

双轴快速转向镜（带位置反馈）MR-15-30



MR-15-30 双轴快速转向镜系列，是需要大偏转角且紧凑结构应用的理想选择。MR-15-30 配备 15 mm 镜面，外壳直径仅为 30 mm。其机械倾角可达 $\pm 25^\circ$ ，对应光学视场（FOV）可达 100° 。该镜面内置位置反馈系统，可通过标准 PID 控制器实现精确控制。

驱动器采用成熟可靠的技术。与传统振镜系统相比，其虚拟旋转点距离镜面非常近。镜面可采用多种镀膜工艺，如保护金、可见光介质膜（Dielectric VIS）或保护银。

产品特点

- 大扫描角度
- 紧凑结构
- 高精度
- 高可靠性

典型应用

- 汽车光学：激光雷达（LiDAR）、动态大灯、ADAS（高级驾驶辅助系统）
- 视觉系统：视场（FOV）扩展、光学变焦
- 生物特征与诊断设备：眼动追踪、医疗诊断仪器
- 3D 打印与增材制造

机械规格¹

	X 轴	Y 轴	
驱动类型	音圈驱动		
机械倾角	± 25	± 25	$^\circ$ 对应圆形视场
镜面直径	15.0		mm
旋转中心到镜面距离	1.3		mm
外壳直径	30.0		mm
高度	14.5		mm
重量	29.3		g
机械固定方式	4 × M2 螺丝		
磁屏蔽	yes		

¹ 所有角度值均指机械倾角。

性能规格

	X 轴	Y 轴	
零点漂移 (典型值)	30		$\mu\text{rad}/\text{K}$ 整个视场 RMS 值
传感器分辨率 (14-bit ADC)	22		μrad
重复精度	40		μrad 室温下整个视场 RMS 值 temperature
校准精度 (最大/典型)	0.15/0.08 2.6/1.4		$^{\circ}$ mrad 整个视场 RMS 值
静态电机常数	3	3	rad/A 线性化全范围
动态电机常数	20	35	krad/(As ²) typical 典型值, 线性化全范围
共振频率	11-13	15-18	Hz
满量程带宽 (正弦 $\pm 25^{\circ}$)	20		Hz
小信号带宽 (正弦 $\pm 0.1^{\circ}$, 单轴)	300	400	Hz
小角步进响应时间 (0.1° 步进)	2-2.5		ms (典型)
大角步进响应时间 (10° 步进)	8		ms (典型)

光学规格

反射率	平均	
保护金膜	>95% ($800\text{ nm} < \lambda < 2\ \mu\text{m}$)	45° AOI
保护银膜	>96% ($450\text{ nm} < \lambda < 2\ \mu\text{m}$)	45° AOI
介质可见光膜	>97% ($450\text{ nm} < \lambda < 650\text{ nm}$)	45° $\pm 25^{\circ}$ AOI
表面质量	5/ 5x0.4; L1x0.06; C3x0.25; E 0.25	60-40 scratch-dig (ISO 10110)
镜面平整度	2/ λ	P-V @549nm (ISO 10110)

电气规格

控制接口	驱动音圈模拟接口及位置反馈读取	
最大连续电流 (RMS)	单轴: 0.37 双轴: 0.26	A, per coil
峰值电流 (10 ms)	2	A
最大平均驱动功率	1.5	W both coils together
音圈电阻 (典型值)	11	Ω
音圈电感 (典型值)	6	mH
位置传感器供电电流 (@1.5 V)	40	mA
位置传感器输出电流 (典型)	0.1	mA
位置传感器波长	850	nm
温度传感器	NXP LM75B or equivalent	I2C-address: 0x48 (+R/W bit)
EEPROM ⁴	M24C08 or equivalent	I2C-addresses: 0x50-0x53 (+R/W bit)

² 校准精度基于 50 个校准点评估。出厂校准长期可能退化至 0.3° 。

³ 静态与动态电机常数测量采用 MR-E-3 镜面控制器, 峰值电流 1.1 A。

⁴ EEPROM 内容定义可根据需求提供。

环境规格

工作温度	-20 to +85	°C
存储温度	-40 to +85	°C
机械冲击	105 g, 15 ms	ISO 9022-3-30-07-1
振动	2.6 g, 20-150 Hz	ISO 9022-3-37-02-0
循环寿命	>2 · 10 ⁹	cycles

标准产品概览

型号	镀膜类型	典型波长范围
MR-15-30-G-25x25D	保护金膜	800 nm - 2 μm
MR-15-30-PS-25x25D	保护银膜 ⁵	450 nm - 2 μm (low humidity)
MR-15-30-DVIS-25x25D	介质可见光膜	450 nm - 650 nm

控制说明

MR-15-30 可使用MR-E-3 镜面控制器 驱动。为了获得最佳性能，建议在闭环模式下操作该镜面。提供完整的 开发套件，包括：带集成散热器的镜面模块、MR-E-3 镜面控制器、所需配件。该套件适用于即插即用式评估。除此之外，还提供 OEM 版本开发套件，不含外壳，便于集成到 OEM 设备中。无论哪种版本的开发套件，均提供软件支持：Cockpit、C# SDK、Python SDK。有关控制器和开发套件的详细信息，请联系我们。

⁵ 尽管银膜具有保护镀层，但银膜仍不应暴露于高湿度环境中，以避免出现氧化变色的风险。对于可见光波段应用，我们强烈建议使用介质镀膜。因湿度导致的镜面镀层腐蚀，我们将不承担保修责任。

机械布局

MR-15-30 的机械布局如图 1 所示。外壳直径可作为横向对准的参考特征。对于轴向距离参考，可使用 MR-15-30-BK 的背面或前侧的万向轴承环。安装时，MR-15-30 的背面必须与散热器保持紧密接触。

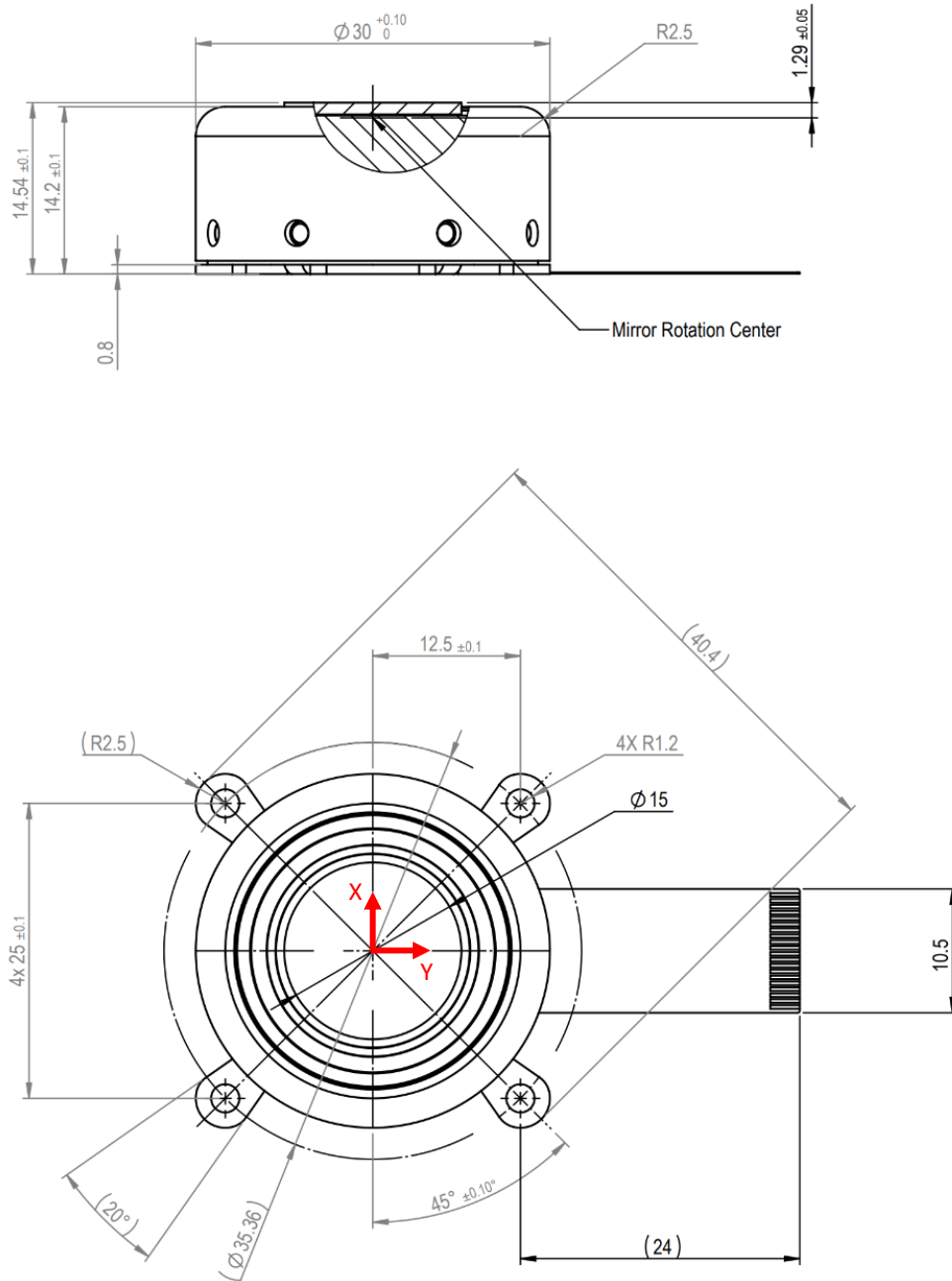


图 1: MR-15-30 机械示意图 (单位: mm), 图中以红色标出镜面坐标系的定义。

光束截断说明

光束截断可能会发生，具体取决于光束直径、入射角以及镜面的偏转角（见图 2）。对于入射角为 0° 的光束，光束直径在 10 mm 以内时，可在镜面整个可用视场（FOV）内无截断。可根据需求提供基于 Excel 的光束截断评估计算工具。

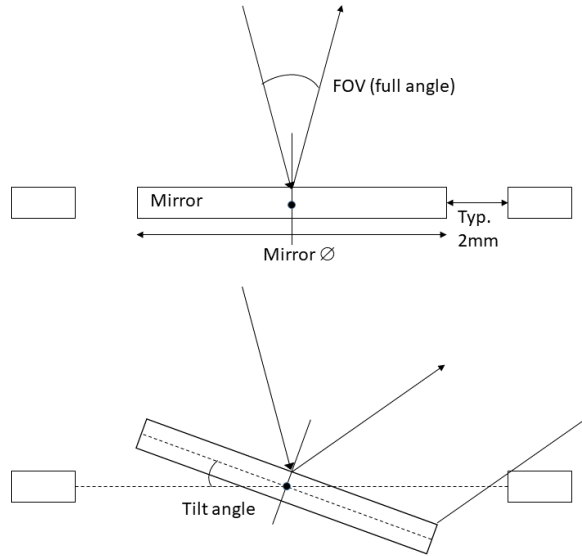


图 2: 光束截断限制, MR-15-30 可允许的最大光束直径取决于光束入射角及镜面倾角。

定制产品

我们可根据需求提供镜面基材和镀膜定制服务。标准基材尺寸为 直径 15 mm、厚度 1 mm (见图 3)。若基材厚度增加，为保持镜面全视场（FOV），直径需减小。例如，直径为 12.7 mm 时，基材厚度可增至 3.5 mm。需要注意的是，定制镜面基材可能改变转动惯量，从而影响镜面动态性能。

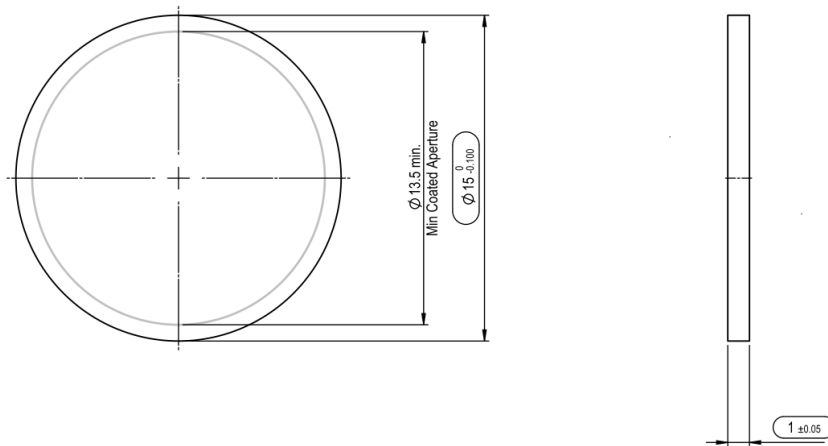


图 3: MR-15-30 镜面基材尺寸

电气布局

MR-15-30 的电气连接采用 0.5 mm 间距、20 针 FPC 排线，引脚定义如图 4 所示。

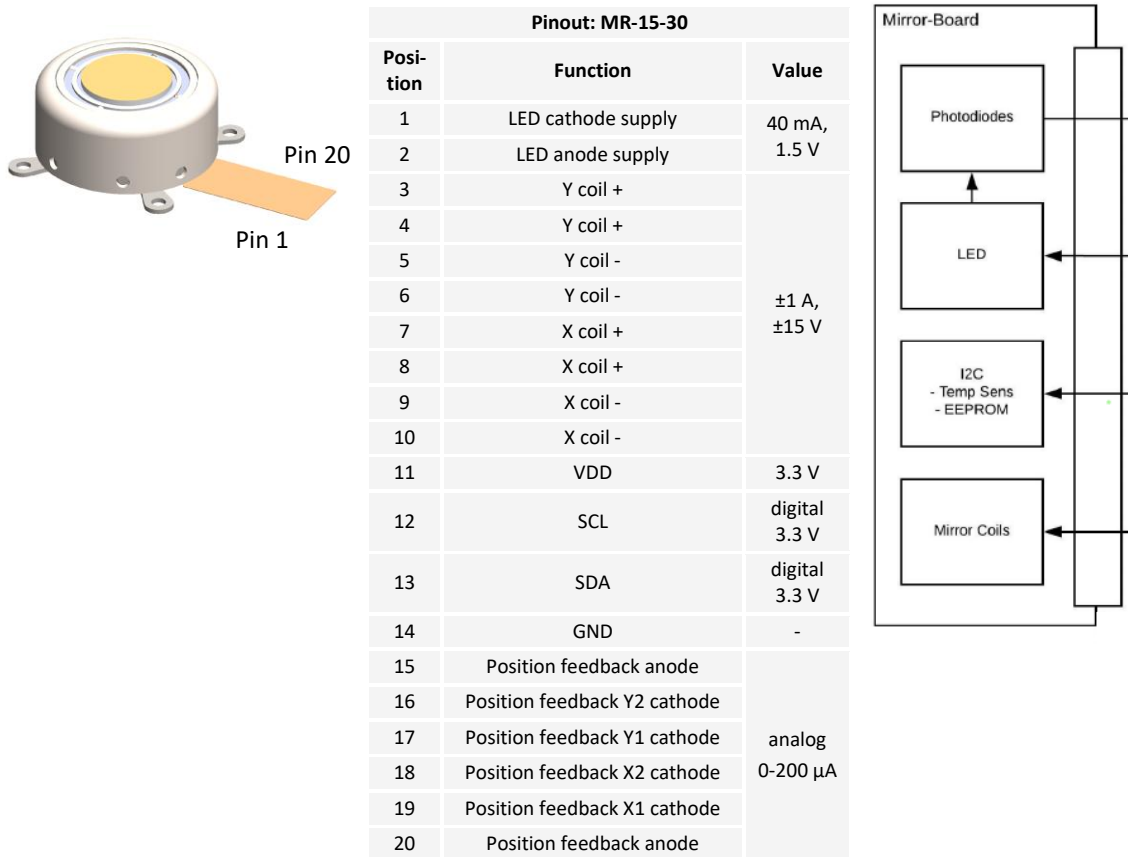


图 4: MR-15-30 引脚分配及功能框图

热管理

- 镜面在驱动过程中会产生热量，通过 MR-15-30 背面传导散出。因此，镜面必须牢固安装在金属导热板上。
- 内置温度传感器监测温度，当内部温度达到 85°C 时，MR-15-30 的电流供应将自动切断。

反射率

MR-15-30 标准镀膜在入射角 45° 下的反射率如图 5 所示。

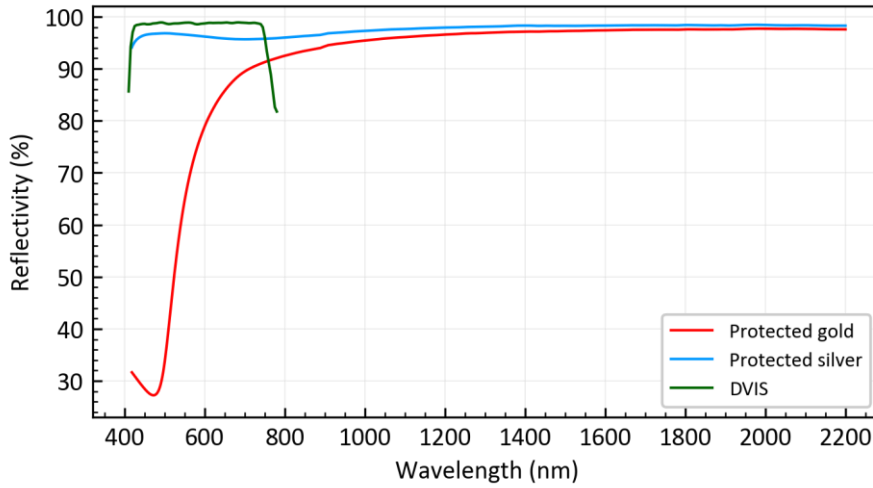


图 5: MR-15-30 标准镀膜反射率

静态响应

MR-15-30 的静态偏转随施加电流和功率的变化关系如图 6 所示。注意：由于摩擦力和磁滞残留导致的滞后效应，镜面偏转会受到先前位置的影响。在闭环操作下，该滞后效应可通过镜面校准进行补偿。

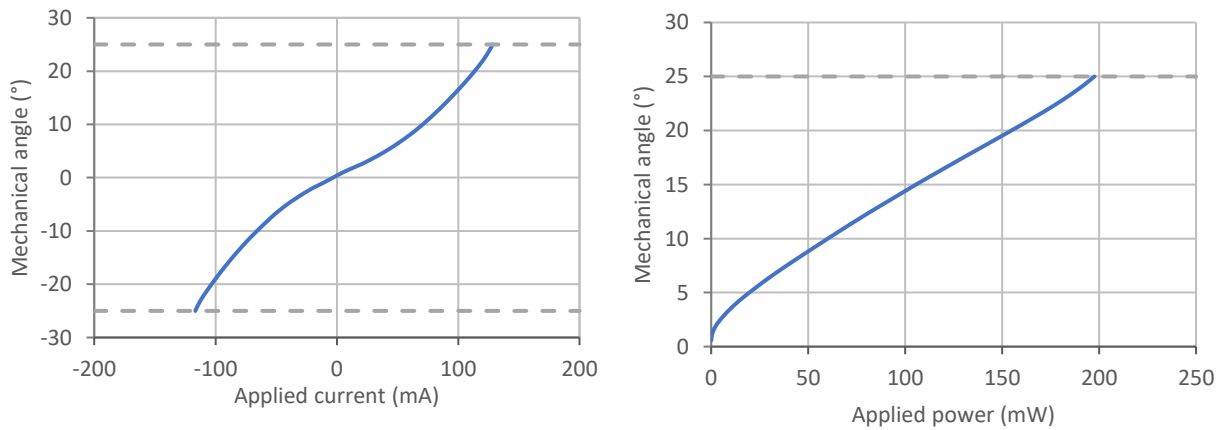


图 6: MR-15-30 静态响应, 左图: 单轴机械倾角随施加电流变化的关系。
右图: 机械倾角随施加功率变化的关系, 其斜率约为 8.6 mW/°。

最大驱动频率

对于单轴驱动，MR-15-30 每线圈的 推荐最大 RMS 电流为 0.37 A（对应正弦波峰值 0.52 A）。可以使用更高电流，但仅适用于短时间，以避免镜面过热。同时驱动双轴时，RMS 电流上限为 0.26 A（对应正弦波峰值 0.37 A）。最大平均驱动功率不应超过 1.5 W。单轴的最大可实现振幅随 RMS 电流和频率变化关系如图 7 所示。MR-15-30 可在其全机械范围内进行正弦振荡，频率可达满量程带宽（BW）。对于更高频率振荡，可实现的偏转角度会减小。

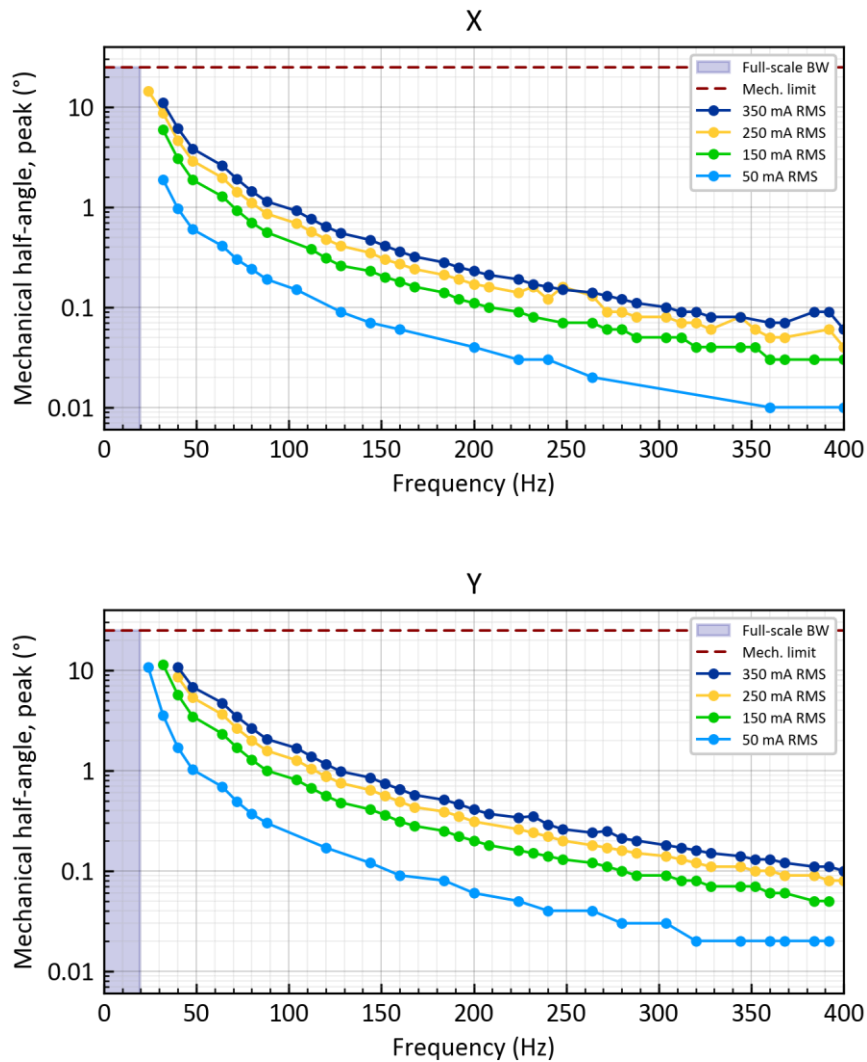


图 7：单轴最大机械半角。上图：X 轴在正弦输入下，最大机械半角随 RMS 电流和频率的关系。下图：Y 轴在正弦输入下，最大机械半角随 RMS 电流和频率的关系。

步进响应

MR-15-30 在使用 MR-E-3 镜面控制器驱动时的小步 (0.1°)、中步 (1°) 和大步 (10°) 响应如图 8 所示。

注：所有角度均为机械角。可根据需求提供针对不同步进角的 PID 参数推荐的单独文档。

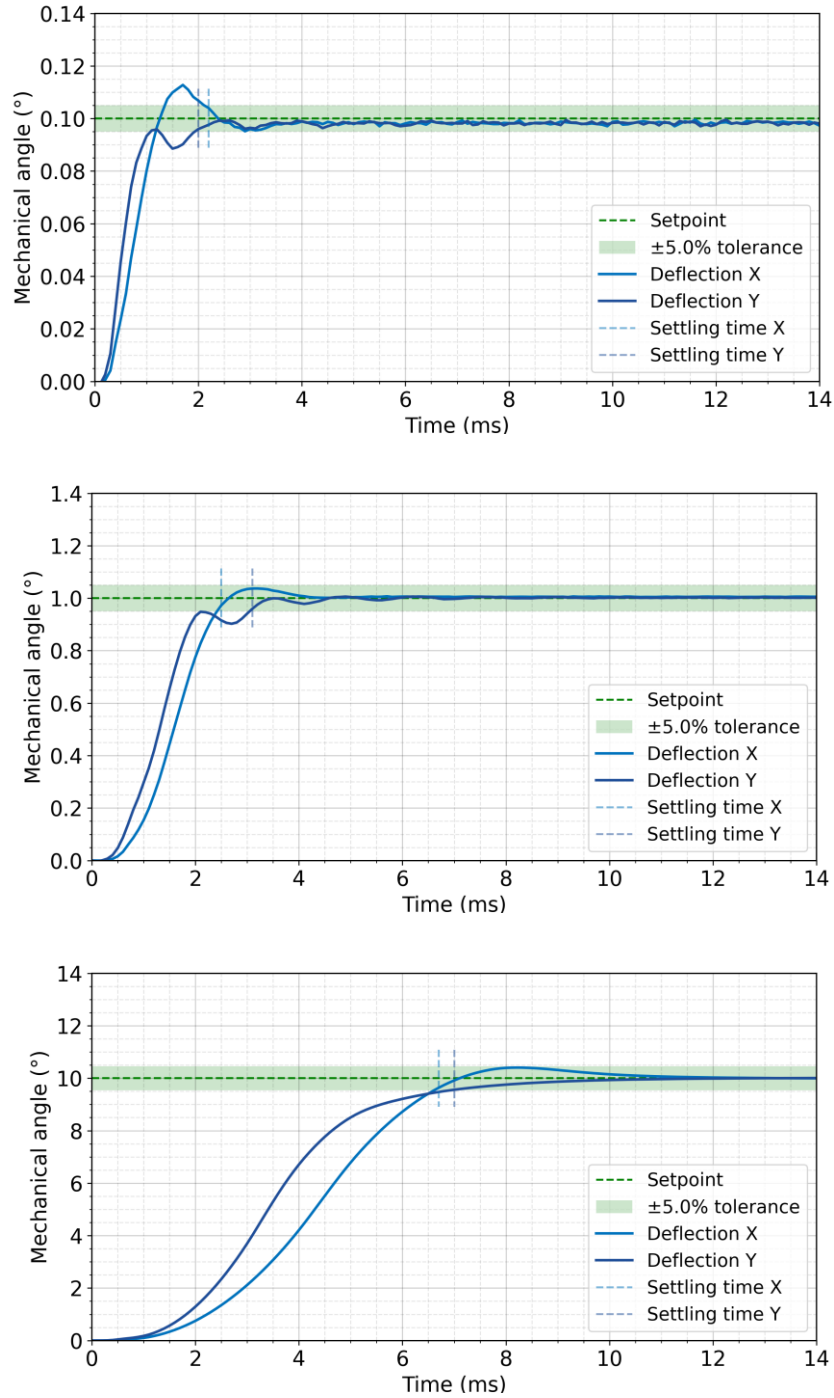


图 8: MR-15-30 步进响应行为。上图: 0.1° 步进, 中图: 1° 步进, 下图: 10° 步进
对应 X/Y 轴 到达步进 $\pm 5\%$ 的稳定时间分别为: 0.1° 步进: 2.2/2.0 ms, 1° 步进: 2.5/3.1 ms, 10° 步进: 6.7/7.0 ms。

环境可靠性测试

MR-15-30 已通过以下可靠性测试：

测试	测试方法	备注
机械循环	5 点星形轨迹, 5 Hz, 室温, MR-E-2 控制	达到 20 亿次循环, 无疲劳迹象
加速万向节测试	8000 rpm	达到 8 亿次完整旋转 无明显性能退化
温度循环	40°C 至 70°C, 升温速率 1 K/min, 持续 50 小时	ISO 9022-2-14-06-1
温度冲击	-40°C 至 55°C, 2.5 h/循环, 过渡时间 <20 s, 5 个循环	ISO 9022-15-03-1
干热测试	85°C, 45% 相对湿度, 持续 1 周	ISO 9022-2-11-06-1
机械冲击	15 ms 减速, 沿每轴 9 次冲击, 最大 105 g	ISO 9022-3-30-07-1
跌落测试 (泡罩包装)	1 m, 高度, 三轴方向, 每轴 2 次跌落	ISO 9022-3-33-6-0
振动测试 (正弦)	10-150 Hz 扫频, 1 八度/分钟, 每个方向 2 小时	ISO 9022-3-33-6-0
振动测试 (随机)	20-150 Hz, 2.6 g RMS, 每个方向 10 分钟	ISO 9022-3-37-02-0

包装说明

单个 MR-15-30 产品使用纸箱包装。批量订单采用防静电可堆叠 PET 托盘，每托盘放置 25 个 MR-15-30（见图 9），并使用真空袋密封。

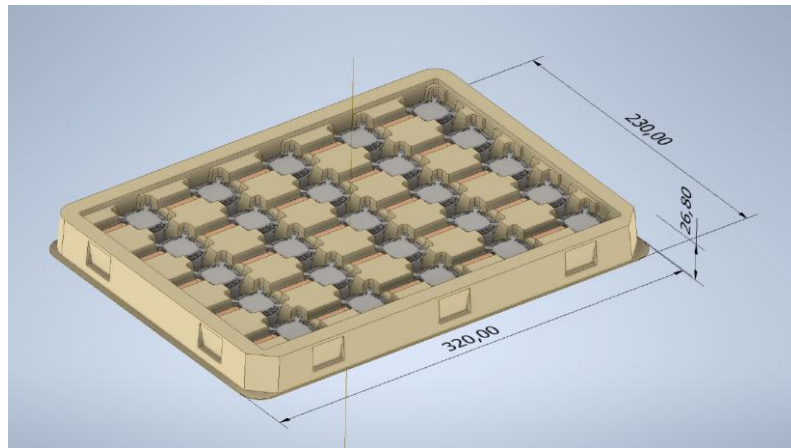


图 9: MR-15-30 托盘设计

安全性与合规性

本产品符合 RoHS、REACH、CE 以及 阻燃等级 UV94 V-0 标准。客户在集成和使用过程中，需自行确保遵守所有相关安全法规，包括 电磁兼容性 (EMC)。

FMR-20 / BSW-20 操作手册



新特光电是 Optotune 在中国的授权合作伙伴，一站式提供其全系列可调光学元件（液态可调焦镜头、精密&快速光束控制反射振镜、光束位移器、激光散斑衰减器及控制器）的选型匹配、应用方案设计及系统集成与工程落地全生命周期的技术支持。通过可调光学技术，实现焦距动态调节、光束精准偏转与高质量成像优化，广泛应用于激光加工、机器视觉检测、3D成像及高端科研系统等场景。

液态可调焦镜头：<https://www.sintecclaser.com/optical/liquid-lens.html>

精密&快速光束控制反射振镜：<https://www.sintecclaser.com/optical/beam-steering.html>

光束位移器：<https://www.sintecclaser.com/optical/beam-shifting-devices.html>

激光散斑衰减器：<https://www.sintecclaser.com/optical/laser-speckle-reducers.html>

我们还可提供不同通光孔径、调焦范围、光束偏转角度及涂层波长（UV-IR）的定制化可调光学解决方案，满足从科研到工业量产的多样化需求。获取最新方案及报价，请联系：

手机|微信：罗经理：18162698939，夏经理：13697356016

1 概述与系统要求

ICC-4C 是一款四通道工业级电流控制器，可用于驱动 Optotune 的大多数产品，尤其适用于电动可调焦液态透镜（EL）、光束位移器（BSW）以及精细转向镜（FMR）。本手册重点介绍如何使用 ICC-4C 驱动 BSW 与 FMR。

系统要求:

- Windows 10 或更高版本操作系统
- USB 驱动: USB 2.0 接口
- Optotune Cockpit 控制软件 <https://www.optotune.com/registration-for-software-download>
- 最新 ICC-4C 固件 <https://www.optotune.com/registration-for-software-download>

2 机械安装

请参考相应数据手册中的技术图纸

3 硬件

3.1 概述

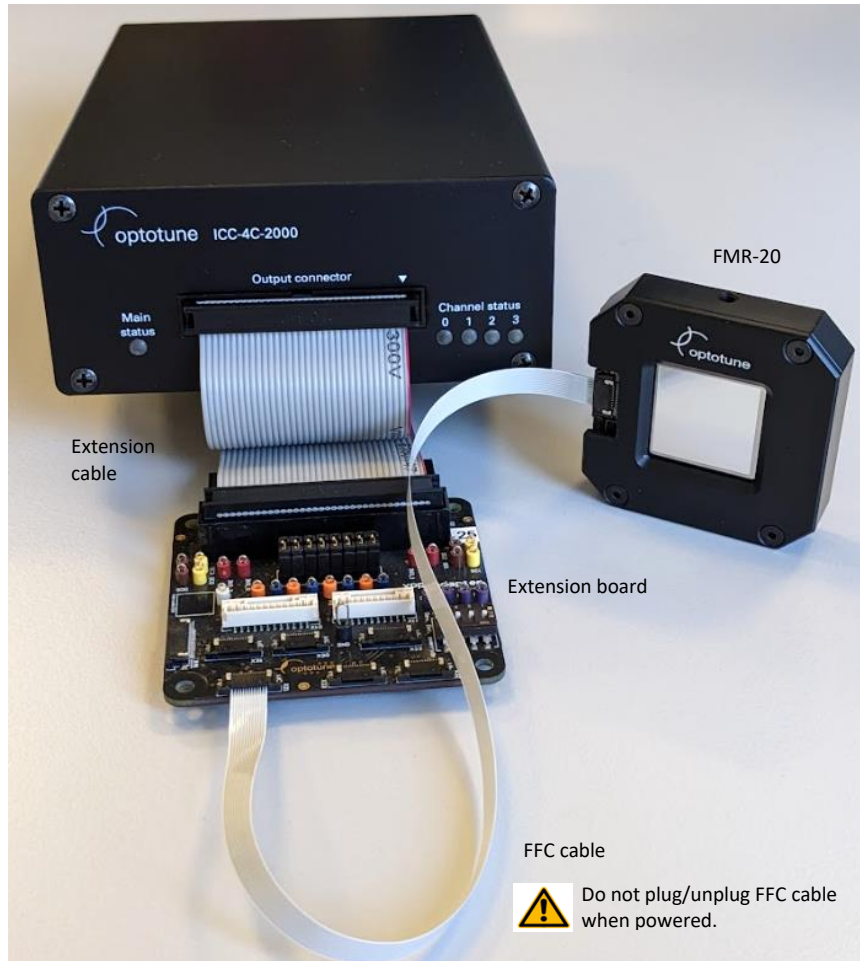


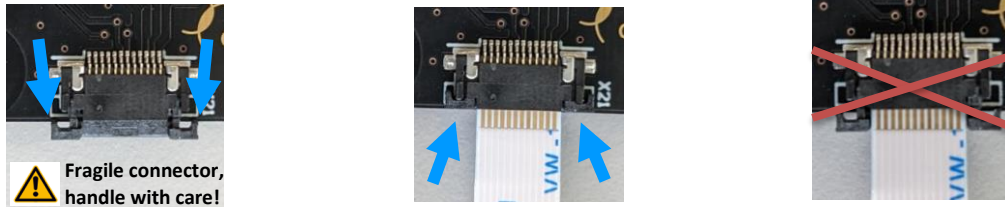
图1: FMR-20 连接至 ICC-4C-2000 控制器的实物示意图

- FMR-20 或 BSW-20 (含 FFC 排线)
- ICC-4C-2000 控制器
- ICC-4C-2000 扩展套件
 - FMR-20 / BSW-20 扩展板
 - 扩展线缆 (15 cm, 可选)
 - DIN 导轨夹具套件 (已包含, 未显示)
 - FMR-20 / BSW-20 通过适配板及标准 FFC 排线连接 (12 针, 0.5 mm 间距)。同时包含电源适配器及 USB 线缆。
- ICC-4C 电源适配器及电源线 (未显示, 插头类型: EU / CH / US / UK / CN)

3.2 硬件连接

FFC排线可直接插入适配器板的连接器中。使用镊子打开连接器卡扣，将柔性排线完全插入，确保铜触点面朝上。随后同时按压两侧，将黑色卡扣关闭锁紧。

重要提示: 在进行新的连接之前，必须先解锁连接器：



警告: 在设备通电状态下，禁止连接或断开 FMR-20 的 FFC 排线。否则可能导致 EEPROM 数据损坏或电子元件永久性损坏。

使用扩展板上的 X21 接口连接设备。第二个设备可连接至 X22 接口：

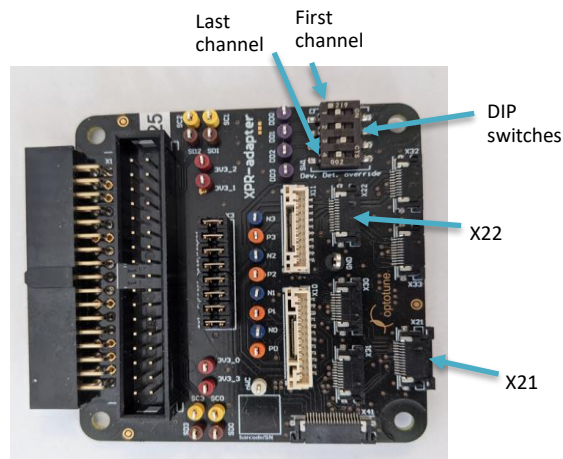


图2: ICC-4C-2000 扩展板接口示意图

FMR-20 应使用 DIP 开关的默认设置，即所有开关均处于 OFF（关闭）位置。若使用其他设置，将会禁用自动设备识别功能，不推荐采用。

4 软件

请从官网下载安装最新的软件与固件

- Optotune Cockpit (GUI)
- ICC-4C-2000 Firmware
- ICC-4C SDK in Python or C#

4.1 Cockpit

本节简要介绍Cockpit 软件，主要说明用于控制 FMR-20 的核心功能。

关于 Optotune Cockpit 的更详细信息，请参考通用操作手册

4.2 连接硬件

请确保 ICC-4C 已通过 USB 连接至计算机并完成供电。或者，也可通过以太网（包括 PoE 供电）进行连接。打开 Cockpit 软件后，点击“Connect Device（连接设备）”。



将弹出一个窗口，用于选择控制器。COM 端口将自动检测。

点击连接（Connect）后，设备将显示在Cockpit 窗口的左侧列表中。



固件更新

已连接控制器

已连接设备

在“Electronics（电子设备）”下右键点击控制器，并选择“Properties（属性）”以读取固件版本信息。

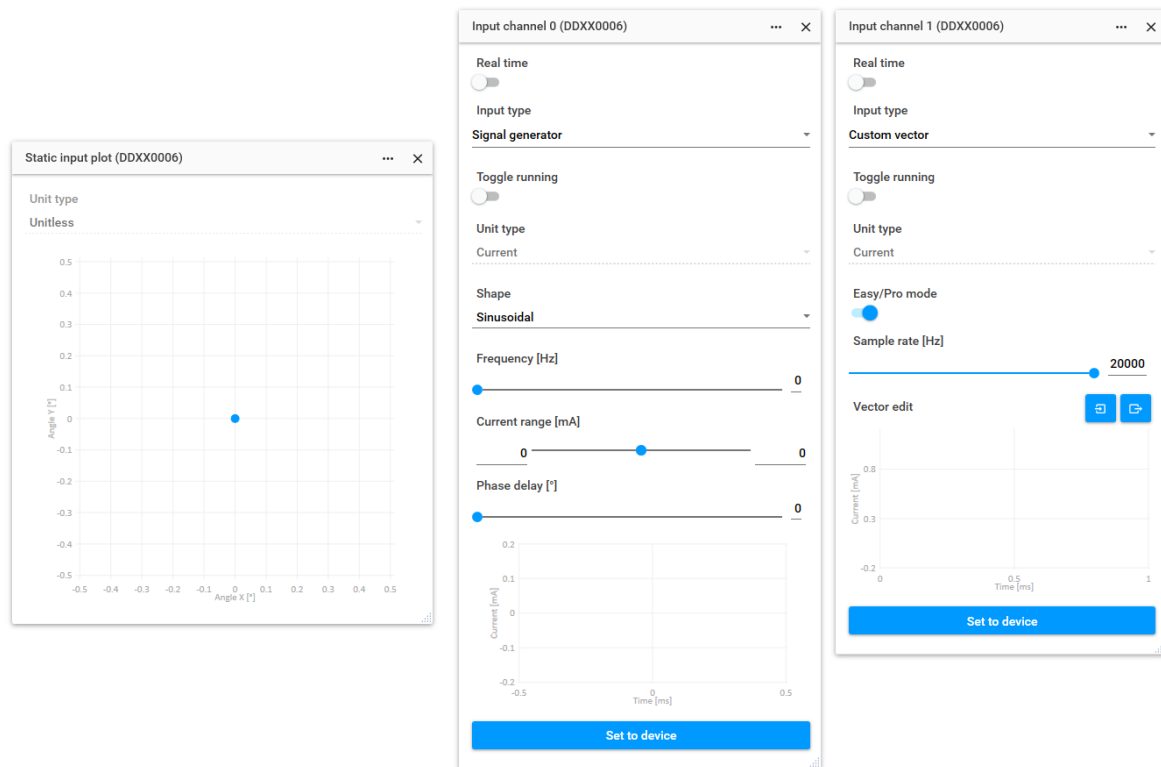
控制器相关菜单

当前所选设备的菜单（本例中为DDXX0006）

Properties (CDAA0097)	
Type	ICC-4C
Serial number	CDAA0097
Firmware version	1.1.741098 (143525-00-E)

4.3 设备控制

用于控制 FMR 的主要界面包括“静态输入曲线”以及更通用的“输入通道 0 (Input Channel 0)”和“输入通道 1 (Input Channel 1)”菜单。



静态输入曲线是镜面指向方向的图形化表示。用户可以通过点击该图形，将镜面移动至期望的位置。

输入通道 0 (Input Channel 0) 和输入通道 1 (Input Channel 1) 菜单可用于访问以下设备控制模式：

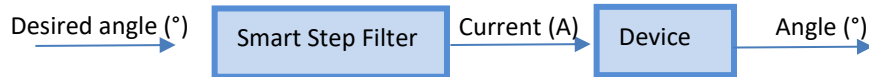
- **静态值:** Cockpit 向驱动器输出一个固定的电流值。
- **信号发生器:** 驱动器内部信号发生模块输出随时间变化的位置或电流信号，直至被中断。可用的信号类型包括正弦波、矩形波、锯齿波、三角波以及阶梯波。这些信号在不同通道之间保持同步，与启动时间（即点击“Set to device”时间）无关。
- **任意向量:** 驱动器按顺序读取用户定义的一组位置或电流值，并逐点发送至镜面。支持两种模式：一种为简易模式，可在 GUI 中直接定义点序列；另一种为通过导入 CSV 表格文件来定义扫描序列。
- **模拟输入:** 驱动器切换至模拟输入模式。

通过该控制面板可通过两种方式控制镜面：开启或关闭实时输入。当实时输入开启时，面板中的任何更改都会直接传输至驱动器并立即生效。当实时输入关闭时，参数修改不会实时发送至驱动器，必须在完成更改后点击“Set to device (写入设备)”按钮，设置才会被传输至驱动器并生效。

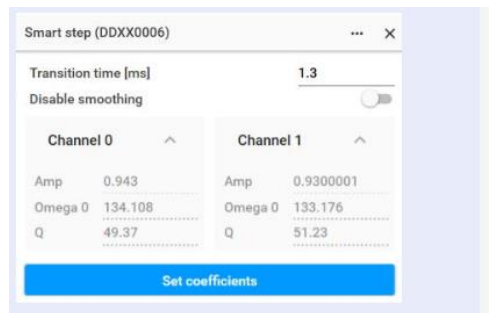
默认情况下，单位类型为电流。由于器件具有线性响应特性，在准静态应用中可直接实现角位置控制。



对于更高动态的波形应用，需要考虑器件（FMR/BSW）的动态响应特性。为此，ICC-4C 提供了“智能阶跃”功能：



该滤波器基于每个器件特有的标定参数建立模型：



转换时间默认设定为 1.3 ms，仅在对速度要求极高时才建议修改。降低该参数可能会引入振铃现象，并增加功耗。

当启用 Smart Step 功能后，所有输入系统将自动从电流单位（A）切换为角度单位（°）。