



CONTROL SCIENCE AND ENGINEERING

SINCE 1956

<http://cse.zju.edu.cn>

计算机控制系统设计与实践

浙江大学控制科学与工程学院

2025年2月



一、概述

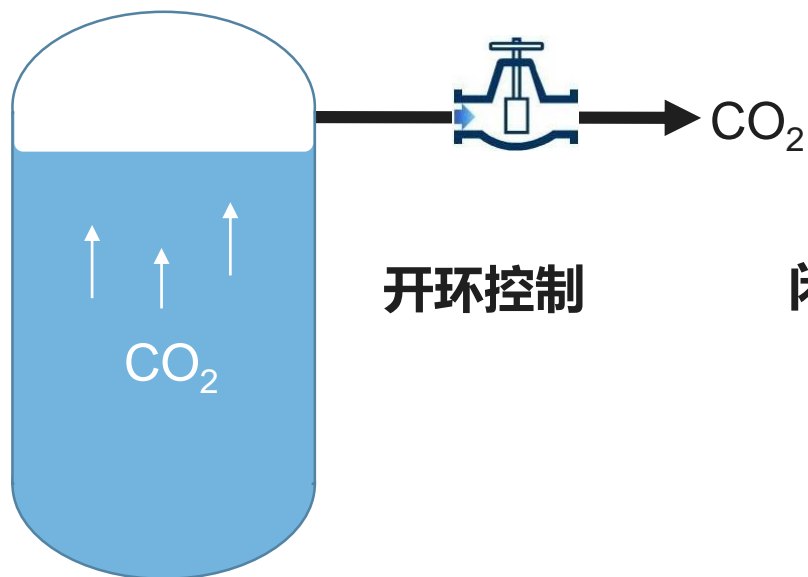


(一) 自动控制（反馈控制）的基本逻辑

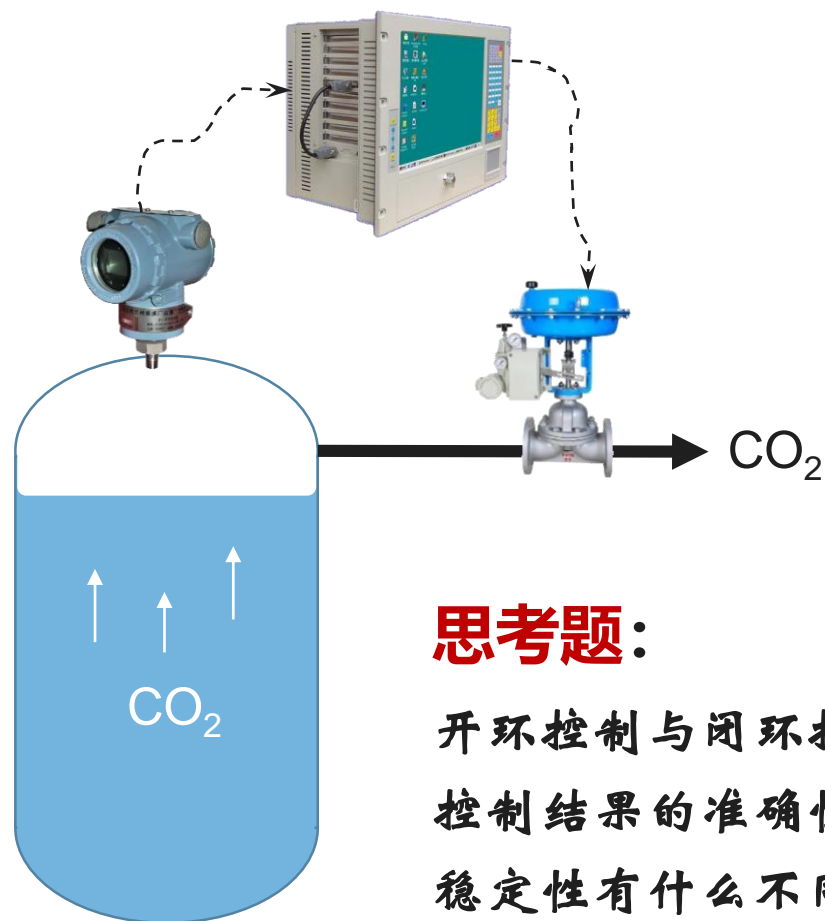
3

1、控制的基本形式

控制的基本要求：稳、准、快、优



闭环（反馈）控制



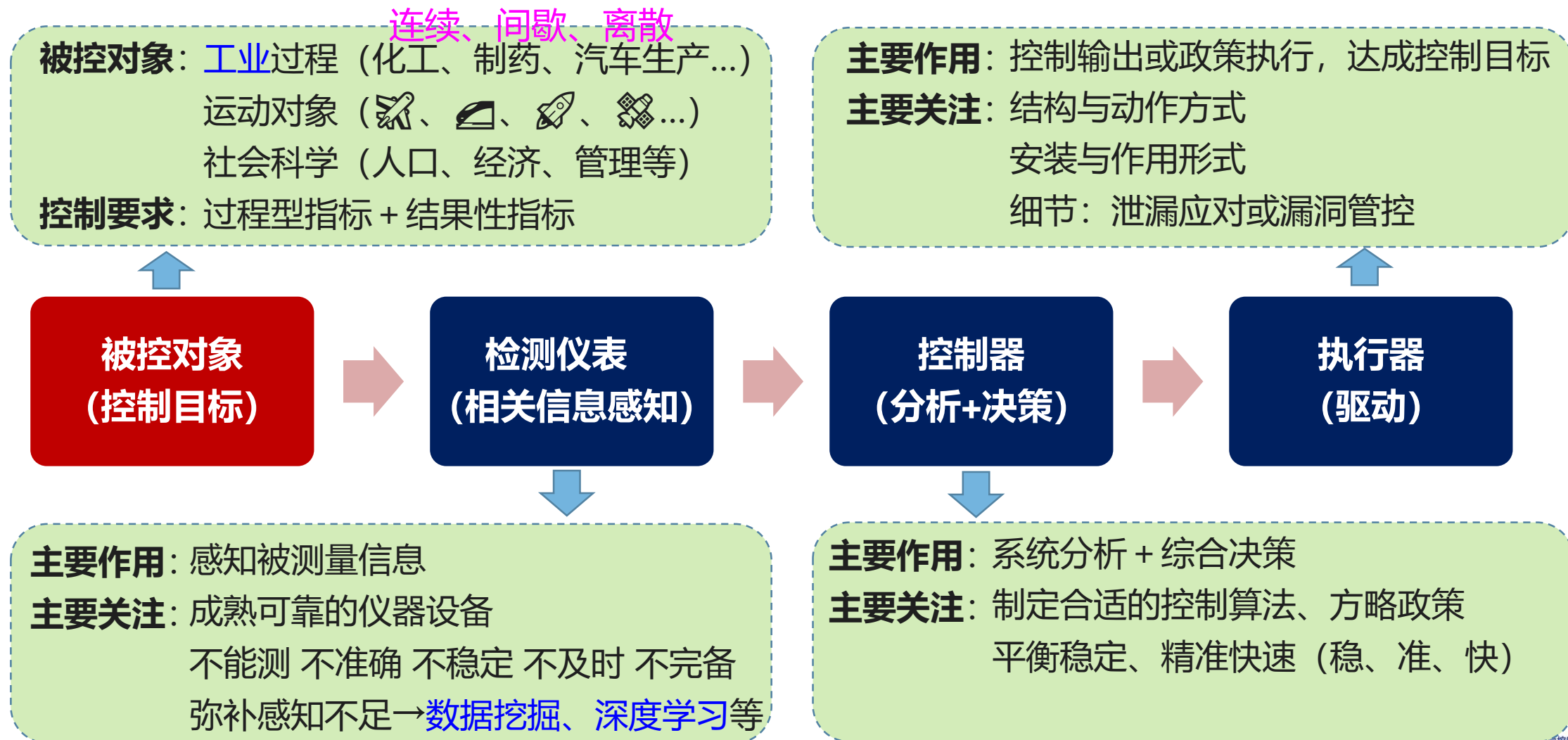
思考题：

开环控制与闭环控制，在控制结果的准确性、系统稳定性有什么不同？

(一) 自动控制（反馈控制）的基本逻辑

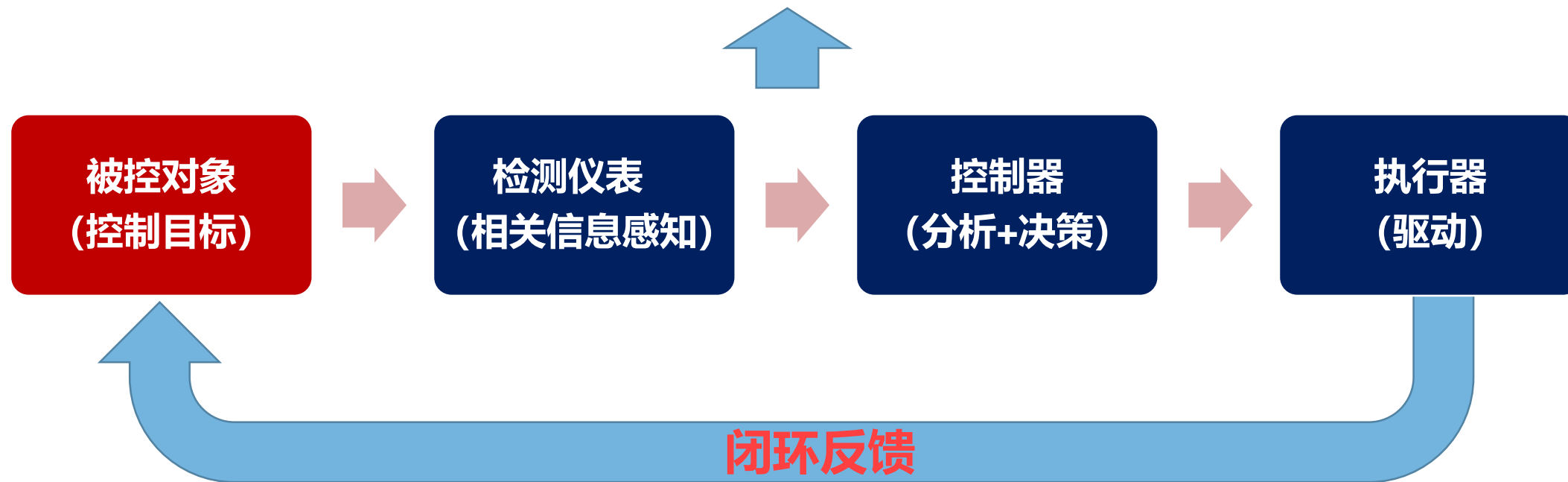
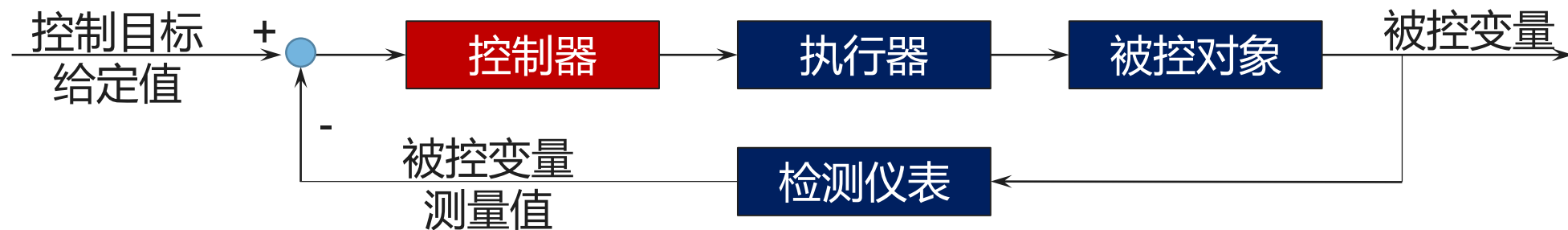
4

2、四个（类）基本环节



(一) 自动控制（反馈控制）的基本逻辑

5



（一）自动控制（反馈控制）的基本逻辑

6

3、反馈的两种形式：正反馈和负反馈

正反馈：原理上致使受控量实际值和期望值偏差增大的反馈形式，系统趋向于不稳定状态

负反馈：原理上致使受控量实际值和期望值偏差减小的反馈形式，系统趋向于稳定状态

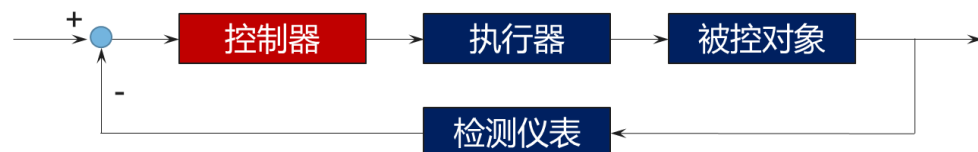
- ◆ **血液循环**：①活动增强血压增高→大脑心血管中心通过交感、迷走神经减弱心脏活动松弛血管→血压恢复正常
②大量失血血压下降→冠状动脉血流减少→心肌收缩力减弱→输出血量更少，甚至导致死亡

- **新闻传播**：传播信息与阅读者认识理解趋于一致，传播效果趋于传播目标
传播信息与阅读者认识理解有较大偏差，新信息快速注入→认识偏离越来越大
--快速给出真实信息或及时进行纠正

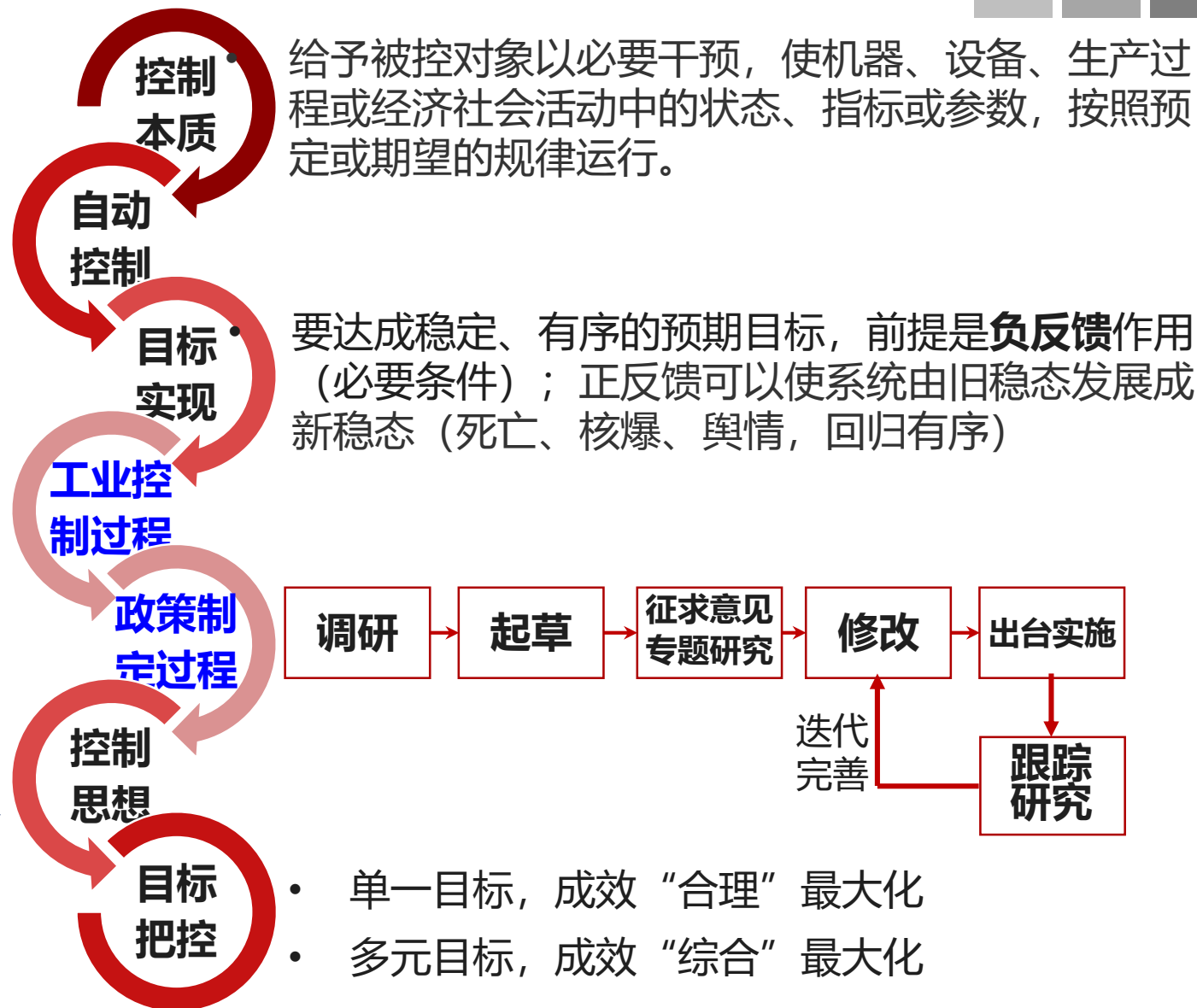
- **核裂变**：U235等重原子核在自由中子轰击下，会产生2-3个更轻的原子核和2-3个自由中子，并释放巨大能量
放出的中子继续引发重核裂变，中子总数及裂变过程将随时间按指数规律增长
--不予控制-核爆，辅以控制-核能

感知信息：弥补感知不足，拓展数据挖掘、深度学习等知识
综合决策：整体优化

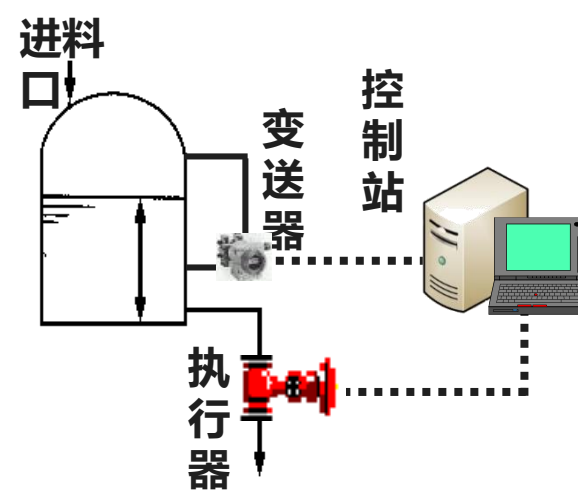
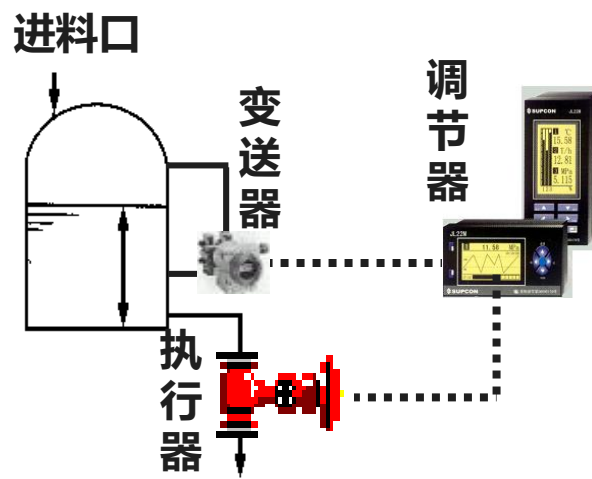
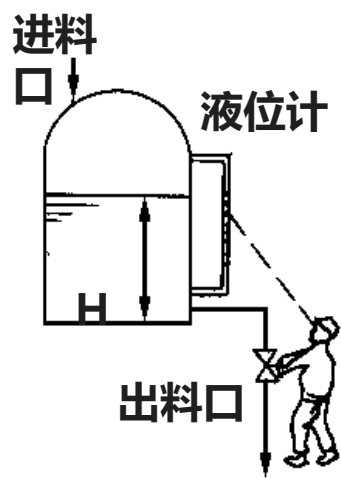
是相对人工控制概念而言的，就是在没有人直接参与的情况下，**感知信息**，**系统分析**、**综合决策**、**自动干预**，达成稳定、有序的预期目标



- 不同的领域背景、相同的目标方向
- 不同的现在过去将来、相似的比例积分微分



(二) 计算机控制系统组成



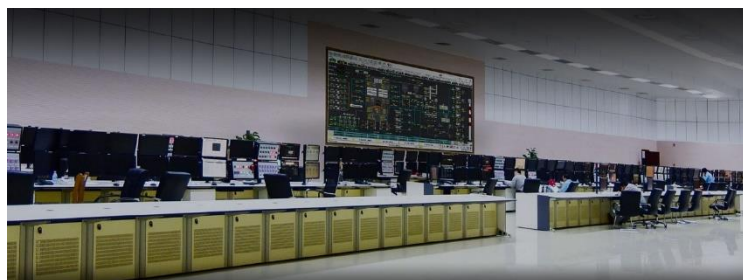
计算机 + 控制 → 系统

(二) 计算机控制系统组成

9

“前端”

大屏、操作站



“中端”

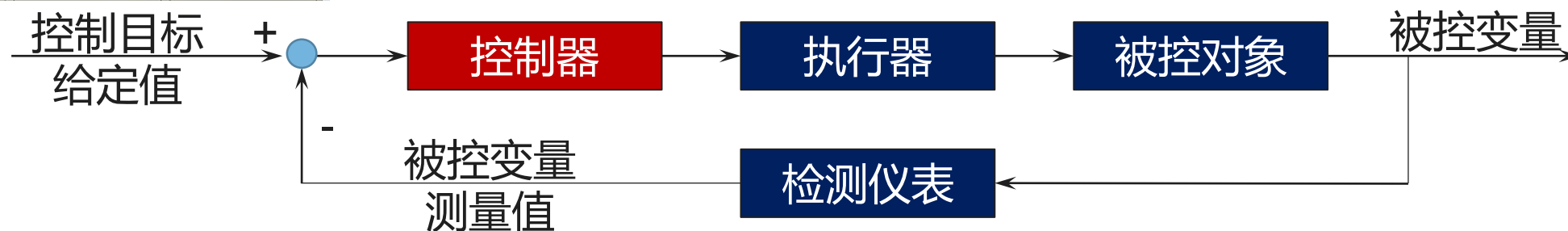
控制站、控制柜



“后端”

被控对象及现场仪表

检测仪表 & 执行器



1、计算机控制系统的工作过程

10

展示信号

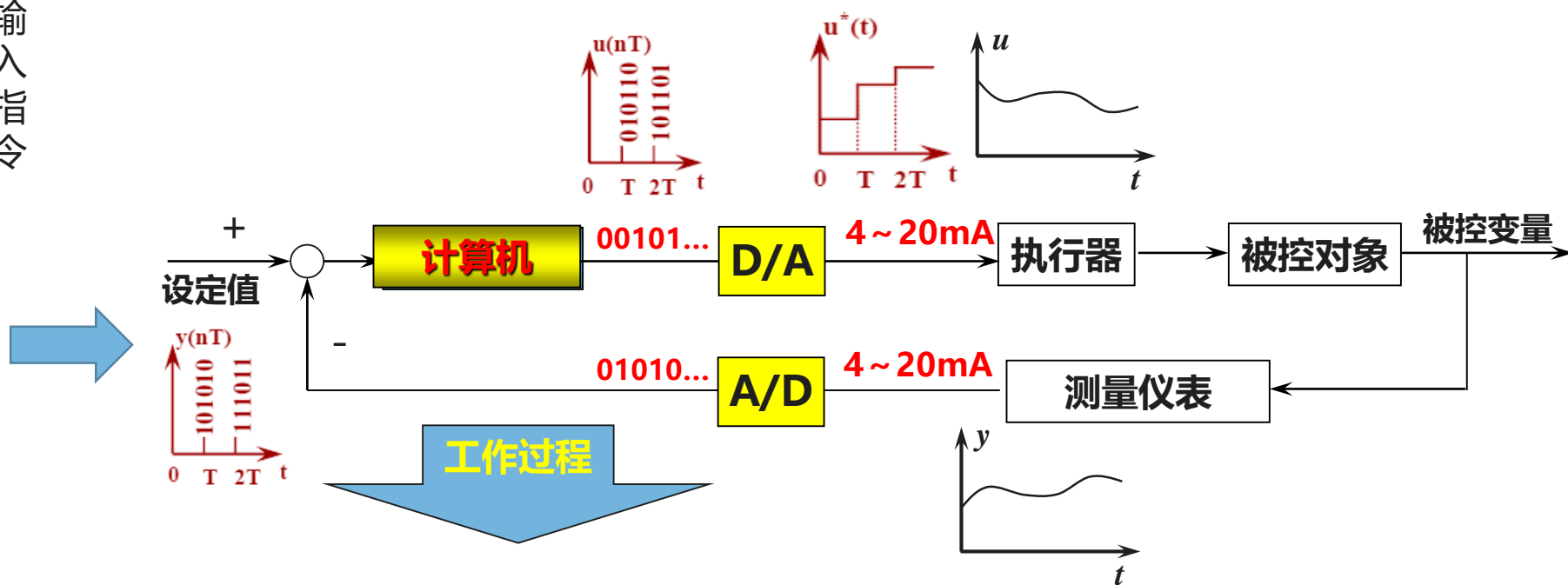


输入指令



检测信号

执行信号



- ①数据采集：** 周期采集被控变量及相关变量的测量值
- ②控制决策：** 对测量信号进行处理分析，产生控制信号，如PID
- ③控制输出：** 把控制信号送给执行器，执行器动作进行调节

2、计算机控制系统的基本组成

1) 软件组成

系统软件

操作系统及其配套软件、数据库等

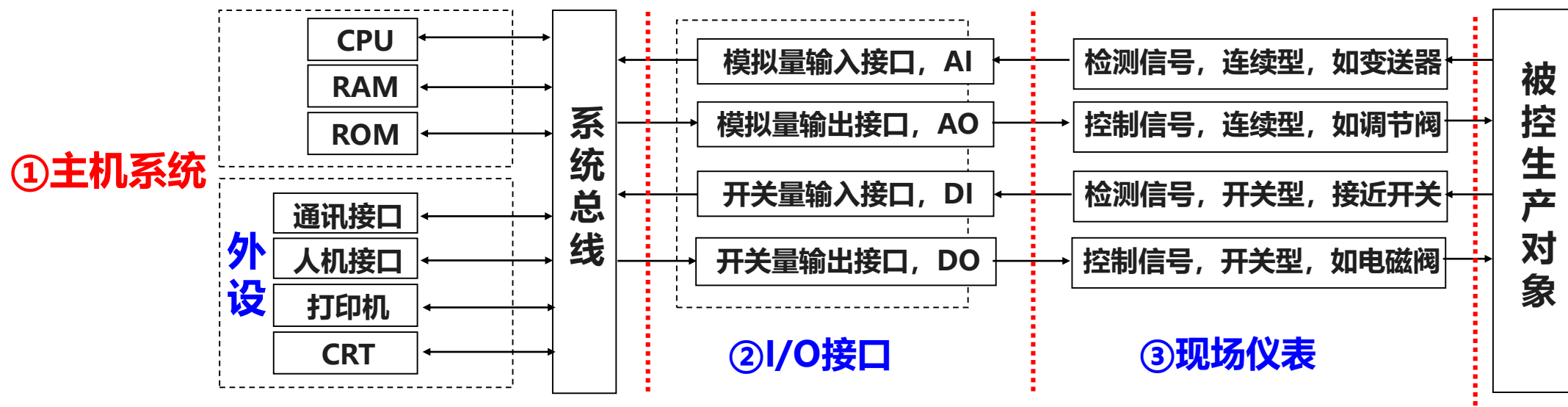
支持软件

开发应用软件的软件，如高级语言、组态软件

应用软件

针对特定需求开发的控制和管理程序

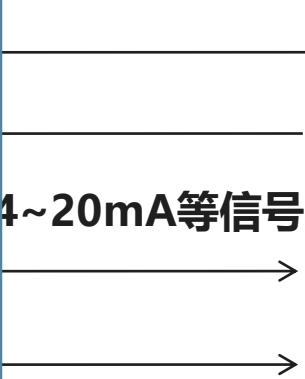
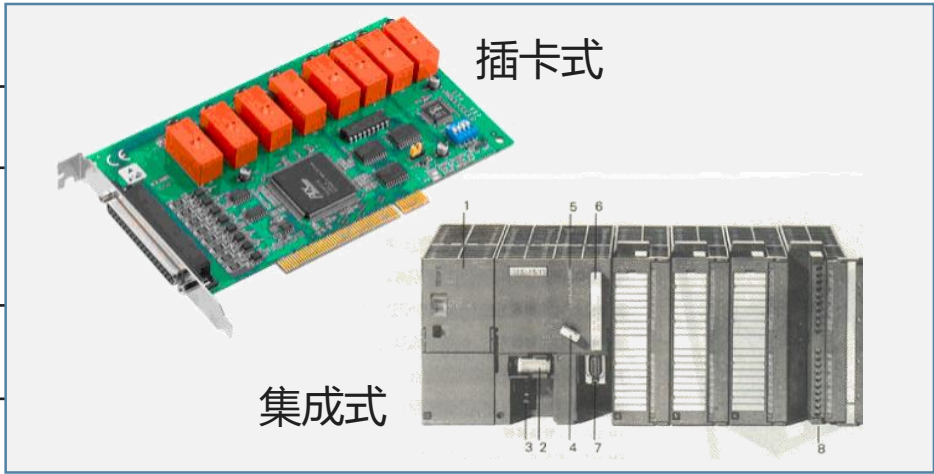
2) 硬件组成



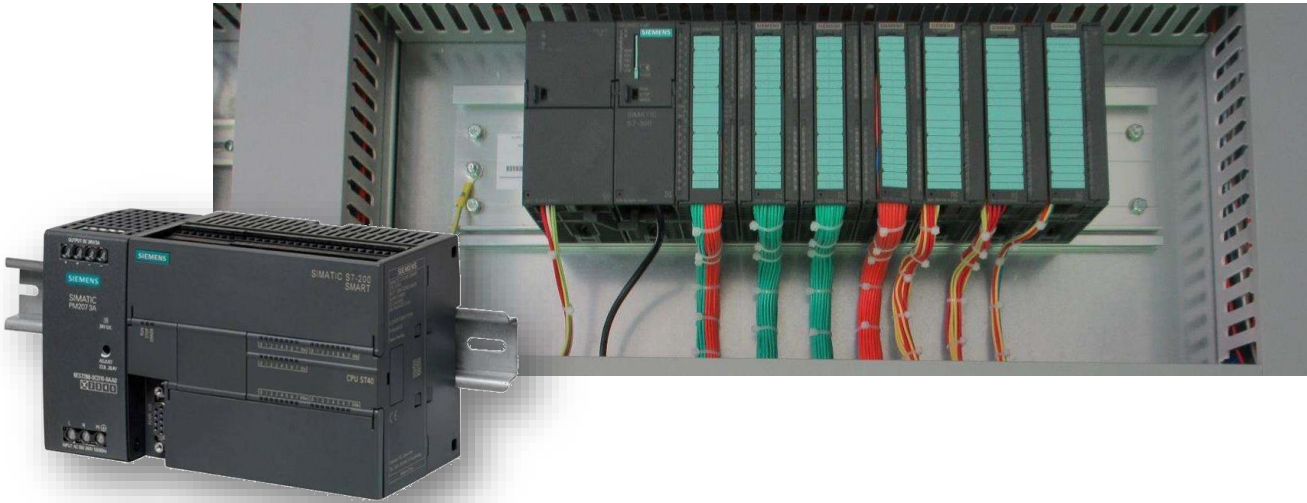
计算机控制系统的I/O接口



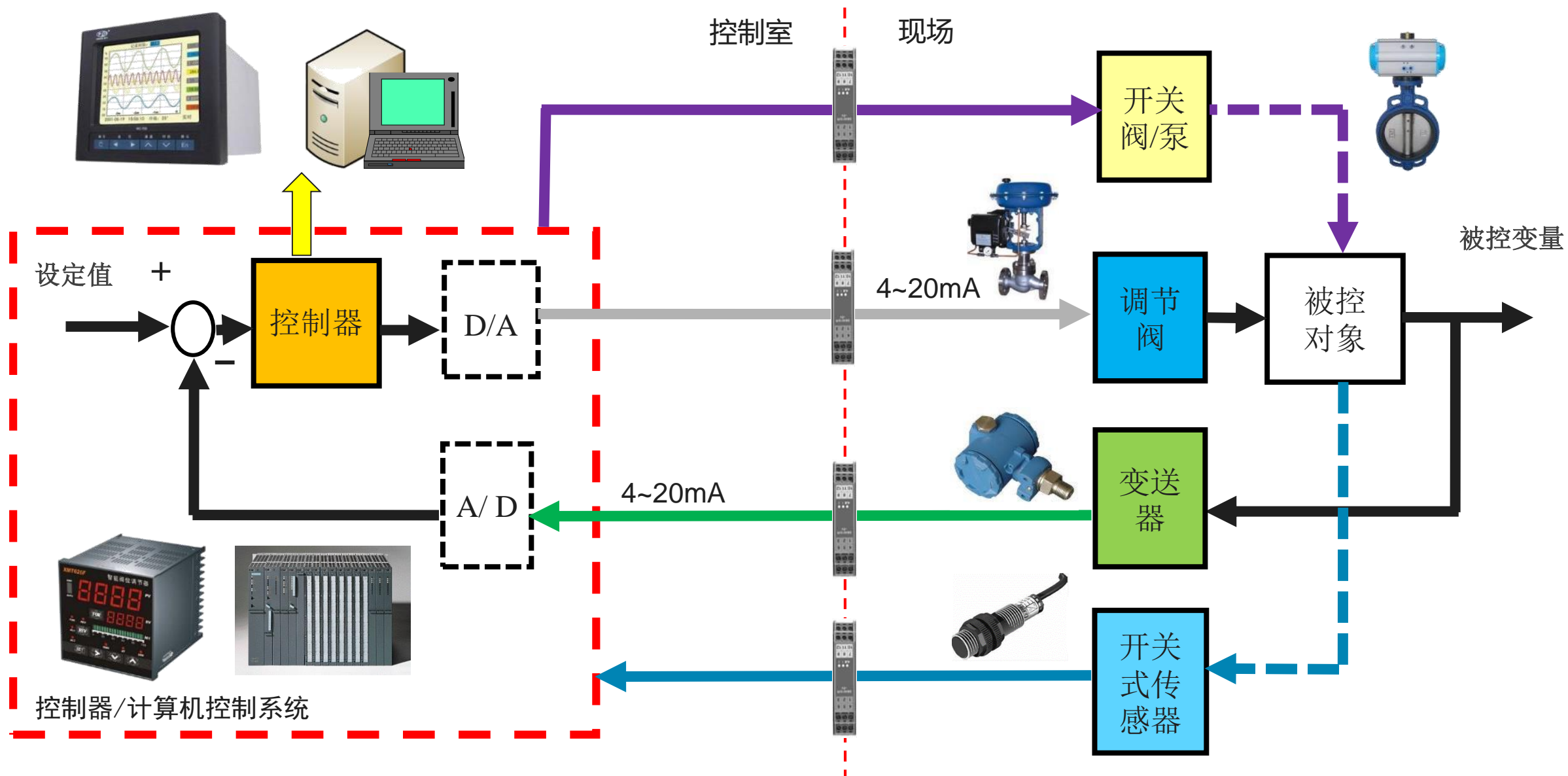
计算机
控制站



现场
仪表



组成计算机控制“系统”的部件



思考题：

计算机控制系统中的“计算机”与普通计算机相比会有哪些方面的“相同”和“不同”？

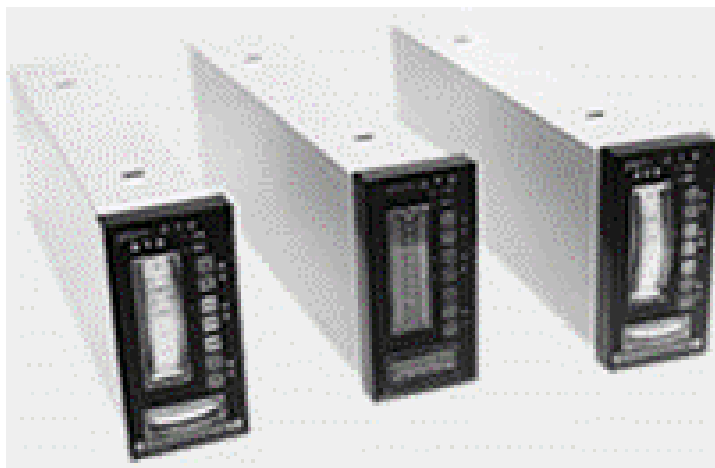
- 可靠性
- 可维护性
- 实时性
- 网络通信

(三) 计算机控制的简要发展过程

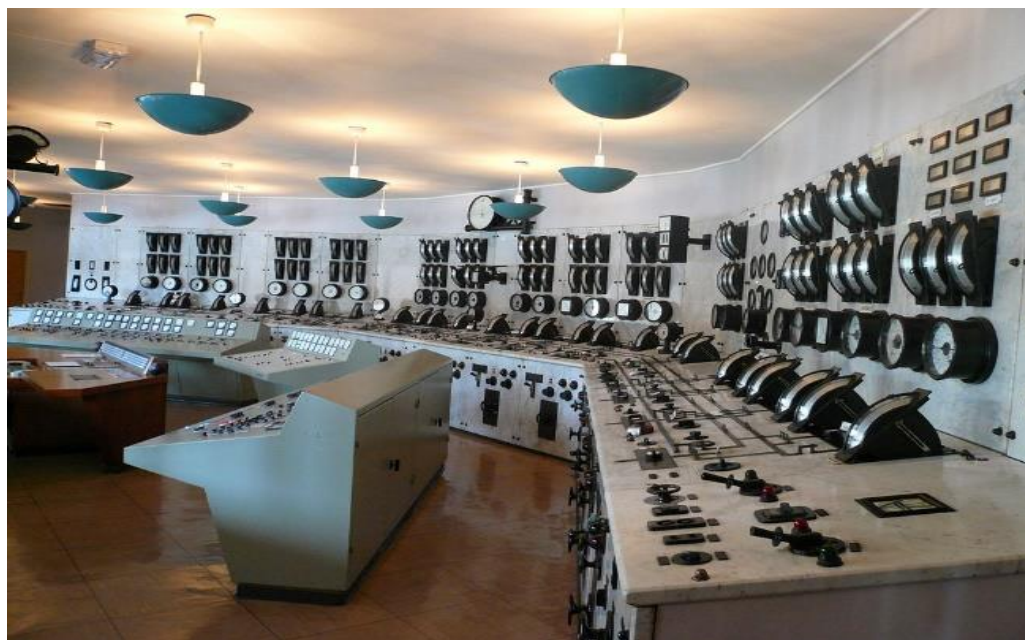
1、最古老的控制器：模拟调节器

在计算机控制系统出现以前，自动化控制主要采用基于模拟电路的模拟式调节器来实现控制，称为常规仪表控制系统。

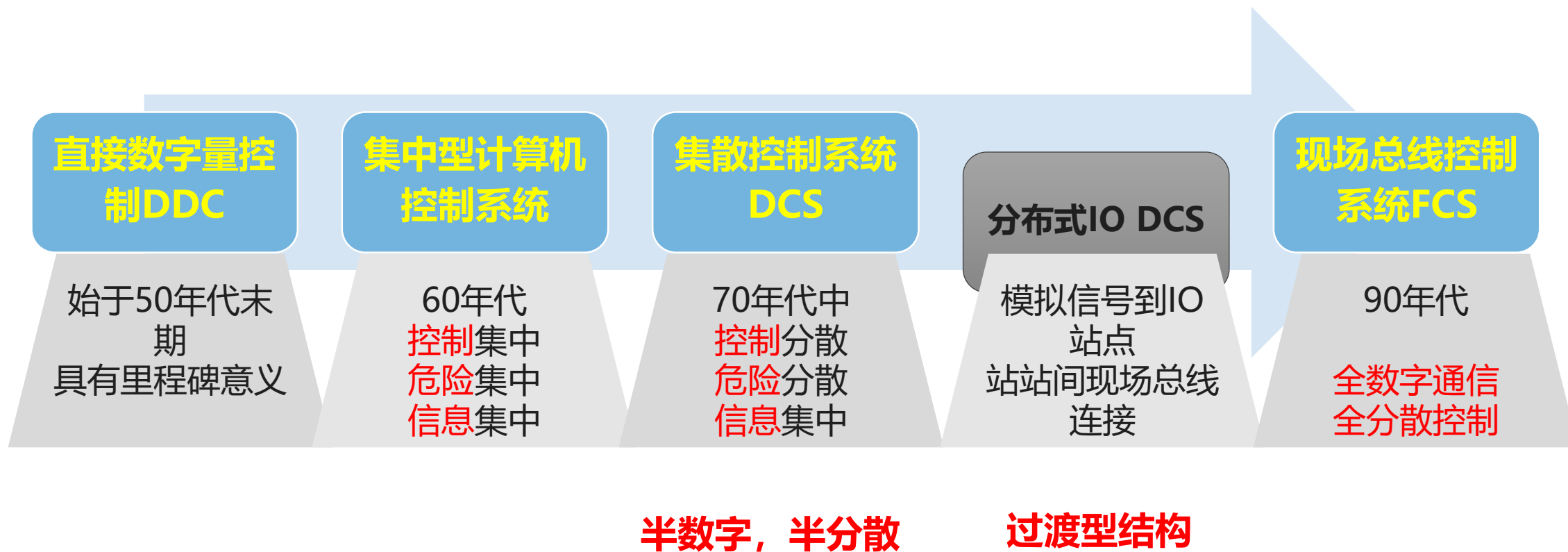
这类系统在上世纪80年代之前是主流，90年代后快速减少，目前已经非常少见。



模拟式调节器



2.计算机控制系统的几个典型发展阶段



(1) 直接数字量控制 Direct Digital Control, DDC

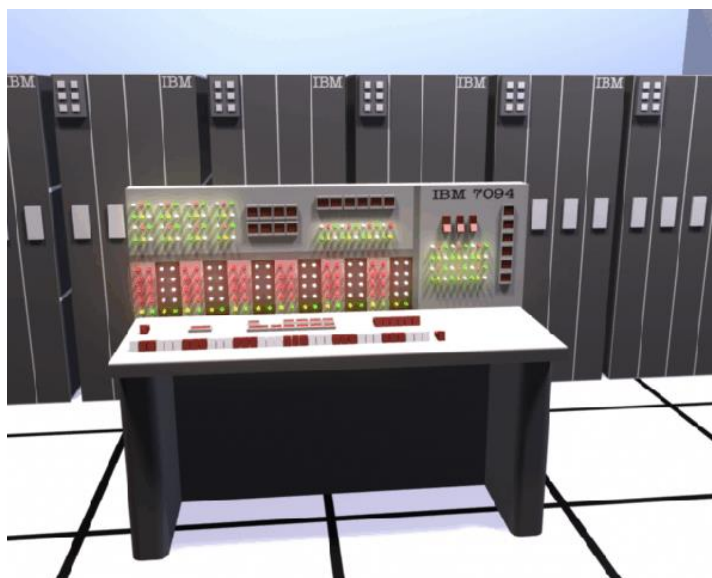
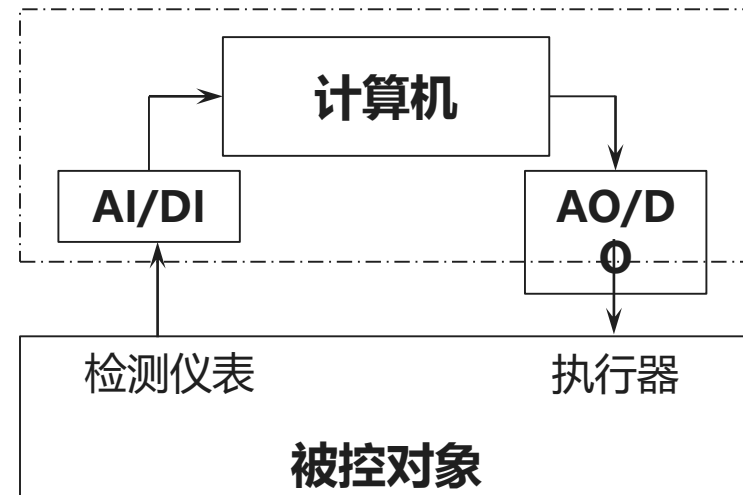
本质：用一台计算机取代一组调节器，构成闭环控制回路

优点：灵活，精度高，分时处理多个回路，实现复杂控制

时间：起于50年代末期

历史意义：开辟了轰轰烈烈的计算机工业应用时代

突出问题： 造价昂贵、成本很高

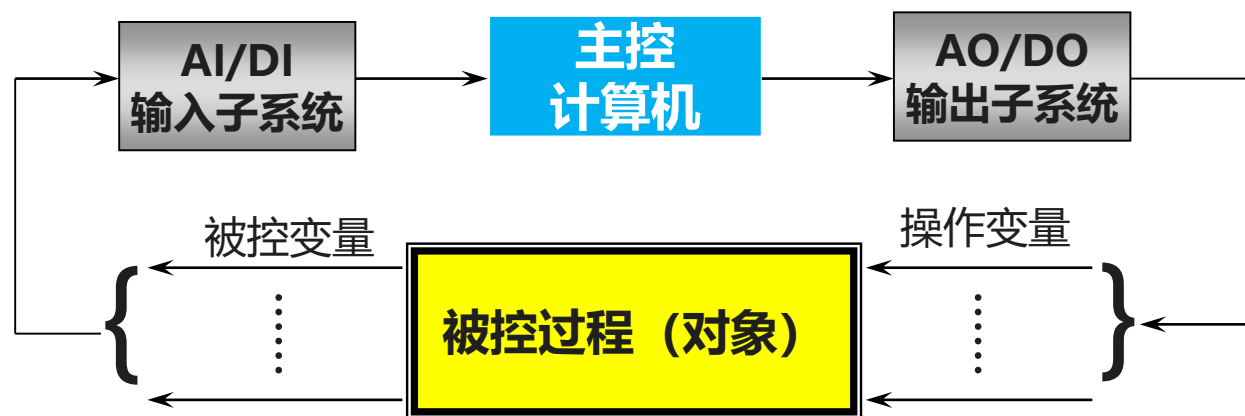


(2) 集中型计算机控制系统

DDC系统的突出问题：
昂贵、成本高



用一台计算机控制尽可能多的回路？降低单位回路的成本



优越性： 集中控制 → 便于实现**集中管理**、便于实现**复杂控制**、**优化控制**功能

突出问题： 当时的计算机性能低 → **容易出现负荷过载**
控制集中 → **危险集中**，集中度越高系统越**“脆弱”**。

(3) 集散/分布式控制系统 Distributed Control System, DCS

集中型计算机控制系统
的两个特征：

危险的集中

解决

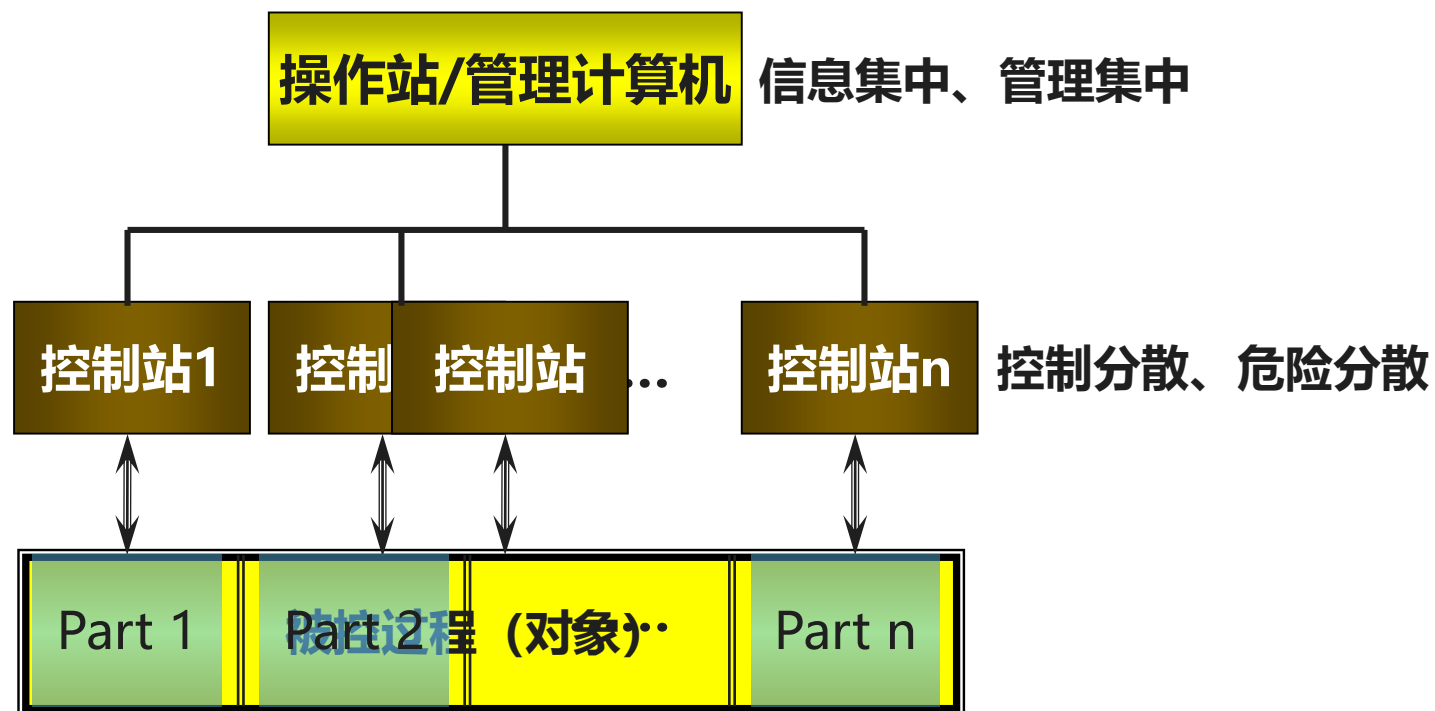
控制功能分散到若干个控制站实现

信息的集中

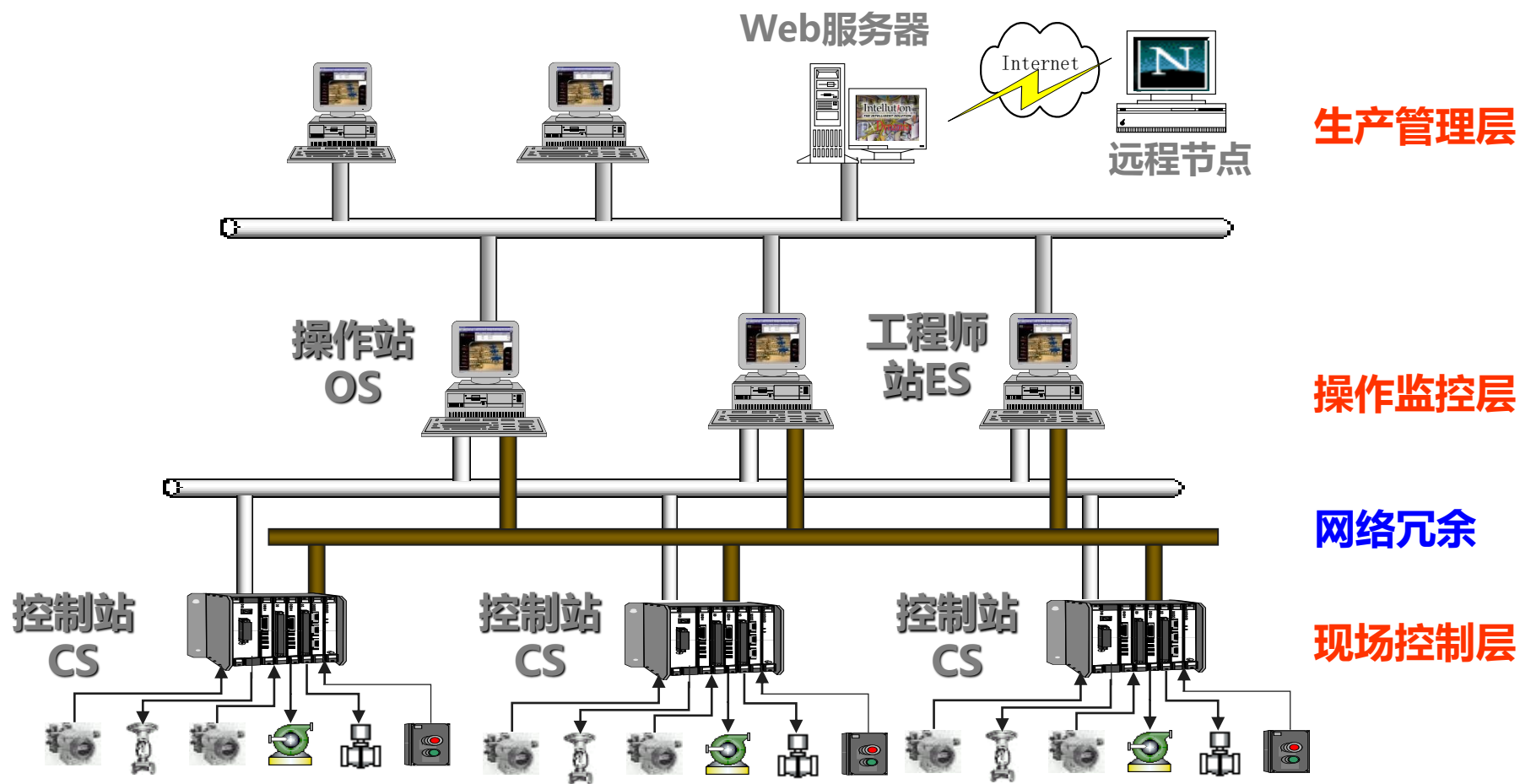
继承

集中测控信息，满足整体管控目标

分散控制 & 集中管理



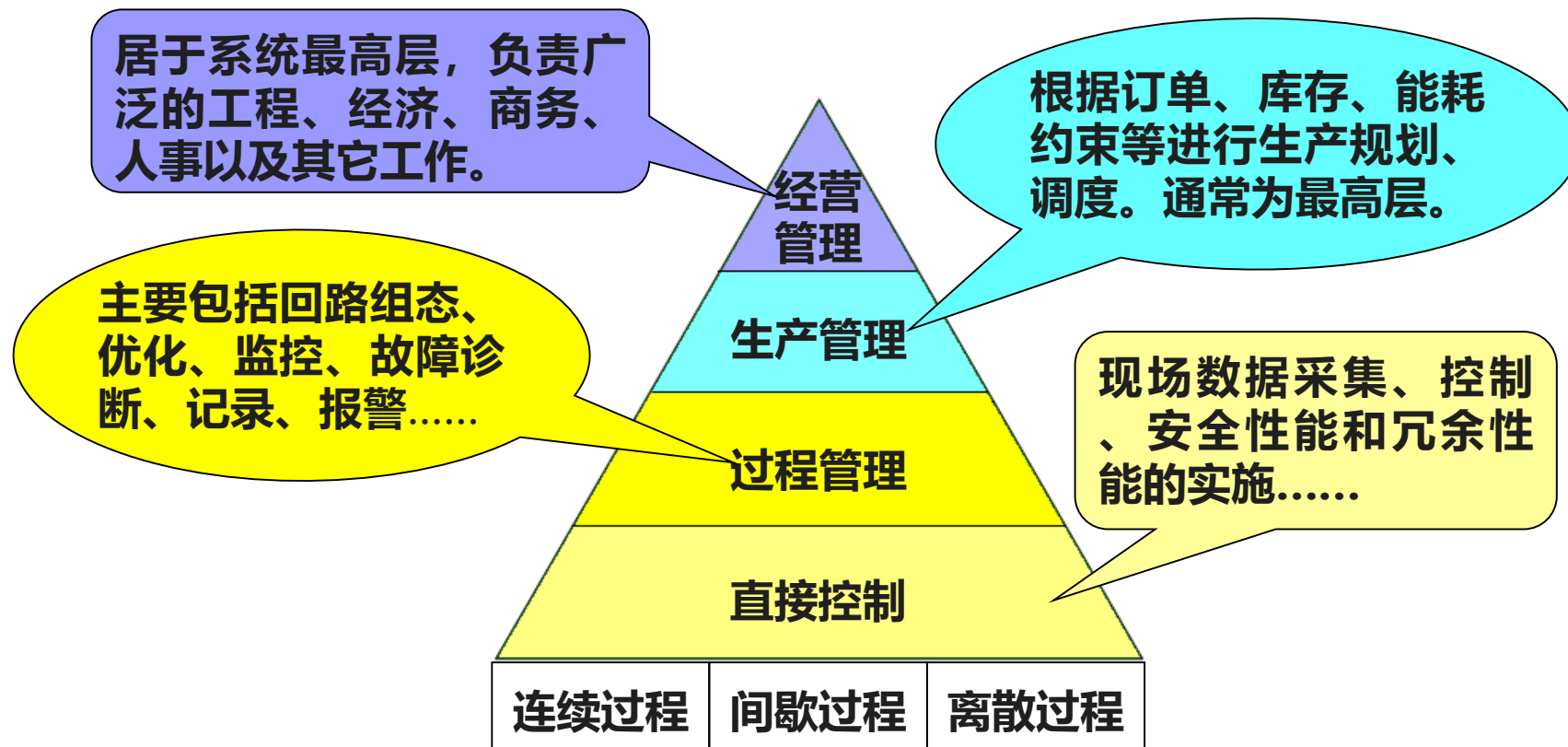
DCS的物理结构示意图



DCS的两种含义：是一类特定的分布式计算机控制系统（狭义）
是一种具有分布式结构的计算机控制系统（广义）

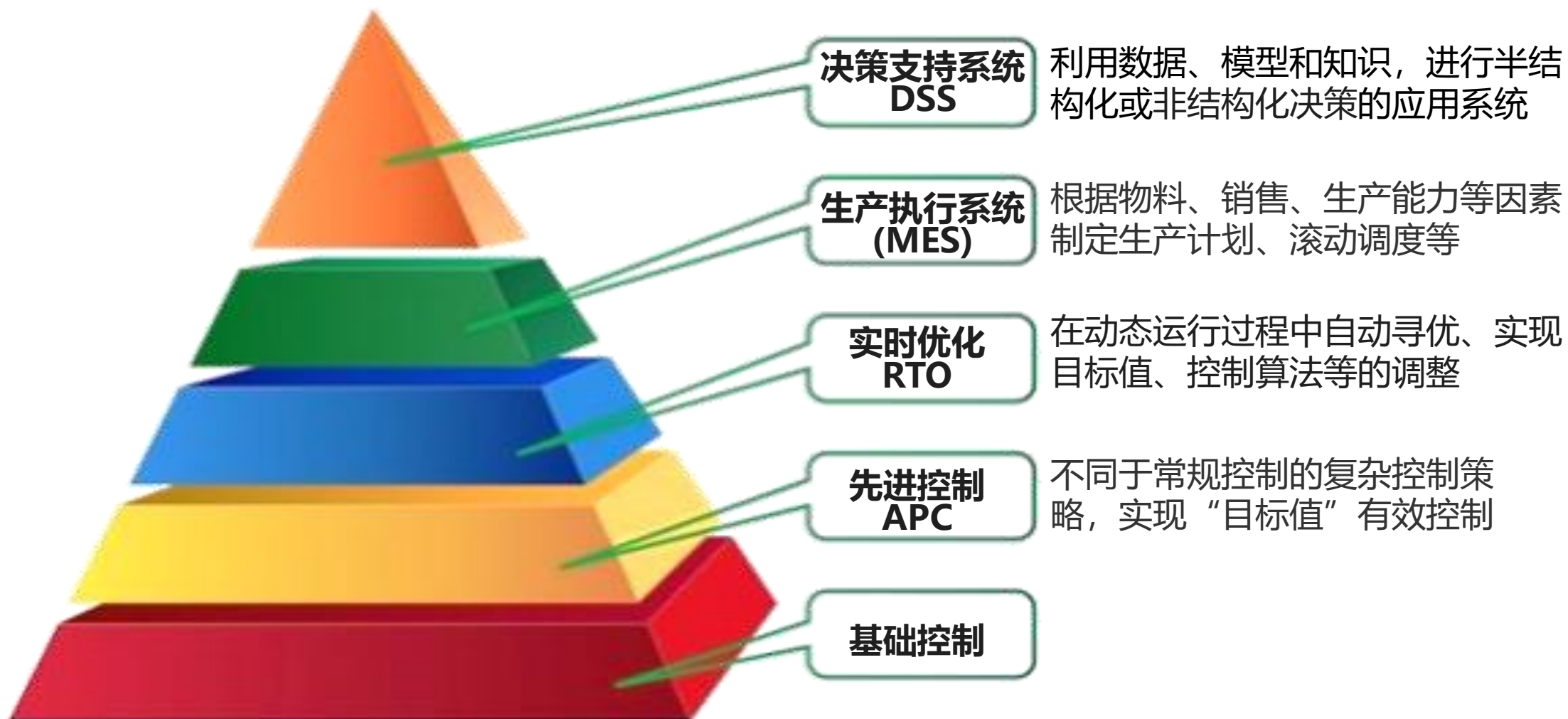
DCS的功能层次示意

从“上级”获取指示，从“下级”获取信息，产生对“下级”的控制。

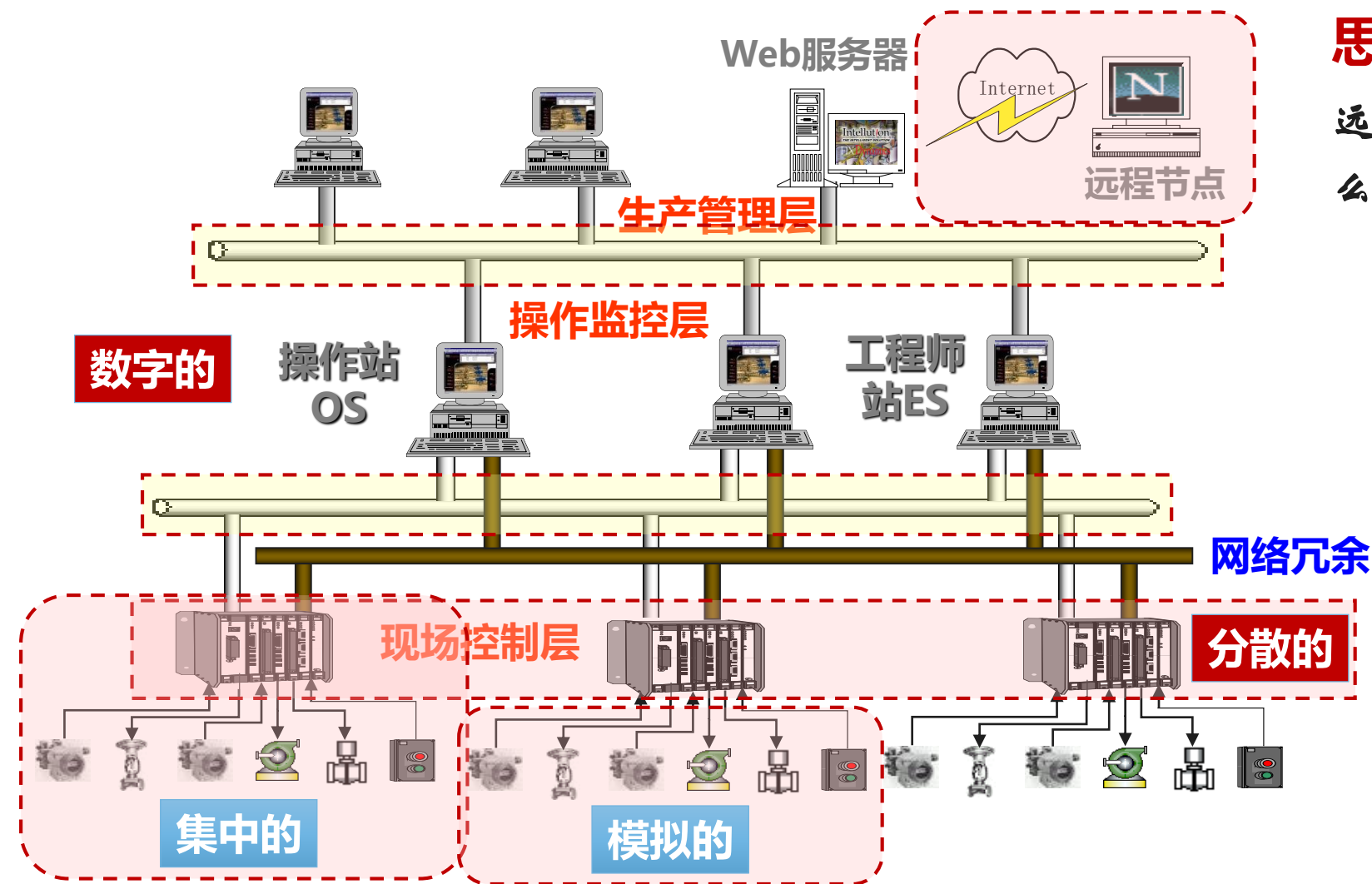


- 常常将2个或多个功能层上的(部分)任务压缩到一个物理层上实现，简化DCS。
- 最常见的为2级DCS

自动控制系统的几个层面



回看物理结构示意图



思考题:

远程节点的引入有什么好处、有什么问题、有什么启示?

DCS是半数字的控制系统
DCS还是半分散的控制系统
引入“冗余”的手段，可靠性更高

DCS的图示

第一套集散控制系统 (1975年) Honeywell TDC2000



国内第一套 具有1:1热冗余技术 集散控制系统 (1993年) 中控JX-100 DCS

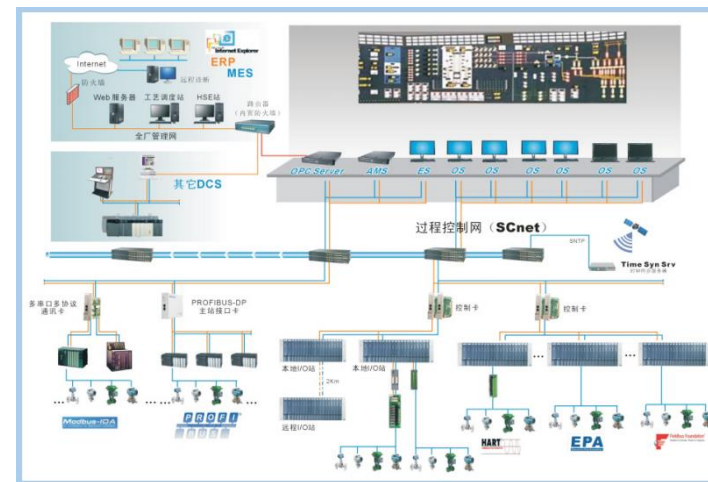


打破了国外高端控制系统
在我国市场的垄断局面

中控JX-300XP集散控制系统

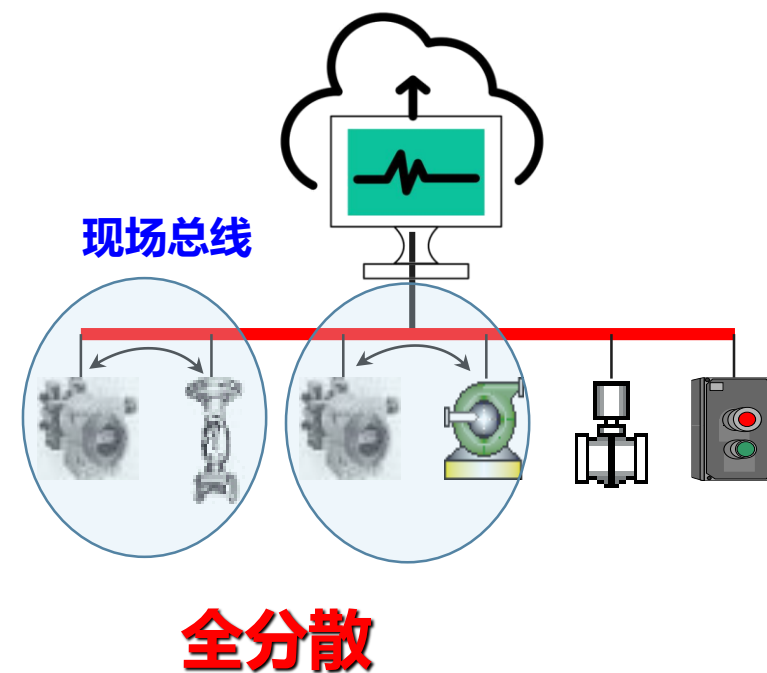
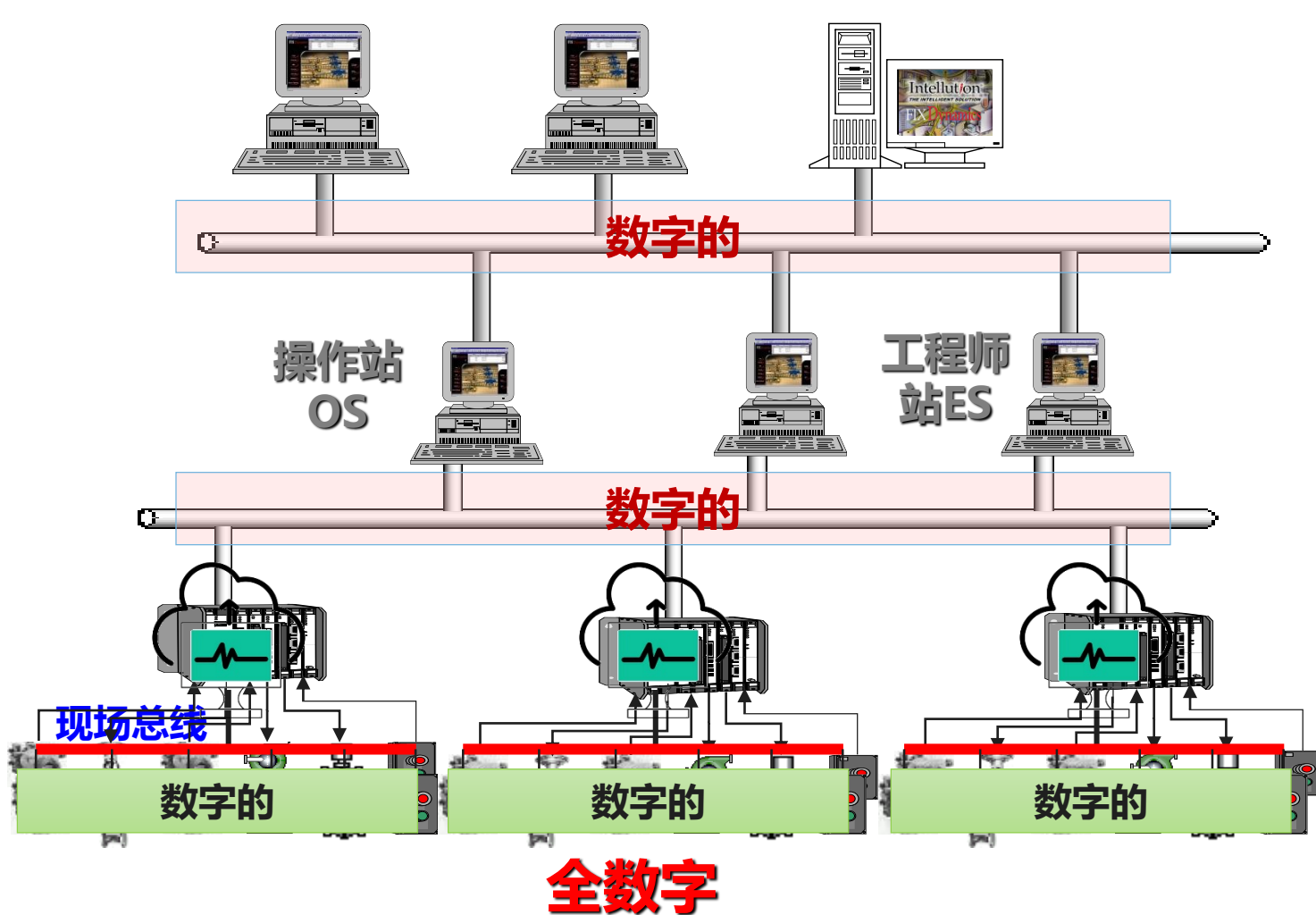


主控制卡



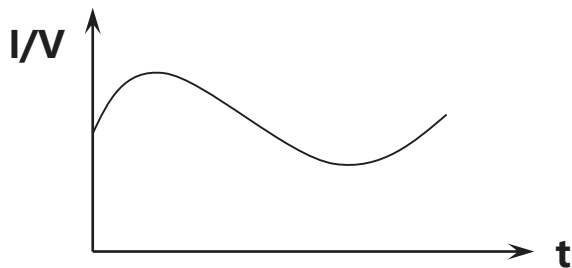
(4) 现场总线控制系统 Fieldbus Control System, FCS

全数字、全分散的控制系统会是怎样的？

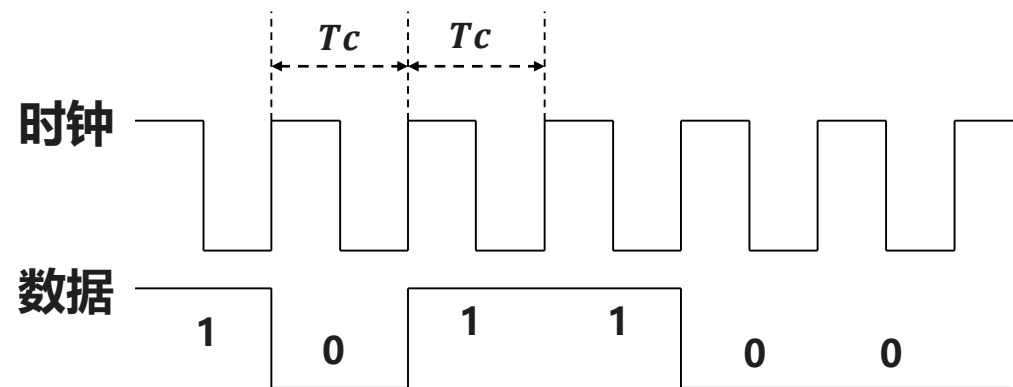


1、若干基本概念

(1) 模拟信号与数字信号



模拟信号是一个连续的物理量



数字信号是用不连续的物理状态来表示

(2) 并行传输与串行传输

并行传输：以**字或字节**为单位、多个位同时传输；快、线多、不宜远距离通信

串行传输：**逐位**传输，慢、通信线少、适宜远距离通信

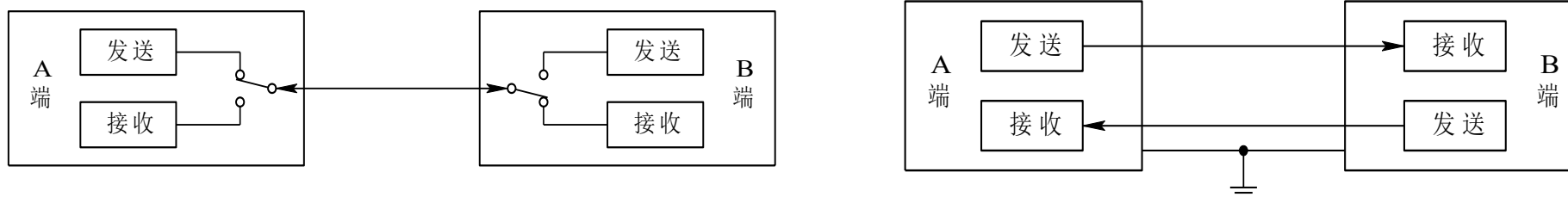
几乎所有计算机控制系统均采用串行数据通信

(3) 通信双方的交互方式

单工通信：单一方向传输，没有反向交互(如传统的键盘、鼠标通信)

半双工通信：双方可以交互数据，但不在同时，**应用广泛**(只需2根通信线)

全双工通信：双方可以同时交互数据，效率高，至少3根(共地)或4根通信线



(4) 波特率

波特率：指单位时间内传输的信息量，单位通常用“位/秒”表示

例如：Profibus - PA的波特率位31.25kbps

Profibus - DP的最大波特率位12Mbps

(5) 基带传输与频带传输

基带传输：数字信号的数字传输。按**数字波形**、以“**位**”流形式直接在信道上传输，速度较高，远距离传输易因信号衰减发生畸变（中继）

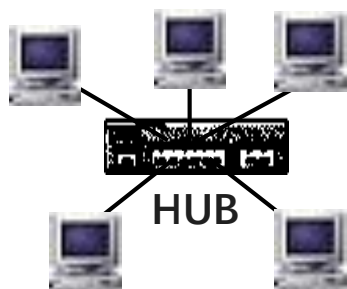
频带传输：数字信号的模拟传输。也称为载波传输，发送端把数字信号调制成一定频带范围的模拟信号，接收方解调还原。如**HART信号**，FSK

宽带传输：适用于传输影像、语音信息，将信道分成多个子信道，分别传送音频、视频和数字信号。

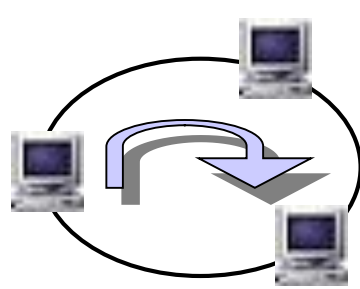
(6) 计算机网络的拓扑结构



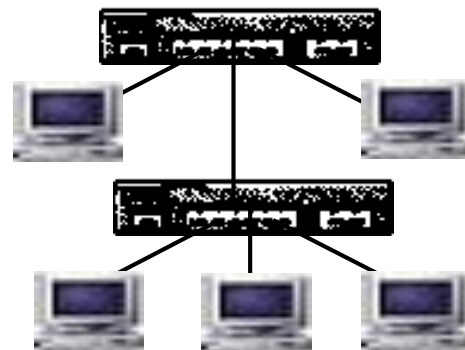
总线型



星型★



环型

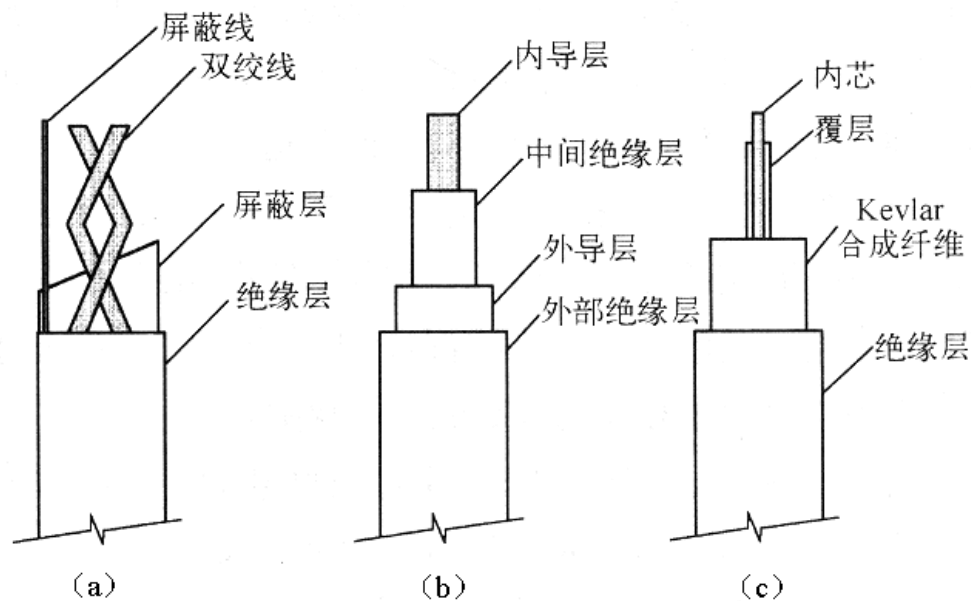


树型

(7) 网络传输介质

网络传输介质是指通信网络中数据发送方与接收方之间的物理通路，常用的传输介质有：**双绞线**、同轴电缆、**光纤**和无线传输等。

工业控制系统的通信网络多采用：**带屏蔽的双绞线STP**、**光纤**



(8) 总线接口技术

总线 (BUS) 是指计算机系统中采用的一组公共信号线，它是计算机系统的通信线。

总线标准定义了各信号线的信号、时序、电气和机械特性。

总线的分类：片内总线、系统总线、局部总线、外部总线

计算机与计算机之间、计算机与仪器/设备之间的连接总线，用以进行组网与通信。

外部总线类型：串行通信总线、USB总线、现场总线、工业以太网等

总线的性能指标：

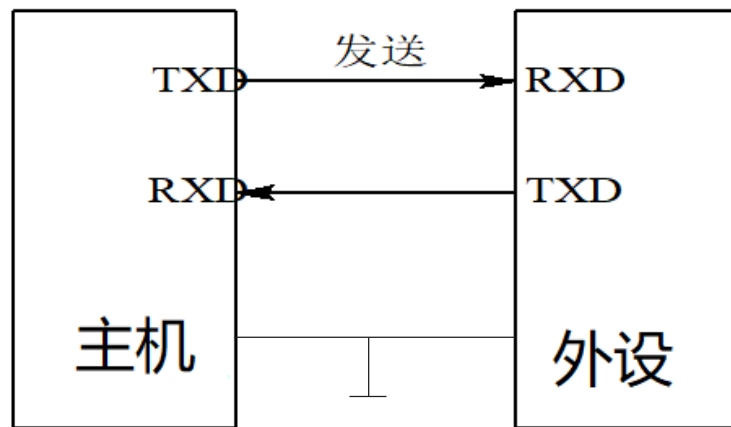
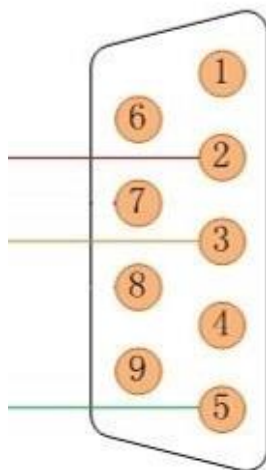
- 时钟频率 (MHz)
- 总线宽度 (bit位)
- 总线传输速率 (Mbps, 每秒兆字节)
- 同步或异步方式
- 多路复用
- 信号线数

2、串行总线

(1) RS-232总线

- RS-232标准是一种**全双工**通信协议
- 标准接口是25针D型插头；后简化成9针，一般只用TXD、RXD、GND三条线
- **单端输入**（单线共地），抗干扰能力弱
- 工作速率低（19.6Kbps）、通信距离短（15m，加Modem可延长）

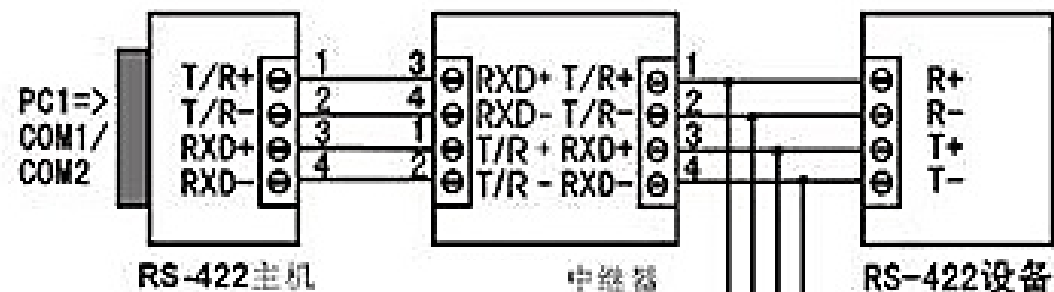
引脚顺序	引脚作用+名称	
1	数据载波检测	DCD
2	数据发射	TXD
3	数据接收	RXD
4	数据设备准备	DSR
5	地	GND
6	数据终端准备	DTR
7	清除发送	CTS
8	请求发送	RTS
9	振铃指示	RI



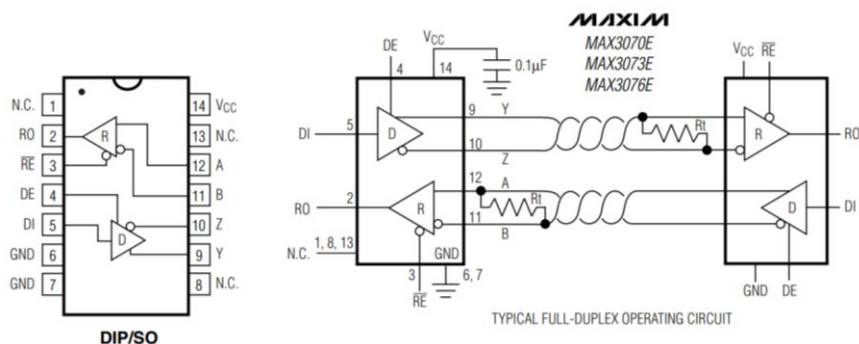
(2) 串行通信总线 RS-422

RS-422是由RS-232改进而来:

- RS-422接口采用**差动、双线**平衡传输，抑制共模干扰能力较强
- 接收器高输入阻抗，发送驱动能力更强
- 最高传输速率为10Mbps
- 最大通信距离1200m（不加中继且与**传输速率有关**）
- 传输线允许连多个接收节点
- 全双工通信



422点到多点4线全
双工(中继)通信连接
示意



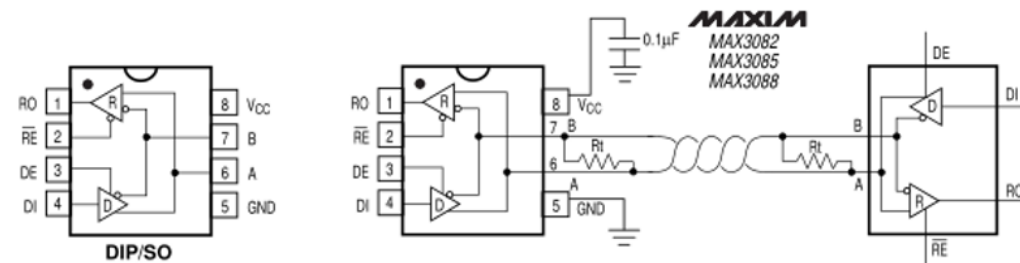
RS-422设备

(3) RS-485

- 差动、**双线**平衡传输，共模干扰抑制能力强
- 最高传输速率10Mbps，最大通信距离1200m（不加中继且与**传输速率有关**）
- 半双工工作方式：任何时候一点发送、多点接收

通过发送使能控制，实现多点双向通信，多点互连非常方便

- 同一网段最大支持**32**个节点，如果使用特制芯片，可以连接128个甚至更多节点



现场总线 “**首选**” 标准

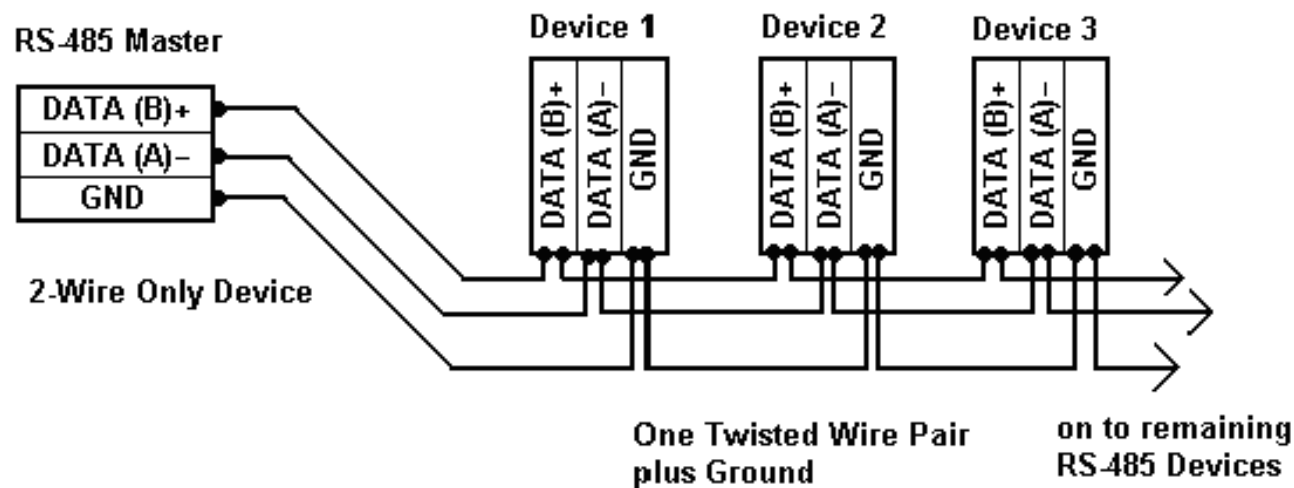


Fig. 1
2-Wire RS-485 Connections

(3) 现场总线 (Fieldbus)

现场总线：连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络
用于把遵循特定通信协议的控制系统现场仪表、设备连接组网

现场总线技术特征： 全数字→现场设备高度自治
全分散→系统结构高度分散
协议高度开放性（美好愿望而已，不是标准而是标准群）
实时以太网技术已被广泛接受

类型	技术名称	类型	技术名称
Type1	TS61158 现场总线	Type11	TCnet 实时以太网 以太网
Type2	CIP 现场总线	Type12	EtherCAT 实时以太网 以太网
Type3	Profibus 现场总线 RS-485	Type13	Ethernet Powerlink 实时以太网 以太网
Type4	P-NET 现场总线 RS-485	Type14	EPA 实时以太网 以太网
Type5	FF HSE 高速以太网 以太网	Type15	Modbus-RTPS 实时以太网 以太网
Type6	SwiftNet 被撤消	Type16	SERCOS I、II 现场总线
Type7	WorldFIP 现场总线	Type17	VNET/IP 实时以太网 以太网
Type8	INTERBUS 现场总线 RS-485	Type18	CC_Link 现场总线
Type9	FF H1 现场总线	Type19	SERCOS III 实时以太网 以太网
Type10	PROFINET 实时以太网 以太网	Type20	HART 现场总线

思考题：现场总线与一般计算机通信网络的技术特征方面有何差异？
(通信速度、可靠性、安全 (safety)、网络拓扑)

技术特征	一般通信网络	现场总线
通信速度	快	可靠的快 最大响应时间是确定的
安全性	一般要求	本质安全、电磁兼容
网络拓扑	网络型 (多路径)	总线型 (单一路径且易实现本质安全)

(4) 工业以太网 以太网技术从办公自动化走向工业自动化

- Ethernet产生于上世纪70年代，初期的传输速率很低
- 介质访问控制协议：CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection)
- 应用广泛、开放性兼容性好.....
- 工业以太网出现在上世纪90年代，之前一般认为以太网不适合工控底层网络

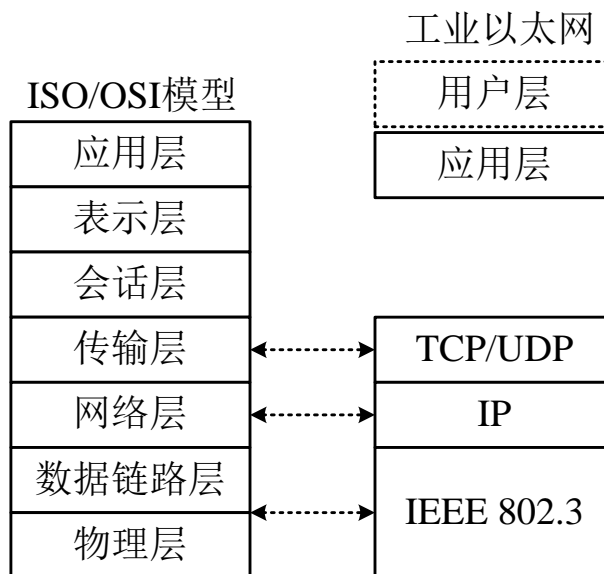
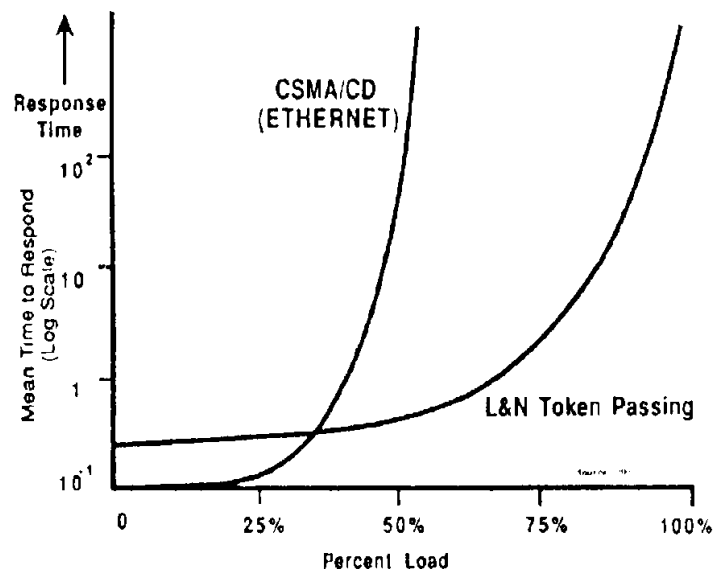
思考题：工控系统为什么以前不用Ethernet通信？

- CSMA/CD→先听后说/边听边说→大负荷时存在碰撞可能→存在“原理上的不确定性”
- 通信速率↑，网络负荷↓，碰撞概率↓
- 交换技术发展 → 进一步减轻碰撞问题
- e网负荷 < 10%时，基本无碰撞；负荷 < 25%时，e网通信响应时间明显短于令牌网
- “不确定性”不再是e网用于工控底层网络的主要障碍（工业以太网）

工业控制系统网络通信的特点：

- ◆ 短帧信息多、长帧信息少
- ◆ 周期性信息多（**测量、控制信息**），非周期性信息少（**操作指令、组态信息；报警等突发性事件信息**）
- ◆ 信息流向方向性明显
- ◆ 节点数少、网络负荷较平稳
- ◆ 简化的OSI模型（7层→3、4层）

工业以太网碰撞概率是很低的



技术名称	技术来源	应用领域
Ethernet/IP	美国Rockwell公司	过程控制
PROFINET	德国Siemens公司	过程控制、运动控制
P-NET	丹麦Process-Data A/S公司	过程控制
Vnet/IP	日本Yokogawa横河	过程控制
TC-net	东芝公司	过程控制
EtherCAT	德国Beckhoff公司	运动控制
Ethernet Powerlink	奥地利B&R公司	运动控制
EPA	浙江大学、浙江中控公司等	过程控制、运动控制
Modbus/TCP	法国Schneider-electric公司	过程控制
HSE	现场总线基金会	过程控制、运动控制
SERCOS-III	德国Hilscher公司	运动控制

EPA：我国自动化领域首个国际标准

由浙江大学、浙江中控技术有限公司、中科院沈阳自动化所、重庆邮电学院、清华大学、大连理工大学等单位联合制定，用于工厂自动化的实时以太网通信标准。该标准得到国际电工委员会的正式承认，拥有自主知识产权

意义：打破现场总线核心技术与标准被国外垄断(芯片、专利、标准)的局面

- ✓ 在国际流程工业先进控制与优化领域形成话语权
- ✓ 提升了国际影响力
- ✓ 推动了我国先进控制与优化技术及软件的规范化、自主化和互联互通
- ✓ 对我国高端自动化产业发展具有重要的战略意义。



ISO标准制订会议





Thank You