

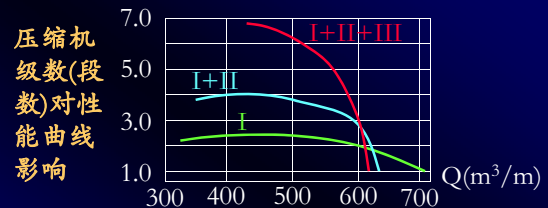
第七章 离心压缩机的性能曲线和调节

掌握：(1) 性能曲线影响因素；(2) 喘振原理及防治；(3) 调节方法及原理。

第一节 离心压缩机性能曲线

一.级数对压缩机性能曲线的影响

压缩机性能曲线是各级性能曲线的串联，但受比容变化的影响，各级性能串联时，将使喘振流量增大，堵塞流量减小，压缩机稳定工况范围变窄，且主要取决于最后几级。故设计时，可对后面几级采用较小的 β_{2A} 角。



二.转速变化对压缩机性能曲线的影响

压缩机获得能头正比于转速的平方，转速增大，气流马赫数也增大，这时若流量离开设计流量，就会使损失大大增加，而使稳定工况范围变小。

- 1.在一定转速下，流量增大，压缩机压比下降，反之，则上升。
- 2.在一定转速下，压缩机在设计点工作，效率最高。
- 3.压缩机性能曲线左边受喘振工况点限制，右边受堵塞工况点限制，二者之间区域为压缩机的稳定工况区，是衡量压缩机性能的一个重要指标。
- 4.压缩机级数愈多，性能曲线愈陡，稳定工况范围愈窄。对有中间冷却的多段压缩机而言，这个问题更重要。
- 5.转速愈高，压缩机性能曲线愈陡，稳定工况愈窄。另转速升高时，整个压缩机性能曲线向大流量方向移动。

第二节 压缩机与管网联合工作

管网系统：压缩机后面，压缩气体所需经过的全部装置的总称。压缩气体流经管网时，需克服各种阻力损失，使压力下降。

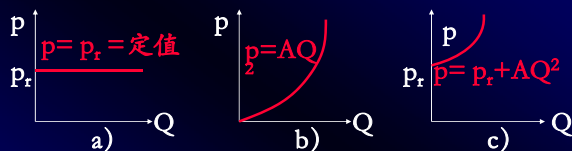
管网性能（阻力）曲线：指通过管网的气体流量与保证这个流量通过管网所需的压力之间的关系曲线，即 $p=f(Q)$ 。有三种形式：

1.管网阻力与流量无关

如压缩机向某一容器输送气体，容器很大，压力基本不变，而压缩机和容器之间管道很窄。

2.管网阻力与流量平方成正比： $p=AQ^2$

3.综合形式： $p=p_r+AQ^2$



管网性能曲线

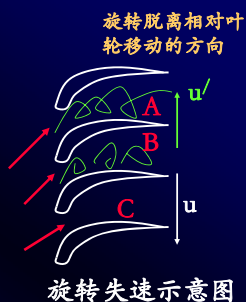
平衡工作点——压缩机性能曲线与管网性能曲线交点

第三节 离心压缩机的喘振

一.喘振机理

1.旋转脱离：当压缩机流量减少至某一值时，叶片进口正冲角很大（如B叶道），使叶片非工作面上的气流边界层严重分离，造成B叶道有效通道减小，使原来要流过B叶道的气流大部分流向A叶道和C叶道。随即促使A叶道相继严重脱离，而改进了C叶道，依次类推，造成脱离区朝叶轮旋转的反向以 ω' 转动。由实验知： $\omega' < \omega$ ，故从绝对坐标系观察脱离区与叶轮同向旋转，这种现象称旋转脱离。

2.喘振工况：流量进一步减少，叶道中的若干脱离团连成一个大脱离团，几乎充满整个叶轮，叶轮不再排出气流，压缩机出口压力显著降低。这时，管网中气流倒流向压缩机，直到管网压力等于压缩机出口压力，倒流停止，压缩机又正常向管网供气。当管网压力恢复，压缩机流量又减小，直至系统中气流又发生倒流。气流如此正流、倒流反复的轴向气流振荡现象为喘振。



旋转失速示意图

二.喘振危害

压缩机压力、效率显著下降，机器出现异常噪音和强烈振动，导致轴承、密封破坏，转子静子相碰，使机器的严重受损。

三.防喘振措施

- 1.听测压缩机出气管气流的噪音；
- 2.观测压缩机出口压力和进口流量的变化；
- 3.观测机体和轴承的振动情况；
- 4.降低转速；
- 5.设置旁路；

6.在各级前设置可调叶片角度的导流器。

四.堵塞工况

压缩机流量增大、负冲角很大时，在下面两种情况下，压缩机达到堵塞工况：

- 1.工作面边界层分离损失增加，叶轮做功全部变为能量损失，压力不再升高；
- 2.流道最窄截面处，气流达到声速，流量不再增加。

第四节 离心压缩机的调节方法

根据用户要求，按调节任务分为：

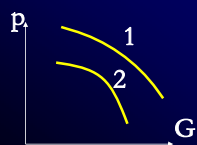
- 1.调节流量而保持压力不变；
- 2.调节压力而保持流量不变；
- 3.比例调节：保持压力比例不变或保证所压送的两气体的容积流量百分比不变。

一.压缩机出口节流调节：调节管网性能曲线

人为加大管网阻力的调节方法简便，但不经济，用于小型鼓风机和通风机。

二.压缩机进气节流调节：改变压缩机性能曲线位置

进气压力降低，比容增大，在相同的质量流量下，容积流量增大，从而使 H_{th} 减小，耗功小。此外，进口节流后喘振流量向小流量方向移动，使压缩机可能在更小的流量下工作。



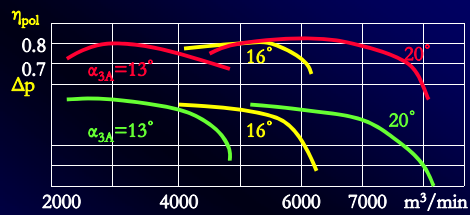
三.采用可转动的进口导叶调节（进气预旋调节）

$$H_{th} = \frac{1}{g}(u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}) = \frac{u_2^2}{g} \left(1 - \frac{c_{2r}}{u_2} \cot \beta_2 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \frac{c_{1u}}{u_1}\right)$$

正预旋增加时，性能曲线下移， H_{th} 下降；当负预旋增加时，性能曲线上移， H_{th} 增大。喘振流量增大。耗功比进、出口节流均少，但结构复杂，需对每一级采用可动导叶。

四.采用可转动扩压器叶片调节

叶片扩压器性能曲线陡，且当流量减小时，一般先在叶片扩压器产生严重的脱离而导致喘振。而减小叶片几何角 α_{3A} ，能使性能曲线向小流量区大幅度移动，使喘振流量大大降低，同时效率和能量头变化很小。故调节扩压器叶片角度常和其他方法（调转速）结合，以满足调节压头的需要，



叶片扩压器的叶片位置不同时，某单级离心扩压器性能曲线的变化

五.改变压缩机转速调节

改变转速可以大幅度增大稳定工况区域。

几种调节方法比较

- 1.改变压缩机转速的调节方法，经济性最好、调节范围广，适用于由蒸汽轮机、燃气轮机拖动的离心压缩机。
- 2.压缩机进口节流调节，方法简单，经济性较好，并具有一定的调节范围，目前转速固定的离心压缩机、鼓风机常采用此法。
- 3.转动进口导叶调节方法，调节范围较宽，经济性也好，但结构比较复杂。

4.转动叶片扩压器的调节方法，能使压缩机性能曲线平移，对减小喘振流量，扩大稳定工况范围有效，经济性好，但结构复杂。适用于压力稳定、流量变化大的变工况。目前这种方法单独使用较少，常和其他调节方法联合使用。

5.出口节流调节方法最简单，但经济性最差。目前除了在通风机及小功率离心鼓风机中使用外，一般很少采用。

6.也可同时采用几种方法，取长补短，最有效地扩大压缩机稳定工况范围。