

# 《仪器系统设计基础》第六讲

## 仪器总线技术



---

仪器科学与工程系专业必修课

主讲： 宋开臣 教授

[kcsong@zju.edu.cn](mailto:kcsong@zju.edu.cn)

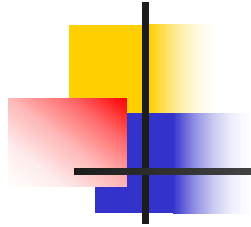
13600513662



# 仪器总线技术讲座内容

---

- 一. 仪器总线概述
- 二. 常规仪器总线
- 三. 计算机扩展仪器总线
- 四. 仪器常用外部总线



# 一.仪器总线概述

---

1. 仪器总线的概念
2. 仪器总线性能评价指标
3. 仪器总线发展历程



# 1. 仪器总线的概念

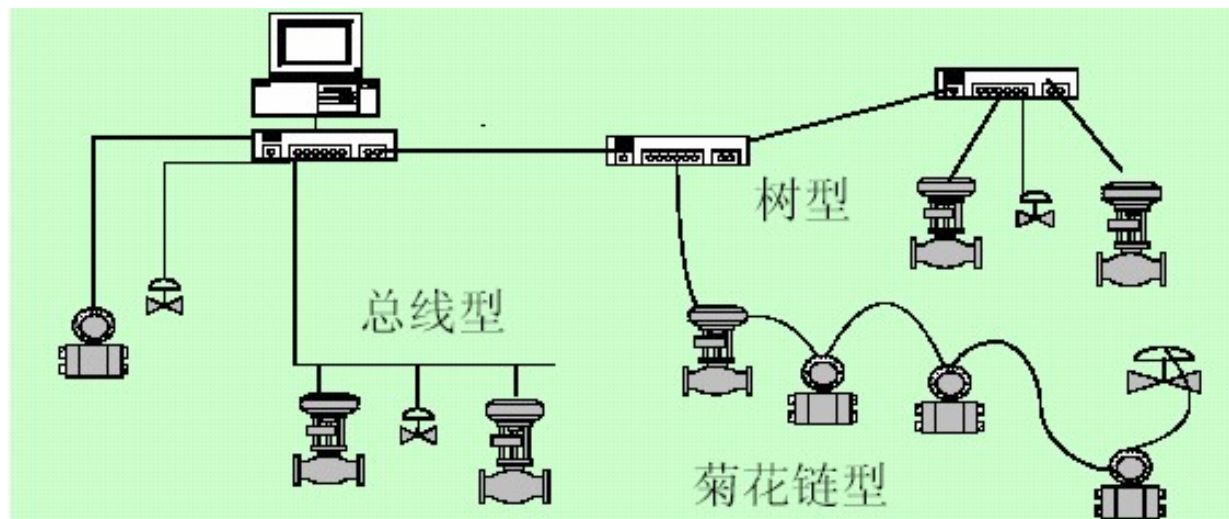
---

## ■ 仪器总线的定义

用于仪器内部模块与模块之间  
或者仪器与仪器之间互联的一组信  
号线。

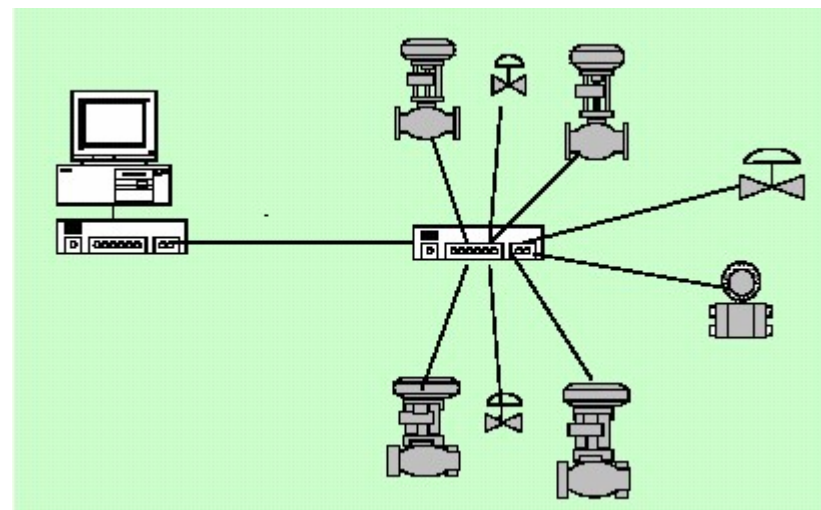
大多数总线的拓扑结构是总线树型或者菊花链型。

# 1. 仪器总线的概念



总线树型/  
菊花链型

星型连接





## 2. 仪器总线性能评价指标

---

### ➤ 带宽

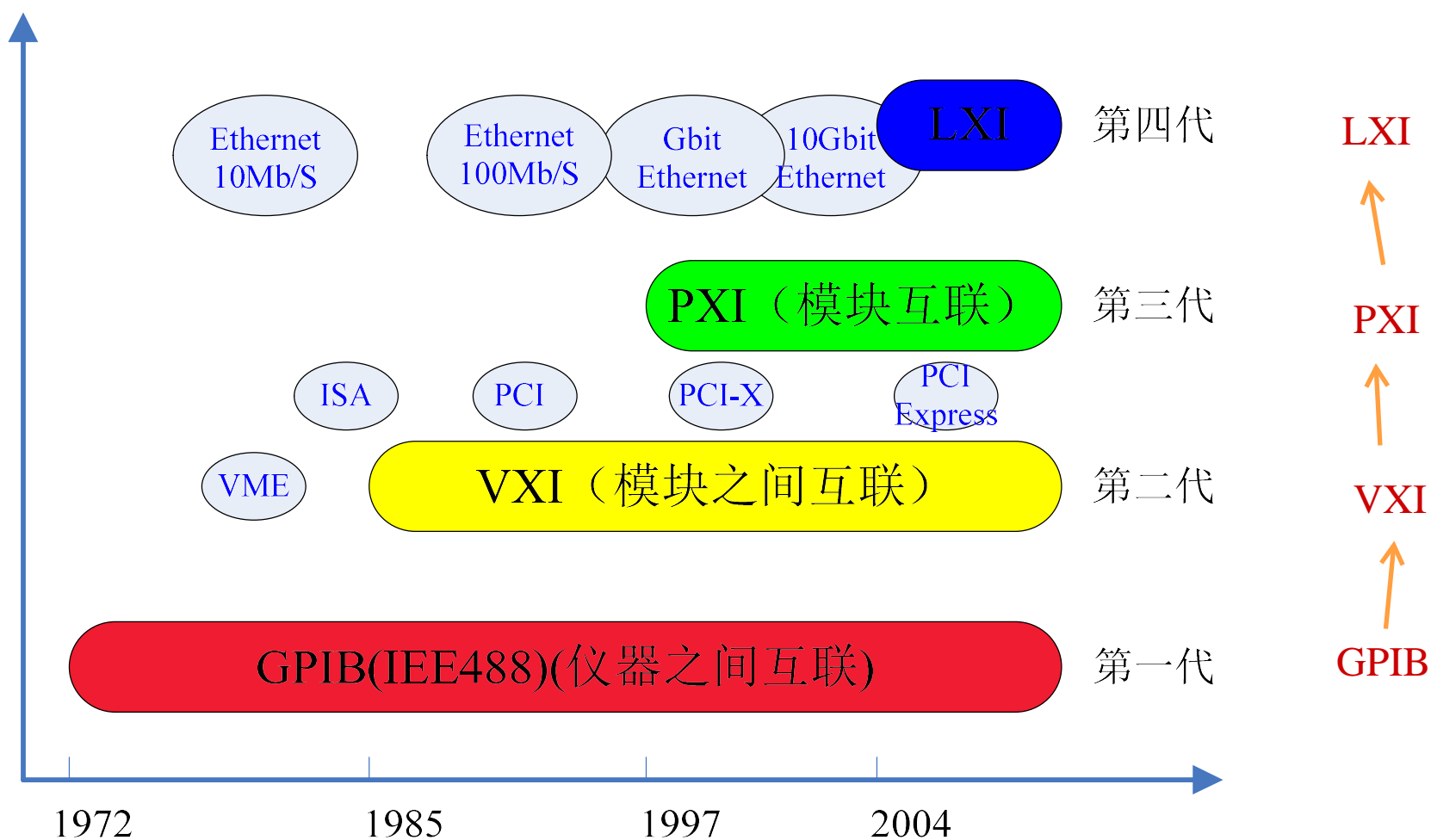
带宽度量的是总线传送数据的速率，常用单位为MB/s（每秒钟兆字节）。总线带宽越高，在给定时间内传送的数据就越多。

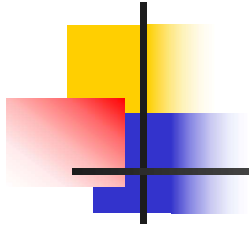
### ➤ 时延

时延是数据通过总线传输导致的延迟。一般指硬件和电缆引起的电信号传输滞后。

### 3. 仪器总线发展历程

仪器标准总线





## 二. 常规仪器总线

---

1. GPIB仪器总线

2. VXI仪器总线

3. PXI仪器总线

4. LXI仪器总线





# 1. GPIB仪器总线

---

## ■ GPIB总线的发展

**GPIB: General Purpose Interface Bus**, 是世界上第一种专为仪器控制应用而设计的总线标准

- 1965年 惠普公司设计HP-IB（或称GPIB）
- 1975年 HP-IB变成IEEE-488标准
- 1978年 IEEE 488-1978（现IEEE488.1-1987）
- 1987年 IEEE488.2
- 1990年 可编程仪器的标准命令（Standard Commands for Programmable Instruments, SCPI）采纳了IEEE488.2定义的命令结构,创建了一整套编程命令。
- 1992年 重新修订了IEEE 488.2
- 1993年 NI公司提出HS488



# 1. GPIB仪器总线

---

## ■ GPIB的特点

- 1) **GPIB**是一种**8**位并行通信总线，传输速率可达**1Mbyte/s**。
- 2) **GPIB**总线提供的一个控制器在**20**米的排线长度内最多可连接**14**个仪器。若使用**GPIB**扩增器与延长器还可以突破这两个限制。
- 3) **GPIB**排线与连接器是一种多方面适用并符合工业标准的产品，可在任何环境内使用。



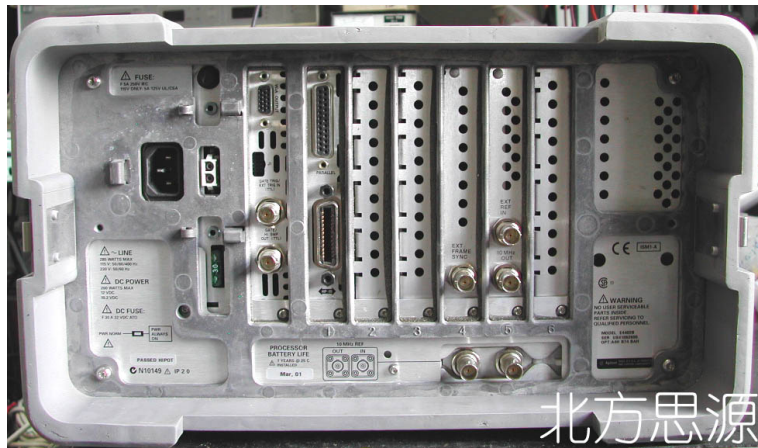
# 1. GPIB仪器总线

---

- 为什么**GPIB**是专门为仪器设计的总线？
  - 带宽较高（和当时的串行总线比较）
  - 时延低（比现在的高速串行**USB**、**LAN**都好）
  - 有专为仪器控制所设计的接口信号和接插件，具有突出的坚固性和可靠性
  - 具有**GPIB**总线接口的仪器种类最多，达到**1000多种**

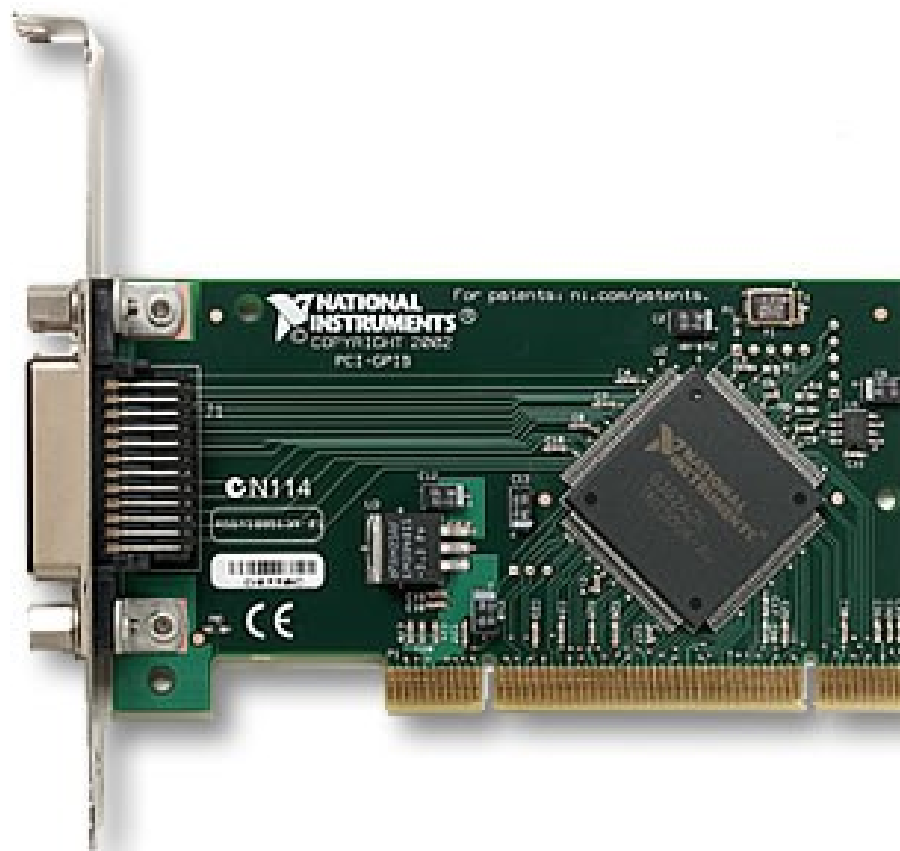
# 1. GPIB仪器总线

## ■ 带GPIB总线的仪器



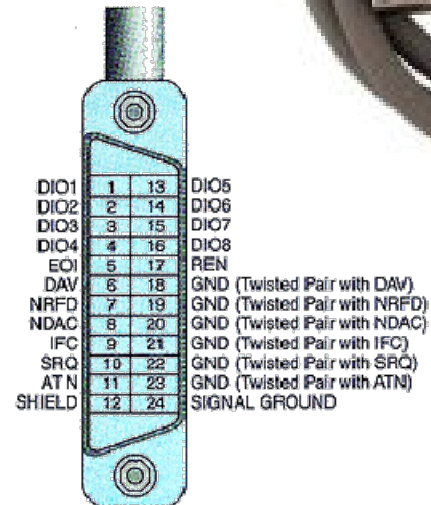
# 1. GPIB仪器总线

- GPIB总线计算机板卡



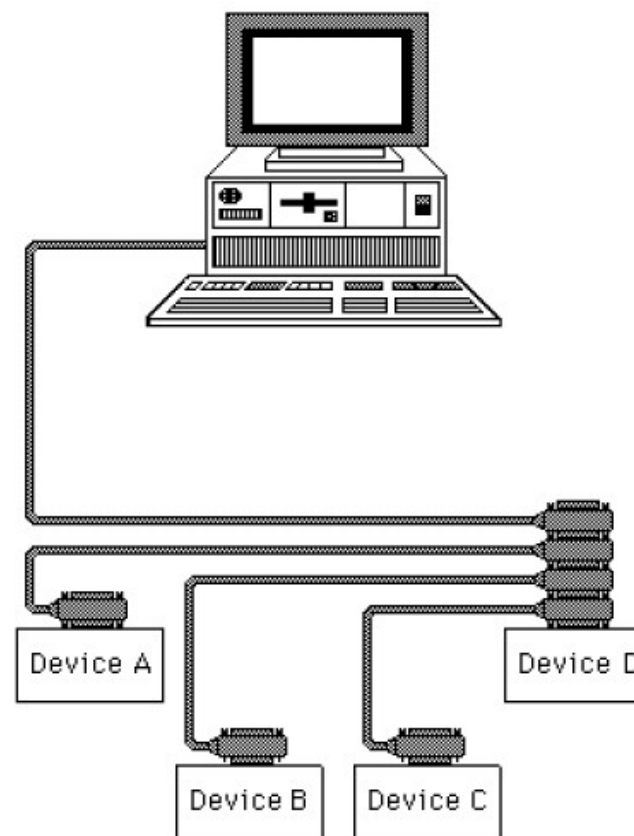
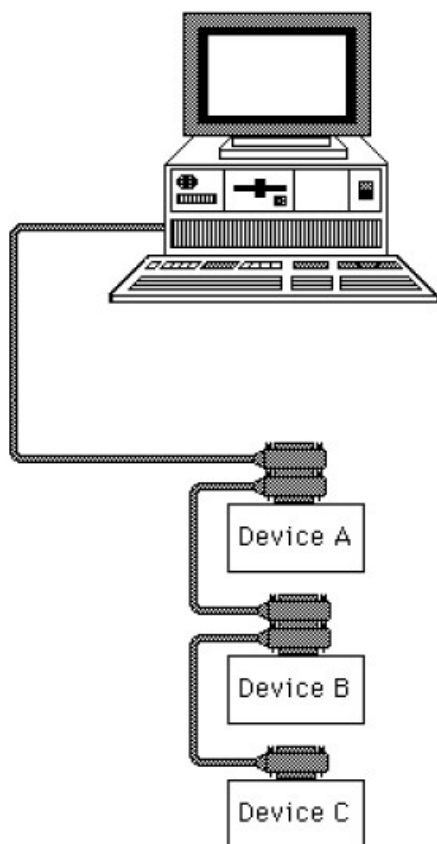
# 1. GPIB仪器总线

## ■ GPIB总线电缆



# 1. GPIB仪器总线

## ■ GPIB总线连接示例







# 1. GPIB仪器总线

---

## ■ GPIB总线的不足

- GPIB总线网络速度难以提高，逐渐成为瓶颈
- GPIB总线没有同步时钟传送
- GPIB总线接口成本较高
- GPIB总线的组网受到带宽和节点限制，扩展能力不足。
- 适合于仪器与仪器之间的连接，控制命令简单，不适合于模块与模块之间连接。





## 2. VXI仪器总线

### ■ VXI仪器总线的历史

**VXI: VEM bus eXtensions for Instruments**

一种高速计算机总线VME (Versa Module Eurocard)  
在仪器领域的扩展。

- 1987年，VMEbus被IEEE正式接受为万用背板总线（Versatile Backplane Bus）标准——VMEbus（ANSI/IEEE 1014-1987）。
- 同年7月，VXI总线联合体发布了VXIbus规范的第1个版本，几经修改和完善，于1993年9月20日出版发行（IEEE 1155-1993）。



## 2. VXI仪器总线

---

### ■ VXI仪器总线的特点

- VXI卡箱具有稳定的电源、强有力的冷却能力
- 严格的RFI/EMI（射频干扰/电磁干扰）屏蔽
- 结构紧凑、数据吞吐能力强40MB/s(最新的3.0版规范总线带宽提高到160MB/s)
- 定时和同步精确
- VXI卡箱最多可扩展到13个槽位

适于组建大、中规模系统及对速度、精度要求较高的场合

## 2. VXI仪器总线

### ■ VXI仪器总线连接示例



13槽机箱

（“卡式仪器”插入机箱，再与计算机相连，操作面板通过软件实现）



## 2. VXI仪器总线

---

- **VXI仪器总线的不足**
  - 组建VXI总线必须要求有专用机箱、零槽管理器及嵌入式控制器，造价高昂；
  - 40MB/s的带宽对于现今的高速测量装置还是有些不足，最新规范有所突破。
  - 结构复杂，开发难度偏大。



### 3. PXI仪器总线

---

#### ■ **PXI仪器总线的历史**

- **PXI硬件标准V1.0版于1997年8月作为开放版本发布；**
- **2000年7月，PXI系统联盟发布V2.0版；**
- **2003年2月，PXI系统联盟发布V2.1版；**
- **几经修改完善后，PXI系统联盟于2004年9月发布了V2.2版本，也是目前业界所支持的最新版本。**



### 3. PXI仪器总线

---

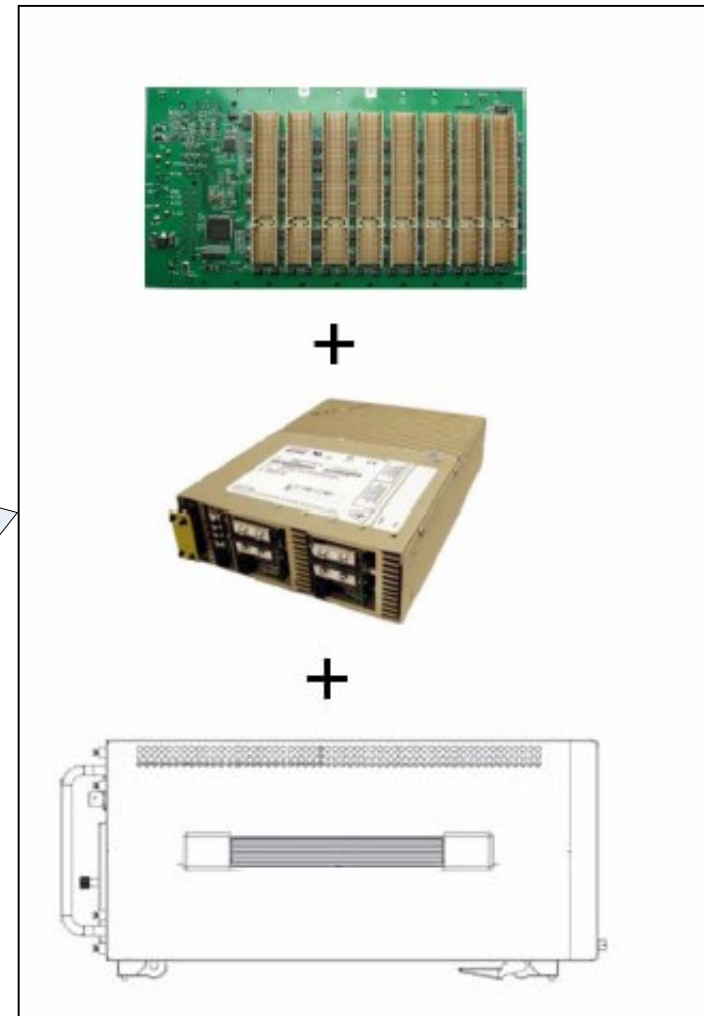
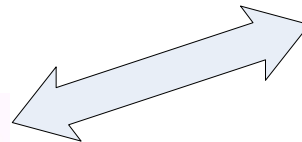
#### ■ **PXI总线的特点**

- 八个扩展槽(一个系统槽和七个仪器模块槽)。通过利用**PCI-PCI**桥技术最多能扩展到**256**个
- **兼容PCI总线**特点□
- **管脚排列的兼容性**□
- **3U板卡的互换性好**□
- **10MHz高精度参考时钟**□
- 具有**PCI触发和星型触发方式**
- **13bit 局部总线**

### 3. PXI仪器总线

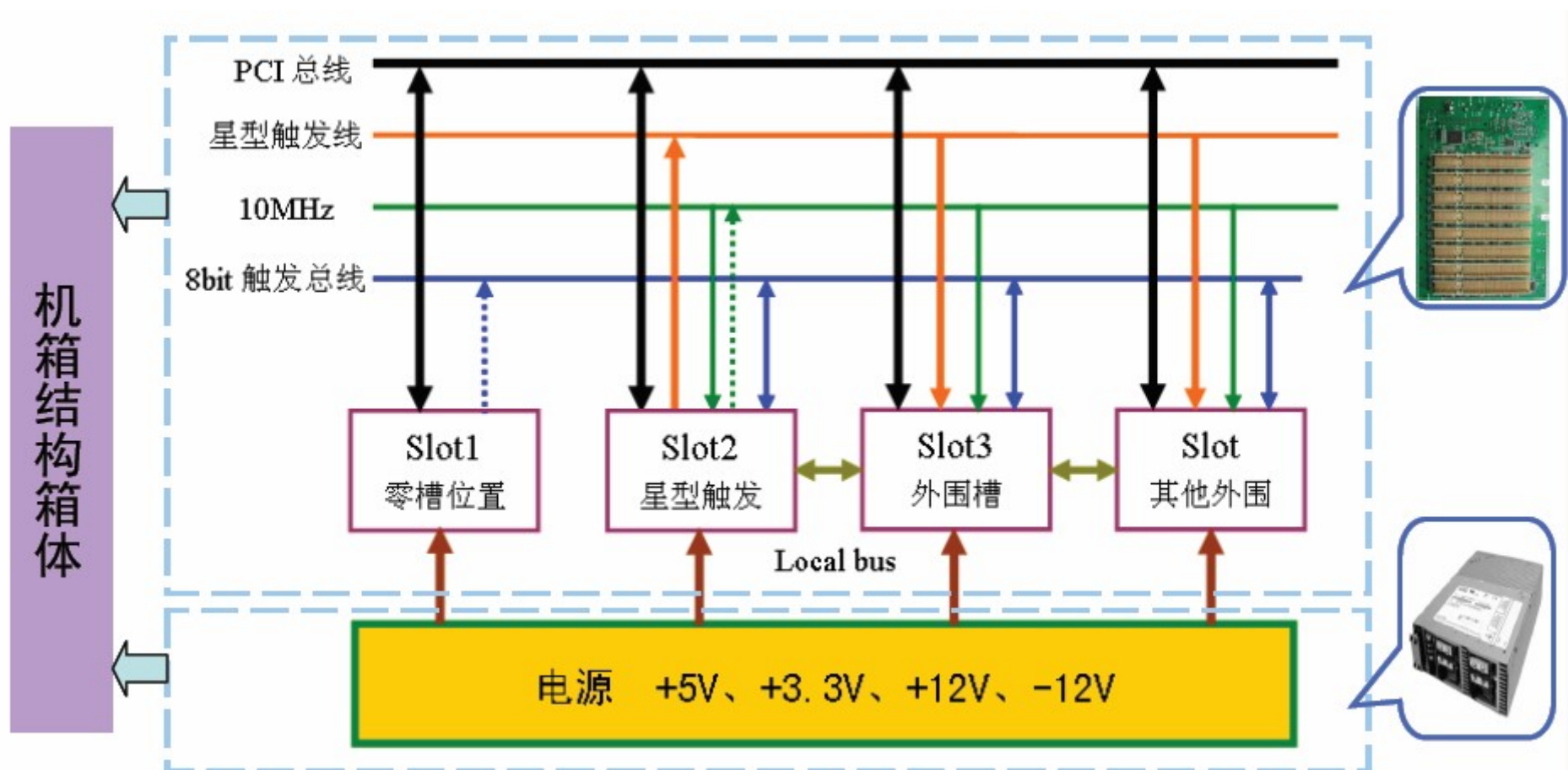
#### ■ PXI机箱组成

- PXI背板
- 电源组件
- 箱体



### 3. PXI仪器总线

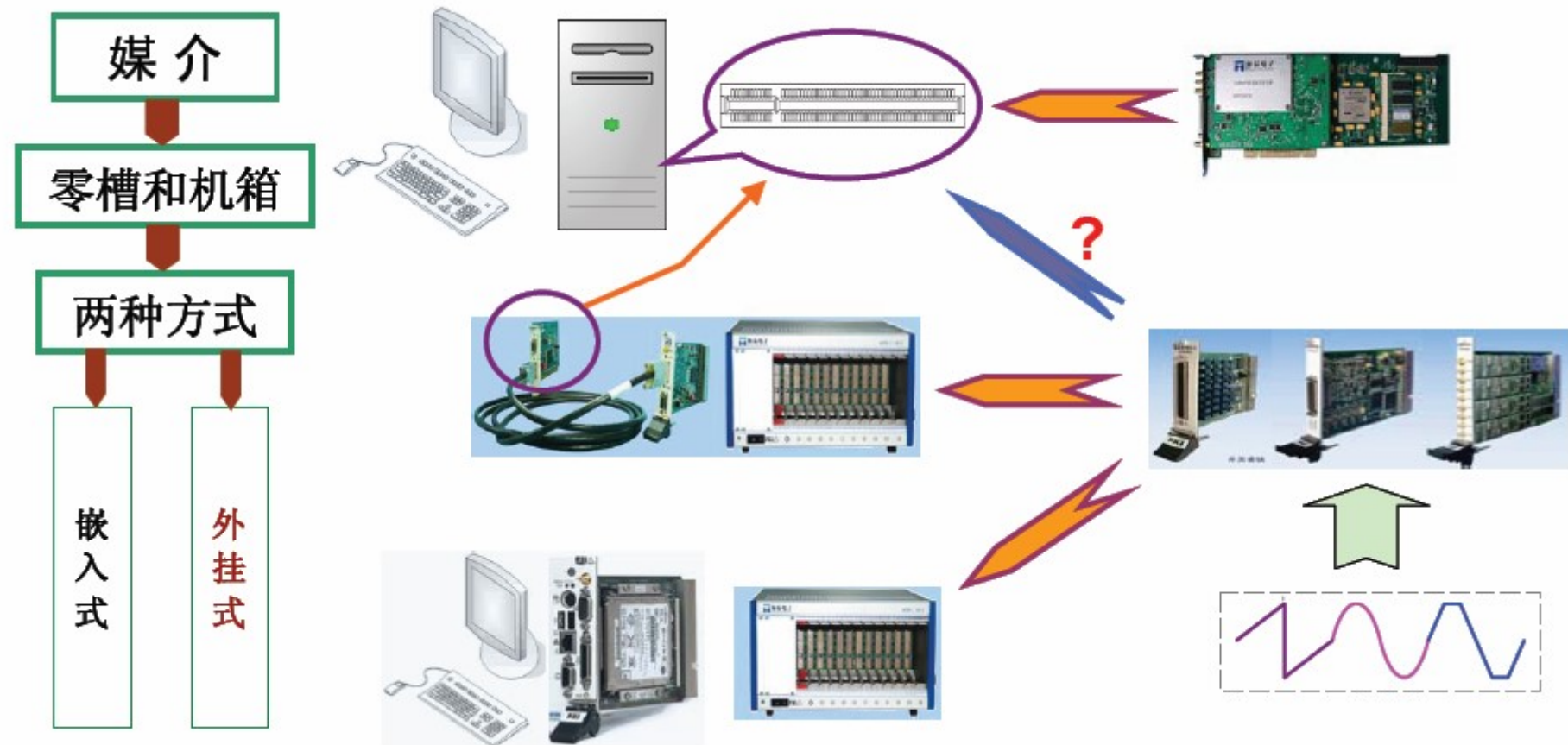
#### ■ PXI背板原理





### 3. PXI仪器总线

#### ■ PXI总线连接示意图





## 4. LXI仪器总线

---

### ■ LXI总线

(LAN eXtensions for Instrumentation )

Agilent公司和VXI科技公司共同合作，于2004年9月14日在美国加州提出一种新型仪器接口规范，全称为LAN-based eXtensions for Instrumentation(局域网的仪器扩展)，简称LXI。它基于著名的工业标准以太网(Ethernet)技术，扩展了仪器需要的语言、命令、协议等内容，构成了一种适用于自动测试系统的新一代模块化仪器平台标准。



## 4. LXI仪器总线

---

### ■ 为什么推出LXI?

- 以太网技术带宽提高潜力大，但是存在固有的时延缺陷，需要改进；
- 以太网的设计并非专门针对仪器通讯，因此其技术不能完全适应仪器通讯的可靠性要求；
- 采用网络技术实现不同类型仪器互访和互换，还需要解决协议问题。

## 4. LXI仪器总线

### ■ LXI总线的特点

- 开放式工业标准
- 向后兼容性
- 成本低廉
- 互操作性
- 新技术方便引入





## 4. LXI仪器总线

---

### ■ 以太网（Ethernet）/LAN

- 千兆以太网或1000BaseT最大带宽是125 MB/s。
- 以太网应用广泛，接口方便、价格便宜；
- 可使用路由器、交换机和中继器，对线缆长度几乎没有限制，还可以使用无线局域网技术。不受地理限制，可以实现远程测量应用。

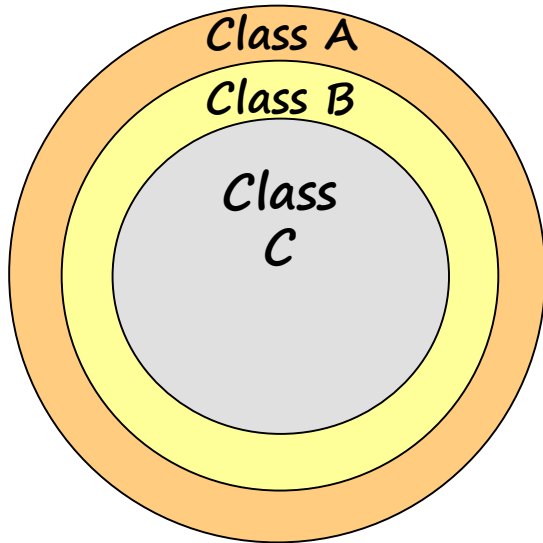


## 4. LXI仪器总线

---

- 以太网作为仪器总线的缺点
  - 带宽共享，通讯性能会随着网络内的仪器设备数量增加而下降。
  - 该总线采用基于消息的通信方式，通信包中的头信息明显地增加了数据传输的开销。因此以太网的时延在所有的总线技术中是最差的。

## 4. LXI仪器总线



- **LXI仪器的同步分为三个等级**
  - 等级A：触发总线硬件触发机制；**IEEE1588**精确时间协议同步；基于消息的同步方式。
  - 等级B：**IEEE1588**精确时间协议同步；基于消息的同步方式。
  - 等级C：基于消息的同步方式。

## 4. LXI仪器总线

### ■ LXI总线应用

- 实现从小系统到大系统的转变。
- 采用计算机实现对设备的远程访问







## 三. 计算机扩展仪器总线

### ■ 计算机扩展仪器总线概述

现代虚拟仪器主要采用计算机实现仪器的测量与控制功能，这样，计算机的总线就是仪器进行数据交换的总线。

**1. ISA&PCI**

**2. PCI-X**

**3. PCI Express**

计算机扩展仪器总线：

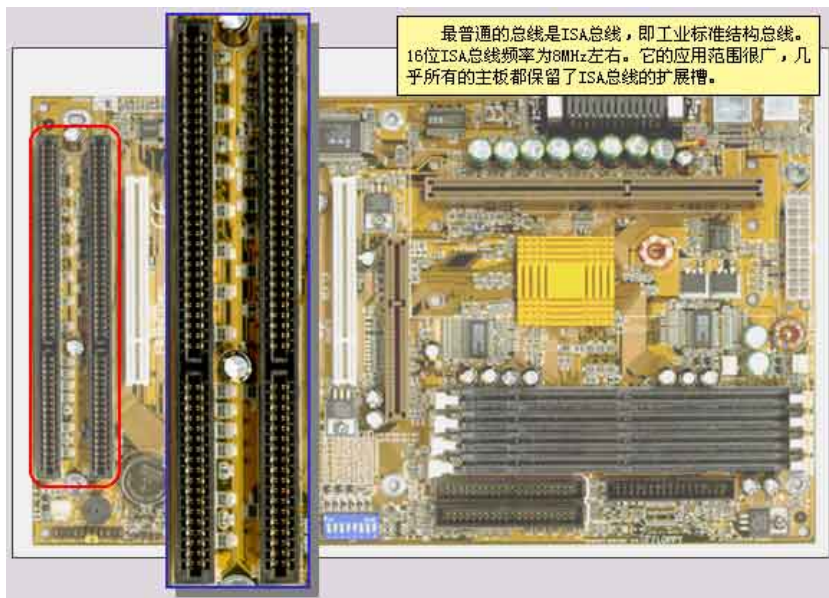
以计算机为核心，在其总线上进行扩展作为仪器总线

仪器标准总线：

为仪器专门设计的总线，通常多了同步时钟和触发功能

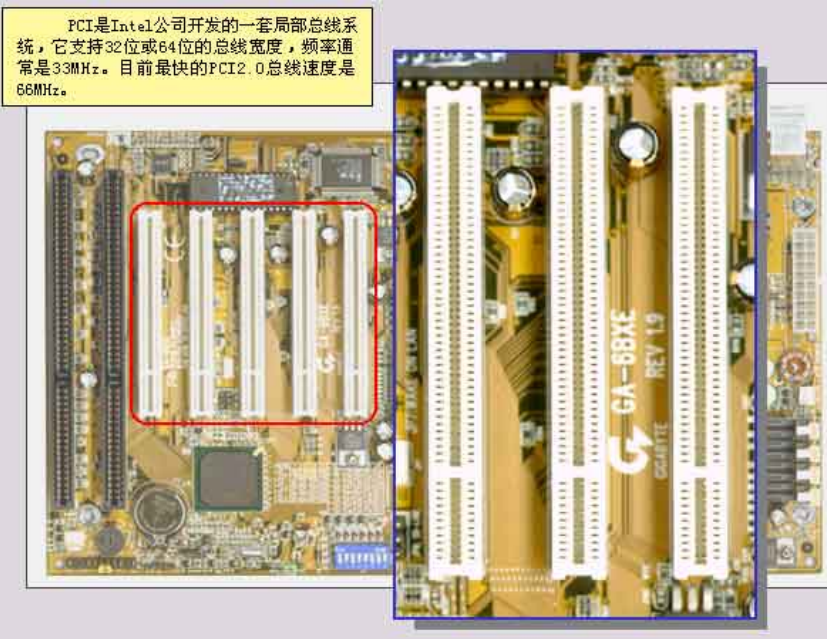
# 1. ISA&PCI总线

**ISA和PCI总线均是计算机内部总线。**



ISA总线是8/16位并口线，带宽为8MB/S，由于速度较低而逐渐被淘汰。

PCI总线是32/64位总线，主频有33MHz和66MHz两种，目前还在计算机内广泛应用。





## 2. PCI-X总线

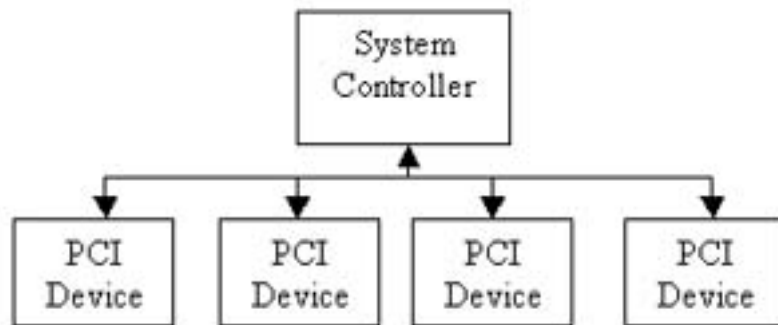
为了提高**PCI**总线速度，采用了下述方法进行改进，从而形成**PCI-X**总线，其本质和**PCI**相同

- 扩充并行总线的数据宽度，由**32**位改为**64**位
- 将传输速率从**66MHz**，提高到**533MHz**

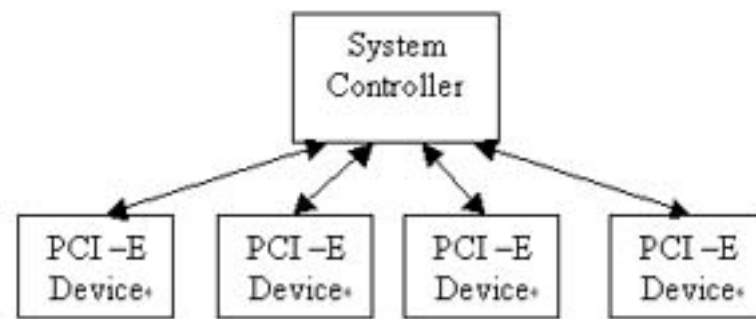
总线	数据宽度	传输速率	带宽
PCI-X 66	64bit	66MHz	533MB/S
PCI-X 133	64bit	133MHz	1.06GB/s
PCI-X 266	64bit	133MHz双倍采样	2.13GB/s
PCI-X 532	64bit	133MHz四倍采样	4.2GB/s

### 3. PCI Express总线

- 采用点对点通讯方式，每两个节点独占一条总线，避免了共享带宽造成速率下降。
- 采用LVDS物理层结构，提高了总线速率
- 可采用串行或并行传输方式



典型的基于总线的结构



典型的 PCI-Express 互连

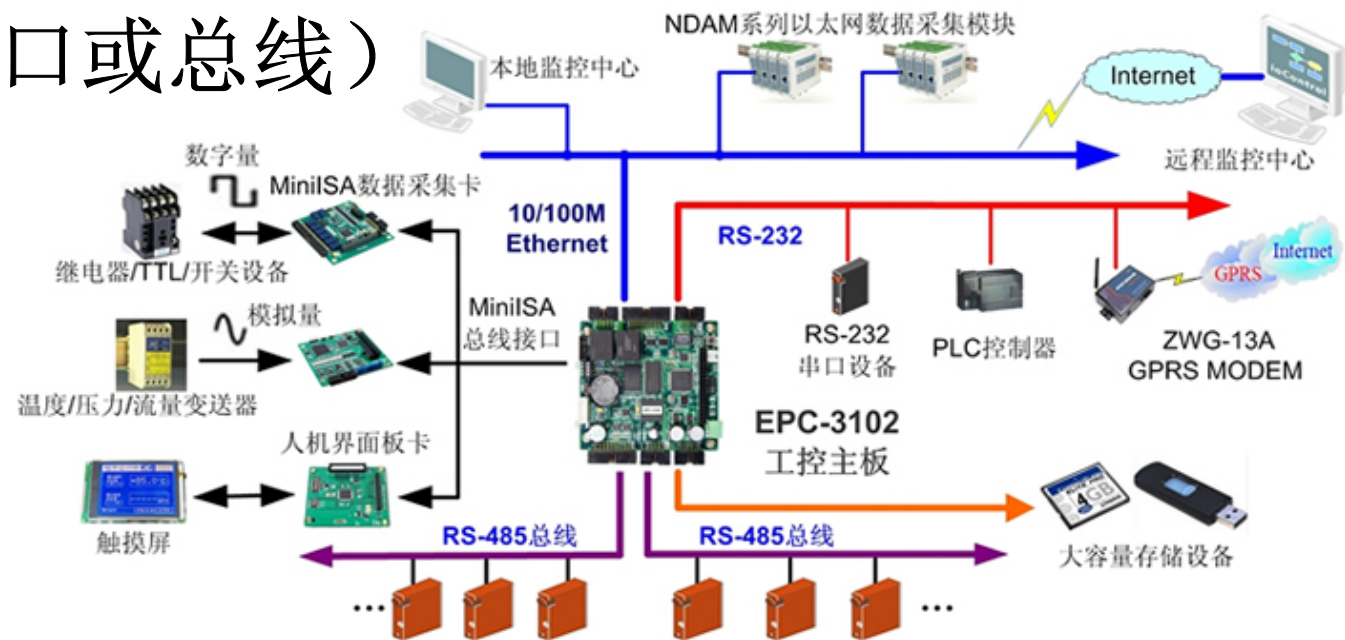
## 四. 仪器常用外部总线

1. RS-232 (通讯接口)

2. RS-485 (接口或总线)

3. USB (接口或总线)

4. CAN (接口或总线)





# 1. RS-232C异步串行接口

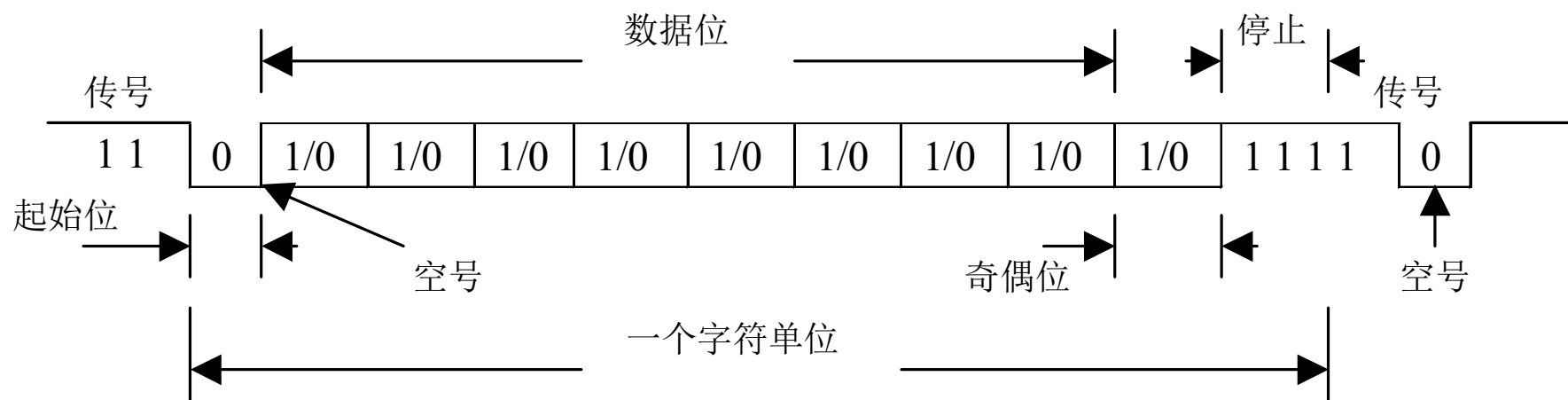
- RS-232接口是美国电子工业联盟（EIA, Electronic Industry Association）制定的异步串行数据通信的标准(协议)，全称是：EIA- RS-232C。

其中,RS—推荐标准（Recommended standard），  
232 — 标识号，C—1969年版本。

- 采用电压信号传输，逻辑1=-3V~-15V，逻辑0=+3~+15V。
- 传输距离：20m以内。
- 波特率：50、75、100、150、300、600、1200、2400、4800、9600、19200波特。
- 常用DB-9和DB-25连接器。
- 目前在工业和计算机领域仍有广泛应用

# 1. RS-232C异步串行接口

## RS-232接口异步串行通信字符传输格式

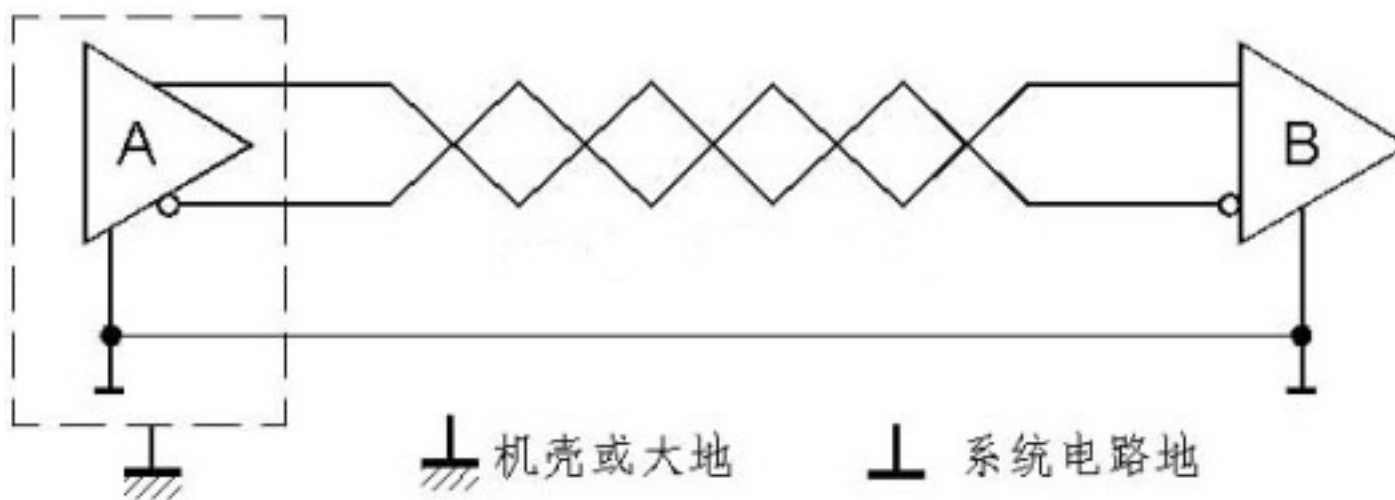


异步通信字符传输格式



## 2. RS485

- **RS-485的电气特性：**逻辑“1”以两线间的电压差为 $+(2—6)$  V表示；逻辑“0”以两线间的电压差为 $-(2—6)$  V表示。



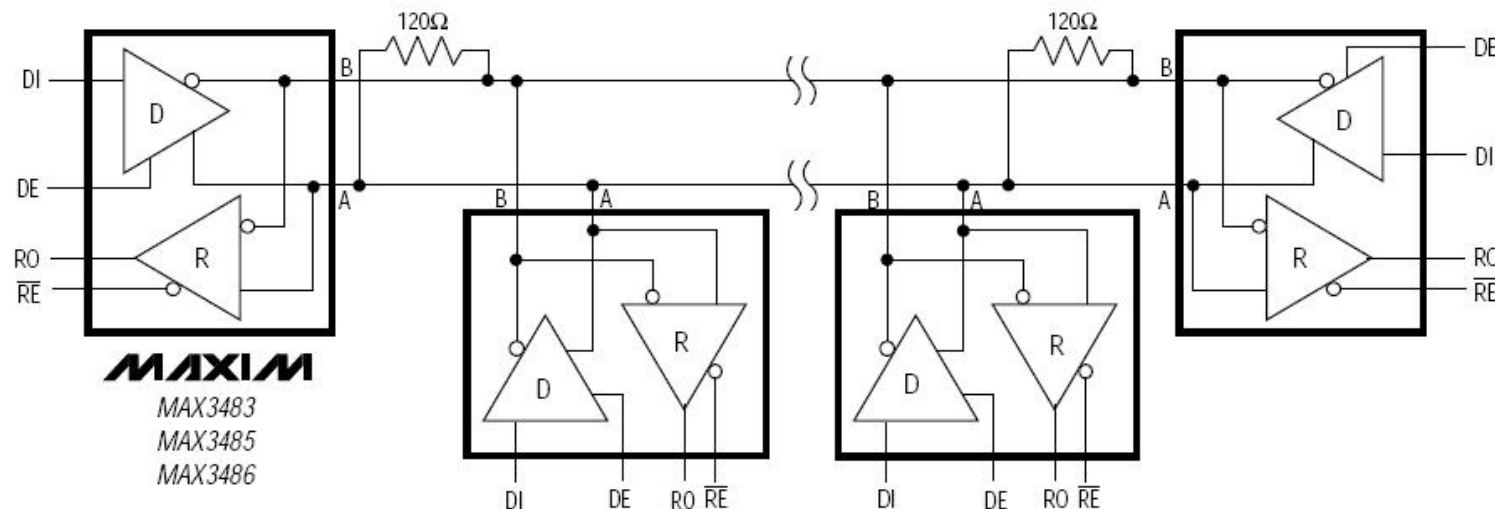


## 2. RS485

- 采用差分总线,平衡传输
- 传输距离较远(1千米以上)
- 传输速度较低(同步2Mbit/s)
- 使用HDLC协议（同步）/UART协议（异步）

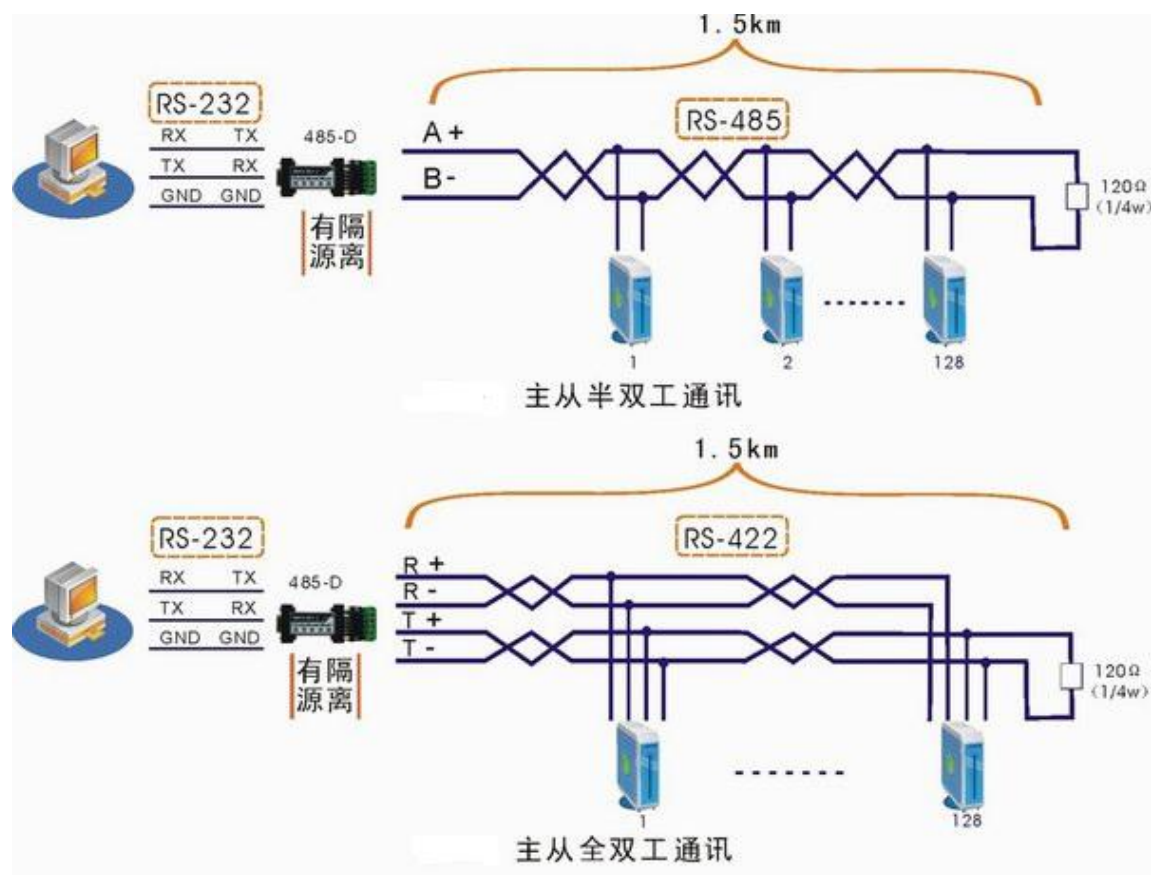
### RS232 & RS385

1. 232全双工, 485半双工
2. 232传输距离较短, 485较长
3. 232电平传输, 485差分传输
4. 232异步, 485可同步可异步
5. 232一对一, 485可一对多



## 2. RS485

- **RS485**总线采用线与逻辑实现多点互联传输，多为半双工通信。
- **RS422**总线采用一点发送多点接收方式传输，通常为全双工通信。





### 3. USB（通用串行总线）

---

通用串行总线**USB**（**Universal Serial BUS**）是在**1994**年底由**COMPAQ**、**Hewlett Packard**、**Intel**、**Lucent**、**Microsoft**、**NEC**和**PHILIPS** 等多家公司联合提出的。是一个外部总线标准，用于规范电脑与外部设备的连接和通讯。**USB**接口支持设备的即插即用和热插拔功能，可用于连接多达**127**种外设。

速度快、带电源线、时延优于LAN、即插即用和热插拔

### 3. USB（通用串行总线）

USB 接插件：



MINI USB 接口



### 3. USB（通用串行总线）

---

**1994年11月11号**，诞生了USB 0.7；

**1996年**，发布了USB 1.0，速度1.5Mb/s（**低速**）；

**1998年**，升级为USB 1.1，速度12Mb/s（**全速**）；

**2000年4月**，推出目前广泛使用的USB 2.0，速度达到了480Mb/s（**高速**）；

**2009年**，USB 3.0应运而生，速度高达5.0Gb/s，也就是625MB/s（**SuperSpeed 极速？**）。



### 3. USB（通用串行总线）

---

- **2.0**协议支持最高传输速率**480Mb/s**
- 总线带有电源线，最大可提供**1A**电流
- **USB**的时延介于**PCI**与**LAN**中间
- 即插即用，适合于便携式测量、便携机或台式机的数据录入和车载数据采集的应用。



### 3. USB（通用串行总线）

---

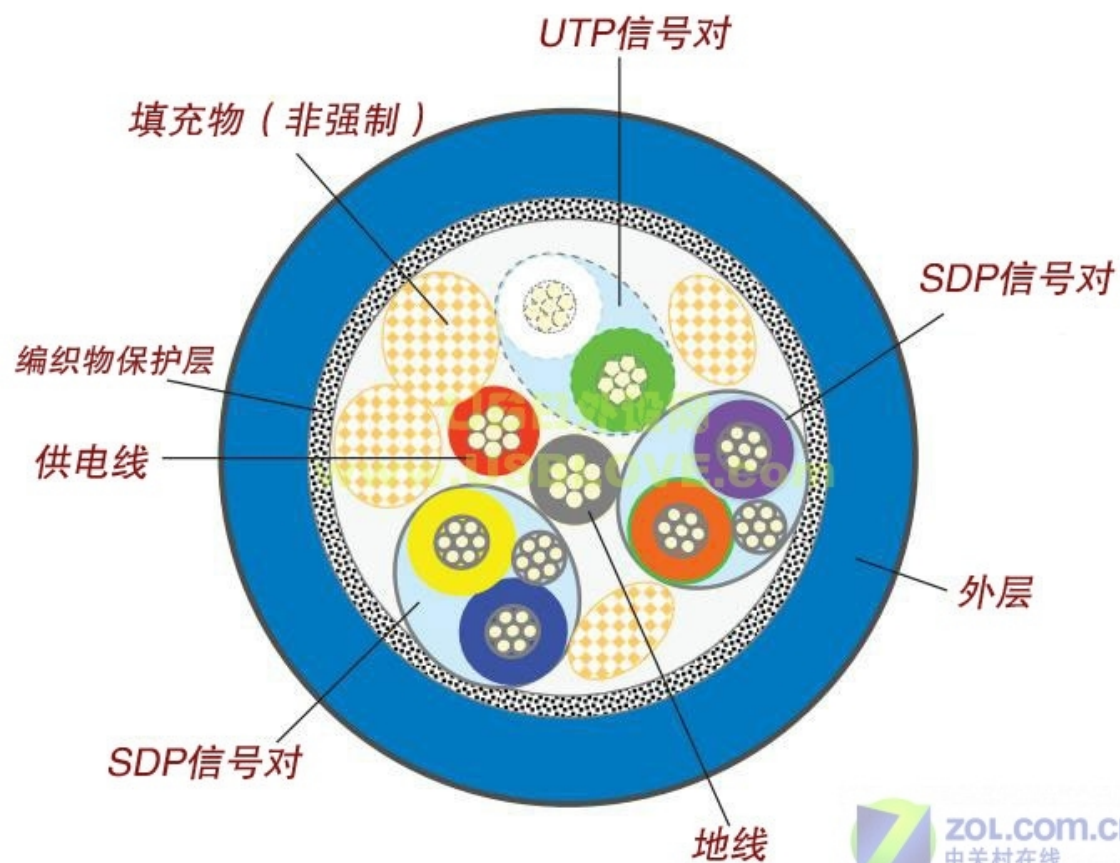
#### USB 3.0简要规范如下：

- 提供了更高的每秒**4.8Gb**传输速度
- 对需要更大电力支持的设备提供了更好的支撑，最大化了总线的电力供应
- 增加了新的电源管理职能
- 全双工数据通信，提供了更快的传输速度
- 向下兼容**USB 2.0**设备



### 3. USB（通用串行总线）

#### USB 3.0电缆剖面：







## 4. CAN总线

---

### ■ CAN总线（Controller Area Network, 控制局域网）简介

- CAN总线是德国BOSCH公司为解决现代汽车中众多的控制与测试仪器之间的数据交换而开发的一种串行数据通讯协议，
- 是交通运载工具电气系统中应用较广的总线
- 现在向过程工业，机械工业，机器人，数控机床，传感器等方面发展。
- 1993年11月，ISO正式颁布CAN为国际标准ISO11898。
- 支持CAN协议的公司有Intel、Motorola、Philips、Siemens、NEC、Honeywell等公司



## 4. CAN总线

### ■ CAN总线技术特点

- 节点不分主从，多主结构
- 节点信息可以分为多个优先级，根据实时性要求，控制信息延时，以满足要求。
- 采用载波监听多路访问、逐位仲裁的非破坏性总线仲裁技术
- 只需要报文滤波即可实现点对点、一点对多点及全局广播等几种方式传输接收数据，无须专门调度。

#### CAN & RS485

##### 共同点：

节点不分主从，多主结构

距离远，CAN 10km，485 1km

速率低，CAN 1Mb/s，485 2Mb/s

##### 不同点：

CAN可分多个优先级，控制时延

CAN可分频复用，485需分时复用

CAN又出错检测、标定、自检

CAN节点在严重出错时刻自动关闭输出



## 4. CAN总线

---

- **CAN总线直接通讯距离最远可达10km（速率5kb/s以下），通信速率最高可达1Mb/s（通讯距离最大为40m）。**
- **CAN总线节点数决定于总线驱动电路，目前可达110个。**
- **CAN节点中均设有出错检测、标定和自检的强有力措施，出错率低**
- **CAN节点在错误严重的情况下具有自动关闭输出的功能，使总线上其他节点运行不受影响**



## 4. CAN总线

### ■ 基于**CAN**的汽车控制网络——**SAE J1939**

ISO模型

应用层
表达层
会话层
传输层
网络层
数据链路层
物理层

CAN

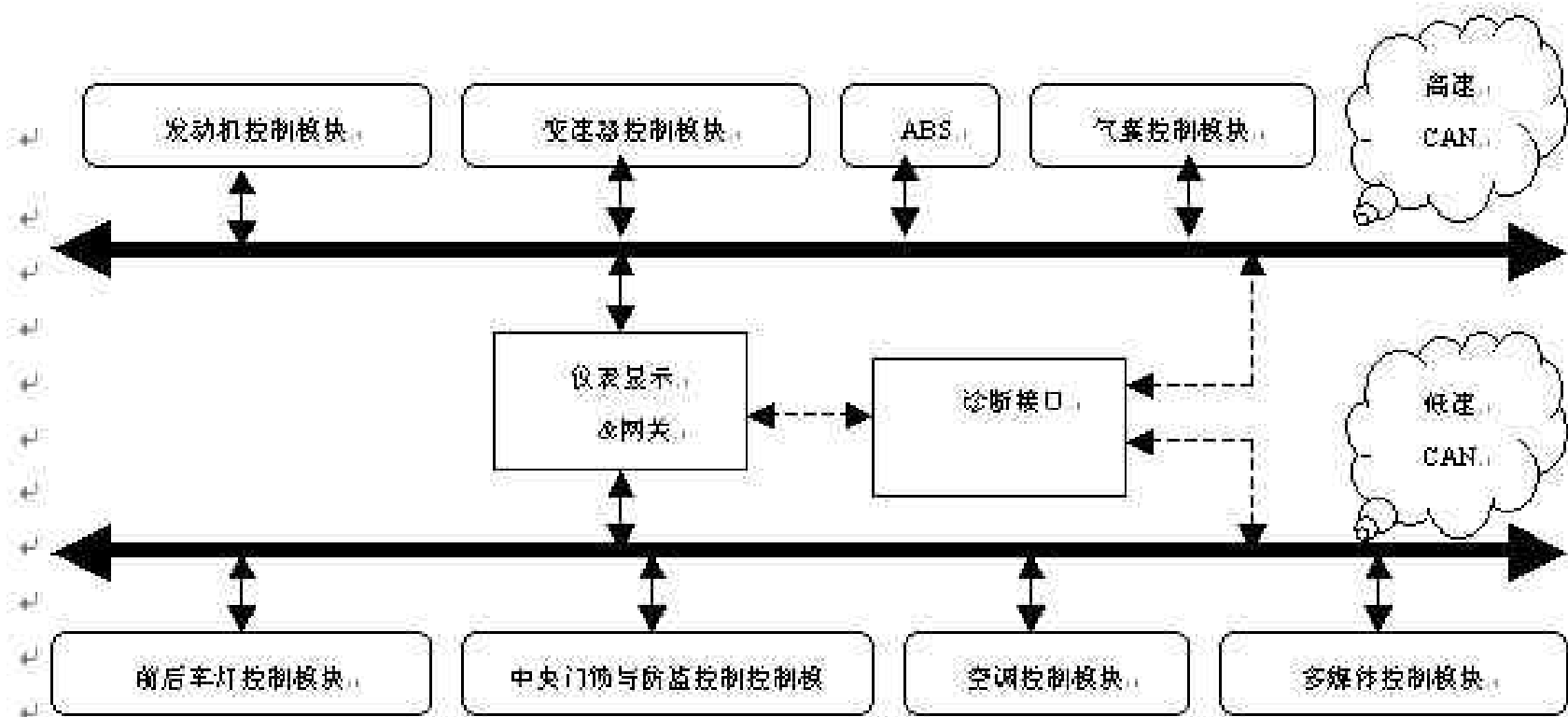
数据链路层
物理层

SAE J1939

应用层
网络层
数据链路层
物理层

## 4. CAN总线

### CAN总线在汽车上的应用方案

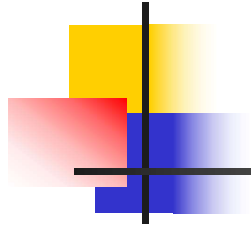




## 参考资料

---

- 1、《现代测控技术及应用》吴国庆等 电子工业出版社
- 2、《微机总线规范》刘显庆等 机械工业出版社
- 3、《计算机和测控系统总线手册》杨廷善等 人民邮电出版社
- 4、《现场总线技术及其应用》阳宪惠主编 清华大学出版社



## 课后作业

---

- 1、仪器标准总线有哪几种？各有什么优缺点？仪器总线的典型特征是什么？
- 2、用于仪器的“扩展计算机总线”与“仪器标准总线”有什么不同？
- 3、简述**RS-232**接口和**RS-485**接口的标准规范。
- 4、从现场总线的角度分析**RS-485**总线和**CAN**总线的共同点和区别。