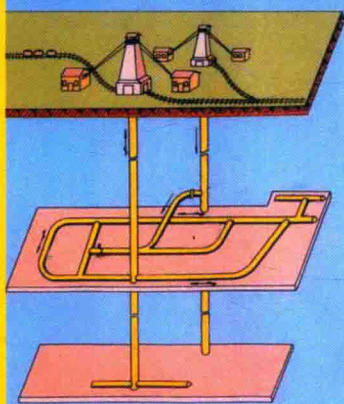




普通高等教育“十三五”规划教材

矿井通风计算实例

主编 王俊峰



 煤炭工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

矿井通风计算实例

主 编 王俊峰

副主编 赵光宇

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井通风计算实例/王俊峰主编. --北京:煤炭工业出版社, 2016

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5020-5147-1

I. ①矿… II. ①王… III. ①矿山通风—计算—高等学校—教材 IV. ①TD72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 302515 号

矿井通风计算实例(普通高等教育“十三五”规划教材)

主 编 王俊峰

责任编辑 张 成

编 辑 刘 鹏

责任校对 刘 青

封面设计 北京地大天成印务 设计印前中心

出版发行 煤炭工业出版社(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

电 话 010-84657898(总编室)

010-64018321(发行部) 010-84657880(读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 北京建宏印刷有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 13³/₄ 字数 319 千字

版 次 2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 1 次印刷

社内编号 7998

定价 27.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书内容主要涉及：风速与风量的测算；空气压力的测算、伯努利方程式及其应用；矿井总风阻与等积孔的计算；矿井通风阻力的测定与计算；矿井主要通风机性能鉴定；矿井需风量、风量分配及调节的计算；掘进通风设计；矿井通风设备的选型；矿井通风设计；矿井通风能力核定计算 10 个方面。

本书可作为高校本科和高职高专（成人）教育所属的采矿工程专业、矿山通风与安全专业及安全工程专业开设的《矿井通风》教学辅导的参考书，也可作为现场从事矿井通风安全技术及管理人员解决实际问题的得力工具。

前 言

本书是为配合普通高校本科和煤炭高职高专（成人）开设的《矿井通风》或《通风安全学》课程教学而编写的教学参考书。

书中汇集了具有代表性的矿井通风中的计算题，采用“相关知识－计算题解－知识链接”的构思方式，对所选的179道计算题作了详解。本书在编写过程中，特别注重理论联系实际，既突出了计算题涉及的基本概念和基本理论，又强化了计算题在矿井通风与安全中解决实际问题中的实用价值。

本书由王俊峰编写第二章、第四章、第六章，赵光宇编写第一章、第七章，王飞编写第八章，王晔编写第九章、第十章，周春山编写第三章、第五章。本书由王俊峰任主编，赵光宇任副主编，王飞、王晔、周春山为参编。全书由赵益芳主审。

本书在编写过程中参考了现有的各类有关书籍资料，在此，本书所有作者对被引用、参考教材的广大作者以及太原理工大学安全工程系等单位的大力支持，一并表示衷心的感谢！

由于编写人员水平所限和经验不足，书中可能出现偏差和错误之处，敬请批评指正。

编 者

2015年9月

目次

第一章 矿井空气	1
第一节 矿井空气成分	1
第二节 矿井空气中有害气体	2
第三节 矿井气候条件	4
第四节 计算平均风速和通过井巷的风量	11
第五节 矿井瓦斯等级鉴定	14
第二章 矿井通风压力	17
第一节 空气的主要物理参数	17
第二节 风流能量与压力	22
第三节 风流点压力及其相互关系	24
第四节 矿井通风中的能量方程及其应用	28
第三章 矿井通风阻力	43
第一节 风流的流动状态	43
第二节 摩擦阻力	44
第三节 局部阻力	50
第四节 矿井总风阻与矿井等积孔	54
第五节 矿井通风阻力测定	61
第四章 矿井通风动力	68
第一节 自然风压的形成和计算	68
第二节 通风机的类型	73
第三节 通风机的特性	73
第四节 矿井通风设备的选型与计算	89
第五节 矿井主要通风机性能测定	96
第五章 矿井通风系统和采区通风系统	103
第一节 矿井通风系统	103
第二节 采区通风系统	104
第三节 采区所需风量的计算	105
第四节 矿井通风设施	112

第五节 矿井漏风及有效风量·····	112
第六章 矿井通风网络·····	115
第一节 风流流动的普遍规律·····	115
第二节 简单通风网络及其性质·····	116
第三节 角联通风及其特性·····	129
第四节 复杂通风网络的解算方法·····	132
第七章 掘进通风·····	138
第一节 掘进通风方法·····	138
第二节 掘进通风设备·····	139
第三节 掘进工作面通风参数测算·····	142
第四节 掘进通风系统设计·····	149
第五节 掘进通风中循环风的防治·····	154
第八章 矿井风量调节·····	156
第一节 局部风量调节·····	156
第二节 矿井总风量的调节·····	172
第九章 矿井通风设计·····	174
第一节 矿井通风设计内容和系统选择·····	174
第二节 矿井配风和总风量计算·····	175
第三节 矿井通风阻力计算·····	181
第四节 矿井通风设备的选择·····	185
第五节 概算矿井通风费用·····	191
第六节 矿井通风设计示例·····	193
第十章 矿井通风能力核定计算·····	203
第一节 通风能力核定的目的·····	203
第二节 通风能力核定的计算方法·····	203
第三节 通风能力验证·····	208
第四节 通风能力核定结果计算·····	209
参考文献·····	210

第一章 矿 井 空 气

第一节 矿井空气成分

地面空气进入矿井以后即称为矿井空气。矿井空气与地面空气在成分和质量上有着程度不同的区别,其主要成分是氧气、氮气和二氧化碳。

由于矿井空气质量对人员健康和矿井安全有着重要的影响,所以《煤矿安全规程》对矿井空气主要成分(氧气、二氧化碳)的浓度标准做出了明确的规定:“采掘工作面进风流中的氧气浓度不得低于20%;二氧化碳浓度不得超过0.5%;总回风流中二氧化碳浓度不得超过0.75%;当采掘工作面风流中二氧化碳浓度达到1.5%或采区、采掘工作面回风道风流中二氧化碳浓度超过1.5%时,必须停工处理”。

当空气中的氧浓度降至17%以下时,人体会产生不良的生理反应,出现种种不适,严重时可能导致缺氧窒息死亡。因此,17%称为安全临界值。

保证井下人员呼吸有足够的新鲜空气,是矿井通风的任务与目的之一。井下工人在劳动过程中需要呼吸大量氧气,以保证人体内一系列的生物氧化反应,补充能量消耗。据测算,劳动时一个人的耗氧量为1~3 L/min,而矿井空气中人的耗氧量约为2%~3%(其他为煤炭和有机物所消耗)。氧平衡关系方程如下:

$$aq - n = bq \quad (1-1)$$

式中 a ——氧气在空气中含量,%;

q ——井下每人每分钟所需空气量, L/min;

n ——每人每分钟消耗氧气量, L/min;

b ——采掘工作面中氧气含量,%。

因此,世界大多产煤国家规定了每人4 m³/min的需风量。

【例1-1】氧气在空气中含量为20.9%,井下每人每分钟耗氧量为3 L/min,采掘工作面氧气含量不低于20%,试说明《煤矿安全规程》规定“井下每人每分钟供风量不得少于4 m³”的依据。

解 根据式(1-1),则有:

$$20.9\% \times q - 3 = 20\% \times q$$

解得

$$q = 333 \text{ L/min} = 0.333 \text{ m}^3/\text{min}$$

对井下工作地点的物质氧化的总耗氧量中,人的耗氧量仅占约8.3%,所以井下工作地点以每人每分钟计算供风量时应为

$$Q = 0.333 / 8.3\% = 4 \text{ m}^3/\text{min}$$

所以《煤矿安全规程》规定,井下每人每分钟供风量不得少于4 m³。

一般而言,矿井空气中某气体的含量可用下式计算。

$$m = S \cdot L \cdot \rho \quad (1-2)$$

式中 m ——某气体含量, m^3 ;
 S ——巷道断面积, m^2 ;
 L ——巷道长度, m ;
 ρ ——该气体占空气含量百分数, %。

每人每分钟呼出二氧化碳量按下式计算:

$$m_{\text{CO}_2} = m_{\text{O}_2} \cdot \gamma_h \quad (1-3)$$

式中 m_{O_2} ——每人在静止状态下耗氧量, L/min ;
 γ_h ——呼吸系数。

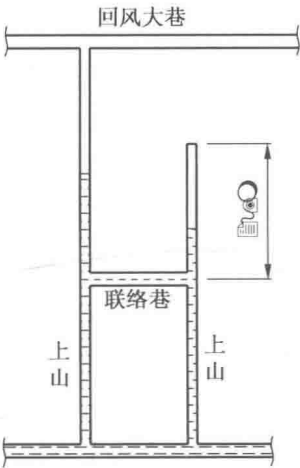


图 1-1 某矿井下发生透水事故时被困人员位置示意图

【例 1-2】某矿井下发生透水事故,有 10 人被困在上山掘进工作面,如图 1-1 所示。已知掘进头距联络巷 39 m,上山巷道断面积为 7.8 m^2 ,钢筋混凝土支护,水中无有害气体放出。平常检测时上山风流中氧浓度为 20%,二氧化碳浓度为 0.5%。求遇险人员的最长生存时间为多少?通常把氧含量降到 10% 及二氧化碳含量上升到 10% 作为遇难人员生存的下限值。人在静止状态下耗氧量为 $0.25 \text{ L}/\text{min}$,呼吸系数取 0.8。

解 (1) 按氧气浓度下降到 10% 计算。

根据式 (1-2), 可供被困人员呼吸消耗的氧量为

$$7.8 \times 39 \times (20\% - 10\%) = 30.42 \text{ m}^3 = 30420 \text{ L}$$

10 人每小时耗氧量为

$$0.25 \times 10 \times 60 = 150 \text{ L}/\text{h}$$

10 名遇险人员能生存的最长时间为

$$30420 / 150 = 202.8 \text{ h}$$

(2) 按 CO_2 浓度增加到 10% 计算。

根据式 (1-2), 则允许增加的 CO_2 的量为

$$7.8 \times 39 \times (10\% - 0.5\%) = 28.899 \text{ m}^3 = 28899 \text{ L}$$

根据式 (1-3), 则每人每分钟呼出的 CO_2 为

$$0.25 \times 0.8 = 0.2 \text{ L}$$

10 人每小时呼出的 CO_2 为

$$0.2 \times 10 \times 60 = 120 \text{ L}/\text{h}$$

则 10 名遇险人员能生存的最长时间为

$$28899 / 120 = 240.8 \text{ h}$$

综上所述, 10 名遇险人员能生存的最长时间为 202.8 h。

第二节 矿井空气中有害气体

矿井中常见的有害气体主要有一氧化碳 (CO)、硫化氢 (H_2S)、二氧化氮 (NO_2)、二氧化硫 (SO_2)、氨气 (NH_3)、氢气 (H_2) 等。这些有害气体对井下作业人员的生命安全和身体健康危害极大, 必须引起高度的重视。《煤矿安全规程》对常见有害气体的安全标准都做了明确的规定, 其值见表 1-1。

表 1-1 矿井空气中有害气体的最高容许浓度

有害气体名称	符 号	最高允许浓度/%
一氧化碳	CO	0.0024
氧化氮（换算成二氧化氮）	NO ₂	0.00025
二氧化硫	SO ₂	0.0005
硫化氢	H ₂ S	0.00066
氨气	NH ₃	0.004

如将表 1-1 中的体积浓度换算成质量浓度可用下式：

$$B_n = \frac{N_0}{100} \times \frac{M \cdot 1000}{22.4/1000} \tag{1-4}$$

式中 B_n ——气体质量浓度，mg/m³；

N_0 ——气体的体积浓度，%；

M ——气体相对分子质量；

22.4——在标准状态下，1 摩尔气体所占有的体积。

【例 1-3】根据《煤矿安全规程》规定，如果井下空气中一氧化碳按体积浓度不得超过 0.0024%，那么，其质量浓度不得超过多少？

解 根据式（1-4）

则
$$B_n = \frac{0.0024}{100} \times \frac{28 \times 1000}{22.4/1000} = 30 \text{ mg/m}^3$$

故其质量浓度不得超过 30 mg/m³。

绝对瓦斯涌出量与相对瓦斯涌出量的关系见下式：

$$Q_{\text{CH}_4} = q_{\text{CH}_4} \cdot T \tag{1-5}$$

式中 q_{CH_4} ——相对瓦斯涌出量，m³/t；

T ——矿平均日产量，t/d。

回风流中的瓦斯浓度一般见下式：

$$C_{\text{CH}_4} = \frac{Q_{\text{CH}_4}}{60 \times 24Q} \tag{1-6}$$

式中 Q ——总回风量，m³/min。

【例 1-4】某矿平均日产量 $T = 3000 \text{ t/d}$ ，总回风量 $Q = 7600 \text{ m}^3/\text{min}$ 。相对瓦斯涌出量 $q_{\text{CH}_4} = 25 \text{ m}^3/\text{t}$ 。问该矿井总回风流中的瓦斯浓度为多少？此浓度是否符合安全要求？

解 根据式（1-5），则绝对瓦斯涌出量为

$$Q_{\text{CH}_4} = 25 \times 3000 = 75000 \text{ m}^3/\text{d}$$

根据式（1-6），该矿总回风流中的瓦斯浓度为

$$C_{\text{CH}_4} = \frac{75000}{7600 \times 60 \times 24} = 0.685\% < 0.75\%$$

《煤矿安全规程》规定：矿井总回风巷或一翼回风巷中瓦斯或二氧化碳浓度须 ≤ 0.75%；所以此浓度符合安全要求。

【例 1-5】某矿日产量 $T = 3000 \text{ t/d}$ ，总回风量 $Q = 7000 \text{ m}^3/\text{min}$ ，其中瓦斯浓度为

0.7%，问该矿的瓦斯等级是什么？

解 根据式 (1-6)，该矿绝对瓦斯涌出量 Q_{CH_4} 为

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{7000 \times 0.7 \times 60 \times 24}{100} = 70506 \text{ m}^3/\text{d}$$

根据式 (1-5)，该矿相对瓦斯涌出量为

$$q_{\text{CH}_4} = \frac{70506}{3000} = 23.52 \text{ m}^3/\text{t} > 10 \text{ m}^3/\text{t}$$

《煤矿安全规程》规定：矿井相对瓦斯涌出量大于 $10 \text{ m}^3/\text{t}$ ，属高瓦斯矿井。

第三节 矿井气候条件

矿井气候条件是指矿井空气的温度、湿度和风速的综合效应。

一、矿井空气温度及其变化规律

1. 温度

《煤矿安全规程》规定：生产矿井采掘工作面的空气温度不得超过 26°C ，机电设备硐室的空气温度不得超过 30°C ；当空气温度超过时，必须缩短超温地点工作人员的工作时间，并给予高温保健待遇。采掘工作面的空气温度超过 30°C 、机电设备硐室的空气温度超过 34°C ，必须停止作业。最适宜的矿井空气温度为 $15 \sim 20^\circ\text{C}$ 。影响矿井空气温度的因素很多，而且又很复杂，其中岩层温度是矿井的主要热源，约占 $50\% \sim 60\%$ 。如果知道某地区恒温带温度和地温率，就可以用下式预计深部水平的岩层温度：

$$T_z = t_{\text{恒}} + \frac{Z - Z_{\text{恒}}}{g_{\text{温}}} \quad (1-7)$$

式中 T_z ——深度为 Z 处的岩层温度， $^\circ\text{C}$ ；

$t_{\text{恒}}$ ——恒温带的岩层温度， $^\circ\text{C}$ ；

Z ——地下岩层温度为 t 处的深度，m；

$Z_{\text{恒}}$ ——恒温带深度，m；

$g_{\text{温}}$ ——地温率， $\text{m}/^\circ\text{C}$ 。

【例 1-6】已知某矿井地表年平均温度为 12°C ，恒温带深度为 35 m ，地温率为 $30 \text{ m}/^\circ\text{C}$ ，求深度为 500 m 的岩层温度。

解 根据式 (1-7) 得：

$$T_z = 12 + \frac{500 - 35}{30} = 12 + 15.5 = 27.5^\circ\text{C}$$

即深度为 500 m 处的岩层温度为 27.5°C 。

2. 变化规律

在一般情况下，井下气温大致有以下规律性，如图 1-2 所示。

(1) 在进风路线上（指自矿井进风口至采掘工作面进风口）。

冬季：冷空气进入井下，冷气温与地温进行热交换，风流吸热，地温散热，因地温随矿井深度的增加而增加，且风流下行受压缩（增温），故沿矿井进风路线上气温逐渐升高；夏季：与冬季相反，沿矿井进风路线上气温逐渐降低。即在进风路线上，气温随季节

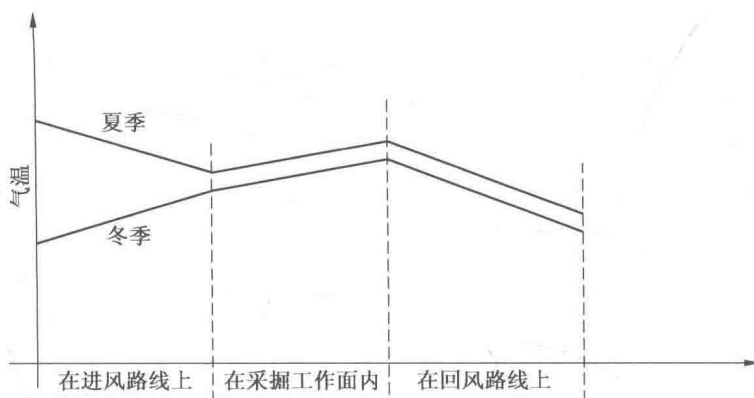


图 1-2 井下气温变化规律

而变化，和地表气温相比，有“冬暖夏凉”的现象。

(2) 在采掘工作面内（指从采掘工作面进风口到采掘工作面回风口）。

由于物质氧化程度较大，机电设备和人员较多，以及爆破工作的影响等，致使产生较多的热量，对风流起加热作用，故气温逐渐升高，且常年变化不大。

(3) 在回风路线上（指从采掘工作面回风口至井上）。

因地温逐渐变小、风流向上流动、体积膨胀、风流汇合、风速增加，故气温逐渐降低，且常年变化不大。

二、矿井空气的湿度

空气的湿度表示空气中所含水蒸气量的多少或潮湿程度，表示空气湿度的方法有绝对湿度和相对湿度两种。

1. 绝对湿度

每立方米空气中所含水蒸气的质量叫空气的绝对湿度。

在一定温度和压力下，单位体积空气所能容纳的水蒸气量是有限的，超过这一极限值，多余的水蒸气就会凝结出来。这种含有极限值水蒸气的湿空气叫饱和空气，其所含的水蒸气量叫饱和湿度，用 $F_{\text{饱}}$ 表示。绝对湿度显然反映了空气中实际所含水蒸气量的大小，但不能反映空气的干湿程度。

2. 相对湿度 φ

单位体积空气中实际所含有的水蒸气量 f 与其同温度下的饱和水蒸气含量 $F_{\text{饱}}$ 之比称为空气的相对湿度，可用下式表示：

$$\varphi = \frac{f}{F_{\text{饱}}} \times 100\% \quad (1-8)$$

φ 值的大小反映了空气接近饱和的程度，故也称之为饱和度。 φ 值小表示空气干燥，吸收水分的能力强；反之， φ 值大则空气潮湿，吸收水分能力弱。 $\varphi = 0$ 即为干空气， $\varphi = 1$ 即为饱和空气。一般认为相对湿度在 $\varphi = 50\% \sim 60\%$ 对人体最为适宜。

3. 矿内空气湿度的变化规律

(1) 矿井空气的湿度是随着地面空气湿度和井下滴水情况不同而变化的。

(2) 一般情况下，在矿井进风路线上有“冬干夏湿”的现象。这是因为：冬季，当含有一定量的水蒸气的冷空气进入矿井时，气温逐渐升高，容积逐渐增大，则其饱和能力逐渐增强，所以沿途要吸收巷道的水分。夏季，当含有一定量的水蒸气的热空气进入井下时，气温逐渐降低，容积逐渐减小，其饱和能力也逐渐降低，所以使一部分水蒸气量在沿途释放掉。因此，在矿井的进风路线上有“冬干夏湿”现象，这正好同矿井进风路线上的温度“冬暖夏凉”相适应。

(3) 在采掘工作面和矿井的回风路线上：因其气温常年不变，故其湿度也几乎常年不变，而且其相对湿度也接近 100%。

表 1-2 在标准大气压下不同温度时的饱和水蒸气量、饱和水蒸气压力（大气压为 0.1 MPa）

温度/ ℃	质量浓度/ (g · m ⁻³)	质量比/ (g · kg ⁻³)	水蒸气压力/ Pa	温度/ ℃	质量浓度/ (g · m ⁻³)	质量比/ (g · kg ⁻³)	水蒸气压力/ Pa
-20	1.1	0.8	128	14	12.0	9.8	1597
-15	1.6	1.1	193	15	12.8	10.5	1704
-10	2.3	1.7	288	16	13.6	11.2	1817
-3	3.4	2.6	422	17	14.4	11.9	1932
0	4.9	3.8	610	18	15.3	12.7	2065
1	5.2	4.1	655	19	16.2	13.5	2198
2	5.6	4.3	705	20	17.2	14.4	2331
3	6.0	4.7	757	21	18.2	15.3	2491
4	6.4	5.0	811	22	19.3	16.3	2638
5	6.8	5.4	870	23	20.4	17.3	2811
6	7.3	5.7	933	24	21.6	18.4	2984
7	7.7	6.1	998	25	22.9	19.5	3171
8	8.3	6.6	1068	26	24.2	20.7	3357
9	8.8	7.0	1143	27	25.6	22	3557
10	9.4	7.5	1227	28	27.0	23.4	3784
11	9.9	8.0	1311	29	28.5	24.8	4010
12	10.0	8.6	1402	30	30.1	26.3	4236
13	11.3	9.2	1496	31	31.8	27.3	4490

表 1-3 由风扇温度计读值查相对湿度

湿球示度/ ℃	干湿温度计示度差/℃															
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	
	相对湿度 φ/%															
0	100	91	83	75	67	61	54	48	42	37	31	27	22	18	14	

表1-3 (续)

湿球示度/ ℃	干湿温度计示度差/℃														
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
	相对湿度 φ /%														
1	100	91	83	76	69	62	56	50	44	39	34	30	25	21	17
2	100	92	84	77	70	64	58	52	47	42	37	33	28	24	21
3	100	92	85	78	72	65	60	54	49	44	39	35	31	27	23
4	100	93	86	79	73	67	61	56	51	46	42	37	33	30	26
5	100	93	86	80	74	68	63	57	53	48	44	40	36	32	29
6	100	93	87	81	75	69	64	59	54	50	46	42	38	34	31
7	100	93	87	81	76	70	65	60	56	52	48	44	40	37	33
8	100	94	88	82	76	71	66	62	57	53	49	46	42	39	35
9	100	94	88	82	77	72	68	63	59	55	51	47	44	40	37
10	100	94	88	83	78	73	69	64	60	56	52	49	45	42	39
11	100	94	89	84	79	74	69	65	61	57	54	50	47	44	41
12	100	94	89	84	79	75	70	66	62	59	55	52	48	45	42
13	100	95	90	85	80	76	71	67	63	60	56	53	50	47	44
14	100	95	90	85	81	76	72	68	64	61	57	54	51	48	45
15	100	95	90	85	81	77	73	69	65	62	59	55	52	50	47
16	100	95	90	86	82	78	74	70	66	63	60	57	54	51	48
17	100	95	91	86	82	78	74	71	67	64	61	58	55	52	49
18	100	95	91	87	83	79	75	71	68	65	62	59	56	53	50
19	100	95	91	87	83	79	76	72	69	65	62	59	57	54	51
20	100	96	91	87	83	80	76	73	69	66	63	60	58	55	52
21	100	96	92	88	84	80	77	73	70	67	64	61	58	56	53
22	100	96	92	88	84	81	77	74	71	68	65	62	59	57	54
23	100	96	92	88	84	81	78	74	71	68	65	63	60	58	55
24	100	96	92	88	85	81	78	75	72	69	66	63	61	58	56
25	100	96	92	89	85	82	78	75	72	69	67	64	62	59	57
26	100	96	92	89	85	82	79	76	73	70	67	65	62	60	57
27	100	96	93	89	86	82	79	76	73	71	68	65	63	60	58
28	100	96	93	89	86	83	80	77	74	71	68	66	63	61	59
29	100	96	93	89	86	83	80	77	74	72	69	66	64	62	60
30	100	96	93	90	86	83	80	77	75	72	69	67	65	62	60

表 1-3 (续)

湿球示度/ ℃	干湿温度计示度差/℃														
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
	相对湿度 $\varphi/\%$														
31	100	96	93	90	87	84	81	78	75	73	70	68	65	63	61
32	100	97	93	90	87	84	81	78	76	73	71	68	66	63	61

【例 1-7】某矿井通风量为 $5000\text{ m}^3/\text{min}$ ，进风风流温度为 $10\text{ }^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\varphi_1 = 75\%$ ，回风风流温度为 $20\text{ }^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\varphi_2 = 100\%$ ，问该矿井每日从井下由通风能排出多少水分？

解 (1) 先求进风风流 1 m^3 空气中的水蒸气量 $f_{\text{进}}$ 。

由表 1-2 查得 $10\text{ }^\circ\text{C}$ 时的饱和水蒸气量为 $F_{\text{饱进}} = 9.4\text{ g/m}^3$ ，根据式 (1-8) 有：

$$f_{\text{进}} = 0.75 \times 9.4 = 7.05\text{ g/m}^3$$

(2) 再求回风风流 1 m^3 空气中的水蒸气量 $f_{\text{回}}$ 。

由表 1-2 查得 $F_{\text{饱回}} = 17.2\text{ g/m}^3$ ，根据式 (1-8) 有：

$$f_{\text{回}} = 100\% \times 17.2 = 17.2\text{ g/m}^3$$

则进风与回风 1 m^3 空气中所含水分之差为 $17.2 - 7.05 = 10.15\text{ g/m}^3$

如此，每分钟可从井下排出水分为 $10.15 \times 5000 \times \frac{1}{1000} = 50\text{ kg/min}$

每日则为 $50 \times 60 \times 24 = 72000\text{ kg/d}$

由【例 1-7】知，从井下每天由于通风可携带出水分 72 t ，这些水分是由井下水变为水蒸气而排出的，同时可吸收大量热量，也调节了井下气候条件。但在夏季阴雨天也可能出现相反的结果，即由于通风反而能向井内携带水分。

【例 1-8】地面空气的温度为 $0\text{ }^\circ\text{C}$ ，相对湿度为 80% ，空气进入巷道后温度变为 $10\text{ }^\circ\text{C}$ ，问入风巷道的相对湿度为多少？

解 由表 1-2 可知， $0\text{ }^\circ\text{C}$ 时的饱和量为 4.9 g/m^3 ，所以地面空气的绝对湿度 f 为 3.92 g/m^3 ， $10\text{ }^\circ\text{C}$ 的饱和量为 9.4 g/m^3 。由式 (1-8) 可知入风巷道的相对湿度为

$$\varphi = \frac{3.92}{9.4} \times 100\% = 41.7\%$$

由【例 1-8】知，入风巷道的相对湿度仅为 41.7% ，所以蒸发力很强，井越深温度越高，蒸发力越强。因此，入风巷道必然干燥。这样把井下水变为水蒸气而随风流排出井外，同时能吸收大量的热而降温。所以，矿井通风是最好、最经济的调节井下气候条件的方法。因此，可以利用多进风小井通风方式来调节改善矿井气候条件。

【例 1-9】已知大气压为 101325 Pa ，甲地点气温为 $20\text{ }^\circ\text{C}$ ，绝对湿度为 0.0108 kg/m^3 ；乙地点气温为 $28\text{ }^\circ\text{C}$ ，绝对湿度为 0.0143 kg/m^3 ，试求：(1) 甲地点的相对湿度；(2) 乙地点的相对湿度；(3) 指出何处吸湿能力较强（即甲、乙两地 φ 值的大小）。

解 (1) 甲地。由表 1-2 可知， $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时的饱和湿度为 17.2 g/m^3 ，故甲地点的相对湿度为

$$\varphi_{\text{甲}} = \frac{0.0108 \times 1000}{17.2} \times 100\% = 62.8\%$$

(2) 乙地。28℃时的饱和湿度为 27.0 g/m³，故乙地点的相对湿度为

$$\varphi_{\text{乙}} = \frac{0.0143 \times 1000}{27.0} \times 100\% = 53.0\%$$

(3) 比较。虽然乙地点的绝对湿度大于甲地点，但由于 $\varphi_{\text{甲}} > \varphi_{\text{乙}}$ ，而乙地点的相对湿度较小，故乙地点的吸湿能力较强。

若随温度的降低，其相对湿度也将增大，如继续使空气温度降低，使 φ 达到 100% 时，此时所对应的温度称为露点（或称为露点温度），如继续使空气冷却，则会有部分水蒸气以雾或露的形式凝结成水，即会有水分析出。由此可见：当温度升高时， $F_{\text{饱}}$ 值升高， φ 值降低；当温度降低时， $F_{\text{饱}}$ 值降低， φ 值升高。

风流一昼夜从矿井带走水分一般按下式计算：

$$G = \frac{(f_{\text{回}} - f_{\text{进}}) \cdot Q \times 60 \times 24}{1000} \quad (1-9)$$

式中 G ——风流一昼夜带走水分，kg；

$f_{\text{回}}、f_{\text{进}}$ ——回风、进风绝对湿度，g/m³。

【例 1-10】某矿总进风风流的干温度为 10℃，湿温度为 7℃，总回风风流的干温度为 20℃，湿温度为 19℃，矿井的总风量为 2500 m³/min（若忽略风流体积变化的影响，即认为总回风风量等于总进风量），求风流一昼夜内从矿井带走的水分是多少？

解 (1) 进风时。

$\Delta t = 10 - 7 = 3^\circ\text{C}$ ，查表 1-3 知： $\varphi_{\text{进}} = 64\%$ ；查表 1-2 知： $F_{\text{饱进}} = 9.4 \text{ g/m}^3$ ，根据式 (1-8) 得：

$$f_{\text{进}} = 64\% \times 9.4 = 6.016 \text{ g/m}^3$$

(2) 回风时。

$\Delta t = 20 - 19 = 1^\circ\text{C}$ ，查表 1-3 知： $\varphi_{\text{回}} = 91\%$ ；查表 1-2 知： $F_{\text{饱回}} = 17.2 \text{ g/m}^3$ ，则根据式 (1-8) 得：

$$f_{\text{回}} = 91\% \times 17.2 = 15.652 \text{ g/m}^3$$

综上，根据式 (1-9) 得：

$$G = \frac{(15.652 - 6.016) \times 2500 \times 60 \times 24}{1000} = 34689.6 \text{ kg} \approx 34.7 \text{ t}$$

由【例 1-7】~【例 1-10】可以得出结论：(1) 井下空气湿度变化规律是夏季潮湿、冬季干燥的道理；(2) 通风对井下空气气候调节（这里仅为湿度）的重要作用。

三、井巷中的风速

在矿井井巷中，风流在单位时间内所流经的距离，称之为井巷中的风速，简称风速。井巷中的风速大小直接影响人体的散热效果，同时也影响着矿井安全生产。井巷中的风速应符合表 1-4 要求。

设有梯子间的井筒或修理中的井筒，风速不得超过 8 m/s；梯子间四周经封闭后，井筒中的最高允许风速可按表 1-4 规定执行。

无瓦斯涌出的架线电机车巷道中的最低风速可低于表 1-4 的规定值，但不得低于

0.5 m/s。

综合机械化采煤工作面，在采取煤层注水和采煤机喷雾降尘等措施后，其最大风速可高于表 1-4 的规定值，但不得超过 5 m/s。

表 1-4 井巷中的允许风流速度

井 巷 名 称	允许风速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	
	最 低	最 高
无提升设备的风井和风硐		15
专为升降物料的井筒		12
风 桥		10
升降人员和物料的井筒		8
主要进、回风巷		8
架线电动车巷道		8
运输机巷，采区进、回风巷	0.25	6
采煤工作面、掘进中的煤巷和半煤岩巷	0.25	4
掘进中的岩巷	0.15	4
其他通风、行人巷道	0.15	

四、衡量矿井气候条件的指标

国内外衡量矿井气候条件的指标很多。如干球温度是我国现行的评价矿井气候条件的指标之一。一般来说，由于矿井空气的相对湿度变化不大，所以干球温度能在一定程度上直接反映出矿井气候条件的好坏。而且这个指标比较简单，使用方便。但这个指标只反映了气温对矿井气候条件的影响，而没有反映出气候条件对人体热平衡的综合作用，因而存在较大的局限性。

欧美常用等效温度（也称同感温度）指标。等效温度是 1923 年由美国采暖工程师协会提出的。这个指标是通过实验，凭受试者对环境的感觉而得出的。实验时，他们先将 3 个受试者置于一个温度为 t 、相对湿度为 φ 、风速为 v 的已知环境里，并记下他们的感受；然后把他们请到另一个温度（用 t_1 表示）可调、相对湿度为 100%、风速为 0 的环境里，通过调节温度使他们的感受与第一个环境相同，那么则称 t_1 为第一个环境的同感温度。这个指标可以反映出温度、湿度和风速这 3 者对人体热平衡的综合作用。显然，同感温度越高，人体舒适感就越差。

井下某一地点等效温度的测算方法是：用干湿球温度计（如风扇湿度计）测出空气的干球温度和湿球温度，再用风表测出该地点风流的风速，然后如图 1-3 所示的等效温度计算图上查得相应的等效温度值。

【例 1-11】测得井下某一工作面风流的干球温度为 17℃，湿球温度为 16℃，风速为 0.8 m/s，求其等效温度。

解 在图 1-3 的左、右标尺上分别找到 17℃ 和 16℃ 两点 m 、 n ，并连成虚线，此虚