

PROFIBUS-DP 网络稳定性提升研究

吴成锦

(宝钢湛江钢铁有限公司, 广东 湛江 524000)

摘要 Profibus-DP 通信在工业自动化中得到了广泛的应用, Profibus 代表 “Process Field Bus”, 即 “过程现场总线”; DP 代表 “Decentralized Peripherals”, 即 “分布式外围设备”, 通常用于工业自动化领域的数字通信总线协议, 实现自动化控制系统中的实时数据传输和设备之间的通信。使用 Profibus-DP 网络系统建立起分散 I/O 之间的通信, 节省了电缆敷设的成本, 完成分布式控制系统的高速数据传输, 在冶金行业网络通信中同样得到了推行, 一旦出现网络故障将影响到机组的稳定运行, 严重的则会造成设备损坏, 导致生产产品出现质量缺陷, 因此它的稳定性至关重要。

关键词 通信系统; 自动化; Profibus-DP; 网络故障

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)10-0016-03

PROFIBUS-DP 网络的应用, 实现了现场层的高速数据传输, 与西门子 PLC 系统形成了良好的配合, 同时配套的诊断工具具备检查和确定在 PROFIBUS-DP 设备的某部分上的故障反应或意外反应原因的能力, 能够协助现场维护人员快速处理故障^[1]。PROFIBUS 现场总线通用性非常强, 且能做到不依赖于设备生产商的现场总线标准^[2], 在使用 DP 网络的过程中, 网络电缆的选型、布线规范、连接器的装配、终端电阻的使用等都是影响网络稳定性的重要因素, 特别是涉及机组的移动设备, 如进出口钢卷小车、包装步进梁提升小车等设备。因此本文将从各个方面进行分析研究, 提升 DP 网络的稳定性。

1 现状分析

某机组的 PLC 控制系统中, 使用了大量的 DP 通信电缆, 与现场 ET 站、变频传动控制、现场编码器控制等远程设备进行了组态通信。在自动化率较高的机组产线, 同时会拥有许多单体设备接入, 因此整体拓扑结构相对复杂, 网络使用负荷较高。在使用过程中, 在信号控制及采集方面非常方便, 系统稳定可靠性高, 但容易受到环境影响、电磁干扰的影响^[3], 若其中一段网络电缆出现异常, 则会影响整个网络的稳定性, 出现通信闪断的现象。在使用 DP 通信电缆过程中存在一些不规范的现象, 通常会有以下问题:

1. 电缆铜芯选型错误: 在移动设备中使用了硬芯电缆, 长期移动折弯的情况下导致电缆内部断芯, 不易从外观上发现异常, 导致排查故障困难。

2. PROFIBUS 连接器接线错误: 在连接器接线时未能正确区分 IN/OUT 的定义, 出现接线错误, 导致通信

无法连通, 造成整段网络通信故障。

3. PROFIBUS 连接器电阻拨挡错误: 在更换连接器的时候, 连接器的电阻选择 on/off 拨挡错误, 造成通信中断故障。

4. 电缆防护不当: 在电缆桥架、电缆隧道敷设电缆过程中, 未能将动力电缆与 DP 电缆分层敷设, 产生干扰; 在外部设备敷设电缆时, 随意将 DP 电缆放置地面, 行人、车辆经过时造成电缆磨损损坏, 影响通信质量。

2 现场应用

2.1 网络电缆的选型

1. 电气特性: PROFIBUS 电缆是一种屏蔽双绞线铜缆, 缆芯类型分为硬线、软线, 以及是否有护套和护套上的区别。DP-IS 电缆的两种缆芯有绿色和红色的绝缘层, 起到隔离保护的作用。PROFIBUS-DP/DP-IS 电缆具有多种类型, 各种类型有着不一样的物理特性, 分别用大写字母 A、B、C 和 D 进行标识。通常在规划网络电缆的选型时, 专门选择使用了 A 类电缆。表 1 给出 A 类电缆必须达到的参数要求。

表 1 A 类电缆参数要求

参数	规定限值
阻抗	135.165 Ω f=3...20 MHz
工作电容	≤ 30 pF/m
回路电阻	≤ 110 Ω /km
缆芯直径	> 0.64 mm
缆芯横截面积	> 0.34 mm ²
PROFIBUS-DP-IS 的 L/R 感阻比	≤ 30 μ H/ Ω

2. 机械特性：在不同的应用和铺设场景中，通常要考虑电缆的机械特性，在移动、弯曲的设备中使用，比如钢卷小车拖链中、提升小车拖链中，需要考虑电缆的弯曲半径和弯曲频率，通常使用软线、拖曳电缆。抗拉强度的增加则由其他因素导致，如电缆中的芳纶纤维。在某些特殊要求的场合，应使用特殊的电缆，如使用玻璃纤维、铁丝网来进行加固。

3. 化学特性：PROFIBUS-DP/DP-IS 电缆的护套可采用不同材料，这些不同的材料可以提供相应的保护，以抵抗不同环境的影响。电缆制造商在电缆的数据表中，经常标明由于化学成分或特殊材料（如卤素、硅）的存在而导致的特性。

4. 种类区分：

（1）标准电缆：由软 / 硬铜缆芯构成，电缆直径大约 8 mm，具有典型的紫色护套颜色。标准电缆通常使用在固定式电缆线槽中，如 PLC 控制柜、传动柜、现场固定式单体设备等区域。

（2）无卤标准电缆：由软 / 硬铜缆芯构成，电缆直径大约 8 mm，护套由无卤材料制成，护套颜色通常为紫色，为了应对易燃性有特殊要求的地方，则选择使用无卤标准电缆进行布线，如居民区、大型商城、消防设施等区域。

（3）PROFIBUS-DP/IS 标准电缆：此电缆具有蓝色护套，适用于 PROFIBUS-DP/IS，电缆直径大约 8 mm。

（4）带 PE 护套的电缆：此电缆护套用聚乙烯（PE）制成，具有增强的抗磨损性和无卤性，护套通常为黑色，电缆直径大约 8 mm，设计用于建筑内部的固定布线以及在食品或饮料业中使用。

（5）地下敷设电缆：地下敷设电缆被包裹一层额外的黑色护套，通常由聚乙烯（PE）制成，可直接铺设在地下。当使用这些电缆时，应注意它们具有较大的电缆直径，大约 10 mm。在使用连接器进行接线时，可将黑色护套剥除。

（6）拖曳电缆和拖挂电缆：这两种软电缆类型的缆芯是编织状软铜芯线，且具有较高的回路阻抗。由于回路阻抗超出 A 类电缆规定的限值，导致达不到分段最大长度的理论值。这类型电缆使用能满足高环境要求的材料如聚氨酯（PUR）作为护套材料，具有青绿色护套颜色标识，电缆直径大约 8 ~ 10 mm。PROFIBUS 吊挂电缆通常具有集成芳族聚酰胺纤维的电缆护套，因此具有应力消除功能，通常用于可能经常移动电缆的设备，如有拖链结构的钢卷小车、提升小车等。

2.2 网络电缆的安装布线规范

一般车间或工厂的电缆桥架线路都有可能敷设着

高电压、大电流的电缆，PROFIBUS 电缆与这些电缆平行敷设可能导致干扰问题，从而导致数据传输出错。因此需要将 PROFIBUS 电缆与干扰源分离并使任何平行的电缆长度最小化，同时要注意，PROFIBUS-DP 网段上布线时，各设备（主从站、中继器、有源终端电阻、OLM 模块等）之间通信电缆长度不得小于 1 m^[4]。

在车间地面区域安装布线时，可视情况增加电缆线槽、穿金属管的方式进行保护，避免行人、车辆等经过时对电缆产生损坏，但要注意线槽金属部分做好等电位接线，减少 EMC 的干扰。

2.3 电缆连接器装配

在控制柜内部区域通常使用 9 针 Sub-D 型连接器（见表 2），在控制柜外部可以使用 M-12 型或混合型连接器，PROFIBUS 站决定所使用的连接器类型，不同的连接器需要不同的配线技术。

PROFIBUS 连接器通常有两个电缆入口，每个入口有一组接线端。每个接线端通常用“A”和“B”来标记，或者用特定的颜色标记，例如“绿”和“红”。这两个接线端与 PROFIBUS 电缆中的两条数据线连接。在一个分段内所使用的颜色配置必须一致，即线芯不能互换。PROFIBUS 导则“互连技术（Interconnection Technology）”规定了以下的配置：A 是绿色；B 是红色。

表 2 9 针 Sub-D 型连接器定义

引脚	信号	描述	规范
1	（屏蔽）	屏蔽或电位相等	不推荐
2	M24	电源 24 V 的地	可选的
3	RxD/TxD-P	接收 / 发送数据，线 B（红色）必备的	
4	CNTR-P	中继器方向控制	可选的
5	DGNG	数据地（对 VP 的参考电压）	必备的
6	VP ^a	电源 +5 V（例如，用于总线终端器）	必备的
7	P24	+24 V 电源	可选的
8	RxD/TxD-N	接收 / 发送数据，线 A（绿色）必备的	
9	CNTR-N	中继器方向控制	可选的

a 最小电流能力是 10 mA

b 如果支持从 RS485 传输到光纤传输的转换器的话，这些信号应该由设备来提供

为了确保正确的传输和避免干扰，应遵守以下几点：

1. 在连接器内缆芯的走线不能有扭结。
2. 在连接器屏蔽与 PROFIBUS 电缆屏蔽之间的连接必须有大的表面积。
3. 电缆不能受到张力消除的挤夹。

4. 连接器内电缆剥开的缆芯不能与屏蔽层的编织网接触。

2.4 连接器终端电阻的设置

在 PROFIBUS 插头上, 标注有进线孔 (In) 和出线孔 (Out), 分别用于连接至前端站点和后端站点。各站点连接时, 依据 RS485 串口通信的规范要求, 每个物理网段支持 32 个物理设备, 同时要确保在物理网段终端的站点设置终端电阻, 避免浪涌干扰。在我们使用的 PROFIBUS 插头上, 都设计了内置终端电阻, 可以选择接入 (On) 和切除 (Off)。当将终端电阻拨挡选择为 “On” 时, 表示一个物理网段的终结, 此时连接在出线端口 “Out” 后面的网段的信号也将被中断。在某整段网络整体掉线后排查故障时, 通过拨动开关, 改变插头 On/Off 位置来判断网段故障位置^[5]。

3 解决方案

3.1 DP 电缆断芯问题

1. 移动设备的 DP 电缆采用编织状软铜芯线, 且采用聚氨酯 (PUR) 作为护套材料来对内部缆芯能起到保护作用, 如果在长期使用液压设备区域, 存在液压油泄露浸泡到电缆的现象, 则需要考虑增加耐油耐磨外护套, 避免设备在移动过程对电缆造成损伤, 从而导致断芯。

2. 固定式敷设的 DP 电缆采用标准电缆, 可用硬铜芯线, 注意要采用电缆桥架或穿管敷设, 避免受到外部压力导致电缆被压断; 在控制柜内敷设的 DP 电缆, 为了保护电缆不受机械应力的损坏, 需将电缆固定在接地夹上, 避免在柜门打开或更换通信设备时候被拉断。

3.2 PROFIBUS 连接器使用错误问题

根据 PROFIBUS 连接器标注的进线孔 (In) 和出线孔 (Out), 接线前要清楚通信的上端设备与下端设备所属电缆, 每一条电缆都包含 A、B 两条数据线, 分别接到 A1、B1 及 A2、B2 端子上, 按照顺序来接线。若是接到最后一台设备, 则只需要接在进线的端口上, 设置好终端电阻, 同时可通过 PLC 通信状态反馈来确认是否接线正确。

3.3 电缆防护

1. 每种电缆类型规定了最大抗拉伸强度, 超过最大抗拉伸强度会损坏或毁坏 PROFIBUS 电缆, 标准 DP 电缆在敷设过程中不可用大力拉扯, 可以考虑使用滚筒来辅助拉线。

2. 禁止挤压 PROFIBUS 电缆, 比如敷设在车辆通道、行人通道时, 必须使用过桥进行保护。

3. 禁止强力扭曲 PROFIBUS 电缆, 这会导致电特性变坏和 EMC 性能减弱, 如果不可避免受到扭曲, 则必须使用耐扭转的 PROFIBUS 电缆。

4. 禁止将电缆多圈打环, 打环的电缆容易产生感应电流, 从而影响到信号的稳定性。

5. 禁止将 DP 电缆与动力电缆平行布线, 通常要求两者要分开布线, 通信电缆最好采用单槽布线, 并加盖板封闭。

3.4 电缆屏蔽层处理

1. PROFIBUS 连接器在安装时候, 需将电缆屏蔽层压在连接器金属部分, 且注意屏蔽层不能剥开太长, 避免暴露在外面受到干扰。

2. DP 电缆在进 / 出电气柜时, 需要将屏蔽层接地, 保持接地的可靠性。

3. DP 电缆在接入电气柜端子时, 必须要在端子排两侧连接好屏蔽层, 通常是将屏蔽层剥开拧成一根, 连接到两侧屏蔽层端子板上, 以此来消除电气柜内其他设备的干扰。

4. 电气柜内使用 DP 电缆连接变频设备的情况下, 需将变频器安装在镀锌底板下, 尽量避免使用喷漆底板, 能够有效消除变频设备的干扰。

4 结束语

PROFIBUS-DP 网络在工业应用中具备快速性、可靠性、高效性, 极大地提升了工业的自动化效率, 所配套的网络通信电缆、连接器、主站 / 从站接口、控制软件等各个方面都有非常成熟的技术支持, 它统一了应用行规和系统方面, 如接口、用于项目规划工具的语言以及 HMI 等, 但在使用该网络的过程中要遵守各项协议, 依据规范进行选型、布线、安装、使用, 并做好相关防护措施、日常维护措施, 才能确保拥有优质的通信质量。

参考文献:

- [1] 石慧明. 基于 FPGA 的 Profibus-DP 通讯数据监听研究 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2023.
- [2] 王海岭, 张红艳, 李才有. Profibus-DP 数据总线电缆的研制 [J]. 电线电缆, 2022(04):14-16, 27.
- [3] 张雷, 王平, 毕飞. PROFIBUS-DP 网络在连续机组的应用与研究 [J]. 中国仪器仪表, 2022(09):48-51.
- [4] 韩军亮. PROFIBUS 网络在连铸机铸流控制系统的应用 [J]. 设备管理与维修, 2021(19):81-82.
- [5] 唐慧琪. 基于 Profibus-DP 现场总线工程实践的故障分析 [J]. 设备管理与维修, 2024(03):72-74.