优化了能效。PLF（电力能效因子）：PLF 代表单位功率 IT 负载上供电系统的损耗，即 $PLF = \text{供配电系统耗电} \div \text{IT 设备耗电}$ 。供配电系统在将电力输送到 IT 设备的过程中会产生一定的损耗，PLF 因子反映了这种损耗的程度。

数据中心 IT 设备的耗电量是包含在数据中心总耗电量内，所以 PUE 是一个大于 1 的数值，PUE 值越低，说明数据中心用于 IT 设备以外的能耗越低，越节能。当前，国外先进的数据中心 PUE 值通常小于 2。截至 2023 年年末，我国在用算力中心的平均 PUE 为 1.48，和 2022 年的 1.52 相比有所优化。其中，在用超大型算力中心的平均 PUE 为 1.33，大型算力中心的平均 PUE 为 1.43。规划在建算力中心的平均设计 PUE 约为 1.29。

从数据中心诞生之日起，追求 PUE 的下降就成为一个重要的课题。而国内外大型的互联网公司，更是不断追求将 PUE 降至接近 1，也就是机房完全不用开空调，所有的电力全部供应 IT 设备。正因为这种追求的存在，才会不断出现海底数据中心、北极数据中心等，依靠自然冷却，从目前来看是最经济的策略。风冷通过将冷空气送至 IT 设备进行换热，适合机柜功率较小的数据中心，液冷则以液体作为介质，通过冷却液与发热元件直接接触进行散热，由于液体的热导率远高于气体，液冷的制冷效率更高更适合高功率数据中心。由于液冷数据中心冷却系统采用中高温水即可完成散热需求（一次侧进水温度 35°C ，二次侧供液温度 40°C ），可实现全年全地域自然冷却，而传统风冷方式冷冻水机组出水温度需低至 $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$ ，在大部分地域、大部分时间段均需开启制冷压缩机才能满足条件，因此液冷方式省去大部分风扇及空调系统能耗，相比传统风冷机房节能 20%–30% 以上。采用液冷可以大幅降低数据中心能耗，提高 PUE。以某液冷数据中心为例，液冷设备取代空调设备，耗能占比仅为 9%，数据中心 PUE 降低至 1.2 以下。

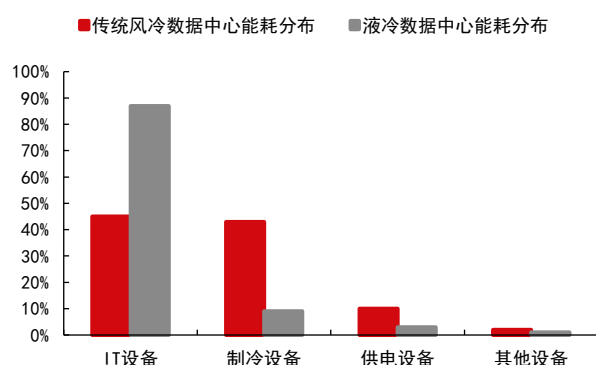
各部委相继出台了关于绿色数据中心建设、新型数据中心绿色高质量发展的指导意见。在落实节能降碳方面，政策明确要求到 2023 年底新建大型及以上数据中心 PUE 降低到 1.3 以下；到 2025 年全国新建大型、超大型数据中心平均电能利用效率降到 1.3 以下，国家枢纽节点进一步降到 1.25 以下，绿色低碳等级达到 4A 级以上。东数西算”工程的 10 个数据中心集群都明确了 PUE 值建设目标，数据中心电能利用效率指标基本都控制在 1.25 以内，液冷技术是实现低 PUE 的主要路径。数据中心耗电量快速增长同 PUE 指标是主要矛盾，有望刺激液冷需求快速增长。随着 AI 集群算力加功耗上升，将推动液冷散热和高端电源需求，当服务器功率密度普遍超过 20kW 时，将推动数据中心从风冷向液冷技术的转变，英伟达 CEO 黄仁勋曾明确表示，液冷技术是未来趋势，将带动整片算力散热市场全面革新。

图表13：风冷与液冷特性对比



资料来源：公开资料 中信期货研究所

图表14：风冷和液冷数据中心能耗分布



资料来源：公开资料 中信期货研究所

液冷技术通过液体的循环流动带走发热部件的热量，能够更有效地降低设备的温度，**主要包括冷板式液冷、浸没式液冷和喷淋式液冷三种技术**。冷板式是间接液冷方式，浸没式和喷淋式是直接液冷方式，相较于冷板式，浸没式液冷制冷效率更高，可有效降低 PUE，是一种高效、绿色节能的数据中心制冷解决方案；目前冷板式液冷在行业中成熟度最高，商用基础稳固。冷板式液冷是服务器芯片等高发热元件的热量通过冷板间接传递给液体进行散热，低发热元件仍通过风冷散热的一种方式。冷板式液冷特点在于冷却液并不直接接触发热设备，而是通过冷板进行热量传输，通常无需改变数据中心的机柜结构。冷板系统主要由冷却塔、CDU、液冷管路、冷却介质和液冷机柜等组成。液冷机柜又包括液冷板、设备内液冷管路、流体连接器及分液器等关键部件。2024 年 1 月 18 日，浪潮信息与英特尔联合发布《全液冷冷板系统参考设计及验证白皮书》，是全球首个液冷冷板服务器参考设计。该液冷方案实现了系统中 95%左右的热量通过冷板接触热源由液体直接带走，剩余 5%左右的热量经由 PSU 电源后置的风液式换热器里面的冷却水带走，系统级即可实现接近 100%液冷热捕获率。与自然对流相比，用泵驱动循环冷却液的方式可以更有效的提高冷却能力。由泵、热交换器、传感器、过滤器组成的装置被称为冷却液分配单元(CDU, Coolant Distribution Unit)，利用 CDU 可以更加精确地控制冷却液的温度和流速。较冷的冷却液在泵的驱动下流经发热元件，将热量带走。被加热的冷却液在泵的驱动下进入热交换器被降温，之后在泵的作用下继续循环。热交换器一般用水作为冷却介质，热量最终通过循环冷却水系统排出。

喷淋式液冷属于直接接触式液冷。二次侧冷却液由顶部进入服务器，在重力或系统压力的作用下，通过喷淋板精准喷淋发热器件，冷却液直接与发热器件接触，通过对流换热为器件散热。为了实现精准喷淋与有效散热，液冷机柜及设备需要一定的特殊化设计。

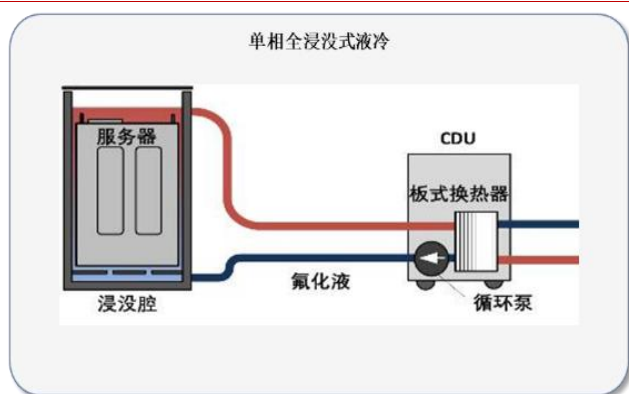
单相冷板式液冷是通过液冷板将发热器件的热量间接传递给液冷板中的二次侧冷却液。根据液冷板覆盖范围，这种液冷可以分为局部液冷或全液冷：局部液冷通常仅覆盖高功耗器件，一般带走设备 70%左右的热量，剩余 30%热量仍需通过机房空调或液冷背门以风冷的形式带走；全液冷需要根据通信设备硬件架构和结构布局定制化设计液冷板，以覆盖所有发热器件。单相冷板式液冷系统液冷机柜内包含分液器、液冷板、流体连接器、液冷管路、漏液检测传感器等。液冷板使用的复合材料一般以 3 系铝合金为芯材，起强度支撑和散热作用；复合层由铝硅 4 系合金或其他牌号的铝合金构成，起到钎焊或改善整体材料性能的作用。

浸没式液冷是服务器完全浸入冷却液中，全部发热元件热量直接传递给冷却液，通过冷却液循环流动或蒸发冷凝相变进行散热的一种方式。在超算和高性能计算领域，全浸没式液冷式服务器有望成为未来技术趋势^[8]。浸没式液冷设备在结构上更为简洁，去除了压缩机等制冷部件，仅由冷却液和循环泵组成。浸

浸式液冷方式对技术要求较高，涉及服务器外壳设计、主板改造、散热系统升级和密封性等多重改造，主要由服务器厂商负责生产。整体来看，浸没式和冷板式液冷在机房侧的架构基本相同，主要差异在于 ICT 设备侧。短期角度来看，冷板式液冷因成熟度高、运维难度低，非常适合当前数据中心从风冷到液冷的转型期。从长远发展来看，浸没式液冷在散热效率、单机柜功率和空间利用率上相较于冷板式液冷具有更明显的优势，可适配更高功率密度的机柜和数据中心。

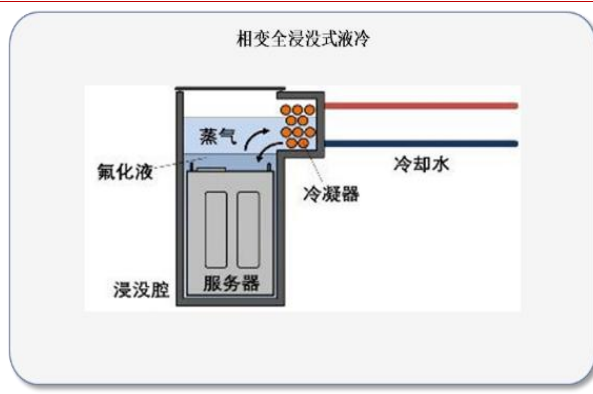
按照冷却液在循环散热过程中是否发生相变，可以分为单相浸没式液冷和双相浸没式液冷。在单相浸没式液冷系统中，IT 设备所有的发热组件都完全浸没在循环的不导电的冷却液中，设备发出的热量直接传递给冷却液，通过自然对流或泵驱动冷却液的循环。自然对流驱动的循环散热过程，利用了液体受热后体积膨胀密度减小的特点，较热的冷却液会自然上浮，之后被连接到外部冷却回路的热交换器冷却^[9]。冷却后的液体在重力的作用下自然下沉，完成循环散热。单相浸没式液冷的冷却液通常具有较高的沸点，冷却液吸热后并不会发生相变，始终维持在液态。单相浸没式液冷通常选择沸点较高的冷却液，以确保冷却液在循环散热过程中始终保持液态。氟碳化合物和碳氢化合物（例如矿物油、合成油、天然油）均可用于单相浸没式液冷。目前 3M 和 Shell 等企业都在生产用于单相浸没式液冷技术的冷却液，不同的是 3M 的冷却液为氟化液，而 Shell 的冷却液为天然气制成的合成油，属于碳氢化合物^[10]。

图表15：单相全浸没式液冷



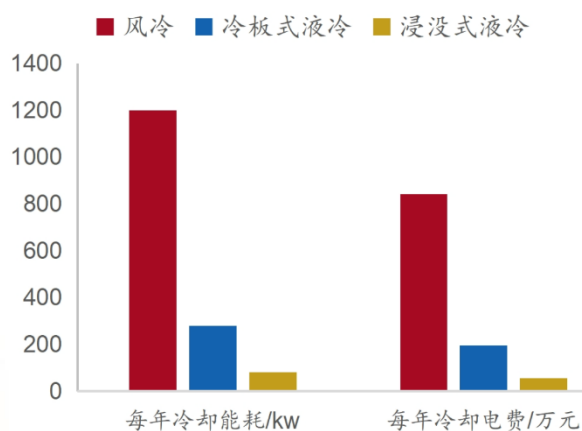
资料来源：热设计 中信期货研究所

图表16：相变全浸没式液冷



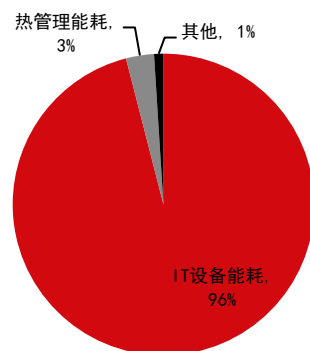
资料来源：热设计 中信期货研究所

图表17：相不同冷却路线的 2MW 机架能耗比较



资料来源：氟化工 中信期货研究所

图表18：相变浸没式液冷计算机功耗分布



资料来源：热设计 中信期货研究所

浸没式液冷两相冷板式液冷系统架构与单相不同的是二次侧冷却液在设备内通过液冷板吸热发生汽化，在 CDU 内冷凝为液态，充分利用了冷却液的相变潜热，综合散热能力更强。浸没腔体的顶部为气态区，底

部为液态区。冷却液吸收设备热量后发生相变，即液态冷却液变为气态冷却液。气态冷却液汇聚到浸没腔体顶部，与安装在顶部的冷凝器发生换热后冷凝为低温液态冷却液，随后在重力作用下回流至腔体底部，实现对通信设备的散热。两相立式浸没方案是浸没式冷却未来的主要方向，但现阶段技术成熟度仍较低，相关产业链还有待完善。

图表19：三种液冷方式对比

热捕获形式	冷板式		浸没式		喷淋式
	单相冷板	两相冷板	单相浸没	两相浸没	
主要优点	兼容度高 技术成熟、产业链齐全 两相式水不进服务器		高散热能力&能效静音		节省冷却液 精准冷却
局限性	泄漏问题 需风冷补偿	工作压力高 控制难度大	材料兼容性 承重要求高	系统密封性 成本高	材料兼容性 技术小众
散热能力	中	中-高	高	最高	高
pPUE	1.10-1.20	1.05-1.15	1.05-1.10	1.03-1.05	1.05-1.10
可维护性	优秀		一般		一般
CAPEX	\$	\$-\$\$	\$\$-\$\$\$	\$\$\$	\$\$
OPEX	\$\$	\$\$	\$\$\$	\$\$\$	\$\$
热回收潜力	一般	较高	较高	高	较高
成熟度	★★★	★	★★	★	★
应用案例	最多	较少	较多	较少	非常少
应用场景	较大规模智算中心 旧数据中心改造		较小规模智算中心 超算、教育、科研		小型高热数据中心

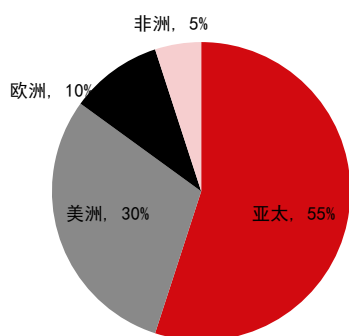
资料来源：亚太区智算中心液冷应用现状与技术演进白皮书 中信期货研究所

从全球在浸没液冷形态部署的数据中心案例来看，基于普通服务器和低强度算力的数据中心，通常选用了单相浸没液冷架构。基于超算级别的数据中心，则多为相变液冷架构：阿里张北浸没液冷实验室——单相；阿里余杭液冷数据中心——单相；中科院大气物理研究所——相变；中科成都超算中心、郑州超算中心、昆山超算中心——相变^[11]。

根据 IDC 数据，2024 年上半年，我国液冷服务器市场厂商份额前四大厂商分别为浪潮信息、超聚变、宁畅和新华三。浪潮信息将“All in 液冷”纳入公司发展战略，进行全栈液冷产品布局，建成了亚洲最大的液冷数据中心研发生产基地——天池，年产量超 10 万台，构筑了全链条液冷能力。超聚变液冷服务器已实现全国超 7 万节点的规模商用；宁畅提供液冷服务器到数据中心的全系统液冷解决方案，G50 系列服务器实现风冷、冷板液冷、浸没液冷三大散热方式全覆盖；中科曙光 2011 年起开启液冷技术探索，是国内较早涉足液冷技术领域的企业之一，在全国多个城市完成液冷数据中心部署，与曙光数创联合推出了新一代一体化风液混冷先进数据中心解决方案，海外马来西亚数据中心项目预计于 2025 年上半年交付。运营商方面，中国移动、中国电信、中国联通三家电信运营商联合发布了《电信运营商液冷技术白皮书》，计划 2025 年及以后开展规模应用，50%以上数据中心项目应用液冷技术，实现技术、生态、应用全面领先

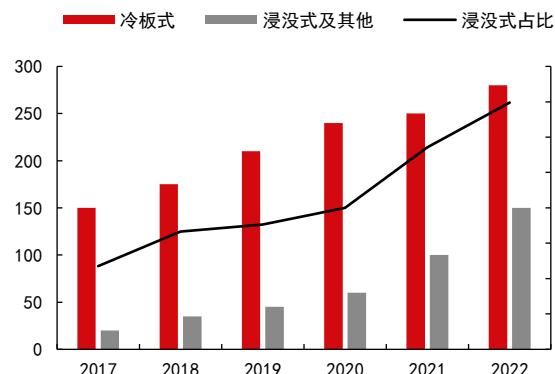
^[12]。从未来趋势看，参考 IDC 说明，由于冷板式的成本更低，产业链也更为成熟，同时冷板式与风冷在运维上差异较小，使用习惯一致，市场接受程度更高，**当前液冷服务器市场的主要解决方案是冷板式液冷，占比 80%-90%**。而浸没式液冷则处于技术创新突破时期，技术门槛较高，目前依旧有多项技术问题没有解决，浸没式液冷方案企业还需要从研发投入、生产链条、客户需求等多方面发展优化。IDC 预计，2023 至 2028 年间，中国液冷服务器市场的年复合增长率将达到 47.6%，预计到 2028 年市场规模将增至 102 亿美元。液冷产业上游主要是相关零部件；中游是液冷服务器、液冷交换机等 IT 设备的提供商；下游包括算力使用者和第三方 IDC 服务商。液冷服务器上游液冷服务器上游零部件主要包括产品零部件及液冷设备，液冷系统一次侧和二次侧产品等。以英伟达 GB200 NVL72 服务器为例，其液冷散热器是由冷却板、冷却液分配装置、分歧管、RDHx/风扇以及快接头等核心部件构成。2025 年英伟达机柜将迎来批量出货，单机柜功率预计达到 125KW。英伟达 GB200 NVL72 系统已采用液冷设计，其进水温度为 25℃、出水温度为 45℃，具备高效的散热性能。

图表20：2017-2022 年全球液冷数据中心投资分布



资料来源：中商情报网 中信期货研究所

图表21：2017-2022 中国液冷数据中心市场 亿元



资料来源：中商情报网 中信期货研究所

根据《数据中心用浸没式冷却液的研究进展》对各种液冷技术进行比较，冷板式液冷在空间利用率、材料相容性方面具有较强的应用优势，但在成本方面，由于其单独定制冷板装置的原因，导致技术应用的成本相对较高。喷淋式液冷技术则通过改造旧式的服务器和机柜的形式，大幅度减少了数据中心基础设施的建设成本，但是散热效率较低^[13]。与前两者相比，浸没式技术的成本较适中，空间利用率与可循环方面具有较好的表现，特别是在散热效率方面显著高于前两者。2018 年，google 发布 TPU 3.0 pod，宣布将首次在其数据中心采用液冷技术；同年，阿里巴巴在其自建的张北数据中心部署了浸没式液冷系统；法国能源公司 Total 宣布在法国建设一个使用液冷技术的数据中心；Open Compute Project (OCP) 发布了一项名为“Open Compute Liquid Cooling”的倡议，旨在推动数据中心液冷技术的标准化和采用。2019 年，英国剑桥大学的超级计算机中心采用直接液冷技术^[14]。中国信息通信研究院 (CAICT) 发布了《数据中心液冷技术标准化白皮书》，该白皮书提出了数据中心液冷技术的分类和评估指标，并介绍了液冷技术在提高能效、降低能耗方面的优势。此后，国家标准化管理委员会 (SAC) 和中国电子标准化协会 (CESA) 等机构相继制定和发布了一系列液冷技术的标准和规范，以促进液冷技术在数据中心行业的应用和推广。2020 年，全球各大云服务提供商如亚马逊 AWS、微软 Azure 和谷歌云加速布局液冷数据中心，他们意识到液冷技术可以提高能效、降低能源成本，并减少碳排放。微软在位于华盛顿州昆西市的 Azure 数据中心开始试验两相浸入式冷却技术，成为第一家在生产环境中采用两相浸入式冷却的云服务提供商；京东开始在数据中心部署了冷板液冷解决方案，为京东 618、双十一、央视春晚红包互动提供了基础算力保障，数据中心综合效能提升 34%-56%。2022 年，NVIDIA 发布采用直接芯片 (Direct-to-Chip) 冷却技术的数据中心

PCIe A100 GPU 加速器；Intel 宣布投资 7 亿美元在美国俄勒冈州希尔斯伯勒建立大型实验室，专注于研发创新的数据中心技术，解决散热、冷却等问题；字节跳动开始将液冷技术大面积应用于其数据中心。2023 年，埃克森美孚在 OCP 峰会上推出数据中心浸没式冷却液；Intel 宣布与 Submers 公司联合推出一款浸没式液冷系统，名为“强制对流散热器（FCHS）”。2025 年有望成为液冷技术实现从 1 到 10 的首个转折点^[15]。

图表22：国内外液冷技术发展



资料来源：电信运营商液冷技术白皮书 中信期货研究所

图表23：全球液冷服务器市场规模

	2022	2023	2024	2025
AI 服务器出货量（万台）	14.5	15	16.5	19.5
AI 服务器平均功率（KW）	6	7.2	8.6	10.4
AI 服务器总功率需求（MW）	870	1080	1426	2022
冷板式占比	65%	64%	62%	60%
冷板式功率	566	691	884	1213
冷板式方案价格（元/KW）	4000	3600	3240	2916
浸没式方案占比	35%	36%	38%	40%
浸没式方案总功率	305	389	542	809
浸没式方案价格（元/KW）	12000	10800	9720	8748

资料来源：中商情报网 中信期货研究所

2025 年 2 月 12 日，生态环境部等五部门发布《国家重点推广的低碳技术目录（第五批）》。包括 16 MW 超大容量海上风电机组技术、大型光伏电站智能柔性控制技术与装置、退役锂电池全过程清洁循环利用关键技术与应用、压水堆核电厂热电联供技术等 5 个重点方向共 103 项低碳技术。其中数智赋能类技术（推广类）明确指出 5 数据中心浸没液冷技术：该技术通过将服务器设备直接浸入非导电液体中进行冷却，能

够有效地降低温度、提高散热效果，并且具备较低的能耗和噪声。技术原理是将有散热需求的电子元件浸没在冷却液中，依靠液体的循环流动或相变带走电子器件产生的热量。新型浸没式数据中心液冷系统包括 Tank 本体、CDU 本体和电子氟化液。电子部件直接浸没再保持液体状态的电介质液体中，液体置于密封且不易被触及的容器中。技术适用范围是各类超算中心、高密度数据中心、高密度移动数据通信设备和快速部署集装箱设备^[16]。

图表24：数智赋能类技术（推广类）

数智赋能类技术（推广类）					
序号	技术名称	技术内容	主要技术参数	技术适用范围	典型项目
5	数据中心浸没液冷技术	该技术通过将服务器设备直接浸入非导电液体中进行冷却，能够更有效地降低温度、提高散热效果，并且具备较低的能耗和噪声。技术原理是将有散热需求的电子元件浸没在冷却液中，依靠液体的循环流动或相变带走电子器件运行产生的热量。新型浸没式数据中心液冷系统包括 Tank 本体、CDU 本体和电子氟化液。电子部件直接浸没在保持液体状态的电介质液体中，液体置于密封且不易被触及的容器中。	换热容量：≥15 kW； 循环泵流量：5.4 m ³ /h； 过滤精度：50 μm； 冷却液进口温度：40℃； 流速：1.8 m/s； 设备噪声：≤60 dB。	适用于各类超算中心、高密度数据中心、高密度移动数据通信设备和快速部署集装箱设备。	典型项目 1：字节跳动 12U 浸没液冷模组 建设规模：470 套 15 kW TANK。 减碳效益：项目相较于常规数据中心降温系统，年碳减排量 15500 tCO ₂ 。 典型项目 2：180 kW 浸没液冷 CDU 建设规模：20 套 180 kW CDU。 减碳效益：项目相较于常规数据中心降温系统，年碳减排量 7455 tCO ₂ 。
6	数据中心精密空调节能控制柜	该技术采用变频调速技术和设备自适应的运行方式，对风机、压缩机进行调速，使制冷量与热负荷相匹配，在满足数据中心制冷需求的前提下降低压缩机与风机的转速，提高空调制冷效率。	空调节能率（包括压缩机和风机）：≥30%； 空调设备负载率：≤85%； 输入电压：380 V±15%； 调速频率：35 Hz~50 Hz。	适用于数据中心制冷系统节能改造。	典型项目 1：河北广电网络专业机房空调节能系统建设方案 建设规模：对专用机房 5 层-8 层提供 74 台空调节能柜进行节能改造，空调总制冷量约为 4815 kW。 减碳效益：项目相较于改造前，年碳减排量 1563.57 tCO ₂ 。 典型项目 2：中国联通长沙分公司数据中心机房精密空调节能项目 建设规模：对长沙联通机房 133 台空调进行升级改造，总制冷容量 8680 kW。 减碳效益：项目相较于改造前，年碳减排量 3061.02 tCO ₂ 。

资料来源：生态环境部 中信期货研究所

为促进化工新材料产业高质量发展，国家相关政策持续加持。我国于 2019 年和 2021 年分别发布两版《重点新材料首批次应用示范指导目录》，大力扶持产业发展。“十三五”期间，发布《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》，明确加快新材料等战略性新兴产业发展；发布《新材料产业发展指南》，提出突破重点应用领域急需的新材料、布局一批前沿新材料等。“十四五”期间，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》提出发展壮大包括新材料产业在内的战略性新兴产业；《化工新材料产业“十四五”发展指南》提出重点发展、提升八大系列化工新材料：高端聚烯烃塑料、工程塑料及特种工程塑料、聚氨酯材料、氟硅材料、特种橡胶及弹性体、高性能纤维及复合材料、功能性膜材料和电子化学品；还发布了《关于印发原材料工业“三品”实施方案的通知》《关于化纤工业高质量发展的指导意见》《关于“十四五”推动石化化工行业高质量发展的指导意见》《“十四五”原材料工业发展规划》等一系列政策，为化工新材料行业保驾护航^[17]。

工程塑料。分为通用工程塑料和特种工程塑料，其中，通用工程塑料主要包括尼龙、聚碳酸酯、聚甲醛、聚对苯二甲酸丁二醇酯、聚苯醚等，以及近年发展较快的聚甲基丙烯酸甲酯。特种工程塑料是指综合性能较高，长期使用温度在 150℃以上的一类工程塑料，主要包括聚苯硫醚、聚酰亚胺、聚醚醚酮等。2021 年，我国工程塑料产品生产产量达 680 万吨，同比增长 2.26%；市场需求总量达 665 万吨，同比增长 6.06%。

高端聚烯烃。主要包括两大类：一是大宗品种的高端牌号，如多峰及茂金属聚乙烯、茂金属聚丙烯，

高碳 α -烯烃共聚聚烯烃等；二是特殊品种的聚烯烃，如乙烯-辛烯共聚（POE）弹性体、乙烯-醋酸乙烯共聚（EVA）树脂等。其中 POE、EVA 等由于光伏等下游需求激增而备受关注，POE 被广泛应用于光伏电池、汽车零部件、服装鞋材、航空航天、5G/6G 通信等领域；EVA 广泛用于光伏封装薄膜、制鞋发泡、农膜、电缆等领域。截至 2022 年底，国内除 EVA 之外，其他高端聚烯烃基本仍未实现国产化。

聚氨酯。被誉为“第五大塑料”。2022 年，我国聚氨酯产量为 1512.5 万吨，同比增长 6.7%。未来，聚氨酯行业应大力发展研发功能性、高性能、高附加值产品，发展环保型（水性和无溶剂）聚氨酯产品，加快在建筑节能等领域的推广应用。

氟硅树脂。是由氟树脂和有机硅树脂混炼而成的合成树脂，氟硅橡胶在保持了硅橡胶的耐高低温性（-55—200℃）、耐候性、压缩复原性、回弹性、电气性能、脱模性等一系列优良性能的基础上，又具有氟橡胶的耐燃料油、耐溶剂等性能。广泛应用于宇航、飞机、汽车、石油化工、机械及军事等重要工业部门。

高性能合成橡胶。如苯乙烯类热塑性弹性体（SBS、SIS 等）、聚烯烃类热塑性弹性体（TPO）、丁腈橡胶、丁基橡胶、稀土顺丁橡胶、硅橡胶、氟橡胶等，广泛应用于轮胎、制鞋、胶管胶带、医用胶塞、树脂改性等领域。2022 年，我国合成橡胶产量为 823.3 万吨。

高性能纤维。为力学性能优良，强度为 18cN/dtex（20g/D）、初始模量为 441cN/dtex（500g/D）的特种纤维。包括有机高性能纤维和无机高性能纤维，其中，有机纤维含对位芳纶、全芳香族聚酯、超高相对分子质量的高强聚乙烯纤维及新问世的聚苯并双恶唑等，无机纤维主要为碳纤维。广泛应用于航空航天、船舶、轨道交通、汽车、军工、医疗、工业以及食品饮料等行业中。

功能性膜材料。是先进半导体材料的一部分。2021 年我国功能性膜材料市场规模达 1140.0 亿元，增长率为 17.0%。从市场产品结构看，2021 年光学功能膜市场占比最大，为 40.8%；其次为分离功能膜，占比为 27.0%；包装功能膜排名第三，占比为 12.4%。预计 2024 年，市场规模可达 1690.5 亿元，复合增长率达到 14.0%。

锂电池材料。处于整个锂电池产业链的上游，主要由正极材料、负极材料、隔膜和电解液四大材料组成。2022 年全国锂离子电池产量达 750GWh，同比增长超过 130%，其中正极材料、负极材料、隔膜、电解液等锂电一阶材料产量分别约为 185 万吨、140 万吨、130 亿平方米、85 万吨，同比增长均达 60%以上，行业总产值突破 1.2 万亿元。

半导体材料。主要分为前端晶圆制造材料和后端封装材料。2022 年我国半导体材料市场的营收规模为 129.7 亿美元，同比增长 7.3%。广泛应用于汽车、照明、家用电器、消费电子、信息通讯等领域的集成电路或各类半导体器件中。

先进显示材料。新型显示泛指 LCD（液晶显示器）、高世代 OLED（有机发光二极管）、AMOLED（主动矩阵有机发光二极管）、Mini/Micro-LED（微发光二极管）、QLED（电致发光量子点）、3D（三维）显示、全息显示、电子纸柔性显示等技术。

2024 年 7 月 2 日工业和信息化部等九部门关于印发《精细化工产业创新发展实施方案（2024—2027 年）》的通知指出：

精细化学品和化工新材料（以下统称精细化工）是推动石化化工行业高质量发展的关键引擎，关乎重要产业链供应链安全稳定、绿色低碳发展、民生福祉改善。为贯彻国家有关规划重点任务，引导精细化工产业高端化、绿色化、智能化发展，特制定本实施方案^[18]。

（一）实施有效供给能力提升行动：推进传统产业延链。推动传统产业以产业链高端化延伸为重点发展

精细化工，打造专业化、精细化、特色化、新颖化的产品体系，提升产品附加值，增强核心竞争力。

产业延链工程

1. 石化行业(含石油化工、天然气化工)。重点做好烯烃、芳烃的利用，发展高端聚烯烃、工程塑料、聚氨酯、特种合成橡胶、高性能纤维、功能膜、专用化学品、高性能胶黏剂等。

2. 煤化工行业。重点发展煤制可降解塑料、聚苯二甲酸乙二醇酯(PEN)等高附加值新品种，做好甲醇、烯烃的高值利用。推进费托合成油、煤焦油中环烷烃、含氧化合物、芳烃等高值组分的综合利用，发展特种油品、高端碳材料、橡胶助剂以及农药、染料、医药中间体。

3. 盐(矿)化工行业。重点加强氟、硅、磷等矿产资源的高值利用，发展超净高纯氢氟酸，特种含氟单体，第四代含氟制冷剂等含氟化学品，高品质氟树脂、高性能氟橡胶等含氟新材料；新型有机硅单体以及高性能硅油、硅橡胶、硅树脂等先进硅材料；磷系新能源材料，高性能含磷阻燃剂、增塑剂、净水剂、医药农药中间体、黑磷基材料等高附加值含磷化学品。

4. 生物化工行业。重点打造基于大宗农作物秸秆及剩余物等非粮生物质资源利用的生物基材料体系，强化与石化、煤化工、盐(矿)化工等产业耦合，发展乳酸、1,3-丙二醇、丙烯酸、丁二酸、反式乌头酸、戊二胺、呋喃等生物基化学品，聚乳酸、聚氨酯、聚呋喃二甲酸乙二醇酯、聚碳酸酯、尼龙、特种橡胶等生物基聚合物等，形成对现有化石基材料的有效补充。

高性能树脂细分为工程塑料、高端聚烯烃塑料、聚氨酯材料、氟硅树脂、其他高性能材料等五个领域。新能源、人工智能行业快速发展，新材料需求带动高性能树脂材料需求。

【中信期货能源化工(化工)】合成树脂材料新变局(二)——新材料崛起与纯苯景气周期开启——专题报告 20241101

政策推动、下游应用爆发推动我国 AI 服务器-算力高速增长，能源端拉动电力需求，化工端拉动相关化工材料需求例如：PCB 版（环氧树脂、酚醛树脂等）、液冷化工材料（乙二醇、电子氟化液等）。

二、液冷冷却液需求预期向好，电子氟化液需求维持高景气

由于浸没式液冷是将带电状态下的 IT 设备组件浸没在冷却液中，因此其冷却液必须具有导热能力强但不导电的性质，同时其本身在气味、毒性、降解难易、可维护性等方面特性对环境 and 操作人员应尽可能友好。冷板式方案是当下液冷方案的主流，浸没式方案与碳氟类冷却液大规模普及仍然需要降本驱动。从冷却液来看，冷板式冷却液现采用**乙二醇溶液、丙二醇溶液、去离子水**等。其中华为、曙光以 25%乙二醇溶液为主，浪潮、新华三以 25%丙二醇溶液为主，浓度 25%并非定值，20%-30%均可，浓度不宜过高，影响工质流动、散热性能，也不宜过低，无法起到防冻作用及抑制微生物的作用，在浓度 20%以上时，乙二醇溶液和丙二醇溶液对微生物即可起到一定的抑制作用^[19]。浸没式方案中，氟化冷却液由于性能较好，是目前较适用于数据中心浸没式液冷系统的冷却液，尽管目前价格仍较为昂贵，未来氟化冷却液大规模普及仍需要降本驱动，但鉴于其优异的性能，政策端对氟化冷却液的支持将持续提升。

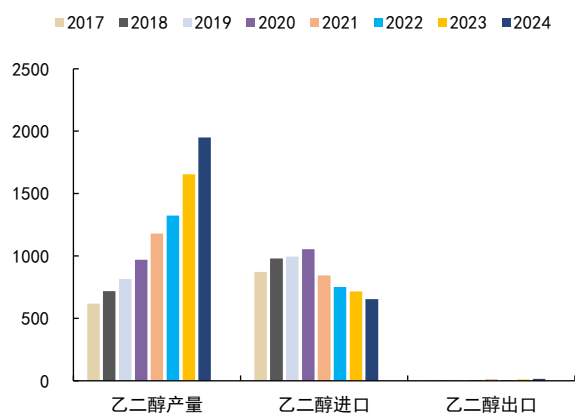
PG25 与 EG25 在数据中心液冷中的选型对比及海外应用现状一文指出：丙二醇(Propylene Glycol, PG)和乙二醇(Ethylene Glycol, EG)是冷板液冷系统中常用的两种冷却液，EG25 的主要优点是成本较低，其次流动阻力小，对泵功耗要求低，主要缺点是高毒性需严格密封，难过海外环评，**海外接受程度低**，大项目难以进入，其次需频繁添加剂维护选择 EG25 的场景：极端低温环境（如北极地区数据中心），对成本敏感，且系统密封性可靠。需要最大化散热效率的高性能计算集群；PG25 的主要优点是低毒且环保，**海外接受程度高**，尤其是英伟达，谷歌等巨头认可，其次缓蚀性天然，维护简单，主要缺点主要是成本较高，

其次冰点较高（需更高浓度），粘度高导致泵耗增加成本较高选择 PG25 的场景：对安全性和环保要求高（如公共设施、绿色数据中心）。半开放系统或存在泄漏风险的环境，长期运行需减少维护干预的场景。**海外液冷服务器领域更倾向于使用 PG25（25%丙二醇溶液）而非 EG25（25%乙二醇溶液）**，主要原因可归结为环保法规、安全性要求、绿色数据中心趋势及长期运维成本的综合影响。英伟达及 CSP 厂商认证：目前 PG25 是英伟达冷板液冷系统认可的冷却液介质，目前海外多家英伟达 ai 芯片体系的服务器厂商基本也是按照英伟达推荐的冷却液介质来选择，其次就是海外科技巨头（如 Google、Meta）公开承诺碳中和，PG 的低碳属性和环境友好性更契合其可持续发展战略。欧盟及北美环保标准：欧盟的 REACH 法规、RoHS 指令等严格限制有毒化学物质的使用，乙二醇（EG）因难降解且对水体生物有毒，被列为需管控物质。丙二醇（PG）可生物降解（约 60 天内分解），符合 OECD301 标准，更易通过环保认证（如 LEED、TCO Certified）^[20]。

丙二醇又称为 1,2-丙二醇，是一种无色、无味、无毒的有机化合物，化学式为 C₃H₈O₂，丙二醇具有两个羟基，是一种双醇类化合物，具有良好的溶解性和稳定性。由于其低挥发性和不易燃性，由于其物理性质优异、价格便宜，丙二醇已经成为许多行业中不可或缺的重要原料。水合法 1,2-丙二醇生产原料为环氧丙烷和水，酯交换法生产原料为环氧丙烷、二氧化碳和甲醇：环氧丙烷+二氧化碳+甲醇→碳酸二甲酯+丙二醇^[21]。该种生产工艺的主要原料为环氧丙烷、甲醇和二氧化碳。环氧丙烷与二氧化碳反应生成碳酸丙烯酯，在常压、65℃的条件下，以甲醇钠为催化剂，碳酸丙烯酯与甲醇发生酯交换反应制得碳酸二甲酯和 1,2 丙二醇，每生产 1 吨碳酸二甲酯联产约 0.83 吨丙二醇。该方法生产成本低，单产品精制过程较复杂，质量相对略差，环境污染严重，收率也低。

图表25：中国乙二醇供应

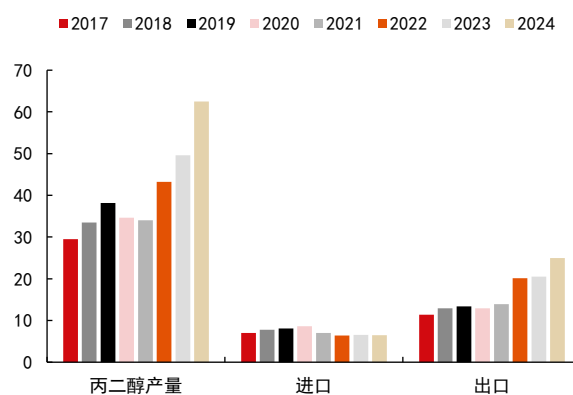
万吨



资料来源：钢联 中信期货研究所

图表26：中国丙二醇供应

万吨



资料来源：钢联 中信期货研究所

国内在液冷服务器中更倾向于选用（25%乙二醇溶液）而非 PG25（25%丙二醇溶液），主要原因可归结为成本优势、技术成熟度、应用场景适配性以及市场环境及政策导向的综合影响。成本优势显著原料价格差异：乙二醇（EG）作为石油化工副产品，国内产能充足，价格明显低于丙二醇（PG）。EG 单价约为 PG 的 60%-70%，在规模化应用中成本优势显著。系统设计成本，EG25 粘度较低（2.5 mPa·s），泵送能耗和管路承压要求更低，减少了设备初投资。而 PG25 的高粘度（5.0 mPa·s）需更大功率泵和优化管路设计，增加了初期投入。更重要的国内客户更关注初期采购成本，对全生命周期成本（TCO）和环保管理的限制，倾向于选择低价方案。

运营商方面，中国移动、中国电信、中国联通三家电信运营商联合发布了《电信运营商液冷技术白皮书》，计划 2025 年及以后开展规模应用，50%以上数据中心项目应用液冷技术，实现技术、生态、应用全面领先。从未来趋势看，参考 IDC 说明，由于冷板式的成本更低，产业链也更为成熟，同时冷板式与风冷

在运维上差异较小，使用习惯一致，市场接受程度更高，当前液冷服务器市场的主要解决方案是冷板式液冷，2025 年冷板式占比 60%、浸没式占比 40%，即主流液冷仍以乙二醇、丙二醇冷却液为主，技术成熟、价格优势是关键，但浸没式液冷市场份额快速增长，未来有望逐步超越冷板式液冷。

图表27：浸没式液冷冷却液性能对比

表 4 浸没式液冷冷却液性能对比										
对比项	碳氢及有机硅类冷却液			碳氟类冷却液						
	天然矿物油	合成油	有机硅油	氢氟烃 (HFC)	全氟碳化物 (PFC)	氢氟醚 (HFE)	碳氟化合物 (GWP)	3M FC40	全氟三丁胺, X P 68 电子冷却氟化液	
臭氧层破坏	无			无						
温室效应	无			会带来温室效应		温室效应影响较小	超低温室效应	影响小		
液体粘度	高			低				2.2	2.2	
沸点	高, 不易挥发			较高				170	165	
腐蚀性	不腐蚀金属			不腐蚀金属						
毒性	低			低						
成本	低			较高				高	高	
闪点及可燃性	存在闪点, 有可燃助燃风险		可设计高闪点, 但可能导致流动困难	无闪点, 不可燃						
老化变质性	容易分解、老化, 会变色氧化产生酸, 需要定期检测			不易分解变质						
可靠性及寿命	低, 3-5 年			高, 超过 10 年						
兼容性	兼容性差 杂质对元器件损害大			兼容性好						
导热率	高			低						
粘性	低			高						
维护性	黏性高, 不便于维护, 需要清洗剂			黏性低, 易挥发, 便于维护						
密度 (g/cm³)	低			高						
比热容	高			低						
挥发性	不易挥发			易挥发						
综合传热性能 (与密度、粘度、比热、导热有关)	低			高						
介电强度 (绝缘性)	>30kV			>24kV						
介电常数	低			低	低	对高速信号传输有一定影响	低	1.9	1.9	

资料来源：电信运营商液冷技术白皮书 中信期货研究所

目前，国际主流浸没式冷却液有两个发展方向，分别是碳氢及有机硅类冷却液（以俄罗斯为代表的矿物油冷却液和以日本为代表的硅油类冷却液）和碳氟类冷却液（以美国为代表）。

碳氢及有机硅类冷却液在业内统称油类冷却液，其常温下澄清透明，呈黏稠状，密度一般比水低，不易挥发，对金属无腐蚀，毒性较低且价格远低于氟化液。1) 碳氢类冷却液包含矿物油和合成油两种：天然矿物油从石油中提炼出来，在使用中难以避免烃类分子的分解氧化，造成酸性增强和污染物产生，影响冷却液特性甚至导致被冷却器件腐蚀；合成油是在人工合成的烷烃类或酯类化合物的基础上加入添加剂制成的，常见类型有聚 α -烯烃 (PAO)、煤制油 (CTL)、天然气合成油 (GTL)、合成酯等。合成油的生成工艺更加精细，杂质质量分数低、抗氧化性、材料兼容性与矿物油相比有较大改善，但是作为碳氢类通病闪点低的问题依然存在。2) 有机硅油主要依赖人工合成，通过改性可以设计出高闪点的产品，但闪点越高黏度越高，可燃风险降低的同时导致了流动和散热困难，必须协调两者之间的关系。另外，硅油还可能发生水解和氧化沉积影响接触性能。在服务器液冷技术兴起前，油类冷却液常被用作变压器油。

碳氟类冷却液是将碳氢化合物中的氢部分或全部取代为氟所得到的一类化合物，包含四种常见的类型，

分别是①氢氟饱和化合物（如氢氟烃 Hydrofluorocarbon, HFC、氢氟醚 Hydrofluoroether, HFE）、②氢氟不饱和化合物（如氢氟烯烃、不饱和氢氟醚）、③全氟饱和化合物（如全氟烷烃 Perfluoroalkane、全氟胺 Perfluoroamine、全氟聚醚 Perfluoropolyethers, PFPE）以及④全氟不饱和化合物（如全氟烯基醚、全氟烯烃、全氟烯基胺等）。结合目前行业发展状况和各细分品种的特点氢氟醚、全氟聚醚以及全氟烯烃或将拥有更大的发展前景^[22]。

氢氟醚已经作为冷却液应用于数据中心，如 3M 的 Novec 系列，但氢氟醚存在介电常数较高、体积电阻率较低的缺陷，适用范围较为受限。氢氟醚通常作为氯氟烃替代物，传统的应用领域为制冷、发泡和清洗等领域。其在电子信息领域的清洗市场份额占比超过 64%。对于新的液冷领域而言，氢氟醚介电强度较高，主要用于对介电常数要求不是很严苛的地方，且主要适用于单相浸没液冷。

全氟聚醚具有电绝缘性能高、传递性能好的优点，国内外企业正积极推进其在服务器冷却液中的应用。但全氟聚醚 GWP 值>5000，不符合绿色环保的标准，且价格较高，可能更适合作为半导体领域冷却液使用。

全氟烯烃主要包括六氟丙烯低聚体和全氟环烯烃，具有电绝缘性能高、传递性能好、流动性高的优点，且因其含有不饱和键的原因，在大气环境中可快速降解，导致 GWP 值很低。全氟烯烃可通过简洁高效的路线合成得到，特别是六氟丙烯二聚体、三聚体很容易实现批量化生产，且相比氢氟醚和全氟聚醚而言，成本优势更为明显。目前国内很多公司都在推动其在浸没式液冷系统的应用，如果解决了使用过程中的毒性和酸性问题，市场空间有望持续增长。

图表28：数据中心冷却液及优缺点

单体名称	应用领域	优点	缺点
六氟丙烯二聚体	两相浸没式冷却液	零 ODP、低 GWP	化学稳定性相对较差
全氟己烷		产品稳定性高	高 GWP
全氟己酮		零 ODP、低 GWP	化学稳定性相对较差
六氟丙烯三聚体	单相浸没式冷却液	零 ODP、低 GWP	化学稳定性相对较差
全氟三丙胺、全氟三丁胺		产品稳定性高	高 GWP
全氟聚醚		产品稳定性高、温度范围高	高 GWP
氢氟醚		产品稳定性高、温度范围高、低 GWP	高介电常数、影响信号传输

资料来源：电信运营商液冷技术白皮书 中信期货研究所

氟化液最大的供应商是 3M 公司，目前占据全球供应链的 80%。3M 公司是全球生产浸没式电子氟化液的领先企业，以 Fluorinert™和 Novec™两大系列为代表的 3M 电子氟化液此前广泛应用于数据中心液冷，其中 3M™ Fluorinert 电子氟化液主要应用于数据中心单相和两相浸没式液冷；而 3M™ Novec™电子氟化液体既可用于数据中心浸没式液冷（单相和两相），也可应用于冷板式液冷（单相和两相）。

图表29：部分适用于单相液冷浸没液冷冷却液

	3M Novec 7300	3M Novec 7500	3M Novec 7700	3M Fluorinert FC3283	3M Fluorinert FC40	Shell S5 X
沸点 (°C)	98	128	167	128	165	
凝固点 (°C)	-38	-100	-50	-65	-57	-36
热传导性 (W/m°C)	0.063	0.065	0.065	0.066	0.065	0.142
液相运动粘度 (cSt)	0.71	0.77	2.52	0.75	1.8	9.8
蒸发潜热 (KJ/kg)	102	89	83	89	69	
比热容 (KJ/(Kg*K))	1.14	1.13	1.04	1.1	1.1	2.27
介电常数	6.1	5.8	6.7	1.9	1.9	
臭氧消耗 (ODP)	0	0	0	0	0	
全球变暖潜值 (GWP)	200	90	420			

图表30：部分适用于双相浸没式液冷冷却液

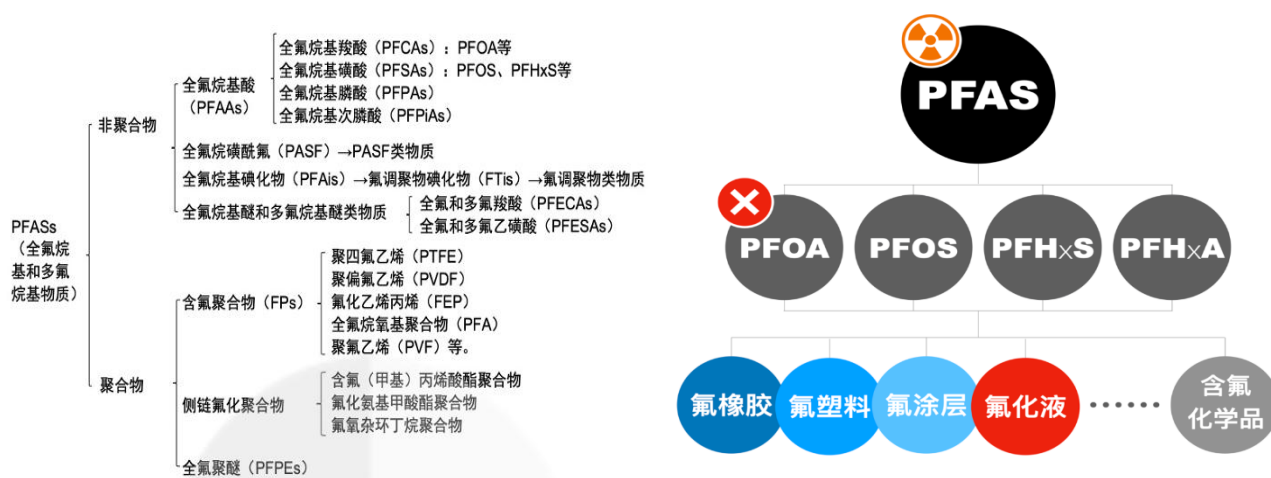
	3M Novec 7000	3M Novec 7100	3M Novec 7200	3M Fluorinert FC3284	3M Fluorinert FC72
沸点 (°C)	34	61	76	50	56
凝固点 (°C)	-122	-135	-138	-73	-90
热传导性 (W/m°C)	0.075	0.069	0.068	0.062	0.057
液相运动粘度 (cSt)	0.32	0.38	0.41	0.42	0.38
蒸发潜热 (KJ/kg)	142	112	119	105	88
液相比热容 (KJ/(Kg*K))	1.3	1.18	1.22	1.1	1.1
介电常数	7.4	7.4	7.3	1.9	1.9
臭氧消耗 (ODP)	0	0	0	0	0
全球变暖潜值 (GWP)	530	320	55		

资料来源：数据中心液冷 中信期货研究所

资料来源：数据中心液冷 中信期货研究所

2022 年 4 月 1 日，据 Businesskorea 报道，因为环保问题，3M 公司在比利时的工厂涉及 PFAS 的部分产品因当地环境法规收紧而无限期关闭，同年 7 月，3M 与当地政府达成协议，3M 将投资 5.71 亿欧元用于受影响地区的环境修复和补偿，比利时工厂被允许恢复生产。2022 年 12 月 20 日，3M 宣布，考虑到全球对 PFAS 物质的监管正在加速以及环保因素，公司决定到 2025 年底前退出全氟烷基物质和多氟烷基物质（PFAS）包括含氟聚合物、氟化液、包括 3M™ Novec™，3M™ Fluorinert™ 等品牌的电子氟化液以及含 PFAS 添加剂的生产，并努力在 2025 年底之前停止在其产品组合中使用 PFAS。近期，欧盟也宣布在 2028 年之前，数据中心全部禁用氟化液产品^[23]。

图表31：全氟烷基和多氟烷基物质（PFASs）



资料来源：科闻汽车 中信期货研究所

全氟烷基和多氟烷基化合物（Per and Polyfluoroalkyl Substances，简称 PFAS）。环境保护署（EPA）将 PFAS 定义为“具有至少两个相邻碳原子的化学品，其中一个碳完全氟化，另一个至少部分氟化”；经济合作与发展组织（OECD）将 PFAS 定义为“包含至少一个完全氟化的甲基或亚甲基碳原子（没有任何 H/Cl/Br/I 原子与之相连）的氟化物质”。PFAS 最常见的包括全氟辛烷磺酸（PFOS）和全氟辛酸（PFOA），这些化学物质曾被广泛用于织物和皮革涂料、家庭清洁产品、消防泡沫和防污地毯等物质中^[24]。

PFAS 化学品，在环境中具有高度持久性，不易分解，自 1940 年代以来被广泛使用，2023 年 5 月，美国环保署提出了“PFAS”一词的定义：至少包含以下三种结构之一的化学物质：

1. $R-(CF_2)_n-CF(R')R''$ ，其中 CF_2 和 CF 部分均为饱和碳原子
2. $R-CF_2O-CF_2-R'$ ，其中 R 和 R' 可以是 F、O 或饱和碳原子
3. $CF_3C(CF_3)R'R''$ ，其中 R' 和 R'' 可以是 F 或饱和碳原子。

由于该类物质拥有极其稳定的 C-F 键，会在环境中长期存在。一些 PFAS 会在人和动物体内积聚，会诱发肝中毒、发育毒性、免疫毒性、内分泌干扰及潜在的致癌性。

近年来，各国政府和环保机构对 PFAS 化学品所带来的危害越来越关注。美国环保署署长迈克尔·里根（Michael Regan）于 2021 年初成立了美国环保署 PFAS 委员会，并于 2022 年 3 月公布了研究结果，表明 PFAS 可能会影响人类的生殖和发育，损害免疫系统并增加患某些癌症的风险。

氟化液最大的供应商是 3M 公司，目前占据全球供应链的 80%。2022 年 12 月 20 日，3M 宣布，考虑到

全球对 PFAS 物质的监管正在加速以及环保因素，公司决定到 2025 年底前退出全氟烷基物质和多氟烷基物质（PFAS）包括含氟聚合物、氟化液、包括 3M™ Novec™, 3M™ Fluorinert™ 等品牌的电子氟化液以及含 PFAS 添加剂的生产，并努力在 2025 年底之前停止在其产品组合中使用 PFAS。

美国 3M 公司 PFASs 产品历史悠久，主要采用电化学氟化法。PFASs 最早是由 3M 公司采用电化学氟化法研制出来，电化学氟化法主要将碳氢链烷基的酰氯或磺酰氯直接换成相应的全氟烷基酰氟或磺酰氟产物，最终得到的产物是直链和支链全氟烷烃的混合物，由于反应剧烈，易发生 C-C 链的断裂，因此产物是不同链长的同系物的混合物，同时还有很多的直链和支链异构体存在。目前行业内主要采用调聚法，电化学氟化法逐渐受限^[25]。国内氟化液企业较少使用电化学氟化法工艺生产，以氢氟醚为例，国内相关氢氟醚工艺主要为合成路线^[26]，按照合成原料的不同，主要包括醚类化合物的氟化、含氟烯烃与醇的加成、含氟羰基化合物的烷基化、卤代烃与醇盐的分子间消去等。

电子氟化液市场长期被国外企业占据，3M 的退出有望为我国氟化液企业带来发展机遇。巨化股份已经开发出系列电子氟化液产品，包括氢氟醚 D 系列、全氟聚醚 JHT 系列产品。新宙邦旗下的海斯福公司深耕有机氟精细化学品，打破国外垄断，实现 Boreaf™ 电子氟化液 HEL、FTM、C4ME 等系列产品的商业化，产品已全面供应全球半导体主流制造商。

图表32：国内部分公司电子氟化液产品情况

企业	氟化液产品	主要用途
巨化-浙江创氟	JHT 系列（全氟聚醚）、D 系列（氢氟醚）	半导体清洗、温控冷却、润滑油、浸没式冷却液
新宙邦-海斯福	Boreaf 系列（全氟聚醚）	半导体温控冷却、浸没式冷却液、精密清洗、气相焊接、电子检漏
浙江诺亚	Noah 冷却液、电子清洗剂	半导体温控冷却、浸没式冷却液、高温电子产品清洗
成都晨光博达	冰芯浸没式单相冷却液	浸没式冷却液
江西美琦	FC 系列	电子氟化液、电子清洗剂、冷却液
泉州思康化学	F8630/F8650（全氟醚）	半导体温控冷却、浸没式冷却液

资料来源：公司年报 中信期货研究所

三、需求景气叠加国产替代，氟化工产业迎利润上行周期

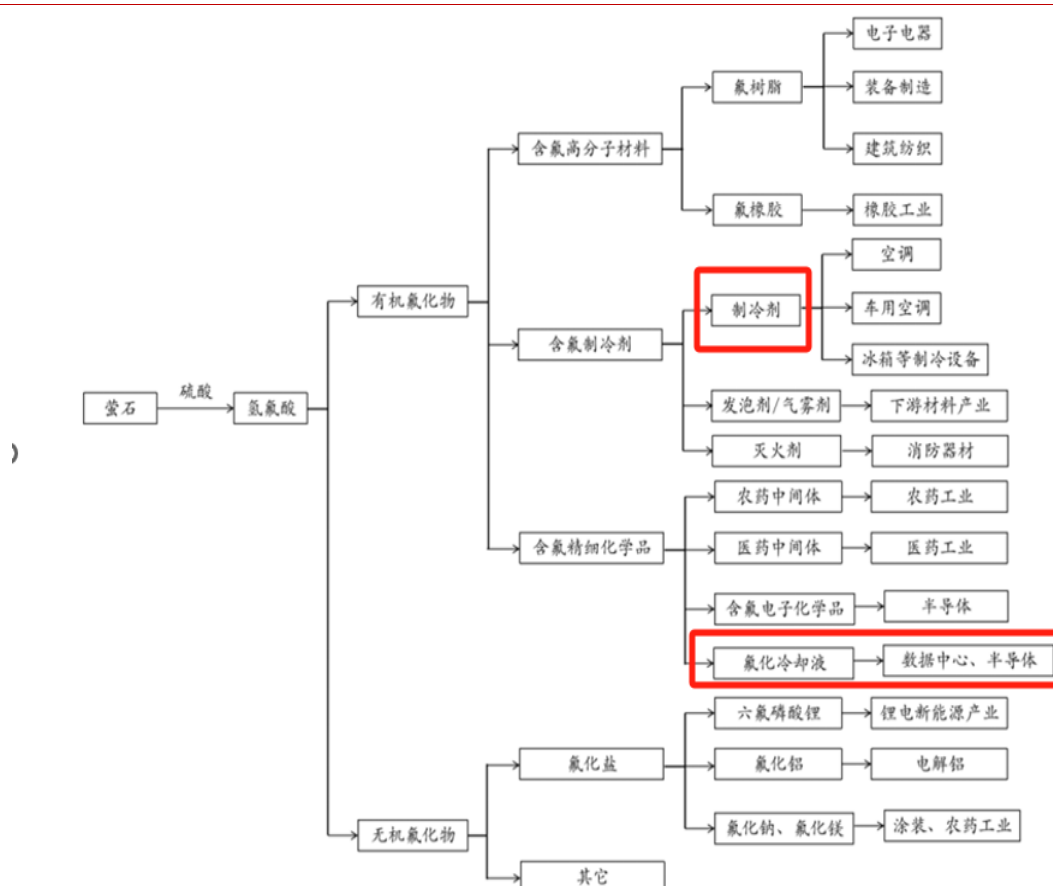
萤石，又称氟石，是氟化钙 (CaF₂) 的晶体。萤石作为现代工业的重要矿物原料，主要用于冶金、化工、建材、光学工业等传统领域，以及新能源、新材料等战略性新兴产业。根据萤石产品中氟化钙的含量，萤石产品可分为四个品级，分别为酸级萤石精粉、冶金级萤石精粉、高品位萤石块矿、普通萤石原矿。

图表33：萤石品级划分

萤石品级划分			
品级	示意图	CaF ₂ 含量(%)	主要用途
酸级萤石精粉		≥97	主要作为氟化工产业链的原料
冶金级萤石精粉		≥75	钢铁等金属冶炼用的助溶剂、排渣剂
高品位萤石块矿		≥65	钢铁等金属冶炼以及陶瓷、水泥等生产
普通萤石原矿		≥30	用于生产萤石精粉

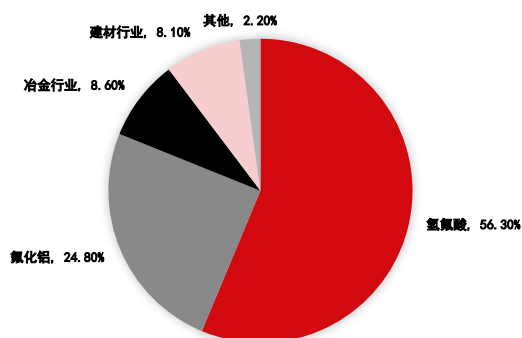
资料来源：公司公告 中信期货研究所

图表34：氟化工产业链



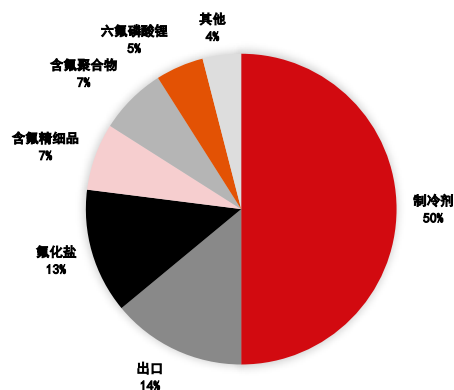
资料来源：公司公告 中信期货研究所

图表35：2022 年萤石下游应用占比



资料来源：百川盈孚 中信期货研究所

图表36：2022 年国内氢氟酸下游应用占比



资料来源：百川盈孚 中信期货研究所

氢氟酸是萤石最大的下游，占比接近 60%。氢氟酸是一种弱酸，具有极强的腐蚀性，能强烈地腐蚀金属、玻璃和含硅的物体。氢氟酸分为无水氢氟酸和有水氢氟酸（电子级氢氟酸），其中无水氢氟酸为氟化工产业链中重要的中间体。氢氟酸连接了上游资源和下游氟化工，是氟化工基础原料中间体。我国氢氟酸主要去向是制冷剂，2022 年占 50%，其次出口占 14%，氟化盐、含氟精细化学品、含氟聚合物和六氟磷酸锂分别占比 13%、7%、7%和 5%。

制冷剂，也称冷媒、雪种，是各种热机中借以完成能量转化的媒介物质。中国氢氟酸中不同代际的制冷剂的差异主要体现在对臭氧层的破坏以及对温室效应的影响上，制冷剂对全球环境的影响指标主要表现为臭氧消耗潜能（ODP）和全球变暖潜能（GWP），在考虑环境的同时，制冷剂还应具有可接受的安全性，以保障人民的生命财产安全^[27]。

1、ODP（Ozone Depletion Potential，臭氧消耗潜能）：臭氧消耗潜能，又称臭氧损耗潜势或臭氧消耗潜势值，指的是单位质量的某种气体在大气中引起的臭氧总量变化量相对于单位质量的三氯氟甲烷在大气中引起的臭氧总量变化量的比值。该比值测量的是某种气体对大气的长期效应，且该比值不随时间变化。ODP 值越小，制冷剂的环境特性越好。基于目前水平，ODP 值小于或等于 0.05 的制冷剂属于可接受范围。

2、GWP（Global Warming Potential，全球变暖潜能）：全球增温潜势是某一给定物质在一定时间积分范围内（20 年、100 年、500 年）与二氧化碳质量相比而得到的相对辐射影响值，是表征温室气体排放所产生的气候影响的指标，CO₂ 的 GWP=1.0。通常基于 100 年计算 GWP，记作 GWP100。

3、制冷剂的安全分类：制冷剂应具有可接受的安全性，安全性主要包括毒性和可燃性，国家标准《制冷剂编号方法和安全性分类》GB/T 7778-2017 将制冷剂的毒性分为 A 类（低慢性毒性）、B 类（高慢性毒性），将可燃性分为第 1 类（无火焰传播）、第 2L 类（弱可燃）、第 2 类（可燃）、第 3 类（可燃易爆）。其中，A1 最安全，B3 最危险^[28]。

自氯氟烃化合物 R12 作为制冷剂应用至今，氟碳化学品经历了多次升级，目前包括氟氯烃（CFCs）、氢氯氟烃（HCFCs）、氢氟烃（HFCs）、氢氟烯烃（HFOs）共四代品种。

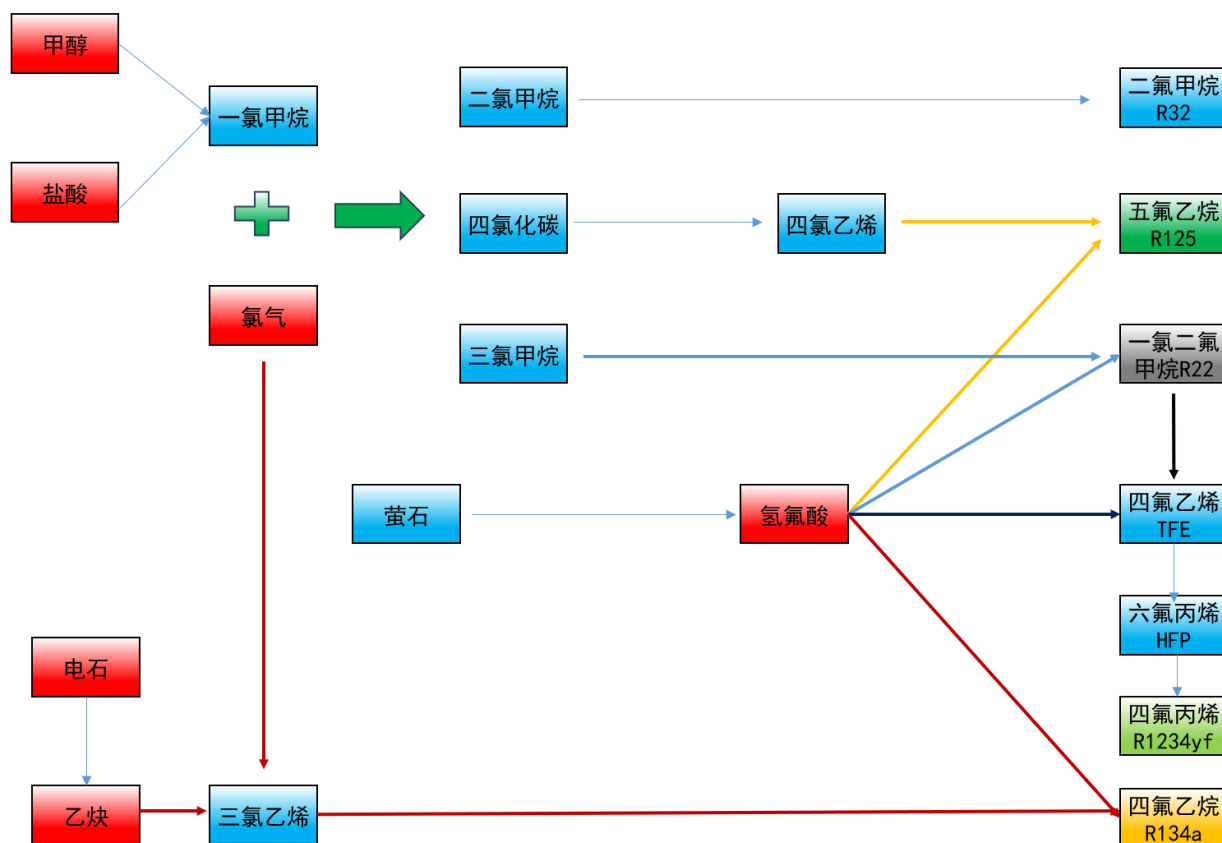
其中第一代 CFCs 具有较高的 ODP 值（消耗臭氧潜值）和 GWP 值（全球变暖潜值），根据《蒙特利尔议定书》的决议已于 2010 年在全球范围内被全面淘汰。

第二代 HCFCs 的 ODP 值虽然较前代显著降低，但仍属于消耗臭氧层物质（ODS），包括中国在内的多数发展中国家已于 2015 年开始削减用量。

第三代 HFCs 是当前的主流产品，其 ODP 值已降至零（即对臭氧层无破坏），但 GWP 值较高，仍会加剧温室效应，发达国家已逐步削减用量，发展中国家也已进入配额冻结期。主流的 R22、R32、R134a、R125 等二、三代制冷剂均为氟碳化学品单质，这些单质还可以通过混配生产 R410a、R404a、R407a 等混合制冷剂。

第四代 HFOs 虽然由于专利、成本限制尚处于导入阶段，但其兼具零 ODP 值和低 GWP 值，是新一代环境友好型制冷剂的典型代表。除 HFOs 外，环保升级的另一大方向是不含氟的碳氧天然工质制冷剂，但目前其安全性及制冷性能都存在一定的不足。

图表37：制冷剂产业链



资料来源：中信期货研究所

氟化液是一种含氟精细化学品，产业链上游包括氟化工行业、原材料（硫酸、盐酸、氢氧化钠等），产业链下游应用领域已经涉及半导体冷却板的冷却、数据中心的浸入式冷却、航空电子设备的喷雾冷却等，还包括线路板清洗、金属腐蚀、电镀等。氟化液的种类比较多，每种氟化液的成分都不尽相同，生产方式也不相同。以巨化股份全氟聚醚冷却液为例，巨化股份“巨芯”冷却液的主要原料六氟丙烯、氧气在引发剂的作用下，通过调聚氧化、热稳定反应脱除过氧化物、端基化处理、除酸处理、粗品切割等工序得到全氟聚醚产品（冷却液）。

按国际统一规定，制冷剂的代号一般由字母“R”+数字构成（R 代表制冷剂，Refrigerant）。为了展示不同品种属于第几代产品，常将 R 用 CFC、HCFC、HFC、HFO 等代替，如 R22、R134a 可分别写为 HCFC-22、HFC-134a。

图表38：主流制冷剂特征

制冷剂分类		代表产品	分子式	ODP	GWP ₁₀₀	安全分类
第一代 氯氟烃类		CFC-11	三氯一氟甲烷 CCl ₃ F	1	4660	A1
		CFC-12	二氯二氟甲烷 CCl ₂ F ₂	0.73	10800	A1
第二代 氢氯氟烃类		HCFC-22	一氯二氟甲烷 CHClF ₂	0.034	1760	A1
		HCFC-123	2,2-二氯-1,1,1-三氟乙烷 CHCl ₂ CF ₃	0.01	79	B1
		HCFC-141b	1-氟-1,1-二氯乙烷 CH ₃ CCl ₂ F	0.11	0.09	A2
第三代 氢氟烃类		HFC-32	二氟甲烷 CH ₂ F ₂	0	677	A2L
		HFC-125	五氟乙烷 CHF ₂ CF ₃	0	3170	A1
		HFC-134a	1,1,1,2-四氟乙烷 CH ₂ FCF ₃	0	1430	A1
		HFC-152a	1,1-二氟乙烷 CH ₃ CHF ₂	0	138	A2
第四代	氢氟烯烃类	HFO-1234yf	2,3,3,3-四氟-1-丙烯 CF ₃ CF=CH ₂	0	4	A2L
		HFO-1234ze	反式-1,3,3,3-四氟-1-丙烯 CF ₃ CH=CHF	0	<1	A2L
	碳氢天然 工质制冷剂	HC-600a	异丁烷 CH(CH ₃) ₃	0	20	A3
		HC-290	丙烷 CH ₃ CH ₂ CH ₃	0	3	A3

资料来源：氟化工 中信期货研究所

图表39：主流制冷剂生产工艺

氢氟酸		萤石+硫酸→氢氟酸+硫酸钙 1. 95t CaF ₂ + 2. 45t H ₂ SO ₄ →3. 4t 2HF + CaSO ₄
第二代	R22	1. 24t 甲醇+0. 33t 氯气→1. 5t 三氯甲烷+0. 5t 氢氟酸→R22+2. 6t 盐酸（一氯二氟甲烷） CH ₃ OH+HCl→CH ₃ Cl+H ₂ O CH ₃ Cl+2Cl ₂ →CHCl ₃ +2HCl
第三代	R134a	0. 7t 电石+1. 4t 氯气→1. 35t 三氯乙烯+0. 88t 氢氟酸→R134a（四氟乙烷）
	R125	0. 74t 电石+1. 52t 氯气→1. 5t 四氯乙烯+0. 9t 氢氟酸→R125（五氟乙烷）
	R32	0. 45t 甲醇+0. 9t 氯气→1. 8t 二氯甲烷+0. 8t 氢氟酸→R32（二氟甲烷）
	R152a	1. 6t 电石+0. 7t 氢氟酸→R152a（二氟乙烷） 0. 75t R152a+0. 9t 氯气→R142b
	R143a	电石+氯气→四氯乙烯+氢氟酸→R143a（三氟乙烷）
	R410a	R32（50%）+R125（50%）→R410a
第四代	R1234yf	1. 41 吨 R22→四氟乙烯（TFE）→六氟丙烯（HFP）→四氟丙烯（R1234yf） 2CHClF ₂ →C ₂ F ₄ +2HCl 3C ₂ F ₄ →2C ₃ F ₆

资料来源：中信期货研究所

含氟制冷剂主要消费行业包括：房间空调、冰箱冷柜、工商制冷、汽车空调等领域。由于家用空调、冰箱和车用空调当中热机的工作环境和温度控制需求不同，所应用的制冷剂种类也有所差异。空调制冷过去主要使用 HCFC-22，目前的主流品种则是 HFC-32 和混配型 HFC-410a（HFC-32 和 HFC-125 各 50%），现在 HCFC-22 基本用于合成含氟聚合物单体原料四氟乙烯，其他为以老式定频空调的维修为主，需求占比较低。冰箱领域过去主要采用 CFC-12，目前大部分已被 HC-600a（异丁烷）替代，含氟制冷剂更多的是作为聚氨酯泡沫的发泡剂使用（如 HCFC-141b）^[29]。在车用空调领域，目前的绝对主力是 HFC-134a，由于物理性质与 HFC-134a 接近，HFO-1234yf 目前主要应用于汽车空调，需求占比超七成，自 R-1234yf 取代已被广泛使用的四氟乙烷（R-134a）以来，其使用量大幅增长，且目前已用于美国市场 95% 的新车中。据估计，全球道路上约 2.2 亿辆汽车正在使用 R-1234yf。随着冰箱制冷全面转向 HC-600a，预计未来空调将占据含氟制冷剂超过 80% 的需求份额。因此，空调产量将很大程度上决定含氟制冷剂的需求潜力。

中国目前主要应用的是第三代制冷剂，即氢氟烃（HFCs）类制冷剂，其次第二代制冷剂 HFC 配额数量和产量加速下降但仍有较大占比。2023 年中国四大含氟制冷剂的产能约 222.9 万吨/年（四大含氟制冷剂包括 R22（二代）、R32、R125 和 R134a），产量约 142.3 万吨。

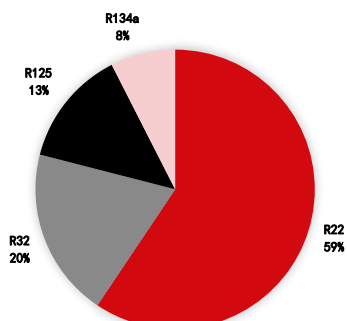
图表40：制冷剂分产品需求预测 **万吨**

		2023	2024	2025
R22	R22 维修空调	6	4.8	3.7
	其他	7	7.5	8
	出口	8	7	6
	合计	21	19.3	17.7
R32	R32 新产空调	18	20	22
	R32 维修空调	3.5	5	6
	出口	5	5	5
	合计	26.5	30	33
R134a	维修汽车	4.5	5	5.5
	其他	3.6	3.6	3.6
	出口	7	7	7
	合计	15.1	15.6	16.1
维修空调总需求		12	12.1	12.2
新产空调总需求		22	23.1	23.8

资料来源：中信期货研究所

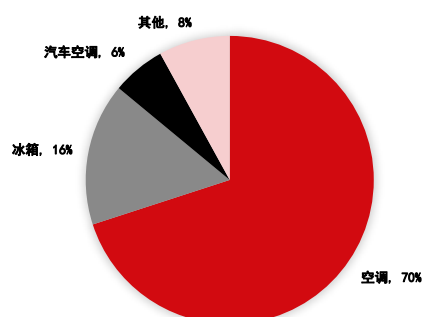
注：假设调制冷剂单耗 1kg/台，空调维修制冷剂单耗 0.8kg/台，新冰箱制冷剂单耗 0.8kg/台，冰箱维修制冷剂单耗 0.8kg/台，新车制冷剂单耗 0.8kg/台，汽车维修制冷剂单耗 0.8kg/台。

图表41：我国含氟制冷剂需求占比



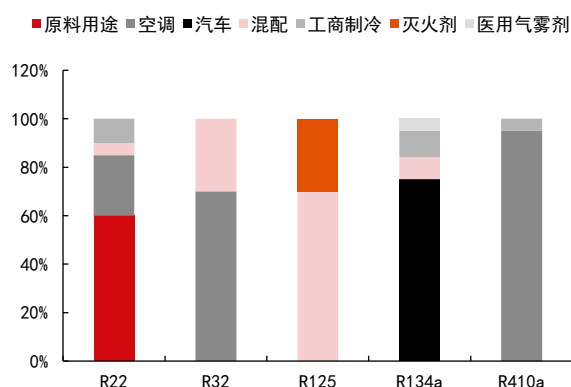
资料来源：氟化工 中信期货研究所

图表42：我国含氟制冷剂终端需求占比



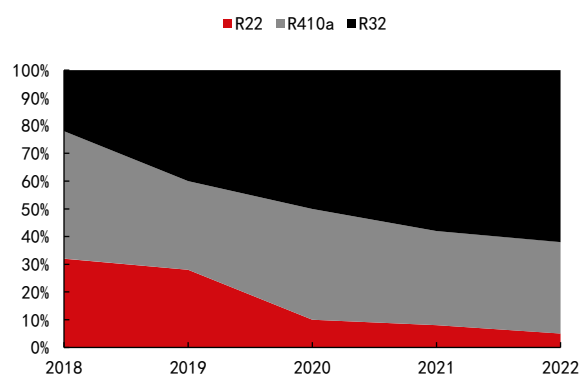
资料来源：氟化工 中信期货研究所

图表43：我国不同制冷剂需求占比



资料来源：氟化工 中信期货研究所

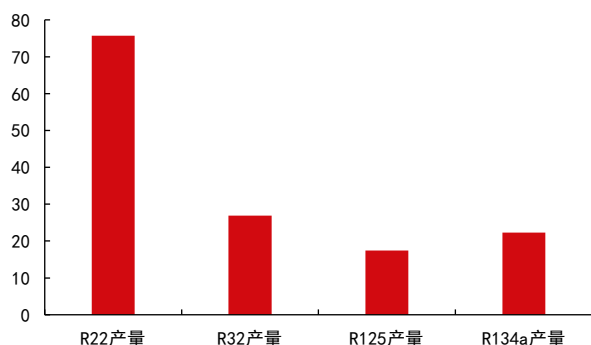
图表44：家用空调新机制冷剂市场份额占比



资料来源：氟化工 中信期货研究所

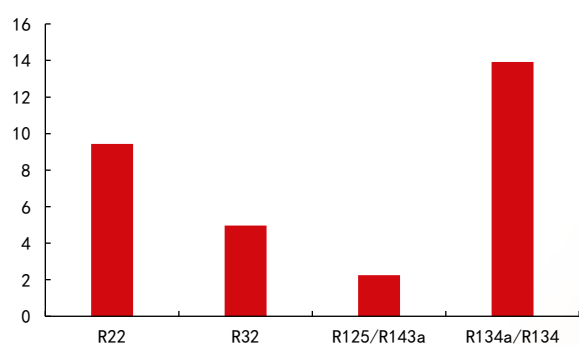
我国空调、冰箱、汽车全球产量占比分别为 80%、50%和 30%，全球极端气候概率提升制冷取暖需求增多、新能源车销量持续提升，拉动我国空调、冰箱、汽车产量的同时带动制冷剂需求。

图表45：中国四大制冷剂产量（2024） 万吨



资料来源：氟化工 中信期货研究所

图表46：中国四大制冷剂出口量（2024） 万吨



资料来源：氟化工 中信期货研究所

2024 年我国 R22 产能 105.8 万吨/年（含原料用途），产量约 75.7 万吨；R32 产能 57.3 万吨/年，产量约 26.9 万吨；R125 产能 32.0 万吨/年，产量约 17.4 万吨；R134a 产能 39.9 万吨/年，产量约 22.3 万吨。在中国海关的统计数据中，四大含氟制冷剂主要列在 29037100（一氯二氟甲烷 R22）、29034200（二氟甲烷）、29034400（五氟乙烷 R125）、1,1,1-三氟乙烷（R143a）及 1,1,2-三氟乙烷（R143a）、29034500（1,1,1,2-四氟乙烷（R134a）及 1,1,2,2-四氟乙烷 R134）。)

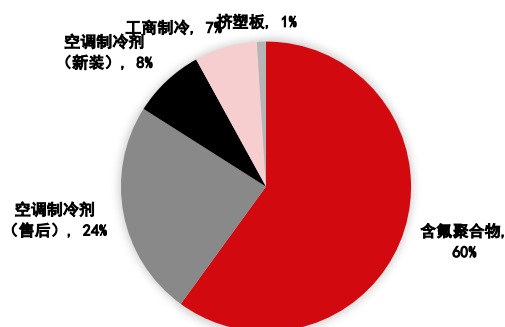
R22：2023 年，中国 R22 主要生产企业有 11 家，其中产能最大的公司是山东东岳集团，总产能为 28 万吨/年，占全国总产能的 26.5%。2023 年国内 R22 生产配额为 18.18 万吨。配额主要集中于东岳化工、巨化股份（含浙江衢化氟化学有限公司和浙江兰溪巨化氟化学有限公司）和江苏梅兰，这三家配额占比分别为 29.5%、26.1%、20.7%，合计生产配额为 13.9 万吨，占总配额的 76.5%。

R32：2023 年，中国 R32 主要生产企业有 7 家，其中浙江巨化股份产能 13 万吨/年，是国内产能最大的公司，占全国总产能的 28.8%。其次是山东东岳集团，产能为 6 万吨/年，占比 13.3%。

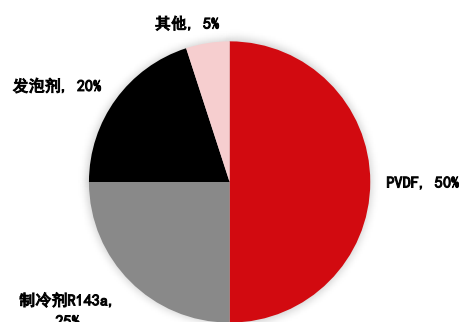
R125：2023 年，中国主要的 R125 生产企业有 10 家，产能最大的公司为三美股份、东岳集团和巨化股份，均为 5 万吨/年，各占总产能的 16%。

R134a：2023 年，中国主要的 R134a 生产企业有 10 家，产能前三的公司分别为中化蓝天、巨化股份和三美股份，产能分别为 7 万吨/年、6.8 万吨/年和 6.5 万吨/年，各占总产能的 18%、17%、16%。

图表47：中国 R22 下游消费结构（2021）



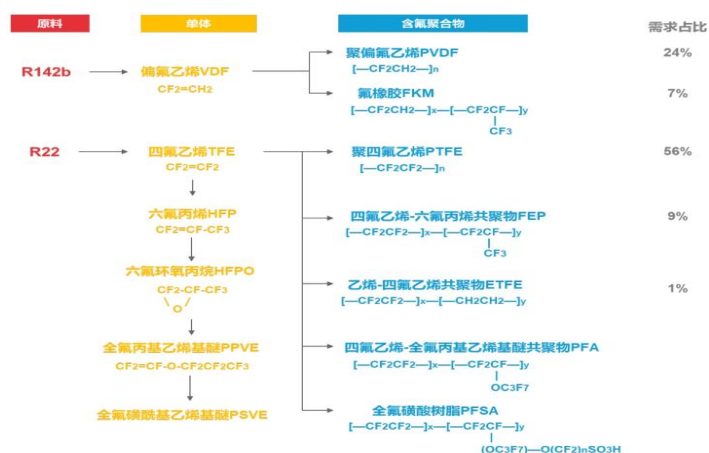
图表48：中国 R142b 下游消费结构（2023）



资料来源：氟化工 中信期货研究所

资料来源：氟化工 中信期货研究所

图表49：二代制冷剂含氟聚合物产业链（原料用途）



资料来源：氟化工 中信期货研究所

第一代 CFCs 类氟制冷剂因严重破坏臭氧层已被淘汰，第二代 HCFCs 类制冷剂因破坏臭氧层且温室效应值很高，根据《蒙特利尔议定书》规定，在我国其作为非原料的产量和消费量已于 2013 年被冻结，2040 年以后将完全淘汰，目前其生产配额正处于削减之中。2013 年，我国第二代制冷剂生产配额的基线值为 42.64 万吨。其中在 2015、2019、2020、2023 年，我国第二代制冷剂的生产配额呈现明显的下降，分别相较于 2013 年的基数下降 14%、18%、31%和 50%。2023 年，我国第二代制冷剂的生产配额削减至 21.48 万吨，其中 R22、R142b 和 R141b 的生产配额分别为 18.18、0.94、2.11 万吨。其中，R22 的生产配额最高，是第二代制冷剂的主流品种，且其生产配额的降幅弱于 R142b 和 R141b。

R22 可以用于生产含氟高分子材料(PTFE)，也是 R22 重要的下游应用领域，此部分产能不受配额限制。R142b 下游需求中 PVDF 聚偏氟乙烯占比 50%，制冷和发泡占比 25%和 20%。

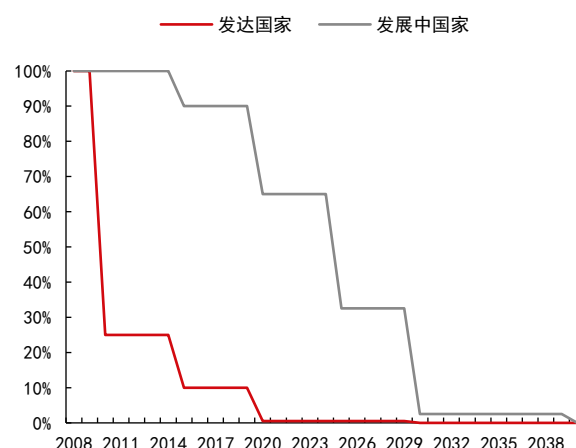
R142b 是 PVDF 的主要生产原料，随着锂电用 PVDF 需求应该还会保持高速增长，国内的 PVDF 生产商都在纷纷扩大生产规模。

图表50：二代制冷剂削减计划

时间表	发达国家	发展中国家
HCFC 基线	1989 年 2.8%的 CFC+1989 年的 HCFC	2009 年和 2010 年的 HCFC 均值
冻结	/	2013
第一步	2010 年削减 75%	2015 年削减 10%
第二步	2015 年削减 90%	2020 年削减 35%
第三步	2020 年削减 99.5%，保留 0.5%维修量	2025 年削减 67.5%
第四步	2030 年后完全淘汰	2030-2040 年保留 2.5%维修量
第五步		2040 年后完全淘汰

资料来源：前瞻产业网 中信期货研究所

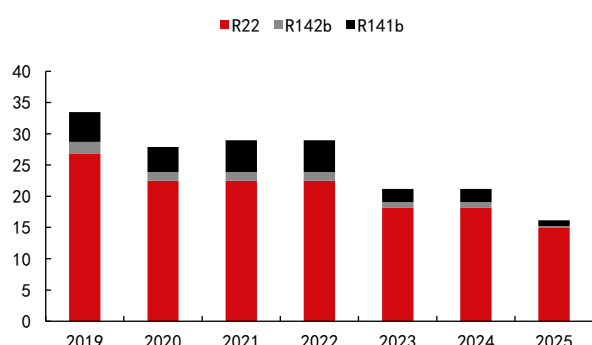
图表51：二代制冷剂削减进程



资料来源：前瞻产业网 中信期货研究所

图表52：二代制冷剂生产配额

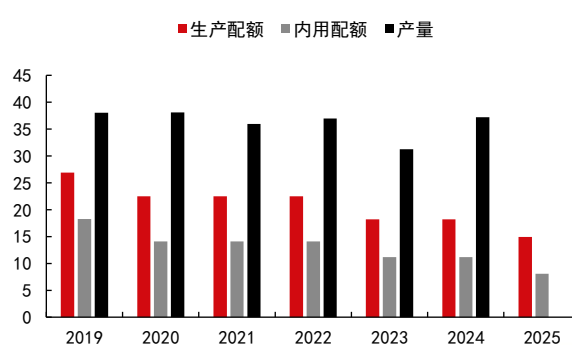
万吨



资料来源：生态环境部 中信期货研究所

图表53：二代制冷剂配额与产量

万吨



资料来源：钢联 中信期货研究所

注：此处 R22 钢联产量 37 万吨，前文氟化工产量 75 万吨（含更多原料用途）

用作制冷剂用途的二代制冷剂 HCFCs 的生产与消费均受配额限制，由生态环境部制定并公开。生产配额包括总生产配额和内用生产配额，总生产配额=内用生产配额+出口配额=（新装使用配额+维修配额）+

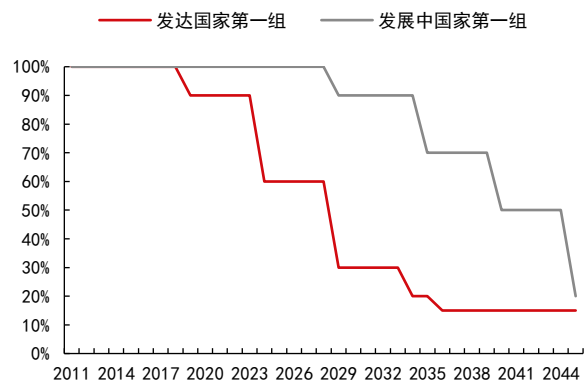
出口配额。内用生产配额即可用于境内销售的 ODS 用途产品的生产配额，二者差值即为出口配额。消费配额即为国内厂商使用配额，内用生产配额与国内厂商使用配额之差为国内维修配额。R22 占全国二代制冷剂总生产配额、占内用生产总配额 70%以上，是我国产量最大的二代制冷剂品种。目前各厂家产量超过制冷剂配额的部分主要用作生产下游含氟新材料的配套原料，这些用于原料用途生产聚四氟乙烯树脂（PTFE）、六氟丙烯（HFP）等的 R22 生产量则不受生产配额限制。

图表54：三代制冷剂削减计划

时间表	发达国家第一组	发展中国家第一组
基线值公式	2011-13 年 HFC 平均生产/消费量+HCFC 基线值*15%	2020-22 年 HFC 平均生产/消费量+HCFC 基线值*65%
冻结时间		2024 年
第一步	2019 年削减 10%	2029 年削减 10%
第二步	2024 年削减 40%	2035 年削减 30%
第三步	2029 年削减 70%	2040 年削减 50%
第四步	2034 年削减 80%	-
稳定期	2036 年削减 85%	2045 年削减 80%

资料来源：前瞻产业网 中信期货研究所

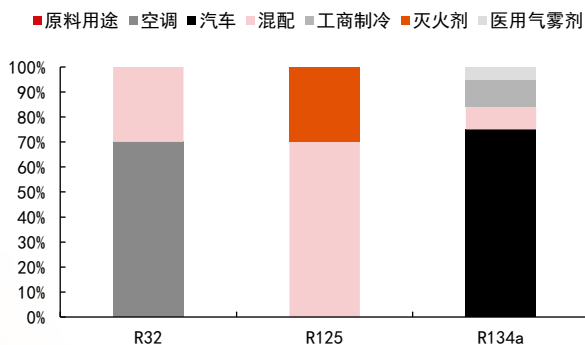
图表55：三代制冷剂削减时间表



资料来源：前瞻产业网 中信期货研究所

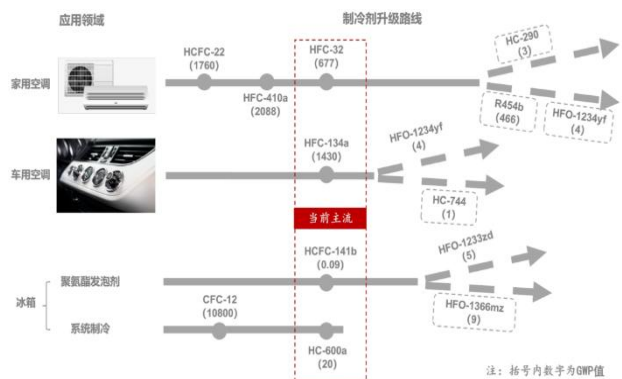
2016 年《蒙特利尔议定书》缔约方达成《基加利修正案》，旨在控制和减少 HFCs 生产和使用。2021 年 4 月，中国宣布接受《基加利修正案》，加强 HFCs 等非二氧化碳温室气体管控。根据规定，国内 HFCs 要从 2024 年开始正式将生产和消费冻结在基准水平上，并从 2029 年开始逐步削减，最终到 2045 年削减至 20%。制冷剂的应用迭代源于环保政策推行的不断变化。当前全球主流的第三代制冷剂 HFCs 虽非 ODS 物质，但却是一种强效温室气体。主要发达国家即将进入配额削减的第二步（-40%），发展中国家（第一组）于 2024 年对氢氟烃（HFCs）进行生产和使用总量的冻结（不超基线年 20-22 年均值）。由于配额基线年定在了 2020-2022 年，从 2020 年起各家制冷剂企业为争夺生产配额开启了产能扩张军备竞赛。根据生态环境部的《2024 年度氢氟碳化物生产、进口配额核发表》，2024 年各类 HFCs 的总生产配额为 74.6 万吨，HFC-32、HFC-125、HFC-134a 分别为 24.0、16.6 和 21.6 万吨，仅是各自产能的 47%、55%和 59%。

图表56：三代制冷剂下游需求结构



资料来源：氟化工 中信期货研究所

图表57：市场主流制冷剂升级路线



资料来源：氟化工 中信期货研究所

三代制冷剂占据当前最大市场份额。随着氯氟烃（CFCs）和氢氯氟烃（HCFCs）的逐步淘汰，氢氟烃（HFCs）及其混合物成为了价值最大的制冷剂细分市场。此外，蒸汽压缩是制冷剂产品最重要的应用领域，

主要包括空调、汽车和冰箱。R32 已为家用空调第一大制冷剂，未来占比预计持续提升。根据暖通家和产业在线数据，2020 年 R32 空调的市场份额为 54.2%、R410a 空调为 36%、R22 空调为 9.8%，

第四代制冷剂氢氟烯烃（HFOs）及碳氢制冷剂（HCs）、CO₂、NH₃ 等天然工质制冷剂由于性能优越且绿色环保正受到行业的重点关注，并在一定范围内得到应用。HFO-1234yf 是第四代制冷剂中的代表性产品，对臭氧层友好、GWP100 值为 1，是目前汽车空调常用的制冷剂 HFC-134a（GWP100 值高达 1430）的理想替代品。

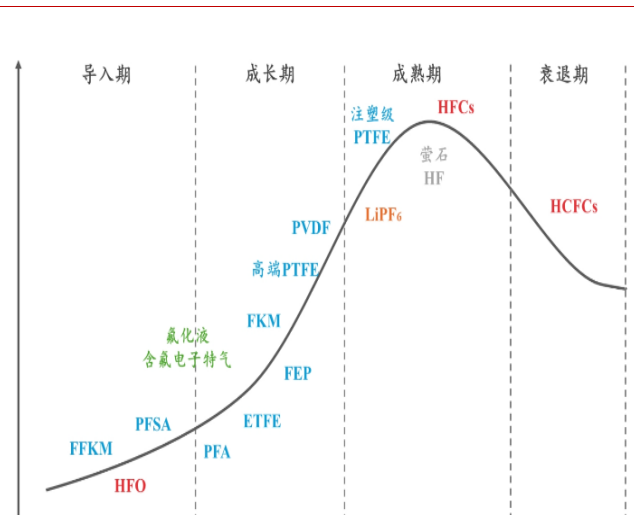
我国小型汽车空调自 2001 年已全部采用 HFC-134a（替代 CFC-12）作为制冷剂。HFO-1234yf 是汽车空调制冷剂理想替代品中的一种，但其广泛的制备和应用受到专利保护的限制。在美国和欧洲，一些 HFO-1234yf 应用在汽车空调系统中的相关专利受到挑战甚至宣告无效，因此可以自由使用，已成为这些国家汽车空调的主要制冷剂。但这些专利限制在中国仍然有效，因此我国 HFO 产能无法扩大，制冷剂产品价格昂贵。有数据表明，HFO-1234yf 的成本在 6-8 万元/吨，远高于 HFC-134a；并且其在国内的终端售价约为 140 万元/吨，是 HFC-134a 价格的 25 倍，因此 HFO-1234yf 在我国汽车应用中进行大规模替代的进程受阻^[30]。

图表58：我国四代制冷剂主要生产商

公司	产品	现有产能 万吨	产地	备注
法国阿科玛	R1234yf	1	江苏常熟	
华谊三爱富	R1234yf	0.6	江苏常熟	美国科慕代工
巨化股份	四种 HFO 含 R1234yf	0.8	浙江衢州	为霍尼韦尔代工
中化蓝天 霍尼韦尔	R1233zd	1.2	江苏苏州	合资公司
环氧氟材料	R1234yf		浙江衢州	自有技术
联创股份	R1234yf	0.5	山东淄博	少量销售
中欣氟材	R1234ze R1233zd		江西贵溪	自有技术

资料来源：智研咨询 中信期货研究所

图表59：制冷剂行业周期



资料来源：氟化工 中信期货研究所

自氯氟烃化合物 R12 作为制冷剂应用至今，氟碳化学品经历了多次升级，目前包括氯氟烃（CFCs）、氢氯氟烃（HCFCs）、氢氟烃（HFCs）、氢氟烯烃（HFOs）共四代品种。其中第一代 CFCs 具有较高的 ODP 值（消耗臭氧潜值）和 GWP 值（全球变暖潜值），已于 2010 年在全球范围内被全面淘汰；第二代 HCFCs 的 ODP 值虽然较前代显著降低，但仍属于消耗臭氧层物质（ODS），包括中国在内的多数发展中国家已于 2015 年开始削减用量，制冷需求进入衰退末期，但未来二代 HCFCs 逐步从制冷剂转向氟化工聚合物需求，有望维持需求高景气；第三代 HFCs 是当前的主流产品，技术相对成熟，其 ODP 值已降至零（即对臭氧层无破坏），但 GWP 值较高，未来很长一段时间仍然是市场主流制冷剂，但发达国家已逐步削减用量，发展中国家也已进入配额冻结期，逐步从成熟期步入衰退期；第四代 HFOs 虽然由于专利、成本限制尚处于导入阶段，但其兼具零 ODP 值和低 GWP 值，是新一代环境友好型制冷剂的典型代表。除 HFOs 外，环保升级的另一大方向是不含氟的碳氢天然工质制冷剂，但目前其安全性及制冷性能都存在一定的不足。未来随着 AI 算力服务器出货量高速增长，氟化工聚合物需求、电子氟化液需求有望迎来高速增长。

图表60：全球氟化工龙头企业

公司名称	主要产品	行业地位	2022 氟化工业务营收
科慕	制冷剂（HFC、HFO）	国际顶级综合氟化工全产业链供应商（拥有除 PVDF 外几乎所有氟系列产品）。含氟聚合物市场份额及供应能力全球第一，并拥有四代制冷剂 R1234yf 专利权	33 亿美元
霍尼韦尔	制冷剂（HFO 为主） 电子级 HF、NH ₄ F	全球最大的 HFO 制造商和供应商，拥有大部分新一代 ODS 替代品的专利及生产技术，尤其是开发出商品化系列 HFO 混配品种的专利，独家拥有 R1233zd 专利权	5.2 亿美元
3M	氟树脂（PTFE、PVDF、FEP、PFA） 氟橡胶 FKM 电子氟化液	全球半导体冷却剂市场占有率超过 90%，在氟树脂、氟橡胶领域也有深厚的技术积累	13 亿美元
大金	制冷剂（自用为主） 氟树脂（PTFE、FEP） 氟涂料	世界上唯一从制冷剂到空调机自行研发的空调制造企业。在氟树脂领域研究和应用居世界一流水平	20 亿美元
AGC	氟树脂及薄膜制品 氟橡胶 FKM 功能性含氟材料	ETFE 市场份额全球第一，与科慕、旭化成共同主导氯碱和燃料电池用的全氟离子膜市场	12 亿美元
阿科玛	制冷剂（HFC、HFO） 氟树脂（PVDF 为主）	全球领先的 HCFC/HFC 生产商，具有 R1233zd 生产和使用专权，全球主要的光伏级及锂电池粘结剂用 PVDF 生产商	43 亿欧元
索尔维	氟树脂 PVDF、PVDC 氟橡胶 FKM 含氟特气	全球领先的氟聚合物生产商，PVDF 涂料、PVDC 乳液市占率全球第一，再氟树脂、氟橡胶、氟流体等领域具有强大的研发能力	31 亿欧元

资料来源：智研咨询 中信期货研究所

2022 年我国液冷数据中心投资规模为 436.3 亿元，冷板式液冷占比 65%，浸没式及其他占比 35%。随着算力基础设施的增加、算力和能耗要求的提升，浸没式液冷将在超算中心等高密度场景得到进一步推广，同步拉动氟化液需求快速增长^[31]。假设 2025 年中国数据中心机架 1400 万台，按照液冷数据中心占比 50%——冷板式占比 60%、浸没式占比 40%——氟化液数据中心占比 70%，2025 年 25%乙二醇冷却液需求 76 万吨、电子氟化液需求有望达 51 万吨——对应全氟聚醚上游甲醇需求 27 万吨。

图表61：液冷化工需求测算

	2024	2025
中国数据中心机架 万台	1050	1400
液冷数据中心占比	30%	50%
冷板式液冷占比	80%	60%
浸没式液冷占比	20%	40%
氟化液数据中心占比	66%	70%
氟化液机架数量 万台	42	196
每标准机架体积（42U）立方米	0.5	0.5
体积 L	540.6	540.6
氟化液体积渗透率	30%	30%
每机架氟化液体积 L	162.2	162.2
氟化液密度 kg/L	1.6	1.6
氟化液每机消耗 Kg	260	260
氟化液数据中心需求 万吨	11	51
乙二醇液机架数量 万台	252	420
乙二醇液（1.12kg/L）每机消耗 kg	182	182
25%乙二醇液数据中心需求 万吨	46	76
全氟聚醚消耗甲醇 万吨	6	27
环氧树脂单耗 kg	7.5	7.5
环氧树脂需求 万吨	7.9	10.5
酚醛树脂单耗 kg	2.5	2.5
酚醛树脂需求 万吨	2.6	3.5
纯苯总需求 万吨	16	19

资料来源：中信期货研究所

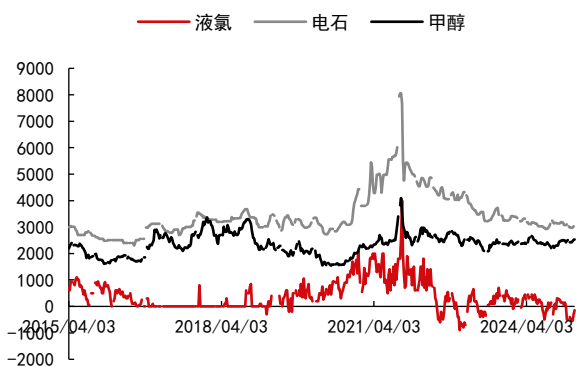
注：六氟丙烯消耗 1 吨四氟乙烯→消耗 1.41 吨 R22→消耗 2.115 (1.41*1.5) 吨三氯甲烷→消耗 0.53 (1.41*1.5*0.252) 吨甲醇。巨化股份“巨芯”冷却液的主要原料六氟丙烯、氧气在引发剂的作用下，通过调聚氧化、热稳定反应脱除过氧化物、端基化处理、除酸处理、粗品切割等工序得到全氟聚醚产品；对应纯苯的需求为 10.5/0.67/0.92+3.5/0.9/0.92=19 万吨。当前我国机架数量远大于服务器数量，使用机架测算相关液冷化工需求或有高估。

2024 年以来，配额政策的实施使得制冷剂供给规模基本锁定，供求关系的改善驱动价格逐步回归合理区间。与之形成鲜明对比的是，原材料价格并未跟随下游制冷剂产品水涨船高，而是在低位水平徘徊^[32]。其原因主要有以下几点：

①液氯、电石等原料价格多呈逐年下降趋势。2022 年以来，内蒙古乌海地区电石年均价由 3900 元/吨降至 2700 元/吨；内蒙古甲醇年均价由 2315 元/吨降至 2085 元/吨；山东地区液氯价格由 333 元/吨跌至 155 元/吨。②原材料供应增量与下游需求有限的矛盾凸显基线年间制冷剂的新增产能快速释放，刺激原材料生产企业相应扩大产能规模，行业供应增加明显；但自 2024 年 HFCs 执行配额生产以来，制冷剂供应规模锁定与原材料供应增长之间的矛盾凸显，导致原材料价格不增反降。③制冷剂企业原材料自供率较高随着龙头企业不断扩充产业链，行业集中度逐渐提升，比如巨化、东岳、梅兰等龙头企业，在甲烷氯化物等原材料生产企业中也处于领头地位，基本实现了原料产品的自产自销，降低了原材料的价格波动性。

图表62：制冷剂最上游原料价格

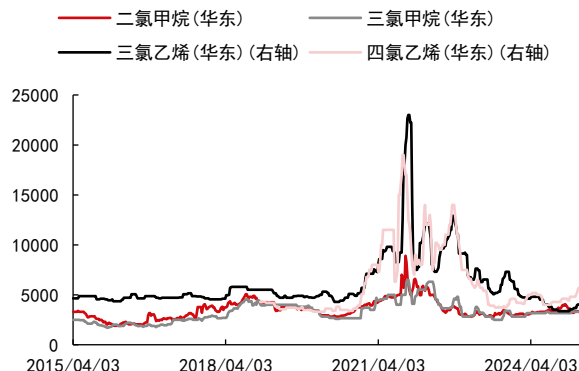
元/吨



资料来源：钢联 中信期货研究所

图表63：制冷剂上游原料价格

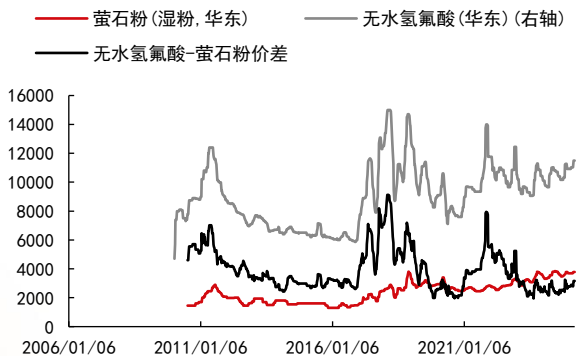
元/吨



资料来源：钢联 中信期货研究所

图表64：萤石及氢氟酸价格

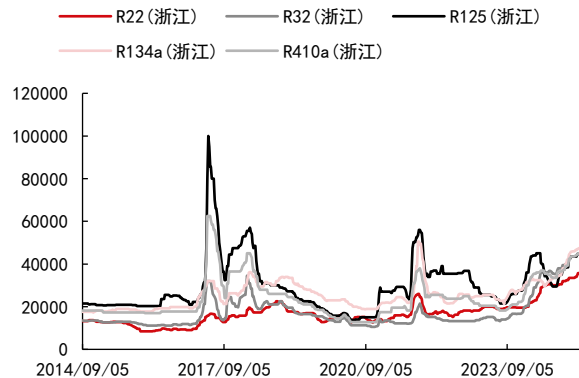
元/吨



资料来源：钢联 中信期货研究所

图表65：主流制冷剂价格

元/吨



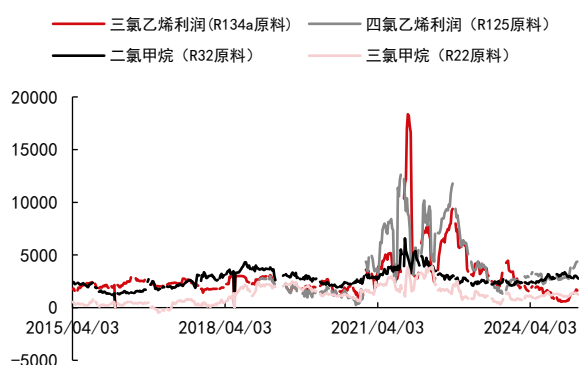
资料来源：钢联 中信期货研究所

制冷剂当前上下游利润矛盾较为突出，上游原材料价格相对便宜，制冷剂相关产品价格高企，驱动利润处于历史高位附近。以 R22 为例——上游原料原料是氢氟酸和三氯甲烷：氢氟酸上游原料是萤石；三氯

甲烷上游原料是一氯甲烷和氯气，一氯甲烷上游是甲醇和盐酸。

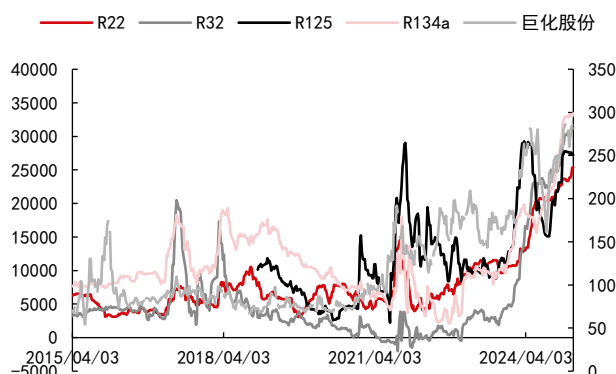
从最上游原料来看，液氯、电石和甲醇价格受煤炭价格弱勢影响持续处于低位；上游原料三氯甲烷因供应增量较大而 R22 受配额限制产能增长受限，供增需减，价格跟随煤化工原料处于弱勢。

图表66：制冷剂上游产品生产利润 元/吨



资料来源：钢联 中信期货研究所

图表67：主流制冷剂生产利润 元/吨



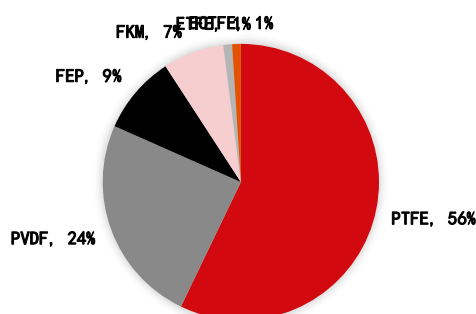
资料来源：钢联 中信期货研究所

在配额限制供应以及氟化工下游旺盛需求、电子氟化液等新兴需求带动下，二代和三代制冷剂出现供不应求，2023 年后价格持续走高，绝对价格接近 2021 年高点，带动制冷剂生产利润升至历史高位。高利润意味着制冷剂、电子氟化液需求旺盛，氟化工迎来景气周期，氟化工相关企业如巨化股份股票价格跟随制冷剂利润一路走高。

含氟化合物

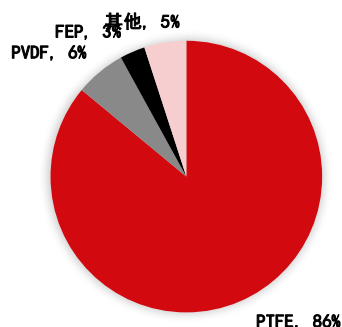
含氟聚合物，也称为含氟高分子材料，是指以 C-C 链为主链，在侧链或枝链上接有一个或一个以上的氟原子的聚合物。已经商业化的含氟聚合物种类很多，包括乙烯-四氟乙烯共聚物（ETFE）、聚四氟乙烯（PTFE）、氟化乙丙共聚物（FEP）、全氟烷氧基树脂（PFA）、聚氯三氟乙烯（PCTFE）等。2023 年我国四大含氟聚合物 PTFE、PVDF、FEP 和 FKM 总产能达约 50.7 万吨/年，产量约 32.3 万吨。

图表68：全球含氟高分子材料需求结构



资料来源：前瞻研究院 中信期货研究所

图表69：中国含氟高分子材料需求结构

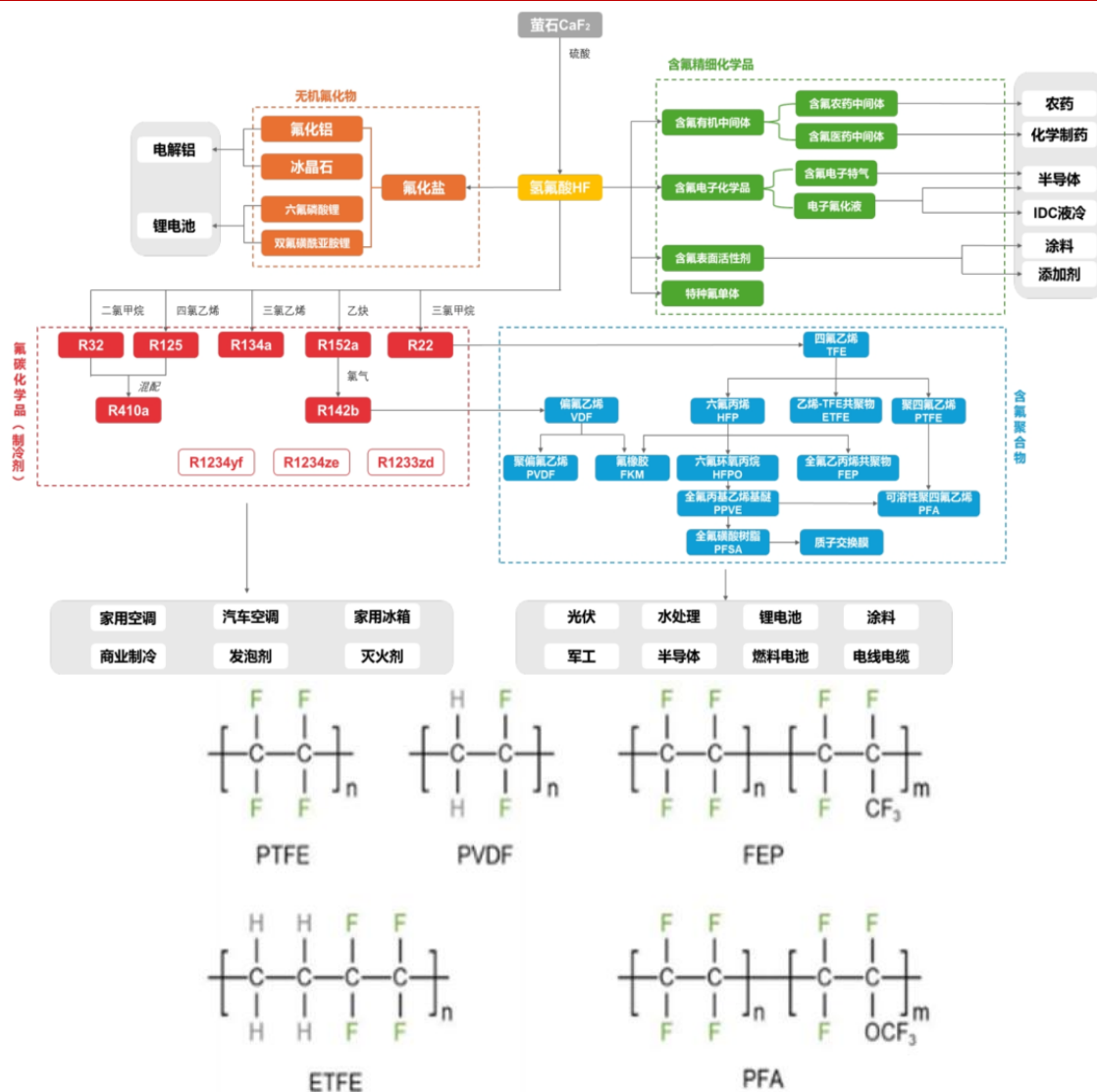


资料来源：前瞻研究院 中信期货研究所

含氟聚合物行业最早由杜邦(科慕)在 1938 年合成 PTFE 开始，杜邦在含氟聚合物行业的影响非常大，其产品线涉及 PTFE、FEP、PFA、PVDF 等，只有 PCTFE、ECTFE 等极少数含氟聚合物不是杜邦(科慕)首先发明的^[33]。含氟聚合物大多都在 2000 年以前被发明并商业化，2000 年以后很少有新的含氟聚合物被发明，

但主要针对细分领域的市场需求做一些改进,比如高纯领域半导体行业中有许多不同等级的 PFA 产品出现,一些新兴行业比如针对光伏、锂电新能源等有一些细分产品的改进方向。含氟聚合物是氟化工产业链中最终端的产品,全氟聚合物产业链:萤石或磷矿伴生氟资源氢氟酸→R22→四氟乙烯 TFE→六氟丙烯 HFP、PPVE 等中间体→PTFE、FEP、PFA 等全氟聚合物;R152a→R142b→VDF→PVDF、PVF、FKM 等偏氟聚合物,偏氟聚合物产品因为原料比如 R142b 会造成温室效应,目前只能自用不能销售,R22 作为制冷剂将会逐步被淘汰,只用做原料用途^[34]。

图表70：氟化工聚合物产业链



资料来源：氟化工 中信期货研究所

PTFE 即聚四氟乙烯,是全球消费量最大的含氟高分子材料,产能、产量、需求量均占全球含氟高分子材料的 50%以上,PTFE 俗称“塑料王”,广泛应用于化工、电子电器、机械等领域。具有润滑性,耐高温,耐低温,耐腐蚀(抗强酸抗强碱),几乎不溶于所有溶剂的优秀性质,应用从航天领域到广泛的日用商品,例如 PCB 板(高端品)、腐蚀性气体及液体的输送管剂排气管、无油润滑材料等。全球 81%的 PTFE 需求来自化工、电子、汽车及运输和厨具四大领域,其中化工行业以 44.5%、电子行业以 16.8%的份额成为 PTFE 最主要的应用领域。集成电路是我国 PTFE 需求量新的增长点,PTFE 是 5G 通信的必然选择。随着我国开始发力建设新基建,5G、电子电路板多个高科技产业有望迎来快速发展,由于 PTFE 优秀的绝缘特点,可以

用做电缆、电路的绝缘材料，未来需求有望提振。5G 的高频化对介质材料的介电常数（Dk）、介质损耗系数（Df）提出了更高的要求，5G 通信高频化下，基材的介质损耗系数需要在 2.4 以下，介电常数在 0.0006 以下。PTFE 是低介电树脂 PP0、PI、LCP、GE 中唯一符合介电性能要求的树脂，虽然 PP0 的两个参数均在标准附近，但其熔融温度高，熔融粘度大，流动性差，热塑加工较为困难，应用较少。故而 PTFE 是 5G 基站以及智能手机介电材料的不二之选。

从生产路径来看，PTFE 上游主要原材料是二代制冷剂 R22，每生产 1 吨 PTFE 需要消耗约 2 吨 R22。目前全球主流的 TFE 生产工艺采用水蒸气稀释裂解法，TFE 经自由基聚合而成 PTFE，在工业上主要采用悬浮聚合和分散聚合^[35]。此处合成高分子用途的 R22 不受配额管制，只有制冷剂用途的 R22 受配额管制，因此 PTFE 成为 R22 重要的下游方向。R22 制成的氟单体四氟乙烯（TFE）可聚合成为聚四氟乙烯（PTFE）和乙烯-四氟乙烯共聚物（ETFE），还可以生成六氟丙烯（HFP）进而和 HFP 共聚生成聚全氟乙丙烯（FEP）。以 R142b 为主要原材料的偏氟乙烯（VDF）则可以聚合成为聚偏氟乙烯（PVDF）。

PTFE 是中国现在进出口量最大的含氟聚合物，每年进口量大概 6000-8000 吨，出口量超过 3 万吨。国内 PTFE 产能合计达 20 万吨/年左右，主要厂商有三爱富、吴华科技晨光院、东岳化工、巨化股份等几家氟化工产业链比较全的企业这些企业。

PVDF：PVDF（聚偏氟乙烯）是偏氟乙烯单体均聚或者偏氟乙烯与少量含氟乙烯基单体的共聚物，是一种高度非反应性热塑性含氟聚合物。其具备氟树脂和通用树脂的性质，除具备良好的耐腐蚀性、耐高温性、耐候性、耐辐射性外，还具有压电性、介电性和热电性能。主要应用于锂电、涂料、注塑、光伏等领域，是含氟塑料中产量第二大的产品。在锂电池方面，PVDF 主要应用于正极粘结剂和涂覆隔膜。PVDF 抗氧化还原能力强、热稳定性好、具有较好的粘结能力，并且易分散在 NMP 溶剂中，在正极粘结剂中的份额占比高达 90%以上。在锂电涂覆隔膜方面，PVDF 能够增强隔膜对电解液的保液性，提升隔膜的高电压稳定性。随着锂电池近年来产销量的快速提升，锂电领域 PVDF 的应用占比从 2020 年的 18.8%提升到 2022 年的 45.0%。2020 年，涂料曾是 PVDF 下游第一大应用市场，占比约为 37.1%。PVDF 氟碳涂料经过高温固化后，能够形成性能优异的保护涂层，该涂层具备耐候性、保色、耐冲击、耐腐蚀等优点，可在户外长期使用，被广泛应用于建筑外墙装饰、地铁、化工生产区等恶劣环境下金属材料的涂料。在光伏领域，PVDF 能够用作光伏背板膜，可以利用其耐候性，提高光伏组件在户外的使用寿命。在水处理领域，PVDF 中空纤维膜，具备良好的耐污染性、抗氧化性，并且具有良好的拉伸强度和高通水量，可以应用在工业废水、生活废水、海水净化等领域。R152a→R142b→VDF→PVDF、PVF、FKM 等偏氟聚合物，偏氟聚合物产品因为原料比如 R142b 会造成温室效应，目前只能自用不能销售。

FEP：FEP（聚全氟乙丙烯）是由四氟乙烯和六氟丙烯共聚而成。六氟丙烯含量约为 15%，是 PTFE 的改性材料。由于 PTFE 熔点高、熔融粘度大，在无定形状态下的剪切很敏感，容易产生熔体破裂，因此不能采用熔融挤压、注射成型等常规的热塑性塑料成型工艺。FEP 分子链上带有支链，其熔点相较于 PTFE 更低，但加工性能更好。FEP 既有 PTFE 一样的高绝缘性、阻燃性，又具备热塑性塑料良好的加工性能，一定程度上弥补了 PTFE 在加工性能方面的不足。FEP 常应用于电线电缆中，2021 年该应用消费占比约 65%。其用作电线电缆。FEP 电线电缆有望未来在建筑领域取代传统的聚氯乙烯（PVC）和聚乙烯（PE）电线电缆。

ETFE：最强韧的氟塑料，在建筑行业大有可为 ETFE（乙烯-四氟乙烯共聚物）也是基于 PTFE 的基础上创造出来的高分子材料。其保持了 PTFE 优异的耐热性、耐化学性能、电绝缘性能，同时耐辐射和机械性能均有很大程度的改进。其拉升强度是 PTFE 的两倍，故 ETFE 被称作“最强韧的氟塑料”。ETFE 膜材在建筑行业大有可为。由于 ETFE 膜材料的重量只有玻璃的 1%，透光率高达 95%，超过玻璃，再加上其比玻璃更有弹性，故又被称作“软玻璃”。其还具备极佳的阻燃性能，达到 B1、DIN4102 防火等级标准；抗老化

能力，其使用寿命 25-35 年；极佳的自清洁能力，表面高抗污，几乎不需要日常保养；耐候性，脆化温度低至-100℃。此外，ETFE 膜为可再循环利用材料，可以热熔成颗粒状重新加工。

四、总结与思考

我们在【中信期货能源化工（能化）】AI 算力竞赛 1.0 到 2.0 对中美电力意味着什么？——专题报告 20250211 中指出：回顾算力的发展历程，从最初虚拟货币驱动的“挖矿热潮”到如今的大国算力竞赛，AI 算力需求爆发式增长驱动投资持续提升，电力将成为决定算力发展高度的重要一环。我国可再生能源电力装机高速增长，数据中心绿电需求增长潜力巨大，我国算力用能结构中绿电占比将持续快速提升；美国数据中心电力需求激增以及由传统能源和可再生能源相结合的能源结构转变推动电力格局不断演变，当前美国 70% 的电网接入和输电设施已老化和落后，特朗普上台后拥抱化石能源态度、美国廉价的天然气资源等因素叠加，限制美国数据中心绿电需求的同时将对天然气、煤炭等传统化石能源需求带来提振。美国数据中心耗电 176TWh，2028 年增至 325TWh，年均增长 40TWh（全部用天然气发电则天然气需求年增量为 0.4 十亿立方英尺/天，美国天然气消费量 108 十亿立方英尺/天，年需求增量占比 0.4%，数据中心电力需求或成打破美国天然气需求逐年下行趋势重要变量，在结合当前美国天然气钻机数量处于低位，美国天然气或面临供给增量有限而需求有新增量局面）。

【中信期货能源化工（化工）】合成树脂材料新变局（二）——新材料崛起与纯苯景气周期开启——专题报告 2024110、【中信期货能源化工】AI 算力竞赛 1.0 到 2.0 对液冷化工意味着什么？——专题报告 20250408 我们重点聚焦算力竞赛 1.0 到 2.0 对液冷化工品的影响：算力爆发式增长、PUE 逐年下行对液冷设备提出更高要求，PCB 板、液冷相关的制冷剂、乙二醇冷却液、电子氟化液需求迎来新增量：假设 2025 年中国数据中心机架 1400 万台，带动环氧树脂、酚醛树脂需求 10.5 万吨、3.5 万吨——对应纯苯需求 19 万吨；按照液冷数据中心占比 50%——冷板式占比 60%、浸没式占比 40%——氟化液数据中心占比 70%，2025 年 25%乙二醇冷却液需求 76 万吨、电子氟化液需求有望达 51 万吨——对应全氟聚醚上游甲醇需求 27 万吨。

以上的假设是基于在算力高速增长的背景，随着 Deepseek 横空出世，越来越多企业开始关注算力堆积的不可持续性，全球算力竞赛有望从单纯堆积算力向高效模型、下游应用去拓展，因此我们以上的判断需要结合实际验证，任何算力支出增速的削减将对结论产生重大影响。

①据 DeepSeek V3 技术报告，V3 模型的训练总计只需要 278.8 万 GPU 小时，相当于在 2048 卡的 H800GPU 集群上训练约 2 个月，合计成本约 557.6 万美金，仅为 OpenAI GPT-4o 训练成本的不十分之一，低了整整一个数量级，两者性能却被美国业内人士认为基本持平。相比之下，深度求索公司已经证明，它使用的算力能够远低于全球平均水平。分析人士指出，其大语言模型使用的能源估计仅为美国人工智能技术的四十分之一到十分之一，这现实出其效率显著提高。如果 DeepSeek 公布的信息属实，一些人工智能查询可能根本就不需要用到数据中心^[36]。

②本周早些时候，阿里巴巴集团董事会主席蔡崇信警告，美国厂商的 AI 数据中心建设可能正在形成泡沫，全球科技巨头数千亿美元的 AI 投资规模令人担忧。大型科技公司、投资基金和其他机构纷纷竞相建立 AI 训练服务器基地，这种趋势开始显得有些盲目。许多项目在建设时并没有明确的客户。蔡崇信表示，“我开始看到某种泡沫的萌芽。

③当地时间 3 月 26 日周三，据 TD Cowen 分析师称，微软放弃了在美国和欧洲的新数据中心项目，这些项目原计划消耗 2 吉瓦电力。分析师们将此举归因于支撑人工智能运算的计算机集群供过于求。他们还表示，最新动作也反映了微软放弃了部分与 OpenAI 的新业务^[37]。

④根据《金融时报》披露，中国国家发改委已经在去年悄然出台了一套，针对新建数据中心能效的指导要求，目的是推动绿色计算发展。但如果严格执行，这项政策将意味着像英伟达 H20 这样的芯片，可能根本不允许进入这些新建的数据中心^[38]。

参考资料：

- [1] 电气应用. 人工智能快速发展背景下算力电力协同发展的思考[EB/OL]. (2025-01-07)
- [2] 中国科学院院刊. 我国算力发展的需求、电力能耗及绿色低碳转型对策[EB/OL]. (2024-05-09)
- [3] 能源情报. 全球电力发展能否跟上能源转型步伐？[EB/OL]. (2025-02-20)
- [4] 绿色数据中心生态圈. 五分钟带您了解“什么是数据中心” [EB/OL]. (2023-09-08)
- [5] 中国纪检监察报. 踔厉奋发新征程 | 强算力释放新活力[EB/OL]. (2024-04-15)
- [6] 塑库全书. 工程塑料在印刷电路板选材制造中的优势分析[EB/OL]. (2023-10-25)
- [7] 硬十. PCB 基板材料分类[EB/OL]. (2024-05-08)
- [8] 乐晴智库精选. 算力产业链核心赛道：液冷服务器全解析[EB/OL]. (2024-12-19)
- [9] CDC. 数据中心浸没式液冷技术研究[EB/OL]. (2023-07-12)
- [10] 王凯. 热设计. 从“泡水”的 550W，看 AI 超级计算机的“浸没式液冷” [EB/OL]. (2023-04-13)
- [11] 知乎. 为“西算东数”添砖加瓦——浸没式液冷机柜和系统[EB/OL]. (2022-07-15)
- [12] IDC 咨询. 中国液冷服务器市场加速扩张，头部聚势驱动应用深化[EB/OL]. (2025-04-08)
- [13] 精细化工. 数据中心用浸没式冷却液的研究进展[EB/OL]. (2023-02-16)
- [14] 壹天讲学. 数据中心—电信运营商液冷技术白皮书（2023）[EB/OL]. (2024-05-22)
- [15] 全球 IT 微洞察. 液冷专题研究（一）：全球液冷发展历程[EB/OL]. (2023-11-18)
- [16] 中国能源报. 五部门重磅发布！[EB/OL]. (2025-02-12)
- [17] 投资泰达. 产研 | 化工新材料产业链研究分析[EB/OL]. (2024-07-26)
- [18] 中国能源报. 九部门印发重要方案！[EB/OL]. (2024-07-12)
- [19] 暖通学社. 数据中心冷板式液冷冷却液的选择[EB/OL]. (2023-09-04)
- [20] 零氮 1+1. PG25 与 EG25 在数据中心液冷中的选型对比及海外应用现状[EB/OL]. (2025-03-27)
- [21] 油化材讯. 在科普知识 | 让我们一起了解丙二醇！[EB/OL]. (2023-11-23)
- [22] 信息通信技术与政策. 专题 | 数据中心浸没液冷中冷却液关键问题研究[EB/OL]. (2022-05-17)
- [23] PFAS-FREE. 【PFAS 重要事件】3M 在比利时的 PFOS 泄露事件回顾[EB/OL]. (2025-01-11)
- [24] 深检医学. 持久性有机污染物——全氟和多氟烷基化合物[EB/OL]. (2024-11-22)
- [25] 宋璐宁, 陆志波, 尹志高. PFOA 与 PFOS 环境排放与控制的综述[J/OL]. 四川环境. (2015-04)
- [26] 刘波, 吕剑. 氢氟醚的合成和应用研究进展[J/OL]. 工业催化. (2004)
- [27] 阿里支持连. 您听过第四代制冷剂吗？[EB/OL]. (2023-07-03)
- [28] 空调实验室. 常见制冷剂的 ODP、GWP，安全分类[EB/OL]. (2019-08-14)
- [29] 知晓报告. 2024 年氟化工深度研究之总览篇研究报告[EB/OL]. (2024-05-01)
- [30] 对话 2049. 绿色新质生产力 | 沸腾时代，第四代制冷剂如何引领制冷产业变革[EB/OL]. (2024-10-24)
- [31] 智研咨询. 中国液冷数据中心行业全景速览：浸没式液冷占比逐渐上升[EB/OL]. (2024-09-10)
- [32] 氟化工产业圈. 制冷剂价格回归合理区间，原材料价格为何依旧低迷？[EB/OL]. (2024-11-06)
- [33] 氟务商城. 关于 PTFE、PVDF、FEP、PVDF、FEP、PFA 你想了解的看这里！[EB/OL]. (2024-01-26)
- [34] 氟化工. 全新发布！《2024 年度全球含氟聚合物专利趋势分析报告》深度解读[EB/OL]. (2024-10-31)
- [35] 氟化工. 氟化工行业深度报告：制冷剂产业链下端延伸，含氟聚合物发展前景良好[EB/OL]. (2022-10-27)
- [36] 巨潮 WAVE. “算力崩塌”，是真是假[EB/OL]. (2025-04-03)
- [37] 每日经济新闻. 一份报告，吓坏硅谷！砸掉英伟达 1.2 万亿元市值！[EB/OL]. (2025-03-27)
- [38] 美投 investing. 英伟达大跌，芯片可能再难进入中国[EB/OL]. (2025-03-27)

免责声明

除非另有说明，中信期货有限公司拥有本报告的版权和/或其他相关知识产权。未经中信期货有限公司事先书面许可，任何单位或个人不得以任何方式复制、转载、引用、刊登、发表、发行、修改、翻译此报告的全部或部分材料、内容。除非另有说明，本报告中使用的所有商标、服务标记及标记均为中信期货有限公司所有或经合法授权被许可使用的商标、服务标记及标记。未经中信期货有限公司或商标所有权人的书面许可，任何单位或个人不得使用该商标、服务标记及标记。

如果在任何国家或地区管辖范围内，本报告内容或其适用与任何政府机构、监管机构、自律组织或者清算机构的法律、规则或规定内容相抵触，或者中信期货有限公司未被授权在当地提供这种信息或服务，那么本报告的内容并不意图提供给这些地区的个人或组织，任何个人或组织也不得在当地查看或使用本报告。本报告所载的内容并非适用于所有国家或地区或者适用于所有人。

此报告所载的全部内容仅作参考之用。此报告的内容不构成对任何人的投资建议，且中信期货有限公司不会因接收人收到此报告而视其为客户。

尽管本报告中所包含的信息是我们于发布之时从我们认为可靠的渠道获得，但中信期货有限公司对于本报告所载的信息、观点以及数据的准确性、可靠性、时效性以及完整性不作任何明确或隐含的保证。因此任何人不得对本报告所载的信息、观点以及数据的准确性、可靠性、时效性及完整性产生任何依赖，且中信期货有限公司不对因使用此报告及所载材料而造成的损失承担任何责任。本报告不应取代个人的独立判断。本报告仅反映编写人的不同设想、见解及分析方法。本报告所载的观点并不代表中信期货有限公司或任何其附属或联营公司的立场。

此报告中所指的投资及服务可能不适合阁下。我们建议阁下如有任何疑问应咨询独立投资顾问。此报告不构成任何投资、法律、会计或税务建议，且不担保任何投资及策略适合阁下。此报告并不构成中信期货有限公司给予阁下的任何私人咨询建议。

中信期货有限公司

深圳总部

地址：深圳市福田区中心三路8号卓越时代广场（二期）北座13层1301-1305、14层

邮编：518048

电话：400-990-8826

传真：(0755) 83241191

网址：<http://www.citicsf.com>