

PROFIBUS 网络诊断

摘要

PROFIBUS 是全球分布最广的数字现场总线技术,可以给各种领域的应用带来优势。

然而,即使 **PROFIBUS** 安装得当,现场总线通信的运行质量也会逐渐降低,最终可能出现严重的通信故障,从而导致瞬间停产和巨大的经济损失。因此,用户必须持续关注 **PROFIBUS** 网络,并使用适当的诊断工具。

本白皮书讨论了诊断 **PROFIBUS** 网络的最新技术,并提供了可行的指导以避免通信故障和由此导致的计划外生产停机。

目录

1 介绍.....	1
2 PROFIBUS 概述.....	2
3 诊断 PROFIBUS 网络.....	8
3.1 PROFIBUS DP 网络的物理分析	9
3.1.1 线缆测试	9
3.1.2 拓扑扫描	11
3.1.3 质量指数	12
3.1.4 信噪比	13
3.1.5 上升时间	14
3.1.6 示波器显示的信号波形	15
3.2 PROFIBUS PA 网络的物理分析	16
3.2.1 直流电压测量	16
3.2.2 信号电压	16
3.2.3 比特率偏差	16
3.2.4 极性	17
3.3 PROFIBUS 网络的逻辑分析	17
3.3.1 波特率	17
3.3.2 实时列表	17
3.3.3 网络信息	18
3.3.4 PROFIBUS 主站信息.....	18
3.3.5 PROFIBUS 从站信息.....	19
3.3.6 帧分析	20
4 分析 PROFIBUS 网络的方法	21
4.1 分析 PROFIBUS 网络的一般注意事项	21
4.2 解释质量指数	21
4.3 使用案例：PROFIBUS 网络的验收	23
4.4 使用案例：排除 PROFIBUS 网络故障	24

4.4.1 对工作中的 PROFIBUS 网络进行故障排除	24
4.4.2 对不在运行的 PROFIBUS 网络进行故障排除	25
5 PROFIBUS 网络分析工具	26
5.1 移动 PROFIBUS 诊断工具	26
5.2 PROFIBUS 诊断软件	26
5.3 固定式 PROFIBUS 诊断工具	28
6 概括	29
7 与 PROFIBUS 诊断相关的术语	31
8 关于 Softing	35
9 作者	36
10 参考	36

1 介绍

PROFIBUS 标准已有 20 多年的历史，如今已是一种成熟的数字现场总线技术。PROFIBUS 通常用于工厂和过程自动化行业，也可用于食品、饮料或制药等混合行业。此外，PROFIBUS 还适用于楼宇自动化和轨道交通等市场。PROFIBUS 是唯一服务于所有这些不同应用领域的现场总线技术。

根据 PROFIBUS 和 PROFINET 国际(PI)协会的数据，截至 2015 年底，大约售出了 5370 万台 PROFIBUS 设备，而且这个数字还在快速增长。庞大的安装数量表明 PROFIBUS 作为领先的现场总线技术，肯定会在未来几年甚至几十年内继续发挥作用。PROFIBUS 的安装场合遍布世界各地，而且每个场合通常包含数千台设备。

PROFIBUS 作为生产制造工厂的通信骨干网络，其可靠运行对于提高工厂生产力至关重要。但是在 PROFIBUS 调试和运行过程中可能会遇到应用问题，通常除了外围设备故障外，大多问题是由物理故障引起的。由于 PROFIBUS 是一种非常成熟和强大的技术，这些故障通常不是一个复杂的技术问题，相反，真正的问题大多只是总线中存在故障的连接器或不正确的总线终端。

然而，排查 PROFIBUS 的故障根源并不总是一件容易的事：例如，PROFIBUS 通信可能只是偶尔发生故障，或者可能在整个网络看似不相关的部分出现报错。此外，接地故障可能会逐渐损害现场总线的运行，从而使整个网络不稳定。

现在有多种工具可用于检测 PROFIBUS 故障，这些工具提供丰富的功能可用于线缆测试、电信号分析和逻辑网络分析。本白皮书针对 PROFIBUS 网络诊断讨论了几种不同测量方案，并阐述了 PROFIBUS 的最佳实践——整个通信生命周期中保持现场总线正常运行并且避免代价高昂的计划外生产停机。

2 PROFIBUS 概述

PROFIBUS (PROcess Field BUS) 是自动化技术领域领先的现场总线通信标准。它支持使用单总线线缆在网络内进行数据交换，数据传输非常可靠。基于 PROFIBUS 的众多扩展协议，为包括制造和过程自动化在内的很多应用领域提供了解决方案（参见图 1）。

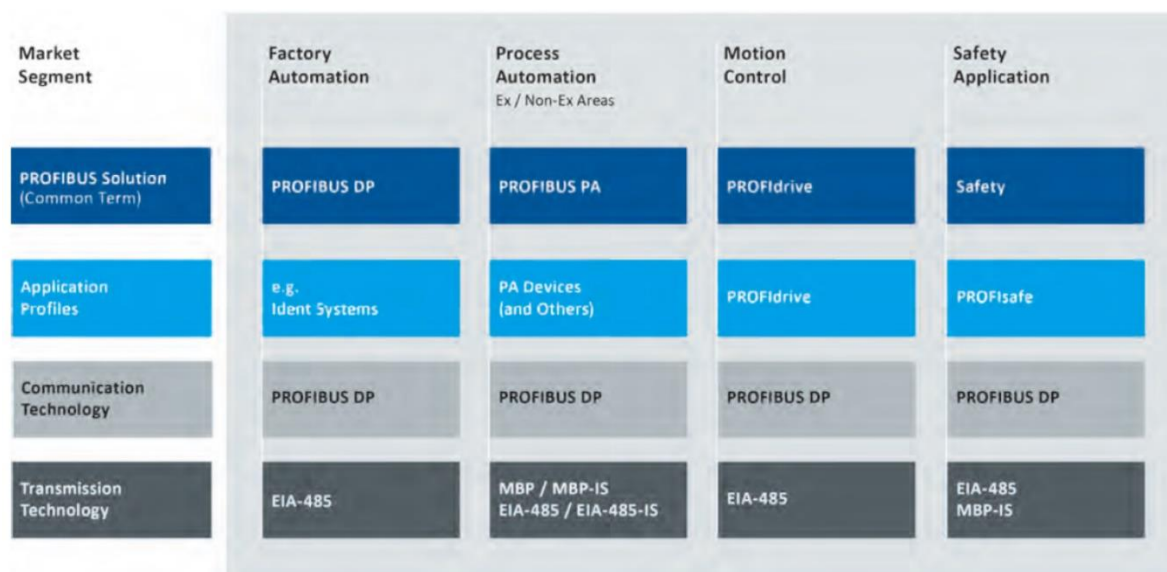


图 1: PROFIBUS 支持的不同细分市场(来源: PROFIBUS & PROFINET International)

1993 年，PROFIBUS DP 分布式外围设备 (Decentralized Peripherals) 标准发布，重点关注控制器和远程 I/O 现场设备(传感器和执行器)之间简单快速且稳定的通信。

在不同的应用领域中，PROFIBUS 通常使用 EIA-485 传输技术作为物理层，除非由于特定要求（例如通过总线线缆向现场设备供电、强干扰或长距离）不能适用。EIA-485 基于一对带有屏蔽的双绞线 铜缆，提供 150Ω 的阻抗，支持将多达 126 个站连接到一个 PROFIBUS DP 网络¹，支持线性总线拓扑。为了确保在没有报文传输的情况下传输线上存在一个定义的总线空闲电压，并且为了最小化线路上的信号反射，PROFIBUS DP 段的每一端都需要连接到一个终端电阻。PROFIBUS DP 支持从 9.6 KBit/s 到 12 MBit/s 的传输速率。PROFIBUS DP 可实现站点的无反应耦合和去耦合以及整个 PROFIBUS 网络的增量调试。特别是，它支持网络的后续扩展，而不会影响

¹ 包含超过 32 个站的 PROFIBUS 网络必须使用中继器分段构建。每个段最多可包含 32 个站，包括中继器。各个网段的组合可以看作是一个逻辑 PROFIBUS 网络。

已经运行的站点。

PROFIBUS 数据链路层由现场总线数据链路 (FDL) 协议定义。在此协议中，令牌传递确定了网络访

问方式（参见图 2），同时令牌区分主站（通过现场总线控制数据交换的站）和从站（传感器和执行器响应单个读取请求或通过现场总线接收数据）并控制单个主站²的时隙。基于此主/从技术，实现访问现场总线并在 PROFIBUS 站点之间进行可靠的数据交换。

PROFIBUS DP 标准定义了不同的版本。PROFIBUS DP-V0 版本提供了通信协议的基本功能，一般包括 循环通信和设备、模块和通道特定的诊断，用于快速定位故障（包括通信故障以及特定的应用错误，例如“温度过高”或“输出短路”）。PROFIBUS DP-V1 版本为 PROFIBUS DP-V0 版本补充了非循环 通信功能，即支持智能站的任务，例如参数化、操作、监控、报警处理和维护。为此，PROFIBUS DP-V1 定义了通过工程工具对现场总线站的在线访问。与 PROFIBUS DP-V1 相比，PROFIBUS DP-V2 版本提供了扩展功能，包括时间同步、驱动控制所需的等时实时功能以及时间戳和从站到从站通信。

PROFIBUS DP 定义了不同的设备类型，如表 1 所述。

PROFIBUS DP 设备类型	描述
PROFIBUS DP 1 类主站	PROFIBUS DP 1 类主站控制通信过程，以便在配置的时隙内使用定义的循环命令与各个从站交换过程值。 ³ 典型的 PROFIBUS DP 1 类主站设备包括控制器和 PC。
PROFIBUS DP 2 类主站	PROFIBUS DP 2 类主站使用非循环服务访问现场总线 ⁴ 。这些服务可用于配置和参数化智能现场设备。 工程站和操作面板通常用作 PROFIBUS DP 2 类主站。
PROFIBUS DP 从站	PROFIBUS DP 从站是一个外围设备，它读取输入信息并将输出信息发送到外围设备。支持的输入和输出信息量取决于设备；最多可以处理 246 字节的输入数据和 244 字节的输出数据。

表 1: PROFIBUS DP 设备类型³⁴

基于表 1 中的 PROFIBUS DP 设备类型支持不同的网络架构，提供了高度的灵活性。这些架构包括：

² 各个主设备的时隙被定义为（离线）配置过程的一部分。用户必须确保每个主站都收到一个足够长的时隙来执行其所有通信任务，并且各个主站和各个从站之间的所有数据交换都是实时执行的，时间开销最小。

³ PROFIBUS DP 主站 1 类也可以使用由 1 类主从非循环通信 (MSAC_C1) 定义的非循环服务。

⁴ 这些服务由 2 类主从非循环通信 (MSAC_C2) 定义。尽管名称为非循环服务，但 PROFIBUS DP 2 类主站可以在固定时基上执行，例如 用于提供 SCADA 系统所需的数据。

- **单主站网络**

只有一个主站（PROFIBUS DP 1 类主站）在运行期间连接到 PROFIBUS DP 网络，此时控制器充当中央控制单元，各个从站从远端连接到现场总线。

单一主站网络提供最短的现场总线循环时间。

- **多主站网络**

有多个主站（分别有 PROFIBUS DP 1 类主站 和 PROFIBUS DP 2 类主站）连接到 PROFIBUS DP 网络。它们要么单独构建独立的子网络，每个子网络由一个 PROFIBUS DP 1 类主站和对应的从站组成；要么在一个子网络中包含 PROFIBUS DP 1 类主站以及用于开发和诊断的 2 类主站。虽然所有主站都可以读取从站的输入和输出值，但只有为该从站配置的 PROFIBUS DP 1 类主站才允许写入特定从站的输出值。

图 2 显示了一个 PROFIBUS DP 架构示例，说明了一个 PROFIBUS DP 1 类主站和一个 PROFIBUS DP 2 类主站基于令牌传递的数据交换方式。

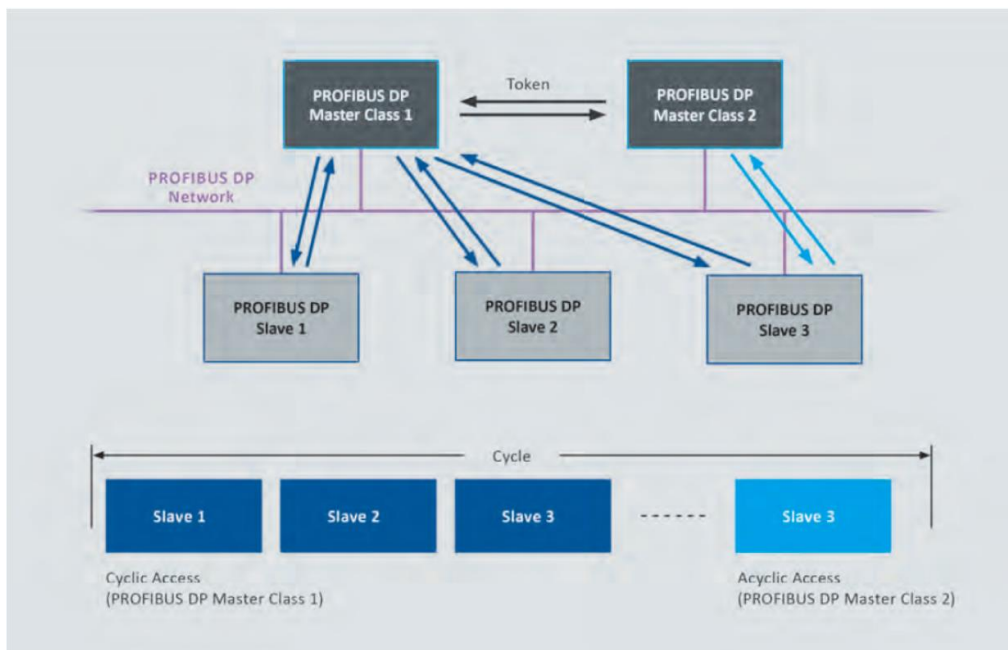


图 2: 循环和非循环 PROFIBUS DP 通信（来源: PROFIBUS & PROFINET International）

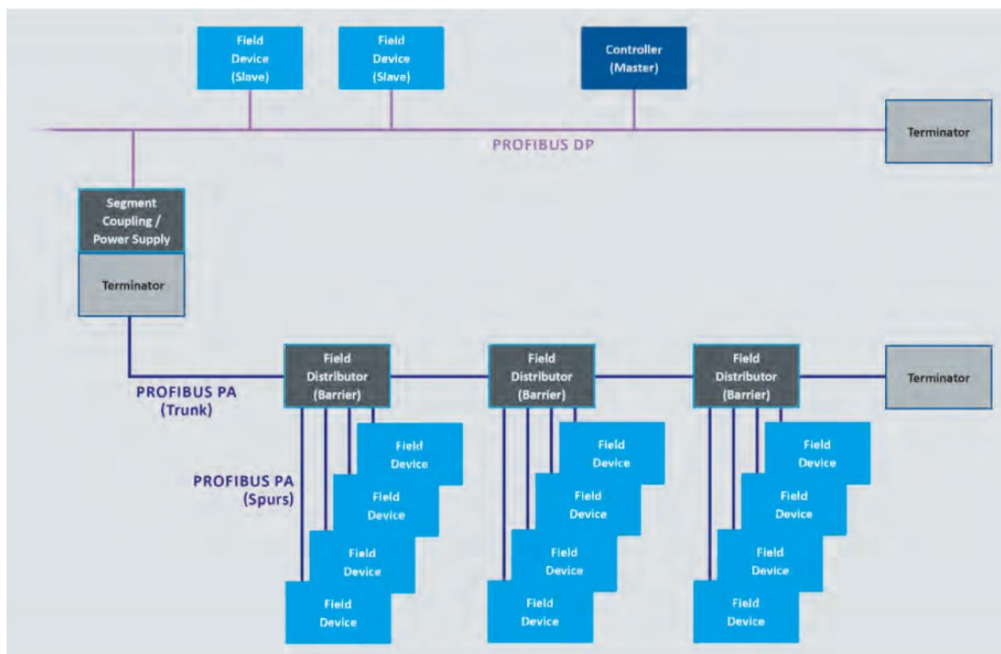
单个 PROFIBUS 设备的功能由通用站描述 General Station Description (GSD) 和电子设备描述 Electronic Device Description (EDD) 文件定义。GSD 文件包含单个 PROFIBUS 设备的关键数据、有关其通信性能的信息，例如诊断值等。它提供了在现场从站设备和 PROFIBUS 主站之间循环交换的测量值和操作变量所需的所有信息，并支持 PROFIBUS 网络的配置。EDD 文件提供了描述特定应用功能和复杂现场设备

参数的附加信息，它包括对非循环交换的设备功能的描述，包括基于图形的选项，以及设备信息，如订单数据、材料、维护说明等。⁵

1996 年，发布了 PROFIBUS 过程自动化 Process Automation(PA) 应用配置文件，它使用 PROFIBUS DP 通信技术，专为满足过程自动化需求。PROFIBUS PA 适用于危险和潜在爆炸区域 (Ex zone 0 和 1)。因此，与使用 EIA-485 传输技术的 PROFIBUS DP 网络不同，PROFIBUS PA 网络中的数据运输通常是基于曼彻斯特编码总线供电 Manchester Coded Bus Powered (MBP)⁶ 执行的，它能够为各个现场设备通过总线供电，因此，可以显著减少布线成本。PROFIBUS PA 在网络的每一端都需要一个无源链路终端。

MBP 通信只需要 8 位来对字符进行编码。⁷ 因此，PROFIBUS PA 满足了更简单且更安全的安装要求，并将数字传输的优势融入了现场设备。PROFIBUS PA 还通过限制总线或现场安装组件提供的电源来实现防爆保护的本质安全应用，被广泛用于化工、石油和天然气工业应用。

MBP 传输技术基本支持多种不同的拓扑结构，包括线性和简单的树形结构。在实践中，“Trunk & Spur Topology”（参见图 3）已成为事实上的标准，因为它特别清晰且布局合理。由于市场上技术成熟的安装方式，它还表现出高度的稳定性。一个网



⁵ EDD 文件主要用于 PROFIBUS 过程自动化 (PA) 应用。

⁶ 曼彻斯特编码总线供电传输技术已独立于 PROFIBUS 通信进行开发和标准化，可满足过程自动化的需求。MBP 也被其他现场总线使用，例如 FOUNDATION™ 现场总线 H1。

⁷ 相比之下，标准 PROFIBUS DP 使用基于 11 位字符编码的串行 UART NRZ（不归零）通信。

段的总长度不可以超过 1,900m，本安应用中的支线长度限制为 30m，在计算总长度时必须考虑在内。

图 3: PROFIBUS PA 使用的 Trunk & Spur 技术以及 PROFIBUS PA 段与 PROFIBUS DP 的耦合。⁸(来源: PROFIBUS & PROFINET International)

⁸ 作为替代，保护屏蔽也可以在节段耦合装置内实现。这里现场分配器内不需要保护屏蔽，但可用的电力较少。

基于 PROFIBUS DP-V1 版本，它使用 PROFIBUS DP 协议，数据传输速率为 31.25 KBit/ s，并通过使用段耦合器或链路等耦合设备连接到 PROFIBUS DP 网络。然后由 PROFIBUS DP 充当骨干网络，用于将过程信号传输到控制器。

PROFIBUS PA 应用配置文件定义了过程控制设备的功能和参数，例如变送器、执行器、阀门和分析仪。这些功能和参数用于使设备适应相应的应用和过程条件。功能基于功能块，相关参数分为输入、输出和内部参数。PROFIBUS PA 应用配置文件还确定了如何使用 PROFIBUS 通信协议的各种服务，这意味着循环交换的过程数据都基于设备的标准格式。除了测量值和/或操纵变量之外，此格式还提供有关值质量和可能违反限制的信息的状态。因此，它通过标准化的诊断信息为协调应用、简化工程、设备替换和提高可靠性奠定了基础。

PROFIBUS PA 应用配置文件的最新版本 V3.02 解决了用户对全面诊断和状态指示的需求，以及过程自动化应用中现场设备的面向系统的资产管理的要求。

3 诊断 PROFIBUS 网络

PROFIBUS 网络是非常敏感的传输系统，具有 VHF 范围内的传输特性，尤其是在使用 1.5 MBit/s 或更高的高传输速率时。因此，在设置安装 PROFIBUS 网络时，严格遵守 PROFIBUS&PROFINET International (PI) 安装指示非常重要。

任何与最佳安装总线线路的偏差都会对传输行为产生负面影响。此外，任何安装不当的连接器、非法支线线缆或两种不同线缆类型之间的过渡都会改变该位置的阻抗并导致反射，从而使信号质量变差。

为了克服这个漏洞，PROFIBUS 标准定义了一个非常强大的通信系统，用于在 PROFIBUS 主站和从站之间交换数据。其通信功能具备特别的稳定性，即使发生通信错误，也可保障可靠通信而不会失去控制和损坏数据。因此，符合标准的 PROFIBUS 网络安装支持通信运行储备。

每个 PROFIBUS 帧都包含一些冗余信息（奇偶校验位、帧校验序列、特定的开始和结束分隔符），提供高达 4 的汉明距离检测能力。如果接收站通过这些方式检测到错误，它不会响应从而导致发送方重复该帧（根据网络配置，最多七次）。

然而，在 PROFIBUS 网络中存在该运行储备可能会导致状态指示器仍显示网络的各个控制器和设备的正常操作模式，这可能导致用户误认为网络工作正常，即使这不是事实。只有当数据损坏率 达到临界阈值时，故障才会对用户可见。然而，在这个阶段，通信通常已经停止并导致生产停机。

通过更详细地分析 PROFIBUS 通信，可以在通信停止工作之前识别出总线通信的运行储备逐渐减少。一旦用户意识到这种减少，就可以采取纠正措施来避免计划外停机。

本章讨论了各种类型的 PROFIBUS DP 和 PROFIBUS PA 网络分析，包括 PROFIBUS 线缆的物理测量、电信号分析以及 PROFIBUS 帧级别的通信分析。由于 PROFIBUS DP 和 PROFIBUS PA 之间的物理层不同，因此必须在此处应用不同的分析方法（分别参见第 3.1 节和第 3.2 节）。然而，两种协议的 PROFIBUS 帧级别是相同的，允许在 PROFIBUS DP 和 PROFIBUS PA 网络中使用相同的逻辑分析方法进行通信（参见第 3.3 节）

其他章节将提供一些提示，说明如何有效地结合各个诊断方法，在 PROFIBUS 安装生命周期的不同阶段对 PROFIBUS 网络进行整体分析，例如在 PROFIBUS 网络调

试期间或作为预防性维护措施的一部分（参见第 4 章）。第 5 章概述了市场上用于分析 PROFIBUS 网络的不同类型的工具。

3.1 PROFIBUS DP 网络的物理分析

PROFIBUS DP 网络的物理分析是在网段级别进行的，它涵盖对所使用的 PROFIBUS 线缆的测量，包括总线终端，以及 EIA-485 传输技术的电信号。所进行的测试涉及 PROFIBUS 通信的物理层。

物理分析测量利用为 PROFIBUS DP 内的数据传输定义的差分信号机制。实际的数据信号是通过两条相互反转的信号线（线 A 和 B）传输的。对于 PROFIBUS DP 通信，定义两条信号线 A 和 B 之间差异的差分电压以数字方式解释，表示逻辑 0 或逻辑 1 信号。此处发生的任何故障都会妨碍对通信比特流的正确检测。

PROFIBUS DP 最常用的连接器是 9 针 D-sub 连接器。引脚 8 用于线路 A，引脚 3 用于线路 B。各个 PROFIBUS 站仅使用这两条线路通过双绞线线缆连接，另外还提供屏蔽。因此，PROFIBUS 线缆仅连接这两个引脚。

物理分析的目标是创建通用总线状态语句。为此，PROFIBUS 线路上的信号在不同的位置和时间被记录下来。对这些记录进行比较和分析，以检测和定位可能导致总线故障的物理问题。

PROFIBUS DP 网络的物理分析包括不同类型的测量。它们将在以下各节中讨论。

3.1.1 线缆测试

线缆测试提供了 PROFIBUS 安装物理状态的第一个指示。它可以检测线缆故障，这些故障可能由于易受干扰甚至通信故障而导致偶发且不可重现的错误。

线缆测试通过时域反射 (TDR) 测量检查 PROFIBUS 段的线缆和终端。它确定线缆段长度，扫描线路上不需要的反射，并验证线缆的正确端接。因此，可以发现短路和断路或屏蔽等布线错误。

具体来说，线缆测试允许检测以下线缆故障：

- 电线或屏蔽层破损
- 交叉线
- PROFIBUS 信号线 A 和 B 之间的短路

- PROFIBUS 信号线 A 或 B 与屏蔽层之间短路
- 支线
- 不均匀线段
- 不正确和未通电的终结器

线缆测试在 PROFIBUS 网段的任一端进行。它由三个步骤组成

依次完成：首先，在分段两端不带终端器的开放式线缆上进行线缆测试。此步骤有助于检测线缆段长度，检查线缆的正确安装，并确定是否安装了不合格的端接器或电阻器。接下来，线缆与线路另一（远程）端的端接器一起进行测试。该测试可识别有缺陷的总线终端以及该总线终端的电源电压缺失。第三步，使用连接在 PROFIBUS 网段两端的终端进行线缆测试。所有这些步骤的成功通过表明线缆已正确安装。

在出现故障时，错误描述以及到测试位置的距离将作为线缆测试的一部分显示（参见图 4 和图 5）。此信息可用于故障排除。

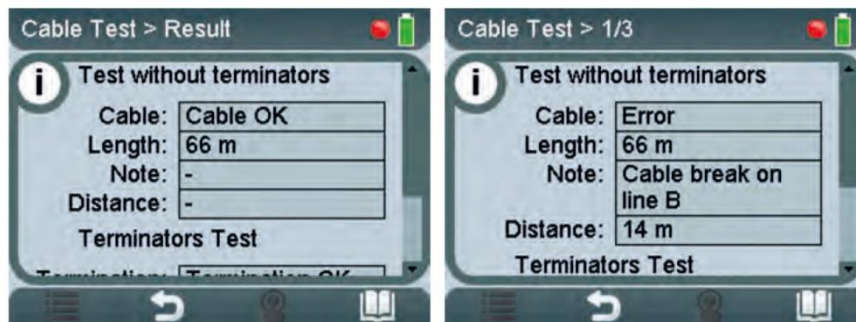


图 4: PROFIBUS 线缆测试结果（左边的屏幕截图显示了打开线缆测试步骤的成功通过，右边的屏幕截图显示了线缆远端的终端错误。）

Cable Test - details	
Cable segment:	Standardsegment
Time stamp:	7/9/2014 5:10 PM
Test without terminators	
Cable	Cable OK
Length:	33 m
Note:	-
Distance to error:	- m
Test of bus termination	
Cable termination	Error
Note:	Far-end terminator. Termination not powered or wrong idle voltage.

图 5: PROFIBUS 线缆测试的详细结果

线缆测试要求网络中没有 PROFIBUS DP 主站（例如控制器）。无论 PROFIBUS DP 从站是否已连接和通电，都可以执行此操作。

3.1.2 拓扑扫描

拓扑扫描可用于指示 PROFIBUS 网络中各网段的布线是否已正确设置。⁹在测试中，PROFIBUS 主站模拟器直接连接到网络任一端的供电终端。PROFIBUS 主站模拟器寻址每个现有站并在站应答时修改线缆阻抗，从而导致总线上的反射。原始信号与反射信号之间的时间差可用于计算到被测站的距离。根据结果，确定所有无源 PROFIBUS 从站到 PROFIBUS 主站模拟器的顺序和距离（参见图 6）。

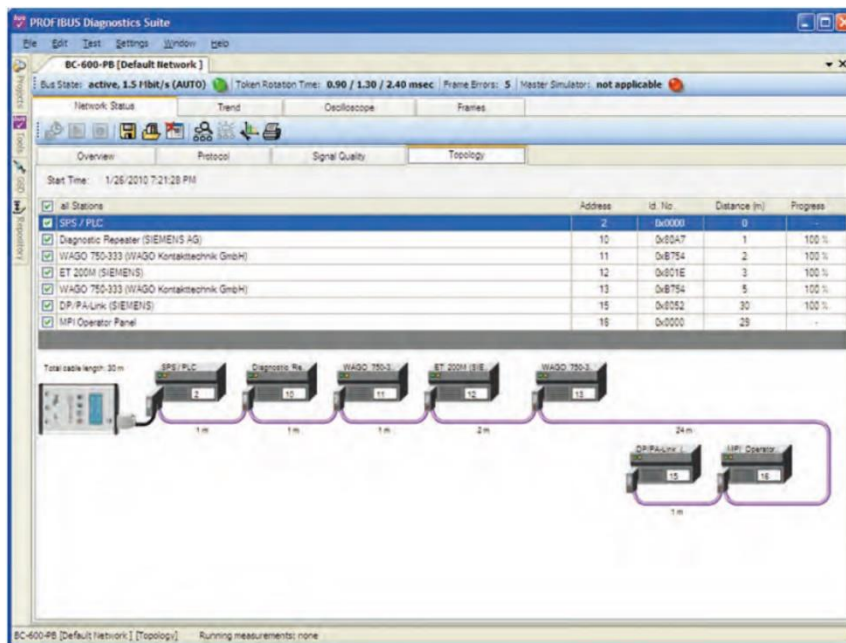


图 6: 拓扑扫描结果表明 PROFIBUS 网络状况

拓扑扫描要求在测量期间 PROFIBUS 网络中没有任何 PROFIBUS 主站（例如控制器或 MPI 面板）处于活动状态。¹⁰为了识别包括单个 PROFIBUS 主站在内的整体拓扑结构，必须在拓扑扫描后手动输入每个主站到测试位置的相对距离。

为了进行准确性检查，可以从 PROFIBUS 网络的另一端重复拓扑扫描。如果这两个测试在很大程度上具有可比性，则测试结果很可能是正确的。因此，可以假定

⁹ 拓扑扫描的成功执行需要正确安装且没有不需要的反射的分段线缆。拓扑扫描期间的任何故障都表明 PROFIBUS 布线安装有问题。

¹⁰ 由于在拓扑扫描期间使用 PROFIBUS 主站模拟器而不是常规 PROFIBUS 主站，因此应用了不同的网络负载和通信行为。因此，此设置不能用于检查网络负载以及实际 PROFIBUS 通信的时序行为。

PROFIBUS 网络¹¹的线缆安装正确且运行正常。

3.1.3 质量指数

质量指数¹²是将电压水平和信号波形的评估组合成关于网络中各个站的 PROFIBUS 通信的物理传输质量的一般性陈述。质量指数总结了描述 PROFIBUS 网络质量的不同类型的信息，包括电压测量和上升时间、过冲和下冲以及由反射引起的电平下降的计算结果。

质量指数基于每比特 16 个样本的波形扫描。每个位的前 3 次扫描和后 3 次扫描与边缘（上升和下降时间）相关，而中间的 10 次扫描用于评估信号质量。

为了计算质量指数，分析每个站的 PROFIBUS 通信。参考电压在几个步骤中反复调整，以达到最终值，从特定 PROFIBUS 站传输的每 1,000 个位中存在少于 20 个违规（毛刺、边缘和电平错误）的最终值。换言之，质量指数可以看成是一个矩形的高度，可以放在一个 bit 的内部 10/16 而不触及信号波形。一旦确定了参考电压，测试就会捕获在该电压下发生的毛刺、边沿和电平错误的数量。

因此，由传输线本身引起的永久性信号失真（例如反射、由于低通行为引起的信号“舍入”）对最终的质量指数有直接影响，而由外部电磁干扰引起的零星干扰不包括在质量指数。涉及不到 2% 比特的零星干扰也不影响质量指数。

图 7 显示了给定测试位置的质量指数显示示例，指示 PROFIBUS 网络中每个站点的质量指数。

¹¹ 确保 PROFIBUS 网络物理健康的一个关键要求是总线终端在总线两端都通电并连接。此外，必须正确连接 PROFIBUS 网络的所有线缆。长的死角分支、线缆类型的显著差异、错误或缺失的总线终端以及未连接的附加 PROFIBUS 连接器会降低 PROFIBUS 网络的质量。

¹² PROFIBUS 信号质量指数是在 PROFIBUS 通信过程中评估电信号物理质量的标准。它由 Softing 定义并在 Softing PROFIBUS 诊断工具中使用。

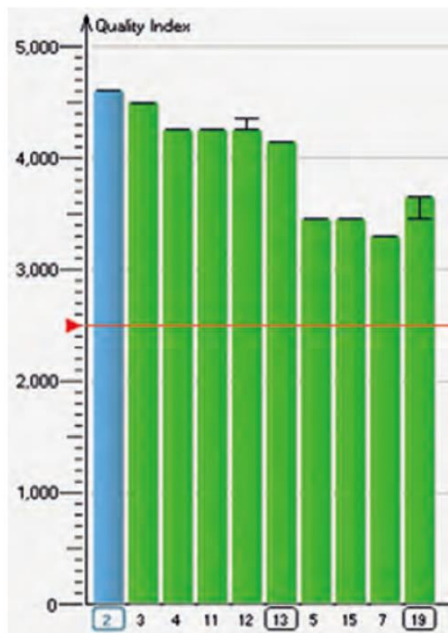


图 7: 显示良好运行状态的所有站点的质量指数条形图（测试工具连接到 2 号站。在这个测试位置，2 号站的质量指数非常高。条形按拓扑顺序排序。距离越远的站，其质量指数越低。）

通过长时间监测质量指数，信号质量指数的波动，例如 在一天或一周的过程中，可以发现。例如，质量指标的长期监控允许检测由仅临时运行的机器引起的电磁干扰，或在机器启动期间发生的电磁干扰，例如 在换班时。此外，还可以识别一天或一周内的电压或气候波动（如温度或冷凝变化）。

与拓扑扫描（参见第 3.1.2 节）一样，建议从 PROFIBUS 网络的两端执行质量指数测量。然后可以通过比较结果来定位网络问题。

4.2 节给出了如何分析在不同测试位置记录的质量指数图的技巧。

3.1.4 信噪比

信噪比表示与理想信号波形的偏差频率。这些偏差可能有外部原因（电磁干扰），也可能是由于线缆中的有害影响（反射、阻尼）或总线站点中存在缺陷的总线驱动器造成的。干扰也可以通过站点耦合到总线中。即使是零星的干扰也可以使用信噪比检测到。

信噪比是指 PROFIBUS 信号的逻辑 0 电平和逻辑 1 电平之间的最小电压差。它由差分电压的无干扰范围定义（参见图 8），并表示 PROFIBUS 通信对 PROFIBUS 网络中特定站点的干扰的影响程度。

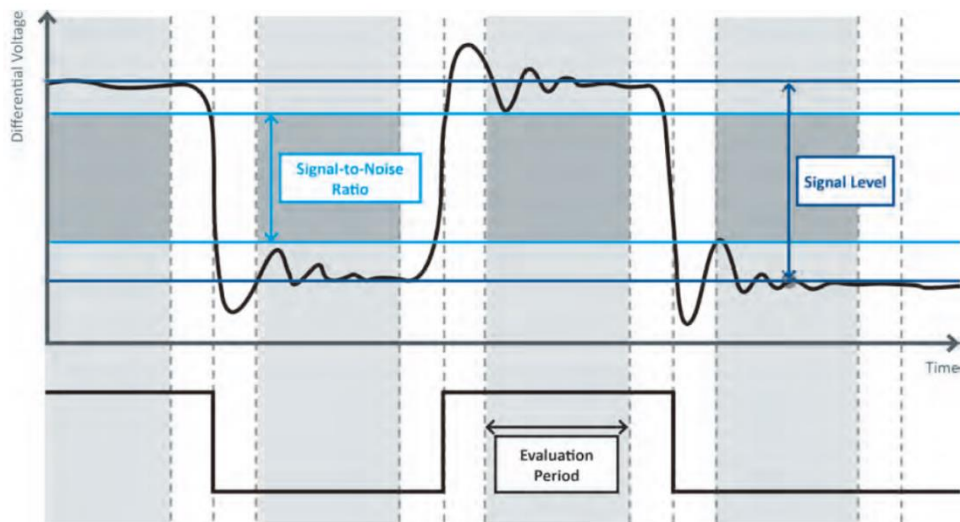


图 8: PROFIBUS 信号中信噪比的定义

信噪比是通过在测试站的十帧上执行十次迭代期间调整参考电压来确定的。在这些步骤中，任何超过评估周期实际参考电压上限或下限的 PROFIBUS 信号干扰都会导致参考电压的持续变化，直到达到最终值。因此，干扰直接影响测量的信噪比。

3.1.5 上升时间

上升时间（也称为“edge steepness 边缘陡度”）是 PROFIBUS DP 网络物理分析中的另一个重要方面。该测试检查 PROFIBUS 信号的逻辑 0 电平和逻辑 1 电平之间的转换，反之亦然。平坦的边缘减少了以所需电压水平持续施加的适当时间。在极端情况下，这种情况可能会阻止 PROFIBUS 设备中的接收器模块正确解码传输信号，从而导致传输错误。根据经验，适当的电压必须以所需的电平持续施加至少半位时间。

为了确定上升时间，阈值电压值定义为 PROFIBUS 信号的逻辑 0 电平和逻辑 1 电平之差的 10% 和 90%。在上升沿和下降沿测量差分电压在这两个阈值之间变化所需的时间。由此产生的上升时间和下降时间表明 PROFIBUS 信号与理想方波的接近程度。与使用较长 PROFIBUS 线缆或以较高波特率进行数据传输相关的电气特性会由于高频阻尼而导致“更圆”的信号波形。

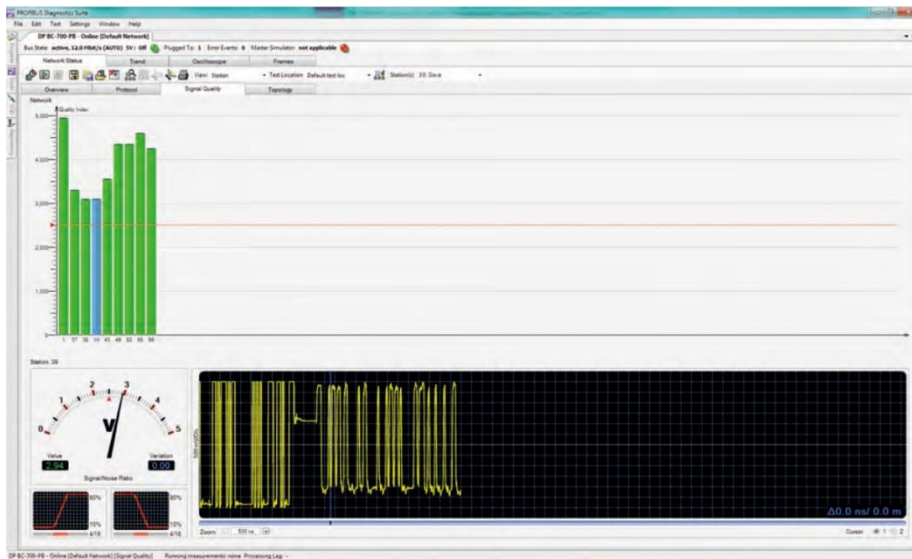


图 9: PROFIBUS 通信中上升时间的显示示例

3.1.6 示波器显示的信号波形

分析 PROFIBUS DP 通信的电信号的另一种方法是使用示波器，它显示线路 A 和线路 B 的电压信号波形。显示器基于用户可选择的触发器，用于记录相关信号帧。信号波形允许检测信号电压波形的失真以及由于线缆安装不正确或网络中的物理故障导致的线缆反射。显示器中的反射位置及其长度指示干扰位置与当前测试位置之间的距离。

有不同的模式可以提供额外的干扰检测方法：标准模式比较线路 A 和线路 B 上的信号，而其他两种模式允许分别比较线路 A 和线路 B 与地电平。此功能可以检测以相同方式影响两条信号线的干扰，因此无法使用差分电压进行检测。

通过分析电压信号波形，可以识别各种布线问题。例如，瞬态信号下降可能是指使用支线线缆，而长反射和信号下降可能表示使用明显不同的线缆类型。还可以检测到其他问题，例如总线终端中的短路或故障。此外，电压信号波形可指示线路 A 和线路 B 之间存在不需要的负载或电阻增加。

与使用质量指数（参见第 3.1.3 节）或信噪比（参见第 3.1.4 节）等压缩测试结果相比，信号波形可以更准确地识别不同的故障原因。然而，信号波形的详细解释需要经验和专业知识。

3.2 PROFIBUS PA 网络的物理分析

PROFIBUS PA 网络的物理分析是在网段级别进行的。

它包括使用曼彻斯特编码总线供电传输技术对 PROFIBUS PA 网络中的 PROFIBUS 线缆和电信号进行的各种测量。所进行的测试是参考 PROFIBUS 通信的物理层。

PROFIBUS PA 网段为连接的站点供电。为此，“功率调节器”向总线施加高达 32 V 的直流电压。在网段的远端，正常运行需要 9 V 的最小电压。PROFIBUS 帧在大约 900 mV 峰间值的直流电源电压之上作为对称交流信号传输。当 PROFIBUS PA 站传输一帧时，它会根据曼彻斯特编码方案调制至少 10 mA 的电流消耗，从而生成一个携带该帧信息的交流信号。由于电源调节器中的低通滤波器，电源中的电压调节不会消除交流信号。

PROFIBUS PA 网络的物理分析包括不同类型的测量。它们将在以下各节中讨论。可以将各个物理分析方法组合起来进行整体网段检查，以评估所连接 PROFIBUS PA 网段的物理状况。

3.2.1 直流电压测量

直流电压测量确定所连接 PROFIBUS PA 网段的直流电压。PROFIBUS PA 段的长度最长可达 1900 m。由于每个站点从总线上至少汲取 10 mA 的电流，因此线路上会出现电压降。该标准要求任何总线位置的电源电压范围为 9 V 至 32 V。如果测得的直流电压低于用户可配置的限值（通常为 9 V），则会显示错误。

3.2.2 信号电压

测量每个站的调制交流信号的信号电平，并给出信号质量的指示。标称范围为 700 mV 至 1000 mV 峰间值。

3.2.3 比特率偏差

测量每个站的比特率偏离标称值 31.25 KBit/s。该标准要求偏差小于 0.2%。

3.2.4 极性

该测量检测每个站的通信信号的极性。

3.3 PROFIBUS 网络的逻辑分析

由于 PROFIBUS 通信 (PROFIBUS DP 和 PROFIBUS PA) 发生在整个网络中的各个网段中, 因此逻辑分析在网络级别执行。

PROFIBUS DP 和 PROFIBUS PA 都使用相同的协议, 这允许应用相同的方法在逻辑通信级别分析两个网络。重点是监控 PROFIBUS 通信, 以便从获取的信息中评估 PROFIBUS 网络和连接站的逻辑状态。PROFIBUS 网络的逻辑分析允许识别各个 PROFIBUS 站中的参数和配置错误, 以及分析 PROFIBUS 数据、错误帧和重复。

PROFIBUS 网络的逻辑分析表明, 如果在 PROFIBUS 主站和 PROFIBUS 从站之间的标准数据交换期间没有发生不必要的事件 (如诊断消息、错误帧、重发等), 则 PROFIBUS 通信正常工作。

但是, PROFIBUS 通信具有容错性, 不需要完美的电气情况。

本节介绍分析 PROFIBUS 网络中通信的多个方面。

3.3.1 波特率

PROFIBUS DP 支持从 9.6 KBit/s 到 12 MBit/s 范围内的各种传输速率。因此, 任何逻辑网络分析的第一步都是确定实际传输速率。

通常, 执行 PROFIBUS 网络逻辑分析的工具能够自动检测所使用的波特率。但是, 这只有在 PROFIBUS 网络上有流量时才有可能。否则, 必须手动设置用于逻辑网络分析的传输速率。设置了与 PROFIBUS 网络中实际使用的波特率不同的波特率将导致检测到许多帧错误。在这种情况下, 也无法正确执行 PROFIBUS 网络的逻辑分析。

3.3.2 实时列表

一旦设置了波特率, 受监控的 PROFIBUS 通信可用于扫描连接到网络的 PROFIBUS 站。所有参与通信的站点都包含在实时列表中。

对于实时列表的图形表示，连接的 PROFIBUS 站的初始列表可以通过附加站信息进行扩展，例如分配的 PROFIBUS 站地址、检测到的站状态或更多详细信息，例如站的 GSD 文件中给出的设备名称。实时列表的示例显示在图 10 所示的中间窗口中。

3.3.3 网络信息

网络信息概述了在 PROFIBUS 网络中监控的 PROFIBUS 通信的状态。此级别可用的详细信息包括，例如，最小/平均/最大总线周期持续时间以及观察到的重复帧数、诊断消息和 PROFIBUS 站的重新启动（源自参数化帧的识别）。显示的网络信息示例如图 10 所示。

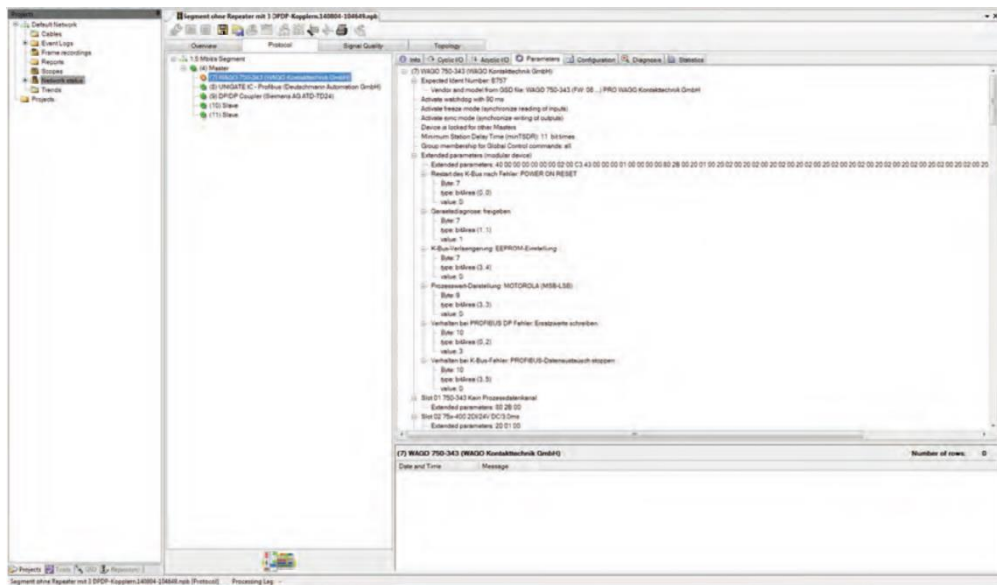


图 10: 网络信息显示

3.3.4 PROFIBUS 主站信息

PROFIBUS 主站信息总结了 PROFIBUS 网络中可用的各个 PROFIBUS 主站的具体特征。它们源自对记录的 PROFIBUS 通信的分析。

PROFIBUS 主站信息包括 PROFIBUS 网络中 PROFIBUS 主站使用的各个站地址以及当前的操作状态、定期数据交换、没有任何循环数据交换的停止操作以及读取输入数据但不写入输出数据的状态，如果支持此状态，则可能导致 PROFIBUS 从站切换到故障安全状态。此外，PROFIBUS 主站信息包括以下内容：当前轮询周期由 PROFIBUS 主站和所有 PROFIBUS 从站之间交换的完整循环通信帧集的持续时间定

义；由 33 位时间产生的空闲时间加上取决于实际总线参数的额外延迟；以及从各种 PROFIBUS 站的定时行为得出的时隙。

3.3.5 PROFIBUS 从站信息

所有 PROFIBUS DP 版本（PROFIBUS DP-V0 到 PROFIBUS DP-V2）都定义了从站的诊断信息，包括标准诊断和设备特定诊断。

PROFIBUS 通信的逻辑分析提供了有关各个 PROFIBUS 从站的非常详细的信息，包括有关每个 PROFIBUS 从站的一般信息。如果记录了从站的标识号，则可以提供供应商和设备型号的详细信息。相应 GSD 文件的内容还可用于显示有意义的诊断消息或供应商和设备型号。此外，还可以显示有关该设备的循环输入和输出以及非循环数据的信息。

如果在分析期间（重新）启动了 PROFIBUS 从站，则 PROFIBUS 主站会向该从站发送参数化帧。此框架中给出的参数包括标准定义的最小参数集以及附加的特定于应用的参数。要解码这些参数，PROFIBUS 从站的相应 GSD 文件必须可用。

为响应（重新）启动的 PROFIBUS 从站，PROFIBUS 主站通过发送配置帧来检查配置。显示此帧内的配置信息。对于模块化 I/O 设备，此信息可以附有有关单个模块结构的其他详细信息，这些详细信息可从相应的 GSD 文件（如果有）中获得。但是，当 PROFIBUS 从站稳定运行时，不会提供配置信息。

如果 PROFIBUS 从站内发生错误或异常，则从站通过将诊断标志设置为循环响应的一部分来通知 PROFIBUS 主站这种情况。然后，PROFIBUS 主站通过使用 PROFIBUS GetDiag 服务从从站收集有关错误或异常的附加信息。可以列出分析期间发生的个别错误和异常。

来自 PROFIBUS 通信的诊断信息可分为三组：一、设备特定诊断信息基于自由定义的设备特定字节串，需要设备 GSD 文件进行解码；二、特定于标识符的诊断信息描述了特定 I/O 数据集（例如特定模块）发生的单个故障；三、标识符特定的诊断可以使用通道特定的诊断来进一步详细说明，它指示每个 I/O 通道的错误类型。PROFIBUS 标准中预先定义了经常发生的错误类型，而其他错误类型可以由设备制造商通过在相关 GSD 文件中分配文本来指定。PROFIBUS DP-V1 标准定义了附加诊断消息，例如用于添加和移除远程 I/O 模块。

3.3.6 帧分析

在 PROFIBUS 通信的逻辑分析过程中可以记录帧序列。对于开始和停止记录，可以使用各种触发条件。可以在记录时或稍后在分析记录的帧时应用帧过滤器。过滤条件基于选定的站点地址和/或服务。所有记录的帧都包含分辨率为 10 ns 的时间戳，以便进行时序分析。记录的帧以解码的显示格式呈现，以便对不同协议层进行详细分析。

4 分析 PROFIBUS 网络的方法

4.1 分析 PROFIBUS 网络的一般注意事项

在分析 PROFIBUS 网络时，应牢记一些常用要点。¹³

与其他线缆一样，PROFIBUS 线缆具有欧姆电阻、电容和电感。此外，总线站点的总线驱动器是欧姆和电容负载。因此，在同一 PROFIBUS 网络的不同位置确定的电压电平和信号波形可能会有很大差异。

此外，交叉线或断线会导致 PROFIBUS 网络从故障位置开始出现问题。连接器中的腐蚀触点会显著削弱来自故障位置的信号。

为了发现这些故障，建议在总线上的不同位置测量信号质量，至少在线路两端。如果 PROFIBUS 网络包含通过中继器连接的多个网段，则必须单独测量每个网段。

寻找可见问题原因的一种方法是将整个 PROFIBUS 网络划分为更小的部分，并使用 PROFIBUS 主站模拟器对其进行测试，虽然这种方法只支持逐步测试 PROFIBUS 网络，但它是定位物理问题的可靠方法。

4.2 解释质量指数

分析和评估 PROFIBUS 网络的一个关键标准是质量指数（参见第 3.1.3 节）。测量出的质量指数取决于站点类型和当前测试线缆段的总长度。

如果 PROFIBUS 网络的总长度比较短，并且总线是最近安装和调试的，那么所有测量的质量指数应该明显高于 4,000¹⁴。对于较长的网段，质量指数将随着距离的增加而降低。如果未超过与波特率相关的最大线缆长度，则从 PROFIBUS 线缆的另一端进行的测试也可以观察到较低的测量质量指数。

低于 2,500 的测量质量指数总是表明有缺陷的线缆和/或连接器或不正确的网络终端。

虽然测量质量指数为 1,000 的 PROFIBUS 安装可能仍在运行，但总线通信的运

¹³ 一般来说，重要的是要了解所有 PROFIBUS 诊断工具都会影响 PROFIBUS 传输行为。这尤其适用于各个测试位置，即诊断工具连接到现场总线的位置。

¹⁴ Softing 质量指数介于 0 和 5,000 之间。从测试位置到现场总线远端，PROFIBUS 站的质量指标逐渐恶化是标准行为，是由电缆的电阻率引起的。较长的电缆与较旧的 EIA-485 驱动程序结合使用可能会导致质量指数低于 4,000，在这种情况下，这并不表示 PROFIBUS 存在问题。

行储备肯定接近耗尽，抗噪性非常低，会导致零星故障。

为了评估 PROFIBUS 网络中各个站的质量指数，建议将质量指数测量与拓扑扫描（参见第 3.1.2 节）结合起来，并按拓扑顺序查看各个站的质量指数。¹⁵

如果一个站点显示一个低质量指数，而相邻站点的质量指数处于正常水平，则原因通常与该站点有关。例如，PROFIBUS 连接器可能有问题。另一方面，如果一组完整的相邻站点显示质量指数较低，则原因与质量指数良好的最后一个站点和质量指数较差的第一个站点之间的 PROFIBUS 布线有关。这里最好从总线的另一端重复 PROFIBUS 分析并比较结果。如果从两侧测量时在同一位置可以看到质量指数显著下降，则说明那里的接触电阻过高。如果 PROFIBUS 线路两端的测量值之间的质量指数下降位置不同，则可能是断线和现场总线中断。

从测试点到总线远端，质量指数逐渐变差基本正常，是电阻率引起的。然而，质量指数的过度下降表明总线的传输行为不佳。

如果在不同位置进行的测试显示出相当大的质量指数差异，则原因可能是由于不同的线缆类型、支线线缆或连接器以及缺少总线终端器造成的反射。错误原因可以在提供最差质量指数结果的测试位置附近找到（参见图 11）。

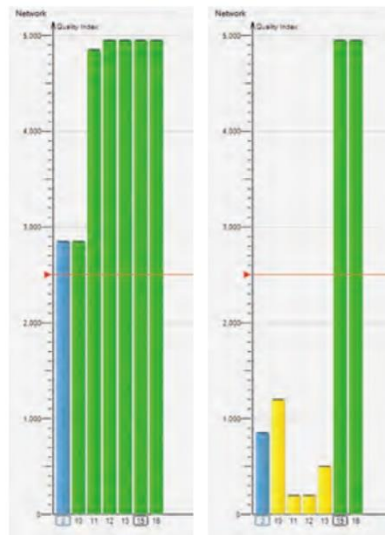


图 11: 从 PROFIBUS 段的任一端测量的质量指数示例（这里的终端电阻在总线站点的起始处缺失，靠近总线站点 2。）

¹⁵ 如果出现电缆缺陷或电缆上出现不必要的反射，拓扑扫描将无法提供可靠的结果。用户必须手动按拓扑顺序对各个站进行排序。

4.3 使用案例：PROFIBUS 网络的验收

安装后，PROFIBUS 网络的验收是在开始日常生产之前的初始阶段记录 PROFIBUS 网络状态的一个非常重要的步骤。验收测试期间记录的网络状态测试结果对于在维护活动后验证 PROFIBUS 网络的正常性能非常有用。

线缆测试(参见第 3.1.1 节)可用作 PROFIBUS 网络安装和调试阶段的第一个测试。在铺设线缆并将 PROFIBUS 连接器拧在一起后，安装人员可以直接检查组装好的线缆系统。PROFIBUS 线缆的安装和调试通常由不同的现场服务人员执行。在这种情况下，负责调试 PROFIBUS 网络的人员可以进行线缆测试，以验证 PROFIBUS 线缆段是否已正确安装。在验收 PROFIBUS 网络期间，创建包含有关测试线缆段的详细信息的测试报告也是一个好方案。

健康的 PROFIBUS 网络的另一个指标是拓扑扫描的结果(参见第 3.1.2 节)。成功检测到正确的 PROFIBUS 网络拓扑证明物理网络安装(包括两端的正确端接)已正确部署，并且线缆段没有不必要的反射。

下一步是根据网络信息运行网络分析(参见第 3.3.3 节)。在此测试中，PROFIBUS 网络流量会记录一段时间(即超过 10 分钟)并检查重试帧。低数量的重试帧表明 PROFIBUS 已正确配置，并且各个 PROFIBUS 从站工作正常并正确连接到网络。¹⁶

接下来确定各个 PROFIBUS 站的质量指数(参见第 3.1.3 和 4.2 节)。除了对各个 PROFIBUS 站的质量指数进行快照外，在较长时间内执行此测量以检测此期间通信质量的波动也很重要。测试应至少运行一个生产周期，以确保每个可能影响质量指数的组件都经过测试(例如移动了拖曳线缆和滑动触点)。此步骤还通过示波器功能监控信号波形(参见第 3.1.6 节)，以检查 PROFIBUS 站的信号电压。

¹⁶ 关于特定时间段内最大可容忍重试次数的要求很大程度上取决于应用场景。在反应时间长的缓慢运行的控制系统(例如水处理)中，重试的发生对总线应用几乎没有任何影响。另一方面，在快速运行的控制系统

(例如装瓶厂)或反馈控制系统中，重试的发生可能对总线应用的操作可用性和稳定性产生相当大的影响。在验收网络期间，此处不应有重试帧。然而，在电磁污染环境中运行的系统中，重试可能是不可避免的。

在最后一步中，将在几个小时内进行长期分析，以确定 PROFIBUS 物理的通信质量以及 PROFIBUS 通信（例如，通过检查通信故障、重试帧的数量等）。



图 12: 总结 PROFIBUS 网络验收测试结果的详细测试报告

PROFIBUS 网络验收测试的结果记录在包含网络分析结果的正式报告中。测试报告的内容可以通过配置工具进行调整，以满足个人需求（参见图 12）。

4.4 使用案例：排除 PROFIBUS 网络故障

第 3 章中描述的各个测量方法有助于排除部分工作的 PROFIBUS 网络以及不再正常工作或偶尔或连续停止工作的 PROFIBUS 网络的故障。

4.4.1 对工作中的 PROFIBUS 网络进行故障排除

在 PROFIBUS 网络的正常运行过程中出现的越来越多的通信问题表明 PROFIBUS 安装的质量自首次安装以来已经下降。故障排除有助于识别和定位 PROFIBUS 安装中的薄弱环节，并触发有针对性的维护措施，以提高 PROFIBUS 网络的整体质量并恢复其原始质量水平。

线缆测试（请参阅第 3.1.1 节）是一种有用的方法，可用于检测由于 PROFIBUS 线缆组件磨损而导致的线缆故障，例如有缺陷的拖曳线缆或损坏的线缆线。

对仍在工作的 PROFIBUS 网络进行故障排除的第一步是获取网络信息（参见第 3.3.3 节）。如果可以从以前的故障排除活动或验收测试中获得测试结果，则应将其与当前结果进行比较，以找到进一步的线索。在此步骤中，PROFIBUS 网络流量被记录一段时间（即超过 10 分钟）并检查重试帧。大量重试帧表明，PROFIBUS 网络对总

线通信的运行储备与初始状态相比有所减少，并且 PROFIBUS 通信处于逐渐不稳定的状态。

然后确定每个站的质量指数（见第 3.1.3 和 4.2 节）。为了获得总体概览，在 PROFIBUS 网络的每个线缆段内的两个或三个不同位置执行此测量几分钟。对于质量指数低的站点，可以使用示波器视图进行进一步分析（参见第 3.1.6 节）。每个位置间的低信号电平表示 EIA-485 收发器故障或连接器或线缆中的电阻增加，而与矩形形状的任何偏差都是由不规则的电容或电感负载引起的。

重发帧、重新启动/参数化和帧错误的出现以及观察到的低质量指数或不代表正确 PROFIBUS 通信行为的信号波形是识别 PROFIBUS 通信问题、在网络中查找其原因并确定适当的维护措施。

维护工作完成后，建议执行为 PROFIBUS 网络验收测试推荐的一组故障排除操作（参见第 4.3 节）。这可以确保可靠的 PROFIBUS 通信。

4.4.2 对不在运行的 PROFIBUS 网络进行故障排除

如果 PROFIBUS 网络不在工作，则可用的运行储备已减少到无法再进行 PROFIBUS 通信的程度。

因此，第一步是使 PROFIBUS 网络进入可以执行第 3 章中描述的单个故障排除操作的状态。这通常可以通过将受影响的 PROFIBUS 部分细分为单独的工作 PROFIBUS 子段并为每个子段执行第 4.4.1 节中描述的各个步骤来实现。

PROFIBUS 网络的划分通常会断开 PROFIBUS 主站与子网段中各个 PROFIBUS 站的连接。因此，建议将主站模拟器连接到相关的 PROFIBUS 网段，以便对总线进行物理分析（例如质量指数、上升时间、信噪比、拓扑结构或线缆本身）。¹⁷

¹⁷ 由于主站模拟器不作为常规 PROFIBUS DP 主站，协议视图中提供的信息仅在主模拟器处于活动状态时，用途有限。

5 PROFIBUS 网络分析工具

为了适应各种各样的用例，可以使用不同的分析工具对 PROFIBUS 网络进行故障排除。本章介绍了各个工具并解释了它们的功能。

5.1 移动 PROFIBUS 诊断工具

专为直接在生产工厂现场对 PROFIBUS 网络进行故障排除而设计，移动诊断工具提供了一套全面的功能，如第 3 章所述。它用于 PROFIBUS 网络的安装和调试以及故障排除，也可用于实验室测试。¹⁸

该工具提供了测试 PROFIBUS 线缆和电信号以及执行逻辑网络分析的功能。凭借其强大的功能，移动诊断工具将 PROFIBUS DP（参见第 3.1 节）和 PROFIBUS PA（参见第 3.2 节）网络的物理分析以及 PROFIBUS 逻辑分析（参见第 3.3 节）结合在一个紧凑的设备中。

由于移动诊断工具支持的诊断案例种类繁多，其易用性是一个非常重要的先决条件。除了直观、易于使用的操作员界面、按钮、图形彩色显示屏和上下文相关的帮助系统外，移动设备还必须具有独立模式，以便在没有 PC 或笔记本电脑的情况下使用，以便它可以很容易地带到工厂内的各个测试位置。电池支持消除了对电源插座的需要。该功能通过在工厂远程工作时记录数据的能力得到补充。一套完整的可视化功能，以清晰易懂的方式呈现测试结果，完善了功能。

移动诊断工具支持已安装的 PROFIBUS 网络的验收测试以及预防性维护活动。它允许优化 PROFIBUS 安装和安装状态的详细文档。

5.2 PROFIBUS 诊断软件

PROFIBUS 诊断软件在 PC 硬件上运行并扩展了移动 PROFIBUS 诊断工具的功能（参见第 5.1 节）。通过最佳利用该软件提供的图形功能，可以访问和详细分析总线诊断期间记录在移动设备中的数据。PROFIBUS 诊断软件是整个 PROFIBUS 诊断概念的重要组成部分。¹⁹

¹⁸ 本节中描述的移动诊断工具是指 Softing PROFIBUS Tester 5 (BC-700-PB) 产品。

¹⁹ PROFIBUS 诊断软件描述基于 Softing PROFIBUS 诊断套件。

根据记录的分析数据，PROFIBUS 诊断软件为测试 PROFIBUS 网络提供各种信号和逻辑分析功能，如第 3 章所述。它满足了 PROFIBUS 安装的全部调试和故障排除要求。PROFIBUS 诊断软件提供的信息示例如图 14 所示。

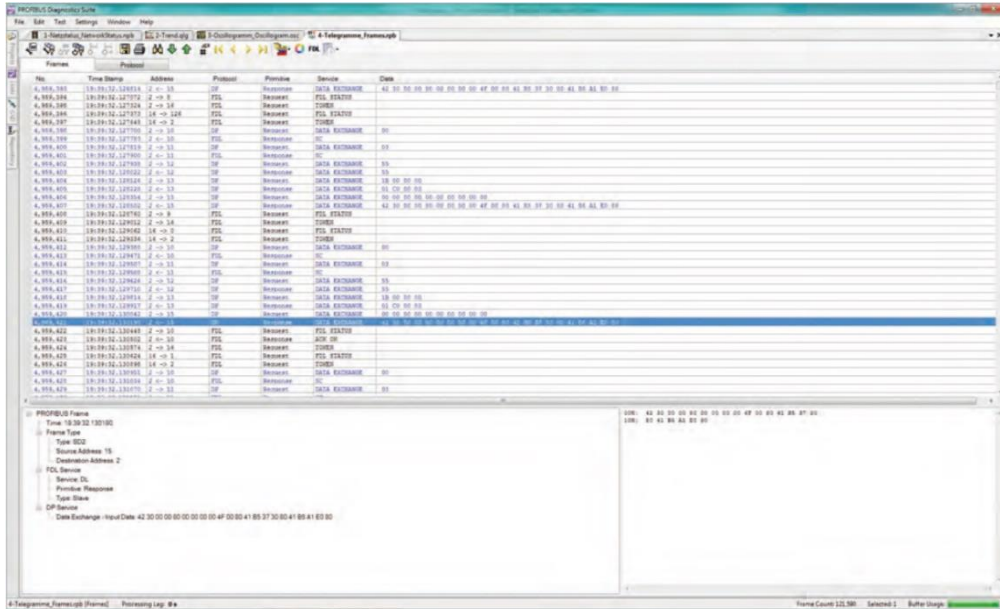


图 14: PROFIBUS 诊断软件允许对记录的 PROFIBUS 帧进行详细分析

与移动 PROFIBUS 诊断工具²⁰相比，PROFIBUS 诊断软件提供了额外的诊断功能。例如，PROFIBUS 诊断软件可用于：

- 扫描 PROFIBUS 拓扑
- 使用触发条件和过滤条件分析帧
- 评估使用移动 PROFIBUS 诊断工具执行的测试
- 使用示波器功能分析信号波形

PROFIBUS 诊断软件的另一个强大功能是可以执行快速测试（即基本测试的自动序列），只需按一下按钮，即可在不到一分钟的时间内全面了解网络状态。所有信息都使用所连接 PROFIBUS 站的相应 GSD 文件的内容以纯文本形式显示在软件的用户界面上。综合功能还支持在验收测试中使用 PROFIBUS 诊断软件。为此，该软件提供了用于生成测试报告的特殊功能，如图 12 所示。

²⁰ 本节中描述的固定诊断工具是指 Softing TH LINK PROFIBUS 产品。

5.3 固定式 PROFIBUS 诊断工具

固定式诊断工具 20（参见图 15）专门用于长期诊断网络内的 PROFIBUS 通信。它记录并分析较长时间范围内的完整 PROFIBUS 流量。固定式诊断工具特别适用于在持续监控的帮助下检测通信问题——无需工程师在现场。



图 15: 分析 PROFIBUS 流量的固定工具

固定式诊断工具的主要优势在于它允许对网络进行连续分析，包括测量 PROFIBUS 循环时间和检测关键事件，例如帧重试次数、消息重新传输和 PROFIBUS 站的重新启动，以及设备故障（请参阅第 3.3 节中描述的详细信息）和诊断消息。这些数据显示了有关在 PROFIBUS 网络本身仍正常工作的阶段总线通信的操作储备实际减少的信息。

除了简单地显示 OK 或 BAD 操作状态外，固定诊断工具还提供对有关 PROFIBUS 通信的记录信息的访问。这些信息通常可以通过以太网连接到中央监控和操作站的集成网络服务器访问，从而消除了对现场检查的需要。

通过将固定诊断工具与其他设备串联连接到 PROFIBUS 网络来安装固定诊断工具。它不需要更改总线地址和控制程序。

6 概括

作为一种数字现场总线，PROFIBUS 提供了非常稳定的通讯能力。然而，重要的是我们需要清楚，网络安装时的原始状态不会在整个生命周期中保持住其当前状态。PROFIBUS 通信的运行储备将持续减少，并且需要维护活动以抵消 PROFIBUS 通信的老化并避免与老化相关的停机时间。

因此，必须持续观察 PROFIBUS 安装的当前状态，并在工厂因 PROFIBUS 通信故障而导致代价高昂的停机之前安排适当的维护活动。为这项任务提供了一套广泛的分析功能，包括对 PROFIBUS DP 和 PROFIBUS PA 网络内的电信号的物理分析。此外，PROFIBUS 通信可以在逻辑级别进行分析。所有这些可能性的总结可以在表 2 中找到。

分析功能	生命周期阶段		支持的诊断工具		
	验收测试	故障排查	移动的 (独立)	移动 (基于PC)	固定
PROFIBUS DP 线缆测试			X	X	
PROFIBUS DP 拓扑扫描	X		X	X	
PROFIBUS DP 质量指数	X	X	X	X	
PROFIBUS DP 信噪比			X	X	
PROFIBUS DP 上升时间			X	X	
PROFIBUS DP 信号波形	X	X	X	X	
PROFIBUS PA 直流电压测量	X	X	X	X	
PROFIBUS PA 信号电压测量	X	X	X	X	
PROFIBUS PA 比特率偏差	X	X	X	X	
PROFIBUS PA 极性	X		X	X	
PROFIBUS DP 波特率检测			X	X	X
实时列表			X	X	X
网络信息	X	X	X	X	X
PROFIBUS 主站信息		X	X	X	X
PROFIBUS 从站信息		X	X	X	X
帧分析	X	X	X	X	X

表 2: 不同 PROFIBUS 诊断的使用

可用的诊断功能集旨在适应需要在 PROFIBUS 安装的整个生命周期内完成的不同任务。一方面，它可用于确保在开始网络操作之前正确安装 PROFIBUS。移动 PROFIBUS 诊断工具非常适合此任务。另一方面，PROFIBUS 网络诊断支持及早发现正在运行的工厂中现有的 PROFIBUS 通信问题。这里的挑战是持续监控当前的 PROFIBUS 安装状态，并在发生昂贵故障之前触发适当的维护操作。因此，该应用领域侧重于使用固定式 PROFIBUS 诊断工具。

总之，本白皮书中讨论的各个 PROFIBUS 诊断功能可确保 PROFIBUS 网络在其整个生命周期内的高可用性和运行储备。然而，在正确的情况下使用正确的诊断程序与深入的 PROFIBUS 专业知识一样重要。只有这种组合才能确保在正确的时间采取正确的行动，以使 PROFIBUS 网络始终保持正常运行，而不会出现任何问题。

7 与 PROFIBUS 诊断相关的术语

波特率 Baud Rate	数据传输率 (1 Baud = 1 Bit/s) PROFIBUS DP 支持从 9.6 KBit/s 到 12 MBit/s 范围内的不同传输速率。 PROFIBUS PA 基于曼彻斯特编码总线供电 (MBP) 传输技术, 支持 31.25 KBit/s 的固定数据传输速率。
位时间 Bit Time	传输一位所需的时间, 位时间取决于波特率。
总线循环 Bus Cycle	完整令牌循环期间的 PROFIBUS 通信 总线周期包括从一个 PROFIBUS 主站执行循环 PROFIBUS 通信开始到随后由同一 PROFIBUS 主站开始循环 PROFIBUS 通信之间发送的所有 PROFIBUS 帧。 在多主站系统中, 总线周期涵盖了在各个 PROFIBUS 主站和所有 PROFIBUS 从站之间执行的全套循环 PROFIBUS 通信。
差分电压 Differential Voltage	EIA-485 信号线 A (引脚 8) 和 B (引脚 3) 之间的电压。差分电压由各个 PROFIBUS 站数字化为每个位时间的逻辑 1 或逻辑 0 信息。‘差分电压是指瞬间快照并永久变化。’
边沿错误 Edge Error	差分电压的上升沿和下降沿时间大于位时间的 6/16 的位边沿错误是传输位时上升时间不足的结果。
EIA-485	两线、半双工、多点串行连接的 OSI 模型物理层电气规范 EIA-485 指定了一种差分形式的信号。 数据是通过电线电压之间的差异来传达的。 电压的一个极性表示逻辑 1, 相反极性表示逻辑 0。 EIA-485 是 PROFIBUS DP 网络中最常用的物理层。 EIA-485 以前称为 RS-485 或 RS485。
评估周期 Evaluation Period	位中心 (EIA-485 收发器采样点) 周围的位时间的 10/16, 在此范围内测量信噪比
下降时间 Fall Time	PROFIBUS 信号从逻辑 1 电平变为逻辑 0 电平所需的时间 ²¹

²¹ 下降时间由 Softing PROFIBUS 诊断工具测量, 分辨率为位时间的 1/16。

毛刺错误 Glitch Error	测量的差分电压小于当前参考电压至少 2/16 位时间然后恢复的位毛刺错误是传输位时过冲和下冲的结果。
空闲状态 Idle State	两个连续帧之间的总线状态, 或者在响应帧和后续消息周期的请求帧之间, 或者在没有返回响应帧的请求帧和下一个请求帧之间 在空闲状态下, 没有任何站站的 EIA-485 发射器处于活动状态。空闲状态期间的电压电平由总线终端来保证。
非法帧 Illegal Frame	框架不符合 IEC 61158-3
电平错误 Level Error	测量的差分电压未达到当前参考电压的位电平错误是传输位时电压骤降的结果。
逻辑分析 Logical Analysis	在 PROFIBUS 通信的数据链路层分析 PROFIBUS 网络 逻辑分析基于对单个 PROFIBUS 帧的分析。它在 PROFIBUS 网络级别执行。 对于 PROFIBUS 网络的全面分析, 逻辑分析必须辅以物理分析。
曼彻斯特编码总线供电 (MBP) Manchester Coded Bus Powered	基于双绞线双向连接的 OSI 模型物理层数字位同步数据传输电气规范 MBP 广泛用于过程工业中的现场总线。 MBP 传输技术提供 31.25 KBit/s 的数据传输速率, 并在逻辑 0 电平和逻辑 1 电平之间进行至少一次转换, 以传输一位。它需要 8 位来编码一个字符。 MBP 能够通过总线为各个现场设备供电。 PROFIBUS PA 采用 MBP 传输技术。 MBP 在 IEC 61158-2 中标准化。
报文循环 Message Cycle	最小的基本 PROFIBUS 通信单元 报文循环由 PROFIBUS 主站发送到另一个 PROFIBUS 站的请求帧加上相应的响应或确认帧组成。 PROFIBUS 报文循环的计时必须考虑空闲时间以及为各个 PROFIBUS 站定义的最小站延迟时间。 只有拥有令牌的 PROFIBUS 主站才有权启动消息循环。

物理分析 Physical Analysis	<p>PROFIBUS 通信物理层的 PROFIBUS 网络分析</p> <p>物理分析结合了 PROFIBUS 线缆的测量（包括终端）和电信号的测量。它在 PROFIBUS 段级别执行。</p> <p>对于 PROFIBUS 网络的全面分析，物理分析必须辅以逻辑分析。</p>
PROFIBUS 主站 PROFIBUS Master	<p>有源总线站点协调对总线的访问</p> <p>通常控制器充当 PROFIBUS 主站。此外，SCADA 站或 MPI 面板可以充当 PROFIBUS 主站。</p> <p>PROFIBUS 支持在一个网络中使用一个（单主站系统）或多个 PROFIBUS 主站（多主站系统）。</p>
PROFIBUS 段 PROFIBUS Segment	<p>PROFIBUS 网络的一部分使用通电电阻组合（终端）在线路两端连接，插入线路末端之间或连接到一个线路末端的中继器也构成段终端。</p>
PROFIBUS 从站 PROFIBUS Slave	<p>总线站点，通常仅根据 PROFIBUS 主站的请求发送到总线（例如数字 I/O）</p>
质量指数 Quality Index	<p>通过评估电压电平和信号波形来指示特定 PROFIBUS 站的 PROFIBUS 通信质量的值</p> <p>质量指数由参考电压的最终值确定，参考电压的最终值由向/从单个站传输 1,000 位时的 20 个毛刺错误、边缘错误和电平错误的总数定义。</p>
参考电压 Reference Voltage	<p>差分电压根据特定算法迭代修改为最终值，然后定义质量指数和信噪比</p>
重复帧 Retry Frame	<p>如果 PROFIBUS 站未在时隙时间内发送请求的响应或确认帧，则 PROFIBUS 主站再次发送 PROFIBUS 请求帧</p>
上升时间 Rise Time	<p>PROFIBUS 信号从逻辑 0 电平变为逻辑 1 电平所需的时间²²</p>
信噪比 Signal-to-Noise	<p>在特定 PROFIBUS 站的帧评估周期确定的最大差分电压无干扰范围如果评估周期的电压降小于位时间的 1/16，则不考虑</p>

²² 上升时间由 Softing PROFIBUS 诊断工具测量，分辨率为位时间的 1/16。

Ratio	它们。 信噪比由参考电压的最终值确定，在该参考电压下，在评估特定站的十帧后不会对 PROFIBUS 信号产生干扰。
时隙 Slot Time	从发送 PROFIBUS 请求帧到完整接收请求响应或确认帧的第一位之间的最大等待时间
终端电阻 Terminator	PROFIBUS 网段两端的终端 终端电阻通过在 PROFIBUS 段的两端提供正确的阻抗来防止反射。此外，终端电阻可确保空闲状态期间的差分电压约为 1.1 V。
令牌 Token	在各个活动站之间交换的帧 (SD4) (PROFIBUS 主站) 以循环方式启动单独的 PROFIBUS 通信，从而控制对 PROFIBUS 网络的访问 只有拥有令牌的站才允许启动报文循环。在单个主站系统中，令牌从 PROFIBUS 主站传递到自身。

8 关于 Softing

Softing 工业自动化部门成立于 1979 年，属于 Softing 集团的一部分。

Softing 工业自动化部门是现场总线和工业以太网等工业通信技术的全球专家。凭借超过三十多年的经验，Softing 的工业自动化业务部门为工厂和过程自动化行业的客户提供连接、诊断产品和服务。

自 1987 年启动最初的 PROFIBUS 项目以来，Softing 一直致力于推进 PROFIBUS 技术发展，从那时起，Softing 一直深入参与各种 PROFIBUS 产品的开发。如今，Softing PROFIBUS 产品已在全球众多制造商和用户的广泛应用中得到验证。

Softing 通过大量经过现场验证的产品和成功的特定客户项目而获得了丰富的 PROFIBUS 技术专业知识和经验，这也促成了市场上广泛使用的高效 PROFIBUS 诊断工具的开发。这些产品支持移动和固定分析，并包含功能强大的 PROFIBUS 诊断软件。因此，Softing 产品提供了一套全面的功能，用于检测 and 解决不同类型的 PROFIBUS 问题。作为对这一系列产品的补充，Softing 还提供 PROFIBUS 网络故障排除培训，并执行现场操作以分析和解决个别检测到的 PROFIBUS 问题。

Softing 产品专为满足系统集成商、设备供应商、机器和设备制造商或最终用户的要求而定制，并以其易用性和功能优势而闻名。

9 作者

汉斯·恩德尔博士

产品经理

Softing 工业自动化

德国哈尔（慕尼黑附近）

乔治·苏斯

市场经理

Softing 工业自动化

德国哈尔（慕尼黑附近）

10 参考

- **PROFIBUS 诊断套件**

入门手册

2.11 版，2013 年 5 月 31 日修订

Softing 工业自动化有限公司，2013 年 5 月

- **维护 PROFIBUS 网络的内幕指南**

介绍常见的 PROFIBUS 问题、它们的位置和纠正方法 Hitex 开发工具

- **用于调试的 PROFIBUS 安装指南**

版本 1.0.2，订单号 8.032

PROFIBUS 和 PROFINET 国际，2006 年 11 月

- **PROFIBUS 安装质量**

Max Felser，伯尔尼应用科技大学

WFCS 2006，第 6 届 IEEE 工厂通信系统国际研讨会，2006 年 6 月 27-30 日，

Torino Incontra 会议中心，意大利都灵