PROFIBUS 规范—标准部分
第二部分：物理层规范和服务定义

PROFIBUS Specification-Normative Parts
Part 2: Physical layer Specification and Service Definition

第二部分 物理层规范和服务定义

目录 页码

1 .范围..... .....**3**
2 引用标准和附加引用材料..... **3**
3 概论..... .....**4**
3.1 术语..... 4
3.1.1 定义.....4
3.1.2 缩略语 6
3.2 基本特性.....12
3.3 特征..... 13
3.4 范围..... 14
4 数据传输（物理介质，物理层） **15**
4.1 类型 1..... 16
4.1.1 电气特性..... 16
4.1.2 连接器技术、机械和电气规范..... 18
4.1.2.1 总线连接器..... 18
4.1.2.2 接点规定..... 18
4.1.2.3 总线电缆..... 19
4.1.2.4 接地，屏蔽.....20
4.1.2.5 总线终端器..... 20
4.1.3 传输方法..... 20
4.1.3.1 位编码..... 20
4.1.3.2 收发器控制..... 23
4.2. 物理层（PHY）和介质存取及传输协议（FDL）间的接口..... 21
4.2.1 交互作用的概述..... 21
4.2.2 服务和交互作用的详细规范..... 22
4.2.3 电气要求和编码..... 22
4.3 物理层和介质冗余（可选） 23
附录 2-A (信息) **24**
实例. 24
2-A.1 中继器..... 24
2-A.2 PROFIBUS 控制器的结构..... 25
2-A.3 若干个总线与一个控制站连接的系统..... 26
2-A.4 冗余控制站..... 27
2-A.5 总线分析/诊断单元(总线监视器) 28
2-A.6 报文速率、系统响应时间和令牌轮转时间的特性..... 29

1 范围

本规范定义串行现场总线的功能、电气和机械的特性。串行现场总线是为自动化系统现场的应用而设计的。

这些应用的一个重要要求是使用简单的传输介质（2 或 4 线电缆），多种总线拓扑，如线性或树型总线拓扑。更进一步的要求是支持实现低功耗、低成本和实时特性（即，确保响应时间）。在许多情况下，也必须考虑电磁干扰，有时还需考虑有易爆气体的危险区域。

本规范既支持没有总线控制能力的简单的输入/输出现场设备，还支持有总线控制能力的较高级的（智能的）设备，如可编程逻辑控制器（PLC）等。

为了满足上述这些要求，采用有效地发送短报文和在商品化的集成电路中实现协议，如带内部 UART（通用的异步收发器）的单片微处理器。

本规范的目的是花最小的成本使多家制造商生产的现场设备互连，并将它们集成为一个分散的控制系统，且确保实现通信。通常，这称之谓“ 开放系统互连（OSI）”。进一步的目标是透明的、容易地访问更高一级的控制系统。

由本规范提供的开放协议确保灵活性并允许实现具有多种系统配置和功能结构的不同的应用。

本规范的这一部分根据 ISO/OSI 分层模型（参考 ISO 7498）定义物理介质和物理层。数据链路层、数据链路层与应用层之间的接口及管理层将在第三部分、第四部分中说明。

物理层（类型 1）是根据 EIA 标准 RS-485 制定的，它不包含本质安全（IS）的要求。类型 2（根据 GB/T16657.2）包含本质安全的要求。

本规范的第五、六、七部分描述应用层和相关的管理。

2 引用标准和附加引用材料

DIN 19 241-2: 1985 测量，控制，调节；位串行过程总线接口系统；传输协议各单元与通信结构

DIN 66 259-3: 1983 平衡双流互换电路的电气特性

DIN 57800/VDE 0800: 1984 远程通信技术；设备的建立与运营

DIN VDE 0160: 1988 带电子仪器的强电设备装置

来源于 DIN 标准：

Beuth Verlag GmbH

Burggrafenstr. 6

D-10772 Berlin

Germany

CCITT V.11：1976	平衡的双向电流交互电路的电气特性，此电路通常用于数据通信现场的带集成电路的装置。
CCITT V.24：1964	对数据终端装置和数据终止电路装置间互换电路的定义表。
IEC 807-3：1990	频率低于 3MHz 的矩形接连器，第三部分。
IEC 870-5-1：1990	远程控制设备和系统，第五部分：传输协议；第一节：传输帧格式。
IEC 870-5-2：1992	远程控制设备和系统，第五部分：传输协议；第二节：链路传输过程。
GB/T9469：1998	分布式过程控制系统的过程数据通路，类型 C（PROWAY C）。
GB/T15969.2：1992	可编程控制器，第二部分：设备要求和测试。
GB/T16657.2：1993	在工业控制系统中用的现场总线标准，第二部分：物理层规范和服务定义。
ISO 1177：1985	信息处理—面向传输的开始/停止和同步字符的字符结构
ISO 2022：1986	信息处理—ISO 7 位和 8 位编码字符集—编码扩充技术。
ISO 7498：1984	信息处理系统，开放系统互连基本参考模型
ISO 8802-2：1998	信息处理系统，局域网—第二部分：逻辑链控制
ISO/IEC JTC1/ SC 6 N 4960：1988	局域网标准：逻辑链路控制－类型 3 操作，应答无联接服务。
EIA RS-422-A：1978	平衡电压数字接口电路的电气特性
EIA RS-485：1983	在平衡数字多点系统中使用的发送器和接收器的电气特性标准。

3 概论

3.1 术语

由于技术术语的多义性和对现有国际性总线标准关联的需求，因此，对有限范围内的技术术语给予明确的定义是必要的。

3.1.1 定义

定义	含义
应答帧	从远程（响应的）FDL 实体向本地（发起的）FDL 实体传送一个 “ 事务处理 ” 的状态
主动帧	一个数据帧或请求帧，在所有 “ 事务处理 ” 中它是第一个被传输的帧
非循环服务	一个 FDL 服务，它包括单个数据传输或数据交换，例如，单个 “ 事务处理 ”

地址扩展	一个 LSAP 地址或总线 ID，它在帧的 DATA_UNIT 的开始处被传输。
位时间	FDL 符号周期，即传输一个位所需的时间
确认	确认原语，例如，通知本地 FDL 用户一次事务处理的成功或失败及状态，当有请求数据时，还传送请求数据给本地 FDL 用户。
控制器类型	一个站的通用实现类型（速度）和作用（role）
当前主站	现在持有令牌的主站（令牌持有者），它是所有传输的发起者。
循环服务	按本地 FDL 用户指定的轮询表对多个远程 FDL 用户重复一个非循环 FDL 服务
数据帧	一个主动帧，它把发送数据从本地 FDL 用户送到远程 FDL 用户
数据请求帧	一个主动帧，它把发送数据和请求数据的请求从本地 FDL 用户送到远程 FDL 用户
实体	协议的硬件/软件的具体体现
FDL 状态	FDL 实体的“ 令牌环 ”状态，该实体在回答帧的 FC 字段中传送。
现场总线管理	协议/实体，它初始化、监视、报告和管理 FDL 和 PHY 实体的运行
帧	在总线上传输的数据包（“ packet ”）
帧首	帧最前端的部分，它标识帧的 SA, DA 和 FC
GAP 维护	一个 FDL 实体为了测定在它的 GAP 中所有 FDL 实体的 FDL 状态所采取的动作（请求 FDL 状态）。
指示	指示原语，例如，通知数据帧或请求帧要到达的远程 FDL 用户，若有发送数据时，将发送数据传送给远程 FDL 用户。
活动表	所有在活动的主站和从站的表（一个站活动与否取决于它的 FDL 状态）
本地 FDL 用户	在当前主站中的 FDL 用户，当前主站启动当前数据传输事务处理
轮询循环	对当前轮询表中所有请求都执行一次
轮询表	由当前循环请求所寻址的远程 FDL 用户的顺序表
请求数据	由远程 FDL 用户提供给本地 FDL 用户的数据
远程 FDL 用户	一个“ 事务处理 ”所寻址的（响应的） FDL 用户
回答帧	一个回答或应答帧，它完成一个需确认的事务处理。
请求	请求原语，例如，为了发送发送数据和/或请求请求数据或装入更新，从本地 FDL 用户向本地 FDL 实体传送一个请求。

请求帧	一个主动帧，它把为了获得请求数据的请求从本地 FDL 用户送到远程 FDL 用户。
响应帧	一个回答帧，它把请求数据从远程 FDL 用户送到本地 FDL 用户。
发送数据	由本地 FDL 用户提供给远程 FDL 用户的数据
令牌持有者	主站中 FDL 实体的一种属性，它把控制总线存取的唯一权力给予此主站。（当前主站）。
事务处理	在发起的（本地）FDL 或 FMA 1/2 用户与响应的（远程）FDL 用户或 FDL/FMA1/2 实体间进行的一个完整的确认或非确认的交互作用（数据传输）。
需确认的	由如下成份组成的事务处理：单个主动帧和响应它的回答帧以及因发起主站收到非期望的回答帧而引起的重试。
无需确认的	由单个数据帧组成的事务处理
令牌传递	此事务处理由令牌帧、成功传递的确认和对不存在站的空闲地址（此地址在 GAPL 中，但对请求 FDL 状态帧不响应）所必须的重试组成。

3.1.2 缩略语

A	主动站
ACK	应答帧
APP	应用层 7, OSI模型中的第7层
AWG	美国线规
Bus ID	总线标识，一种地址扩展（区域/段地址），它标识一个特别的PROFIBUS段作为PROFIBUS段（FDL）之间的支持路线
CCITT	国际电话/电报咨询委员会
CNC	计算机数值控制
CNTR	控制信号
Con	确认原语
CSRD	循环地发送和请求数据需回答，是一种FDL服务
DA	帧的目的地址

DAE	帧的目的地址扩展 ，它传送DSAP和/或目的Bus ID
DGND	数据地 (PHY,RS-485)
DIN	德国工业标准
DMA	直接存储器存取
DP RAM	双口RAM（随机存取存储器）
DS	未连接的站，该站的本地FDL/PHY控制器不在逻辑令牌环中或从总线上断开（服务原语的参数L/M_status值之一）
DSAP	目的服务存取点 ，标识远程FDL用户的LSAP
ED	帧的结束定界符
EIA	电子工业协会
EMC	电磁兼容性
EMI	电磁干扰
EXT	帧的地址扩展字段
FC	帧的帧控制（帧类型）字
FCB	帧（FC字段）的帧计数位 ，用于去除丢失或重复的帧
FCS	帧的帧检验序列（检验和），用于检查错误的帧
FCV	帧计数位有效 ，指示FCB是否要被评估
FDL	现场总线数据链路层，OSI模型中的第2层
FMA 1/2	现场总线第1层和第2层管理
FOW	光纤波导
G	GAP更新因子 ，在GAP维护（修改）循环之间令牌轮转次数
GAP	在逻辑令牌环中从本站（TS）到下一站（NS）间的站地址范围，地址超过 HSA 的站除外。
GAPL	GAP表 ，它包含本站的GAP中的所有站的状态
Hd	海明距离 ，帧完整性的一种度量，能接收伪帧的最小的位出错数
HSA	安装在此PROFIBUS总线段中的最高站地址
IEC	国际电工委员会
IEEE	美国电气与电子工程师学会
ind	指示原语
ISO	国际标准化组织

L	信息字段长度，帧的此部分由FCS 检查
LAS	主动站（主站）表
LE	在帧的固定部分之前规定帧长度的字段
LEr	为了增加帧完整性重复帧长度的字段
LR	本地资源不可用或不充分（服务原语的参数L/M.Staus值之一）
LS	本地服务在服务存取点或在本地LSAP未被激活服务原语的参数L/M_status值之一）
LSAP	链路服务存取点，标识特定站中的一个FDL用户
LSB	一个字段或八位位组中的最低有效位
L_pdu	链路协议数据单元
L_pci	链路协议控制信息
L_sdu	链路服务数据单位
LSS	总线选择开关（PHY），选择两条冗余介质中的一条
M	主站，这种站在令牌环中占有位置，是一个全功能的站，它的FDL用户能起动数据传送事务处理
MC	报文循环
mp	每一轮询表的重试数
MSAP	管理服务存取点，本站的FMA 1/2实体使用它来与其他FMA 1/2实体通信
MSB	一个字段或八位位组的最高有效位
mt	每令牌轮转的重试数
n	站数
na	主动站（主站）数
NA	无应答/响应
NIL	本地的现存值，但在本标准中不确定
NO	不行，（服务原语的参数L/M _Status值之一）
np	从站（被动站）数）
NR	无响应，FDL/FMA数据应答否定，而发送数据通过（服务原语的参数L/M_Status值之一）。
NRZ	不归零（PHY），一种编码技术，仅当后继数据位有不同的值时才发生转变。

NS 下一个站（FDL），本主站将传递令牌给它

OK 行，依规则完成了服务（服务原语的参数L/M_Status值之一）

OSI 开放系统互连

PBC PROFIBUS控制器

PC 可编程序控制器

PHY 物理层, OSI模型中的第1层

PI 并行接口

PON 站进入通电状态

PS 前一站（FDL），令牌是由它传递给本主站的

R 接收器(PHY)

Rd 对总线终端器的DGND的下拉电阻

RAM 随机存取存储器

RDH 响应FDL数据高且无资源发送数据，服务原语的参数L/M_Status值之一）

RDL 响应FDL/FMA 1/2数据低且对发送数据无资源服务原语的参数L/M_Status值之一）

RET 重试

REP 中继器,一种装置，用它来扩展PROFIBUS系统支持的距离和站数。

Req 请求原语

Res 保留

Ru 对总线终端器VP的上拉电阻

RP 备用电源

RR 发送数据无资源且不响应FDL数据（否定的应答），（服务原语的参数L/M_Status值之一）

RS 在远程服务存取点上无服务或无激活的Rem_add（否定的应答），（服务原语的参数L/M-Status值之一）

RSAP 回答服务存取点，一种LSAP，在此服务存取点可得到请求数据。

Rsys 系统速率, 全部报文循环速率，需确认的FDL事务处理以此速率执行

Rt 总线终端器的线路终端电阻

RxD 接收数据信号（PHY，RS-485）

S 从站，此站永远不能持有令牌，是一个简单功能站，它的FDL用户仅能响应主站中发起的FDL用户的请求。

SA 帧的源地址

SAE 帧的源地址扩展，它传送SSAP和/或源Bus ID

SAP 服务存取点，在不同协议层中的实体之间相互作用的点

SC 单字符应答帧

SD 帧的起始定界符

SDA 发送数据需应答（FDL服务）

SDN 发送数据无需应答（FDL服务）

SI 串行接口

SRD 发送和请求数据需回答（FDL服务）

SSAP 源服务存取点，一种LSAP，它标识发起一个事务处理的本地FDL用户。

Stn 站，在此PROFIBUS系统中有FDL地址的设备。

SYN 帧的同步位（空闲时间），它确保指定帧的完整性，并为接收器的同步提供条件。

t_{BIT} 位时间，FDL符号周期，在此PROFIBUS系统上传输一个位的时间；数据传输速率（bit/s） 的倒数。

T 发送器

$T_{A/R}$ 传输一个应答/响应帧的时间

TC 令牌循环，发送一个令牌帧的循环

T_{GUD} GAP更新时间 ，在连续的GAP维护循环之间本主站等待的时间

T_{ID} 空闲时间, 一个主站在传输或接收了一个帧的最后一位之后到它传输下一个帧的

第一位之前必须等待的时间；这建立了内部帧同步的空闲时间。

T_{MC} 报文循环时间，在传输一个主动帧的第1位到接收相应的回答帧的最后一位之间的时间。

T_{QUI} 静止时间，发送器失败时间（线状态不稳定时间）和/或中继器转换时间；发送的站在一个帧 的 结束之后起动它的接收帧之前必须等待的时间

T_{RDY} 准备时间，在此时间后发送的主站将回答帧

T_{RR} 实际轮转时间，本主站连续接收令牌之间的时间

TS 本站

T_{SDI} 发起站的站延时，本主站在送发继后帧之前必须等待的时间

T_{SDR} 响应站的站延时，响应者在产生一个回答帧之前实际等待时间

T_{SET} 建立时间， 一个事件（例如，中断SYN计时器期满）到必要的响应（例如 起 动接收器）之 间的时间

T_{SL} 时隙时间, 一个主站为等待一个事务处理响应所必须的最大时间

T_{SM} 安全余量时间

T_{SR} 系统反应时间，在单主站PROFIBUS系统中，完成一个轮询循环中所有事务处理（包括重试）的 最大目标时间

$T_{S/R}$ 发送/请求帧时间，即发送一个发送/请求帧的时间

T_{SYN} 同步时间，在接收一个帧之前的空闲时间，经过此段时间后站起动它的接收器；为保证帧的 完整性和有效性所需要的最小内部帧空闲时间。

T_{SYNI} 同步间隔时间，检查总线故障之前，一个接收的站在两个连续的T_{SYN}之间等待所需的内部帧空闲 时间的最大时间。

T_{TC} 令牌循环时间，在无错误的情况下，将令牌传送给下一个主站所需的时间。

T_{TD} 传输延迟时间，一个站的发送器和任何另一个站的接收器之间所经历的最大延迟时间

T_{TF} 令牌帧时间，发送令牌帧所需时间

T_{TH} 令牌持有时间，在令牌轮转期间，留给本现行主站可以起动事务处理的时间。

TTL 晶体管一晶体管逻辑

T_{TO} 超时时间，在空闲这段时间后，本主站将申请（丢失的）令牌或任何站根据本站的FDL地址 将超时时间失效报告给它的FMA用户。

T_{TR} 目标轮转时间，予期的令牌轮转时间，包括允许的高和低优先权的事务处理，错误和GAP维护。

TTY 电传打字机

TxD 发送数据信号(PHY,RS-485)

UART 通用异步收/发器

UC UART字符

UE　　否定的应答，远程用户接口错误（服务原语的参数L/M_Status值之一）

μP　　微处理器

VDE　　德国电气工程师协会

VP　　电压正端

1 Chip MC　单片微计算机

3.2 基本特性

PROFIBUS 规范定义串行现场总线的技术和功能特性。串行现场总线的宗旨是解决数字现场设备或中、低功能系统的互连问题。这些设备或系统，诸如传感器、执行机构、变送器、可编程控制器(PLC)、数控装置（NC）、编程设备和本地人机接口等。

现场控制系统通常以一个中央控制和管理装置为基础，它与若干个分散在现场的设备和小系统相连接。在这种情况下，主要数据是集中地定向并循环的从现场设备传输到中央数据处理单元或上一级控制系统。

系统包括主站和从站。当主站获得存取权（称为令牌）时，它能控制这个总线，即它无须远程请求就可以传输报文，而从站仅能应答所接收的报文或在一个远程请求后传输数据。

令牌按照由主站形成的逻辑令牌环而循环。如果系统仅包括一个主站，如一个中央控制和管理站，则不需要令牌传递。这是一个纯单主/多从系统。最小配置包括一个主站和一个从站或两个主站。

物理层定义传输介质以适应不同的应用。它包括长度、拓扑、总线接口、站点数和从 9.6 kbits/s 到 1500 kbits/s 可变的数据传输速率等。在用户接口中，有共同的存取方式、传输协议和共同的服务。

3.3 特征

各种应用现场，如过程控制、工厂自动化、电力分配、楼宇自动化和主要的流程工业等等，需要总线有如下的特点：

- 网络拓扑　　带/不带终端器的线性总线，包括短截线（drop cables）和分支（树）
- 介质、距离和站点数　　取决于信号特性， 例如 对屏蔽双绞电缆，≤1.2 km（无中继器），32 个站
- 数据传输速率　　取决于网络拓扑和总线长度，例如，从 9.6 k bits/s 到 1500 kbits/s。
- 冗余　　后备介质是可选的
- 传输特性　　半双工、异步、滑差（slip）保护同步（无位填充）
- 编址　　0~127(127 对广播和群播是全局地址)，对区域地址，段地址和服务存取地址（服务存取点，LSAP）的地址扩展，每个 6 位。
- 站类型　　主站（主动站，有总线存取控制权），从站（被动站，无总线存取控制权）。如果应用过程对时间要求不精确，最好最多 32 个主站，总站数最多 127 个。
- 总线存取　　混合的、分散的/集中的。主站之间用令牌传递方式，主站与从站之间用主－从方式。
- 数据传输服务　　非循环的：

  有／无应答要求的发送数据

  有回答要求的发送/请求数据

  循环的：

  有回答要求的发送/请求数据
- 帧长度　　每帧 1 或 3 到 255 个字节，对无地址扩展的每个数据单元 0~246 个八位位组（第 2 层数据）。
- 数据完整性　　为避免数据丢失和增多，采用海明距离（HD）= 4，同步滑差检查、特殊顺序的报文。

3.4 范围

本规范的此部分论及“ 第 0 层 ”和第一层（对应于 ISO/OSI 层次模型中物理介质和物理层 PHY），它描述介质和信号特征；以后的第三部分、第四部分定义第 2 层（现场总线数据链路层，FDL），它包含传输协议和介质存取控制，以及被第 7 层（应用层，APP）直接使用的接口服务（FDL/用户接口服务），最后是第 1 层和第 2 层的管理（FMA 1/2），包括用户服务（见图 1）。

为了实现高效能传输和降低硬、软件成本，未使用第 3 层到第 6 层（网络层、传输层、会话层，表达层）。这些层的有关功能在第 2 层或第 7 层中实现。

应用层功能（APP）和有关管理（FMA7）在本规范的第五部分、第六部分、第七部分中说明。

为了适应各种应用的需要，规定了不同的物理层。所有现在和将来的变型都使用相同的共同介质存取控制协议和传输协议（格式、顺序），以及它们与应用层有共同的接口和相关的服务。

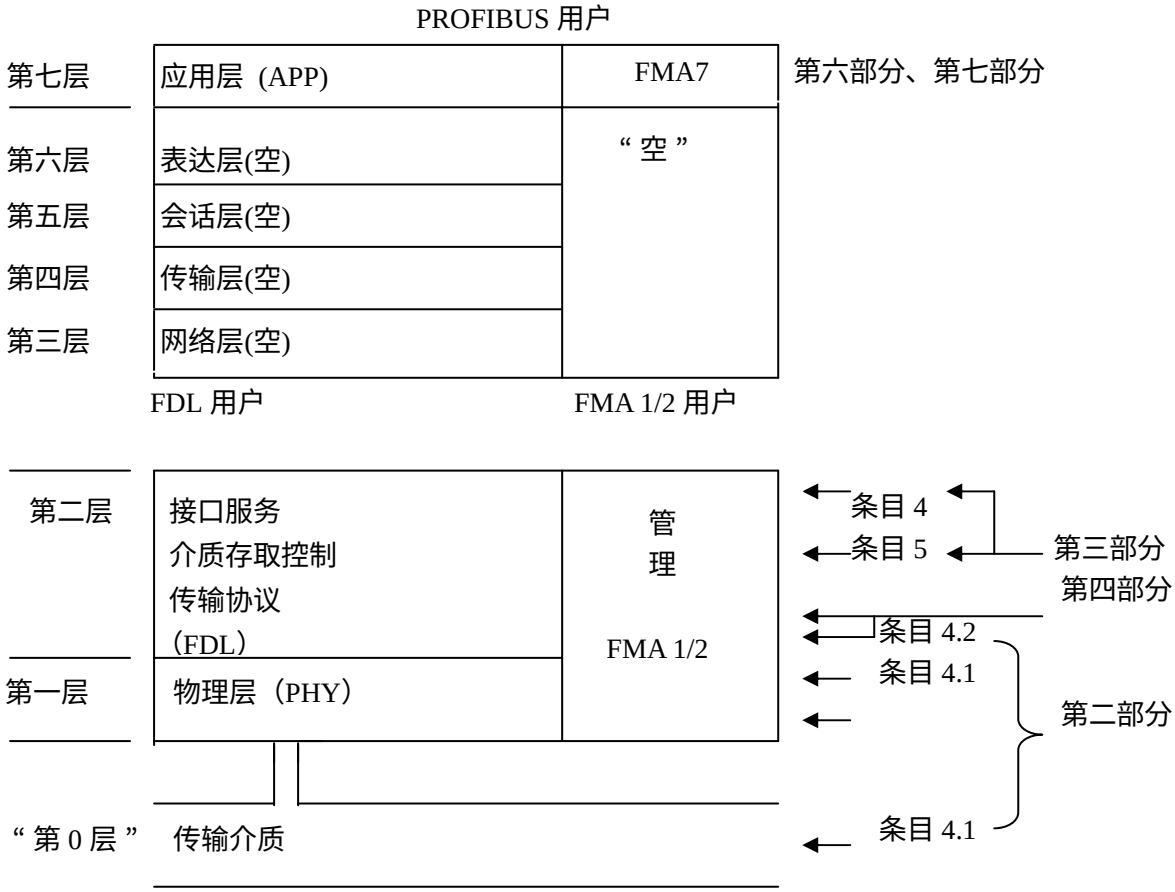
物理层类型 1 使用美国标准 EIA RS-485。另一种类型在以后说明。

八位位组（字符）格式是远程控制设备和系统用的 UART 格式 FT1.2（带起－停同步的异步传输），它在 IEC 870-5-1 中被说明。

传输协议的定义符合 IEC TC 57 制定的标准 IEC 870-5-2。

介质存取控制协议、数据传输服务和管理服务以标准 DIN 19 241-2，GB/T9469 (PROWAY C), ISO 8802-2 和 ISO/IEC JTC/SC 6N 4960 (LLC 类型１和 LLC 类型 3)为指导。整个协议考虑了过程数据传输的高数据完整性要求。

附录 A 解释中继器的可能的结构、现场总线设备以及一个主站服务若干条现场总线的拓扑。增加了一些关于冗余中央控制装置和总线分析/诊断装置的指南，最后，作为例子，计算了数据传输速率和系统响应时间。



其中，FMA7：现场总线管理层 7

FMA1/2：现场总线管理层 1/2

FDL：现场总线数据链路

PHY：物理层

图 1．ISO 层模型

4 数据传输（物理介质，物理层）

为了覆盖有关拓扑、总线长度、站点数、数据传输速率和环境影响的保护等要求，支持多种物理层类型。

类型 1:

NRZ 位编码与 EIA RS-485 信号结合，目的是降低总线耦合器成本，耦合器可以使站与总线之间电气隔离或非电气隔离；需要总线终端器，特别在较高数据传输速率（达到 1500 k bits/s）时更需要。

类型 2:

覆盖大范围的灵活的拓扑（树型拓扑），总线耦合器低功耗并减少在总线上运行的有缺陷的站的影响，通过信号导体传输电流，易爆气体保护（本质安全）及提高电磁兼容性，此

物理层符合 GB/T16657.2 标准。

这后一类型是以 4.2 中描述的层 1 和层 2 接口为基础的，它包括服务原语定义和相关参数及有关编码与信号的推荐。

4.1 类型 1

类型 1 规范描述平衡的总线传输，符合美国标准 EIA RS-485(EIA: 电气工业协会；RS-485: 平衡的数字多点系统中使用的收/发器的电特性标准)。在双绞线两端的终端器使得类型 1 的物理层支持高速数据传输。传输速率≤93.75 kbits/s 时，最大电缆长度为 1.2km 。对 1500 kbits/s 的速度，最大长度减到 70/200m(对 B/A 型电缆)（见“ 总线电缆 ”条目）

4.1.1 电气特性

- 拓扑： 线性总线，在两端有终端器，短截线≤0.3 米，无分支

  根据 EIA RS-485 的建议，如果所有短截线电容总和（cstages）不超过下列值时，允许更长的短截线：

  Cstges≤0.2 nF @ 1500 kbits/s

  Cstges≤0.6 nF @ 500 kbits/s

  Cstges≤1.5 nF @ 187.5 kbits/s

  Cstges≤3.0 nF @ 93.75 kbits/s

  Cstges≤15 nF @ 9.6 kbits/s 和 19.2 kbits/s

  总长度中包括短截线长度之和

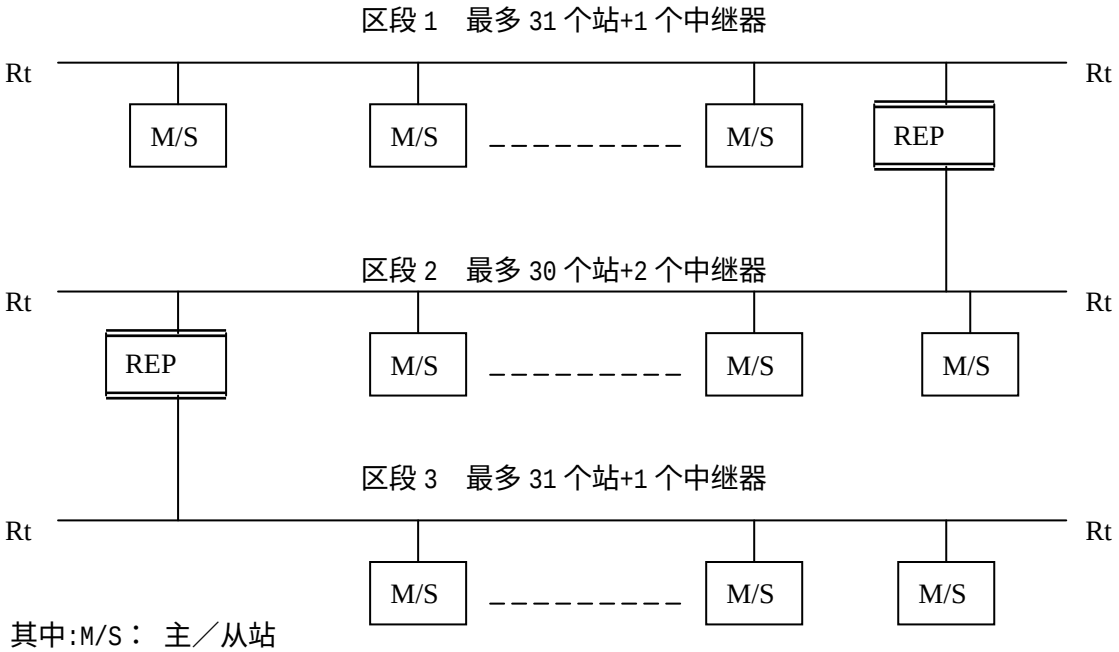
- 介质： 屏蔽双绞线，见“ 总线电缆 ”条目
- 总线长度：≤1200 米，取决于数据传输速率和电缆类型
- 站数： 32（主站，从站或中继器）
- 数据传输速率：9.6/19.2/93.75/187.5/500/1500 kbits/s，可支持更高的数据传输速率
- 收发器芯片：例如 SN 75176A, DS 3695 或其他

总线长和连接的站数可以用中继器来增加（可双向扩展，参见，附录 2-A.1)。两站间最多允许 3 个中继器。如果数据传输速率≤93.75 kbit/s 且链接的区域形成一条链（线性总线拓扑)，则最大允许的拓扑如下（假定线径 0.22mm^2,24AWG,美国线规）：

1 个中继器：2.4 km, 62 个站

2 个中继器：3.6 km, 92 个站(见图 2)

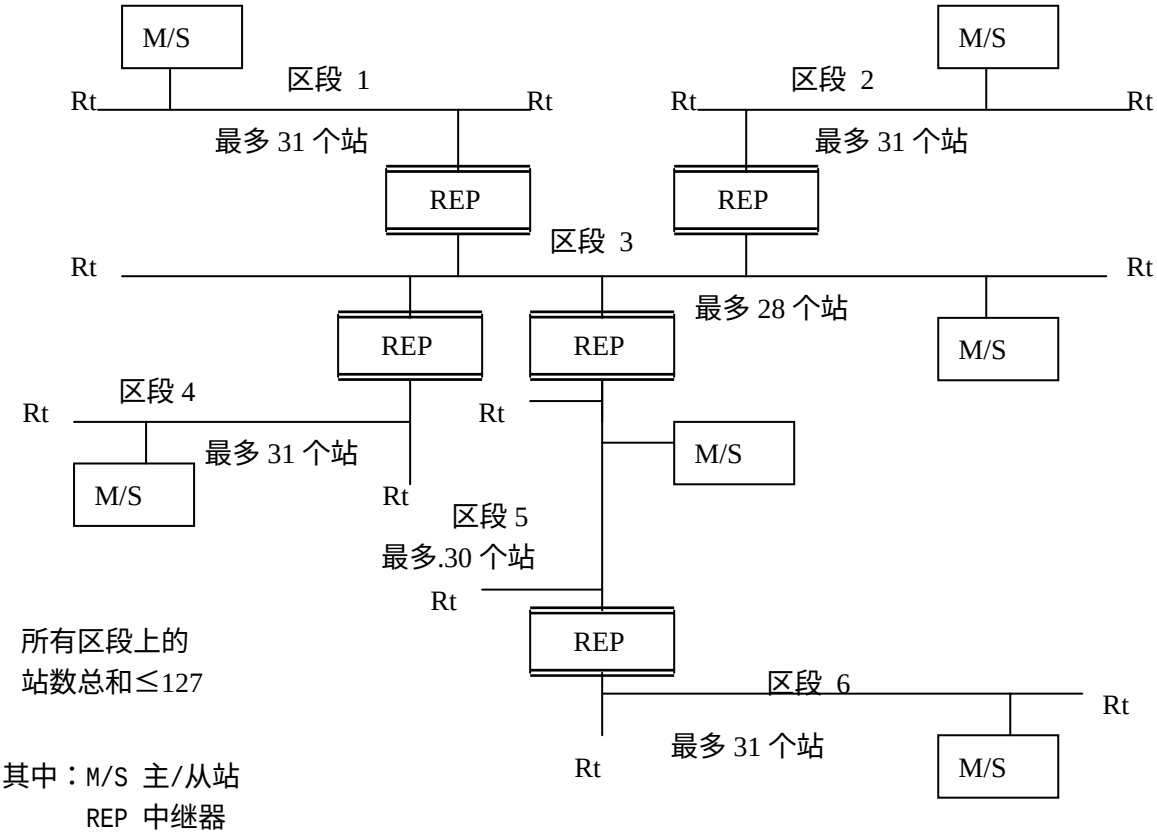
3 个中继器：4.8 km, 122 个站



其中:M/S： 主／从站
REP： 中继器
Rt ：总线终端器

图 2．在线性总线拓扑中的中继器

在树型拓扑中可使用多于 3 个中继器和连接多于 122 个站(见图 3),例如,5 个中继 器和 127 个站。大区域可以用这种拓扑来覆盖，例，4.8 km 长，数据速率≤93.75kbit/s，线径 0.22mm^2。



所有区段上的
站数总和≤127

其中：M/S 主/从站
REP 中继器

Rt 总线终端器

图 3．树型拓扑中的中继器

4.1.2 连接器技术、机械和电气规范

4.1.2.1 总线连接器

每个站通过 9 针 D-Sub 型连接器与介质连接。连接器的插座装在站内，而插头安装在总线电缆上。

机械和电气特性符合 IEC 807-3 的规定。

最好用金属的连接器外壳。连接器的两部分装在一起时，用传导螺钉固定。电缆段与站之间的连接用 T 型连接器来实现，它包含 3 个 9 针 D-Sub 型连接器（两个插头和一个插座）。这样的 T 型连接器允许在不切断电缆和不中断运行的情况下断开或更换站（在线断开）。

4.1.2.2 接点规定

连接器的针脚分配见表 1.

表 1． 接点规定

针脚号	RS-485	信号名称	含义
1		屏蔽 2)	屏蔽，保护地
2		M24V 2)	负 24V 输出电压
3	B/B’	RXD/TXD-P	接收/发送 数据－P
4		CNTR-P 2)	控制-P
5	C/C’	DGND	数据地
6		VP 1)	正电压
7		P 24V 2)	正 24V 输出电压
8	A/A’	RXD/TXD-N	接收／发送 数据-N
9		CNTR-N 2)	控制-N
1) 此信号仅在总线电缆端点的站需要 2) 这些信号是可选的			

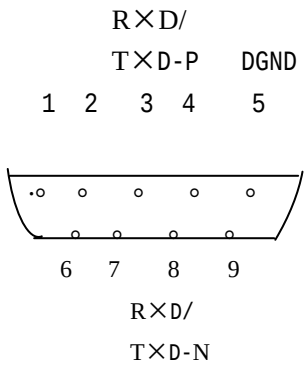


图 4. 连接器针脚，分别表示插头和插座的后视

连接针脚 5 的数据地和连接针脚 6 的电压正供电给总线终端器（见 4.1.2.5）。

当使用无控制能力的中继器时，连接针脚 4 和 9 控制信号支持方向控制。RS-485 信号是推荐的信号。对简单装置，信号 CNTR-P 可以是 TTL 信号（1 个 TTL 负载）而信号 CNTR-N 可以接地（DGND）。信号的定义不是本规范的主题。

根据 GB/T15969.2，24V 输出电压允许连接操作面板或无集成电源供给的服务设备。如果设备提供 P24V，则 P24V 应该允许电流负载到 100mA。

4.1.2.3 总线电缆

PROFIBUS（类型 1）介质是一根屏蔽双绞电缆，屏蔽可以提高电磁兼容（EMC）能力。在电磁干扰 EMI 不严重的情况下，也可以使用非屏蔽双绞电缆。

电缆的特性阻抗应在 100Ω到 220Ω之间，电缆电容（导体间）应该＜60pF/m，导线截面积应≥0.22mm²(24 AWG)。电缆选择标准参见美国标准EIA RS-485 的附录。

定义两类电缆：

表 2．电缆规格

电缆参数	A 型	B 型
阻抗	135Ω-165Ω (f=3 到 20MHz)	100Ω-130Ω (f>100kHz)
电容	<30pF/m	<60pF/m
电阻	≤110Ω/Km	-
导线截面积	≥0.34mm² (22AWG)	≥0.22mm²(24AWG)

下面的表指出两类电缆（A 和 B）对不同传输速度时的最大长度

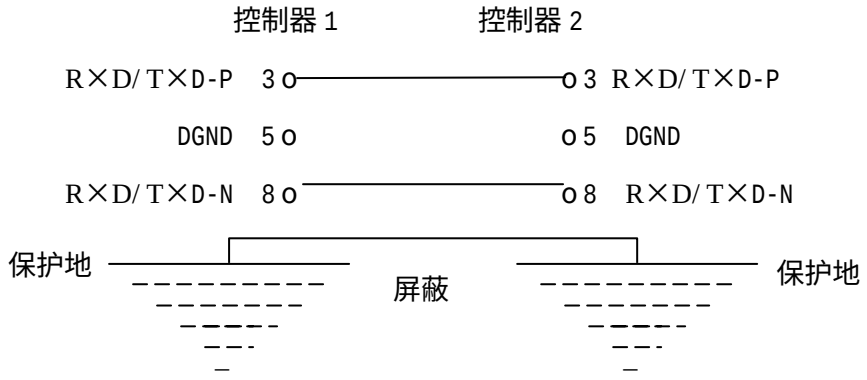
表 3．不同传输速度时的电缆长度

波特率 [kbit/s]	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500
A 型电缆长度（m）	1200	1200	1200	1000	400	200
B 型电缆长度（m）	1200	1200	1200	600	200	70

允许的数据速率对网络扩展（两站之间的最大距离）的关系参见美国标准 EIA RS-422-A 的图 2-A.1（也包含在 DIN 66 259 和 CCITT V.11 中）。

注：有关总线长度的建议，假设最大信号衰减为 6dB，经验指出，如果使用导线面积≥0.5mm² (20AWG)，则距离可以增加一倍。

图 5 指出两站间的最少的布线



注：不允许两线倒置

图 5． 相互连接的布线

图 5 中的布线允许两站间的共模电压(Common mode voltage)（即保护地间的压差）最

多±7V。如果希望有更高的共模电压，则在接地点间应安装补偿导体。

4.1.2.4 接地，屏蔽

如果使用屏蔽双绞电缆，则建议通过低阻抗（即低电感）连接方式连接电缆两端的屏蔽和保护地。为了达到一个合理的电磁兼容性，这样做是必须的。

屏蔽电缆和保护地间的连接最好通过 D-Sub 型连接器的金属外壳和金属固定螺钉做成。如果这不可能，则可以使用连接器的针脚 1。

接地和屏蔽应该符合 DIN/VDE 0160 和 DIN 57 899/VDE 0800。

4.1.2.5 总线终端器

A 型和 B 型总线电缆的两端应该分别使用 Rt_A和 Rt_B来端接。在 EIA RS-485 中规定的端接电阻 Rt 是以下拉电阻 Rd（与数据地 DGND 连接）和上拉电阻 Ru（与正电压 VP 连接）做补充。当没有站进行传输（即空闲时间）时，这个补充迫使不同的状态电压（即导体间的电压）趋于一个确定值。

被指定为终止总线的站（与总线终端器共态），在总线连接器的针脚 6，应该为电压正（例＋5V±5%）。

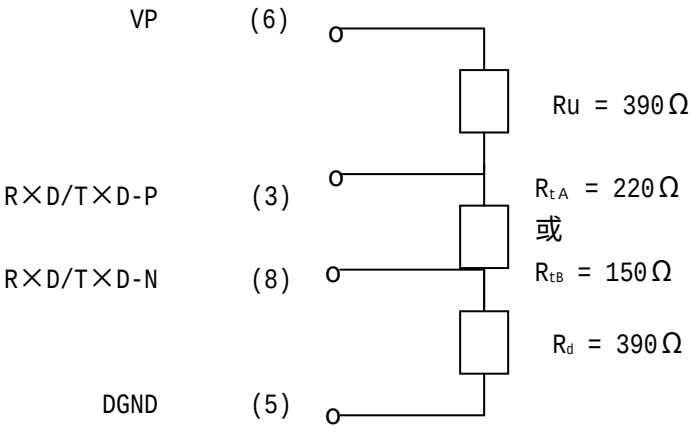


图 6． 总线终端器

假定电源供电电压为＋5V±5%，则推荐如下的电阻值：
Rt_A=220Ω±2%，最小 1/4W；
Rt_B=150Ω±2%，最小 1/4W；
Ru＝R_d=390Ω±2%，最小 1/4W；
供给针脚 6(VP)的电源在规定的压容差内应能输送至少 10mA 的电流。

如上所述的两种类型电缆和电缆端接电阻的混合，对 PROFIBUS 系统是允许的。但是如果线端接和线阻抗不匹配，则最大线长必会减少到上述固定值的一半。

4.1.3 传输方法

4.1.3.1 位编码

在 PROFIBUS 规范的物理层类型 1 中，NRZ（不归零）编码的数据通过双绞电缆传输。总线连接器的针脚 3（R×D/T×D-P）和针脚 8（R×D/T×D-N） 间恒定的正压差用二进制“1”

表示，恒定的负压差用二进制“0”表示。

4.1.3.2 收发器控制

当一个站不传输时，发送器输出将被禁止，它表现出对总线的高阻抗，这将由“请求发送”信号（RTS，见 4.2）来控制。空闲期间，即任何站都不传输数据时，总线信号表示为二进制“1”。因此，当所有发送器被禁止时，总线端接器应迫使连接器针脚 3 和 8 之间压差为正。总线接收器总是被起用，因此在空闲期间，每个站接收二进制“1”信号（见第四部分，4.1.7，同步时间）。

4.2 物理层（PHY）与介质存取和传输协议（FDL）间的接口

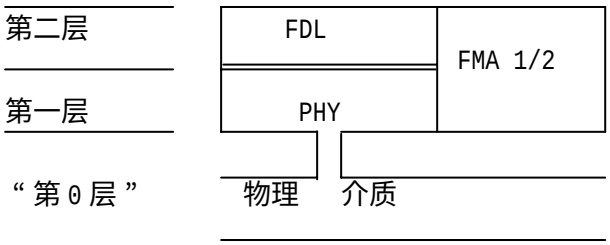


图 7．在层关系模型中 PHY 和 FDL 的接口

本条目包括 PHY 数据服务的简要描述，这些服务由 PHY 层提供给 FDL 层。它支持接收和传输位（FDL 符号），这些位是 UART 字符的元素。（见第四部分，4.5.1）。每个 FDL 符号持续 1 个位时间 t_{BIT}（见第四部分，4.1.7）。

接口描述不限制或不约束在现场总线实体中的实现。

4.2.1 交互作用概述

PHY 数据服务包括两个服务原语。请求原语是由 FDL 控制器用于请求一个服务；指示原语是用来向 FDL 控制器指示一个接收。每个原语的名称如下：

PHY_DATA.request

PHY_DATA.indication

这些原语的瞬时关系：

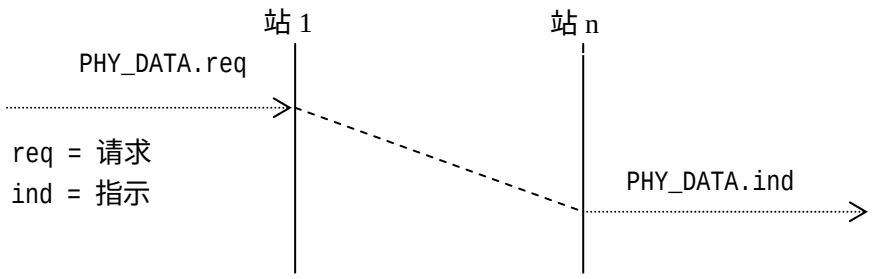


图 8．PHY 数据服务

4.2.2 服务和交互作用的详细规范

本条目用简要方式详细描述服务原语和相关参数。参数包含物理层实体所需的信息。

原语参数：

PHY_DATA.request
(FDL_symbol)

- 参数 FDL_symbol 有如下值之一：

a) ZERO 对应于二进制数“0”

b) ONE 对应于二进制数“1”

c) SILENCE 当无有效的 FDL 符号被发送时，停用发送器。

为了请求将给定的符号发送到现场总线介质，将 PHY_DATA.request 原语从 FDL 层传到 PHY 层。

此原语的接收导致 PHY 层进行译码并根据有关 PHY 层规范（如，根据类型 1，4.1）用信号传输 FDL 符号。

PHY_DATA.request 是一个有时限的请求，每个 FDL 符号时间（t_{BIT}）只能请求一次。PHY 层用一个本地定义的确认原语来确认此原语。

PHY_DATA.indication

(FDL_Symbol)

- 参数 FDL_Symbol 应有如下值之一：

a) ZERO 对应于二进制数“0”

b) ONE 对应于二进制数“1”

将 PHY_DATA.indication 原语从 PHY 层传到 FDL 层，指示从现场总线介质接收到 FDL 符号。

由 FDL 层接收此原语的作用，未作规定。

PHY_DATA.indication 是一个有时限的指示，每个接收的 FDL 符号时间（t_{BIT}）只能指示一次。

4.2.3 电气要求和编码

PHY 层和 FDL 层之间接口的物理特性（连接器类型，针脚分配，驱动器和接收器特性等）没有特殊规定。经验表明，至少下列三个信号是必须的：传输数据（TXD），接收数据(RXD)和发送器启用(请求发送,RTS)。信号编码的例子如下：

PHY_DATA.request	PHY 发送编码	
参数值	TXD	RTS
ZERO	0	1
ONE	1	1

SILENCE	x 0	x: 无关系的

PHY_DATA.indication	PHY 接收编码
参数值	RXD
ZERO	0
ONE	1

FDL 层产生它自己的时间帧（FDL 符号时间，UART 时钟)。此后无需来自 PHY 层的时间信息（传输/接收时钟)。

对某些实现而言，从 PHY 层到 FDL 层传输时间信息是有用的，反之亦然。此外，附加一个从 FDL 层传送到 PHY 层的控制信号是可取的：清除发送(CTS)。

两个功能均不包括在接口规定中。如果需要，它们应由本地规定。

4.3 物理层和介质冗余（可选的）

为了改善现场总线的可靠性，支持使用冗余的物理层 PHY。在实现时，冗余的 PHY 层包含分别安装两路介质（总线 a 和总线 b）和每个站有两个完整的收发器（发送器和接收器)，图 9 指出冗余结构。

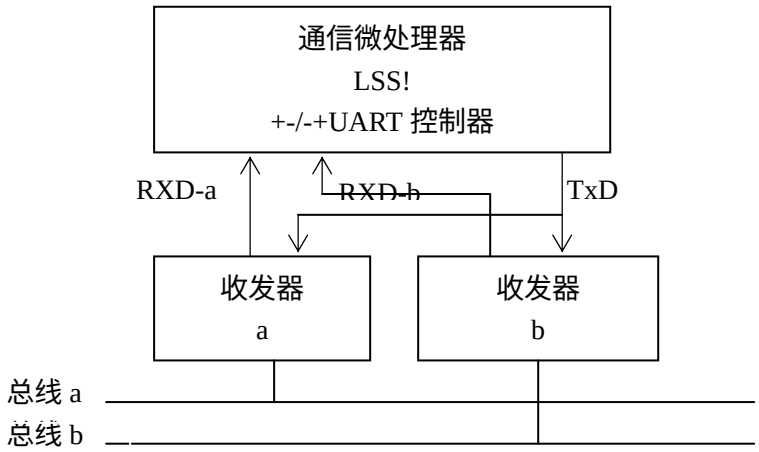


图 9. 物理层和介质冗余

如图 9 所示,基本原理设想为数据由两个收发器同时发送到两个介质(总线 a 和总线 b)，而每个站只从一个介质（总线 a 或总线 b）接收。接收通道通过总线选择开关（LSS）来选定，LSS 被安装在两个收发器和 UART 控制器之间。如果使用两个 UART 控制器，则 LSS 被安装在 UART 控制器和通信微处理器之间。总线选择开关完全由 FDL 层控制。为此，每个站的通信微处理器监视介质的活动性，与任何其他站无关。对主站和从站的主开关条件如下：

- 两个或更多个无效帧被接收，即发现带有无效格式、无效奇偶位或无效帧检查序列的 UART 字符
- 超时时间计时器 T_{TO} 期满，见第四部分，4.1.7。
- 在一个同步间隔时间 T_{SYNI} 中，发现无最小空闲时间（即至少 Tsyn 的总线空闲）（见第四部分 4.1.7)。

将所选择的接收通道 a（初始的）或 b(交换的)通知给现场总线管理（FMA1/2，见第三部分，4.2)。然后，现场总线管理通过 FMA1/2 接口将此信息提供给本地用户。系统初始化

完成后，无需选择接收通道。

附录 2-A（信息）

实例

2-A.1 中继器

可实现两种基本的中继器结构：

远程控制中继器和自控制中继器。对于接地状态下的远程控制中继器而言，有一个优选的信号传输方向：它应该总是从上方线指向下方线。如果一个站或一个下方线发送一个报文，则在传输开始前，它将转换中继器的信号传输方向，传输完成后将恢复原来的方向。通常，这就意味着每一个下方线需要增加一个控制总线的线（CNTR 控制；双线）。这种中继器线路中有 3 个接收器（R）和 3 个发送器（T）设备（见下图）。

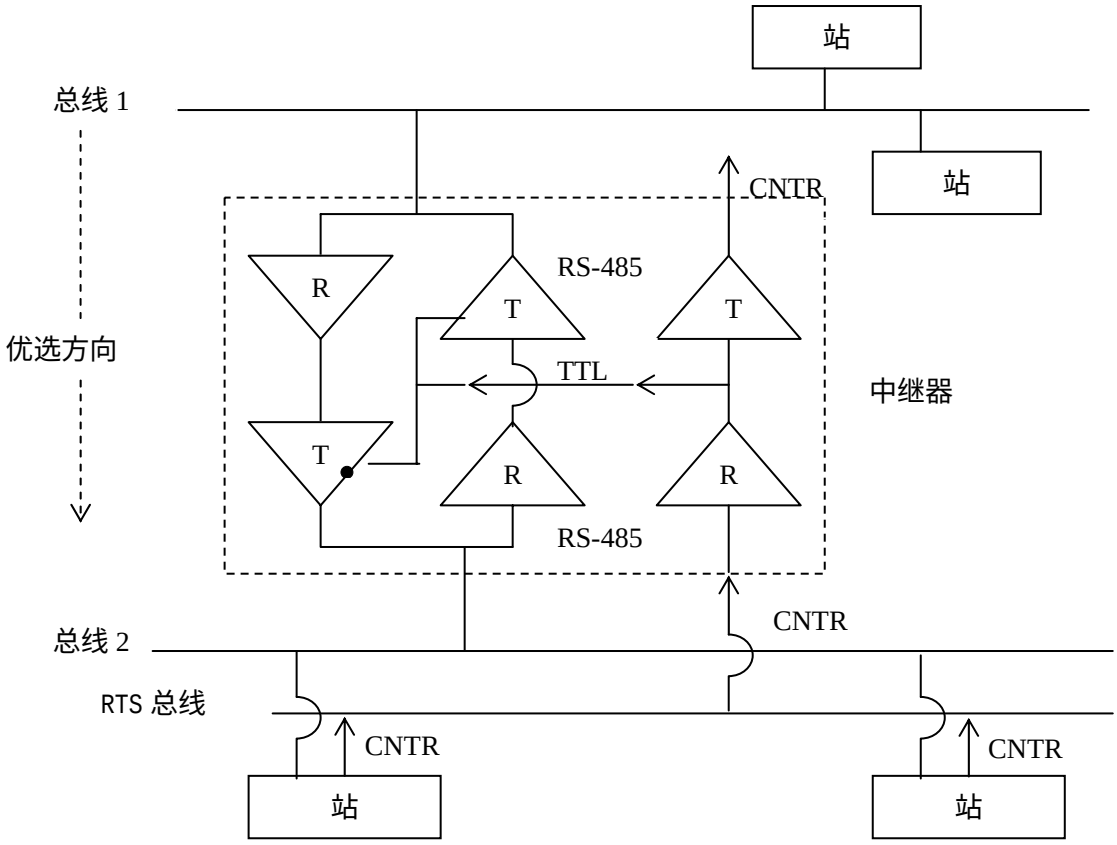


图 2-A.1 远程控制中继器

对于接地状态下的自控制中继器而言，两根总线是接收器。仅在相应方向上开始位边缘到达时，信号传输才发生。如果开始位边缘同时从两边被接收，则优先权电路解决冲突。帧结束检查然后复位到接地状态由≥11 位的信号空闲时间“监视器”（空闲二进制“1”）来执行。中继器的线路中有两个接收器和发送器装置和一个带有优先权电路和空闲时间控制的方向控制器组成，见下图。空闲时间控制取决于数据传输速率，且设定为≥11 个 t_{BIT}。

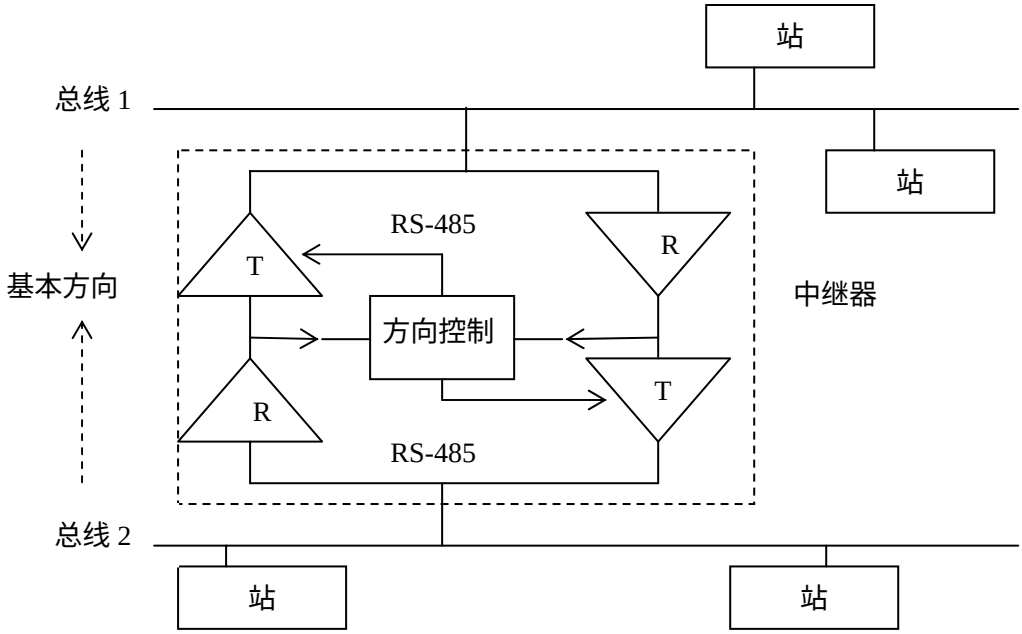


图 2-A.2 自控制中继器

对两类中继器都不提供位相的瞬时再生。因此，连续的中继器的个数最大限于 3。

2-A.2 PROFIBUS 控制器的结构

PROFIBUS 控制器(PBC)建立现场自动化装置（控制或中央处理站）或现场设备与传输介质的连接。PBC 由线发送器/接收器（收发器）、帧字符发送器/接收器（UART）和带有与 PROFIBUS 用户接口的 FDL/APP 处理器组成。在 RS-485 收发器和 UART 之间可安装电气隔离，而此电气隔离用光耦合器及传输介质与收发器间的其他的传输技术，如发送器（见下图）。

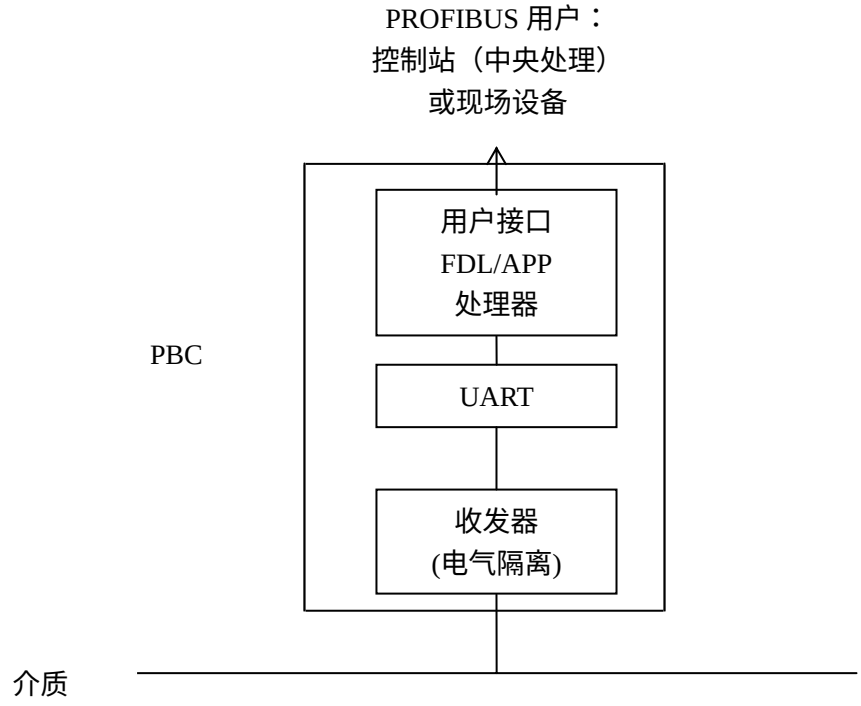
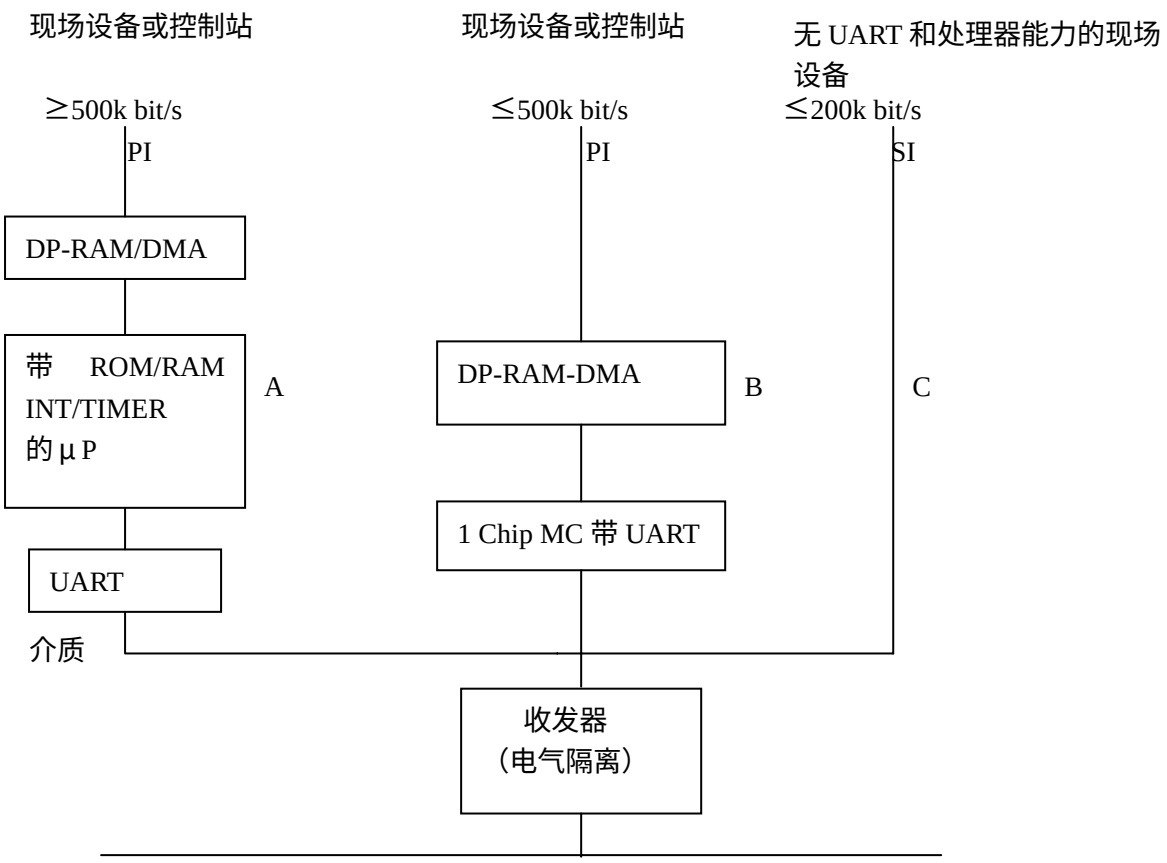


图 2-A.3　PROFIBUS 控制器（PBC）

为了适应不同的现场自动化装置和设备，最多使用三种 PROFIBUS 控制器（Controller_type），它们在开销上有所不同（见下图）：



其中，PI 并行接口
SI 串行接口
DP-RAM 双口 RAM
DMA　直接存储器存取

图 2-A.4　　各种 PBC（控制器类型）

A:　对数据传输速率≥500k bits/s，一个带有足够内存和外设的微处理器（80186）作为 FDL/APP 处理器是必要的。与用户接口由双口 RAM 或 DMA 来实现。

B：　对数据传输速率≤500 kbit/s，带有 UART 装置的单芯片微处理器（如 80C51FA, V25[μPD 70322]）是适合的。如上所述用户接口由双口 RAM 或 DMA 实现。

C：这是从 FDL/APD 协议到装置 CPU 的最小开销的解决方案。在此种情况下，无 UART 接口和无设备处理器能力对 FDL/APP 协议来说是有效的。通常可能达到的数据传输速率不超过 200 kbit/s。

2-A.3 有若干个总线与一个控制站相连的系统

在若干个自满足的总线区域，对系统中站数需超过 32 个且不能使用中继器的纯主－从系统提供一种变通办法。这些总线由一个主站按时间多路运行，或每个与一个主站并行运行。举一个四条总线的布线例，按照总线类型 1,允许 125 个站在一个系统中。考虑到简单、可行

和响应时间，这种布线特别适用。在某一根线断坏的情况下，其余的站仍能与控制站通信，而对单根总线而言所有站将是难于实现这一点的。

依据各条线的数据传输速率，有两种不同开销的结构。对不超过 200kbit/s 的情况，一个 A 类 PBC 总线控制器作为主站可以支持 4 个 UART 设备并因此管理 4 根总线，见下图。

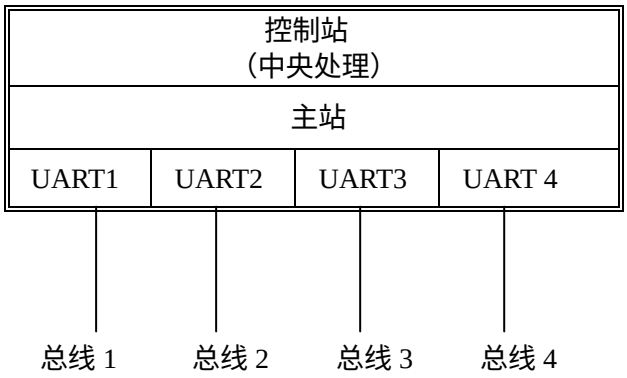


图 2-A.5 由一个主站（PBC）控制若干条总线

对于数据传输速率在 200 kbit/s 以上的情况，对每条总线分别用一个总线控制器作为主站，这是可行的。总线数的多少取决于控制站的能力，因为它将协调各主站（见下图）。

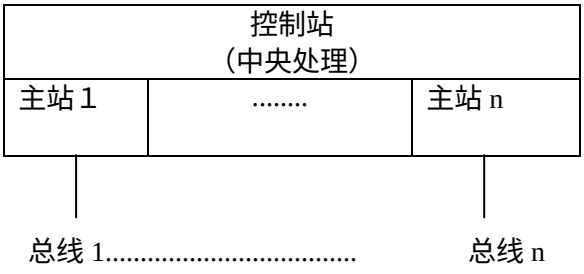


图 2-A.6 若干个 PBC 在一个控制站中

2-A.4 冗余控制站

对于仅有一个主站的主－从系统而言，需要完整的控制站的冗余，以提高系统的有效性。不过，在电源失效情况下，双总线控制器对控制站将不提供成功的有效性。带/不带冗余传输技术的基本布线见下图。

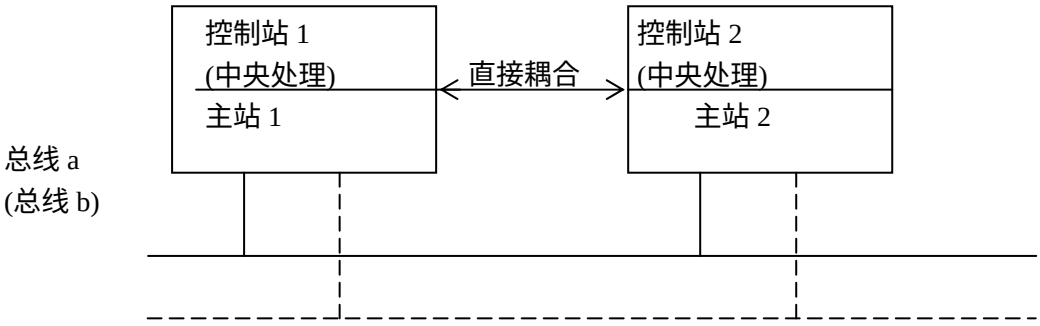


图 2-A.7 冗余控制站

在上述概念中，仅允许一个控制站是活动的，而另一个处在等待条件变化（热备份）状态。借助于总线各线的活动性控制（超时时间），后备的站能独立地接管失效控制站的控

制功能。为此，它应掌握当前的数据记录，而数据记录已在直接耦合的装置之间交换了。在系统启动时，活动控制站由优先权决定。

2-A.5 总线分析/诊断单元（ 总线监视器）

在启动、维护期间和在故障情况下，控制站能执行一定程度内的运行测试。PROFIBUS 系统状态的这种扩展，仅仅增加一个分析／诊断设备（总线监视器）即可。总线监视器可以在现场连接到总线的任何地方。这种装置有三种运行模式

－分析模式

－诊断模式

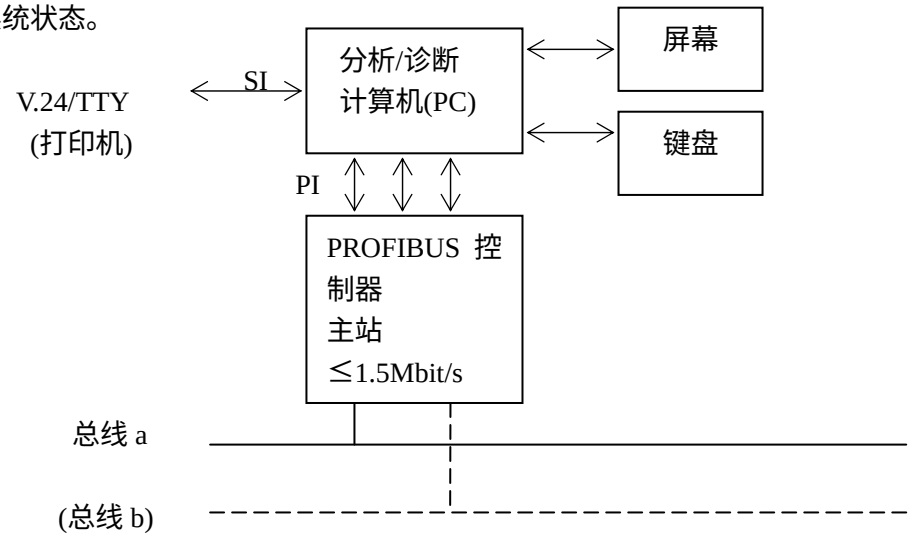
－控制站模式（标准模式 PHY/FDL/APP）

在分析模式下，在确定时间范围内依据不同的准则获得和分析在 PROFIBUS 上的事件。此设备纯粹被动地作为一个所有信息的监视器来运行，而不影响总线的运行。

诊断模式检查和定位错误，测定系统配置和系统状态，清楚地显示已获得和分析的站及出误状态。诊断模式需要传输特定的信息和触发某些活动，如特别出误状态，总线负载或其他站的自测试。这种模式仅允许对主站使用。

在控制站模式下，中央处理功能被执行。在活动控制站停止或失效后，为了保持总线运行，这是最基本的。中央控制功能在一定程度上被接管（见冗余控制站的条件）。控制站模式也可使用于 PROFIBUS 系统中新站的逐级启动。

下图概略地指示一个分析/诊断设备的轮廓。对主站使用标准的 PROFIBUS 耦合（A 型），带有一个分析/诊断计算机（例如 PC），它与用户接口耦合。一个标准键盘和屏幕用于运行和显示 PROFIBUS 功能和状态。计算机有一个标准串行接口（CCITT V.24, TTY），用于记录系统状态。



其中： SI 串行接口
PI 并行接口

图 2-A.8 总线分析/诊断装置

2-A.6 报文速率、系统响应时间和令牌轮转时间的特性

系统中的报文速率 Rsys 与每秒可能的报文循环数相对应(见第四部分,4.2 公式(23))。对一个主站向 n 个从站循环发送／请求（轮询）而言，最大系统响应时间（也称站或总线请求时间）可根据报文循环时间和从站数来计算（见第四部分，4.2，公式（24))。

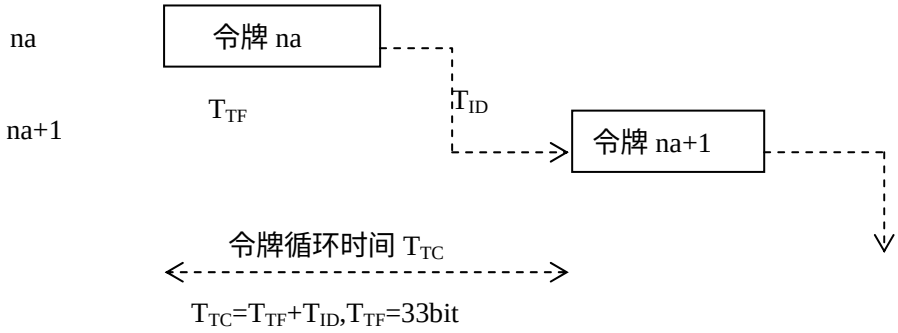
在下例中，时间 T 被换成 t（秒)，并设定如下：t_{SDR}=0.5ms，t_{ID}=1ms(或 t_{SYN}+t_{SM}，如果＞1ms 时)，DATA_UNIT=2，10，50 个八位位组，并假定从站数 np=30。在每种情况下，请求帧不带 DATA_UNIT(见第四部分,4.6.1A),而响应帧有可变的 DATA_UNIT(见第部分,4.6.3B)。

按第四部分，4.2 中公式（22)，(23)（24）计算，在不同传输速率、不同的 DATA_UNIT 和不同的站数情况下相应的报文循环时间、报文速率和系统响应时间值均列在下表中。报文重试和时间 T_{TD} 均未作考虑。因为在系统中只有一个主站，令牌传递时间也未考虑。这些数值表示成曲线，见图 2-A.11 和图 2-A,12。

表 2-A.1

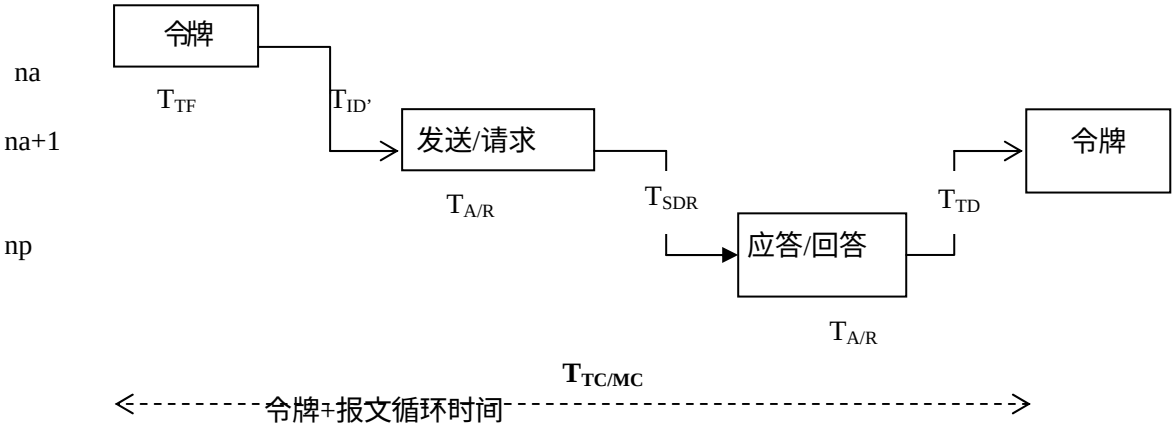
DATA_UNIT	数据传输速率[k bit/s]					
	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500
	t_{MC}[ms]，一个报文循环时间					
2 个八位位组	24	12	3.5	2.5	1.9	1.6
10 个八位位组	33	17	4.4	3	2.1	1.7
50 个八位位组	79	40	9.2	5.3	2.93	2
	Rsys[N/S],每秒内系统全部报文循环数					
2 个八位位组	42	82	287	400	535	615
10 个八位位组	30	60	226	337	488	594
50 个八位位组	12	25	108	188	341	506
	t_{SR}[ms]，带有 30 个从站的系统响应时间					
2 个八位位组	711	364	105	75	56	49
10 个八位位组	986	502	133	89	62	51
50 个八位位组	2.4S	1.2S	276	159	88	60

在多主站系统中，系统响应时间 t_{SR} 还取决于实际令牌循环时间 t_{RR}。图 2-A.13 指出，在 93.75，500 和 1500 kbit/s 情况下 t_{RR} 与主站数和高优先权报文间的关系。报文重试和 T_{TD} 时间未作考虑。计算基于令牌循环时间 T_{TC} (如图 2-A.9)和组合令牌和报文循环时间 $T_{TC/MC}$(如图 2-A.10)。



$T_{TC}=T_{TF}+T_{ID}$,T_{TF}=33bit （2-A.1）

图 2-A.9 循环时间 T_{TC}



$T_{TC/MC}=T_{TF}+T_{ID}$,$+T_{S/R}+T_{SDR}+T_{AR}+T_{ID}$ （2-A.2）

图 2-A.10 循环时间 $T_{TC/MC}$

报文循环：
有回答要求的发送/请求数据：$T_{S/R}$=66 bit
回答带 10 个八位位组 DATA_UNIT：$T_{A/R}$=209 bit
下列时间被选择：
令牌循环：t_{ID}=0.5ms
令牌＋报文循环：t_{ID}=0.5ms；$t_{ID'}$=1ms；
t_{SDR}=0.5ms

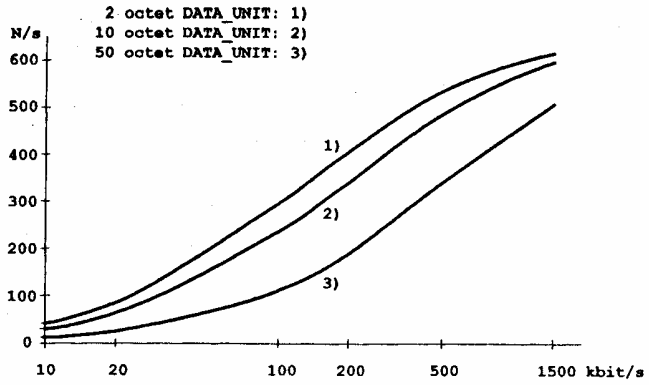


图 2-A.11 系统整个报文循环数 Rsys

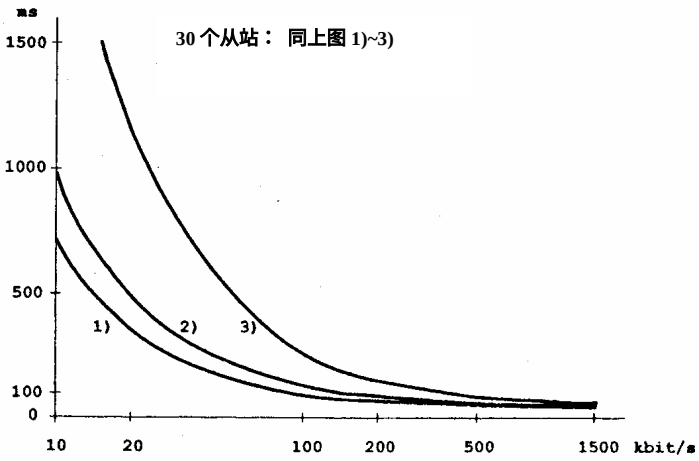


图 2-A.12 系统响应时间

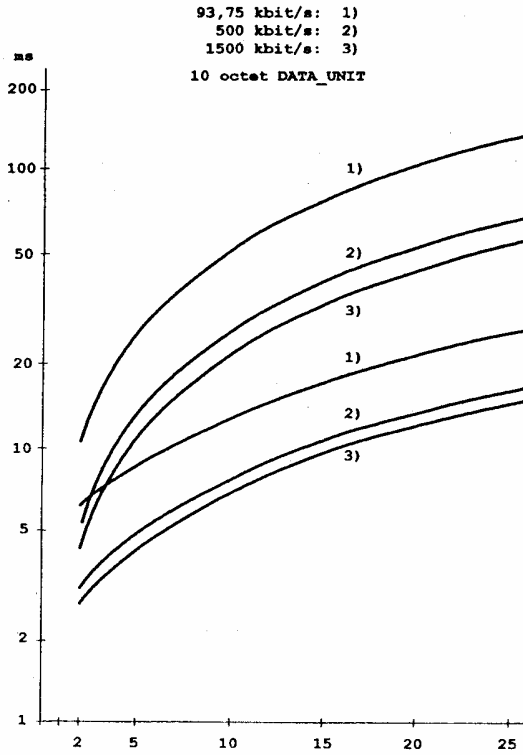


图 2-A.13 实际令牌轮转时间 t_r