

自动控制实践I

# 绪论

哈尔滨工业大学空间控制与惯性技术研究中心 解伟男

# 目 录

## 0 课程简介

## 1 为什么要学习这门课程

1.1 自动控制系统

1.2 自动控制元件

1.3 自动控制系统的性能指标

1.4 自动控制系统举例

## 2 控制系统接口

# 0 课程简介

## ○ 培养方案改革

- n 培养目标：培养具备宽厚的基础知识、扎实的专业技能，具备解决复杂工程问题的能力，胜任跨学科、跨行业、跨文化的沟通协作，在网络和智能时代能够引领自动化及相关领域发展的杰出人才

## ○ 培养方案修订思路

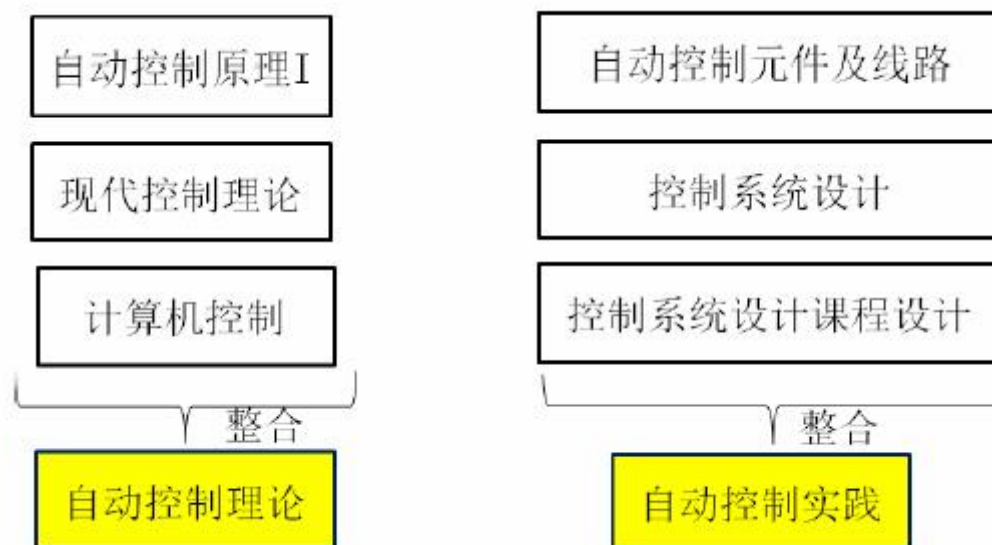
- n 延续以往重数理的培养模式，加大通识教育力度
- n 专业基础课去陈旧内容，注重实用性培养
- n 打造大学分整合的专业核心课
- n 建立支撑本专业的多学科领域培养体系，扩展学生的知识面和水平

# 0 课程简介

## ○ 专业核心课

n 《自动控制理论》与《自动控制实践》

n 基础知识运用及实践能力



# 0 课程简介

## ○ 自动控制实践

### n 课程改革目的

提升学习兴趣，培养自学能力

提升动手能力，学以致用

提升分析问题、解决问题的能力

### n 课程改革内容(元件部分)

引入新元件+重视元件的使用

小班授课，提升教学质量

改实验为实践，提升动手能力

### n 存在的问题

与《自动控制原理》和《数字电路》同步开设

# 0 课程简介

## o 教材

n 《自动控制元件及线路》(第五版), 科学出版社; (主教材)



# 0 课程简介

## ○ 课程考核方式

考核环节	考核与评价细则
平时成绩	(1) 课堂点名 (2) 作业
实践	(1) 按要求完成多个实践环节； (2) 由实验指导教师根据实验环节的完成情况、设计开发软硬件工具的使用情况、现场提问问题的回答情况以及实验报告的撰写情况给出成绩。
期末考试	填空、选择、分析、简答、计算

# 0 课程简介

## ○ 课程安排

### n 绪论

课程简介；控制系统基本组成；控制系统的性能指标；控制系统接口。

### n 基本知识

控制系统基本磁常识；控制系统基本电常识。

### n 执行元件

直流电机及驱动；变压器；异步电动机；步进电动机；小功率永磁同步电动机；永磁无刷电动机与永磁交流伺服电动机；特种电机；液压马达和伺服阀。

### n 测量元件

测量元件概述；旋转变压器和感应同步器；编码器与光栅；测速原理；电压与电流传感器；航天用传感器。



# 0 课程简介

---

## ○ 实践安排

- n 直流电机驱动实践
- n 编码器处理与信号读取实践
- n 直流电机特性测试实践

## ○ 实践与以往实验不同

- n 一个人一组
- n 每个人都需要动手实践
- n 不一定每个人都能完成实践所要求内容

# 1.1 自动控制系统

## ○ 什么是控制(Control)

- n 控制：掌握住对象不使任意活动或超出范围；或使其按控制者的意愿活动。
- n 控制：主体按照给定的条件和目标，对客体施加影响的过程和行为。即：主体对客体施加影响，以按照希望的方式保持和改变装置或体系内的变量。
- n 控制的要素：主体，客体，目标，手段。



# 1.1 自动控制系统

## ○ 自动控制

- n 在人不直接参与的情况下，利用自动控制装置使工作机械或生产过程自动地按照预定规律运行，或使被控量（工作机械或过程的某个物理参数）按预定的要求变化。

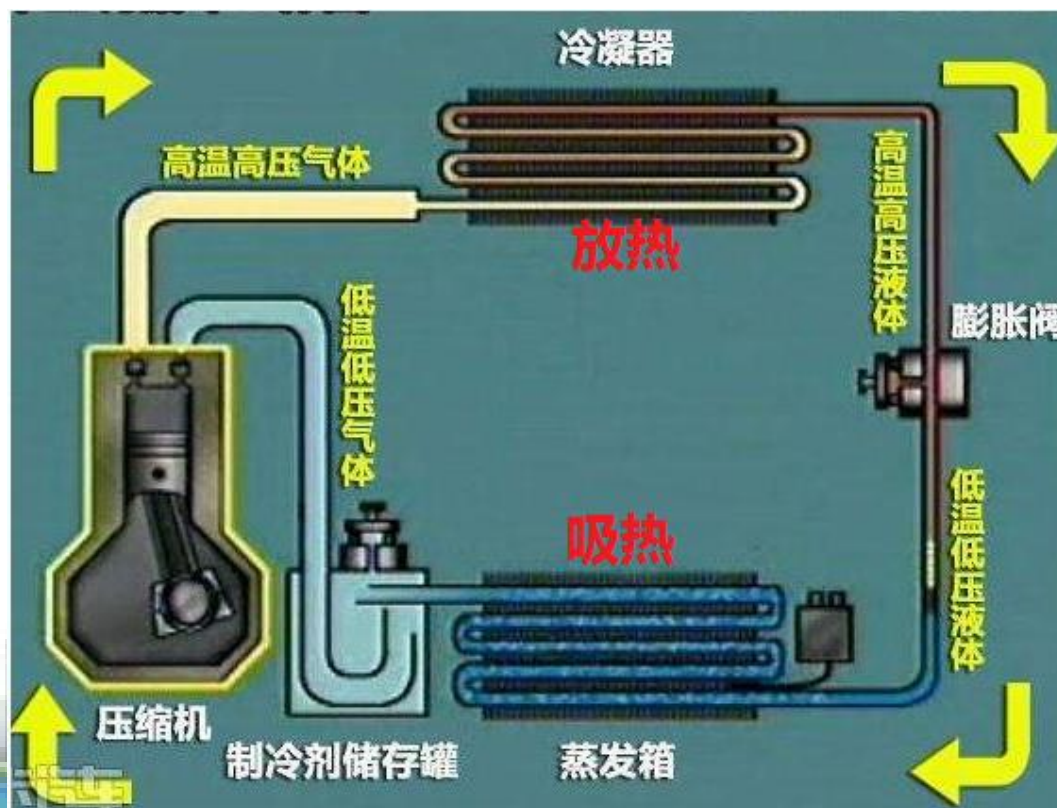
## ○ 自动控制系统

- n 由自动控制装置与被控对象以一定结构组成的、能完成某种控制任务的有机整体。

# 1.1 自动控制系统

## ○ 控制系统举例

n 生活中的控制系统：风扇、空调、冰箱、洗衣机等



**制冷剂：**由气态变为液态时，释放大量的热量。而由液态转变为气态时，会吸收大量的热量。

**压缩机：**将气态的制冷剂压缩为高温高压的气态制冷剂，然后送到冷凝器散热后成为高(常)温高压的液态制冷剂

**膨胀阀：**高温高压液体制冷剂经过膨胀阀后成为低温低压的雾状液态制冷剂

**蒸发箱：**由于制冷剂从毛细管到达蒸发箱后空间突然增大，压力减小，液态的制冷剂就会汽化，变成气态低温的制冷剂，从而吸收大量的热量

# 1.1 自动控制系统

## ○ 控制系统举例

n 鱼缸中的控制系统：元素控制、温度控制

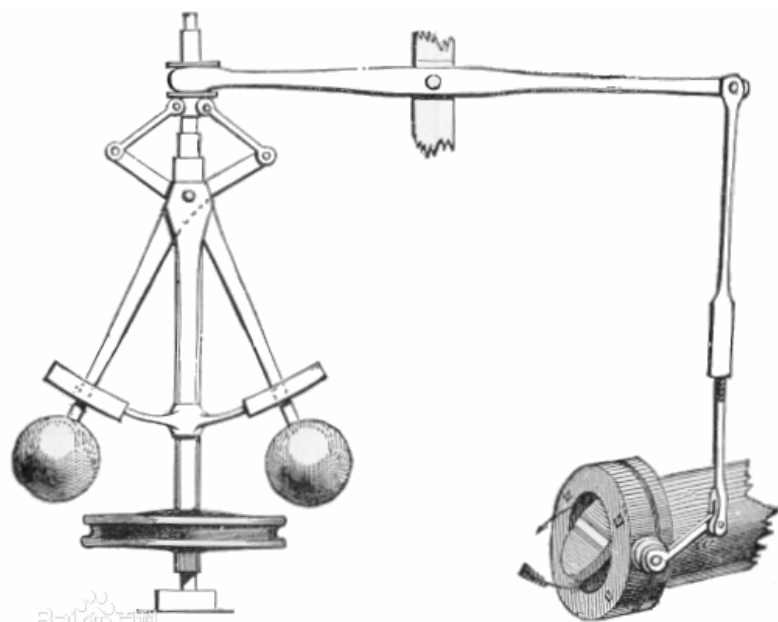




# 1.1 自动控制系统

## ○ 控制系统举例

### n 工业中的控制系统：飞球调速器



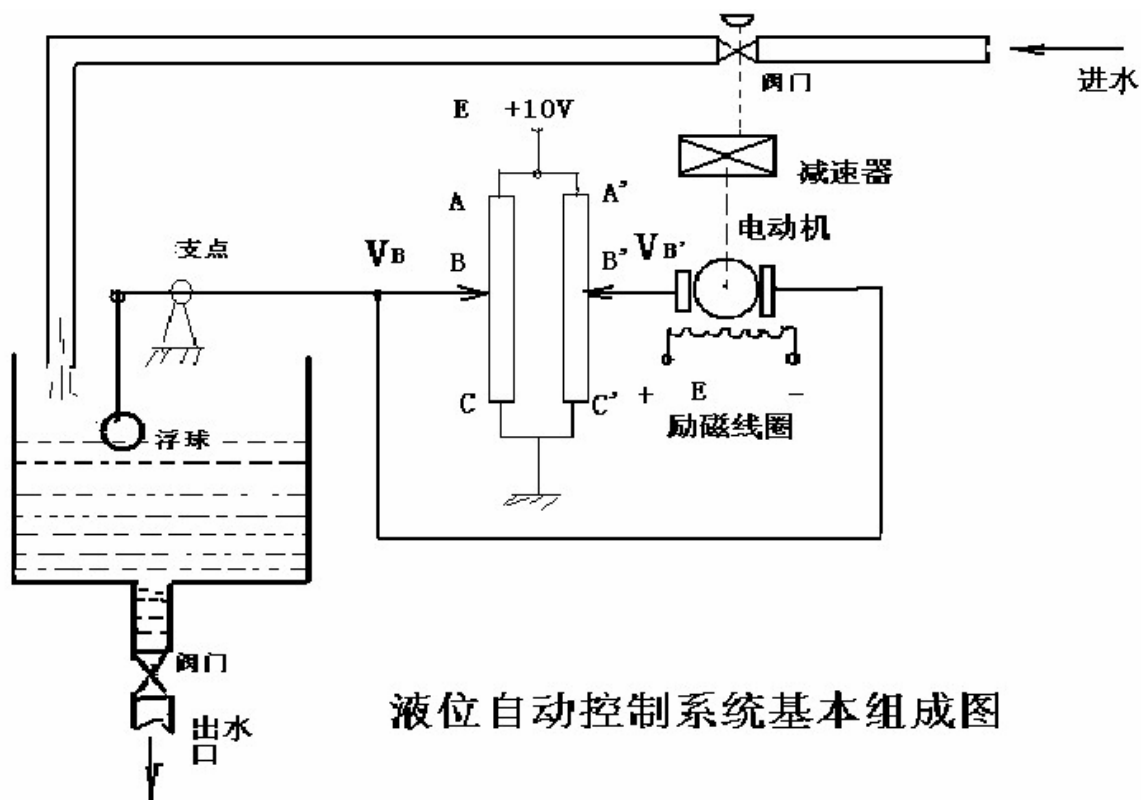
自动化技术的广泛应用开始于欧洲的工业革命时期。英国人瓦特在发明蒸汽机的同时，应用反馈原理，于**1788**年发明了飞球调速器。

在飞球调速器中有二颗重球锥摆，其旋转速度和蒸汽机相同。当蒸汽机的速度提高时，重球因离心力移到较高位置，因此会带动机构，关闭蒸汽机进气阀门，使得蒸汽机速度会下降，当蒸汽机速度过低时，重球会移到较低位置，再开启蒸汽机进气阀门。依此原理即可将蒸汽机的速度控制在一定范围内。

# 1.1 自动控制系统

## ○ 控制系统举例

### n 工业中的控制系统：液位控制系统

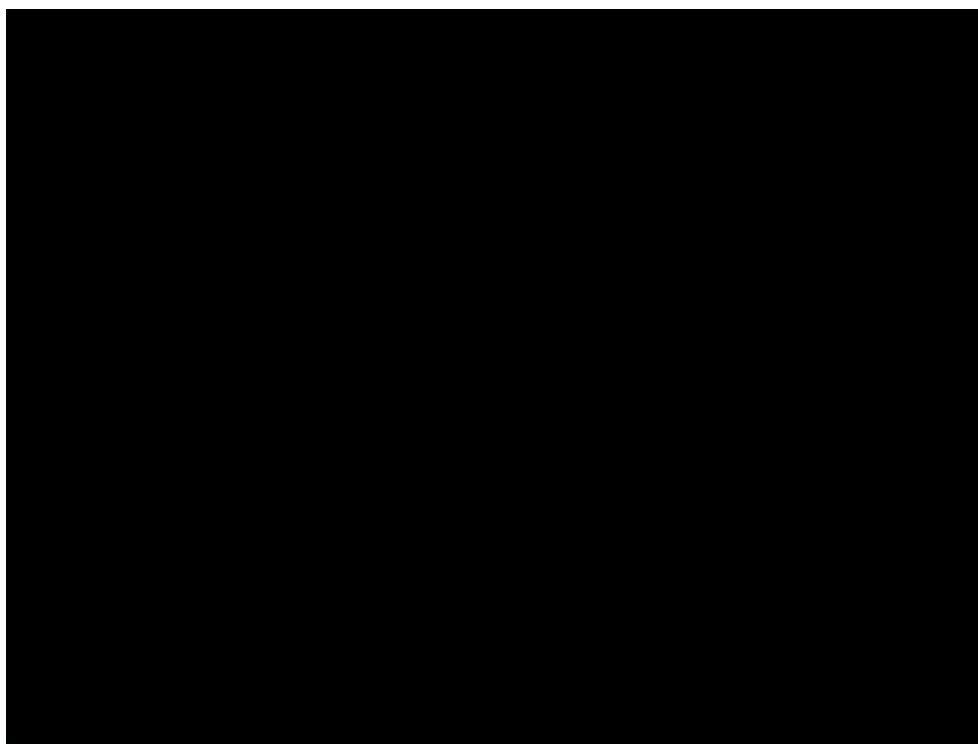


液位自动控制系统基本组成图

# 1.1 自动控制系统

## ○ 控制系统举例

n 工业中的控制系统：机器人

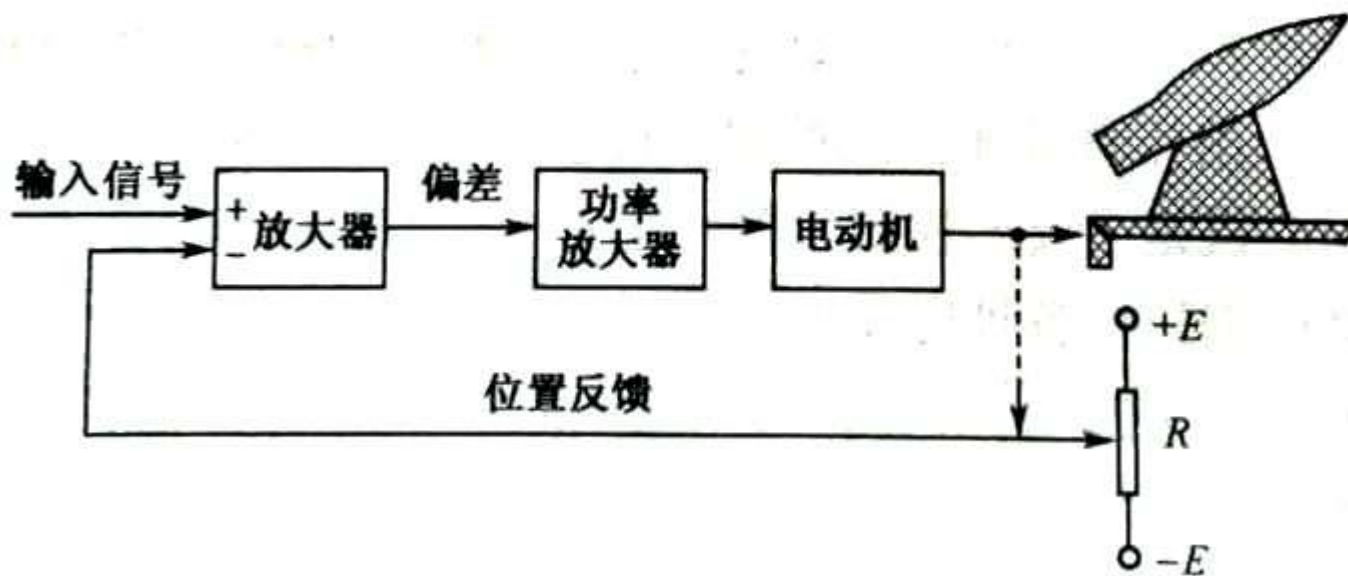




# 1.1 自动控制系统

## ○ 控制系统举例

n 国防中的控制系统：导弹发射架控制系统、制导炸弹



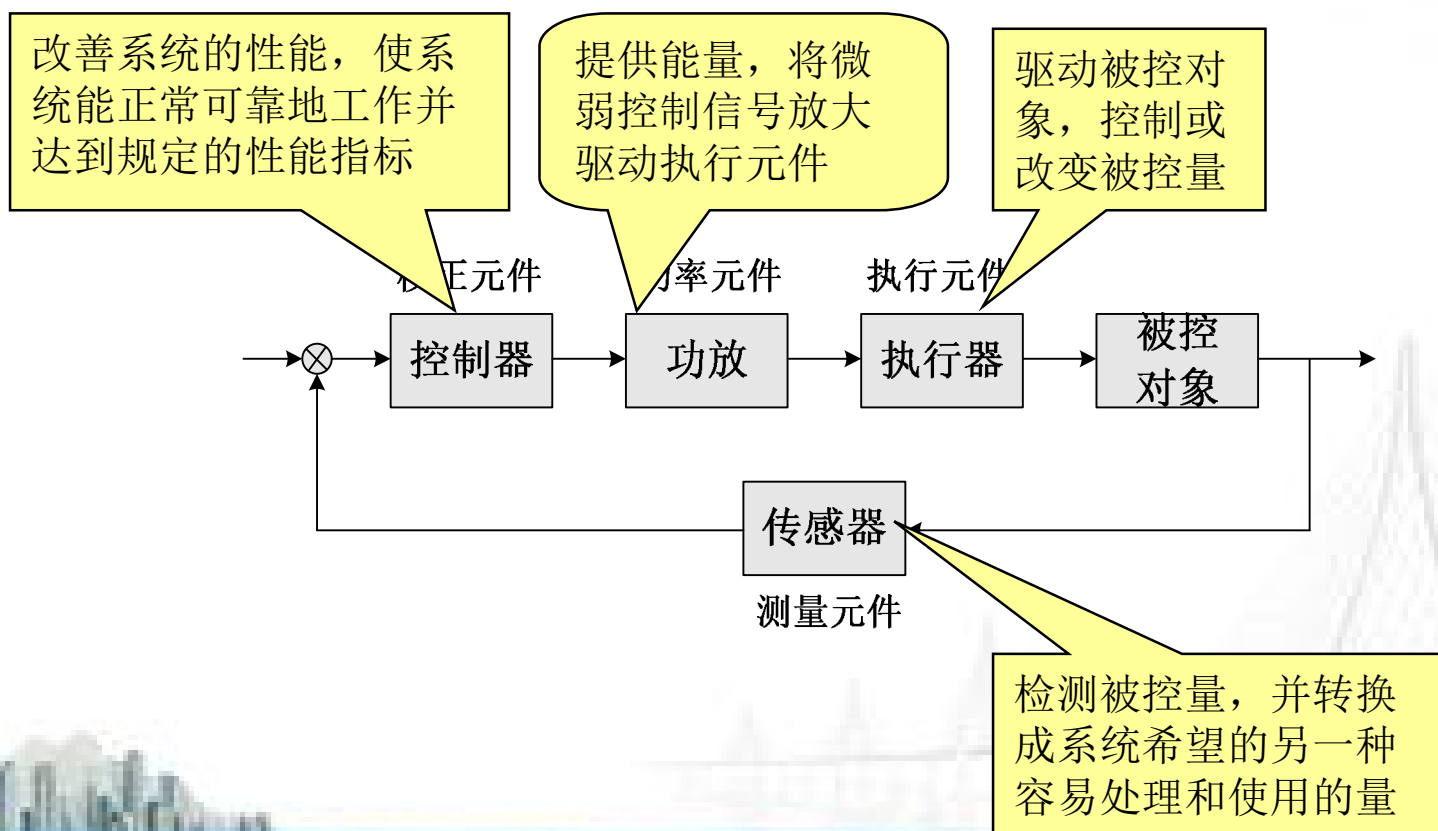
# 1.1 自动控制系统

## ○ 控制系统举例

- n 社会中的控制系统：人口控制
- n 1969年中国人口突破了8亿。从六十年代开始人口与经济、社会、资源、环境之间的矛盾逐渐显露出来
- n 1971年~1979年全面推行“晚、稀、少”政策
- n 1980年~1984年全面推行“一胎化”政策
- n 1984年~2013年农村“一孩半”，城市“一胎化”
- n 2013年中国老人数量达到2亿
- n 2013年~2015年单独二孩政策
- n 2016年全面二孩政策

## 1.2 自动控制元件

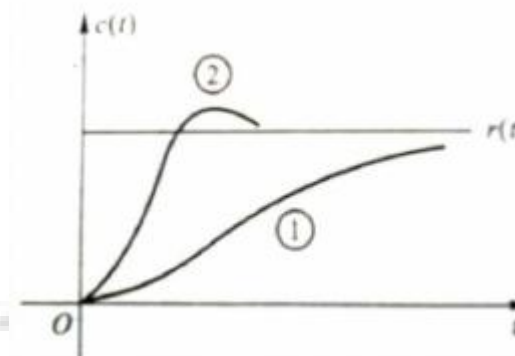
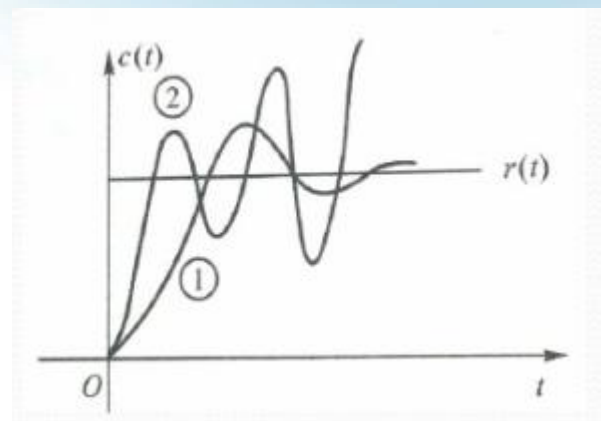
### ○ 控制系统中的元件



## 1.3 自动控制系统的性能指标

### ○ 控制系统的基本要求

- n 稳定性：系统在受到外作用后，若控制装置能操纵被控对象，使其被控量随着时间的增长而最终与给定期望一致，则称系统是稳定的
- n 快速性：快速性是指系统的动态过程进行的时间长短
- n 准确性：是指系统在动态过程结束后，其被控量对给定值的偏差，这一偏差即为稳态误差，它是衡量系统稳态精度的指标，反映了动态过程后期的性能



## 1.3 自动控制系统的性能指标

### ○ 控制系统的综合指标要求

- n 控制系统必须是稳定的
- n 静态指标：被控量变化范围，被控量测量分辨力，被控量的控制精度，被控量最大变化速度，被控量最大变化加速度
- n 动态指标：速率平稳性，超调，带宽，正弦信号跟踪指标
- n 其他指标：稳定裕度，抗干扰能力，能量最优，时间最优

## 1.3 自动控制系统的性能指标

### ○ 控制系统对控制元件的要求

#### n 对执行元件的要求：

- 1 足够大的功率及力或力矩
- 2 有准确的静特性
- 3 有快速响应的动特性
- 4 使用环境要求：温度、湿度、化学度、冲击振动等
- 5 其他要求：价格、可靠性、维护性

#### n 对功率放大元件的要求：

- 1 能够输出足够的电压、电流(功率)
- 2 输出信号失真小，或称输出线性度好
- 3 具备可靠的安全保证功能
- 4 运行中具有良好的效率

## 1.3 自动控制系统的性能指标

### ○ 控制系统对控制元件的要求

#### n 对测量元件的要求：

- 1 静特性要求：分辨力、精度、量程
- 2 动特性要求：延迟小、响应快、有足够的更新频率
- 3 使用环境要求：温度、湿度、化学度、冲击振动等
- 4 接口：信号形式、外形尺寸
- 5 其他要求：价格、可靠性、维护性

## 1.4 多旋翼无人机控制系统

○ 无人机（UAV—Unmanned Aerial Vehicle）

n 主要分为三类：

n 固定翼（fixed wing）

n 直升机（helicopter）

n 多旋翼（multi-rotor）



目前主流为：四旋翼无人机（quadcopter）



晓



御



悟



精灵



## 1.4 多旋翼无人机控制系统

### ○ 无人机特点

飞行器分类	固定翼	直升机	多旋翼
稳定性	自稳定	不稳定，完整驱动	不稳定，欠驱动
续航时间	长	中	短
飞行效率	高	中	低
载荷	大	中	小
其他	起飞助跑，降落滑行	可垂直起降，机械结构复杂	可垂直起降，机械结构简单

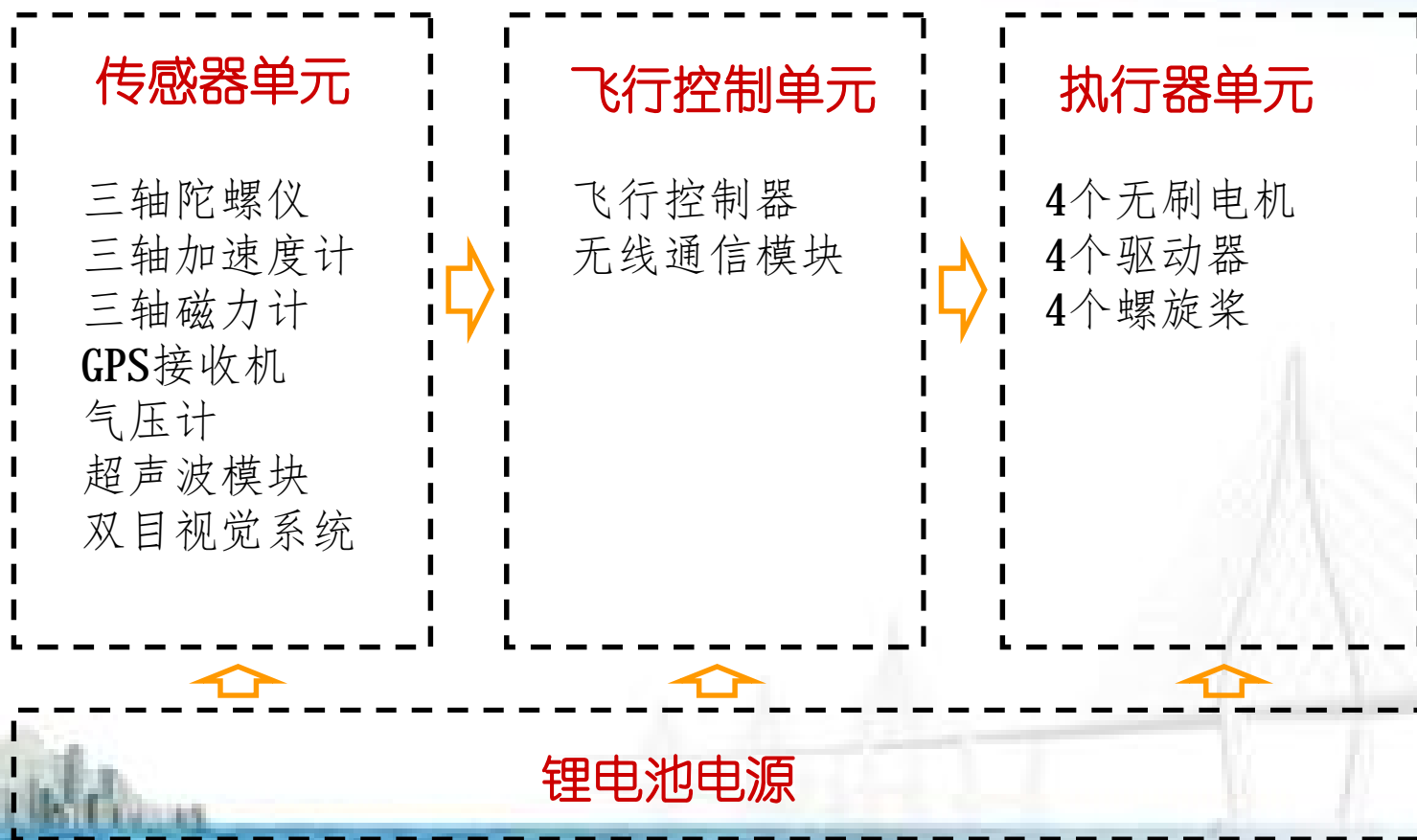
**固定翼**不需怎么控制就能抵抗气流干扰保持稳定。且任何姿态下可调整到任意姿态且保持住。

**直升机**如不施加控制，气流吹过就可能发生侧翻。但可自由调整姿态。主要鉴于直升机的桨面不但可产生相对机身向上的推力，也可产生向下的推力。

**多旋翼**如不施加控制，气流吹过就可能发生侧翻。不可自由调整姿态，它的桨只能产生相对机身向上的升力，不能产生相对向下的推力，飞行器侧翻后基本没办法控制回来。

## 1.4 多旋翼无人机控制系统

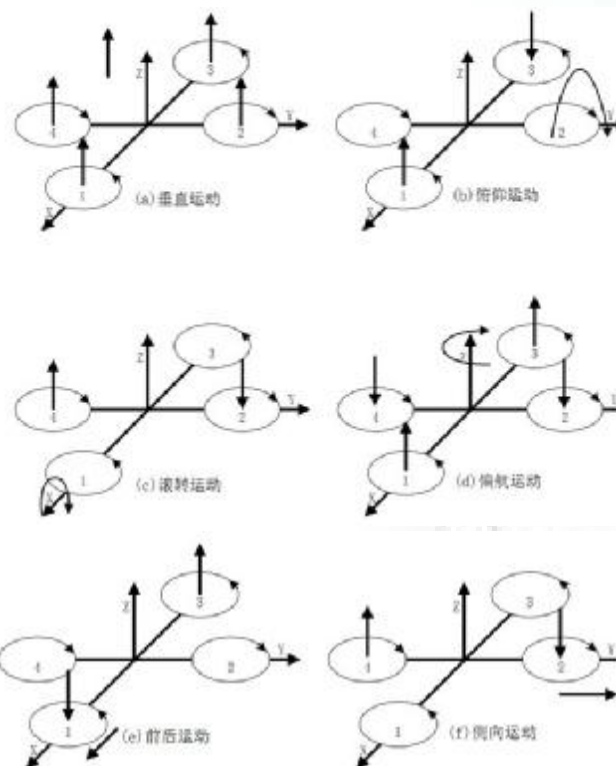
### ○ 四旋翼无人机的结构组成



## 1.4 多旋翼无人机控制系统

### ○ 四旋翼无人机被控对象

- A) 垂直运动-1,2,3,4加速;
- B) 俯仰运动-1加速,3减速;
- C) 滚转运动-4加速,2减速;
- D) 偏航运动-1,3加速,2,4减速;
- E) 前后运动-同俯仰;
- F) 左右运动-同滚转。



## 1.4 多旋翼无人机控制系统

### ○ 四旋翼无人机传感器单元组成

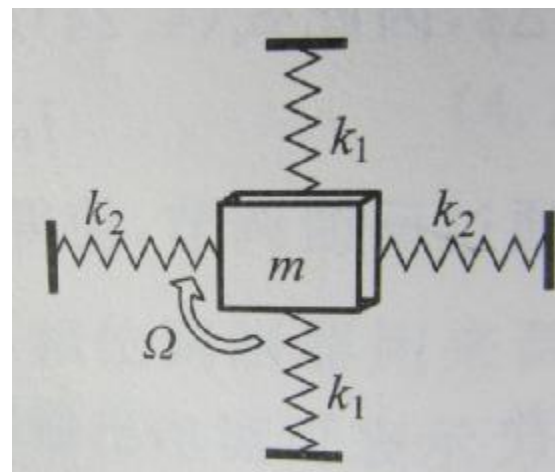
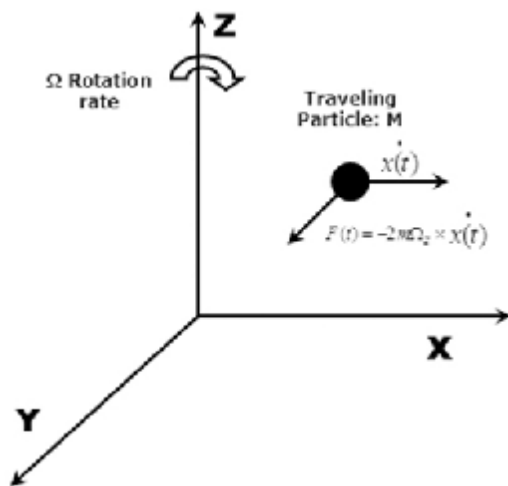
传感器类型	数量	使用场景	三维位置	三维速度	三维加速度	三维角度	三维角速度
GPS 接收机	1	室外	是	是			
惯性测量元件	2 (冗余设计)	室内/室外		是	是	是	是
气压计	1	室内/室外	仅一维位置	仅一维速度	仅一维加速度		
地磁指南针	2 (冗余设计)	室内/室外	辅助 GPS			是	
超声波模块	1	室内/室外	仅一维位置	仅一维速度			
双目立体视觉系统	2	光照条件较好	是	是		是	

## 1.4 多旋翼无人机控制系统

### ○ 陀螺仪

功能：测量无人机机体三个角运动

MEMS陀螺仪：科氏力原理



## 1.4 多旋翼无人机控制系统

### ○ 加速度计

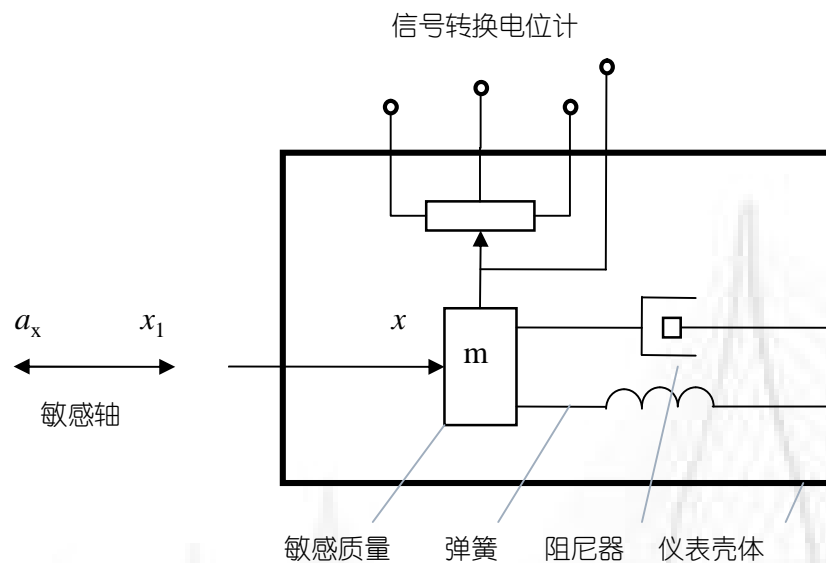
功能：测量无人机机体三个质心运动

原理：牛顿第二定律

### MEMS加速度计



MS9000 MEMS加速度计

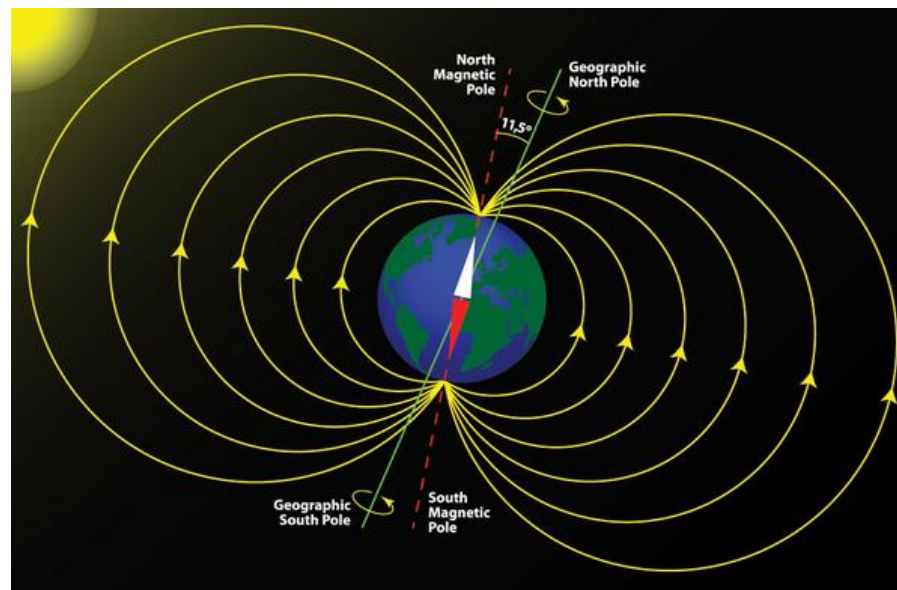


## 1.4 多旋翼无人机控制系统

### ○ 磁强计

功能：测量无人机航向的传感器

磁力计能够敏感地球表面空间中横贯南北的地磁线，可以测量出自身位置的地磁场强度，从而获取相对于地磁线的偏转角。缺点是地磁线的强度非常弱，很容易受到干扰。





## 1.4 多旋翼无人机控制系统

### ○ 全球定位系统（GPS-Global Positioning System）

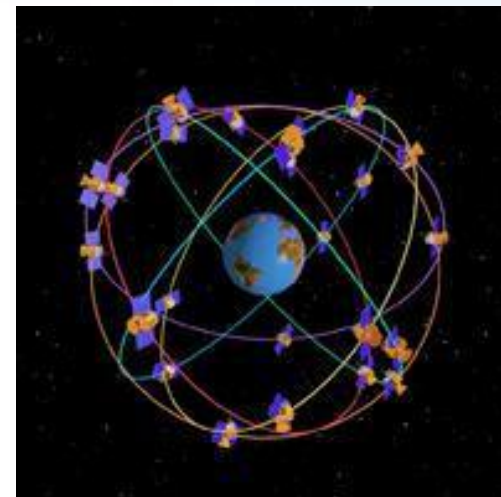
全球导航卫星系统（GNSS）

（1）美国全球定位系统（GPS）。由24颗卫星组成，分布在6条交点互隔60度的轨道面上，精度约为10米，军民两用；

（2）俄罗斯“[格洛纳斯](#)”系统（GLONASS）。由24颗卫星组成，精度在10米左右，军民两用；

（3）欧洲“[伽利略](#)”系统（GALILEO）。由30颗卫星组成，定位误差不超过1米，主要为民用。

（4）中国“[北斗](#)”系统。由5颗静止轨道卫星和30颗非静止轨道卫星组成。“北斗一号”精确度在10米之内，而“北斗二号”可以精确到“厘米”之内。





## 1.4 多旋翼无人机控制系统

### ○ 全球定位系统（GPS-Global Positioning System）

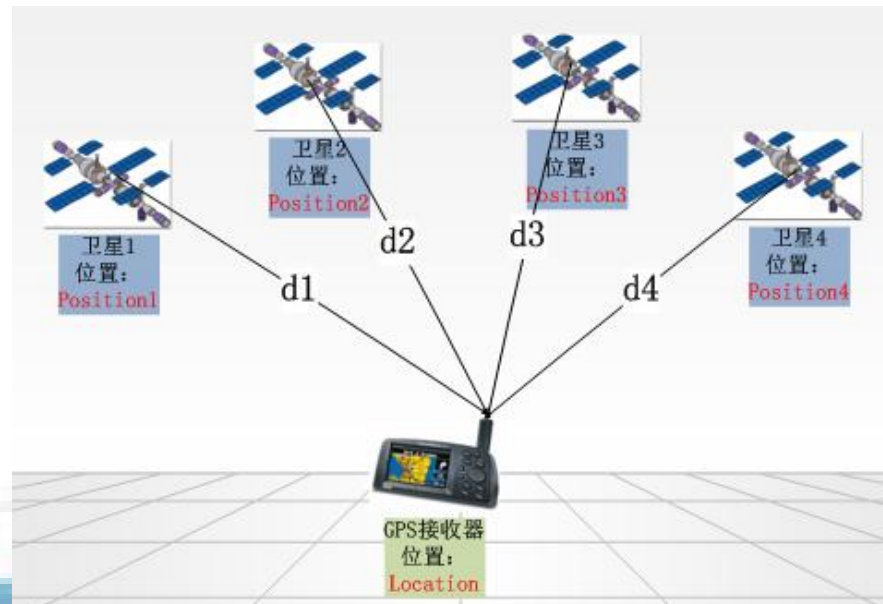
**GPS原理：**测量出已知位置的卫星到用户接收机之间的距离，然后综合多颗卫星的数据就可知道接收机的具体位置。

**卫星的位置：**根据星载时钟所记录的时间在卫星星历中查出。

**距离：**通过纪录卫星信号传播到用户所经历的时间，再将其乘以光速得到。

由于时钟不同步，所以还要引进一个  $\Delta t$  即卫星与接收机之间的时间差作为未知数

$$\begin{cases} r_1 = \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} + ct_u \\ r_2 = \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + ct_u \\ r_3 = \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + ct_u \\ r_4 = \sqrt{(x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2} + ct_u \end{cases}$$

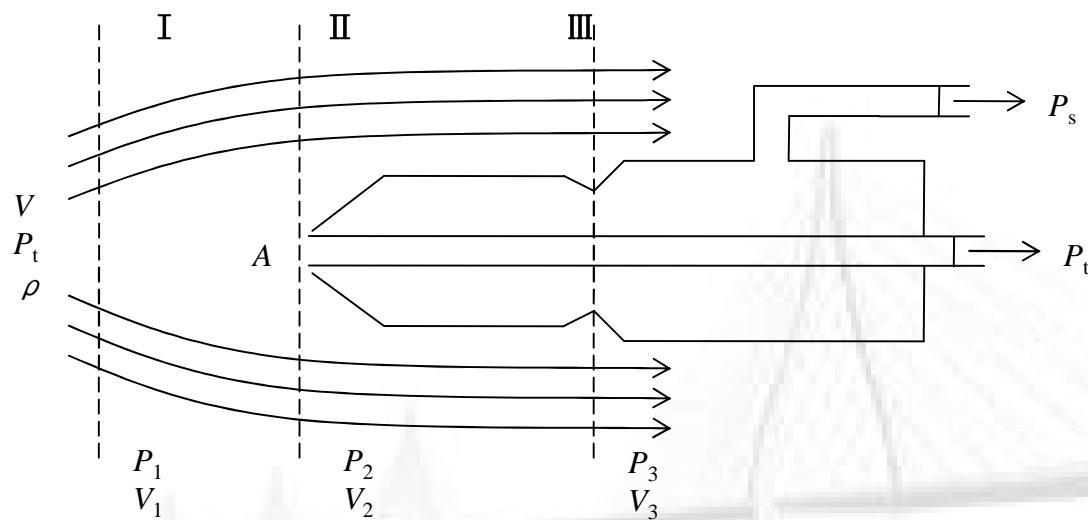


## 1.4 多旋翼无人机控制系统

### ○ 气压计

功能：测量无人机飞行高度

MS5611 (瑞士)



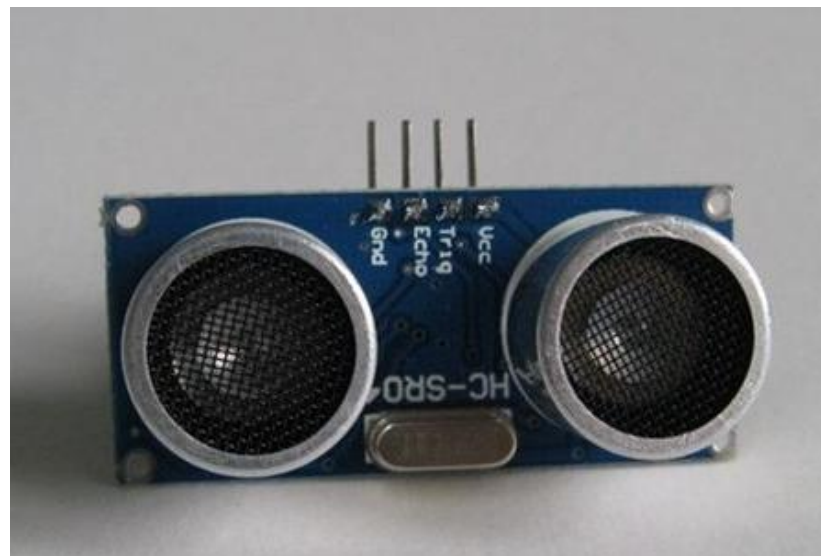
## 1.4 多旋翼无人机控制系统

### ○ 超声波模块

功能：测量无人机相对参照物距离

通常有一收一发两个探头，一个探头发发出超声波，另一个探头测量回波的时间，能够算出导致声波反弹的物体离探头的距离。

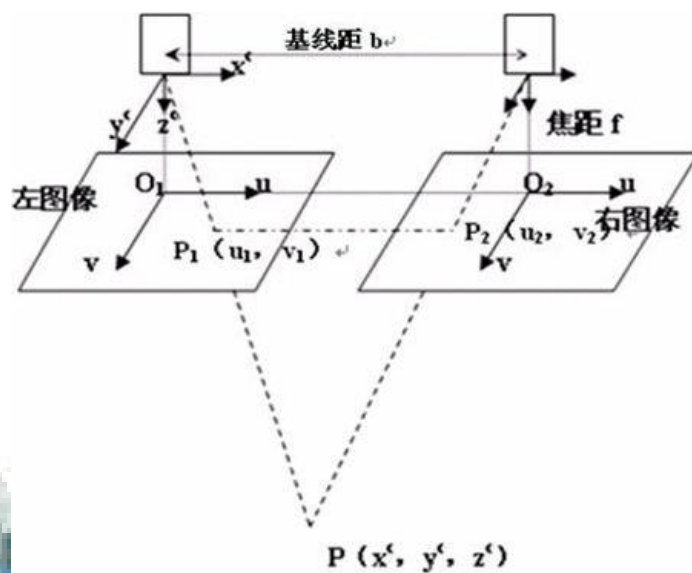
缺点：探测距离短，易受干扰。



## 1.4 多旋翼无人机控制系统

### ○ 双目视觉系统

基本原理：利用两个平行的摄像头进行拍摄，然后根据两幅图像之间的差异（视差），利用一系列复杂的算法计算出特定点的距离。



## 1.4 多旋翼无人机控制系统

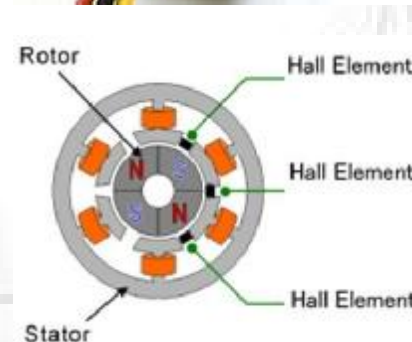
### ○ 无刷直流电机

电机速度计算公式：

$$\omega = (U_a - I_a R_a) / C_e \phi$$

其中：

- Ø  $U_a$  电枢端电压
- Ø  $I_a$  电枢电流
- Ø  $R_a$  电枢电路总电阻
- Ø  $C_e$  电机结构参数
- Ø  $\phi$  单极励磁磁通量

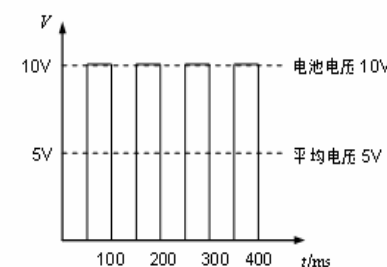
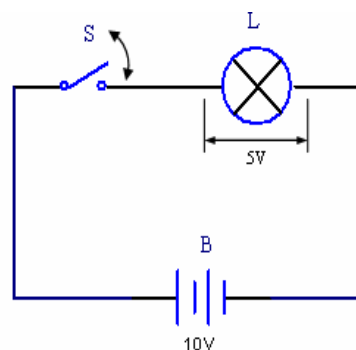
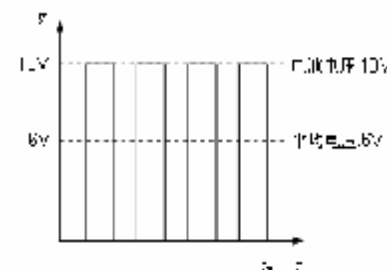
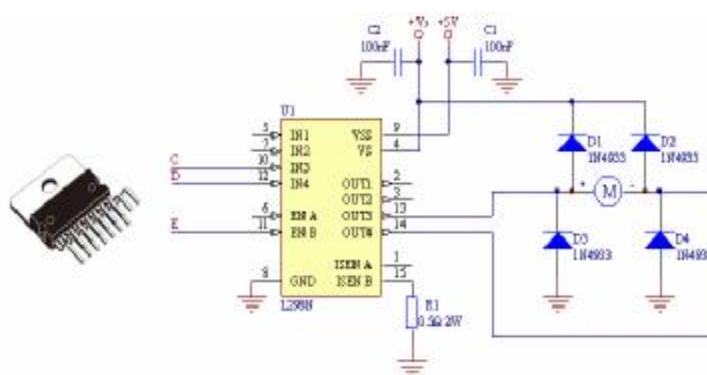


## 1.4 多旋翼无人机控制系统

### ○ 脉冲宽度调制（PWM—Pulse Width Modulation）

原理：利用脉宽调制器对晶体管开关放大器的开关时间进行控制，将直流电压转换成一定频率的矩形波电压。

电压加到直流电机的电枢两端，通过对矩形波脉冲宽度的控制，改变电枢两端的平均电压达到调节电机转速的目的。



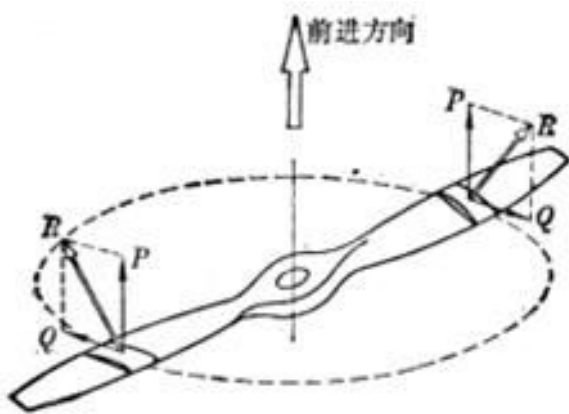


## 1.4 中心设计的自动控制系统

### 螺旋桨

功能：提供无人机气动力。

螺旋桨有正桨和反桨之分。  
逆时针旋转产生拉力的为正桨，  
顺时针旋转产生拉力的为反桨。



原理：伯努力方程  
P为升力；  
Q为阻力；  
R为气动应力。

## 2 控制系统接口

---

- RS232
- RS422
- 光纤反射内存卡
- 以太网
- 模拟信号传输



## 2.1 RS232

- RS232个人计算机上的通讯接口之一，由电子工业协会(Electronic Industries Association, EIA)所制定的异步传输标准接口
- RS-232标准(协议)的全称是EIA-RS-232C标准
  - n EIA代表美国电子工业协会
  - n RS(Recommended standard)代表推荐标准
  - n 232是标识号
  - n C代表RS232的最新一次修改(1969)，之前有RS232B和RS232A

## 2.1 RS232

### ○ RS232部分特性

- n 传输距离一般小于**15m**，传输速度一般小于**20kbps**
- n 完整的**RS-232C**接口有**22**根线，采用标准的**25**芯**DB**插头座
- n **RS-232C**采用负逻辑

### ○ RS232物理接口

- n **RS-232C**标准规定采用一个**25**个脚的**DB-25**连接器，对连接器的每个引脚的信号内容加以规定，还对各种信号的电平加以规定
- n **IBM**的**PC**机将**RS232**简化成了**DB-9**连接器，从而成为事实标准
- n 工业控制的**RS-232**口一般只使用**RXD**、**TXD**、**GND**三条线

## 2.1 RS232

### ○ DB25引脚定义

25针串口 (DB25)		
针号	功能说明	缩写
8	数据载波检测	DCD
3	接收数据	RXD
2	发送数据	TXD
20	数据终端准备	DTR
7	信号地	GND
6	数据准备好	DSR
4	请求发送	RTS
5	清除发送	CTS
22	振铃指示	DELL

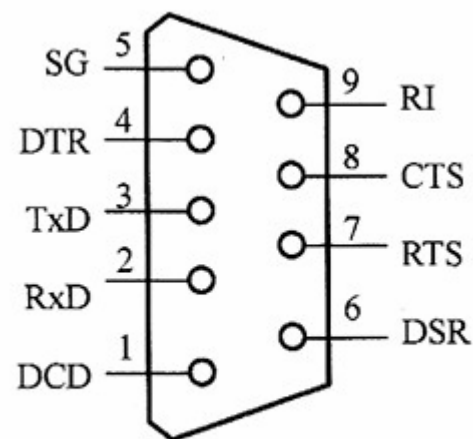
25针常用引脚



## 2.1 RS232

### ○ DB9引脚定义

9针串口 (DB9)		
针号	功能说明	缩写
1	数据载波检测	DCD
2	接收数据	RXD
3	发送数据	TXD
4	数据终端准备	DTR
5	信号地	GND
6	数据设备准备好	DSR
7	请求发送	RTS
8	清除发送	CTS
9	振铃指示	RI

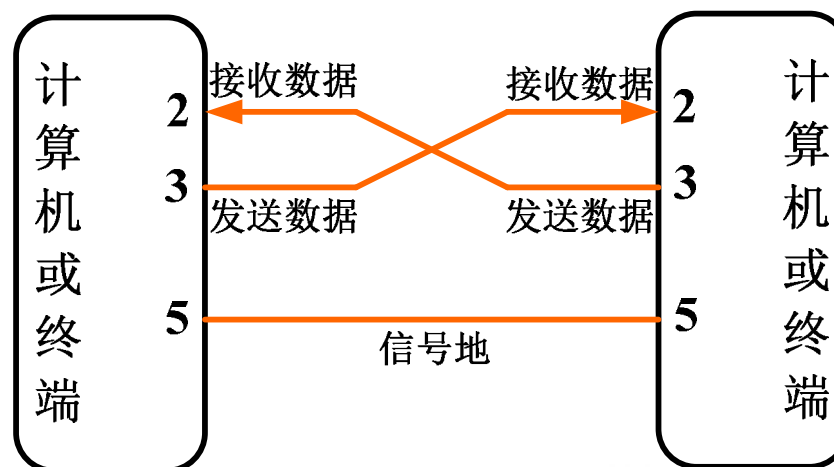


DB-9

## 2.1 RS232

### ○ RS232三线连接方式

n 工业控制的RS-232口一般只使用RXD、TXD、GND三条线



## 2.1 RS232

### ○ 异步通讯数据格式

- n 数据帧：1个起始位(低电平)，8个数据位，1个校验位，1个停止位(高电平，表示数据帧结束)
- n 数据位：低位（**LSB**）在前，高位（**MSB**）在后



## 2.1 RS232

### ○ 数据的传输率

- n 数据传输率是指单位时间内传输的信息量，可用比特率和波特率来表示
- n 比特率：比特率是指每秒传输的二进制位数，用**bps(bit/s)**表示
- n 波特率：波特率是指每秒传输的符号数，若每个符号所含的信息量为**1**比特，则波特率等于比特率。
- n 传输速度一般小于**20kbps**



## 2.1 RS232

### ○ RS232的传输长度

- n 由RS-232C标准规定在码元畸变小于4%的情况下，传输电缆长度应为50英尺。在实际应用中，约有99%的用户是按码元畸变10-20%的范围工作的。美国DEC公司曾规定允许码元畸变为10%而得出下表的实验结果。其中1号电缆为屏蔽电缆，2号电缆为不带屏蔽的电缆

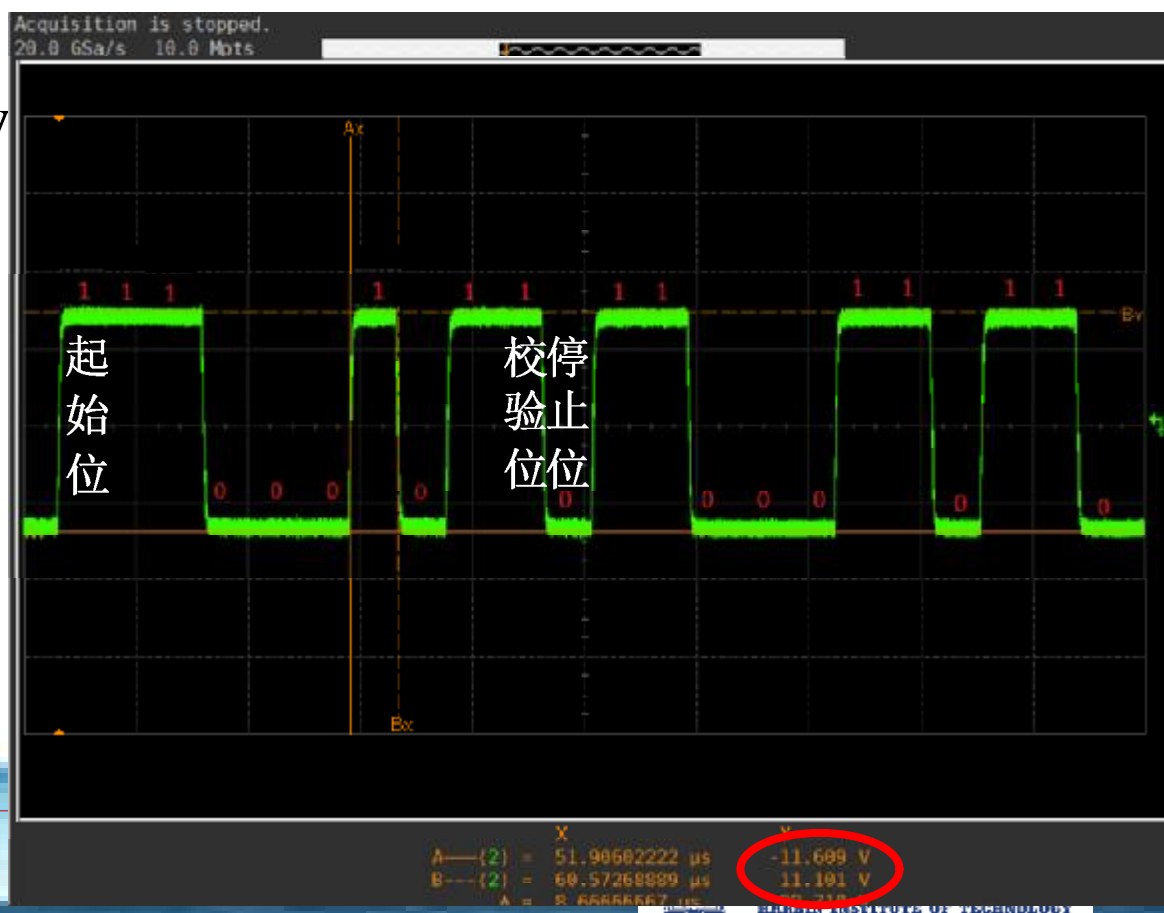
波特率	1 号电缆传输距离 (英尺)	2 号电缆传输距离 (英尺)
110	5000	3000
300	5000	3000
1200	3000	3000
2400	1000	500
4800	1000	250
9600	250	250

## 2.1 RS232

### ○ RS232电气协议

- n 在RS-232C中的任何一条信号线的电压均为负逻辑关系。
- n 逻辑1: -3V~-15V
- n 逻辑0: +3V~+15V

发送0x5C



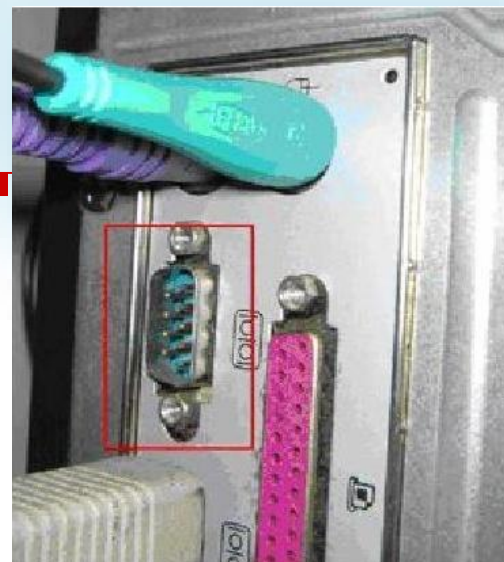
20:49:26

## 2.1 RS232

### ○ 计算机中的RS232接口

n 计算机自带RS232接口

n 串口卡



#### 串口

串口数量: 4

串口标准: RS-232

最大板载数: 4

#### 线性保护

ESD保护: 板载15 KV

#### 性能

波特率: 50 bps ~ 921.6 Kbps

#### 串口通讯参数

数据位: 5, 6, 7, 8

停止位: 1, 1.5, 2

校验位: None, Even, Odd, Space

## 2.1 RS232

### ○ RS232调试助手



## 2.1 RS232

### ○ 电平转换

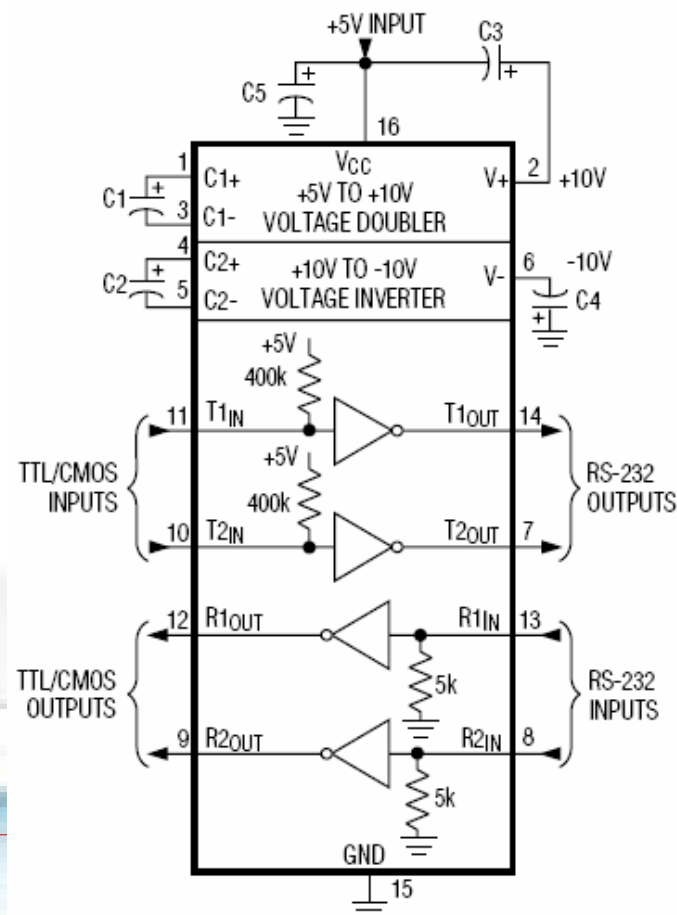
n **MAX232**芯片是美信(MAXIM)公司专为**RS-232**标准串口设计的单电源电平转换芯片

Ø 单电源5V供电

Ø 符合所有的RS-232C技术标准

Ø TTL/CMOS电平和RS232电平转换

Ø 两路输入输出



## 2.2 RS422

- RS-232C标准出现较早，难免有不足之处：
  - n 接口的信号电平值较高，易损坏接口电路的芯片，又因为与TTL电平不兼容故需使用电平转换电路方能与TTL电路连接。
  - n 传输速率较低，在异步传输时，波特率为20Kbps
  - n 接口使用一根信号线和一根信号返回线而构成共地的传输形式，这种共地传输容易产生共模干扰，所以抗噪声干扰性弱
  - n 传输距离有限，最大传输距离标准值为50英尺，实际上也只能用在15米左右。

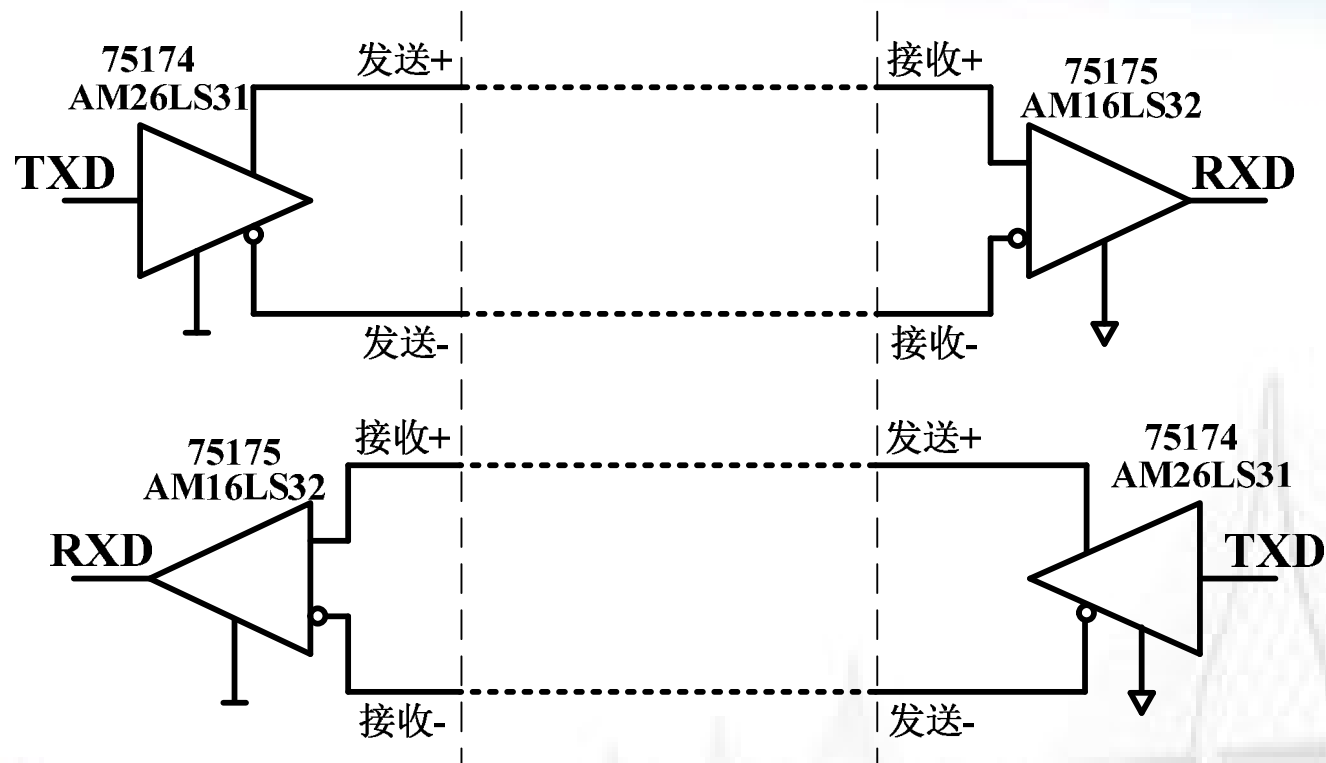
## 2.2 RS422

- **RS-422**标准全称是“平衡电压数字接口电路的电气特性”，它定义了接口电路的特性。
- 由于接收器采用高输入阻抗和发送驱动器，比**RS232**有更强的驱动能力，故允许在相同传输线上连接多个接收节点，最多可接**10**个节点。
- 一个主设备（**Master**），其余为从设备（**Slave**），从设备之间不能通信，所以**RS-422**支持点对多的双向通信。
- **RS-422**的最大传输距离约为**4000英尺**（约**1219米**），最大传输速率为**10Mb/s**。



## 2.2 RS422

- RS-422采用差动传输，能更好的抗噪声和更远的传输距离

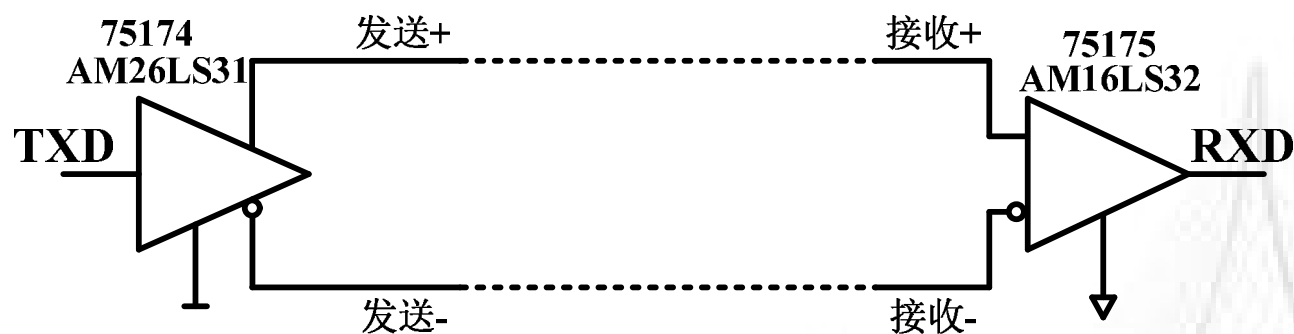


没有地信号，减小共模干扰

## 2.2 RS422

### ○ RS-422的电气标准

- n 逻辑1: A、B两根线的电压差为 $+2V \sim +6V$
- n 逻辑0: A、B两根线的电压差为 $-2V \sim -6V$



## 2.2 RS422

### ○ RS-422的物理接口

9 针串口(DB9)		
引脚	定义	说明
1	<b>TxD-</b>	发送数据-
2	<b>TxD+</b>	发送数据+
3	<b>RxD+</b>	接收数据+
4	<b>RxD-</b>	接收数据-
5	<b>GND</b>	信号地
6	<b>RTS-</b>	请求发送-
7	<b>RTS+</b>	请求发送+
8	<b>CTS+</b>	清除发送+
9	<b>CTS-</b>	清除发送-



## 2.2 RS422

### ○ 计算机中的RS422接口

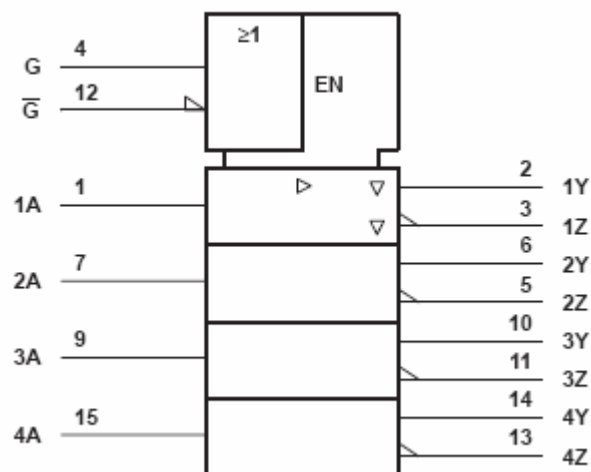
- n 工业控制计算机中有的主板带有RS422接口
- n USB转RS422
- n RS422接口卡



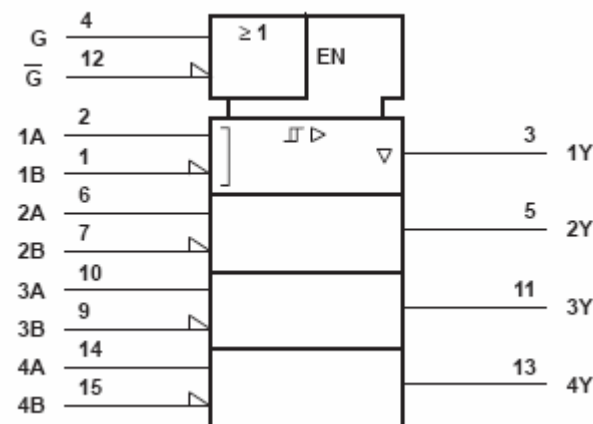
## 2.2 RS422

### ○ 电平转换

- n AM26LS31和AM26LS32芯片为四通路的TTL电平和RS422电平转换芯片



AM26LS31



AM26LS32

## 2.2 RS422

### ○ RS422的应用

#### n 光电编码器

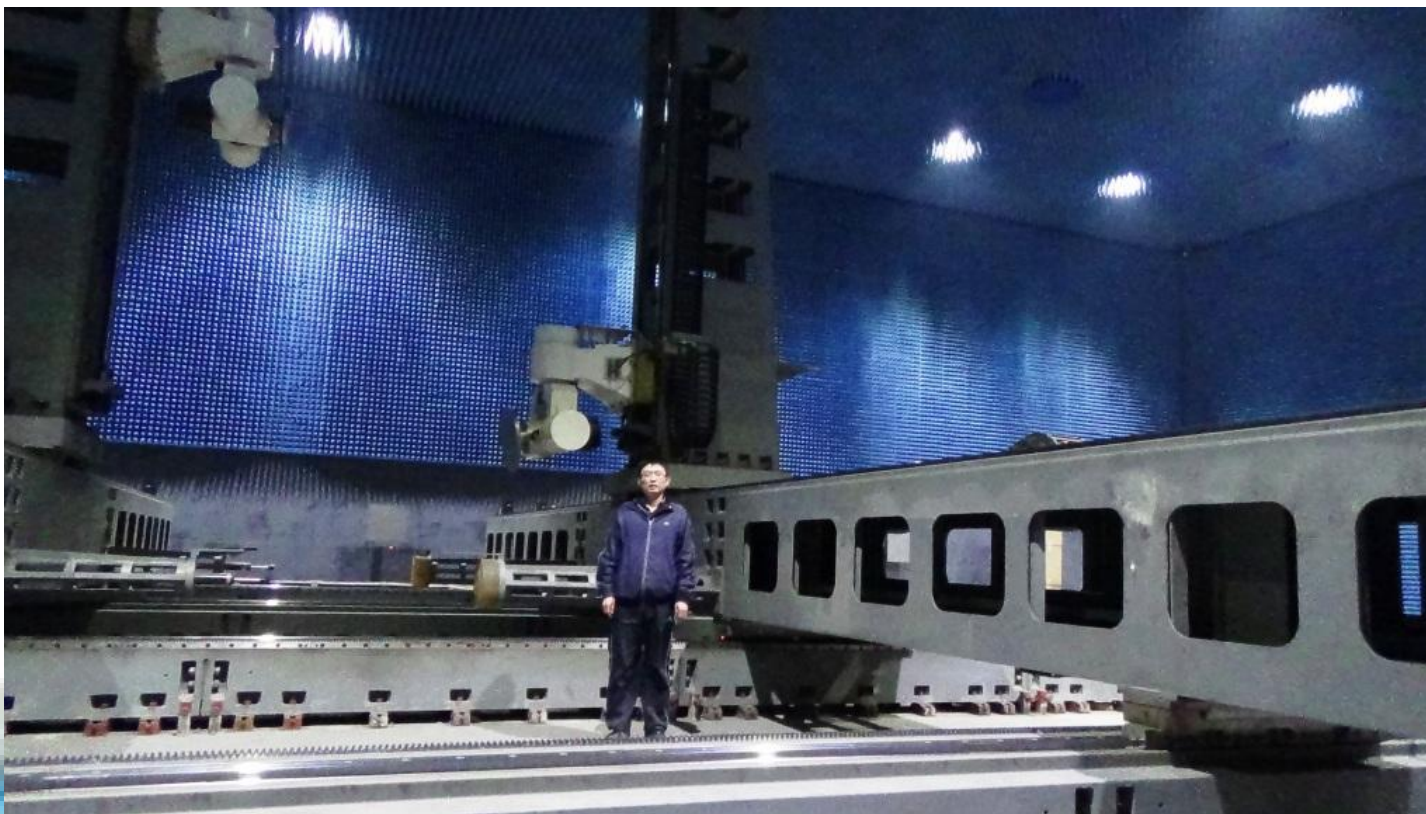
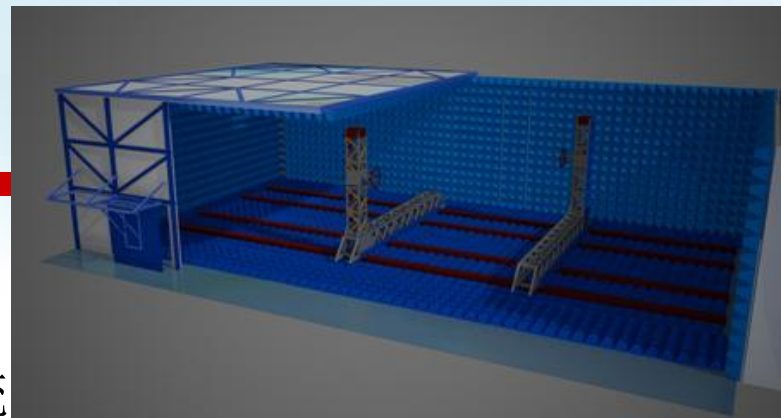




## 2.2 RS422

### ○ RS422的应用

#### n 基于雷达的相对导航试验验证系统

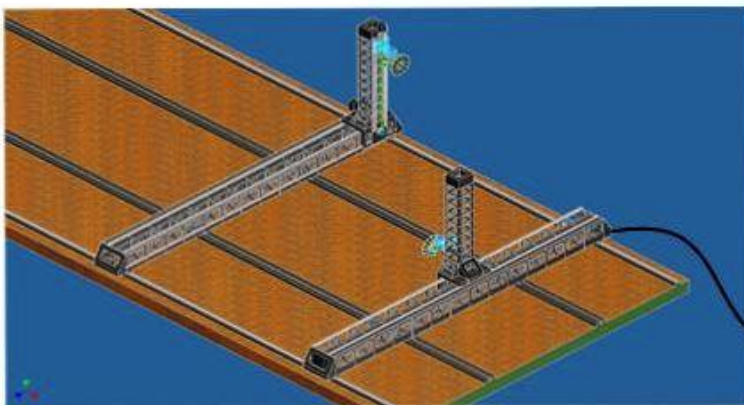




## 2.2 RS422

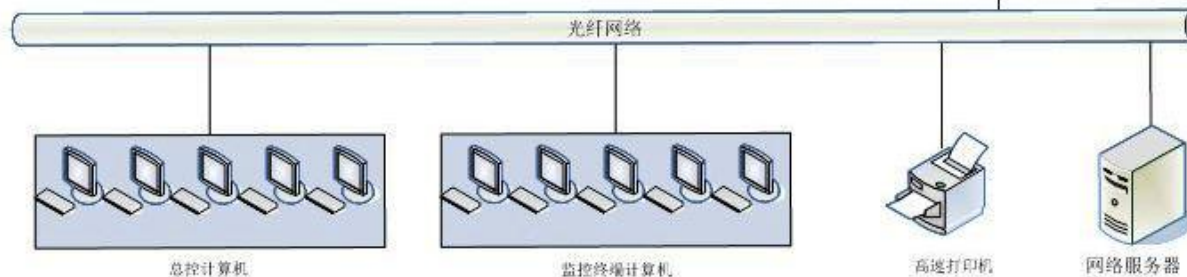
### ○ RS422的应用

#### n 基于雷达的相对导航试验验证系统



床身系统、目标星运动模拟系统和追踪星运动模拟系统

电控系统



## 2.3 光纤反射内存卡

- 反射内存是一种特殊类型的共享内存系统，旨在实用多个独立计算机共享通用数据集。
- 反射内存网络可在每个子系统中保持整个共享内存的独立备份
- 每个子系统均享有充分且不受限制的访问权限，还能以极高的本地内存写入速度修改本地数据集



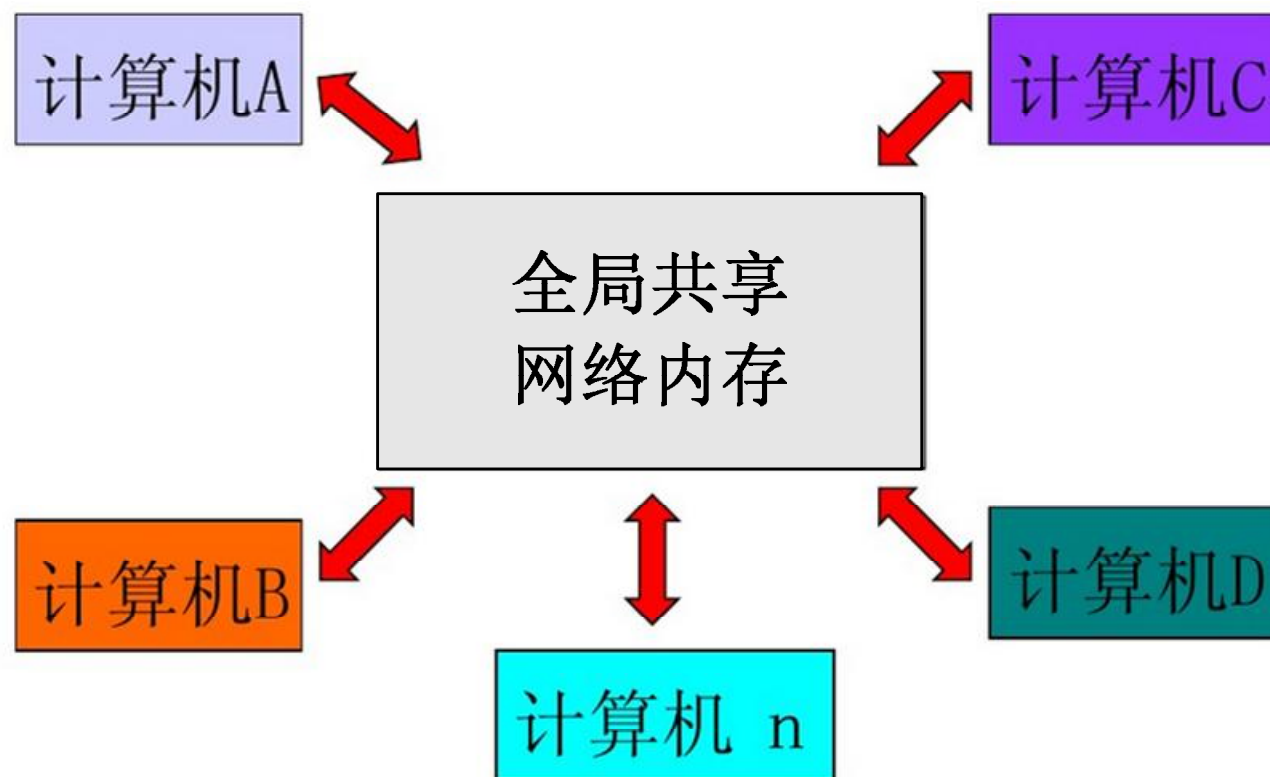
## 2.3 光纤反射内存卡

### ○ 光纤反射内存局域网

- n 反射内存实时局域网的概念十分简单，就是设计一种网络内存板，在分布系统中实现内存至内存的通信，并且没有软件开销。
- n 每台计算机上插一块反射内存卡，卡上带有双口内存，各层软件既可以读也可以写这些内存。
- n 当数据被写入一台机器的反射内存卡的内存中后，反射内存卡自动地通过光纤传输到其他连在网络上的反射内存卡的内存里，通常，只需几百纳秒的时间延迟，所有的反射内存卡上的内存将写入同样的内容。
- n 各成员在访问数据时，只要访问本地的反射内存卡中的内存即可。

## 2.3 光纤反射内存卡

### ○ 光纤反射内存局域网



## 2.3 光纤反射内存卡

### ○ VMIPCI-5565 光纤反射内存卡

#### n 高速度和高性能

传输速度达到**174M**字节/秒。使用光纤，可以连接更多节点（最大到**256**个节点），具有很高的抗干扰能力。测试结果表明，从数据写入**RAM**到传到另一个节点的反射内存卡上，只有不到**400**纳秒的延时。

#### n 使用方便

反射内存卡通过向每个节点机提供一套相同的数据备份使得各节点可以并发的访问相同的内容。在访问反射内存卡的内存时与访问自身的内存没有差别。各节点间数据一致性是由反射内存卡保证。

#### n 独立于操作系统和处理器

反射内存可以**PCI**、**Compact PCI**、**Multibus I**等多种总线上使用，可以将**Power PC**、**Macintosh**、**奔腾**等计算机通过内存卡实时网络连接在一起。





## 2.3 光纤反射内存卡

### ○ 光纤反射内存的应用

#### n 模拟仿真领域应用

在飞行器（导弹、飞机等）、传感器（雷达、或外、微波等）以及自动控制部件（飞控、惯导等）的分布式仿真实验中，用于系统节点间数据的高带宽、高速、实时的互连。



## 2.3 光纤反射内存卡

### ○ 光纤反射内存的应用

#### n 工业控制领域

1. 用于自动生产线的控制单元间的底层链路，确保周期数据的高速、实时的采集和传输
2. 高速过程控制(扎缸厂和制铝厂)
3. 高速测试和测量





## 2.3 光纤反射内存卡

### ○ 光纤反射内存的应用

#### n 交通运输领域

用于高速列车调度数据和行驶监控数据的高速、实时传输。也用于高速列车内控制设备间的总线系统。



## 2.3 光纤反射内存卡

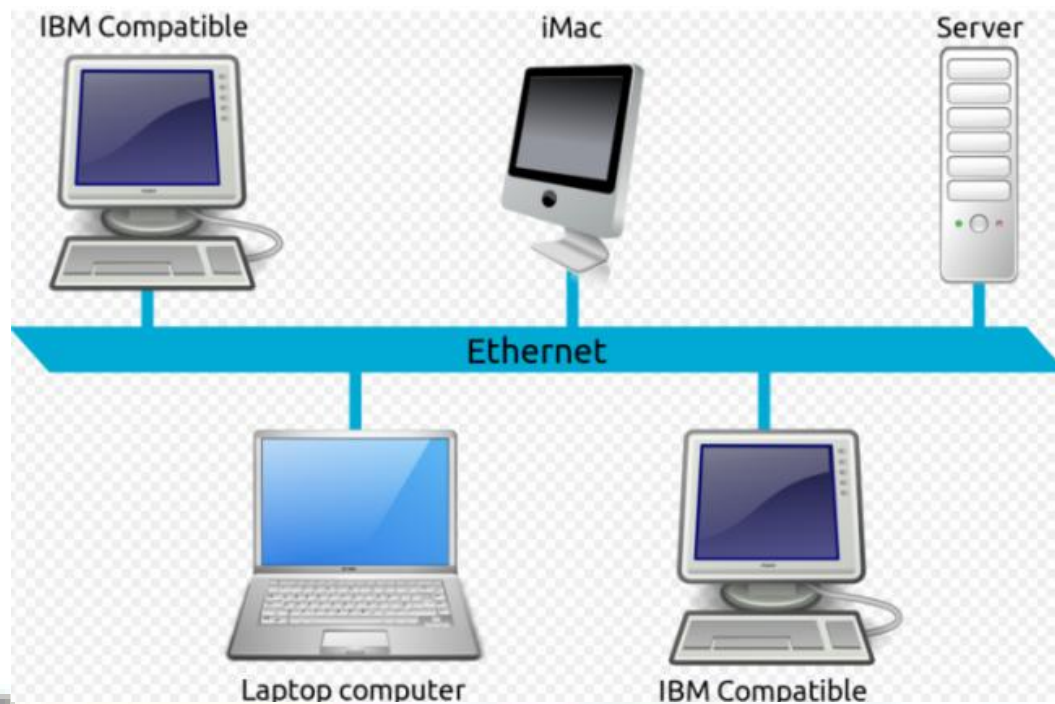
### ○ 光纤反射内存的应用

#### n 软着陆运动模拟系统



## 2.4 以太网

- 以太网(Ethernet)是有Xerox(施乐)公司创建,并由Xerox、Intel和Dec公司联合开发的局域网规范,是当今现有局域网采用的最通用的通信协议标准



## 2.4 以太网

### ○ 以太网的应用





## 2.4 以太网

### ○ 以太网的应用



## 2.5 模拟信号传输

- 模拟信号是指信息参数在给定范围内表现为连续的信号。或在一段连续时间间隔内，其代表信息的特征量可以在任意瞬间呈现为任意数值的信号。
- 与数字量接口：**AD**和**DA**
- 在过程控制和自动化仪表行业中，很多仪表输出为标准  
的电流信号
  - n **0~10mA**: 旧信号制
  - n **4~20mA**: 新信号制，**4mA**表示零信号，**20mA**表示满刻度

## 2.5 模拟信号传输

### ○ 模拟信号传输的应用





## 2 控制系统接口

---

### ○ 其他总线接口

n usb

n ISA、PCI

n 工业现场总线：CAN、PROFIBUS