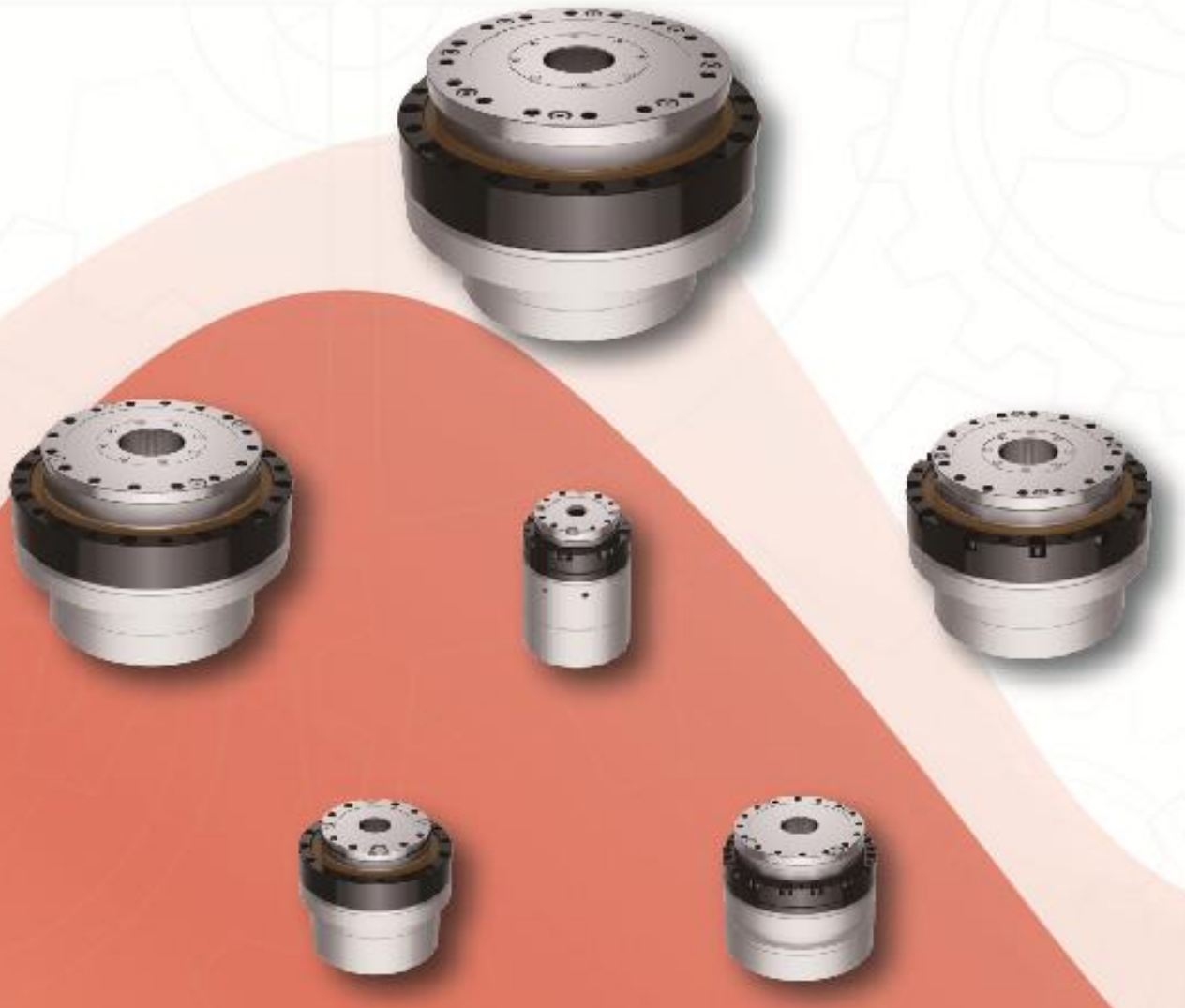
钛虎 PRO-2 关节电机使用说明

文档版本：3.0



前言

感谢您购买和使用本公司 CRA 系列一体化关节模组，我们将为您提供优质的产品服务。本手册介绍了一体化关节模组电气特性、使用方法和注意事项，请仔细阅读后再操作。

CRA 系列一体化关节模组源于公司技术团队多年在人形机器人和协作机器人的研发成果，在转矩密度等关键参数方面做到了业界领先水平，相比于传统的伺服电机，同转矩下重量约为其 1/10，特定型号下相比同类产品转矩密度提高了一倍有余，使得人形机器人与外骨骼的实用化成为可能。

CRA 系列一体化关节模组是基于模块化理念设计、轻巧、高精度的协作机器人电机；一体化集成的 CRA 不仅结构紧凑、安装简便、高性价比，节约您在协作机器人的设计、组装等多个环节投入的成本，同时我们不断的对产品进行升级、优化和定制化服务，提供更丰富的产品选择，方便您更加自由灵活的设计自己的机器人。

版权说明

本文档仅供用户参考，文档中的内容力图精确和可靠，但错误和疏忽之处在所难免，如果您发现错误，请不吝赐教。保留随时修改和完善本文档的权利，有疑问请咨询我们，谢谢。

制造商名称及地址

名称:钛虎机器人科技(上海)有限公司

地址:中国上海市闵行区马桥镇紫东路 55 号联东 U 谷 3C 幢 2 层

版本变更记录

修订日期	发布版本	变更内容
2024.11	V1.0	首次发布
2024.12	V1.1	图片调整
2025.03	V2.0	EtherCAT 通讯使用说明更新； 电机型号补充 110-170 及客户参考图更新
2025.04	V2.1	修订 CAN 接口定义；

2025.08	V2.2	更新各型号模组接口定义；
2025.09	V2.3	更新输出特性曲线；
2026.08	V3.0	增加供电电源说明多模组线缆连接方式、回收动能原因分析、减速比解析、电机试运行、PID 调整、固件升级等章节；

目录

1 安全注意事项 1

1.1 安全声明 1

1.2 安全等级定义 1

1.3 安全注意事项 1

1.4 产品质保 5

1.5 免责声明 6

2 产品简介 7

2.1 产品组成 7

2.2 产品型号说明 8

2.3 产品正转方向 8

2.4 运输、存储及使用要求 9

2.4.1 电机运输 9

2.4.2 电机存储条件 9

2.4.3 电机使用要求 10

2.5 产品参数概览 11

2.6 产品配件说明 13

3 供电电源说明 14

3.1 额定电压和额定电流 14

3.2 最高输入电压 14

3.3 最低输入电压 16

4 电气接口和指示灯说明 17

4.1 指示灯功能 20

4.2 供电电源接口 21

4.3 CAN 通信接口 22

4.4 EtherCAT 通信接口 23

4.5 多圈供电电池接口 24

4.6 线缆规格说明 25

4.7 连接器受力说明 27

4.7.1 EtherCAT 通信线受力情况 27

4.7.2 CAN 通信线受力情况 29

4.8 电源端子受力说明 30

4.9 ESD 标准说明 30

5 电机使用安全与维修保养 31

6 关节安装要求 32

6.1 连接法兰止口要求 32
6.2 螺栓锁紧手法 33
6.3 螺栓扭矩标准 33
6.4 建议安装方式和安装面精度 33
6.5 常见的非正常安装 34
6.6 严格清洁安装表面 36

7 多模组间线缆连接 37

7.1 电源接线方式说明 37
7.2 CAN/CANopen 通信接线 38
7.3 Ethercat 通讯接口连接方式 39
7.4 重要的布线相关说明 40

8 回收动能产生原因分析 42

8.1 加稳压模块 42
8.2 加超级电容 43
8.3 加蓄电池 43

9 连接调试上位机 45

10 减速比的解析 48

11 电机使用寿命到期时的安全处理 51

12 恢复出厂参数功能 52

12.1 98+0D 参数回滚功能 52
12.2 恢复出厂默认参数功能 52

13 电机试运行 54

14 PID 调整 55

15 固件版本升级 57

16 输出特性曲线 58

16.1 关节模组电机电流-输出扭矩-转速曲线 58
16.2 关节模组输出扭矩-转速曲线 62

17 编码器和位置反馈 65

17.1 编码器分辨率 65
17.2 关节的位置反馈 65
17.3 使用单圈功能的关节位置和注意事项 66
17.4 使用多圈功能的关节位置和注意事项 66

18 故障排查说明 67

18.1 使用 EtherCAT 通讯遇到报警的检查与处理 67

18.2 CAN 通讯使用 USB-CAN-TOOL 查报错 69

1 安全注意事项

1.1 安全声明

● 本章对正确使用本产品所需关注的安全注意事项进行说明。在使用本产品之前，请先阅读使用说明书并正确理解安全注意事项的相关信息。如果不遵守安全注意事项中约定的事项，可能导致人员死亡、重伤，或设备损坏。

● 手册中的“危险”、“警告”和“注意”事项，并不代表所应遵守的所有安全事项，只作为所有安全注意事项的补充。

● 本产品应在符合设计规格要求的环境下使用，否则可能造成故障，因未遵守相关规定引发的功能异常或部件损坏等不在产品质量保证范围之内。

1.2 安全等级定义

危险 表示如果不按规定操作，则导致死亡或严重身体伤害。

警告 表示如果不按规定操作，则可能导致死亡或严重身体伤害。

注意 表示如果不按规定操作，则可能导致轻微身体伤害或设备损坏。

1.3 安全注意事项

● 本说明书中的产品图示仅为示例，可能与您订购的产品略有差异，请以实际订购产品为准。

开箱验收
注意 ● 开箱时发现产品及产品附件有损伤、锈蚀等问题，请勿安装！ ● 开箱时发现产品内部进水、部件缺少或有部件损坏时，请勿安装！ ● 请仔细对照装箱单，发现装箱单与产品名称不符时，请勿安装！
注意 ● 开箱前请检查设备的外包装是否完好,有无破损、浸湿、受潮、变形等情况。

● 请按照层次顺序打开包装，严禁敲击、摔击设备等破坏性违规操作！

● 开箱时请检查设备及附件表面有无残损、锈蚀、碰伤等情况。

● 开箱后请仔细对照装箱清单，查验设备及附件数量、资料是否齐全。

储存与运输

警告

● 运输：只能由具备处理静电敏感部件相关知识的人员执行。否则有导致受伤或产品损坏的危险！

注意

● 搬运产品时请务必轻抬轻放，随时注意脚下物体，防止绊倒或坠落，否则有导致受伤或产品损坏的危险！徒手搬运产品时，请务必抓牢产品壳体，避免产品部件掉落，否则有导致受伤的危险！

● 请严格按照产品要求的储存与运输条件进行储存与运输，否则有导致产品损坏的危险。

● 避免在水溅雨淋、阳光直射、强电场、强磁场、强烈振动等场所储存与运输。

● 请将产品进行严格包装后再进行车辆运输，长途运输时必须使用封闭的箱体。

● 严禁将本产品与可能对本产品构成影响或损害的设备或物品一起混装运输。

● 只能使用起重工具升降和移动重量超过 20kg 的设备。无辅助的升降会导致背部受伤。

● 进行空载试运行，为了防止关节运输过程中出现问题，建议空载进行试运行。

安装时

危险

● 只有受过电气设备相关培训，具有电气知识的专业人员才能操作。严禁非专业人员操作！

警告

● 安装前请务必仔细阅读产品使用说明书和安全注意事项！

● 进行安装作业前，请确保安装位置的机械强度足以支撑设备重量，否则会导致机械危险。

● 严禁改装本产品！

● 严禁拧动产品零部件及元器件的固定螺栓。

● 请将产品安装在金属等阻燃物体上，勿使易燃物接触产品或将易燃物附着在产品上，否则会有引发火灾的危险。

接线时

危险

● 严禁非专业人员进行安装、接线、保养维护、检查或部件更换！

● 接线前，请切断所有设备的电源。

警告

● 接线完成后，请确保所有线缆接线正确，产品内部没有掉落的螺钉、垫片或裸露线缆，否则可能损坏产品。

上电时

危险

● 上电前，请确认产品安装完好，接线牢固，电机装置允许重新起动。

● 上电前，请确认电源符合产品要求，避免造成产品损坏或引发火灾！

● 严禁在通电状态下打开产品外壳、触摸产品的任何接线端子、拆卸产品的任何装置或零部件。

● 请勿在带电时插拔电源线！

警告

● 如果超过允许的电压值或电流值，则会损坏电机，比如出现过热，过压，过流等异常情况。

● 接线作业和参数设定完成后，请进行机器试运行，确认机器能够安全动作，否则可能导致人员受伤或设备损坏。

● 通电前，请确保产品的额定电压与电源电压匹配。如果电源电压使用有误，会有引发火灾的危险。通电前，请确保产品、电机以及机械的周围没有人员，否则可能导致人员受伤。

运行时

注意

● 为防止误操作而出现意外飞车情况，建议客户在使用 CAN 通信或者 Ethercat 通信时，根据实际轨迹规划和应用场景发送相应的指令，进行位置跟随限制

● 运行过程中不允许操作 Flash，芯片原厂支持最低 10k 擦写寿命，本产品程序实行双分区交替存储方案，理论上可以将有效擦写寿命提升至约 1 倍，但对于 Flash 的操作用于参数保存，不建议用于高频状态记录。

危险

● 严禁非专业人员进行产品运行，否则会有导致人员受伤或死亡危险！

● 严禁在运行状态下触摸设备的任何接线端子、拆卸设备和产品的任何装置或零部件。

警告

● 运行中，避免其他物品或金属物体等掉入设备中，否则可能引起火灾或产品损坏！

● 严禁触摸设备外壳以试探温度，否则可能引起灼伤！

保养时

危险

● 严禁非专业人员进行设备安装、接线、保养维护、检查或部件更换！

● 严禁在通电状态下进行设备保养。
维修时
危险 ● 严禁非专业人员进行设备安装、接线、保养维护、检查或部件更换！ ● 严禁在通电状态下进行设备维修。
警告 ● 设备出现故障或损坏时，务必由专业人员按照维修指导对设备和产品进行故障排除和维修，并做好维修记录。 ● 请勿继续使用已经损坏的机器，否则可能会造成人员伤亡或产品更大程度的损坏。 ● 更换设备后，请务必重新进行设备接线检查与参数设置。
报废时
警告 ● 请按照国家有关规定与标准进行设备、产品的报废，以免造成财产损失或人员伤亡！ ● 报废的设备与产品请按照工业废弃物处理标准进行处理回收，避免污染环境。

1.4 产品质保

CRA 系列一体化关节模组具有 12 个月有限保修期。

若一体化关节模组在投入使用后 12 个月内，出现因制造或材料不良所致的缺陷，公司提供必要的备用部件予以更换或维修相关部件。若设备缺陷是由处理不当或未遵循用户指南中所述的相关信息所致，则本产品质量保证即告失效。

在不违背本产品质量保证的原则下，若产品已经超出保修期，公司保留向客户收取更换或维修费用的权利。

在保修期外，如果设备呈现缺陷，公司不承担由此引起的任何损害或损失，包括但不仅限于生产损失或对其他生产设备造成的损坏。

1.5 免责声明

公司致力于不断提高产品可靠性和性能，并因此保留升级产品的权利，恕不另行通知。公司力求确保本手册内容的准确性和可靠性，但不对其中的任何错误或遗漏信息负责。以下情况导致的故障不在本保修范围内：

1. 未按用户手册要求安装、接线、连接其他控制设备；
2. 使用时超出用户手册所示规格或标准；
3. 由于运输不当导致的产品损坏；
4. 事故或碰撞导致的损坏；
5. 火灾、地震、海啸、雷击、大风和洪水等自然灾害。

2 产品简介

本手册介绍上海钛虎机器人有限公司研发、设计、生产的 CRA 系列关节模组产品组成、型号定义、安装说明、运输存储、使用方法、注意事项等信息，请务必仔细阅读后再上手操作。

2.1 产品组成

CRA 系列是公司团队在多年为客户服务经验前提下，以 FOC 控制板和高精度多圈绝对值编码器基础上进行延伸，推出的一体化关节模组产品，让机器人开发更简单、更快捷、更安全。

CRA 系列有外径 40mm 的 CRA-RI30-40-PRO 到外径 170mm 的 CRA-RI110-170-PRO，设计精巧、结构紧凑，小巧体积中包含 FOC 控制板、高精度多圈绝对值编码器、无框力矩电机、精密谐波减速机等主要部件，为客户省去上百种机械电子器件选型、设计、采购、组装的人力和时间成本。

为了适应更多客户的要求，在 CRA-PRO 系列标准款一体化关节模组的基础上，优化了编码器及通讯方式，推出 2E-EC 系列产品，与标准版产品的区别在于：

- 使用了双绝对值编码器，即在**电机轴端（高速端）**与**减速器输出端（低速端）**分别设置位置检测环节，整套编码系统由以下三个部分构成：
  - **高速端编码器转子（信号源）**：安装在电机轴上，随电机高速旋转，用于实时反馈电机转子的位置与速度。
  - **低速端编码器转子（信号源）**：安装在减速器输出端，用于监测关节实际输出的末端位置。
  - **编码器信号采集板**：读取上述两个信号源的位置信息，经计算处理后输出给控制器。

根据型号不同，我司关节模组提供两种方案：80-110 及其以下用的是磁编码器，包含 1 个高速磁环+1 个低速磁环+1 个编码器信号采集板；其他型号采用的是电感式编码器，包含 1 个高速拨片+1 个低速拨片+1 个编码器信号采集板。

电机端（高速端）编码器对应 16bit，输出端（低速端）编码器对应 18bit，出厂时默认为输出端编码器，即 262144（2^{18}）个脉冲对应一圈。双编码器使用时可以直接判断输出盘位置，无需外接电池。

- 使用 Ethercat 通讯接口，在速度、效率、灵活性和扩展性方面相比 CANopen 具有明显的优势。

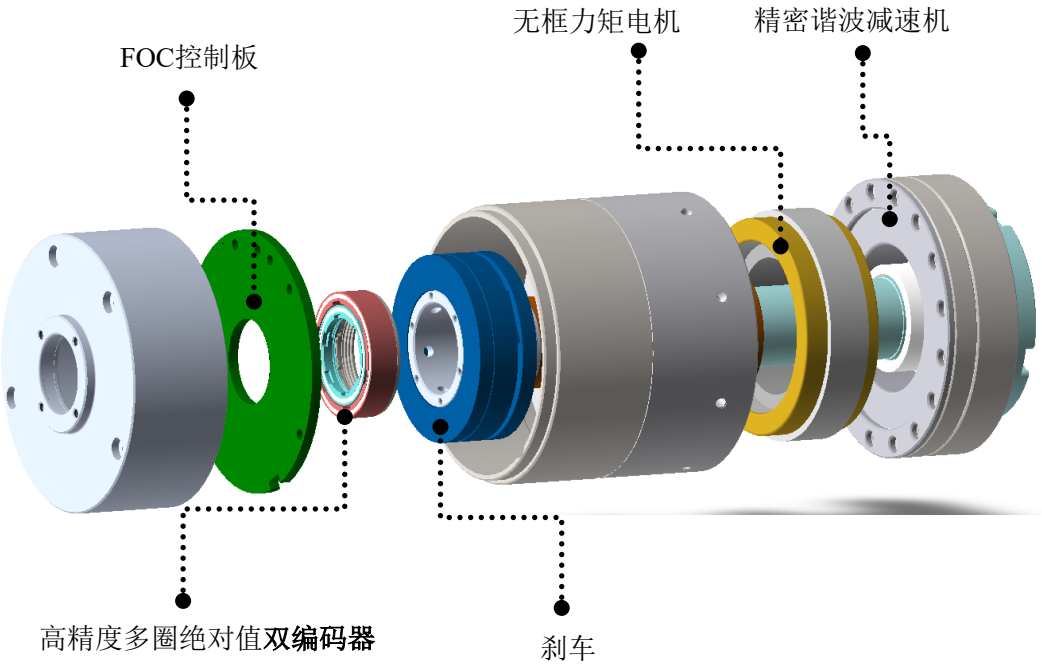


图 2-1 一体化关节模组剖面图

2.2 产品型号说明

CRA-RI30 -40 -PRO -2 -101 -B -2E -EC

模组系列 Joint Series	无框力矩电机直径 Frameless Torque Motor OD		模组外径 Module Outer Diameter		产品系列 Product Series		代系 Generation Series		减速比 Reduction Ratio		制动器 Brake		编码器 Encoder		通信方式 Communication Method	
一体化关节模组 Compact Joint Actuator	RI	默认自带 Default Inclusion	40	Φ40mm	PRO	谐波通孔 Harmonic Drive with Through-Bore	/	第一代，默认空 First Generation, Default Empty	25	25 速比 25 Reduction Ratio	/	无制动器，默认空 Without Brake, Default Empty	/	单编，默认空 Single Encoder, Default Empty	CAN	CAN，默认空 CAN, Default Empty
	30	Φ30mm	52	Φ52mm	NH	谐波非通孔 Harmonic Drive Without Through-Bore	2	第二代 Second Generation	51	51 速比 51 Reduction Ratio	B	带制动器 With Brake	2E	双编 Dual Encoder	EC	EtherCat
	40	Φ40mm	60	Φ60mm	PG	行星减速器 Planetary Gearhead	3	第三代 Third Generation	81	81 速比 81 Reduction Ratio						
	50	Φ50mm	70	Φ70mm					101	101 速比 101 Reduction Ratio						
	60	Φ60mm	80	Φ80mm					121	121 速比 121 Reduction Ratio						
	70	Φ70mm	90	Φ90mm					161	161 速比 161 Reduction Ratio						
	80	Φ80mm	97	Φ97mm												
	100	Φ90mm	110	Φ110mm												
	110	Φ110mm	120	Φ120mm												
			142	Φ142mm												
			145	Φ145mm												
			170	Φ170mm												

图 2-2 电机型号说明

2.3 产品正转方向

面对减速机输出端，电机正转方向如图 2-3，为逆时针旋转。

图 2-3 电机正转方向示意图

2.4 运输、存储及使用要求

2.4.1 电机运输

产品的运输工作只能由具备静电敏感部件处理相关知识的人员执行，若由不具备该资质的人员操作，可能导致人员受伤或产品损坏；

搬运产品时，务必做到轻抬轻放，同时随时留意脚下物体，防止因绊倒或坠落引发人员受伤、产品损坏的危险，且徒手搬运时需抓牢产品壳体，避免产品部件掉落造成人员受伤。

储存与运输过程中，需严格遵循产品要求的储存与运输条件，且要避开水溅雨淋、阳光直射、强电场、强磁场、强烈振动等场所，若未满足上述条件，易导致产品损坏；

进行车辆运输前，需先对产品进行严格包装，长途运输时必须使用封闭箱体，同时严禁将本产品与可能对其构成影响或损害的设备、物品混装运输。

此外，对于重量超过 20kg 的设备，只能使用起重工具进行升降和移动，无辅助的升降操作会导致操作人员背部受伤。

2.4.2 电机存储条件

1) 一般使用温度：-10℃~+45℃；
2) 贮存温度:-30℃~+60℃；
3) 使用、贮存湿度:20~80%RH(无结露)；
4) 耐振动:24.5m/s2(频率:10~400Hz)；
5) 无粉尘、金属粉、腐蚀性气体、易燃性气体、油雾等；
6) 在室内储存使用、避免阳光直射；
7) 气压：86KPa~106KPa；

2.4.3 电机使用要求

2.4.3.1 预期使用

本款关节电机作为精密传动执行部件，其预期使用场景及条件如下：

- 应用领域：专为工业机器人关节、服务机器人关节、医疗康复设备（如康复机器人、辅助行走设备）、智能装备关节传动系统设计，用于实现精准的角度调节、扭矩输出及运动控制。
- 使用环境：需在温度 - 10℃~ +45℃、相对湿度≤85%、无腐蚀性气体、无粉尘污染、无强烈电磁干扰的环境中使用；禁止在易燃易爆环境、水下或长期潮湿环境中运行。
- 操作方式：需由经过专业培训的技术人员，按照产品说明书规定的步骤进行安装、接线、参数配置及维护；运行时需搭配符合额定电压（24~48VDC）、额定电流的电源，且需与适配的上位机软件协同工作，确保负载不超过产品额定扭矩及最大转速。
- 功能用途：仅用于实现机械关节的可控运动，包括但不限于旋转、摆动、定位等，不可用于超出传动功能的其他用途（如承重支撑、冲击载荷承受等）。

注：

1. 电机支持的工作电压 24~48VDC，但出厂程序内部默认的最低电压阈值为 36V，如果供电电压低于最低电压阈值电机会报错导致无法正常使能，如有 24V 供电需求可以发送报文调低欠压阈值，具体指令可以参考《钛虎 PRO-2 关节模组通讯使用说明》。
2. 标品的一般使用环境温度在- 10℃~ +45℃，如果工作环境温度在（- 40℃~ - 10℃，+ 46℃ ~ + 70℃）之间需要额外定制，标品工作在一般使用环境温度之外导致的故障不在本保修范围内。

2.4.3.2 合理可预见的误用

基于产品特性及实际应用场景，以下行为属于合理可预见的误用，可能导致电机损坏、性能异常或安全风险（如电击、机械伤害），需严格避免：

- 环境类误用：

1.在温度超出 - 10°C~+45°C范围的环境中使用，如在高温车间、严寒户外使用将导致电机绕组绝缘老化或润滑脂失效。

2.在粉尘浓度超标、存在腐蚀性气体或潮湿凝露环境中使用，造成电机内部零部件锈蚀、短路。

3.在有强烈电磁干扰的环境中未采取屏蔽措施使用，导致电机控制信号紊乱、运动精度下降。

- 安装与接线类误用：

1.未按照说明书规定的安装尺寸、固定方式进行安装，如螺栓未拧紧、安装基准面不平整会导致电机运行时振动过大，引发结构损坏或异响。

2.接线时混淆电源正负极、信号控制线，或未确保接线端子接触良好，导致电机烧毁、控制失效。

3.未根据电机额定电压选择适配电源，使用过高或过低电压供电，造成电机绕组过热或无法正常启动。

- 运行与负载类误用：

1.长期超出电机额定扭矩运行（如负载扭矩超过额定值 120%），导致电机堵转、轴承磨损加剧，甚至绕组烧毁。

2.超出电机最大转速限制运行，引发离心力过大，造成电机转子失衡或零部件脱落。

3.频繁启停或急加速、急减速，导致电机冲击电流过大，缩短使用寿命。

4.对于开关电源供电系统，当一体化关节模组带负载减速过快或负载因重力等因素对电机做功时，一体化关节模组将会起发电作用，电流倒灌到电源并推高母线电压，严重时会导致一体化关节模组过压报错并停止运行。

- 操作与维护类误用：

1.未经培训的非专业人员进行参数修改、拆解维修，导致电机性能异常或安全防护失效。

2.未按照说明书规定的周期进行维护（如未定期更换润滑脂、清理散热通道），导致电机散热不良、摩擦阻力增大。

在电机运行过程中触摸旋转部件，或在未切断电源的情况下进行接线调整，引发机械伤害或电击风险。

2.5 产品参数概览

表 2-1 电机承载能力值（表中参数基于电压 48V 时）

关节型号	减速比	启停峰值转矩 (N·m)	平均负载转矩 容许最大值 (N·m)	2000rpm/(减速比)时 额定转矩(N·m)	输出端峰值转速 (RPM)	额定转速 (RPM) (1/2 额定转矩)
CRA-RI30-40-PRO-2-xxx	51/101	3.3/4.8	2.3/3.3	1.8/2.4	118/59	90/45
CRA-RI40-52-PRO-2-xxx	51/101	8.3/11	5.5/8.9	3.5/5	118/59	80/40
CRA-RI50-60-PRO-2-xxx	51/81/101	23/29/34	8.6/13.5/13.5	6.6/9.6/9.6	97/61/49	75/46/37
CRA-RI50-70-PRO-2-xxx	51/81/101	23/29/34	8.6/13.5/13.5	6.6/9.6/9.6	97/61/49	75/46/37
CRA-RI60-70-PRO-2-xxx	51/81/101/121	42/53/66/66	32/33/49/49	19.8/27.5/30/30	82/51/41/32	68/43/34/24
CRA-RI60-80-PRO-2-xxx	51/81/101/121	42/53/66/66	32/33/49/49	19.8/27.5/30/30	82/51/41/32	68/43/34/24
CRA-RI70-80-PRO-2-xxx	51/81/101/121	69/91/102/108	42/58/61/61	32/42/50/50	77/48/40/30	61/38/30/25
CRA-RI70-90-PRO-2-xxx	51/81/101/121	69/91/102/108	42/58/61/61	32/42/50/50	77/48/40/30	61/38/30/25
CRA-RI80-97-PRO-2-xxx	51/81/101/121/161	121/169/194/207/217	68.5/107/133/133/133	48/78/84/84/84	65/43/36/30/22	54/35/27/23/17
CRA-RI80-110-PRO-2-xxx	51/81/101/121/161	121/169/194/207/217	68.5/107/133/133/133	48/78/84/84/84	65/43/36/30/22	54/35/27/23/17
CRA-RI100-120-PRO-2-xxx	51/81/101/121/161	267/376/411/436/459	133/206/267/267/267	94/146/169/169/169	55/37/29/24/18	44/29/22/18/12
CRA-RI100-142-PRO-2-xxx	51/81/101/121/161	267/376/411/436/459	133/206/267/267/267	94/146/169/169/169	55/37/29/24/18	44/29/22/18/12
CRA-RI110-170-PRO-2-xxx	51/81/101/121/161	497/641/702/762/800	242/351/460/557/557	169/255/328/363/363	32/21/16/14/10	22/15/12/10/7

2.6 产品配件说明

表 2-2 产品配件说明

一体化关节出厂配置清单（双编）											
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
型 号 / 配 件	EC接口线		EC转RJ45 MOLEX公头接口转RJ45 400mm	转接板C-Board6	匹配电阻120Ω	电源线		CAN接口线		10000μF电容	22000μF电容
	EC_001 2头端子，1.0*4 400mm	EC_003 2头端子,1.5*5 400mm				PWR002 1头焊接，1头母头，300mm	PWR003 2头端子 1.25*2，300mm	CAN002 2头端子 1.0*3 400mm	CAN004 2头端子 1.5mole x *4 400mm		
CRA-RI30-40-PRO	√		√	√	✓	√	√			✓	
CRA-RI40-52-PRO	√		√		✓	√		√		✓	
CRA-RI50-60-PRO	√		√		✓	√		√		✓	
CRA-RI50-70-PRO	√		√		✓	√		√		✓	
CRA-RI60-70-PRO	√		√		✓	√		√		✓	
CRA-RI60-80-PRO	√		√		✓	√		√		✓	
CRA-RI70-80-PRO	√		√		✓	√		√		✓	
CRA-RI70-90-PRO	√		√		✓	√		√		✓	
CRA-RI80-97-PRO	√		√		✓	√		√			✓
CRA-RI80-110-PRO	√		√		✓	√		√			✓
CRA-RI100-120-PRO		√	√		✓	√			√		✓
CRA-RI100-142-PRO		√	√		✓	√			√		✓
CRA-RI110-145-PRO		√	√		✓	√			√		✓
CRA-RI110-170-PRO		√	√		✓	√			√		✓

3 供电电源说明

3.1 额定电压和额定电流

额定工作电压为 DC 24V～48V（出厂设置的最小电压为 36V，最大电压为 60V），驱动器在检测到低于 DC 36V 会触发电压过低报警，在检测到高于 60V 会触发过压报警，可以手动调整欠压阈值防止低于 36V 电机报错无法正常使能。

电源反接或电压超过 DC 60V，将会对一体化关节模组造成损害。

3.2 最高输入电压

关节电源接口最大承受电压为 DC 60V，输入电压超过 DC 60V 易导致驱动器故障。关节异常供电的输入电压波形如图 3-1 所示。

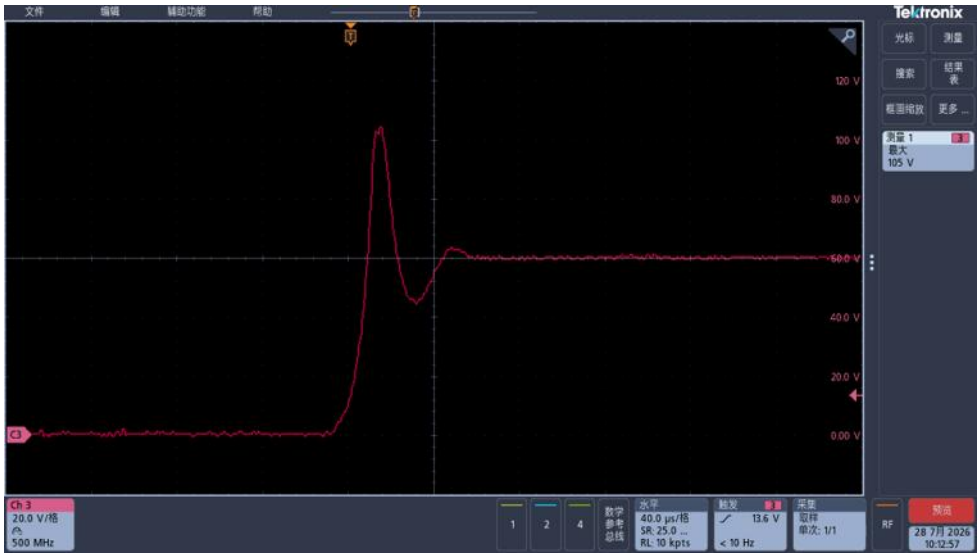


图 3-1 关节模组异常供电的输入电压波形

注意当使用开关电源或蓄电池（电源输出接空气开关再连接到关节电源接口）给关节供电时，开关开启上电瞬间可能存在过压冲击（＞60V 的情况），此种供电方式需在空气开关后、关节电源输入前并联一个电解电容（参考规格：22000uF，100V）或者稳压模块，以抑制上电瞬间输入电压的过冲现象，如图 3-2 所示，并联电解电容后关节模组正常供电的输入波形图，如图 3-3 所示。

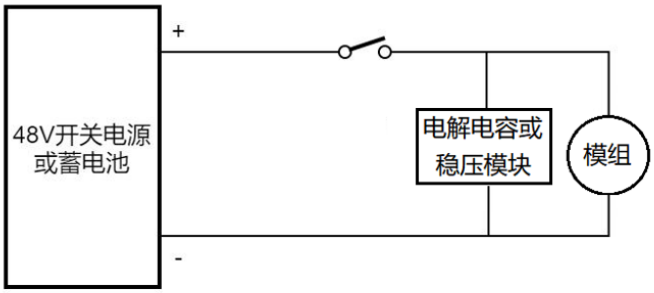


图 3-2　电源并联电解电容或者稳压模块的拓扑图

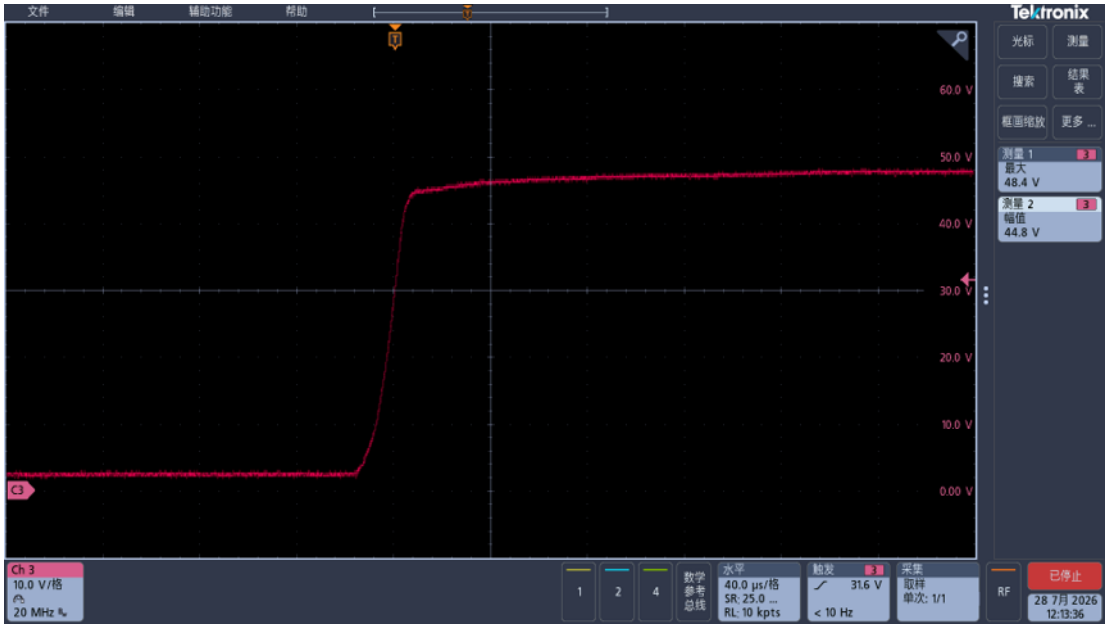


图 3-3　关节模组正常供电的输入电压波形（供电电压小于 DC 60V）

使用电池（常见锂电池或其他种类蓄电池）供电时不需要考虑反电动势的影响，因为再生制动时产生的反电动势直接会对电池进行充电，对关节模组没有任何影响，因此不需要处理，但需修改关节的最高容许与最低容许电压设定，修改方法如下：

当使用电池电压高于 48V 电压时，例如使用 DC 48V 电池供电，则修改最大允许母线电压设定为 58V（48V×120%，百分比可根据实际测试情况调整，但不建议设定超过 60V），修改最小允许母线电压设定为 43.2V（48V×90%，百分比可根据实际测试情况调整），修改完后应用并保存，如图 3-4 所示。当检测到电压高于最大允许母线电压设定的 58V 时，将无法使能关节模组，会报错（母线电压过压）停机，如图 3-5 所示（检测当前电压为 60V）。

图 3-4 上位机软件设置模组工作电压阈值

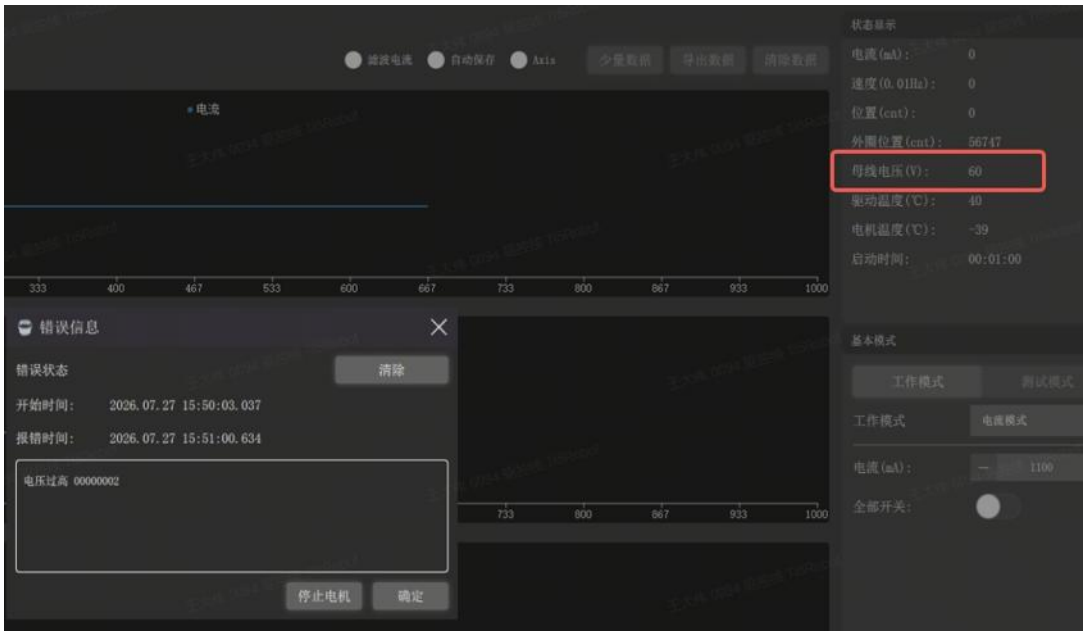


图 3-5 上位机软件报错母线电压过高示意图

3.3 最低输入电压

当供电电压低于最小电压阈值时易导致驱动器无法正常工作。

4 电气接口和指示灯说明

如图 4-1~图 4-10 所示，对应不同型号电机的后盖接口图，不同型号的电机接口有些许差异，详细尺寸及端口定义请以单独型号产品图纸为准。

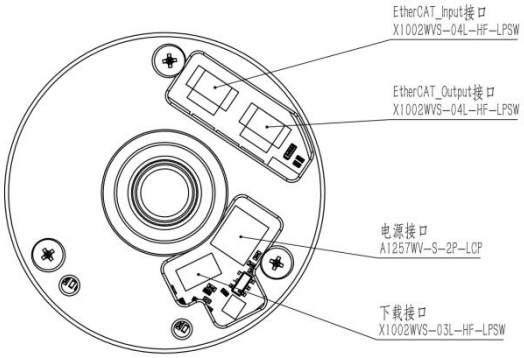


图 4-1 30-40 型号电机

CAA-RI30-40-2E 型号电机做单独说明，该型号电机区分只支持 CAN 通信、只支持 EC 通信和支持 EC+CAN 通信：

只支持 CAN 通信的接口及端子定义图，如图 4-2 所示：

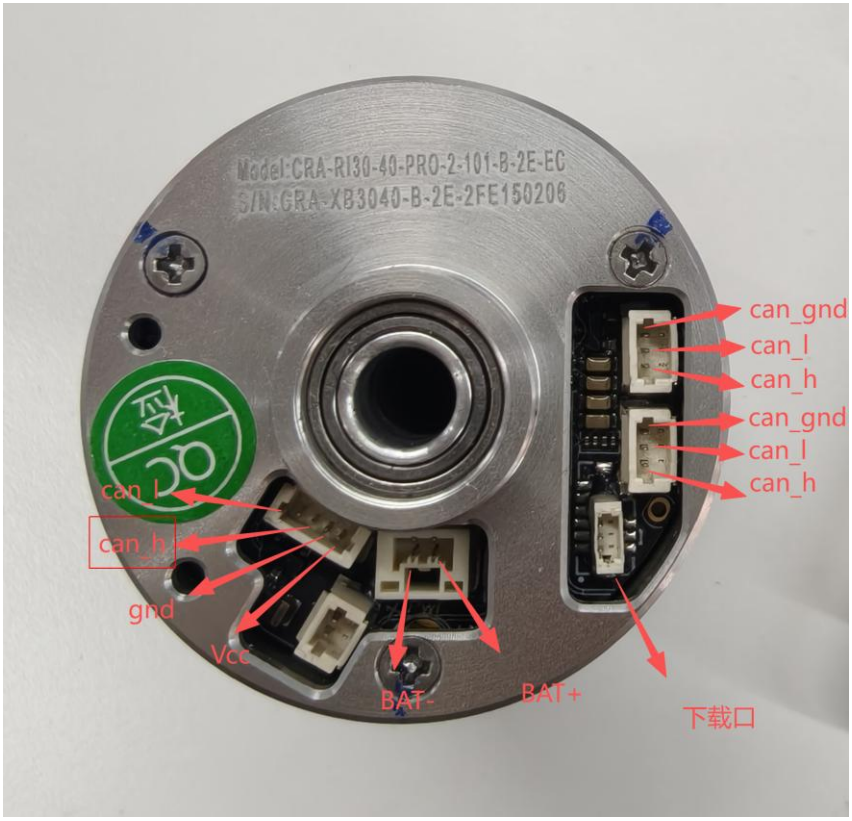


图 4-2 30-40 型号电机只支持 CAN 通信接口及端子定义图

支持 EC+CAN 通信的接口及端子定义图，如图 4-3 所示：

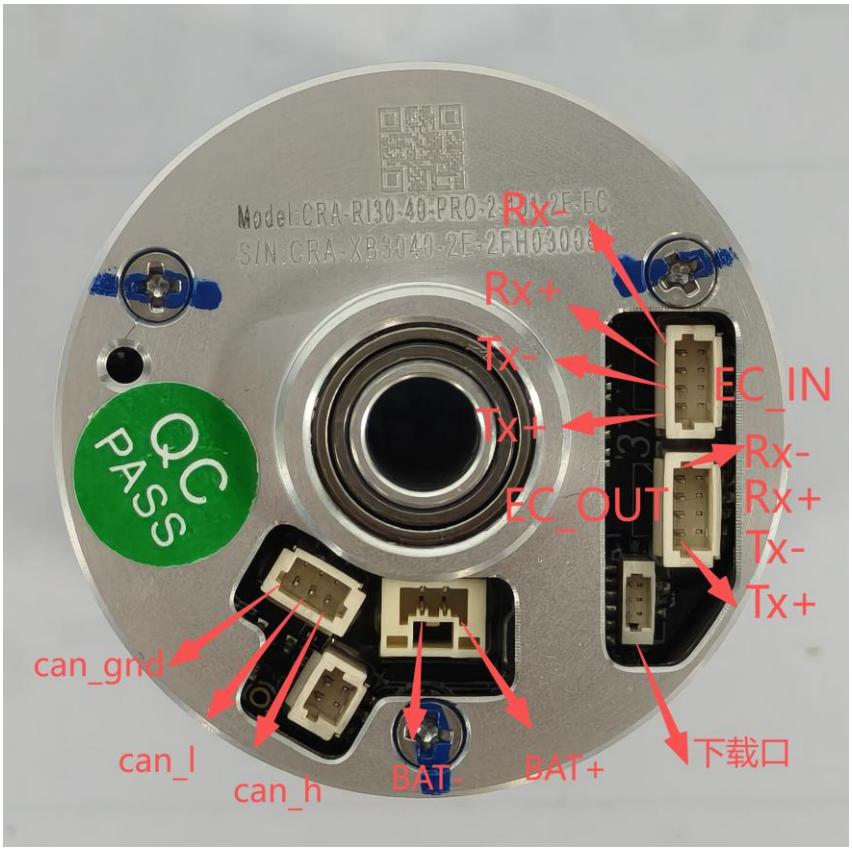


图 4-3 30-40 型号电机支持 EC+CAN 通信接口及定义图

只支持 EC 通信的接口及端子定义图，如图 4-4 所示：

图 4-4 30-40 型号电机只支持 EC 通信接口及端子定义图

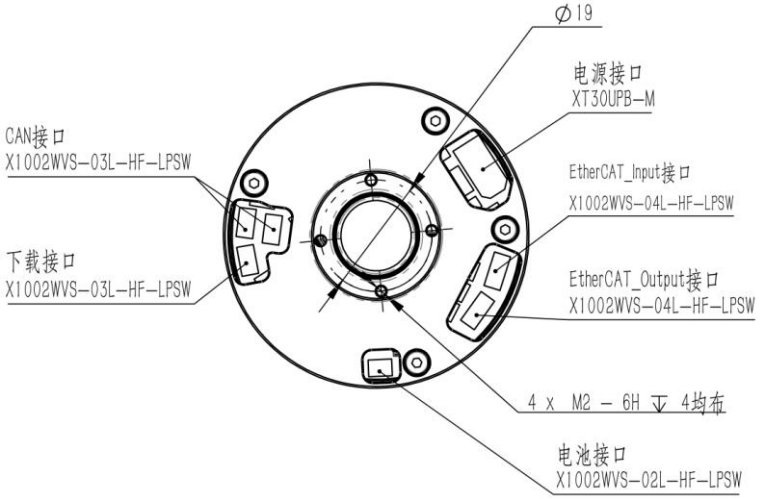


图 4-5 40-52 型号电机

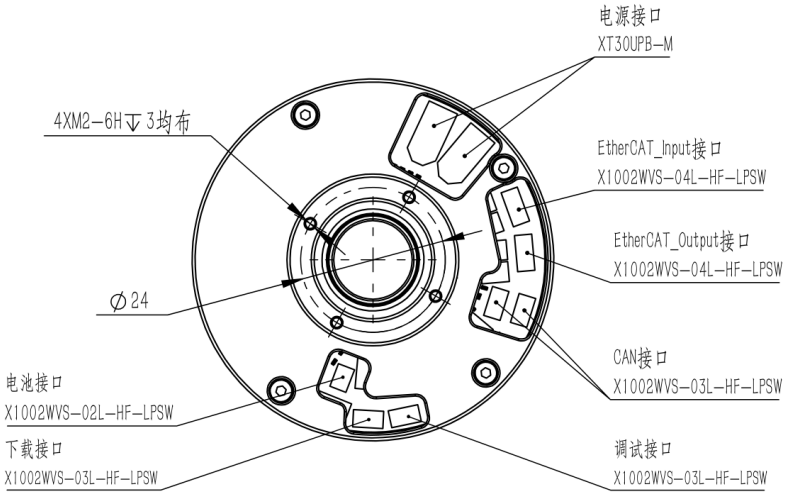


图 4-6 50-60/50-70、60-70 型号电机

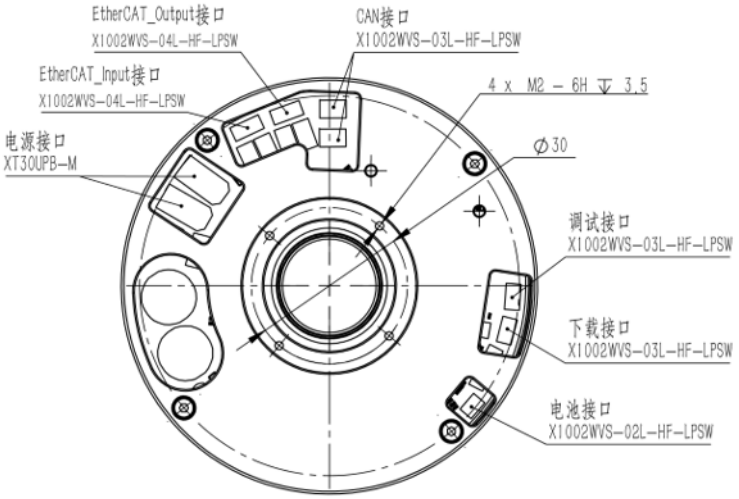


图 4-7 60-80、70-80/70-90 型号电机

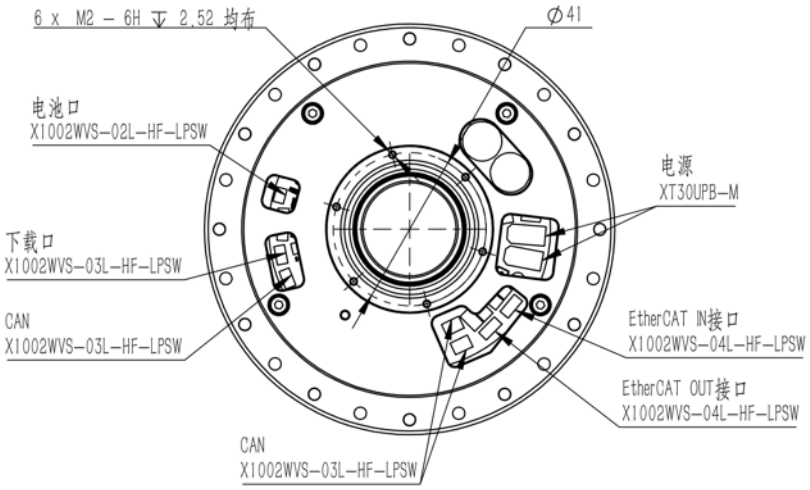


图 4-8 80-97/80-110 型号电机

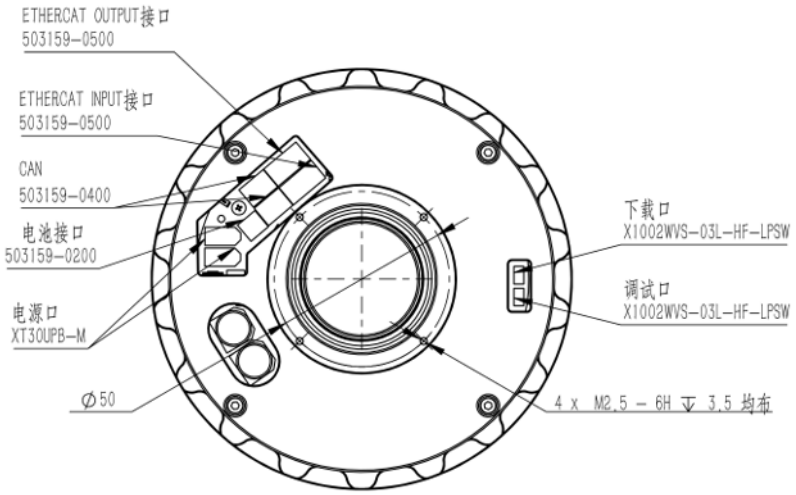


图 4-9 100-120、100-142 型号电机

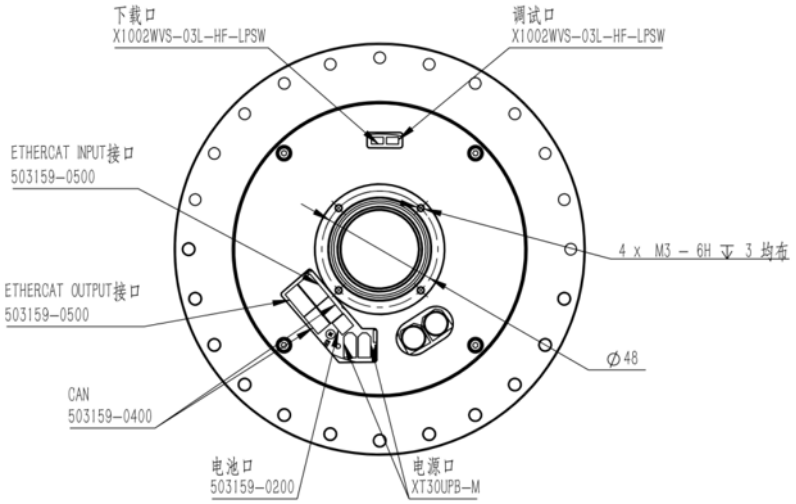


图 4-10 110-170 型号电机

4.1 指示灯功能

LED 标识	LED 状态	时间频率	描述
Motor Status	绿灯慢闪	亮 500ms 灭 500ms	软硬件运行正常
	绿灯快闪	亮 100ms 灭 100ms	有错误发生需要处理
	绿灯双闪	亮 50ms 灭 50ms 亮 50ms 灭 1850ms	未有运行错误发生但是 ESC 连接故障

LED 标识	LED 说明	EtherCAT 状态机状态	LED 状态
EtherCAT Status	指示 EtherCAT 状态机状态	BootStrap 状态	蓝色快闪
		INIT 状态	熄灭
		Pre-Op 状态	蓝色闪烁
		Safe-Op 状态	蓝色单闪
		Op 状态	蓝色常亮

4.2 供电电源接口

模组供电电源接口表如表 4-1 所示。

表 4-1 供电电源接口

PIN	端子标记	端子功能
1	VCC	电源正极
2	GND	电源负极

引脚位置

图 1

图 2

引脚位置	接插件信息		配线端子信息
图 1	品牌：CJT(长江连接器) 型号：A1257WV-S-2P-LCP 规格：单排，间距 1.25mm，2Pin		品牌：CJT(长江连接器) 胶壳型号：A1257H 端子型号：A1257-T 单排，间距 1.25mm，2Pin
图 2	品牌：Amass 艾迈斯 型号：XT30UPB-M		品牌：Amass 艾迈斯 线端插头型号：XT30U-F

4.3 CAN 通信接口

模组 CAN 通信接口定义及端子如表 4-2 所示。

表 4-2 CAN 通讯接口

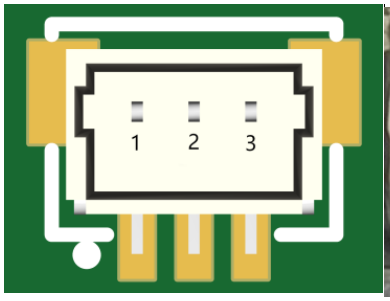
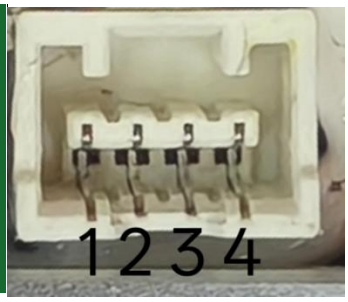
PIN	端子标记	端子功能
1	CAN_H	CAN 信号高
2	CAN_L	CAN 信号低
3	CAN_GND	接地
4	PE	屏蔽
 		
引脚位置		

图 1

图 2

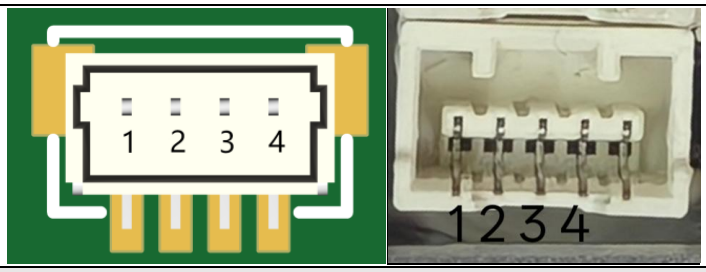
引脚位置	接插件信息	接线端子	配线端子信息
图 1	品牌：XKB Connection(中国星坤) 型号：X1002WVS-03L-HF-LPSW 规格：单排，间距 1mm，3Pin		品牌：XKB Connection(中国星坤) 胶壳型号：X1002H-03L-N0HF 端子型号：X1002T-PSN2 单头端子，间距 1mm，3Pin
图 2	品牌：MOLEX 型号：503159-0400 规格：单排，间距 1.5mm，4Pin		品牌：MOLEX 胶壳型号：5025780400 端子型号：5025790000 单排，间距 1.5mm，4Pin

4.4 EtherCAT 通信接口

模组 EtherCAT 通信接口及端子型号如表 4-3 所示。

表 4-1 EtherCAT 通讯接口

Pin	端子标记	端子功能	对应网线序号	对应网线颜色
1	Tx+	发送信号正	1	白橙
2	Tx-	发送信号负	2	橙
3	Rx+	接收信号正	3	白绿
4	Rx-	接收信号负	6	绿



引脚位置

图 1

图 2

引脚位置	接插件信息	接线端子	配线端子信息
图 1	品牌：XKB Connection(中国星坤) 型号：X1002WVS-04L-HF-LPSW 规格：单排，间距 1mm，4Pin		品牌：XKB Connection(中国星坤) 胶壳型号：X1002H-04L-N0HF 端子型号：X1002T-PSN2 单排，间距 1mm，4Pin
图 2	品牌：MOLEX 型号：503159-0500 规格：单排，间距 1.5mm，5Pin		品牌：MOLEX 胶壳型号：5025780500 端子型号：5025790000 单排，间距 1.5mm，5Pin

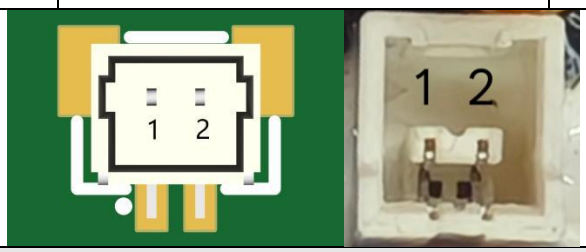
4.5 多圈供电电池接口

单编电机可以通过连接电池的方式断电保存当前的绝对值位置。双编电机目前不支持连接电池，断电后不能保存当前的绝对值位置，断电显示电机输出端的当前角度（不支持多圈位置记忆）。也就是说单编在连接电池的情况下可以支持需要电机多圈旋转的应用，双编电机无法支持

需要电机多圈旋转的应用，只能支持电机在±180 度之内旋转的应用，多圈供电电池接口如表 4-4 所示。

表 4-4 多圈供电电池接口

Pin	端子标记	端子功能
1	BAT-	电池负极
2	BAT+	电池正极



引脚位置

图1

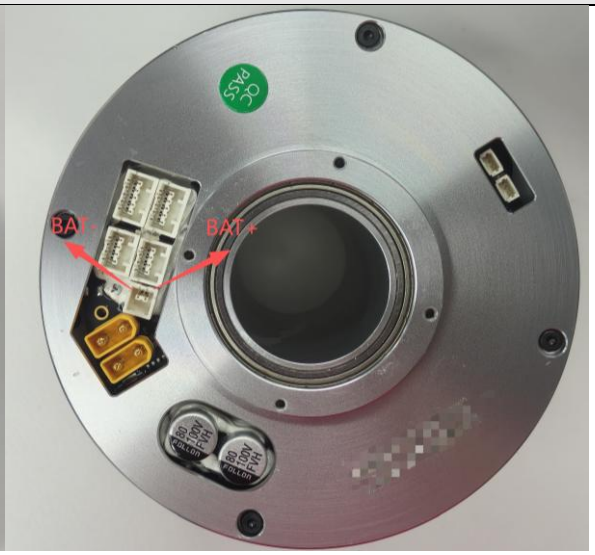


图2

引脚位置	接插件信息	接线端子	配线端子信息
图1	品牌：XKB Connection(中国星坤) 型号：X1002WVS-02L-HF-LPSW 规格：单排，间距1mm，2Pin		品牌：XKB Connection(中国星坤) 胶壳型号：X1002H-02L-N0HF 端子型号：X1002T-PSN2 单排，间距1mm，2Pin
图2	品牌：MOLEX 型号：503159-0200 规格：单排，间距1.5mm，2Pin		品牌：MOLEX 胶壳型号：5025780200 端子型号：5025790000 单排，间距1.5mm，2Pin

4.6 线缆规格说明

不同电机型号对应的线缆说明参考表 4-5。

表 4-5 线缆规格说明

模组型号	线缆型号	信号接口	线路数*接口数	适用线规格		接线预留高度（mm）（从外壳到线缆最外端距离）
				截面（mm²）	AWG#	
全系列	X1002WVS-03L-HF-LPSW（应用于 80-110 及以下）	CAN 通信接口	3P*2	0.032 ~0.08	28~32	6
	503159-0400（应用于 80-110 以上）		3P*2	0.08~0.2	24~28	6
	X1002WVS-04L-HF-LPSW（应用于 80-110 及以下）	EtherCAT 通信接口：EtherCAT_Input EtherCAT_Output	4P*2	0.032 ~0.08	28-32	6
	503159-0500（应用于 80-110 以上）		4P*2	0.08~0.2	24-28	6
	X1002WVS-02L-HF-LPSW（应用于 80-110 及以下）	多圈供电电池接口	2P*1	0.032 ~0.08	28~32	6
	503159-0200（应用于 80-110 以上）		2P*1	0.08~0.2	24-28	6
CRA-RI30-40-PRO-2-xxx-B-2E-EC	A1257WV-S-2P-LCP	48V 供电电源接口	2P*2	0.032~0.13	26-32	6
CRA-RI40-52-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	26
CRA-RI50-60-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	27
CRA-RI50-70-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	27
CRA-RI60-70-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	26
CRA-RI60-80-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	27
CRA-RI70-80-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	27

CRA-RI70-90-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	27
CRA-RI80-97-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	26
CRA-RI80-110-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	26
CRA-RI100-120-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	25
CRA-RI100-142-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	25
CRA-RI110-145-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	27
CRA-RI110-170-PRO-2-xxx-B-2E-EC	XT30UPB-M	48V 供电电源接口	2P*2	1.5	16	27

4.7 连接器受力说明

注意从接口处拔出接线端子时请勿直接拔出，直接拔出端子易使卡扣断裂导致连接不稳定，同时不要左右晃动摇晃端子，会造成焊盘松动，影响正常通信情况，需先扣动端子前端卡扣使卡扣松脱后再轻轻拔出即可。

4.7.1 EtherCAT 通信线受力情况

80-110 型号及以下 EtherCAT 通信线拉力方向如图 4-11 所示，80-110 型号以上 EtherCAT 通信线拉力方向如图 4-12 所示。

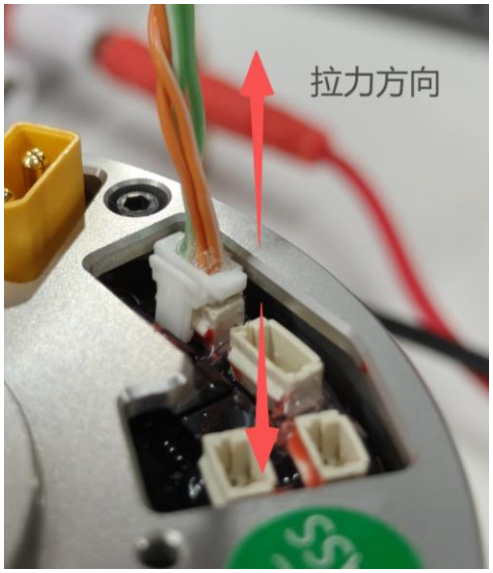


图 4-11 X1002WVS-04L-HF-LPSW 拉力方向

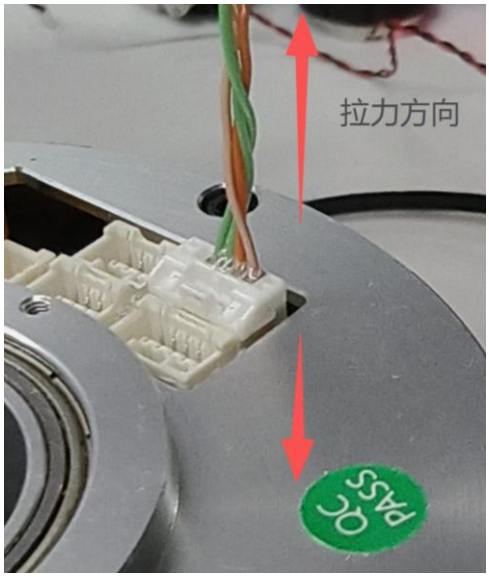
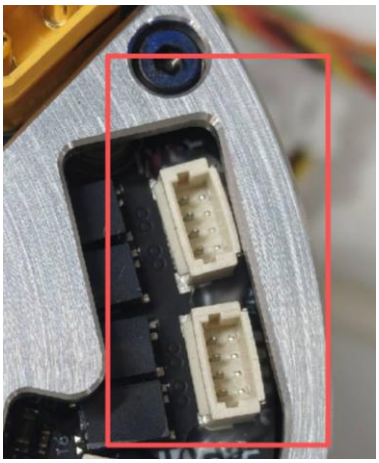
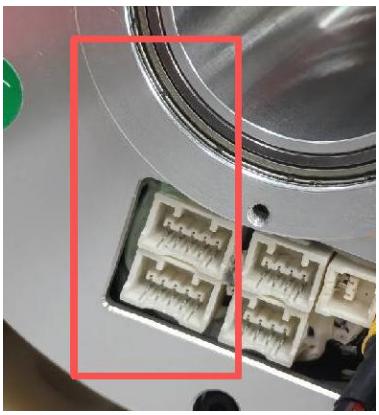


图 4-12　503159-0500 拉力方向

不同型号电机对应的 EtherCAT 通信线的受力情况如表 4-6 所示。

表 4-6 EtherCAT 通信线受力情况

实物图	端子型号	垂直方向受力情况（N）
	X1002WVS-04L-HF-LPSW （应用于 80-110 以下）	54．29
	503159-0500 （应用于 80-110 及以上）	208.57

4.7.2 CAN 通信线受力情况

80-110 型号及以下 CAN 通信线拉力方向如图 4-13 所示，80-110 型号以上 CAN 通信线拉力方向如图 4-14 所示。

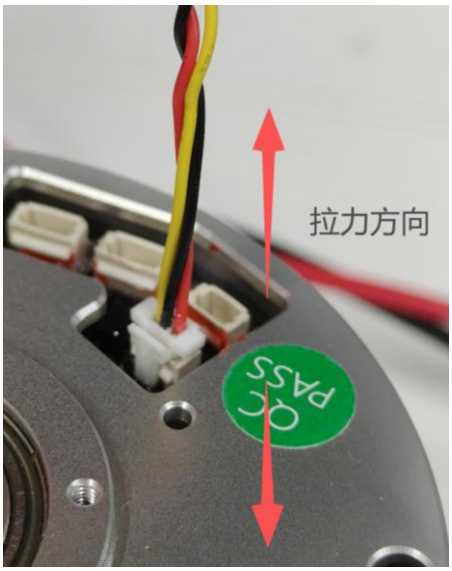
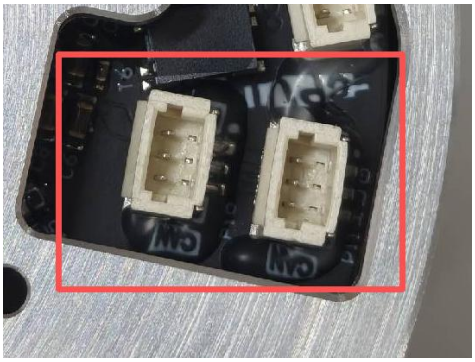
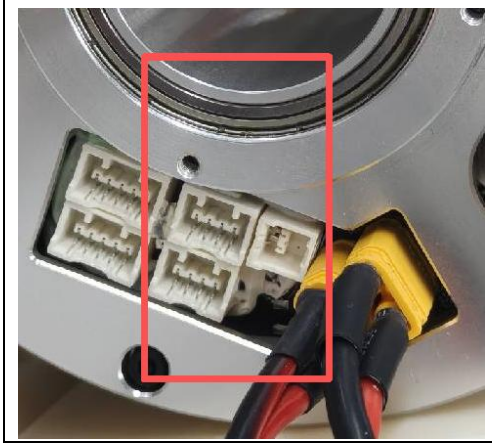


图 4-13　X1002WVS-03L-HF-LPSW 拉力方向

图 4-14　503159-0400 拉力方向

不同型号电机对应的 CAN 通信线的受力情况如表 4-7 所示。

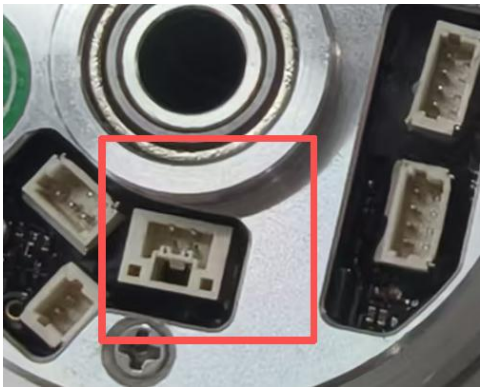
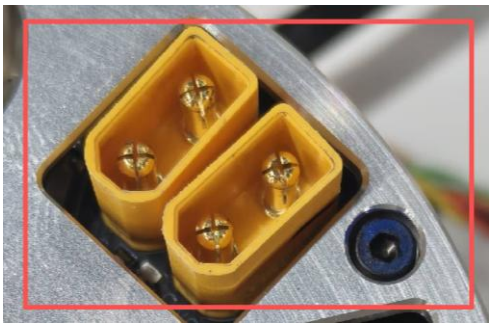
表 4-7 CAN 通信线受力情况

实物图	端子型号	垂直方向受力情况（N）
	X1002WVS-03L-HF-LPSW （应用于 80-110 以下）	48.57
	503159-0400 （应用于 80-110 及以上）	82.86

4.8 电源端子受力说明

在连接或拔出电源插头时，请在垂直方向对电源端子母头进行插拔，电源端子功能头能承受的拉力极限如表 4-8 所示。

表 4-8 电源端子受力说明

实物图	端子型号	垂直方向受力情况（N）
	A1257WV-S-2P-LCP （应用于 30-40）	27.14
	XT30UPB-M （除 30-40 以外其他型号）	82.85

4.9 ESD 标准说明

为辅助用户进行整机电气设计、接口防护设计及相关选型评估，钛虎关节模组 ESD 标准如表 4-9， 整机系统级 ESD 抗扰度评估严格遵照 GB/T 17626.2 标准执行。

表 4-9 钛虎关节模组 ESD 标准

部位	条件/标准	ESD 标准
钛虎关节模组	**测试条件：**电机放置在固定装置中，转速模式运行。 **测试参数：**依次设置 5KV、6KV、7KV、8KV，正极性，测试 30 次，手动运行。 **测试方法：**静电枪头对准减速机端金属外壳缝隙处进行接触式放电，释放后使用导电刷在金属外壳去除残余电荷。 **参考标准：**GB/T 17626.2（电磁兼容 抗扰度）	**接触放电：**8000V（正极），测试 30 次。 **性能判据：**测试过程中电机持续正常运行，编码器无报错、无损坏。

5 电机使用安全与维修保养

1. 电气安全：

严禁在带电状态下插拔任何线路或部件，确保在断开电源并确认电容完全放电后进行操作。

外接电源时，需确保电压稳定且符合电机规格要求，避免过压或欠压情况。

2. 安装与紧固：

电机与结构件之间的连接应使用螺纹胶并严格按照电机使用说明书中指定的扭矩值，使用扭矩扳手进行紧固。

分析仪接线需严格遵循针脚定义，不依赖颜色编码，以防接线错误导致设备损坏。

3. 维护与保养：

未经授权或未在专业指导下，严禁私自拆解电机，以免破坏质保及造成安全隐患。

定期检查电机固定螺丝及连接件是否松动，及时紧固。定期检查电机固定螺丝及连接件是否松动，及时紧固。检查前需将关联设备整体断电，确保电机处于完全无电状态，同时悬挂“设备维护中，禁止合闸”标识，防止误操作引发触电或机械损伤风险。

关节模组里面有润滑油脂，在模组的输入轴以及各个接缝处均有良好的密封。通常情况下，内部的润滑油脂不会泄露到外面。油脂相关的密封，通常可以满足 IP65 等级，因此可以满足通常的工业使用领域。但需注意如果用户将本产品用于一些特殊行业，如食品行业、医疗或医药行业，则建议增加额外的外壳防护。

关节模组里面的油脂不需要定期更换，谐波减速器无法更换油脂。

4. 电源与电压管理：

若采用锂电池供电，需特别注意电池额定电压与电机兼容性，避免因电压波动（如启动瞬间电压上升 70~90 V）影响电机性能或造成损坏。

在一体化电机带负载减速或受外力做功时，可能产生反向电流，需根据供电系统类型（如开关电源或电池供电）采取相应措施（如并联电解电容、增加制动电阻或使用电池吸收反向电流）以管理电压冲击。

5. 物理防护：

禁止对电机进行撞击或施加非正常外力，以防损坏内部结构。

拆卸后重新组装时，确保所有螺丝及部件正确归位并紧固，以防运输过程中因颠簸而损坏。

6. 性能与参数：

严格遵守电机的额定参数使用，避免超负荷运行，以延长电机寿命并确保性能稳定。

定期检查电机性能参数，如温度、噪音等，及时发现并处理异常情况。

7. 专业指导与咨询：

在进行任何非常规操作或遇到问题时，应及时联系专业人员或供应商寻求指导，避免自行处理可能导致的风险。

未经授权或未在专业指导下，严禁私自拆解电机，以免破坏质保及造成安全隐患。

6 关节安装要求

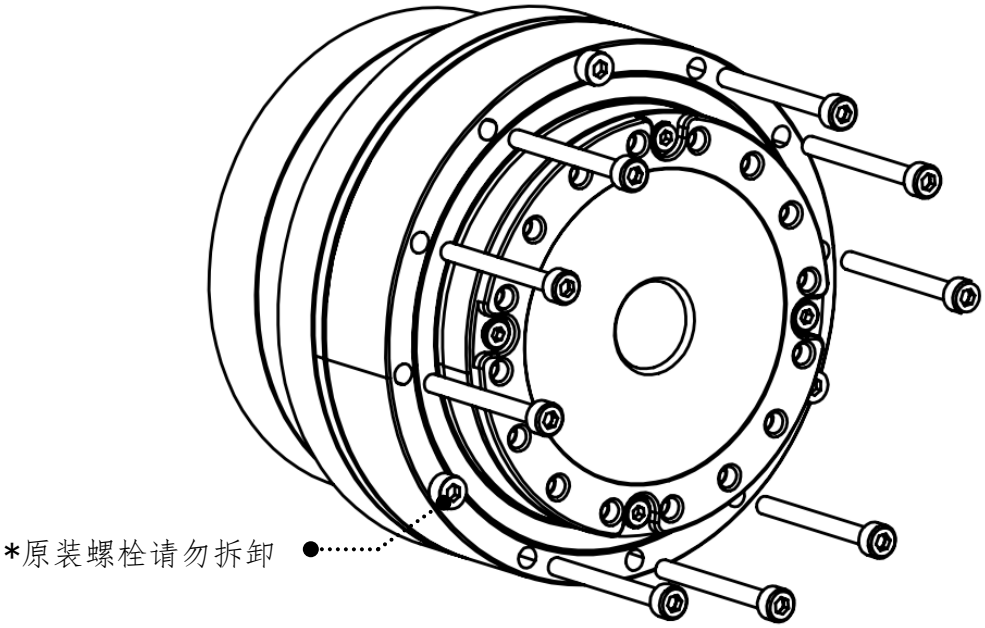


图 6-1 关节安装示意图

6.1 连接法兰止口要求

关节模组安装示意图见图 6-1，具体模组型号对应负载端止口的深度如表 6-1。连接法兰端面不允许有披锋等凸起；注意钻孔易引起的孔口凸起，批锋等；

表 6-1 安装尺寸要求

PRO-2 模组型号	D 输出轴（mm）公差等级 h7	L 输出轴（mm）	D（mm）公差等级 H7	l（mm）	止口圆度	止口平面度
RI30-40	Φ30	7	40	4.4	0.01	0.01
RI40-52	Φ40	7	52	4.4	0.01	0.01
RI50-60	Φ47	13.1	60	5	0.01	0.01
RI50-70	Φ50	10	70	4.9	0.01	0.01
RI60-70	Φ57	13.5	70	4.4	0.01	0.01
RI60-80	Φ60	10.5	80	4.9	0.01	0.01
RI70-80	Φ67	14.5	80	4.5	0.01	0.01
RI70-90	Φ70	12	90	6.4	0.01	0.01
RI80-110	Φ85	15.5	110	6.3	0.01	0.01
RI100-120	Φ102	17	120	5.8	0.01	0.01
RI100-142	Φ110	18	142	6.3	0.01	0.01
RI110-145	Φ126	22.5	145	7.8	0.01	0.01
RI110-170	Φ141	23	170	10	0.01	0.01

注意：

1、未按照关节输出端连接法兰的安装要求，可能会导致输出轴发生变形。

2、L 长度要求是为了保证：

（1）输出法兰的径向定位精度；

（2）将负载力矩通过输出法兰止口传递到直接支撑外部负载的精密交叉滚子轴承上。

3、客户负载法兰止口圆度与平面度尽量达到或接近表 6-1 所要求数值，因圆度或平面度超差导致关节模组输出端受力不均匀，会导致关节模组异响或抖动。

4、客户负载法兰止口不能喷油漆，否则会引起平面度超差，导致关节模组输出端受力不均匀，从而导致安装在关节模组输出轴上的码盘发生偏移，导致断电重启后输出端编码器位置读数偏移。

6.2 螺栓锁紧手法

使用对角的方法对螺栓进行锁紧，第一步先将螺栓拧到底而不拧紧，第二步按对角的步骤将螺栓稍微拧紧，第三步按对角的步骤用扭矩扳手将螺栓拧紧。

螺栓安装时建议使用中强度螺纹胶。

6.3 螺栓扭矩标准

丝锁紧力参考表 6-1。

表 6-1 螺丝锁紧扭矩表

螺丝型号	M3	M4	M5	M6
锁紧扭矩	2N.m	4N.m	9N.m	15N.m
特别说明	前提是内螺纹侧材质能够承受螺栓拧紧扭矩。			

6.4 建议安装方式和安装面精度

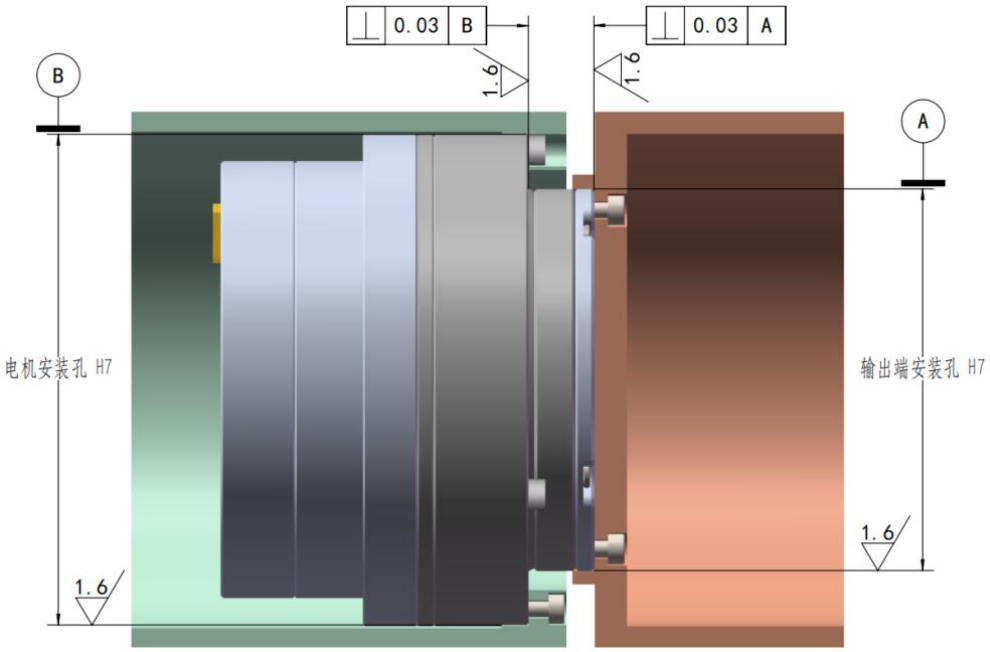


图 6-2 建议安装面精度

6.5 常见的非正常安装

(1) 仅有平面安装，定位不足，如图 6-3。

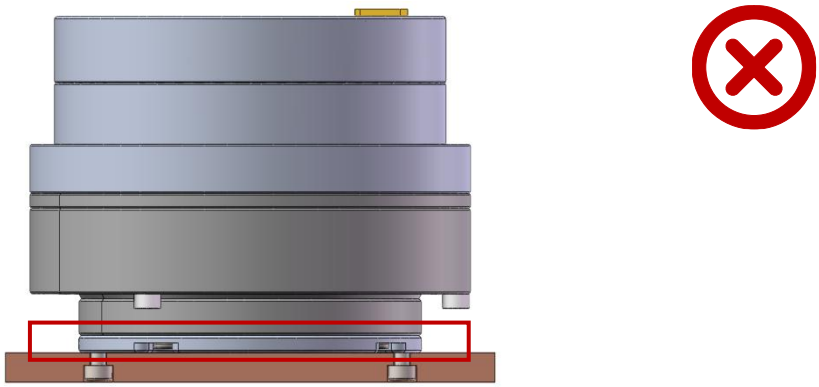


图 6-3 缺少定位止口

(2) 定位深度不够，达不到有效定位，如图 6-4。

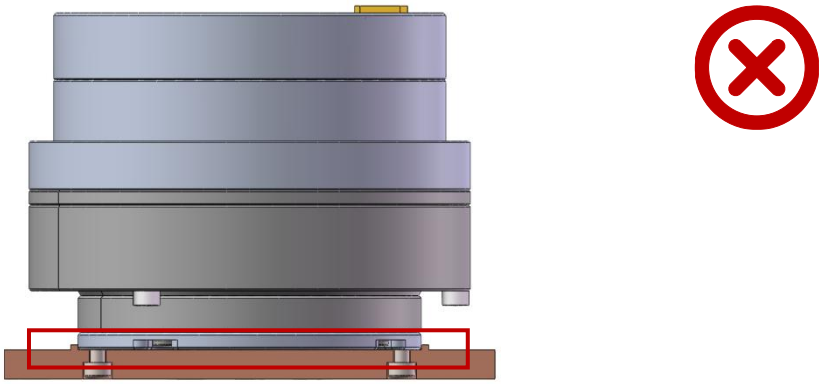


图 6-4 定位止口深度不足

(3) 由于钻孔引起翻边凸起，如图 6-5，图 6-6。

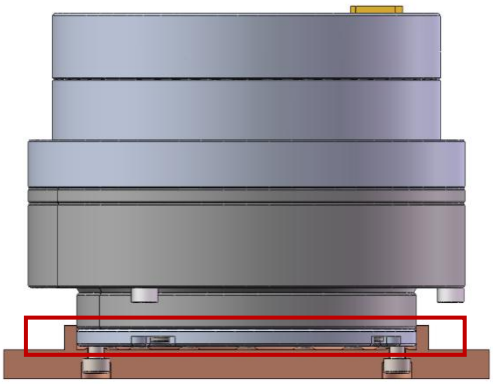


图 6-5 螺丝过孔翻边凸起

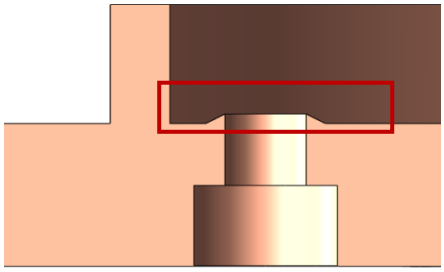


图 6-6 螺丝过孔翻边凸起

(4) 由于加工不良，平面度超差，如图 6-7。

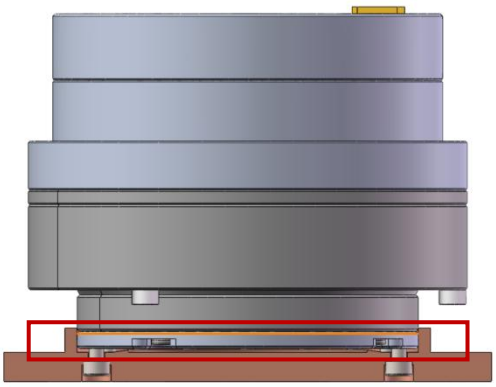


图 6-7 机加工平面度不足

(5) 关节模组安装无需添加外置轴承，如图 6-8：由于模组上集成了可受径向和轴向负载的交叉滚子轴承，关节模组安装无需添加外置轴承支撑。添加外置轴承支撑会造成安装尺寸过定义的情况，引起关节模组异响、抖动、棘爪、屈曲、同心度偏差等异常。

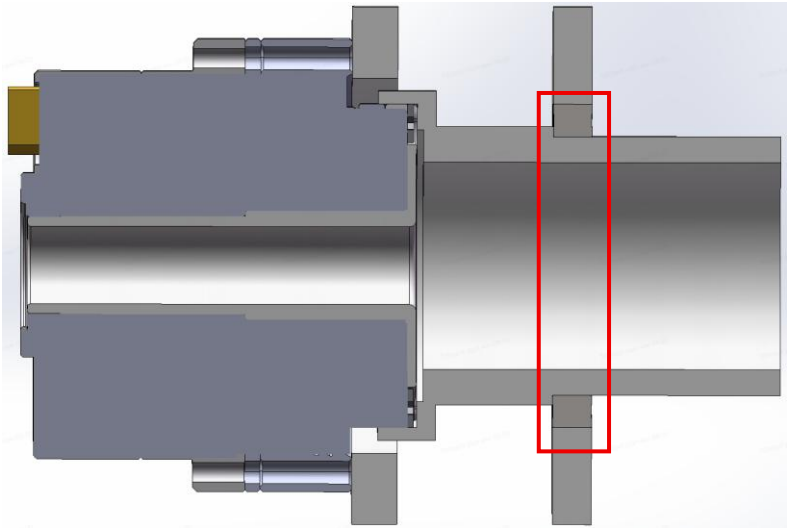


图 6-8 关节模组安装无需添加外置轴

注意：每个一体化关节模组在出厂时都经历了严格的抖动和噪音测试，不能达到安装要求的，会出现抖动噪音等异常，因客户安装问题导致电机抖动、噪音等异常不允退货。

6.6 严格清洁安装表面

安装表面可能粘有金属屑、各类螺纹胶、密封胶、颗粒粉尘等，导致安装面未实现可靠的配合，进而引起抖动和噪音，安装前请严格清洁安装表面。

7 多模组间线缆连接

多关节模组间线缆连接示意图如图 7-1。EtherCAT 组网部分采用直连方式，主站控制器 RJ45 网口连接第一个模组（slave1）ECAT In 口，第一个模组（slave1）ECAT Out 口连接下一个模组 ECATIn 口，依次类推。

RJ45 网口对应关节模组网口引脚线序示意图如图 7-2 所示。

CAN 组网部分线缆按端口定义连接即可，前后模组的 CAN 接口可无顺序连接。电源部分接线方式参考第 4.2 章节说明，CAN/CANopen 通信接线图参考第 4.3 章节，EtherCAT 通信接线图参考第 4.4 章节。

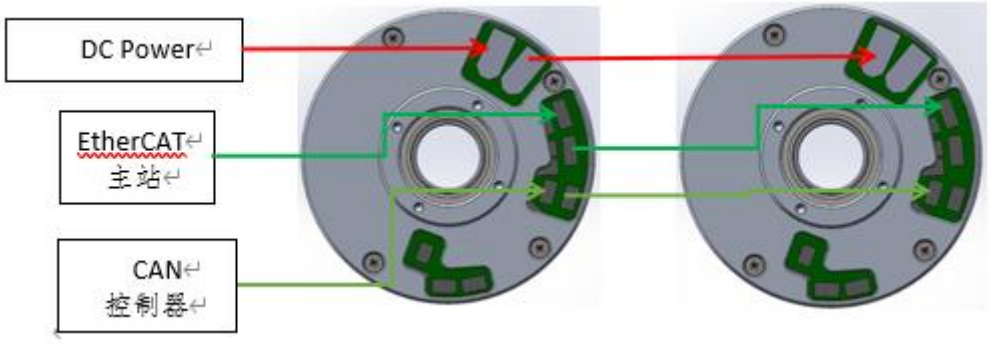


图 7-1 多关节模组间线缆连接示意图

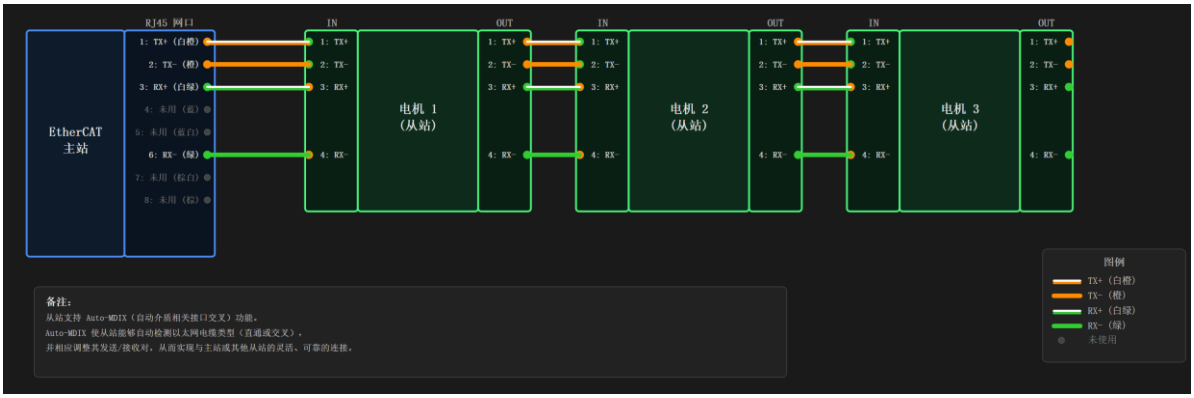


图 7-2 EtherCAT 接口模组组网连接方式

7.1 电源接线方式说明

本公司关节模组电源接线方式有三种：单轴直连、树型拓扑连接、链型拓扑连接，三种接线方式示意图如图 7-3 至图 7-5。按多轴协作应用场景中使用 48V 开关电源供电工作时，各轴压降的实际测试结果，三种接线方式推荐顺序为：1）单轴直连（最优，接线电阻最小，线损耗压降最小，适用于大功率模组）；2）树形拓扑连接（较优）；3）链型拓扑连接（较差，接线电阻较大，线损耗压降较大，适用于小功率模组）。

请勿串联接入其他用电设备，其他用电设备可能造成不可预知的压降或升压导致模组故障。

1、单轴直连

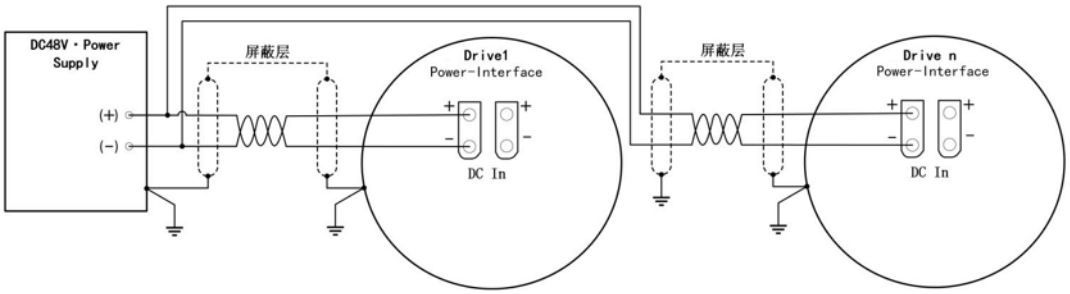


图 7-3 模组电源单轴直连示意图

2、树形拓扑连接

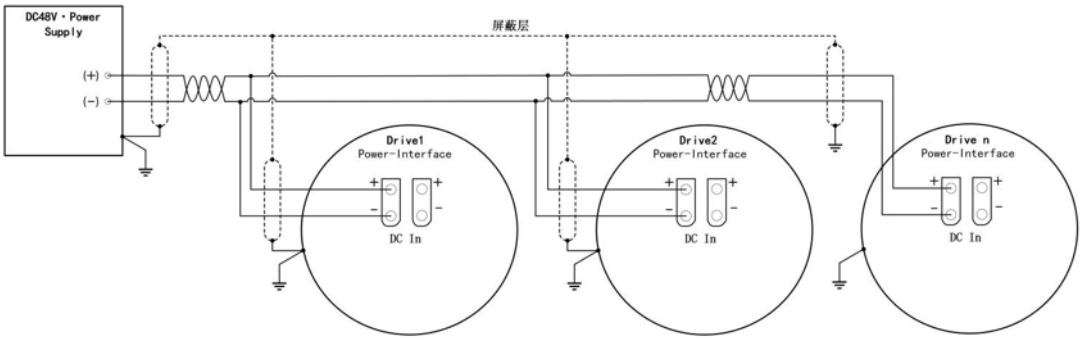


图 7-4 模组电源树形拓扑连接

3、链型拓扑连接

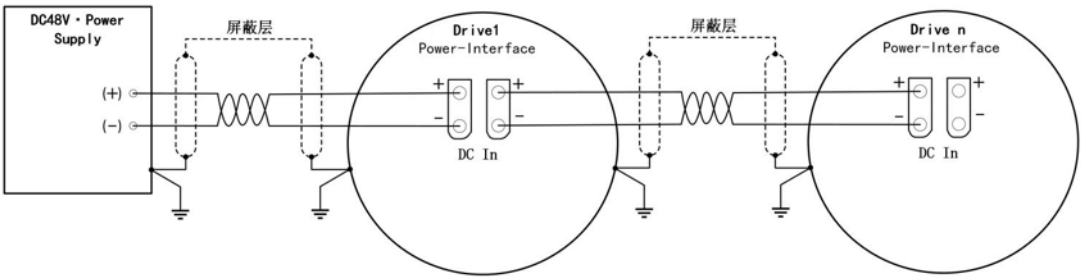


图 7-5 模组电源链型拓扑连接示意图

7.2 CAN/CANopen 通信接线

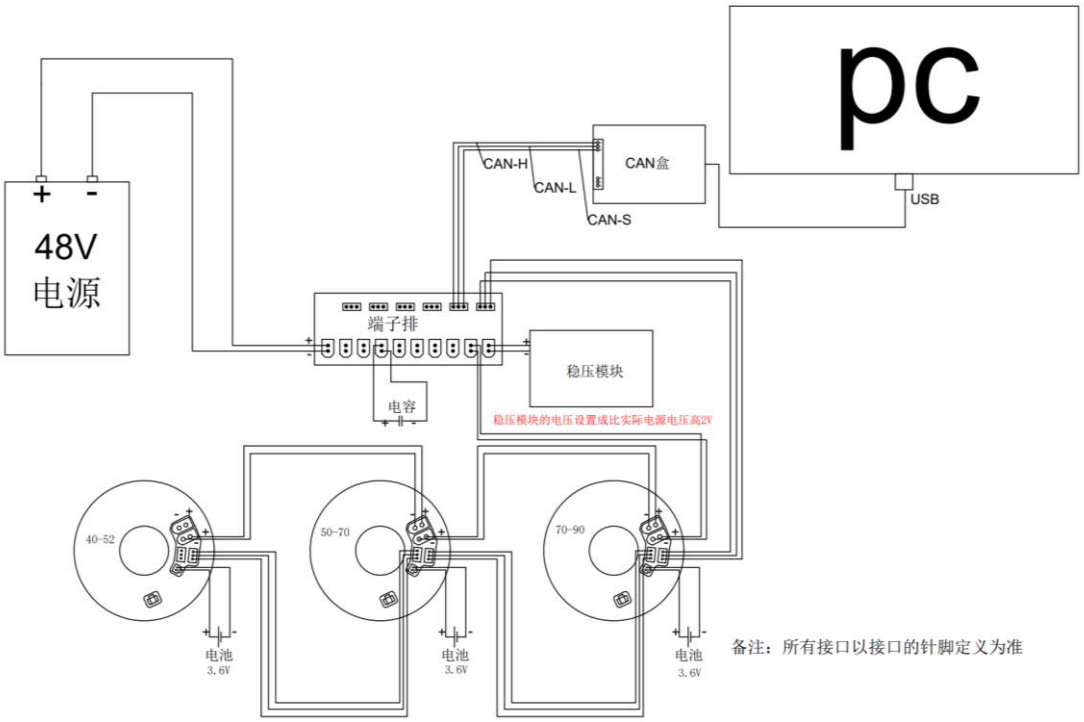


图 7-6　CAN/CANopen 通信接线图

注意事项：

1、CAN 通信线采用双绞线，单独屏蔽，关节模组采用固定 1Mbps 传输速，CAN 总线上两个相距最远的节点之间的通信距离可达 25m。

2、如图 7-6，控制器端和末端伺服 CAN 接口各需并联一个 120Ω终端电阻。

3、建立 CAN 通讯之前，需要确保每个关节模组设定唯一的 CAN ID。

4、CAN 接口电路最大承受电压 DC24V。

5、关节 CAN 和电源供电在关节内部隔离。

7.3 Ethercat 通讯接口连接方式

多个关节电机组网运行时注意要严格按照网口 IN 和 OUT 的顺序连接 EtherCAT 通讯线，连接通讯线的顺序就是从站地址递增的顺序(使用自动分配站号的情况)。如果不使用自动分配地址功能则需要设置 SDO 索引 0x2002 的值。如图 7-7 所示。

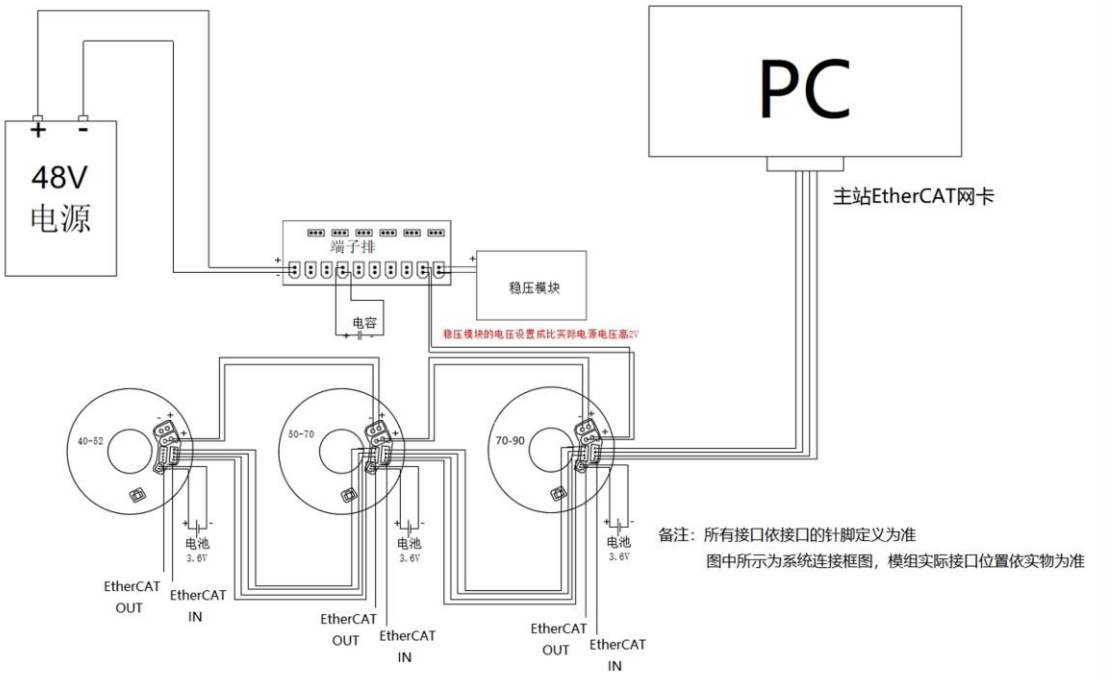


图 7-7　EtherCAT 通信接线图

注意事项：

1. EtherCAT 通信线采用双绞线，单独屏蔽。

2. 即使选择 EtherCAT 通信的关节型号，仍然建议在整机系统中连接并保留关节 CAN 信线，并提前设定好关节 CANID，以便于在后续的调试中对整机设备（不拆外壳情况下）各个关节进行调试，包括排查故障、修改参数、升级固件等。

3. 如果多个关节之间 EtherCAT IN 和 EtherCAT OUT 顺序接反仍然可以建立通信连接，但是会导致 EtherCAT 主站控制器与伺服轴通信连接顺序和实际物理连接顺序不匹配。

7.4 重要的布线相关说明

关节模组拥有超大中空孔，在机器人布线时，电源和通信线缆或气管等可以轻松穿过关节模组的中孔连接到下一个关节模组，或者机械臂末端夹爪等设备，从而实现机器人内部便捷且美观的走线方式。即使如此，仍需注意当关节中孔走线过多，线缆紧绷时会与关节输出轴产生摩擦从而增加关节旋转的阻力。同时如果线缆上绑了扎带之类有凸起的东西，若进入到中孔里面，就会对中孔产生挤压的外力，导致输出轴法兰末端发生偏移，从而导致安装在输出轴法兰末端的输出端编码器码盘偏移，导致输出端编码器位置读数偏移。

此外，如果用户使用额外的结构件穿过关节中孔也可能会对中孔产生挤压的外力，从而导致该类异常。因此，请勿在关节中孔内过多走线，线缆需预留足够长度以避免线缆紧绷，请勿使用额外的结构件穿过关节中孔，请勿对关节中孔内壁施加过大压力。

另外，还需注意在安装、接线等过程中需确保不会有金属屑掉落到关节后盖的电气接口里面、通孔里面以及关节中空孔（输出端编码器码盘安装位置）的缝隙里面，否则会导致通信不良甚至电气故障。

8 回收动能产生原因分析

当模组使用 48V 开关电源供电时，其简化电路回路等效于图 8-1 和图 8-2 所示。

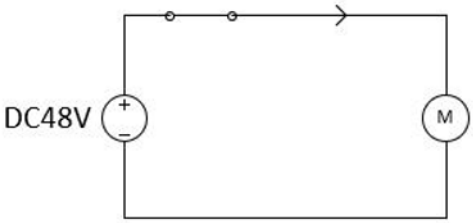


图 8-1 正常工作时

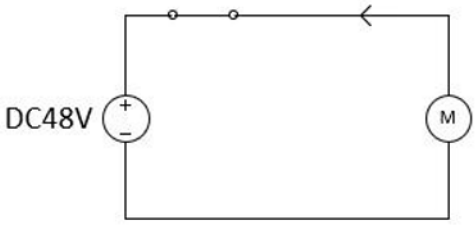


图 8-2 减速工作时

如图 8-1 正常工作时，电源向负载（电机）供电，输出电能。如图 8-2 当负载处于减速工作时，电路回路处于回收动能的过程，即此时电机相当于发 电机工作，动能转换为电能回馈，反向电流向电源端电容不断充电使电压升高。由于回收动能（功率）∝T*n（扭矩*转速），因此速度越快，负载越大，回收动能（功率）越高，当电源电压升高到大于驱动设置的最高允许母线电压时，伺服会发生母线电压过高报错而停止。

针对动能回收处理有三种处理方法：1）加泄放电阻；2）加超级电容；3）加蓄电池。

8.1 加稳压模块

稳压模块即制动电阻或泄放电阻，当电压达到一定值时，制动电阻投入运行，将电能转化为热能消耗掉，从而维持直流母线电压在一个安全范围内。

主要作用是将电压进行降压处理，并稳定为某一固定的值后输出，使得输入电压不受输入电压的变化而变化。

注意！当心散热板和稳压板表面高温

稳压在运行过程中，表面温度会非常高，如触碰当心烫伤。高温报警下请尽快断开电源。严禁高温触摸稳压模块。

当模组使用 48V 开关电源供电，增加稳压模块的工作电路可简化等效于图 8-3 和图 8-4 所示。

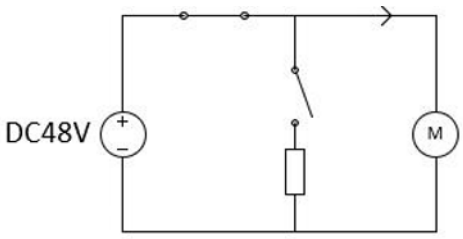


图 8-3 当 VDC <58V 时稳压模块泄放电阻断开

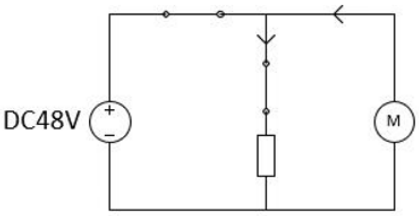


图 8-4 当 VDC >58V 时稳压模块泄放电阻接通

加稳压模块作用在于当电路回路处于回收动能的过程时，多余能量通过电阻消耗，从而避免动能回馈导致的电源电压冲高。但是稳压模块不能长时间接入电路，否则会持续产生较多热量导致器件损伤或电路故障以及不必要的电能消耗。因此建议有必要设计可靠的泄放电阻接通控制逻辑。例如当驱动最高允许母线电压设定值为 58V，则泄放电阻接通控制逻辑可设计为：当 VDC >58V 时接通（如图 8-4，此时多余电能通过电阻消耗），当 VDC <58V 时断开（如图 8-3，此时电源仅向电机输出电能）。

8.2 加超级电容

利用超级电容的超大电容量和快速充电特性，可采用超级电容来吸收回收动能，其工作电路可简化等效于图 8-5 和图 8-6 所示。

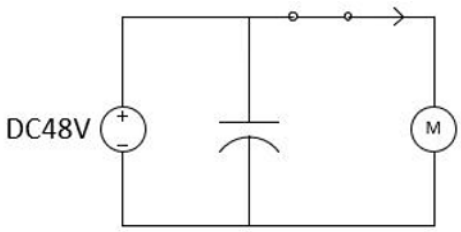


图 8-5 超级电容放电

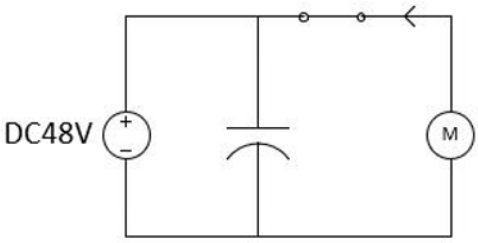


图 8-6 超级电容充电

如图 8-5 正常工作时，开关电源和超级电容同时向负载（电机）供电，输出电能。如图 8-6 当负载处于减速工作时，动能转换为电能回馈，超级电容快速充电回收部分动能，从而避免电源电压快速冲高，实现电源电压在安全电压范围内波动的效果。

电容容量分 10000μF 和 22000μF 两种，22000μF 具有更大的电容值，通常用在 80-110 及以上大型号的电机，如下图所示。

8.3 加蓄电池

利用蓄电池充电吸收回收动能，其工作电路可简化等效于图 8-7 和图 8-8 所示。

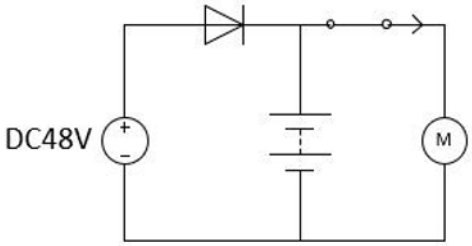


图 8-7 开关电源加蓄电池供电

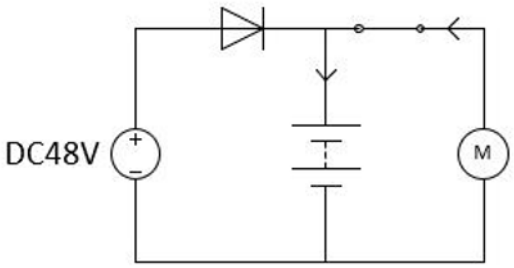


图 8-8 蓄电池充电

与超级电容作用原理类似，在正常工作时，开关电源和蓄电池可同时向负载（电机）供电，输出电能（如图 8-7 所示）。如图 8-8 当负载处于减速工作时，动能转换为电能回馈，利用蓄电池充电回收动能。

9 连接调试上位机

1. CAN 分析仪接线。将分析仪与关节模组连接，信号定义表如表 9-1，CAN 分析仪接线图如图 9-1。

表 9-1 信号定义表

通道	名称	描述
CAN1	R1	终端电阻 R1。向下拨到 ON 状态，则内部 120 欧电阻会被接入总线
	R2	终端电阻 R2。与 R1 并联，作用相同。每通道内置两个电阻
	H	CAN 总线 H 信号
	S	屏蔽线接口，若通信线为屏蔽线可接屏蔽层，否则可接地或不接
	L	CAN 总线 L 信号
CAN2	R1	终端电阻 R1。向下拨到 ON 状态，则内部 120 欧电阻会被接入总线
	R2	终端电阻 R2。与 R1 并联，作用相同。每通道内置两个电阻
	H	CAN 总线 H 信号
	G	屏蔽线接口，若通信线为屏蔽线可接屏蔽层，否则可接地或不接
	L	CAN 总线 L 信号

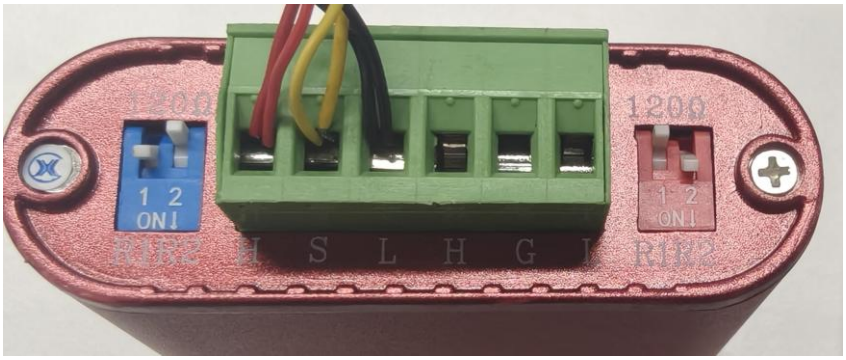


图 9-1 CAN 分析仪接线图

2. USB 转 CAN 驱动安装。在我司官网下载驱动工具（USB 驱动安装工具 Setup），最新的上位机调试软件，解压压缩包。鼠标双击驱动程序进行驱动安装，驱动安装流程图如图 9-2 所示，安装成功示意图如图 9-3。

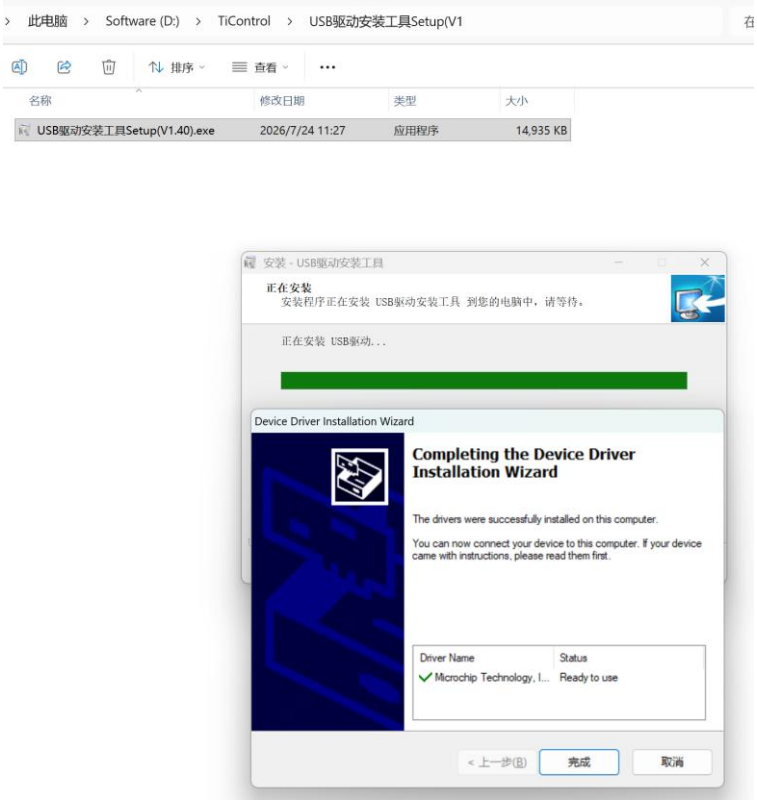


图 9-2　USB 驱动安装流程图

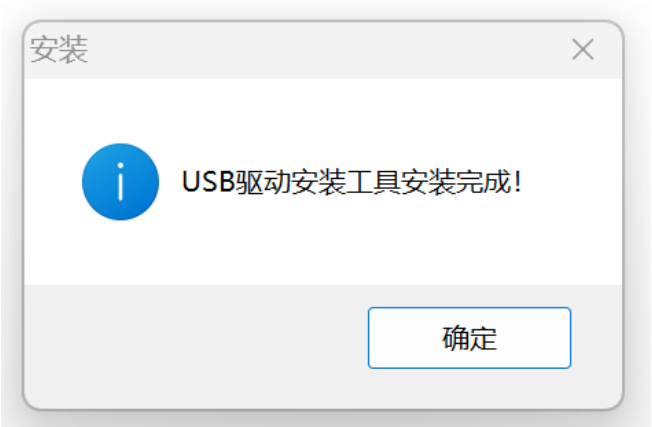


图 9-3 驱动安装成功示意图

3.　MotorControl 软件安装。在我司官网下载最新的上位机调试软件（电机控制上位机-250730），解压压缩包，安装 MotorControl 软件，使用上位机搜索关节模组流程如图 9-4 所示。

图 9-4 上位机搜索设备流程图

- 单击设备搜索”出现弹窗。设置好搜索参数，点击“搜索”。搜索到的电机将会添加到主 窗口的列表中，默认选中第一个电机。
- 上位机支持的通讯协议包含为 Can、Canopen
- 通道为分析仪上的通道
- 波特率可选择有 1000Kbps、500Kbps、250Kbps、125Kbps、100Kbps、50Kbps，选择对应的波特率，不同波特率对应不同传输距离如表 9-2 所示：

表 9-2 波特率与传输距离对应表

通讯波特率	最大总线长度
1M bit/s	25 m
500k bit/s	100 m
250k bit/s	250 m
125k bit/s	500 m
100k bit/s	600 m
50k bit/s	1000 m

- 搜索 ID 范围，ID 范围在 1-127，起始 ID 不能大于结束 ID

10 减速比的解析

关节模组中的输出端是电机通过减速机后输出的，而电机端速度换算到输出端速度需要通过减速比计算，公式是：

$$RPM_{输出端}=RPM_{电机端}\div(X+1)$$

$RPM_{输出端}$是输出端速度，单位：转/分；
$RPM_{电机端}$是电机端速度，单位：转/分；

X 是减速比，之所以要除以（X+1）是和减速机采用波发生器输入，刚轮输出，柔轮固定的安装方式有关。

关于速度设定和速度转换：

单编电机和双编电机速度计算都使用 16bit 分辨率和实际的减速比计算。例如 65536 个脉冲每秒代表电机电机端每秒旋转一圈，再考虑电机实际减速比，如果电机是 101 减速比的就是输出端 101 秒旋转一圈。

电机速度实际上是电机的角速度，物理意义为单位时间的角位移，因此根据所使用的单位时间的不同位移单位的不同有多种常用的单位。电机的转速常用的单位有圈每分钟、脉冲每秒、度每秒、弧度每秒、零点零一赫兹等。详细的速度单位转换见《钛虎轻量化关节模组使用手册》

模组中双编电机有两个编码器，电机端编码器（16 位）和负载端编码器（18 位）。

上位机上设定速度如图 10-1 所示，所以运行速度设定是直接设定电机端的转速，如图 10-2 所示，速度反馈是电机端的转速反馈，速度单位是零点零一赫兹（0.01Hz）。

图 10-1 上位机限速设置

图 10-1 上位机给入目标速度

各型号关节的最大转速如表 10-1 所示。

表 10-1 各型号关节最大转速对应表

关节型号	减速比	输出端最大转速（count/s）	输出端最大转速（RPM）	输出端最大转速（°/s）	电机端最大转速（0.01HZ）
CRA-RI30-40-PRO-2	51	515549	118	708	10030
	101	257774	59	354	9932
CRA-RI40-52-PRO-2	51	515549	118	708	10030
	101	257774	59	354	9932
CRA-RI50-60-PRO-2	51	423799	97	582	8245
	81	266513	61	366	8235
	101	214084	49	294	8248
CRA-RI50-70-PRO-2	51	423799	97	708	8245
	81	266513	61	354	8235
	101	214084	49	366	8248
CRA-RI60-70-PRO-2	51	358263	82	492	6970
	81	222822	51	306	6885
	101	179131	41	246	6902
	121	139810	32	192	6453
CRA-RI60-80-PRO-2	51	358263	82	492	6970
	81	222822	51	306	6885
	101	179131	41	246	6902
	121	139810	32	192	6453
CRA-RI70-80-PRO-2	51	336418	77	462	6545
	81	209715	48	288	6480
	101	174763	40	240	6733
	121	131072	30	180	6050
CRA-RI70-90-PRO-2	51	336418	77	462	6545
	81	209715	48	288	6480
	101	174763	40	240	6733
	121	131072	30	180	6050
CRA-RI80-97-PRO-2	51	283989	65	390	5525
	81	187870	43	258	5805
	101	157286	36	216	6060
	121	131072	30	180	6050
	161	96119	22	132	5903
CRA-R80-110-PRO-2	51	283989	65	390	5525
	81	187870	43	258	5805
	101	157286	36	216	6060
	121	131072	30	180	6050

	161	96119	22	132	5903
CRA-RI00-120-PRO-2	51	240299	55	330	4675
	81	161655	37	222	4995
	101	126703	29	174	4882
	121	104858	24	144	4840
	161	78643	18	108	4830
CRA-RI00-142-PRO-2	51	240299	55	330	4675
	81	161655	37	222	4995
	101	126703	29	174	4882
	121	104858	24	144	4840
	161	78643	18	108	4830
CRA-RI110-170-PRO-2	51	144179	33	198	2805
	81	91750	21	126	2835
	101	69905	16	96	2693
	121	61167	14	84	2823
	161	43691	10	60	2683

11 电机使用寿命到期时的安全处理

关节电机寿命到期后，需严格按照以下流程规范处理，避免安全隐患或环境影响：

首先需将关联设备整体断电，确保电机处于完全无电状态，同时悬挂“设备维护中，禁止合闸”标识，防止误操作引发触电或机械损伤风险。

使用适配工具拆解电机，拆解过程中避免暴力操作，防止部件碎裂或飞溅；拆解后将可回收部件与不可回收部件分类存放，其中含有有害物质的部件如含油轴承、废弃润滑脂等需单独装入密封容器，避免污染环境。

使用过的电池应按照当地环保规定处理，深埋于地下或投入盐水中。

不可回收的废弃部件需交由具备环保资质的废弃物处理机构，严禁随意丢弃；可回收部件需经清洁、检测后，确认无安全隐患且符合再利用标准的，可纳入备件库管理，不符合标准的则统一移交专业回收企业处理。

12 恢复出厂参数功能

12.1 98+0D 参数回滚功能

当客户需要修改参数调试，但实际仅需使用客户设置的参数默认值时，无需重新修改或者更改软件版本，直接通过该指令完成参数调整与回滚，大幅提高效率。

指令	作用
98 指令	保存当前参数（将修改后的参数写入 / 生效）
0D 指令	回滚参数（将参数恢复到 98 指令执行前的状态）

1. 连接设备：通过创新科技 CAN 分析仪 / USB-CAN 等工具连接电机。
2. 打开上位机：启动电机控制上位机 V1.1.6（根据实际的 CAN 通讯软件）。
3. 修改参数：在上位机中调整需要变更的参数值（根据实际的 CAN 通讯软件）。
4. 执行 98 指令：发送 98 指令，保存当前参数配置（确认参数正确保存）。
5. 验证参数：确认参数已生效，功能正常。
6. 执行 0D 指令：如需恢复默认值，发送 0D 指令回滚参数

注意事项：

⚠️ CANID 不支持回滚：0D 指令无法回退 CANID 参数，如需修改 CANID 仍需通过其他方式处理。

✅ 其余参数均可回滚：除 CANID 外，所有电机控制参数均支持保存与回滚。

应用此功能时，请确认该模组的固件版本是最新发布的正式版本（固件版本号为 1903 及之后的固件版本支持），在此之前版本，模组都不支持该功能。

12.2 恢复出厂默认参数功能

当客户需要使用出厂默认参数时：

CAN 通讯：一字节 0F 指令恢复出厂默认参数，一字节 0E 保存到 Flsah。

EtherCAT 通讯：SDO 0x2000 写入 0F 指令恢复出厂默认参数，SDO 0x2000 写入 1 保存到 flsah。

注意事项：

（1）只有当保存参数过程中因意外断电，造成部分参数丢失或全部丢失时才可使用此功能恢复出厂参数。

（2）模组需要在停止（下使能）状态下发送指令

确保模组使用过程中，**不要误发恢复指令**，当前指令会导致电机电角度清零，电角度未对齐指驱动器内部电角度估计值与转子实际物理位置存在偏差，将直接导致 FOC 解耦失效，表现为：转矩输出效率降低、电机过热或过流、机械振动或噪音、控制性能恶化、跟随误差超标报警（0x8611），使用此功能请联系我司工作人员。

13 电机试运行

上位机试运行流程如图 13-1 所示。

图 13-1 上位机试运行流程图

1. 在工作模式下，点击“启动电机”，可以获取到当前电机 Q 轴电流值、母线电压、当前位置、驱动温度及电机温度等参数信息。

2. 工作模式切换为“位置模式”，写入当前位置值，并点击“enter”，可以打开刹车（成功打开会听到一声“哒”），点击“+”/“-”可以执行向前或者向后操作，每次点动增加 1000cnt 值。

3. 打开“往复运动开关”，可以设置目标位置 1 与目标位置 2 之间的往复运动，最多可以创建 10 个目标位置，点击删除可以删除最后一个目标位置，最少需要 2 个目标位置。

4. 设置当前目标位置、运行速度、停留时间及往复次数，“停留时间”为到达目标位置后的停留时间，单位为 ms，最少 100ms，“往复次数”为往复运动的执行次数，最少为 1 次。

注意

详细操作步骤以及注意事项可以点击上位机里包含的帮助手册查看，如图 13-2 所示

图 13-2 详细帮助文档

14 PID 调整

PID 控制算法——即比例-积分-微分控制——是工业自动化中应用最广泛的闭环控制算法之一。它通过将关节模组的实际运行状态（如位置、速度或电流）与目标状态进行比较，计算误差，并利用 P、I、D 各部分的协同作用输出控制信号来调节电机，从而驱动关节精确收敛至目标状态。

电流环直接控制电机电流，决定输出扭矩，是最基础的控制层，电流环参数在出厂已设置好，不需要客户端额外修改；速度环建立在电流环之上，用于调节转速；位置环作为最外层，则根据位置目标生成速度指令。

PID 调参基本步骤：

速度环 Kp → 速度环 Ki → 位置环 Kp → 位置环 Kd

1. 预备调参

保持出厂默认参数

2. 调整速度环 Kp

速度环 Kp 太小的表现：速度上升慢；速度跟不上目标；电机没力；减速过程较长。

此时应该增大速度环 Kp，每次增大 10%~20%左右。

速度环 Kp 太大的表现：电机异响或啸叫；速度曲线高频抖动；关节有细碎振动。

此时应该回退上一档。

3. 固定速度环 Kp，调整速度环 Ki

速度环 Ki 太小的表现：实际速度达不到目标速度。

此时应该增大速度环 Ki，每次增大 10%~20%左右。

速度环 Ki 太大的表现：电机换向时冲击明显；实际速度达到目标速度时速度仍在增加/减小。

此时应该回退上一档。

4. 固定速度环 Kp 和速度环 Ki，调位置环 Kp

位置环 Kp 太小的表现：突发指令变化反应缓慢；实际位置明显落后参考位置；匀速运动时有固定位置误差。

此时应该增大位置环 Kp，每次增大 10%~20%左右。

位置环 Kp 太大的表现：电机声音变大，到位附近出现超调和振荡，继续增大后位置误差不会明显减小，甚至可能抖动加重。

此时应该回退上一档。

5. 固定速度环 Kp Ki 和位置环 Kp，调位置环 Kd

位置环 Kd 太小的表现：超调明显；到位后低频震动；换向冲击大。

此时应该增大位置环 Kd，每次增大 10%~20%左右。

位置环 Kd 太大的表现：提前刹车过多；速度曲线波动较大；噪声明显。

此时应该回退上一档。

评估 PID 整定效果的关键指标包括稳态误差(稳定后实际值和目标值的误差) 、动态跟踪误差(运行中实际值和目标值的误差) 和超调量(稳定之前实际值超出目标值的量) 。稳态误差反映稳定后的精度，动态跟踪误差反映运动过程中的精度，而超调量则关系到系统稳定性。PID 整定需要根据各个关节模组的负载特性和应用场景进行优化，根据上述步骤，结合实际测试反复迭代，就能优化关节模组性能。

15 固件版本升级

通过 CAN 通讯上位机软件进行固件升级。

具体操作步骤如下：

1、连接上位机升级软件，点击“配置设备”按钮，弹出“通道配置对话框”对话框；

2、点击“一键配置 CANALst-ll”按钮，显示成功配置 2 个通道，关掉弹窗。

3、点击“搜索电机”按钮，弹出“搜索对话框”，点击“开始扫描”按钮确认扫描的电机数量。

4、在弹出的“电机列表对话框”中选择对应的固件文件夹，点击“匹配 bin 文件”

5、点击“进入 bootloader”按钮，确认电机进入 bootloder 状态后，点击“全部升级”按钮或者选择单独升级一台电机，待软件显示全部升级完成后，点击“刷新状态”按钮确认版本是否升级成功。

注意事项：

（1）连接上位机升级软件时，确保断开所有的通讯（包括 EtherCAT 通讯和其他 CAN 通讯软件）。

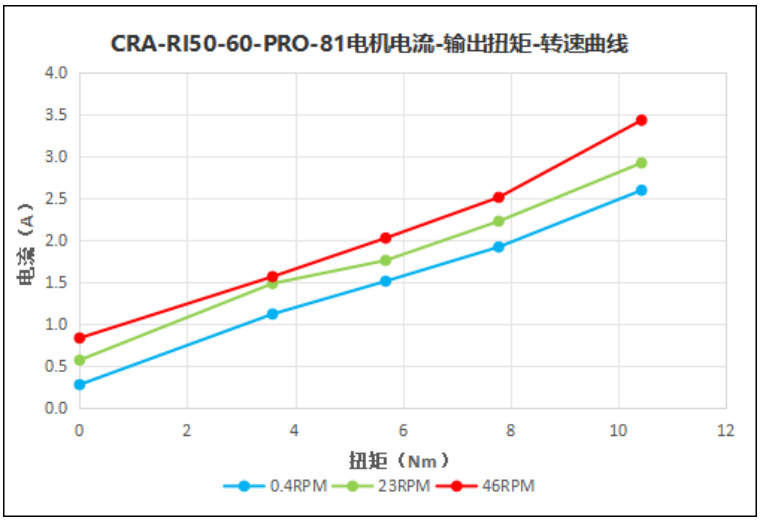
（2）搜索电机时，确认电机的 ID 不要重复、电机的 ID 号范围和波特率等信息正确。

（3）确保升级的固件文件夹路径都在全英文路径下，防止匹配文件失败

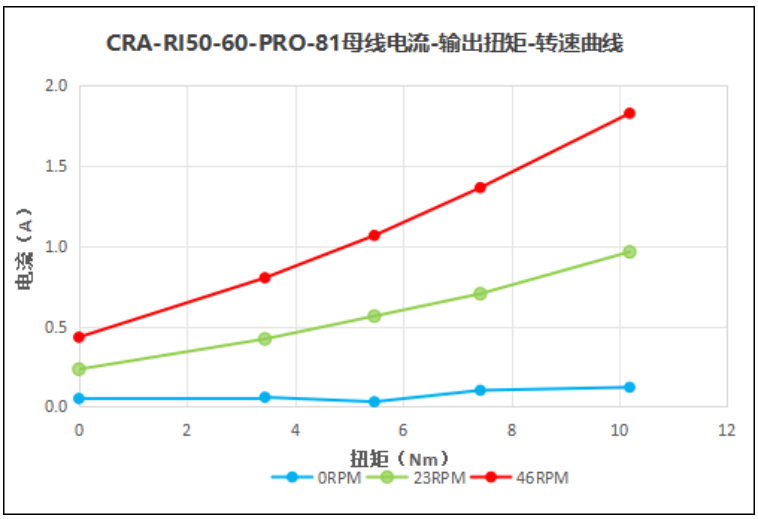
（4）蓝灯闪烁代表模组正确进入 bootloader 状态，请确保电机升级时在此状态下，并且升级后确保模组退出 bootloader 状态，如遇到卡死情况重启模组供电。

16 输出特性曲线

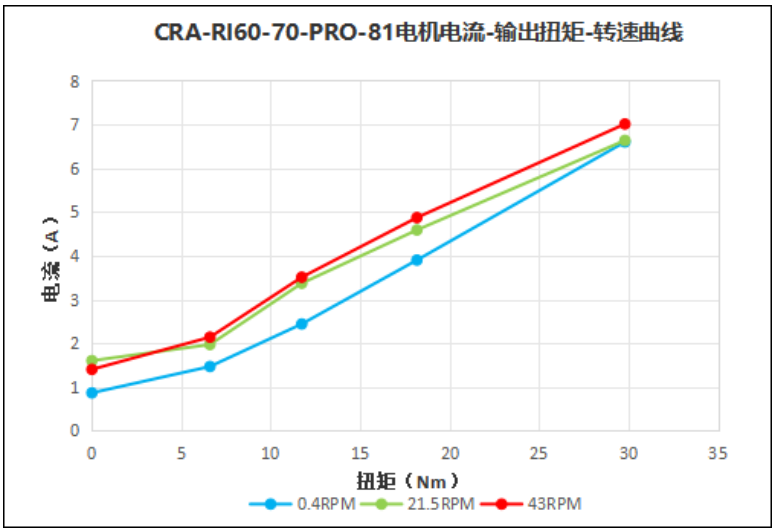
16.1 关节模组电机电流-输出扭矩-转速曲线



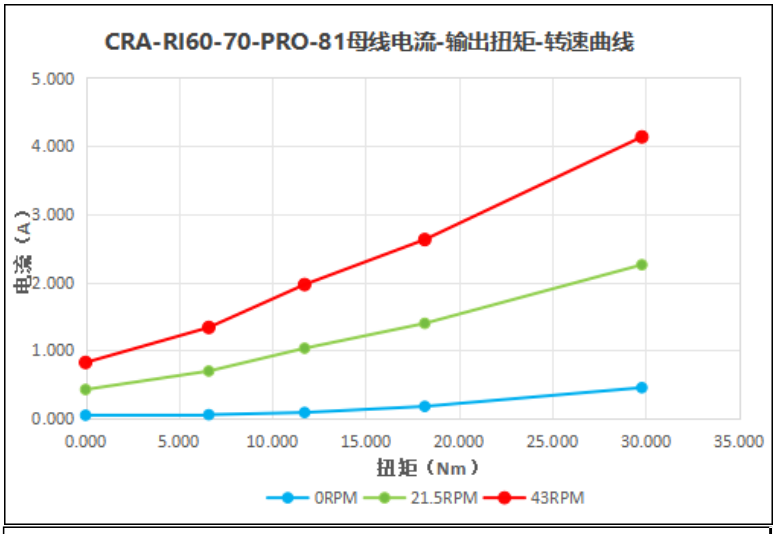
CRA-RI50-60-PRO-81电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
输出扭矩 / 电流 / 转速	0Nm	3.584Nm	5.685Nm	7.785Nm	10.439Nm
0.4RPM	0.281A	1.121A	1.512A	1.919A	2.594A
23RPM	0.573A	1.485A	1.759A	2.225A	2.919A
46RPM	0.836A	1.566A	2.025A	2.509A	3.427A



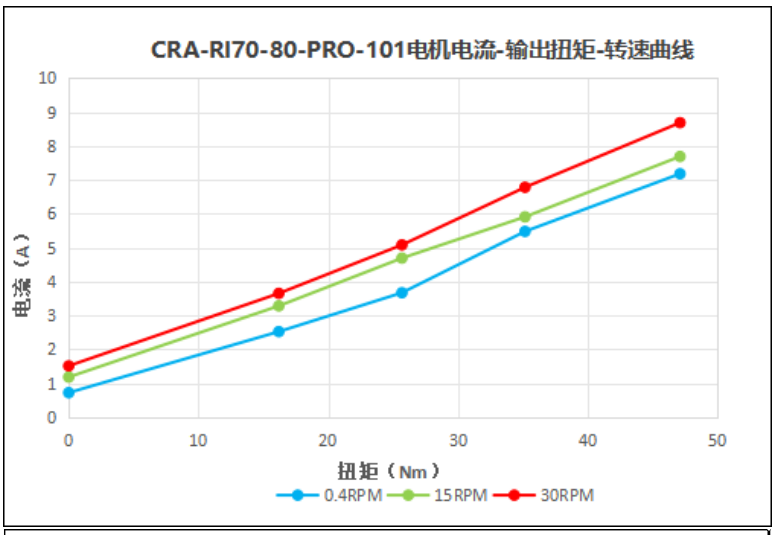
CRA-RI50-60-PRO-81母线电流-输出扭矩-转速曲线					
输出扭矩 / 电流 / 转速	0Nm	3.443Nm	5.468Nm	7.492Nm	10.193Nm
0RPM	0.051A	0.059A	0.031A	0.102A	0.121A
23RPM	0.233A	0.421A	0.563A	0.702A	0.962A
46RPM	0.432A	0.801A	1.064A	1.361A	1.823A



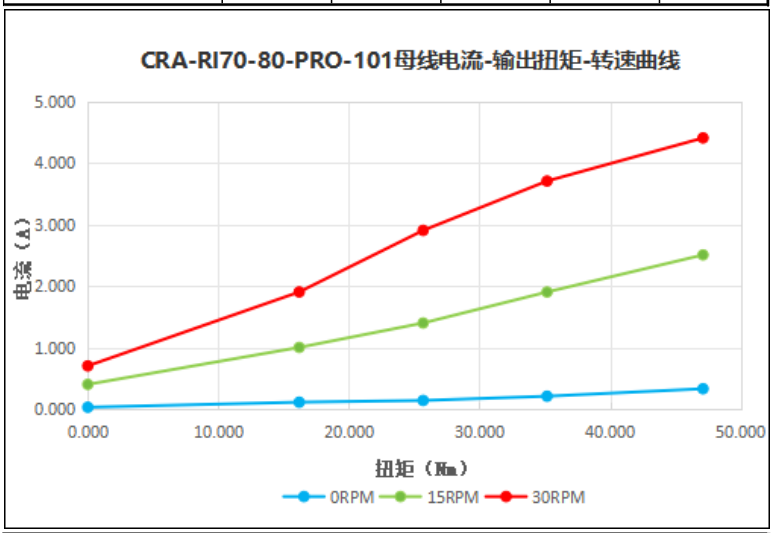
CRA-RI60-70-PRO-81电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
输出扭矩 / 电流 / 转速	0Nm	6.600Nm	11.732Nm	18.170Nm	29.799Nm
0.4RPM	0.863A	1.466A	2.438A	3.899A	6.599A
21.5RPM	1.600A	1.968A	3.369A	4.587A	6.635A
43RPM	1.400A	2.137A	3.508A	4.870A	7.010A



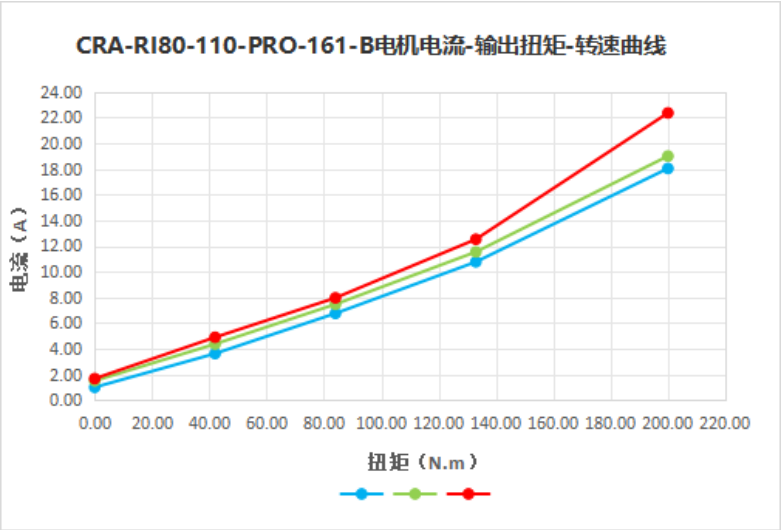
CRA-RI60-70-PRO-81母线电流-输出扭矩-转速曲线数据					
输出扭矩 / 电流 / 转速	0Nm	6.600Nm	11.732Nm	18.170Nm	29.799Nm
0RPM	0.043A	0.051A	0.083A	0.173A	0.448A
21.5RPM	0.421A	0.692A	1.027A	1.393A	2.254A
43RPM	0.818A	1.333A	1.963A	2.624A	4.133A



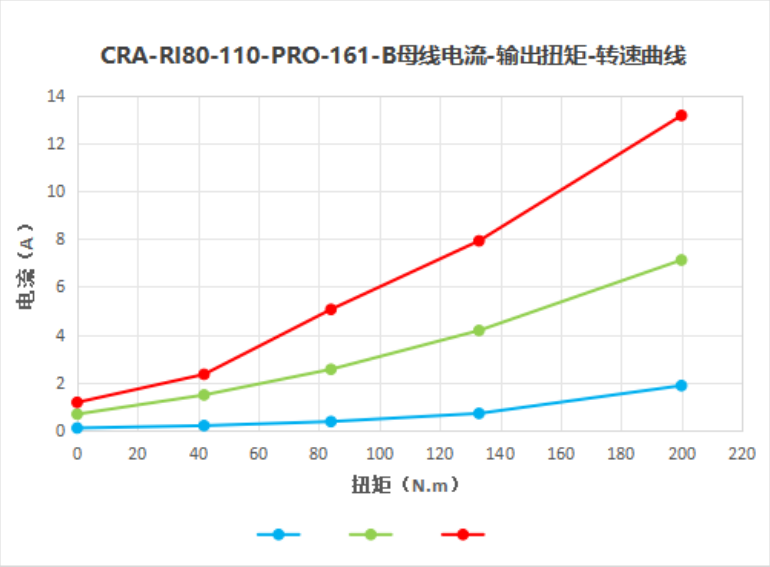
CRA-RI70-80-PRO-101电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
输出扭矩 / 电流 / 转速	0Nm	16.194Nm	25.686Nm	35.175Nm	47.123Nm
0.4RPM	0.720A	2.523A	3.671A	5.481A	7.183A
15RPM	1.181A	3.282A	4.693A	5.911A	7.693A
30RPM	1.511A	3.652A	5.083A	6.784A	8.691A



CRA-RI70-80-PRO-101母线电流-输出扭矩-转速曲线数据					
输出扭矩 / 电流 / 转速	0Nm	16.194Nm	25.686Nm	35.175Nm	47.123Nm
0RPM	0.031A	0.113A	0.141A	0.210A	0.331A
15RPM	0.402A	1.002A	1.398A	1.901A	2.503A
30RPM	0.702A	1.902A	2.901A	3.702A	4.401A

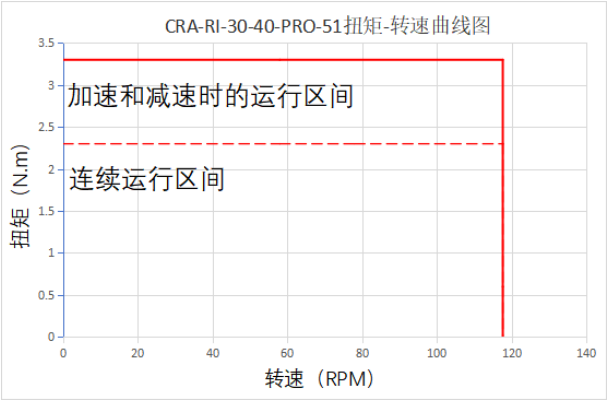


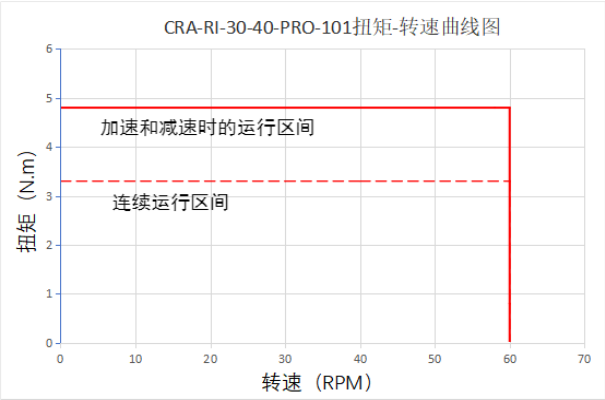
CRA-RI80-110-PRO-161-B电机电流-输出扭矩-转速曲线数据					
输出扭矩 / 电流 / 转速	0Nm	42Nm	84Nm	133Nm	200Nm
0.4RPM	1.005A	3.628A	6.755A	10.765A	18.036A
9RPM	1.508A	4.370A	7.465A	11.545A	18.997A
18RPM	1.680A	4.895A	7.965A	12.524A	22.355A

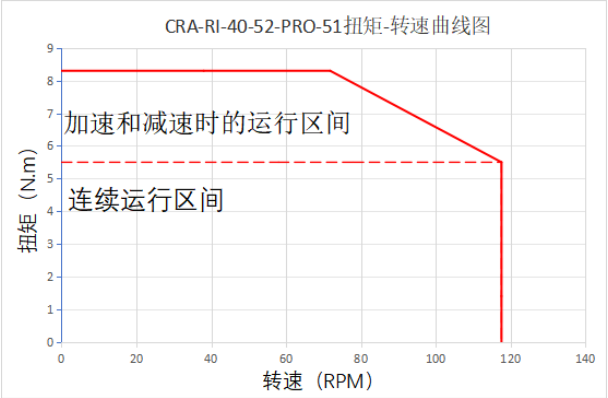


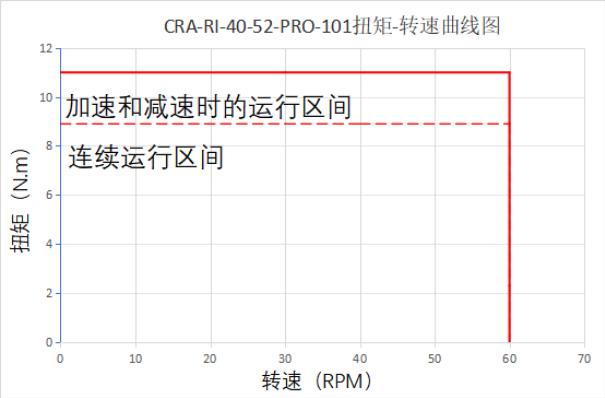
CRA-RI80-110-PRO-161-B母线电流-输出扭矩-转速曲线数据					
输出扭矩 / 电流 / 转速	0Nm	42Nm	84Nm	133Nm	200Nm
0.4RPM	0.11A	0.210A	0.38A	0.72A	1.88A
9RPM	0.69A	1.49A	2.56A	4.18A	7.12A
18RPM	1.18A	2.35A	5.06A	7.92A	13.15A

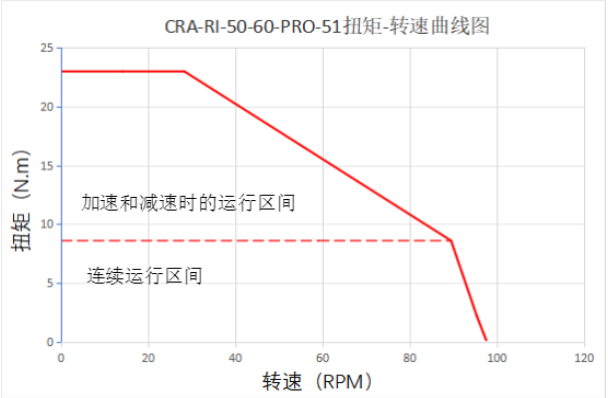
16.2 关节模组输出扭矩-转速曲线

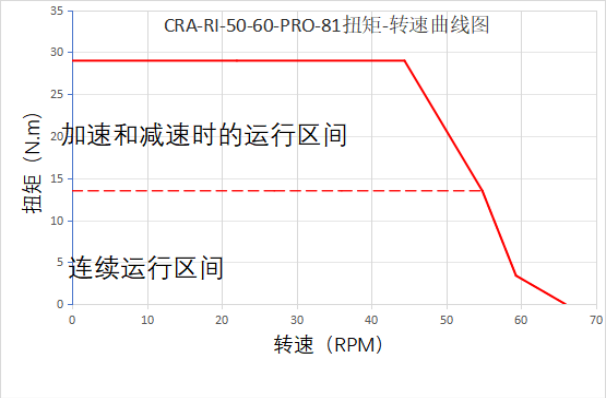


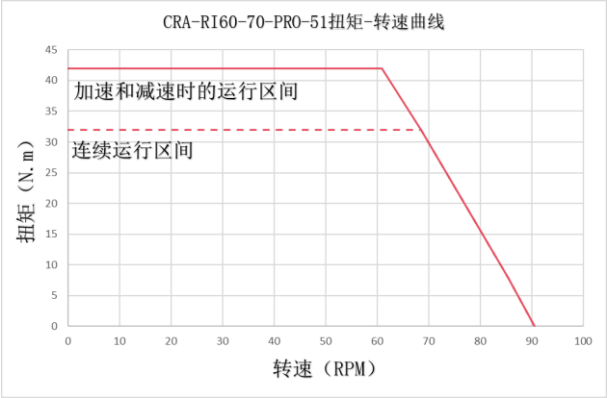


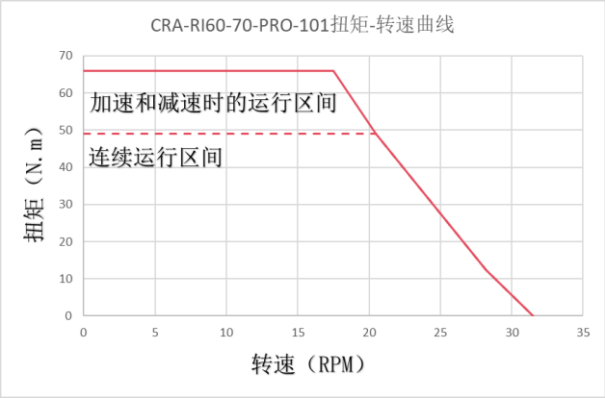


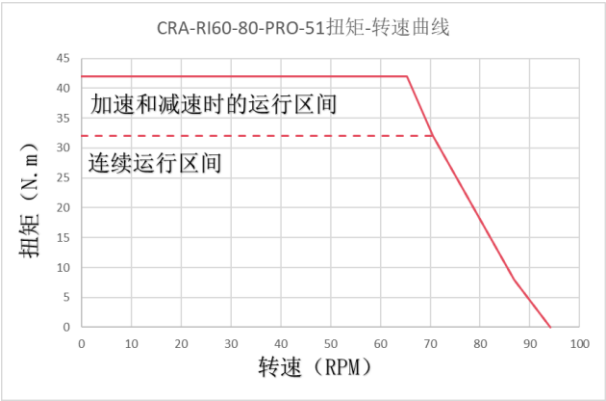


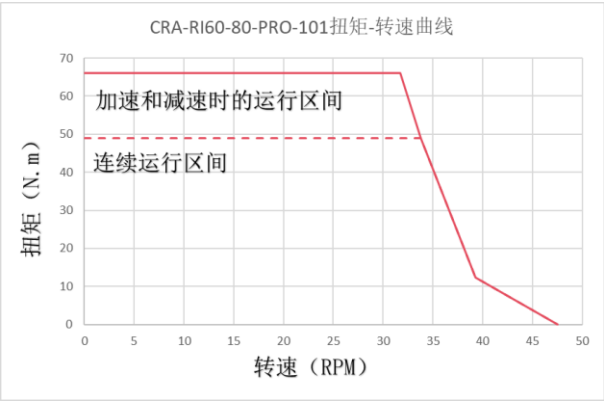


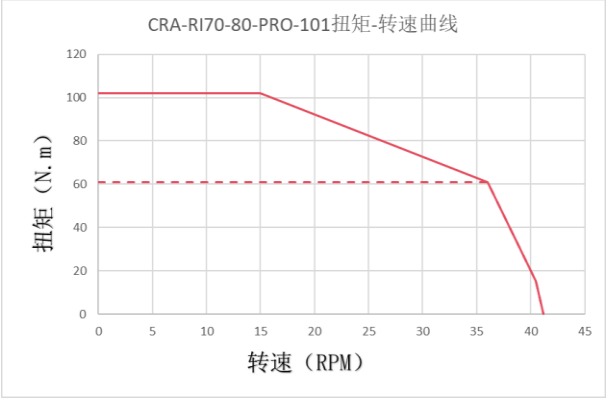


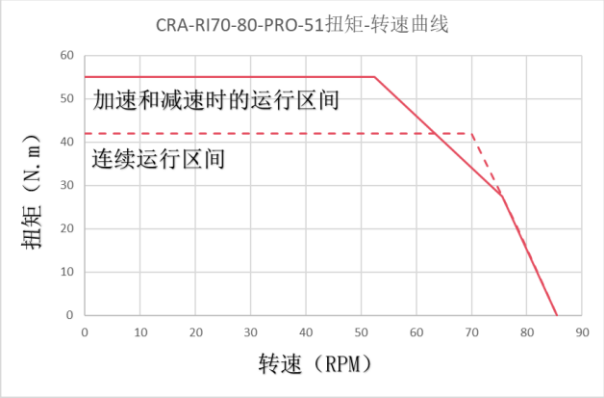


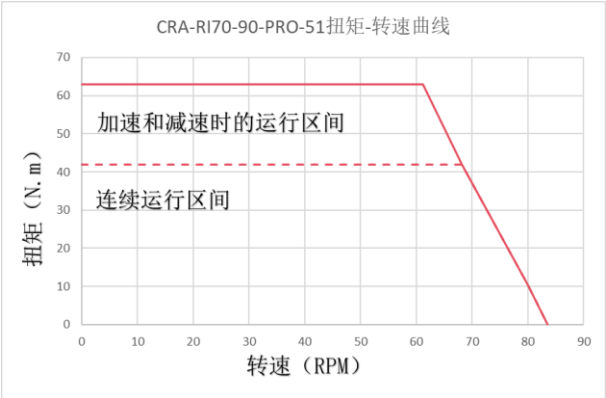


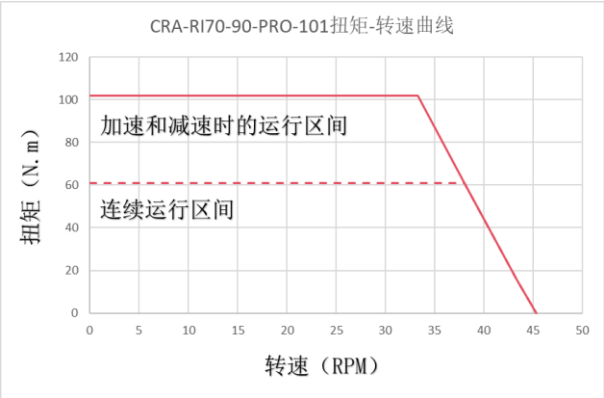

CRA-RI60-80-PRO-51扭矩-转速曲线
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
扭矩（N.m）
转速（RPM）

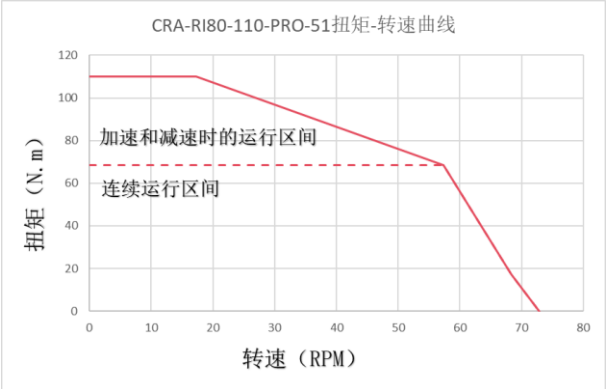

CRA-RI60-80-PRO-101扭矩-转速曲线
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
扭矩（N.m）
转速（RPM）


CRA-RI70-80-PRO-101扭矩-转速曲线
扭矩（N.m）
转速（RPM）

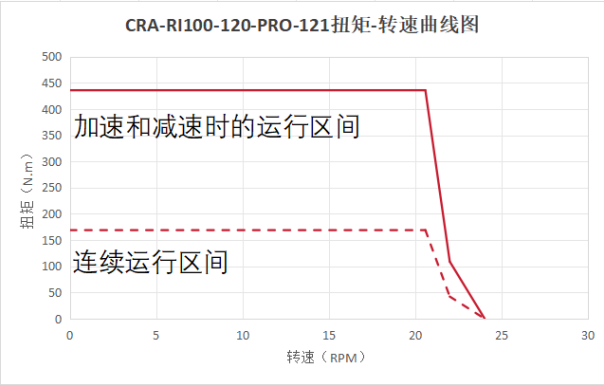

CRA-RI70-80-PRO-51扭矩-转速曲线
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
扭矩（N.m）
转速（RPM）

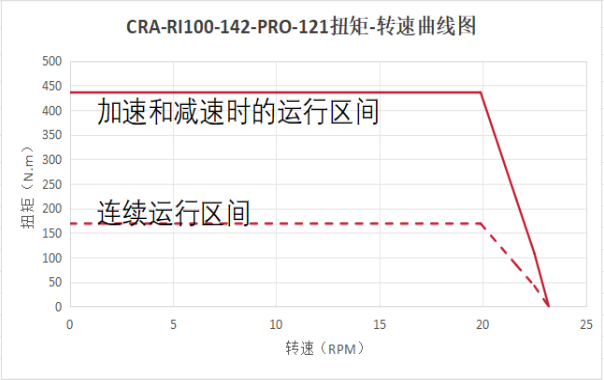

CRA-RI70-90-PRO-51扭矩-转速曲线
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
扭矩（N.m）
转速（RPM）


CRA-RI70-90-PRO-101扭矩-转速曲线
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
扭矩（N.m）
转速（RPM）


CRA-RI80-110-PRO-51扭矩-转速曲线
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
扭矩（N.m）
转速（RPM）

CRA-RI80-110-PRO-101扭矩-转速曲线
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
扭矩（N.m）
转速（RPM）


CRA-RI100-120-PRO-121扭矩-转速曲线图
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
扭矩（N.m）
转速（RPM）
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0
5
10
15
20
25
30


CRA-RI100-142-PRO-121扭矩-转速曲线图
加速和减速时的运行区间
连续运行区间
扭矩（N.m）
转速（RPM）
500
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0
5
10
15
20
25

17 编码器和位置反馈

17.1 编码器分辨率

双编关节模组采用双编码器实现全闭环控制，包含一个电机端绝对值单圈编码器，分辨率为16bit，一个输出端（负载端）绝对值单圈编码器，分辨率 18bit。

编码器分辨率是指轴转一圈所输出的位置数。例如关节的输出端（负载端）编码器分辨率为18Bit，即一圈输出的位置数是2^{18}；

17.2 关节的位置反馈

单编关节模组位置计算使用 16bit 分辨率和实际的减速比计算。

例如 65536 个脉冲代表电机旋转一圈，再乘一个电机的减速比就是输出端旋转一圈，如果电机是 121 减速比的就是 65536*121=7929856 个脉冲电机输出端会旋转一圈。

双编关节模组的反馈位置值区分程序的内外圈计算逻辑；默认外圈位置模式计算使用 18bit 分辨率计算，不需要考虑减速比。

例如 262144 个脉冲代表电机输出端旋转一圈。即

外圈计算逻辑：电机输出端一圈 360° 对应 262144 cnt 对应弧度 2Π；

双编关节模组程序 1.8.6.5 及以上版本可以切换为内圈位置模式计算，使用 16bit 分辨率和实际的减速比计算，需要考虑减速比。

例如 65536 个脉冲代表电机旋转一圈，再乘一个电机的减速比就是输出端旋转一圈，如果电机是 121 减速比的就是 65536*121=7929856 个脉冲电机输出端会旋转一圈。

内圈计算逻辑：电机输出端一圈 360° 对应 65536×减速比 cnt （减速比 101 即 65536×101=6619136 cnt）对应弧度 2Π 。

位置反馈获取方式：

（1）通过 EtherCAT 总线读取对象索引 0x6064；

（2）提供一字节 CAN 报文发送读取位置指令 0x08；

（3）在我司钛虎上位机调试软件中，通过右上角“状态显示”界面中显示的“位置”读取关节的位置反馈；

17.3 使用单圈功能的关节位置和注意事项

双编电机无法支持需要电机多圈旋转的应用，只支持电机在单圈±180 度之内旋转的单圈功能的应用。目前双编电机不支持连接电池，断电后不能保存当前的绝对值位置，断电显示电机输出端的当前角度（不支持多圈位置记忆）。

配置单圈编码器的关节模组在安装前需要调整模组减速机输出端位置，确保设备运行范围内不会出现越过输出端单圈编码器边界位置(±180°)，否则将会出现断电重启丢失多圈计数，关节位置反馈变为输出端编码器单圈位置。

17.4 使用多圈功能的关节位置和注意事项

单编电机在连接电池的情况下可以支持需要多圈旋转的应用，通过连接电池的方式断电保存当前的绝对值位置。

配置多圈编码器的关节模组则不需要在安装前调整模组减速机输出端位置来配合机械零位，但需注意多圈关节使用前需要安装 3.6V 供电电池。如果用户将多圈关节作为单圈关节使用（即不接 3.6V 多圈供电电池使用），确保设备运行范围不会超出一圈且不会出现越过输出端单圈编码器边界位置(±180°)，否则在断电重启后会丢失多圈计数，位置反馈变为输出端编码器单圈位置。

18 故障排查说明

18.1 使用 EtherCAT 通讯遇到报警的检查与处理

在使用 EthterCAT 通讯时，发生报警，需要着重检查 0x603F 错误代码。当电机发生故障时 603F 中会有一个值留存，直到错误清除。

0x1001 错误寄存器

位定义	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
含义	编码器报警	0	0	通信错误	温度超范围	电压超范围	电流过大	一般错误

0x603F 错误代码

错误代码	名称	含义	原因及处置方法
0x2310	Continuous Over Current	电机过载	电机侧持续大电流输出； 排查是否有机构卡住的情况/选用更大功率型号的电机
0x2320	Short Circuit Earth Leakage Motor Side	输出短路报警	电机侧瞬时输出电流过大； 检查是否有电机侧短路的情况/检查电机是否有损坏的情况
0x3110	Mains Over Voltage	供电电压过高	瞬时或长时间供电电压过高； 检查供电电压是否正常/在电源输入上并接大电容/在电源输入上并接能量泄放模块/选用更小电压输出的电源(必须在额定电压范围内)/减小电机运行减速度
0x3120	Mains Under Voltage	供电电压过低	瞬时或长时间供电电压过低； 检查供电电压是否正常/在电源输入上并接大电容/选用更大电流输出能力的电源/选用更大电压输出电源(必须在额定电压范围内)/减小电机运行加速度
0x4200	Temperature Device	电机温度报警	电机温度过高或过低；

			检查电机温度是否正常/检查环境温度是否正常/考虑是否需要加散热或保温措施
0x4300	Temperature Drive	驱动器温度报警	驱动器温度过高或过低； 检查电机温度是否正常/检查环境温度是否正常/考虑是否需要加散热或保温措施
0x5220	Control Computing Circuit	控制电路 CPU 错误	CPU 运行负载过高； 检查通讯周期是否可以调整/检查 PDO 内容是否可以精减掉不需要的内容/记录详细的运行工况信息，联系厂家技术人员
0x6100	Internal Software	内部软件错误	内部软件错误； 收集详细的运行工况信息，联系厂家技术人员
0x7300	Sensor Error	编码器报警	编码器数据读取错误，定位软硬件问题；
0x7500	Communication	通讯错误	异常的从 OP 状态切换到非 OP 状态； 检查通讯线是否有正确连接屏蔽线/检查设备是否有正确接地/检查通讯线是否有破损、接触不良等/检查通讯接头处是否有松动、接触不良等/考虑是否有必要加磁环/检查是否有 EtherCAT 通讯 ALStatusCode 报错
0x8611	Following Error	跟随误差过大	位置指令与实际位置只差大于设定的跟随误差范围，并持续设定的跟随误差时间； 解决方案： 检查跟随误差范围和时间设定是否合理/检查是否是转矩、速度、位置三环控制增益参数设定不合适/检查是否是机械限制无法到达指定的位置/检查是否设定了不合适的电子齿轮比/检查编码器分辨率设定是否正确
0x7308	Double Encoder Data Verify Error	双编数据校验错误	注：1.9.1.0 到 1.9.3.0 之前的版本中，此报错混合在编码器 0x7300 错误中 产生原因：双编减速器两端的运动应当具有一定规律，通过设定正确的减速比之后，有算法能计算出这个规律，如果偏离这个规律则报错 解决方案： 1. 检查减速比设定是否正确(参数与铭牌对比)

			2. 检查调整校验算法参数阈值 3. 做好安全防护准备(预防失控)，关闭校验算法测试 如果确认是编码器异常则需要返厂维修
0x7309	encoder flux angle align error	电角度对齐错误	在 1.9.3.0 以前的版本中，不存在这个报错，以前是给使能(推荐 0 电流指令使能)会检查有无电角度，没有的情况下会自动进入对电角度模式，然后再进入给定的模式; 1.9.3.0 之后给使能检查无电角度直接报错，检查有电角度直接进入给定的模式，只有对电角度指令才进入对电角度模式。 解决方案： 1. 清除错误 2. 用 CAN/EC 对电角度流程对电角度
0x7310	Over Speed error	超速保护	产生原因： 电机内部有速度环输出最大值限制，设定阈值留出波动余量后，如果计算实时速度超出阈值认为速度异常，进入报错状态 解决方案: 做好安全防护，检查调整超速保护阈值排查故障原因
0x7501	abnormal exit OP state	异常退出 OP	解决方案： 检查主站是否异常退出，未执行下使能流程

18.2 CAN 通讯使用 USB-CAN-TOOL 查报错

Can 通讯查 0x0A，用计算器输入返回的指令值，对应 bin 码查看错误：

Bit 位	故障说明	故障原因	解决方法
0	代表电机内部软件错误	FOC duration 错误，内部运算超时，软件内部问题。	① 若反复出现，收集当前运行工况，联系厂家提供固件更新。
1	代表过压	供电电压高于设定的最大电压阈值（默认 60V），或减速时能量回馈导致母线电压抬升。	① 检查电源电压是否高于最大电压阈值； ② 是否外接制动电阻或能量泄放模块或大电容； ③ 减小电机运行减速度。
2	代表欠压	供电电压低于设定的最小电压阈值（默认 36V），或电源带	① 检查电源电压是否低于最小电压阈值；

		载能力不足导致大电流时电压跌落。	② 更换更大电流输出能力的电源； ③ 在电源输入端并接大电容稳压。
6	代表过流	负载过大、急加减速、堵转或电机侧短路导致瞬时电流超限。 硬件过流检测	① 减轻负载，检查机械是否卡滞； ② 平滑加减速，避免急停/急启； ③ 检查电机及线缆有无短路； ④ 若频繁报错，返厂检修。
7	代表电机内部软件错误	在电机运行中执行参数保存（写入 Flash）等操作，或软件内部异常。	① 停止电机运行后再保存参数； ② 恢复出厂设置（0x0D/0x0F）并重新配置； ③ 若反复出现，联系厂家提供固件更新。
16	代表编码器错误	编码器供电不足（多台共用电源电流设置过低）、编码器接线松动或损坏、控制板接口故障。	① 提高电源电流容量，确保电压稳定； ② 检查电机减速比参数是否和电机本身减速比对应； ③ 判断是否上电启动即报错还是运行时报错： 上电启动报错需返厂检修，运行报错需要关闭内外圈校验 0xA7 测试是否正常； ④ 若无效，返厂检修编码器或控制板。
17	代表电机温度过高	长时间高负载运行、环境散热不良或温度传感器故障。	① 停止运行，检查温度阈值，判断电机手感温度及电机反馈温度值是否一致； ② 若实际温度过高，待温度下降后改善散热条件（加装散热片/风扇）再测试； ③ 若实际温度不高但报错，考虑传感器故障，返厂更换。
18	代表电路板温度过高	驱动器长时间大功率输出、散热不良或环境温度过高。	① 停止运行，检查温度阈值，判断手感温度及驱动板反馈温度值是否一致；

			② 若实际温度过高，待温度下降后改善散热条件（加装散热片/风扇）再测试； ③ 若实际温度不高但报错，考虑传感器故障，返厂更换。
19	代表驱动芯片错误/电流过载	负载较大、急加减速或功率过大导致驱动芯片过载，或芯片本身故障。	① 检查电机电流阈值参数，监控运行的电流波形是否突变； ② 排查是否有机构卡住的情况；排查工况是否超载运行，减小负载测试； ③ 若仍报错，返厂检修驱动板。
20	代表 EtherCAT 通讯错误	连接 EC 然后断开 EC 会产生	重启主站或重新上电消除
21	代表位置追随误差过大错误	仅位置和轮廓位置模式会有，CAN 默认不开启此功能	解决方案： 检查跟随误差范围和时间设定是否合理/检查是否是转矩、速度、位置三环控制增益参数设定不合适/检查是否是机械限制无法到达指定的位置/检查是否设定了不合适的电子齿轮比/检查编码器分辨率设定是否正确
22	代表电角度异常报错	在 1.9.3.0 以前的版本中，不存在这个报错，以前是给使能(推荐 0 电流指令使能)会检查有无电角度，没有的情况下会自动进入对电角度模式，然后再进入给定的模式; 1.9.3.0 之后给使能检查无电角度直接报错，检查有电角度直接进入给定的模式，只有对电角度指令才进入对电角度模式。	解决方案： 1.清除错误 用 CAN/EC 对电角度流程对电角度
23	代表内外圈校验报错	注：1.9.1.0 到 1.9.3.0 之前的版本中，此报错混合在编码器 0x7300 错误中 产生原因：双编减速器两端的运动应当具有一定规律，通过设定正确的减速比之后，有算	解决方案： 1.检查减速比设定是否正确(参数与铭牌对比) 2.检查调整校验算法参数阈值 3.做好安全防护准备(预防失控)，关闭校验算法测试

		法能计算出这个规律，如果偏离这个规律则报错	如果确认是编码器异常则需要返厂维修
24	代表超速检测报错	产生原因： 电机内部有速度环输出最大值限制，设定阈值留出波动余量后，如果计算实时速度超出阈值认为速度异常，进入报错状态	解决方案: 做好安全防护，检查调整超速保护阈值排查故障原因