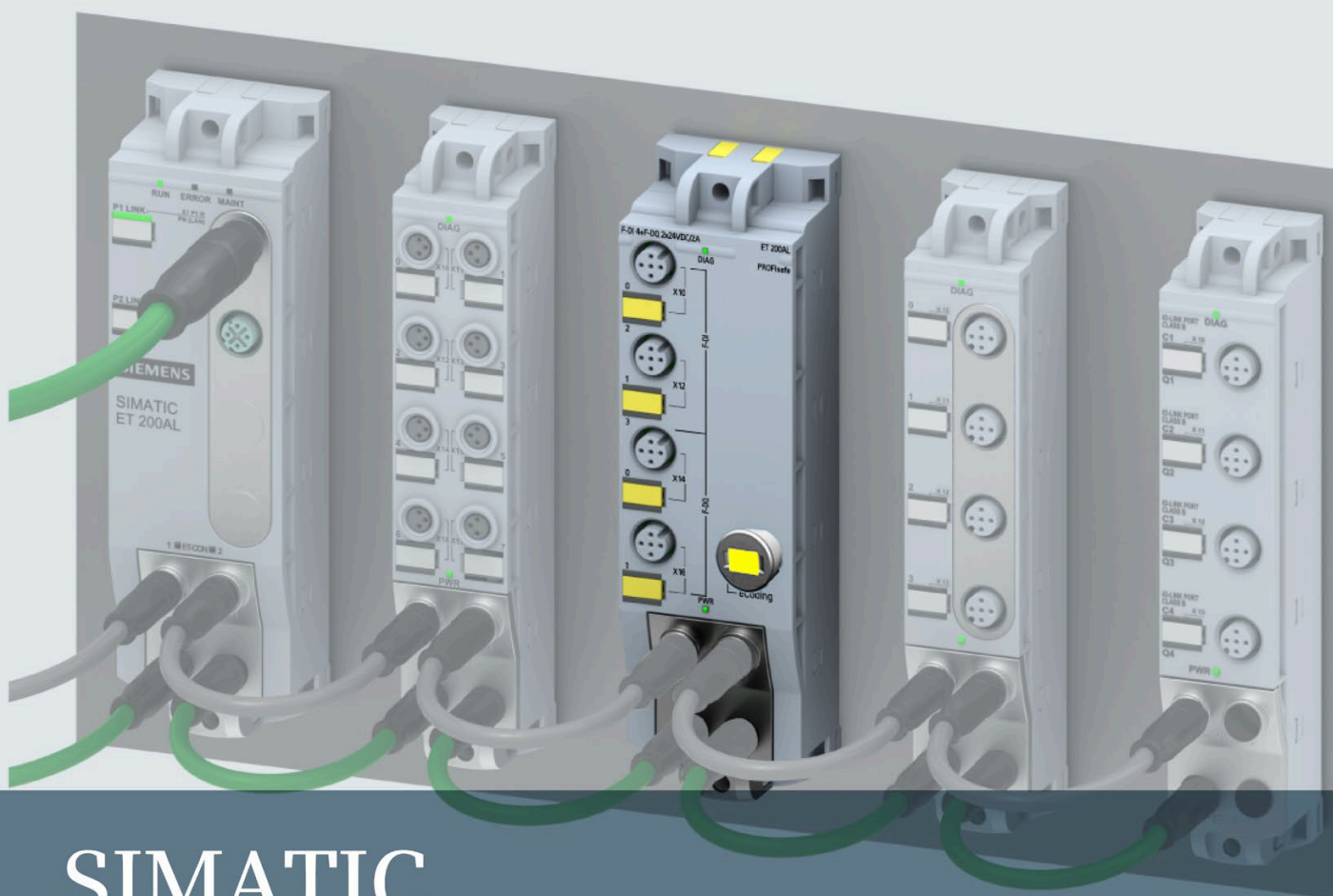


SIEMENS



SIMATIC

ET 200AL

数字量 I/O 模块 F-DI 4+F-DQ 2x24VDC/2A, 4xM12

(6ES7146-5FF00-0BA0)

手册

版本

2022 年 3 月

Answers for industry.

SIMATIC

ET 200AL

数字量 I/O 模块 F-DI 4+F-DQ 2x24VDC/2A, 4xM12 (6ES7146- 5FF00-0BA0)

设备手册

前言

文档指南

1

产品概述

2

接线

3

参数/地址空间

4

F-I/O 模块的应用

5

中断/诊断消息/诊断

6

技术规范

7

尺寸图

A

响应时间

B

负载切换

C

法律资讯

警告提示系统

为了您的人身安全以及避免财产损失，必须注意本手册中的提示。人身安全的提示用一个警告三角表示，仅与财产损失有关的提示不带警告三角。警告提示根据危险等级由高到低如下表示。

 危险
表示如果不采取相应的小心措施，将会导致死亡或者严重的人身伤害。
 警告
表示如果不采取相应的小心措施，可能导致死亡或者严重的人身伤害。
 小心
表示如果不采取相应的小心措施，可能导致轻微的人身伤害。
注意
表示如果不采取相应的小心措施，可能导致财产损失。

当出现多个危险等级的情况下，每次总是使用最高等级的警告提示。如果在某个警告提示中带有警告可能导致人身伤害的警告三角，则可能在该警告提示中另外还附带有可能导致财产损失的警告。

合格的专业人员

本文件所属的产品/系统只允许由符合各项工作要求的合格人员进行操作。其操作必须遵照各自附带的文件说明，特别是其中的安全及警告提示。
由于具备相关培训及经验，合格人员可以察觉本产品/系统的风险，并避免可能的危险。

按规定使用 Siemens 产品

请注意下列说明：

 警告
Siemens 产品只允许用于目录和相关技术文件中规定的使用情况。如果要使用其他公司的产品和组件，必须得到 Siemens 推荐和允许。正确的运输、储存、组装、装配、安装、调试、操作和维护是产品安全、正常运行的前提。必须保证允许的环境条件。必须注意相关文件中的提示。

商标

所有带有标记符号®的都是 Siemens AG 的注册商标。本印刷品中的其他符号可能是一些其他商标。若第三方出于自身目的使用这些商标，将侵害其所有者的权利。

责任免除

我们已对印刷品中所述内容与硬件和软件的一致性作过检查。然而不排除存在偏差的可能性，因此我们不保证印刷品中所述内容与硬件和软件完全一致。印刷品中的数据都按规定经过检测，必要的修正值包含在下一版本中。

前言

本文档用途

本手册是对系统手册
(<https://support.industry.siemens.com/cs/cn/zh/view/89254965>) 《ET 200AL 分布式 I/O 系统》的补充。其中介绍了通常适用于 ET 200AL 分布式 I/O 系统的功能。
可以使用本手册、系统手册和功能手册中的信息调试 ET 200AL 分布式 I/O 系统。

 警告

最新版本的编程与操作手册《*SIMATIC Safety* - 组态和编程》是组态和编程方面的功能安全相关信息的权威来源。
手册之间存在差异时，西门子确定编程与操作手册《*SIMATIC Safety* - 组态和编程》作为权威和/或原始来源。
必须注意编程与操作手册《*SIMATIC Safety* - 组态和编程》中的所有警告。可在 Internet (<https://support.industry.siemens.com/cs/cn/zh/view/54110126>) 上找到该手册的最新版本。

约定

请注意以下标记的注意事项：

说明
指出应特别注意的重要产品信息。

Siemens
为其产品及解决方案提供了工业信息安全功能，以支持工厂、系统、机器和网络的安全运行。

为了防止工厂、系统、机器和网络受到网络攻击，需要实施并持续维护先进且全面的工业信息安全保护机制。Siemens 的产品和解决方案构成此类概念的其中一个要素。

客户负责防止其工厂、系统、机器和网络受到未经授权的访问。只有在有必要连接时并仅在采取适当安全措施（例如，防火墙和/或网络分段）的情况下，才能将该等系统、机器和组件连接到企业网络或 Internet。

关于可采取的工业信息安全措施的更多信息，请访问
(<https://www.siemens.com/industrialsecurity>)。

Siemens 不断对产品和解决方案进行开发和完善以提高安全性。Siemens 强烈建议您及时更新产品并始终使用最新产品版本。如果使用的产品版本不再受支持，或者未能应用最新的更新程序，客户遭受网络攻击的风险会增加。

要及时了解有关产品更新的信息，请订阅 Siemens 工业信息安全 RSS 源，网址为
(<https://www.siemens.com/cert>)。

目录

前言	3
1 文档指南	7
2 产品概述	11
2.1 属性	11
2.2 操作员控件和显示元件	14
2.3 故障安全数字量输入	15
2.4 故障安全数字量输出	16
3 接线	19
3.1 端子图和方框图	20
3.2 引脚分配	21
3.3 连接 M12 E 型插头	24
4 参数/地址空间	27
4.1 组态模块 I/O 属性	27
4.2 参数	28
4.3 参数说明	31
4.3.1 F 参数	31
4.3.2 DI 参数	32
4.3.3 DQ 参数	36
4.4 地址空间	41
5 F-I/O 模块的应用	43
5.1 数字量输入应用	45
5.1.1 应用 1 和 2：单通道传感器 1oo1 评估	47
5.1.2 应用 3 和 4：对等传感器 1oo2 评估	50
5.1.3 应用 5 和 6：3 线制非对等传感器电路的 1oo2 评估	53
5.1.4 应用 7 和 8：4 线制非对等传感器电路的 1oo2 评估	55
5.2 数字量输出应用	59
5.2.1 应用 1：直连 SIL 级执行器接线	60
5.2.2 应用 2：外部接触器接线：独立的 P 和 M 控制接触器	61
5.2.3 应用 3：外部接触器接线：P 和 M 之间的并联接触器	62
5.2.4 应用 4：外部接触器接线：每个接触器的独立输出通道	63
5.3 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的应用模式示例	64

6	中断/诊断消息/诊断	69
6.1	对故障的响应	69
6.2	故障诊断概述	73
6.3	启动时执行诊断	74
6.4	通过 LED 指示灯进行诊断	75
6.4.1	状态和错误指示灯	75
6.5	故障类型、原因和纠正措施	79
7	技术规范	87
7.1	规范	87
A	尺寸图	93
A.1	尺寸图	93
B	响应时间	95
B.1	最大响应时间	95
B.2	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输入的响应时间参数	96
B.3	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输出的响应时间参数	97
C	负载切换	99
C.1	连接容性负载	99
C.2	感性负载的切换	100

文档指南

SIMATIC ET 200AL 分布式 I/O 系统的文档编排为三个区域。



基本信息

系统手册和入门指南中详细介绍了 SIMATIC ET 200AL 分布式 I/O 系统的组态、安装、接线和调试。STEP 7 在线帮助提供组态和编程支持。

设备信息

产品手册中包含模块特定信息的简要说明，如属性、端子接线图、特性和技术规范。

常规信息

功能手册中详细介绍了有关 SIMATIC ET 200AL 分布式 I/O 系统的常规主题，例如诊断、通信、运动控制和 Web 服务器。

请访问 Internet (<https://support.industry.siemens.com/cs/cn/zh/view/109742667>) 免费下载文档。

ET 200AL 手册集

手册集包含有关 SIMATIC ET 200AL 分布式 I/O 系统的完整文档，这些文档整合到一个文件中。

有关手册集的信息，敬请访问 Internet
(<https://support.industry.siemens.com/cs/cn/zh/view/95242965>)。

“我的技术支持”

通过“我的技术支持”（我的个人工作区），“工业在线技术支持”的应用将更为方便快捷。

在“我的技术支持”中，用户可以保存过滤器、收藏夹和标签，请求 CAx 数据以及编译“文档”区内的个人数据库。此外，用户数据已自动填入支持请求表，用户可随时查看所提出的最新技术服务请求。

只需注册一次，即可使用“我的技术支持”的全部功能。

有关“我的技术支持”的信息，敬请访问 Internet
(<https://support.industry.siemens.com/My/ww/zh>)。

应用示例

应用示例提供各种工具的使用支持以及自动化任务解决方案示例。自动化系统中的多个组件完美协作，可组合成各种不同的解决方案，用户无需再关注各个单独的产品。

有关应用示例，敬请访问 Internet
(<https://support.industry.siemens.com/sc/ww/zh/sc/2054>)。

TIA Selection Tool

利用 TIA Selection Tool，可为全集成自动化 (TIA) 选择、组态和订购设备。

此工具是 SIMATIC Selection Tool 的后续产品，将自动化技术的已知组态程序合并到一个工具中。

利用 TIA Selection Tool，可通过产品选择或产品组态生成完整的订单表。

有关 TIA Selection Tool，敬请访问 Internet
(<https://support.industry.siemens.com/cs/us/en/view/109767888>)。

安全技术支持

西门子提供全面的在线支持帮助用户使用安全技术：

- 安全评估工具 - 帮助用户确定所需的安全等级
- 功能示例 - 指导用户实现安全应用

- 西门子培训 (SITRAIN) 课程 - 提供有关安全标准和产品的培训
- SIMATIC STEP 7 Safety Advance F-执行时间、F-运行时间、F-监视和响应时间 Excel 文件 (RT_calculator) - 帮助用户计算最大系统响应时间

有关安全评估工具的信息, 敬请访问 Internet (<http://www.siemens.com/safety-evaluation-tool>)。

有关功能示例的信息, 敬请访问 Internet (<http://www.siemens.com/safety-functional-examples>)。

有关 SITRAIN 课程的信息, 敬请访问 Internet (<http://www.siemens.com/sitrain-safetyintegrated>)。

有关 RT_calculator 的信息, 敬请访问 Internet (<http://support.automation.siemens.com/WW/view/en/49368678/133100>)。

产品概述

2.1 属性

订货号

6ES7146-5FF00-0BA0

模块视图



图 2-1 F-DI 4+F-DQ 2x24VDC/2A, 4xM12 故障安全 I/O 模块的视图

2.1 属性

属性

模块具有下列技术特性：

- 四个故障安全数字量输入和两个故障安全数字量输出（用于传感器和执行器连接的 M12 插座）
- 一个 E 型连接（用于 E 型插头的 M12 插座）
- 两个电源端口，即馈电端口和回路端口，其中包含逻辑和输入电源 (1L+) 及输出电源 (2L+) (M8 模块电源电压端口)
- 两个 ET-Connection 通信端口 (M8 插座)
- 故障安全数字量输入：
 - 额定值为 24 V DC
 - 两个防短路传感器电源
 - 可使用外部传感器电源
 - 每个通道均可设置为诊断可组态
 - 可组态的输入延时
 - 适用于开关和三/四线制接近开关
- 故障安全数字量输出：
 - 额定负载电压为 24 V DC
 - 适用于电磁阀、直流接触器和指示灯
 - 每个输出的输出电流为 2.0 A
 - 每个通道均可设置为诊断可组态
- 尺寸为 45 x 159 mm

该模块支持以下功能：

- 固件更新
- 标识和维护数据 I&M0 到 I&M3
- 值状态（质量信息）

模块在安全模式下可达到以下最高安全级别：

安全模式下可达到的最高安全级别	1 通道输入	2 通道输入	输出通道
性能等级符合 EN ISO 13849-1	类别3, 性能等级 d	类别4, 性能等级 e	类别4, 性能等级 e
SIL, 符合 IEC 61508	SIL 2	SIL 3	SIL 3

附件

模块包内包含以下组件：

- 识别标签（黄色）
- E 型插头（用于存储应用程序的 PROFIsafe 地址）

其它组件

以下组件可以作为备件订购：

- 识别标签（黄色）
- E 型插头

以下组件可以作为附件订购：

- 连接器
- 电缆
- 用于 ET 连接的剥线工具
- M8 密封帽
- M12 密封帽

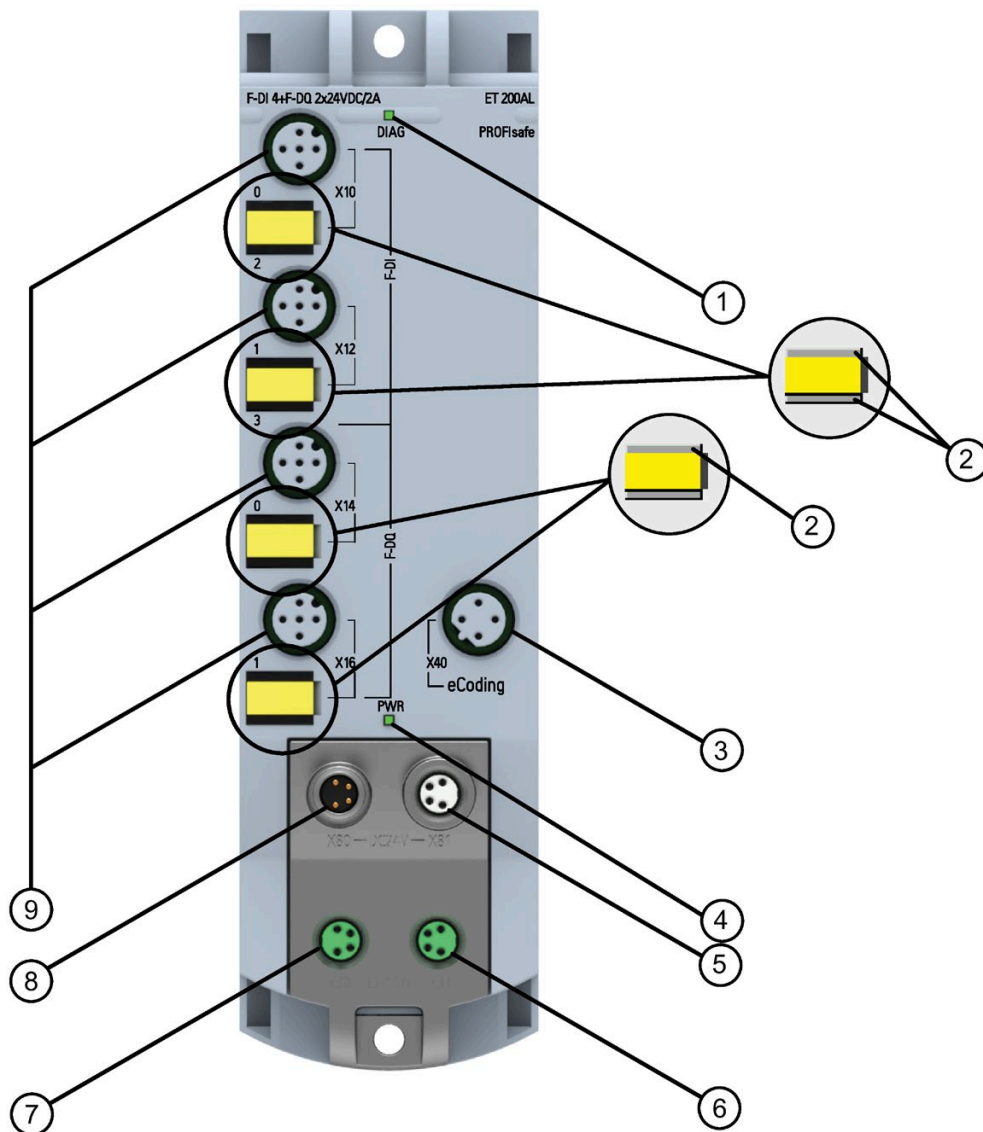
另请参见

有关附件的更多信息，请参见系统手册

(<https://support.industry.siemens.com/cs/cn/zh/view/89254965>) 《ET 200AL 分布式 I/O 系统》的“附件/备件”部分。

2.2 操作员控件和显示元件

下图显示了 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的操作员控件和显示元件。



- ① DIAG: 诊断状态的 LED 指示灯
- ② 通道状态的 LED 指示灯
- ③ X40: E 型插头连接
- ④ PWR: 负载电压 2L+ 的 LED 指示灯
- ⑤ X81: 接通电源电压回路的插座 (电源输出)
- ⑥ X31: ET-Connection OUT 的插座
- ⑦ X30: ET-Connection IN 的插座
- ⑧ X80: 用于馈入电源电压的连接器 (电源输入)
- ⑨ X10 至 X16 : 输入/输出信号的插座

图 2-2 操作员控件和显示元件

2.3 故障安全数字量输入

F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的数字量输入可连接到 24 V DC 传感器/开关和 3/4 线制接近开关（例如，BERO：西门子系列非接触式传感器），并具有 EN 61131-2 类型 1 输入额定值。

故障安全模块有两个 0.5 A

传感器电源输出，可以为外部传感器（输入）供电。除“1oo2，2 通道 3 线制非对等”应用模式外，所有 1oo1 和 1oo2 应用模式都使用 V_{S1} 传感器电源为通道 0 到 1 供电，使用 V_{S2} 传感器电源为通道 2 到 3 供电。“1oo2，2 通道 3 线制非对等”应用模式使用 V_{S1} 传感器电源为所有四个输入供电，而不使用 V_{S2} 传感器电源。

输入和测试电路

故障安全数字量输入包括四个输入通道（F-DI x.0 到 x.3）。可将这些通道组态为四个 1oo1 输入（SIL 2/类别3/性能等级 d）、两个 1oo2 输入（SIL 3/类别3 或类别4/性能等级 e）或 1oo1 和 1oo2 输入的组合。

连接	输入通道对
X10	0 和 2
X12	1 和 3

故障安全数字量输入使用两个微控制器来实现安全功能。一个微控制器监视输入 0 和 1，另一个微控制器监视输入 2 和 3。相应的通道 (0, 2) 和 (1, 3) 形成 1oo2 通道组。组中编号较低的通道称为主要输入，其它通道称为次要输入。通道组中双输入的第一个输入以 1oo2 组态传送信号。例如，如果在 1oo2 组态中连接 F-DI 0.0 和 F-DI 0.2，并将 STEP 7 组态为使用 1oo2 传感器评估，则在关闭或打开两个电路时，仅在 F-DI 0.0 输入处报告信号状态。

将通道组组态为 1oo2

时，两个微控制器必须在组态的时间内检测到相同的输入变化。否则，两个微控制器将检测到差异错误。

如果使用传感器电源输出为传感器供电，则可以启用短路测试。短路测试通过周期性关闭传感器输出并验证相关输入是否关闭来检查 24 V DC 是否短路。

2.4 故障安全数字量输出

由于短路测试会在不同时间关闭两个传感器输出，因此测试还将检查“1oo2，双通道对等”和“1oo2，双通道 4 线制非对等”应用模式下的其它电路是否短路。

各微控制器之间彼此为处理输入电路提供内部测试脉冲以验证感测电子元件对“1”和“0”输入是否有响应。

参见

ET200AL 分布式 I/O 系统的附件

(<https://support.industry.siemens.com/cs/cn/zh/view/89254965>)

2.4 故障安全数字量输出

F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的数字量输出用于故障安全应用，适合于各种执行器，例如：

- 电磁阀
- 直流接触器
- 指示灯

两个数字量输出具有 P 和 M 开关，可以连接到 24 V DC 执行器，最大额定电流为 2.0 A。两个数字量输出使用最大电流为 4.0 A 的负载电压 2L+。这意味着两个数字量输出使用的总电流不得超过 3.96 A，因为 2L+ 电源使用的电流约为 40 mA。

输出

故障安全数字量输出由两个输出通道（F-DQ x.0 至 x.1）组成。可以将每个输出用于 SIL 3 应用程序。

连接	输出通道
X14	0
X16	1

每个输出包含两个开关：

- P 开关将 24 V DC 正极 (L+) 连接至负载。
- M 开关将负载连接到 M 或 24 V DC 回路。

两个开关都必须导通，以使电流流向负载。

故障安全数字量输出使用两个微控制器来实现安全功能。一个微控制器控制 P 开关，而另一个微控制器控制 M 开关。P 开关的状态会反馈到另一个微控制器（即控制 M 开关的微控制器）。同样，M 开关的状态会反馈到另一个微控制器（即控制 P 开关的微控制器）。微控制器使用反馈来验证输出开关是否正常运行并处于命令状态。

必须组态“最大回读时间”(Maximum readback time)，该时间指定输出电压响应开关变化时所允许的时间延迟。

故障安全数字量输出会定期测试每个 P 开关和 M 开关以验证每个开关是否仍能正常工作并可独立控制。组态的“最大回读时间”(Maximum readback time)

还可以设置“关断”测试脉冲的持续时间。必须组态“接通测试的最大回读时间”(Maximum readback time switch on

test)，以设置“接通”测试脉冲的持续时间。选择的持续时间应足够短，以免影响负载。

当输出 PV 关闭时，模块可以检测到断线或负载缺失。如果启用了断线诊断，则必须按照 PM 组态对负载进行接线，否则将发生断线诊断（请参见 5.2 数字量输出应用 (页 59)一节中的应用 1、3 或 4）。

2.4 故障安全数字量输出

接线



存在与连接主电源的带电电线接触的风险。

如果未采取适当的预防措施，可能会造成死亡或严重的人身伤害以及机械和设备损坏。

在连接故障安全模块前务必切断电源和负载电压。

3.1 端子图和方框图

下图举例说明了采用 4 线制连接的信号输入和信号输出的引脚分配：

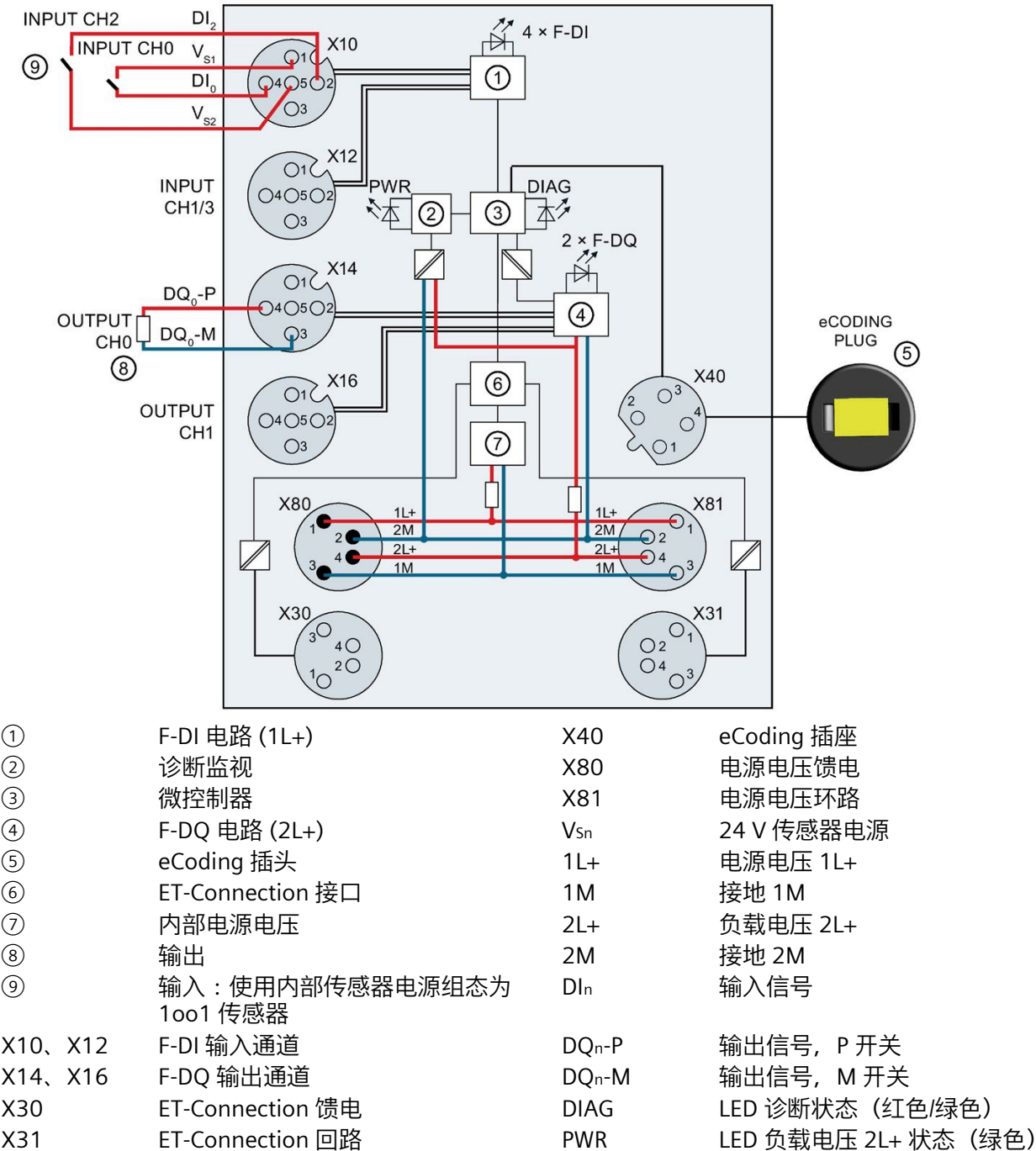


图 3-1 端子图和方框图

3.2 引脚分配

说明

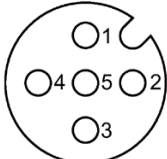
颜色编码

ET-Connection 的插座与模块电源采用颜色编码。这些颜色对应于所提供电缆的颜色。

故障安全数字量输入/输出的插座的引脚分配

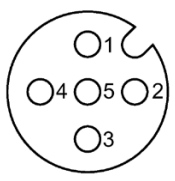
下表列出了用于连接故障安全数字量输入/数字量输出的四个插座的引脚分配：

表格 3-1 故障安全数字量输入插座的引脚分配

引脚	分配	插座的正视图
	X10 和 X12 - 故障安全数字量输入的插座	X10、X12
1	24 V DC 传感器电源 V_{S1}	
2	输入信号 DI_2 ：连接器 X10 输入信号 DI_3 ：连接器 X12	
3	传感器电源接地 1M	
4	输入信号 DI_0 ：连接器 X10 输入信号 DI_1 ：连接器 X12	
5	24 V DC 传感器电源 V_{S2}	

3.2 引脚分配

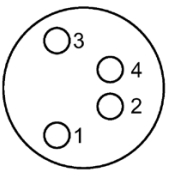
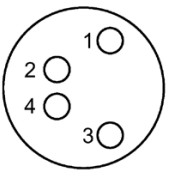
表格 3-2 故障安全数字量输出插座的引脚分配

引脚	分配	插座的正视图
	X14 和 X16 - 故障安全数字量输出的插座	X14、X16
1	未分配	
2	未分配	
3	输出信号 DQ0-M : 连接器 X14 输出信号 DQ1-M : 连接器 X16	
4	输出信号 DQ0-P : 连接器 X14 输出信号 DQ1-P : 连接器 X16	
5	功能性接地 FE	

ET-Connection 插座的引脚分配

下表列出了用于 ET-Connection 连接的两个插座的引脚分配：

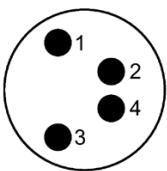
表格 3-3 ET-Connection 的引脚分配

引脚	分配		用于 ET-Connection 的总线电缆的电线颜色分配	插座的正视图	
	X30 插座 (ET-Connection IN)	X31 插座 (ET-Connection OUT)		X30	X31
1	TXP	RXP	黄色		
2	RXP	TXP	白色		
3	RXN	TXN	蓝色		
4	TXN	RXN	橙色		
屏蔽	功能性接地 FE		-		

供电电源电压的连接器的引脚分配

下表列出了供电电源电压的连接器的引脚分配：

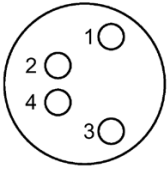
表格 3-4 电源电压连接器的引脚分配

引脚	分配	电源线电缆的电线颜色分配	连接器的正视图
	X80 连接器（电源输入）		
1	电源电压 1L+	褐色	
2	接地 2M	白色	
3	接地 1M	蓝色	
4	负载电压 2L+	黑色	

用于接通电源电压回路的插座的引脚分配

下表列出了用于接通电源电压回路的插座的引脚分配：

表格 3-5 电源电压插座的引脚分配

引脚	分配	电源线电缆的电线颜色分配	插座的正视图
	X81 插座（功率输出）		
1	电源电压 1L+	褐色	
2	接地 2M	白色	
3	接地 1M	蓝色	
4	负载电压 2L+	黑色	

说明

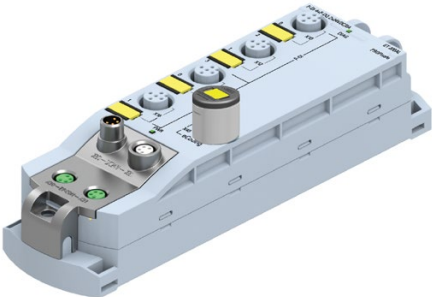
ET-Connection/电源电压

将电源电压电缆装入 ET-connection 插座，如果将 ET-connection 电缆装入电源电压回路插座中可能会导致模块损坏。

注意 ET-Connection 和电源电压的 M8 插座的接线是否正确。

3.3 连接 M12 E 型插头

E 型插头 (6ES7194-6KB01-0AA0) 会存储向 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块分配的 PROFIsafe 地址：

E 型插头 (侧视图)	带 E 型插头的 F-DI 4/F-DQ 2 (正视图)	带 E 型插头的 F-DI 4/F-DQ 2 (侧视图)
		

E 型插头存储以下信息：

- PROFIsafe 源地址
- PROFIsafe 目标地址
- 地址有效性信息

E 型插头占用 X40 M12 插座，使用 B 型插头。E 型插头有助于模块更换。

E 型插头存储已分配的 PROFIsafe 源和目标地址。在 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块设置期间，“分配 PROFIsafe 地址选项”(Assign PROFIsafe address option) 在 STEP 7 中处于选中状态。模块根据在启动参数设置期间向模块提供的 PROFIsafe 参考地址来检查 E 型插头中存储的 PROFIsafe 地址。

将 E 型插头插入 I/O M12 插座或将 I/O M12 电缆插入 X40 插座时，保护机制可以防止损坏 E 型插头或 I/O 通道。

以 1 Nm 的扭矩将 E 型插头安装到 X40 的 M12 插座中。不要将 E 型插头拧得过紧，否则会损坏螺纹。

 警告
如果在连有电源的情况下卸下/插入 E 型插头，会导致系统进入未定义状态。 如果没有采取适当的预防措施，可能会导致死亡或严重人身伤害以及故障安全模块和相关机器/设备的损坏。 仅在断开电源时，才可卸下或更换 E 型插头。组态系统时请务必遵守所需的标准和安全准则。

说明

在更换 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块时，将故障模块的 E 型插头转移至更换模块，以保留 E 型插头中存储的 PROFIsafe 地址。否则，使用 STEP 7 对替换模块中的 PROFIsafe 地址进行组态。确保 E 型插头未意外插入除目标 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块之外的模块中。

3.3 连接 M12 E 型插头

参数/地址空间

所有连接的故障安全 I/O 必须通过 STEP 7 Safety 组态软件组态其操作特性。用户有责任确保故障安全自动化系统中没有未组态的模块。

F 参数

F 模块使用前，必须为其分配 PROFIsafe 地址（F 目标地址和 F 源地址），具体操作如下：

- 在 F-CPU 中可通过“集中式 F 源地址”(Central F-source addresses) 参数定义 F 源地址。
- 系统将为每个 F 模块自动分配项目的硬件配置内唯一的 F 目标地址。在硬件配置中，可手动更改 F 目标地址分配。

有关 F 参数（如 F 监视时间）、PROFIsafe 地址分配（F 源地址和 F 目标地址）、F 参数签名（带或不带地址）和 F-I/O DB 的更多信息，请参见 Internet (<https://support.industry.siemens.com/cs/cn/zh/view/54110126/en>) 上的编程与操作手册《SIMATIC 工业软件, SIMATIC Safety - 组态和编程》。

4.1 组态模块 I/O 属性

为了组态故障安全模块 I/O 特性，请遵循以下步骤：

1. 选择故障安全 I/O 设备的图像（“设备视图”或“设备概览”上），并查看模块的“属性”(Properties) 选项卡。
2. 在“属性”(Properties) 视图中，选择“常规”(General) 选项卡。
3. 在左侧的属性树中选择一个属性类别，然后在右侧的属性字段中设置值。
4. 将硬件配置成功编译和下载到以下 CPU 之一后，会自动将新的组态设置送入 I/O 模块中：
 - ET 200pro F
 - ET 200SP F
 - S7-1200 F
 - S7-1500 F
 - 上一代 S7-300 F 和 S7-400 F

4.2 参数

4.2 参数

下表列出了 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的参数：

通道	取值范围	默认值	RUN 模式下重新进 行参数分配	范围
F 参数				
手动分配 F 监视时间	- 禁用 - 启用	禁用	否	模块
F 监视时间	1 到 65535 ms	150 ms	否	模块
F 源地址	1 到 65534	1 (始终禁用)	否	模块
F 目标地址	1 到 65534	65534 (始终启用)	否	模块
F 参数签名 (带地址)	0 到 65535	始终禁用	否	模块
F 参数签名 (无地址)	0 到 65535	始终禁用	否	模块
通道故障后的行为	- 钝化通道 - 钝化整个模块	钝化通道 (始终启用)	否	模块
通道故障后的重新集成	- 可调整 - 所有通道 自动 - 所有通道 手动	所有通道手动 (始终启用)	否	模块
F-I/O DB 手动分配编号	- 禁用 - 启用	禁用	否	模块
F-I/O DB 编号	- 如果禁用了 DB 手动分配编号, 则为固定值 - 如果启用了 DB 手动分配编号, 则该值可由用户编辑	固定值	否	模块
F-I/O DB 名称	-	始终禁用	否	模块

通道	取值范围	默认值	RUN 模式下重新进行参数分配	范围
DI 参数				
传感器电源				
短路测试	- 禁用 - 启用	启用	否	通道
短路测试时间间隔	12.8 ms 25.6 ms 51.2 ms 102.4 ms 204.8 ms 409.6 ms 819.2 ms	25.6 ms	否	通道
短路测试持续时间	1.6 ms 3.2 ms 6.4 ms 12.8 ms	1.6 ms	否	通道
通道 n、n+2				
传感器评估	1oo1 评估 1oo2 评估： 2 通道对等 2 通道 - 3 线制非对等 2 通道 - 4 线制非对等	1oo2 评估，双通道对等	否	通道
误差行为	- 提供值 0 - 提供上一个有效值	提供值 0	否	通道
误差时间	5 ms 到 30 s	5 ms	否	通道
误差错误后重新集成	- 无需测试 0 信号 - 需要测试 0 信号	无需测试 0 信号	否	通道

4.2 参数

通道	取值范围	默认值	RUN 模式下重新进 行参数分配	范围
通道 n				
激活	- 禁用 - 启用	启用	否	通道
输入滤波器	0.8 ms 1.6 ms 3.2 ms 6.4 ms 12.8 ms	6.4 ms	否	通道
通道故障确认	- 自动 - 手动	手动	否	通道
传感器电源	- 内部 - 外部	内部	否	通道
DQ 参数				
最大测试时间	100 s 1000 s	1000 s	否	通道
通道 n				
断线	- 禁用 - 启用	禁用	否	通道
激活	- 禁用 - 启用	启用	否	通道
通道故障确认	- 自动 - 手动	手动	否	通道
最大回读时间	1.0 ms 到 400.0 ms	2.0 ms	否	通道
接通测试的最大回读时间	0.5 ms 到 5.0 ms	1.0 ms	否	通道
禁用关断测试（最高 SIL 2，类别3，性能等级 d）	- 关断测试已禁用 - 关断测试已启用	关断测试已启用	否	通道

4.3 参数说明

4.3.1 F 参数

有关 F 参数的信息，请参见《SIMATIC Safety – 组态和编程》手册 (<https://support.industry.siemens.com/cs/cn/zh/view/54110126>)。

通道故障后的行为

该参数用于指定通道故障时钝化整个 F 模块，或仅钝化发生故障的通道。

- “钝化整个模块”(Passivate the entire module)
- “钝化通道”(Passivate channel)

通道故障后的重新集成

通过该参数，可选择故障后重新集成故障安全模块的方式。

在 S7-300/400 F-CPU 中使用

在 S7-300/400 F-CPU

中使用故障安全模块时，该参数通常设置为“可调整”(Adjustable)。在故障安全模块的 F-I/O DB 中，进行相应设置。

在 ET 200pro、ET 200SP 和 S7-1200/1500 F-CPU 中使用

在 ET 200pro、ET 200SP 和 S7-1200/1500 F-CPU

中使用故障安全模块时，在故障安全模块的 STEP 7 对话框中设置该参数：

- “可调整”(Adjustable)
- “所有通道自动”(All channels automatically)
- “所有通道手动”(All channels manually)

如果将参数“通道故障后的行为”(Behavior after channel fault) 设置为“钝化通道”(Passivate channel)，则通过分配参数“可调整”(Adjustable)

可为每个通道指定不同的重新集成方式。通过通道参数“通道故障确认”(Channel failure acknowledge)，可指定相应通道的重新集成方式。

如果将参数“通道故障后的行为”(Behavior after channel fault)

设置为“钝化整个模块”(Passivate the entire module)，则所有通道选择的重新集成方式相同。

4.3 参数说明

4.3.2 DI 参数

短路测试

可以为设置了“内部传感器电源”(Internal sensor supply) 的 F 模块的通道启用短路检测。

短路测试仅对不具备自有电源的简单开关有用。对于带有电源的开关，例如，3/4 线制接近开关，无法进行短路测试。

短路测试会短暂地关闭传感器电源。失效时间时长等于组态的“短路测试持续时间”(Duration of short-circuit test)。

如果检测到短路，则会将故障报告至 F-CPU 并钝化输入。

将检测下列短路情况：

- 输入到 L+ 短路
- 当另一个通道发出 1 信号时，其输入的短路情况
- 通道输入与另一通道传感器电源之间的短路
- 两个通道传感器电源之间的短路

如果禁用短路测试，则必须对线路进行短路和跨接测试，或者选择也使用误差检测跨接的连接类型（误差、非对等）。

在短路测试的执行时间（短路测试持续时间 + 短路测试后传感器的启动时间）内，短路测试开始前输入的最后一个有效值将传递到 F-CPU 中。因此，激活短路测试会影响相应通道或通道对的响应时间。

短路测试的误差时间变化

如果过程输入在短路测试执行过程中发生变化，则将检测到误差时间短于组态的误差时间。

误差时间变化的元素定义如下：

- **Tdisc** = 组态的误差时间
- **Tsct** = 组态的短路测试持续时间
- **Tfilter** = 组态的输入滤波器时间
- **Tda** = 实际误差时间，即两次过程信号变化之间的时间，可能检测为故障

检测到的误差时间范围如下：

- **If Tfilter < Tsct:** {Tdisc - (Tfilter + Tsct)} ≤ Tda ≤ Tdisc
- **If Tfilter ≥ Tsct:** {Tdisc - (2 x Tsct)} ≤ Tda ≤ Tdisc

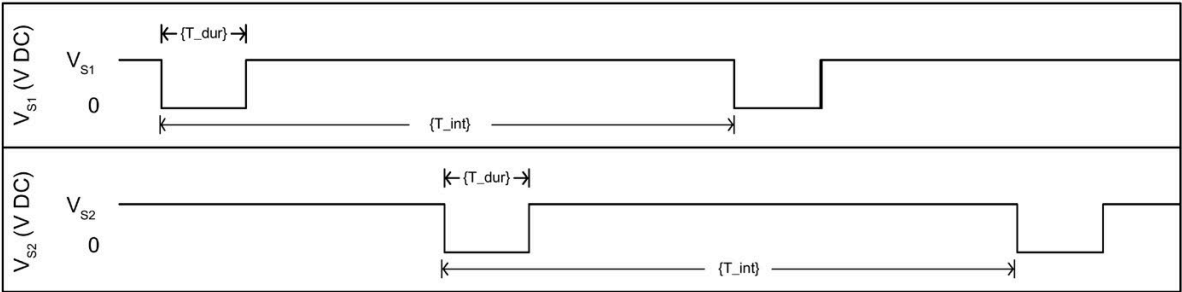
组态的误差时间应考虑这种变化，以避免意外钝化。

短路测试时间间隔

选中“短路测试”(Short-circuit test)
复选框后，可以指定执行短路测试的频率（间隔）。该间隔定义了两个连续传感器电源关断测试脉冲之间的时间间隔。
此值是传感器电源的关闭脉冲之间的时间。

说明
脉冲之间的间隔必须至少是脉冲持续时间的八倍。

短路测试在 V_{S1} 和 V_{S2}
上独立进行，允许模块电路检测两个传感器电源之间的短路情况，具体如下：



- V_{Sn} V_{S1} 或 V_{S2} 传感器电源 (V DC)
- T_{int} 传感器电源关闭脉冲之间的短路测试间隔（时间间隔）(ms)
- T_{dur} 短路测试关闭脉冲持续时间 (ms)

短路测试持续时间

选中“短路测试”(Short-circuit test)
复选框后，可以指定施加于传感器电源的测试脉冲的持续时间。
该值是测试期间电源保持关闭状态的时间。短路测试关闭脉冲必须足够长，使外部传感器和接线能够相应并为输入提供“0”。

传感器评估

可以指定“通道 n”输入是单独运行 (1oo1) 还是与其同伴通道“n+2”输入成对运行 (1oo2)。

定义信号评估和接线定义。这些选项与各种应用模式的接线示例相对应。

1oo1 评估：一个传感器通过一个单通道连接到模块。

1oo2 评估：以下任意情况将占用两个输入通道：

- **2 通道对等（带对等信号）：**在一个通道对中，一个双通道对等传感器或两个单通道对等传感器连接到两个通道。
- **2 通道 - 3 线制非对等：**在一个通道对中，一个双通道非对等传感器连接到两个通道。
- **2 通道 - 4 线制非对等：**在一个通道对中，一个双通道非对等传感器或两个单通道非对等传感器连接到两个通道。

如果选择 1oo2，则必须分配误差特性。

有关连接模式的插图，请参见“数字量输入应用 (页 45)”。

当将通道组选为 1oo2 时，STEP 7 (TIA Portal)

启用组中第一个通道的参数并彻底禁用组中第二个通道的参数。第二个通道从第一个通道的参数值中获取其参数值。当将通道组选为 1oo1 时，STEP 7 (TIA Portal)

启用两个通道中的所有参数。

说明

对 1oo2 输入数据的安全程序访问

对于 1oo2 评估，两个成对输入通道（例如，F-DI 0 和 F-DI 2）连接到一个或两个传感器上。在通道对的低编号通道（以 F-DI 0 为例）的输入地址处，F-DI 执行差异分析并将结果发送至安全程序。

误差行为

对于已组态的误差时间，1oo2

输入组态允许两个信号之间存在逻辑差异（无误差）。在两个相关输入通道的误差期间，分配提供给 F-CPU

中安全程序的值，表示误差时间正在运行。请按照如下方式分配误差特性：

- “提供上一个有效值”(Supply last valid value)
- “提供值 0”(Supply value 0)

说明

添加更多输入误差时间时，传感器-执行器的响应时间会增加

如果两个信号在逻辑状态下不一致，则误差时间会直接加到 1oo2

评估的最大响应时间。如果选择了“提供值 0”(Supply value 0) 选项，则 F-DI

不会延迟从“1”到“0”的转换，但可延迟“0”到“1”的转换。如果选择了“提供上一个有效值”(Supply last valid value) 选项，则 F-DI

可以延迟从“1”到“0”的转换，也可以延迟从“0”到“1”的转换。误差时间受传感器规格、安装公差和接线的影响。为了获得最佳响应时间，请选择能够提供可靠正常运行的最小误差时间。有关详细信息，请参见“响应时间 (页 95)”。

误差时间

由于传感器、触点和接线存在差异，1oo2

输入组态中的两个信号不会同时完全改变。可以组态转换过程中信号间不匹配的最大预期持续时间。

误差错误后重新集成

可以指定是否必须先在 1oo2 输入上检测到零状态，然后才可以清除先前声明的差异。

“需要测试 0 信号”

如果已分配“需要测试 0 信号”，则误差错误不会被视为已更正，直到 0 信号同时出现在两个相关输入通道上，并持续至少 100 ms。

如果使用非对等传感器，则表示“传感器评估”已设置为“1oo2 评估，非对等”，此时通道对中编号较小的通道处必须再次出现 0 信号。

“无需测试 0 信号”

如果已分配“不需要测试 0 信号”，则当两个相关输入通道间的误差消失时，认为误差错误已更正。

激活

可以启用相应的通道以在安全程序中进行信号处理。

如果禁用通道，则不再将通道诊断报告至已禁用通道的 F-CPU。当禁用所有输出通道时，不必为 2L+ 供电，并将暂停 2L+ 欠压报告。

4.3 参数说明

输入滤波器

模块过滤数字量输入以消除触点颤动和短时间内的噪音。该参数指定滤波时间的持续时间。

通道故障确认

控制通道是在故障清除后自动重新集成还是需要用户程序中进行确认（手动）。有关重新集成的过程，请参见“对故障的响应 (页 69)”。

说明

“F

参数”的组态：“通道故障后的重新集成”参数可用于确定用户是否可以修改“通道故障确认”参数的选择。

传感器电源

可指定是从模块的集成传感器电源（内部）还是从外部电源（外部）为传感器提供 24 V DC 电源。

对选择外部电源的任何通道都不执行短路测试。

4.3.3 DQ 参数

最大测试时间

可以将 F-DQ DC 输出故障的位模式测试时间间隔数值指定为 100 秒或 1000 秒。

功能位模式测试应用于输出开关。这些测试检测 P- 或 M-

输出开关故障和接线故障。可以检测到对其它信号或电源轨短路。未检测到接线端子和负载之间开路。

如果在通道上检测到错误，则测试间隔将缩短为 60

秒。如果在任何输出通道上都不再检测到错误，则再次使用组态的测试间隔。

将持续性故障报告给故障安全 CPU，并钝化受影响的通道。

断线

可启用或禁用断线测试。仅当通道处于关闭状态（过程值为“0”）时，才会检测到断线。

激活

可以启用相应的通道以在安全程序中进行信号处理。

如果禁用通道，则不再将通道诊断报告至已禁用通道的 F-CPU。

说明

当禁用所有输出通道时，不必为 2L+ 供电，并将暂停 2L+ 欠压报告。

通道故障确认

控制通道是在故障清除后自动重新集成还是需要用户在用户程序中进行确认（手动）。有关重新集成的过程，请参见“对故障的响应 (页 69)”。

说明

“F

参数”的组态：“通道故障后的重新集成”参数可用于确定用户是否可以修改“通道故障确认”参数的选择。

最大回读时间

最大回读时间是用户组态的参数，该参数可指定在不产生错误的情况下，因过程值更改而允许输出达到新状态（ON 或 OFF）的最大时间。此外，这是在位模式测试期间施加的诊断测试脉冲的最大宽度，用于验证输出处于接通状态时是否可以关闭。关断脉冲的时间应尽可能长，但要确保足够短以使执行器不发出响应。

通过“最大回读时间”(Maximum readback time)

参数，可以设置用于验证在过程值更改后通道输出开关状态是否符合预期的最大时间。

如果在“最大回读时间”到期时未达到预期的输出开关状态（由 P 回读和 M 回读报告），则钝化输出通道。

4.3 参数说明

对输出应用测试模式时，不会将任何新过程值切换到输出通道。因此，如果“最大回读时间”(Maximum readback time) 较长，则会增加 F 模块的响应时间。

警告

可能无法对高频信号进行短路（跨接）检测
在所组态的“最大回读时间”(Maximum readback time) 内，无法检测频率大于 $1/(2 \times \text{所组态的“最大回读时间”})$ Hz 的信号短路（跨接电路）情况（50:50 的采样率）。必须考虑到具体应用和产品标准的相应要求。
无论输出通道的频率如何，均可识别出同一模块的输出短路（跨接电路）。
用户可以调整最大回读时间来改变可以检测到的信号的频率。

当安全程序将输出信号从“1”变为“0”时，该参数还将影响信号为“1”的短路检测（跨接电路）。

设置参数“最大回读时间”

由于组态的最大回读时间会增加故障的响应时间，因此建议将“最大回读时间”设置为尽可能小，但需确保输出通道不会钝化。

有关执行器所需的回读时间，请参见“连接容性负载 (页 99)”中的图表。

如果执行器的电容未知，则需要通过尝试确定和错误数量确定“最大回读时间”的值。而且由于执行器会受到自身部件的差异和外部各种因素的影响，也需要采取以上方式来确定时间长度。

请按以下步骤操作：

- 设置“最大回读时间”(Maximum readback time)，确保可以正确回读输出通道，但不会引起执行器响应。
- 进行验证时，最短周期中所用的过程值“0”与参数“最大测试周期”(maximum test period) 相对应。执行从“1”到“0”的过程值改变。
- 如果输出通道被钝化，则表示对于相连接的容性负载而言，“最大回读时间”值过小。在所组态的“最大回读时间”内，无法进行放电。增加“最大回读时间”。

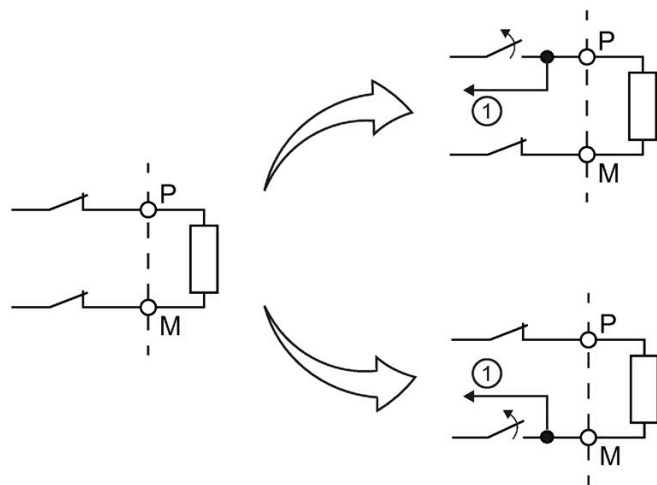
如果已将“最大回读时间”设为最大值 400 ms，但输出通道仍被钝化，说明发生外部故障或者所连接的电容量超出了所允许的范围。

关断测试

暂时禁用测试是输出位模式测试序列中出现的关断测试。

在输出通道上禁用关断测试时，参数“最大回读时间”(Maximum readback time)仅与过程值更改相关。

在暂时禁用测试中，当输出通道处于激活状态时（输出信号为“1”），其中一个输出通道开关将暂时断开。因此，通过输出的电流会短时间中断。如果执行器的执行速度非常慢，则无法对此进行响应，将保持为通电状态。



① 回读

图 4-1 暂时禁用测试（PM 开关）的工作原理

4.3 参数说明

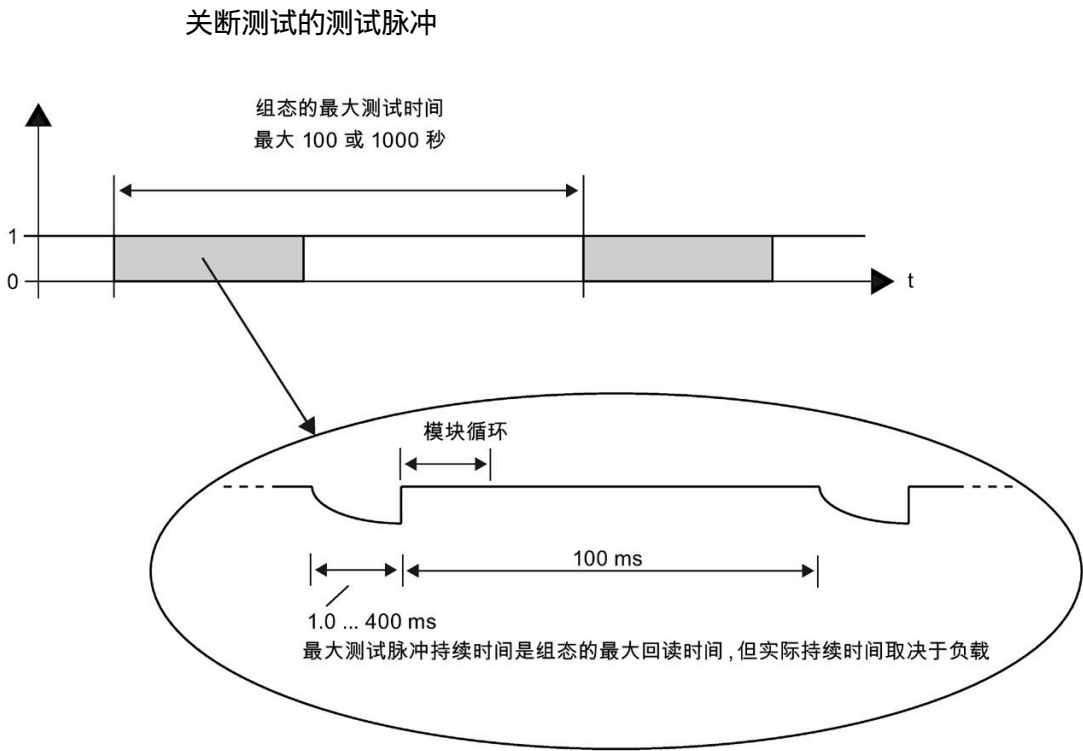


图 4-2 关断测试的测试脉冲

可以将输出位模式测试序列之间的时间组态为 100 秒或 1000 秒。每个输出位模式测试序列都包含多个测试脉冲。两个测试脉冲间的时间间隔至少为 100 ms。

接通测试的最大回读时间

可以组态接通测试的最大回读时间参数，以指定在位模式测试步骤中当前处于关闭状态的通道的 P 开关或 M 开关可接通的最长时间。此行为测试通道上的 P 开关和 M 开关，确保一次仅接通一个开关。除非系统出现故障（例如，执行器对地短路），否则在 P 或 M 开关接通测试期间都不会为执行器上电。在单一故障条件下（模块的内部或外部），应用于关闭状态下通道 P 开关或 M 开关的测试脉冲可反复为执行器上电。必须选择该参数，以便此类脉冲的持续时间足够短而使执行器发出响应，进而不会对受控设备产生危险影响。

禁用关断测试（最高 SIL 2，类别3，性能等级 d）

选中此复选框可禁用通道关断测试。

为防止执行器对关断测试产生不必要的反应，可以在 F 模块输出端禁用关断测试。例如，意外响应可能是磁驱动器的短暂断电。

不符合负载曲线的容性负载（请参见“切换负载 (页 99)”）可能会在过程值变更或接通测试时（即使关断测试已禁用）导致输出钝化。

禁用关断测试时，最高只能达到 SIL 2/类别3/性能等级 d。

警告

因可能存在未检测到的故障，而导致 SIL 2/类别3/性能等级 d 额定值降低和失去输出控制

禁用关断测试时，接通超过 1 年的输出可能无法关闭。

SIL 2/类别3/性能等级 d 要求相应输出每年至少有一次从“1”到“0”的信号变化。

确保“0”信号的持续时间至少为 2 秒。仅关闭 F 模块的电源电压或负载电压并再次接通并不能满足要求。

警告

通道间的跨接电路检测丢失

使用“禁止关断测试”功能时，系统不会检测信号为“1”通道间的跨接电路。

必须考虑到具体应用和产品标准的相应要求。

此外，还必须考虑产品标准中有关错误检测时间的相关要求。

4.4

地址空间

说明

F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块使用的 I 和 Q 存储器数比模块上输入端和输出端所需的物理数量更多。额外的字节存储 PROFIsafe 安全状态和数据完整性信息。F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块需要的输入 (I) 字节和输出 (Q) 字节的数量取决于故障安全 CPU 使用了哪种 PROFIsafe 规约。

4.4 地址空间

模块	PROFIsafe 规约	所需输入 (I) 字节	所需输出 (Q) 字节
F-DI 4+F-DQ 2x24VDC/2A, 4xM12	V2.4 (使用 S7-300/S7-400)	7	5
	V2.6 (支持 ET 200pro、ET 200SP 和 S7-1200/1500)	8	6

下图显示了带有值状态（质量信息 (QI)）的 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的地址空间分配情况。

过程映像输入 (PII) 中的分配

IB x	7	6	5	4	3	2	1	0	通道 0 到 3 (所有通道 loo1) 处的输入值 通道 0 和 1 (所有通道 loo2) 处的输入值
	0	0	0	0					
IB x + 1	0	0	0	0	0	0			通道 0 到 3 (所有通道 loo1) 处的输入的值状态 (QI) 通道 0 和 1 (所有通道 loo2) 处的输入的值状态 (QI)
	0	0	0	0	0	0			
IB x + 2	7	6	5	4	3	2	1	0	通道 0 和 1 处的输出的值状态 (QI)
	0	0	0	0	0	0			

过程映像输出 (PIQ) 中的分配

QB x	7	6	5	4	3	2	1	0	通道 0 和 1 处的输出值
	0	0	0	0	0	0			

图 4-3 地址空间

评估值状态

值状态位提供有关数字值或通道状态有效性的信息：

- 位 = 1：相应过程值有效
- 位 = 0：通道被钝化

F-I/O 模块的应用

PLC

系统的故障率极低，因此仅占自动化系统发生危险故障的总概率的一小部分。传感器和执行器发生危险故障的概率通常远远大于 PLC 系统每小时发生危险故障的概率 (PFH)/按需发生危险故障的概率 (PFD)。使用以下方法来计算 PFD 和 PFH 等定量安全性的估计值：

- 标准数据表
- 符合国际标准的计算方法，具体包括以下标准：
 - IEC 61508
 - ISO 13849
 - IEC 61131-6

值基于以下假设：

- 连续满额定负载
- 标称电压
- 设备环境温度为 55 °C

布线系统中的问题也可能是导致故障的重要原因。

为实现各项安全功能的目标安全性能等级，请执行以下操作：

- 选择合适的架构。
- 选择适当额定值的传感器和执行器。
- 提供符合安全功能相关要求的安全程序：
- 提供诊断和验证测试以保持传感器和执行器的额定值。
- 利用接线安装规范、诊断和验证测试来确保接线完整性。
- 生成并控制针对安装生命周期的操作和维护步骤。

ET 200AL、ET 200pro、ET 200SP 和 S7-1200/1500

故障安全系统提供了高层级的内部诊断覆盖。外部电路、传感器和执行器的诊断覆盖率取决于使用 PLC 系统功能和其它措施时的设计选择。

根据说明，各故障安全 PLC 组件的 PFH/PFD

均假定产品的生命周期内不进行现场验证测试。传感器和执行器通常需要常规验证测试以保持预期的安全性能。

每个安全功能的响应时间取决于每个组件的响应时间，包括传感器、PLC 系统和执行器。有关 PLC 组件间的延迟时间的更多信息，请参见“最大响应时间 (页 95)”。必须选择 PLC 参数和外部组件响应时间才能实现总的安全响应时间目标。

除了从安全请求输入到安全执行器响应的总延迟外，用户也必须考虑以下与时间相关的因素。有关确切信息，请参见“最大响应时间 (页 95)”：

- 为了确保安全响应，来自输入传感器的安全需求信号将持续足够长的时间，以便安全程序可以发现该信号。组态的过滤时间、误差解决时间和短路测试持续时间都会影响所需信号持续时间的确定情况。
- F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块数字量输出会定期测试每个 P 开关和 M 开关以验证每个开关是否仍能正常工作并可独立控制。关断测试脉冲持续时间可以与组态的“最大回读时间”一样长。接通测试脉冲持续时间可以与组态的“接通测试的最大回读时间”一样长。对于给定的输出，接通测试脉冲一次只提供给 P 或 M 开关之一，但在出现单一故障时，这可为负载供电。执行器不应在“最大回读时间”持续时间内对关断信号做出响应，也不应在“接通测试的最大回读时间”持续时间内对接通信号做出响应。
- F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块数字量输出预计将完成并确认从 ON 到 OFF 输出状态的所有命令转换。用户程序将过程输出值从“1”改为“0”后，在超过输出组态的“最大回读时间”前，请勿将“0”改回“1”。受影响的输出在命令“0”状态钝化，该状态持续时间太短而无法确认。

**警告**

安装的安全性能取决于每个完整安全功能的设计和持续维护。

用户按照额定值、规格和说明使用 ET 200pro、ET 200SP 和 S7-1200/1500 故障安全 CPU 以及 F-DI 4/F-DQ 2

故障安全模块时，上述模块作为逻辑处理组件可提供经过认证的安全完整性等级。

不遵守这些准则可能会造成损坏或引起不可预测的操作，从而可能导致死亡或严重的人身伤害和/或财产损失。

必须选择安装的所有组件，并根据公认的安全标准和规范完成设计和维护，以达到所需的安全等级。

5.1 数字量输入应用

这里所示的应用模式应与概述中介绍的 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的功能结合到一起进行考量。请参见“故障安全数字量输入 (页 15)”。

F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块数字量输入的主要功能包括以下项：

- 输入为 24 V DC 额定输入，符合类型 1 输入的 IEC 61131-2 要求。
- 将每个通道组态为 1oo1 或组态为 1oo2 通道组的一部分。相应的通道 (x.0, x.2) 和 (x.1, x.3) 形成 1oo2 通道组。组中编号较低的通道称为主要输入，其它通道称为次要输入。在此限制内，可以按任意顺序分配 1oo1 和 1oo2。
- 短路测试需要使用内部传感器电源。对于除 1oo2 (2 通道 - 3 线制非对等) 之外的所有评估和传感器互联，为输入 x.0 到 x.1 使用 V_{S1} 并为输入 x.2 到 x.3 使用 V_{S2} 。对于 1oo2 (2 通道 - 3 线制非对等) 评估和传感器互联，为输入 x.0 到 x.3 使用 V_{S1} ，但不使用 V_{S2} 。
- 若启用短路测试，将使用相同的参数组态 V_{S1} 和 V_{S2} 。为内部传感器电源组态的所有通道都应接受相同的短路测试。组态测试持续时间 (关断时长) 和测试间隔 (暂时禁用测试之间的间隔时间)。
- 模块为 F-DI 通道执行以下短路功能：
 - 监视传感器电源，以检测短路或过载。
 - 每次通电时循环一次传感器电源，以保证控制和回读运行正常。在此基础上，即使被禁用，在通电时也可以确保传感器电源的运行完整性。
 - 在输入短路测试期间监视回读。
- 组态误差时间来识别 1oo2 输入之间不可接受的差异。
- 为每个通道或每个 1oo2 对组态滤波时间。

如果诊断外部布线故障或根据标准通过适当的布线、保护和导线检测测试来排除故障，则可以在 1oo1 组态中达到类别 3：

- 每个 F-DI 输入都包括足够的诊断和冗余组件，以使任何单一内部故障都不会导致危险故障。
- 借助内部容错功能，额定值适中的单个传感器可以达到类别 3。
- 除非采取额外措施，否则单个传感器与单个输入之间的外部接线极易受到单一错误危险故障的影响。

5.1 数字量输入应用

如果诊断外部布线故障或根据标准通过合适的布线、保护和导线检测测试来排除故障，则可以在 1oo2 组态中达到类别 4：

- 对于 1oo2 评估，在合理数量的累积内部故障内，一对 F-DI 输入不会遭受危险的内部故障。
- 具备合适额定值的外部配对传感器或等效冗余可以达到类别4。
- 除非采取额外措施，否则两个传感器与两个输入点的双外部接线极易受到错误危险故障积累的影响。

故障安全数字量输入只有在选择 1oo2 评估时，才视为达到 SIL 3/PL e 认证。

用于达到完整性安全等级 (SIL)/类别/性能等级 (PL) 的输入架构

以下是满足相应安全要求必须达到的最低条件：

表格 5-1 完整性安全等级 (SIL)/类别/性能等级 (PL) 要求

应用	传感器电源 ¹	传感器评估	通道连接	传感器连接类型	可达到的 SIL/类别/性能等级	
					无短路检测	有短路检测
1	内部	1oo1 评估	单输入	1 通道	2/3/d	
2	外部					
3	内部	1oo2 评估	双输入	2 通道对等	3/3/e	3/4/e
4	外部				3/3/e	
5	内部			2 通道 - 3 线制非对等	3/3/e	3/4/e
6	外部				3/3/e	
7	内部			2 通道 - 4 线制非对等	3/3/e	3/4/e
8	外部				3/3/e	

¹ F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块使用 M12 I/O 连接，适用于柜外式 IP67

应用（完全密封）。如果需要使用外部电源，可切断 M12

电缆，并将外部电源连接至密闭的外壳内或密闭的传感器内。对于外部电源，不要连接 M12 电缆上的引脚 1 接线 (V_{s1}) 或引脚 5 接线

(V_{s2})。此操作可防止传感器电源（可能由于其它通道被组态为内部而接通）对外部 24 V DC 短路。此外，请将外部 24 V DC 连接至密封的外壳内或密封的传感器内。

有关连接器引脚分配的更多信息，请参见“引脚分配”（页 21）。

5.1.1 应用 1 和 2：单通道传感器 1oo1 评估

F-DI 应用模式 1

此应用模式以 1oo1

评估方式使用单通道传感器，如下图所示。使用内部传感器电源时，可以成功执行短路检测。

说明

若要将 F-DI 应用模式 1 结合到 SIL 2 等级应用中，需确保传感器为适当的合格设备。



图 5-1 F-DI 应用模式 1：内部传感器电源（所示为单通道传感器的 1oo1 评估）

5.1 数字量输入应用

在 F-DI 应用模式 1 中需使用 Y 型电缆 (6ES7194-6KB00-0XA0) 以 1oo1 评估方式连接两个单通道传感器，具体如下：

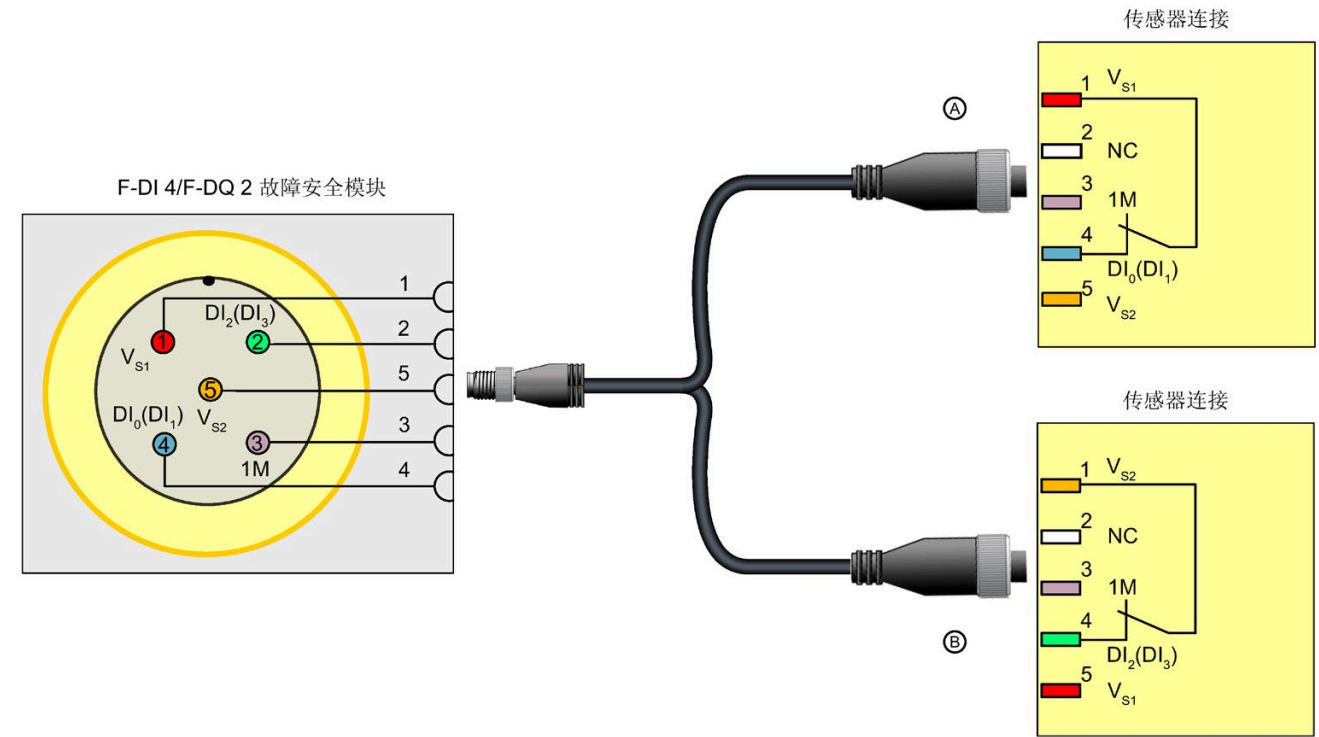


图 5-2 F-DI 应用模式 1：内部传感器电源（所示为两个单通道传感器的 1oo1 评估）

参数分配

参数名称	参数值
传感器评估	1oo1 评估
传感器电源	内部
短路测试	启用

F-DI 应用模式 2

此应用模式以 1oo1 评估方式使用单通道传感器。当使用外部传感器电源时，模块不对通道做短路测试评估。

说明

若要将 F-DI 应用模式 2 结合到 SIL 2 等级应用中，需确保传感器为适当的合格设备。

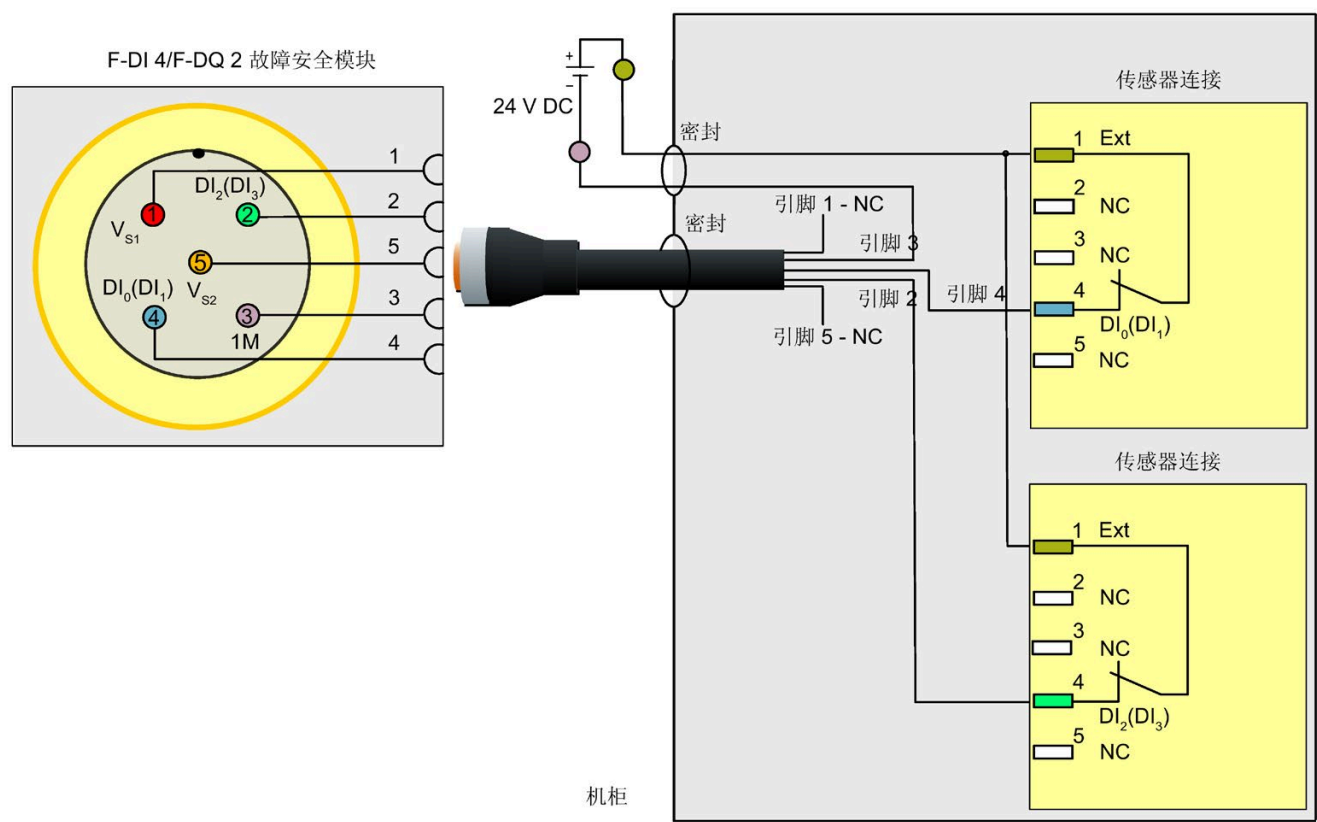


图 5-3 F-DI 应用模式 2：外部传感器电源（所示为两个单通道传感器的 1oo1 评估）

参数分配

参数名称	参数值
传感器评估	1oo1 评估
传感器电源	外部

5.1.2 应用 3 和 4：对等传感器 1oo2 评估

F-DI 应用模式 3

此应用模式按 1oo2 表决使用双通道传感器或两个单通道传感器进行误差评估。使用内部传感器电源时，可以成功执行短路检测。

说明
若要将 F-DI 应用模式 3 结合到 SIL 3 等级应用中，需确保传感器为适当的合格设备。



图 5-4 F-DI 应用模式 3：内部传感器电源（所示为双通道传感器的 1oo2 评估）

在 F-DI 应用模式 3 中需使用 Y 型电缆 (6ES7194-6KB00-0XA0)，具体如下：

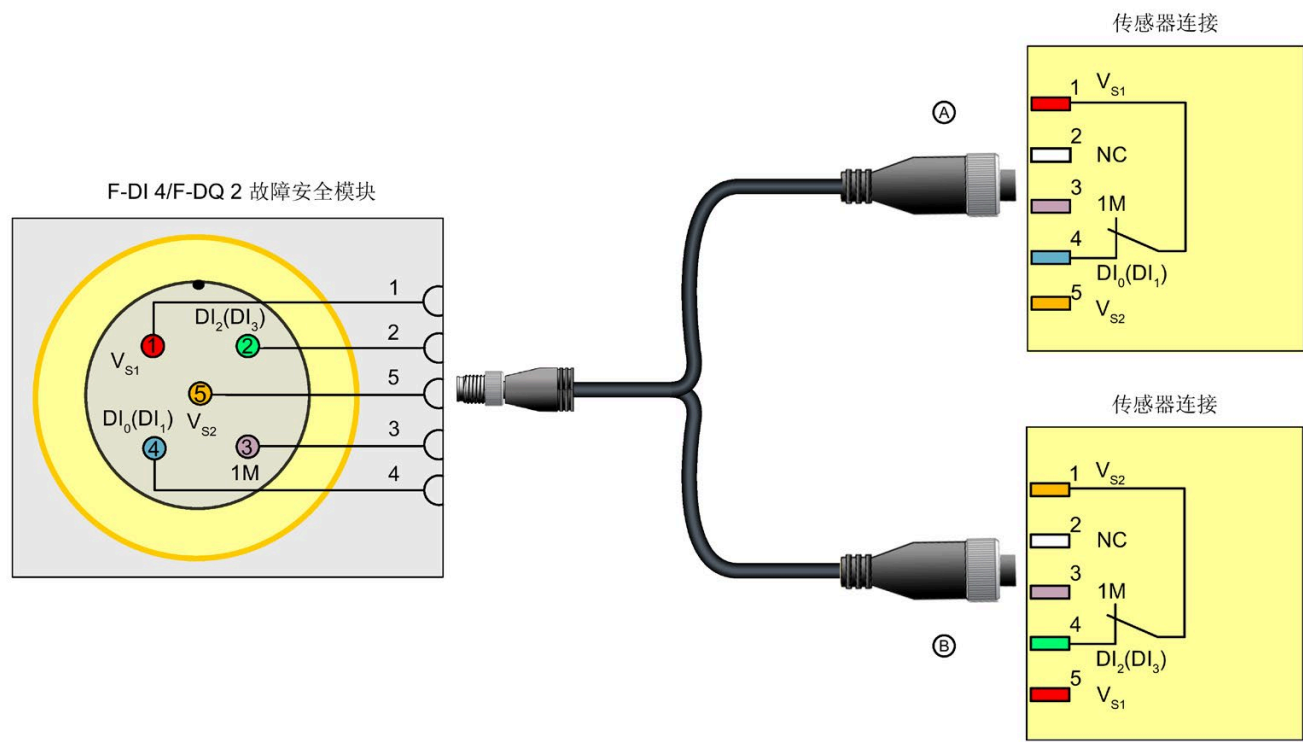


图 5-5 F-DI 应用模式 3：内部传感器电源（所示为两个单通道传感器的 1oo2 评估）

参数分配

参数名称	参数值
传感器评估	1oo2 评估，双通道对等
传感器电源	内部
短路测试	启用

F-DI 应用模式 4

此应用模式按 1oo2 表决使用双通道传感器或两个单通道传感器进行误差评估。当使用外部传感器电源时，模块不对通道做短路测试评估。

说明

若要将 F-DI 应用模式 4 结合到 SIL 3 等级应用中，需确保传感器为适当的合格设备。

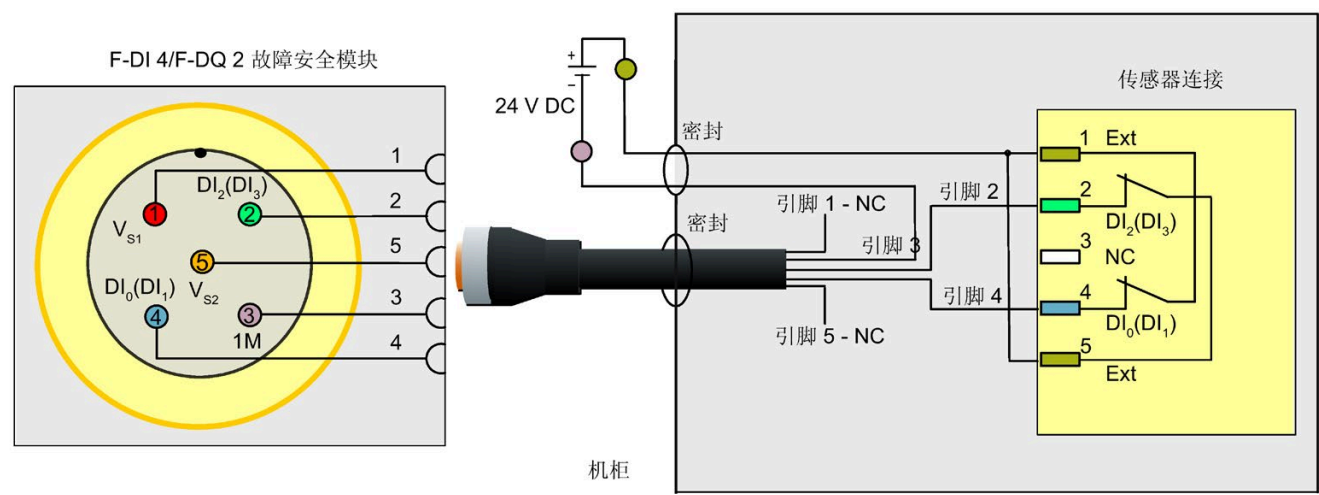


图 5-6 F-DI 应用模式 4：外部传感器电源（所示为双通道传感器的 1oo2 评估）

参数分配

参数名称	参数值
传感器评估	1oo2 评估，双通道对等
传感器电源	外部

5.1.3 应用 5 和 6：3 线制非对等传感器电路的 1oo2 评估

F-DI 应用模式 5

此应用模式按 1oo2
表决使用具有两个非对等输出的双通道传感器或两个单通道传感器进行误差评估。使用内部传感器电源时，可以成功执行短路检测。此应用模式使用下列引脚：

- 引脚 2（通道 2 和 3）是非对等组态的反相输入
- 引脚 4（通道 0 和 1）是非对等组态的反相输入

说明
若要将 F-DI 应用模式 5 结合到 SIL 3 等级应用中，需确保传感器为适当的合格设备。



图 5-7 F-DI 应用模式 5：内部传感器电源（所示为具有非对等输出的双通道传感器的 1oo2 评估）

在应用模式 5 中需使用 Y 型电缆 (6ES7194-6KA00-0XA0)，具体如下：

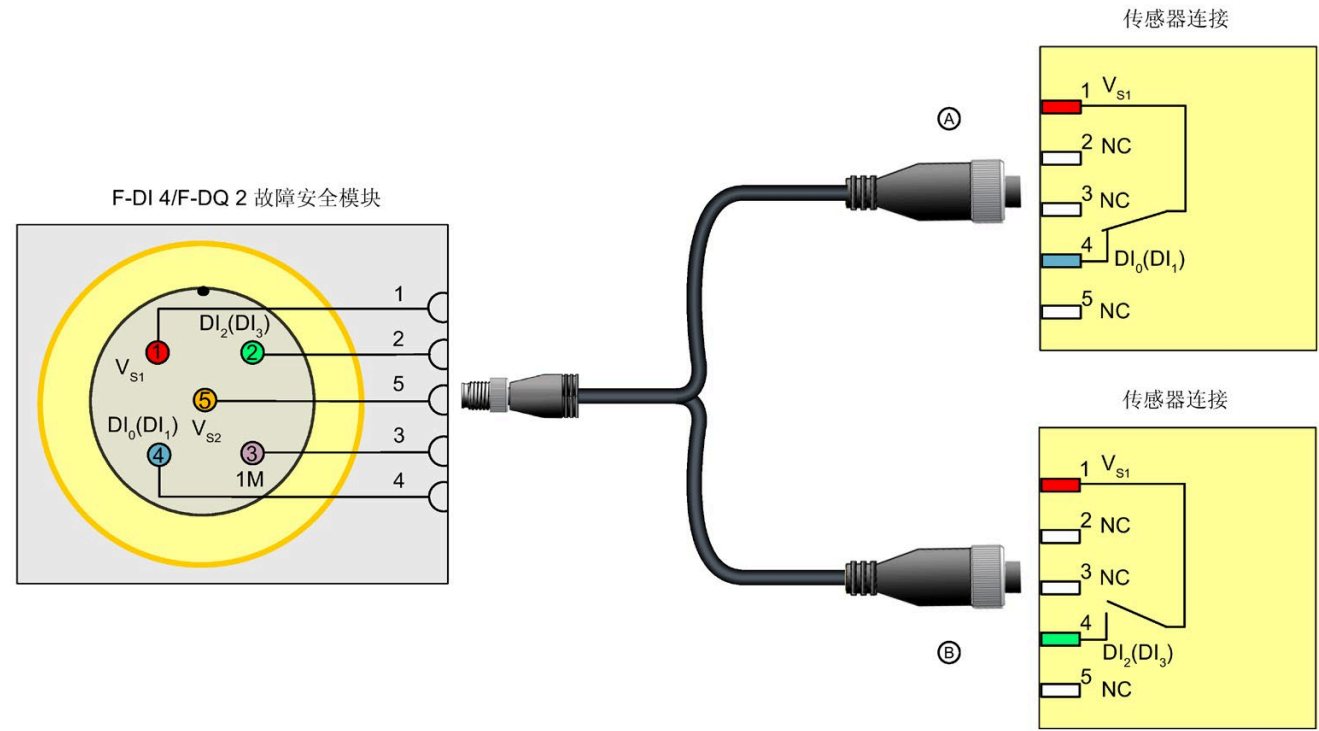


图 5-8 F-DI 应用模式 5：内部传感器电源（所示为两个具有非对等输出的单通道传感器的 1oo2 评估）

参数分配

参数名称	参数值
传感器评估	1oo2 评估, 2 通道 - 3 线制非对等
传感器电源	内部
短路测试	启用

F-DI 应用模式 6

此应用模式按 1oo2 表决使用具有两个非对等输出的双通道传感器或两个单通道传感器进行误差评估。当使用外部传感器电源时，模块不对通道做短路测试评估。此应用模式使用下列引脚：

- 引脚 2（通道 2 和 3）是非对等组态的反相输入
- 引脚 4（通道 0 和 1）是非对等组态的反相输入

说明

若要将 F-DI 应用模式 6 结合到 SIL 3 等级应用中，需确保传感器为适当的合格设备。

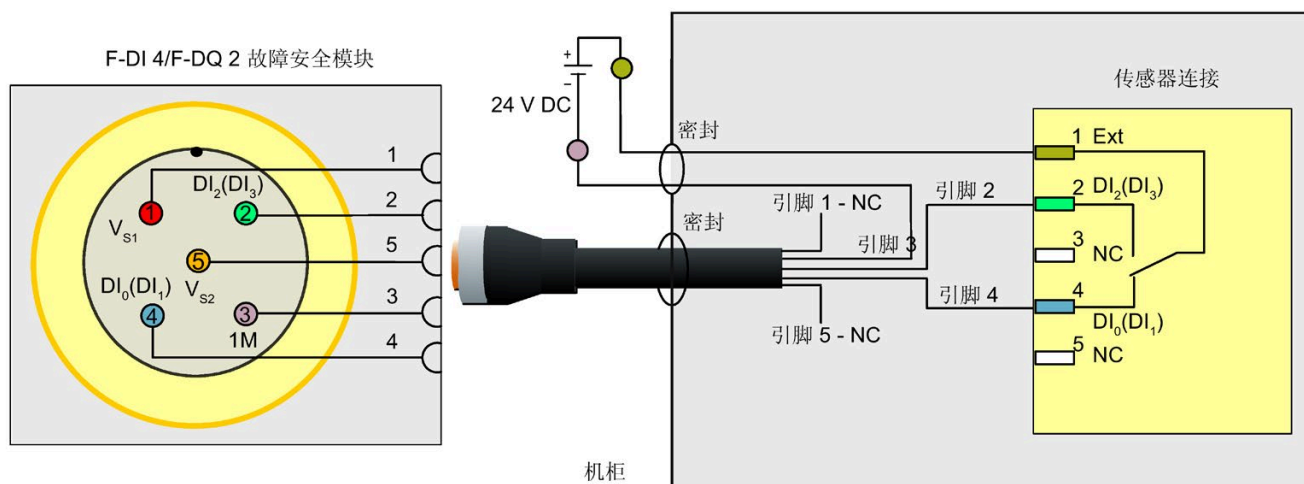


图 5-9 F-DI 应用模式 6：外部传感器电源（所示为具有非对等输出的双通道传感器的 1oo2 评估）

参数分配

参数名称	参数值
传感器评估	1oo2 评估, 2 通道 - 3 线制非对等
传感器电源	外部

5.1.4 应用 7 和 8：4 线制非对等传感器电路的 1oo2 评估

F-DI 应用模式 7

此应用模式按 1oo2 表决使用采用非对等组态（4 线制连接）的双通道传感器或两个单通道传感器进行误差评估。使用内部传感器电源时，可以成功执行短路检测。此应用模式使用下列引脚：

- 引脚 2（通道 2 和 3）是非对等组态的反相输入
- 引脚 4（通道 0 和 1）是非对等组态的反相输入

说明

若要将 F-DI 应用模式 7 结合到 SIL 3 等级应用中，需确保传感器为适当的合格设备。



图 5-10 F-DI 应用模式 7：内部传感器电源（所示为具有非对等输出的双通道传感器的 1oo2 评估）

在应用模式 7 中需使用 Y 型电缆 (6ES7194-6KB00-0XA0), 具体如下 :

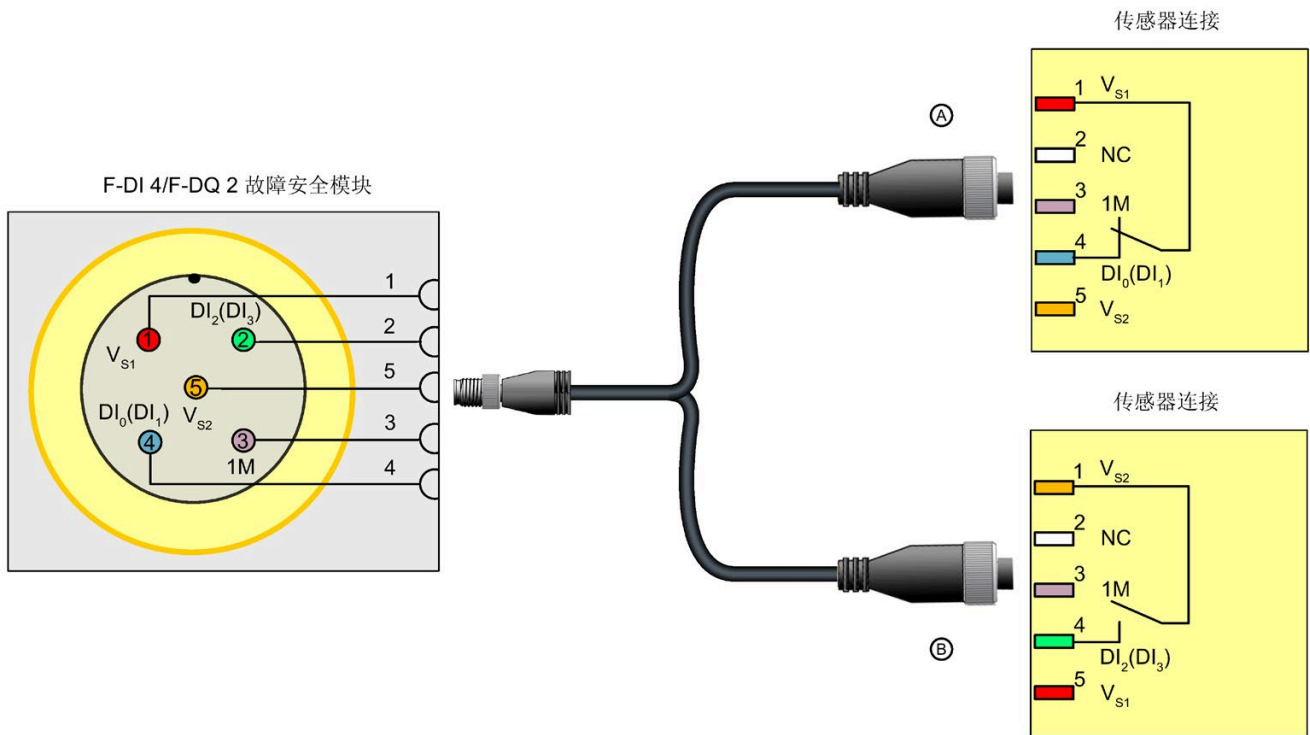


图 5-11 F-DI 应用模式 7 : 内部传感器电源 (所示为两个具有非对等输出的单通道传感器的 1oo2 评估)

参数分配

参数名称	参数值
传感器评估	1oo2 评估, 2 通道 - 4 线制非对等
传感器电源	内部
短路测试	启用

F-DI 应用模式 8

此应用模式按 1oo2

表决使用具有两个非对等输出的双通道传感器或两个单通道传感器进行误差评估。当使用外部传感器电源时, 模块不对通道做短路测试评估。此应用模式使用下列引脚 :

- 引脚 2 (通道 2 和 3) 是非对等组态的反相输入
- 引脚 4 (通道 0 和 1) 是非对等组态的反相输入

说明

若要将 F-DI 应用模式 8 结合到 SIL 3 等级应用中，需确保传感器为适当的合格设备。

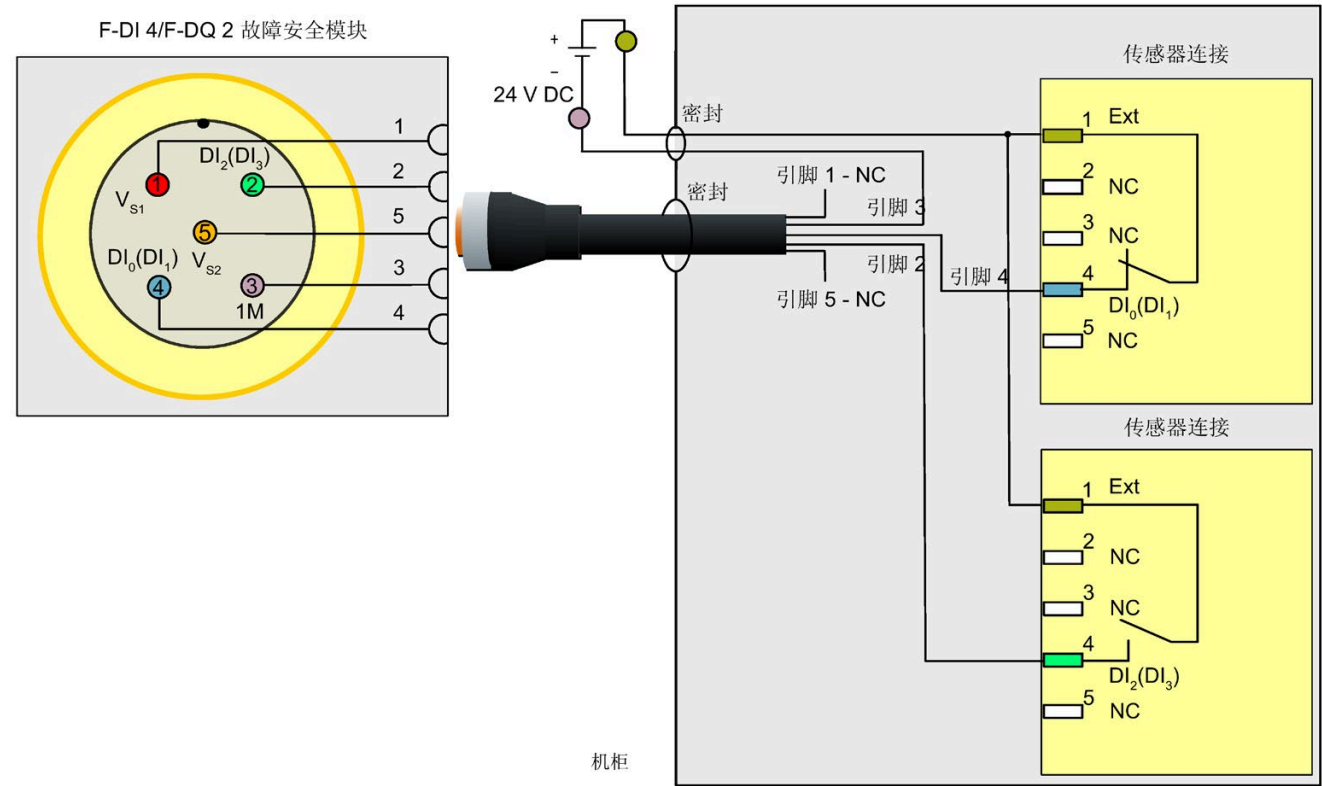


图 5-12 F-DI 应用模式 8：外部传感器电源（所示为具有非对等输出的两个单通道传感器的 1oo2 评估）

参数分配

参数名称	参数值
传感器评估	1oo2 评估，2 通道 - 4 线制非对等
传感器电源	外部

5.2 数字量输出应用

这里所示的应用模式应与概述中介绍的 F-DI 4/F-DQ 2

故障安全模块的功能结合到一起进行考量。请参见“故障安全数字量输出” (页 16)。

F-DI 4/F-DQ 2

故障安全模块数字量输出的主要功能包括以下项，以下各项适用于每个输出通道：

- 故障安全模块分别控制 P 输出和 M 输出的电流。
- 回读 P 和 M 输出上的电压以确认正确的状态。
- 使用短开关脉冲定期对 P 和 M 输出进行测试，以确认控制。

确保完成以下步骤：

- 组态回读时间，该回读时间应足够长，以允许通道的外部电压对过程值的变化以及位模式测试中应用的测试模式作出响应。但是，将回读时间组态得过长会导致负载在关断测试期间对应用的测试模式产生物理响应。
- 验证数据表中描述的内部电流限制是否足够与 24 V DC 电源一起使用。要考虑是否需要额外的电流限制或熔断。请参见系统手册 (<https://support.industry.siemens.com/cs/cn/zh/view/89254965>) 《ET 200AL 分布式 I/O 系统》中的“规范”和“连接”部分。

模块按 1oo2 交叉诊断控制所有输出通道。

除非禁用了关断测试，否则显示的所有应用都能够达到 SIL 3/类别4/性能等级 e。

要达到类别4，请确保满足以下条件：

- 已启用关断测试。
- 外部接触器带有感测触点，可达到 SIL 额定等级。
- 回读感测触点并确认程序中的外部接触器响应时，诊断在限制范围内。西门子建议将 F-DI 输入用于感测触点和其它安全诊断输入。

5.2 数字量输出应用

用于达到完整性安全等级 (SIL)/类别/性能等级 (PL) 的输出架构

以下是满足相应安全要求必须达到的最低条件：

表格 5-2 完整性安全等级 (SIL)/类别/性能等级 (PL) 要求

应用	执行器连接类型	可达到的 SIL/类别/性能等级	
		关断测试已禁用	关断测试已启用
1	直连 SIL 级执行器	2/3/d	3/4/e
2	外部接触器：独立的 P 和 M 控制接触器	2/3/d	3/4/e
3	外部接触器：P 和 M 之间的并联接触器	2/3/d	3/4/e
4	外部接触器：每个接触器的独立输出 通道	2/3/d	3/4/e

有关连接器引脚分配的更多信息，请参见“Pin assignment (页 21)”。

有关启用和禁用关断测试的更多信息，请参见“DQ 参数 (页 36)”中的“禁用关断测试（最高 SIL 2，类别 3，性能等级 d）”。

5.2.1 应用 1：直连 SIL 级执行器接线

此模块支持应用模式 1，即在一个通道上的 P 和 M
输出之间直接连接负载。当对负载断电时，两个开关都断开。

说明

如果各通道都未组态为禁用关断测试，则该组态可达到 SIL 3/类别4/性能等级 e。

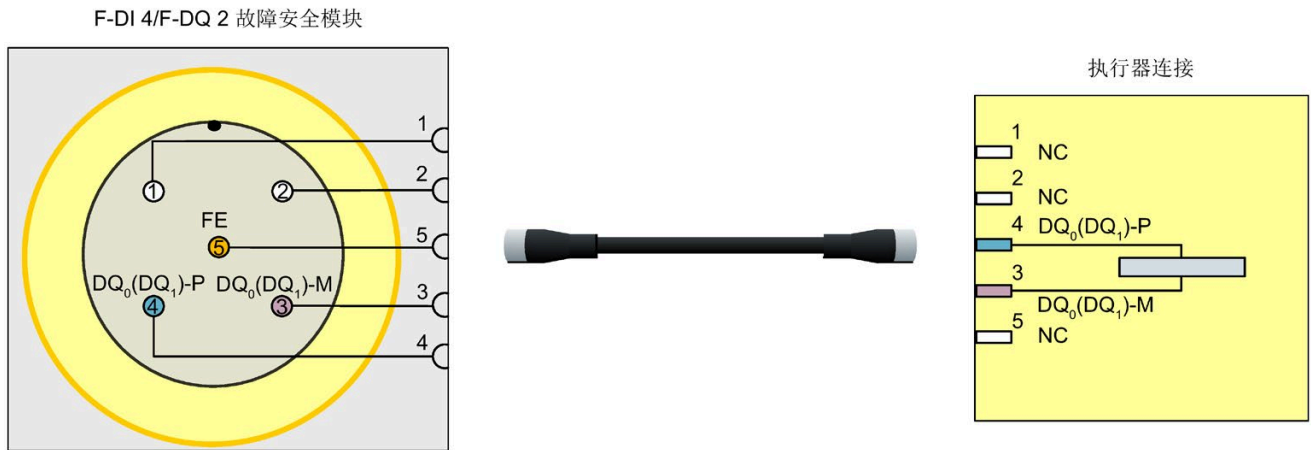


图 5-13 F-DQ 应用模式 1

5.2.2 应用 2：外部接触器接线：独立的 P 和 M 控制接触器

该模块支持应用模式

2，此模式中模块使用两个继电器的串联常开触点控制负载。一个继电器的线圈连接一个通道的 P 输出和 M。另一个继电器的线圈连接同一通道的 M 输出和 L+。

说明

若满足下列条件，该组态可达到 SIL 3/类别4/性能等级 e：

- CPU 使用独立的数字量输入检查继电器状态（反馈）。
- 对接线进行了充分保护，可防止 P 输出对 L+ 短路以及 M 输出对 M 短路。如果两种故障同时发生，CPU 将无法关闭执行器。
- 没有为任何一个输出禁用关断测试。

5.2 数字量输出应用

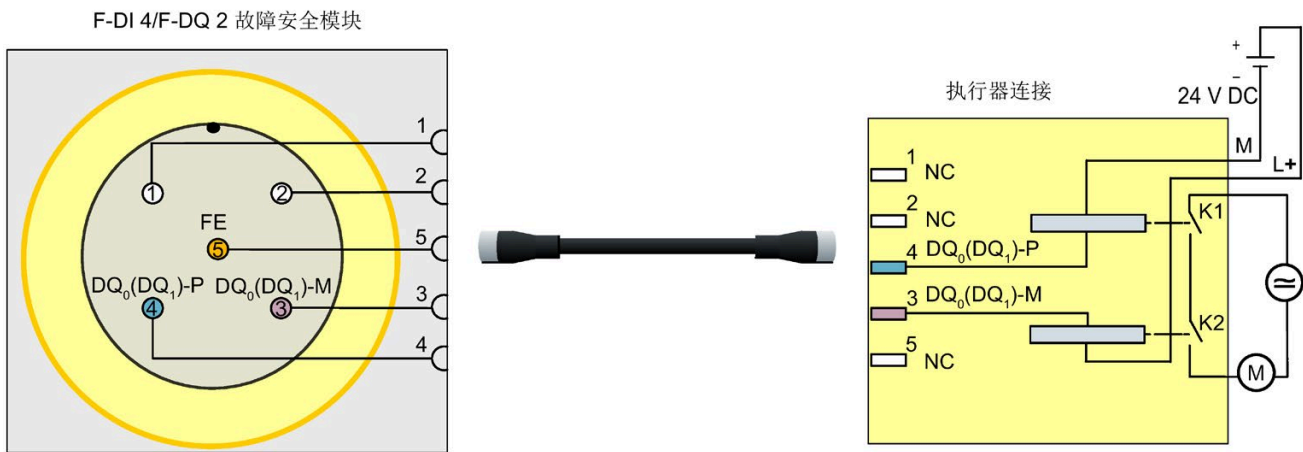


图 5-14 F-DQ 应用模式 2

5.2.3 应用 3：外部接触器接线：P 和 M 之间的并联接触器

该模块支持应用模式
3，此模式中模块使用两个继电器的串联常开触点控制负载。将两个继电器的线圈并联在一个通道的输出上。

说明

如果CPU
使用单独的数字量输入检查继电器状态（反馈），以及各通道都未组态为禁用关断测试，则该组态可达到 SIL 3/类别 4/性能等级 e。

应用模式 3 是在安全相关应用中使用继电器控制执行器的首选方式。应用模式 3 可以避免出现应用模式 2 中提到的关于 P 和 M 输出短路的问题。

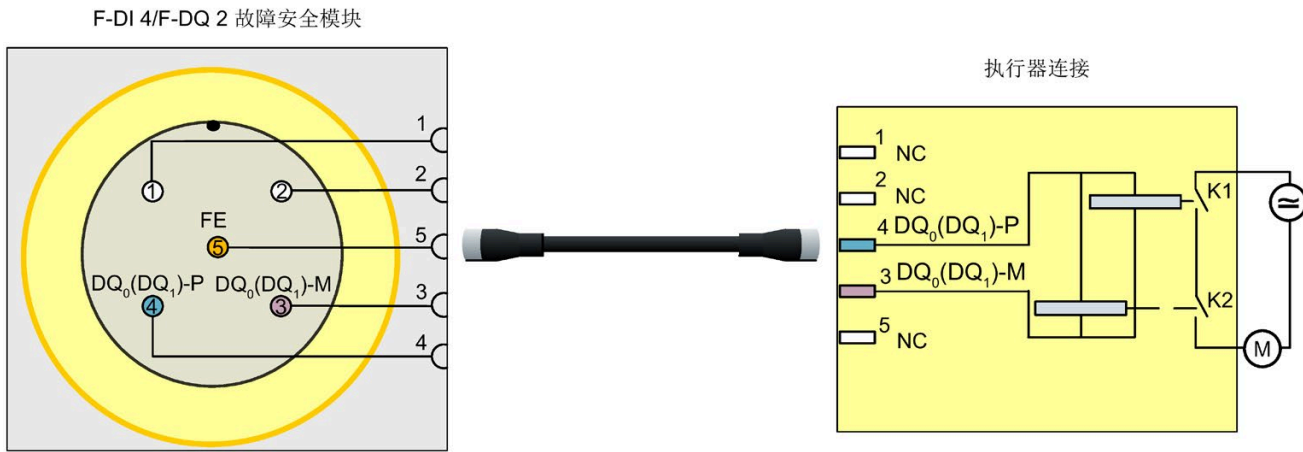


图 5-15 F-DQ 应用模式 3

5.2.4 应用 4：外部接触器接线：每个接触器的独立输出通道

该模块支持应用模式

4，此模式中模块使用两个继电器的串联常开触点控制负载。将两个继电器的线圈并联连接在两个通道的输出上。在安全程序中，向两个输出通道写入相同的过程值（ON 或 OFF）。

说明

如果CPU

使用单独的的数字量输入检查继电器状态（反馈），并且各通道都未组态为禁用关断测试，则该组态可达到 SIL 3/类别 4/性能等级 e。

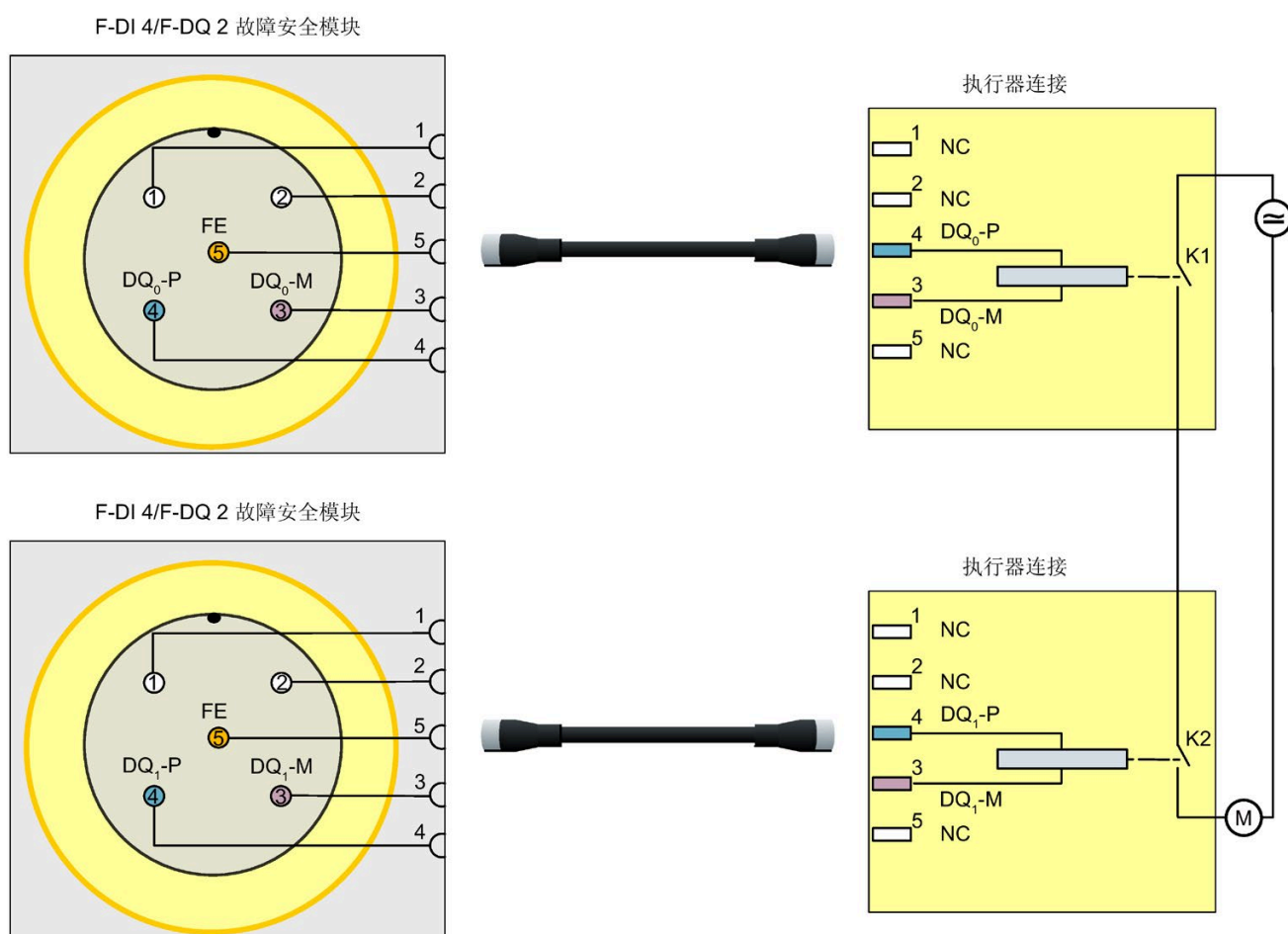


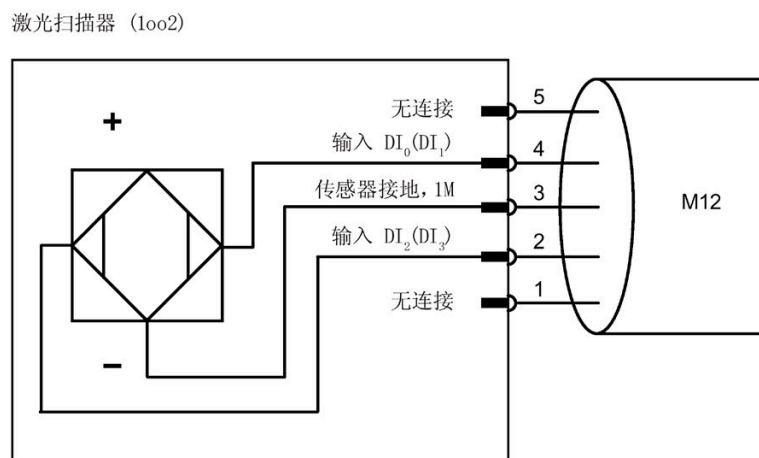
图 5-16 F-DQ 应用模式 4

5.3 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的应用模式示例

可将现场设备连接至 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块，如下所示。

激光扫描器（1oo2 评估）

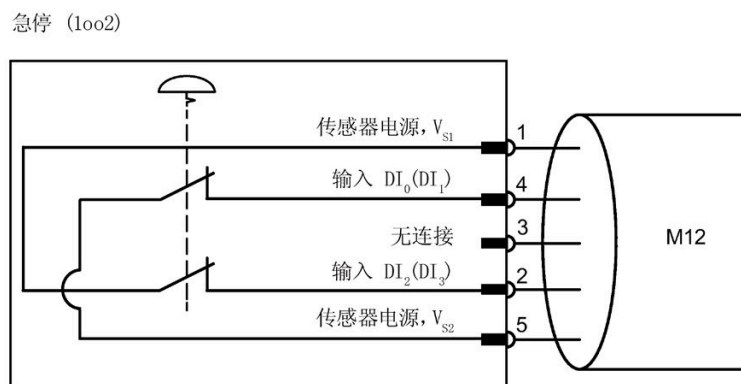
对于激光扫描仪的输出信号开关设备 (OSSD) 传感器，使用 F-DI 应用模式 4 按 1oo2 评估方式将激光扫描仪输出信号开关设备连接至 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块：



或者，使用 F-DI 应用模式 3 禁用两个传感器电源的参数“短路测试”(Short-circuit test)。

ESTOP（急停）（1oo2 评估）

对于急停，使用 F-DI 应用模式 3 按 1oo2 评估方式将急停设备连接至 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块：

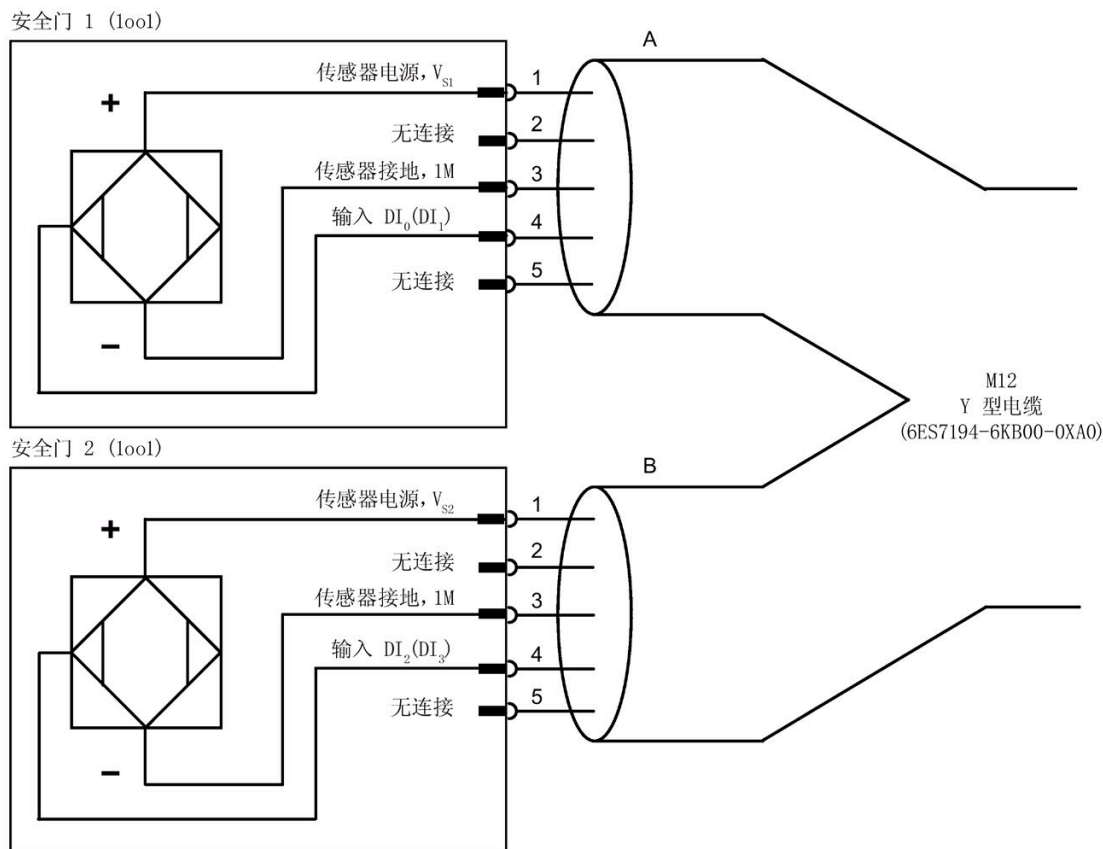


或者，在需要对 ESTOP 设备进行非对等评估的情况下，使用 F-DI 应用模式 5 或 7。

安全门（1oo1 或 1oo2 评估）

对于安全门，可以按以下步骤之一进行操作：

- 在 F-DI 应用模式 1 下使用故障安全 Y 型电缆 (6ES7194-6KB00-0XA0) 按 1oo1 评估方式将两个单通道传感器连接至 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的一个输入连接。
- 采取 F-DI 应用模式 3（1oo2 评估）在相同安全门处使用两个单通道传感器。



或者，在 F-DI 应用模式 5 下使用故障安全 Y 型电缆 (6ES7194-6KA00-0XA0) 按 1oo2 评估方式连接同一安全门处的两个非对等单通道传感器。

互锁型安全位置开关（1oo2 评估）

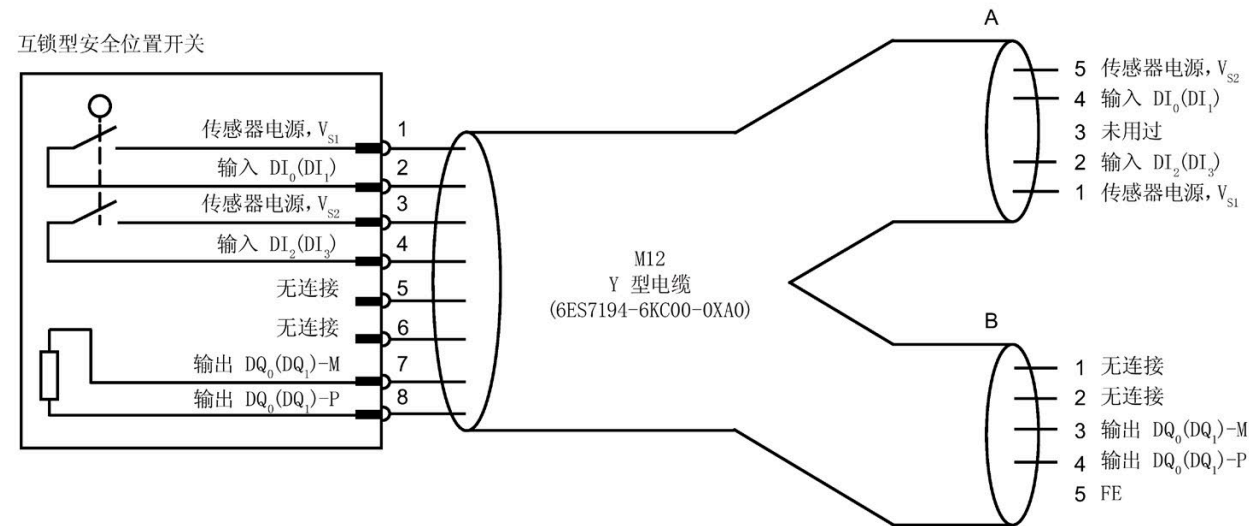
使用 F-DI 应用模式 3 和 F-DQ 应用模式 1 将互锁型安全位置开关连接至 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块。

5.3 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的应用模式示例

对于互锁型安全位置开关使用倒置 Y 型电缆 (6ES7194-6KC00-0XA0)。倒置 Y 型电缆旨在将故障安全模块 F 输入和 F 输出正确连接至安全位置开关。

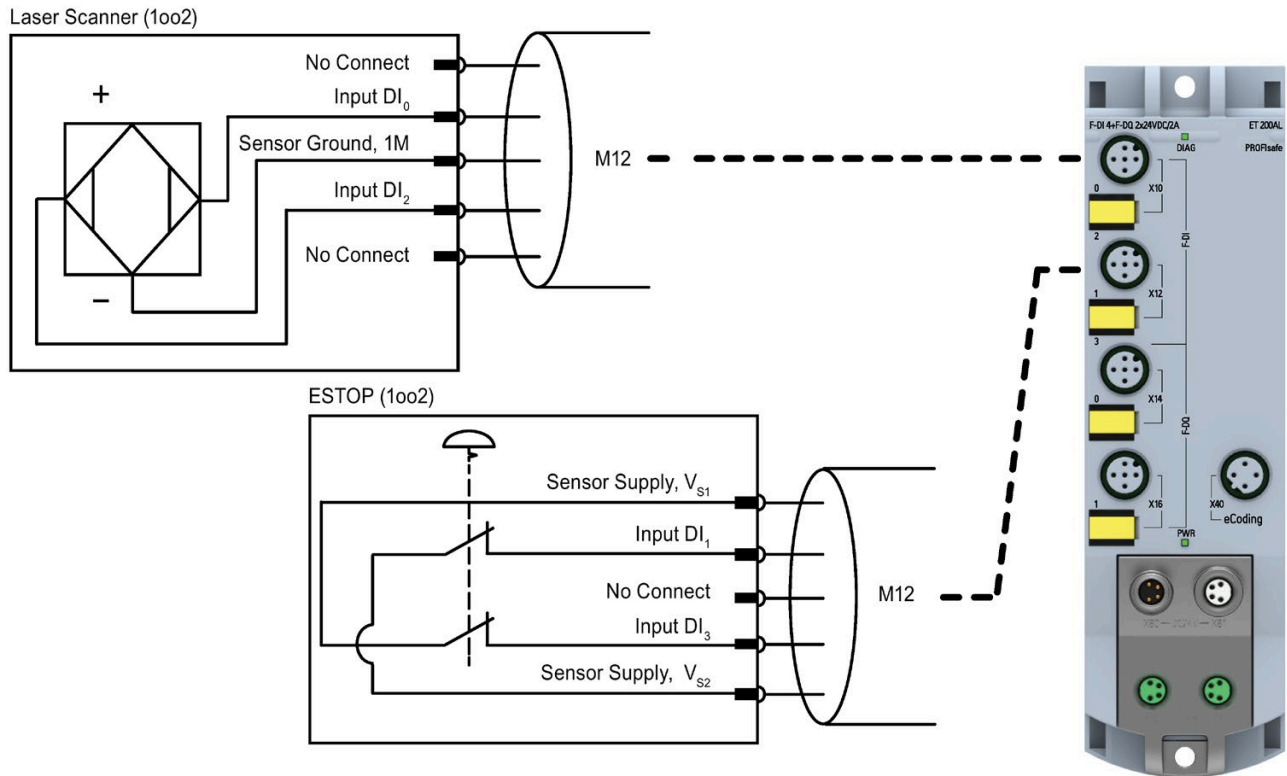
说明
如果各输出通道都未组态为禁用关断测试，则该组态可达到 SIL 3/类别4/性能等级 e。

说明
若要将此应用结合到 SIL 3 等级应用中，需确保传感器为适当的合格设备。在 SIRIUS 文档中定义了 SIL 3 或 SIL 2 的系统性能力准则。有关更多信息，请参见 Internet (<https://support.industry.siemens.com/cs/cn/zh/view/43920150/en>) 上的《工业控件，检测设备 SIRIUS 3SE5/3SF1/3SE66/3SE67 位置开关组态手册》。

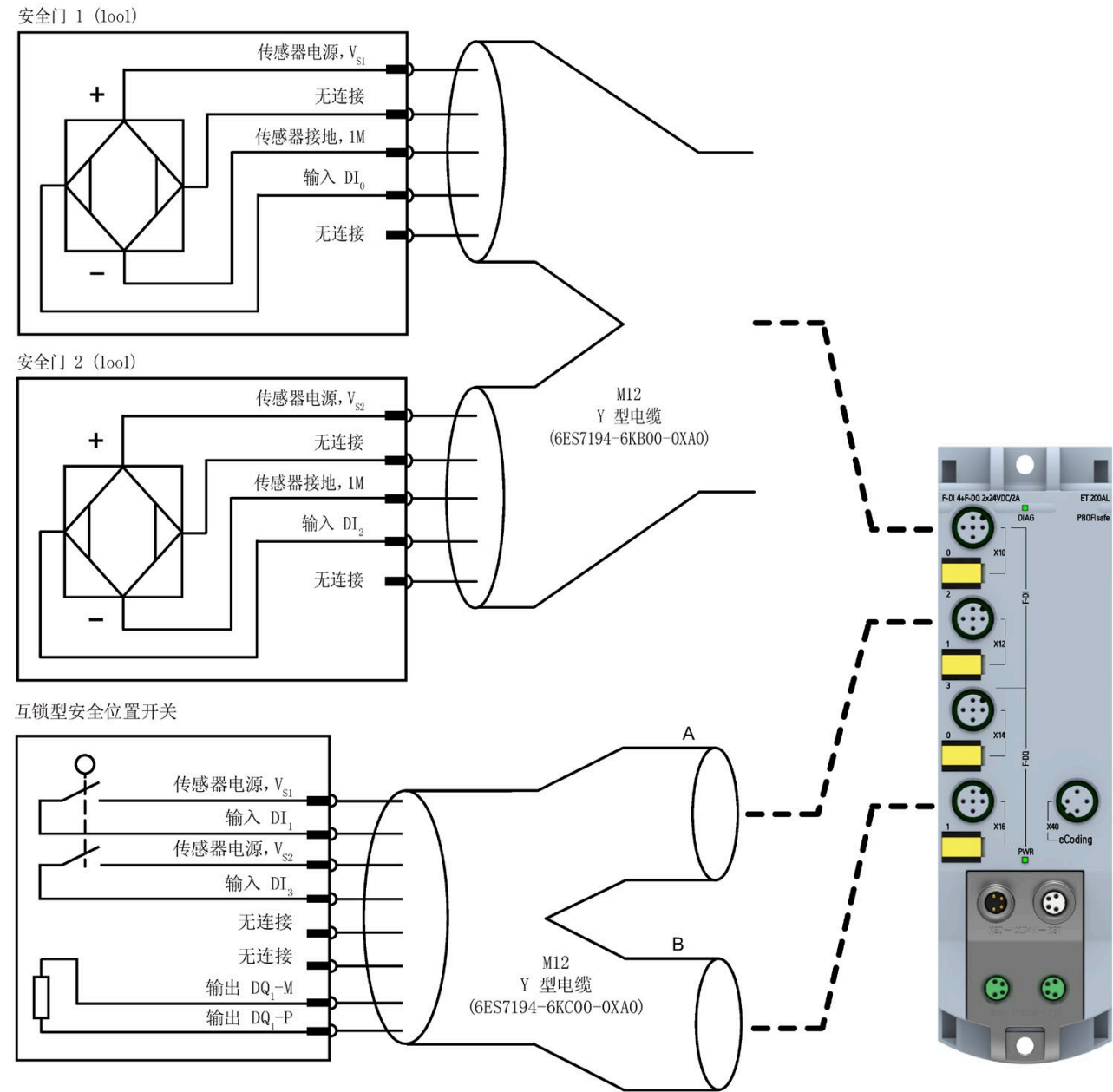


将设备连接到 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块

下图所示示例为现场设备连接到 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的输入和输出插座的情况。



5.3 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的应用模式示例



中断/诊断消息/诊断

6.1 对故障的响应

对故障安全系统启动和故障的响应

故障安全概念基于对所有过程变量安全状态的标识。值“0”（断电）表示数字量故障安全模块的安全状态。这适用于传感器和执行器。

安全功能要求在以下情况下将安全状态值而不是过程值应用于故障安全通道（故障安全模块或通道的钝化）：

- 当故障安全系统启动时
- 如果检测到模块故障，例如 RAM 或处理器故障
- 如果故障安全 CPU 和故障安全模块之间通过 PROFIsafe 安全协议进行安全相关的通信时检测到错误（通信错误）
- 如果模块通道出现故障（例如，短路和误差错误）

故障安全 CPU 会将检测到的系统故障相关信息输入到诊断缓冲区中。

自动模式措施和 PROFIsafe 协议可确保在系统检测到故障的情况下设置安全状态。

故障安全模块重启后不会保留错误。当系统断电然后重新启动时，模块将再次检测所有仍存在的故障。永久失效故障对此是个例外，例如“持续过电压”。

故障安全模块的故障安全值

如果数字量输入通道钝化，则故障安全系统通常为安全程序提供安全状态值（“0”），而不是提供适用于故障安全输入的过程值。

当在故障安全模块数字量输出中钝化数字量输出通道后，故障安全系统通常将安全状态值“0”而不是由安全程序提供的输出值发送到故障安全输出。输出通道将断电。

在 CPU STOP 模式下，若已断电，钝化安全状态值和输出状态值始终为“0”。不能为钝化或 STOP 模式选择或编程默认的“接通”状态。

6.1 对故障的响应

当检测到特定于通道的诊断故障时，将钝化应用于各个通道。可能影响整个模块的故障会导致所有通道钝化。

说明

在“F-DI 4/F-DQ 2 属性 > F 参数 > 通道发生故障后的行为”(F-DI 4/F-DQ 2 Properties > F-parameters > Behavior after channel fault) 字段中，如果选择“钝化整个模块”(Passivate the entire module)，则单通道发生故障时将导致所有通道钝化。

PROFIsafe 消息超时（超过 F 监视时间）会导致所有模块通道钝化。

表格 6-1 模块信号类型和钝化结果

模块信号类型	钝化结果
故障安全数字量输入	- 对每个通道进行测试评估，以便对有缺陷的输入进行通道级钝化。 - 如果 1oo1 组态的通道出现故障，可能仅钝化受影响的通道或所有通道（取决于组态）。对于 1oo2，将钝化 1oo2 组态中通道组的两个输入。
故障安全数字量输出	- 对每个通道进行测试评估，以便对有缺陷的输出进行通道级钝化。 - 对通道的两个开关分别执行诊断评估。根据组态情况，一个开关的故障检测可能导致仅受影响通道钝化或所有通道钝化。

对故障安全系统中的故障的响应

应为系统准备维护程序，以确保在检测到的故障得到控制并进行记录后恢复操作。

执行以下步骤：

1. 诊断和修复故障
2. 重新验证安全功能
3. 在维护报告中记录

重新集成故障安全模块

成功进行诊断、确定故障已清除后，可重新集成通道或模块。

可以将重新集成组态为自动或手动。可在设备组态中基于通道进行选择。模块范围错误（例如 PROFIsafe 通信错误或电源电压错误）始终手动进行重新集成。致命诊断错误需要通过成功诊断重启，以实现重新集成。

自动

清除故障后，选择自动进行重新集成的通道将立即重新集成。

手动

清除故障后，选择手动进行重新集成的通道将在程序中进行确认。

该模块的“ACK_REQ”位是正确的，表明可进行重新集成。“ACK_REQ”位为 True 后，程序可将“ACK_REI”位置 1，以便重新集成该模块中所有已准备好重新集成的通道。

还可以使用“ACK_GL”指令的“ACK_REI_GLOB”输入确认 F 运行系统组中的所有故障。

高压事件后重新集成

高温、高压或过大的电流应力可能损坏电子元件，虽然组件看起来继续按预期运行，但可靠性会降低。钝化不会消除高环境温度或高外加电压可能造成的损坏效应。过高的电流会在保护设备激活之前便损坏固态开关输出。PFD 和 PFH

可靠性计算假设故障安全模块在其指定的操作参数下运行。当模块已经由于高压事件而钝化时，尽管模块似乎可以正常工作并通过所有诊断，但未来发生危险故障的概率可能会增加。

警告

可能会在仍存在一些模块诊断无法轻易检测的故障时重新集成通道或模块。

重新集成存在故障的系统可能造成意外的机械操作或过程操作，进而导致人员死亡或严重伤害和/或设备损坏。

报告任何错误后，应执行本章中以及适用于您系统的安全标准中归纳的步骤，以确保在重新集成之前完全了解并更正故障。

有关模块故障的准确列表，请参见“故障类型、原因以及纠正措施 (页 79)”。

6.1 对故障的响应

重新集成时，将发生以下情况：

- 对于故障安全模块数字量输入，会再次为安全程序提供在故障安全输入上待处理的过程值。
- 对于故障安全模块数字量输出，安全程序中所提供的输出值将会被再次传送给故障安全输出。

安全维修时间

用于 PFH 和 PFD 计算的维修时间为 100 小时。

钝化的目的是在发生单一故障时提供安全功能的安全状态。当通道已钝化且仍有能量供通道使用时，可能出现其它故障导致安全功能发生危险故障的情况。应在 100 小时内维修故障或使钝化的通道停止运行，以此响应钝化，从而保持系统的安全完整性等级。

未对失效的故障安全 I/O 进行诊断并且在无警告情况下发生危险故障。

如果有任何错误存在超过 100 小时，则整个模块都会钝化，且只能通过重启恢复。

如果不可能在 100

小时内修复，应通过物理隔离或断开电路停止钝化故障安全输出，使能源供应不会因故障安全模块中的故障而应用于负载。要使处于运行状态的 PLC 系统中的输入通道停止工作，需将任何对已钝化故障安全输入的引用从任何处于运行状态且会激活安全功能输出的 F-CPU 安全程序逻辑中移除。

通过通道或模块钝化的方式保持安全状态的时长不得超过 100 小时。

在任何情况下都不应当依赖于组态缺乏或失效来保持安全状态。

警告

意外激活带有故障安全输出的 F-I/O 模块

如果故障安全输出钝化的时间长于安全维修时间（> 100 小时），且故障仍未得到修复，则需要注意 F 输出可能因二次故障而被意外激活。这将使 F 系统处于危险状态。

即使发生此类硬件故障的概率极低，仍必须通过采用相应的物理电路措施或其它组织级措施来防止故障安全输出意外激活。一种可能的措施是将受影响 F 模块的电源断开。对于采用定义的设计和降低风险原则的操作，通常需要采取标准化的措施。对于所有其它情况，必须定义和批准必要的措施。

有关钝化和重新集成的其它信息

有关故障安全模块访问的详细信息，请参见 Internet
(<https://support.industry.siemens.com/cs/cn/zh/view/54110126/en>)
上的编程与操作手册《SIMATIC Safety - 组态和编程》。

6.2 故障诊断概述

通过诊断操作检测可能影响安全相关 I/O 完整性的故障。故障可存在于故障安全模块、与 CPU 的通信或外部电路中。诊断信息将分配给单个通道或分配给整个故障安全模块。

大多数诊断操作无需用户选择即可进行。可组态以下诊断选项：

- 可以启用使用数字量输入传感器电源的短路测试。短路测试的间隔和持续时间可组态。
- 24 V DC 数字量输出的回读次数可组态。
- 安全通信中的故障或待运行安全程序的故障的超时间隔可组态。
- 可以禁用数字量输出的关断测试（最高 SIL 2，类别3，性能等级 d）。

有关这些选项的完整介绍，请参见“参数/地址空间 (页 27)”。

诊断操作的安全关键型和有效型措施用于在检测到故障后钝化 I/O。如果通过 LED 显示屏和诊断消息报告状态和诊断结果，会受到电子装置或软件中单点故障的影响。这些报告是作为维护和调试辅助工具提供的。仔细观察和解释报告。

如果存在单一故障，则任何或所有 LED 指示都可能是错误的。不应仅依靠是否存在红色或绿色 LED 指示灯来制定安全决策。

如果存在单一故障，则可能无法传送诊断消息，或者数字事件 ID 或文本消息可能是错误的。不应仅依靠诊断报告是否存在或者诊断报告的内容来制定安全决策。

 警告

通过 LED 和文本消息显示的诊断和状态报告容易出现单点故障错误。
依靠这些报告的信息来确定系统或 I/O 点处于安全控制状态，可能导致死亡、严重的人身伤害或财产损失。
如果对故障安全系统的完整性有疑问，则应采取其它措施（例如受限访问或断电）来控制维护和调试活动中的危险情况。

6.3 启动时执行诊断

每个故障安全模块在启动时会执行自我诊断，确保电子设备和软件达到测试要求，然后才会允许模块参与过程控制。如果测试不成功，则该模块将钝化个别通道或所有通道。

除了内部测试外，某些测试还会在端子上产生信号变化。

上电时从故障安全 CPU 接收到组态参数后，F-DI 4/F-DQ 2

故障安全模块会根据“最大回读时间”和“接通测试的最大回读时间”组态参数定义的内容执行 P 和 M 开关的数字量输出测试。P 和 M

开关开启测试按顺序排列，以便在正常或检测到单个故障时，不会出现整个 PM 电路应用到负载上的情况。

F-DI 4/F-DQ 2

故障安全模块在启动时执行传感器电源数字量输入测试，包括开启和关闭脉冲，无论是否已在组态中启用传感器电源或短路测试。如果组态中包括短路测试，则在上电后从故障安全 CPU 接收到参数后，模块还将根据组态的参数执行短路测试。

6.4 通过 LED 指示灯进行诊断

LED 指示灯的含义

下表列出了状态和错误指示灯的含义。有关诊断报警的补救措施，请参见故障类型、原因和纠正措施 (页 79)部分。

PWR LED 指示灯

表格 6-2 PWR LED 指示灯的含义

PWR	含义
 熄灭	负载电压 2L+ 缺失或电源电压 1L+ 过低或不存在
 绿色点亮	负载电压 2L+ 可用

DIAG LED

表格 6-3 DIAG LED 指示灯的含义

DIAG LED	含义
 熄灭	无电源电压 1L+
 闪烁绿色	尚未接收到组态/参数设置，且未进行模块诊断
 交替闪烁 红色/绿色	模块级可重新集成的故障（例如以下问题）已解决，正在等待重新集成： • 过压 • 欠压 • PROFI-safe CRC 错误 • PROFI-safe 超时错误
 绿色点亮	已分配模块参数但没有进行模块或通道诊断
 闪烁红色	• 模块诊断和/或一个或多个通道诊断 • 模块的硬件和/或固件版本不一致

1oo1 输入通道的通道 LED 指示灯

表格 6-4 1oo1 输入通道的通道 LED 指示灯的含义

DIAGInput LED 指示灯	含义
 熄灭	过程信号 = 0
 绿色点亮	过程信号 = 1
 亮红色	通道故障或影响通道的模块故障
 交替闪烁 红色/绿色	故障已解决，等待重新集成

1oo2 输入通道的通道 LED 指示灯

表格 6-5 1oo2 输入通道的通道 LED 指示灯的含义

主要输入 LED	次要输入 LED	含义
 熄灭	 熄灭	过程信号 = 0（等效）
 绿色点亮	 绿色点亮	过程信号 = 1（等效）
 熄灭	 绿色点亮	过程信号 = 0（非等效）
 绿色点亮	 熄灭	过程信号 = 1（非等效）
 亮红色	 亮红色	通道故障或影响通道的模块故障
 交替闪烁 红色/绿色	 交替闪烁 红色/绿色	故障已解决，等待重新集成

6.4 通过 LED 指示灯进行诊断

输出通道的通道 LED 指示灯

表格 6- 6 输出通道的通道 LED 指示灯的含义

输出 LED 指示灯	含义
 熄灭	过程信号 = 0 或通道已禁用
 绿色点亮	过程信号 = 1
 亮红色	通道故障或影响通道的模块故障
 交替闪烁 红色/绿色	故障已解决，等待重新集成

6.5 故障类型、原因和纠正措施

下表“故障类型、原因和纠正措施”列出了 F-DI 4/F-DQ 2

故障安全模块的消息。这些消息显示在 TIA Portal 中的“在线和诊断 > 诊断 >

诊断缓冲区”(Online & diagnostics > Diagnostics > Diagnostic buffer)

下。当突出显示诊断缓冲区中的单个文本行时，将显示该文本项的事件

ID，以及生成消息的模块标识和位置。可能需要展开窗口以查看所有信息。

表格 6-7 故障类型、原因和纠正措施

事件 ID	诊断消息	F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块	说明	可能的原因	纠正措施 ¹
16x0001	短路	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输出	在 P 端子或 M 端子处于非预期电位的位置检测到通道问题	- 输出短路 - 不同信号的通道之间短路 - 输出过载 - 组态的“接通测试的最大回读时间”值过小 - 输出到 M 短路 - 输出驱动器有故障	- 消除短路 - 消除过载 - 允许的情况下，增加“接通测试的最大回读时间” - 更换故障安全模块
16x0005	过热	模块	- 微控制器过热 - I/O 过热	由于模块箱内的温度超出上限值而关闭	检查环境温度。消除故障后，关闭电源后再接通
16x0006	断线	模块	断线故障。 当以下各项均为真时，模块可检测断线： - 通道使用 PM 负载进行接线 - PV=0 - 已启用断线诊断	输出已激活： - 没有负载连接到 PM 输出 - 在输出应用模式 2 下连接输出 - 检测到的负载过小	- 改变输出负载特性 - 取消激活未使用的通道 - 禁用故障通道的断线诊断

6.5 故障类型、原因和纠正措施

事件 ID	诊断消息	F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块	说明	可能的原因	纠正措施 ¹
16x0009	硬件版本不匹配	模块	- 模块检测到硬件不匹配 - DIAG LED 呈红色闪烁		更换模块
16x0010	参数化故障（无效参数）	模块	模块接收到新参数后，将检查是否存在参数故障。检测到无效参数后，模块将保持已组态状态并向故障安全 CPU 发出拒绝故障参数的信号。模块 LED 会立即指示此故障。	- i-参数 CRC 错误 - i-参数无效（例如：选项无效、参数超出范围、不支持所选功能和保留字段的值错误） - 由 PROFIsafe 驱动程序检测的所有 PROFIsafe 参数化问题	纠正参数分配
	参数化故障（地址分配故障）	模块	- 检测到指示硬件故障的地址分配故障后，模块将进入严重错误状态。 - 如果 F 参数提供的地址验证信息不同于先前分配给模块的地址验证信息，则模块将执行此故障响应	- 指示将不正确的 F 地址分配给了一个或多个模块 - 缺失 E 型插头	- 重新插入 E 型插头 - 使用 STEP 7 (TIA Portal) 重新分配 PROFIsafe F 地址 - 更换 E 型插头

6.5 故障类型、原因和纠正措施

事件 ID	诊断消息	F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块	说明	可能的原因	纠正措施 ¹
16x0040	安全目标地址不匹配 (F_Dest_Add)	模块	PROFIsafe 驱动程序检测到目标地址不匹配。在接收新参数后进行检查。	- 使用其他插头更换了 E 型插头 - E 型插头故障 - 作为硬件配置的一部分，下载了错误的 F 源地址	- 使用 STEP 7 (TIA Portal) 重新分配 PROFIsafe F 地址 - 更换 E 型插头 - 更正硬件配置中的 F 目标地址并重新下载
16x0041	安全目标地址无效 (F_Dest_Add)	模块	PROFIsafe 驱动程序检测到无效的目标地址。在接收新参数后进行检查。	- 使用其他插头更换了 E 型插头 - E 型插头故障	- 使用 STEP 7 (TIA Portal) 重新分配 PROFIsafe F 地址 - 更换 E 型插头
16x0042	安全源地址无效 (F_Source_Add)	模块	PROFIsafe 驱动程序检测到源地址不匹配或无效源地址。在接收新参数后进行检查。	- 使用其他插头更换了 E 型插头 - E 型插头故障 - 作为硬件配置的一部分，下载了错误的 F 源地址	- 使用 STEP 7 (TIA Portal) 重新分配 PROFIsafe F 地址 - 更换 E 型插头 - 更正硬件配置中的 F 源地址并重新下载
16x004B	iParameters 不一致 (iParCRC 错误)	模块	F 模块的固件检测到 CRC 错误。	- F-CPU 与 F 模块之间的通信中断 - 出现了超高电磁干扰	- 检查 F 模块与 F-CPU 间的 PROFINET 通信 - 消除电磁干扰 - 关闭和接通站的电源 - 使用 STEP 7 (TIA Portal) 重新分配 PROFIsafe F 地址

6.5 故障类型、原因和纠正措施

事件 ID	诊断消息	F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块	说明	可能的原因	纠正措施 ¹
16x004D	PROFIsafe 通信错误 (CRC)	模块	数据消息帧中的传输错误：数据不一致 (CRC (循环冗余校验) 错误)。在接收新输出电报后进行检查。	故障安全 CPU 和故障安全模块之间发生通信干扰 (例如, 由于电磁干扰超出限值或发生状态监视错误)	- 检查通信连接 - 消除干扰
16x004E	PROFIsafe 通信故障 (超时)	模块	超出了数据消息帧的监视时间 (超时)。在接收新输出电报后进行检查。	超出了 F 监视时间。传输错误：超时 (超出看门狗时间 1 或 2)	- 调整 F 监视时间 - 检查安全程序和所有其它 CPU 活动是否过度执行或有过多要求： - 中断 - 以太网通信 - OB 调度冲突 - 长程序路径
16x004F	通道故障确认	模块	组态为手动确认的通道已准备好重新集成	需要手动确认	手动确认通道故障的纠正结果, 以便可以重新集成
16x0100	模块故障	模块	严重内部错误	故障安全模块有故障	更换故障安全模块
16x0103	已触发看门狗	模块	模块通信处理器中的看门狗定时器超时	故障安全模块有故障	更换故障安全模块
16x0105	对 L+ 短路	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输出	输出对 P 短路。故障安全模块检测到 P 端子意外处于 L+ 电位的通道问题。	- 对 L+ 短路 - 不同信号的通道之间短路 - 输出驱动器有故障 - 组态的“最大回读时间”值过小	- 消除短路 - 增加回读时间 - 更换故障安全模块

事件 ID	诊断消息	F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块	说明	可能的原因	纠正措施 ¹
16x0106	接地短路	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输出	故障安全模块检测到 M 开关输出端子意外处于 M 电位的通道问题	- 输出到 M 短路、输出对地短路或输出到其它通道短路 - 输出驱动器有故障 - 组态的“最大回读时间”值过小	- 消除短路 - 增加回读时间 - 更换故障安全模块
16x011B	当前固件无效/不一致	模块	总线 ASIC 固件和故障安全控制器固件不一致。	使用不适合该模块的更新文件（错误的订货号或硬件版本）执行了固件更新操作	- 应通过适当的更新文件重新进行固件更新操作 - 更换故障安全模块
16x013E	诊断事件队列上溢	模块	发生了诊断事件队列上溢。由于缓冲区已满，新发生的诊断事件无法进入队列以传输到 CPU。	如果通道错误发生和消失速度很快（如误差错误），则可能会发生这种情况	检查诊断缓冲区以查看发生了什么错误，然后解决该错误
16x0300	偏差故障，通道状态 0/0	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输入	外部偏差故障：采用 1oo2 非对等组态的通道状态 0/0	- 过程信号出错，传感器可能发生故障 - 组态的误差时间过短	- 检查过程信号，如有必要，更换传感器 - 检查组态的误差时间
16x0301	偏差故障，通道状态 0/1	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输入	外部偏差故障：采用 1oo2 对等组态的通道状态 0/1	- 短路 - 传感器机械激活或对准超出公差范围	- 检查接线 - 检查两个传感器是否已安装并对准，以便可以同时激活
16x0302	偏差故障，通道状态 1/0	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输入	外部偏差故障：采用 1oo2 对等组态的通道状态 1/0		

6.5 故障类型、原因和纠正措施

事件 ID	诊断消息	F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块	说明	可能的原因	纠正措施 ¹
16x0303	偏差故障，通道状态 1/1	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输入	外部偏差故障：采用 1oo2 非对等组态的通道状态 1/1		
16x0306	内部传感器电源对 P 短路	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输入	模块提供的传感器电源电压对 P 短路	- 传感器电源对 P 短路 - 组态的短路测试持续时间太短 - 传感器电源有故障	- 消除短路 - 增加短路测试持续时间 - 更换故障安全模块
16x0307	过载或内部传感器电源接地短路	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输入	内部传感器电源电压对 M 断路、接地短路或传感器电源负载过大	- 短路 - 传感器电源负载过大 - 传感器电源有故障	- 消除短路 - 减小传感器电源负载 - 更换故障安全模块
16x030D	F 地址存储器不可访问	模块	无法访问存储 F 地址的存储器	- E 型插头缺失 - E 型插头故障	- 将 E 型插头安装到模块的 X40。 - 更换故障的 E 型插头
16x030E	无可用的有效 F 地址	模块	故障安全地址无效 (F 地址和 CRC 不一致)	- 未为 E 型插头分配 PROFIsafe 地址 - E 型插头故障	- 分配 PROFIsafe 地址 - 更换 E 型插头
16x0311	频率过高	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输出	切换频率超出限制；回读不及时	安全程序的过程值变化过快，模块无法响应	更改安全程序逻辑，以确保两次输出更改之间的时间间隔更长

事件 ID	诊断消息	F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块	说明	可能的原因	纠正措施 ¹
16x0312	温度过低	模块	- 微控制器温度过低 - I/O 温度过低	由于模块箱内的温度低于下限值而关闭	- 检查环境温度 - 消除故障后，关闭电源后再接通
16x0313	输入电路中发生故障	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输入	读取电路/测试电路中的内部故障	- 模块数字量输入在输入的位模式测试期间检测到故障 - EMI 或模块硬件故障	- 如果为间歇性故障，则可能是干扰所致，排除干扰 - 如果为持续性故障，或在排除干扰后再次出现，则更换故障安全模块
16x031C	输入对 P 短路	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输入	输入对 P 短路故障	- 外部接线或传感器输入信号到 L+ 短路 - 为内部传感器电源组态的输入（启用了短路检测）连接到了外部 L+ - 输入故障	- 检查/纠正外部短路 - 按照组态进行接线 - 更换故障安全模块
16x031E	回读故障	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输出	模块检测到未达到预期端子电压的通道问题	- 组态的“最大回读时间”或“接通测试的最大回读时间”值过小 - 输出开关故障	- 增加回读时间 - 如果输出未响应，则更换故障安全模块
16x0320	过载	F-DI 4/F-DQ 2 数字量输出	输出驱动器的过载情况导致通道钝化	输出过载	消除过载故障

6.5 故障类型、原因和纠正措施

事件 ID	诊断消息	F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块	说明	可能的原因	纠正措施 ¹
16x0321	电源或负载电压过高	模块	超出了电源电压 (1L+) 或负载电压 (2L+) 最大值	电源或负载电压设置过高	调整电源或负载电压
16x0322	电源或负载电压过低	模块	超出了电源电压 (1L+) 或负载电压 (2L+) 最小值	电源或负载电压设置过低	调整电源或负载电压

¹ 排除故障后，将故障安全模块从钝化状态重新集成到安全程序中（恢复到正常状态）。

电磁干扰和诊断报告

电磁干扰可能导致通信错误、干扰外部和内部信号测量以及引起处理错误。如果错误报告与可识别的设备故障、接线问题、编程或组态错误无明显关系，请考虑电磁干扰的来源以及可能在安装中引入电磁干扰的安装和接线问题。典型的问题来源包括对感性负载的抑制能力差，以及由于过多的负载浪涌电流而导致电压骤降。

技术规范

7.1 规范

6ES7146-5FF00-0BA0	
常规信息	
产品型号名称	F-DI 4+F-DQ 2x24VDC/2A, 4xM12
硬件功能状态	FS01
固件版本	V1.0.x
产品功能	
I&M 数据	√ ; I&M0 到 I&M3
工程组态方式	
STEP 7 TIA Portal	Step 7 V17 或更高版本
可组态/可集成的版本及更高版本	
操作模式	
DI	是
DQ	是
电源电压	
负载电压 1L+	
额定电压 (DC)	24 V
允许范围, 下限 (DC)	20.4 V
允许范围, 上限 (DC)	28.8 V
反极性保护	是, 防止毁坏
负载电压 2L+	
额定电压 (DC)	24 V
允许范围, 下限 (DC)	20.4 V
允许范围, 上限 (DC)	28.8 V
反极性保护	是 ; 防止毁坏 ; 输出极性相反, M 开关和 2L+ 之间连接的负载将导通

6ES7146-5FF00-0BA0	
输入电流	
电流损耗（额定值）	55 mA (1L+)/40 mA (2L+) ; 无负载
来自负载电压 1L+（不可切换电压）	4 A ; 最大值
来自负载电压 2L+, 最大值	4 A ; 最大值
编码器电源	
输出数目	2
24 V 编码器电源	
短路保护	是 ; 每个负载电压, 电子装置（响应阈值 0.7 A 到 1.7 A）
最大输出电流	1 A ; 所有编码器的总电流, 每个负载电压最大值 0.5 A ; 最大压降为 2.0 V
功率损耗	
典型功率损耗	4.7 W
数字量输入	
数字量输入的数量	4
输入特性符合 IEC 61131	类型 1
可同时控制的输入数目	
所有安装位置	
最高 55 °C, 最大值	4
输入电压	
额定电压 (DC)	24 V
信号为“0”时	-30 至 +5 V
信号为“1”时	+15 至 +30 V
输入电流	
信号为“1”时的典型值	4.85 mA
输入延时（在输入额定电压时）	
标准输入	
是否可设置参数	是

6ES7146-5FF00-0BA0	
“0”到“1”时的最小值	0.8 ms
“0”到“1”时的最大值	12.8 ms
“1”到“0”时的最小值	0.8 ms
“1”到“0”时的最大值	12.8 ms
电缆长度	
最大非屏蔽电缆长度	30 m
数字量输出	
数字量输出的数量	2
每组个数	2
短路保护	是；每个通道，电子装置
典型响应阈值	10 A；在 M 开关处测量，P 开关阈值较高
开路检测	是；每个通道，仅在输出关闭时检测
过载保护	是
典型响应阈值	3.4 A；在 P 开关处测量
感性关闭电压的限制	P 开关：-26 V DC 相对于 2M，M 开关：+48 V DC 相对于 2M
输出的分断能力	
灯负载时的最大值	10 W
负载阻抗范围	
下限	12 Ω
上限	2 k Ω
输出电压	
信号为“1”时的最小值	L+ (-2.0 V)，P 开关为 L+ (-1.5 V)，M 开关为 0.5 V
输出电流	
信号为“1”时的额定值	2 A
信号为“0”时的最大剩余电流	0.5 mA
开关频率	
阻性负载时的最大值	30 Hz

6ES7146-5FF00-0BA0	
感性负载时的最大值	0.1 Hz
灯负载时的最大值	10 Hz
输出的总电流	
每组电流最大值	4 A
电缆长度	
最大非屏蔽电缆长度	30 m
编码器	
可连接的编码器	
2 线制传感器	不可连接
允许的最大静态电流（2 线制传感器）	0.5 mA
中断/诊断/状态信息	
可连接替换值	不可连接
报警	
诊断报警	是；参数可设置
诊断	
监视电源电压	是
断路检查	是；关闭时输出
短路检查	是；输入、输出、编码器电源
LED 诊断指示灯	
通道状态指示灯	√；绿色 LED 指示灯
通道诊断	√；红色 LED 指示灯
模块诊断	√；绿色/红色 LED 指示灯
负载电压监控	√；绿色 LED 指示灯
电位分离	
负载电压之间	是
电位分离通道	
通道之间，每组通道数	4 个 DI 通道与 2 个 DQ 通道隔离
通道与背板总线之间	是

6ES7146-5FF00-0BA0	
通道与电子设备的电源之间	DI 通道未与电源电压 1L+ 隔离, DQ 通道与电源电压 1L+ 隔离
绝缘	
绝缘测试	707 V DC (型式测试)
防护等级和类别	
IP 防护等级	IP65/67
标准、许可和认证	
安全模式下可实现的最高安全级别	
性能等级符合 ISO 13849-1	PLd (DI 单通道), PLe (DI 双通道、DQ)
安全类别符合 ISO 13849-1	类别3 (DI 单通道), 类别4 (DI 双通道、DQ)
SIL 符合 IEC 61508	SIL 2 (DI 单通道), SIL 3 (DI 双通道、DQ)
故障发生率 (使用寿命为 20 年且维修时间为 100 小时)	
低要求模式: PFDavg 符合 SIL2	< 1.0E-03 DI 单通道; < 禁用关断测试的 1.0E-03 DQ
低要求模式: PFDavg 符合 SIL3	< 1.0E-05 DI 双通道; < 启用关断测试的 2.0E-05 DQ
高要求/连续模式: PFH 符合 SIL2	< 1.0E-08 1/h DI 单通道; < 禁用关断测试的 1.0E-07 1/h DQ
高要求/连续模式: PFH 符合 SIL3	< 1.0E-09 1/h DI 双通道; < 启用关断测试的 1.0E-08 1/h DQ
环境条件	
操作时的环境温度	
最小值	-30 °C
最大值	55 °C
连接方法	
输入和输出的电气连接设计	M12, 5 针
电源电压的电气连接设计	M8, 4 针

6ES7146-5FF00-0BA0	
ET 连接	
ET 连接	M8, 4 针, 屏蔽
尺寸	
宽度	45 mm
高度	159 mm
厚度	40 mm
重量	
约重	220 g

尺寸图

A.1 尺寸图

下图显示了 F-DI 4/F-DQ 2
故障安全模块的尺寸图（正视图和侧视图）。所有尺寸的单位均为 mm

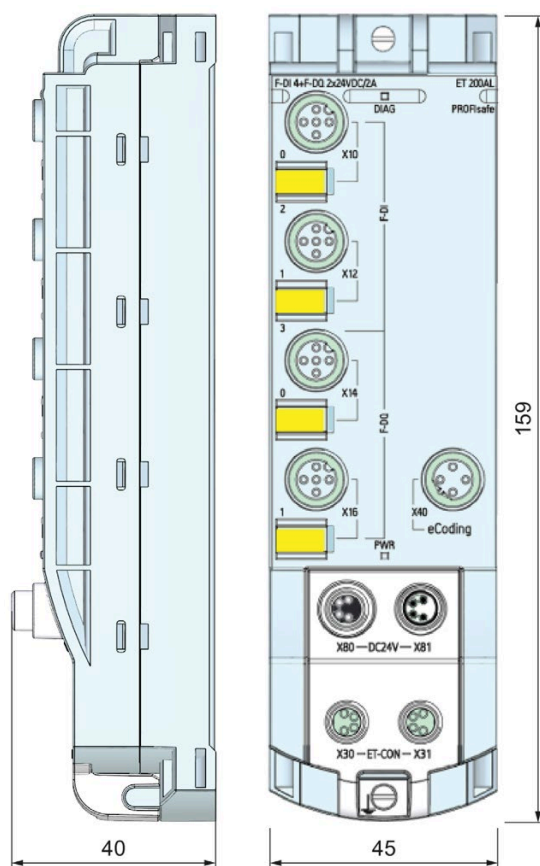


图 A-1 尺寸图

响应时间

B.1 最大响应时间

本节将介绍 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的响应时间。该响应时间包含在计算得出的 F 系统响应时间内。

故障安全数字量输出响应时间的定义

响应时间是指从安全消息帧自 ET-Connection 进入开始到数字量输出处发生信号变化为止所经历的时间。

计算所需时间

最长周期时间 : $T_{\text{cycle}} = 23 \text{ ms}$

最大确认时间（设备确认时间） : $T_{\text{dat}} = 18 \text{ ms}$

可在 STEP 7 中分配“最大回读时间”(Maximum readback time) 和“接通测试的最大回读时间”(Maximum readback time switch on test) 设置。

计算系统的最大响应时间

您可以使用“SIMATIC STEP 7 Safety Advanced : F-执行时间、F-运行时间、F-监视和响应时间 (<http://support.automation.siemens.com/WW/view/en/49368678/133100>)”Excel 文件 (RT_calculator) 计算最大系统响应时间。使用已组态的各个故障安全模块时间参数和附录中的模块特性参数确定系统的最大响应时间。

含数据传输延迟

上文给出的 T_{cycle} 参数值包括故障安全模块在与 PLC I/O 总线交互时获取和发送 PROFIsafe 消息的时间。安全故障 CPU 中安全 FB 的执行时间包括 PROFIsafe 消息在安全故障模块位置和安全故障 CPU 之间移动的物理传输延时时间。没有可以包含在计算中的单独传输延迟参数。

B.2 F-DI 4/F-DQ 2 数字量输入的响应时间参数

F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块数字量输入的设备确认最大响应时间

1oo1 评估：

$$T_{WCDT_i} = T_{filter} + T_{sct} + 2 \times T_{cycle}$$

$$T_{OFDT_i} = T_{WCDT_i} + T_{scf}$$

1oo2 评估：

$$T_{WCDT_i} = T_{filter} + T_{sct} + 2 \times T_{cycle}$$

$$T_{OFDT_i} = T_{WCDT_i} + \text{MAX}(T_{scf}, T_{dis})$$

其中：

T _{cycle}	故障安全模块的内部循环时间
T _{dis}	误差时间： 1oo2 通道已组态的“误差时间”从“0”变为“1” 1oo2 通道已组态的“误差时间”从“1”变为“0”，并且为误差行为组态“提供上一个有效值”选项 1oo2 通道的“0”从“1”变为“0”，并且为误差行为组态“提供值 0”选项 应该在外部传感器延迟中包括传感器输入之间的预期误差时间。组态的 T_{dis} 会作为故障安全模块数字量输入的延时计入 T_{OFDT_i}，使通道因故障案例差异时间延长而钝化。 该参数可以在 RT_calculator 中单独列出。如果将 T_{dis} 作为单独的项目输入，则不要在输入 RT_calculator 的 T_{OFDT_i} 值中包含 T_{dis}。
T _{filter}	通道已组态的“输入滤波器”时间
T _{OFDT_i}	一个故障延时时间：故障安全模块的数字量输入将通道报告为钝化的最大响应时间
T _{scf}	短路故障持续时间的延时： - 在高要求或持续模式下运行并且根据短路测试达到所需的完整性安全等级时，组态的“短路测试间隔” - 如果未根据短路测试进行组态以达到所需的完整性安全等级，则为“0”

T _{sct}	短路测试持续时间的延时： - 如果未组态短路测试，则为“0” 1oo2 通道的“0”从“1”变为“0”，并且为误差行为组态“提供值 0”选项 - 如果组态了短路测试，则为“短路测试的持续时间”+“输入滤波器”的时间 (确认：如果组态了短路测试，则在“T_{WCDT_i}”的方程式中，“输入滤波器”可能出现两次。)
T _{WCDT_i}	最差情况下的延迟时间：从数字量输入的信号跳变到故障安全 CPU 的请求的安全消息帧可靠工作之间的最大响应时间

术语“故障安全模块的最大响应时间”的“2 x

T_{cycle}”允许其它输入延时在循环刚刚开始时结束。故障安全模块的数字量输入将在下一个循环中处理并报告发生变更的输入数据。

B.3 F-DI 4/F-DQ 2 数字量输出的响应时间参数

F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块数字量输出的最大响应时间

$$T_{WCDT_q} = T_{rb} + \text{MAX}(T_{rb}, T_{rb_swon}) + 2 \times T_{cycle}$$

$$T_{OFDT_q} = T_{WCDT_q}$$

如果禁用关断测试，相应输出处的过程值从“1”变为“0”时才能检测到通道故障。如果禁用关断测试并且给定通道的过程值为“1”，则相应的输出开关不会受到各种安全措施的控制。

其中：

T _{cycle}	故障安全模块的内部循环时间
T _{OFDT_q}	一个故障延时时间：模块数字量输出在检测到通道或模块故障时切断输出的最大响应时间
T _{rb}	为通道组态的“最大值回读时间”
T _{rb_swon}	为通道组态的“最大值回读时间接通测试”
T _{WCDT_q}	最差情况下的延迟时间：故障安全模块的数字量输出 DC 从收到来自故障安全 CPU 中安全程序的安全消息帧到数字量输出发生信号跳变的最大响应时间

术语“2 x T_{cycle}”允许在循环刚刚开始后将新过程值从故障安全 CPU

发送出去。故障安全模块的数字量输出处理变更后的输出请求并将新数据应用于下一个循环的输出切换。

B.3 F-DI 4/F-DQ 2 数字量输出的响应时间参数

在安全故障模块的数字量输出命令输出切换变更后，负载上的实际电压可能会在已组态回读时间结束后才能实现。如果正在进行位模式测试，则在适用的回读时间结束后才会将新的过程值应用于切换。

F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块数字量输出的允许最大关闭时间

故障安全模块的数字量输出预计会首先完成并确认所有的 ON 到 OFF 跳变，然后再接收从 OFF 跳变至 ON 的新命令。若过程值“0”存在的时间短于 T_{WCDT_q} ，会导致通道钝化。

负载切换

C.1 连接容性负载

如果 F-DI 4/F-DQ 2

故障安全模块与需要低电流且带有电容的负载进行互连，则可能导致检测到短路或过载。

原因：在位模式测试组态的回读时间内，电容可能无法完全放电。

负载电容可以延迟电压响应，F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块数字量输出的 P 开关和 M

开关可以反映出来。对于 P 和 M 之间电容为 C 且并联负载电阻为 R

的容性负载，“最大回读时间”需要处于 2.0 到 2.5 的负载时间常数 ($R * C$)

范围内。当在位模式测试期间短暂地使通电的负载断电时，这将允许在足够的时间内将明显的电压变化反映出来。如果生成的“最大回读时间”对于应用来说太长，则可以通过在负载两端增加并联电阻来减小该时间常数，从而减小实现的 $R * C$ 时间常数。

或者，也可以在 P 输出端和负载（电容和电阻）之间添加二极管，以便切断输出时，P 输出端电容将不会有电压。通常情况下，带有输入电容并具有反向电压保护的电源会将此二极管内置于电源中。通过已添加的二极管，可以将“最大回读时间”大幅度缩短至电源/电容的保持时间的一部分。“最大回读时间”缩短后，负载可在位模式测试期间正常运行（负载保持接通）。

负载电路与地面、M 和

P 之间的杂散电容会增加“接通测试的最大回读时间”所需的时间。在位模式测试期间，当模块诊断程序“接通”断电负载的 P 或 M 开关时，会将负载两侧向 L+ 或 M 驱动，同时受到杂散电容的限制。这种影响通常很小。

“接通测试的最大回读时间”设置值应足够大，以使负载电路电压产生反应，但又应足够短，以便在负载的一侧错误地接通 P 或 M

开关的情况下，测试相反的开关不会导致负载产生机械反应。

串联电阻低的容性负载（包括带有输入电容的电源）可能具有较大的浪涌电流。如果容性负载较大，则应增加串联电阻以减小浪涌电流，从而降低在正常负载开关开启时，发生熔断器断开或检测到过电流故障的风险。

C.2 感性负载的切换

以下图表显示了只使用 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块数字量输出的内部抑制电路时所允许的最大感性负载和切换频率。应配备带有外部抑制电路的更大或切换更为频繁的感性负载，避免 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块数字量输出开关过早出现故障。外部抑制以小于内部抑制阈值的电压传导负载电流，以避免内部抑制过载。

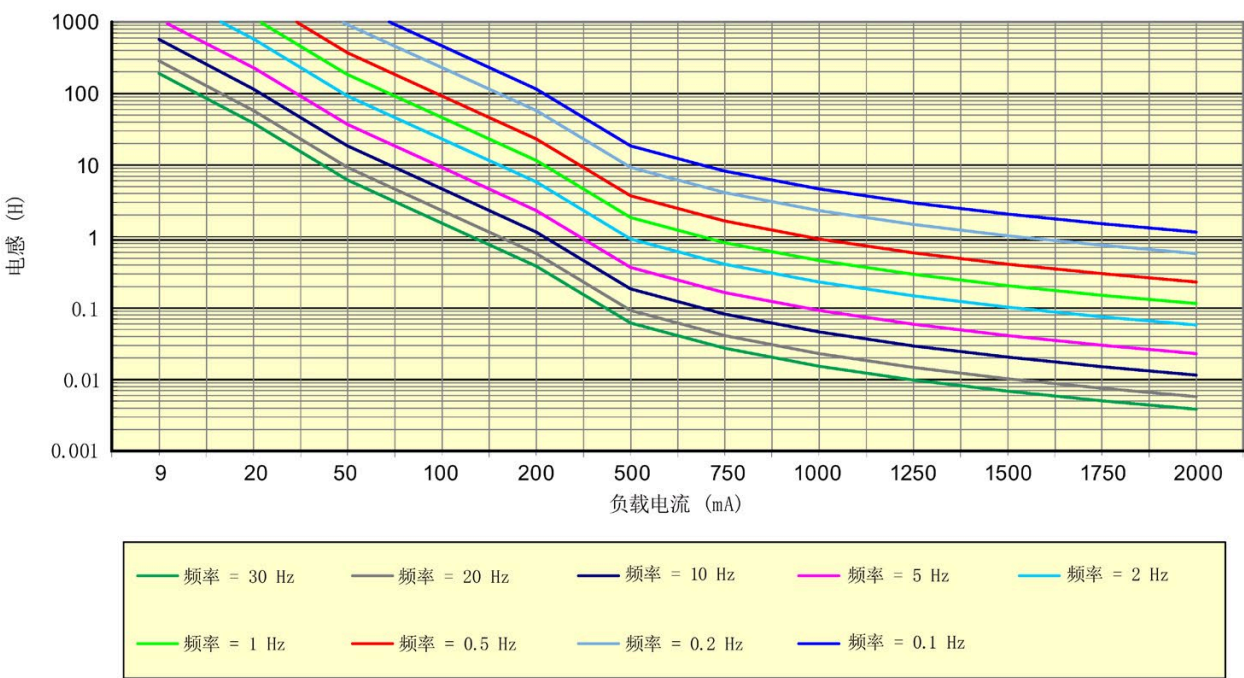


图 C-1 根据负载电流和切换频率，切换 F-DI 4/F-DQ 2 故障安全模块的感性负载

警告

未经抑制的感性负载可能会导致故障。

可能导致以下故障：

- 未经抑制的感性负载可能会导致故障安全模块数字量输出过早出现“始终保持接通”故障。
- 不受抑制的感性负载开关会给 PLC 系统带来 EMI 危险，需要对安全功能进行正确处理。

如果未采取适当的预防措施，可能会造成死亡或严重的人身伤害以及机械和设备损坏。应使用带有感性负载的抑制器电路，以限制控制输出关闭时的电压上升，并限制切换感性负载时产生的电气噪声。

