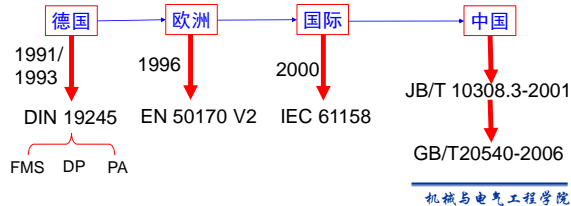


第7章 典型现场总线及其应用

多种现场总线标准将会在较长的时期内共存，各种总线都有其主要的应用领域。

一、PROFIBUS总线

PROFIBUS(Process Fiedbus)总线是由德国西门子公司等14家公司及5个研究机构共同研制开发的一种国际总线标准，它被广泛应用于制造业自动化、流程工业自动化、楼宇、交通、电力等领域。



机械与电气工程学院

1. PROFIBUS总线概述

PROFIBUS总线由三个兼容部分组成，即PROFIBUS-DP、PROFIBUS-FMS和PROFIBUS-PA，三个系列分别用于不同的场合。

1) PROFIBUS-PA

PROFIBUS-PA(Process Automation)专为过程自动化设计，可使传感器和执行器挂接在一根总线上，是本质安全的通信协议，其传输速率为31.25kb/s。

2) PROFIBUS-DP

PROFIBUS-DP(Decentralized Peripherals)是一种经过优化的高速低成本通信连接，用于设备级控制系统与分散式I/O的通信，其传输速率可达12Mb/s。

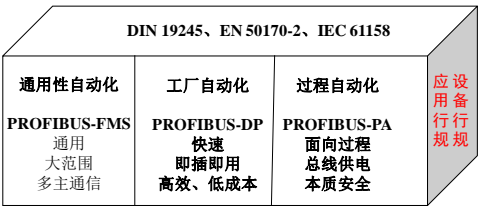
PROFIBUS-DP主要是用在PROFIBUS主站和其远程从站之间的确定性通信。

机械与电气工程学院

3) PROFIBUS-FMS

PROFIBUS-FMS(Fieldbus Message Specification)提供大量的通信服务，用以完成中等传输速率的循环和非循环的通信任务，解决车间一级通用性通信任务。

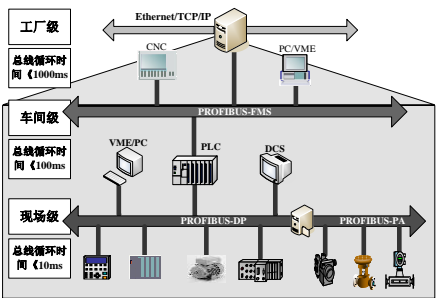
★ 总之，PROFIBUS总线三个部分兼容，分别用于不同的场合。



机械与电气工程学院

PROFIBUS总线

PROFIBUS三个系列总线提供了一个从传感器/执行器到区域控制器及管理层的透明通信网络。



机械与电气工程学院

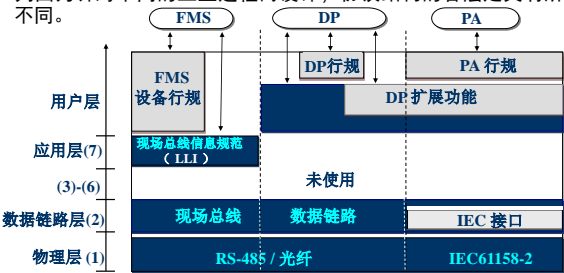
PROFIBUS总线的特点

- ① 采用短帧结构(实际长度大约为255B)。
- ② 采用总线型或树型拓扑结构。
- ③ 传输速率：9.6kb/s~12Mb/s。
- ④ 使用半双工，异步的传输模式。
- ⑤ 使用两类站：主站(主动站，具有总线访问控制权)和从站(被动站，没有总线访问控制权)。最多可用32个主站，总站数可达127个。
- ⑥ 总线访问采用两种方式：主站之间的令牌传递方式；主站与从站之间的主—从方式。
- ⑦ PROFIBUS-PA可用于本质安全的场所，还可以总线供电。
- ⑧ 数据传输服务有循环和非循环两类。
 - 循环的(轮询)：有应答要求的发送和请求数据。
 - 非循环：有/无应答要求的发送数据；有应答要求的发送和请求数据。

机械与电气工程学院

2. PROFIBUS总线协议

PROFIBUS协议结构以ISO/OSI参考模型为基础，三个系列因为针对不同的工业过程而设计，协议结构的各层定义有所不同。



第3~6层的功能集成在低层接口LLI(Lower Layer Interface)中。

机械与电气工程学院

3. PROFIBUS数据传输技术

针对工业自动化实际控制系统的需要，PROFIBUS提供了三种数据传输技术：

- 用于DP/FMS的RS-485传输技术；
- 用于PA的IEC 1158-2传输技术；
- 光纤传输技术

机械与电气工程学院

1) 用于DP/FMS的RS-485传输技术

RS-485传输是PROFIBUS最常用的一种传输技术，采用的是电缆是屏蔽双绞线。

➢ RS-485传输技术的基本特征如下：

- 通信介质：屏蔽双绞电缆，也可取消屏蔽，取决于环境条件。
- 传输速率：9.6Kbit/s~12Mbit/s。
- 网络拓扑：线性总线，两端配备有源的总线终端电阻。
- 站点数：每分段32个站（不带中继器），可扩展到126个站（带中继器）。
- 插头连接：9针D型插头。

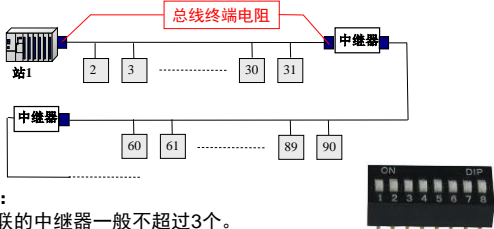


机械与电气工程学院

用于DP/FMS的RS-485传输技术(续)

➢ RS 485传输设备安装要点

- 全部设备均与总线连接。
- 当分段上站数超过32个时，必须使用中继器连接各段。



★注意：

- 串联的中继器一般不超过3个。
- 中继站没有站地址，但被计算在每段的站数中。

机械与电气工程学院

用于DP/FMS的RS-485传输技术(续)

● 传输距离及速率。

传输速率与传输距离相关，A型电缆两者的关系如下表：

波特率(kb/s)	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500	12000
距离(m)	1200	1200	1200	1000	400	200	100

? 思考：为什么传输速率越高，传输距离就越短？

● 电磁兼容性。

在高电磁发射环境运行时，应使用带屏蔽的电缆，以提高电磁兼容性。

机械与电气工程学院

2) 用于PA的IEC 1158-2传输技术

PROFIBUS-PA采用IEC 1158-2传输技术，能满足化工和石油化工工业的要求。它可保持本征安全型，通过总线对现场设备供电。

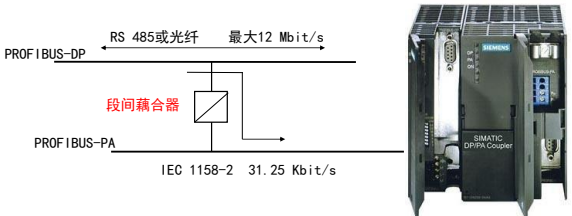
➢ IEC1158-2传输技术特性

- 数据传输：数字式、曼彻斯特编码，采用前同步信号、起始和终止限定符提高数据传输准确性。
- 传输速率：31.25Kbit/s。
- 通信介质：屏蔽式或非屏蔽式双绞线。
- 远程电源供电：每段只有一个电源作为供电装置。
- 防爆性：能进行本征及非本征安全操作。

机械与电气工程学院

RS 485传输与IEC1158-2传输技术的连接

通常使用段间耦合器来实现RS 485总线段与IEC 1158-2总线段的连接，使两者信息相适应。



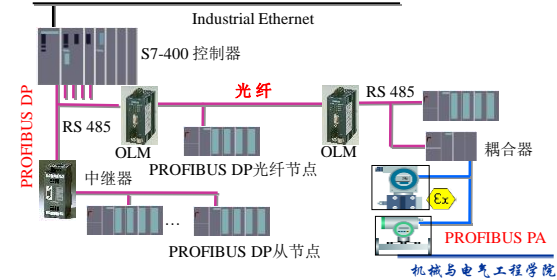
文献：丁超 等. Profibus DP/PA协议转换原理及耦合器的设计[J]. 中国仪器仪表, 2010(07):52-56.

机械与电气工程学院

3) 光纤传输技术

在电磁干扰很大的环境下应用时，可使用光纤传输技术，利用光纤导体增加高速传输的距离。

总之，PROFIBUS总线的**三种传输技术**在系统的集成过程中，可根据实际控制需要，灵活选择和配置于一个系统中



4. PROFIBUS总线的应用设计

1) FCS工程设计步骤

一个现场总线的工程设计一般可分为系统规划、设备选型、安装施工设计、组态编程等步骤。

➤ 系统规划

确定系统规模和相关特性需求(如冗余、本质安全等)。

➤ 设备选型

包括确定控制输出设备、控制检测设备、现场总线条数、现场总线接口卡数、采集和逻辑控制、容错能力设计等。

➤ 安装施工设计

按各总线要求将同一总线的设备连在一起送控制室。

➤ 组态编程

按设计的控制策略实施组态编程，包括控制系统(控制设备、顺序采集)、人机界面等。

机械与电气工程学院

2) PROFIBUS控制系统的构成

由PROFIBUS总线构成的控制系统主要包括三个部分：

(1) 一类主站

PC、PLC或可做一类主站的控制器，由它们完成总线通信控制与管理。

(2) 二类主站

操作员工作站、编程器、操作员接口等，完成各站点的数据读写、系统配置、故障诊断等。

(3) 从站

可作为从站的设备包括：

- PLC(智能型I/O)
- 分散式I/O
- 驱动器、传感器、执行结构等具备PROFIBUS接口的现场设备。

机械与电气工程学院

3) 项目配置过程

PROFIBUS现场总线控制系统在实际应用中的配置过程如下：

- (1) 确定与其它控制系统的接口方式；
- (2) PROFIBUS控制系统的配置；
- (3) 确定主/从站功能和数量；
- (4) 确定系统传输协议和现场设备；
- (5) 选择PROFIBUS控制器；
- (6) 综合评估。

机械与电气工程学院

4) 系统评价

对现场总线控制系统及仪表的评价主要包括下列几项：

- **控制功能分配**是否合理，是否达到危险分散和节省硬件的目的。
- 适当的**冗余措施**，使可靠性达到和高于DCS系统。
- 对传统信号设备和系统的**兼容性**。
- 是否通过**互可操作性**测试，是否具备管理能力。
- 现场总线**仪表的性能**。

机械与电气工程学院

5. PROFIBUS总线的典型应用

案例： PROFIBUS总线在卷烟厂控制生产线的应用——制丝线
卷烟



烟叶



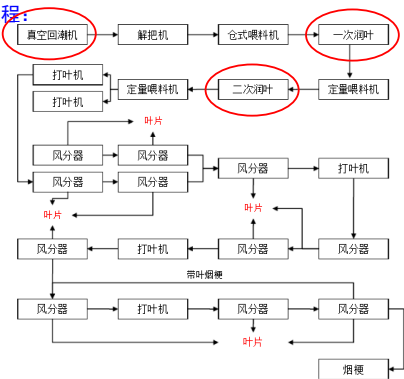
烟丝



制丝线

卷烟制丝工艺流程：

- 叶片段
- 叶丝段
- 白肋烟处理段
- 梗处理段
- 掺配加香段
- 储丝段



制叶段工艺要求

工艺要求：1、来料水分 16~18%，解把率≥80%；2、蒸汽压力、水压、压缩空气等均应满足工艺条件要求，各仪表数据显示正确；3、润叶筒内温度达到要求方可投料生产；4、润后烟叶无粘结、水渍、潮红、蒸片现象，确保烟叶原有色泽。

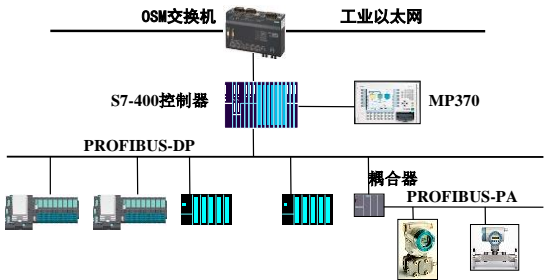
工艺参数：见表格 2

表格 2

	上等烟		中等烟		下等烟	
	一润	二润	一润	二润	一润	二润
温度℃	50~55	65	50~58	55~68	50~60	55~70
含水率%	16~18	17~20	17~19	19~21	18~20	19~22
散把率%		≥95		≥95		≥95

机械与电气工程学院

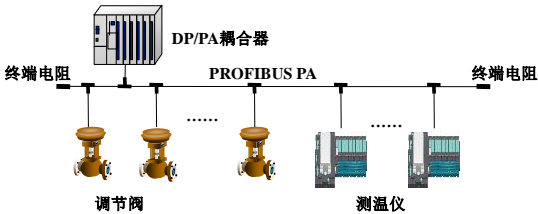
制丝线生产线控制系统网络结构



机械与电气工程学院

PROFIBUS总线的典型应用(续)

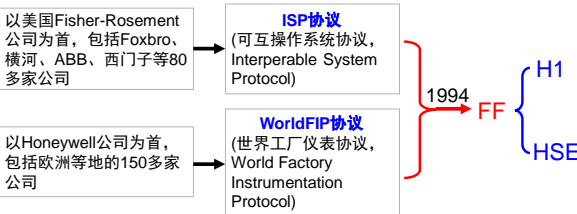
叶片段中的7个现场仪表(5个调节阀, 2个测温仪)安装连接图：



机械与电气工程学院

二、基金会现场总线(Foundation Fieldbus, FF)

基金会现场总线是仪表和过程控制向数字化通信方向发展而形成的技术，具有本质安全特性，可以通过传输介质为现场设备供电，用来完成整个过程控制系统的集成架构。



基金会现场总线不仅仅是一种总线，还是一个系统。

机械与电气工程学院

FF H1和FF HSE

FF H1总线也称**狭义现场总线**，它是从过程工业和DCS应用的角度制定的，主要用于**底层设备**的连接，不仅能够满足过程工业实时性和本质安全性要求，而且能够做到现场设备总线供电，但传输速率较低，只有**31.25kb/s**，适合热工慢过程的控制。

FF HSE采用**高速以太网**(High Speed Ethernet, HSE)技术，遵循标准的以太网规范，使用**标准的IEEE 802.3**信号传输，并根据过程控制的需要适当增加了一些功能，传输速率可达**100Mb/s**，可以作为整个工厂的主干网络。

机械与电气工程学院

1. FF总线的通信模型

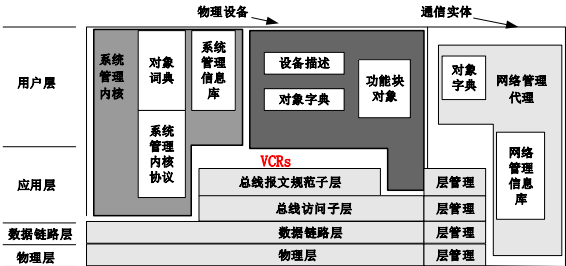
FF现场总线以ISO/OSI开放系统互连模型为基础，包括物理层、数据链路层、应用层和用户层。

OSI/ISO模型	FF现场总线协议	
	用户层	用户层
应用层	应用层	通信栈
表示层		
会话层		
传输层		
网络层	总线访问子层	
数据链路层	数据链路层	
物理层	物理层	物理层

机械与电气工程学院

FF模型内部结构

现场总线以现场智能仪表为基础，依靠现场物理设备实现整个系统的控制、通信功能。
FF协议的内容及每层中附加的信息如下：



机械与电气工程学院

FF模型内部结构(续)

在物理设备中要完成的功能包括三大部分，即：通信实体、系统管理内核和功能块应用进程，各部分之间通过虚拟通信关系(Virtual Communication Relationships, VCR)来传递信息。

VCR是由总线访问子层所提供的服务，是各应用之间的逻辑通信通道，现场设备应用进程之间的连接是一种逻辑上的连接，一种软连接。

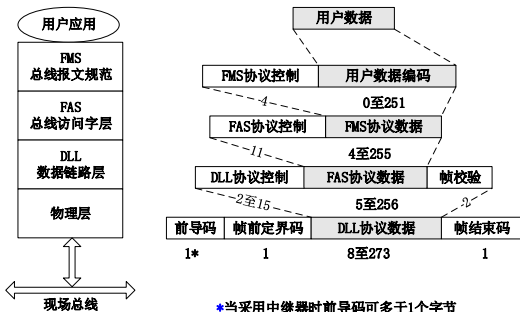
FF总线中设置了三种类型的VCR：

- 客户/服务器型
- 报告分发型
- 分布/预订接收型

机械与电气工程学院

FF各层协议数据

FF协议的内容和模型每层中都会附加一些信息。



当采用中继器时前导码可多于1个字节

机械与电气工程学院

2. FF H1总线的物理层

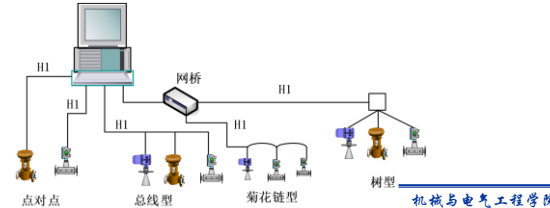
FF H1物理层遵循IEC 1158-2标准，用于实现现场物理设备与总线之间的连接。

1) 传输介质

H1低速总线支持多种传输介质，如双绞线、同轴电缆、光缆、无线通信介质等。

2) 拓扑结构

FF H1支持点对点连接、总线型、菊花链型、树型拓扑结构。



机械与电气工程学院

FF H1网段的主要参数

传输速率	31.25kb/s		
信号类型	电压9~32VDC		
拓扑结构	总线型/菊花链型/树形或其复合型		
通信距离	最大1900m(无中继器)		
分支长度	30~120m		
中继器数	最多4台		
供电方式	非总线供电	总线供电	总线供电
本质安全	不支持	不支持	支持
设备数/段	2~32	1~12	2~6

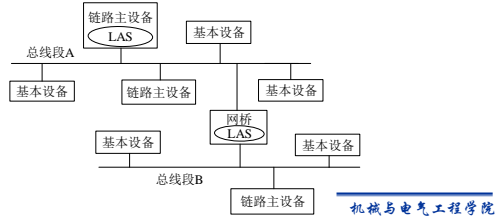
机械与电气工程学院

3.数据通信链路

基金会总线的**数据链路层**主要控制数据报文在现场总线上的传输，通过**链路活动调度器**(link active scheduler, LAS)上确定的集中式总线调度程序，管理对现场总线的访问。

1) 通信设备类型

根据总线上设备的通信能力，基金会现场总线把通信设备分为三类：链路主设备、基本设备和网桥。



通信设备

➢ 链路主设备

指那些**有能力**成为链路活动调度器的设备；

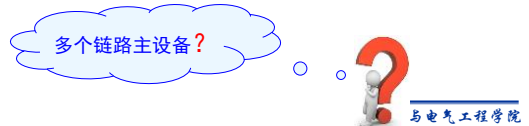
➢ 基本设备

指不具备成为链路活动调度器的设备，他们只能接收令牌并作出响应，具有最基本的通信功能。

➢ 网桥

将多个总线段连接在一起的设备，网桥属于链路主设备。

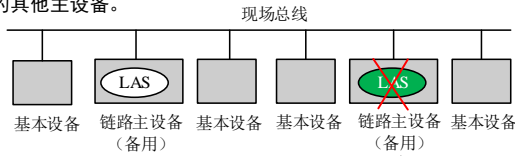
一个总线段上可以连接多种通信设备，也可以挂接**多个链路主设备**



2) 链路活动调度权的竞争过程

一个总线段上某个时刻**只能有一个**链路主设备成为链路活动调度器LAS，没有成为LAS的链路主设备起着后备LAS的作用。

当作为链路活动调度器的主设备发生故障或因其他原因失去链路活动调度能力时，系统自动将链路活动调度权**转交**给本网段的其他主设备。



选择具有**最低节点地址**的链路主设备成为LAS

4. 用户应用模块与设备描述

1) 用户应用模块

基金会现场总线定义了标准的基于模块的用户应用，而模块描述了不同类型应用的功能。

➢ 资源块

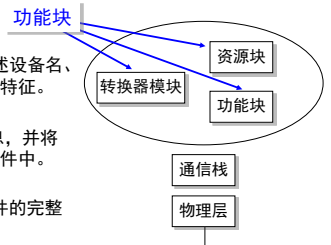
一台设备一个资源块，描述设备名、生产厂家、序号等现场总线设备特征。

➢ 转换器模块

按一定频率读取传感器信息，并将读取的数据写入到相应的接收硬件中。

➢ 功能块

功能块是参数、算法和事件的完整结合。



不同类型的设备根据实际功能的不同可以有**不同的功能块**

FF基本标准功能块

FF规定了10种基本功能块，以及19个附加的先进控制用标准功能块。

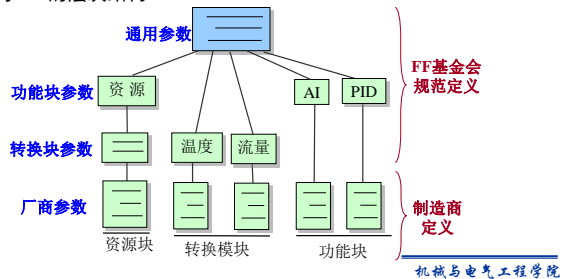
功能块名	符号
Analog Input (模拟输入)	AI
Analog Output (模拟输出)	AO
Bias (偏置)	B
Control Selector (控制选择器)	CS
Discrete Input (离散输入)	DI
Discrete Output (离散输出)	DO
Manual Loader (手动装载)	ML
Proportional/Derivative (比例/微分)	PD
Proportional/Integral/Derivative (比例/微分/积分)	PID
Ratio (比值)	RA

每个功能块都有一些特定的参数和算法以实现特定的功能！

2) FF的设备描述

为了实现可互操作性，除了标准功能块参数和行为定义外，还采用了设备描述(device description, DD)技术。

现场总线基金会为所有标准模块和转换模块提供DD，并定义了DD的层次结构：



DD的层次结构

现场总线基金会定义的DD包括四层：

- 通用参数
通用参数由位号、修订版本号、模式等一般属性构成。
- 模块参数
为标准的功能块、资源块定义参数。
- 转换块参数
为标准的转换器模块定义参数。
- 制造商专用参数
各制造商可自由地将附加参数加到功能块参数和转换器模块参数种，如设备标定和故障诊断功能的人机接口的数据意义。

DD采用一个标准的编程语言，即设备描述语言(device description language, DDL)来编写。

机械与电气工程学院

设备描述语言(DDL)

DDL Source File
VARIABLE ProcessVariable
{ LABEL "MEASURED_VALUE";
TYPE FLOAT {
DISPLAY_FORMAT "3.1f";
MAX_VALUE 110.0;
MIN_VALUE 0.0;
}}
↓
Tokenizer Tool

DD Token File (.FFO)
009 101
002 "MEASURED_VALUE"
001 010
061 "3.1f"
021 066 220 000 000
020 000 000 000 000

DD Symbol File (.SYM)

block	—analog_output_block	0x800201F0
member	VL_SP_LO_LIM	variable-list 0xC0010175
variable	ProcessVariable	float 0x80020136

机械与电气工程学院

CFF文件

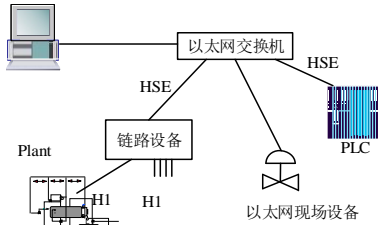
CFF文件指采用公共文件格式(common file format)写成的设备能力文件(capability file)，是基金会为保证设备互操作性而采用的又一种方式。

```
//  
// Honeywell STT35F Capabilities Files  
//  
// Copyright 2005, Honeywell International.  
//  
// =====  
// File Header  
// =====  
  
[File Header]  
Description = "STT35F Temperature Transmitter Capabilities File" // Description of this  
file  
FileType = CapabilitiesFile // must equal this exact string  
FileDate = 2005,06,22 // yyyy.mm.dd order must be used  
CFFVersion = 1,7  
  
// =====  
// Device Header  
// =====  
  
[Device Header]  
DeviceName = "STT35F Temperature Transmitter" // Not actually present in the  
device?  
CommGroup = 3
```

机械与电气工程学院

5. FF HSE高速以太网

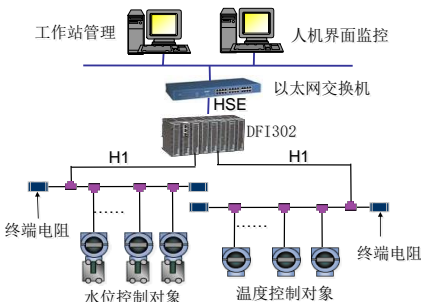
FF HSE是现场总线基金会会对H1的**高速网段**提出的解决方案，定位于将控制网络集成到世界通信系统Internet的技术中。
HSE采用**链路控制设备**(linking device, LD)将远程H1网段的信息传送到以太网主干上。



机械与电气工程学院

6. FF控制系统示例

下图为一个FF现场总线用于水位和温度控制的控制系统结构。

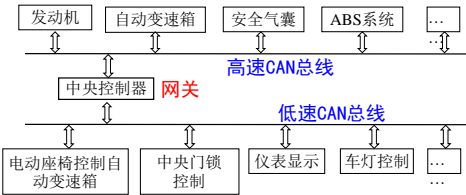


机械与电气工程学院

三、其它控制网络技术

1. CAN总线

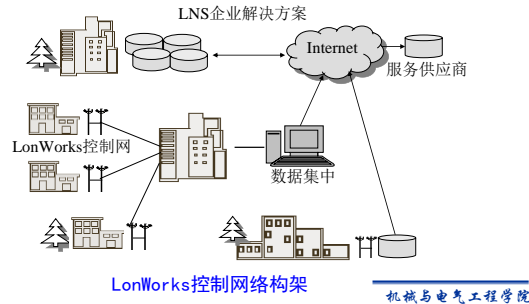
CAN(Controller Area Network)总线是**控制器局域网**的简称，它是一种有效支持分布式控制或实时控制的串行通信网络。是德国Bosch公司在上个世纪八十年代为解决**现代汽车**中众多测量控制部件之间的数据交换而开发的一种串行数据通信总线。



机械与电气工程学院

2. LonWorks总线

Lonworks总线是一种基于嵌入式**神经元芯片**的现场总线技术，可构成一个开放的控制网络平台，是国际上普遍用来连接日常设备的标准之一。



3. HART协议

可寻址远程传感器高速通道 (Highway Addressable Remote Transducer, HART) 通信协议，是美国ROSEMOUNT公司于1985年推出的一种用于现场智能仪表和控制室设备之间的通信协议。

HART协议使用FSK频移键控技术，在低频的在4~20mA模拟信号上叠加数字信号，成功地使模拟信号与数字双向通信同时进行，而不相互干扰。

➤ HART通信的特点：

1. 既具有常规模拟仪表性能，又具有数字通信性能，用户可以将智能化仪表与现有的模拟系统一起使用，在不对现有仪表进行改造的情况下逐步实现仪表的数字化。
2. 支持多点数字通信。
3. 允许“问答式”及成组通信方式。
4. HART仪表使用通用的报文结构。
5. 在一个报文中能处理4个过程变量。

4. 工业以太网

工业以太网是指应用于工业自动化领域的以太网技术，分为工业以太网和实时以太网。

➤ 工业以太网

工业以太网IE(Industrial Ethernet)是指用于工业自动化环境、符合IEEE 802.3标准、按照IEEE 802.1D“媒体访问控制(MAC)网桥”规范和IEEE 802.1Q“局域网虚拟网桥”规范、对其**没有进行任何实时性扩展**而实现的以太网，如Ethernet/IP、FF HSE、Modbus/TCP、ProfiNet v1等控制网络。

实时性的实现方式：通过减轻以太网负荷、提高网络速度、采用交换技术和全双工通信模式、报文优先级和流量控制，以及虚拟局域网技术等实现实时性。

工业以太网(续)

➤ 实时以太网

实时以太网是指不改变ISO/IEC 8802-3的通信特征、相关网络组件或IEC 1158的总体行为，但可以在**一定程度上修改**，使之满足事实行为的控制网络，如EPA、Powerlink、EtherCAT、Vnet/IP、TCnet、Modbus/IDA、ProfiNet v2、ProfiNet v3等。

实时性的实现方式：采用实时应用层协议、优化处理数据传输和提供旁路实时通道、集中调度等技术实现实时性。

★工业以太网的特点

- 保证控制网络的可持续发展
- 可以到的丰富的软、硬件资源
- 可以降低成本
- 可以提高通信速率
- 易于与上层网络无缝集成

5. 物联网

物联网（Internet of things, IoT）即“**万物相连的互联网**”，它以互联网、传统电信网等为信息承载载体，将各种信息传感设备与互联网结合起来而形成的一个巨大网络，实现在任何时间、任何地点，人、机、物的互联互通。



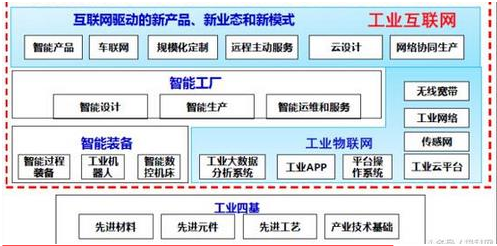
6. 工业互联网

工业互联网(Industrial Internet)将人、数据和机器连接起来，是全球工业系统与高级计算、分析、传感技术及互联网的高度融合。

- 2012年，美国通用电气最早提出“工业互联网”的概念；
- 2013年，德国于正式推出“工业4.0”战略，
- 2015年5月，《中国制造2025》由国务院正式印发；
- 2018年7月，信息化部印发了《工业互联网平台建设及推广指南》和《工业互联网平台评价方法》。
- 2019年1月18日，工信部印发《工业互联网网络建设及推广指南》。

工业互联网 → 智能制造

无论是美国的“工业互联网”计划，还是德国的“工业 4.0”战略，或者是《中国制造 2025》，其**本质**都是通过以互联网、物联网、云计算、大数据、人工智能等为代表的新一代信息技术推动工业体系的智能化变革，**实质**都是工业互联网。



工业互联网是中国工业未来发展的重要方向

思考题

- PROFIBUS总线包括哪几个系列？分别应用于什么场合？
- 简述FF总线的基本拓扑结构，FF HSE 与FF H1如何连接于同一系统中？
- 简述FCS工程设计的一般步骤。
- 对某FCS进行简要分析。



机械与电气工程学院

IEC 1158-2

- IEC 1158-1，现场总线-第1部分：总论
- IEC 1158-2，现场总线-第2部分：物理层规范
- IEC 1158-3，现场总线-第3部分：数据链路层服务定义
- IEC 1158-4，现场总线-第4部分：数据链路层协议规范
- IEC 1158-5，现场总线-第5部分：应用层规范
- IEC 1158-6，现场总线-第6部分：应用层协议规范
- IEC 1158-7，现场总线-第7部分：系统管理



机械与电气工程学院