

PROFIBUS 规范 - 标准部分

第九部分：用于过程自动化的物理层和数据链路层

PROFIBUS Specification-Normative Parts

Part9 : Physical Layer and Data Link Layer for
Process Automation

第九部分 用于过程自动化的物理层和数据链路层

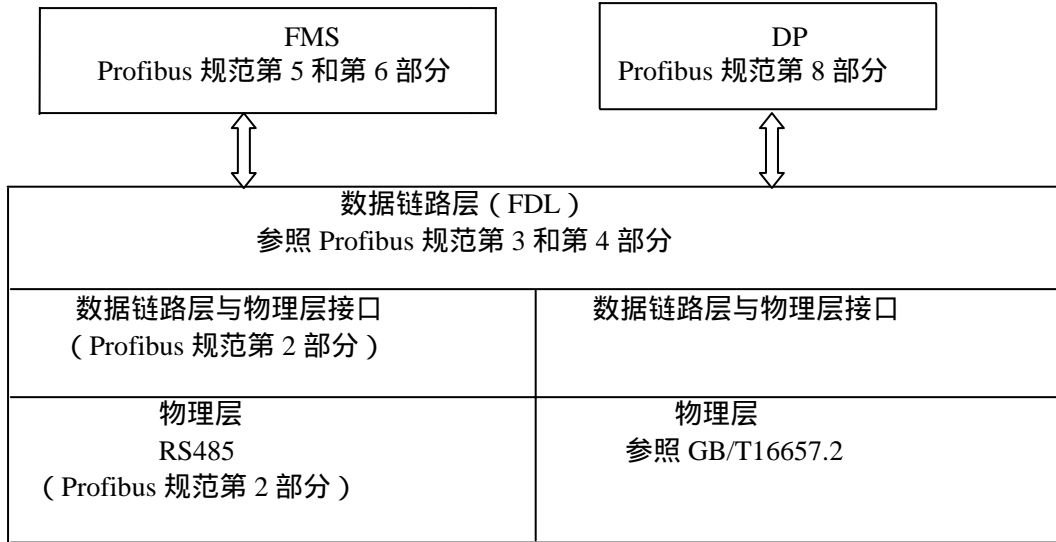
目录	页码
1 引言.....	5
2 适用范围.....	5
3 引用标准.....	6
4 概论.....	6
4.1 定义.....	6
4.2 缩略语.....	6
4.3 基本特性.....	6
5 特征.....	7
6 范围.....	7
7 数据传输（物理介质，物理层）.....	7
7.1 电气特性.....	7
7.2 物理层（PhL）与介质存取以及传输协议（FDL）间的接口.....	10
7.3 物理层和介质的冗余（可选）.....	10
8 介质存取方式和传输协议（数据链路层，FDL）.....	11
8.1 传输步骤和现场总线数据链路(FDL)控制器.....	11
8.1.1 令牌步骤.....	11
8.1.1.1 令牌传递.....	11
8.1.1.2 站的增加和拆除.....	11
8.1.1.3 逻辑令牌环(重)初始化.....	11
8.1.1.4 令牌轮转时间.....	11
8.1.1.5 报文优先权.....	11
8.1.2 非循环请求或发送 / 请求模式.....	11
8.1.3 循环发送 / 请求模式.....	11
8.1.4 请求所有站（活动表）的 FDL 状态.....	11
8.1.5 FDL 控制器的状态.....	11
8.1.6 FDL 初始化.....	11
8.1.7 定时器操作.....	11
8.2 循环和系统反应时间.....	15
8.2.1 令牌循环时间.....	15
8.2.2 报文循环时间.....	15
8.2.3 系统反应时间.....	16
8.3 出错控制步骤.....	16

8.4	定时器和计数器	16
8.5	帧结构	17
8.5.1	帧字符	17
8.6	帧格式	17
8.6.1	无数据字段的固定长度的帧	18
8.6.2	有数据字段的固定长度的帧	18
8.6.3	有可变数据字段长度的帧	19
8.7	令牌帧	19
8.8	长度，地址，控制和校验八位位组	19
8.8.1	长度八位位组 (LE)	19
8.8.2	地址八位位组 (DA / SA)	20
8.8.2.1	链路服务存取点 (LSAP)	20
8.8.3	控制八位位组 (FC)	20
8.8.4	校验八位位组 (FCS)	20
8.8.5	数据字段 (DATA_UNIT)	21
8.9	传输步骤	21
9	Profibus 第 2 层接口	21
9.1	FDL 用户与 FDL 的接口	21
9.2	FMA1/2 用户与 FMA1/2 的接口	21
10	管理 (FMA1/2)	21
10.1	FMA1/2 功能的一般描述	21
10.2	FDL 与 FMA1/2 的接口	21
10.2.1	服务概述	21
10.2.2	交互作用概述	21
10.2.3	服务和交互作用的详细规范	21
10.2.3.1	FDL 复位	21
10.2.3.2	FDL 设定值， FDL 读值	21
10.2.3.3	FDL 故障	21
10.3	物理层 (PhL) 与 FMA1/2 的接口	21
10.3.1	服务概述	21
10.3.2	交互作用概述	21
10.3.3	服务和交互作用的详细规范	22
10.3.3.1	PhL 复位	22
10.3.3.2	PhL 设定值， PhL 读值	22
10.3.3.3	PhL 事件	24

10.4	FDL 和 PhL 变量的编码	24
10.4.1	FDL 变量的编码	24
10.4.2	变量的编码	24
10.4.3	对象属性表	25
附录 A (信息)		26
实例		26
A.1	中继器	26
A.2	Profibus 控制器的结构	26
A.3	若干条总线与一个控制站连接的系统	26
A.4	冗余控制站	26
A.5	总线分析 / 诊断装置 (总线监视器)	26
A.6	总线供电的本质安全现场总线	26
A.7	报文速率、系统反应时间和令牌轮转时间	26

1 引言

像已发布的 PROFIBUS 规范那样，本部分描述第二部分数据传输的其它数据传输技术，包括传输介质（物理介质）和伴随的物理层。至于数据链路层和物理层管理的连接遵照 PROFIBUS 规范，本部分只是做了一些修改和补充。



FMS：现场总线报文规范

DP：分散的外围设备

FDL：现场总线数据链路层

图 1. 本部分与其它部分的关系图

对应用层的接口（FDL 和 FMA1/2）与 Profibus 规范中第 2 层接口规定相同。

物理层(PhL)和现场总线链路层(FDL)间的逻辑接口在 Profibus 规范“数据传输”中规定。总线线路、存取及传输的协议遵照 Profibus 规范中“介质存取方式”和“传输协议”。

数据传输符合 GB/T16657.2，使之能够满足各种“本质安全”防护等级的要求，并能够通过总线供电。

关于介质连接单元（MAU），按 GB/T16657.2 第 11 章规定，使用下列传输速率：

-31.25 kbit / s，电压方式和导线介质。

纳入应用层并在第七部分描述的管理将考虑到 GB/T16657.2 物理层的变量和其相关的取值范围（参见本部分的 10.4）。

在过程自动化（如流程工业）中的应用需要一种简单的传输介质（2 线制）和不同的拓扑结构，如总线型或树型。另外还需要低能耗、低成本的总线连接，实时品质，即保证响应时间。还必须涉及到电磁干扰和易爆气体的环境。

本规范有助于在一个分布式现场总线系统中低耗费地连接不同供应商的数字现场设备，同时还能保证可靠的通信。

2 适用范围

本规范规定了用于过程自动化（如流程工业）的串行现场总线系统的功能、机械和电气性能。本规范规定的数据传输是 GB/T16657.2 物理层“类型 1”（31.25kbit / s，电压方式，导线介质）。

3 引用标准

本规范引用了有时间规定和没有时间规定的其它标准。这些参考标准放在正文的相应位置并指定刊名。如果这些标准通过修改或修订，则最近修订的版本应纳入本规范。对没有时间规定的标准应用其最近的版本。

ISO 7498 : 1984	信息处理系统；开放系统互连；基本参考模型。
GB/T16657.2 : 1993	用于工业控制系统的现场总线标准 - 第 2 部分：物理层规范和服务定义。
DIN EN 50020	易爆气体环境中的防护的电气特性 - 本质安全“i”。

4 概论

4.1 定义

PROFIBUS 规范和 GB/T16657.2 中的定义适用于本标准。

4.2 缩略语

注意，按照 GB/T16657.2，物理层不再缩写为“PHY”，而应缩写为“PhL”，“Ph-”用作服务原语的词头。

所用缩略语如下：

CRC	循环冗余检查
DCE	数据通信设备
DTE	数据终端设备
MAU	介质附属装置
MDS	介质从属子层
PhICI	物理层接口控制信息
Ph-	物理-
PhL	物理层
PhID	物理层接口数据
PhIDU	物理层接口数据单元
PhPCI	物理层协议控制信息
SDF	数字链路起始定界符
SDL1	数字链路起始定界符 1
SDL2	数字链路起始定界符 2
SDL3	数字链路起始定界符 3
SDL4	数字链路起始定界符 4
SDL5	数字链路起始定界符 5
T _{PTG}	后传输间隔时间

同时参照 GB/T16657.2 第 4 章和 PROFIBUS 规范第二部分 3.1.2。

4.3 基本特性

相同的基本特性符合 PROFIBUS 规范第二部分 3.2 的描述。

5 特征

除了 PROFIBUS 规范第二部分 3.3 所述应用范围的要求外，本规范必须使总线具有本质安全的数据传输和总线供电功能，这些特征描述如下：

网络拓扑结构： 线性总线，两头有端接器，有或没有短截线和分支（树型）。

介质，距离，站数量： 按照 GB/T16657.2，11.2.2 条 1 至 3 项，适用下列数值：

- 无本质安全的现场总线，带或不带总线供电：2 至 32 个设备
- 有本质安全的现场总线，总线供电：站数取决于能保证本质安全线路能够进行传输的电能的限制，
- 当连接了最多数量的站时，两站之间的距离包括短截线
在内最大为 1.9 千米。

传输速率： 距离长达 1900 米时为 31.25kbit / s。

冗余： 具有后备介质。

传输特性： 半双工（half duplex），同步，自锁
曼切斯特-双相-L-编码(Manchester - Biphase - L - Coding)

编址，站类型，总线存取，数据传输服务，帧长度，数据完整性： 依据 PROFIBUS 规范第二部分 3.3

6 范围

规范的本部分以在 PROFIBUS 规范“数据链路层”中描述的结构模型、总线存取协议和传输过程为基础。

第一层（物理层，PhL）的数据传输技术以 GB/T16657.2 第 11 章所规定的原则为基础。

帧格式以 GB/T16657.2 第 9 章中规定的同步协议数据单元（Ph-PDU）为基础。帧格式是由一个前同步码、一个起始定界符、一个终止定界符以及第二层数据（FDL-PDU）组成。数据编码和译码使用曼切斯特-双相-L-编码。

第 2 层传输协议以及 1 层的管理（FMA1）遵守 GB/T16657.2 第 5 和第 6 章的规定。

附录 A 说明了中继器、现场总线接口和具有若干条现场总线连接到一个主站的系统可能的结构，增加了冗余中央控制单元和总线分析 / 诊断单元的导则。最后，综合考虑由集成 GB/T16657.2 而改变的帧格式，举例说明在本质安全及总线供电情况下可连接的站数量、数据传输速率和系统响应时间的计算。

7 数据传输（物理介质、物理层）

7.1 电气特性

物理层的描述符合 GB/T16657.2 第 11 章的规定。

类型 2：31.25 kbit / s，电压方式和导线介质（本质安全物理层）。

中继器

使用双向放大器（此处称中继器，见本部分 A.1）可扩展总线的长度和增加站个数。两个站间最多可有 4 个中继器。在 31.25 kbit/s 以及总线线段是串行的（线性总线拓扑结构）情况下，总线段长度和可连接站的最大数值为：

- 31.25kbit/s :

- 1 个中继器：3.8 千米，62 个站
- 2 个中继器：5.7 千米，92 个站（见图 2）
- 3 个中继器：7.6 千米，122 个站
- 4 个中继器：9.5 千米，127 个站

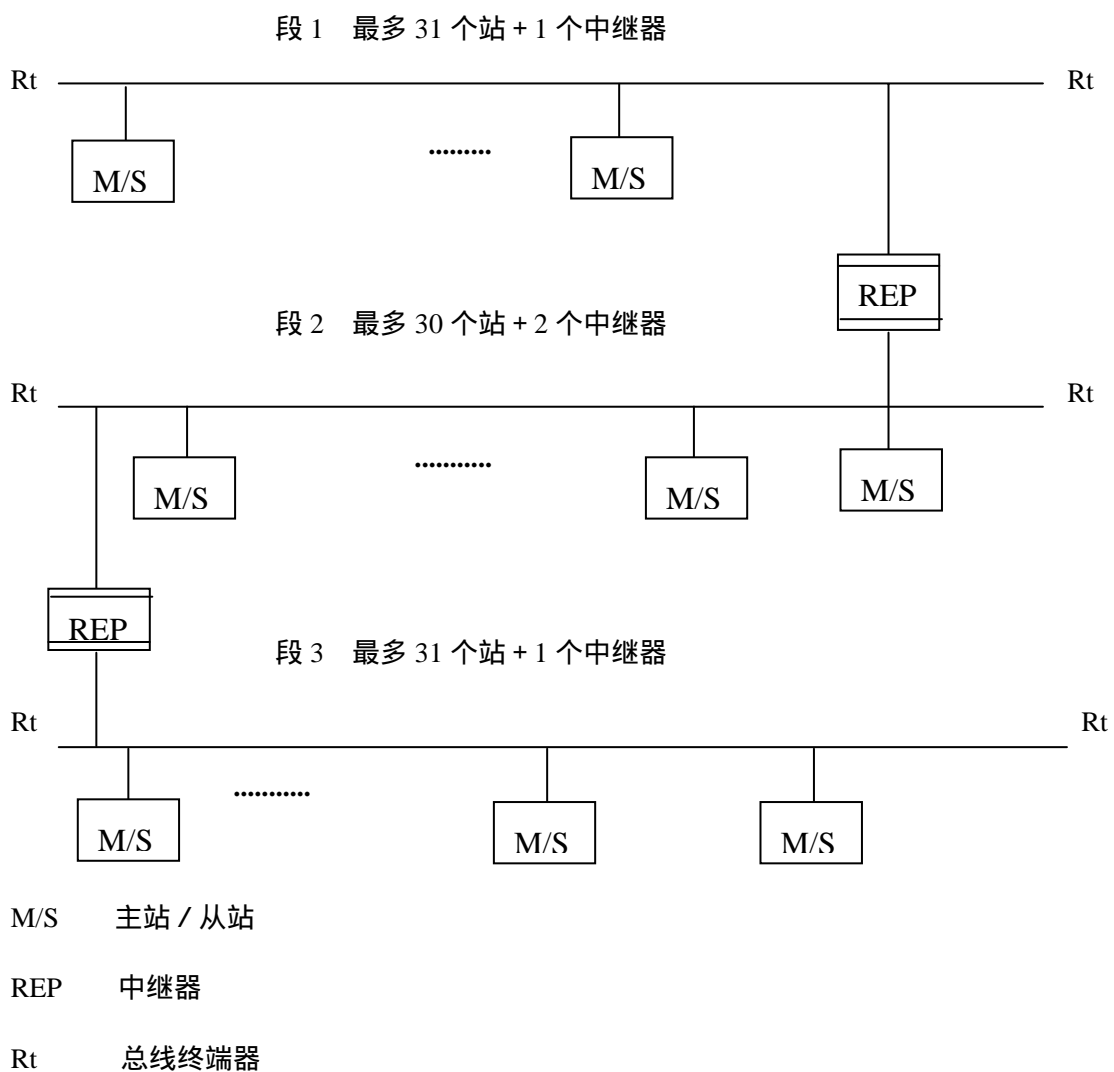
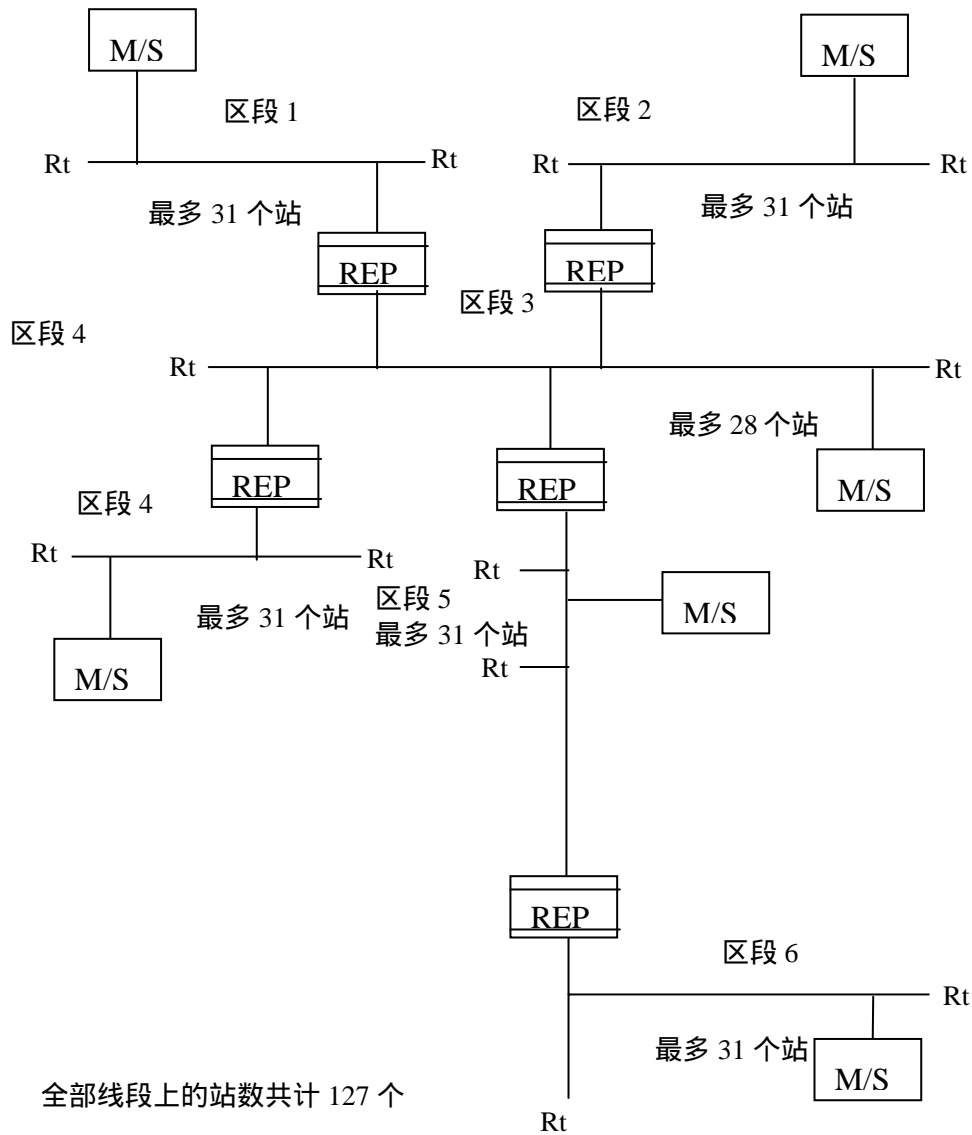


图 2：在线性总线拓扑结构中的中继器（参见第 2 部分的图 2）

对于树型拓扑结构的总线段在 31.25 kbit/s 时可使用下列最大数值：

例如：5 个中继器：7.6 km，127 个站



- M/S 主站 / 从站
- REP 中继器
- Rt 总线终端器
- Stn 站

图 3 在树型拓扑结构中的中继器 (参见第 2 部分图 3)

7.2 物理层 (PhL) 与介质存取以及传输协议 (FDL) 间的接口。

本节给出了由物理层提供给 FDL 层的 Ph-数据服务的简要规定。该 Ph-数据服务用于接收和传输数据（一次一个八位位组）。

一个站内的接口和控制的实施是不固定的或者是没有规定的。

下列服务原语引自 GB/T16657.2，为了清楚起见，重复如下：

Ph-DATA request (Class, data)

Ph-DATA indication (Class, data)

Ph-DATA confirmation (status)

参数 **Class** 规定了物理层接口数据单元 (PhIDU) 的物理层接口控制信息(PhICI)，对 Ph-DATA request 原语，参数 **Class** 可以有如下列值：

- a) START - OF - ACTIVITY
- b) DATA
- c) END - OF - DATA - AND - ACTIVITY

对于 Ph-DATA indication 原语，参数 **Class** 包含如下列值：

- a) START - OF - ACTIVITY
- b) DATA
- c) END - OF - DATA
- d) END - OF - ACTIVITY
- e) END - OF - DATA - AND - ACTIVITY

对物理介质与介质存取控制协议和传输协议之间的接口这些参数是可以使用的。

参数 **data** 规定了物理层接口数据单元 (PhIDU) 的物理层接口数据，它是由一个必须发送（请求）或接收（指示）的八位位组的物理层用户数据组成。

参数 **status** 标志着传输的成功或失败。

Ph-DATA confirm 原语标志着传输的结束。在传输完成后将此原语传递到 FDL-控制器并由此而指示物理层准备接收下一个 Ph-DATA request 原语。

物理层数据服务原语以及参数值的定义遵照 GB/T16657.2 第 5 章的规定。

7.3 物理层和介质的冗余（可选）

为增加可靠性，在 PROFIBUS “数据传输” 中允许使用带冗余的传输线，其组态应符合 GB/T16657.2 11.2.2 第 9 项中的规定。

原则上，报文必须通过几个（一般多于两个）发送器同时发送。对每个接收选择一个接收器。发送器通道和接收器通道的参数设置用 Ph-SETVALUE request 经由物理管理接口完成。

合适的接收通道的选择由第 2 层 (FDL) 用监视与其它站无关的传输线上的活动来完成。正如第 2 部分 4.3 所述，下列主要准则适用于转换给定的接收器通道：

- 连续地接收两个或多个无效的帧。

无效的含义为：无效的格式和无效的 CRC。

- 超时时间 T_{TO} 期满，见本部份 8.1.7。

- 在一个同步间隔时间 T_{SYNI} 内，无同步时间 T_{SYN} 报告，见本部分 8.1.7。

出于执行的需要，可以选择其它的转换条件。

8 介质存取方式和传输协议（数据链路层， FDL）

除在下列相关部分规定的区别外，在 Profibus 规范“介质存取方式”和“传输协议”中规定的介质存取方式和传输协议（数据链路层， FDL）适用于本部分。由于帧格式的扩展（GB/T16657.2 同步传输协议），必须按本部份 8.1.7 对定时器的计算进行部分调整。

8.1 传输步骤和 FDL 控制器

8.1.1 令牌步骤

遵照规范第 4 部分 4.1.1 规定。

8.1.1.1 令牌传递

遵照规范第四部分 4.1.1.1 的规定。

8.1.1.2 站的增加和拆除

遵照规范第四部分 4.1.1.2 的规定。

8.1.1.3 逻辑令牌环(重新)初始化

遵照规范第四部分 4.1.1.3 的规定。

8.1.1.4 令牌轮转时间

遵照规范第四部分 4.1.1.4 的规定。

8.1.1.5 报文优先权

遵照规范第四部分 4.1.1.5 的规定。

8.1.2 非循环请求或发送 / 请求模式

遵照规范第四部分 4.1.2 的规定。

8.1.3 循环发送 / 请求模式

遵照规范第四部分 4.1.3 的规定

8.1.4 请求所有站（活动表）的 FDL 状态

遵照规范第四部分 4.1.4 的规定。

8.1.5 FDL 控制器的状态

遵照规范第四部分 4.1.5 的规定。

8.1.6 FDL 初始化

第四部分 4.1.6 的规定适用于 FDL 初始化。因为有符合 GB/T16657.2 的不同物理层，运行参数 T_{QUT} （发送器下降时间 / 中继器开关时间）应重新命名后传输间隔(Post-transmission gap)。

8.1.7 定时器操作

如同在 Profibus 规范“介质存取方式”和“传输协议”中一样，下列时间 T 用位来测量。因此以秒为单位的时间 t 将被分为位时间 t_{BIT} ：

位时间 t_{BIT}

位时间 t_{BIT} 是指传输一个位所经过的时间，它等于传输速率的倒数。

$$t_{BIT} = 1 / \text{传输速率} (\text{bit} / \text{s}) \quad (1)$$

同步时间 T_{SYN}

每个站在其可接收一个请求（请求或发送 / 请求）或令牌帧的开始前从传输介质上收到无活动的最小时间间隔。

同步时间对应于 GB/T16657.2 第 9 章中规定的后传输间隔时间,其至少为 4 位,并可由 FMA1/2 增加到 32 位。

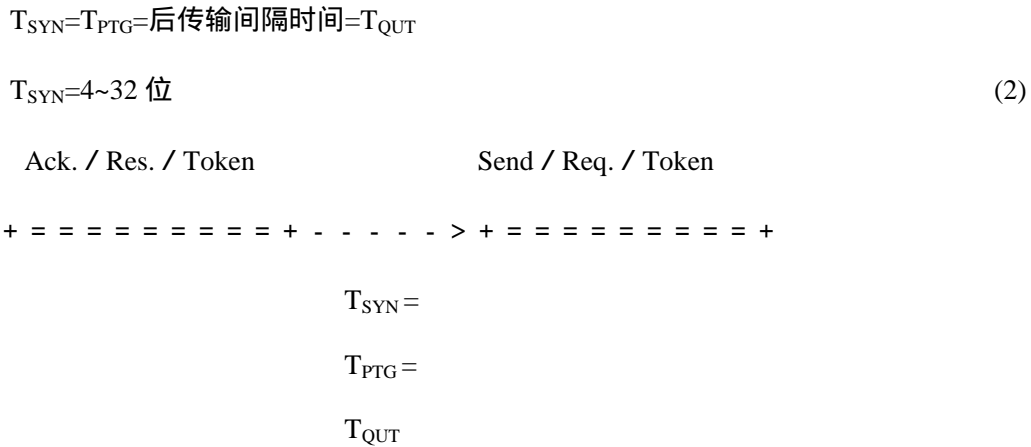


图 4 : 同步时间 T_{SYN}

同步间隔时间 T_{SYNI} :

为了检验“永久的发送器”,同步间隔时间 T_{SYNI} 用于监视连续接收两个 Ph-DATA indication 原语间的最大允许时间间隔,这个 Ph-DATA indication 原语的 Class 是: START - OF - ACTIVITY 和 END - OF - ACTIVITY (或 END - OF - DATA - AND - ACTIVITY)。

此时间包括两个完整的报文序列,每个报文序列由两个最大长度的 PDU 和相应的最大物理层控制信息 (PhPCI: 前同步信号,起始定界符,终止定界符)和最大同步时间 (后传输间隔) 组成。

Class 为 END - OF - ACTIVITY (或 END - OF - DATA - AND - ACTIVITY) 的两种 Ph-DATA indication 原语会因此而失效。

$$T_{SYNI} = 2 \cdot (2 \cdot (T_{SYN} + Ph_{PCI} + T_{FDL})) + 64^* \quad (3)$$

*) 常数 64 为安全余量

$$T_{FDL} = \text{FDL 帧的最大长度 (见本部分的 8.5 和 8.6)}$$

$$T_{SYNI} = 2 \cdot (2 \cdot (32 + 80 + 255 \cdot 8)) + 64 = 8672 \text{ 位} \quad (4)$$

站延迟时间 T_{SDX} :

站延迟时间 T_{SDX} 是指从一个 Ph-DATA request 原语 (Class : END - OF - DATA - AND - ACTIVITY) 或 Ph-DATA indication 原语 (Class : END - OF - ACTIVITY 或 END - OF - DATA - AND - ACTIVITY) 到下一个 Ph-DATA request 原语 (Class : START - OF - ACTIVITY) 或一个 Ph-DATA indication 原语 (Class : START - OF - ACTIVITY) 之间所经过的时间间隔 (与传输介质有关,也就是包括物理层实体)。

定义以下三种站延迟 :

- 1) 发起方的站延迟 (站传输请求或令牌帧)

$$T_{SDI} = t_{SDI} / t_{BIT} \quad (5)$$

- 2) 响应方的最小站延迟时间 (应答或响应的站)

$$\min T_{SDR} = \min t_{SDR} / t_{BIT} \quad (6)$$

3) 响应方的最大站延迟时间

$$\max T_{SDR} = \max t_{SDR} / t_{BIT} \quad (7)$$

静止时间 $T_{QUI} = T_{PTG}$:

后传输间隔时间 (T_{SYN}) 对应于发送器下降时间或中继器开关时间。适用于下式:

$$T_{QUI} = T_{PTG} = T_{SYN} \quad (8)$$

准备时间 T_{RDY} :

准备时间 T_{RDY} 是指一个主站在传输一个请求后准备接收应答或响应的等待时间, 准备时间定义为:

$$T_{RDY} < \min T_{SDR} \quad (9)$$

为了满足这个条件, 可以延长 T_{SDR} .

当没连接发送器时应考虑静止时间, 准备状态在这个时间之后才可以开始:

$$T_{QUI} = T_{PTG} = T_{SYN} < T_{RDY} \quad (10)$$

为了满足这个条件, 如果必要的话, T_{SDR} 可以根据公式 (9) 延长。

安全余量 T_{SM} :

下列时间间隔为安全余量

$$T_{SM} = 2 \text{ bit} + 2 \cdot T_{SET} \quad (11)$$

T_{SET} 是建立 (Set-up) 时间, 即指从一个事件 (如 Ph-DATA confirm) 发生开始直到完成必要的反应为止的时间:

$$T_{SET} = t_{SET} / t_{BIT} \quad (12)$$

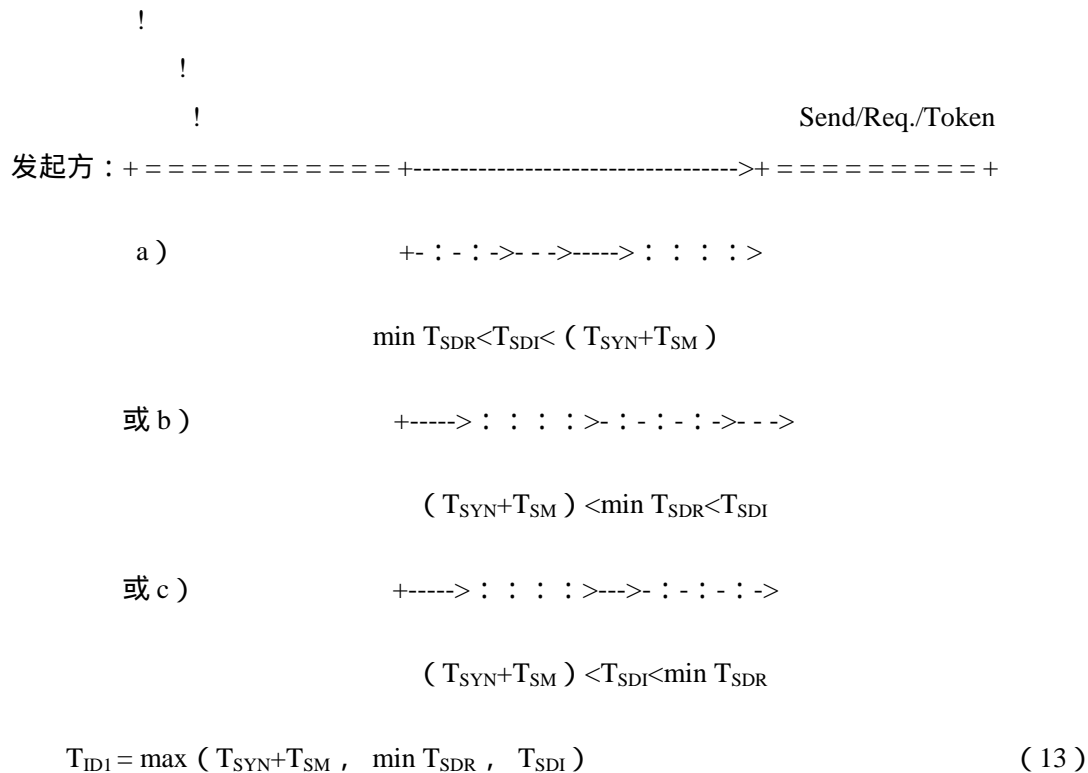
空闲时间 T_{ID} :

空闲时间 T_{ID} 是发起方从一个 Ph-DATA indication 原语 (Class : END - OF - ACTIVITY 或 END - OF - DATA - AND - ACTIVITY) 后, 直到接收到一个新的有 Ph-DATA request 原语 (Class : START - OF - ACTIVITY) 的帧的时间; 或在为传输一个不需要应答的帧而传送一个 Ph-DATA request 原语 (Class : END - OF - DATA - AND - ACTIVITY) 和 Ph-DATA confirm 原语后直到为传输下一个帧而传递一个新的 Ph - DATA request 原语 (Class : : START - OF - ACTIVITY) 之间的时间。空闲时间至少应该是同步时间加上一个安全余量 T_{SM} . (见第四部分 4.1.7 中空闲时间的描述)

在一个应答、响应或令牌帧之后, 空闲时间定义如下:

Ack. / Res. / Token

响应方: +===== +



(在各种情况下都使用最大值)

图 5：空闲时间 T_{ID1} (参见第 4 部分图 3)

在一个不作应答的请求帧后，空闲时间为下式 (参见第四部分图 4)：

$$T_{ID2} = \max (T_{SYN} + T_{SM} , \max T_{SDR}) \quad (14)$$

(在各种情况下都使用最大值)

传输延迟时间 T_{TD} ：

传输延迟时间 T_{TD} 是一个帧在从发送器到接收器之间的传输介质上传输所用的最长时间为。如果需要的话，还应该考虑中继器的延迟时间。传输延迟时间定义如下：

$$T_{TD} = t_{TD} / t_{BIT} \quad (15)$$

根据 IEC 1158 - 2 第 11 章 4 款规定，时间值不应超过 20 个位时间。

时隙时间 T_{SL} ：

时隙时间 T_{SL} 是发起方在为了传输一个从 Ph-DATA confirm 原语来的请求帧而传递一个 Ph-DATA request 原语 (Class : :END - OF - DATA - AND - ACTIVITY) 后开始等待，直到接收到作为接收立即应答或回答的指示的第一个 Ph-DATA indication 原语 (Class :DATA) 为止所等待的最大时间。此外， T_{SL} 也是发起方在作为对由令牌接收器接收一个帧的反应的令牌帧之后等待一个 Ph-DATA indication 原语 (Class : DATA) 所等待的最大时间。从理论上说，这两个时隙时间是不同的 (见第四部分 4.1.7，图 5 和图 6 中对时隙时间的描述)。在一个请求帧后 (请求或发送 / 请求)，时隙时间以下式表示：

$$T_{SL1} = 2 \cdot T_{TD} + \max T_{SDR} + T_{PRE} + 16 \text{ bit} + T_{SM} \quad (16)$$

在一个令牌帧后，时隙时间以下式表示：

$$T_{SL2} = 2 \cdot T_{TD} + \max T_{ID1} + T_{PRE} + 16\text{bit} + T_{SM} \quad (17)$$

T_{PRE} ：前同步时间（见 GB/T16657.2）

注：为了方便实现，系统中仅使用二者中较大值。由于时隙时间仅仅是监控时间，它对系统反应时间不产生负面影响。

$$T_{SL} = \max (T_{SL1}, T_{SL2}) \quad (18)$$

（在各种情况下，都使用最大值）

超时时间 T_{TO} ：

超时时间 T_{TO} 用于监视主站和从站的线路活动和空闲时间。监视在 PON 后，在“Listen-Token”或“Passive-Idle”状态出现时立即开始，或者在接收到一个 Ph-DATA indication 原语（Class：：END - OF - ACTIVITY 或 END - OF - DATA - AND - ACTIVITY）后开始。当接收到下一个 Ph-DATA indication 原语（Class：：START - OF - ACTIVITY）时停止监视，以接收后面的帧。如果空闲时间达到超时时间值，总线被视为不活动（出错情况，例如由于丢失令牌）。超时时间用下式定义：（见第四部分 4.1.7 “超时时间”）

$$T_{TO} = 6 \cdot T_{SL} + 2 \cdot n \cdot T_{SL} \quad (19)$$

对主站： n =站地址（0 到 126）

对从站： n =130，不取决于它们的站地址

GAP 修正时间 T_{GUD} ：

遵照第四部分 4.1.7 中的规定。

8.2 循环和系统反应时间

8.2.1 令牌循环时间

与 Profibus 规范中“介质存取方式”和“传输协议”类似，令牌循环时间 T_{TC} 以下式表示：

$$T_{TC} = T_{TF} + T_{TD} + T_{ID} \quad (20)$$

由于帧字符（参见本部分 8.5.1）和改变的帧格式（参看 8.6 和 8.7），令牌帧时间 T_{TF} 是 64bit 带一个 8bit 的前同步。

此外，请注意只能选择 31.25 kbit / s 的传输速度。

8.2.2 报文循环时间

报文循环时间 T_{MC} 如下式：

$$T_{MC} = T_{S/R} + T_{SDR} + T_{A/R} + T_{ID} + 2 \cdot T_{TD} \quad (21)$$

在第四部分 4.2.2 中规定的报文循环时间的规定适用，以下情况下除外：

PDU 传输时间（ $T_{S/R}$ ， $T_{A/R}$ ）由 PDU 字节的数量确定。以下式表示：

$$T_{S/R} = a \cdot 8 \text{ bit} \quad a = \text{在发送 / 请求 PDU 中字节的数量}$$

$$T_{A/R} = b \cdot 8 \text{ bit} \quad b = \text{在应答 / 响应 PDU 中字节的数量}$$

例：

$a = 9$ 对请求 PDU（1 个字节前同步）

$T_{S/R} = 72 \text{ bit}$

$B = 62$ 对响应 PDU (1 个字节前同步, 50 个字节 DATA__UNIT)

$T_{A/R} = 496 \text{ bit}$

8.2.3 系统反应时间

系统响应时间遵照规范第四部分 4.2.3 规定。

8.3 错误控制步骤

如第四部分 4.3 所描述, 线路协议错误 (见 GB/T16657.2, 第九章) 和介质存取协议错误, 如开始八位位组、CRC 八位位组、帧长度、响应时间等等错误, 会引起特定的站反应。

8.4 定时器和计数器

如第四部分 4.4 中所说明的, 为了测量令牌轮转时间和实现监视定时器, 以下定时器是需要的:

令牌轮转定时器, 空闲定时器, 间隙定时器, 超时时间定时器, 同步间隔定时器和 GAP 修正定时器。

令牌轮转定时器: 此定时器的功能在 Profibus 规范“介质存取方式”和“传输协议”中规定。

空闲定时器: 此定时器在总线上监视空闲状态 $T_{PTG} = T_{SYN} = T_{QUI}$ 。在具有令牌的主站中的空闲定时器用依赖于数据传输服务的 T_{ID1} 或 T_{ID2} (参见本部分 8.1.7) 装入。在一个 Ph-DATA request 原语 (Class : :END-OF-DATA-AND-ACTIVITY) 之后, 不论是在发送器上传输的 Ph-DATA confirm 原语还是在接收器上传输的 Ph-DATA indication 原语 (Class : :END-OF-ACTIVITY 或 END-OF-DATA-AND-ACTIVITY) 时, 定时器开始按每一个 bit 时间递减, 只有当定时器期满后一个新的请求或一个新的令牌帧才能传输。

时隙时间定时器: 在一个来自主站的请求或主站传递令牌之后, 这个主站的定时器在规定的时隙时间 T_{SL} 内监视接收站是响应还是变为主动。在传输每一帧后定时器用 T_{SL} 初始化并按每一个 bit 时间递减。在传输 Ph-DATA request 原语 (Class : :END-DATA-AND-ACTIVITY) 后, 这个帧传输由 Ph-DATA confirm 原语指定。如果定时器在已接收到一个帧前就期满, 正如 Ph-DATA indication 原语 (Class : :START-OF-ACTIVITY) 指示的那样, 存在着错误。这就导致重试或一个新的报文循环开始。

超时时间定时器: 这个定时器用于监视主站和从站的总线活动。在传输一个 Ph-DATA request 原语 (Class : :END-OF-DATA-AND-ACTIVITY) 并返回一个 Ph-DATA confirm 原语后, 或者在接收一个 Ph-DATA indication 原语 (Class : :END-OF-ACTIVITY 或 END-OF-DATA-AND-ACTIVITY) 后, 此定时器装入一个时隙时间的倍数 (参见本部分 8.1.7) 并按每一位时间递减, 直到接收 Ph-DATA indication 原语 (Class : :START-OF-ACTIVITY) 为止。如果定时器期满, 则发生致命错误, 对主站而言会因此 (重新) 初始化。从站或主站的 FMA1/2 用户会分别接收到一个暂停通知 (参见第三部分的 5.2.3.3)

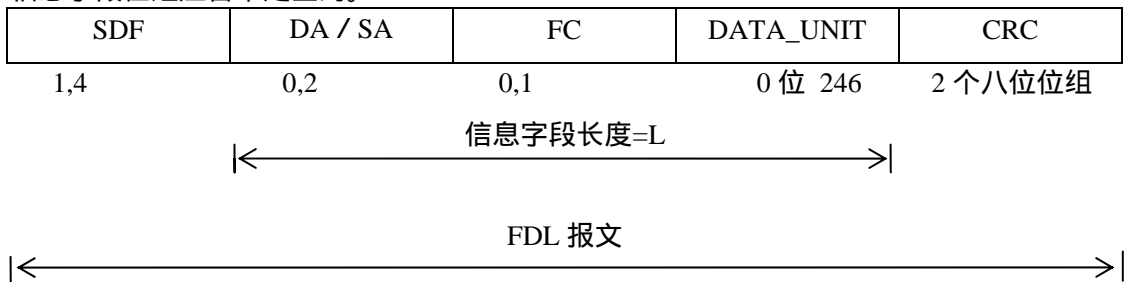
同步间隔定时器: 主站和从站使用这个定时器来监视固定发送器的传输介质。每个 Ph-DATA indication 原语 (Class : :START-OF-ACTIVITY) 之后, 定时器装入 T_{SYNI} 值 (参见本部分 8.1.7) 并且每次按位时间递减, 直到接收 Ph-DATA indication 原语 (Class : :END-OF-ACTIVITY 或 END-OF-DATA-AND-ACTIVITY) 为止。如果这个定时器期满, 则发生传输介质的错误。FMA1/2 用户接收到一个相应的通知 (参见第三部分 5.2.3.3)。

GAP 修正定时器: 这个定时器工作方法与第四部分 4.4 描述的一样。

规范第四部分 4.4 的规定适用于这些可选的计数器

8.5 帧结构

每幅 FDL 帧 (FDL PDU) 由一个起始定界符数据链, 一个信息字段和一个循环冗余校验 (CRC) 组成。信息字段分为地址字段和控制字段。另外, 还可以存在一个数据字段。信息字段在短应答中是空的。



注:

SDF: 起始定界符数据链, 长度为 1 个或 4 个八位位组

DA: 目的地址 - 信息字段

SA: 源地址 - 信息字段

FC: 帧控制 - 信息字段

DATA_UNIT: 数据字段, 长度 (L-3), 最大 246 个八位位组

CRC 循环冗余检验, 长度为 2 个八位位组

图 6: FDL 帧格式

8.5.1: 帧字符

起始定界符数据链, 信息字段和 CRC 由若干每个 8 位的八位位组组成。每个 FDL 八位位组的结构是:

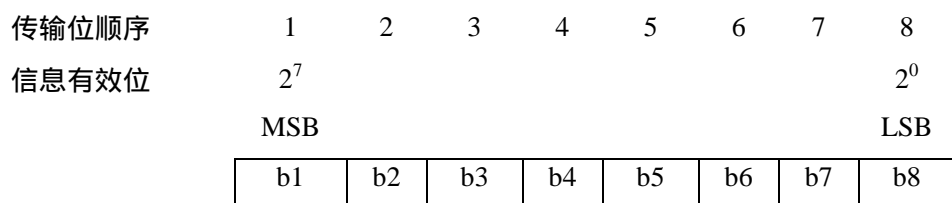


图 7: 八位位组结构 (参见第四部分 4.5.1, 图 9)

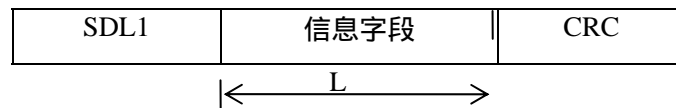
8.6 帧格式

根据第四部分 4.6 和它的有关条目的规定, 不同帧格式的描述符合本部分 8.5 中解释的帧格式。

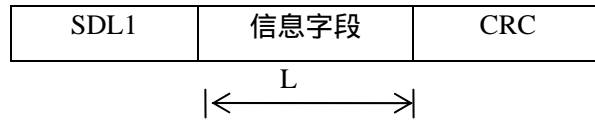
在下一节的图示部分没有表示任何序列 (请求 - - > 应答或响应), 而是表示同一类的帧格式 (Hd=4; 固定长度带 / 不带数据字段和可变长度), 即请求帧可以跟随不同的应答或响应帧 (参见本部分 8.9)

8.6.1 无数据字段的固定长度的帧

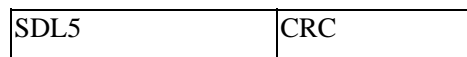
A) 请求帧



B) 应答帧



C) 短应答帧



注：

SDL1 起始八位位组 1 (起始定界符 1 数据链)，代码：10H

SDL5 起始八位位组 5 (起始定界符 5 数据链)，代码：E5H

CRC 循环冗余校验，2 个八位位组

L 信息字段长度，固定的八位位组数：L=3

信息字段参见第四部分 4.6.1。

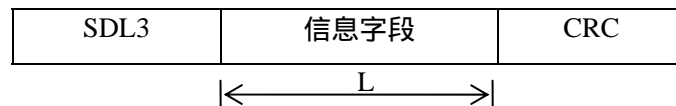
图 8：无数据字段的固定长度的帧 (参见第四部分图 10)

传输规则

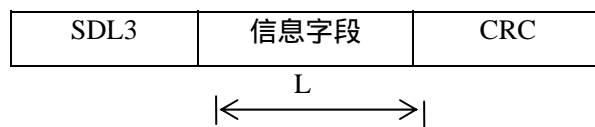
除了 IEC 1158 - 2 第 9 章中规定的物理层传输规则外，接收器还将检验每个帧的 DA / SA 和 CRC 的八位位组。如果检验结果是不对的，则整个帧将报废。

8.6.2 有数据字段的固定长度的帧

A) 发送 / 请求帧



B) 响应帧



注：

SDL3 起始定界符 3 数据链，代码：A2H

CRC 循环冗余检验，2 个八位位组

L 信息字段长度，固定的八位位组数：L=11

信息字段参见第四部分 4.6.2。

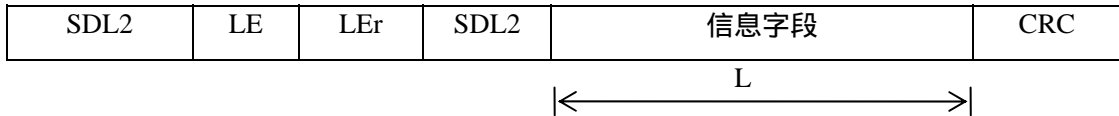
图 9：有数据字段的固定长度的帧 (参见第四部分图 11)

传输规则

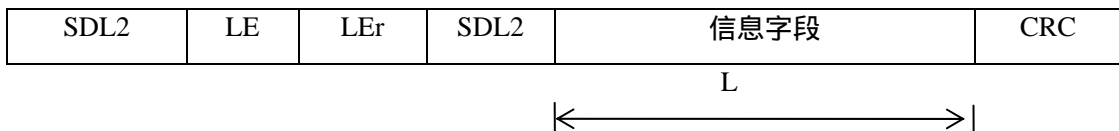
传输规则与无数据字段固定长度的帧的规则相同 (参见本部分 8.6.1)。

8.6.3 有可变数据字段长度的帧

A) 发送 / 请求帧



B) 响应帧



注：

SDL2： 起始定界符 2 数据链路， 代码：68H

LE 长度， 值：4 至 249

LE_r 长度（重复）

CRC 循环冗余检验， 2 个八位位组

L 信息字段长度， 可变八位位组的数量：L=4~249

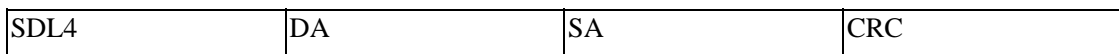
信息字段参见第四部分 4.6.3

图 10：有可变数据字段长度的帧（参见第四部分图 12）

传输规则

与无数据字段固定长度帧的传输规则相同（参见本部分 8.6.1），另外，接收器还将核实 LE 和 LE_r 是否相同。信息字节应从目的地址（DA）算到循环冗余检验并与 LE 进行比较。

8.7 令牌帧



注：

SDL4 起始定界符 4 数据链， 代码：DCH

DA 目的地址

SA 源地址

CRC 循环冗余检验 2 个八位位组

图 11：令牌帧（参见第四部分图 13）

传输规则

传输规则与无数据固定长度的帧的规则相同，（参见本部分的 8.6.1）

8.8 长度，地址，控制和校验八位位组

8.8.1 长度八位位组（LE）

长度八位位组的描述见第四部分 4.7.1

8.8.2 地址八位位组（DA / SA）

地址八位位组的描述见第四部分 4.7.2

8.8.2.1 链路服务存取点 (LSAP)

链路服务存取点 (LSAP) 的描述见第四部分 4.7.2.2

8.8.3 控制八位位组 (FC)

控制八位位组的描述见第四部分 4.7.3

8.8.4 校验八位位组 (FCS)

与 Profibus 规范“介质存取方式”和“传输协议”不同，一个循环冗余检验 (CRC) 用于规约待传输的帧。CRC 通过计算和附加一个 16 位 (2 个八位位组) 的校验字段来实现，检验字段的计算和分析按以下方式实现：

在发送方：

待传输的报文 (无 CRC)，为计算 CRC 所必须的多项式和组合报文 (包括 CRC) 被看作矢量 $M(X)$ ， $F(X)$ 和 $D(X)$ ，它们的维数分别为 k ， $n-k$ 和 n 。

报文矢量 $M(X)$ 按下式定义：

$$M(X) = m_1X^{k-1} + m_2X^{k-2} + \dots + m_{k-1}X^1 + m_k \quad (22)$$

检验字段 $F(X)$ 以下式定义

$$F(X) = f_{n-k-1}X^{n-k-1} + \dots + f_0 \quad (23)$$
$$= f_{15}X^{15} + \dots + f_0$$

报文和 CRC 矢量构成了完全报文的组合矢量 $D(X)$ ，由下式定义：

$$D(X) = M(X)X^{n-k} + F(X) \quad (24)$$

$$= m_1X^{n-1} + m_2X^{n-2} + \dots + m_kX^{n-k} + f_{n-k-1}X^{n-k-1} + \dots + f_0$$
$$= m_1X^{n-1} + m_2X^{n-2} + \dots + m_kX^{16} + f_{15}X^{15} + \dots + f_0$$

检验字段是生成多项式 $F(X)$ 除以 $G(X)$ 的余数，余数的计算公式为：

$$F(X) = L(X)(X^k+1) + M(X)X^{n-k} \quad (\text{模 } G(X)) \quad (25)$$

生成多项式 $G(X)$ 定义为：

$$G(X) = x^{n-k} + g_{n-k-1}x^{n-k-1} + \dots + 1 \quad (26)$$
$$= x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^6 + x^3 + x^2 + x + 1$$

$L(X)$ 是最大权重 (均为 1) 多项式，定义如下：

$$L(X) = (x^{n-k} + 1) / (x + 1) = x^{n-k-1} + x^{n-k-2} + \dots + x + 1 \quad (27)$$
$$= x^{15} + x^{14} + x^{13} + x^{12} + \dots + x^2 + x + 1$$

用生成多项式 $G(X)$ 定义的循环冗余检验使报文长度短于 344 个八位位组时海明距离 $Hd=4$ ，长度短于 15 个八位位组时 $Hd=5$ 。

在接收器方：

接收报文由一个由实际报文和校验字段组成的八位位组序列组成，可以把它看着是一个维数为 u 的矢量 $V(X)$ ：

$$V(X) = v_1X^{u-1} + v_2X^{u-2} + \dots + v_{u-1}X + v_u \quad (28)$$

$V(X)$ 的余数 $R(X)$ 的计算方法与发送方的相同：

$$R(X) = L(X)x^u + V(X)x^{n-k} \quad (\text{模 } G(X)) \quad (29)$$

$$= r_{n-k-1}X^{n-k-1} + \dots + r_0$$

如果在报文传输的过程中没有出错， $R(X)$ 为恒定的余数多项式：

$$R_{0k}(X) = L(X)x^{n-k} \quad (\text{模 } G(X)) \quad (30)$$
$$= x^{15} + x^{14} + x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^4 + x^2$$

在接收方必须计算的余数的初始值是十六进制值 OFFF。

8.8.5 数据字段 (DATA_UNIT)

数据字段的描述见第四部分 4.7.5。

8.9 传输步骤

传输步骤的描述见第四部分 4.8。

9 Profibus2 第层接口

9.1 FDL 用户与 FDL 接口

FDL 用户与 FDL 接口的描述见第三部分 4.1 的规定

9.2 FMA1/2 用户与 FMA1/2 的接口

FMA1/2 用户与 FMA1/2 接口的描述见第三部分 4.2 的规定

10 管理 (FMA1/2)

10.1 FMA1/2 功能的一般描述

FMA1/2 功能的一般描述见第三部分 5.1 的规定

10.2 FDL 与 FMA1/2 的接口

FDL 与 FMA1/2 接口的描述见第三部分 5.2 的规定

10.2.1 服务概述

服务概述见第三部分 5.2.1 的规定

10.2.2 交互作用概述

交互作用概述见第三部分 5.2.2 的规定

10.2.3 服务和交互作用的详细规范

服务和相互作用的详细规定见第三部分 5.2.3 的规定

10.2.3.1 FDL 复位

该服务应遵照第三部分 5.2.3.1 中 FDL 复位的规定

10.2.3.2 FDL 设定值, FDL 读值

由于 GB/T16657.2 的集成, 第三部分 5.2.3.2 中规定的设置 FDL 值和读取 FDL 值服务的规定将扩展到以下波特率参数 (参见第三部分的表 28 和表 29):

-Baud_rate: 31.25kbit/s

10.2.3.3 FDL 故障

服务 FDL 故障的规定应遵照第三部分 5.2.3.3 的规定

10.3 物理层 (PhL) 与 FMA1/2 的接口

第三部分 5.3 中描述的接口适用于 PhL 和 FMA1/2 间的接口。

10.3.1 服务概述

GB/T16657.2 第 6 章中描述的物理层为 FMA1/2 提供以下服务:

- PhL 复位
- PhL 设置值
- PhL 读值
- PhL 事件

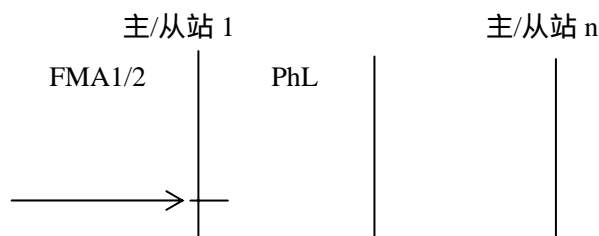
服务将具有与第三部分 5.3.1 中描述相同含意的。读取 PHY 值与读取 PhL 值相对应。

10.3.2 交互作用概述

以下服务原语用于 PhL-FMA1/2 接口:

服务	原语	允许的用户
PhL 复位	Ph-RESET request	主站和从站
PhL 设置值	Ph-SETVALUE request	主站和从站
	Ph-SETVALUE confirm	主站和从站
PhL 读值	Ph-GETVALUE request	主站和从站
	Ph-GETVALUE confirm	主站和从站
PhL 事件	Ph-EVENT indication	主站和从站

服务原语的瞬时关系:



Ph-RESET req

图 12 : PhL 复位服务

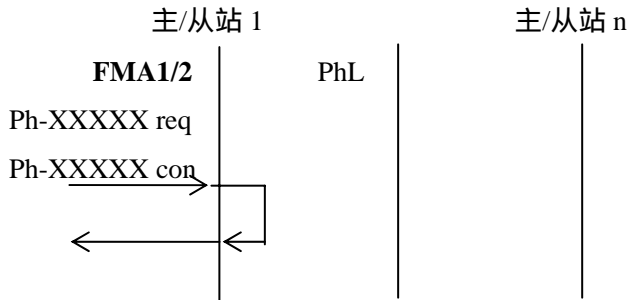


图 13 : 设置和获得 PhL 值服务 (参见第三部分图 14)

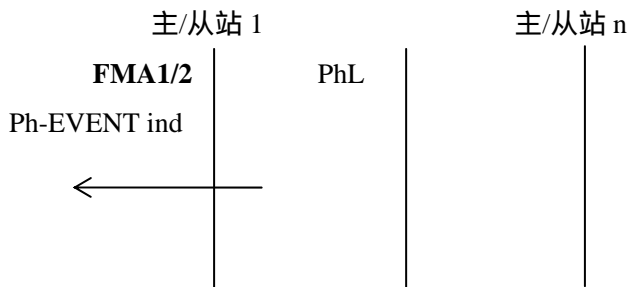


图 14 : PhL 事件服务 (参见第三部分图 15)

10.3.3 服务和交互作用的详细规范

10.3.3.1 PhL 复位

PhL 复位服务是强制的。

Ph-RESET request 原语通过 FMA1/2 给 PhL ,从而复位 PhL。PhL 执行这个服务如 IEC1158 - 2 第 6 章中所描述。要注意与 Profibus 管理(FMA1/2)不同的是 ,PhL 不返回确认信号(即 FMA1/2 将为 FMA1/2 用户生成一个确认信号。)

原语参数

Ph-RESET request

- 此原语没有参数

10.3.3.2 PhL 设定值 , PHL 读值

设置 PhL 值

设定 PhL 值服务是可选的。

为了把一个指定的变量设置为预期值 , FMA1/2 传递 Ph-SETVALUE request 原语到 PhL。 PhL 在接收到原语后对变量进行选择 , 并且设置它为这个值。 FMA1/2 在 Ph-SETVALUE confirm 原语中接收相应的确认。

原语参数

Ph-SETVALUE request

(parameter name , new value)

- 参数 parameter name 指定变量
- 参数 new value 指定变量的新值 (参见 GB/T16657.2 第六章)

表一：PhL 变量的值

名称	值
接口模式	- FULL_DUPLEX - HALF_DUPLEX - DISABLED
回送模式	- 在 DTE-DCE 接口以 MDS 方式 - 近线连接以 MDS 方式
前同步扩展	- 0~7 (前同步扩展序列)
后传输间隔扩展	- 0~7 (间隔扩展序列)
最大信道间信号偏移	- 0~7 (间隔扩展序列)
发送器输出通道 N (1 N 8)	- ENABLED - DISABLED
接收器输入通道 N (1 N 8)	- ENABLED - DISABLED
优先接收通道	- NONE - 1~8

Ph-SETVALUE confirm

(Status)

- 参数 Status 给出 Ph-SETVALUE request 原语的状态：成功或失败。 FMA1/2 将这些值转换为 M_Status_values 的值“OK”和“NO”，以使 FMA1/2_SET_VALUE.confirm 原语到 FMA1/2 - user。

PhL 读值

PhL 读值服务是可选的。

为了读一个指定变量， FMA1/2 传递 Ph-GETVALUE request 原语到 PhL。 PhL 把 Ph-GETVALUE confirm 原语中的这个变量值传送给 FMA1/2。

原语参数

Ph_GETVALUE. request

(parameter name)

- 参数 parameter name 指定变量

Ph_GETVALUE. confirm

(current value)

- 参数 current value，包含由上一个 Ph-GETVALUE request 原语已请求到的当前值。表 1 的值适用于变量。在失败的情况下，“failure”值给与所有变量。FMA1/2 把这些值转换为

M-status-Value 值 “ NO”，以使 FMA1/2-Read-Value.confirm 原语到 FMA1/2-User。

10.3.3.3 PhL 事件

事件 PhL 服务是可选的。

PhL 使用这个服务通知 FMA1/2 变量已改变其数值。

原语参数

Ph - EVENT indication

(parameter name)

- 参数 parameter name 指出哪个变量在无 FMA1/2 请求时其变量值已改变 (参见 IEC1158 - 2 第六章) ；

表 2：事件参数的值 (parameter name) ， (参见第三部分表 37)

parameter name 和值
DTE fault
DCE fault

10.4 FDL 和 PhL 变量的编码

FDL 和 PhL 变量的数值范围规定于本部分 10.2.3.2 和 10.3.3.2 中。另外，按照 FMA7 中数据类型规定，给出了位编码 (参见第七部分 4.8)。使用 GB/T16657.2 时，应附上在第七部分 4.5.3 中给出的 FDL 数值范围。

10.4.1 FDL-变量的编码

Baud_rate：

(10) - 31.25 千波特

10.4.2 变量的编码

Interface_mode：

(0) - FULL_DUPLEX

(1) - HALF_DUPLEX

Loop_back_mode

(0) - DISABLED

(1) - in_MDS_at_DTE_DCE_interface

(2) - in_MAU_near_line_connection

Preamble_extension：

(0) ~ (7) - 0~7 个八位位组前同步扩展

Post_transmission_gap_extension：

(0) ~ (7) - 0 到 7 位时间

Maximum_inter_channel_signal_skew：

(0) ~ (7) - 0 到 7 位时间

Transmitter_output_channel：

MSB				LSB			
b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1
通道 8	通道 7	通道 6	通道 5	通道 4	通道 3	通道 2	通道 1

这里每个通道标记为：

- (0) - ENABLED
- (1) - DISABLED

图 15 : Transmitter_output_channel 的编码

Receiver_input_channel :

MSB				LSB			
b8	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1
通道 8	通道 7	通道 6	通道 5	通道 4	通道 3	通道 2	通道 1

这里每个通道标识为 :

- (0) - ENABLED
- (1) - DISABLED

图 16 : Receiver_input_channel 的编码

Preferred_receive_channel :

- (0) - NONE
- (1) ~ (8) - 通道 1~通道 8

10.4.3 对象属性表

除了第七部分 4.8 外，可使用在表三中定义的对象属性：

表 3 : 对象属性

属性	数据类型
Interface_mode	8 位(bit)无符号数
Loop_back_mode	8 位(bit)无符号数
Preamble_extension	8 位(bit)无符号数
Post_transmission_gap_extension	8 位(bit)无符号数
Maximum_inter_channel_signal_skew	8 位(bit)无符号数
Transmitter_output_channel	8 位 (bit)无符号数
Receiver_input_channel	8 位(bit)无符号数
Preferred_receive_channel	8 位(bit)无符号数

附录 A (信息)

实例

A.1 继电器

在第二部分 2-A.1 中描述的中继电器结构在这里也适用。 GB/T16657.2 已经设计了具有技术特性的电路（发送器电平和定时，接收器电路规范）用以代替 RS-485 / TTL 接收器和发送器电路（在第二部分图 2-A.1 和 2-A.2）。至于自控制中继器，在两种情况下应实行定向控制：一种是在前同步开始时，另一种是在终止定界符或后传输间隔结束时。

在一个线性总线或树形拓扑结构中，最多可以用四个中继器。所以在这种结构中，最多可以考虑运行 127 个站。

A.2 Profibus 控制器的结构

Profibus 控制器结构按规范中 Profibus “控制器”的规定设计，还要考虑应符合 GB/T16657.2，应能连接现场自动化装置（控制站，中央处理站）或现场设备到传输介质上。

根据 GB/T16657.2 技术规范的要求，还应该考虑用收发器和 USRT 代替 RS-485 收发器和 UART。

A.3 若干条总线与一个控制站连接的系统

如第二部分的 2-A.3 所述，当使用 GB/T16657.2 时，几条总线可以用在一个控制站。每条总线需要一个 USRT 设备代替一个 UART 设备（第二部分图.2 - A.5）

A.4 冗余控制站

可使用在第二部分的 2-A.4 中描述的冗余控制站的结构。

A.5 总线分析 / 诊断装置（总线监视器）

可使用规范第二部分 2-A.5 中规定的总线分析 / 诊断装置

A.6 总线供电的本质安全现场总线

本质安全电路需要限制电能，这样就限制了站的数量。

例如：根据 EN 50020，在易爆区域（IIC），假定在 $I_K = 110\text{mA}$ 、 $U_0 = 14\text{V}$ 时一条总线可以连接 10 个站，每站供电电流为 10mA。

A.7 报文速率、系统响应时间和令牌循环时间

如第二部分 2-A.6 所述，报文速率 R_{SYS} 与系统中每秒报文的循环可能数量对应（参见第四部分 4.2.3 公式（23））。从一个主站到 N 个从站（主从系统）循环发送 / 请求（轮询）的最大系统响应时间（也称站或总线存取时间）是根据报文循环时间和从站数量来计算的（参见第四部分 4.2.3 公式（24））。

时间 T 转化为 t（秒）按以下例计算：

设： $t_{\text{SDR}}=0.5\text{ms}$ ， $t_{\text{ID}}=1\text{ms}$ ， $\text{DATA_UNIT}=2$ ，10 和 50 个字节带 30 个从站，

在每种情况下，请求帧无 DATA_UNIT（参见本部分 8.6.1 图 8.1），而响应帧有可变的 DATA_UNIT（参见这部分 8.6.3，图 10.2）。根据 GB/T16657.2 规范，每个帧都带一个前同步和一个起始定界符（均为一个八位位组）、一个终止定界符（一个八位位组）。此外，不考虑报文重复（循环）和时间 T_{TD} 。因为系统中只有一个主站，令牌传递时间可以忽略。这个值是完整值。

表 A.1.1：报文循环时间

DATA_UNIT	一个报文循环时间 t_{MAC} (ms) 数据信号速率 31.25kbit / s
2 字节	7
10 字节	9
50 字节	20

表 A.1.2：报文速率

DATA_UNIT	R_{SYS} 报文循环数量 / 秒 (N / S) 数据信号速率：31.25kbit / s
2 字节	135
10 字节	106
50 字节	51

表 A.1.3：系统反应时间

DATA_UNIT	带 30 个从站的 t_{SR} 系统反应 (等待) 时间 (ms) 数据信号速率：31.25kbit / s
2 字节	222
10 字节	283
50 字节	590

第二部分附录 2-A (公式 2-A.1 和 2-A.2) 中关于系统响应时间的计算方法同样适合于带几个主站的系统。图 A.1 表示 t_{RR} 与主站的数量和在 31.25kbit / s 时高优先报文的数量的关系的上下限，正如在第二部分所述，2-A 报文重复 (循环) 和时间 T_{TD} 是不考虑的。根据令牌循环时间 T_{TC} 及令牌和报文循环时间 T_{TC} 的组合情况来计算 (见第 2 部分 2-A 中图 2-A.9 和 2-A.10)

对于报文循环设下列数值：

发送 / 请求数据需回答： $T_{S/R}=72$ 位 (一个八位位组前同步)

带 10 个八位位组的 DATA_UNIT 的响应： $T_{A/R}=176$ 位 (1 个八位位组前同步)

实现下列执行过程所选择的时间：

令牌循环：在 31.25kbit / s 时， $t_{ID}=0.5ms$

令牌+报文循环：

在 31.25kbit / s 时， $t_{ID}=0.5ms$; $t_{ID'}=1ms$

$t_{SDR}=0.5ms$

na - 报文循环 / 每个令牌轮转

 1 - 报文循环 / 每个令牌轮转

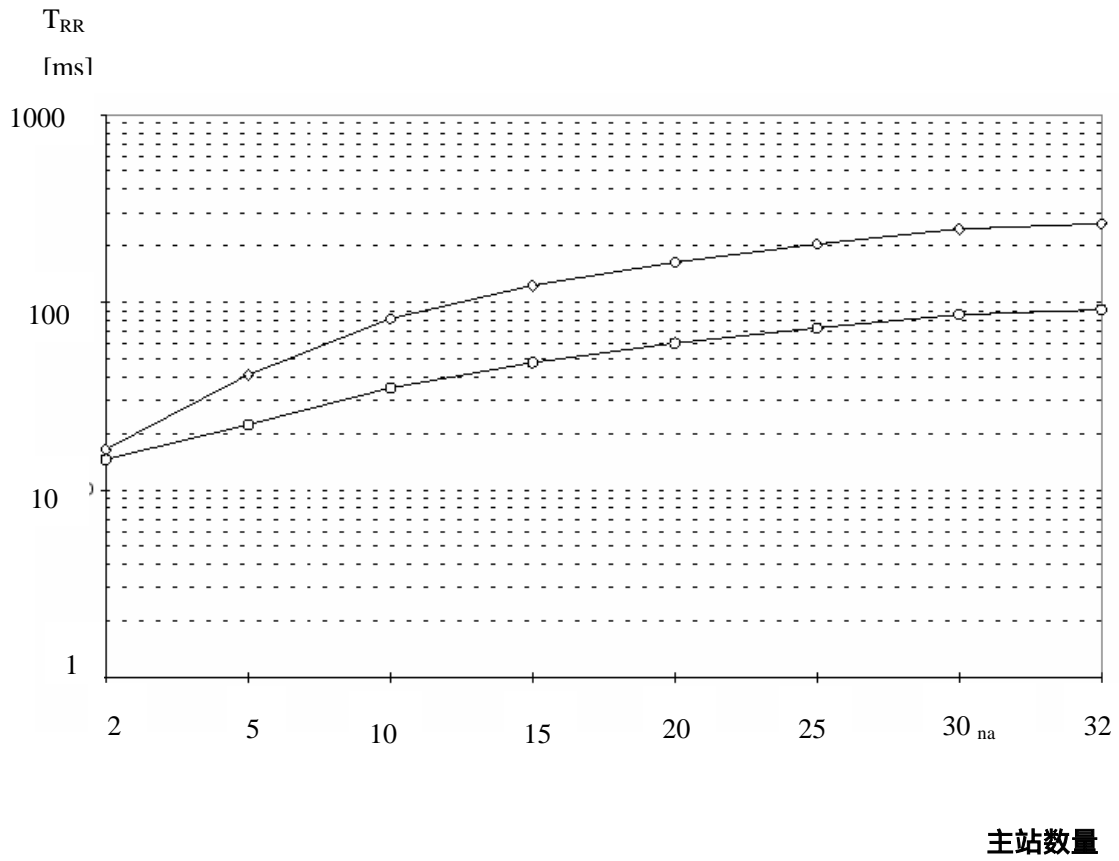


图 A.1 : 实际令牌轮转时间 t_{RR} (参见第二部分的图 2-A.13)