

内容目录

第一章 前言	4
第二章 2023-2028 年超导磁体市场前景及趋势预测	4
第一节 超导磁体性能优异商业化进程加速，下游应用多点开花	4
第二节 超导磁体节能提效优势显著，商业化设备应用空间广阔	6
一、高温超导感应加热设备进入放量阶段	6
二、光伏级晶硅生长炉打开超导磁体新应用空间	7
三、半导体级晶硅生长炉中超导磁体国产替代加速	8
第三节 高温超导磁体突破磁场强度上限，加速可控核聚变装置建设	10
一、磁约束可控核聚变是聚变发电最佳路径	10
二、核聚变能研发进入工程可行性阶段，装置建设进入加速期	11
第四节 超导磁体技术壁垒高，抢先布局企业有望充分受益	12
一、低温超导磁体技术更成熟，高温超导磁体性能更优	12
二、高温超导磁体生产工艺复杂，技术壁垒较高	15
三、终端应用加速发展，高温超导磁体产业正加速成熟	16
第五节 重点企业分析	17
一、联创光电：国内光电器件领军企业，高温超导技术领跑全球	18
二、永鼎股份：深耕光电领域数十年，高温超导发展加速	18
三、西部超导：高端钛合金行业领军人，低温超导线材商业化生产企业	19
第三章 超导磁体企业数字化现状与趋势	20
第一节 超导磁体企业数字化现状	20
一、数字化变革正在发生	20
二、数字化转型的机遇和挑战	22
第二节 超导磁体企业数字化趋势预测	22
一、数字化趋势的必然性	22
二、未来的机遇就是数字化变革带来的	23
三、数字化带来的六大趋势	24
四、新消费时代数智化工具成标配	24
五、移动互联网对企业提出新要求	25
六、移动化、自助化、智能化将成为未来的重要发展方向	25
七、营销数字化趋势	25
八、数字化正在重构产业底层逻辑	25
九、企业数字化转型加速，开启精细化运营新时代	26
第三节 “数字化转型”成为企业生存关键词	26
一、企业数字化现状	26
二、“数字化转型”成为企业生存关键词	27
三、数字化转型的机遇和挑战	28
第四章 企业“数字化转型”策略	28
第一节 企业“数字化转型”策略	28
一、探路数字化增长模型	28
二、数字化解决方案	30

三、解决方案及策略建议	30
第二节 企业数字化成功要素及实施路径	31
一、企业数字化成功要素	31
二、企业数字化实施路径	33
(1) 价值定义	33
(2) 导入与起步	33
(3) 加速与实践	34
(4) 优化与拓展	34
第三节 传统企业数字化转型的问题与对策	35
一、传统企业数字化转型的问题	35
(1) 企业认识不到位，缺乏方法论支撑	35
(2) 数据资产积累薄弱，应用范围偏窄	35
(3) 核心数字技术及第三方服务供给不足	36
(4) 数字鸿沟明显，产业协同水平较低	36
二、传统企业数字化转型问题的对策	36
(1) 加快建设数字技术高效供给体系	36
(2) 着力解决数字创新人才紧缺问题	37
(3) 强化传统产业数字化转型政策支持	37
(4) 积极部署新一代信息基础设施	37
第四节 传统企业数字化转型能力体系构建研究	38
一、概念分析	38
(1) 企业数字化转型特征	38
(2) 数字化转型策略	39
二、传统企业数字化转型能力体系构建的挑战	39
(1) 保持业务增长的同时进行转型	39
(2) 组织结构层面的挑战	39
三、数字化转型能力模型	40
(1) 能力模型	40
(2) 管理能力	40
(3) 技术能力	41
(4) 案例应用	41
第五节 传统企业数字化转型策略研究	42
一、传统企业数字化转型发展现状分析	42
二、传统企业数字化转型发展的重要意义	43
(1) 提高企业工作效率	43
(2) 重构企业商业模式	43
(3) 降低企业经营成本	44
三、传统企业的数字化转型策略实施	44
(1) 企业运营管理转型，降本提效	44
(2) 创新完善数字化转型发展方式，提升工作效率	44
(3) 科学匹配数字化转型模式，实现企业成功转型	45
(4) 优化改善数字化转型发展内容，提升管理工作质量	46
第六节 传统企业数字化转型的误区和应对策略	47
一、企业数字化转型的相关理论综述	47

(一) 企业数字化转型概况	47
(二) 企业数字化转型的特征	47
(三) 企业数字化转型的本质	47
二、传统企业数字化转型的发展	47
(一) 传统企业数字化转型的历程	48
(二) 传统企业数字化转型的特征	48
三、企业数字化转型的误区	48
四、传统企业数字化转型的实例分析	49
(一) 金融服务企业	49
(二) 制造业企业	49
(三) 消费品和零售业企业	49
五、传统企业数字化转型的发展策略	50
(一) 建立完善数字化转型的战略	50
(二) 制定企业数字化转型的具体目标	50
(三) 企业要加强数字化转型的管理措施	50
第五章 超导磁体企业《数字化转型策略》制定手册	51
第一节 动员与组织	51
一、动员	51
二、组织	52
第二节 学习与研究	53
一、学习方案	53
二、研究方案	53
第三节 制定前准备	54
一、制定原则	54
二、注意事项	55
三、有效战略的关键点	56
第四节 战略组成与制定流程	58
一、战略结构组成	59
二、战略制定流程	59
第五节 具体方案制定	60
一、具体方案制定	60
二、配套方案制定	62
第六章 超导磁体企业《数字化转型策略》实施手册	63
第一节 培训与实施准备	63
第二节 试运行与正式实施	63
一、试运行与正式实施	63
二、实施方案	64
第三节 构建执行与推进体系	65
第四节 增强实施保障能力	66
第五节 动态管理与完善	66
第六节 战略评估、考核与审计	67
第七章 总结：商业自是有胜算	67

第一章 前言

在疫情影响下，企业不得不从生存的视角求助于数字化，重点关注业务的运转、客户的服务、供应链的恢复等。但在“后疫情时代”，数字化增长将成为企业与其他品牌竞争的重要壁垒。在消费需求快速变化、平台成本不断上升、供应链稳健度不高的挑战下，企业要从增长的视角去布局数字化，重点关注产业层面的供应链协同、社会化协作和多元化场景的融合。

那么，超导磁体行业数字化转型的机遇和挑战在哪里？

企业“数字化转型”策略是什么？

数字化成功要素及实施路径在哪里？

.....

下面，我们先从超导磁体行业市场进行分析，然后重点分析并解答以上问题。

相信通过本文全面深入的研究和解答，您对这些信息的了解与把控，将上升到一个新的台阶。这将为您经营管理、战略部署、成功投资提供有力的决策参考价值，也为您抢占市场先机提供有力的保证。

第二章 2023-2028 年超导磁体市场前景及趋势预测

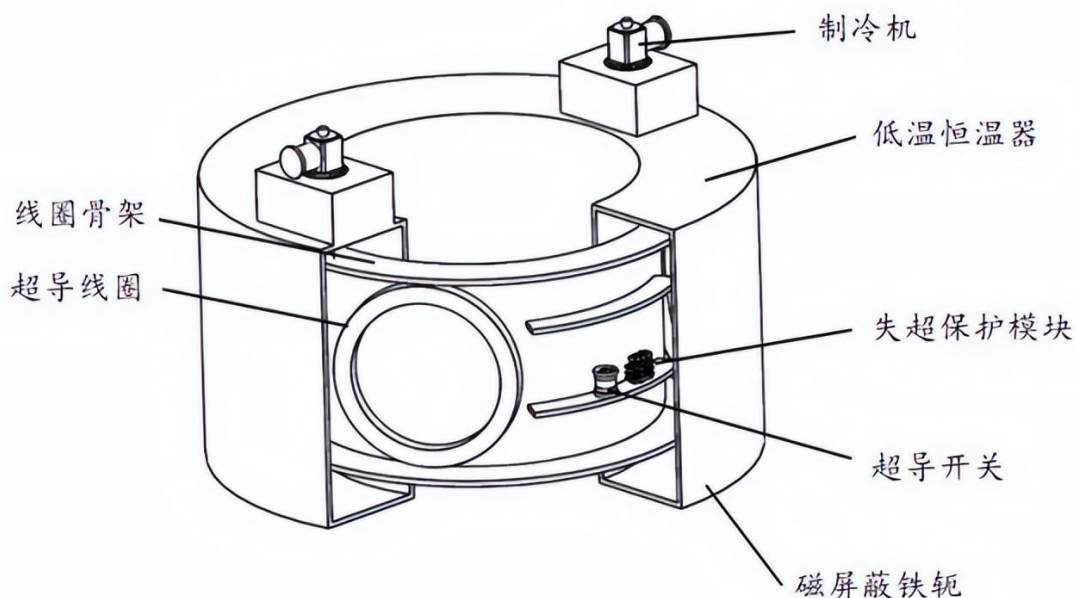
第一节 超导磁体性能优异商业化进程加速，下游应用多点开花

超导磁体属于多部件集成系统，一般是指用超导导线绕制的、利用超导材料零电阻与小截面导体却可以承载超大电流的特殊性质产生强磁场的装置，包括超导线圈和其运行所必要的低温恒温容器。超导磁体主要由以下几部分构成：（1）超导线圈和铝合金骨架（缠绕固定超导导线）：超导线圈为磁体系统核心部件，根据对于磁场场强和均匀度的需求，由 2 或 4 个线圈呈对称布置，超导线圈数量越多，产生的磁场场强和均匀度越高。（2）励磁电源：为超导磁体提供电流，分为超导磁体内部电流独立于电源运行的闭环运行模式和持续由电源供电的开环运行模式。（3）低温控制系统：干式制冷机、导冷板（将制冷机冷量传导给线圈）、真空杜瓦（保证系统密闭性，维持低温条件）、冷屏（降低外部辐射漏热）。（4）失超保护系统：一旦磁体失超，将破坏磁体结构，重新降温励磁使运行时间增加，因此需要对线圈进行浸渍、绝缘处理。（5）漏磁屏蔽系统等：超导磁体产生的磁场与设备的其他电磁系统会互相干扰，影响设备正常运行，因此需要铁轭进行磁场屏蔽。

超导线圈产生的磁场分布可以分为水平、垂直和勾形（Cusp）。以超导磁体在晶硅生长炉中

的应用为例，垂直磁场由于结构原因无法消除单晶炉内主要热对流，很少被采用；水平磁场的磁场分量方向垂直于坩壁主要热对流与部分强迫对流，可有效抑制运动，且有利于保持生长界面平整性，降低生长条纹；CUSP 磁场因其对称性，熔体的流动和传热性更为均匀，因此垂直与 CUSP 磁场为晶硅生长炉中的主流应用。

图3: 超导磁体系统整体结构图



超导磁体具有磁场强度高、重量体积小、节省电耗等核心突出优势。通常电磁铁是利用在导体中通过电流产生磁场，由于超导材料在低于某一极低温度下具有零电阻特性，因此相比于常规磁体，超导磁体可以在不损耗焦耳热的情况下，产生很高的运行电流，进而在大空间内产生高场强、高稳定性、高均匀性的磁场。

低温超导磁体技术发展时间较早，技术成熟，高温超导磁体由于材料特性，磁体磁场强度可以做到更高，更满足高场强需求场景。低温超导材料 NbTi 超导线圈主要用于低场超导磁体，经过发展，为了满足高场需求，外层 NbTi+内层 Nb₃Sn 复合线圈成为了较高场超导磁体主流产业化技术路线。1980s 以来，第一代高温超导材料 Bi-2212、Bi2223 和第二代高温超导材料 YBCO 陆续被发现，相较于低温超导磁体，高温超导磁体仅 需液氮制冷，有着更高的临界磁场、临界温度、临界电流，可以运用在超高场大型设备中，更小的体积也使得大型设备成本大幅降低。经过 30 多年的研究，高温超导磁体的磁场上限已经探索至 45.5T，同时超导磁体的生产技术也正逐步成

熟。

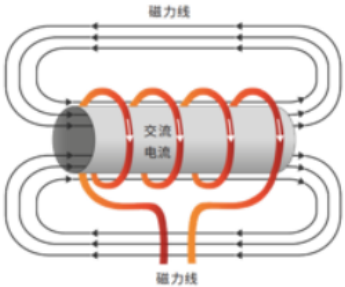
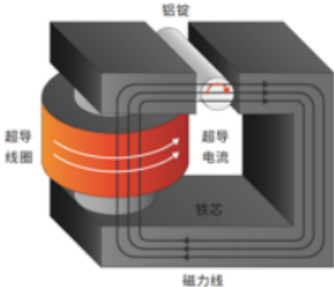
超导磁体商业化进程加快，高品质节能提效工业领域+紧凑型可控核聚变装置等商业化下游应用场景不断打开。低温超导磁体最初开始在下游设备中应用时由于其制冷维护成本较高，起初仅应用于成本不敏感的领域，如医疗：MRI（磁共振成像仪），科研：NMR（核磁共振波谱仪）、高能粒子加速器，能源：受控核聚变装置等高场强、高均匀度磁场需求领域。随着高温超导技术发展，超导磁体能够产生超高场强，叠加超导材料价格的逐步下降因素，凭借场强高、体积小、节能等优势，超导磁体可以利用其节能提效优势对民用化、高品质需求、节能化领域做到原有产品的替代升级，例如在工业：铝感应加热、MCZ（磁控直拉单晶硅生长炉）、磁选矿，污水分离设备，交通：磁悬浮列车等，将带动超导磁体大规模产业化应用。与此同时，在能源：紧凑型可控核聚变（托卡马克装置），特别是民营化领域，高温超导磁体可以满足因设备紧凑体积小，而产生的超强磁场需求，同时带来成本更低，研发周期更短的卓越优势。随着未来超导磁体商业化应用进程加快，长期内超导磁体在更多下游应用领域的渗透将不断加深。

第二节 超导磁体节能提效优势显著，商业化设备应用空间广阔

一、高温超导感应加热设备进入放量阶段

金属挤压成型之前需要预热，传统方式是采用工频炉或者燃气炉进行预热，高温超导感应加热设备由于其超导特性产生磁场无损耗，相较于传统加热方式具备损耗低、透热性好等优点，未来有望大规模替代传统加热设备。超导直流感应加热采用的接近零电阻的带材，超导线圈中功率损耗可忽略，超导感应技术可以通过调整锭料的速度和增大磁场的强度，增大涡流效应的透入深度以实现更均匀的幅向温度，相对于传统加热炉可以得到更深入、更均匀的轴向温度分布，使得加热更有效率，同时可以通过改变磁场的密度来进行加热温度的分布，进行梯度加热，实现不同部位的加热需求，从而实现高穿透性、高能效性、温度均匀性和梯度性灵活可控的全新高品质加热。

表3: 超导感应加热与传统工频感应加热性能对比

项目	常规交流感应加热	超导直流感应加热
示意图	<p>传统交流工频感应加热</p> 	<p>超导极低频感应加热</p> 
	<p>加热频率</p> <p>≥50Hz (≥3000rpm)</p>	<p>加热频率</p> <p>4-10Hz (240-600rpm)</p>
<p>穿透深度</p>	<p>≤2cm</p>	<p>≥10cm</p>
<p>加热效率</p>	<p>40%-45% 铜线圈损耗约50% 电气损耗约10%</p>	<p>80%-85% 电机损耗约为10% 制冷损耗约为5%</p>

联创光电全球首台兆瓦级高温超导感应加热设备，2023 年顺利开启批量化交付进程。联创光电高温超导感应加热设备加热速度快、效率高、节能省电、产品均匀性高，加热铝棒由 20℃ 至 403℃，用时 617 秒，仅为原加热时间的 1/54，总耗电量 68.95 千瓦时，能效 85.88%，表芯温差仅 3℃，加热均匀性良好。设备折合成每吨铝耗电量仅为 131.8 千瓦时，较之传统工频炉省电达 150 千瓦时，耗电量不及传统工频炉 50%。设备 2022 年投入生产、完成验收，并与广亚铝业等客户签订合作协议，标志着高温超导感应加热设备顺利实现市场 0-1 突破；2023 年 4 月 20 日成功投运，顺利开启批量化交付，目前在手订单超 60 台，本年度将交付十余台套设备。

高温超导铝感应加热设备具千亿级广阔市场。谨慎预计，全球范围现有直径 300mm 以上铝型材挤压机的加热炉替换及新增约 1400 台，航空铝合金、镁铝合金、钛合金等其他军工、航天领域金属压延成型设备约 200 台，将已有成熟超导熔炼加工、金属回收技术嫁接于上述行业，将孕育出不同系列产品，市场容量或达千亿级，应用前景极其广阔。

二、光伏级晶硅生长炉打开超导磁体新应用空间

N 型电池片产能大幅扩张，高品质要求带动超导磁体导入光伏级磁拉单晶硅领域。根据

SMM, 2022 年 Topcon 电池产能快速扩张, 目前已投产 49.4GW, 在建中的产能有 60.5GW, 预计 2023 年新增产能将达到 228.5GW, 带动上游 N 型硅片需求扩大。P 型电 池光电转换效率理论极限为 24.5%, 而 N 型电池片的理论极限高达 28.7%。但 N 型电池对硅片的质量要求更高、对硅片氧含量更敏感。TOPCon 高温过程较多, 易激发硅片内 的氧原子形成同心圆, 使电池片效率下降。常规降氧方式只能到 10ppm, 需要引入超导 磁场才能降至 7ppm 以下。

在硅棒生产环节增加超导磁场可以减少晶体材料里面的氧含量、提升晶体生长的 稳定性, 最终提升电池片光电转换效率至少 0.1%。在高温过程中, 硅溶液内部容易出 现热流动, 冲刷坩埚壁, 造成晶体里含有较多的氧, 后续加工过程中氧会沉淀形成杂质, 产生同心圆和黑芯片问题, 使 N 型电池片转换效率下降, 对于 N 型硅片, 杂质含量超 过 7ppm 之后, 缺陷会急速上升, 如 果使用传统降氧方法, 只能做到 10ppm, 超导磁体 产生的强磁场可以有效抑制热对流, 降低氧含 量, 使材料凝固液面更稳定, 缓解同心圆 和黑芯片问题, 提高材料纯度, 增加产品产能, 增加电 池片转换效率。同时, 引入超导 磁场提升拉晶良率和成晶率, 提升 10%单产以及延长石英坩埚寿 命。

超导磁控晶硅生长炉优势明显, 随着国内企业加速技术迭代、产品降本, 有望助力 超导磁体 规模化放量。当前光伏晶硅生长炉加装超导磁体主要有三重优势: 1) 降低硅 片含氧量, 提升最终 生产电池片光电转换效率 0.1%-0.8%; 2) 提升硅棒品质, 增加产出; 3) 延长晶硅生长炉坩埚寿 命, 由于加装超导磁场可以控制硅液对坩埚冲刷, 可有效延长 坩埚寿命。随着晶盛机电、联创光 电、连城数控等公司均积极展开超导磁体布局, “国 产化”叠加“规模化”趋势, 设备价格将有望下 降, 推进超导磁体在单晶硅生长炉领域 应用规模化放量。

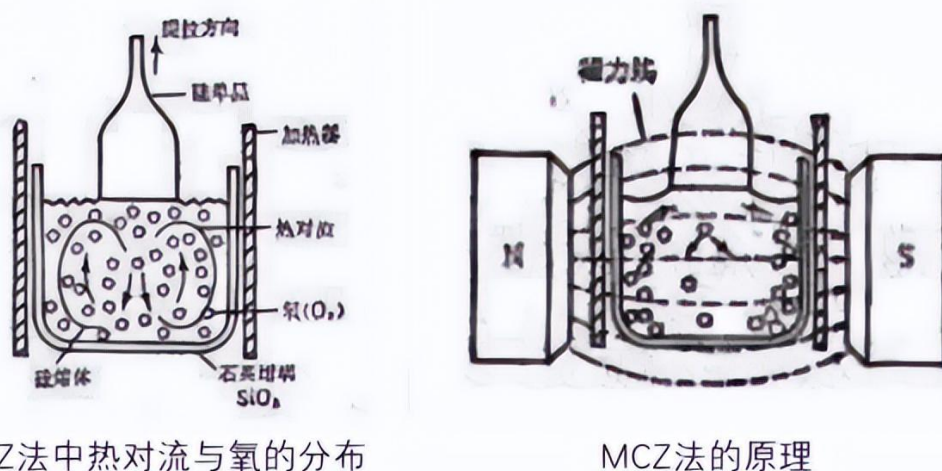
目前国内低温超导磁体与高温超导磁体生产企业, 均针对光伏晶硅生长炉应用加速 展开应用 布局。低温超导磁体领域, 连城数控推出 KX420PV N 型低氧单晶炉产品, 深 度掌握磁场模块(永 磁场、勾型磁场及水平磁场、超导磁场)用于光伏单晶生长的一系 列方案。晶盛机电于 23 年 5 月 发布的第五代单晶炉, 通过低温超导磁体方案解决 TOPCon 硅片的同心圆问题。截至 2023 年 6 月, 晶盛机电第五代光伏低氧单晶炉的单晶炉已签 订约 3500 台设备订单, 预计今年出货近 300 台超导磁场。高温超导领域, 联创光电晶 硅生长炉用高温超导磁体研发顺利, 预计 2024 年交付 第一批高温超导磁体不少于 50 台, 预计 2024 年到 2025 年, 合作客户硅单晶生长炉升级改造 对高温超导磁体的需求约 300 台。

三、半导体级晶硅生长炉中超导磁体国产替代加速

半导体级晶硅生长炉需要磁场抑制热对流、提升晶体品质。高集成度芯片发展使半 导体行业 对硅单晶材料提出尺寸与质量的要求。直拉法(CZ)可生成大尺寸硅单晶, 但 生长中产生热对 流, 边界层不稳定, 晶体易生杂质。晶圆尺寸越大, 芯片成本越低, 随 着生成单晶尺寸的加大, 热对流、温度梯度均匀性越发难以控制。太空微重力和磁场可 以有效抑制熔体对流, 但微重力下

晶体生成费用高，工艺复杂且周期长，所以采用引入磁场的方式，即磁控直拉单晶硅技术（MCZ）。熔体硅具有导电性，在磁场作用下，熔体流动必然引起感生电流从而产生洛伦兹力（ $F=qv \times B$ ）。在洛伦兹力的作用下，熔体内热对流得到抑制，熔体液面处的氧、点缺陷及其他杂质得到抑制。目前超导磁体广泛应用于 12 英寸半导体级晶硅生长炉以及少部分 8 寸晶硅生长炉。

图12: CZ 与 MCZ 法示意图



CZ法中热对流与氧的分布

MCZ法的原理

12 英寸半导体硅片需求不断增长，半导体级超导单晶硅生长炉国产化进程加速，高磁场要求促进高温超导开启规模化应用。在 5G、物联网、汽车电子、服务器等需求的带动下，国内 12 英寸半导体硅片市场持续向好，12 英寸单晶硅晶体生长设备需求不断扩大，集微咨询预计中国大陆 2022-2026 年将新增 25 座 12 寸英寸晶圆厂，新增 12 英寸硅片产能 2064 万片/年。2020 年国内半导体级超导单晶硅炉设备国产化率仅为 30%，主要由国外供应商日本住友、东芝、三菱等提供。目前西部超导实现 12 英寸直拉单晶硅超导磁体批量供应，晶盛机电子公司慧翔电液自产超导磁体，12 英寸 4000 高斯半导体单晶炉累计卖出 200 台。随着当前对大尺寸高品质单晶的需求不断增长，单晶硅炉对磁场强度的要求更高，高温超导可突破低温超导磁场强度上限，并且配套更小的制冷系统。当前高温超导带材价格正加速下降，随着国内联创光电为首的高温超导设备厂商加速相关应用研发，预计几年后高温超导磁体将在超导磁控单晶硅生长炉中开启规模化应用。

第三节 高温超导磁体突破磁场强度上限，加速可控核聚变装置建设

一、磁约束可控核聚变是聚变发电最佳路径

磁约束可控核聚变是目前实现可控核聚变的主流方式。可控核聚变，即一定条件下，控制核聚变的速度和规模，以实现安全、持续、平稳的能量输出的核聚变反应。有激光约束核聚变、磁约束核聚变等形式。具有原料充足、经济性能优异、使用安全、无环境污染等优势。实现可控核聚变反应点火，主要考察三个参数：1) 燃烧等离子体的温度，2) 等离子体的密度，3) 能量约束时间。当这三重参数乘积大于某一数值时，就意味着聚变反应可以维持进行，不需要外部能量输入实现自持燃烧，也称为聚变反应点火。可控核聚变实现路径有3种：引力约束、惯性约束和磁约束，目前主流商业发电核聚变方式是磁约束可控核聚变，主要利用氢的同位素氘—氚作为聚变燃料。

传统铜导体磁体约束核聚变很难产生正能量增益，低温超导磁体装置体积庞大、成本昂贵，商业化应用受限。运用铜导体线圈进行磁场约束，消耗的大量能量将超过核聚变产生的能量，同时需要过于庞大的冷却系统将产生的热量及时带走，因此铜线圈装置只能在较短时间内运行。超导线圈超导态下电阻几乎为零，消耗能量低，只有超导装置才能产生核聚变的正能量增益，实现稳态运行。起初装置运用传统铜导体，由于磁场强度低，只能通过提高装置体积来获得所需的聚变功率，聚变装置往往体积庞大，导致装置成本较为昂贵，限制其商业化推广与应用。

随着高温超导技术逐渐成熟，高温超导磁体相较于同体积下低温超导产生的磁场更强，可以实现更高的聚变功率密度，在同聚变功率下，高温超导托卡马克装置体积、重量更小，成本更加低廉，大幅缩短聚变装置研发周期，增加迭代速度，开启紧凑型可控核聚变商业化进程，美国CFS公司SPARC项目设计磁场 $B_0=12T$ ，等离子体大半径只有 $R=1.65$ 米，体积11立方米，是ITER的1/80，实验堆规划2025年完成，ARC设计磁场 $B_0=9.2T$ ，等离子体大半径 $R=3.3$ 米，体积140立方米，工程堆2030年实现聚变发电，研发周期大大缩短。可控核聚变项目从30年预期国际合作推动的巨额投资项目演变成了10年预期的风投热点项目。

高温超导磁体突破低温超导与常导磁体磁场强度上限，高场强高温超导磁体是未来紧凑型核聚变装置的最优选择。使用托卡马克装置建立核聚变反应堆，需要在一定空间内产生10T以上的两级磁场。高温超导在15T以上市场占据主导地位，相较于同体积下的低温超导产生的磁场更强，突破低温超导材料磁体磁场上限，推动了可控核聚变装置小型化与成本降低，成本的大幅降低点燃了市场对可控核聚变商业化的热情，越来越多的创业公司入局可控核聚变领域。2015年托卡马克能源公司就推出了世界首台完全高温超导磁体的托卡马克装置ST25，首次实现连续29小时输出等离子体，创下世界纪录。近几年新增的紧凑型、小型化托卡马克可控核聚变装置均采用高

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/385033112330011212>