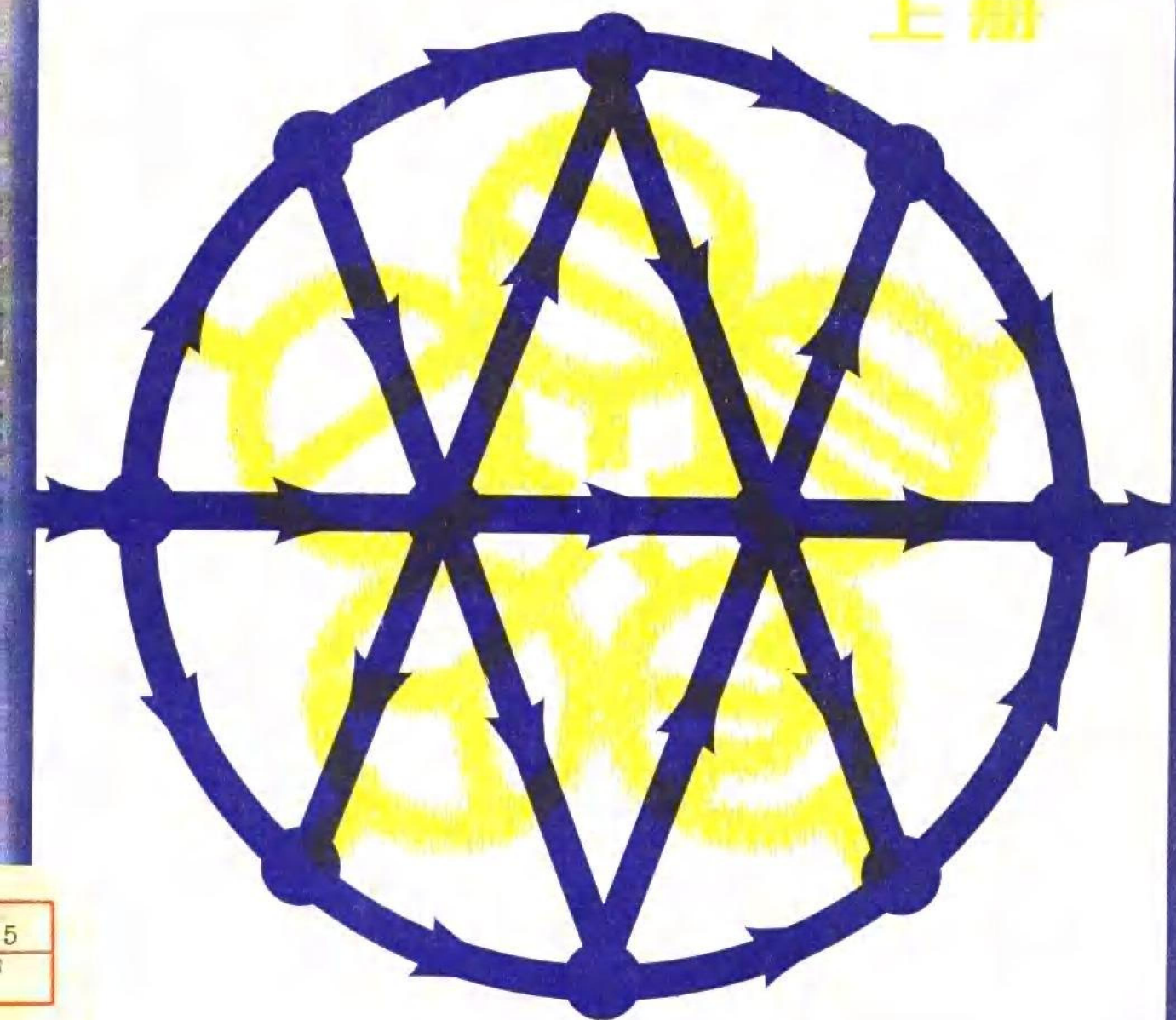


戴 国 权 著

矿井通风网路 计算原理及其应用

上册



煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书着重研究了复杂通风网路中如何确定分支中风流方向,讨论了复杂通风网路的解算方法,探讨了通风网路网量的知求准则,以及把这些成果应用到矿井通风网路的实际工作中去。

本书可供采矿现场、科研等单位的矿井通风技术人员和矿业院校的通风安全专业的教师学习和参考。

戴 国 权 著

矿井通风网路计算原理及其应用

上 册

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16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 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 14

字数 327 千字 印数1—7,500

1979年11月第1版 1979年11月第1次印刷

书号15035·2261 定价2.00元

代 序

有机会阅读戴国权同志这本新著，深感这是一本好书。

这本书重点讨论了如何预先判别复杂通风网路中对角风路的风流方向。这是一个关系矿井通风稳定性的实际问题，也是一个以往没有解决的理论问题。对于这个问题，曾经有过两种处理方法。一种是把只适用于简单角联通风网路的判别式套用在复杂的通风网路上，这是一种错误的方法，它掩盖了这个问题的复杂性；另一种是预先假定，然后经过试算来判别。使用这种方法，往往工作量较大，这是一种了解这个问题复杂，不得已而采用的笨办法。

事实上，这个问题是比较复杂的。分析研究这个问题时，需要深入的逻辑推理，正确的数学分析和浩繁的数值验算。戴国权同志近年来以很大的毅力，对此进行了深入研究，终于提出了“井巷风阻比的复合判别法”和“线性方程的复合判别法”。为解算这个问题提供了比较系统的内容，同时也纠正了以往一些错误概念。因此，这本书在学科理论上和生产管理上都具有较大的意义。我读了此书，收益较大。

黄元平

一九七九年三月五日

作 者 的 话

本书是在矿井通风学者研究的基础上，着重研究了在复杂通风网路中如何确定分支中风流方向，讨论了复杂通风网路的计算方法，试图研究通风网路网量的知求准则，以及将这些成果应用到矿井通风网路计算的实际工作中去。

矿井通风网路计算的问题是随着采矿工业发展的需要而产生的。这个问题的解决也必然有其发展的过程，今后还需要向更高级方面发展。譬如，在任何复杂通风网路中，还不能解决个别分支中无风流的一次判别法，还需要大家共同努力，研究解决。

书中存在的缺点和错误，殷切地期待广大读者指正。

本书承蒙中国矿业学院黄元平同志审阅，并提出了许多宝贵意见，谨此致谢！

戴国权

一九七七年元月

主要符号表

g	重力加速度
h_i	井巷或分支负压
h_s	矿井负压
h_T	矿井全负压或网路负压
h_{v-a}	回风井出风口局部压损
H_s	扇风机装置静压
H_T	扇风机装置全压
$\Delta h^{(0)}$ (或 Δh)	网、孔负压闭合差的始算值
$\Delta h^{(1)}, \Delta h^{(2)}, \dots, \Delta h^{(n)}$	相应为第 1、2、 $\dots$ n 次计算的网、孔负压闭合差
$\Delta h_m, \Delta h_A, \Delta h_B, \dots, \Delta h_j$	网、孔负压闭合差
i	分支数
j	网孔数
K	动能系数
n	节点数
P_s	绝对静压
q_i	风量或分支风量
$q_i^{(0)}$ (或 q_i)	风量始算值
$q_i^{(1)}, q_i^{(2)}, q_i^{(n)}$	相应为第 1、2 $\dots$ n 次计算的风量渐近值
Δq_i	网路计算中分支风量的修正值
Q	风量或网路风量
R	网路或矿井风阻
R_i	分支风阻
R_T	矿井总风阻
V	风速
V_a	井巷断面中平均风速
γ	空气比重
Π	算术和
Σ	代数和

目 录

代 序

作 者 的 话

主要符号表

第一章 通风网路解算的基础知识	1
第 一 节 矿井空气流动的基本定律	1
第 二 节 矿井扇风机 H-Q特性曲线的近似方程	2
第 三 节 用增广矩阵法解多元线性方程组	3
第 四 节 矿井通风网路的特性方程	5
第 五 节 井巷的联接方式	6
第 六 节 网路的通风参数的计算	8
第 七 节 通风网路计算的两条基本定律	10
第二章 通风网路的解算步骤	12
第 八 节 建立通风网路解算原图	12
第 九 节 简化为通风网路解算图	13
第三章 如何确定通风网路的分支中风流的方向	14
第 十 节 井巷风阻比法	16
第十一节 井巷风阻比的复合判别法	58
第十二节 消除角联分支法	74
第十三节 角联分支零风量法	121
第十四节 线性方程的复合判别法	128
第十五节 结论	197
第十六节 对国外文献中关于“在通风网路中如何确定角联分支中风流方向”的评述	198
附 录 I	212
参考文献	215

第一章 通风网路解算的基础知识

解算通风网路需要的有关基础知识,本章将扼要地叙述这些内容。

第一节 矿井空气流动的基本定律

在水力学和空气动力学中伯诺利方程是流体(液体和气体)流动的基本定律。在矿井通风中该方程也同样是矿井空气流动的基本定律。

在静止的空气中(状态不变),不显示空气内部的粘性。当空气流动时,必须考虑到空气的粘性作用,因而就有必要应用矿井空气总流的伯诺利方程〔6〕^①。

矿井空气虽然是可压缩的,但由于目前矿井开采深度有限,空气比重的变化较小,因而比容的变化也较小。所以在实际上不致于引起较大误差的前题下,解算矿井通风网路时,可以认为矿井空气是不可压缩的。我们只要应用下列的矿井空气总流的伯诺利方程,即可满足实际应用的要求。

$$Z_1\gamma_1 + P_{S-1} + K_1 \frac{V_{a-1}^2}{2g} \times \gamma_1 = Z_2\gamma_2 + P_{S-2} + K_2 \frac{V_{a-2}^2}{2g} \times \gamma_2 + h_{1-2} \quad (1)$$

上式是矿井空气(总流)的伯诺利方程。

式中 $Z_1\gamma_1$ 和 $Z_2\gamma_2$ ——在井巷断面 I-I 和 II-II 上的位压;

P_{S-1} 和 P_{S-2} ——在井巷断面 I-I 和 II-II 上的绝对静压;

$K_1 \frac{V_{a-1}^2}{2g} \times \gamma_1$ 和 $K_2 \frac{V_{a-2}^2}{2g} \times \gamma_2$ ——在井巷断面 I-I 和 II-II 上的动压;

$\left(Z_1\gamma_1 + P_{S-1} + K_1 \frac{V_{a-1}^2}{2g} \times \gamma_1 \right)$ 和 $\left(Z_2\gamma_2 + P_{S-2} + K_2 \frac{V_{a-2}^2}{2g} \times \gamma_2 \right)$ ——在井巷断面

I-I 和 II-II 上的比较全压。

h_{1-2} ——在井巷断面 I-I 和 II-II 上的比较全压差。

空气在矿井巷道中流动时,空气单位重量的机械总能量或比较全压值沿流程逐渐减少, h_{1-2} 为总流沿流程上克服二个井巷断面之间的内外摩擦所损失的空气压力。按照伯诺利方程的能量意义, h_{1-2} 是二个井巷断面之间的单位空气重量的机械总能量之差;按照伯诺利方程的力学意义, h_{1-2} 是二个井巷断面之间的比较全压之差,在矿井通风学中经常称此为“负压”。在此条件下“负压”名词是不确切的。实际上“负压”应是压损或压降。但由于“负压”名词在矿井通风学的传统习惯上沿用已久,所以不宜改变。

在机械通风的矿井中,由于扇风机在其前后造成空气压差,使空气在矿井通风网路中流动,流动时克服其风阻所消耗的空气压力称为矿井通风网路的负压。扇风机所造成的空气压差是使空气流动时单位重量空气的机械能量的给予量,矿井通风网路的负压是空气流

①〔6〕指参考本书后面的第6个参考文献,以后均同。

动时单位重量空气的机械能量的消耗量。

因此，文中以后提到的网路、网孔或分支的负压是相应地指网路、网孔或分支的压损或压降。

第二节 矿井扇风机 H-Q 特性曲线的近似方程

矿井通风源主要有两种：扇风机和自然通风。我国《煤矿安全生产试行规程》第 135 条中规定：“所有矿井都要采用机械通风。”因此，每个矿井必须采用扇风机作为主要的通风源，以便矿井能够有效、可靠、经济地进行通风。

在机械通风的矿井中，必须熟悉和掌握扇风机工作制度，才能解算通风网路。扇风机工作特性主要是用以风压-风量、功率-风量和效率-风量等关系来表达。但在通风网路的解算过程中，扇风机工作特性只涉及到在一定型号、一定风叶角度和一定转速下的风压-风量的关系特性。扇风机的风压-风量关系特性大致可分为三种主要形式：即 H-Q 坐标制的特性曲线、 $\bar{H}-\bar{Q}$ 无因次特性曲线和统一特性曲线。为便于解算通风网路起见，本书仅对前一种特性曲线作简要的介绍〔1、2、3、4、5、7〕。

矿井扇风机按其构造主要分为轴流式、离心式和涡轮轴流式三种。前二种是我国最常用的扇风机，故本书仅讨论前二种扇风机的 H-Q 特性曲线。

有了矿井通风网路的 R 特性曲线和扇风机的 H-Q 特性曲线，就能用图解法求出该扇风机对此网路供给的实际风量和该扇风机所产生的风压，也即可确定该扇风机的工作制度和该网路的通风制度。然而采用解析法解算通风网路时，就必须具有扇风机 H-Q 特性曲线的近似方程和通风网路的 R 特性方程。后者易于求得，问题在于前者。六十年代以来，极力寻求出一种比较简单的、误差在允许范围内的近似方程来描述扇风机 H-Q 特性曲线。这对于扇风机参与作用下的矿井通风网路的解算提供了莫大的便利，并且开拓出一条用解析法来解算矿井通风网路的途径〔7、8、9、10〕。

到目前为止，描述扇风机 H-Q 特性曲线的近似方程（以下简称扇风机 H-Q 特性近似方程） $H = f(Q)$ ，大致可分为以下三种主要形式，其中以第一种较为准确。

$$H = f(Q) \begin{cases} H = AQ^2 + BQ + C \\ H = AQ^2 + C \\ H = BQ + C \end{cases}$$

对于具体型号的矿井扇风机 H-Q 特性近似方程请参见附录 I〔7、8〕。

如果在附录 I 中未列入的扇风机，可用下列的简易法，从扇风机 H-Q 特性曲线中求得其近似方程，现以例 1 来说明其求法。

〔例 1〕如图 1 所示，已知 K₄-73-01 型 *38 矿用离心式扇风机的 9 点 H-Q 值 ($n = 500 \text{ r/m}$)：1 ($H = 406 \text{ mmH}_2\text{O}$, $Q = 527.6 \text{ M}^3/\text{s}$)，2 (428, 500)，3 (455, 472.2)，4 (483, 444.4)，5 (507, 416.7)，6 (526, 388.9)，7 (542, 361.1)，8 (552, 333.3)，9 (555, 305.6)。求其 H-Q 特性近似方程。

解：从扇风机 H-Q 特性曲线的使用规范段上取上、中、下的 3 点 H-Q 值，即

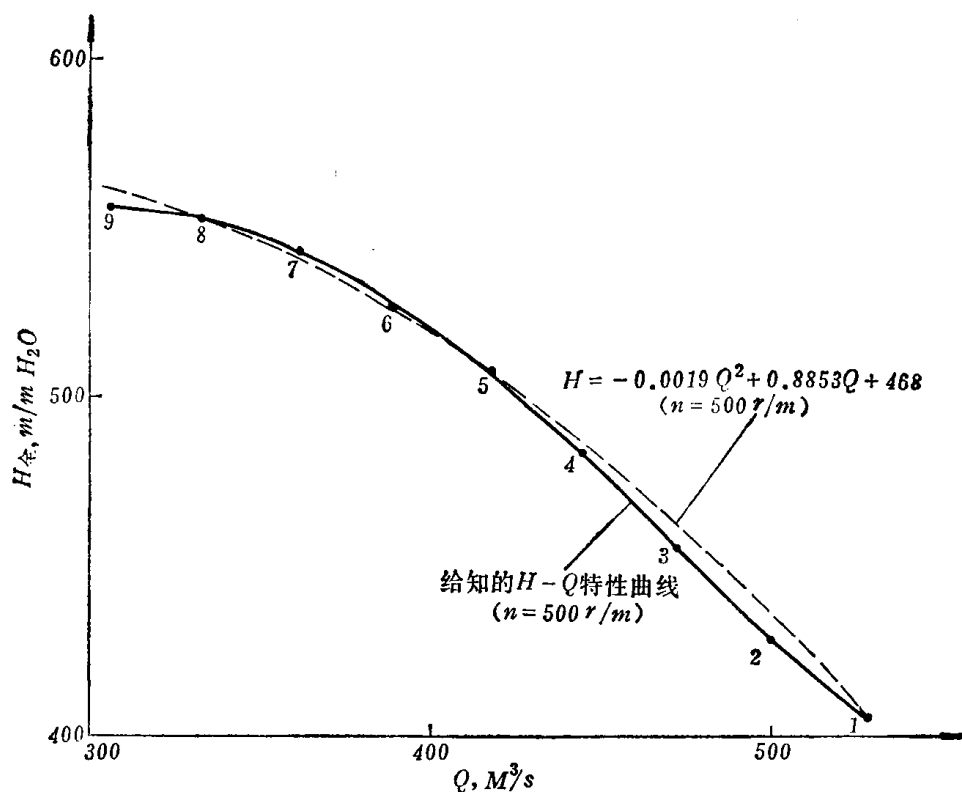


图 1 K₄-73-01 型#39 矿井离心式扇风机 H-Q 特性近似方程
1、2……9—给知的 H-Q 值；曲线一求得的近似方程

$$\begin{cases} \text{点 1: } H = 406, Q = 527.8 \\ \text{点 5: } H = 507, Q = 416.7 \\ \text{点 8: } H = 552, Q = 333.3 \end{cases}$$

由此三点的 H-Q 值相应地代入式 $H = AQ^2 + BQ + C$, 得:

$$\begin{cases} 406 = 527.8^2 A + 527.8B + C \\ 507 = 416.7^2 A + 416.7B + C \\ 552 = 333.3^2 A + 333.3B + C \end{cases}$$

整理后, 得:

$$\begin{cases} 278572.84A + 527.8B + C = 406 \\ 173638.89A + 416.7B + C = 507 \\ 111088.89A + 333.3B + C = 552 \end{cases}$$

解上述方程组, 得 $A = -0.0019, B = 0.8853, C = 468$,
则所求的该扇风机 H-Q 特性近似方程为

$$H = -0.0019Q^2 + 0.8853Q + 468, \text{ mm H}_2\text{O}$$

根据这个近似方程便可绘出如图 1 所示的近似特性曲线。

第三节 用增广矩阵法解多元线性方程组

在矿井通风网路的解算中, 尤其在多网孔的网路中有时需解多元一次方程组。一般所

用的方程组顺序消元法或行列式法均觉得演算繁复。如果应用增广矩阵法则比较简便，同时结合使用台式或袖珍电子计算器，就更为方便。现举例来说明增广矩阵法的计算过程。

〔例 2〕 设线性方程组为

$$\begin{cases} 0.78q_1 - 0.02q_2 - 0.12q_3 - 0.14q_4 = -0.18 \\ -0.02q_1 + 0.86q_2 - 0.04q_3 + 0.06q_4 = 1.82 \\ -0.12q_1 - 0.04q_2 + 0.72q_3 - 0.08q_4 = 1.64 \\ -0.14q_1 + 0.06q_2 - 0.08q_3 + 0.74q_4 = 2.7 \end{cases}$$

解：用增广矩阵法的计算过程见表 1，其计算过程是一目了然的，无需叙述。

表 1 用增广矩阵法的计算过程

顺 序	组 数				常 数	求 解 q_i 值
	q_1	q_2	q_3	q_4		
(1)	0.78	-0.02	-0.12	-0.14	-0.18	
(2)	-0.02	0.86	-0.04	0.06	1.82	
(3)	-0.12	-0.04	0.72	-0.08	1.64	
(4)	-0.14	0.06	-0.08	0.74	2.7	
(5) = (1) $\times \frac{1}{0.78}$	1	-0.026	-0.154	-0.179	-0.231	$q_1 = -0.231 + 0.026 \times 2 + 0.154 \times 3 + 0.179 \times 4 = 0.999 \cong 1.00$
(6) = (2) $\times \frac{1}{0.02}$	-1	43	-2	3	91	
(7) = (3) $\times \frac{1}{0.12}$	-1	-0.333	6	-0.667	13.667	
(8) = (4) $\times \frac{1}{0.14}$	-1	0.429	-0.571	5.286	19.286	
(9) = (5) + (6)	0	42.974	-2.154	2.821	90.769	
(10) = (5) + (7)	0	-0.359	5.846	-0.846	13.436	
(11) = (5) + (8)	0	0.403	-0.725	5.107	19.055	
(12) = (9) $\times \frac{1}{42.974}$	0	1	-0.050	0.066	2.112	$q_2 = 2.112 + 0.05 \times 3 - 0.066 \times 4 = 1.998 \cong 2.00$
(13) = (10) $\times \frac{1}{-0.359}$	0	-1	16.284	-2.357	37.426	
(14) = (11) $\times \frac{1}{0.403}$	0	1	1.799	12.672	47.283	
(15) = (12) + (13)	0	0	16.234	-2.291	39.538	
(16) = (13) + (14)	0	0	14.485	10.315	84.709	
(17) = (15) $\times \frac{1}{16.234}$	0	0	1	-0.141	2.436	$q_3 = 2.436 + 0.141 \times 4 = 3$
(18) = (16) $\times \frac{1}{14.485}$	0	0	1	0.712	5.848	
(19) = (17) - (18)	0	0	0	-0.853	-3.412	$q_4 = \frac{-3.412}{-0.853} = 4$

由表 1 第(19)先算出 q_4 ； q_4 值代入(17)或(18)算出 q_3 ； q_3 值代入(12)、(13)或(14)行，算出 q_2 ；最后 q_2 值代入(5)、(6)、(7)或(8)算出 q_1 。

应指出，增广矩阵是一张计算表，而行列式代表一个数，二者是不同的。

第四节 矿井通风网路的特性方程

在矿井空气动力状态的研究中指出, 矿井通风网路的特性是表示通过矿井网路的风量 Q (M^3/s) 与空气在其中流动时所损失的空气压力或负压 h ($mm\ H_2O$) 之间的关系, 此关系在不考虑矿井自然通风压力的情况下, 可用下式表示〔1〕:

$$h = AQ^2 + BQ \quad (2)$$

式中 A 和 B 在一个较短的时间内都接近于常数, 这些常数是随着矿井开采的时间与空间的变化而不同的。

矿井中大部分风流的流动状态是紊流式的, 服从于平方定律 $h = RQ^2$; 但有小部分风流在采空区和充填区等处流动时, 有可能服从于层流式定律 $h = RQ$ 或中间式定律。在式 (2) 中 A 与 B 值可用实验法测定, 即在调整二种不同的风量时, 测定其相应的 h 和 Q 值, 然后利用这二个相应的方程 $h = AQ^2 + BQ$, 以联立方程组计算 A 与 B 值。

为了便于计算起见, 矿井通风网路的特性也可以用下式表示:

$$h = RQ^x \quad (3)$$

式中 R ——风阻, $k\mu$;

x ——风量指数, 在 1~2 之间。

如果采空区或充填区内漏风量极小, 空气在个别区域内虽有层流运动, 但由于层流运动时 Q 值极小, 故式 (2) 中的 BQ 值在整个矿井通风网路的特性公式中也是个比较小的数值。因此, 式 (2) 或式 (3) 可改为

$$h = RQ^2, \text{ 或 } R = \frac{h}{Q^2} \quad (4)$$

上式是矿井通风网路的特性方程, 也就是在矿井通风网路的解算中经常应用这个关系式, 这个关系式也同样适用于通风网孔以及通风井巷 (分支)。

我们求得了矿井通风网路的特性方程, 在该方程中 h 究指何种空气压力, 又在通风源的扇风机 $H-Q$ 特性近似方程中以及自然通风压差中 H 同样地要明确何种空气压力。有一条基本原则, 就是 H 和 h 必须是相对应的数值, 才能分析与解算扇风机工作制度和矿井通风制度〔6〕。

矿井压入式通风时: 矿井通风网路总风阻或矿井总风阻 R_T 指自扇风机扩散器出风口口径井巷到地面的全部风阻 (包括回风井出风口局部风阻)。空气流动时克服 R_T 所消耗的空气压力为矿井通风网路或矿井全负压 h_T , 其中包括回风井出风口的局部损失 h_{V-a} ; 矿井风阻 R_S 指自扇风机扩散器出风口口径井巷到回风井出风口的风阻, 并不包括其出风口的局部风阻, 相应的矿井负压 $h_S = h_T - h_{V-a} = R_T \times Q^2 - h_{V-a}$ 。

矿井抽出式通风时: 矿井总风阻 R_T 指自地面经井巷到扇风机集风口的风阻以及扇风机扩散器出风口突然扩大的局部风阻。空气流动时克服 R_T 所消耗的空气压力为矿井全负压 h_T , 其中包括进风井进风口的局部损失; 矿井风阻 R_S 指自地面经井巷到扇风机集风口的风阻, 其相应的为矿井负压 h_S 。

矿井主扇在井下通风时: 矿井总风阻 R_T 指自地面经进风井与井巷到扇风机集风口以及自扇风机扩散器出风口经井巷与回风井到地面的全部风阻, 其中包括进回风井的进回风

口的局部风阻。空气流动时克服 R_T 所消耗的空气压力为矿井全负压 h_T ，其中包括进回风井的进回风口的局部损失；矿井风阻 R_S 指矿井总风阻减去回风井出风口的局部风阻，其相应的为矿井负压 $h_S = h_T - h_{V-a}$ ，其中不包括回风井出风口的局部损失 h_{V-a} 。

又根据标准法试验扇风机时，扇风机装置全压 H_T 相应于矿井全负压 h_T ，扇风机装置静压 H_S 相应于矿井负压 h_S 。

为了在矿井通风网路的计算中，便于正确地应用这三个方面的相应值的性质，建议如下：

(一) 自然通风矿井

自然通风压差用 $\pm H_e$
矿井通风网路特性方程用 h_T

(二) 机械通风矿井

自然通风压差用 $\pm H_e$
扇风机 H-Q 特性近似方程用 H_T
矿井通风网路特性方程用 h_T

为了便于掌握符号，本文中以后提及扇风机 H-Q 特性近似方程中用以 H 代替 H_T ，矿井通风网路特性方程中用以 h 代替 h_T 。

第五节 井巷的联接方式

每个矿井都是根据矿山地质条件和采矿技术条件进行开采的。因此，矿井的开拓方式、井田准备、采区布置以及安全设施等必然不尽相同，随之而来的巷道布置也不尽相同，所以每个矿井具有各不相同的井巷来联接，形成如网路。然而每条使用的井巷又必须通风，所以整个矿井在通风意义上说，可称为矿井通风网路。虽然矿井通风网路的井巷联接方式多种多样。根据其联接的结构基本上可分为 4 种方式，即串联、并联、角联和复杂联接[5、8、11]，现分述于后。

一、串联

在通风网路中有两条或两条以上的井巷，一个接一个地联接，空气流经这些井巷时，并无任何通风的分支井巷再加以联接，这种联接的方式称为井巷的串联，或简称为串联，这些井巷称为串联的井巷。串联网路如图 2 所示。



图 2 井巷的串联

二、并联

在通风网路中有两条或两条以上的井巷，在某一点上分叉（分风节点），随后又在另一点上重新汇合（合风节点），在这两个节点之间并无任何的通风分支井巷再加以联接，此种联接的方式称为井巷的并联或简称为并联如图 3 所示。这些井巷称为并联的井巷。

并联有闭合式和敞开式之分，闭合式并联如同上述并联的定义。敞开式并联从图形上看，是与闭合式的稍有差异，因各并联井巷的风流虽不在某一点上重新汇合，而其终点均在大气之中。从通风的本质上来说，各风流又在大气中重新汇合，这是符合上述的并联的定义。

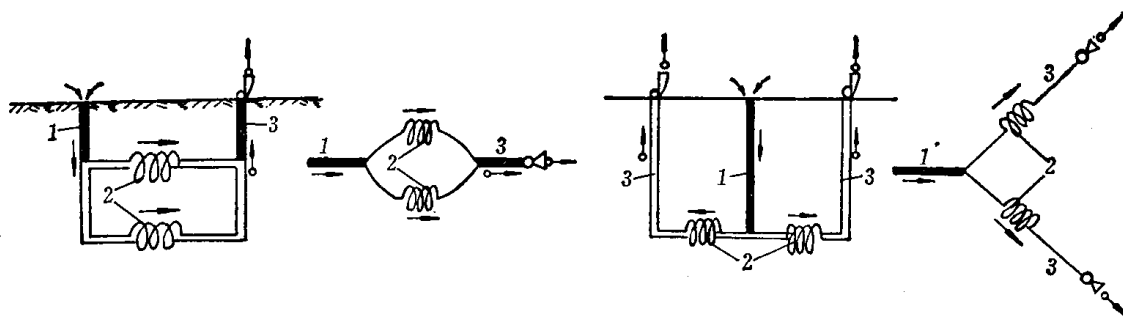


图 3 井巷的并联

1—进风井；2—工作地点；3—回风井

三、角联

在通风网路中两条并联井巷之间，除了在始点（分风节点）和终点（合风节点）的联接以外，另有一条或若干条的通风的分支井巷再加以联接，此种联接方式称为井巷的角联，简称为角联。网路中间的联接井巷称为角联巷。如果角联网路中仅有一条角联巷，可称为单角联或简单角联；如果其中有两两条或两条以上的角联巷，可称为多角联或复杂角联，如图 4 所示。

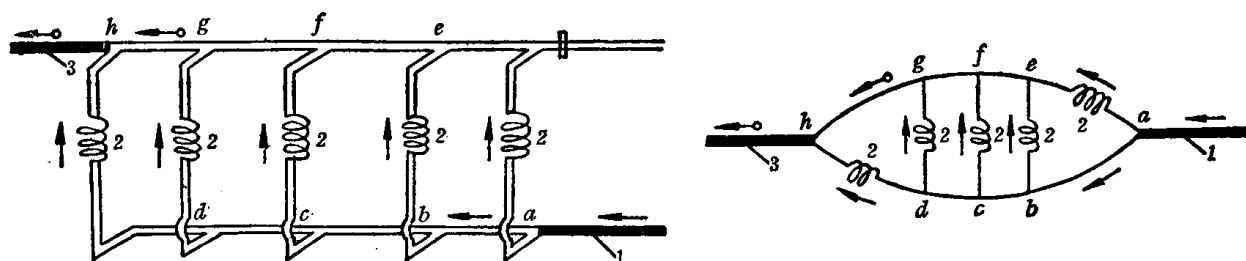


图 4 井巷的角联(三角联)

1—进风巷；2—工作地点；3—回风巷

四、复杂联接

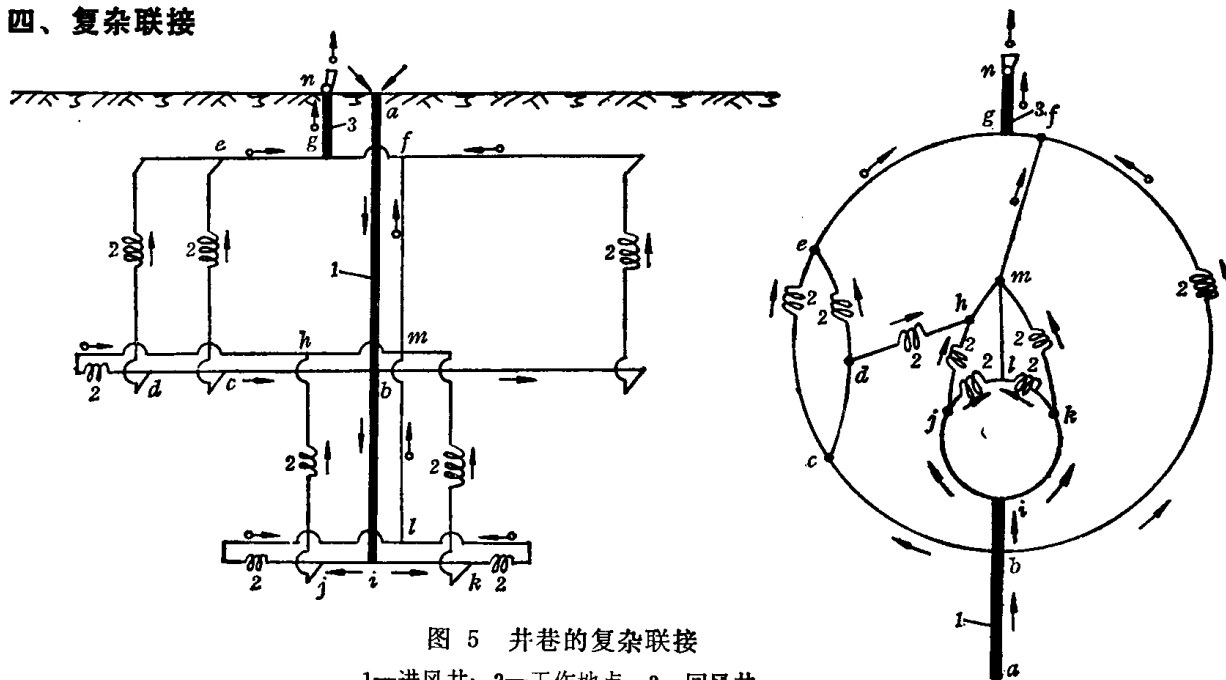


图 5 井巷的复杂联接

1—进风井；2—工作地点；3—回风井

矿井通风网络的井巷联接方式一般地说,不仅有串联、并联、角联或其混合方式,而且还有更复杂的井巷联接方式。这些复杂的井巷联接方式不仅在平面上能够表现出来,而且有时还须在立体上才能表现出来。这样的井巷联接方式均称为井巷的复杂联接,可简称复杂联接,如图5所示。

关于一切通风网络不管复杂联接到何等程度,都是由串联的和并联的井巷作为该网络的轮廓,并以中间巷或角联巷来联接,这样就构成任何复杂的通风网络。因此,串联和并联是通风网络的基本的联接方式。

第六节 网络的通风参数的计算

网络的通风参数一般是指该网络的风阻 R 、风量 Q 和负压 h 而言。本节仅讨论串联、并联网络的通风参数的计算〔8〕。

一、串联网络

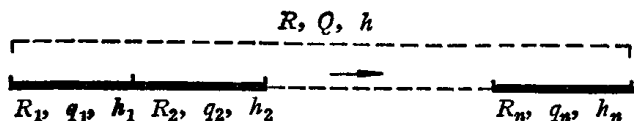


图6 串联网络的通风参数图

串联网络如图6所示。

网络风阻 众知,串联网络的风阻 R 等于该网络所组成的各条井巷的风阻 R_i 之算术和,可用下式表示:

$$R = \prod_{i=1}^{i=n} R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \text{ k}\mu \quad (5)$$

网络风量 在串联网络中,根据流体连续定律,流经该网络所组成的每一条井巷的风量 q_i 都是彼此相等的,而且等于该网络的风量,即

$$Q = q_1 = q_2 \dots = q_n, \text{ M}^3/\text{s} \quad (6)$$

网络负压 式(5)的左右部分的各项均乘以 Q^2 值,得

$$RQ^2 = R_1Q^2 + R_2Q^2 + \dots + R_nQ^2,$$

由于式(6),显然

$$h = \prod_{i=1}^{i=n} h_i = h_1 + h_2 + \dots + h_n, \text{ mm H}_2\text{O} \quad (7)$$

式(7)说明,在串联网络中空气流动时,网络负压 h 等于该网络所组成的每一条井巷的 h_i 之算术和。

二、并联网络

闭合式和敞开式并联网络的通风参数的计算分述于下。

1. 闭合式并联网络如图7所示。

在闭合式并联网络中,不论流经网络的风量 Q 多少,也不论并联井巷的风阻 R_i 多大,则各并联井巷的负压值 h_i 必定互等,并且等于该网络的负压值 h 。众知,从矿井通风压力的实测中也证实了这一性质,则

$$h = h_1 = h_2 = \dots = h_n, \text{ mmH}_2\text{O} \quad (8)$$

又由于空气在并联网络中流动时,各条并联井巷的风流在分风节点分风,则其网络风量 Q 应等于各条并联井巷的风量 q_i 之算术和,则

网路风量 $Q = \prod_{i=1}^{i=n} q_i = q_1 + q_2 + \dots + q_n, \text{ M}^3/\text{s}$ (9)

用 $\sqrt{\frac{H}{R}}$ 和 $\sqrt{\frac{h_i}{R_i}}$ 值相应地代入式 (9) 中 Q 和 q_i 各项, 得

$$\sqrt{\frac{H}{R}} = \sqrt{\frac{h_1}{R_1}} + \sqrt{\frac{h_2}{R_2}} + \dots + \sqrt{\frac{h_n}{R_n}}$$

因式 (8), 则上式为

网路风阻 $\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}},$

或 $R = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}}\right)^2}, \text{ k}\mu$ (10)

在给知 Q 和 R_i 值的条件下, 求 q_i 值。因式 (8), 得

$$RQ^2 = R_1q_1^2 = R_2q_2^2 = \dots = R_nq_n^2,$$

即 $R = R_1 \frac{q_1^2}{Q^2} = R_2 \frac{q_2^2}{Q^2} = \dots = R_n \frac{q_n^2}{Q^2}$

将 $R = R_1 \frac{q_1^2}{Q^2}$ 值代入式 (10), 得

$$R_1 \frac{q_1^2}{Q^2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}}\right)^2}, \text{ 整理后, 得}$$

并联井巷的风量 $q_1 = \frac{Q}{\sqrt{R_1} \left(\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}}\right)}$

同理, 得 $q_2 = \frac{Q}{\sqrt{R_2} \left(\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}}\right)}$

$\dots$

$q_n = \frac{Q}{\sqrt{R_n} \left(\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}}\right)}$, M^3/s (11)

2. 敞开式并联网路如图 8 所示。

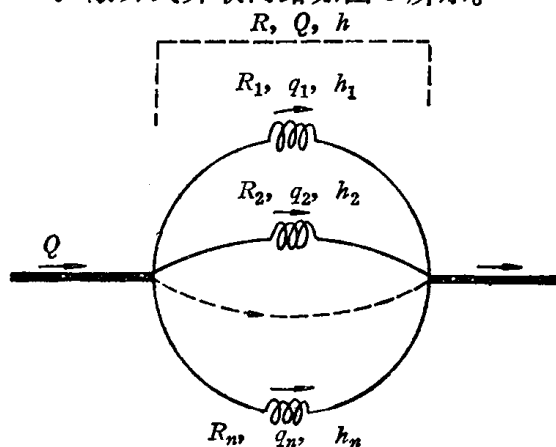


图 7 闭合式并联网路的通风参数图

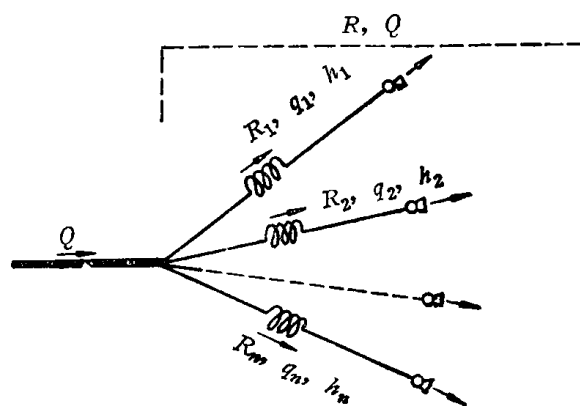


图 8 敞开式并联网路的通风参数图

网路风量 $Q = q_1 + q_2 + \dots + q_n, \text{ M}^3/\text{s}$ (12)

空气以网路风量 Q 在敞开式并联网路中流动时, 网路风量所需的功率 E 总是等于各并联井巷风量所需的功率 E_i 之算术和, 即

$$E = \prod_{i=1}^n E_i$$

展开上式, 得 $RQ^3 = R_1q_1^3 + R_2q_2^3 + \dots + R_nq_n^3$, 则

网路风阻 $R = \frac{1}{Q^3} (R_1q_1^3 + R_2q_2^3 + \dots + R_nq_n^3), \text{ k}\mu$ (13)

如果在闭合式并联网路中, $h = h_1 = h_2 = \dots = h_n$

用 $\sqrt{\frac{h}{R}}$ 和 $\sqrt{\frac{h_i}{R_i}}$ 值代入式 (13) 中 Q 和 q_i 值, 则

$$R = \frac{R\sqrt{R}}{h\sqrt{h}} \left(R_1 \times \frac{h_1\sqrt{h_1}}{R_1\sqrt{R_1}} + R_2 \times \frac{h_2\sqrt{h_2}}{R_2\sqrt{R_2}} + \dots + R_n \times \frac{h_n\sqrt{h_n}}{R_n\sqrt{R_n}} \right),$$

整理后得 $\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{h\sqrt{h}} \left(\frac{h_1\sqrt{h_1}}{\sqrt{R_1}} + \frac{h_2\sqrt{h_2}}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{h_n\sqrt{h_n}}{\sqrt{R_n}} \right)$

则上式为 $\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}}$

此式是与式 (10) 完全相同。因此, 无论是闭合式的或者是敞开式的并联网路中, 在 $h = h_1 = h_2 = \dots = h_n$ 的条件下, 两者所求得的网路风阻值是相等的。

角联和复杂联接网路 通风参数的解算在后面各章节中将详细讨论。

第七节 通风网路计算的两条基本定律〔8〕

通风网路正如水管网或煤气管网一样, 经常遇到各种不同方式的复杂联接。这些网路一般是由若干个网孔或称闭合环路所组成, 在空间上来说, 这些网孔可以在任意平面上交叉, 也就是分支井巷可以在通风网路计算平面上交叉, 也可以在立体上交叉。因此, 这种通风参数的关系一般不可能用某种简单的数学关系来确定这种复杂网路的通风参数, 即 R_i 、 q_i 和 h_i 。

我们研究复杂通风网路时, 可以认为任何网孔基本上是由串联和并联的井巷所组成的。虽然复杂通风网路一般是由串联、并联、角联和复杂联接所组成, 但从研究的出发点上讲, 串联和并联网路所导出的数学关系式可以应用于复杂通风网路的计算。现将通风网路计算的两条基本定律分述于下。

一、第一定律——风量分配定律

在通风网路中流入任一节点 (分风节点或合风节点) 的风量之算术和等于流出该节点的风量之算术和, 即该节点的风量之代数和等于零。其关系式为:

$$\left. \begin{aligned} \Pi q_{\text{进}} &= \Pi q_{\text{出}}, \text{ 或} \\ \sum q_i &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

二、第二定律——负压分配定律

在闭合的通风网路中扇风机装置全压和自然通风压差的代数和等于在该网路中各分支井巷沿风流流程上的负压之算术和。在通风网孔中如果无通风源（扇风机和自然通风压差）的直接作用而在矿井总风压通风的条件下，各分支井巷的负压之代数和等于零，这两个关系式为

$$\left. \begin{aligned} \sum (H \pm H_e) &= \sum h_i \\ \sum h_i &= \sum R_i q_i^2 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

在应用上述的第二定律时，应遵守下列规则：

1. 在通风网孔中当分支井巷中风流方向是顺时针方向则视此分支井巷的负压为正值，反之，为负值。
2. 在通风网孔中扇风机装置全压值有助于通风时，总是与扇风机安装在内的分支井巷的负压值成相反的符号。
3. 任何通风网路总是由一个或若干个网孔所组成的。另外在网路的进出风口之间可以作一条零风阻的闭合分支，形成一个网孔。

现用图 9 说明上述的二条基本定律的概念。

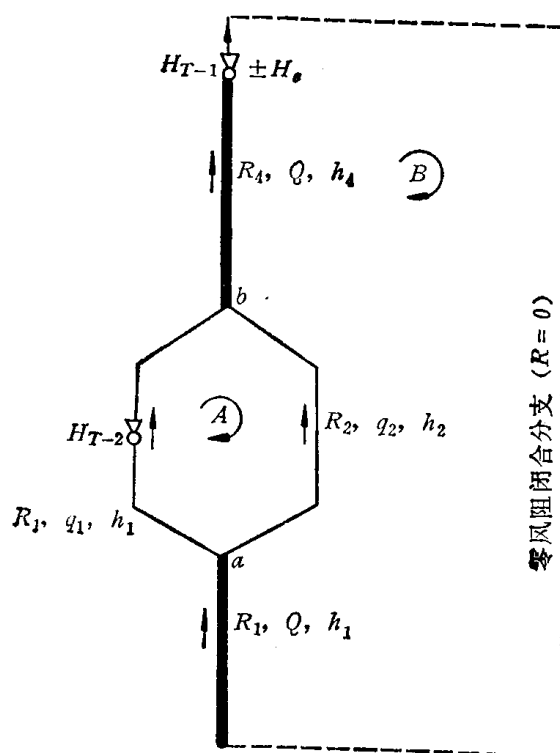


图 9 通风网路解算的两条基本定律示例图

第一定律：	节点 a	$Q = q_1 + q_2$	或	$Q - q_1 - q_2 = 0$
	节点 b	$q_1 + q_2 = Q$	或	$q_1 + q_2 - Q = 0$
第二定律：	网孔 A	$(h_1 - H_{T-2}) - h_2 = 0$		
	网孔 B	$h_1 + h_2 + h_4 = H_{T-1} \pm H_e$		