

矿井通风机 设备运行 与组合设计

煤炭工业出版社
白铭声 编著

内 容 提 要

本书阐述了矿井通风机设备的运行、调节和联合运行，国内、外各类矿用通风机的构造特点及性能，通风机设备辅助风道合理流形，各类通风机在各种条件下的设备组合。

此书可作为在煤炭及其它采矿工业中从事通风机设备运行和组合设计的科技人员的参考书。亦可供高等院校师生参考。

责任编辑：李淑琴

矿井通风机设备运行 与组合设计

白铭声 编著

*
煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*
开本850×1168¹/₃₂ 印张10⁹/₁₆ 插页 1
字数 277 千字 印数 1—2,120
1987年 2月第 1版 1987年 2月第 1次印刷
书号 15035·2809 定价 2.10元



前 言

为适应煤炭和其它采矿工业发展的需要,近年来,国内外在通风机设备方面,从节约能源,提高可靠性和扩大适应性出发,做了一系列工作。其中,在通风机运行方面,诸如加速制动以缩短反风和倒换风机时间,通风机稳定运行,联合运行中由于风机先后投入程序不同而引起的工况差异,消除单机多值工况的方法等研究成果为保证通风机可靠运行提供了理论依据和实践经验;在通风机方面研制并投产了一批效率高,调节幅度大和便于反风的新型矿用通风机;在通风机设备辅助风道方面,取得了一系列旨在减少风道阻力的合理流型的研究成果,这将对提高设备总体效率和节约电耗起重要作用;在通风机设备的总体组合方面,从减少设备总阻力,缩小占地面积和降低基本投资等方面综合考虑,设计并投产了一些适合各类风机和各种使用条件,而且经过实践考验的组合方案,这对组合设计新设备以及改造原有设备都有重要的实用价值。

本书作者根据这些新发展和本人的研究成果编写了此书。在内容上,不可能详尽无遗地向读者介绍矿井通风机设备的全部内容,只是在通风机设备运行和组合设计范围内,选择一些作者认为对从事这方面工作的人员有意义的理论和实践内容做了较详细的阐述。

在编写过程中,力图深入浅出,既适合于从事运行和设计的人员实际应用,又适合于研究人员作为深入研究的基础。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,希望广大读者批评指正。

本书承周迺荣、马秀媛等同志审阅提出了宝贵的意见,谨致衷心谢意。

编 者

目 录

概 论

第一章 设备组成和工作方式	1
§ 1 设备组成	1
§ 2 设备工作方式	2
第二章 通风网路特性	4
§ 1 通风网路特性	4
§ 2 等积孔	6
第三章 通风机工作原理	8
§ 1 离心式通风机工作原理	8
§ 2 轴流式通风机工作原理	11
§ 3 工况及合理工作区	13
§ 4 相似定律及类型特性	15

第一篇 通 风 机 运 行

第一章 通风机调节	18
§ 1 一般原理	18
§ 2 改变转速调节	19
§ 3 改变前导器角度调节	22
§ 4 改变叶片安装角调节	29
§ 5 改变叶片外缘直径调节	36
§ 6 联合调节	37
§ 7 调节范围	38
第二章 通风机启动、停止和反风	40
§ 1 启动工况	40
§ 2 启动机械特性	41
§ 3 启动条件	43
§ 4 停止	46
§ 5 反风	48
第三章 轴流式通风机在分离工况工作的特征及其消除	54
§ 1 在分离工况工作的特征	54

§ 2	利用“空气分流器”消除风压跌落	58
§ 3	喘振条件及消除的临时措施	62
第四章	通风机联合工作	64
§ 1	联合工作的基本方式及相应点方程式	64
§ 2	求联合工况的方法	67
§ 3	联合工作效益	78
§ 4	联合工作稳定性	80
§ 5	两台通风机并联于对角式通风系统工作	83
§ 6	三台通风机并联于复杂通风系统工作	93
§ 7	多井进风的对角式通风系统工作	98
§ 8	有辅助通风机加强通风的联合工作	99
§ 9	相应关系	104
§ 10	并联工作时工况与投入运转程序关系的分析	105
§ 11	选择并联工作通风机的步骤	117

第二篇 通风机构造及性能

第一章	国产通风机构造及性能	120
§ 1	离心式通风机构造及性能	120
§ 2	轴流式通风机构造及性能	134
第二章	国外通风机构造及性能	139
§ 1	离心式通风机构造及性能	139
§ 2	轴流式通风机构造及性能	147

第三篇 通风机设备辅助通流部件

第一章	概述	153
§ 1	辅助通流部件	153
§ 2	绘制通流部件合理流形的基础	153
第二章	井筒与主通风道接口部流形	156
§ 1	表征接口部的两个平面	156
§ 2	子午断面流形	156
§ 3	中间断面形状	168
§ 4	接口部阻力损失	175

第三章	通风道	179
§ 1	直风道	179
§ 2	圆弧形弯风道	180
§ 3	小转角弯风道流形	182
§ 4	反风道	191
第四章	分岔风道	193
§ 1	非对称分岔风道	193
§ 2	对称分岔风道试验结果	200
§ 3	最小阻力分岔风道	206
第五章	轴流式通风机进风部件	208
§ 1	“S”形弯道	208
§ 2	进风箱	212
第六章	轴流式通风机出风部件	219
§ 1	环形断面扩散器	219
§ 2	扩散风道和弯道	228
§ 3	轴流式对旋通风机出风箱	229
第七章	离心式通风机进风部件	232
§ 1	对称分流三通	232
§ 2	进风箱	240
第八章	离心式通风机扩散部件	248
§ 1	扩散器的结构特点	248
§ 2	阻力损失及尺寸选择	248
第九章	矿井通风机设备系统最佳参数	254
§ 1	进风系统最佳参数	254
§ 2	出风系统最佳参数	257

第四篇 通风机设备组合

第一章	轴流式通风机设备组合	260
§ 1	无反风功能的轴流式通风机设备组合	260
§ 2	有反风功能的轴流式通风机设备组合	267
§ 3	装在井下的主通风机设备	274
第二章	离心式通风机设备组合	276
§ 1	单台单侧进风通风机设备组合	276

§ 2	两台单侧进风通风机设备组合	280
§ 3	单台双侧进风通风机设备组合	290
§ 4	两台双侧进风通风机设备组合	292
第三章	利用转向器改变风流方向的设备组合	298
§ 1	转向器	298
§ 2	采用转向器的设备组合	301
第四章	通风机设备组合举例	314
§ 1	课题条件	314
§ 2	选择组合方案	314
§ 3	计算辅助通流部件流形	315
§ 4	绘制组合图样	323
§ 5	进风系统阻力损失	325
§ 6	扩散器损失	327
	参考文献	328

概 论

第一章 设备组成和工作方式

§ 1 设备组成

通风机设备是指通风机装置和进风、出风以及反风通流部件等全部设施的组合体。由于通风机类型、设备工作方式以及具体使用条件的不同，其组合方式可以是多种多样的。但是，组成的部件却是类似的。

现以具有两台轴流式通风机(图0-1)和两台离心式通风机(图

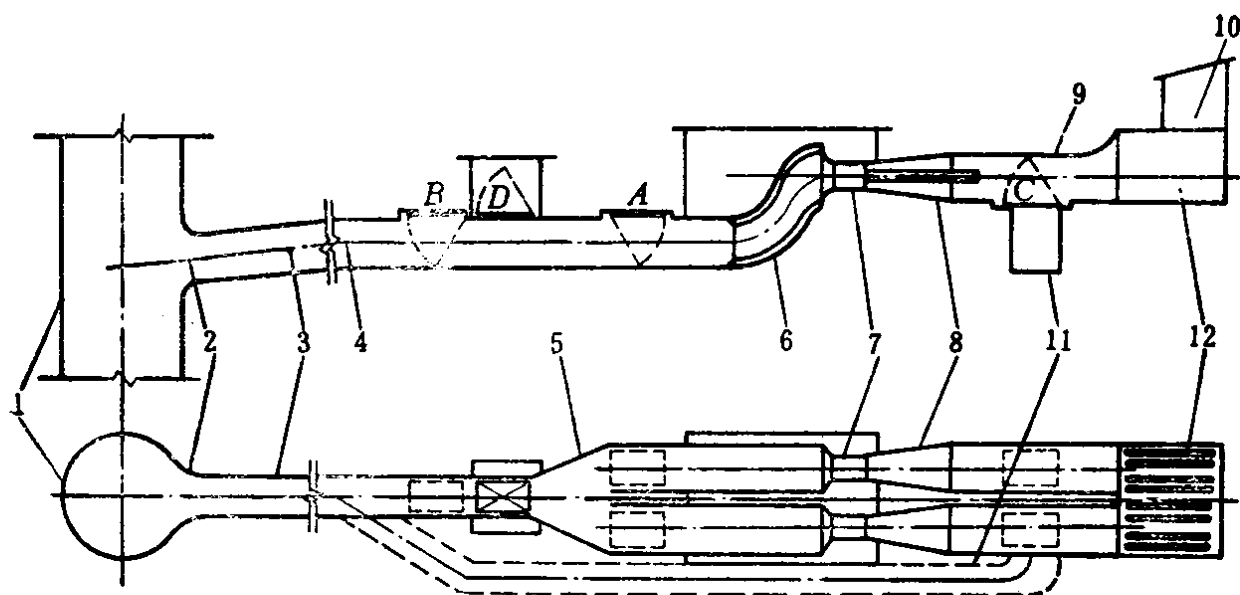


图 0-1 轴流式通风机设备组合体

1—井筒；2—井筒与主风道接口部；3—主风道；4—风道转弯段；5—分岔风道；6—“S”形弯道；7—轴流式通风机；8—扩散器；9—扩散风道；

10—扩散弯道；11—反风道；12—消声装置

A—倒换风门；B、C和D—改变风流方向的反风门和大气风门

0-2)的抽出式设备为例,可以将其空气动力部件划分为四个部分:

1. 通风机装置。包括通风机和扩散器;
2. 通流部件。包括井筒和主风道的接口部,主风道,风道转弯段,扩散风道,扩散弯道,“S”形弯道,分岔风道和反风道等。采用双侧进风(或双入口)离心式通风机时,还有专门向进风箱送风的对称的分流三通;
3. 控制风门。按用途可分为倒换通风机用的倒换风门A和改变风流方向的反风门(如装在进风侧的反风门B、装在扩散风道或扩散器内的风门C和让外界大气进入设备的大气风门D);
4. 消声装置。

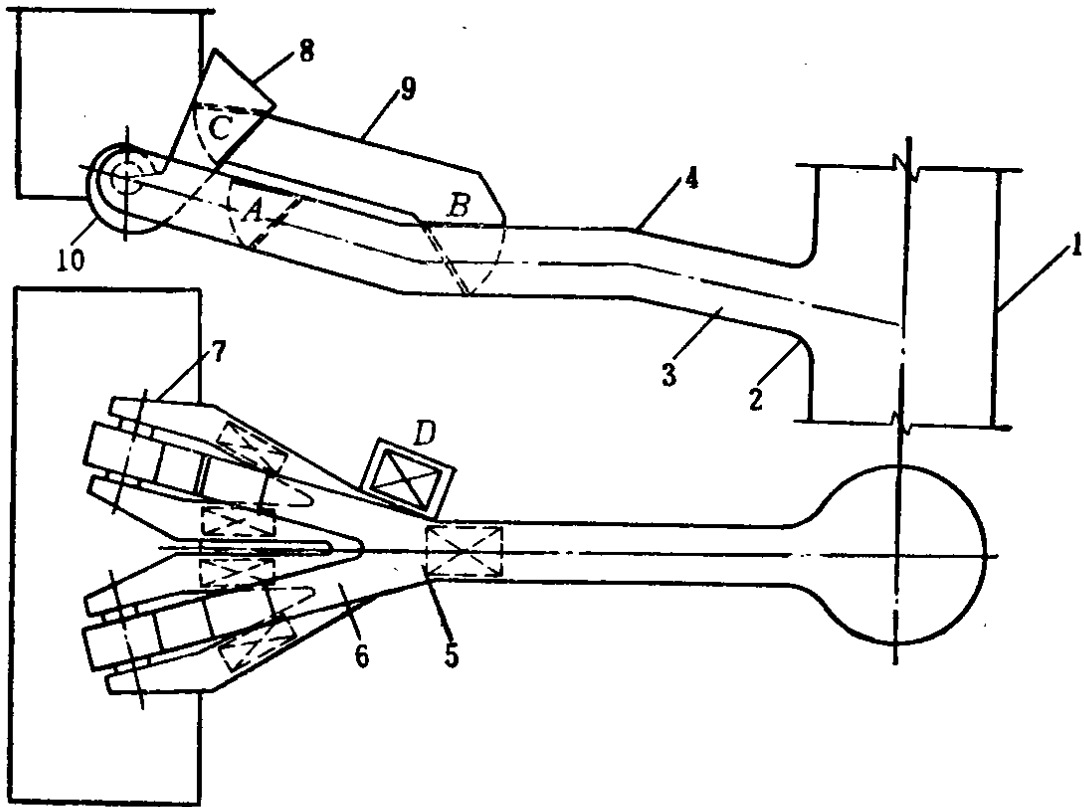


图 0-2 离心式通风机设备组合体

1—井筒; 2—井筒与主风道接口部; 3—主风道; 4—风道转弯段; 5—分岔风道; 6—分流三通; 7—进风箱; 8—扩散器; 9—反风道; 10—双入口离心式通风机; A—倒换风门; B、C和D—改变风流方向的反风门和大气风门

§ 2 设备工作方式

根据矿井通风方式的不同,设备的正常工作方式可以分为抽

出式和压入式两种。

图0-3 a 示抽出式设备。正常工作时，由入风井来的风流经主风道和进风侧各通流部件后，进入通风机；由通风机出来的风流经扩散器和出风侧各通流部件后，脱离扩散弯道，排入大气。反风时，如图0-3 b 所示，外界空气穿过进风室和敞开的大气风门进入进风道，经过通风机和扩散器，在扩散风道的末端受到反风门的阻拦，转弯进入反风道，随后压入主风道和风井，改变了井下风流方向。

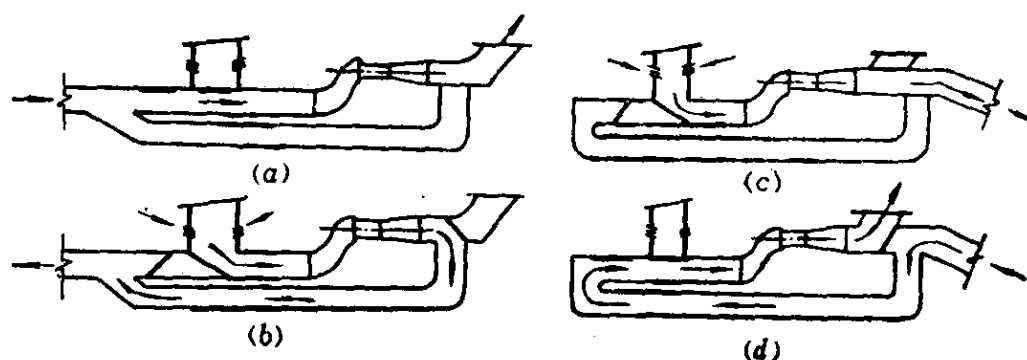


图 0-3 设备工作方式

a—抽出式设备正常工作；b—抽出式设备反风工作；c—压入式设备正常工作；d—压入式设备反风工作

图0-3 c 示压入式设备。正常工作时，外界空气穿过进风室和敞开的大气风门进入进风道，经过通风机和扩散部件压入主风道和风井。反风时，如图0-3 d 所示，由风井上来的气流首先穿过反风道，而后经通风机前的进风道和一系列进风部件进入通风机，由通风机出来的气流穿过扩散部件后，脱离扩散弯道排入大气。

采用可以逆转反风的通风机时，不需要反风道和其它反风设施，只要通风机逆转，即可改变风流方向。

第二章 通风网路特性

矿井通风系统由风源和通风网路组成。风源的主体是通风机。通常情况下，把通风机设备看作风源，也可以把通风机装置或通风机看成风源。通风网路是指气流在系统中流过的巷道，井筒和设备中除风源以外的通流部件的总体而言。

§ 1 通风网路特性

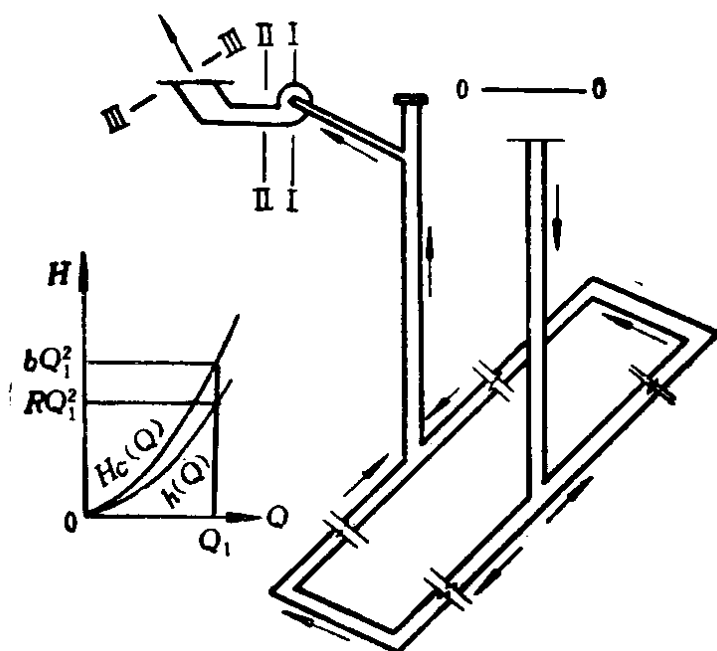


图 0-4 确定通风网路特性用图

I-I—风源入口截面；II-II—风源出口截面；III-III—系统出口截面；
0-0—系统入口截面

气流通过通风网路的风量与所需风压之间的关系称为通风网路特性。

对于任一通风系统，气流在通风网路中运动所需能量等于单位体积流体在风源中增加的能量。以图0-4所示通风系统为例，把通风机看成风源时，气流在风源中增加的能量即气流在通风机出、入口间的全压差

$$H_c = H_2 - H_1 \quad (0-1)$$

式中 H_c ——气流在通风机中的全压增量；

H_2 ——气流在通风机出口截面 II - II 处的全压；

H_1 ——气流在通风机入口截面 I - I 处的全压。

取通风系统入口前，未受通风干扰的某截面 0-0 作为系统入口截面。对该截面和 I - I 截面间的气流运用伯诺里方程，可得

$$H_1 = p_a + \gamma z_0 - \Delta H_{0-1} \quad (0-2)$$

式中 p_a ——大气压；

γ ——空气容重；

z_0 ——0-0 截面标高；

ΔH_{0-1} ——0-0 截面至 I - I 截面间的阻力损失。

对于 II - II 和 III - III 截面间的气流，有

$$H_2 = p_a + \gamma z_3 + \Delta H_{2-3} + \Delta H_d \quad (0-3)$$

式中 z_3 ——III - III 截面标高；

ΔH_{2-3} ——II - II 截面至 III - III 截面间的阻力损失；

ΔH_d ——III - III 截面的动压，即气流脱离通风系统时的动压损失。

将 (0-2) 和 (0-3) 式关系代入 (0-1) 式，得

$$\Delta H_c = \Delta H_s + \Delta H_d + h_c \quad (0-4)$$

式中 $\Delta H_s = \Delta H_{0-1} + \Delta H_{2-3}$ ——气流在通风网路中运动时的静压损失；

$h_c = \gamma(z_3 - z_0)$ ——由于系统出、入口标高差而产生的自然风压。

该式表明，为保证矿井通风所必需的全压等于克服网路阻力所需的静压，气流脱离通风系统时的动压和自然风压的总和。

根据通风学可知，静压损失

$$\Delta H_s = RQ^2 \quad (0-5)$$

式中 Q ——通过通风网路的风量。

R ——网路阻力系数。

又气流脱离通风系统时的动压损失

$$\Delta H_d = \frac{\rho}{2} c^2 = \frac{\rho}{2F^2} Q^2 \quad (0-6)$$

式中 ρ ——气体密度；
 c ——气流脱离通风系统时的平均流速；
 F ——系统出口过流截面面积。

当自然风压较小，可略去不计时

$$H_c = bQ^2 \quad (0-7)$$

式中 $b = R + \frac{S}{2F^2}$ ——比例系数或网路全阻力系数。

在矿井通风方式为抽出式的情况下， ΔH_s 为负压，又称矿井负压，习惯上常以“ h ”表示。即

$$h = RQ^2 \quad (0-8)$$

式(0-7)和(0-8)分别表达了矿井通风时，通过通风网路的风量与克服阻力所需的全压和静压之间的关系，即表达了通风网路阻力的特征。称前者为通风网路全压特性表达式，后者为通风网路静压特性表达式。它们在 $H \sim Q$ 坐标图上都是通过坐标原点的二次抛物线，如图0-4所示，分别称为通风网路全压特性和通风网路静压特性。统称为通风网路特性。

应指出，尽管(0-7)和(0-8)式，是以通风机为风源导出的，对于以通风机装置或通风机设备为风源的情况亦适用，只不过必须把导出公式时选用的截面 I - I 和 II - II 推移到风源入口和出口截面处而已。

§ 2 等 积 孔

通风网路的特征可以用等积孔的面积大小表达。由水力学可知，通过孔口的流量

$$Q = \mu A_c \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

式中 Q ——通过孔口的流量；
 μ ——流量系数；
 A_c ——孔口面积；
 Δp ——孔口压差。

若以 $\Delta p = h$ 代入上式，又取 $\rho = 1.2\text{kg/m}^3$ ， $\mu = 0.65$ ，则得

$$A_c = 1.19 \frac{Q}{\sqrt{h}}, \text{ m}^2 \quad (0-9)$$

该式表明，风量为 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ ，负压为 $h(\text{Pa}$ 或 $\text{N/m}^2)$ 的通风网路，其阻力特征可以用面积为 A_c 的孔口表征，故称为等积孔。

第三章 通风机工作原理

§ 1 离心式通风机工作原理

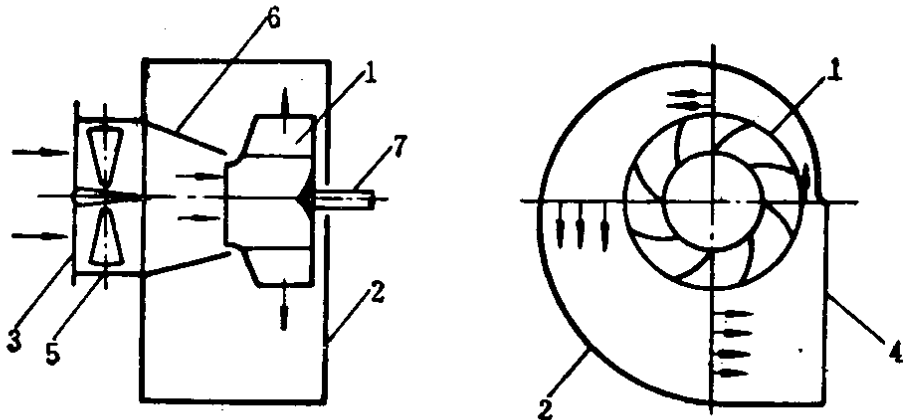


图 0-5 离心式通风机示意图

1—叶轮；2—机壳；3—入口；4—出口；5—前导器；6—入口管；7—主轴

离心式通风机（图0-5）的主要空气动力部件有叶轮1、机壳2、入口管6和前导器5。叶轮被电动机拖动旋转时，外界空气由入口3轴向进入入口管和叶轮。经叶轮后，汇集于螺形机壳内。最后，由出口4排出。装在入口处的前导器是调节装置。

叶轮是由前、后盘和均布其间的弯曲叶片组成。叶轮旋转时，主要是由于叶片与气流的相互作用使气流获得能量。触及叶片入口边缘的气体受到叶片牵连作用获得圆周速度 u_1 。与此同时，气体又相对叶片而运动，速度为 w_1 。两者合成为绝对速度 c_1 。为了分析问题，可以把 c_1 分为径向速度 c_{1r} 和旋绕速度 c_{1u} 。同样，在叶片出口边缘处气流牵连速度为 u_2 ，相对速度为 w_2 ，两者合成为绝对速度 c_2 。 c_2 可分为径向速度 c_{2r} 和旋绕速度 c_{2u} （参看图0-6）。

利用动量矩定理可以求得气流在叶轮中的全压理论增量，简称理论全压。

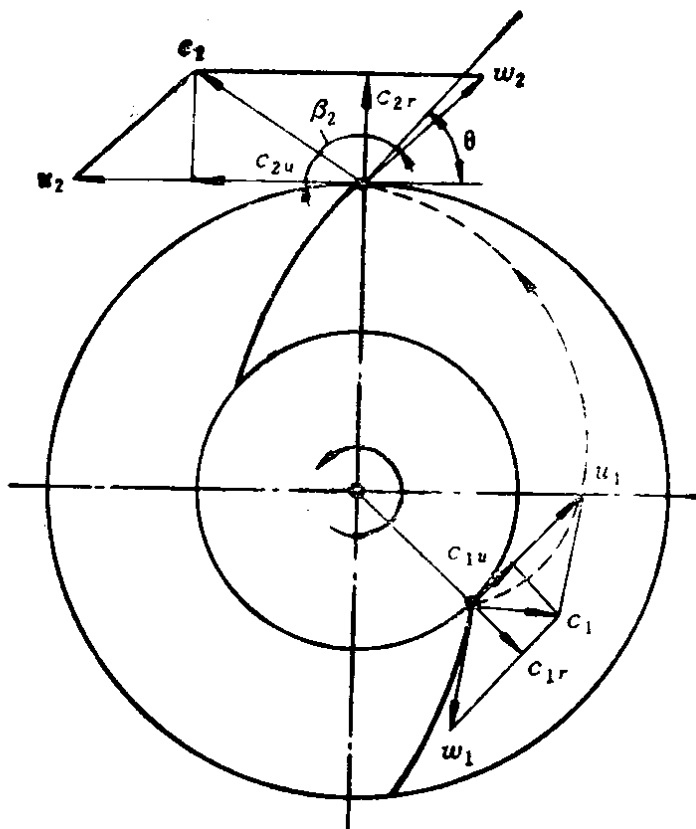


图 0-6 离心式通风机叶轮速度图

$$H_t = k\rho(u_2c_{2u} \pm u_1c_{1u}) \tag{0-10}$$

式中 H_t ——理论全压；
 k ——系数， $k < 1$ ；
 ρ ——空气密度；
 u_1 、 u_2 ——叶片内、外边缘处的牵连速度；
 c_{1u} 、 c_{2u} ——叶片内、外边缘处的旋绕速度。

在设计叶轮时，通常使 $c_{1u} = 0$ 。此时

$$H_t = k\rho u_2 c_{2u} \tag{0-11}$$

又理论流量

$$Q_t = F_2 c_{2r} \tag{0-12}$$

式中 F_2 ——叶轮出口处的过流面积；
 c_{2r} ——气流在叶片外边缘处的径向分速度。

利用出口速度图（图0-6）中 c_{2u} 和 c_{2r} 的关系，可以导出 h_t 与 Q_t 的相互关系——理论全压特性方程式

$$H_t = k\rho u_2 \left(u_2 + \frac{\text{ctg}\beta_2}{F_2} Q_t \right) \quad (0-13)$$

式中 β_2 ——叶片出口角。

对于具体的通风机，其直径 D 和出口过流面积 F_2 均为定值，当 β_2 为确定值，而且转速 n 一定时，理论全压特性方程式在 $H \sim Q$ 坐标图上为一直线，如图0-7所示。实际上，气流在叶轮和通风机其它部件中运动时有摩擦、冲击和涡流等损失。另外由于叶轮入口与入口管接口处的不严密，造成绕叶轮前盘的循环流，致使通过通风机的实际流量小于理论流量这就是通风机实际全压特性 $H(Q)$ 不同于理论特性 $H_t(Q_t)$ 的原因。实际特性只能用实验方法求出，在测量实际风压 H 和实际流量 Q 的同时，还可测出通风机轴功率 N 并绘出关系曲线 $H(Q)$ 和 $N(Q)$ 。由 $H(Q)$ 曲线上除去相应流量时的通风机出口动压，得到静压特性 $H_s(Q)$ 。随后，按下式分别求出通风机全效率和静效率

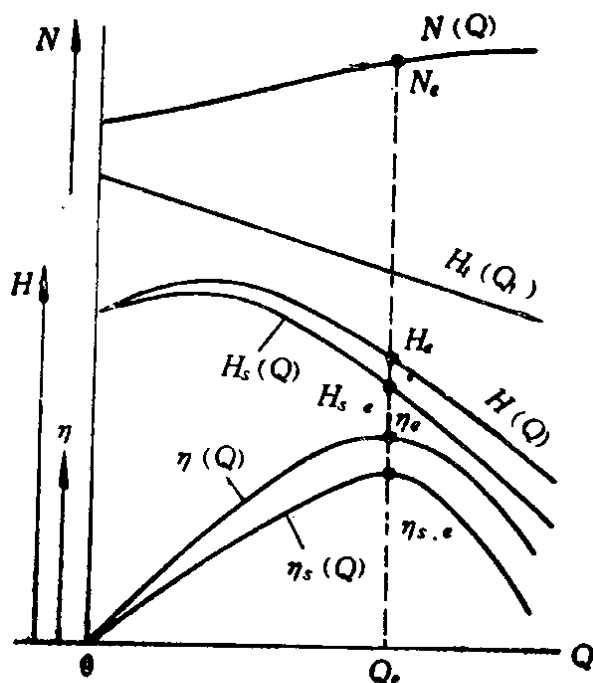


图 0-7 离心式通风机特性

$H_t(Q_t)$ —理论全压特性； $H(Q)$ —全压特性；
 $H_s(Q)$ —静压特性； $N(Q)$ —功率特性；
 $\eta(Q)$ —全效率特性； $\eta_s(Q)$ —静效率特性

风机出口动压，得到静压特性 $H_s(Q)$ 。随后，按下式分别求出通风机全效率和静效率

$$\eta = \frac{QH}{1000N} \quad \text{和} \quad \eta_s = \frac{QH_s}{1000N} \quad (0-14)$$

并绘出相应的效率与流量的关系曲线 $\eta(Q)$ 和 $\eta_s(Q)$ 。

功率特性 $N(Q)$ 、全压特性 $H(Q)$ （或静压特性 $H_s(Q)$ ）和全效率特性 $\eta(Q)$ （或静效率特性 $\eta_s(Q)$ ）分别标志着通风机各方面的性能。以曲线形式将它们绘在坐标图上，可以全面表征通风机