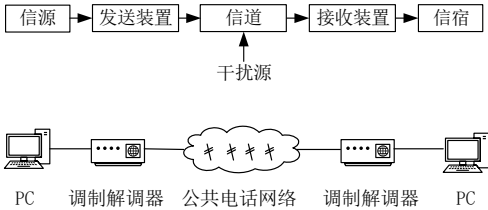


第5章 DCS数据通信及网络

通信信息从一处传输到另一处的过程。

通信系统是传递信息所需的一切技术设备的总和。任何通信系统都由发送装置、接收装置、信道和信息四大部分组成。



机械与电气工程学院

第5章 DCS数据通信及网络

数据通信是指两台或两台以上的计算机之间以二进制的形式进行信息传输与交换的过程，其实是相互传送数据。

信息的传输必须遵守一定的规则，这些规则就是通信协议。

本章内容：

- 数据通信的基本概念
- 数据通信技术
- DCS的网络通信
- DCS网络通信结构及设备
- 典型的DCS通信网络

机械与电气工程学院

一、数据通信的基本概念

1. 信息、数据、信号和信道

➢ 信息

信息是对客观事物属性和特征的表征，反映了客观事物的存在形式与运动状态。

➢ 数据

数据是信息的载体。在数据通信中，被传输的二进制代码称为数据，它是数字化的信息。

数据有数字数据和模拟数据两种类型。

★ 数据与信息

数据是信息的载体，信息是数据的内在含义或解释。

机械与电气工程学院

信息、数据、信号和信道

➢ 信号

信号是数据在传输过程中的电磁波的表现形式，包括电信号、声音信号、光信号。

根据信号参量取值的不同，信号有两种表现形式：模拟信号和数字信号。

★ 信号使数据能以适当的形式在介质上传输，数据只有转换为信号才能传输。

➢ 信道

信道是信息从信息的发送地传输到信息接收地的一个通路，它一般由传输介质及相应的传输设备组成。

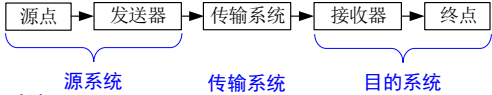
同一传输介质上可以同时存在多条信号通路。

机械与电气工程学院

2. 数据通信系统

1) 数据通信系统的组成

通常一个通信系统由三个部分组成：源系统、传输系统、目的系统。



➢ 源系统

- 源点 产生所需要传输的数据。
- 发送器 将源点产生的数据进行编码。
 - ④ 信源编码：把连续消息转换为数字信号，以及数据压缩，提高信息传输的效率。
 - ④ 信道编码：使数字信号与传输信道匹配，提高传输的可靠性、有效性。

机械与电气工程学院

数据通信系统的组成

➢ 传输系统

- 传输信道 向某一方向传输信息的介质
- 噪声源 包括影响通信系统的所有噪声，如脉冲噪声和随机噪声(如信道噪声、发送设备噪声、接收设备噪声)。

➢ 目的系统

- 接收器 接收从传输系统传送过来的信号，并将其转换为能够被目的设备处理的信息。
- 终点 从接收器获取传送过来的信息，也称为目的站。

机械与电气工程学院

2) 数据通信系统的主要技术指标

数据通信系统的技术指标主要从数据传输的**数量**和**质量**两个方面考虑。

数据传输速率

数据传输速率是指传输线路上信号的传输速度。

有两种形式：

◆ 信号速率

信号速率指每秒传输二进制代码的**比特位数**，又称为**比特率**，单位为b/s或bps。

如：JX-300X DCS控制站内部总线(SBUS)的传输速率：156kb/s

◆ 调制速率

又称为**码元速率**，指单位时间内信号波形的变换次数，即通过信道传输的码元个数。

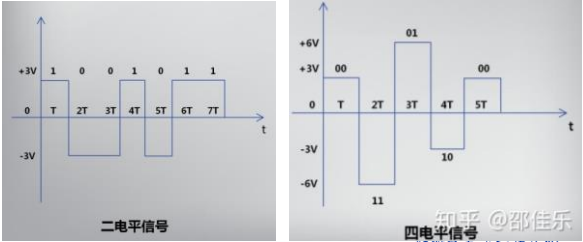
机械与电气工程学院

码元

在数字通信中常常用**时间间隔相同的符号**来表示一个二进制数字，这样的时间间隔内的信号称为(二进制)码元。

码元是承载信息的**基本信号单位**。

当码元的离散状态有大于2个时（如M大于2个）时，此时码元为**M进制码元**。



调制速率

若信号码元宽度为T，则码元速率 $B=1/T$ 。

码元速率也称为**波特率**(Baud)，通常用来表示调制解调器之间传输信号的速率。

？思考：设数据信号码元时间长度为 $833 \times 10^{-6}S$ ，如采用16电平传输，试求码元速率和信号速率。

信道容量

信道容量是指信道传输信息的**最大能力**，通常用单位时间内可传输的最大比特数来表示。

信道容量的大小由信道的频带F和能通过的信号功率与干扰功率之比决定。

● 香农信道容量公式： $C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$

机械与电气工程学院

数据通信系统的主要技术指标

信道带宽

在通信系统中，带宽是指在给定的范围内可用于传输的**最高频率和最低频率的差值**。

对数字信道，带宽是指在信道上能够传送的**数字信号的速率**，单位为比特每秒(b/s)。

误码率

误码率是指信号传输中的**错误率**，即用接收错误的码元数除以被传输的码元总数所得的值。

信道延迟

信道延迟是指信号从信源发出经过信道到达信宿所需要的时间。

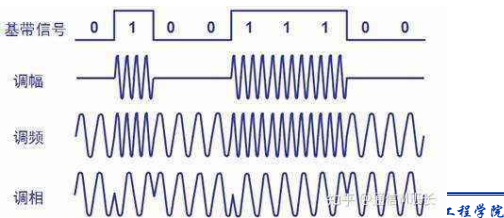
机械与电气工程学院

3. 数据传输方法

1) 模拟传输与数字传输

模拟通信系统的信道上传输的是**模拟信号**，由信源、调制器、信道、信宿与噪声源组成。

数字通信系统信道上传输的信号是**数字信号**。与模拟通信系统相比，它增加了信源编码、信道编码，再经过调制器将**基带信号**调制成**宽带信号**进行传输。



机械与电气工程学院

2) 基带传输和载带传输

基带传输

在信道上直接传输**未经调制的信号**称为**基带传输**。

因为在计算机等数字设备中，一般的电信号形式为方波，所以人们把方波固有的频带称为基带，方波信号称为基带信号，基带传输所用的信道称为基带信道。

载带传输

载带传输就是用基带信号调制载波之后，在信道上传输调制后的**载波信号**。

宽带传输

宽带传输就是通过**多路复用**的方法把较宽的传输介质的带宽分割成几个子信道来达到同时传播声音、图像和数据等多种信息的传播模式。

？思考：如何实现多路复用？

机械与电气工程学院

3) 串行传输与并行传输

➤ 串行传输

串行传输是指把传输的数据编成数据流，在一条串行信道上进行传输，一次只传输一位二进制数，接收方再把数据流转换成数据。

➤ 并行传输

并行传输是指把数据以组为单位在各个并行信道上同时进行传输。

在DCS中，数据通信网络几乎全部采用串行传输方式。

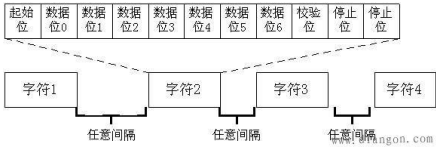
4) 同步传输与异步传输

为保证发送端发送的信息能够被接收端正确无误地接收，要求收发双方在**时间上必须取得一致**，这就是“同步”技术。

按照通信双方**协调方式**的不同，数据传输方式可分为异步传输和同步传输。

➤ 异步传输

信息以**字符为单位**进行传输，每个信息字符都具有自己的起始位和停止位。

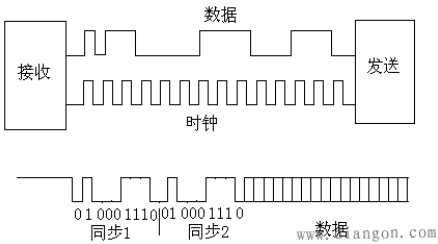


特点：一个字符中的各个位是同步的，但字符与字符之间的时间间隔是不确定的。

同步传输与异步传输

➤ 同步传输

信息以**数据块为单位**进行传输，系统中由专门用来使发送装置和接收装置保持同步的时钟脉冲。

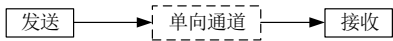


5) 单工通信和双工通信

按照数据通信的双方**信息交换的方式**来看，可以把数据通信方式分为单工通信、半双工通信和全双工通信3种方式。

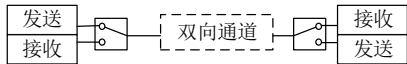
➤ 单工方式

数据在任何时间只能**沿单方向传输**的通信方式。



➤ 半双工方式

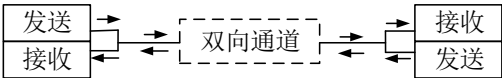
通信可以**沿着两个方向传输**，但在**某一时刻**只能沿一个方向传输的通信方式。



单工通信和双工通信

➤ 全双工方式

信息可以**同时沿着两个方向传输**的通信方式。



二、数据通信技术

数据通信是指两台或两台以上的计算机之间以**二进制的形式**进行信息传输与交换的过程。

数据通信**主要涉及**通信协议、信号编码、同步、多路复用、数据交换、差错控制、通信控制与管理等技术。

1. 数据编码技术

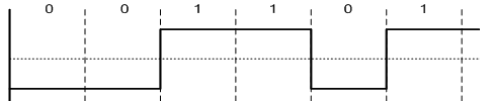
数字数据在数字信道上发送需要**数字信号编码**，数字数据在模拟信道上发送需要**调制编码**，**模拟数据**在数字信道上发送需要进行采样、量化和编码。

1) 数字数据的编码

对于数字信号的基带传输，二进制数字在传输过程中可以采用不同的编码方式，常见的有**非归零编码**、**曼彻斯特编码**、**微分曼彻斯特编码**。

非归零编码

非归零编码通常用正电压表示1，负电压表示0。



优点：实现简单，成本低。

缺点：

- 接收方难以确定一个数据位的结束和另一个数据位的开始；
- 如果出现连续的0或者1，会出现直流分量

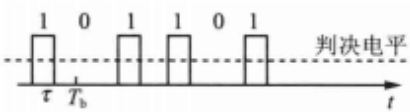
机械与电气工程学院

数字数据的编码(续)

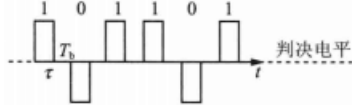
归零编码

与非归零码相比，归零码是信号电平在一个码元之内都要**恢复到零**的编码方式。

单极性归零编码：



双极性归零编码：

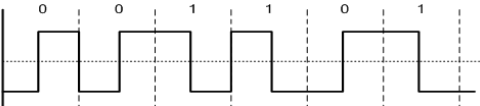


机械与电气工程学院

数字数据的编码(续)

曼彻斯特编码

曼彻斯特编码在每个二进制位**中间都有跳变**，从高电平跳向低电平表示1，反之则表示0。



优点：

- 自含时钟，无须另发同步信号；
- 不含直流分量。

缺点：编码效率低

每一位中都要有一个电平转换。

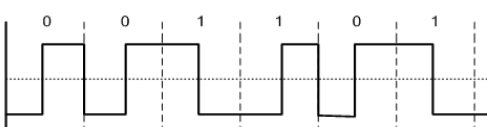
曼彻斯特编码是目前应用最广泛的双相码之一

机械与电气工程学院

数字数据的编码(续)

差分曼彻斯特编码

差分曼彻斯特编码在每个位周期的**开始边界有跳变**代表“0”，**无跳变**则代表“1”。



实际上，差分曼彻斯特编码也是**根据跳变沿解码**，跳变与前一个跳变相同，表示0，相反表示1。

？思考：如何确定第一位？

如果中间的电平从高到低则表示1，从低到高则表示0。

机械与电气工程学院

2) 数字信号模拟传输的编码

数字信号模拟传输时采用的方法是对信号进行**调制**，即进行调制编码。

调制编码就是使用一种连续、频率恒定的载波信号对数字信号进行编码。

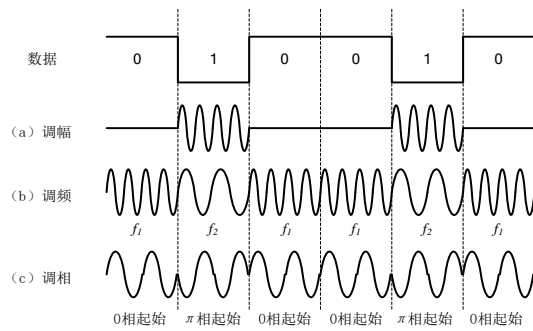
调制过程就是使载波信号的**参数**随数字数据变化的过程，如余弦信号 $A\cos(\omega t + \varphi)$ 的振幅A、频率 ω 、相位 φ 。

基本调制方法：

- 振幅调制，也叫幅移键控法 (Amplitude-Shift Keying, ASK)
- 用载波的两个不同**振幅**来表示二进制的1和0。
- 频率调制，也叫频移键控法 (Frequency-shift Keying, FSK)
- 相位调制，也叫相移键控法 (Phase-Shift Keying, PSK)

机械与电气工程学院

三种调制方法波形图



机械与电气工程学院

三种调制方法的特点

- **振幅调制**
实现简单，但抗干扰性差。
- **频率调制**
实现简单，但抗杂音、抗失真和抗电平变化的能力强；但带宽利用率低。
- **相位调制**
抗噪声干扰和抗衰减能力较强，占用带宽较窄；但实现起来较为复杂。

机械与电气工程学院

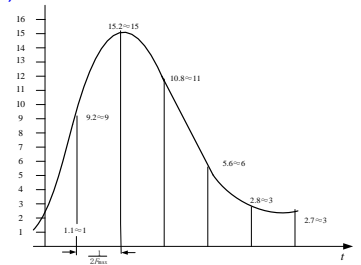
3) 模拟信号数字传输的编码

数字通信具有抗干扰能力强、无噪声积累、数字信息易于加密且保密性强等特点，所以常把模拟数据通过数字信道传输。常采用脉冲编码调制技术将模拟信号转换为数字信号。

➤ 脉冲调制编码(PCM)

- ◆ 采样（采样定理）
- ◆ 量化（N个量化级）
- ◆ 编码（位数 $\log_2 N$ ）

★ Nyquist定理



2. 多路复用技术

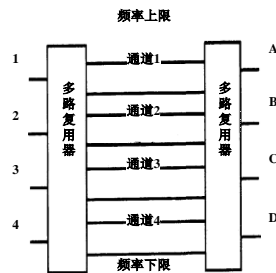
多路复用技术，就是在一条物理线路上建立多条通信信道的技术，从而实现同一传输介质上“同时”传输多个不同的信息。

1) 频分多路复用

(Frequency Division Multiplexing, FDM)

FDM指将信道按频率划分为多个子信道，每个子信道可以并行传送一路信号的多路复用技术。

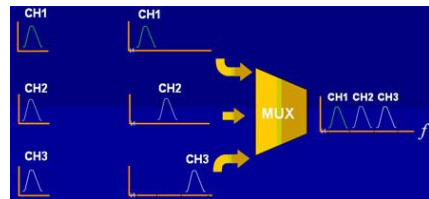
FDM适用于模拟通信，如载波通信。



载波通信

➤ 载带传输

载带传输就是用基带信号调制载波之后，在信道上传输调制后的载波信号。



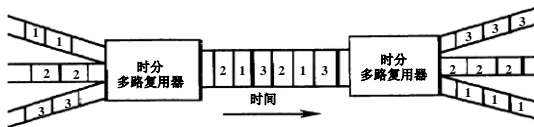
★ 使用条件：

传输介质的“可用带宽”远大于单个给定信号的带宽。

机械与电气工程学院

2) 时分多路复用(Time Division Multiplexing, TDM)

时分多路复用技术利用每个信号在时间上的交叉，在同一通信媒体传输多路信号。



在TDM中，把每个单位传输时间划分为许多时间片(时隙)，多个时隙组成的帧称为“时分复用帧”。

机械与电气工程学院

时分多路复用(续)

时分多路复用分为两种：

➤ 同步时分多路复用

按固定顺序把时间片(时隙)分给各路信道。

➤ 异步时分多路复用

只有当某一路信道有数据要发送时才分配时间片(时隙)。

★ 使用条件：通信媒体(信道)允许的传输速率远大于每路信号所需要的数据传输速率。

时分多路复用技术适用于数字数据的传输，在DCS中得到广泛应用。

3) 码分多路复用

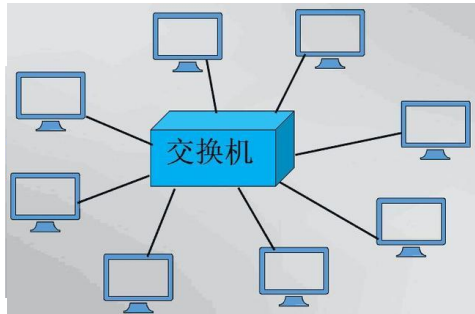
4) 波分多路复用

多路复用的实质是共享物理通信媒体，更加有效、合理地利用通信线路。

机械与电气工程学院

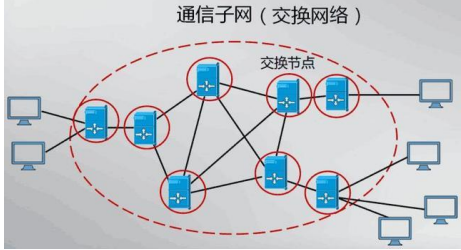
3. 通信交换技术

在多个站点间,要引用数据通信交换技术才能实现信息的有效传递。



机械与电气工程学院

通信交换技术(续)



- 两个术语:
- 站: 希望通信的设备
 - 节点: 提供通信的设备

机械与电气工程学院

通信交换技术(续)

常用的通信交换技术包括线路交换、报文交换和分组交换。

1) 电路交换

通过网络中的若干个节点使发送和接收站之间建立起物理连接的一条专用通道。



机械与电气工程学院

电路交换(续)

电路交换方式的通信过程分为三个阶段:

- 线路建立阶段
- 数据传输阶段
- 线路释放阶段

电路交换是面向连接的交换方式。

- 三个步骤:
建立连接→通信→释放连接
- 优点:
实时性强, 适用于交互式通信;
 - 缺点:
传输效率低, 对突发性的通信不适应;

机械与电气工程学院

2) 报文交换

报文交换是一种存储/转发的交换方式, 将数据封装成报文, 然后将报文整个地发送, 一次一跳。

报文: 发送的数据与目的地址、源地址、控制信息按一定的格式组成的一个数据单元。

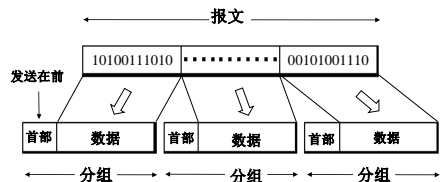
- 优点:
 - 线路利用率高
 - 系统传输可靠性高
 - 传输效率高
- 缺点:
 -?

报文交换适用于传输的报文较短、实时性要求较低的网络用户之间的通信, 如公用电报网。

机械与电气工程学院

3) 分组交换

分组交换把报文分成若干长度较短的分组, 然后以分组为单位进行发送、存储和转发。



- ★主要特征:
- 基于标记, 不需要先建立连接而随时可发送数据的交换方式, 即无连接交换。

机械与电气工程学院

分组交换的优点

- 高效
动态分配传输带宽，对通信链路逐段占用。
- 灵活
每个节点均有智能，为每一个分组独立地选择路由。
- 迅速
可以不先建立连接而直接发送；网络使用高速链路。
- 可靠
具有完善地网络协议；分布式多路由的分组交换网，使网络有很好的生存性。

分组交换比电路交换的传输效率高，比报文交换的时延小，兼有电路交换和报文交换的优点。

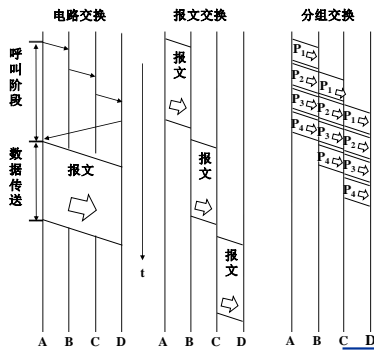
机械与电气工程学院

分组交换的工作方式

- 分组交换可分为数据报和虚电路两种工作方式。
- 数据报
各个分组被独立的处理，称为数据报。
 - 虚电路
虚电路是指在发送分组信息前，在发送站与接收站之间建立的一条逻辑通路。
每个分组除了信息数据外还附有虚电路标识符，从而不需要路由选择判别就能引导分组送达有关节点。
- ★注意：虚电路不是专用的，它可与其它站分享。

机械与电气工程学院

三种交换方法的比较



机械与电气工程学院

四、差错控制技术

差错是指数据通过信道的传输收，接收方收到的数据与发送方发送的数据不一致的现象。

1. 差错产生的原因

由于信息传输中的干扰，通信系统差错的产生是不可避免的，主要原因有以下几种：

- 噪声干扰
 - 热噪声：传输介质的分子热运动产生的
噪声特征：固有的，全局的，但幅度较小
解决措施：提高信噪比
 - 冲击噪声：外界电磁场干扰信号引起的
噪声特征：无规律的，局部的，但幅度较大
解决措施：加强屏蔽手段，采用合理的信号调制方法

机械与电气工程学院

差错产生的原因(续)

- 传输失真
线路本身的电气特性随机产生的信号幅度、频率、相位的畸变和衰减所引起的差错。
- 反射干扰
未按传输介质的特性阻抗匹配连接，从而产生反射所造成的差错。
- 线间干扰
相邻线路之间的电磁感应引起的串线干扰。

★解决方法

- ◆ 提高线路和设备质量
- ◆ 采用技术措施发现和纠正错误

差错控制

机械与电气工程学院

2. 差错控制

差错控制是指在数据通信过程中，发现、检测差错、纠正差错，从而把差错限制在数据传输所允许、尽可能小的范围内的技术和方法。

差错控制编码：对所传数据进行抗干扰编码，以实现差错控制的目的。

★基本做法：

发送端：在被传输的信息序列上附加一些监督码元，这些多余的码元与信息码元之间以某种确定的规则相互关联（约束）。

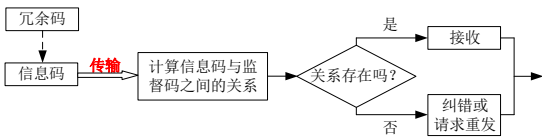
接收端：按照既定的规则检验信息码元与监督码元之间的关系，一旦传输过程中发生差错，则信息码元与监督码元之间的关系将受到破坏，从而可以发现错误，甚至纠正错误。

冗余码

机械与电气工程学院



差错控制编码原理图解



- **检错码**：能检查出差错的编码
- **纠错码**：能纠正差错的编码

常用的**差错控制方法**包括奇偶校验、汉明校验、循环冗余校验、回送校验、连发校验等。

机械与电气工程学院



差错控制(续)

1) 奇偶校验

奇偶校验码是在每个码组之内附加一个校验位，描述整个码组1的个数为奇数(**奇校验**)或偶数(**偶校验**)。

例：A的原始编码为0100 0001,若在其最高位前增加校验位，则奇校验码和偶校验码分别是什么？

原始编码：0100 0001

奇校验：1 0100 0001

偶校验：0 0100 0001

- 奇偶校验**具有检错功能**，不能确定错误位置，也不能对错误进行校正。

机械与电气工程学院



水平、垂直奇偶校验

奇偶校验可分为垂直奇偶校验、水平奇偶校验和水平垂直奇偶校验**三种方式**。



? **思考**：三种奇偶校验码的特点？

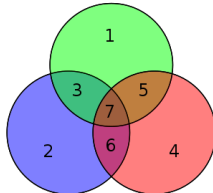
机械与电气工程学院



2) 汉明校验

汉明校验是在奇偶校验的基础上发展起来的，其实质就是将需要传输的信息按照某种方式进行**分组**，每组附加一个奇偶检验位，即：设置若干个校验码。

如：需要传输1234567，按下图分为三组。



? **思考**：是否能纠正一位错误？

机械与电气工程学院



汉明校验(续)

汉明校验码**编码方法**：2ⁿ位置上存放校验码，其余位置存放信息码，信息码中含有校验码位的归为同一组。

例：对1011进行编码。

2 ⁰	2 ¹		2 ²			
1	2	3	4	5	6	7
0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
0	1	1	0	0	1	1

★ **分组**：

- P₁: (3)(5)(7) **校验位** → 1 ⊕ 0 ⊕ 1 = 0
- P₂: (3)(6)(7) **校验位** → 1 ⊕ 1 ⊕ 1 = 1
- P₄: (5)(6)(7) **校验位** → 0 ⊕ 1 ⊕ 1 = 0

编码:0110011

机械与电气工程学院



Richard Hamming

由Richard Hamming于1950年提出、还被广泛采用的一种很有效的校验方法，是只要增加少数几个校验位，就能检测出二位同时出错、亦能检测出一位出错并能自动恢复该出错位的正确值的有效手段。

1968年，Richard Hamming获得图灵奖：

For his work on numerical methods, automatic coding systems, and error-detecting and error-correcting codes.

1986年3月7日，他在贝尔通信研究中心给200多名科学家们，做了一次演讲，题目叫做《**You and Your Research**》(《你和你的研究》)。这篇演讲非常有名，属于经典文献，建议大家下载阅读。

Formal education will make you a living; self-education will make you a fortune.

机械与电气工程学院

3) 循环冗余校验

循环冗余校验的编码和译码主要是做模2除法运算。

★ 检验方法

发送端：利用一个生成码与信息码进行运算得到冗余码，使得附加冗余码后的编码能够被生成码整除。

接收端：接收方以相同的生成码进行相同运算，如果余数不为0则表示传输错误。而错位和余数之间有一定的关系，因此可以根据余数的数值进行纠错，或者要求发送端重发。

循环冗余校验编码（cyclic redundancy check，CRC）使用**多项式编码**，是目前广泛使用的检错纠错码之一。

机械与电气工程学院

4) 回送校验

回送校验就是在接收端接收传输数据的同时，将传输数据**送回发送端**，由发送端校验发送的数据和送回的数据是否一致。

5) 连发校验

连发校验就是把同一数据**连发两次**，在接收端比较这两次的数据是否相同。

差错控制是数据链路层的服务，它的作用是使一条不可靠的数据链路变成一条可靠的链路。

机械与电气工程学院

三、网络体系结构(network architecture)

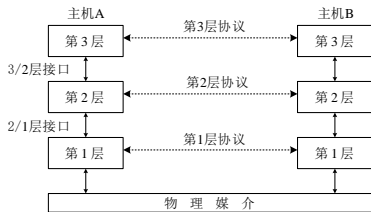
网络体系结构是计算机之间相互通信的**层次**，以及各层中的**协议**和层次之间**接口**的集合。

1) 网络体系结构的分层原理

将整个网络划分为多个层次，每层各自完成一定的任务，而且功能相对独立。

优点：

- 各层之间是独立的
- 灵活性好
- 结构上可以分隔开
- 易于实现维护
- 能促进标准化工作



机械与电气工程学院

网络体系结构的分层原理(续)

网络体系结构是计算机之间相互通信的**层次**，以及各层中的**协议**和层次之间**接口**的集合。

分层是注意的原则：

- **层次适度** 设计合适的层次数量
- **功能确定** 每个层次有自己的分功
- **层次独立** 每个层次的工作不影响其它层次
- **层次关联** 相邻层次存在一种工作上的联系
- **层次分合** 层次的划分可以根据实际需要进行合并、分解，甚至取消。

两个相同之间还需要满足如下条件：

- **层次对等** 双方要有完成相同功能的对等层次
- **层次协议** 对等层次通信要遵守一系列共同的约定(协议)
- **层次接口** 相邻层次通过接口实现信息传递

机械与电气工程学院

2) 一些概念

➢ 层次

用划分层次的方式把一个复杂的通信过程分解成若干简单的通信过程，每个简单过程看作是一个层次。

➢ 实体

每一层中的活动元素称为实体，如一个进程、一块芯片等。不同相同上同一层的实体称为**对等实体**。

➢ 协议

协议是一种通信规定，是两个通信实体在相同层次上都需要遵循的**规则和约定**(规约)。

★ 通信协议的三要素：

- ◆ **语法** 数据与控制信息的结构或形式
- ◆ **语义** 需要发出何种控制信息，完成何种动作以和出何种响应
- ◆ **时序/同步** 事件实现顺序的详细说明

机械与电气工程学院

一些概念(续)

➢ 接口

规定相邻层次实体间**交换信息的规则**。

接口以一个或多个服务访问点(Service Access Point, SAP)的形式存在。

➢ 服务

服务是**下层**通过接口**向上层**提供的支持。

例如，数据链路层一般向网络层提供三种基本服务：无确认的无连接服务、有确认的无连接服务、有确认的面向连接的服务。

➢ 数据单元

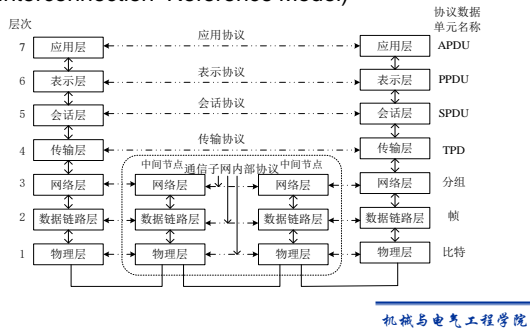
将一个数据分成若干个很小的数据包，并添加一些关于此数据包的属性信息，例如源IP地址、目的IP地址、数据长度等，这样的一个小数据包就叫数据单元。

数据单元是网络信息传输的**基本单位**。

机械与电气工程学院

3) OSI参考模型结构

➤ **OSI/RM——开放系统互连参考模型**(Open Systems Interconnection Reference Model)



机械与电气工程学院

OSI/RM各层功能

➤ **物理层**

规定了通信介质、驱动电路和接收电路之间的**电气特性和机械特性**。

功能：透明地传送**比特流**。

➤ **数据链路层**

链路是从一个节点到相邻节点的一段**物理线路**。将实现通信协议的硬件和软件加到链路上，就构成了数据链路。

帧是数据链路层传输信息的**基本单位**，它包括了数据和必要的控制信息。

功能：将源计算机网络层来的数据可靠地传输到相邻节点的目标计算机的网络层。(相邻节点间**无差错**地传送帧)

机械与电气工程学院

OSI/RM各层功能(续)

➤ **网络层**

网络层协议的主要功能是处理信息的**传输路径**问题，包括子网之间的地址变换。

网络层以**分组**或**包**传送数据。

注意：如果通信系统中只由一个网络组成，节点之间只有唯一的一条路径，那么就不需要这层协议。

➤ **传输层**

传输层协议的功能是确认两个节点之间的信息传输任务是否已经正确完成。

传输层能屏蔽掉各类通信子网的差异，提供端到端的数据传送，包括信息确认、误码检测、信息重发、信息的优先级调度等。

➤ **会话层**

会话层协议用来对两个节点之间的通信任务进行启动和停止调度。

机械与电气工程学院

OSI/RM各层功能(续)

➤ **表示层**

表示层协议的任务是**进行信息格式的转换**：把通信系统所用的信息格式转换成应用层所需要的信息格式。

➤ **应用层**

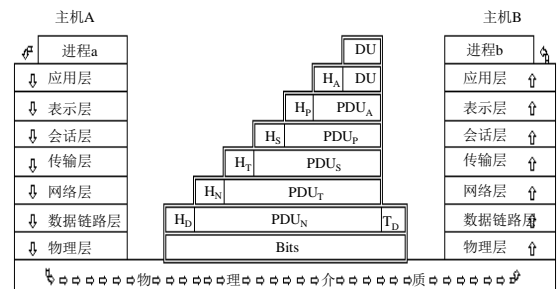
应用层属于应用软件的一部分，它**召唤低层协议为其服务**，如HTTP、FTP、DNS、SMTP等。

机械与电气工程学院



机械与电气工程学院

OSI/RM的数据传输



多层结构的**主要缺点是信息传输过程中需要经过大量的接口**，因此通信的**延迟时间比较大**。

机械与电气工程学院

TCP/IP协议

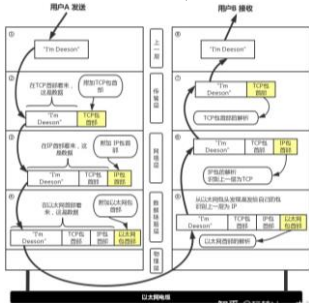
OSI/RM的七层协议体系结构既复杂又不实用，但其概念清楚，理论较完整。
Internet采用的TCP/IP协议只有4层。

	OSI/RM	TCP/IP	协议
7	应用层	应用层	HTTP,DNS,SMTP,POP3,FTP
6	表示层		
5	会话层		
4	传输层	传输层	TCP,UDP
3	网络层	网际层	IP
2	数据链路层	网络接口层	CSMA/CD
1	物理层		

机械与电气工程学院

TCP/IP协议数据处理流程

当通过HTTP发起一个请求时，应用层、传输层、网络层和链路层的相关协议依次对该请求进行封装并携带对应的首部，最终在链路层生成以太网数据包，以太网数据包通过物理介质传输给对方主机，对方接收到数据包以后，然后再一层一层采用对应的协议进行拆包，最后把应用层数据交给应用程序处理。



机械与电气工程学院

Windows下TCP/IP协议通信开发

在Windows下进行TCP/IP协议通信的开发，可以使用套接字(Socket)开发。

- TCP服务端建立步骤:
- TCP客户端建立步骤:
1. 申请套接字: s = socket(...);

2. 填写端点地址: address = ...;

3. 建立套接字与端点关系 (绑定): bind(s, address...);

4. 设置为监听模式: listen(s);

5. 接收连接: newsock = accept(s);

6. 数据收/发: recv(newsock); / send(newsock);

7. 关闭套接字: closesocket(newsock);
1. 申请套接字: s = socket(...)

2. 填写端点地址: c_address = ...;

3. 建立套接字与端点关系 (绑定): bind(s, c_address...);

4. 确定服务器端点: s_address = ...;

5. 与服务器建立连接: connect(s, s_address...);

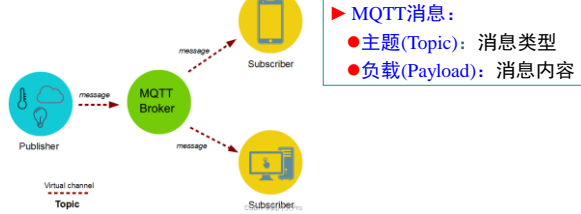
6. 数据发/收: send(s); / recv(s);

7. 关闭套接字: closesocket(s);

机械与电气工程学院

MQTT协议——物联网常用协议

【百度百科】：
MQTT(Message Queuing Telemetry Transport，消息队列遥测传输)是ISO 标准(ISO/IEC PRF 20922)下基于发布/订阅范式的消息协议。它工作在TCP/IP协议族上，是为硬件性能低下的远程设备以及网络状况糟糕的情况下而设计的发布/订阅型消息协议。



MQTT通常使用TCP作为其传输层协议，以提供可靠的、有序的消息传输。

机械与电气工程学院

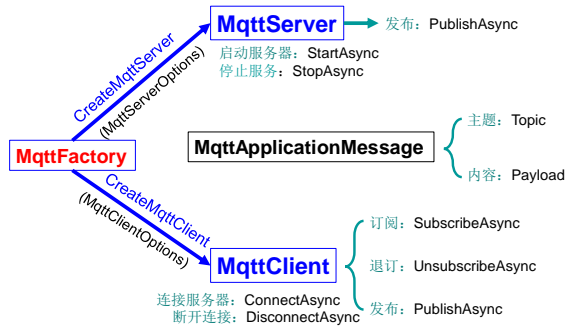
MQTT协议开发

利用C#实现MQTT通信：
MQTTnet【<https://dotnet.github.io/MQTTnet/>】
MQTTnet是一个用于.NET的高性能开源MQTT类库，实现了MQTT协议的各个层级，包括连接、会话、发布/订阅、QoS(服务质量)等。

MQTTnet is a high performance .NET library for MQTT based communication. It provides a MQTT client and a MQTT server (broker) and supports the MQTT protocol up to version 5. It is compatible with mostly any supported .NET Framework version and CPU architecture.

机械与电气工程学院

MQTTnet的使用简图



机械与电气工程学院

四、DCS通信网络结构及设备

1. 工业数据通信的特点

工业数据通信网络和办公室的信息网络不同，具有以下特点：

➤ 实时性好

工业数据通信信息主要是实时的过程控制和操作管理信息，因此，DCS中采用的控制网络应具有良好的实时性和快速响应性，动态响应要快，响应时间都在毫秒级。

➤ 可靠性高

面对连续生产的工工业过程，DCS采用的控制网络必须能够连续、稳定地运行，任何暂时地中断和故障都会造成巨大损失。

➤ 适应恶劣工业现场环境

由于DCS运行在恶劣的工业环境中，因此要求DCS采用的控制网络应具有强抗扰性(抗电源干扰、雷击干扰、电磁干扰和接地电位差干扰等)，并采取差错控制等软件手段降低数据传输的误码率。

机械与电气工程学院

工业数据通信的特点(续)

➤ 开放系统互连

为使不同类型的DCS能够互相连接，进行数据交换，DCS采用的控制网络应符合开放系统互连标准，使各种计算机之间能够互相连接。

机械与电气工程学院

2. DCS的网络通信标准

1) PROWAY通信标准

PROWAY是一种专门用于过程控制的网络协议，即工业过程控制用数据公路标准，由国际电工委员会(IEC)的SC65A/WG6工作委员会制定。

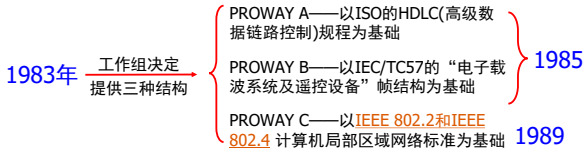
形成历史：

1979年 IEC下任务 制定“工业过程计算机子系统之间的通信”标准
分散型过程控制系统的数据通信系统正式定名为过程数据公路(Process Data Highway)，简称PROWAY。

1982年 IEC新成立 SC65C工作组 制定“工业过程测量和控制系统的数
据通信”标准

机械与电气工程学院

PROWAY标准形成历史



➤ IEC 60955 Ed. 1.0 b:1989

Process data highway, type C (PROWAY C),for distributed process control systems

➤ GB/T 9469-88

《分散型过程控制系统用工业过程数据公路》，1988年颁7月颁布，1989年1月1日起实施。

机械与电气工程学院

PROWAY通信标准(续)

➤ PROWAY C标准

PROWAY C标准适用于分散型过程控制系统的工业过程数据公路，规定了在工业环境中使用令牌总线送取方法的局部区域网(LAN)要实现站的兼容互连所需规范的各个组成部分。

PROWAY	OSI模型
用户	>第2层
3、链路控制层(PLC)	2、数据链路层
2、媒体存取控制层(MAC)	
1、物理接收/发送层(PHY)	1、物理层

机械与电气工程学院

PROWAY通信标准(续)

(1) 链路控制层(PLC)功能

PLC层的功能在逻辑上分为本地状态机和远程状态机两个独立的状态机。

➤ 本地状态机处理所有来自本地PLC用户的请求，并给与应答。

➤ 远程状态机传输给远程PLC用户，管理共享的数据区，并请求数据送回本地状态机。

PLC为用户提供三种基本服务：

A、由一个本地发送站使用应答（立即响应）协议向另一个远程应答站发送数据。

B、由一个本地站无确认或重复发送数据给一个、几个或者所有远程接收站。

C、由一个本地站是用应答（直接响应）协议向一个远程站请求以提供信息。

机械与电气工程学院

PROWAY通信标准(续)

(2) 媒体存取控制层(MAC)功能

MAC层的功能在逻辑上分为4个异步机构:

- 接口机(IFM)
- 存取控制机(ACM)
- 接收机(RxM)
- 发送机(TxM)

MAC决定本站何时具有对共享媒体的存取权, 以及何时把令牌传送给后继站。

(3) 物理接收发送层(PHY)功能。

PHY子层的通信媒体为单信道同轴电缆, 数据传输速率为1Mb/s。收发的信号是相位连续的移频键控方式的曼彻斯特编码数据。

机械与电气工程学院

2) MAP制造自动化协议

制造自动化协议(Manufacture Automation Protocol, MAP)由美国通用汽车公司发起, 现已有几家公司参加, 建立了工业环境下局域网通信标准。

MAP参照OSI参考模型和PROWAY的分层模型, 分为三种结构: 全MAP(full AMP)、小MAP(mini MAP)及增强性能结构MAP(enhanced performance architecture MAP)。

MAP以网络节点为核心, 通过网桥可以与MAP载带网相连, 通过网间连接器可以与其它网络连接。

MAP的宽带频率范围从59.75~95.75, 采用频分多路复用方式, 数字信息经调制后由较低频道频率发送, 以较高频道频率接收。

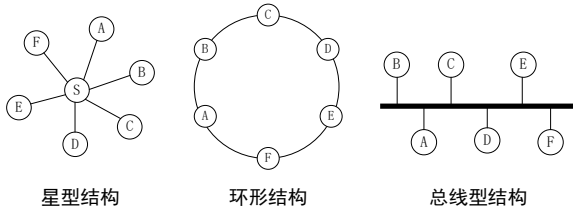
MAP采用令牌传送方式进行信息管理, 数据通信速率为10Mb/s。

机械与电气工程学院

3. DCS通信网络的拓扑结构

通信网络的拓扑结构是指通信网络中各个节点或站相互连接的方法。

DCS中常用的拓扑结构包括星型结构、环形结构和总线型结构。

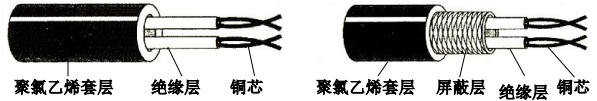


机械与电气工程学院

4. DCS通信网络的传输介质

1) 双绞线

双绞线是由两个绝缘导体扭制在一起而形成的线对。



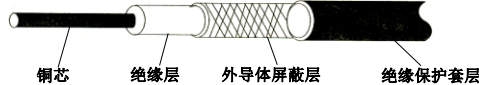
双绞线是最普通的通信介质, 适用于低速传输场合, 用来传输模拟或数字信号。模拟传输时每5~6km要有一个放大器, 数字传输时每2~3km需要一个转发器。双绞线的最大带宽约为100kHz~1MHz, 传输速率一般小于2Mbps。

★特点: 简单、成本低、比较可靠, 但高频时损耗较大, 传输距离不宜太长。

机械与电气工程学院

2) 同轴电缆

同轴电缆由铜芯、绝缘层、外导体屏蔽层和绝缘保护层构成。



分类:

- (1) 基带同轴电缆(50Ω同轴电缆), 基带同轴电缆专门用于数字传输, 其传输速率可达10Mbps。
- (2) 宽带同轴电缆(75Ω同轴电缆), 宽带同轴电缆既可用于模拟传输(如视频信号传输), 也可用于数字传输, 当用于数字传输时, 其传输速率可达50Mbps。

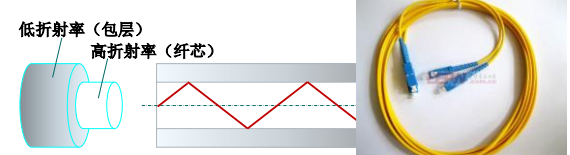
★特点: 同轴电缆具有较高传输通频带、较低传输损耗、较强抗干扰能力等优点, 但结构较为复杂, 造价较高。

机械与电气工程学院

3) 光缆

光缆是一种由光纤组成的可进行光信号传输的新型通信介质, 一根光缆中包含有多条光纤。

光纤即光导纤维, 是一种细小、柔韧并能传输光信号的介质。

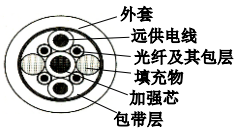


光纤的传输原理: 光纤从高折射率物理射向低折射率物质时在这两个物质的界面发生全反射。

光纤以光的“有”和“无”形成“1”和“0”二进制信息, 以光脉冲形式进行信息传输。

机械与电气工程学院

光缆(续)



光缆可以在更大的传输距离上获得更高的传输速率，且对电磁干扰几乎毫无反应。

★光纤通信的特点:

- A、传输信号频带宽、通信容量大、信号衰减小、传输距离长、抗干扰能力强。
- B、光纤数据传输率非常高 (Gb/s)，误码率极低(10^{-10})。
- C、原材料资源丰富。
- D、抗化学腐蚀能力强，适用于一些特殊环境下的布线。

机械与电气工程学院

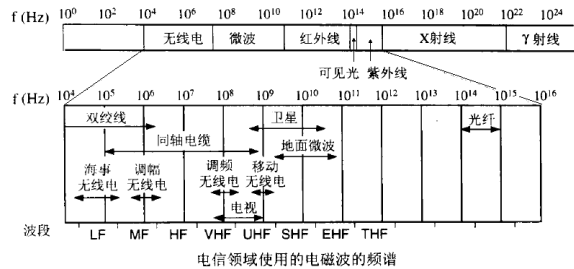
三种通信介质特点比较

项目\介质	双绞线	同轴电缆	光缆
传输介质价格	较低	较高	较高
连接件价格	低	较低	高
标准化程度	高	较高	低
连接	简单	需专用连接器	需复杂连接器件和连接工艺
敷设	简单	稍复杂	简单
抗干扰能力	较好	很好	特别好
环境的适应性	较好	较好	特别好
适用网络类型	环形网	总线型或环形网	目前多用于环形网

机械与电气工程学院

4) 无线介质

无线介质可以不使用电或光导进行电磁信号的传递，包括各种各样的电磁波，如无线电波、微波、红外线等。



机械与电气工程学院

5. DCS通信网络的互连设备

DCS中网络之间的互连离不开网络互连设备。

1) 物理层互连设备

➢ 中继器(repeater)

中继器把所收到的微弱信号分离，并再生放大以保持与原数据相同，再重新发送或者转发，来扩大网络传输的距离。中继器适用于完全相同的两个网络的互连。在双绞线介质和光纤介质的网络中，中继器能被内置于集线器或交换机中。

➢ 集线器(hub)

集线器作为网络传输介质的中央节点，本质上是一个多端口的中继器。

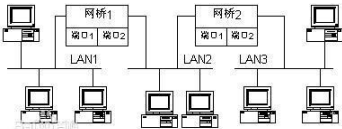


机械与电气工程学院

2) 数据链路层互连设备

➢ 网桥(bridge)

网桥是连接两个局域网的一种存储/转发设备，是一个局域网与另一个局域网之间建立连接的桥梁。



说明:

- 网桥是一种对帧进行转发的技术，依据MAC 帧的地址进行存储转发。
- 由于网桥执行存储转发，故与中继器相比会引入更多时延。
- 由于网桥不提供流控功能，因此在流量较大时有可能使其过载，从而造成帧的丢失。

机械与电气工程学院

数据链路层互连设备(续)

➢ 交换器(switch)

交换器与网桥的工作原理类似，也是根据所接收的帧中目标MAC地址进行转发，但其转发延迟比网桥小得多。交换器本身构成了一个无冲突域，允许连接到交换器的多对用户能够同时进行数据传送(并行通信)。

3) 网络层互连设备

网络层的互连设备主要是路由器(router)。

路由器是连接两个以上复杂局域网的软件域硬件，它出了具有网桥的全部功能外，还具有路径选择功能。

4) 应用层互连设备

应用层的互连设备主要是网关(gateway)。

网关用于连接不同类型而协议差别又较大的网络。它将协议进行转换，将数据重新分组，以便在两个不同类型的网络之间进行通信。

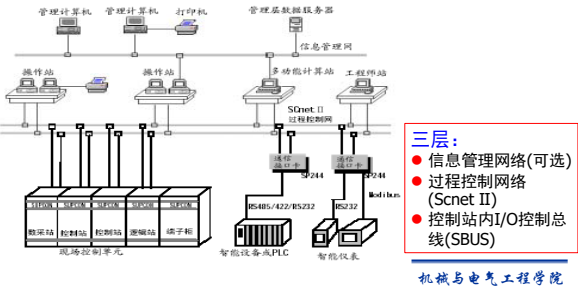
机械与电气工程学院



6. 典型DCS的通信网络

不同时期和不同厂家的DCS产品，其设计思路及采用的技术各不相同，因此，不同型号的DCS通信网络系统及设备和技术也有所不同。

➢ JX-300X DCS的通信网络



五、控制网络和信息网络的区别

- 1) 控制网络中**实时性**是控制系统最基本的要求。
 - 过程控制系统的响应时间要求为0.01s~0.5s,
 - 制造自动化系统的响应时间要求为0.5s~2.0s,
 - 信息网络的响应时间要求为2.0s~6.0s
- 2) 控制网络强调在**恶劣环境**下数据传输的完整性、可靠性。
应具有在高温、潮湿、震动、腐蚀、电磁干扰等工业环境中长时间、连续、可靠、完整地传送数据的能力，并能抵抗工业电网的浪涌、跌落和尖峰干扰。还应具有本质安全性能。
- 3) 控制系统中，由于分散的**单一用户**要借助控制网络进入某个系统，通信方式多使用**广播或组播方式**；在信息网络中某个自主系统与另一个自主系统一般都使用一对一通信用方式。
- 4) 工业现场总线控制网络可以实现**总线供电**。而通常IT信息网络缺少此措施。



思考题

- 简述通信系统的主要技术指标。
- 简述常用的多路复用技术。
- 什么叫通信系统的传输差错？简述通信过程中产生传输差错的原因及常用的差错控制方法。
- 什么是通信网络协议？简述OSI模型各层的功能。
- 简述工业数据通信的特点。
- DCS常用的网络拓扑结构有哪些？
- DCS通信常用的传输介质有几种？请阐述各自的特点。

本章结束 谢谢！

IEEE 802现有标准
IEEE 802.1：局域网体系结构、寻址、网络互联和网络
IEEE 802.1A：概述和系统结构
IEEE 802.1B：网络管理和网络互连
IEEE 802.2：逻辑链路控制子层（LLC）的定义。
IEEE 802.3：以太网介质访问控制协议（CSMA/CD）及物理层技术规范。
IEEE 802.4：令牌总线网（Token-Bus）的介质访问控制协议及物理层技术规范。
IEEE 802.5：令牌环网（Token-Ring）的介质访问控制协议及物理层技术规范。
IEEE 802.6：城域网介质访问控制协议DQDB（Distributed Queue Dual Bus 分布式队列双总线）及物理层技术规范。
IEEE 802.7：宽带技术咨询组，提供有关宽域网的技术咨询。
IEEE 802.8：光纤技术咨询组，提供有关光纤联网的技术咨询。
IEEE 802.9：综合声音数据的局域网（IVD LAN）介质访问控制协议及物理层技术规范。
IEEE 802.10：网络安全技术咨询组，定义了网络互操作的认证和加密方法。
.....

