

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性  
概览
- 周期性同步  
诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程  
案例

本文档旨在为 EtherCAT 用户提供一些诊断方法。

本文档包含了使用 EtherCAT 网络时基本诊断功能的描述和典型的错误场景。

**本文档适用于最终用户、工厂、机器制造商和系统集成商。**

EtherCAT 诊断的更多信息 – 包含更多细节的错误场景 – 可能对 EtherCAT 主从站供应商更有帮助，请参考“针对研发人员的 EtherCAT 诊断”。

有任何意见和建议请联系 [info@ethercat.org.cn](mailto:info@ethercat.org.cn)

EtherCAT 技术协会中国代表处

中国，北京



# EtherCAT<sup>®</sup>

诊断特点概览

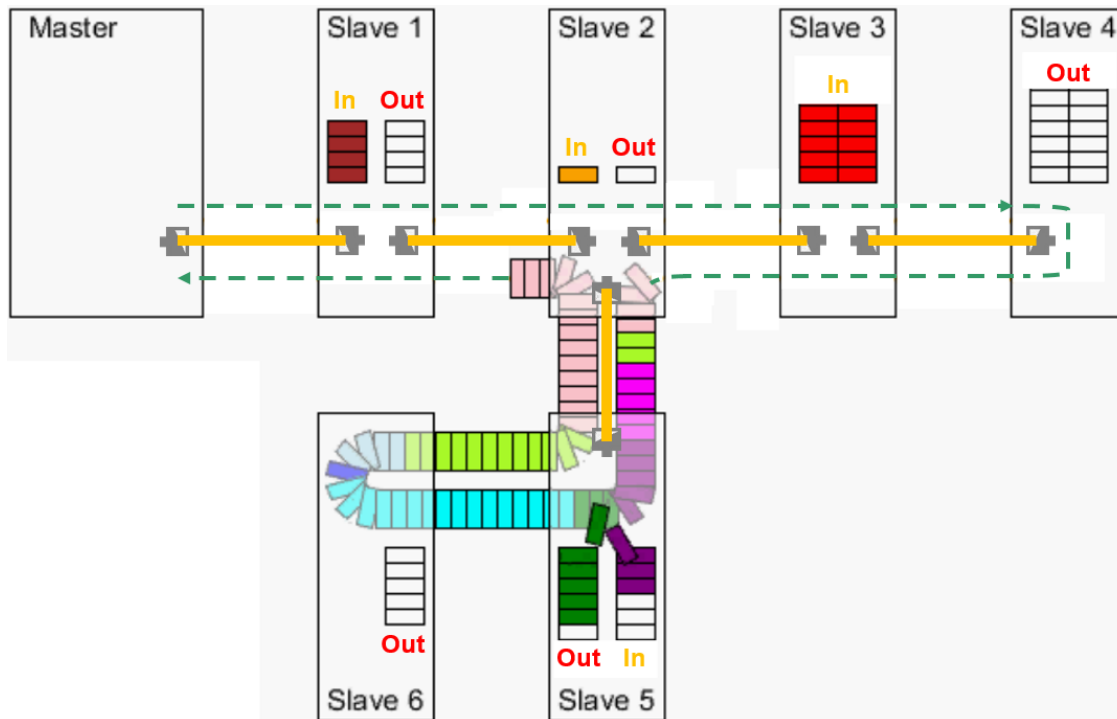
## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

在 EtherCAT 网络中，信息都通过 Ethernet 报文来交互，每个以太网帧都包含一个或更多的子报文。

无论何种拓扑结构（线型、菊花链型、星型），帧都由主站发出，经过所有从站最后返回主站，完成“逻辑环”。

由以太网帧携带的数据被从站“on the fly” 进行处理。



## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

能影响 EtherCAT（不同于其他现场总线）网络的错误可分为**两类**：

## 1. 硬件错误

- a. 物理介质中断或者网络拓扑发生了预期外的改变，**数据帧并未到达所有的网络从站或者未返回主站（例如线缆损坏、接口松动、从站在运行过程中重启等）。**
- b. **数据帧到达了所有从站，但是正确的位序遭到了破坏（例如EMC干扰、错误的设备等）。**

## 2. 软件错误

- a. **初始化阶段，主站发出的参数是错误的或者不符合预期的从站类型或拓扑（例如错误的过程数据长度/配置，不支持的周期时间等）。**
- b. **正常工作的从站在运行期间检测到了错误（例如同步丢帧、看门狗超时等）。**





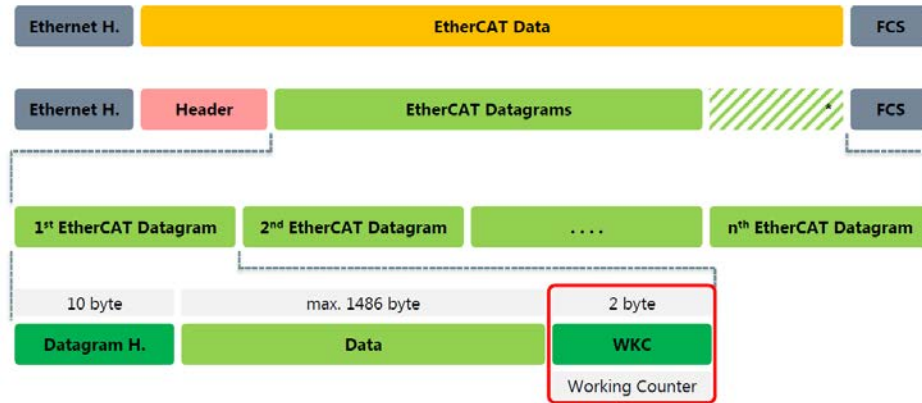
# EtherCAT<sup>®</sup>



## 周期性诊断

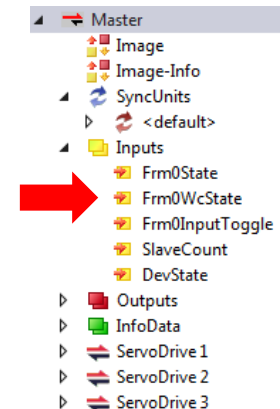
## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例



EtherCAT 数据帧的每个子报文都以一个16位的工作计数器（WKC）结尾，子报文寻址到各个从站从而增加计数器值。假如子报文返回主站时携带了非法的（与预期值不等）WKC，则该子报文的输入数据都会被主站丢弃。

主站设备可以通过网络过程镜像中的部分周期性变量，选择性地通知控制程序（PLC、NC...）有关工作计数器的状态（至少是携带周期性过程数据的计数器）。



# 工作计数器 – 案例1

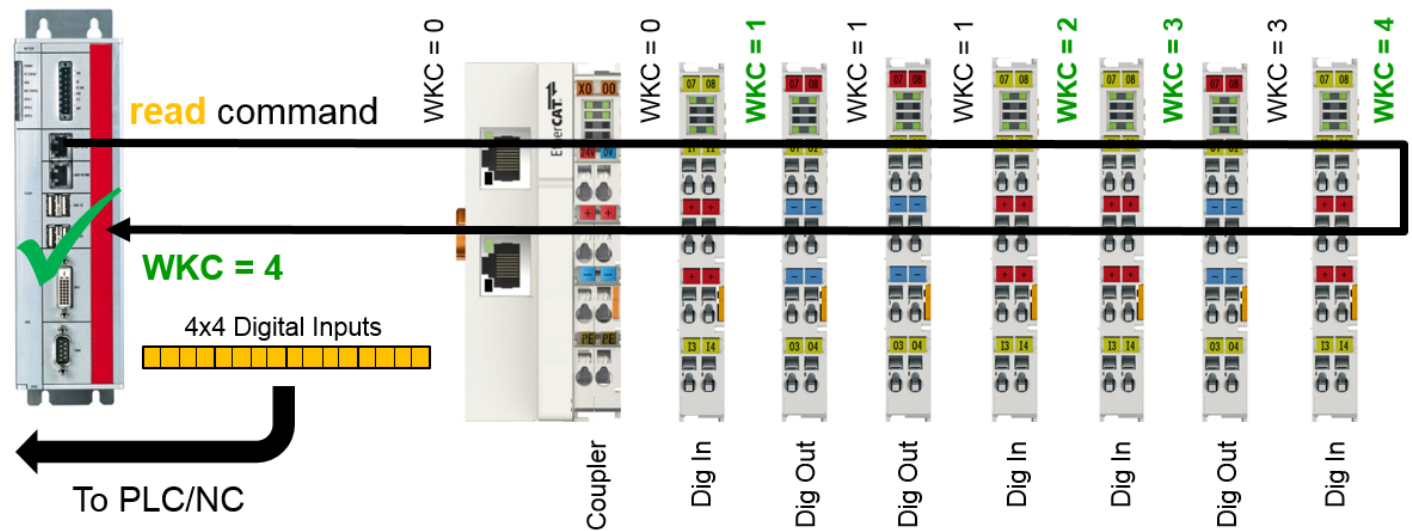
## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

所有被寻址到的从站（下图为数字量输入模块）都成功处理了子报文。

返回主站的 WKC 值= 预期值 → **WKC 合法**

➤ 子报文中的输入数据由主站发往控制应用（PLC、NC....）





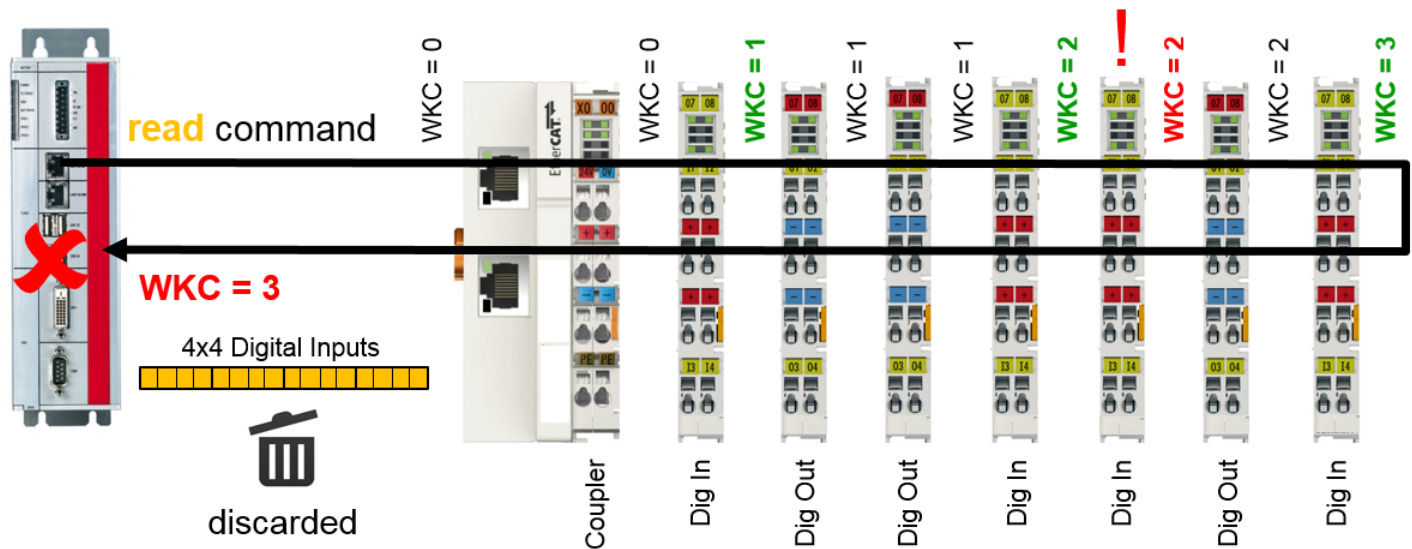
## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

一个被寻址到的从站（下图为数字量输入模块）处理对应子报文的时候失败了。

返回主站的 WKC 值  $\neq$  预期值  $\rightarrow$  **WKC 非法**

➢ 子报文的输入数据被主站丢弃 (PLC、NC 使用的是旧数据)



## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

工作计数器与对应的子报文同时由主站接收，并在收到非法或不一致数据时迅速做出反应。

工作计数器相关的信息是一个数字量（“工作计数器正确”或“工作计数器非法”），并不能区分产生错误的原因。非法的工作计数器可能是由于几种不同情况导致的：

- 一个或一个以上的从站物理上从网络中断开，或者没被数据帧寻址到
- 一个或一个以上的从站被重启
- 一个或一个以上从站不处于 OP 状态机

无论何时发生工作计数器错误，问题都需要由[硬件诊断](#)和[软件诊断](#)功能进行更深入的检查。

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

主站能够选择性地将部分从站的子集分配到不同的**同步单元**。分属不同同步单元的从站由不同的子报文来进行操作，这使得不同单元使用相互独立的工作计数器诊断。

- (默认的) 同步单元：假如一个驱动器在增加工作计数器的時候失败了，主站收到的三台驱动器的输入数据都会被丢弃。

Frame	Cmd	Addr	Len	WC	Sync Unit
0	LRD	0x09000000	1		
0	LRW	0x01000000	36	9	<default>
0	BRD	0x0000 0x0130	2	3	

- 独立的同步单元：假如一个驱动器在增加工作计数器的時候失败了，只有这一台从站的输入数据会被丢弃。

Frame	Cmd	Addr	Len	WC	Sync Unit
0	LRD	0x09000000	1		
0	LRW	0x01000000	12	3	SyncUnit_1
0	LRW	0x01000800	12	3	SyncUnit_2
0	LRW	0x01001000	12	3	SyncUnit_3
0	BRD	0x0000 0x0130	2	3	

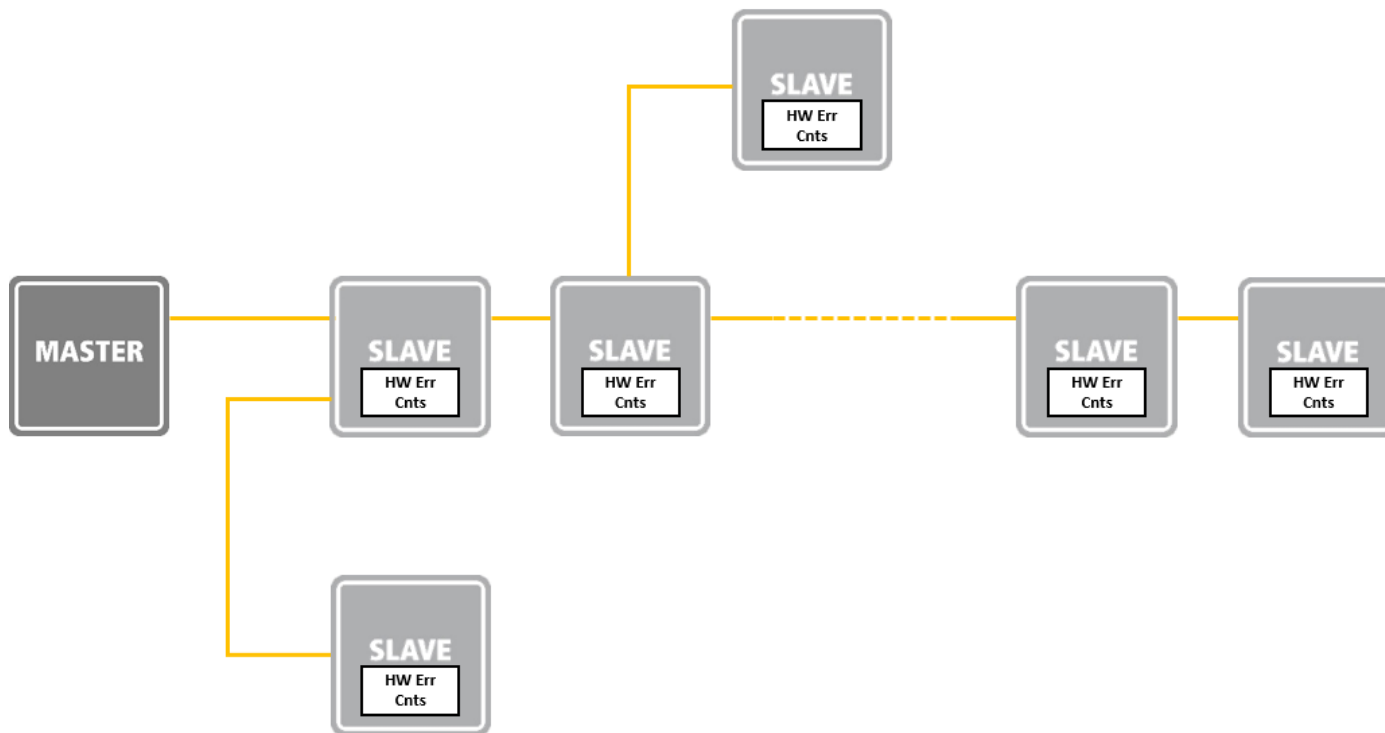
EtherCAT<sup>®</sup>

硬件诊断

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程案例

从站设备的标准存储地址中可以在硬件层面提供基本的错误计数器诊断信息。



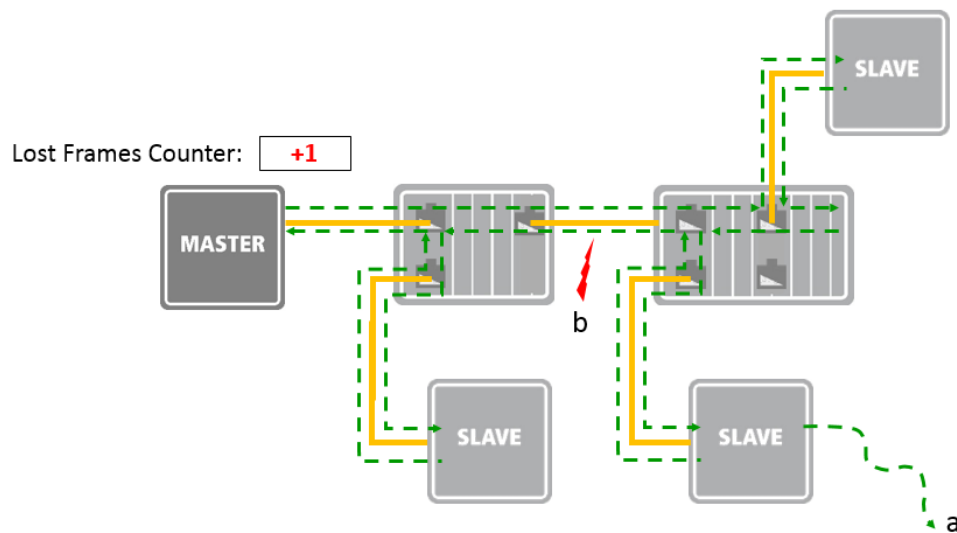
这些存储空间可以被主站寻址到并提供给控制应用（比如设定一些变量，或 PLC 程序功能块）。

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程案例

数据帧被主站认为“丢失”的情况有以下两种：（a）数据帧没返回主站；  
（b）数据帧传输过程中发生畸变导致其中信息无意义。

主站检查数据帧的对应位置，可以监视到这两种情况，并通过丢帧计数器将结果传递给用户。



在 EtherCAT 中，主站丢帧计数器可以被认为是硬件通讯层面出问题的第一个指示器位：当这个计数器值增长，主站需要读取从站设备的[硬件错误计数器](#)来进行更深层的调查。

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性  
概览
- 周期性同步  
诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程  
案例

- **链路丢失计数器 (可选): 硬件链路中断时计数值增加**

Register	Length	Meaning	
<b>0x0310</b>	1 byte	Link Lost Counter port 0	
<b>0x0311</b>	1 byte	Link Lost Counter port 1	
<b>0x0312</b>	1 byte	Link Lost Counter port 2	
<b>0x0313</b>	1 byte	Link Lost Counter port 3	

- **非法帧计数器 (必选): 信号错误时计数值增加**

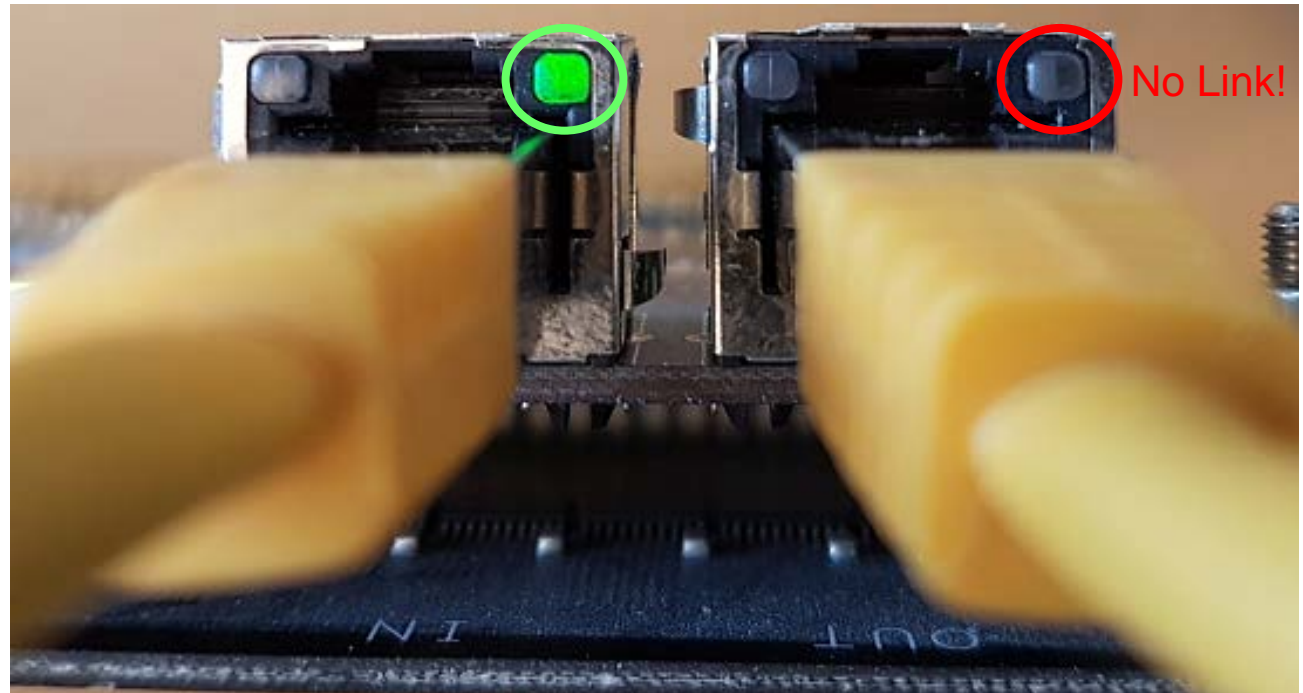
Register	Length	Meaning	
<b>0x0300</b>	1 byte	CRC Error Counter port 0	Invalid Frame Counter port 0
<b>0x0301</b>	1 byte	RX Error Counter port 0	
<b>0x0302</b>	1 byte	CRC Error Counter port 1	Invalid Frame Counter port 1
<b>0x0303</b>	1 byte	RX Error Counter port 1	
<b>0x0304</b>	1 byte	CRC Error Counter port 2	Invalid Frame Counter port 2
<b>0x0305</b>	1 byte	RX Error Counter port 2	
<b>0x0306</b>	1 byte	CRC Error Counter port 3	Invalid Frame Counter port 3
<b>0x0307</b>	1 byte	RX Error Counter port 3	

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性  
概览
- 周期性同步  
诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程  
案例

EtherCAT 从站设备强制要求每个可插拔的端口都支持链路/运行 灯。

检查链路丢失计数器之前（**或者对一些不支持链路丢失计数器的从站**），观察链路/运行灯可以轻易得到是否存在永久性的链路中断问题：此种情况下 LED 会一直处于灭的状态。

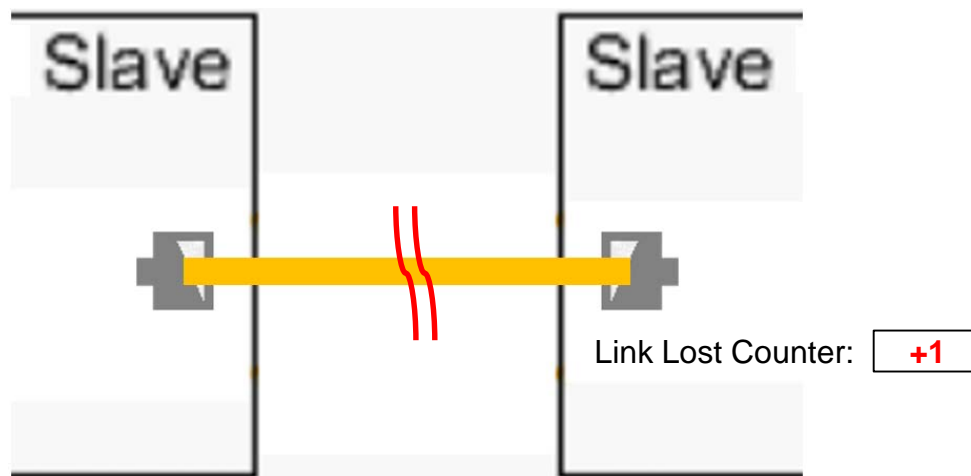




## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程案例

链路丢失计数器值的增加反映了硬件通讯通道的中断 – 在此链路中的数据帧没被发送到相邻设备：



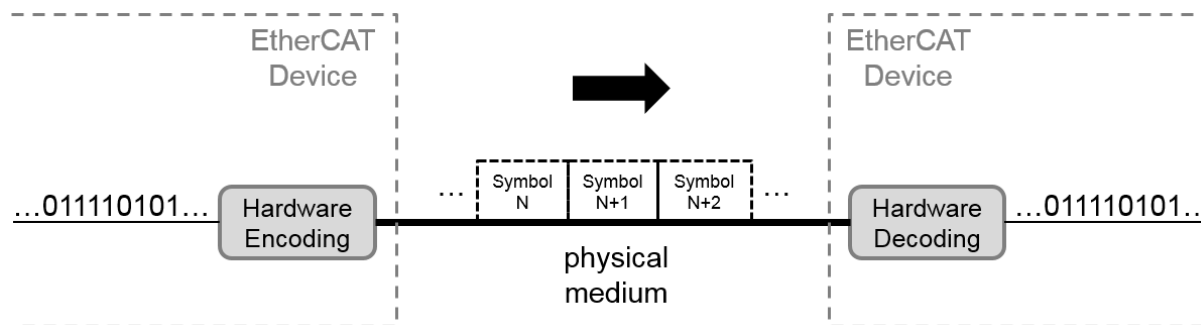
大部分链路丢失的原因如下：

- 临时或者永久性的设备断电，或者设备重启
- 线缆、接头损坏或者接口质量较差
- EMC 干扰

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程案例

为了在物理介上传输数据帧，字位需要被编码（发送端）和解码（接收端）成特定电流/电平的“符号”。



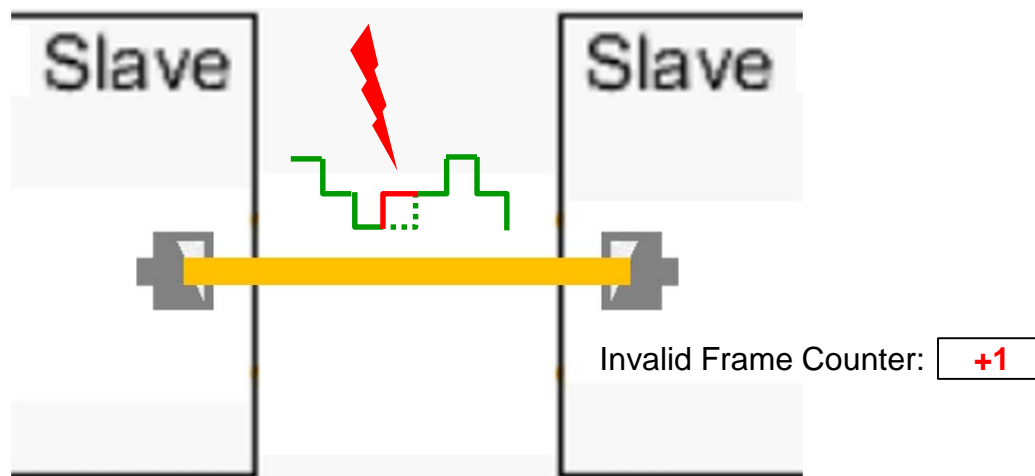
编码结果是独立于链路状态的：

- 硬件编码定义了**合法与不合法**两种符号。
- 在物理介质中传输时，符号可以存在数据帧**内部或者外部**（为开启接收端链路丢失检测机制）。

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程案例

非法帧计数器数值的改变指示接收到的硬件信号发生错误，所有该帧携带的数据会被丢弃：



导致信号发生畸变的主要原因：

- 外部 EMC 干扰 (通常计数器不定时增长)
- 设备或者接口损坏 (通常伴随高速与系统性的计数器值增长)

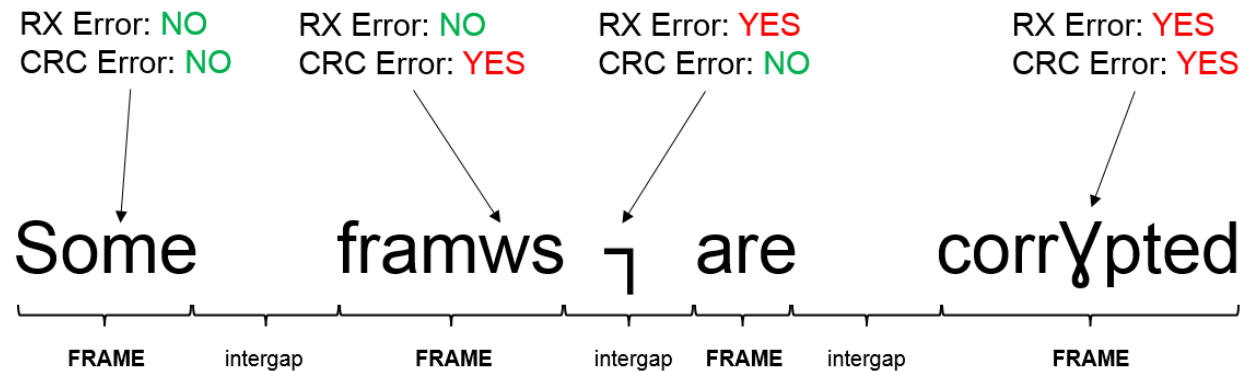
## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程案例

非法的错误计数器反映了以下信息：

- **RX 错误 (由 RX 错误计数器计数):**
  - 对应个别无效符号
  - 在数据帧内外都有可能发生(当发生在数据帧内时, 也经常伴随 CRC 错误)
- **CRC 错误(由 CRC 错误计数器计数):**
  - 对应数据帧总的位序列错误
  - 只可能在帧内发生

两种错误类型之间的差异可以用文字比较加以解释：

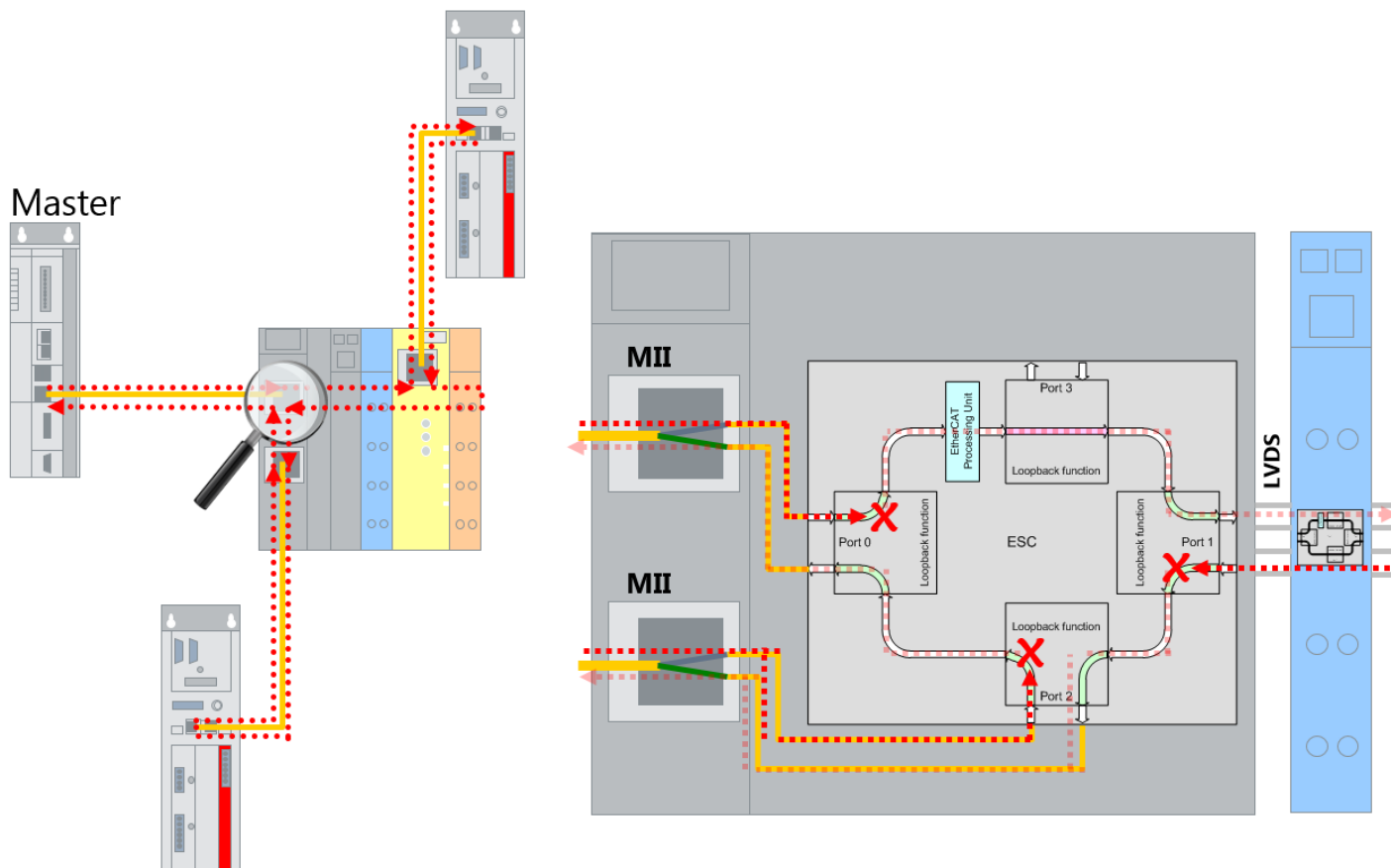


# CRC 错误检测

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

当数据帧由外部到达从站端口时，端口会检查其 CRC 错误（若发生错误则增加 CRC 错误计数器）。



## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程案例

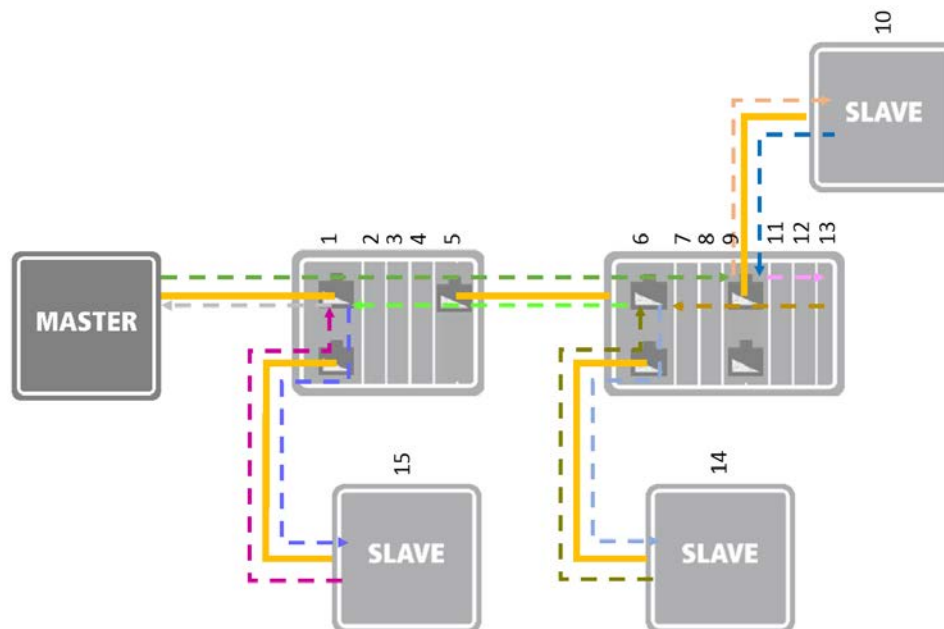
以下是硬件错误的补充信息：

- RX 错误 (或者部分 CRC 错误) 在设备上电时, 或者相邻设备断电时, 能立即被本设备检查到。只有在运行操作期间发生的错误才应该被认为存在实际的或潜在的问题, 并被持续监视。
- 没有任何一种通讯接口是完全无错的。典型的通讯接口容忍的位错误率为 $10^{-12}$  (一万亿位传输数据发生一位错误), 这意味着即便没有恶劣的环境, 硬件错误计数器的值也会发生零星的改变 (经过数天或数周的持续运行)。只有数量巨大或者经常发生的硬件错误 (数秒或数分钟内) 应该被认为存在实际或潜在的问题。
- 对于发生在数据帧外部的错误, 当在运行期间发生时, 也可以被认为是硬件错误的信号。但是, 主要应注意 CRC 错误, 因为它们代表了帧内容与其本身携带的信息出错了。CRC 错误计数器阐释如下：

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程案例

1. 按照数据帧在网络中的前进路线，判断 CRC 的检查顺序 (根据每个端口的 [CRC 错误检测](#))。



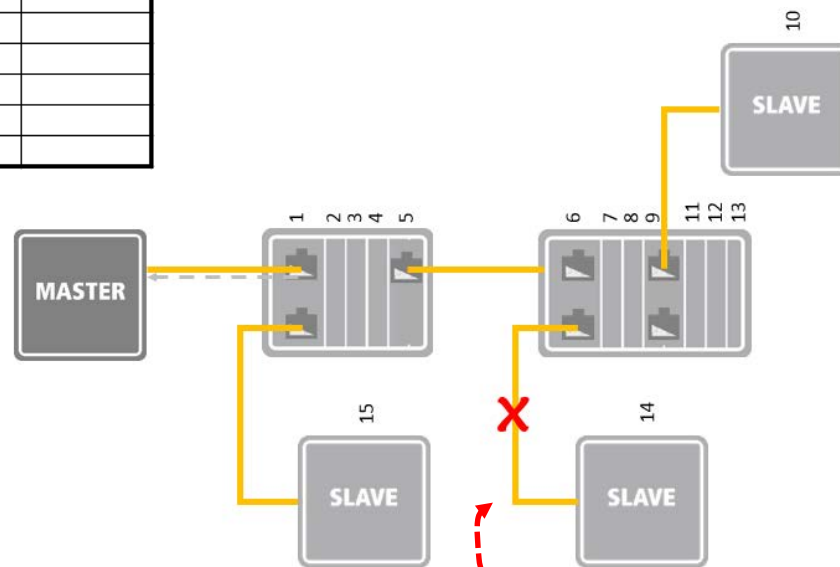
CRC checked by	
slave 1	port 0
slave 2	port 0
slave 3	port 0
slave 4	port 0
slave 5	port 0
slave 6	port 0
slave 7	port 0
slave 8	port 0
slave 9	port 0
slave 10	port 0
slave 9	port 3
slave 11	port 0
slave 12	port 0
slave 13	port 0
slave 12	port 1
slave 11	port 1
slave 9	port 1
slave 8	port 1
slave 7	port 1
slave 6	port 1
slave 14	port 0
slave 6	port 2
slave 5	port 1
slave 4	port 1
slave 3	port 1
slave 2	port 1
slave 1	port 1
slave 15	port 0
slave 1	port 2

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程案例

2. 根据顺序，定位第一个 CRC 错误计数器  $\neq 0$  的端口：

	CRC port 0	CRC port 1	CRC port 2	CRC port 3
slave 1	0x00	0x00	0x00	
slave 2	0x00	0x00		
slave 3	0x00	0x13		
slave 4	0x00	0x00		
slave 5	0x00	0x13	0x13	
slave 6	0x00	0x00		
slave 7	0x00	0x00		
slave 8	0x00	0x00		
slave 9	0x00	0x00		0x00
slave 10	0x00			
slave 11	0x00	0x00		
slave 12	0x00	0x00		
slave 13	0x00			
slave 14	0x0A			
slave 15	0x13			



第一个非法 CRC 寄存器  $\neq 0$  的端口  $\rightarrow$  问题最可能发生的地方。



## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程案例

## 3. 按以下几个方面检查硬件：

- 检查此端口前序的线路与从站：
  - EtherCAT 线缆是否靠近电源线或者其他噪声源
  - 是否存在自制的低质量接头
  - 线缆是否存在屏蔽较差的情况
- 检查检测出问题的和前序设备：
  - 供电是否正确 (比如 LVDS 电流过低)
  - 设备是否未供电
- 在检查出硬件错误的地方替换两端设备，排除具体硬件导致的错误。

由于外部 EMC 干扰与通讯是不同步的，RX 与 CRC 错误均会受其影响而产生（即使这样，两者的变化比率也可能不同）。完整的不均衡的计数器值（很多RX 错误，无 CRC 错误，或者很多 CRC 错误，无 RX 错误）可能指示了设备内部错误：此时替换该设备应成为首要工作。

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- **硬件诊断**
- 软件诊断
- 诊断流程案例

谨慎的网络架构安装和实施计划是整个系统稳定且无错运行的第一步，也是最重要的要求。

为此，**ETG.1600** “EtherCAT 安装指导” 现在可以在 ETG 官网下载 (不仅限于 ETG 会员!) :

## EtherCAT<sup>®</sup> Installation Guideline

**Guideline for Planning, Assembling and Commissioning  
of EtherCAT Networks**

**Document: ETG.1600 G (R) V1.0.1**



# EtherCAT<sup>®</sup>

软件诊断



## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

基础的软件诊断信息可以由 EtherCAT 从站设备提供。每个从站都处于以下五种可能的状态之一：

- **Init:** 既无邮箱（非周期）也无过程数据（周期）通讯
- **PreOP:** 邮箱通讯建立，无过程数据交换
- **SafeOP:** 邮箱与过程数据通讯都建立，周期性输出保持在预定义状态
- **OP:** 邮箱与过程数据都正常通讯不受限制
- **Boot:** 固件更新时使用的可选状态，此时只有 FoE 邮箱能正常通讯

带有可插拔接口的从站需要支持运行灯，以便指示从站当前所处状态：



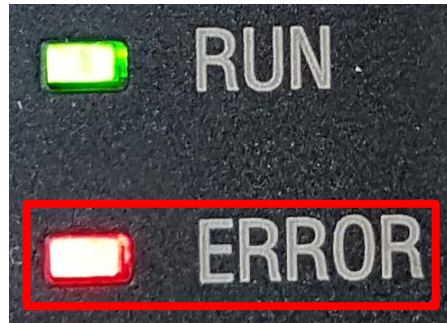
- **Init:** 关闭
- **PreOP:** 慢闪
- **SafeOP:** 单次闪烁，间隔较长
- **OP:** 常亮
- **Boot:** 快闪或关闭

在无主站明确请求情况下，运行期间离开 OP 状态的从站都需要诊断分析。

## EtherCAT 诊断

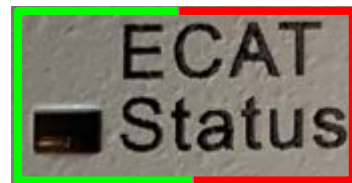
- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

带有可插拔接口的从站可以选择支持错误灯，用以指示状态机错误的原因：



- 无错误: 关闭
- 闪烁: 配置错误
- 单闪: 实时错误
- 双闪: 过程数据看门狗超时
- ...

运行灯与错误灯也可以被组合成一个双色 LED 状态灯：



无论何时，当从站不处于主站最后一次请求的状态时，错误通过应用层状态寄存器 0x0130 及写入到应用层状态码寄存器 0x0134 的错误码报告出来：应用层状态码可以由主站读取，作为错误灯所提供信息的补充，或者用于不支持错误灯的从站的诊断。

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

状态机错误（与其对应的应用层状态码）可以分为以下两种类型：

- **初始化错误 (从站在初始化时未达到 OP 状态):** 主站请求状态转换，但是从站由于一个或多个必要条件未满足，拒绝了状态转换。

典型的初始化错误：

- 0x0003：非法的设备设定
- 0x001D：非法的输出配置
- 0x001E：非法的输入配置
- 0x0035：非法的同步周期时间

- **实时错误 (从站自主的从 OP 状态进入到较低的状态):** 从站在运行时检测到错误，并在无主站请求的情况下自发的进入较低状态机。

典型的实时错误：

- 0x001A：同步错误
- 0x001B：同步管理器看门狗
- 0x002C：关键同步信号错误

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性  
概览
- 周期性同步  
诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程  
案例

主站正确配置从站需要的信息都通过 ESI 文件（典型的）获得，或者可以由从站的 EEPROM 中在线获取。

如果从站在初始化时未达到 OP 状态：

1. 检查从站的默认设定是否被更改，若有更改则删除并重添加/扫描从站（默认设定会被储存）。
2. (主站基于 ESI 文件来配置从站) 检查 ESI 文件保存的从站描述是否被正确提供给主站配置工具。
3. (模块化从站) 检查配置的模块列表是否对应实际物理连接的从站模块。
4. (基于 DC 同步的从站设备) 检查合适的从站同步配置是否能减少主站抖动的影响。

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

当从站顺利到达OP状态，在无主站明确请求的情况下不应该离开此状态。

如果从站突然离开 OP 状态:

1. 检查是否存在硬件错误 (比如链路丢失或者数据帧错误 – 参照硬件诊断), 此类错误可以间接导致看门狗超时或者同步丢失。
2. (存在过程数据看门狗错误) 检查主站应用 (PLC、NC, ...) 是否正在运行。
3. (存在同步错误) 检查是否是主站抖动过大导致了同步丢失 (在主站最大抖动 > 20-30% 通讯周期的情况下, 很容易发生同步错误)。



## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

为了报告特定的应用错误，从站设备可以选择支持CoE诊断历史对象 **0x10F3**，主站可以通过标准 SDO 服务读取这一对象。

配置工具可以支持诊断历史对象的图形界面：

The screenshot shows the 'Diag History' window in the EtherCAT configuration tool. The window has several tabs: General, EtherCAT, DC, Process Data, Startup, CoE - Online, **Diag History** (highlighted in red), and Online. Below the tabs are several buttons: 'Update History', 'Auto Update' (checkbox), 'only new Messages' (checkbox), 'Ack. Messages', 'Export Diag History', and 'Advanced...'. The main area contains a table of diagnostic messages:

Type	Flags	Timestamp	Message
Warning	N	2.1.2012 13:09:23 370...	(0x4413) I2T Amplifier overload
Warning	N	2.1.2012 13:09:23 370...	(0x4101) Terminal-Overtemperature
Error	Q	2.1.2012 13:09:23 356...	(0x8406) Undervoltage DC-Link
Info	Q	2.1.2012 13:09:23 317...	(0x0002) Communication established
Info	Q	2.1.2012 13:09:23 316...	(0x0003) Initialization: 0x0, 0x0, 0xFF



# EtherCAT<sup>®</sup>

机器或设备上的诊断步骤

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
  - 周期性同步诊断
  - 硬件诊断
  - 软件诊断
- 
- 诊断流程案例

有时诊断寄存器不会直接呈现给设备操作者，此时建议的硬件或者软件诊断步骤就无法立即实施：在这种情况下，部分预备步骤可能会对定位有帮助，甚至经常能解决问题（特别是如果发生硬件层面的问题）。

如果这些步骤对问题并无帮助，更深层的[硬件](#)和/或[软件](#)诊断应该在操作接口（如果能够在此获取诊断信息）或者设备制造商的帮助下实施。

无论何时，当发生 EtherCAT 网络通讯问题：

	检查	错误表现	假如发生错误
1	检查从站各接入网络端口的 <a href="#">链路/激活灯</a>	LED 常灭	检查设备两端的链路是否正常 检查线缆接头是否正确连接 检查线缆本身是否存在损毁或中断 使用检测仪，引脚对引脚地连续检查每根线缆的终端接头 尝试替换线缆

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性  
  概览
  - 周期性同步  
  诊断
  - 硬件诊断
  - 软件诊断
- 诊断流程  
  案例

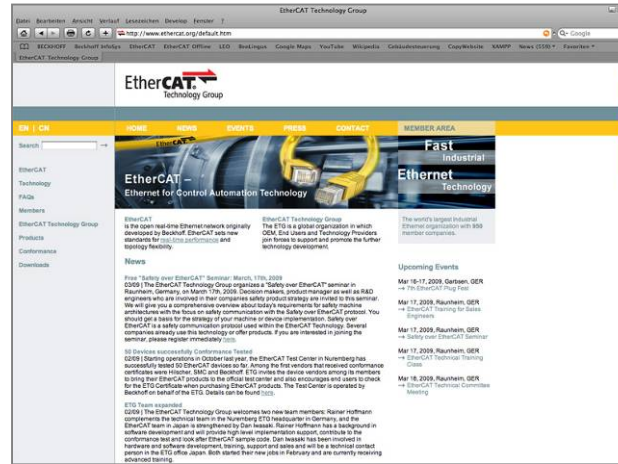
	检查	错误表现	假如发生错误
2	检查每一条线路从连接好 (或者设备上电) 到 <b>链路/激活灯</b> 常亮 (或者闪烁) 之间所需的时间	延时 > 6-7 秒	检查链路两端是否共地
			检查接头是否制作正确 (仅适用于自制线缆情况)
			根据线缆规格, 检查最大的线缆长度 (在AWG 22标准下应该 ≤ 100 米, 更小规格的线缆如 AWG 24 或者 26 应该限制更小的长度)
			检查端到端的线缆电阻 (在AWG 22线缆的情况下 ≤ 57,5 Ω/km)
3	检查每个从站设备的 <b>运行灯</b>	灯不能常亮	检查链路/激活灯是否闪烁 (确认从站在接收数据)
			检查错误/状态LED屏 (若支持) 上显示的闪烁码
			检查从站特定的诊断信息 (若支持)
4	在各种情况下, 当可用的信息能够定位网络通讯错误开始出现的具体位置时 (只有设备的一部分停止工作, 操作者界面根据精准的从站子集报告了错误来源)		根据第一和第二点中的流程检查线缆, 从被问题影响到的网段开始。
			替换线缆, 从被问题影响到的网段开始。
			被问题影响到的网段的两端, 一次一个地替换从站设备。
5	当通讯错误影响到整个网络		根据第一和第二点中的流程, 检查主站与第一个从站之间的线缆。
			重启主站
			替换主站

## EtherCAT 诊断

- 诊断特性概览
- 周期性同步诊断
- 硬件诊断
- 软件诊断
- 诊断流程案例

更多信息, 请登录

[www.ethercat.org.cn](http://www.ethercat.org.cn)



**EtherCAT 技术协会**

**ETG 中国代表处**

中国, 北京

电话: 010-58301239

[info@ethercat.org.cn](mailto:info@ethercat.org.cn)