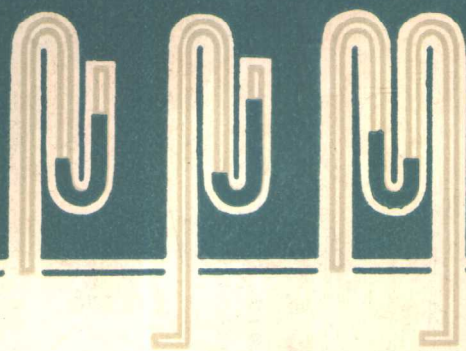


矿井空气压力

戴国权 著



中国工业出版社

矿井空气压力

戴国权 著

中国工业出版社

本书对矿井通风的主要参数之一的矿井空气压力进行了研究，提出了矿井空气压力分类的理论。根据这种分类方法，应用矿井空气总流的伯诺利方程式，对矿井空气流动的基本规律、空气流动时在井巷或管路同一断面上的空气压力的分布、各种矿井空气压力之间的关系，以及压差计位置对测得的空气压差的影响等问题进行了讨论，并得出了结论。

本书立论以理论为基础，以实用为主要目的，书中在阐述理论的过程中，也介绍了各种矿井空气压力的测量方法，列举了一些例题。

本书供中级及中级以上的矿井通风技术人员、矿业学院(校)的教师、科学研究及设计人员参考。

矿井空气压力

戴国权 著

*

煤炭工业部书刊编辑室编辑 (北京东长安街煤炭工业部大楼)

中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{2}$ ·印张 $3 \frac{5}{8}$ ·字数89,000

1964年3月北京第一版·1964年3月北京第一次印刷

印数0001—1,560·定价(科六)0.60元

*

统一书号: 15165·2361(煤炭-114)

序 言

直到目前为止，矿井通风仍然是消除矿井有毒、有害气体的最有效的方法。

矿井通风中的两个主要参数是 Q 和 H 。 Q 是在单位时间内由地面进入矿井，并沿着矿井巷道网路流动以确保全矿井各个巷道良好通风条件所需的风量； H 是为了供给矿井所需风量应具有的空气压力。研究矿井通风的一切主要问题都要与 H 发生关系。在矿井通风中经常遇到绝对静压力、动压力、全压力以及负压等空气压力的概念。如果这些概念理解得不正确，在实际通风工作中，尤其在微量研究时，会导致极大的误差，对矿井通风理论的发展也会有一定的限制。

作者在实际工作中，曾应用矿井空气总流的伯诺利方程式，对空气流动时在井巷和管路中空气压力的分布、风流方向的确定、负压的意义以及压差计的位置对测得的空气压差的影响等有关矿井空气压力问题进行了研究。本书的目的是在现代通风理论的基础上，就个人研究心得，试图引用比较全压力和势压力等概念来完整矿井空气压力的分类理论，以期便于应用伯诺利方程式来阐述有关扇风机所产生的各种空气压力与矿井通风之间的关系及其他实际应用的问题。

本书在理论上承受国内外矿井通风学者的成就，结合个人见解加以论述，立论以理论为基础，以实用为主要目的，力求理论联系实际。由于学力和资料所限，错误在所难免，但为了给矿井空气压力这一研究课题和矿井通风实际工作提供一些资料，作者以抛砖引玉的心情编写这本书，殷切地期待读者的指教。

本书在定稿过程中，承北京矿业学院黄元平同志在百忙中予以审阅，并提出了不少宝贵的意见，谨此致以衷心的感谢。

目 录

序言

主要符号表.....	1
------------	---

第一章 矿井空气压力	3
-------------------------	---

第一节 空气物理性质	3
------------------	---

第二节 绝对空气压力	7
------------------	---

第三节 空气压差	10
----------------	----

第四节 相对空气压力	12
------------------	----

第五节 测量法	16
---------------	----

第二章 空气流动的基本定律	23
----------------------------	----

第六节 概述	23
--------------	----

第七节 理想液体流束的(沿流綫的)伯諾利方程式	25
-------------------------------	----

第八节 理想液体流束的伯諾利方程式的几何意义	28
------------------------------	----

第九节 理想液体流束的伯諾利方程式的物理意义	29
------------------------------	----

第十节 实际液体流束与总流的伯諾利方程式	30
----------------------------	----

第十一节 矿井空气总流的伯諾利方程式	33
--------------------------	----

第三章 有关矿井空气压力的几个基本概念	36
----------------------------------	----

第十二节 空气流动时在矿井巷道或管路中空气压力的分布	36
----------------------------------	----

第十三节 如何确定风流的方向	40
----------------------	----

第十四节 负压	47
---------------	----

第十五节 矿井风流的动能系数	51
----------------------	----

第十六节 压差計的位置对测得的空气压差值的影响	52
-------------------------------	----

第四章 矿井空气压力测量	56
---------------------------	----

第十七节 倾斜压差計的空气压力测量	57
-------------------------	----

第十八节 负压計的空气压力测量	58
-----------------------	----

第十九节 精确无液气压計的空气压力测量	60
---------------------------	----

第五章 矿井通风网路特性	62
---------------------------	----

第二十节 概述	62
---------------	----

第二十一节 矿井通风网路特性	64
第二十二节 局部通风网路特性	66
第六章 矿井自然通风压差	67
第二十三节 概述	67
第二十四节 矿井自然通风压差的计算法	71
第二十五节 矿井自然通风压差的直接测量法	74
第二十六节 矿井自然通风压差的间接测量法	77
第二十七节 自然通风矿井中自然风量的计算法	81
第七章 扇风机的空气压力	85
第二十八节 扇风机的压差计的安设方法	85
第二十九节 扇风机装置的空气压力	87
第三十节 扇风机对矿井通风网路的通风制度	100
第八章 矿井巷道空气动力阻力与矿井空气压力	106
第三十一节 空气动力阻力形式	106
第三十二节 矿井空气动力阻力与矿井等积孔	107
参考文献	109

主要符号表

$A_{\sigma\sigma u}$	矿井通风网路等积孔	L	巷道长度
C	正面阻力系数	M	空气质量
D	井筒深度	N	扇风机输入功率
g	重力加速度	n	相对湿度
G	空气重量	p_a	地面大气压力
H_e	自然通风压差	p_0	绝对零压
$H_{f(1-2)}$	通风巷道(断面 I-I 至 II-II)的负压	p_n	饱和蒸汽压力
H_f	矿井负压	p_s	绝对静压力
H_F	矿井全负压	p_T	绝对全压力
$H_{s(1-2)}$	绝对静压差	p_z	比较全压力
$H_{v(1-2)}$	动压差	p_p	势压力
$H_{T(1-2)}$	绝对全压力差(绝对全 压差)	Q, q	风量
$H_{z(1-2)}$	比较全压力差(比较全 压差)	Q_B	扇风机进风量
$H_p(1-2)$	势压差	Q_0	到达工作面风量
h_{B-S}	扇风机装置静压	R	通风巷道空气动力阻力 或通风阻力
h_{B-T}	扇风机装置全压	$R_{A.c}$	正面阻力
h_s	相对静压	$R_{M.c}$	局部阻力
h_v, H_v 或 p_v	动压	$R_{T.p}$	摩擦阻力
h_{v-g}	扇风机扩散器出风口处 动压	$R_{\sigma\sigma u}$	矿井总阻力
h_T	相对全压	S	巷道净横断面积
h_p	相对势压	T	绝对温度
K	动能系数	t	温度
		U	巷道净横断面的周长
		V	空气体积
		v	风速

v	比容	μ	动力粘性系数
α	摩擦阻力系数	ν	运动粘性系数
γ	空气比重	ρ	空气密度
η_T	扇风机全效率	ξ	局部阻力系数
η_S	扇风机静效率		

第一章 矿井空气压力

第一节 空气物理性质

在研究矿井空气压力时必然要涉及到空气的物理性质及物理机械状态，因此我們应该首先討論它。

一、比重 γ 单位体积的空气重量称为空气比重：

$$\gamma = \frac{G}{V}, \text{ 公斤/米}^3 \quad (1)$$

式中 G ——空气重量，公斤；

V ——空气容积，米³。

根据气体的状态方程式：

$$PV = GRT \quad (2)$$

式中 P ——大气压力，公斤/米²；

R ——气体常数，在标准大气状态下干空气 R 为 29.27
公斤·米/公斤·度；

T ——绝对温度，度。

利用式(2)，则干空气的比重为

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{P}{RT} = \frac{13.6 \times p}{29.27 \times T} = 0.465 \frac{p}{T}, \text{ 公斤/米}^3 \quad (3)$$

式中 p ——大气压力，毫米汞柱。

则在标准大气状态下干空气的比重

$$\gamma = 0.465 \times \frac{p}{T} = 0.465 \times \frac{760}{(273+0)} = 1.293 \text{ 公斤/米}^3$$

在物理学中计算湿空气比重的公式〔8〕^① 为

① 〔8〕指参考本书后面的第8个参考文献，以后均同。

$$\gamma_{s,t} = 0.465 \times \frac{p}{T} \left(1 - 0.378 \frac{n \times p_n}{p} \right), \text{ 公斤/米}^3 \quad (4)$$

式中 n ——相对湿度，%；

p_n ——饱和蒸汽压力，毫米水柱。

公式(4)太复杂，它只适用于精细的工作中。当矿井空气温度不超过 $+20^\circ \sim +30^\circ\text{C}$ 时，空气湿度对其比重的影响不超过1%，而公式(3)只是用来计算干空气的比重。在矿井空气状态的变化范围内，即在 p 由700~840毫米水柱， t 由 $0^\circ \sim +30^\circ\text{C}$ 及 n 由60~100%的条件下，若测定的误差 p 不超过 ± 0.25 毫米汞柱及 t 不超过 $\pm 0.25^\circ\text{C}$ 时，可按下式计算矿井空气的比重[2, 8]：

$$\gamma = 0.461 \frac{p}{T}, \text{ 公斤/米}^3 \quad (5)$$

上式中矿井空气(相对湿度50~60%时)的气体常数采用29.4公斤·米/公斤·度。此式虽然并未计算 n 的变化，但其误差不超过 $\pm 1\%$ 。对于计算矿井空气的比重来说，可算是够准了。

在矿井通风中空气压力为760毫米汞柱，温度 $+15^\circ\text{C}$ 及相对湿度为60%的矿井空气定为标准矿井空气，其比重为1.2公斤/米³。

二、密度 ρ 在单位体积内所含有的空气质量称为空气密度：

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{G}{g} \times \frac{1}{V} = \frac{\gamma}{g}, \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4} \quad (6)$$

式中 M ——空气质量， $\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}}$ ；

g ——重力加速度，米/秒²。

在标准矿井空气的状态下，其密度为

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{1.2}{9.81} = 0.122 \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4}$$

当矿井空气温度不超过 $+30^\circ\text{C}$ 时，空气湿度对其比重和密度的影响不超过1%，因此可以不计算湿度。当温度超过 $+30^\circ\text{C}$ 及湿度很大时，需要对湿度进行校正。

湿空气的密度〔10〕为

$$\rho_{sA} = \rho - \frac{\Delta n}{100}, \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^3}{\text{米}^4} \quad (7)$$

式中 Δ ——系数，取决于空气的温度，参阅表 1。

表 1

$t, ^\circ\text{C}$	35	40	45	50
Δ	0.00245	0.00316	0.004	0.0051

上表所列的数据是在矿井空气的相对湿度为 80~90% 时得出的。

三、比容 v 单位重量的空气体积称为空气比容：

$$v = \frac{V}{G} = \frac{1}{\gamma}, \text{米}^3/\text{公斤} \quad (8)$$

四、粘性 空气对于切应力所发生的阻力性质称为粘性。发生粘性的原因是由于内部的摩擦。根据牛顿定律〔2〕，摩擦力为

$$\mu \times S \times \frac{dV}{dy}$$

式中 μ ——动力粘性系数；

S ——流体中各小层的接触面积；

$\frac{dV}{dy}$ ——垂直于运动方向的速度变化。

系数 μ 也称为空气粘性，它是随着空气温度的增加而增加的。按照苏联库兹尼佐夫公式可以计算出 μ 值（当大气压力为 760 毫米汞柱时）：

$$\mu = 1.712 \times 10^{-4} + 0.0058 \times 10^{-4} \times t - \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2} \quad (9)$$

但在空气动力学中空气粘性通常不用 μ 而用运动粘性系数 (ν) 来表示，后者表示由于粘力所引起的粒速。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \text{米}^2/\text{秒} \quad (10)$$

空气的 ν 值实际上取决于压力(随着压力的增加而减少)和温度。为了在不同的大气压力和温度的情况下近似地计算干空气的 ν 值起见,可应用图 1。

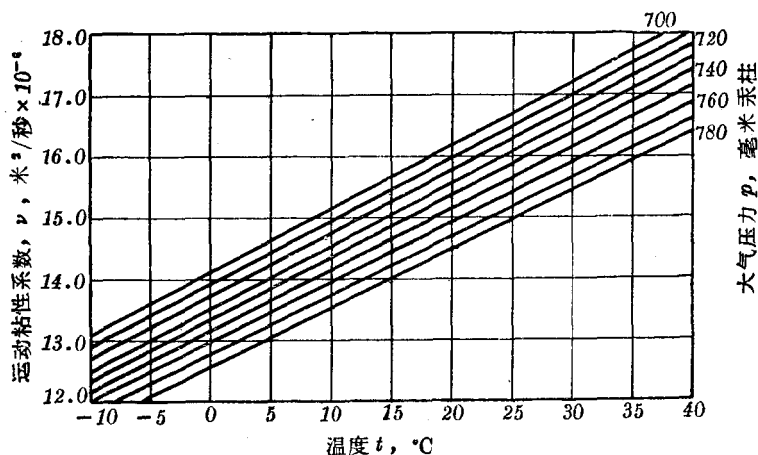


图 1

在标准矿井空气的条件下 $\nu = 15.0 \times 10^{-6} \text{ 米}^2/\text{秒}$, 而 $\mu = 1.85 \times 10^{-6} \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2}$ 。

在研究空气动力时所使用的公式大都参用空气的运动粘性系数。

综合上述,在标准矿井空气和标准大气的状态下各种空气物

表 2

名 称	单 位	标准矿井空气 ($p=760$ 毫米汞柱, $t=15^\circ\text{C}$, $n=60\%$)	标准大气 ($p=760$ 毫米汞柱, $t=0^\circ\text{C}$, $n=0\%$)
γ	公斤/米 ³	1.2	1.293
ν	米 ² /公斤	0.833	0.773
ρ	公斤·秒 ² /米 ⁴	0.122	0.132
μ	公斤·秒/米 ²	1.85×10^{-6}	1.71×10^{-6}
ν	米 ² /秒	15.0×10^{-6}	13.0×10^{-6}

理性质如表 2 所示。

第二节 绝对空气压力

空气压力是研究矿井通风的主要物理参数之一。在矿井通风领域内绝对空气压力可分为下列四类[1, 2]。

一、绝对静压力 空气在矿井通风巷道或管路内沿其垂直方向(正交方向)对其周壁单位面积上所施加的压力称为绝对静压力, 简称绝对静压, 它是以绝对零压(p_0)为基准的。空气静止时有绝对静压力, 流动时也有绝对静压力。绝对静压力^①以 p_s 来表示, 其值永远是正的。

二、动压力 也称速压力, 简称为动压或速压。在任一通风网路内在两点之间的单位空气重量的机械能量差的作用下使静止空气造成流动所需的压力, 称为动压力, 它以 p_v 来表示。动压力对平行于风流方向的巷道或管路的壁面不施加压力, 仅对垂直于风流方向或具有一定角度的壁面施加压力。动压力永远是正值。

三、全压力 在研究矿井通风时, 为了便于计算起见, 全压力可分为二种:

(一)绝对全压力 它是绝对静压力与动压力的总和, 以 p_T 来表示, 即 $p_T = p_s + p_v$, 简称绝对全压。其值永远是正的。

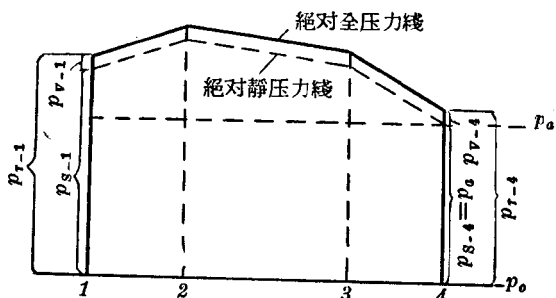
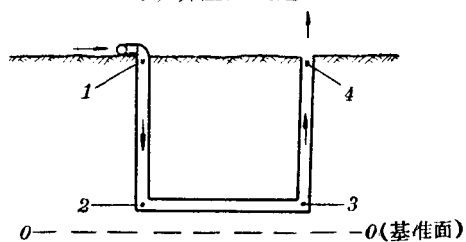
(二)比较全压力 在矿井通风学中往往通过伯诺利方程式来比较流线方向上二点的全压力, 比较时该二点必须具有同一的基准面, 所以要涉及到该二点距基准面的位置高度(z)。比较全压力以 p_z 来表示, 也即 $p_z = p_s + p_v \pm z\gamma$, 它简称为比较全压[6]。其值可能为正的或负的。为了计算方便起见, 基准面应选在二点中最低点的水平面或以下的水平面上, 则 z 值为正值, 即 $p_z = p_s + p_v + z\gamma$ 。以后除有特别说明外, z 值均假设为正值。

四、势压力^② 简称势压。它是绝对静压力与位置压力的代

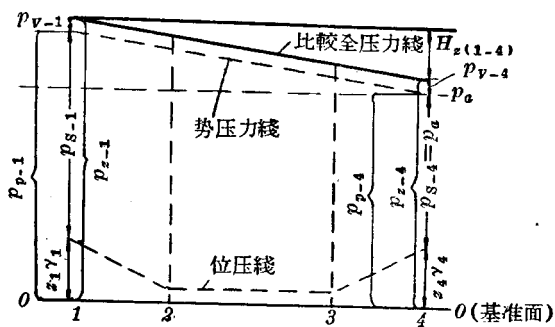
① 在矿井通风中, 空气单位压力简称为压力, 以下均同此名称。

② 本书中作者建议采用比较全压力和势压力的名称。

A. 矿井压入式通风

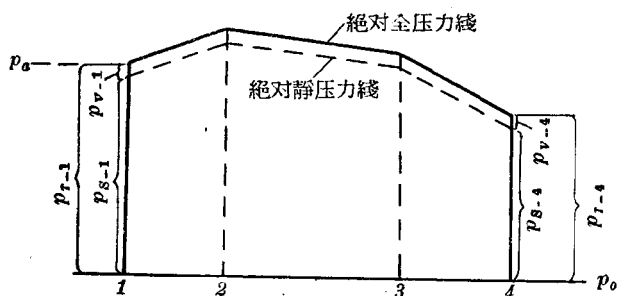
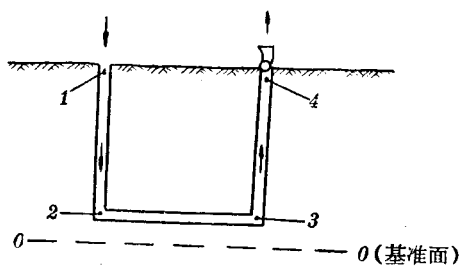


a) 空气压力绝对值示意图

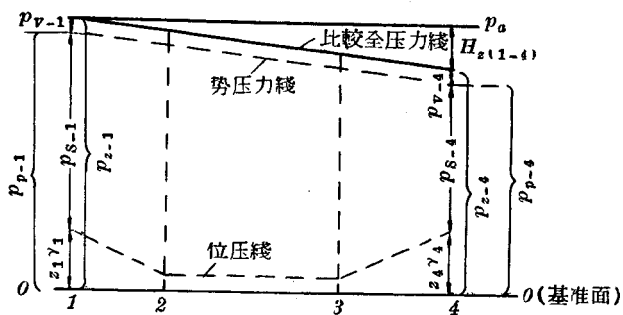


b) 伯诺利方程式示意图

B. 矿井抽出式通风



a) 空气压力绝对值示意图



b) 伯诺利方程式示意图

数和，以 p_v 来表示，也即 $p_v = p_s \pm z\gamma$ 。其值可能为正值或負值。为了計算方便起见，設 z 为正值时，則 $p_v = p_s + z\gamma$ 。

空气在井下巷道中流动时，上述的绝对空气压力以图(2)来表示。图2中没有考虑矿井自然通风的影响，矿井采用抽出式通风方式时进风井入口处的局部阻力所消耗的压力包括在点1~2之間(本书內以后均按此处理)。

在静止空气的巷道中計算任意一点的势压力时如果以該点的水平面为基准面，則該点的

$$p_s = p_T = p_z = p_v, \text{ 因 } p_v = 0, z = 0 \text{ 之故。}$$

在静止空气的巷道中有上下二点，在計算二点的势压力时具有同一基准面，則：

上部之点 p'_s 小于下部之点 p''_s ；

上部之点 p'_v 等于下部之点 $p''_v = 0$ ；

上部之点 p'_T (等于上部之点 p'_s) 小于下部之点 p''_T (等于下部之点 p''_s)；

上部之点 p'_z 等于下部之点 p''_z ；

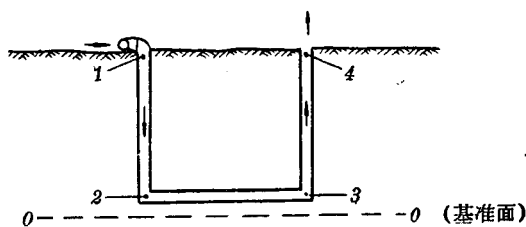
上部之点 p'_p (等于上部之点 p'_z) 等于下部之点 p''_p (等于下部之点 p''_z)。

在計算上述各种空气压力时均应导致同一单位。

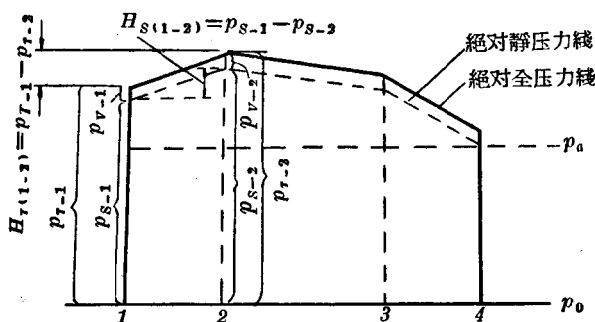
第三节 空气压差

在矿井巷道或管路中的同一空气流中任何二点間的空气压力之差称为空气压差[1, 2]。由于空气有绝对静压力、动压力、全压力及势压力之別，与之适应的，空气压差也有绝对静压差、动压差、全压差及势压差之分。茲将上述四类空气压差分述如下。

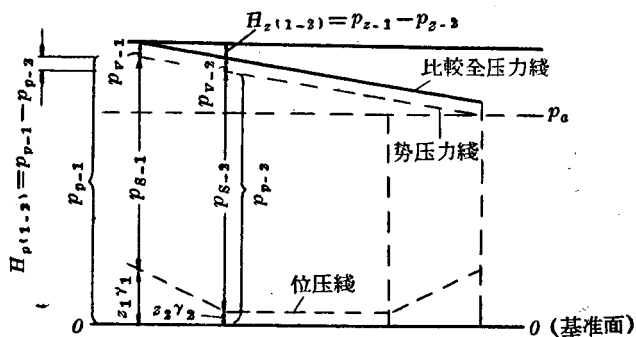
一、绝对静压差 在矿井巷道或管路中的同一空气流中任何二点間(由点1流到点2)的绝对静压力之差称为绝对静压差，以 H_s 来表示，即 $H_{s(1-2)} = p_{s-1} - p_{s-2}$ 。空气流动时，則 $H_{s(1-2)} \geq 0$ 。但空气作水平流动时，一般的 $H_{s(1-2)} > 0$ ，如 $p_{v-1} - p_{v-2} > 0$ ，



矿井压入式通风



a) 绝对空气压力示意图



b) 伯诺利方程式示意图

图 3