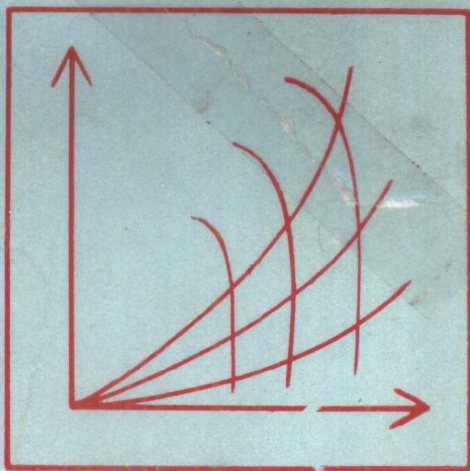


矿井实用通风技术

张国枢 编著



煤炭工业出版社

矿井实用通风技术

张 国 枢 编 著

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

内 容 提 要

本书以实用为宗旨，理论联系实际，阐述了通风安全工作中常遇到的、但一般教科书中又论述较少的问题。在简述矿井通风基础理论的基础上，对矿井主扇的经济运行、通风仪表与通风技术测定、通风系统分析与改造、均压通风防火和通风的科学管理等内容作了较深入的论述，书后附有实用的整理通风技术测定数据的计算机程序。

本书可供煤矿通风工程技术人员和管理工作者学习使用，对高校、科研和设计单位的通风工作者也有较高的参考价值。



煤炭工业出版社
(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787×1092mm^{1/32}，印张11^{1/2}，

字数246千字 印数1—5,000

1992年12月第1版 1993年3月第1次印刷

ISBN 7-5020-0734-2/TD·678

书号 3501 G0229 定价 8.20元

前 言

掌握矿井通风的基础理论、应用通风安全技术、实现通风安全的科学管理，是改变我国煤矿安全落后面貌的根本途径。为适应通风安全现代科学管理的需要，编写了《煤矿实用通风技术》。本书以实用为宗旨，理论联系实际，阐述了通风安全工作中常遇到的、但一般教科书中又论述较少的问题。本书在简述矿井通风基础理论的基础上，对矿井主扇的经济与安全运行、通风仪表与通风技术测定、通风系统分析与改造、均压通风防灭火和通风的科学管理等内容做了较深入的阐述。

本书是在总结近年来教学和科研工作经验的基础上编写的。在编写的过程中还博采了已有的同类著作之所长，参阅了原煤炭工业部和中煤总公司近年来颁布的有关技术文件和规定、部分专业杂志上刊登的有关文章，收集了国内外的最新科研成果，在此谨向为此付出辛勤劳动的原作者表示诚挚的感谢。吴中立教授在百忙中仔细地审阅了书稿，提出了许多宝贵的意见；淮南矿务局通风处鲁宗厚高工对通风管理一章提出了有益的意见；淮南矿院通风教研室的同志们也给予了大力支持和帮助，在此表示诚挚的感谢。

由于水平所限，加之时间仓促，书中不中之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 著 者

1991. 12.

主要符号表

符号及其含义	符号及其含义
A 矿井等积孔	M_v 水蒸气质量
B 巷道宽度	n 转速
C 气体浓度；周长系数	N_s 静压功率
D 直径	N_t 全压功率
d 含湿量；比重	N_m 电机功率
E 空气的压能；位能	p_s 大气压
f 电源的周波	p 绝对静压力
g 重力加速度	P 功率
H 巷道净高	p_t 风流的绝对全压
H_s 扇风机装置静压	p_v 水蒸气分压力
H_t 扇风机装置全压	P_s 转差损耗功率
H_{ft} 扇风机全压	p_{vs} 饱和水蒸气压力
H_{fs} 扇风机静压	Q 风量
H_N 自然风压	Q_f 主扇工作风量
h 相对静压或压差	Q_m 矿井风量
h_t 相对全压	Q_l 外部漏风风量
h_{fs} 扇风机动压	R_{fs} 扇风机出口动压的等效 风阻
h_{os} 扩散器出口动压	R_s 外接扩散器的风阻
h_{rs} 扇风机装置阻力	R_{os} 外接扩散器出口动压的 等效风阻
h_R 通风阻力	S_s 外接扩散器出口的断面 积
h_{Rm} 矿井通风总阻力	R_m 矿井总风阻
h_f 摩擦通风阻力	R_{fs} 扇风机的静压工作风阻
h_L 局部通风阻力	R_{ft} 扇风机的全压工作风阻
h_{RN} 调节闸门的阻力	R_t 扇风机装置的全压工作 风阻
i 传动比	
L 长度	
M 质量	

续表

符号及其含义		符号及其含义	
s	面积或转差率	β	角度
t	温度	ζ	局部阻力系数
t_d	干球(空气)温度	η_t	全压效率
t_w	湿球温度	η_{tr}	传动效率
T	绝对温标温度值	η_m	电机效率
U	断面周长	φ	相对湿度
v	空气的体积	ρ	空气密度
v	风速	ρ_m	平均空气密度
V_m	平均风速	ρ_w	湿空气
Z	高度, 或某断面距基准面的高度	ρ_d	干空气密度
a	摩擦阻力系数	ρ_{vs}	饱和水蒸气含量
		ρ_v	湿空气水蒸气的密度

目 录

第一章 矿井通风理论基础	1
第一节 矿井大气及其主要参数	1
第二节 风流压力与压能	8
第三节 矿井通风中的能量方程	14
第四节 井巷通风阻力和风阻	26
第二章 矿井扇风机及其运行	33
第一节 矿井主扇的特性	33
第二节 主扇工况点的确定方法及其合理范围	44
第三节 矿井通风系统诸参数的相互关系	47
第四节 矿井主扇的经济运行	52
第五节 风机的联合运行分析	79
第三章 矿井通风仪表与测定技术	89
第一节 矿井通风测量的基础知识	89
第二节 矿井通风仪表	92
第三节 矿井风量和漏风测算	121
第四节 矿井通风阻力测定	139
第五节 矿井主要扇风机性能测定	164
第六节 局扇与风筒性能参数测定	186
第七节 自然风压及其测定	193
第四章 矿井通风系统分析与技术改造	199
第一节 矿井通风系统分析基础	199
第二节 矿井通风系统分析	209
第三节 矿井通风网路中风流变化趋势分析	223
第四节 降低通风系统总阻力的技术措施	229

第五节	矿井风量调节	237
第六节	生产矿井通风系统技术改造	248
第五章	均压通风防灭火	260
第一节	均压通风防灭火基础	260
第二节	调压装置调压防灭火原理	263
第三节	生产工作面采空区自燃火源或高温点的调压处理	269
第四节	调压气室-连通管调压防灭火的原理与应用	279
第五节	调整通风系统调压防灭火技术	288
第六章	矿井通风管理	295
第一节	矿井通风管理体系	296
第二节	通风管理的业务与制度	301
第三节	掘进通风管理	309
第四节	矿井瓦斯管理	313
第五节	安全技术措施编制	316
附录一	阻力测定数据处理程序 (CD.BAS) 及其 使用说明	332
附录二	风机性能测定数据处理程序及其使用说明	342
参考文献	350

第一章 矿井通风基础理论

第一节 矿井大气及其主要参数

地面空气进入井下后即称之为矿井大气。矿井大气在沿程流动过程中，其成分、温度、湿度、压力和密度等参数均会逐渐发生变化，按照成分改变程度，矿井大气可分为新鲜空气和污染空气。

一、新鲜空气和污染空气

1. 新鲜空气

地面空气（亦称之为大气）是由氧气 O_2 、氮气 N_2 、二氧化碳 CO_2 、稀有气体（氢、氦、氩、氙、氡等）、水蒸气和其它杂质等组成的混合物。各种成分组成的比例（按体积百分比计算）大致是 O_2 20.95%、 N_2 78.08%、 CO_2 0.03%~0.04%、其余气体和杂质占0.04%~0.03%。地面空气进入井下，在不经过作业区时，其成分一般变化不大，习惯上称之为新鲜空气。《煤矿安全规程》（以下简称《规程》）规定，新鲜空气中的含氧量不得小于20%，二氧化碳、沼气浓度不得大于0.5%；其它有害气体含量低于《规程》规定；无矿尘或其含量极少。

2. 污染空气

新鲜空气经过作业区时，由于人员呼吸、生产过程（如放炮）中放出和煤岩层中涌出的瓦斯、井巷中一些有机物氧化放出的一些有害气体以及水分蒸发形成的水蒸气加入风

流，使矿井大气的成分发生了较大的变化，其含氧量减少，有害气体（ CH_4 、 CO_2 、 CO 等）和矿尘浓度增加，这种风流叫污染风流，亦称之为乏风。

新鲜风流和污染风流实际上没有明显的分界线。但在绘制通风系统图时，习惯上以用风地点作为分界线，即经过用风地点后的风流视为污染风流，也叫作回风；之前的风流叫新鲜风流，亦称之为进风。

二、矿井气候条件

矿井的气候条件通常用风流的温度、湿度和风速三个参数综合进行评价。

1. 风流温度

风流温度简称风温，风温用干球温度计测量。单位有热力学百度温标和绝对温标两种，两者分度值相同，但起点不同。其关系为：

$$T = 273 + t \quad (1-1-1)$$

式中 T ——绝对温标温度值，K；

t ——百度温标温度值， $^{\circ}\text{C}$ 。

测温地点，掘进工作面在风筒出口前方3m处；采煤工作面在其上部距回风巷15m；机电硐室在其回风道口。测温时间一般在上午8点至下午6点。

测温时，各测风点均应在巷道的中央，且不应靠近人体和机电设备等热源或制冷设备（距离不应小于0.5m）。温度计应放置在测点处数分钟，待稳定后再读数。在高沼气矿井，每次检测瓦斯时应检测温度，以当天最高者作为风温。

测温仪表的分辨率一般不大于 0.5°C 。

2. 湿度

含有水蒸气的空气叫湿空气，反之叫干空气。用湿度表

示空气中含有水蒸气量的大小和潮湿程度。其表示方法有：

1) 绝对湿度。每立方米湿空气中含水蒸气的质量叫空气的绝对湿度，其值等于水蒸气的密度 ρ_v ，即：

$$\rho_v = \frac{M_v}{V} \quad (1-1-2)$$

式中 M_v ——水蒸气质量，kg；

V ——空气的体积， m^3 。

在某一温度和压力条件下，空气中水蒸气的含量是有极限值的，其含量达最大值时的空气叫饱和湿空气。

绝对湿度不能说明空气的干湿程度。

2) 含湿量 (d)。每公斤干空气中所含有的水蒸气量叫含湿量，可用下式计算：

$$d = 0.623 \frac{p_v}{(p - p_v)} \quad (1-1-3)$$

式中 p 、 p_v ——湿空气压力和其中的水蒸气分压力，Pa。

3) 相对湿度 (φ)。单位体积空气中实际含有的水蒸气量 ρ_v 与其同温度时的饱和水蒸气含量 ρ_{vs} 之比，即：

$$\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_{vs}} \quad (1-1-4)$$

φ 值可以用小数表示，也可以用百分数表示。其值小，则表示空气干燥，吸湿能力强，反之则表示潮湿。空气中水蒸气含量一定时，不饱和湿空气的 φ 值随着温度降低而增大；反之亦然，当 $\varphi = 100\%$ 时即为饱和湿空气，如果温度继续降低，空气中水蒸气就会因过饱和而凝结成水珠。井下温度较高、含水蒸气量较大的回风流与温度较低的风流汇合处的井巷壁上出现水珠，原因就在于此。

矿井通风中所说的湿度，一般是指相对湿度，相对湿度

是影响人体散热的主要参数之一。相对湿度可用干湿温度计（湿度计）测定（见第三章第二节）。

3. 风速

风速对人体散热和感受、矿尘悬浮、瓦斯集聚以及通风阻力等都有较大影响，因此，为了改善矿井气候条件，在井下不同的工作地点，对风速有不同的要求。为了防止瓦斯集聚，要求井巷风速不能过低；为了防止井巷中落尘飞扬、产生较大的通风阻力及给人以良好的感受，要求风速不能过大。

就风流给人的感受来说，风速不宜超过 $6\sim 8\text{m/s}$ （4~5级风）。在风速超过 8m/s 的风流中逆风行走时，人便感到不舒服。

采掘工作面的合理排尘风速取决于煤、岩尘中的水分、比重和粒度等多种因素。据研究，一般的最优排尘风速为：掘进工作面 $0.4\sim 0.7\text{m/s}$ ；回采工作面 $1.5\sim 4\text{m/s}$ ；当煤体中含水分为 $3\%\sim 4\%$ 时，最优排尘风速为 $2.3\sim 2.5\text{m/s}$ ，煤体水分每增加 1% ，最优排尘风速要增加 $0.01\sim 0.15\text{m/s}$ 。当风速大于 4.5m/s 时风流中矿尘浓度将增大。

4. 矿井气候条件对风温、风速和湿度的要求

矿井通风的重要任务之一是为人们在井下工作创造良好的气候条件。在作业过程中不适当的气候条件会直接影响人们的工作情绪和身体健康，使人的工作效率降低，且容易发生事故。

气候条件好坏主要针对人体散热条件而言，人体散热量受风温、风速和湿度三者综合作用。苏联*提出的适宜气候

* 苏联系指原苏联，以下文中同。

表 1-1-1

最小风速 (m/s)	不同相对湿度下适宜的气温(℃)		
	60%~70%	70%~90%	>90%
0.25	24	23	22
0.5	25	24	23
1	26	25	24
2	26	26	25

条件的标准见表1-1-1。

气候条件三要素中湿度是与温度不可分离的环境因素，但由于湿度控制比较困难，故与温度相比很少引起人们注意。改善气候条件的主要任务就是将井下、特别是采掘工作面的气温和风速调节适当，以创造良好的工作环境。

三、大气压

大气压是地球表面大气层中空气分子热运动和重力两者共同作用而产生的，其大小取决于标高（高度）、空气的温度以及其中的水蒸气含量（相对湿度）等参数。

在静止的空气中，已知某一高度（基准面）的大气压时，在竖直方向上大气压的变化规律可按下式计算，即：

$$p = p_0 \pm Z\rho_m g \quad (1-1-5)$$

式中 p_0 ——基准面水平的大气压，Pa；

Z ——距基准面的垂直距离，m；

p ——距基准面 Z m处的大气压，Pa；

ρ_m ——高度 Z m内平均空气密度， kg/m^3 。

基准面以下取“+”基准面以上取“-”。

如图1-1-1所示，设基准面上（0）点大气压为 p_0 ，则1、2两点的大气压 p_1 、 p_2 分别为：

$$p_1 = p_0 - Z_1 \rho_{m1-0} g; \quad p_2 = p_0 + Z_2 \rho_{m0-2} g$$

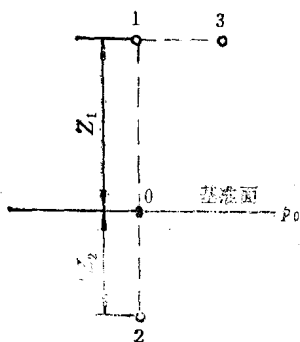


图 1-1-1 静止空气压力分布

在同一水平上的静止空气，相距较近的任意两点的大气压近似相等。图1-1-1中的在同一水平上的1、3两点，就有 $p_1 = p_3$ 。

在目前使用的测压仪器上，压力的单位有mmHg（毫米汞柱）、mmH₂O（毫米水柱）、atm（标准大气压）、at（工程大气压）、bar（巴）、mb（毫巴）、Pa（帕斯卡），其相互

换算关系如下：

$$1\text{atm} = 1.03323\text{at} = 760\text{mmHg}$$

$$1\text{mmHg} = 1.333\text{mb.} = 13.595\text{mmH}_2\text{O} = 133.332\text{Pa}$$

$$1\text{mmH}_2\text{O} = 9.8\text{Pa}; \quad 1\text{mb.} = 10.197\text{mmH}_2\text{O} = 10^3\text{Pa}$$

四、空气密度

单位体积空气具有的质量，叫空气密度。用 ρ （kg/m³）表示，即：

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1-1-6)$$

式中 V ——空气的体积，m³；

M —— V 体积中空气的质量，kg。

湿空气的密度是1m³空气中所含干空气质量与水蒸气质量之和，即：

$$\rho = \rho_d + \rho_v \quad (1-1-7)$$

式中 ρ_d ——1m³空气中干空气的质量，kg。

湿空气的密度可按下式计算：

$$\rho = 0.003484 \frac{p}{273+t} \left(1 - \frac{0.378\phi p_s}{p} \right) \quad (1-1-8)$$

式中 p ——为空气压力, Pa;
 t ——空气的温度, °C;
 p_s ——温度 t 时饱和水蒸气的分压力, Pa;
 φ ——相对湿度, 用小数表示。

当压力和水蒸气的分压力单位采用 mmHg 时, 空气密度可用下式计算:

$$\rho = 0.46457 \frac{p}{273+t} \left(1 - \frac{0.378\varphi p_s}{p} \right) \quad (1-1-9)$$

在式 (1-1-9) 中, 令: $k = 0.46457 \left(1 - \frac{0.378\varphi p_s}{p} \right)$

则式 (1-1-9) 可简化为:

$$\rho = k \frac{p}{t+273} \quad (1-1-10)$$

不同温度、湿度和压力时的 k 值可由图1-1-2查得。

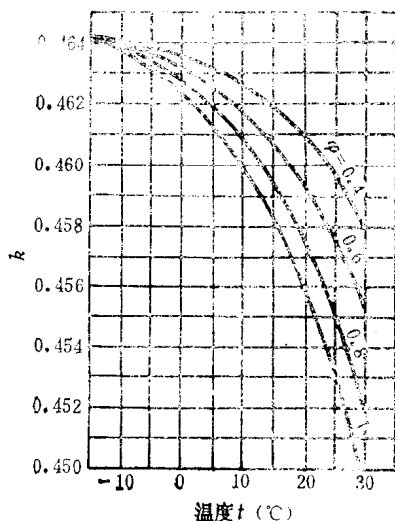


图 1-1-2 不同湿度和温度时 k 值

在标准状态下,即大气压为 $760\text{mmHg}(1.013 \times 10^5\text{Pa})$ 、温度 $t = 20^\circ\text{C}$ 、 $\varphi = 50\%$ 时,空气密度 $\rho = 1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 。对于高原地区,随着海拔高度增加,大气压减小,则空气密度也随之减小。例如,我国六枝地区海拔约为 1360m ,大气压约为 $648\text{mmHg}(91.1925\text{kPa})$,若 $\varphi = 60\%$ 、 $t = 20^\circ\text{C}$,则空气密度 $\rho = 1.02\text{kg}/\text{m}^3$ 。

测算井巷中某点空气的密度时,可先测定当地的大气压 p_a ,干湿温度 t_d 、 t_w ,再根据 t_d 或 t_w 及其之差 Δt 查表得饱和水蒸气分压力 p_s 和相对湿度 φ ,代入式(1-1-9)计算,或由图1-1-9查取 k 值后计算。

第二节 风流压力与压能

风流的压力是矿井通风动力学中的基本参数,掌握各种压力的概念是研究和解决矿井通风安全问题的理论基础。

一、风流的点压力

所谓点压力是指测点的单位体积(1m^3)空气所具有的压能。在井巷和通风管道中流动空气的点压力,按其形成的特征来分,可分为静压、动压和全压三种。

1. 静压力

空气的静压力是空气分子热运动的动能转化为机械能时所呈现出来的压力。其特点是,无论是在静止的空气里、还是在流动空气中任一点,其静压力作用于各个方向上,且各方向上的数值相等。

矿井通风中压力的概念与物理学中的压强相同,即单位面积上受到的垂直作用力。从 $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2 = 1\text{N} \cdot \text{m}/\text{m}^3 = 1\text{J}/\text{m}^3$ 可以看出,压力可以看作是单位体积空气具有的对外作功的机械能。因此,静压力也可称作是静压能。实际上,

压力是能量的显现，能量是产生压力的根源。

按照计算基准不同，静压力可分为：

1) 绝对静压力 (p)。以真空作为比较基准 (或零点) 测量而得的静压力叫绝对静压力；

2) 相对静压力 (h)。以当时与测点同标高的当地大气压作为比较基准 (或零点) 而测得的压力，称之为相对静压力，亦即通常所说的表压力。

绝对静压力、相对静压力和大气压力 (p_a) 三者的关系可用下式表示：

$$h = p - p_a \quad (1-2-1)$$

图1-2-1所示的压入式 (图a) 和抽出式 (图b) 通风风道中的1、2两点的相对静压力可用皮托管和压差计测量，用皮托管 (其构造参见第二章第二节) 的静压孔将1、2点风流的绝对静压力 (p) 感受并传递到压差计 (见第二章第二节) 的右液面上，压差计的示值 (液面高差) 即为两点的相对静压力。其用公式表示则为：

$$h_1 = p_1 - p_a \quad (1-2-2a)$$

$$h_2 = p_2 - p_a \quad (1-2-2b)$$

式中 h_1 、 h_2 ——风道内1、2点空气的相对静压力，Pa；

p_a ——与1、2两点同标高的A点的大气压力，Pa；

p_1 、 p_2 ——风道内1、2两点风流的绝对静压力，Pa。

相对压力、绝对压力和大气压力三者的关系还可用如图1-2-1c所示的坐标表示。

风机作压入式通风时，其作用是使其出口风流的能量增加，则风道内1点风流的绝对静压力 p_1 大于大气压力 p_a (如图c，在大气压线之上)，故相对静压力为正，即 $h_1 > 0$ 。在图a中测量相对静压力的水柱计上的反映是 p_1 作用的液面低于