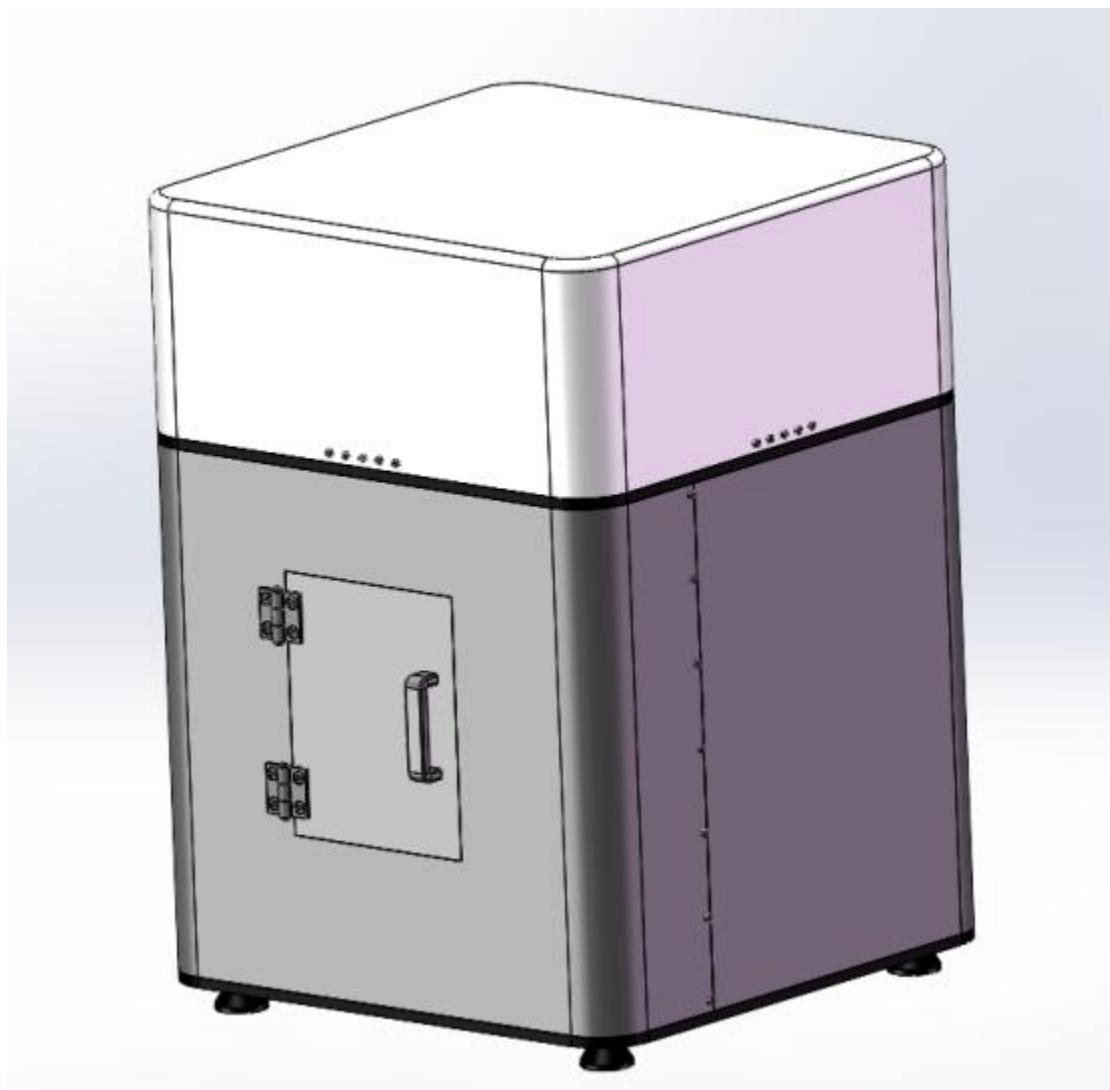


相变材料磁场参数可调实验装置

设计说明书



目录

一、 项目背景	4
1.1 行业发展与应用需求驱动	4
1.2 现有技术局限与实验装置缺口	5
二、 作品应用前景及方案总介绍	5
2.1 应用场景	5
(1) 科研领域应用场景总结	5
(2) 产业领域应用场景总结	5
(3) 新兴领域应用场景总结	6
2.2 方案总介	6
(1) XYZ 三轴精密移动	6
(2) 气缸驱动夹爪调节极靴	7
(3) 装置严格抗磁	9
三、 产品结构及功能	10
3.1 产品结构介绍	10
3.2 详细功能介绍	11

(1) 伺服电机驱动模块	11
(2) 伺服电机驱动夹爪	12
(3) 控制模块协同	12
(4) 协同配合调节极靴	14
四、工作流程	15
五、可行性分析	15
5.1 技术可行性分析	15
5.2 经济可行性分析	16
5.3 风险与应对策略	17
六、爆炸演示	18
七、未来展望	18
7.1 技术迭代：更高精度与智能升级	18
7.2 应用拓展：覆盖多场景需求	18
7.3 产业融合：构建生态体系	19

一、项目背景

1.1 行业发展与应用需求驱动

相变材料（PCM）作为一种能够在特定温度区间通过物态变化实现能量储存与释放的功能材料，已广泛应用于建筑节能、电子设备热管理、新能源储能、航空航天温控等关键领域。随着现代工业对材料性能精准调控需求的升级，传统相变材料存在的相变温度固定、相变潜热调控难度大、热响应速率不足等问题逐渐凸显。例如，在动力电池热管理中，夏季高温环境下相变材料需快速吸热降温，冬季低温时需主动释热保温，而现有材料难以根据环境动态调整相变特性；在电子芯片散热领域，不同工况下芯片发热量差异显著，固定参数的相变材料无法适配动态热负荷需求。

磁场作为一种清洁、无接触、可精准调控的外部激励手段，为相变材料性能优化提供了全新路径。研究表明，磁场可通过磁热效应、磁致伸缩效应、磁场诱导颗粒定向排列等机制，改变相变材料的相变温度、相变潜热、热导率等关键参数——如磁场作用下铁磁颗粒填充型复合相变材料的热导率可提升 30%–80%，相变温度可实现 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内的动态调节。这种磁场调控特性能够破解传统相变材料“参数固定”的技术瓶颈，满足多场景动态工况下的性能适配需求，成为相变材料领域的研究热点与技术突破方向。



图 1

1.2 现有技术局限与实验装置缺口

当前国内外关于磁场调控相变材料的研究多集中于基础机理探索，相关实验装置存在显著局限：

磁场参数调控能力不足：

现有装置多采用固定磁场强度的永磁体或简单电磁线圈，无法实现磁场强度（0–2T）、磁场频率（0–1kHz）、磁场方向（轴向 / 径向 / 交变）的连续可调，难以系统研究不同磁场参数对相变材料性能的影响规律；

测试系统集成度低：

相变特性测试（如差示扫描量热仪 DSC）与磁场发生装置相互独立，磁场环境下的温度场、热流密度等参数无法同步采集，导致实验数据准确性与完整性不足；

适用场景单一：

现有装置多针对特定类型相变材料（如有机相变材料、无机相变材料）或特定磁场形式（如静态磁场、交变磁场）设计，缺乏通用性，难以满足复合相变材料、纳米相变材料等新型材料的多样化实验需求；

操作与数据处理繁琐：

磁场参数调节、实验条件控制多依赖人工操作，数据采集与分析需借助多个独立设备，效率低下，且易引入人为误差。

二、作品应用前景及方案总介绍

2.1 应用场景

（1）科研领域应用场景总结

在科研场景中，该装置核心服务于相变材料基础机理探究与新型材料研发，是跨学科研的关键工具。针对相变材料磁场调控机理不明的问题，装置可通过精准调节磁场强度（0–2T）、频率（0–1kHz）及方向，同步采集材料相变温度、潜热等参数，助力科研人员揭示“磁场 – 微观结构 – 宏观性能”的关联规律，例如解析纳米复合相变材料的磁场诱导相变滞后机制，填补机理研究空白。同时，其通用性设计可适配有机、无机、纳米等各类相变材料，无需更换设备即可完成多类型材料的性能测试，大幅加速新型材料研发进程——以宽温域相变材料为例，能高效筛选敏感组分，将研发周期缩短 50% 以上。此外，装置还可支撑热力学、磁学与传热学的跨学科研究，如为“磁场调控热声转换”实验提供可控环境，为新型热声设备研发提供数据支撑。

（2）产业领域应用场景总结

产业场景中，装置聚焦于解决各行业对相变材料“动态适配”与“降本增效”的需求，成为技术落地的核心支撑。在新能源储能领域，针对动力电池不同工况下的温控需求，

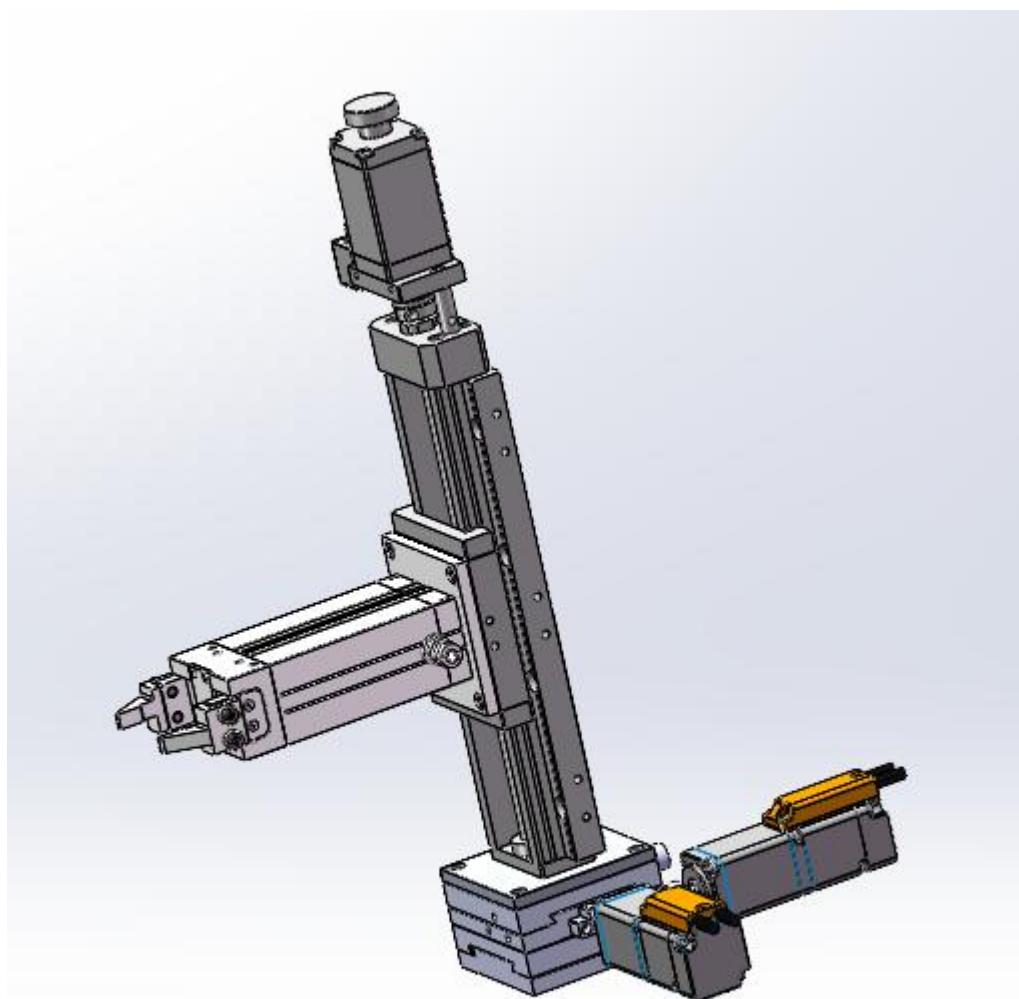
装置可优化相变材料的磁场响应特性，夏季通过交变磁场提升材料热导率 60%-80% 以快速散热，冬季诱导材料释热保障低温充放电，同时协助企业建立标准化测试体系，使电池循环寿命延长 30%、综合成本降低 20%。电子设备热管理领域，依托装置研发的智能响应型相变材料，可适配芯片、服务器的动态热负荷，低负载时保持低导热性减少热量散失，高负载时通过磁场触发导热性提升，助力数据中心散热能耗降低 25%，避免设备宕机风险。建筑节能领域，装置优化的相变材料可集成于墙体、门窗保温层，冬季白天借磁场固定储热状态，夜间释热维持室温，使建筑采暖能耗降低 40% 以上，并推动建材企业建立性能检测标准。航空航天领域，装置筛选的抗磁干扰相变材料，能在航天器复杂磁场环境中稳定温控，保障卫星电池阵能源供应，提升在轨运行可靠性。

（3）新兴领域应用场景总结

新兴领域中，装置推动“磁场 - 相变”技术开拓新场景，创造市场增量与民生价值。医疗健康领域，针对肿瘤热疗的精准性需求，装置优化的磁性相变材料可作为靶向热疗剂，借磁场引导聚集于肿瘤部位，再通过特定磁场参数触发相变释热（控温 42°C-45°C），避免损伤正常组织，助力微创热疗技术临床转化。智能穿戴设备领域，依托装置研发的柔性相变材料，可集成于手环、保暖服饰，运动时磁场触发材料吸热保持皮肤干爽，冬季户外诱导释热维持舒适温度，推动穿戴设备向“个性化温控”升级，开拓百亿级市场。冷链物流领域，装置优化的相变材料可制成智能保温箱，通过磁场预设相变温度（2°C-8°C 用于药品、-18°C 以下用于冷冻食品），运输中稳定维持目标温区，无需依赖电制冷或干冰，协助企业建立标准化测试流程，降低 30% 运输成本并减少环境污染。

2.2 方案总介

（1）XYZ 三轴精密移动



图二

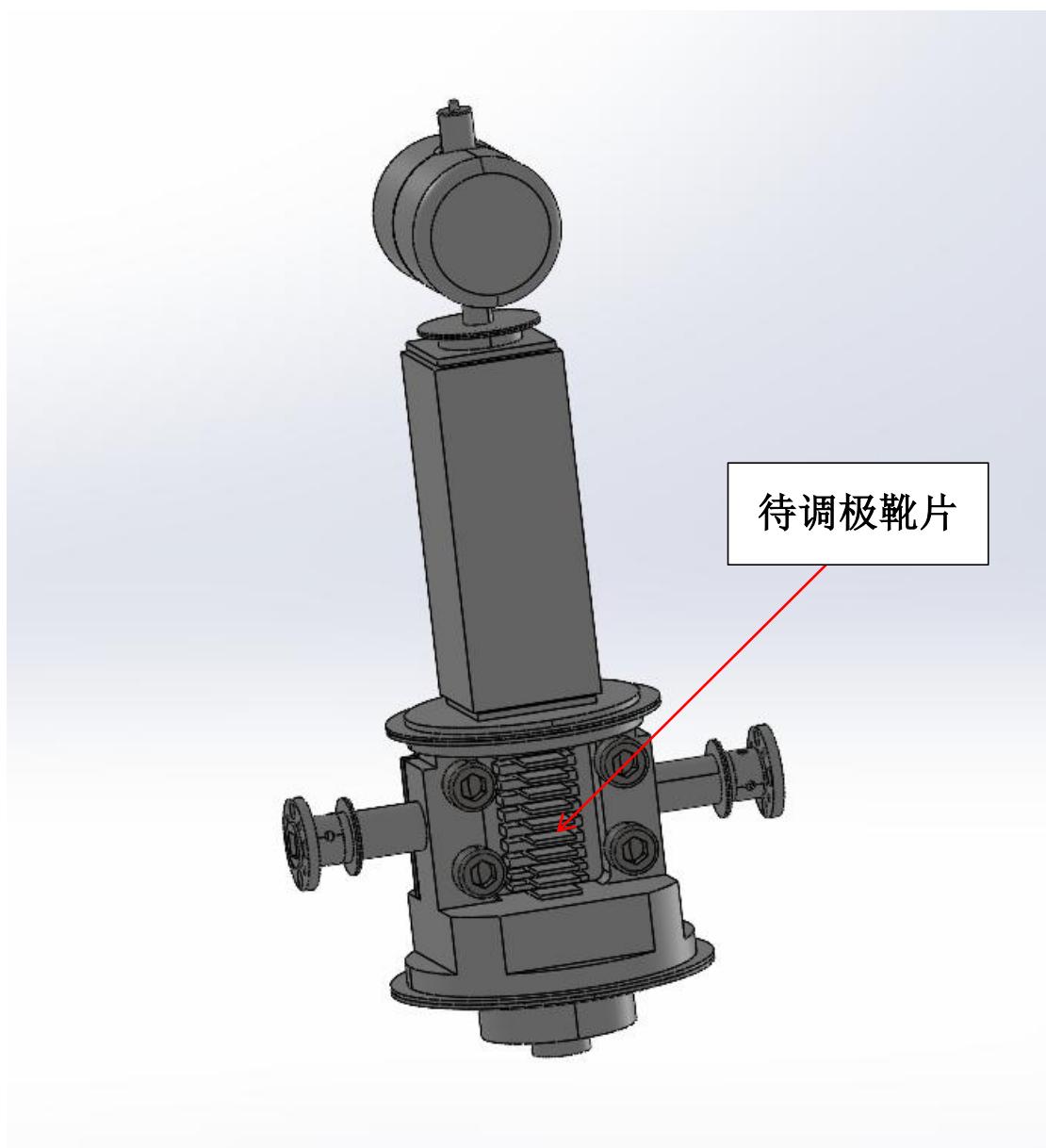
通过三轴高精度伺服电机驱动，实现夹爪模块的三向移动，三向可移动行程以及精度要求如下：

Z 轴行程：100mm，重复定位精度 $\leq \pm 0.01\text{mm}$ ，最小位移量 0.01mm；

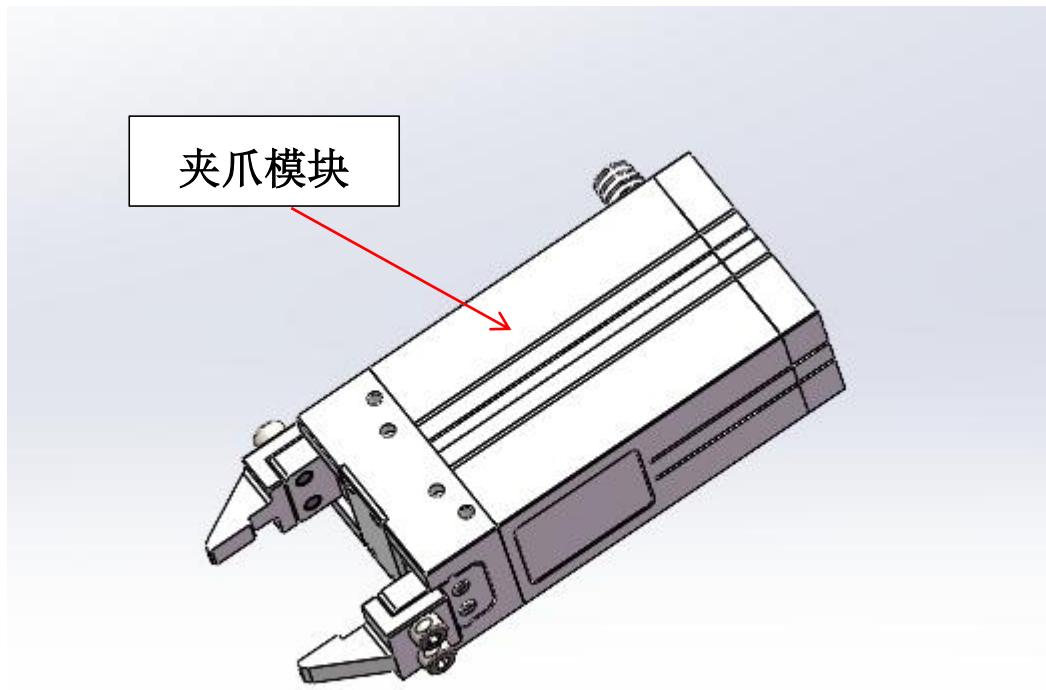
X 轴行程：30mm，重复定位精度 $\leq \pm 0.01\text{mm}$ ，最小位移量 0.01mm；

Y 轴行程：30mm，重复定位精度 $\leq \pm 0.01\text{mm}$ ，最小位移量 0.01mm；

(2) 气缸驱动夹爪调节靴



图三



图四

极靴调节夹爪是装置精准控磁的关键部件，核心用于稳定夹持锥形极靴并微调位置，直接影响样品测试腔磁场的均匀性与稳定性。其调节行程为 5mm，可精准控制极靴与样品间距，优化磁场聚焦效果，且行程、夹持力量均可调 —— 行程适配不同规格极靴，满足多场景磁场参数切换；夹持力可按需设定，避免损伤极靴、保障磁路完整。

此外，夹爪靠近极靴与样品的接触部件，均采用无明显磁性材料（如无磁不锈钢、工程塑料），能避免产生杂散磁场干扰聚焦磁场，确保样品区磁场纯净，保障测试数据准确，与装置防磁设计目标高度契合。

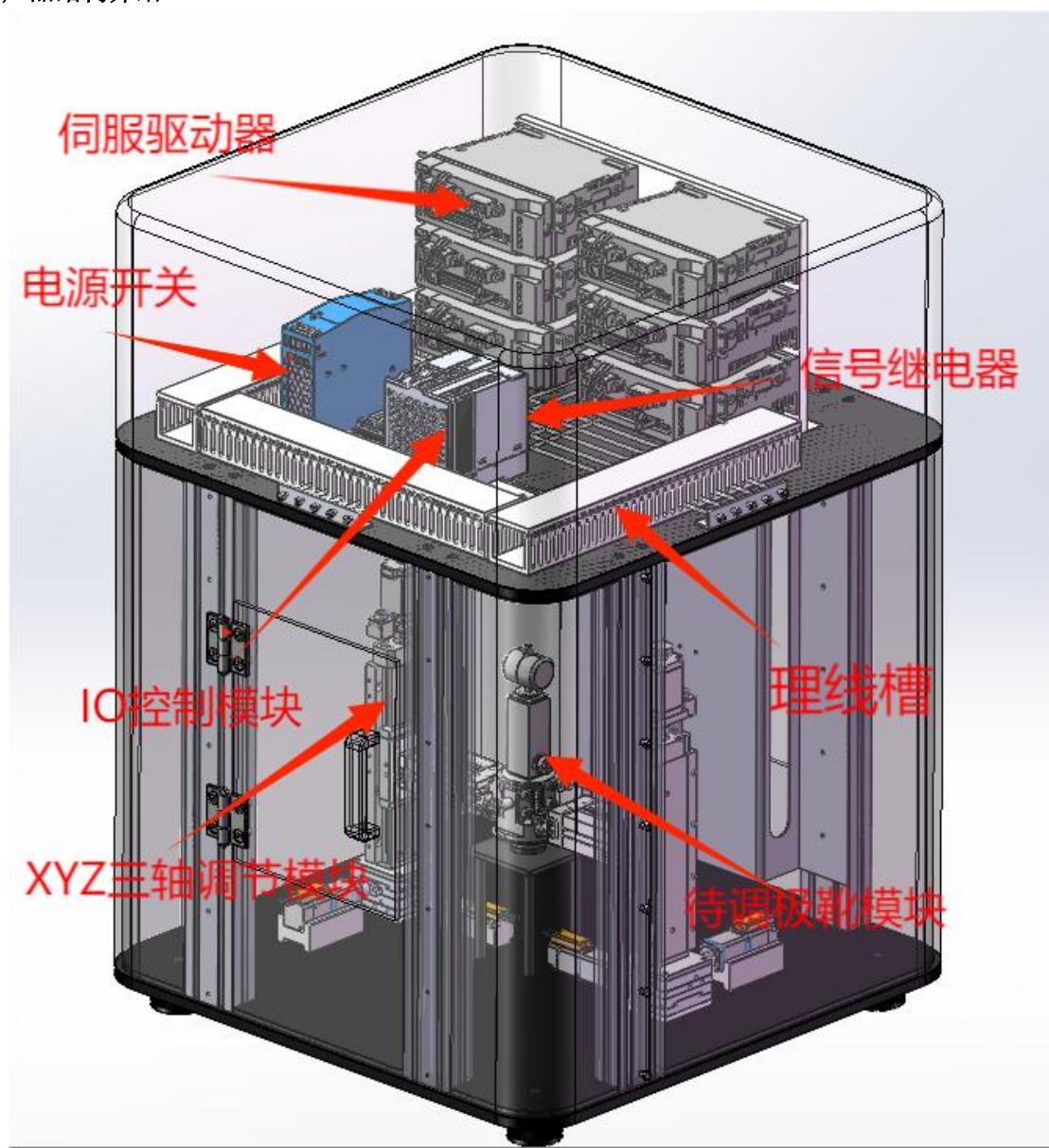
（3）装置严格抗磁

该装置严格防磁，防磁设计核心目标包括三方面：一是精准控磁，确保作用于相变材料样品的磁场参数（强度 0~2T、频率 0~1kHz）保持稳定，偏差控制在 2% 以内；二是漏磁管控，针对不同场景设定差异化标准，科研场景下核心测试区外漏磁需 $\leq 100\text{nT}$ ，产业场景下 $\leq 5\text{mT}$ ，同时装置外壳周边漏磁统一 $\leq 10\text{mT}$ ，避免对外部设备运行及人员安全造成干扰；三是兼容测试，防磁结构需与温度、潜热等参数的同步采集功能适配，不影响实验数据的准确性。在材料选型上，主屏蔽层采用含镍 80% 的高磁导率坡莫合金，其静态磁场屏蔽因子 ≥ 1000 ，对 1kHz 交变磁场的衰减率 $\geq 95\%$ ；针对 500Hz 以上的高频场景，增设纳米晶软磁

合金夹层以降低磁滞损耗，外围还搭配铜网利用涡流效应进一步衰减杂散磁场；接缝处则使用导电胶密封，确保缝隙漏磁衰减 $\geq 90\%$ 。结构设计按区域划分，核心的样品测试腔采用锥形极靴聚焦磁场，使样品表面漏磁 $\leq 1\text{mGauss}$ ，同时取放门设计为阶梯式搭接结构，关闭后可实现无缝屏蔽；过渡区域的磁场发生模块外包裹双层坡莫合金屏蔽筒，能在 5cm 距离内将 2T 磁场衰减至 0.002T 以下，且引线通过滤波套管引出，阻断磁场泄漏通道；外围的装置外壳则按场景调整，科研场景采用“坡莫合金 + 硅钢”复合屏蔽，产业场景为平衡成本与防护需求，采用塑胶外壳搭配单层金属罩。

三、产品结构及功能

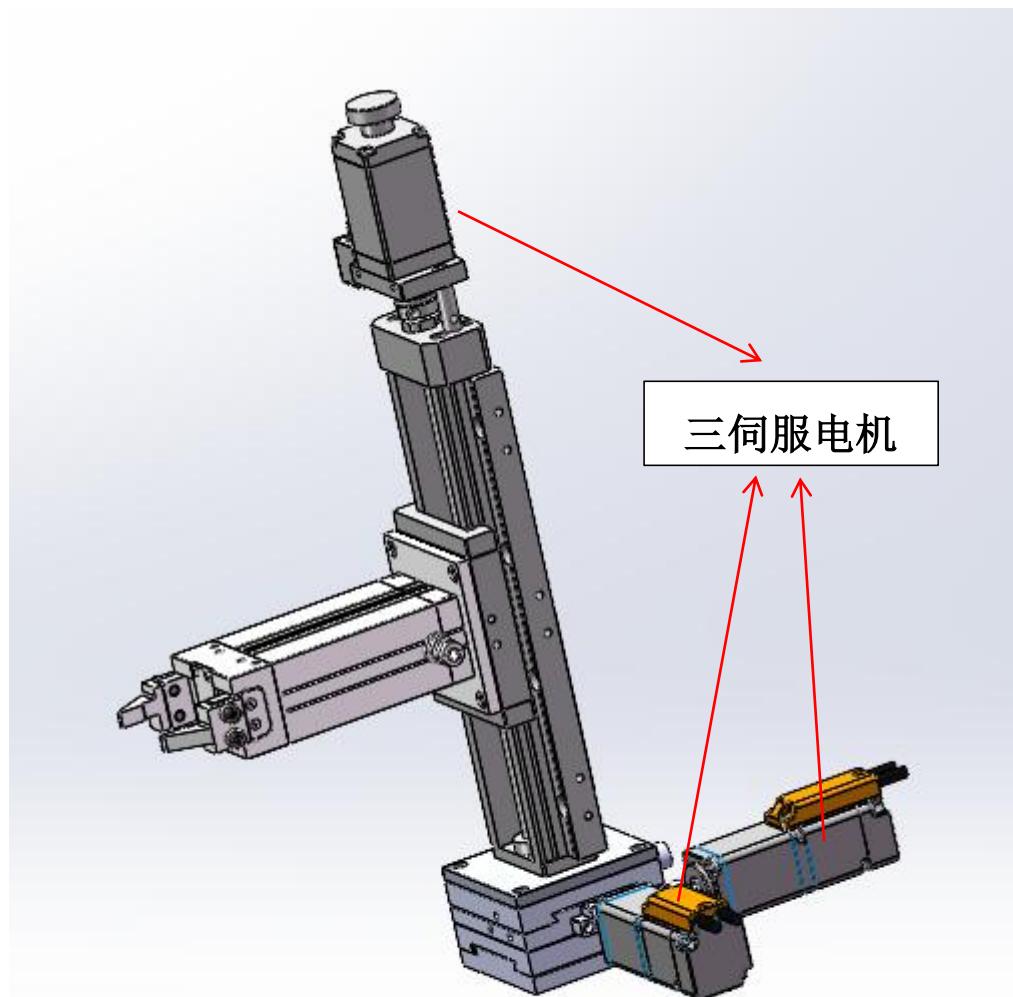
3.1 产品结构介绍



图五

3.2 详细功能介绍

(1) 伺服电机驱动模块

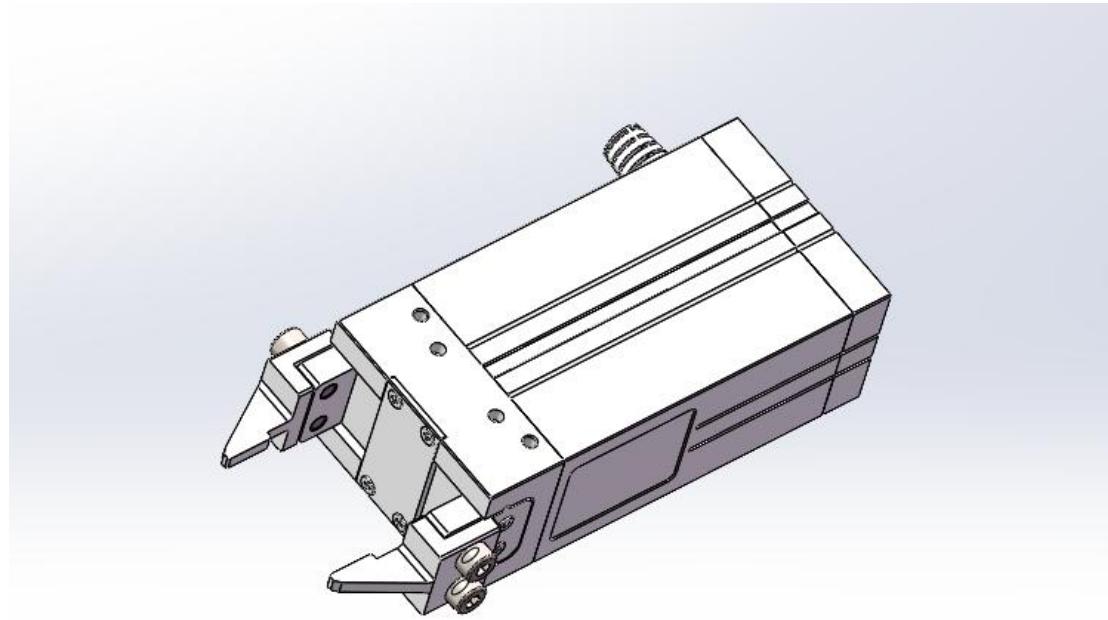


图六

夹爪模块采用三轴高精度伺服电机协同驱动的核心设计方案，通过伺服电机与高精度传动机构的深度适配及闭环控制逻辑，可稳定实现 X、Y、Z 三个方向的独立灵活移动，精准匹配精密制造场景下的高精度作业需求。为确保定位精度与作业覆盖范围的平衡，各轴移动参数经过严格优化设定：其中 X 轴与 Y 轴的有效移动行程均为 30mm，能够满足水平方向上不同间距的工位切换与精准对位；Z 轴有效行程拓展至 100mm，可适配不同高度的产品抓取、放置及作业深度需求，大幅提升模块的作业适配性。值得强调的是，三向移动均具备超高精度性能，重复定位精度严格控制在 $\leq \pm 0.01\text{mm}$ 的严苛范围内，且最小位移量可达 0.01mm，

配合伺服电机的高速响应特性与传动机构的低 backlash 设计，能够有效抵消机械间隙带来的误差，充分保障夹爪模块在连续作业过程中的定位准确性、动作精细度与运行稳定性，为后续高精度夹持、搬运等核心工序提供可靠的运动基础。

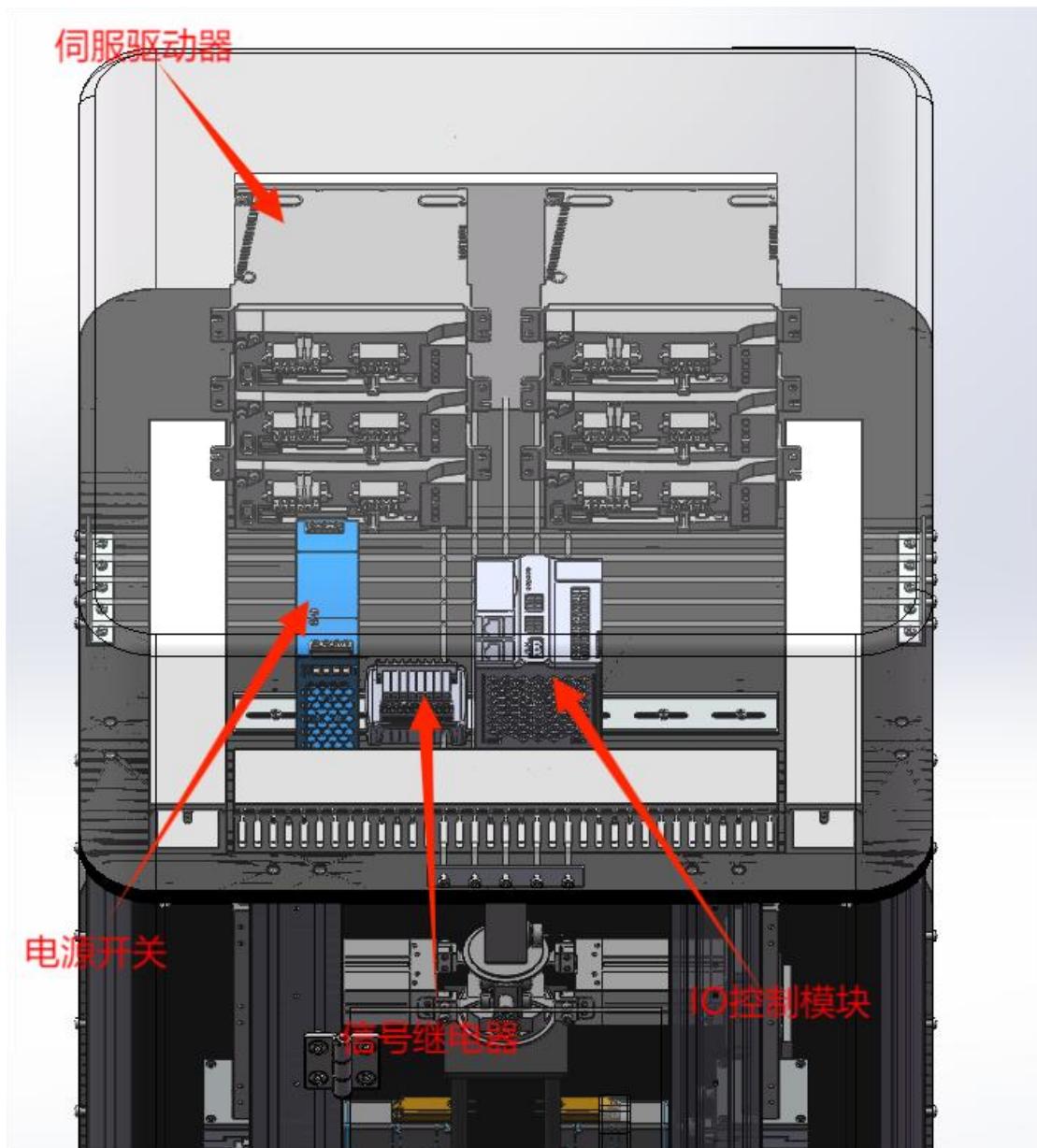
（2）伺服电机驱动夹爪



图七

为满足精密作业场景的夹持需求，夹爪单元在结构设计上重点优化了行程调节与材质适配性能。夹爪的有效夹持行程设定为 5mm，该行程参数经过工况适配设计，既能覆盖目标产品的夹持尺寸范围，又能通过精细化调节机制实现行程量的灵活适配，可根据不同规格零部件的夹持需求精准调整开合幅度，提升设备的通用性。同时，夹爪配备了可调节式夹持力量控制模块，操作人员可依据产品材质硬度、结构强度等特性，在安全范围内精准设定夹持力度，既能保证夹持的稳定性，有效避免作业过程中出现产品滑落、位移等问题，又能防止因夹持力过大导致产品表面划伤、变形等损伤，充分保障产品加工质量。此外，夹爪靠近产品的关键接触零部件，均采用无明显磁性的优质材料加工制成，可有效避免磁性吸附对产品（尤其是含磁性敏感元件的零部件）造成的性能干扰或表面污染，确保作业过程的安全性与产品的完整性，适配更多精密制造场景的使用需求。

（3）控制模块协同

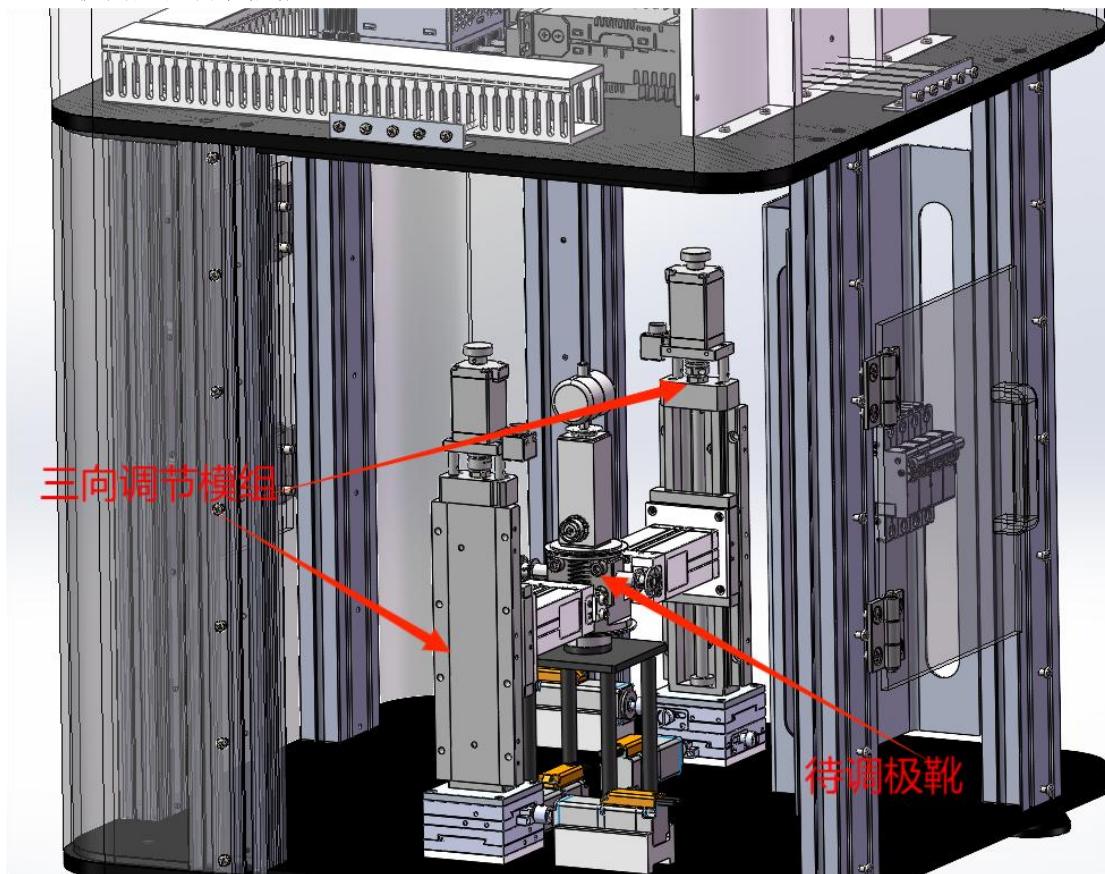


图八

该控制模块通过伺服驱动器、电源开关、信号继电器与 IO 控制模块的深度协同，构建起一套完整的控制体系，为两组 XYZ 三向导轨的精准操控及夹爪模块的三向高精度移动提供关键支撑。电源开关作为电力供给的核心节点，负责控制模块的整体电力通断，为伺服驱动器、信号继电器、IO 控制模块的稳定运行提供基础能源保障；伺服驱动器以其精准的动力输出特性，直接驱动三轴伺服电机，从而实现 X、Y、Z 轴的高精度移动（重复定位精度 $\leq \pm 0.01\text{mm}$ ，最小位移量 0.01mm），为夹爪的三向运动提供可靠动力；信号继电器在其中承担信号中转与放大的关键角色，确保 IO 控制模块与伺服驱动器、外部设备间信号交互的及时性与准确性，有效避免信号衰减或延迟对控制精度的影响；而 IO 控制模块则作为整个系统的“神经中枢”，一方面接收外部作业指令，另一方面

实时反馈设备运行状态，通过对这些信息的整合与处理，协调电源开关的供电逻辑、伺服驱动器的动力输出以及信号继电器的信号传输，使各模块形成闭环控制逻辑。如此一来，从电力供给到动力输出，从信号传输到逻辑控制，各模块环环相扣、协同发力，最终实现对两组 XYZ 三向导轨的精准操控，为夹爪模块在精密作业场景下的三向高精度移动提供了稳定且可靠的控制保障。

(4) 协同配合调节极靴



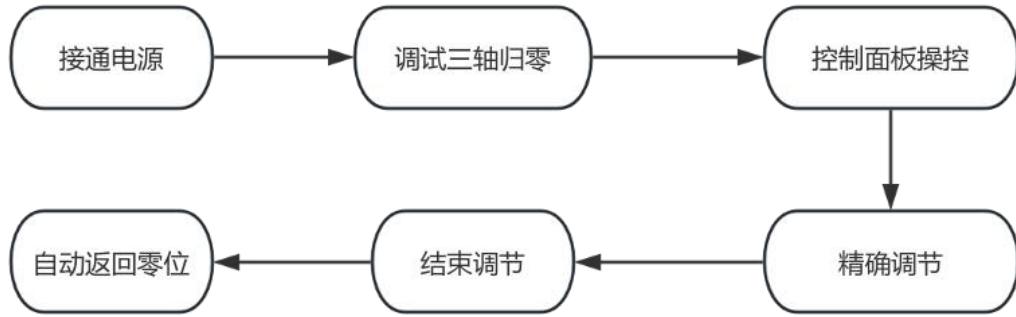
图九

为实现对待调极靴的精准调节，该系统采用**两组相对位置的三向调节模块与集成化控制模块协同配合的设计方案，通过机械运动与控制逻辑的深度融合，满足极靴调节的高精度需求。三向调节模块以三轴高精度伺服电机为动力核心，分别实现 X、Y、Z 三向移动：X 轴与 Y 轴行程均为 30mm，Z 轴行程为 100mm，三向重复定位精度 $\leq \pm 0.01\text{mm}$ 且最小位移量达 0.01mm，可对极靴在三维空间内进行精细化位置调整。配套的控制模块集成伺服驱动器、电源开关、信号继电器与 IO 控制模块，其中电源开关为系统提供稳定电力保障；伺服驱动器精准驱动调节模块的伺服电机，输出高精度动力；信号继电器保障控制信号的稳定传输；IO 控制模块作为“神经中枢”，接收调节指令、反馈设备状态，协调各模块形成闭环控制逻辑。

在极靴调节作业中，IO 控制模块接收外部调节指令后，通过信号继电器将指令传

输入至伺服驱动器，驱动三向调节模块的伺服电机动作，带动极靴在 X、Y、Z 方向实现精准位移；同时，系统实时反馈位置信息，由 IO 控制模块进行偏差修正，确保调节精度。两组相对位置的三向调节模块可根据极靴的结构与调节需求，从不同方位同步或独立进行位置适配，最终实现对待调极靴在三维空间内的多维度、高精度协同调节，满足精密制造场景下极靴调节的严苛技术要求。

四、工作流程



五、可行性分析

5.1 技术可行性分析

(一) 机械结构与防磁设计

装置在机械结构与防磁设计上充分兼顾实用性与专业性，主体框架采用全防磁材质打造，优先选用无磁不锈钢（如 304 无磁型）、高强度工程塑料（如 PEEK、PTFE）等低磁导率材料，这类材料不仅具备良好的结构强度与抗老化性能，更能从材质本质上避免自身产生磁性干扰。针对直接接触实验样品及核心调节部件的关键组件，如夹爪的接触端、三向调节模块的传动结构等，均严格筛选无明显磁性的加工材料，彻底杜绝因部件磁性导致的磁场分布畸变，保障实验数据的准确性。同时，为进一步强化防磁效果，装置采用“材质隔离 + 密封屏蔽”的双重防护方案，在实验腔体与外部环境的衔接处采用磁密封工艺，搭配多层屏蔽结构设计，有效阻挡外部环境磁场侵入实验空间，内部则通过部件布局优化减少磁场相互干扰，最终实现实验区域的严格磁屏蔽，完全满足相变材料在磁场环境下性能测试对无磁环境的核心需求，为实验数据的可靠性提供基础保障。

(二) 运动控制与精度保障

运动控制系统是实现磁场参数精准调控的核心，装置采用三轴高精度伺服电机协同驱动的三向调节模块，其参数设计经过多轮工况适配优化：X 轴与 Y 轴有效行程均设定为 30mm，可满足极靴在水平平面内不同间距的精准对位与磁场分布微调；Z 轴有效行程拓展至 100mm，能够适配不同厚度样品的测试需求及极靴与样品间距离的大范围调节，大幅提升装置的实验适配性。在精度控制方面，三向移动的重复定位精度严格控制在 $\leq \pm 0.01\text{mm}$ 范围内，最小位移量可达 0.01mm，这一精度水平完全满足相变材料磁场参数调控的精细化要求。为保障运动稳定性，配套的集成控制模块整合了高性能伺服驱动器、IO 控制模块、信号继电器等核心组件，其中伺服驱动器具备高精度位置环与速度环控制功能，可实时响应控制指令并驱动电机精准动作；IO 控制模块作为逻辑核心，通过闭环控制逻辑实时采集电机编码器反馈的位置信号，与预设指令进行偏差对比并动态修正，有效抵消机械间隙、负载波动等因素带来的误差，确保极靴等关键部件的位置调节精度始终稳定在设定范围内，为磁场参数的精准调控提供可靠的运动控制支撑。

（三）功能模块协同性

装置各功能模块通过深度集成与逻辑协同，构建起完整的实验流程闭环，确保“样品处理 — 磁场调控 — 实验测试”的高效衔接。夹爪模块作为样品夹持核心，设计有 5mm 的有效夹持行程，且配备可调节式夹持力量控制单元，操作人员可根据相变材料样品的材质硬度、结构强度及尺寸规格，精准设定夹持力度，既能保证样品在实验过程中的稳固性，避免因磁场调节或设备运行产生的振动导致样品位移，又能防止夹持力过大造成样品表面损伤或结构变形，充分保障样品的完整性。三向调节模块与极靴结构精准适配，通过伺服电机的协同驱动，可实现极靴在三维空间内的任意位置调节，进而改变实验区域的磁场强度、分布形态等关键参数，满足不同实验工况的参数需求。各模块的协同动作由集成控制模块统一调度，IO 控制模块接收外部实验指令后，通过信号继电器将指令精准传输至伺服驱动器、夹爪控制单元等执行部件，同时实时采集各模块的运行状态数据（如夹爪夹持状态、极靴位置信息、磁场参数反馈等），并根据反馈信息动态调整控制逻辑，实现“样品夹持 — 磁场参数调节 — 实验数据采集 — 参数优化修正”的全流程自动化运行，技术路径清晰且成熟，完全具备实际落地可行性。

5.2 经济可行性分析

（一）成本可控性

装置的成本控制从核心部件选型、结构设计、长期使用效益三个维度实现科学管控。在核心部件采购方面，伺服电机、集成控制模块、防磁材料等关键组件均选用市场成熟的工业级产品，这类产品经过长期市场验证，性能稳定且采购渠道透明，可有效降低部件采购成本与质量风险；同时，通过批量采购、供应商战略合作等方式，进一步压缩采购环节的成本空间。在结构设计上，装置采用模块化设计理念，将机械结构、控制模块、夹持系统等划分为独立的功能模块，可根据不同用户的实验需求（如磁场强度范围、样品规格、测试项目等）

灵活配置模块组件，避免不必要的功能冗余，显著降低定制化开发成本。从长期使用效益来看，装置的高精度与稳定性可有效减少因实验误差导致的重复实验、样品损耗等额外投入，大幅提升科研工作效率；同时，模块化结构便于后期维护与部件更换，降低设备的运维成本，延长使用寿命，整体具备成本投入与效益产出的长期合理性，无论是科研机构的实验室配置，还是企业的研发测试需求，均能实现良好的成本控制效果。

（二）市场与应用价值

当前，相变材料作为能源存储、热管理、航空航天等领域关键材料，其研究热度持续攀升，高校、科研院所及新能源、电子制造等相关企业对专用实验装置的需求日益迫切。现有市场上的实验设备多存在功能单一、磁场参数调控精度不足、防磁效果不佳等问题，难以满足相变材料磁热特性研究的精细化需求，市场存在明显的供给缺口。本装置凭借“磁场参数可调 + 严格防磁”的核心差异化优势，精准填补了这一市场空白，其应用场景覆盖相变材料的基础研究（如磁场对相变温度、潜热的影响机制）、产品研发（如磁响应型相变材料的性能优化）、质量检测（如工业级相变材料的磁场稳定性测试）等多个领域，用户群体广泛且需求刚性。在商业化潜力方面，装置可通过技术转让、整机销售、定制化开发、实验测试服务外包等多种模式实现价值变现：针对高校和科研院所，可提供标准化实验装置及定制化改装服务；针对企业用户，可结合其具体生产研发需求，开发专属实验平台并提供技术支持；同时，依托装置的高精度测试能力，可开展第三方实验测试服务，进一步拓展盈利渠道。随着相变材料应用领域的不断拓展，市场对专用实验装置的需求将持续增长，本装置的市场前景广阔，经济回报预期良好。

5.3 风险与应对策略

（一）技术风险

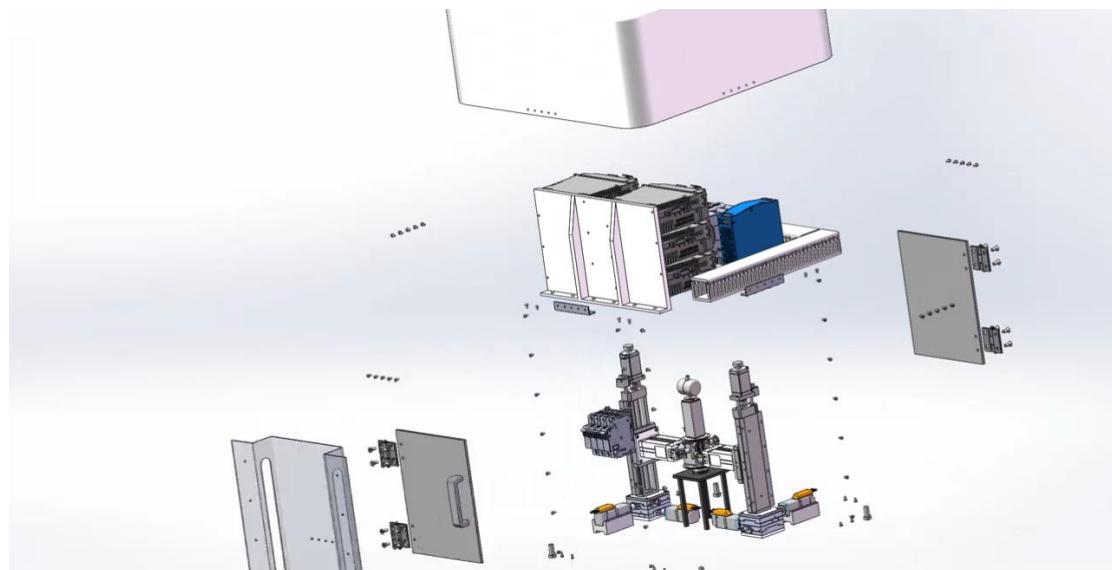
装置面临的核心技术风险为防磁密封工艺处理不当导致的磁干扰残留，这将直接影响实验数据的准确性。为有效规避这一风险，在设计阶段引入磁屏蔽仿真分析技术，利用专业电磁仿真软件（如 Ansys、COMSOL）对装置的结构布局、材料选型、密封方式等进行仿真模拟，预测可能存在的磁泄漏点并优化结构设计，例如采用“内层防磁材质 + 中层屏蔽网 + 外层密封罩”的多层次屏蔽结构，强化关键区域的防磁效果。在加工制造阶段，严格把控防磁材料的质量检测，对所有关键部件进行磁导率测试，确保材料符合防磁标准；同时，选用成熟的磁密封工艺，由专业技术团队进行施工操作，避免因工艺缺陷导致的磁泄漏。在装置完成后，委托第三方权威检测机构进行磁干扰测试，采用高精度磁场测试仪对实验区域及周边环境的磁场强度进行全面检测，确保实验空间的磁场干扰值低于实验要求的阈值，只有通过检测认证的装置方可投入使用，从设计、制造、检测全流程保障防磁效果。

（二）实施风险

实施过程中可能面临的主要风险为多模块协同控制的逻辑冲突，如 I/O 控制模块的指令传输延迟、伺服电机与夹爪动作不同步、磁场参数反馈与调节逻辑不匹配等，这些问题可能

导致实验流程中断或实验精度下降。针对这一风险，在开发阶段搭建专门的模拟测试平台，构建与实际装置一致的硬件环境与控制逻辑，对控制程序进行全场景、长周期的调试优化。通过编写细分工况的测试用例（如不同磁场参数下的调节响应、样品夹持与磁场调节的协同动作、突发故障的应急处理等），反复测试各模块的协同性能，及时发现并解决逻辑冲突、指令传输延迟等问题；同时，引入冗余设计与容错机制，在控制程序中设置异常检测模块，当出现模块动作不同步或信号传输异常时，系统可自动触发暂停指令，并反馈故障信息，便于操作人员及时排查。此外，装置预留了系统升级接口与模块化扩展槽，后期可根据用户反馈及技术发展趋势，对控制程序进行迭代优化，对功能模块进行升级拓展，确保装置的长期稳定运行与性能提升，有效降低实施过程中的风险隐患。

六、爆炸演示



七、未来展望

7.1 技术迭代：更高精度与智能升级

未来将以“精度突破 + 智能赋能”为核心升级方向。精度上，引入纳米级位移控制技术，把三向调节重复定位精度提升至 $\pm 0.005\text{mm}$ 内，同时升级磁屏蔽材料并结合主动消磁技术，将实验区域背景磁干扰降至 10nT 以下，适配量子级相变材料研究需求。智能化方面，集成AI算法与多传感器（磁场、温度、应力），建立“磁场 - 相变”关联模型实现参数自动优化，同步开发远程控制与云端数据共享平台，提升科研效率。

7.2 应用拓展：覆盖多场景需求

从基础科研向产业、特殊场景延伸应用边界。科研领域，适配低温（ -196°C 至 300°C ）、多组分复合相变材料实验，开发专用夹持模块与低温腔体；产业领域，针对新能源电池、5G

设备散热场景，推出工业化定制版装置，提供“研发 - 检测 - 量产”全链条支撑；同时探索航天场景，开发轻量化、抗振动的便携装置，满足航天器相变热控模拟需求。

7.3 产业融合：构建生态体系

突破单一设备研发，推动装置与产业链深度融合。一方面联合核心部件厂商建立协同研发体系，推进国产化替代以降本提效；另一方面依托实验数据搭建行业数据库与技术平台，提供数据共享、定制方案等服务，形成“设备 + 数据 + 服务”的多元盈利模式；同时参与行业标准制定，推动防磁、精度等指标规范化，提升市场竞争力。