

中等专业学校教学用书

炼鉄車間机械設備

下 册

石景山冶金學院 武汉鋼鉄學院 山西冶金專科學校 合編



中国工业出版社

本书分上下两册出版。上册着重阐述炼铁車間机械设备的结构和性能的基本规律，以及某些设备的主要参数计算。内容包括炼铁車間原料处理、原料贮存和运输、上料、装料、炉前、铁水处理和管道閘門等机械设备。下册扼要叙述起重运输设备、给水送风设备和机械设备潤滑的基本原理，介绍这些设备的结构、性能、选择和使用等基本知识。

本书上册可作为中等专业学校冶金工厂机械设备专业和炼铁专业的教学用书。下册可作为炼铁专业和炼钢专业学习此部分课程时的教学用书。

炼铁車間机械設備

下 册

石景山冶金学院 武汉钢铁学院 山西冶金专科学校 合編

*

冶金工业部图书編輯室編輯（北京猪市大街78号）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $6^{3/4}$ ·字数144,000

1961年8月北京第一版·1962年1月北京第二次印刷

印数4,338—4,887·定价（9—4）0.69元

*

統一书号：K15165·565（冶金—170）

目

第一章 給水送風設備	1
§ 1 鼓风机.....	1
1. 离心式鼓风机的工作原理.....	1
2. 空气在鼓风机工作輪內的流动.....	2
3. 离心式鼓风机的基本方程.....	4
4. 离心式鼓风机的流量公式.....	5
5. 离心式鼓风机的功率.....	5
6. 离心式鼓风机压头計算.....	6
7. 吸气条件和鼓风机轉数变化对离心式鼓风机工作的影响.....	7
8. 离心式鼓风机的特性曲綫.....	9
9. 离心式鼓风机在管路中的工作.....	12
10. 离心式鼓风机的不穩定工作.....	13
11. 离心式鼓风机的联合工作.....	14
12. 离心式鼓风机的調节.....	16
13. 离心式鼓风机的零件.....	18
14. 离心式鼓风机的构造.....	21
15. 送风管道.....	25
16. 离心式鼓风机的安装和运轉.....	26
17. 离心式鼓风机的选择.....	26
18. 罗式鼓风机.....	28
19. 叶式鼓风机.....	30
§ 2 离心水泵.....	30
1. 离心式水泵的作用原理.....	30
2. 离心式水泵的揚程.....	31
3. 水泵的汽蝕及允許的吸水高度.....	32
4. 离心水泵的特性曲綫.....	33
5. 离心水泵的构造.....	34
6. 离心水泵的使用.....	37
第二章 起重机械	42
§ 1 起重机械的一般概念.....	42
1. 炼鉄車間起重机械的用途及分类.....	42
2. 起重机的总体結構.....	44
3. 桥式起重机的概述.....	45
§ 2 起重机小車.....	46
1. 起升机构.....	46
1) 起升机构的原理及其形式.....	46

2)	起升机构的主要零件及部件	49
3)	起升机构传动装置的参数计算	68
2.	小车运行机构	68
1)	小车运行机构结构形式	69
2)	车轮装置	69
3)	小车运行机构的计算	70
§ 3	起重机大车	73
1.	桥架结构	73
2.	桥架运行机构的结构	75
3.	桥架运行机构的轮压计算	77
§ 4	其他类型起重机	79
1.	滑车	79
2.	绞车	81
3.	旋转起重机	81
第三章	运输机械	85
§ 1	带式运输机	85
1.	带式运输机的结构	85
2.	带式运输机的计算	90
§ 2	其他类型运输机的概况	95
1.	板式运输机	95
2.	提升机	96
3.	螺旋输送机	97
第四章	机械设备润滑	98
§ 1	润滑材料	98
1.	润滑油	98
2.	润滑脂	98
§ 2	润滑方法	101
1.	稀油润滑方法	101
2.	干油润滑方法	102
§ 3	稀油润滑系统及其设备	102
1.	稀油润滑系统	102
2.	干油润滑系统及其设备	104

第一章 給水送風設備

§ 1 鼓 風 机

高炉生产的发展和鼓风机的发展是密切相关的。随着高炉生产的发展要求鼓风机不断的改进，而鼓风机的发展和完善又反过来促使高炉生产的进一步发展。

最原始的高炉送风设备是利用人力、畜力，后来又采用水力来带动的皮制风箱。以后随着高炉生产的提高才改用比较坚固的木制风箱。这样利用增加风箱尺寸的办法可使风量增加到 $10\text{米}^3/\text{分}$ ，风压最高可达300毫米水柱。这种轻巧坚固的鼓风机目前还普遍存在于我国广大农村。

18世纪，由于蒸汽机的出现工业生产得到很大的发展，为了满足高炉生产的需要，经过许多人的改进以后出现了比较完善的由蒸汽机来带动的往复式蒸汽鼓风机。以后由于内燃机的发展，又出现了活塞式燃气鼓风机。这种鼓风机是用燃气（高炉煤气）发动机来带动的，不需要庞大的锅炉设备和大量的工业净水。而且消耗的煤气只占高炉煤气的10~15%。

活塞式蒸汽鼓风机和活塞式燃气鼓风机除了原动机不同以外，鼓风机的工作原理仍和木制风箱一样：借助于在气缸中往复运动的活塞将空气吸入、压缩和排出的。由于这种鼓风机具有较多的难以克服的缺点，20世纪20年代以后建立的高炉已不采用这种鼓风机。这些缺点是：

1) 最大风量只能达到 $1200\sim 1800\text{米}^3/\text{分}$ ，一般不超过 $900\text{米}^3/\text{分}$ 。不能满足现代大型高炉的需要。

2) 体积庞大、笨重。特别是由于活塞不均匀的运动，要求非常坚固的基础和厂房。因而投资费用较大。

3) 操作维修工作较复杂。

20世纪20年代出现的离心式鼓风机（透平鼓风机）没有这些缺点。目前最大的离心式鼓风机能力可达 $4000\text{米}^3/\text{分}$ 、4绝对大气压。但是离心式鼓风机由于气流是曲折的，因而效率较低。工作良好的离心式鼓风机其效率只有68~75%。

最近又开始使用轴流式鼓风机。这种鼓风机由于气流方向没有转折，故效率较高。此外体积小，重量轻。

1. 离心式鼓风机的工作原理

离心式鼓风机的工作原理和离心式通风机、离心式水泵的工作原理是相同的：由于装在旋转着的工作轮上叶片的作用，使得空气在其中受到压缩和排出。

图1—1表示了单级离心式鼓风机的构造示意图。装有叶片的工作轮1固定在轴上以很高的速度旋转，充满工作轮内并随同工作轮旋转的空气，主要是由于离心力的作用而受到压缩并被排出，经过扩散器2、蜗室3到排气管。空气自工作轮排出的同时，在工作轮的入口由于空气的排出而造成真空，新的空气则经过吸气管被吸入工作轮内。如

此，只要工作輪不断的旋轉，空气就会不断地被吸入、压缩和排出。

扩散器的作用是将自工作輪內流出的空气的部分动能轉換成压力能*。蜗壳是一个具有蜗牛形状的外壳，它固定于机座上。蜗壳內部的空間叫做蜗室。蜗室的任务是收集自扩散器中排出的空气并引导它进入排气管。

当离心式鼓风机具有若干个工作輪时，空气自第一个工作輪排出后經過扩散器2、迴流叶道3（图1—2）进入下一个工作輪內繼續压缩。迴流叶道是由两块圓环形的隔板4和若干片叶片組成。隔板固定在外壳上。这些隔板和叶片保证了空气在进入下一工作輪时具有适当的速度。

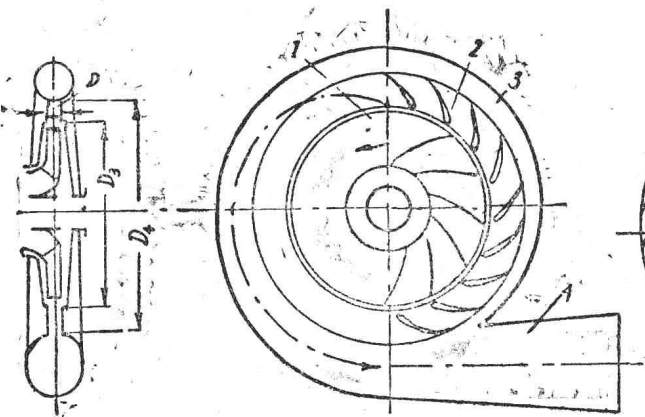


图 1—1 单級离心式鼓风机

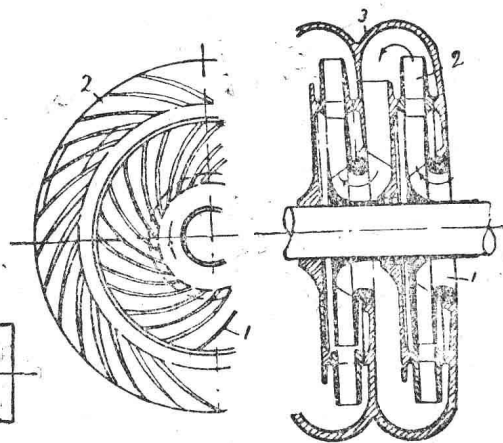


图 1—2 多級离心式鼓风机部分构造

2. 空气在鼓风机工作輪內的流动

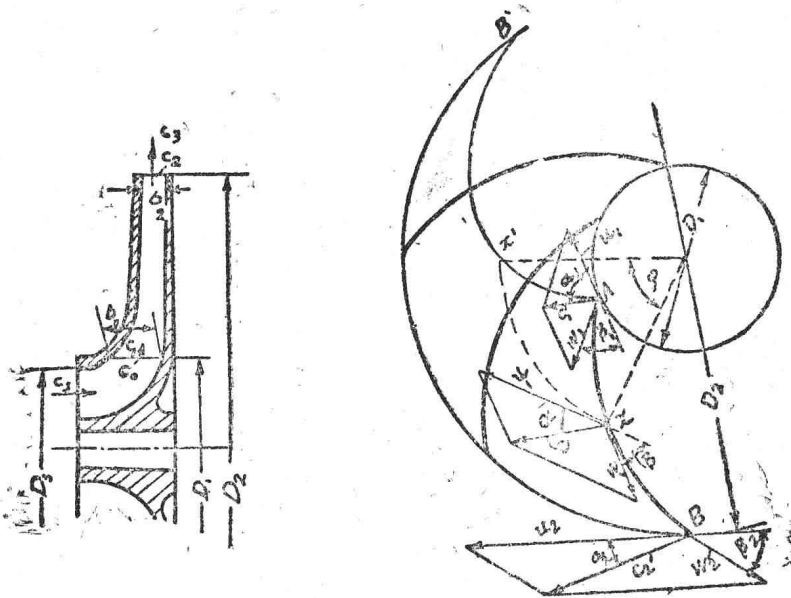


图 1—3 鼓风机工作輪的速度分析

* 詳細說明見鼓风机的零件。

在离心式鼓风机中空气是以沿着轴向并具有速度 C_0 进入工作轮的(图 1—3)。进入工作轮后气流偏向径向,并在进口的叶片边缘具有略大于 C_0 的速度 C_1 。

空气在进入由叶片组成的通道以后,由于叶片的作用,空气随着工作轮旋转,同时主要由于离心力作功空气沿着叶片向外移动。因此,空气在工作轮内的运动是较复杂的。

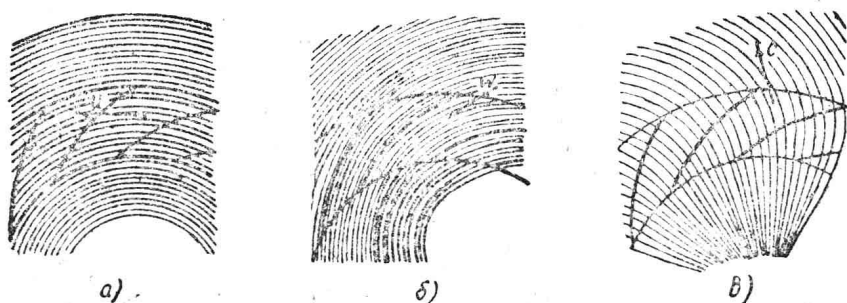


图 1—4 空气在鼓风机工作轮的流动速度

空气由于随工作轮旋转而具有的速度叫圆周速度(图 1—4 a)。圆周速度以符号 u 表示。在工作轮进口和出口(外圆上)的圆周速度分别以 u_1 和 u_2 表示。由于离心力作功,空气沿着叶片移动时具有的速度叫其为相对速度(图 1—4 b)。相对速度是观察者站在旋转的工作轮上观察空气流时所察觉到的速度,相对速度是指流动的空气相对于工作轮而具有的速度,相对速度以 W 表示。在工作轮进口处和出口处的相对速度分别以 W_1 和 W_2 表示。空气在工作轮内真正的速度,即观察者站在不动的外壳上观察到的速度叫为绝对速度(图 1—4 c)。绝对速度以 C 表示。空气在工作轮进口和出口处的绝对速度分别以 C_1 和 C_2 表示。显然空气在工作轮内的绝对速度 C 是其圆周速度 u 和相对速度 W 合成的速度。在图 1—3 表示了合成的图解法则:若 AB 的长短和指向表示相对速度 W 的大小和方向, AD 的长短和指向表示圆周速度的大小和方向,则 AC 的长短就是表示空气质点 A 的绝对速度的大小, AC 的指向就是其绝对速度的方向。

由圆周速度 u 相对速度 W 和绝对速度 C 所组成的三角形叫做速度三角形。显然空气质点在工作轮内的不同地点具有不同的速度三角形。速度三角形中绝对速度 C 与圆周速度 u 之间的夹角叫其为流动角,并以符号 α 表示。空气质点在工作轮入口和出口处的流动角分别以 α_1 、 α_2 表示。

在离心式鼓风机中为建立基本的理论公式,常引用理想流动的概念,空气在工作轮内的理想流动是在下列条件下实现的:

- 1) 空气在工作轮内的流动是稳定的,即不随时间而变化。
- 2) 空气在流动时没有能量损失。
- 3) 工作轮叶片数目为无穷多。

由于第三个条件的实现空气在工作轮内的流动和叶片的形状是完全一致的,即速度三角形中相对速度 W 和圆周速度 u 之间的夹角等于叶片的倾斜角。叶片的倾斜角常常也叫其为叶片角,以符号 β 表示。同时由于工作轮叶片数目为无穷多,两叶片间的空气质量极小,工作轮旋转时空气惯性作用极小,因而在工作轮同一半径的圆角上各空气质点的

压力速度都是一样的。

3. 离心式鼓风机的基本方程

如果空气是理想流动的话，利用动量矩定理可得到离心式鼓风机的基本方程：

$$H_{T\infty} = \frac{u_2 C_2 \cos \alpha_2 - u_1 C_1 \cos \alpha_1}{g} \quad (1-1)$$

式中： $H_{T\infty}$ ——是一公斤空气在一个工作轮内增加的能量（符号T是指没有能量损失，而 ∞ 是指工作轮叶片为无穷多）；

u_2, C_2, α_2 ——是空气在离开工作轮时的圆周速度、绝对速度和流动角；

u_1, C_1, α_1 ——是空气在进入工作轮时的圆周速度、绝对速度和流动角。

方程（1-1）叫做欧拉方程。欧拉方程表示了一公斤空气在工作轮内理论的能量增加 $H_{T\infty}$ 与气流速度 u 、 C 的关系。

通常空气在进入鼓风机工作轮时 $\alpha_1 = 90^\circ$ ，因此欧拉方程常写成

$$H_{T\infty} = \frac{u_2 C_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (1-2)$$

实际工作轮叶片数目是有限的，由于两叶片间空气惯性的作用空气在实际工作轮内流动是不均匀的，并且具有环流。因此，空气在实际工作轮内理论上能量的增加 H_r 比 $H_{T\infty}$ 要小。

通常用环流系数 K 来考虑叶片数目有限的影响。

$$H_r = K H_{T\infty} \quad (1-3)$$

并且由于空气在流动时具有能量损失，一公斤空气实际在工作轮内真正增加的能量 H 要比 H_r 低，通常用水力效率 η_2 考虑空气在流动时具有能量损失的影响：

$$H = \eta_2 H_r \quad (1-4)$$

$$\text{由此：} \quad H = K \eta_2 H_{T\infty} = K \eta_2 \frac{u_2 C_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (1-5)$$

由图1-3的速度三角形可知：

$$C_2 \sin \alpha_2 = C_2 \cos \alpha_2 \tan \alpha_2 = (u_2 - C_2 \cos \alpha_2) \tan \beta_2$$

由第二个等号可知： $C_2 \cos \alpha_2 \tan \alpha_2 + C_2 \cos \alpha_2 \tan \beta_2 = u_2 \tan \beta_2$

$$\text{即：} \quad C_2 \cos \alpha_2 = \frac{\tan \beta_2}{\tan \alpha_2 + \tan \beta_2} u_2 \quad (1-6)$$

代入（1-5）式得：

$$H = K \eta_2 \frac{\tan \beta_2}{\tan \alpha_2 + \tan \beta_2} \frac{u_2^2}{g} = \psi \frac{u_2^2}{g} \quad (1-7)$$

其中 $\psi = K \eta_2 \frac{\tan \beta_2}{\tan \alpha_2 + \tan \beta_2}$ 称为压头系数。为了近似计算压头系数可采用下列的数值：向前弯曲的叶片 $\psi = 0.8 \sim 1.1$ ，叶尾为径向的叶片 $\psi = 0.6 \sim 0.8$ ，向后弯曲的叶片 $\psi = 0.5 \sim 0.7$ 。估算时 u_2 的单位为米/秒，算得的压头单位为米空气柱，若压头需用毫米水柱表示时，则 $H' = rH$ ；其中 H' 为以毫米水柱表示的压头， r 为空气的比重（公斤/米³）。

4. 离心式鼓风机的流量公式

离心式鼓风机的流量是指鼓风机在单位时间内排出空气的体积，米³/分或米³/时，由于排出的空气在不同的温度和不同的压力下具有不同的体积，为了比较方便起见，鼓风机的流量有时折合成空气在标准状态下的流量，此时流量以标准米³/分或标准米³/时为单位。

如果令： D_2 为工作轮外径，

b_2 为叶片在工作轮出口处的宽度；

c_2 为空气在工作轮出口处的绝对速度；

α_2 为 C_2 与圆周速度之夹角；

φ 为考虑到叶片本身具有厚度使过流断面减少的系数；

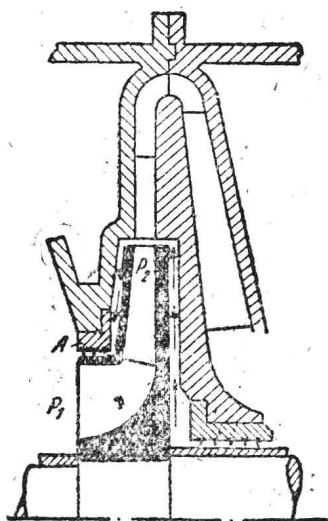


图 1-5

则空气在工作轮内的流量即离心式鼓风机的理论流量 $V_{\text{理论}}$

$$V_{\text{理论}} = \varphi \pi D_2 b_2 c_2 \sin \alpha_2 \quad \text{米}^3/\text{分或米}^3/\text{时} \quad (1-8)$$

如果排出空气的压力为 P_2 公斤/米² 温度为 T_2 °K，则折合成标准状态空气的流量为：

$$V'_{\text{理论}} = V_{\text{理论}} \frac{P_2 T_{\text{标准}}}{P_{\text{标准}} T_2} = \frac{273}{10336} \frac{P_2}{T_2} V_{\text{理论}}$$

$$V'_{\text{理论}} = 0.0264 \frac{P_2}{T_2} V_{\text{理论}} \quad \text{标准米}^3/\text{分或标准米}^3/\text{时} \quad (1-9)$$

实际上鼓风机排出的空气量较理论流量为小。这是由于工作轮与外壳和轴与固定壁之间具有间隙，空气在此处构成了循环的气流（图 1-5）。而且部分的空气会从转轴与外壳之间的间隙中漏出。如果以 q 表示在单位时间内循环气流及漏损空气的数量，则鼓风机实际排气量

$$V = V_{\text{理论}} - q. \quad (1-10)$$

在鼓风机中通常以容积效率 $\eta_{\text{容}}$ 来表示循环气流及漏损空气的大小 $\eta_{\text{容}} = \frac{V}{V_{\text{理}}}$ ，

显然 $\eta_{\text{容}}$ 越大，则空气的循环及漏损也就越小。通常 $\eta_{\text{容}} = 0.98 \sim 0.99$ 。

5. 离心式鼓风机的功率

如果鼓风机产生的压头为 H 米空气柱，实际排气量为 V 米³/分，排出空气的比重为 γ 公斤/米³，则鼓风机的有效功率

$$N_{\text{有效}} = \frac{\gamma V H}{75 \times 60} \text{ 馬力} = \frac{\gamma V H}{102 \times 60} \text{ 仟瓦} \quad (1-11)$$

实际上由于摩擦、漏气等损耗，鼓风机真正的功率 N 较有效功率 $N_{\text{有效}}$ 大。比值

$$\eta = \frac{N_{\text{有效}}}{N} \quad (1-12)$$

叫做离心式鼓风机的效率。

鼓风机的真正功率则为：

$$N = \frac{rVH}{75 \times 60 \eta} \text{ 馬力 (或 } \frac{rVH}{102 \times 60 \times \eta} \text{ 仟瓦)} \quad (1-13)$$

6. 离心式鼓风机压头计算

为了能够利用空气的状态参数找出离心式鼓风机的压头，从热力学的观点来研究空气在离心式鼓风机的压缩过程。

由于空气的压缩是在鼓风机的工作轮内完成的，工作轮的转速很高，因而空气的压缩过程可认为是绝热的。

按照压头的定义，1公斤空气在鼓风机内增加的能量应当按下式计算：

$$H = \left(\frac{e_2}{A} + \frac{C_2^2}{2g} + P_2 V_2 + Z_2 \right) - \left(\frac{e_1}{A} + P_1 V_1 + \frac{C_1^2}{2g} + Z_1 \right) \quad (1-14)$$

等号右边的第一个括号是1公斤空气离开鼓风机时具有的内能、压力能、动能、位能的总和。等号右边第二个括号是1公斤空气进入鼓风机时具有的内能、压力能、动能、位能的总和。

其中：A是功的热当量， $A = \frac{1}{427}$ 大卡/公斤米；

V_1 、 V_2 是空气进入、离开鼓风机时的比容，米³/公斤；

P_1 、 P_2 是空气进入、离开鼓风机时的压力，公斤/米²；

C_1 、 C_2 是空气进入、离开鼓风机时的速度，米/秒；

e_1 、 e_2 是空气进入、离开鼓风机时的内能，大卡/公斤；

Z_1 、 Z_2 是空气进入、离开鼓风机时的位能，公斤米/公斤。

考虑到空气在进入和离开鼓风机时动能和位能的变化不大，于是：

$$H = \frac{e_2 - e_1}{A} + P_2 V_2 - P_1 V_1$$

利用热力学公式： $e_2 - e_1 = C_v (T_2 - T_1) = \frac{AR}{k-1} (T_2 - T_1)$

其中： C_v 是气体的定容比热，大卡/公斤度；

R是气体常数， $R_{\text{空气}} = 29.27$ 公斤米/公斤度；

k是绝热指数，对空气 $k = 1.4$ 。

而且 $P_2 V_2 = RT_2$ ， $P_1 V_1 = RT_1$

$$\text{则 } H = \frac{k}{k-1} (T_2 - T_1) + RT_2 - RT_1 = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[\frac{T_2}{T_1} - 1 \right]$$

由于压缩是绝热的，则 $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$

$$\text{代入上式则得：} H = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (1-15)$$

如果测出空气在进入鼓风机的温度 T_1 ，压力 P_1 ，离开鼓风机时的压力 P_2 则压头 H 即

可按 (1-15) 式确定。

例一：一离心式鼓风机吸入空气的压力和温度为 $P_1 = 1$ 绝对大气压， $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ， $\gamma_1 = 1.16$ 公斤/米³，排出空气的压力由压力表读出为 0.4 大气压，求空气的压头。

$$\text{按照 (1-15) 式 } H = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

空气的绝热指数 $k = 1.4$ ，气体常数 $R = 29.27$ 公斤米/公斤度

已知 $T_1 = 273 + 20 = 293^\circ\text{K}$

$P_1 = 1$ 绝对大气压

$$\text{于是 } H = \frac{1.4}{1.4-1} \times 29.27 \times 293 \times \left[\left(\frac{1.4}{1} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1 \right]$$

$$= 35 \times 29.27 \times 293 \times [1.101 - 1] = 3020 \text{ 公斤米/公斤}$$

例二：单级离心式鼓风机将空气自 $P_1 = 1$ 绝对大气压， $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ($\gamma_1 = 1.16$ 公斤/米³) 压缩到 $P_2 = 1.4$ 绝对大气压，鼓风机工作轮的外径 $D_2 = 800$ 毫米，若鼓风机在正常情况下工作时，工作轮圆周上的相对速度 $W_2 = 40$ 米/秒， $\beta_2 = 55^\circ$ ，由于具有阻力损耗，空气真正得到的能量只是理论的 70.5%，问鼓风机轴的转数应为多少？

解：由例一已知空气的压头为 3020 公斤米/公斤，即每公斤空气在鼓风机内得到的能量为 3020 公斤米，由于空气实际得到的能量只是理论的 70.5%，因此理论上空气能得到的能量 $H_{r\infty}$ ：

$$H_{r\infty} = \frac{3020}{0.705} = 4280 \text{ 公斤米/公斤}$$

$$\text{由欧拉方程 } H_{r\infty} = \frac{u_2 C_2 \cos \alpha_2}{g}$$

$$\text{而 } u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} = \frac{3.14 \times 0.8 \times n}{60} = 0.0418 n$$

又由速度三角形

$$C_2 \cos \alpha_2 = u_2 - W_2 \cos \beta_2 = 0.0418 n - 40 \cos 55^\circ = 0.0418 n - 23$$

代入欧拉方程则得：

$$4280 = \frac{0.0418 n (0.0418 n - 23)}{9.81}$$

$$42000 = (0.0418 n)^2 - 23 \times 0.0418 n$$

解出 $n = 5174$ 转/分。即离心式通风机的转数应为 5174 转/分。

7. 吸气条件和鼓风机转数变化对离心式鼓风机工作的影响

如果离心式鼓风机是由可调速的原动机（例如汽轮机）驱动，鼓风机转数的改变会引起离心式鼓风机的工作变化。

由式 (1-7) 可知离心式鼓风机产生的压头 H 与工作轮的圆周速度的平方成正比，而圆周速度 $u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}$ ，其中 n 为鼓风机的转数即 $H \propto n^2$ 。在吸入空气温度 T_1 不变时，

由式 (1-15) 可知：

$$\left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \alpha n^2 \quad (1-16)$$

由(1-8)式可知离心式鼓风机产生的风量 V 与空气的绝对速对 C_2 成正比, 根据式(1-6)可知绝对速度与圆周速度成正比, 因此, 风量 $V \propto n$

由式(1-13)可知离心式鼓风机的功率: $N \propto n^3$

当离心式鼓风机轉数由 n 变到 n' 时, 排气压力、风量、功率将由 P_2 、 V 或 V_n 、 N 变到 P_2' 、 V' 或 V_n' 、 N' , 并且:

$$\frac{\left(\frac{P_2'}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1} = \frac{n'^2}{n^2} \quad \frac{V_n'}{V_n} = \frac{V'}{V} = \frac{n'}{n} \quad \frac{N'}{N} = \frac{n'^3}{n^3} \quad (1-17)$$

需要精确计算时, 考虑到空气在鼓风机内的压缩过程不是绝热过程, 而用一系数 $\gamma_{\text{多变}}$ 来修正压力比的指数, 于是

$$\frac{\left[\left(\frac{P_2'}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k\gamma_{\text{多变}}}} - 1 \right]}{\left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k\gamma_{\text{多变}}}} - 1 \right]} = \frac{n'^2}{n^2} \quad (1-18)$$

$$\gamma_{\text{多变}} = \frac{k-1}{k} \cdot \frac{m}{m-1} \quad m \text{ 为离心式鼓风机实际压缩过程的多变指数}$$

通常 $\gamma_{\text{多变}} = 0.72 \sim 0.82$

在近似的计算中有时还用K.C波夫夫公式来计算鼓风机轉数改变时空气压力 P_2 的变化:

$$\frac{\sqrt[3]{\frac{P_2'}{P_1}} - 1}{\sqrt[3]{\frac{P_2}{P_1}} - 1} = \frac{n'^2}{n^2} \quad (1-19)$$

如果离心式鼓风机的轉数不变, 则离心式鼓风机产生的压头和风量是不变的, 但是鼓风机的排气压力重量流量功率会随着吸气状态的变化而发生变化。

假定离心式鼓风机只有吸入空气的压力变化, 而温度及气体常数、轉数不变, 由(1-16)式可知空气在离心式鼓风机中的压缩比 $\frac{P_2}{P_1}$ 是不变的, 因而排气压力 P_2 与吸气压力是成正比的。当吸气压力 P_1 变化时, 空气比重也随吸气压力的变化成正比的变化的。因而鼓风机的功率(1-13)、吸入(或排出)空气的重量 G (或标准流量 V_n)也是随着 P_1 成正比变化的。

以 P_2 、 G 、 V_n 、 N 表示鼓风机在吸气压力为 P_1 时的排气压力、重量流量、标准流量和功率, 以 P_2' 、 G' 、 V_n' 、 N' 表示鼓风机在吸气压力为 P_1' 时的排气压力、重量流量、标准流量和功率。综上所述:

$$\frac{P_2'}{P_2} = \frac{P_1'}{P_1} \quad \frac{G'}{G} = \frac{V_n'}{V_n} = \frac{P_1'}{P_1} \quad \frac{N'}{N} = \frac{P_1'}{P_1} \quad (1-20)$$

假定离心式鼓风机只有吸入空气的温度变化, 而压力及气体常数、轉数是不变的, 由于吸入空气的比重是随吸入空气的温度的变化成反比的变化, 因此, 离心式鼓风机的

功率和重量流量是随吸气温度成反比的变化即:

$$\frac{G'}{G} = \frac{V_n'}{V_n} = \frac{T_1}{T_1'}, \quad \frac{N'}{N} = \frac{T_1}{T_1'} \quad (1-21)$$

排气压力的变化由式 (1-15) 为:

$$T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = T_1' \left[\left(\frac{P_2'}{P_1'} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (1-22)$$

离心式鼓风机工作时昼夜温度的变化, 冬夏温度的变化都能使得鼓风机的流量和功率变化。例如苏联 Д—4100—2.6 型鼓风机当 $P_2 = 2$ 大气压, 在 $t_1 = -20^\circ\text{C}$ 即冬季运转时的风量 $V_n = 4450$ 标准米³/分, 在 $t_1 = +30^\circ\text{C}$ 即夏季运转时风量减少为 3280 标准米³/分, 功率由 $N = 15200$ 瓩减少为 12100 瓩。

控制吸入空气的状态可使离心式鼓风机无论是冬季或夏季均处于正常的条件下工作, 例如, 在夏季欲提高离心式鼓风机的风量, 可降低吸入空气的温度。在冬季欲降低离心式鼓风机的功率可提高吸入空气的温度。根据某厂的经验, 鼓风机在夏季工作时如果吸气口喷入 5.4 (克/米³空气) 的水, 吸气温度将由 30°C 降为 19°C , 而风量由 800 标准米³/分增加为 840 标准米³/分; 如喷入 8.8 (克/米³空气) 的水, 在吸气温度降为 17°C 时, 风量达到 850 标准米³/分。

吸入空气气体常数 R 变化时, 对鼓风机工作的影响完全和温度变化时的影响相类似。

如果吸入空气的温度 T_1 、压力 P_1 、气体常数 R 都变化只有转速不变时, 鼓风机排气压力、流量、功率的变化可按式求出:

$$\left. \begin{aligned} R'T_1' \left[\left(\frac{P_2'}{P_1'} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] &= RT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \\ \frac{G'}{G} = \frac{V_n'}{V_n} &= \frac{RT_1P_1'}{R'T_1'P_1} \\ \frac{N'}{N} &= \frac{RT_1P_1'}{R'T_1'P_1} \end{aligned} \right\} \quad (1-23)$$

8. 离心式鼓风机的特性曲线

离心式鼓风机的特性曲线是以图解的方式来表示: 空气在鼓风机出口处的压力 P_2 (有时也用空气在鼓风机中压缩比 $\epsilon = \frac{P_2}{P_1}$) , 鼓风机实际功率 N 、效率 η 与流量 V 之间的关系。表示空气在鼓风机出口处压力 P_2 和流量之间关系的曲线叫压力曲线, 表示鼓风机功率 N 与流量之间关系的曲线叫功率曲线, 表示鼓风机效率 η 与流量之间的关系曲线叫效率曲线。

离心式鼓风机的特性曲线通常都是由实验做出, 在专门的试验台上让鼓风机在一定的转速 n , 一定的吸气压力 P_1 吸气温度 t_1 及湿度的条件下运行。(如果鼓风机已安装在鼓风房内, 则实验也可在鼓风房内进行)。当鼓风机在某一稳定的流量下运行时, 用仪表测量空气在鼓风机出口的压力 P_2 , 原动机的功率 N , 并通过流量计测出此时的流量

V, 然后通过调节安装在离心式鼓风机排气管上的截门, 改变鼓风机的流量, 使鼓风机在另一流量下稳定工作, 重新测出另一组数值 P'_2 、 N' 、 V' 。如此不断调节可得到若干组 P_2 、 N 、 V 的数据, 按照一定的比例, 以横座标表示流量 V , 而纵座标表示 P_2 , 在此图上找出每一组 P_2 、 V 数值所对应的点, 用圆滑曲线联接这些点即得在某转速 n , 在某吸气状态 P_1 、 t_1 下离心式鼓风机的压力曲线。离心式鼓风机功率曲线是用类似的方法做成的, 只是此时的纵座标是表示功率 N 。至于离心式鼓风机的效率曲线, 则是按照下面的方法作出: 在一组由实验测出的 P_2 、 N 、 V 数据中, 将 P_2 、 V 以及实验时的吸气压力

$$P_1 \text{ 代入 (1-15) 式 } H = \frac{k}{k-1} RT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

再将 H 代入 (12-11) 式, 找出离心式鼓风机有效功率

$$N_{\text{有效}} = \frac{\tau V H}{75 \times 60}$$

然后按照离心式鼓风机效率的定义, 找出在此流量下鼓风机的效率。

$$\eta = \frac{N_{\text{有效}}}{N} = \frac{\tau V H}{75 \times 60 N}$$

如果对每一次实验测量的每一组数据都进行类似的计算, 可得到在不同流量下对应的离心式鼓风机效率的数值, 再用类似作压力曲线的办法, 以纵标表示效率横标表示空气流量即得离心式鼓风机的效率曲线。图 1-6 是将这三条曲线表示在同一座标中。

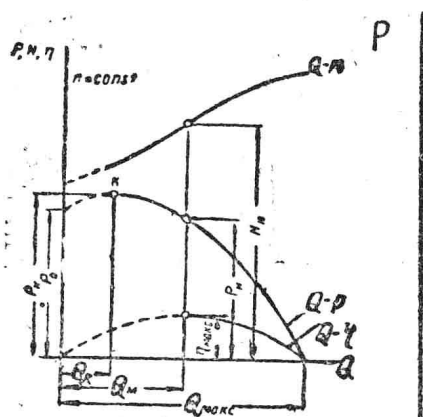


图 1-6

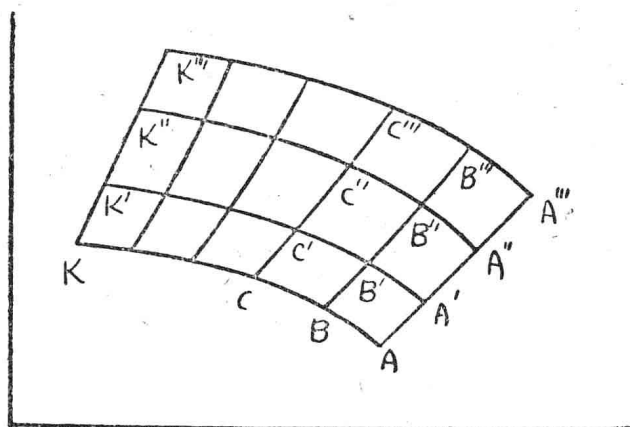


图 1-7

离心式鼓风机转速改变时其特性曲线会改变的。

如果离心式鼓风机在某转速 n 时的压力曲线已知, 则当其转速变化后的压力曲线可按式 (1-17) 计算绘出: 在 nn 线上取一点 A , 其排出空气的压力为 P_2 , 吸入空气的流量为 V , 当鼓风机转速变到 n' 时对应点的流量 V' 可按式 (1-17) 算出, 对应点的排气压力 P'_2 可按式 (1-17) 或式 (1-18) 算出, 于是可得到在鼓风机转速为 n' 时与 A 点相对应的 A' 点。鼓风机在此两点具有相等的效率。同样再用类似的办法得到与 nn 线上 B 点相对应的 B' 点, 与 c 、 k ……相对应的 c' 、 k' ……点, 用圆滑的曲线联结 A'

$B'C'k'$ ……諸点而得离心式鼓风机轉数为 n' 的压力曲线 $n'n'$ ，轉数为 n'' 、 n''' ……时的压力曲线 $n''n''$ 、 $n'''n'''$ ……是用类似方法作出的。

鼓风机轉数改变时功率曲线的变化也可用类似的办法利用式 (1-17) 計算繪出。

在压力曲线組中,由于点 A 与点 A' 、 A'' 、 A''' ……的效率是相同的点 B 与点 B' 、 B'' 、 B''' ……点 C 与 C' 、 C'' ……; 点 K 与 K' 、 K'' ……的效率是相同的, 因此曲线 $AA'A''$ ……是一条等效率曲线, 同样 $BB'B''B'''$ ……是另一条等效率曲线, $CC'C''C'''$ ……, $kk'k''k'''$ ……均为等效率曲线, 等效率线表示了鼓风机在轉数改变时不同流量下效率的变化。

图 (1-8) 给出了 0-2700-31 型鼓风机在轉数不同时的特性曲线。其中 $n = 3000$ 轉/分时的特性曲线是用試驗方法作出的, 在其他轉数下的特性曲线是換算而来的。

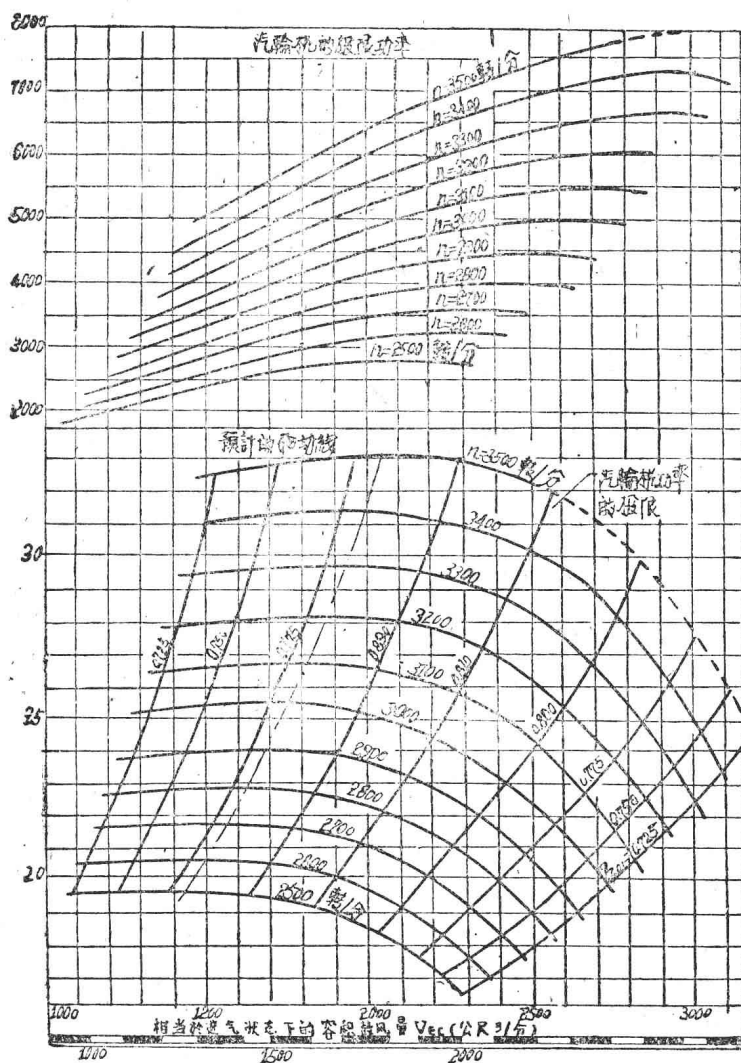


图1-8 在不同大气状态下的鼓风机組合特性

吸入空气状态变化时, 离心式鼓风机的特性曲线也会变化。图 (1-9) 表示了 $\Pi-4100-2.6$ 型鼓风机的特性曲线, 这些曲线是在轉数 $n = 3100$ 轉/分, $P_1 = 1$ 大气压, $R = 29.27$, 具有不同的吸气温度时繪出的。

9. 离心式鼓风机在管路中的工作

从以上的研究中可以得出：一台鼓风机即使在固定不变的轉数下，可以排出不同数量的空气，可以使空气具有不同的排气压力。

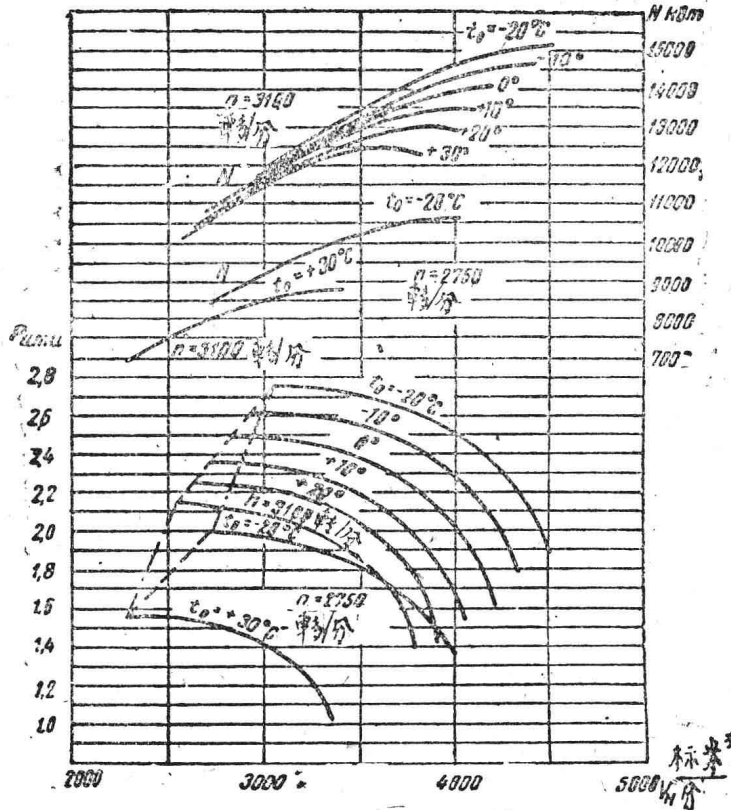


图1-9 D-4100-2.6型鼓风机的特性曲线

管路的特性曲线：鼓风机的工作不仅与其本身的性能和轉数有关，而且还与管路性能有关。空气在管路中流动时由于具有阻力损失，压力会降低。阻力损失在管路尺寸已经确定以后只与管路中的空气流量有关，因此，在不同的流量下，要求鼓风机排出空气具有的压力是不同的。而且如果管路不相同即使是在同样大小的流量下，不同的管路要求鼓风机具有的排气压力也是不同的。鼓风机管路性能曲线就是以图解的方式表示了管道在不同的流量下要求鼓风机排气压力的大小。

如果大气压力为 P_a ，1公斤空气损耗在管路中的能量为 h_w ，空气重度为 γ ，鼓风机的排气压力为 P_2 。显然

$$P_2 = P_a + \gamma h_w \quad (1-24)$$

而且由流体力学可知： $h_w = KV^2$

因此鼓风机管路的特性方程为

$$P_2 = P_a + \gamma KV^2 \quad (1-25)$$

其中： K 称为管路特性系数，它与管路长、直径、閥門的开启程度等特点有关。

图(1-10)中的 $O'A'$ 曲线即为方程式的图解。对应不同的管路特性系数 K , 有不同的管路特性曲线。较长较细而且弯曲很多的管路其管路特性系数较大, 管路特性曲线较陡。

鼓风机的工作点:

鼓风机的工作点与鼓风机的性能有关, 而且与管路的性能有关, 如果将鼓风机的特性曲线和管路的特性曲线用同样的比例画在一张图上, 那末交点 A' 就是鼓风机的工作点。在这种管路里想得到比 $V_{A'}$ 更大的流量是不可能的。这是由于当流量大于 $V_{A'}$ 时鼓风机产生的排气压力比管路要求的排气压力要低, 同样想得到比 $V_{A'}$ 更小的流量也是不行的, 因为流量减小时鼓风机产生的排气压力比管路要求的排气压力要高。

10. 离心式鼓风机的不稳定工作

由于离心式鼓风机特性曲线及管路特性曲线的变化, 离心式鼓风机工作时它的流量及排气压力都会在一定范围内变动, 在某些场合下, 鼓风机的流量在很短的时间内会有很大的变化, 而且这种流量和风压的变化是要一直循环不已的继续下去, 这种现象就是鼓风机的不稳定的工作, 有时也称为鼓风机的波动或震荡。

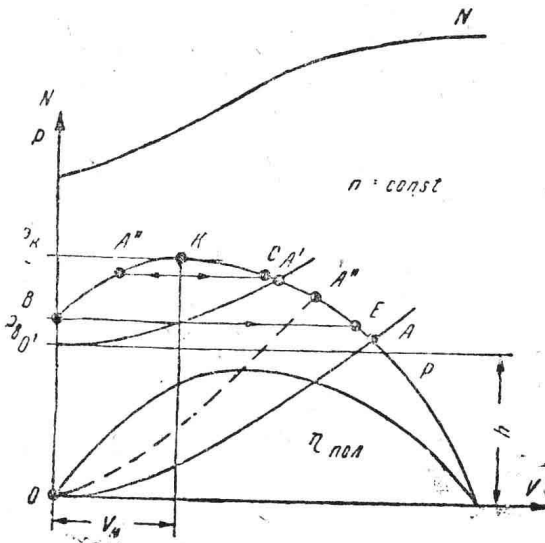


图 1-10 鼓风机管路特性

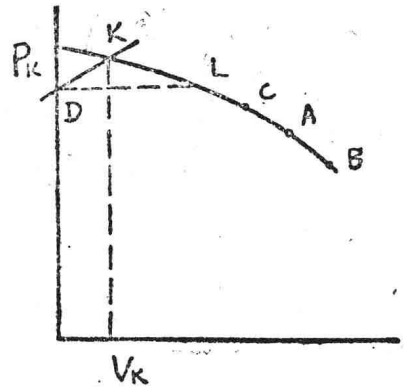


图 1-11

现来研究如图1-11所示的特性曲线的离心式鼓风机的工作。图1-11的特性曲线被 K 点分为两个区间, K 点左面的特性曲线是随着流量的增加而上升的曲线, 而在 K 点右面的特性曲线是随着流量的增加而下降的曲线, 通常把上升的曲线段叫做不稳定的特性曲线, 而下降的曲线段叫做稳定的特性曲线。 K 点通常叫做临界点, 而 P_K 、 V_K 通常叫做临界压力和临界流量。

假若鼓风机开始是在稳定的特性曲线上 A 点工作, 并且鼓风机的管路容量较大, 如果需要的空气量增加时, 那末开始管路中跑走的空气大于鼓风机供给的空气, 则管路的压力下降。当压力降低时, 鼓风机的排气量大于 V_A , 因此随着需要空气量的增加的不同鼓风机在 B 点建立新的工作状态, B 点的流量等于需要的空气量。此时鼓风机的工作