

概述

ZMTC-EF1200 是 ZLG 致远电子推出的两相步进电机驱动器。该驱动器基于致远电子自主研发的电机驱动平台技术,具有高性能、高可靠性、低成本等特点。采用 EtherCAT 总线,基于 CiA402 运动控制协议。

产品特性

- ◆ 支持含正交编码器的 24~48VDC/5A 的两相步进电机
- ◆ EtherCAT 总线, CiA402 运动控制协议
- ◆ 支持周期同步位置控制模式、轮廓位置模式、轮廓速度模式、归零模式。
- ◆ 3 个数字输入
- ◆ 1 组 ABZ 正交编码输入
- ◆ 开环或编码器闭环控制可选

产品应用

- ◆ 物流装备
- ◆ 电子制造
- ◆ 新能源
- ◆ 纺织
- ◆ 包装

订购信息

型号	温度范围	电压
ZMTC-EF1200	0°C ~ +50°C	电机 24~48VDC 外设 24VDC

产品图片

修订历史

版本	日期	原因
V1.0	2023/12/18	创建文档

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 整体注意事项	1
1.4 开箱验收	2
1.5 安装和运输	3
1.6 接线	4
1.7 运行调试	4
1.8 使用	5
1.9 防止伤害	5
1.10 存储	6
1.11 废弃	6
1.12 其他注意事项	6
2. 产品简介	7
2.1 产品简介	7
2.2 产品选型	7
3. 产品规格	8
3.1 电气规格	8
3.2 通讯规格	8
3.3 执行标准	9
3.4 外形尺寸	9
3.5 安装要求	10
3.5.1 安全距离	10
3.5.2 散热空间	11
4. 接口说明	12
4.1.1 信号排针	12
4.1.2 指示灯	17
5. EtherCAT 通讯基础	19
5.1 EtherCAT 简介	19
5.2 EtherCAT 状态	19
5.3 EtherCAT 数据对象	20
5.3.1 SDO 服务对象	20
5.3.2 PDO 过程对象	20
5.3.3 SDO 和 PDO 对比	21
5.4 EtherCAT 同步模式	22
5.4.1 SM 事件同步模式	22
5.4.2 分布时钟同步模式	22
5.5 EtherCAT 从站信息	22
6. CiA402 控制说明	23
6.1 CiA402 简介	23
6.2 CiA402 状态机	23

6.2.1 状态	2 3
6.2.2 条件	2 4
6.3 CiA402 控制字	2 5
6.3.1 位定义	2 5
6.3.2 指令编码	2 6
6.4 CiA402 状态字	2 6
6.4.1 位定义	2 6
6.4.2 状态编码	2 7
6.5 CiA402 运行模式	2 7
6.5.1 到达和跟随判断	2 8
6.5.2 CSP 周期同步位置模式	3 1
6.5.3 PP 轮廓位置模式	3 1
6.5.4 PV 轮廓速度模式	3 3
6.5.5 HM 归零模式	3 3
6.6 CiA402 其他说明	3 4
6.6.1 CiA402 数字信号	3 4
7. 配置与升级	3 5
7.1 参数配置	3 5
7.2 固件升级	3 5
8. 故障诊断与排除	3 6
9. 对象字典	3 7
9.1 对象字典结构	3 7
9.2 对象组 1000h 分配	3 7
9.3 对象组 2000h 分配	3 7
9.4 对象组 3000h 分配	3 9
9.5 对象组 6000h 分配	4 0
10. 装箱清单	4 2
11. 免责声明	4 3

1. 安全注意事项

1.1 安全声明

- 在安装、操作、维护产品时，请先阅读并遵守注意事项。
- 为保障人身和设备安全，在安装、使用或维修本产品之前，请务必仔细阅读、并完全理解“安全注意事项”章节的相关内容。
- 手册中的“危险”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。
- 因违规操作产品引发的人身安全事故、财产损失等，我司将不承担任何法律责任。

1.2 安全等级定义

本文档中，安全注意事项分为两个等级，“危险”和“注意”。此节均为重要内容，请务必遵守。



表示错误使用时，将会引发危险情况，导致人身伤亡、火灾的危险状况。



表示不正确的操作可能导致危险情况发生，造成中度或轻度的人身伤害。

请注意即便是“注意”级别，在一定条件下也可能导致严重后果。因为它们对人身安全很重要，请遵从这两个级别的安全指令。

以下图形符号表示一定不能做的和必须做的：



表示禁止（绝对不能做），例如严禁烟火时。



表示强制（必须做），例如接地时。

1.3 整体注意事项



- 为了产品的安全使用，请您务必阅读本手册。
- 请不要在驱动器通电的状态下，拆下外壳、电缆、连接器及选购设备，否则会导致触电、产品停止运行或烧坏。

■请在产品相符的电气规格（直流电压、负载功率）下使用，否则会导致产品烧坏、触电或火灾。

■请务必将驱动器及伺服电机的接地端子与大地连接，否则会导致触电或火灾。

■请勿损伤或用力拉扯电缆，也不要使电缆承受过大的力、放在重物下面或者被夹住。否则会导致触电、产品停止运行或引发火灾。

■与机械连接后开始运行时，请使设备处于可随时紧急停止的状态，否则会导致受伤。

■非指定人员请勿进行设置、拆卸或修理。否则会导致触电或受伤。

■请由操作熟练的技术人员进行正确规范安装，否则会导致触电或受伤。

■不能破坏、夹压或高强度重压驱动器。否则，可能导致电击。



■通电或电源刚切断时，伺服驱动器、外置制动电阻、伺服电机可能处于高温状态，请避免手部与部件意外触碰。

■电源线请使用双重绝缘或强化绝缘的电线，否则会导致触电。

■请在外部设置紧急停止回路，确保异常发生时切断电源并立即停止运行。

■请确保在电源状况良好的情况下使用，确保在指定的电压变动范围内供给输入电源，否则会导致驱动器损坏。

■驱动器和伺服电机请按照指定的组合使用。

■请勿用湿手触摸伺服单元及伺服电机，否则会导致产品故障。

1.4 开箱验收



■开箱时发现产品及产品附件有损伤、锈蚀、使用过的迹象等问题，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。

■请仔细对照装箱清单，发现装箱清单与产品名称不符时，请勿安装。



- 开箱前请检查产品的包装是否完好，有无破损、浸湿、受潮、变形等情况。
- 请按照包装连接顺序打开包装，严禁猛烈敲打。
- 开箱时请检查产品的产品附件表面有无残损、锈蚀、碰伤等情况。
- 开箱后请仔细检查对照装箱清单，检验产品及产品附件数量、资料是否齐全。

1.5 安装和运输



- 严禁非专业人员进行产品安装、接线、保养维护、检查或部件更换。
- 本产品的安装、接线、维护、检查或更换部件等，只有受过电气设备相关培训，具有充分电气知识的专业人员才能进行。
- 安装人员必须熟悉产品安装要求和相关技术资料。



- 安装前请务必仔细阅读产品使用说明书和安全注意事项。
- 严禁改装本产品。
- 请勿在强电场或强电磁波干扰的场所安装本产品。
- 请勿踩踏本产品或在其上放置重物，否则会导致故障、损坏或受伤。
- 安装的所有场合，都不得使产品暴露在含卤素（氟、氯、溴、碘等）的环境中，否则会导致故障或损坏。
- 安装时请务必保持空气流通，驱动器与驱动器的间隔不小于 10mm。



- 根据产品重量，用正确的方法来运输产品。
- 请勿过多地将本产品装载在一起。否则会导致故障。
- 请勿在本产品上面放置重物。
- 运输的所有场合，都不得使产品暴露在含卤素（氟、氯、溴、碘等）的环境中，否则会导致故障或损坏。
- 提供足够的保护，防止螺钉或其他导电物质、油和其他易燃进入驱动器内。
- 请勿对连接器部分施加冲击，否则会导致连接不良或故障。
- 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。

■设备被重工具吊起时，严禁设备下方有人员站立或停留。

1.6 接线



■通过程中请勿变更接线，否则会导致触电或受伤。

■严禁电源正负极接反，否则会导致驱动器损坏或火灾危险。

■请勿在电源接通的情况下进行接线作业，否则会有触电的危险。

■接线前，请切断所有设备的电源，切断电源后设备内部电容有残余电压，请至少等待 10 分钟再进行接线等操作，禁止带电插拔违规操作。

■请务必保证设备接地良好，否则会有电机危险。

■防止金属物掉落或误操作导致电源对 PE 短路，会造成驱动器故障报警或器件损坏。

■严禁将输入电源连接到产品的输出端，否则会引起设备损坏，甚至引发火灾。

■输出回路可能会因接线错误、异常电压的施加而发生短路故障，因此可能导致机械损坏或人员伤亡。



■正确安全地进行设备接线。否则，可能导致驱动器不能工作。

■接线的线缆需符合相应的线径和屏蔽等要求，使用屏蔽线缆的屏蔽层需要单端可靠接地。

■驱动器与电机连接时，保证驱动器与电机端子相序一致，避免造成电机反转造成设备损坏或人员受伤。

■请由专业技术人员进行接线或检查作业。

■插入电线时，请勿使芯线的毛刺与邻近的电线接触而造成短路。

■在电源不良的情况下使用时，请确保供给驱动器的电压在允许电压变动范围内。

1.7 运行调试



■通电前，请确认产品安装完好，接线牢固，电机装置允许重新启动。

■通电前，请确认电源符合设备要求，避免造成设备损坏或引发火灾。

■通电时，设备的机械装置可能会突然动作，请注意远离机械装置。

■严禁在通电状态下触摸设备的任何接线端子，否则有触电危险。

■ 严禁超过额定电压范围内使用本产品，否则会损坏驱动器。

■ 产品尺寸 1.5 倍空间内应保证没有可燃物，避免设备故障时的明火造成火灾隐患。



■ 在操作之前，请检查参数设置。不正确的设置可能导致部分机器执行不可预知的操作。

■ 为防止意外事故的发生，请对电机进行单独试运行。

■ 不能过度改变参数设置，操作将不稳定。

■ 设置参数时，设定与该机器相符的参数。

1.8 使用



■ 提供外部紧急停止电路确保能够立即停止操作并切断电源。

■ 必须由合格的技术工程师进行拆卸作业以及维修工作。

■ 请勿在会溅到水的场所或易发生腐蚀的环境中以及易燃性气体和可燃物的附近安装或使用该产品。

■ 发生故障保护时，请在排除原因并确保安全后再重新启动运行。

■ 在电源状况不良的情况下使用时，请确保在指定的电压变动范围内供给输入电源。否则会导致机器损坏。

■ 请勿频繁 ON/OFF 电源，在需要反复地连续 ON/OFF 电源时，请控制在 1 分钟内 1 次以下。由于驱动器的电源部分带有电容器，所以在电源 ON 时，会流过较大的充电电流。因此，如果频繁地 ON/OFF 电源，则会造成驱动器内部的主回路元件性能下降。

■ 在以下场所使用时，请采取适当的屏蔽措施。

- 1、因静电等而产生干扰时。
- 2、产生强电场或强励磁的场所。
- 3、可能有放射线辐射的场所。
- 4、附近有电源线的场所。

1.9 防止伤害



■ 在电机运行时，请绝对不要触摸其旋转部位。否则会导致受伤。

■ 如果在运行过程中发生瞬时停电后又恢复供电，机器可能会突然再启动，因此切勿靠近机

器。请采取措施以确保再启动时不会危及到人身安全，否则会导致受伤。

■安装时，要按顺序连接电机的 U、V、W 相线，否则电机反转可能导致受伤。

■请按本手册中说明的步骤进行安装和试运行。在驱动器和电机连接的状态下，如果发生操作错误，则不仅会造成机器损坏，有时还可能导致人身伤害事故。

1.10 存储



■请勿将驱动器存储在下列环境中。

- 1、阳光直射的场所。
- 2、环境温度超过存储温度条件的场所。
- 3、环境湿度超过存储温度条件的场所。
- 4、温差大、结露的场所。
- 5、接近腐蚀性气体、可燃性气体的场所。
- 6、尘土、灰尘、盐分及金属粉末较多的场所。
- 7、易溅上水、油及药品等的场所。
- 8、震动或冲击波及产品的场所。

1.11 废弃



■本产品请按一般工业废弃物处置。

■当你丢弃驱动器和其它选件时，请遵从各个国家（地区）的法律。

1.12 其他注意事项



■本产品作为一般工业的通用部件而制造，并非为设计人身生命的设备或系统而设计和制造。

■在将本品用于特殊目的，如核能、电力、航空、医药、客运工具或潜水等，请联系致远电子。

■本产品在严格质量控制下制造。但是，当产品安装于因产品故障会发生严重事故或损失的场合时，请在系统中安装合适的备份或故障安全设备。

2. 产品简介

2.1 产品简介

ZMTC-EF1200 是 ZLG 致远电子推出的步进伺服驱动器。该驱动器基于致远电子完全自主研发的电机驱动平台技术，具有高性能、高可靠性、低成本等特点。采用 EtherCAT 总线，基于 CiA402 运动控制协议，支持 CSP 周期同步位置控制功能。

2.2 产品选型

致远系列电机驱动器命名规则如图 2.1 所示。

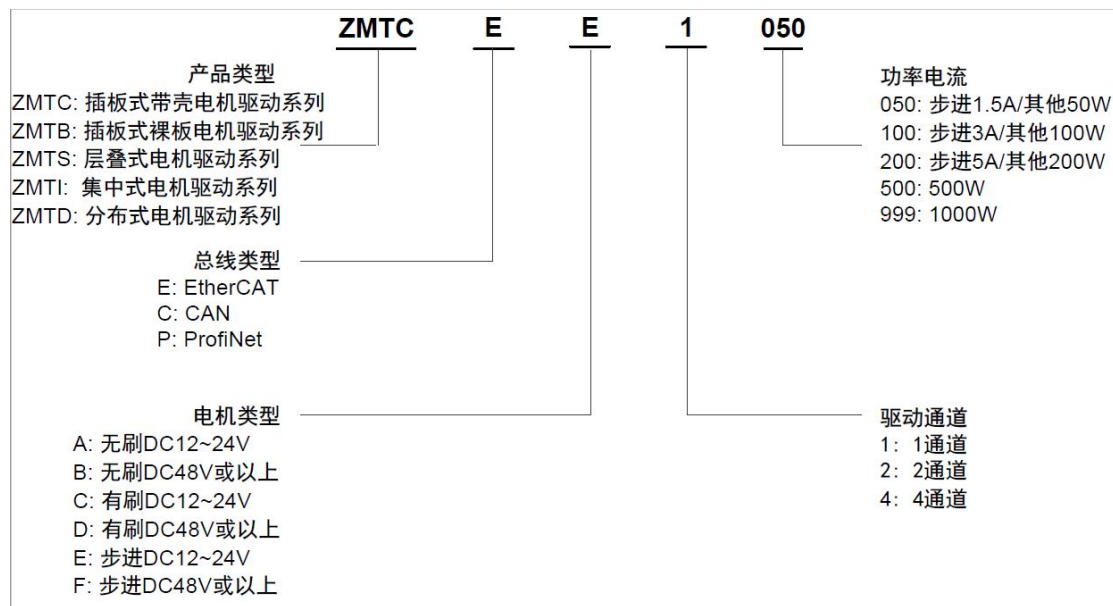


图 2.1 电机驱动器选型

3. 产品规格

3.1 电气规格

驱动器的电气规格如表 3.1 所示。当驱动器不工作在表 3.1 的范围内时，则可能导致系统异常。

表 3.1 电气规格

项目		规格
控制电源		3.23~3.37VDC
外设电源		24VDC (-15%/+20%)
电机驱动 电源	额定电压	24~48VDC
	过压电压	75VDC
	欠压电压	15V
额定相电流峰值		5A
最高步进频率		预计可配置 16000 整步/秒
步进模式		1~256 倍微步进，可配
电流控制器频率		23.4kHz
编码器		A/B/Z,单端输入 0~5V, 最高 2MHz
数字信号输入		0~5V, 最高 2MHz
保护功能		欠压、过压、过流、堵转、过温等
工作湿度		10—85%RH (不结露)
工作温度		0℃—50℃ (不结冰)
海拔高度		2000m 以下

3.2 通讯规格

驱动器的通讯规格如表 3.2 所示。

表 3.2 通讯规格

项目		规格
通讯功能	EtherCAT	COE (CANopen over EtherCAT)、FOE (File Access over EtherCAT)、CiA402 运动控制协议(应用层)

设备协议标准	IEC61800-7 CiA 402 Drive Profile
同步管理器	SM0: 邮箱接收 (主站 TO 从站) SM1: 邮箱发送 (从站 TO 主站) SM2: 过程数据输出 (主站 TO 从站) SM3: 过程数据输入 (从站 TO 主站)
通信对象	SDO: 服务数据对象 PDO: 过程数据对象
同步模式	DC-Synchron SM-Synchron
控制模式	周期同步位置控制 (Cyclic SynDIronous Position)
循环周期	1ms、2ms、4ms、8ms...20ms

3.3 执行标准

表 3.3 执行标准

类别	执行标准	标准名称
EMC	GB/T17626.2	静电放电抗扰度试验
	GB/T17626.3	射频电磁场辐射抗扰度试验
	GB/T17626.4	电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
	GB/T17626.6	射频场感应的传导骚扰抗扰度
环境	GB/T 2423.2	电工电子产品环境试验 第 2 部分: 实验方法 试验 B: 高温
	GB/T 2423.3	电工电子产品环境试验 第 2 部分: 实验方法 试验 Cab: 恒定湿热试验
	GB/T 2423.1	电工电子产品环境试验 第 2 部分: 实验方法 试验 A: 低温
	GB/T 2423.4	电工电子产品环境试验 第 2 部分: 实验方法 试验 Dd: 交变湿热 (12h+12h 循环)
	GB/T 2423.5	电工电子产品环境试验 第 2 部分: 实验方法 试验 Ea 和导则: 冲击
电气安全	GB 4793.1-2007	测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第 1 部分: 通用要求 (IEC 61010-1:2001, IDT)

3.4 外形尺寸

全部模组的外形尺寸图 3.1 所示。本模组的宽度为 24mm。

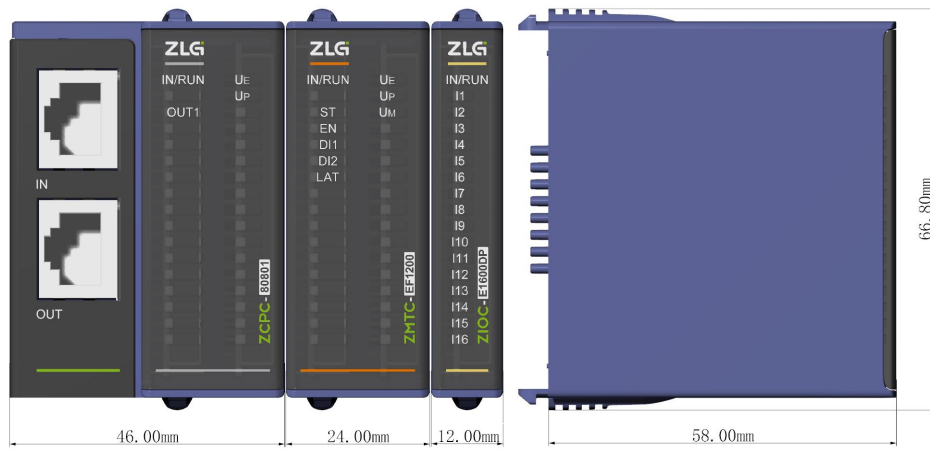


图 3.1 尺寸图

每个系列的模组底部都有特定的选型柱。本系列的选型柱如图 3.2 所示。

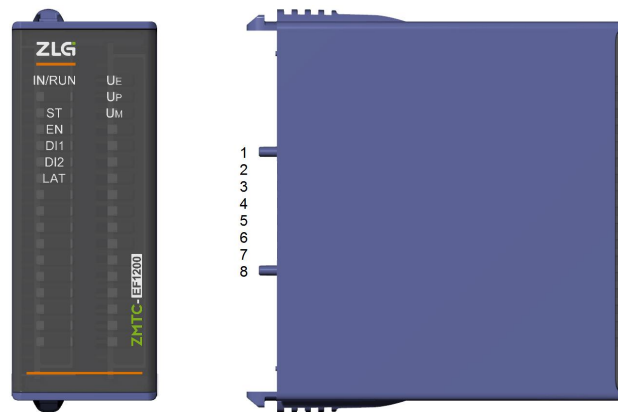


图 3.2 选型柱

3.5 安装要求

3.5.1 安全距离

安装时需确保每个模组有足够的安全距离，如图 3.3 所示。

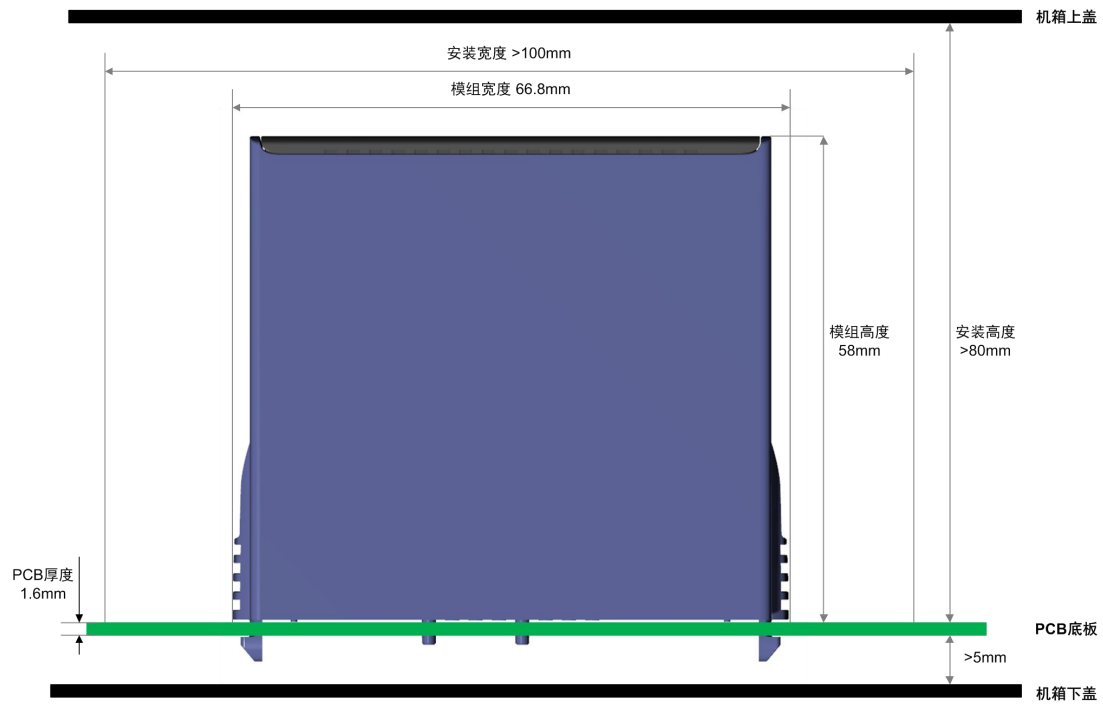


图 3.3 安全距离

3.5.2 散热空间

必须垂直安装模组，并且预留足够的散热空间，确保新鲜空气从模组的底部流进，热空气从模组的顶部散出，如图 3.4 所示。

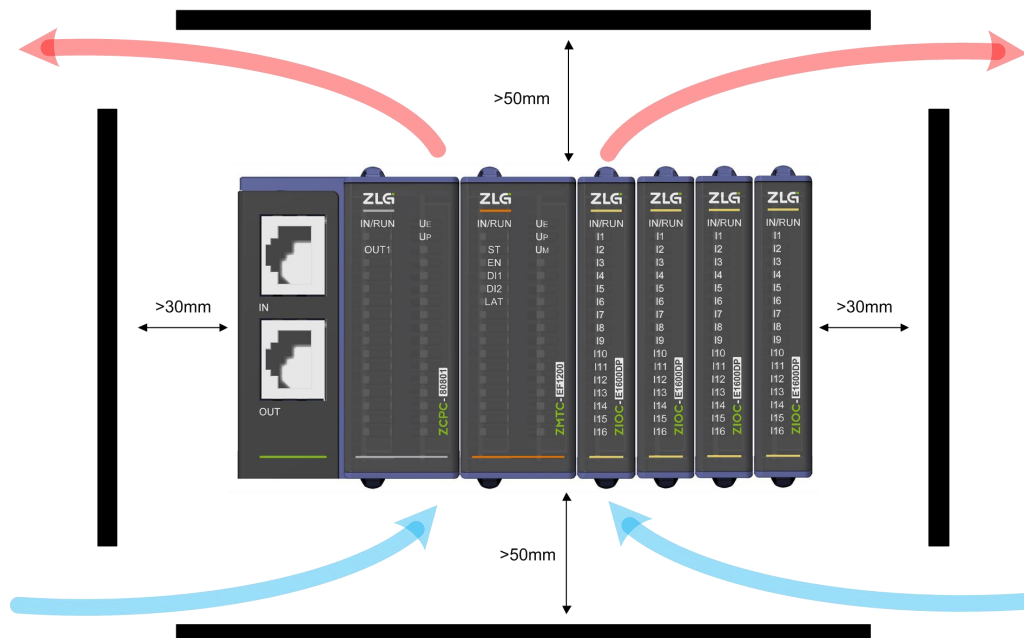


图 3.4 散热空间

4. 接口说明

4.1.1 信号排针

信号排针由 40 脚间距 2.54mm 的标准排针组成。本模组含两排信号排针，如表 4.1 和表 4.2 所示，模组分为左信号排针和右信号排针。

表 4.1 左排针

引脚		信号		说明
1	2	3.3V ETC	3.3V ETC	控制电源 3.3V 正极
3	4	GND ETC	GND ETC	控制电源 3.3V 负极
5	6	RX0+	TX1+	EtherCAT 信号 RX0+/RX0-: 进口接收差分信号, TX1+/TX1-: 出口发送差分信号
7	8	RX0-	TX1-	
9	10	GND NET	GND NET	EtherCAT 外壳地, 一般悬空或连接 GND ETC
11	12	TX0+	RX1+	EtherCAT 信号 TX0+/TX0-: 进口发送差分信号, RX1+/RX1-: 出口接收差分信号
13	14	TX0-	RX1-	
15	16	GND ETC	GND ETC	控制电源 3.3V 负极
17	18	NC	EncA	数字信号 EncA/EncB/Enc/Z: 正交编码器 A/B/Z DI 1/DI 2: 默认数字信号输入, NPN 型 (输入低电平有效); 也可分别配置为正极限和负极限输入 Latch: 默认抱闸输出, NPN 型 (输出低电平有效), 配合 CiA402 控制制动抱闸; 也可配置为数字输入, NPN 型 (输入低电平有效) 5V Sensor/GND Sensor: 数字信号 5V 电源输出, 可给编码器供电
19	20	NC	EncB	
21	22	NC	EncZ	
23	24	NC	Latch	
25	26	NC	DI 1	
27	28	NC	DI 2	
29	30	GND Sensor	5V Sensor	
31	32	NC	NC	
33	34	GND Up	GND Up	外设电源 24V Up: 24V 正极 GND Up: 24V 负极 SGND: 一般悬空, 或连接金属外壳
35	36	GND Up	24V Up	
37	38	24V Up	24V Up	
39	40	SGND	SGND	

表 4.2 右排针

引脚		信号		说明
1	2	NC	NC	悬空
3	4	NC	NC	悬空
5	6	NC	NC	悬空。5 和 6、7 和 8 分别内部短路，将上一级的 TX1+和下一级的 RX0+、上一级的 TX1-和下一级的 RX0-分别连通
7	8	NC	NC	
9	10	NC	NC	悬空
11	12	NC	NC	悬空。11 和 12、13 和 14 分别内部短路，将上一级的 RX1+和下一级的 TX0+、上一级的 RX1-和下一级的 TX0-分别连通
13	14	NC	NC	
15	16	NC	NC	悬空
17	18	Motor A+	Motor A+	电机驱动信号 Motor A+/Motor A- : A 相驱动正负端 Motor B+/Motor B- : B 相驱动正负端
19	20	Motor A-	Motor A-	
21	22	Motor B+	Motor B+	
23	24	Motor B-	Motor B-	
25	26	48V Motor	48V Motor	电机驱动电源 48V Motor: 48V 正极 GND Motor: 48V 负极
27	28	48V Motor	48V Motor	
29	30	GND Motor	GND Motor	
31	32	GND Motor	GND Motor	
33	34	GND Up	GND Up	外设电源 24V Up: 24V 正极 GND Up: 24V 负极 SGND: 一般悬空，或连接金属外壳
35	36	GND Up	24V Up	
37	38	24V Up	24V Up	
39	40	SGND	SGND	

图 4.1 和图 4.2 是典型的接线方式。

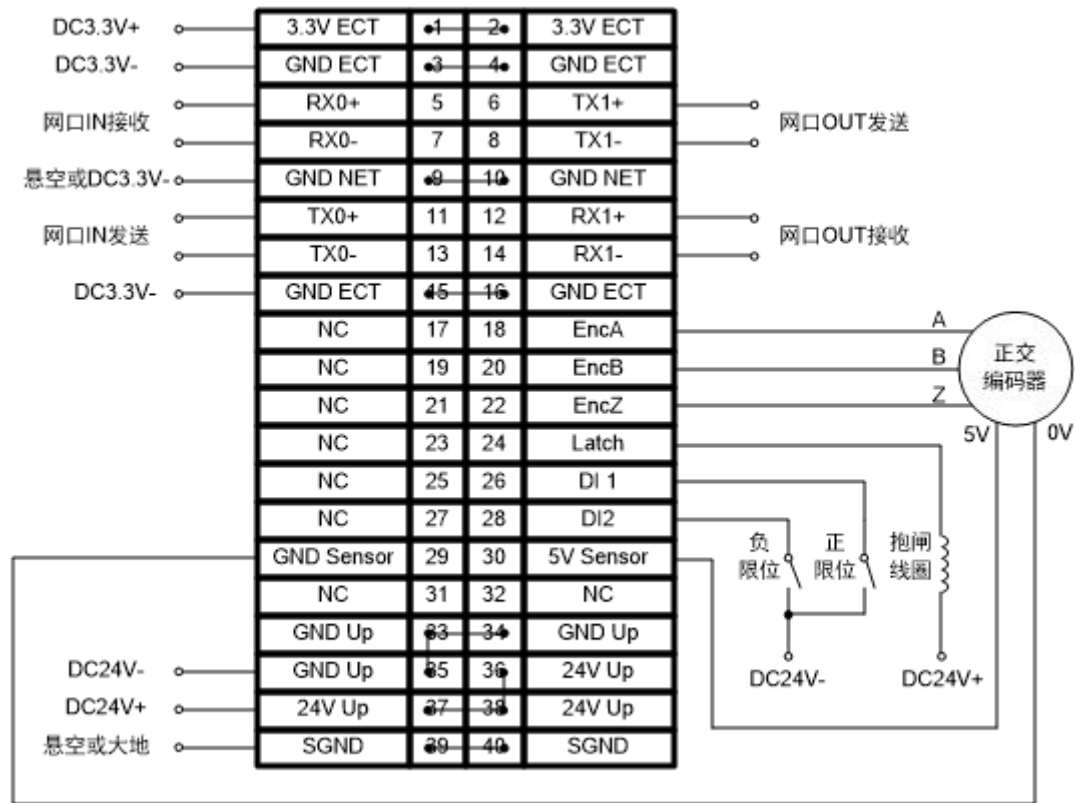


图 4.1 左排典型接线图

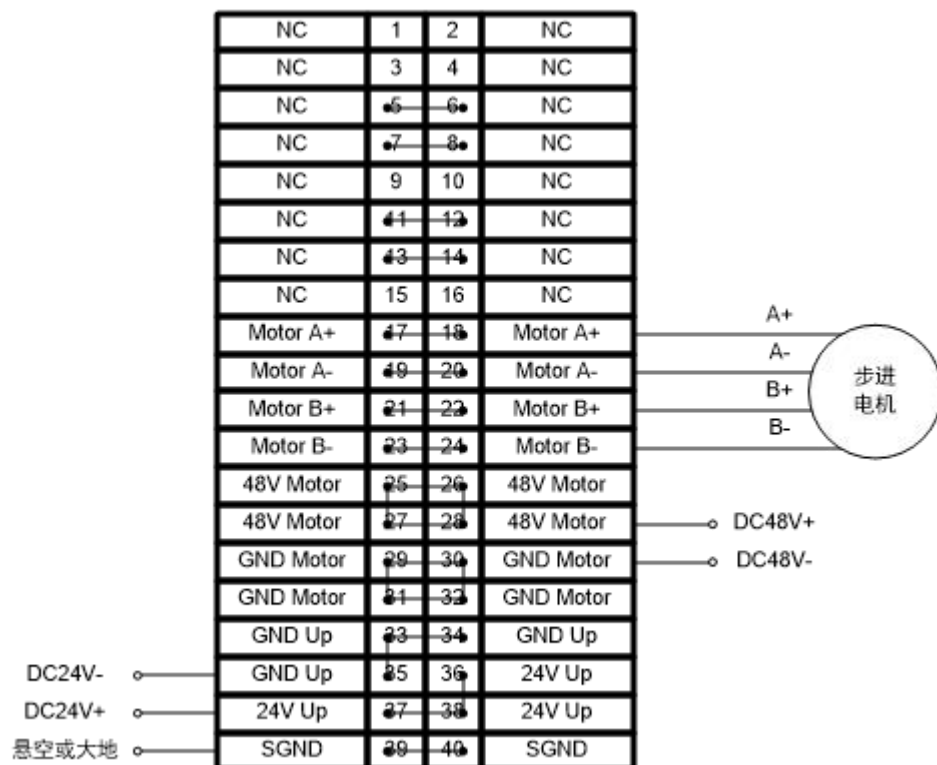


图 4.2 右排典型接线图

图 4.3 显示了由多个插板式模组组成的 EtherCAT 级联网络。其中耦合器和电源模组是每个网络必须的，功能模组则按需选配。功能模组中的 17~32 脚是自定义区域，需根据模组的具体功能对外连接或留空。“控制 DC24V”是 EtherCAT 网络的供电电源，“驱动 DC24V”是外设的供电电源，推荐使用两路隔离的 DC24V 电源分别供电。但如果电源的质量良好，且外设不含电机等强干扰的设备，共用一个电源也是可以使用的。

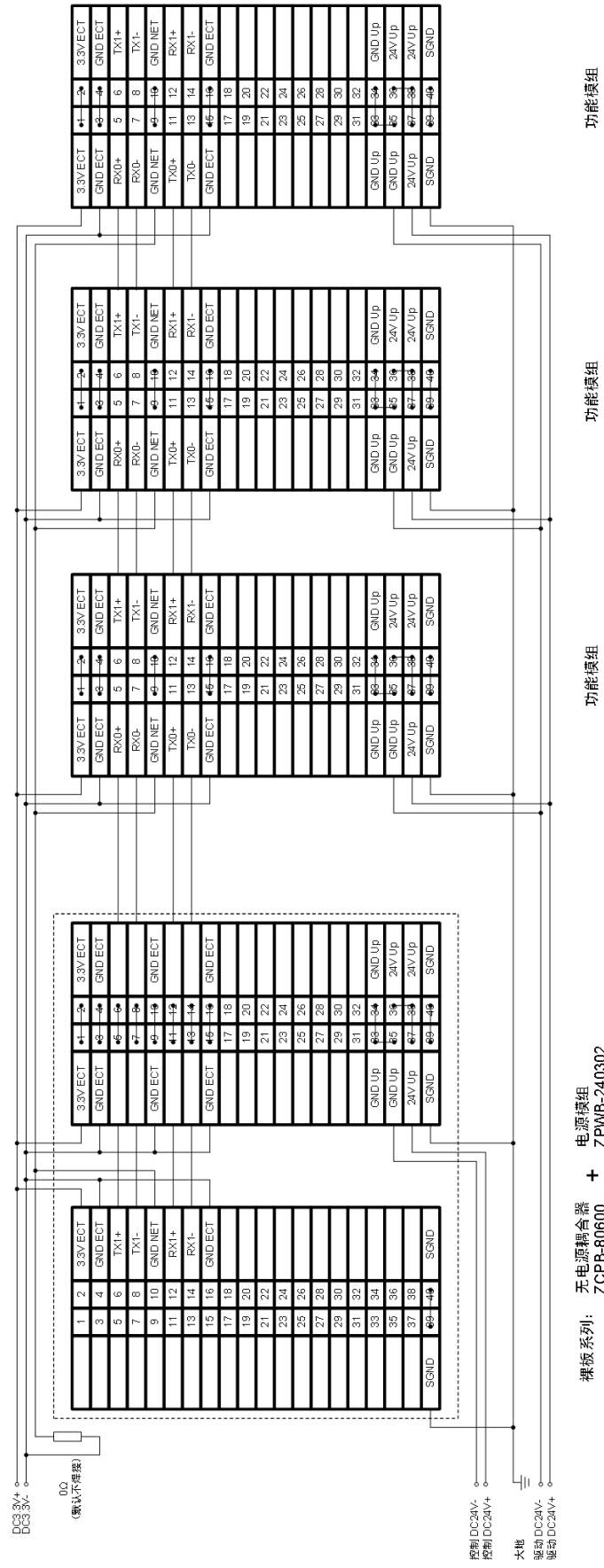


图 4.3 插板式模组级联图

4.1.2 指示灯

各 LED 指示灯的标识，如图 4.4 和表 4.3 所示。

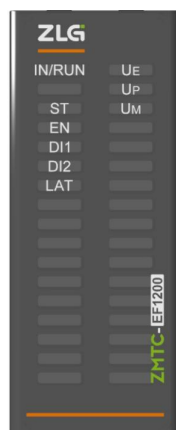


图 4.4 面板

表 4.3 指示灯

标识	说明
RUN	<p>EtherCAT 运行状态</p> <p>灭：设备处于 INIT 状态</p> <p>快闪：设备处于 PRE-OPERATION 状态</p> <p>慢闪：设备处于 SAFE-OPERATION 状态</p> <p>常亮：设备处于 OPERATION 状态</p>
IN	<p>EtherCAT 输入端口的状态</p> <p>灭：无连接</p> <p>常亮：有连接，但无数据传输</p> <p>闪烁：有连接，有数据传输</p>
ST	<p>编码器状态</p> <p>灭：使能编码器时电机不转，或禁能编码器</p> <p>慢闪：1Hz，使能编码器时电机反转</p> <p>快闪：7Hz，使能编码器时电机正转</p>
EN	<p>电机状态</p> <p>灭：未接上 EtherCAT 主站</p> <p>慢闪：1Hz，已接上 EtherCAT 主站，且电机线圈未通电（未进入 Operation Enable 状态）</p> <p>常亮：7Hz，已接上 EtherCAT 主站，且电机线圈已通电（已进入 Operation Enable 状态）</p>
DI 1	<p>DI 1 输入状态</p> <p>灭：DI 1 被拉高或悬空</p> <p>亮：DI 1 被拉低</p>

DI 2	DI 2 输入状态 灭: DI 2 被拉高或悬空 亮: DI 2 被拉低
LAT	Latch 输出或输入状态 输出状态 (默认) 灭: 关闭, Latch 对地截止 亮: 导通, Latch 对地导通 输入状态 灭: Latch 被拉高或悬空 亮: Latch 被拉低

5. EtherCAT 通讯基础

5.1 EtherCAT 简介

EtherCAT (Ethernet Control Automation Technology) 是一种高性能实时以太网通信协议，用于在工业自动化领域中进行实时控制和通信。它是由德国 Beckhoff 自动化公司在 2003 年开发的，并被国际电工委员会 (IEC) 标准化为 IEC 61158 标准。

EtherCAT 的设计目标是实现极低的通信延迟和高带宽的数据传输，以满足高速控制和数据采集的需求。它通过一种特殊的主从架构实现，其中一个主站 (Master) 负责协调整个网络，而从站 (Slave) 则负责提供输入输出功能。具有实现性强、带宽高、灵活方便、集成容易、标准开发等优点。

EtherCAT 从器件含有 2 个以太网端口，以支持级联的网络结构。一般情况，主站需要 1 个以太网端口，但为了达到冗余的目的，主站要有 2 个以太网端口。一个 EtherCAT 网络能够支持多达 65535 个从站。

5.2 EtherCAT 状态

EtherCAT 执行的通讯状态机，主要用于管理主从站之间的通讯，通讯功能主要包含邮箱和过程数据的通讯。EtherCAT 状态机如图 5.1 图所示。

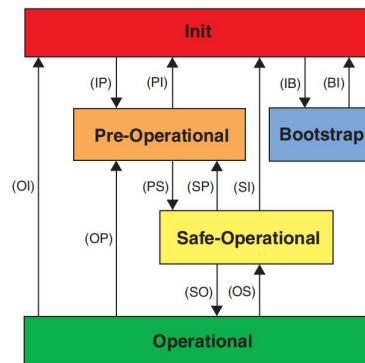


图 5.1 EtherCAT 状态机

EtherCAT 的状态机有如下特点：

- 1) 从 Init 初始化到 Operational 操作，必须严格按照 Init 初始化—>Pre-Operational 预操作—>Safe-Operational 安全操作—>Operational 操作的顺序从低到高进行转换，不可越级。
- 2) 从高到低转换时，可以越级转换。
- 3) 主站是所有的状态转换的发起者，从站响应主站所状态转换的请求。
- 4) 如果主站请求的状态转换失败，从站发送错误信息给主站。
- 5) 在 Bootstrap 引导状态，主站设备会通过 EtherCAT 网络向其他设备发送引导数据，这些数据包含了主站设备的配置信息和参数。从站设备接收到引导数据后，会根据这些信息进行相应的配置和初始化操作，以实现与主站的通信。
- 6) 一般运行到 Operational 操作状态后，才执行具体的应用协议，如 CiA402 电机控制通讯框架协议。

各状态的通讯功能如表 5.1 所示。

表 5.1 EtherCAT 通讯功能

状态	通讯功能
Init 初始化	主从站之间无通讯
Pre-Operational 预操作	邮箱通讯有效，无过程数据通讯，即 SDO 功能有效
Safe-Operational 安全操作	邮箱通讯及发送过程数据对象有效，即 SDO 及 TxPDO 有效
Operational 操作	邮箱通讯、接收及发送过程数据对象有效，即 SDO、RxPDO 及 TxPDO 有效
Bootstrap 引导	一般使用 FOE 协议的邮箱通讯。

5.3 EtherCAT 数据对象

5.3.1 SDO 服务对象

SDO 用于传输非周期数据，如通信参数配置和伺服运行参数配置。EtherCAT 主站可以通过使用 SDO 读写驱动系统的对象字典，从而配置、监控、控制驱动系统等等。

SDO 采用的是客户端/服务器模型，主站为客户端，驱动器为服务器，所有传输都必须是客户发起，服务器响应。发送方通过邮箱轮流发送数据，接收方通过轮询邮箱的方式，查找接收到的信息，所以 SDO 传输速度较慢。

5.3.2 PDO 过程对象

PDO 用于传输周期数据。周期数据是指在每个网络周期中，主站与从站之间传输的数据。这些数据都是驱动器运行所必需的，如：控制字，状态字，设定点等等。

PDO 一般用于实时的数据更新；其分为接收 PDO(RxPDO)和发送 PDO(TxPDO)，前者的数据流方向是主站到从站，后者则是从站到主站。PDO 传输数据前，主从站必须预先定义好多组 RxPDO 和 TxPDO 映射，如图 5.2 所示的 CiA402 电机协议常用的四组 PDO 映射。

以第二组为例说明。使用前，主从站同时登记：RxPDO 是在地址为 0x1601 开始的对象，并按顺序填入 Cortrolword 控制字和 Target Postition 目标位置的地址 0x6040 和 0x607A 以及其他必要的信息；TxPDO 是在地址为 0x1A01 开始的对象，并按顺序填入 Statusword 状态字和 Actual Postition 实际位置的地址 0x6041 和 0x6064 以及其他必要的信息。当主站发送第二组 RxPDO 后，因为从站预先被配置好的，硬件电路自动将收到的数据分配到 Cortrolword 和 Target Postition 所在的对象字典，驱动器被 PDO 中断唤醒，直接使用 Cortrolword 和 Target Postition 的数据，无需轮询。同理，从站在接收完成 RxPDO 后，硬件自动通过 TxPDO 发送 Statusword 和 Actual Postition 两个对象的数据给主站。PDO 的传输速度远高于 SDO，但仅适用于需要从站快速响应的小量数据。

第一组

RxPDO (0x1600)	Control Word (0x6040)	Target Position (0x607A)	Target Velocity (0x60FF)	Target Torque (0x6071)	Mode of Operation (0x6060)
TxPDO (0x1A00)	Status Word (0x6041)	Actual Position (0x6064)	Actual Velocity (0x606C)	Actual Torque (0x6077)	Mode of Operation Display (0x6061)

第二组

RxPDO (0x1601)	Control Word (0x6040)	Target Position (0x607A)
TxPDO (0x1A01)	Status Word (0x6041)	Actual Position (0x6064)

第三组

RxPDO (0x1602)	Control Word (0x6040)	Target Velocity (0x60FF)	
TxPDO (0x1A02)	Status Word (0x6041)	Actual Position (0x6064)	Actual Velocity (0x606C)

第四组

RxPDO (0x1603)	Control Word (0x6040)	Target Torque (0x6071)	
TxPDO (0x1A03)	Status Word (0x6041)	Actual Position (0x6064)	Actual Torque (0x6077)

图 5.2 PDO 映射

5.3.3 SDO 和 PDO 对比

SDO 和 PDO 的对比如表 5.2 所示。

表 5.2 SDO 和 PDO 对比

对比内容	PDO	SDO
数据量	32 字节(E)/8 字节(C)	多为 4 字节(快速传输)
效率	高	低
优先级	高	低
实时性	实时	非实时
传输主动性	主动	被动
对象字典访问	间接访问 PDO 映射的对象	直接访问任意对象
同步性	同步或异步	异步
应用场合	实时数据传输	参数设置

5.4 EtherCAT 同步模式

同步模式需要使用 PDO，周期性地同步收发数据，例如 CiA402 协议中周期同步位置模式，主站定时通过 PDO 更新从站的目标位置。

5.4.1 SM 事件同步模式

在 SM 事件同步模式下，EtherCAT 总线通信的机制就是 Frame 数据帧到达从站后会触发 SM Event 事件信号，从站通过这个信号得知最新的 Frame 数据帧到达，并收发数据。

5.4.2 分布时钟同步模式

在分布时钟同步模式下，连接主站的第一个从站会产生一个高精度的时钟信号源，周期性地报告给主站和其他从站。主从站之间也会周期性地通 PDO 交换数据，但不同的是，每个从站只有接收到时钟信号的瞬间，才会执行上一周期收到的 RxPDO 数据，并更新下一周期要发送的 TxPDO 数据。这种模式下，主站无需精确把控时间，但要比每个时钟信号提前一段时间收发完 PDO。

5.5 EtherCAT 从站信息

EtherCAT 中的 ESI 文件，即 EtherCAT Slave Information（EtherCAT 从站信息），是从站设备的配置文件，以 XML 格式呈现。此文件包含两部分关键内容：一是制造商信息，如制造商名称和 ID；二是从站描述信息，它涉及从站的基本信息和数据通讯的相关变量配置。

在 EtherCAT 系统中，ESI 文件的作用至关重要。当从设备上电时，系统会通过 I2C 总线读取 EEPROM 中的 ESI 文件内容，进而配置芯片内部的寄存器。此外，主站也会通过扫描来确定从设备的信息并进行一系列的处理工作。因此，ESI 文件在 EtherCAT 系统的连接和功能实现上起到了关键的作用。

6. CiA402 控制说明

6.1 CiA402 简介

CiA402 是一种主流的电机控制通讯框架协议，使用主从模式，主站控制多台从站（电机）的位置、速度或转矩等。CiA402 最初只在 CANopen 运行，目前已扩展到 Modbus RTU、Modbus TCP 和 EtherCAT 等实时总线。但不管任何总线，只要按 CiA402 流程操作寄存器，就能控制电机。

驱动器上电后，会尝试通过网口连接 EtherCAT 主站，或通过调试口连接 Modbus RTU 主站。如果已连接上 EtherCAT 主站，则先自动进入 EtherCAT 的 Operational 状态，之后按 CiA402 运行电机协议。如果未连接上 EtherCAT 主站，但已连接上 Modbus RTU 主站，则直接运行 CiA402。

6.2 CiA402 状态机

主站连通驱动器后，驱动器按图 6.1 运行 CiA402 工作流程。CiA402 定义了不同地址的对象，例如最重要的控制字和状态字（在 EtherCAT 中的地址分别是 6040h 和 6041h）。主站通过 SDO 或 PDO 写控制字，就能触发不同的跳转条件（例如 T2~T16），让驱动器在不同的状态中切换，同时主站通过读状态字，就能掌握驱动器的基本状态，例如是否有故障。在此基础上，还有了不同功能的对象，例如控制位置的目标位置对象（607Ah）。

6.2.1 状态

在 Start 到 Ready To Switch On 状态，只需接通控制电源、保持通讯即可，无需接通驱动电机的主电源，但电机未通电使能的。Switched On 状态表示控制电源和主电源都已接通，但电机未能通电使能。Operation Enabled 状态表示控制电源和主电源都已接通，电机已通电上锁。

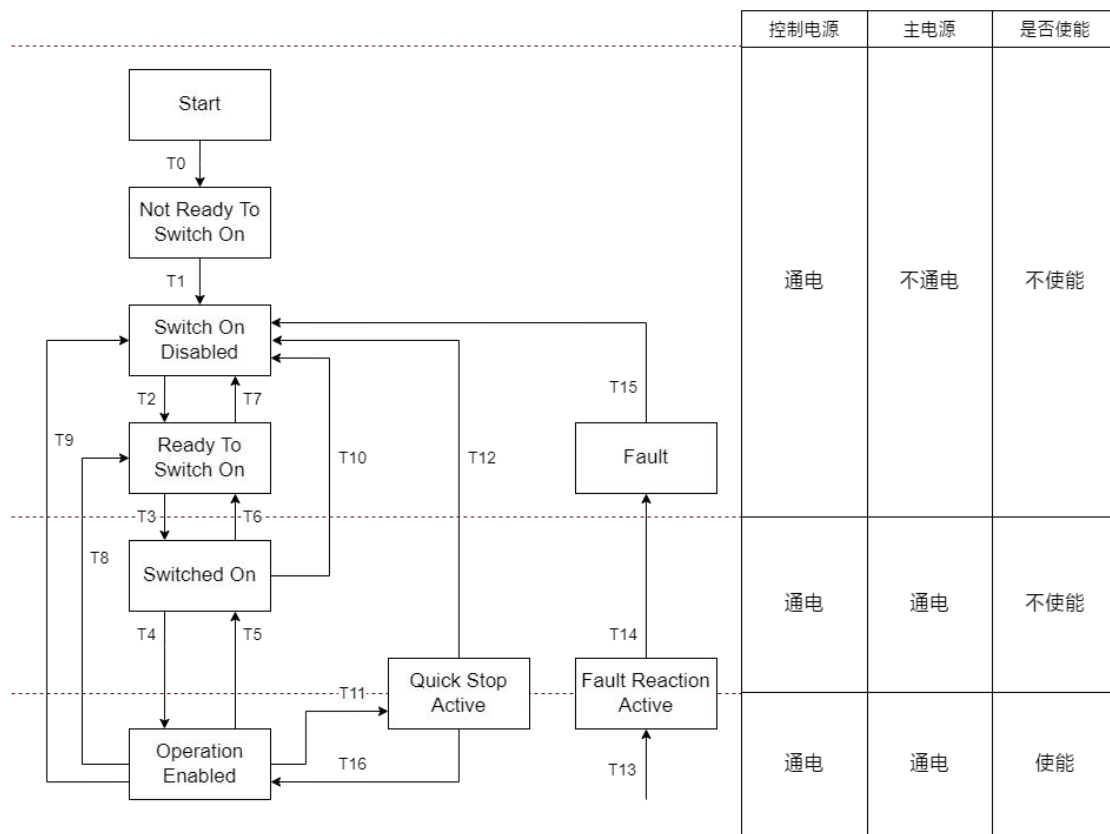


图 6.1 CiA402 工作流程

表 6.1 CiA402 状态

状态	驱动器动作
Not ready to switch on	控制电源已供电，开始初始化参数
Switch on disabled	初始化参数完毕
Ready to switch on	等待主电源供电
Switched on	控制电源和主电源都已供电，驱动器准备好，等待使能
Operation enabled	已被使能，电机可以运行
Quick stop active	电机快速减速停止
Fault reaction active	错误发生但未被处理，电机已停机
Fault	错误已被处理，等待切换到 Switch on disabled 状态

6.2.2 条件

图 6.1 各个跳转条件的说明如表 6.2 所示。控制字用于发送总线指令，状态字的 1~9 位表示跳转后的状态。另外本驱动器不含 STO 使能控制脚，表中 STO 固定为有效。

表 6.2 CiA402 跳转条件

条件	说明	控制字 6040h	状态字 6041h (Bit1~9)
T0	控制电源已供电	自动跳转	0x0000
T1	参数已成功初始化	自动跳转	0x0250
T2	总线发 Shutdown 指令, 且 STO 有效	0x0006	0x0231
T3	总线发 Switch On 或 Enable Operation 指令	0x0007	0x0233
T4	自动跳转 (T3 已发送 Enable Operation) 或 总线发 Enable Operation 指令	0x000F	0x0237/0x1237
T5	总线发 Disable Operation 指令	0x0007	0x0233
T6	总线发 Shutdown 指令	0x0006	0x0231
T7	总线发送 Disable Voltage 或 Quick Stop 指令, 或 STO 无效	0x0000 或 0x0002 或自动 跳转	0x0250
T8	总线发送 Shutdown 命令	0x0006	0x0231
T9	总线发 Disable Voltage 指令或 STO 无效	0x0000 或自动跳转	0x0250
T10	总线发送 Disable Voltage 或 Quick Stop 指令或 STO 无效	0x0000 或 0x0002	0x0250
T11	总线发送 Quick Stop 指令	0x0002	0x217
T12	总线发送 Disable Voltage 指令或 STO 无效	0x0000 或自动跳转	0x0250
T13	发生 2 等级故障	自动跳转	0x021F
T14	发生 3 或 4 等级的故障级 或 Fault reaction active 完成退出	自动跳转	0x0218
T15	指令 Fault Reset 指令或 STO 无效	0x0080 或自动跳转	0x0250
T16	总线发送 Enable Operation 指令	0x000F	0x0237/0x1237

6.3 CiA402 控制字

6.3.1 位定义

控制字 Controlword 的地址位于 6040h, 主站通过它给从站发出不同的指令组合, 各位的定义如表 6.3 所示。其中 Bit 8 Halt 为 1 时驱动器减速暂停, 如果电机正在图 6.1 的 Operation enabled 状态运行, 此位为 1 时电机将按当前模式下的减速度进行减速停止, 并停留在 Operation enabled 状态。Bit 7 Fault reset 用于错误复位, 如果出现了错误, 此位从 0 变为 1

将清除当前的错误，并跳转到图 6.1 的 Switch on disabled 状态，等待再次运行。Bit 15~9 是预留位。Bit 3~0 是组合指令。

表 6.3 控制字位定义

15~9	8	7	6~4	3	2	1	0
N / A	Halt	Fault reset	Operation mode specific	Enable operation	Quick Stop	Enable voltage	Switch on

Bit6~4 是运行模式控制位，仅在 PP 轮廓位置和 HM 归零模式使用，如表 6.5 所示。

表 6.4 运行模式控制位定义

位	PP 轮廓位置	HM 归零
4	上升沿时更新目标位置	上升沿时开始归零
5	0: 到达当前的目标位置后，再往新的目标位置运行 1: 立刻往新的目标位置运行	---
6	0: 目标位置为绝对位置 1: 目标位置为相对位置	---

6.3.2 指令编码

控制字的 Bit 3~0 以及 Bit 7 组成命令代码，实现图 6.1 的跳转条件，如表 6.5 所示。

表 6.5 指令编码

指令名	位组合					跳转条件
	Bit 7	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
Shutdown	0	X	1	1	0	T2,T6,T8
Switch on	0	0	1	1	1	T3
Switch on + enable operation	0	1	1	1	1	T3 + T4
Disable voltage	0	X	X	0	X	T7,T9,T10,T12
Quick stop	0	X	0	1	X	T7,T10,T11
Disable operation	0	0	1	1	1	T5
Enable operation	0	1	1	1	1	T4,T16
Fault reset	0->1	X	X	X	X	T15

6.4 CiA402 状态字

6.4.1 位定义

状态字 Statusword 的地址位于 6041h，主站通过读取此对象获悉从站的当前状态，各位的定义如表 6.3 所示。

表 6.6 状态字位定义

位号	名称	说明
0	Ready to switch on	准备启动
1	Switch on	启动，主电源需接通
2	Operation enabled	允许启动，电机已通电上锁
3	Fault	错误
4	Voltage enabled	为 1 表示已接通主电源
5	Quick stop	为 0 表示正在快速停止
6	Switch on disabled	未启动
7	Warning	为 1 表示发生了错误等级为 0 的错误，即发出警告
8	N / A	本产品不使用
9	Remote	为 1 表示控制字的指令已被执行
10	Target reached	为 1 表示已达到目标值，位置、速度、转矩等
11	Internal limit active	本产品不使用
12~15	N / A	本产品不使用

6.4.2 状态编码

状态字的 Bit 0~3 以及 Bit5~6 组成状态编码，每组编码对应图 6.1 的一种状态，如表 6.7 所示。主站查询这些编码器，即能知道从站的当前状态。

表 6.7 状态编码

状态位组合	CiA402 状态
xxxx xxxx x0xx 0000b	Not ready to switch on
xxxx xxxx x1xx 0000b	Switch on disabled
xxxx xxxx x01x 0001b	Ready to switch on
xxxx xxxx x01x 0011b	Switched on
xxxx xxxx x01x 0111b	Operation enabled
xxxx xxxx x00x 0111b	Quick stop active
xxxx xxxx x0xx 1111b	Fault reaction active
xxxx xxxx x0xx 1000b	Fault

6.5 CiA402 运行模式

在进入 Operation enabled 状态后，驱动器将根据运行模式字 Modes of operation（地址 6060h）按不同的模式运行，如表 6.8 所示。本产品支持+8 周期同步位置模式（简称 CSP），+3 轮廓速度模式（PV），+1 轮廓位置模式（PP），+6 归零模式（HM）。

表 6.8 运行模式字

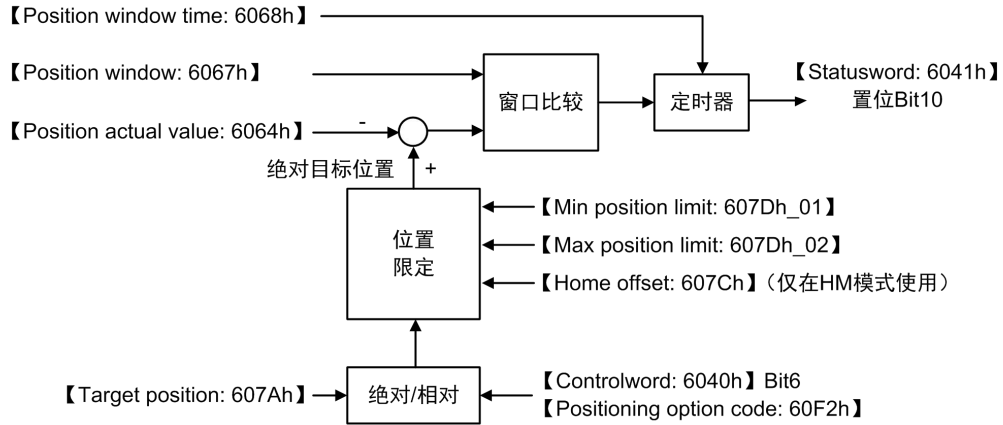
数值	定义
-128 ~ -1	厂家自定义
0	不执行任务
+1	Profile position mode PP 轮廓位置模式
+2	Velocity mode V 速度模式
+3	Profile velocity mode PV 轮廓速度模式
+4	Profile torque mode PT 轮廓转矩模式
+5	保留
+6	Homing mode HM 归零模式
+7	Interpolated position mode IP 插补位置模式
+8	Cyclic sync position mode CSP 周期同步位置模式
+9	Cyclic sync velocity mode CSV 周期同步速度模式
+10	Cyclic sync torque mode CST 周期同步转矩模式
+11 ~ +127	保留

6.5.1 到达和跟随判断

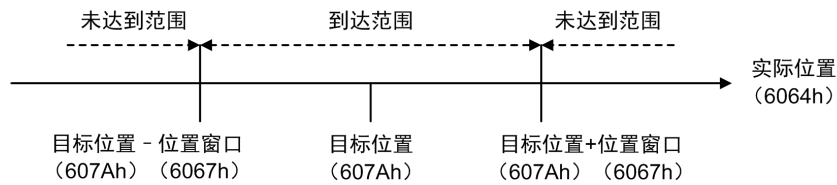
1. 位置到达和跟随

图 6.2 显示了在位置控制相关的模式下，位置到达的判断原理。【Target position: 607Ah】是目标位置，可以是绝对位置，如果控制字【Controlword: 6040h】的 Bit6 为 0 表示绝对位置，如果为 1 且【Positioning option code: 60F2h】为 0，相对上一个目标位置运行，如果【Positioning option code: 60F2h】为 2，相对当前实际位置运行。如果实际位置【Position actual value: 6064h】在设定的位置窗口【Position window: 6067h】范围内，且持续时间长于位置窗口时间【Position window time: 6068h】，就被判断为已到达目标位置，状态字的 Bit 10 被置 1。【Min position limit: 607Dh_01】、【Max position limit: 607Dh_02】用于限定最终的绝对目标位置的范围，【Home offset: 607Ch】是 HM 归零模式使用的偏移量。

在 CSP 周期同步位置模式下不支持位置到达的判断，且仅支持绝对位置控制。



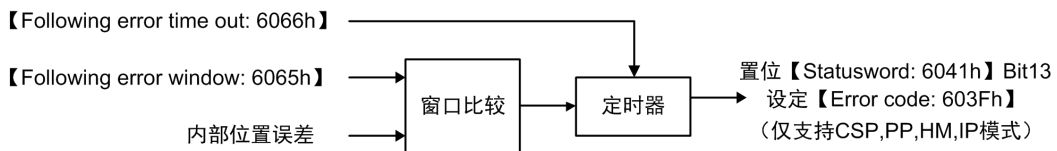
(a) 位置到达框图



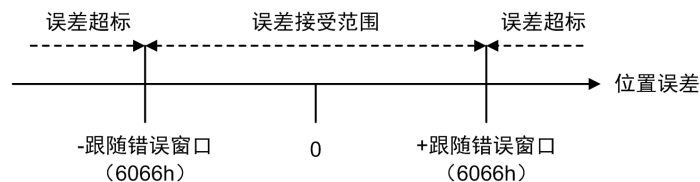
(b) 位置到达范围

图 6.2 位置到达判断

图 6.3 显示了 CSP 周期同步位置、PP 轮廓位置和 HM 归零等模式下位置跟随错误的判断原理。当驱动器内部位置误差大于跟随错误窗口【Following error window: 6065h】，且持续时间长于跟随错误超时实际【Following error time out: 6066h】，则就被判断为跟随错误，并且设定错误码到【Error code: 603Fh】。



(a) 位置跟随错误框图

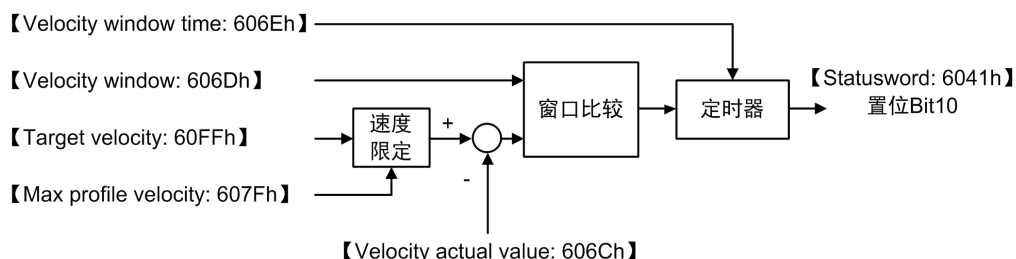


(b) 位置跟随错误范围

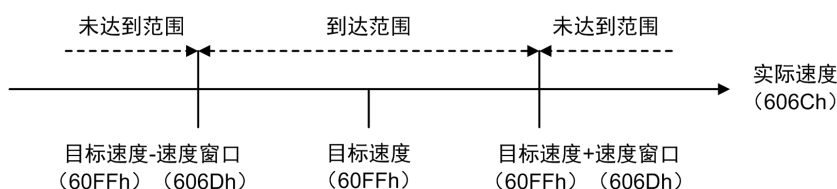
图 6.3 位置跟随错误判断

2. 速度到达和零速

图 6.4 显示了在 PV 轮廓速度模式下判断目标速度是否到达的原理。目标速度【Target velocity: 60FFh】被限定在【Max profile velocity: 607Fh】的范围内。当目标速度和实际速度【Velocity actual value: 606Ch】的差值，在速度窗口【Velocity window: 606Dh】的范围内，且持续时间长于【Velocity window time: 606Eh】，就被判断为速度到达，状态字的 Bit10 被置位。



(a) 速度到达框图



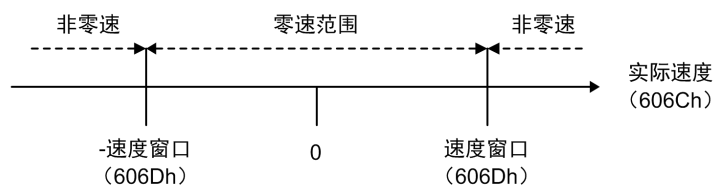
(b) 速度到达范围

图 6.4 速度到达判断

图 6.5 显示了在 PV 轮廓速度模式下零速度的判断原理。当实际速度【Velocity actual value: 606Ch】在速度窗口【Velocity window: 606Dh】的范围内，且持续时间长于【Velocity window time: 606Eh】，就被判断为零速度，状态字的 Bit12 被置位。



(a) 零速判断框图



(b) 零速判断范围

图 6.5 零速判断

6.5.2 CSP 周期同步位置模式

在 CSP 周期同步位置模式下，主站通过 PDO 定时更新目标位置。主站根据需求实现的加减速和匀速过程，精确计算好每个周期的目标位置，从站不负责加减速的处理。本驱动器 CSP 模式仅支持绝对运动，不支持相对运动。

1. SDO 初始化

先按下面的流程，通过 SDO 初始化必要的对象。其中带*的对象可使用默认值，不进行初始化。

- 1) 【Mode of operations: 6060h】设定为周期同步位置模式(0x08)。
- 2) 【Following error window: 6065h】*设定最大的位置误差，单位 PUU。
- 3) 【Following error time out: 6066h】*设定最大误差的允许时间，单位 ms。
- 4) 【Position window: 6067h】*设定目标位置到达范围，单位步脉冲。
- 5) 【Position window time: 6068h】*设定目标位置到达范围的允许时间，单位 ms。
- 6) 【Min position limit: 607Dh_01】*设定目标位置最小限定值，默认-0x7FFFFFFF。
- 7) 【Max position limit: 607Dh_02】*设定目标位置最大限定值，默认 0x7FFFFFFF。

其中【Following error window: 6065h】设定最大允许的误差，即当前给定位置 and 实际位置的差值，如果误差一直大于此值，并且持续时间长于【Following error time out: 6066h】，就报错停机，先后进入 Fault reaction active 和 Fault 状态，【Statusword: 6041h】状态寄存器的 Fault 位置 1，【Error code: 603Fh】显示对应的错误码。往【Controlword: 6040h】写入 0x0080，触发 T15，返回 Switch on disabled 状态，可按上面流程重新开始执行。

2. PDO 控制

初始化完成后，再使用如下 PDO 控制电机，如表 6.9 所示。【Target position: 607Ah】，设定目标位置【Controlword: 6040h】依次写入 0x06->0x07->0x0F，进入 Operation enabled 状态。电机将运行到目标位置。

注：以整步角度 1.8°，256 细分为例：如果【Target position: 607Ah】设置为 51200((360/1.8 (整步角度)) * 256 (细分))，即电机转动一圈。细分数可以在 2000h 对象组中修改。

表 6.9 CSP 模式 PDO

方向	对象	名称	数据类型	单位	备注
RxPDO 驱动接收	【Controlword: 6040h】	控制字	UINT16	---	必选
	【Target position: 607Ah】	目标位置	INT32	微步	必选
TxPDO 驱动发送	【Statusword: 6041h】	状态字	UINT16	---	必选
	【Error code: 603Fh】	错误码	UINT16	---	可选
	【Position actual value: 6064h】	实际位置	INT32	微步	必选
	【Digital inputs: 60FDh】	数字信号输入	UINT32	---	可选

6.5.3 PP 轮廓位置模式

在 PP 轮廓位置位置模式下，主站通过 PDO 更新目标位置，驱动器自行实现加减速和匀速过程，最终到达目标位置。PP 模式支持绝对运动和相对运动。

1. SDO 初始化

先按下面的流程，通过 SDO 初始化必要的对象。其中带*的对象可使用默认值，不进行初始化。

- 1) 【Mode of operations: 6060h】 设定为轮廓位置模式模式(0x01)。
- 2) 【Following error window: 6065h】 *设定最大的位置误差，单位 PUU。
- 3) 【Following error time out: 6066h】 *设定最大误差的允许时间，单位 ms。
- 4) 【Position window: 6067h】 *设定目标位置到达范围，单位步脉冲。
- 5) 【Position window time: 6068h】 *设定目标位置到达范围的允许时间，单位 ms。
- 6) 【Profile jerk use: 60A4】 *设定 Jerk 参数，仅使能 S 曲线时有效，单位 RPM/s/s。
- 7) 【Max profile velocity: 607Fh】 设定最高限定速度，单位 0.1RPM。
- 8) 【Positioning option code: 60F2】 *设定相对位置的方式，【Controlword: 6040h】的 Bit6 为 1 时表示相对运动，本对象有效，否则无效；本对象默认为 0 表示相对前一个目标位置运行，为 1 表示相对当前位置运行。(暂不支持相对运动)
- 9) 【Min position limit: 607Dh_01】 *设定目标位置最小限定值，默认-0x7FFFFFFF。
- 10) 【Max position limit: 607Dh_02】 *设定目标位置最大限定值，默认 0x7FFFFFFF。

2. PDO 控制

初始化完成后，再使用如下 PDO 控制电机，如表 6.10 所示。【Controlword: 6040h】的 Bit6~4 需按表 6.4 设定，Bit6 和 Bit5 设定绝对运动和相对运动，【Target position: 607Ah】设定目标位置。【Profile velocity: 6081h】设定轮廓速度，【Profile acceleration: 6083h】设定加速度，【Profile deceleration: 6084h】设定减速度。最后【Controlword: 6040h】依次写入 0x06->0x07->0x0F，进入 Operation enabled 状态。

随后电机将以设定的加速度加速到目标速度，最终以设定的减速度停在目标位置。当【Controlword: 6040h】的 Bit4 出现 0->1，则按新的配置运行到新的目标位置；往整个字写入 0x10F 电机减速停止。

表 6.10 PP 模式 PDO

方向	对象	名称	数据类型	单位	备注
RxPDO 驱动接收	【Controlword: 6040h】	控制字	UINT16	---	必选
	【Target position: 607Ah】	目标位置	INT32	微步	必选
	【Profile velocity: 6081h】	轮廓速度	UINT32	0.1RPM	必选
	【Profile acceleration: 6083h】	加速度	UINT32	RPM/s	必选
	【Profile deceleration: 6084h】	减速度	UINT32	RPM/s	必选
TxPDO 驱动发送	【Statusword: 6041h】	状态字	UINT16	---	必选
	【Error code: 603Fh】	错误码	UINT16	---	必选
	【Position actual value: 6064h】	实际位置	INT32	微步	必选
	【Velocity actual value: 606C】	实际速度	INT32	0.1RPM	必选

6.5.4 PV 轮廓速度模式

在 PV 轮廓速度模式下，让电机匀速转动。

1. SDO 初始化

先按下面的流程，通过 SDO 初始化必要的对象。其中带*的对象可使用默认值，不进行初始化。

- 1) 【Mode of operations: 6060h】设定为轮廓速度模式(0x03)。
- 2) 【Velocity window: 606Dh】*设定目标速度到达范围，单位 0.1RPM。
- 3) 【Velocity window time: 606Eh】*设定目标速度到达范围的允许时间，单位 ms。
- 4) 【Profile jerk use: 60A4】*设定 Jerk 参数，仅使能 S 曲线时有效，单位 RPM/s/s。
- 5) 【Max profile velocity: 607Fh】*设定最高限定速度，单位 0.1RPM。

2. PDO 控制

初始化完成后，再使用如下 PDO 控制电机，如表 6.11 所示。【Target velocity: 60FFh】设定不同的目标速度，【Profile acceleration: 6083h】设定加速度，【Profile deceleration: 6084h】设定减速度。最后【Controlword: 6040h】控制字，依次写入 0x06->0x07->0x0F，进入 Operation enabled 状态。电机将以设定的加速度加速到目标速度，【Target velocity: 60FFh】目标速度，设定为 0 时，电机以该减速度减速停止。

表 6.11 PV 模式 PDO

方向	对象	名称	数据类型	单位	备注
RxPDO 驱动接收	【Controlword: 6040h】	控制字	UINT16	---	必选
	【Target velocity: 60FFh】	目标速度	INT32	0.1RPM	必选
	【Profile acceleration: 6083h】	加速度	UINT32	RPM/s	可选
	【Profile deceleration: 6084h】	减速度	UINT32	RPM/s	可选
TxPDO 驱动发送	【Statusword: 6041h】	状态字	UINT16	---	必选
	【Error code: 603Fh】	错误码	UINT16	---	可选
	【Position actual value: 6064h】	实际位置	INT32	微步	必选
	【Velocity actual value: 606Ch】	实际速度	INT32	0.1RPM	可选

6.5.5 HM 归零模式

在 HM 归零模式下，让电机找到零点。

1. SDO 初始化

先按下面的流程，通过 SDO 初始化必要的对象。其中带*的对象可使用默认值，不进行初始化。

- 1) 【Mode of operations: 6060h】设定为归零模式(0x06)。
- 2) 【Following error window: 6065h】*设定最大的位置误差，单位 PUU。
- 3) 【Following error time out: 6066h】*设定最大误差的允许时间，单位 ms。

- 4) 【Position window: 6067h】*设定目标位置到达范围，单位步脉冲。
- 5) 【Position window time: 6068h】*设定目标位置到达范围的允许时间，单位 ms。
- 6) 【Controlword: 6040h】依次写入 0x06->0x07->0x0F，进入 Operation enabled 状态。

2. PDO 控制

初始化完成后，再使用如下 PDO 控制电机，如表 6.12 所示。设定【Homing speed switch: 6099h_01】寻找归零开关的最高速度，【Homing speed zero: 6099h_02】离开归零开关的最高速度，【Homing acceleration: 609Ah】归零的加减速。【Controlword: 6040h】的 Bit4 需按表 6.4 设定，出现 0->1 变化开始运动，1->0 暂停运动。【Homing method: 6098h】设定归零模式，17 使用正限位开关归零，18 使用负限位开关归零，其他设定不支持。

表 6.12 HM 模式 PDO

方向	对象	名称	数据类型	单位	备注
RxPDO 驱动接收	【Controlword: 6040h】	控制字	UINT16	---	必选
	【Homing method: 6098h】	归零模式	INT8	---	可选
	【Homing speed switch: 6099h_01】	寻找归零开关的最高速度	UINT32	0.1RPM	可选
	【Homing speed zero: 6099h_02】	离开归零开关的最高速度	UINT32	0.1RPM	可选
	【Homing acceleration: 609Ah】	归零的加减速	UINT32	RPM/s	可选
	【Homeing offset: 607Ch】	零点偏移量	INT32	微步	可选
TxPDO 驱动发送	【Statusword: 6041h】	状态字	UINT16	---	必选
	【Error code: 603Fh】	错误码	UINT16	---	可选
	【Position actual value: 6064h】	实际位置	INT32	微步	必选
	【Velocity actual value: 606C】	实际速度	INT32	0.1RPM	可选

6.6 CiA402 其他说明

6.6.1 CiA402 数字信号

【Digital inputs: 60FDh】反馈输入数字信号的状态，为 0 表示无效，为 1 表示有效。Bit 0 为 DI 1，Bit 1 为 DI 2，Bit 2 为 Latch，Bit 3~31 保留。当配置使能限位功能后，DI 2 和 DI 1 能分别触发正负限位的故障。

7. 配置与升级

7.1 参数配置

驱动器的基本参数通过 ZLG EscWizard 向导软件修改。首先运行此软件，接着选择本驱动器配套的 xxx.wz 向导文件，然后选择详细模式(显示全部参数)或自动模式(显示部分重要参数)，然后进入软件。在软件中，按提示一步一步配置需要修改的参数即可。



图 7.1 向导软件界面示例

修改后如何一次性将全部参数更新到驱动器。

方法 1 是：

- 1) 文件->导出EtherCAT配置文件，生成cfg配置文件。
- 2) 另外打开标准的EtherCAT主站软件，如TwinCAT，通过FOE功能下载刚生成的cfg文件到驱动器。重新上电生效。

方法 2 是：

- 1) 查看向导软件的电机参数说明。配合主站，例如TwinCAT，通过SDO修改200xh对象组，然后通过2FFeh对象或者2FFFh对象更新到驱动器。具体使用方式查看表9.4。

7.2 固件升级

打开标准的 EtherCAT 主站软件，如 TwinCAT，通过 FOE 功能下载配套的 bin 文件到驱动器。

8. 故障诊断与排除

驱动器检测到异常时就会发出报警，RUN 指示 LED 快闪，并且通过【Error code: 603Fh】能查询故障信息，如表 8.1 所示。

表 8.1 故障码

故障码	故障等级	含义	处理方法
0x2320	3	驱动短路	先断电，确定驱动线未被短路后，再上电尝试运行
0x3210	2	电源过压	确定电源电压正常后，T15：控制字发送 Fault reset
0x3220	2	电源欠压	确定电源电压正常后，T15：控制字发送 Fault reset
0x4310	2	过温	确定温度下降到 50℃ 以下，T15：控制字发送 Fault reset
0x5442	2	正限位	确定 DI 2 未被触发后，T15：控制字发送 Fault reset
0x5443	2	负限位	确定 DI 1 未被触发后，T15：控制字发送 Fault reset
0x5530	5	参数错误	通过【Default data: 2FFh.1】恢复成出厂默认参数，或通过 FOE 固件升级
0x7121	3	堵转/缺相	先断电，确定电机未被阻碍且驱动线已插好后，再上电尝试运行
0x8611	2	位置跟随误差过大 (仅使能编码器时有效)	确定电机未被阻碍后，T15：控制字发送 Fault reset
0xFF00	5	驱动器芯片异常	确定系统 24V 电压正常后，再上电尝试运行

9. 对象字典

9.1 对象字典结构

对象字典结构遵照 CiA402 的标准，如表 9.1。

表 9.1 对象字典结构

索引	对象
0000H-----0FFFH	数据类型描述
1000H-----1FFFH	COE 通信对象
2000H-----5FFFH	厂家自定义对象
6000H-----9FFFH	设备子协议对象

9.2 对象组 1000h 分配

对象组 1000h 是 COE 通信对象，本驱动器用于参数配置，如表 9.2 所示。

表 9.2 对象字 1000h

对象字典	子索引	名称	属性	类型	范围	默认值	备注
0x1000	0	设备类型	R	UINT32	0~0xFFFFFFFF	0x00000192	
0x1008	0	设备名称	R	STRING	---	ZMTC-EF1200	
0x1009	0	硬件版本	R	STRING	---	1.00	
0x100A	0	软件版本	R	STRING	---	1.0.8	
0x1018	1	供应商 ID	R	UINT32	0~0xFFFFFFFF	0x201811	
0x1018	4	序列号	R	UINT32	0~0xFFFFFFFF	---	

9.3 对象组 2000h 分配

对象组 2000h 是厂家自定义对象，本驱动器用于参数配置，如表 9.3 所示。使用配套的上位机软件修改。对于属性为 RW 的对象，要确保 CiA402 状态机在 Switch on disabled 状态下(RUN LED 慢闪)，使用 SDO 修改，之后电机将按新参数运行，但如果重新上电，将恢复为默认参数。如果要将参数固化为用户参数，则需要操作【User data: 2FFFh.0】对象。

表 9.3 对象字 2000h

对象字典	子索引	名称	属性	类型	范围	默认值	备注
------	-----	----	----	----	----	-----	----

0x2000	0	参数校验	R	UINT32	0~0xFFFFFFFF	---	此对象组按位异或
0x2001	0	参数版本	R	UINT32	0~0xFFFFFFFF	---	此对象组的版本
0x2002	0	参数数量	R	FLOAT	0~2147483647	34	
0x2003	0	母线电压量程	R	FLOAT	95.4	113.6	单位 V
0x2004	0	额定电压	R	FLOAT	1~48	48	单位 V
0x2005	0	过压电压	R	FLOAT	48-75	75	单位 V
0x2006	0	欠压电压	R	FLOAT	1~15	15	单位 V
0x2007	0	驱动最大电流	R	FLOAT	5	5	单位 A
0x2008	0	整步角度	R	FLOAT	---	1.8	单位度
0x2009	0	细分数	R	FLOAT	1~256	256	2 的 n 次方
0x200A	0	电机最大电流	R	FLOAT	0~5	3.5	单位 A
0x200B	0	保持电流	RW	FLOAT	0~1.5	0.25	单位 A
0x200C	0	静止电流的时延	RW	FLOAT	0~15	3	
0x200D	0	堵转检测参数	R	FLOAT	-64~63	63	
0x200E	0	堵转检测速度极限	R	FLOAT	0~2147483647	100	单位 RPM
0x200F	0	额定转速	R	FLOAT	1~2147483647	800	单位 RPM
0x2010	0	PWM 载波频率	R	FLOAT	1~47000	47000	单位 Hz
0x2011	0	编码器使能	R	FLOAT	0 或 1	0	0 使能, 1 不使能
0x2012	0	编码器分辨率	R	FLOAT	0~2147483647	1000	
0x2013	0	编码器反向	R	FLOAT	0 或 1	0	0 不反向, 1 反向
0x2014	0	闭环调节的最大换向角	R	FLOAT	0~511	255	
0x2015	0	换向角度的增益参数	R	FLOAT	0~16711680	65536	
0x2016	0	位置偏差最大值	R	FLOAT	0~90	50	
0x2017	0	加减速模式	R	FLOAT	1 或 2	1	1 梯形, 2 S 形
0x2018	0	默认加速度	R	FLOAT	1~2147483647	4915	单位 RPM/s
0x2019	0	默认减速度	R	FLOAT	1~2147483647	4915	单位 RPM/s
0x201A	0	默认 S 形参数	R	FLOAT	1~2147483647	600	单位 RPM/s ²
0x201B	0	左右限位开关	R	FLOAT	0 或 1	1	0 禁能, 1 使能
0x201C	0	默认运行模式	R	FLOAT	3	3	3 位置模式

0x201D	0	位置环电子齿轮分子	R	FLOAT	1~2147483647	1	
0x201E	0	位置环电子齿轮分母	R	FLOAT	1~2147483647	1	
0x201F	0	位置环位置偏差最大值	R	FLOAT	1~2147483647	20000	单位步脉冲
0x220	0	位置环位置偏差超时值	R	FLOAT	1~65535	2000	单位 ms
0x2021	0	位置环位置窗口	R	FLOAT	1~2147483647	200	单位步脉冲
0x2022	0	位置环位置窗口时间	R	FLOAT	1~65535	10	单位 ms
0x2023	0	速度环速度窗口	R	FLOAT	1~2147483647	100	单位 0.1RPM
0x2024	0	速度环速度窗口时间	R	FLOAT	1~65535	10	单位 ms

表 9.4 所示对象用于固化参数，要确保 CiA402 状态机在 Switch on disabled 状态下，才能通过 SDO 修改。

【User data: 2FFEh】将当前 2000h 的对象组固化为用户使用的参数。先写入 0x1234，然后写入 0x4321，如果自动变为 0，表示 2000h 的对象组被固化为用户使用的参数，驱动器立刻按 2000h 的参数运行，且重新上电后也如是。变为 0xFFFF 表示固化失败，【Error code: 603Fh】将显示对应的错误码。如果写入 0x1234、0x4321 或 0xFFFF 以外的数值，此对象都将自动变为 0。

【Default data: 2FFFh】将出厂默认参数固化为用户使用的参数。先写入 0x5678，然后写入 0x8765，如果自动变为 0，表示出厂默认参数被固化为用户使用的参数，驱动器立刻按出厂默认参数运行，且重新上电后也如是。变为 0xFFFF 表示固化失败，【Error code: 603Fh】将显示对应的错误码。如果写入 0x5678、0x8765 或 0xFFFF 以外的数值，此对象都将自动变为 0。

注意：修改 2000h 对象组时，必须按表 9.3 的范围输入，且不能经常固化，否则容易损坏驱动器。

表 9.4 参数读写使能

对象字典	子索引	名称	属性	类型	范围	默认值	备注
0x2FFE	0	User data	RW	UINT16	0/0x1234/0x4321/0xFFFF	0	
0x2FFF	0	Default data	RW	UINT16	0/0x5678/0x8765/0xFFFF	0	

9.4 对象组 3000h 分配

对象组 3000h 是厂家自定义对象，本驱动器用于引脚功能配置。电机启动时，如需修改，可以通过 SDO 修改该对象组对应参数。

对象字典	子索引	名称	属性	类型	范围	默认值	备注
------	-----	----	----	----	----	-----	----

0x3000	0	Latch 输入输出功能选择	RW	UINT8	0~1	0	0: 输出 1: 输入
0x3001	0	编码器电压选择	RW	UINT8	0~1	0	0:5V 1:24V

9.5 对象组 6000h 分配

对象组 6000h 是设备子协议对象，本驱动器用于 CiA402 协议，如表 9.5 所示。

表 9.5 对象字 6000h

对象字典	子索引	名称	属性	类型	范围	默认值	备注
0x603F	00	Error code	R	UINT16	0~0xFFFF	0	
0x6040	00	Control word	RW	UINT16	0~0xFFFF	0	
0x6041	00	Status word	R	UINT16	0~0xFFFF	0	
0x6060	00	Modes of operation	RW	INT8	1	8	
0x6061	00	Modes of operation display	R	INT8	1	8	
0x6064	00	Position actual value	R	INT32	-0x7FFFFFFF~0x7FFFFFFF	0	
0x6065	00	Following error window	RW	UINT32	0~0x7FFFFFFF	20000	
0x6066	00	Following error time out	RW	UINT16	0~0xFFFF	2000	
0x6067	00	Position window	RW	UINT32	0~0x7FFFFFFF	200	
0x6068	00	Position window time	RW	UINT16	0~0xFFFF	10	
0x606C	00	Velocity actual value	R	INT32	-0x7FFFFFFF~0x7FFFFFFF	0	单位 0.1RPM
0x607A	00	Target position	RW	INT32	-0x7FFFFFFF~0x7FFFFFFF	0	
0x6081	00	Profile velocity	RW	INT32	0~0x7FFFFFFF	800	单位 0.1RPM

ZMTC-EF1200

步进电机驱动器

DataSheet

0x6083	00	Profile acceleration	RW	UINT32	0~0x7FFFFFFF	4915	单位 RPM/s
0x6084	00	Profile deceleration	RW	UINT32	0~0x7FFFFFFF	4915	单位 RPM/s
0x6093	01	Position factor Num	RW	INT32	0~0x7FFFFFFF	1	
0x6093	02	Position factor Den	RW	INT32	0~0x7FFFFFFF	1	
0x60A4	00	Profile jerk use	RW	UINT32	0~0x7FFFFFFF	600	
0x60FD	00	Digital inputs	R	UINT32	0~0xFFFFFFFF	0	
0x60FF	00	Target velocity	RW	INT32	-0x7FFFFFFF~0x7FFFFFFF	0	单 位 0.1RPM

10. 装箱清单

驱动器在出货时，会装入以下的配件，如表 10.1 所列。

表 10.1 装箱清单

序号	名称	数量	单位
1	驱动器	1	个
2	合格证	1	张

11. 免责声明

本着为用户提供更好服务的原则，广州致远电子股份有限公司（下称“致远电子”）在本手册中将尽可能地向用户呈现详实、准确的产品信息。但鉴于本手册的内容具有一定的时效性，致远电子不能完全保证该文档在任何时段的时效性与适用性。致远电子有权在没有通知的情况下对本手册上的内容进行更新，恕不另行通知。为了得到最新版本的信息，请尊敬的用户定时访问致远电子官方网站或者与致远电子工作人员联系。感谢您的包容与支持！

诚信共赢，持续学习，客户为先，专业专注，只做第一

广州致远电子股份有限公司

更多详情请访问

www.zlg.cn

欢迎拨打全国服务热线

400-888-4005

