

# 过程控制系统及工程

## 第10章 流体输送设备的控制

信息学院自动化系：李大字

**Email:** [lidz@mail.buct.edu.cn](mailto:lidz@mail.buct.edu.cn)

# 第10章

## 流体输送设备的控制

10.1 流体输送设备的控制

10.2 泵和压缩机的控制

10.3 离心式压缩机的防喘振控制

## 10.1 概述



流体：液体或气体

液体传送——泵，

气体传送——风机或压缩机

控制目标：流量、压力控制，安全保护控制

## 10.2 泵和压缩机的控制

### 10.2.1 离心泵的控制

离心泵的叶轮在电动机的带动下做高速旋转运动，产生离心力。

泵速越高，离心力越大，出口压头越高。

出口流量增大，出口压力降低。

离心泵特性公式：

$$H = R_1 n^2 - R_2 Q^2$$



#### ■ 性能

流量Q 140~1800m<sup>3</sup>/h

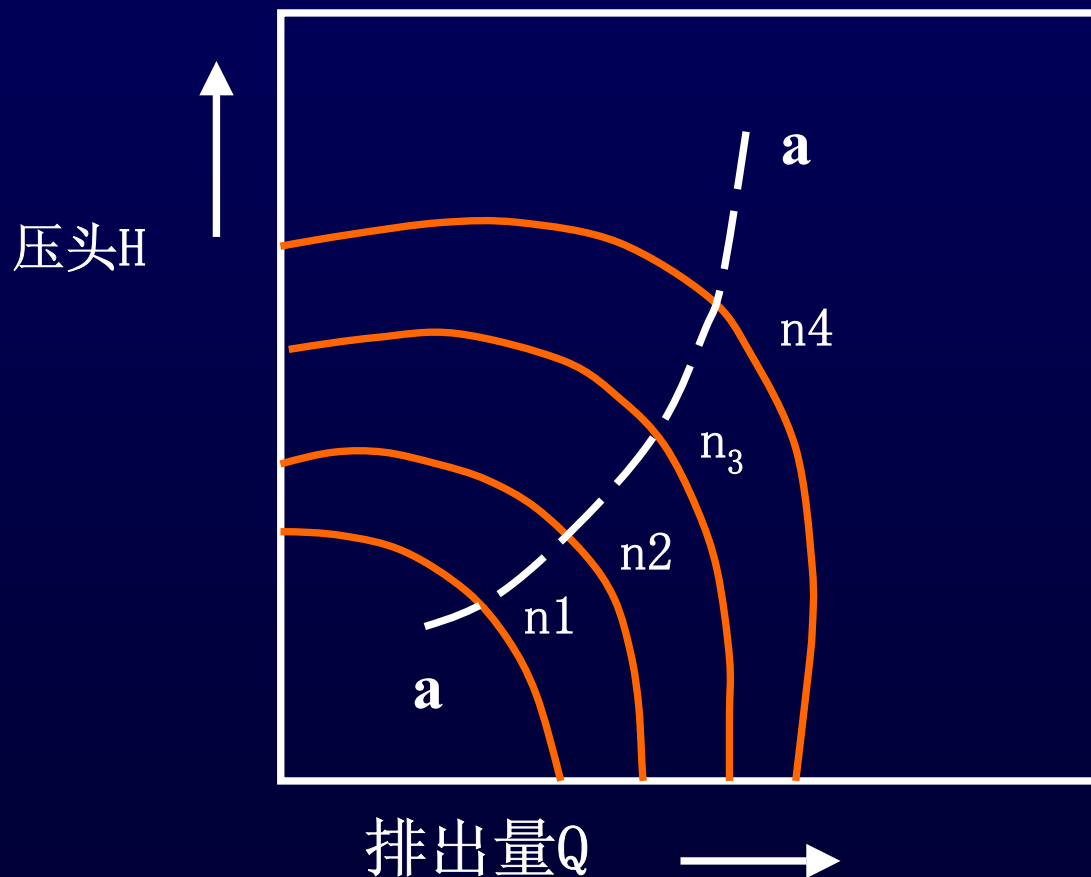
扬程H 9~125m

进口直径 150~600mm

## 10.2 泵和压缩机的控制

### 10.2.1 离心泵的控制

#### 离心泵特性曲线



另外，管路系统的压力也对泵的特性有影响

## 10.2.1 离心泵的控制

管路阻力:

- (1) 管路两端的静压差 $h_p$
- (2) 管路两端的静液柱高度，即升扬高度 $h_L$
- (3) 管路的摩擦损失 $h_f$
- (4) 控制阀两端的节流损失 $h_v$



管路总压力阻力

$$H_L = h_p + h_L + h_f + h_v$$

系统稳定工作:  $H = H_L$

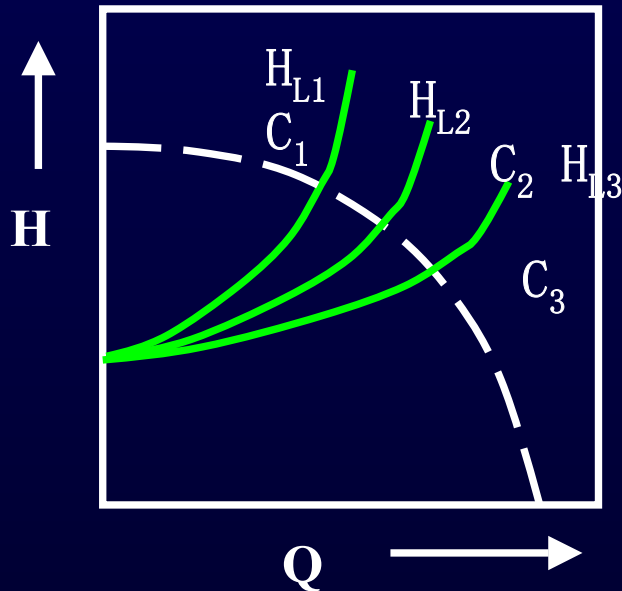
因此，可以通过 $h_v$ 或其他手段改变 $H$ 压力（流量）

## 10.2.1 离心泵的控制

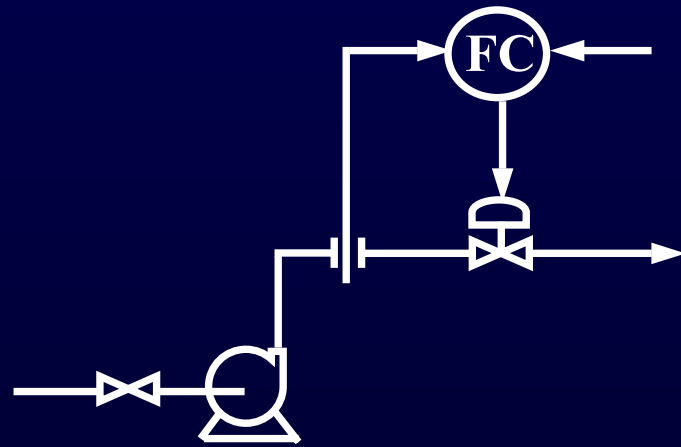
### (1) 直接节流法

改变直接节流阀的开度，改变平衡工作点的位置C

注意，控制阀一定要装在阀的出口位置，否则会出现“气缚”和“气蚀”现象，对离心泵产生损坏。



(a) 流量特性



(b) 控制方案

## 10.2.1 离心泵的控制

“气缚”—— $h_v$ 使得入口压力下降，使液体部分汽化，使泵的出口压力下降，排量降至零

“气蚀”—— $h_v$ 使得部分汽化的气体到达出口，受压缩重新凝聚成液体，对泵内机件产生冲击

- 优点： 调解方便
- 缺点： 机械效率低（消耗在阀上）
- 场合： 常用，排量小于正常排量的30%时要调整



## 10.2.1 离心泵的控制

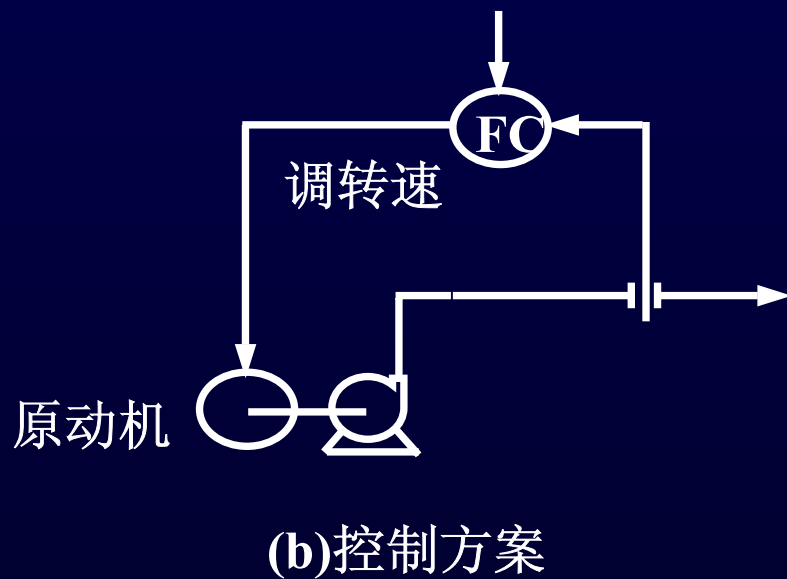
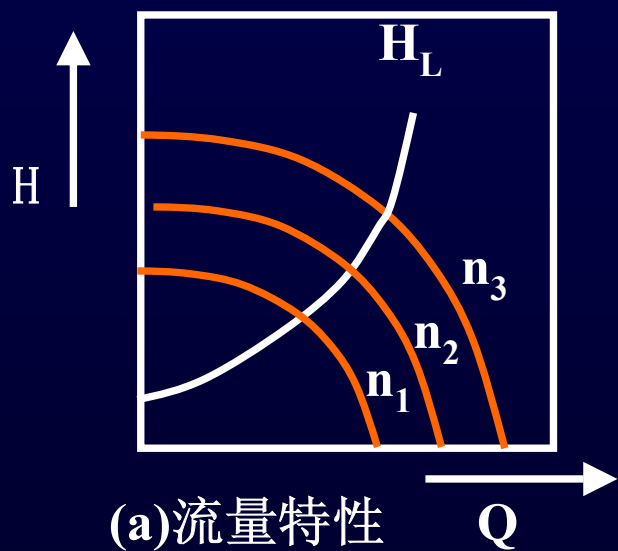
### (2) 改变泵的转速

通过改变泵的转速改变工作点

目前主要通过变频器控制电机的转速

变频器近年发展比较快，功能、可靠性大大提高，价格下降。

此方法也可以取代控制阀，实现流量控制



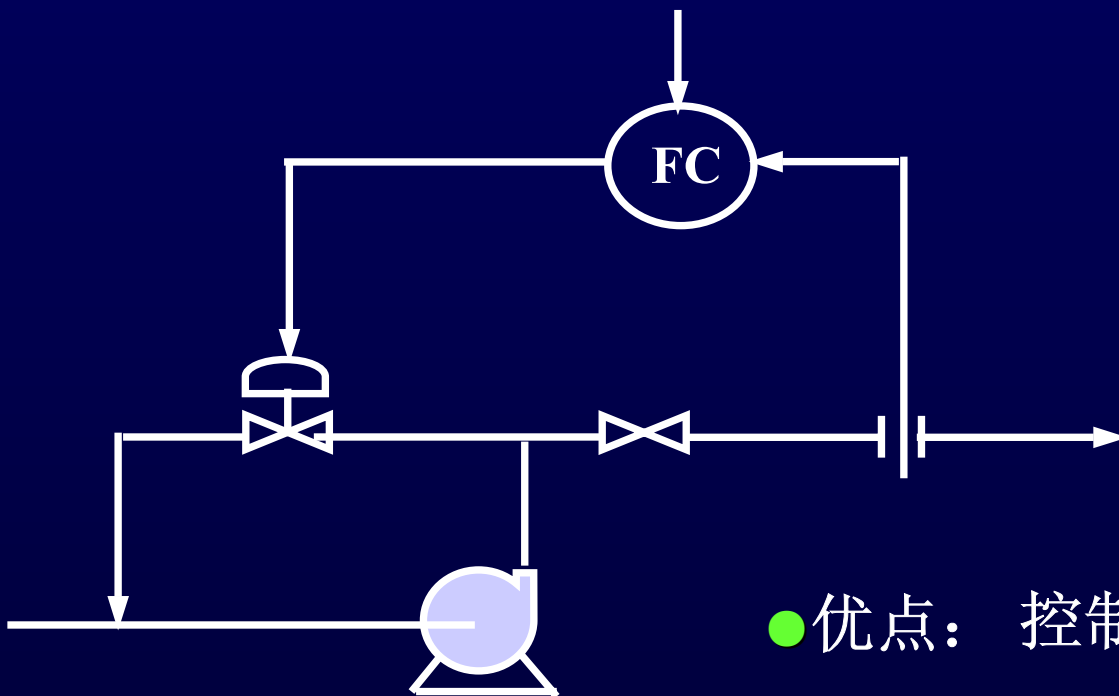
## 10.2.1 离心泵的控制

- 优点：机械效率高，节能
- 缺点：调速复杂（离心泵较多时使用）
- 场合：少用，用于大功率的离心泵



## 10.2.1 离心泵的控制

### (3) 改变旁路回流



- 优点： 控制阀口径↓， 调节方便
- 缺点： 回路， 能量消耗大  
(未充分使用)
- 场合： 有一定使用

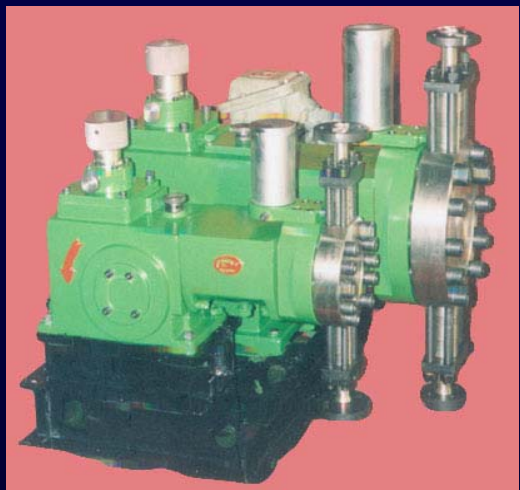
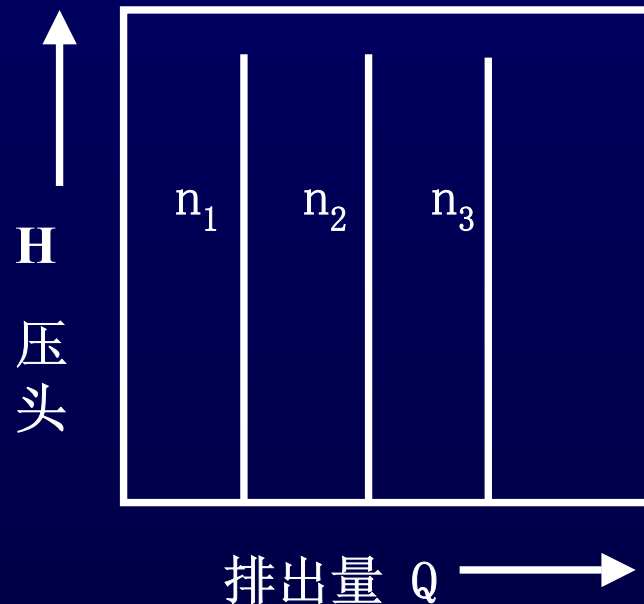
## 10.2.2 容积式泵的控制方案

往复泵：活塞式、柱塞式

旋转泵：齿轮式、螺杆式

排量的大小与管路的阻力无关，  
只取决于泵的冲程及往复频率

不能采用节流方法控制



## 10.2.2 容积式泵的控制方案

常见的控制方案：

- (1) 变频调速
- (2) 旁路法

## 10.2.3 压缩机的控制方案

气体增压及输送设备

离心式、往复式

离心式应用比较多

- 优点：

- 缺点： 需要保证运行的安全性，如“喘振”、功率大、转速快



## 10.2.3 压缩机的控制方案

---

主要自控系统:

- (1) 气量控制: 和离心泵相似
- (2) 防喘振控制
- (3) 油路控制: 油温、油压联锁安全保护 (电气控制)
- (4) 轴推力、轴位移及连锁保护控制

## 10.3 离心式压缩机的防喘振控制

### 10.3.1 喘振现象及原因

离心式压缩机的负荷低于一定的值后，气体的正常输送被破坏，气量乎多忽少，发生强烈振荡——“气喘”声音，严重破坏机器设备。



## 10.3.1 喘振现象及原因

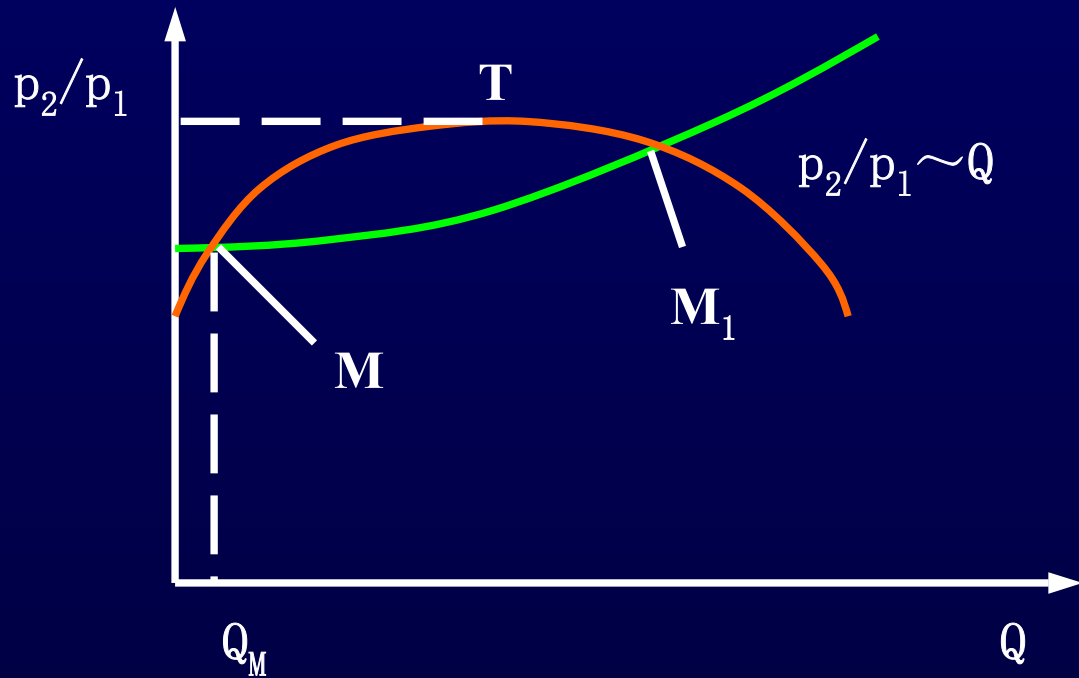


图10-8 离心式压缩机工作曲线

喘振产生的原因：

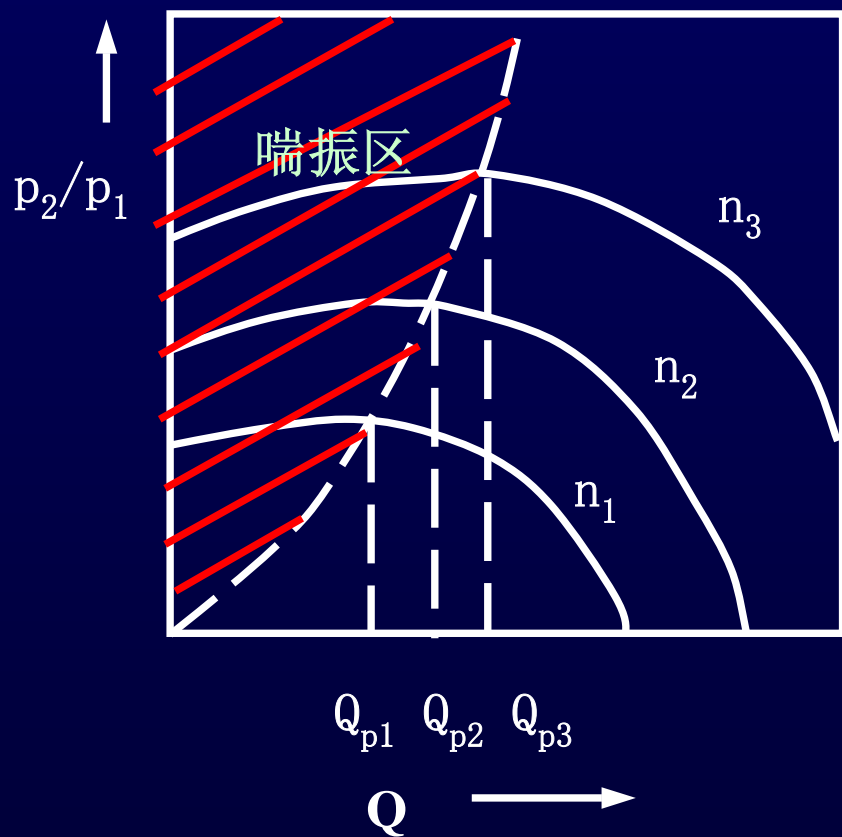
T点右侧，稳定工作区  $P_2/P_1 \downarrow$   $Q \uparrow$   $P_2/P_1 \uparrow$

T点左侧，不稳定工作区  $P_2/P_1 \downarrow$   $Q \downarrow$   $P_2/P_1 \downarrow$  喘振区

T点对应的流量——**极限流量**

## 10.3.1 喘振现象及原因

不同的转速，离心泵的极限流量也不一样

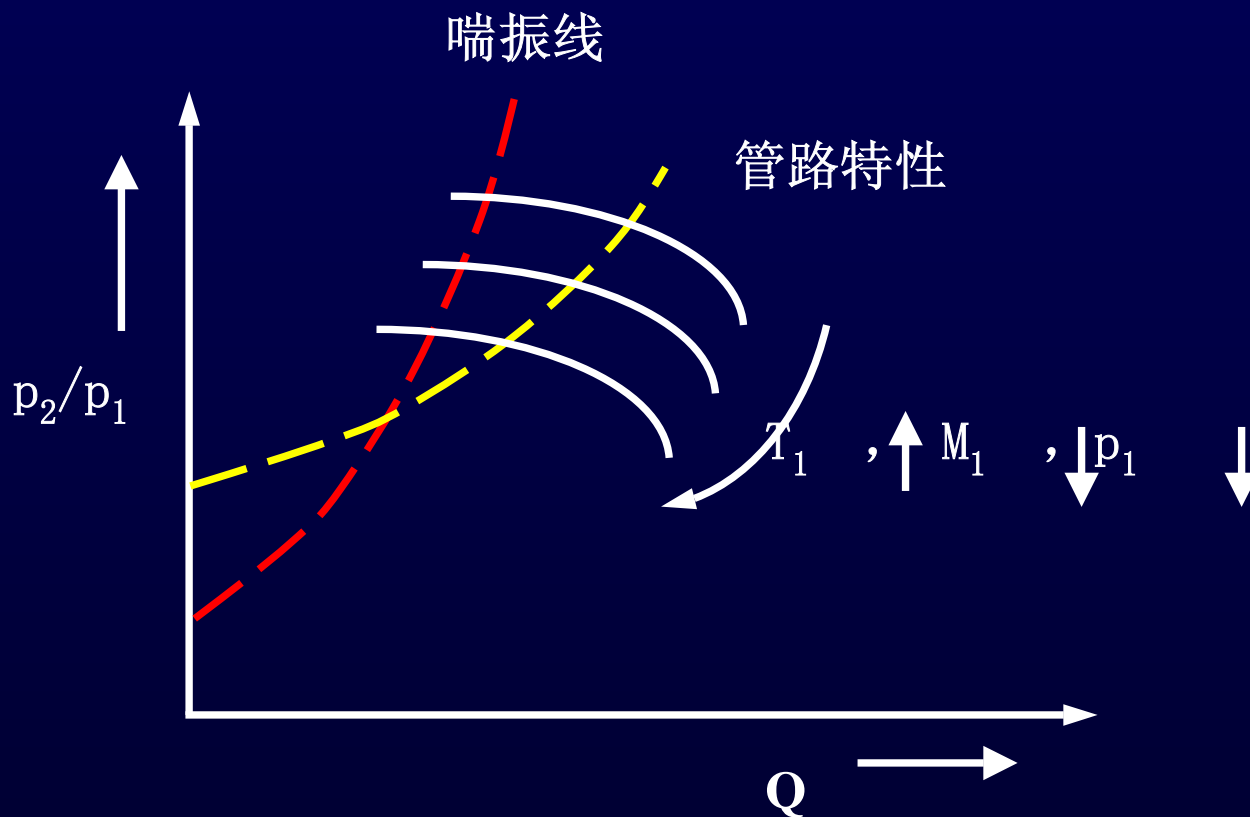


产生喘振的直接原因是负荷的下降

## 10.3.1 喘振现象及原因

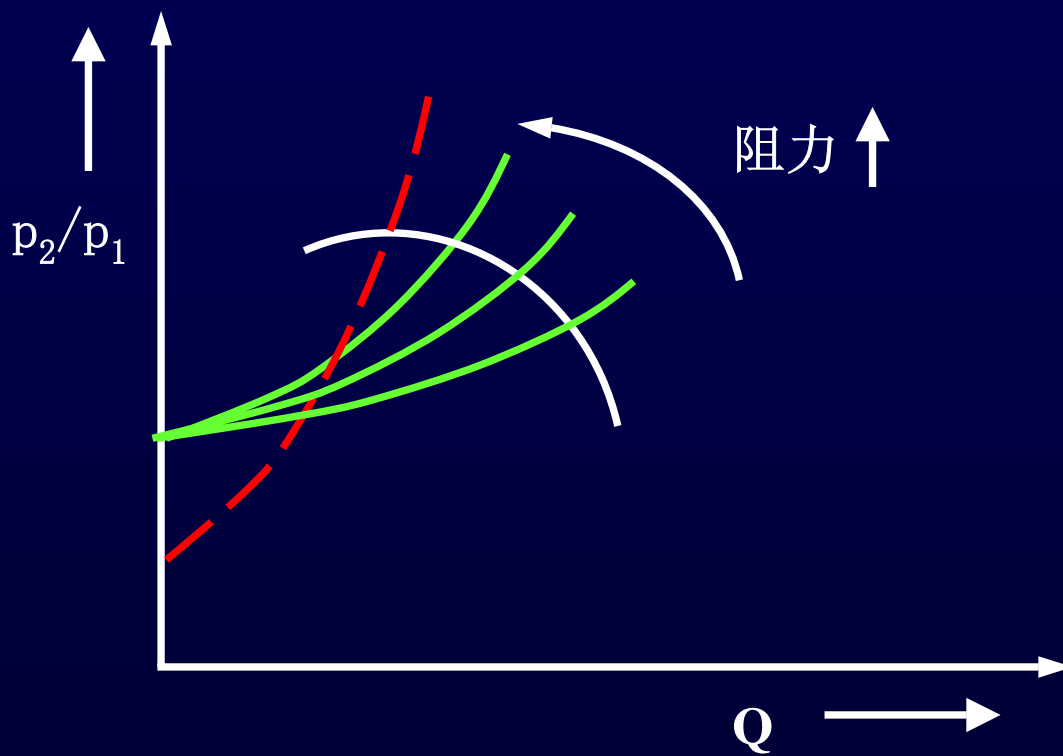
另外，有些工艺原因也可以导致喘振

(1) 气体吸入状态的变化



## 10.3.1 喘振现象及原因

### (2) 管路阻力的变化



## 10.3.2 防喘振控制系统

---

控制喘振：

限制压缩机流量不小于极限流量 $Q_1 > Q_p$ ,

方法：

部分回流，既满足工艺要求，又使 $Q_1 > Q_p$

## 10.3.2 防喘振控制系统

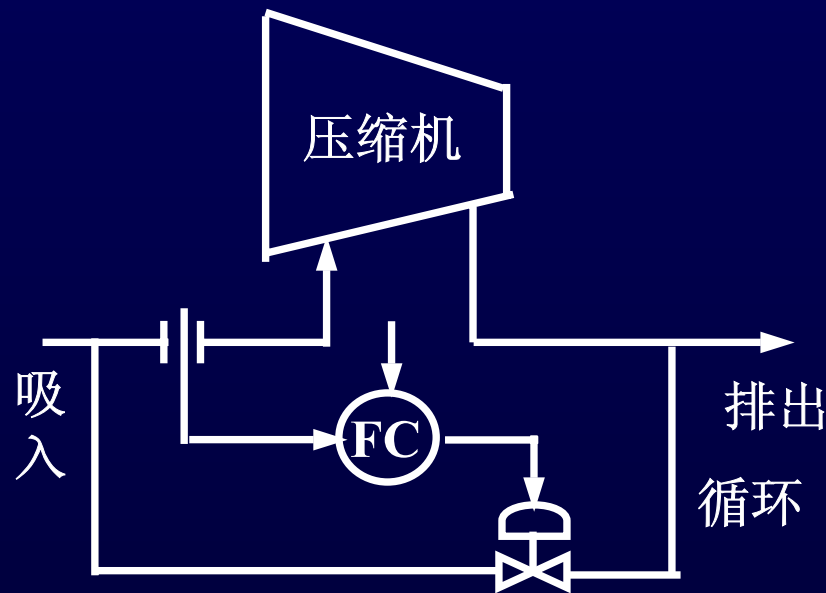
### (1) 固定极限流量

$Q_1 > Q_p$ , 旁路阀关死

$Q_1 < Q_p$ , 旁路阀打开,  
部分出口气体返回到入口, 使 $Q_1 > Q_p$

此种方案中,  $Q_p$ 是固定值, 正确选择 $Q_p$ 值是关键.

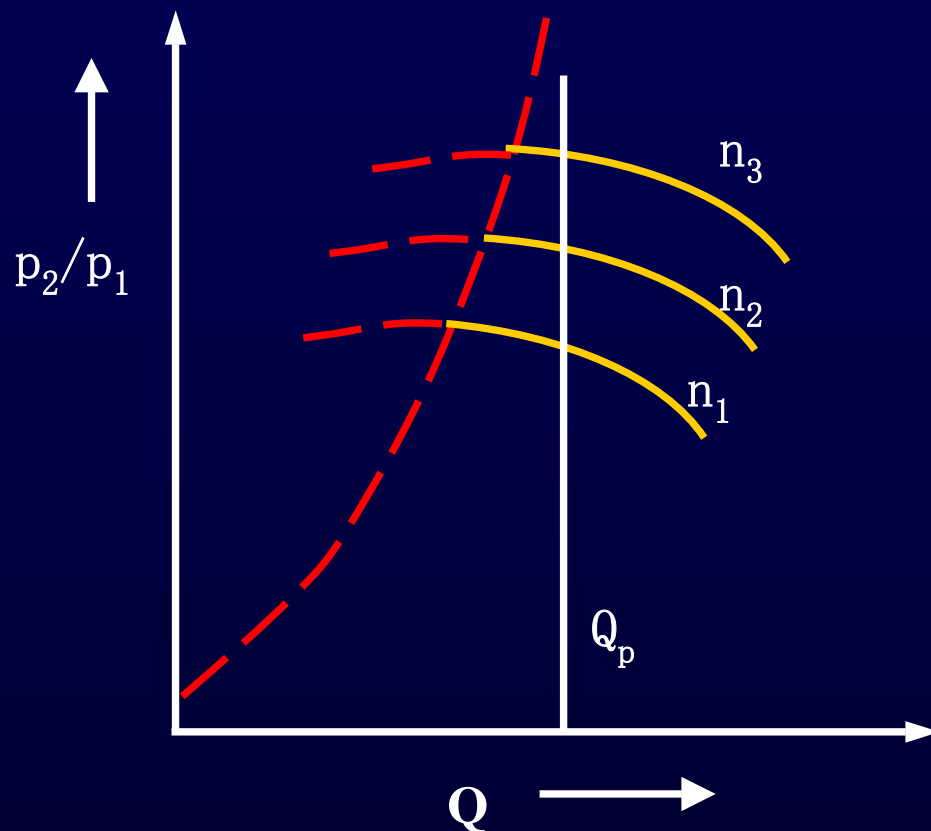
选择最大转速下的 $Q_p$   
作为FC的设定值,



## 10.3.2 防喘振控制系统

### (1) 固定极限流量

- 优点：实现简单，使用仪表少，可靠性高
- 缺点：转速变化时，可能产生能量浪费  
适用于固定转速的场合。



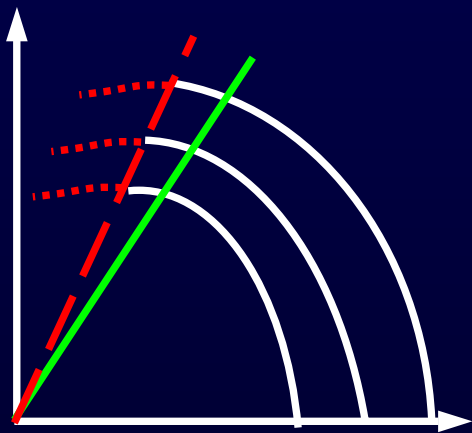
## 10.3.2 防喘振控制系统

### (2) 可变极限流量

设置极限流量随转速而变

关键：确定压缩机的喘振  
极限线方程

几种常见的操作线方程



$$\frac{p_2}{p_1} = a + b \frac{Q_1^2}{T_1}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = a_0 + a_1 Q_1 + a_2 Q_1^2$$

$$H_{\text{多变}} = \varphi Q_1^2$$

$$\frac{p_2}{p_1} = a + b \frac{K^2}{r} \bullet \frac{\Delta p_1}{p_1}$$

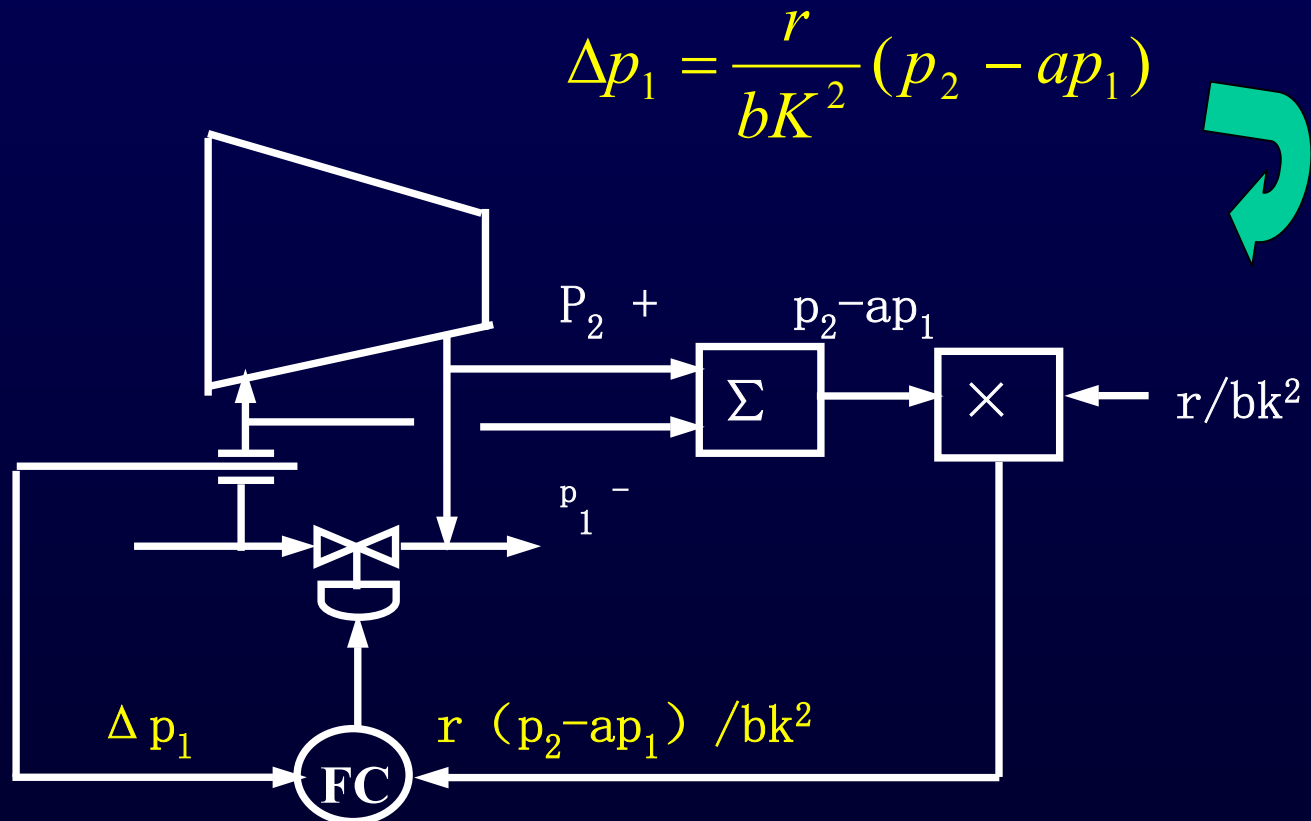


## 10.3.2 防喘振控制系统

### (2) 可变极限流量

出入口压力与入口流量的关系

不同形式的变换，组成防喘振控制系统。



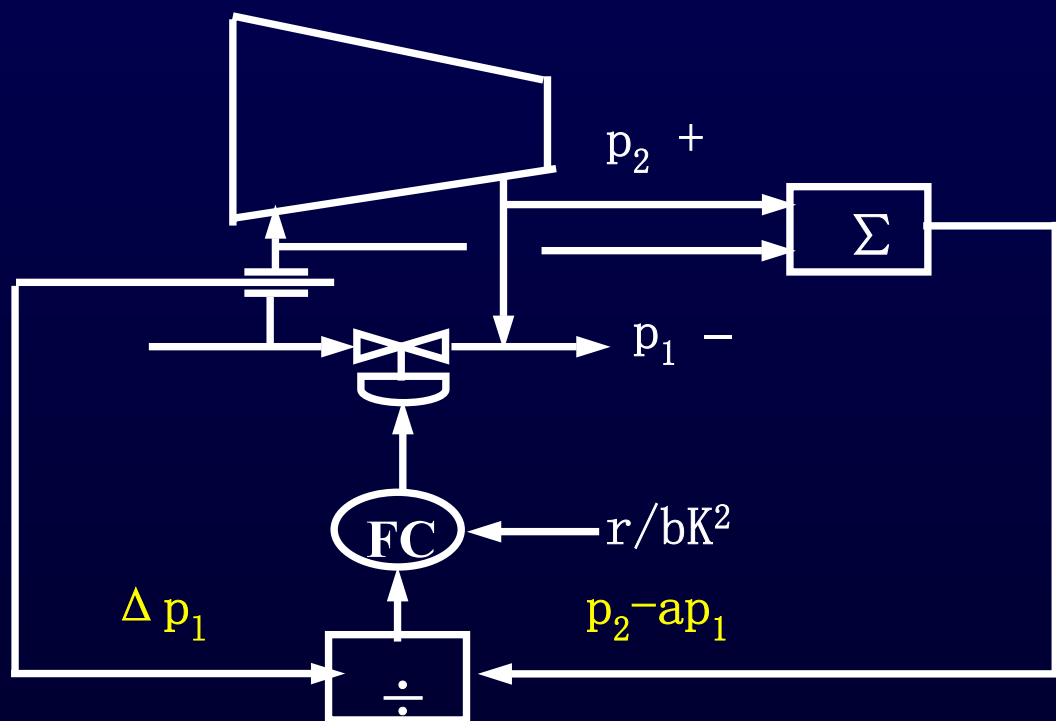
## 10.3.2 防喘振控制系统

### (2) 可变极限流量

出入口压力与入口流量的关系

不同形式的变换，组成防喘振控制系统。

$$\frac{\Delta p_1}{p_2 - ap_1} = \frac{r}{bK^2}$$



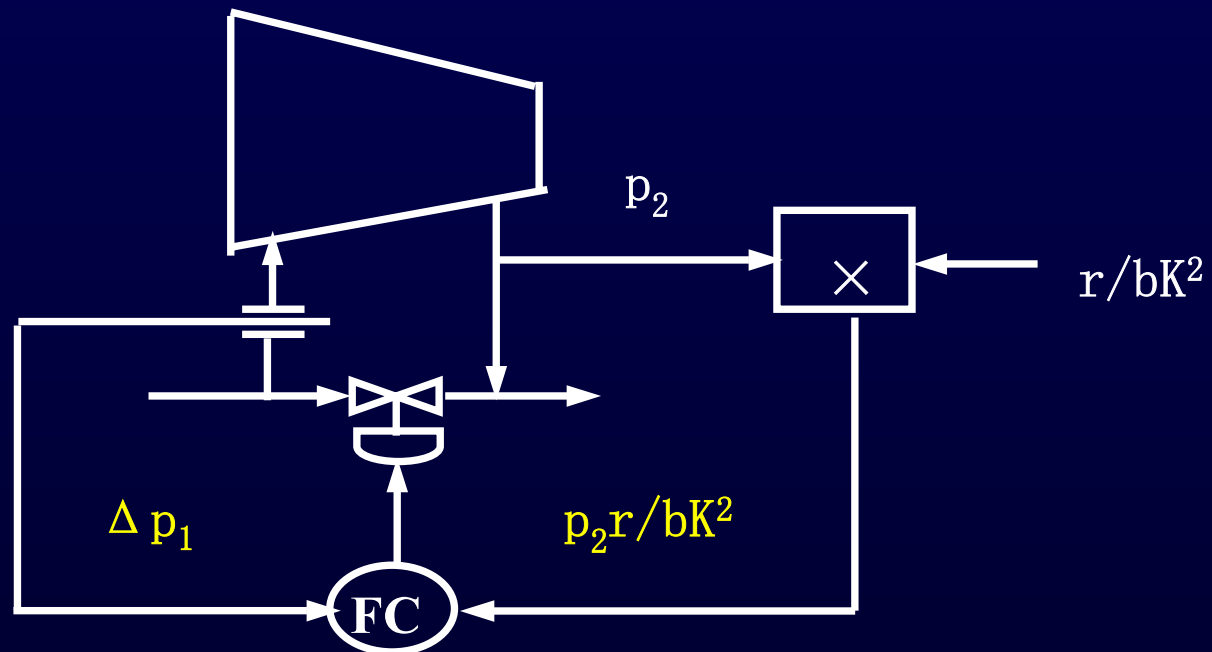
## 10.3.2 防喘振控制系统

### (2) 可变极限流量

出入口压力与入口流量的关系

不同形式的变换，组成防喘振控制系统。

$$\Delta p_1 = \frac{r}{bK^2} p_2$$



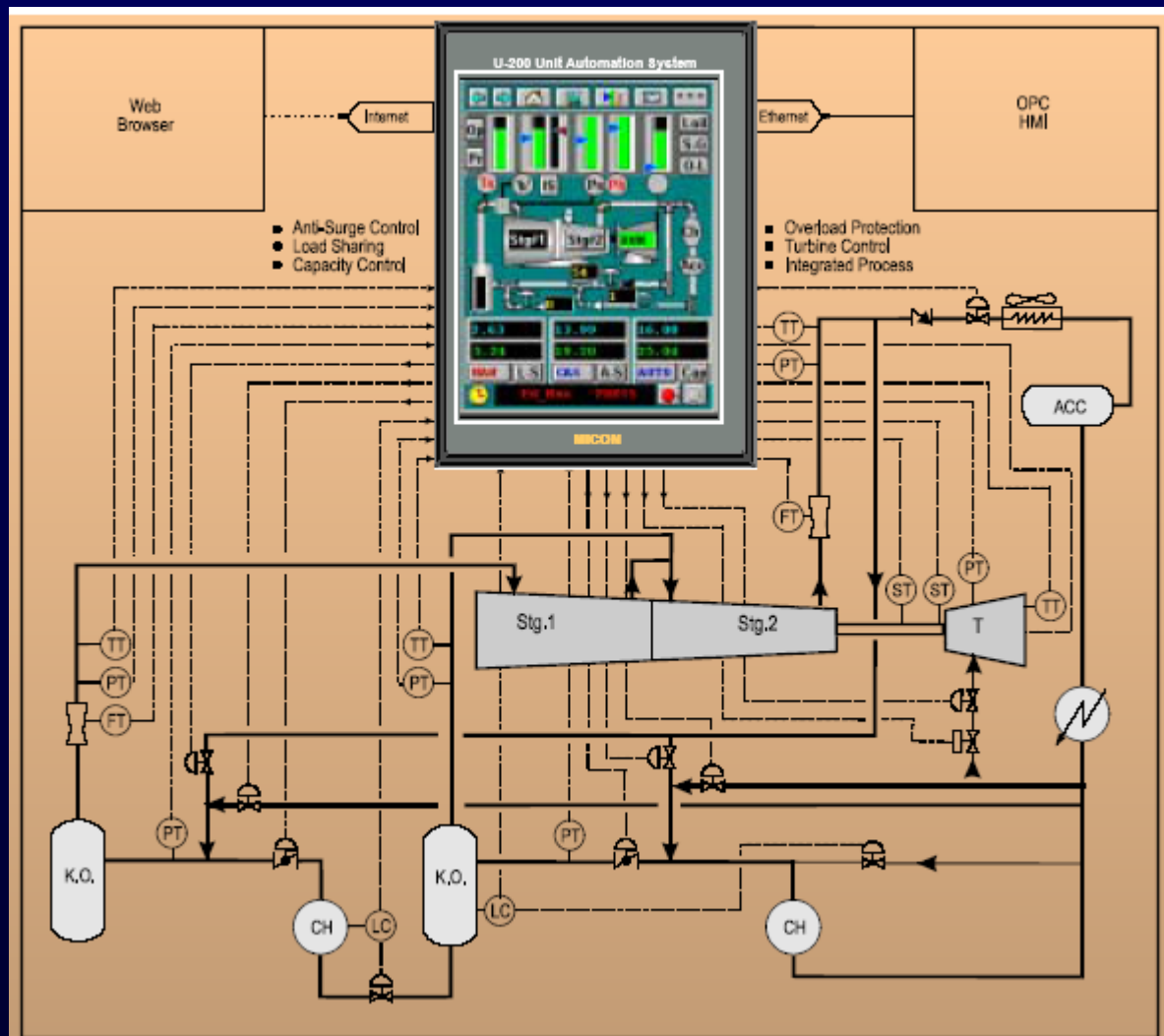
## 10.3.2 防喘振控制系统

### (2) 可变极限流量

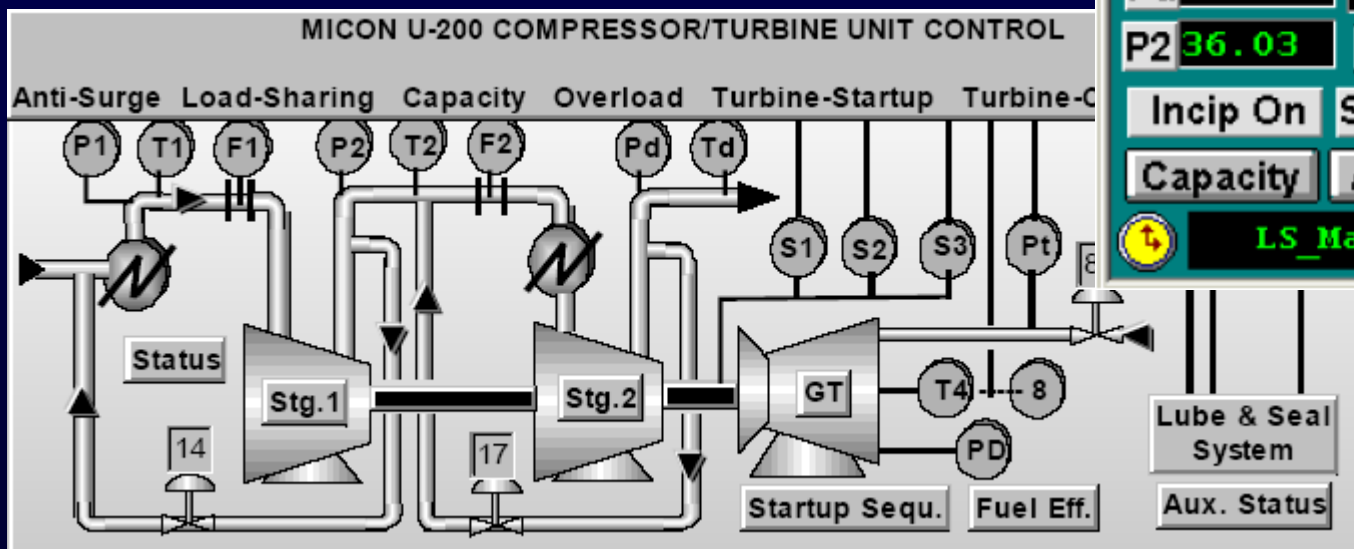
#### 应用实例

压缩机与透平

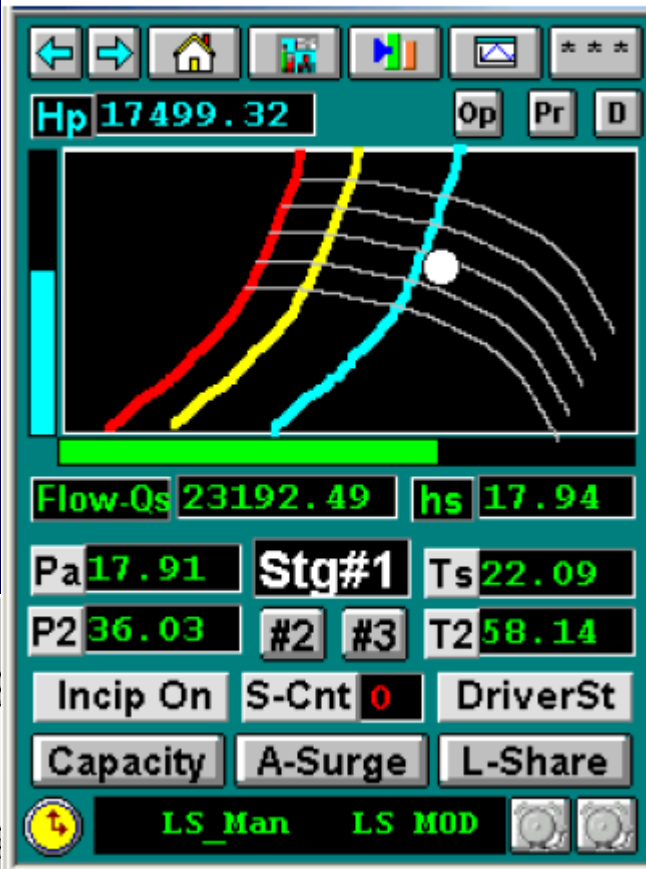
单元自动化控制系统



## 10.3.2 防喘振控制系统



操作员界面



### 10.3.3 压缩机串、并联运行及防喘振控制

通过一个LS，不论哪个压缩机出现喘振，都可以把旁路阀打开，以防止喘振。

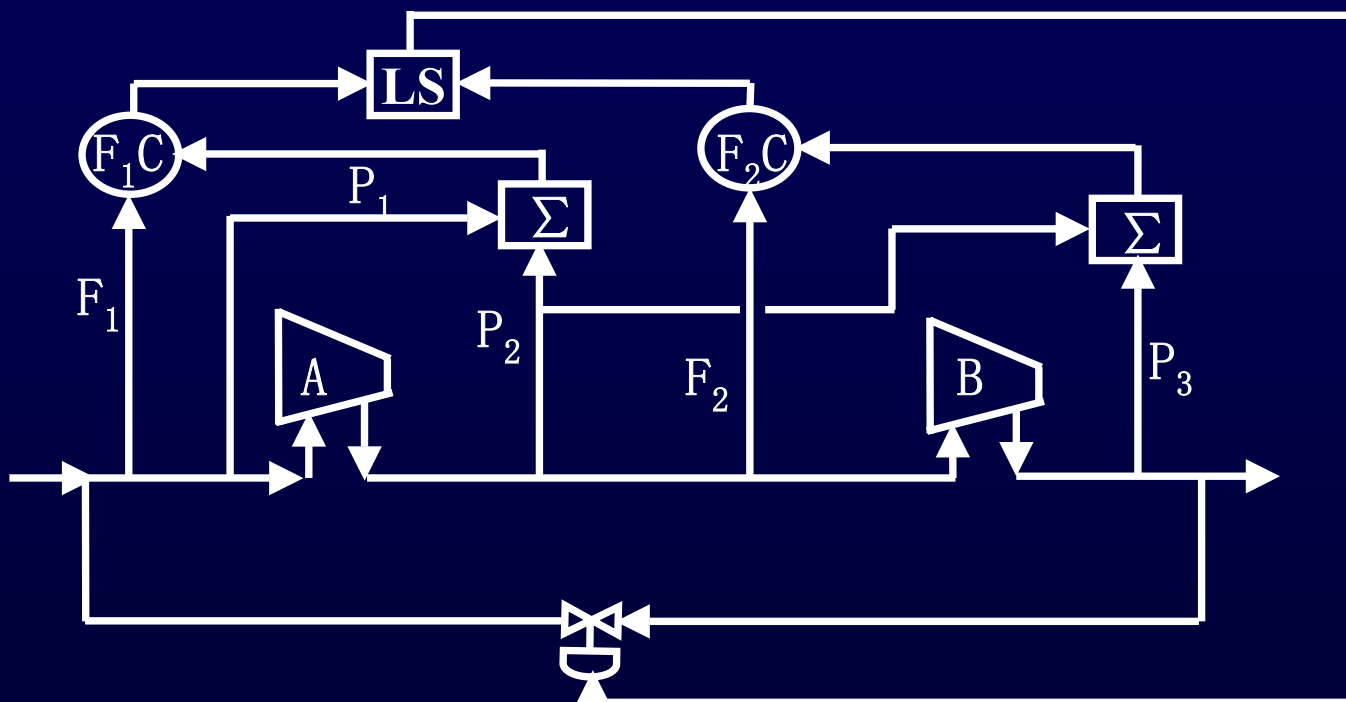
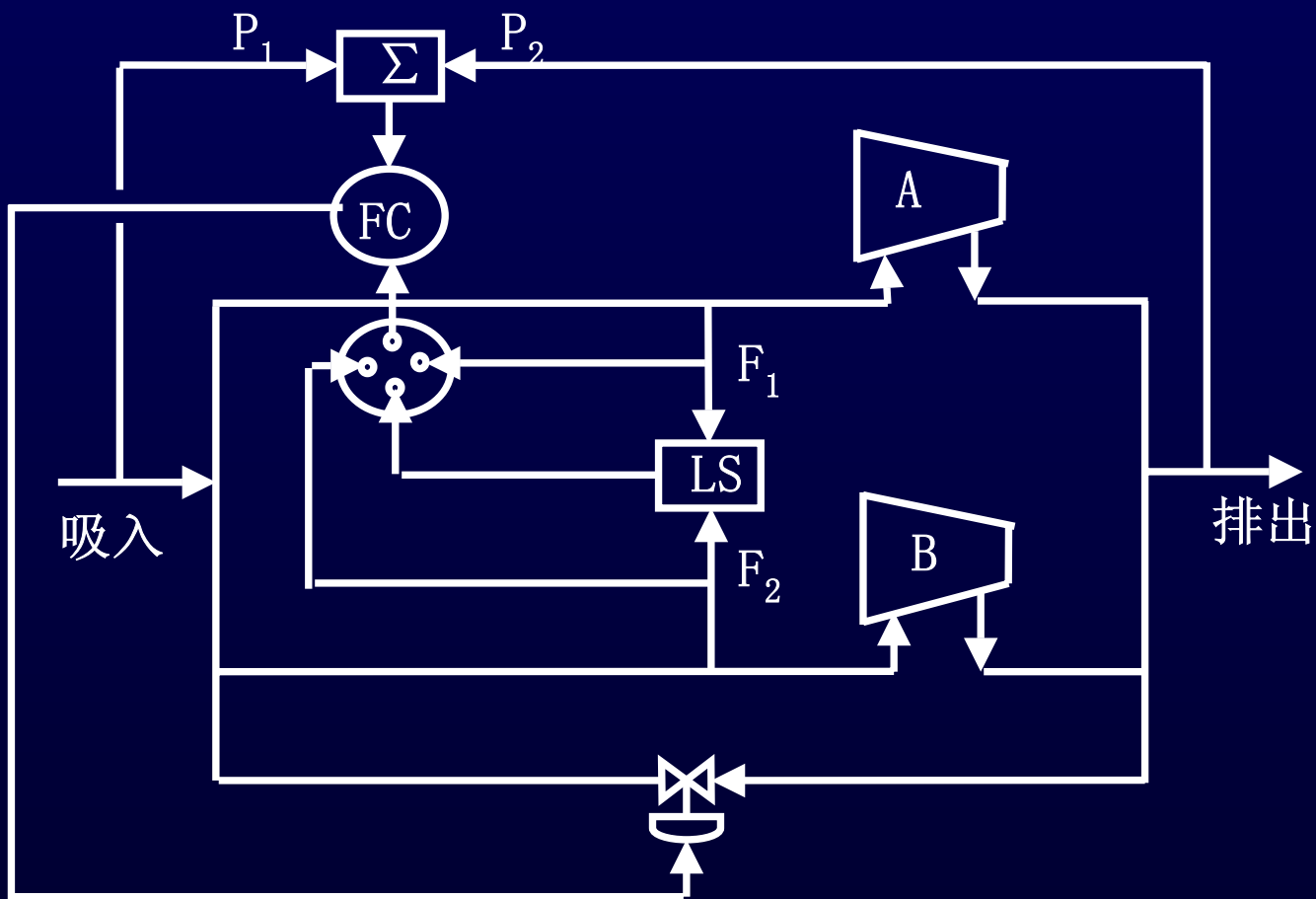


图10—21 压缩机串联运行时防喘振控制方案

### 10.3.3 压缩机串、并联运行及防喘振控制

并联情况

工艺上尽量要求单机运行。



作业 1713



课本 191

10.7