

离线实验平台接口文档

2026 年 01 月 29 日

1 概述

离线实验平台是光束线热管理系统的重要基础设施，其核心目标是为高热载光学元件的冷却技术研究提供一个可控、可重复、可量化的实验环境。面对新一代衍射极限光源（DLSR）与自由电子激光（FEL）所带来的极高热流密度和严苛面形稳定性要求，该平台围绕当前主流冷却技术路线进行设置，以支撑从基础研究到工程验证的全链条实验需求。

本次拟采购的离线实验平台包括离线实验腔体、干涉仪调节台以及激光测量与防护装置，如图 1-1 所示，整个实验平台放置于光学平台上。乙方需根据甲方要求进行详细工艺设计，经甲方同意后，可开展加工、装调工作。

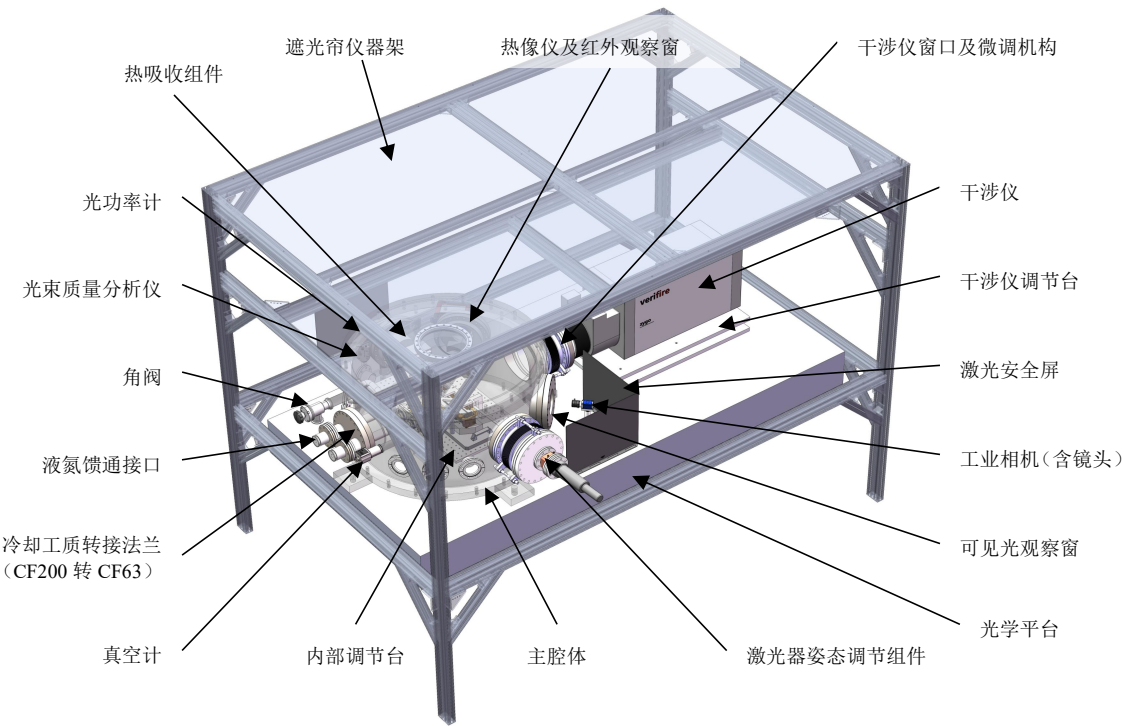


图 1-1 离线实验平台示意图

2 采购情况

离线实验平台的甲供部件清单如表 2-1 所示，乙供部件清单如表 2-2 所示。

表 2-1 甲供部件清单

部件	规格	数量	说明
冷却工质转接法兰	CF200 转双 CF63	1 个	安装于“离线实验腔体”
液氮馈通接口	fmb 配套接口	2 个	配套 fmb 液氮循环冷却机组
热像仪	2 kg, M6 固定孔	1 个	固定于红外观察窗外
干涉仪	45kg	1 个	放置于干涉仪调节台上
光学平台	2.4 m×1.2 m, 不锈钢	1 个	用于承载离线实验平台

表 2-2 乙供设备、部件主要技术参数及供货清单

离线实验平台主要技术参数			
	指标		参数值
离线实验腔体	极限真空度		≤0.1 Pa;
	内部尺寸		≥内径 800 mm×高 500 mm;
	冷却工质		水、液氮
	内部调节台	尺寸	680 mm×380 mm×100mm（L×W×H）±5%
		载荷	≥50 kg;
		绕腔体中心轴转动	≥±2° ；
		沿 z 轴平移	≥±5 mm;
	激光器姿态调节组件	绕腔体中心轴转动	≥0~6° ；
		水平调节	≥±1° ；
		光阑开口尺寸	入瞳：12 mm×12 mm； 出瞳：10.5 mm×5.2 mm 和 3.5×3.5 mm；
干涉仪调节台	尺寸（L×W）		800 mm×500 mm ±5%;
	载荷		≥50 kg;
	高度调节范围		≥±30 mm;
	绕腔体中心轴转动		≥±2° 。
离线实验平台设备、部件供货清单			
配件名称	数量	单位	规格、参数
主腔体	1	套	内部尺寸≥内径 800 mm×高 500 mm，真空、电信号接口、光学窗口接口、冷却工质接口等，详见表 3-1；
红外观察窗	1	套	CF200，含无氧铜密封圈，通光尺寸≥80 mm，厚度≥5 mm，详见表 3-2；
干涉仪窗口及微调机构	1	套	CF200，含无氧铜密封圈，通光尺寸≥160 mm，厚度≥20 mm，

			调节行程 $\geq \pm 1^\circ$ ，详见表 3-2；
可见光观察窗	1	套	CF200，含无氧铜密封圈，通光尺寸 ≥ 160 mm，详见表 3-2；
电信号接口法兰	4	套	CF63，含无氧铜密封圈，DB25 电信号接口，含真空内接头及配套插针；
水冷管路	1	套	进、出两路水管路。每路包括冷却水转接口（CF63 转 CF35，CF63 法兰上含内径 6 mm 外径 8 mm 的冷却水接口和 KF25 抽真空接口）及双层管路（外管波纹管，长 ≥ 500 mm，双端 CF35；内管透明聚四氟乙烯，内径 6 mm，外径 8 mm，长 ≥ 500 mm，双端带 Swagelok 卡套接头及配套螺母、密封圈）；
液氮管路	1	套	进、出两路液氮管路。每路管路两端密封接口为 6LV-8-VCR-3-6TB7（适配已有零件接口）及配套螺母、密封圈；管路兼容高真空，内部有纤维编织网，长 ≥ 500 mm；
真空计	1	套	KF25，含卡箍、密封圈，量程 $\geq 1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^5$ Pa，带显示屏；
角阀	1	套	KF40，含卡箍、密封圈；
波纹管	1	套	KF40，含卡箍、密封圈，长度 ≥ 1500 mm；
CF63 盲板	6	套	CF63，含无氧铜密封圈；
CF200 盲板	2	套	CF200，含无氧铜密封圈；
内部调节台	1	套	尺寸 680 mm $\times$ 380 mm $\times$ 100mm（L $\times$ W $\times$ H） $\pm 5\%$ ，平移及绕腔体中心调节，载荷 ≥ 50 kg，表面 M6 安装孔，25 mm $\times$ 25 mm 间距；
热吸收组件	1	套	CF200，水冷吸收体尺寸 ≥ 100 mm $\times$ 70 mm $\times$ 30 mm，含无氧铜密封圈；
激光器姿态调节组件	1	套	水平及绕腔体中心调节，水冷光阑入瞳：12 mm $\times$ 12 mm，水冷光阑出瞳：10.5 mm $\times$ 5.2 mm 和 3.5 $\times$ 3.5 mm；
可调光束尺寸准直镜	1	套	FWHM 调节范围（mm） ≥ 0.9 -8.0，发散角(mrad) ≤ 0.1 ，效率 $> 96\%$ ，安装接口：CF63，激光器接口：适配 G4.2 QBH 接头；
干涉仪调节台	1	套	尺寸（L $\times$ W）：800 mm $\times$ 500 mm $\pm 5\%$ ，高度及绕腔体中心调节，载荷 ≥ 50 kg；
光束质量分析仪	1	套	像素 $\geq 2048 \times 2048$ ，波长响应范围： $\geq 1050 \sim 1090$ nm，含采集线缆和 PC 软件；
光功率计	1	套	水冷、最大平均功率 ≥ 2000 W，波长响应范围：1050~1090nm，着光面尺寸 $\geq \phi 20$ mm，含采集线缆和 PC 软件；
镜头	1	套	50mm 焦距；
叉块	5	个	适用于直径 38 mm 底座式接杆；

底座式挠性接杆支架	3	个	夹持直径 25 mm 接杆，H=100 mm；
带基座接杆	3	个	长 200 mm， $\varnothing 25$ mm，顶部 M6 孔；
激光护目镜	3	个	OD ≥ 7 ，防护波段 ≥ 1000 -1100 nm；
遮光帘	1	套	用于长 2.4 m，宽 1.2 m 光学平台，黑色，五面遮挡；
遮光帘仪器架	1	套	用于长 2.4 m，宽 1.2 m 光学平台，铝型材；
磁性光束高度尺	2	个	高 ≥ 300 mm，宽 ≥ 40 mm，底部带磁铁；
磁性光束高度尺安装架	2	个	90° 角安装，手拧螺丝锁紧；
激光安全遮挡板	2	块	高 ≥ 300 mm，宽 ≥ 75 mm，表面处理：黑色阳极氧化，底部带磁铁；
激光安全屏	3	块	高 ≥ 300 mm，宽 ≥ 400 mm，表面处理：黑色阳极氧化，底部带安装孔；
工业相机（含镜头）	1	套	分辨率 $\geq 2048 \times 2048$ ，接口 GigE PoE；镜头视场 $\geq 15^\circ \times 13^\circ$ ，焦距 25 mm，工作距离 ≥ 300 mm；
备品备件	1	套	密封圈、螺钉、螺母、卡套、标准紧固件按图纸要求数量的 20% 提供备件。

3 详细设计

坐标轴约定，如图 3-1，圆心位于真空腔内部底板中央。

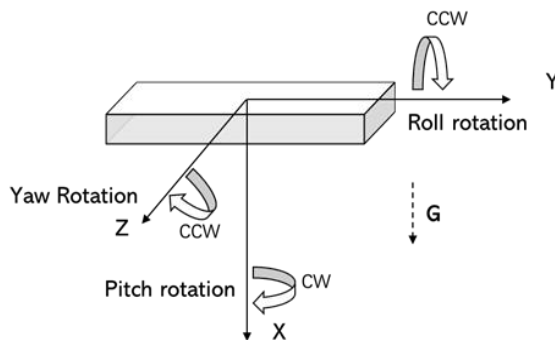


图 3-1 坐标轴示意图

3.1 离线实验腔体

该腔体是开展实验的核心，具备真空密封、电信号导入、干涉仪探针光导入、红外光导出、冷却工质出入、激光导入与导出、内部姿态调节以及热吸收等功能。包括：主腔体、真空窗口与电信号接口、冷却工质管路、热吸收模块、激光器姿态调节组件以及内部调节台等。

3.1.1 主腔体

主腔体内尺寸 $\geq$ 内径 800 mm $\times$ 高 500 mm，由上盖、柱面侧壁、下盖以及功能接口部件等组成。上盖、圆柱侧壁有功能接口，下盖无功能接口。

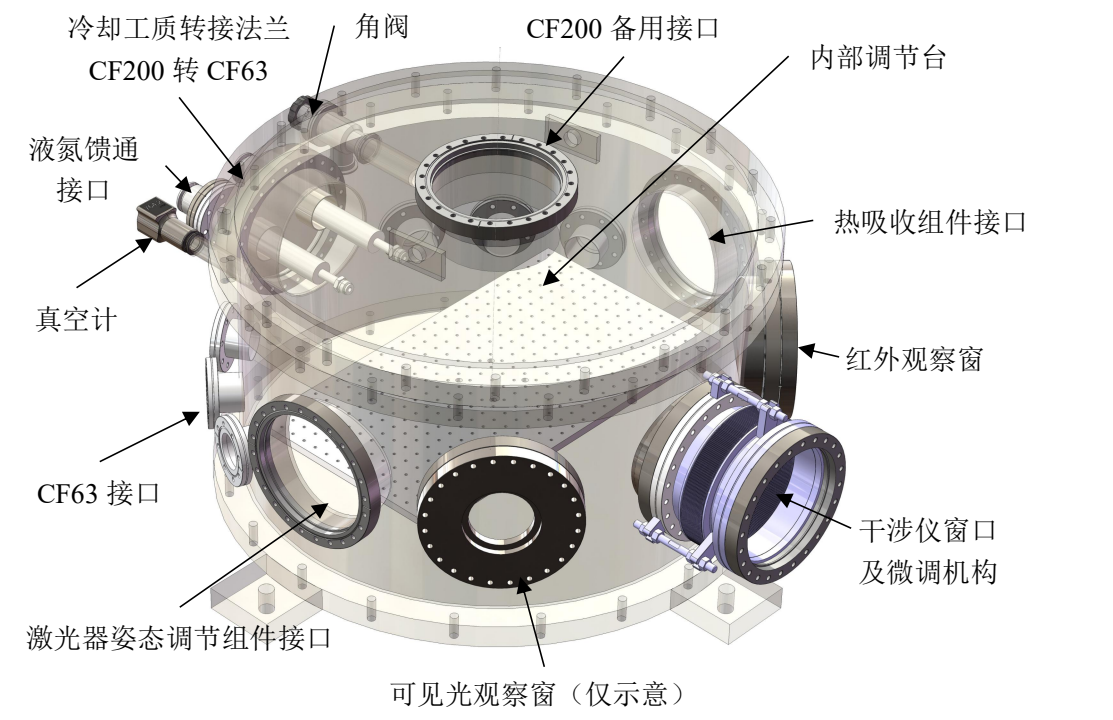


图 3-2 离线实验腔体接口示意图

主腔体上的功能接口及部件如表 3-1 所示，光学窗口信息如表 3-2。

表 3-1 离线实验腔体接口及外接部件汇总（除标注甲供外，均为乙供）

接口规格	接口数量	接口功能	外接部件及数量	备注
CF200	7 个	干涉仪窗口接口 $\times 1$	干涉仪窗口及微调机构 $\times 1$ ；	窗口规格详见表 3-2；
		红外观察窗接口 $\times 1$	红外观察窗法兰 $\times 1$ ；	法兰上有用于安装热像仪的支架，窗口规格详见表 3-2；
		可见光观察窗接口 $\times 1$	可见光观察窗法兰 $\times 1$ ；	法兰上有用于安装工业相机的支架，窗口规格详见表 3-2；
		热吸收组件接口 $\times 1$	热吸收组件 $\times 1$ ；	水冷，详见 3.1.4 节；
		冷却工质转接法兰接口 $\times 1$	冷却工质转接法兰（CF200 转 2 个 CF63） $\times 1$ ；	甲供；
		激光器姿态调节组件接口 $\times 1$	激光器姿态调节组件 $\times 1$ ；	详见 3.1.3 节；
		备用接口 $\times 1$	盲板 $\times 2$ ；	CF200；
CF63	8 个	电信号接口 $\times 4$	电信号导入法兰 $\times 4$ ；	电信号接口为 DB25，含真空内接头及插针；CF63 转 CF35 安装于冷却工质转接法兰（CF200 转 2 个 CF63），详见 3.1.2 节。
		备用接口 $\times 2$	盲板 $\times 6$ ；	
		冷却水转接口 $\times 2$	CF63 转 CF35 $\times 2$ ；	
KF40	1 个	真空角阀接口 $\times 1$	真空角阀 $\times 1$ ；	KF40；

KF25	1 个	真空计接口×1	真空计×1；	KF25，量程 $\geq 1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^5$ Pa，带显示屏；
------	-----	---------	--------	---

表 3-2 真空窗口清单及参数汇总

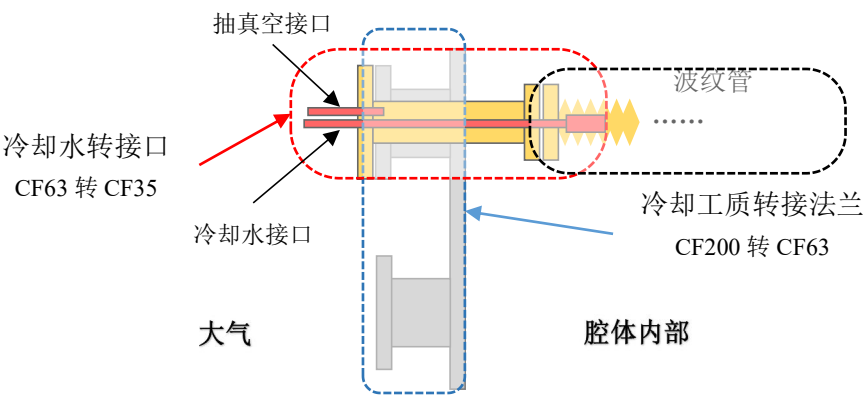
窗口类型	指标	规格、参数	数量
红外观察窗	窗口法兰规格	CF200；	1 套
	窗口尺寸	通光尺寸 ≥ 80 mm，厚度 ≥ 5 mm；	
	窗口材料	硅；	
	窗口平面度	双面抛光；	
干涉仪窗口 及微调机构	窗口法兰规格	CF200；	1 套
	窗口尺寸	通光尺寸 ≥ 160 mm，厚度 ≥ 20 mm；	
	窗口材料	JGS1；	
	机构调节行程	法线指向角调节范围 $\geq \pm 1^\circ$ ；	
可见光观察窗	窗口法兰规格	CF200；	1 套
	尺寸	通光尺寸 ≥ 160 mm；	

3.1.2 冷却转接口及管路

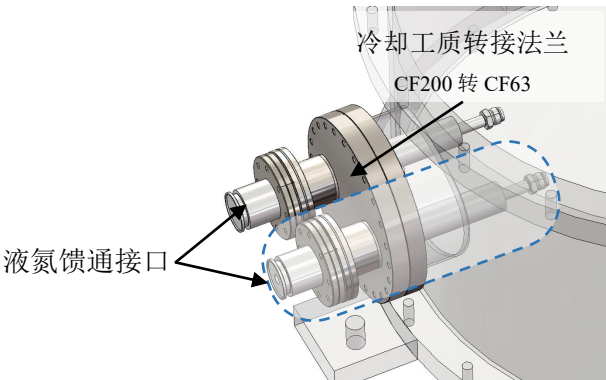
冷却工质包括水和液氮。供货清单如表 3-3 所示。

冷却水部分：其结构示意图如图 3-3（a）所示，需供应商配备冷却水转接口和真空内柔性管路。冷却水转接口为 CF63 转 CF35，CF63 法兰在大气端，其上有冷却水接口和抽真空接口，抽真空接口用于对外管与内管之间的区域抽真空；CF35 法兰在主腔体内，与柔性管路外管连接。真空内柔性管路为内外两层管，外管为 CF35 波纹管，内管为透明聚四氟乙烯管，与冷却水转接口密封连接，两端有密封卡套接头。

液氮部分：如图 3-3（b），甲方提供液氮导入接口，该接口的真空内接口为 Swagelok VCR（图 3-4），需供应商提供与其适配的真空内液氮柔性管路。



(a) 冷却水部分接口与管路示意图



(b) 液氮部分接口与管路示意图

图 3-3 冷却水接口与管路示意图

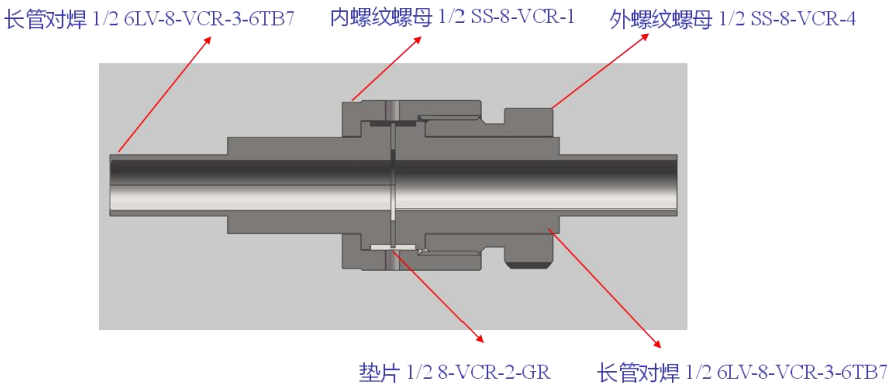


图 3-4 真空内液氮管路接口示意图

表 3-3 冷却工质管路乙供部件供货清单

部件	规格、参数	数量
液氮 管路	1、进、出两路液氮管路，每路管路两端密封接口为 Swagelok 6LV-8-VCR-3-6TB7（适配已有零件接口）接头及配套螺母、密封圈， 2、管路兼容高真空，内部有纤维编织网，长度： $\geq 500\text{mm}$ ；	1 套

水冷 管路	1、进、出两路水管路，每路管路包括冷却水转接口和双层管路； 2、冷却水转接口：CF63 转 CF35，CF63 法兰上有水管（内径 6 mm、外径 8 mm）以及抽真空接口（转 KF25） 3、双层管路：外管为波纹管，兼容高真空，长 ≥ 500 mm，双端 CF5；内管为透明聚四氟乙烯，长 ≥ 500 mm，内径 6 mm，外径 8 mm，双端带 Swagelok 卡套接头及配套螺母、密封圈；	1 套
----------	--	-----

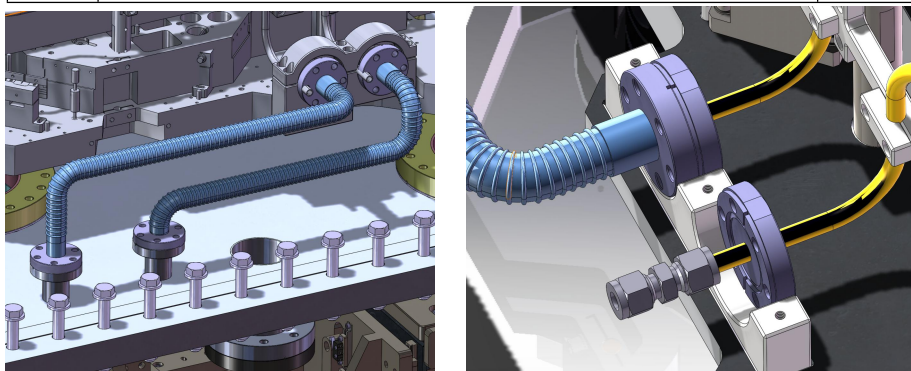


图 3-5 腔体内部水冷内外柔性管路示意

3.1.3 激光器姿态调节组件

激光器姿态调节组件由水冷固定光阑和角度调节机构组成，如图 3-6 中黑色圆角矩形框线部分。相关部件清单和主要参数汇总于表 3-4。水冷固定光阑密封法兰为双端 CF63，一端与角度调节机构真空密封连接，另一端与可调光束尺寸准直镜真空密封连接。水冷固定光阑材质为无氧铜，有两个出瞳尺寸规格，分别为 $10.5\text{ mm} \times 5.2\text{ mm}$ 和 $3.5 \times 3.5\text{ mm}$ 。角度调节机构能够实现可调光束尺寸准直镜水平角度调节（ $\geq \pm 1^\circ$ ）和绕腔体中心轴线转动（ $0 \sim 6^\circ$ ）。

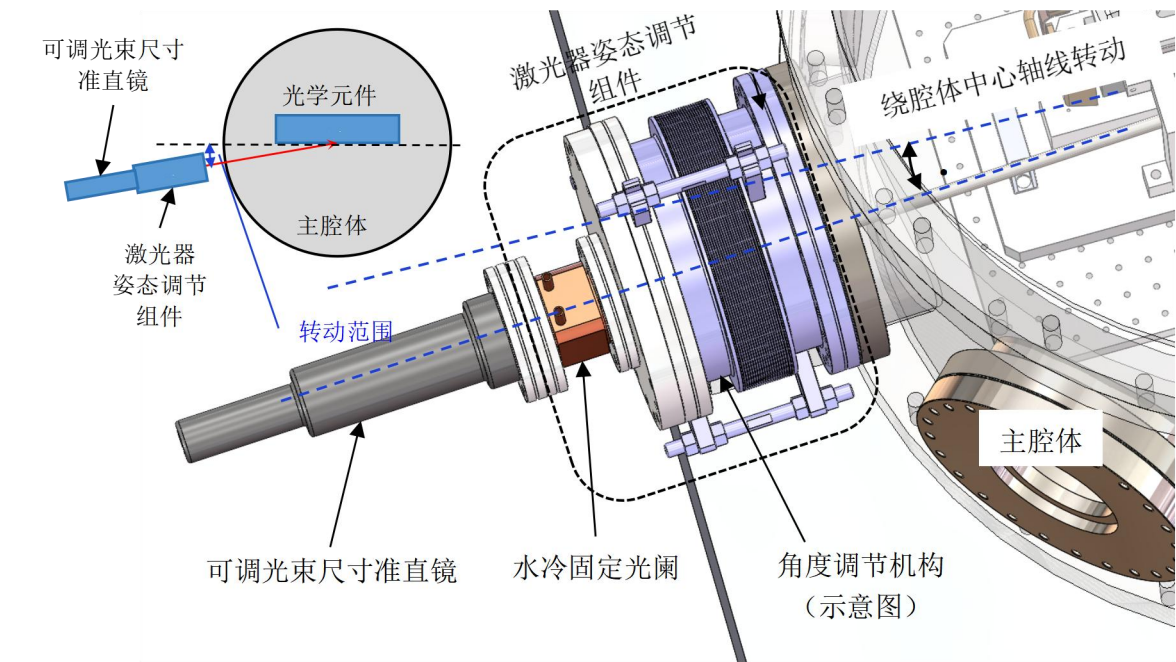


图 3-6 激光器姿态调节组件示意图

表 3-4 激光器姿态调节组件主要规格参数及部件汇总

指标	规格、参数	数量
水冷固定光阑	入瞳开口尺寸：12 mm×12 mm； 出瞳开口尺寸：10.5 mm×5.2 mm、3.5 mm×3.5 mm； 材质：无氧铜； 双端 CF63 法兰； 水冷管：焊接于光阑主体表面，内径 6 mm，外径 8 mm；	1 套
角度调节机构	绕腔体中心轴线转动角度：0° ~6° ； 水平调节：≥±1° 。	1 套

3.1.4 热吸收组件

热吸收组件是用于吸收激光器的 0° 直通光和光学元件反射光的组件，包括热吸收体、水冷管路和 CF200 法兰。其中，热吸收体位于真空腔内部，如图 3-7 所示，开口的斜入射面为热吸收面，表面粗糙度要求 $\leq Ra\ 0.8\ \mu m$ ，最高热吸收功率达 2000W；水冷管路焊接在热吸收组件的上下两面，焊缝焊料填充饱满、均匀；CF200 法兰上固定着热吸收组件，并通过该法兰实现水冷管路的内外馈通。整个热吸收组件通过 CF200 法兰安装在主腔体对应接口，实现真空密封，设计参数如表 3-5 所示。

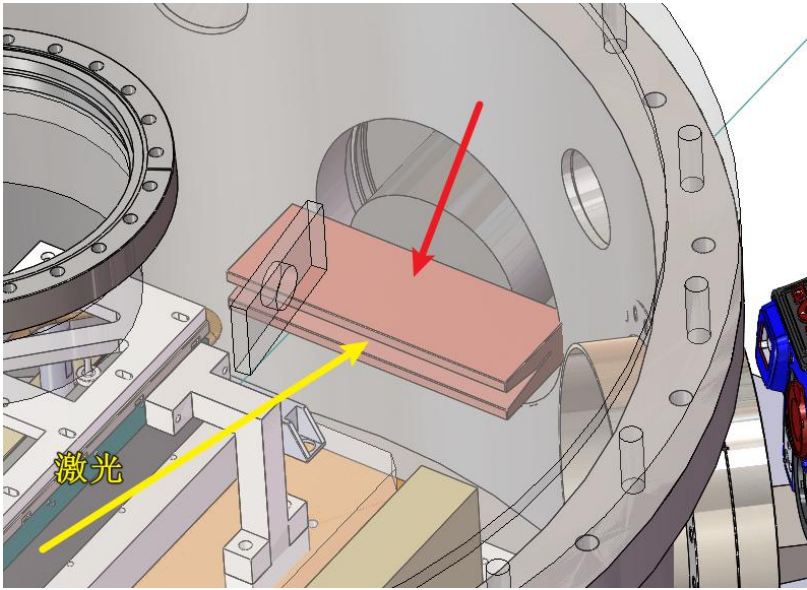


图 3-7 热吸收模块示意图

表 3-5 热吸收模块设计参数

指标	规格、参数	数量
吸收体尺寸	$\geq 100\text{ mm}\times 70\text{ mm}\times 30\text{ mm}$;	1 套
吸收体材质	无氧铜 TU1，热吸收面，表面粗糙度要求 $\leq \text{Ra } 0.8\text{ }\mu\text{m}$ ，热吸收面倾斜参数由甲方提供；	
水冷管路	无氧铜 TU1，内径 6 mm，外径 8 mm，表面蛇形排布，焊缝焊料填充饱满、均匀；	
法兰	CF200；	

3.1.5 内部调节台

图 3-8 为内部调节台示意图，待测“光学元件组件”（本次不含）安装于该调节台上，用于实现光学元件的平移和转动的微调，技术参数汇总于表 3-6。该调节台顶部为磁性光学面板，上表面标有中心参考原点，四周靠近边缘处还有标尺，单位毫米。厂商在设计时应注意考虑机械稳定性。

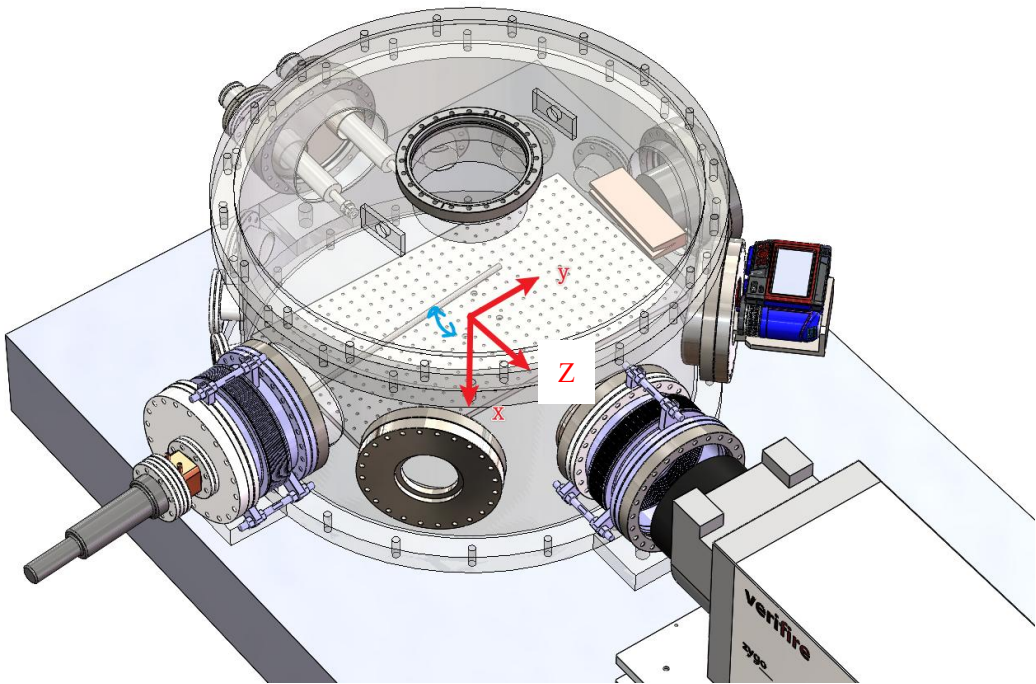


图 3-8 内部调节台示意图

表 3-6 内部调节台参数汇总

指标	规格、参数	
调节维度	pitch 转动(绕腔体中心轴线)	z 平移
行程	$\geq \pm 2^\circ$	$\geq \pm 5\text{ mm}$
尺寸	680 mm×380 mm×100mm (L×W×H) $\pm 5\%$;	
板厚度	优先确保稳定性;	
顶面	磁性, 平面度 $\leq \pm 0.1\text{mm}$, M6 贯穿, 25 mm×25mm 间距;	
载荷	$\geq 50\text{ kg}$	

3.2 干涉仪调节台

干涉仪调节台用于为干涉仪提供支撑和姿态调节，厂商在设计时应注意考虑其稳定性。图 3-9 为其示意图，技术参数汇总于表 3-7。

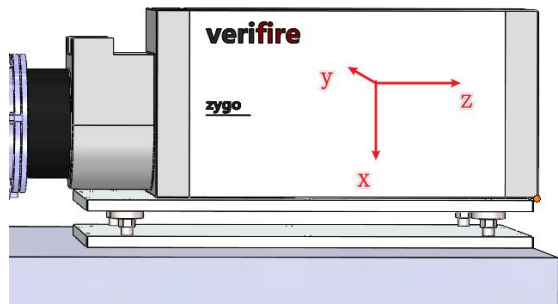


图 3-9 干涉仪调节台示意图

表 3-7 干涉仪调节台设计参数

指标	参数、规格	
调节维度（手动）	pitch 转动（绕腔体中心轴线）	x 升降
行程	$\geq \pm 2^\circ$	$\geq \pm 30\text{ mm}$
尺寸	800 mm×500 mm×130 mm（L×W） $\pm 5\%$;	
板厚度	优先确保稳定性;	
安装面平面度	$\leq \pm 0.1\text{ mm}$;	
载荷	$\geq 50\text{ kg}$	

3.3 激光测量与防护装置

为了测量激光的总功率及功率分布，采用光功率计和光束质量分析仪。为了安全使用激光，采用三级分层防护方式。第一层为热吸收组件、激光安全屏和遮挡板等，第二层为遮光帘，第三层为护目镜。详细配置清单见表 2-2。

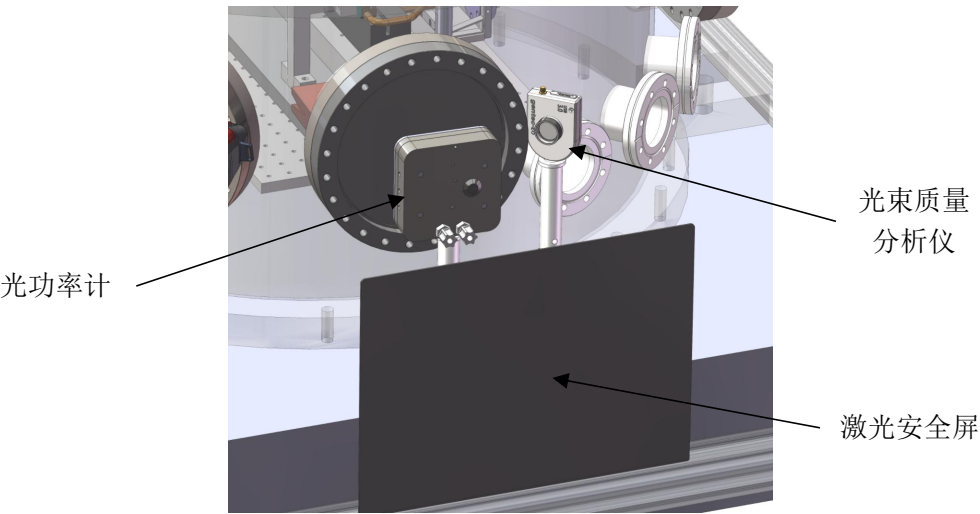


图 3-10 光功率计、光束质量分析仪以及激光安全屏

4 甲供部件说明

4.1 冷却工质转接法兰

详见甲方提供 3D 参考模型。

4.2 液氮馈通接口

液氮馈通接口如下图所示。通过 CF63 接口与冷却工质转接法兰密封连接。在腔体内部通过 Swagelok 接头与内部柔性液氮管路连接。

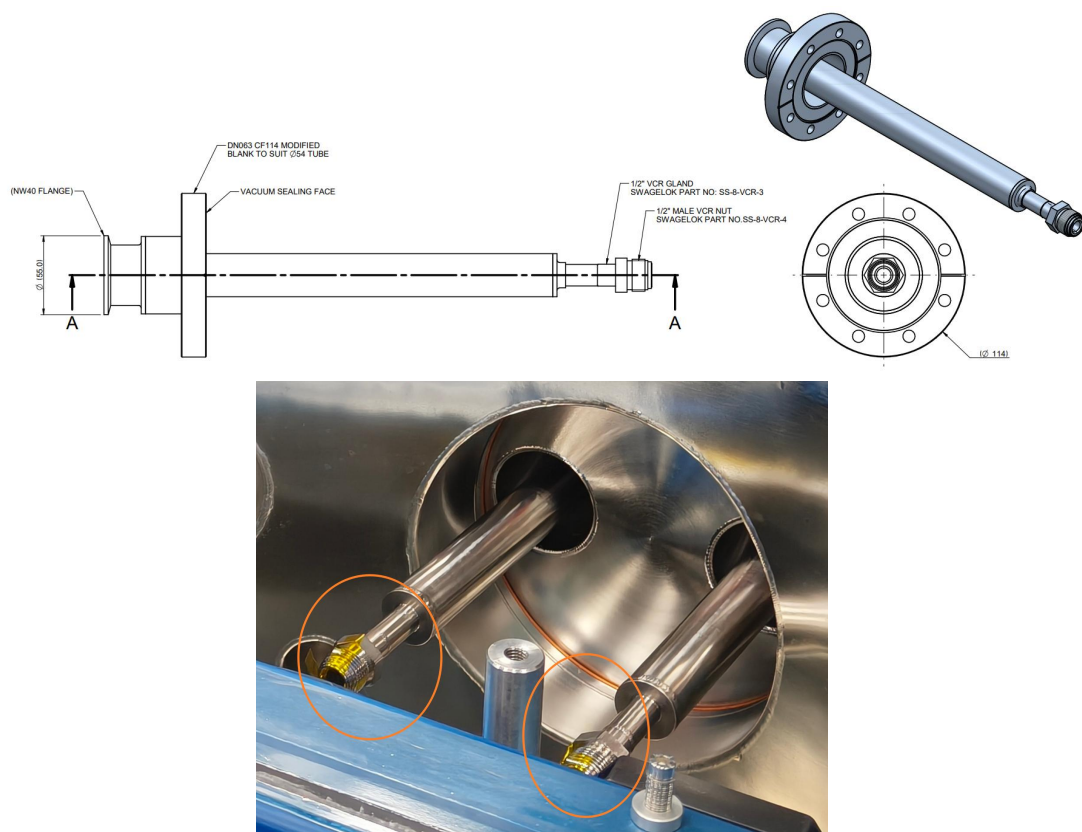


图 4-1 液氮馈通接口

4.3 热像仪

热像仪安装于热管理实验站镜箱旁热像仪调节台上，能够对镜箱内各部件的温度分布进行探测。乙方在设计相应调节机构时应参考该设备。采购人提供该产品外壳模型文件供中标供应商使用。该设备底部固定孔规格为 M6，整体重量约为 2kg。

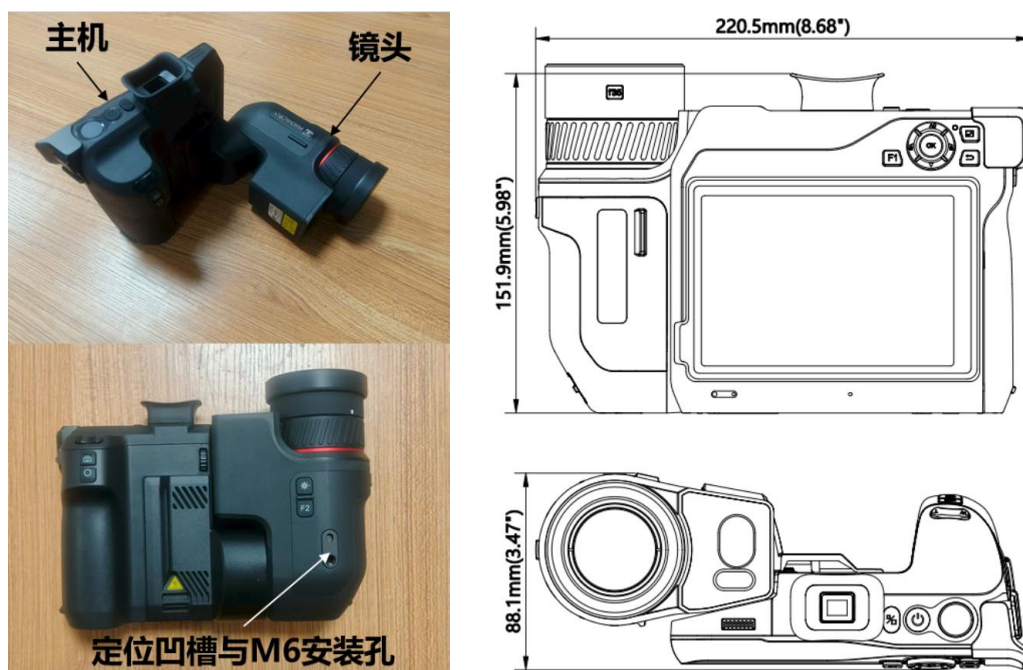


图 4-2 热像仪

4.4 干涉仪

干涉仪放置于热管理实验站镜箱旁干涉仪调节机构上，能够对镜箱内光学元件的面形进行检测。其型号为 Zygo 公司的 verifire。乙方在设计相应调节机构时应使用该设备。干涉仪尺寸包络为 $920 \times 310 \times 340 \text{ mm}^3$ ，整体重量约为 45kg。



图 4-3 干涉仪

4.5 光学平台

离线实验平台的主要部件均放置于光学平台上，如图 4-4 所示。该光学平台尺寸 $2400 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$ ，高度 800mm，表面平面度 $\leq \pm 0.1 \text{ mm}$ ，M6 螺纹孔均布，间距 $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 。



图 4-4 光学平台

--文档结尾