

中等专业学校规划教材

矿井通风网路解算 及测定数据处理

萧景瑞 主编

煤炭工业出版社

TD-25
X-4.79

中等专业学校规划教材

矿井通风网路解算及测定数据处理

萧景瑞 主编

煤炭工业出版社

396055

(京) 新登字042号

内 容 提 要

本书系统地论述了矿井通风网路解算、矿井主要通风机性能测定数据处理、矿井通风阻力测定数据处理的基本程序设计和使用方法。本书是煤炭中等专业学校“煤矿通风与安全”专业的规划教材,也可供煤矿通风安全管理工程技术人员学习使用。

中等专业学校规划教材 矿井通风网路解算及测定数据处理

萧景瑞 主编
责任编辑:莫国震

煤炭工业出版社 出版
(北京安苑门外和平里北街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 $787 \times 1092\text{mm}^{1/16}$ 印张 $8^{2/3}$
字数 204 千字 印数 1—765
1994年9月第1版 1994年9月第1次印刷

ISBN 7-5020-0961-2/TD·886

书号 3727 B 0138 定价 5.00元

前 言

本书是根据中国统配煤矿总公司教育局1989年下达的煤炭中等专业学校“煤矿通风与安全”专业的教学计划和教学大纲编写的，内容也考虑到矿井通风管理工程技术人员实际工作的需要。

《矿井通风网路解算及测定数据处理》是煤炭中等专业学校“煤矿通风与安全”专业的专业课，总计48学时，其中讲授33学时。全书包括三部分内容：矿井通风网路解算BASIC程序，矿井主要通风机性能测定数据处理BASIC程序，矿井通风阻力测定数据处理BASIC程序的程序设计、程序结构及程序使用方法。

本书由抚顺煤炭工业学校萧景瑞主编。各章编写人员是：第一章—萧景瑞，第二章—陕西煤炭工业学校简军峰，第三章—重庆煤炭工业学校陈光海。

由于编者水平所限，错误之处恳请读者批评指正。

编 者

1993年8月

目 录

绪 论	1
第一章 矿井通风网路解算	3
第一节 算法语言与程序设计	3
第二节 斯考德-恒斯雷迭代试算法	3
第三节 选择网孔与拟定初始风量	17
第四节 固定风量分支的计算	26
第五节 求主要通风机的即时工况点	27
第六节 网孔自然风压计算	32
第七节 选择主要通风机	36
第八节 解算通风网路的BASIC程序	39
第二章 通风机性能测定数据处理	94
第一节 程序设计	94
第二节 计算公式及有关项目的计算方法	94
第三节 通风机性能测定数据处理的 BASIC 程序	97
第三章 通风阻力测定数据处理	111
第一节 程序设计	111
第二节 计算公式及对测定的要求	111
第三节 通风阻力测定数据处理的BASIC程序	114
参考文献	133

绪 论

矿井通风网路解算及测定数据处理课程的内容,是论述用计算机解算矿井通风网路,处理矿井通风阻力测定数据,处理主要通风机性能测定数据以及有关的程序设计。

矿井通风是矿井生产中的一项极为重要的经常性的工作。无论是矿井通风设计还是生产管理,都经常要求对矿井通风状况进行分析。因此,解算矿井通风网路、处理矿井通风阻力测定数据和处理矿井主要通风机性能测定数据,是搞好矿井通风工作的重要环节。

由于矿井通风网路中井巷联结关系复杂,解通风网的未知数多、方程数多,而且又是二次方程,故用代数法解算甚为困难。许多国家的学者对解算矿井通风网的方法极为重视,并进行了广泛的研究。

1908年H.柴操德就发表了关于角联风流的理论,并提出了确定角联巷道风流方向的条件,从而逐渐解决了简单的串、并联网路的解法。

1931年H.柴操德提出用几何法计算 θ 型网路风量的方法。

1935年波兰S.巴尔切克提出逐次渐近法解通风网。

1936年美国H.克劳斯提出用解算流体管道网路的逐次计算法。

1938年英国S.维克斯提出了简单网路的图解法。

1942年日本熊泽教授提出用 Δ 型变成Y型网路的解法。

1950年荷兰W.玛斯,美国M.麦克劳尔分别用钨丝灯泡模拟井巷风阻,制成电力模拟计算机解算通风网路。

1951年英国D.斯考德和F.恒斯雷在H.克劳斯的水力管网的解法基础上,提出了通风网路迭代试算法。与此同时,日本京都大学平松良雄教授陆续提出了“京大第一试算法”和“京大第二试算法”。从此,解算通风网路的方法得到不断改进和完善。

至今,矿井通风网路的解算法可归并为三大类:数学分析法,图解法和电力模拟计算法。自60年代开始用计算机解算矿井通风网路以来,解算复杂通风网路的迭代试算法得到了迅速的改进和广泛应用。迭代试算法可分为两种:结点法,即从假定风流结点的压力值开始,逐步修正压力分布值,使之满足风量平衡定律;回路法,即由假定回路内的分支风路风流方向和风量开始,逐步修正风量值,使之满足风压平衡定律。因回路法是H.克劳斯首先提出,故又称为H.克劳斯迭代试算法。目前用计算机解算矿井通风网路,广泛使用的就是斯考德-恒斯雷迭代试算法(即H.克劳斯法),该法解算精度高、速度快,可解算任意复杂的通风网路。

我国自解放初期就开始进行复杂通风网路的解算工作,如用迭代试算法、 Δ -Y型解算法、动坐标图解法及风压平衡试算法等方法解算复杂通风网路。尤其是自1958年以来,东北工学院、北京矿业学院、北京钢铁学院、贵州工学院、中南矿冶学院、科学院矿山研究所及抚顺煤炭安全研究所等单位 and 学者,都相继研制电力模拟计算机为科学研究、矿井设计、教学及生产管理进行通风网路解算服务。

自1958年我国第一台电子计算机问世以来,在计算机制造与计算技术迅速发展的形

势下，无论是煤炭科学研究部门、设计部门、院校，还是厂矿生产部门，都已逐渐普遍使用了计算机。实践证明，为发展煤炭工业，计算机是必备的工具。

煤炭工业学校“矿井通风与安全”专业培养的是矿井通风与安全技术管理的中等技术人材，故将《矿井通风网路解算及测定数据处理》作为该专业的一门专业课程。本课程是高等数学、算法语言及矿井通风课程的后续课。通过本课程学习，使学生能阅读通风与安全方面的BASIC程序，能依计算要求正确修改与使用程序，并为进行程序设计打好基础。

作为煤矿通风与安全管理的技术人员，把计算机应用于矿井通风与安全管理工作，已应是必备的技能。为促进煤炭工业的发展，早日实现煤炭工业现代化，须努力不断学习计算机知识，并把它应用于矿井通风与安全管理工作，为实现煤炭工业现代化做出贡献。

第一章 矿井通风网路解算

第一节 算法语言与程序设计

计算机的动作是按指令进行的,所以,让计算机完成某项计算任务,须按计算任务的计算过程、步骤将计算机能接受的指令——按次序编写出来输入计算机。按次序编写的指令即所谓编写程序或程序设计。计算机能接受的指令(即语言)有两种:机器语言和算法语言。用机器语言编写的程序不直观,不通用,编写工作量也大,所以都用算法语言编写程序。算法语言有多种,本书采用BASIC语言编写程序(即BASIC语言程序)。为解算矿井通风网路编写的程序称为“通风网路解算的BASIC程序”。矿井通风网路的解算程序依计算内容不同有不同的功能。本程序具备以下功能:

- 1) 选择与圈划网孔。
- 2) 拟定初始风量。
- 3) 通风机风压曲线拟合。
- 4) 解通风网路。
- 5) 局部风量调节计算。
- 6) 网孔自然风压计算。
- 7) 选择主要通风机。

所用单位制为中华人民共和国法定计量单位。例如绝对静压用“kPa”,相对压力用“Pa”,风阻用“ $\text{N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$ ”,风量用“ m^3/s ”,密度用“ kg/m^3 ”,面积用“ m^2 ”,风速用“ m/s ”……,故程序中不出现单位符号。

本程序适用于IBM PC/XT、PC/AT及其兼容机。

第二节 斯考德-恒斯雷迭代试算法

本书用到的几个名词:

结点 三条或三条以上风路的汇合点称为结点。

分支风路 两相邻结点间通联的风路,称为分支风路,可简称为分支。

网孔 由两条或两条以上分支所围成的闭合回路称网孔。

一、三个基本定律

解矿井通风网的方法很多,本程序选用斯考德-恒斯雷迭代试算法(即H.克劳斯法)解通风网。无论用哪种方法解通风网,都须遵守以下三个基本定律。

1. 通风井巷的阻力定律

当井巷中风流呈完全紊流流动时,其通风阻力都是

$$h_i = R_i Q_i^2 \quad (1-1)$$

式中 h_i ——网路中*i*分支的通风阻力, Pa;

R_i ——*i*分支的风阻, $\text{N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$;

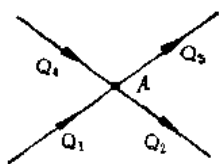


图 1-1 结点与其分支风量关系

Q_i ——通过*i*分支的风量, m^3/s 。

式 (1-1) 即井巷的通风阻力定律, 又称平方阻力定律。

2. 结点或网孔的风量平衡定律

1) 结点风量平衡定律

如图 1-1 所示, 若流进结点 A 的风量为“正”, 流出结点 A 的风量为“负”, 则有如下关系

$$Q_1 + Q_4 = Q_2 + Q_3$$

或

$$\sum Q_A = Q_1 + Q_4 - Q_2 - Q_3 = 0 \quad (1-2)$$

式中 Q_1 、 Q_4 ——1、4 分支流进结点 A 的风量, m^3/s ;

Q_2 、 Q_3 ——2、3 分支从结点 A 流出的风量, m^3/s 。

式 (1-2) 表明: 流进结点的风量等于流出结点的风量, 或, 结点处风量的代数和等于零。

2) 网孔风量平衡定律

如图 1-2 所示, 若流进网孔的风量为“正”, 流出网孔的风量为“负”, 则有如下关系:

$$Q_1 + Q_2 + Q_4 = Q_3 + Q_5 + Q_6$$

若 ABCDEF 网孔为 J 网孔, 则有

$$\sum Q_J = Q_1 + Q_2 + Q_4 - Q_3 - Q_5 - Q_6 = 0 \quad (1-3)$$

式中 Q_1 、 Q_2 、 Q_4 ——流进 J 网孔的风量, m^3/s ;

Q_3 、 Q_5 、 Q_6 ——流出 J 网孔的风量, m^3/s 。

式 (1-3) 表明: 流进网孔的风量等于流出网孔的风量, 也即流进与流出网孔的风量的代数和等于零。

3. 网孔风压平衡定律

1) 网孔中无通风动力源时的风压平衡定律

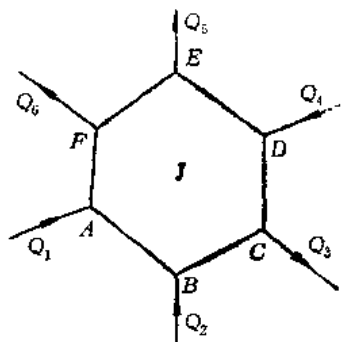


图 1-2 网孔风量平衡关系

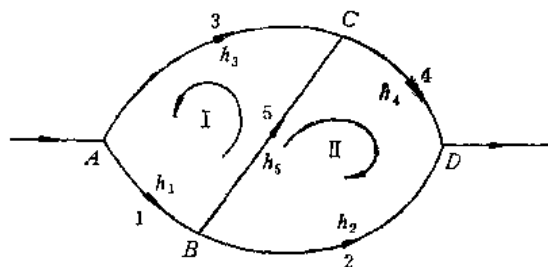


图 1-3 网孔中无动力源时风压平衡关系

如图 1-3 所示, 网孔 I 的圈划方向为 ABCA, 网孔 II 的圈划方向为 BCDB。在 I、II 网孔中都没有产生风压的通风机或自然风压的动力源。若网孔的分支风流方向与圈划网孔方向相同, 该分支的风压定为“正”, 风流逆着圈划网孔方向的分支风压定为“负”时, 有如下规律:

在 I 网孔中

或

$$h_1 + h_5 - h_3 = 0$$

$$\sum h_i = h_1 + h_5 - h_3 = 0 \quad (A)$$

在Ⅱ网孔中

或

$$h_5 + h_4 - h_2 = 0$$

$$\sum h_i = h_5 + h_4 - h_2 = 0 \quad (B)$$

从式(A)、(B)中可知：在任何网孔*i*中，若无动力源时都有如下规律：

$$\sum h_i = 0 \quad (1-4)$$

式(1-4)说明：在无通风动力源的网孔中，构成网孔的各分支的风压的代数和等于零。

2) 网孔中有通风动力源时的风压平衡定律

在图1-4中所示的网路中，有主要通风机、辅助通风机和反方向的自然风压源。无论网孔的分支还是风压源的风压，若它们的风流方向和圈划网孔方向一致时，它们的风压定为“正”；反之定为“负”，则有如下规律：

Ⅰ网孔(即FEABCD)中：

$$h_1 + h_2 + h_5 + h_6 + h_7 = H_2 + H_1 - NH_1 \quad (A)$$

Ⅱ网孔(即ACBA)中

$$h_4 - h_5 - h_2 = -H_2 \quad (B)$$

Ⅲ网孔(即BDCB)中

$$h_3 - h_5 - h_6 = -H_2 \quad (C)$$

从式(A)、(B)、(C)中知，它们的规律是

$$\sum h_i = \sum H_{xi} \quad (1-5)$$

式中 h_i ——网孔分支风压，Pa；

H_{xi} ——风压源风压，Pa。

式(1-5)表明：在有风压源的网孔中，构成网孔各分支的风压代数和等于这些分支上的风压源的风压代数和。

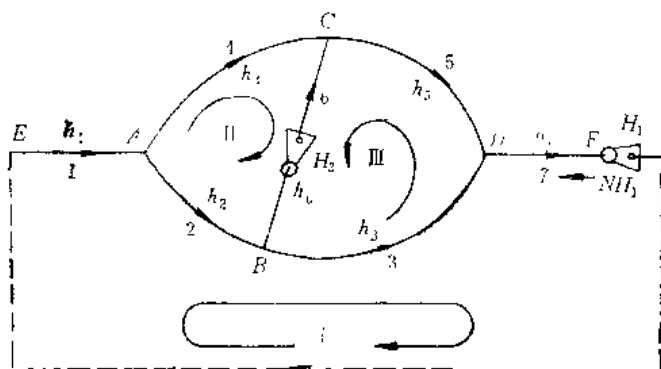


图 1-4 网孔中有动源时的风压平衡关系

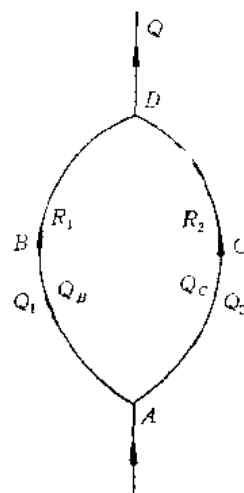


图 1-5 简单并联网路

二、斯考德-恒斯雷迭代试算法

解算通风网的斯考德-恒斯雷迭代试算法，是依结点或网孔风量平衡定律预先给出网

孔中各分支的假定风量（即假定的初始风量），这个假定初始风量也即解方程组所得的近似根。然后依这个初始风量用风压平衡定律求出网孔的风量校正值（也即校正风量），用这个校正风量校正网孔分支的风量。依网孔顺序逐孔校正计算后，可得出各分支的真实风量（即自然分配的风量），此时网孔的风压也随之达到平衡。

网孔中的风量校正值的计算式，是根据台劳级数的近似展开式导出的，这里用图1-5所示的简单并联网路说明风量校正值计算式的由来和解通风网的方法步骤。

并联分支 ABD 及 ACD 的风阻分别为 R_1 、 R_2 ($N \cdot s^2/m^8$)，总风量为 Q (m^3/s)。

首先确定网路中各分支的风流方向。在图1-5所示的具体条件下， ABD 及 ACD 两分支的风流方向是既定的，但在复杂网路中有些分支的风流方向预先难以确定。因此，凡是依条件能肯定风流方向的就肯定下来，不能肯定的就假定它的风流方向，当在迭代计算中发现它的风流方向错了时，再改正过来。

为求得各分支的真实风量 Q_B 、 Q_C ，须预先根据风量平衡定律 $\sum Q_i = 0$ 拟定各分支的初始风量 Q_1 、 Q_2 。 Q_1 、 Q_2 与 Q_B 、 Q_C 有如下关系：

若 $Q_B - Q_1 = \Delta Q$ ，即 $Q_B = Q_1 + \Delta Q$

必然 $Q_C - Q_2 = -\Delta Q$ ，即 $Q_C = Q_2 - \Delta Q$

根据阻力定律 $h_i = R_i Q_i^2$ ，有

$$\begin{aligned} h_B &= R_1 Q_B^2 = R_1 (Q_1 + \Delta Q)^2 \\ &= R_1 Q_1^2 + 2R_1 Q_1 \Delta Q + R_1 \Delta Q^2 \end{aligned} \quad (A)$$

$$\begin{aligned} h_C &= R_2 Q_C^2 = R_2 (Q_2 - \Delta Q)^2 \\ &= R_2 Q_2^2 - 2R_2 Q_2 \Delta Q + R_2 \Delta Q^2 \end{aligned} \quad (B)$$

舍去式(A)、式(B)中的二次微量： $R_1 \Delta Q^2$ 及 $R_2 \Delta Q^2$ ，根据风压平衡定律 $\sum h_i = 0$ ，有

$$h_B = h_C$$

即
故得

$$R_1 Q_1^2 + 2R_1 Q_1 \Delta Q = R_2 Q_2^2 - 2R_2 Q_2 \Delta Q$$

$$\Delta Q = - \frac{R_1 Q_1^2 - R_2 Q_2^2}{2R_1 Q_1 + 2R_2 Q_2}$$

当网孔由 n 条分支构成，则依上式有

$$\Delta Q = - \frac{\sum_{i=1}^n R_i Q_i^2}{2 \sum_{i=1}^n R_i |Q_i|} \quad (1-6)$$

当网孔中有风压源时，依上式有

$$\Delta Q = - \frac{\sum_{i=1}^n R_i Q_i^2 - \sum_{i=1}^p H_i - N H_M}{2 \sum_{i=1}^n R_i |Q_i| - \sum_{i=1}^F \alpha_i} \quad (1-7)$$

式中 ΔQ —— M （网孔号）网孔的风量校正值， $|\Delta Q|$ 值依迭代次数增加而减小，当各网孔的 $|\Delta Q|$ 趋于零时，网路的风量、风压即已趋于平衡， m^3/s ；

Q_i —— M 网孔中 i 分支的渐近风量, Q_i 由初始值到真值, 当在迭代过程中出现变号 (由“正”变“负”或由“负”变为“正”) 时, 说明风流方向假定错了, 须立即改正过来, m^3/s ;

$R_i Q_i^2$ —— M 网孔中各分支的渐近风压, 当 i 分支的风流方向和圈划网孔方向相同时 $R_i Q_i^2$ 取“正”值; 反之, 取“负”值, Pa ;

$\sum_{i=1}^n R_i Q_i^2$ —— M 网孔的风压平衡差, Pa ;

$2R_i |Q_i|$ —— M 网孔中各分支的 2 倍风阻乘风量的绝对值;

H_i —— M 网孔中 i 分支上通风机的风压, 当通风机的风流方向和圈划网孔方向相同时, H_i 取“正”值, 反之, 取“负”值, Pa ;

α_i —— i 分支上通风机风压曲线工况点 $m(Q_i, H_i)$ 的斜率;

NH_M —— M 网孔的自然风压, 当 NH_M 的方向和圈划网孔的方向相同时取“正”值; 反之, 取“负”值, Pa 。

当求出网孔风机风量 Q_i 后, 立即求出该风机的即时工况点 $m(Q_i, H_i)$ 的风压 H_i 及其斜率 α_i , 即

$$H_i = A Q_i^3 + B Q_i + C, \text{ Pa} \quad (1-8)$$

$$\alpha_i = 2A Q_i + B \quad (1-9)$$

式中 A 、 B 、 C —— 依风机风压曲线经拟合计算求出的三阶方程即 2 次方程的系数。

当依式 (1-7) 求出网孔风量校正值 ΔQ 后, 立即对网孔各分支风量进行校正, 即

$$Q'_i = Q_i \pm \Delta Q \quad (1-10)$$

式中 Q_i —— 网孔 i 分支的初始风量或前次校正后的风量, m^3/s ;

Q'_i —— i 分支校正后的风量, m^3/s ;

ΔQ —— 网孔风量校正值, 当 i 分支风流方向和圈划网孔方向相同时取“正”号, 反之, 取“负”号, m^3/s 。

当进行下面网孔风量校正计算中, 须注意两点: 凡遇到前边网孔校正计算过的分支, 一律用校正后的风量 (即利用“赛德尔迭代计算”的技巧); 凡前边改正过风流方向的分支, 后面计算时一律用改正后的风流方向。

三、斯考德-恒斯雷迭代试算法解通风网实例

下面举一用斯考德-恒斯雷迭代试算法解通风网实例, 用以说明解算过程与步骤, 并依此编写解通风网程序。

1. 原始数据

1) 网路图

网路图见图 1-6。在绘制的网路图中须将主要通风机的分支排在最前, 次之是固定风量分支, 再次

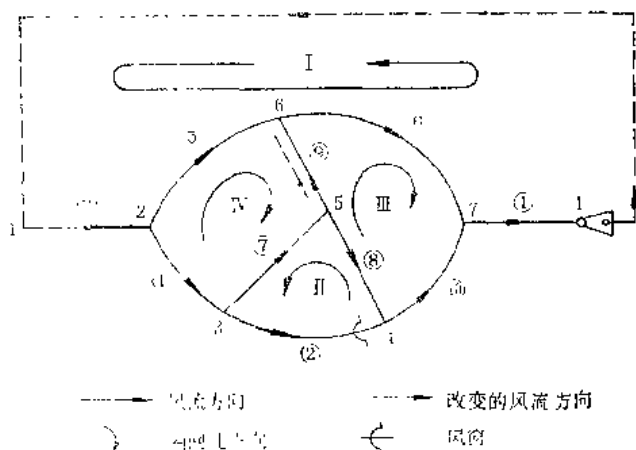


图 1-6 通风网路图

之是其他分支。故图中①分支是主要风机分支,②是固定风量分支,③至⑩为其他分支。在网路图上须将主要风机出口和入风井口都编为1号,表示它们相接(如图中的虚线所示)。

2) 原始数据

网路中各分支的风阻分别为: $R_1 = 1.5$ 、 $R_2 = 4.16$ 、 $R_3 = 1.43$ 、 $R_4 = 1.372$ 、 $R_5 = 1.47$ 、 $R_6 = 8.82$ 、 $R_7 = 1.176$ 、 $R_8 = 0.781$ 、 $R_9 = 0.98$ 及 $R_{10} = 0.588 \text{ N} \cdot \text{s}^2 / \text{m}^8$ 。主要通风机是2K56№18轴流式通风机,叶片安装角 $\theta = 25^\circ$,转数 $n = 1000 \text{ r/min}$,曲线拟合方程: $H_t = -5.383737Q_t^2 + 188.2128Q_t + 992.9951$;斜率方程: $\alpha_t = -10.767474Q_t + 188.2128$ 。
②分支的固定风量为 $Q_2 = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ 。各分支始、末结点号如图所示。

2. 迭代计算过程与步骤

1) 网孔

网路的独立网孔数可用下式计算

$$M_1 = N_1 - NJ + 1 \quad (1-11)$$

因分支总数 $N_1 = 10$,结点数 $NJ = 7$ (进、出风井口为1个结点),故网孔数 $M_1 = 10 - 7 + 1 = 4$ 。根据程序要求,这四个网孔中,排在最前的I网孔是主要风机分支①的网孔,即由分支①-③-④-⑦-⑧-⑩围成的网孔;II网孔是固定风量分支②的网孔,即由分支②-⑧-⑦围成的网孔;III网孔是高风险分支⑥的网孔,即由⑥-⑩-⑧-⑨分支围成的网孔;IV网孔也是高风险分支⑤的分支,即由⑤-⑨-⑦-④分支围成的网孔。圈成网孔的各分支排列顺序,即是圈划网孔的方向(如图1-6中所示的弯曲箭头所指的方向)。

2) 拟定各分支的初始风量

无论用人工还是计算机拟定各分支的初始风量,都必须遵守式(1-3)的风量平衡定律(但不满足风压平衡定律),所以拟定的各分支的初始风量越接近真值,收敛的速度就越快。本例根据总风量 $Q_1 = 24 \text{ m}^3/\text{s}$ 及固定风量 $Q_2 = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ 拟定各分支的初始风量为: $Q_1 = 24$ 、 $Q_2 = 2$ 、 $Q_3 = 24$ 、 $Q_4 = 11$ 、 $Q_5 = 13$ 、 $Q_6 = 13$ 、 $Q_7 = 9$ 、 $Q_8 = 9$ 、 $Q_9 = 0$ 及 $Q_{10} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3) 固定风量网孔的计算方法

如何保证②分支中 $Q_2 = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ 的定值风量,可采用②分支所在网孔II不参与迭代计算的办法解决。因围成II网孔的分支有②-⑧-⑦,除②分支外,⑦、⑧分支又属于III、IV网孔,所以当网路解算完毕后,⑦、⑧分支的风量、风压已是真值,故在II网孔中用风压平衡定律 $\sum h_i = 0$ 可求出②分支所需要的风压,即

$$H_2 = h_7 + h_8$$

式中 h_7 、 h_8 ——分别为⑦、⑧分支的风压, Pa。

因②分支的阻力为

$$h_2 = R_2 Q_2^2, \text{ Pa}$$

所以,当 $H_2 > h_2$ 时需用增阻方法调节,使

$$H_2 = h_2 + \Delta h_2$$

式中 Δh_2 ——给②分支增加的阻力, Pa。

当 $H_2 < h_2$ 时,需对②分支采取减阻或用辅助通风机方法调节,使

$$H_2 = h_2 - \Delta h_2$$

式中 Δh_2 ——②分支应减少的阻力, Pa。

4) 迭代计算的精确程度

解算通风网的顺序是从第一个网孔起直到末一个网孔止, 经过数次迭代校正计算后达到预先要求的精确程度即解算结束。

迭代计算所达到的精确程度可用以下两方面来衡量: *a.* 因网孔风量校正值 $|\Delta Q|$ 在迭代计算中不断减小, 当然 $|\Delta Q| = 0$ 为最好, 但这是难以正好达到的。实践证明, 当 $|\Delta Q| \leq 0.05 \sim 0.005 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 各结点、网孔已接近风量、风压平衡。*b.* 用各网孔的风压平衡差

$\Delta h = \left| \sum_{i=1}^n R_i Q_i^2 \right|$ 来衡量, 当然 $\Delta h = 0$ 为最好。在用斯考德-恒斯雷迭代试算法中, 当 $|\Delta Q|$ 满足精度要求时, Δh 也随之满足精度要求了。实践证明, 当 Δh 值不大于本网孔中最小风压的 5% 时, 各结点、各网孔的风量、风压已非常接近平衡。因此在程序中用 ΔQ 值来要求解算精度。

另外, 由于精度高、网路复杂, 或赋值不正确, 有时使迭代次数过分增大。为此在程序中设置了对迭代次数的限制, 一般把迭代次数 K 限制在几十次到百次。

5) 网孔风量校正计算

第 1 次迭代计算:

(1) I 网孔风量校正计算

I 网孔是主要通风机所在的网孔, 风机的工况点为

风量 $Q_{\text{主}} = Q_1 = 24 \text{ m}^3/\text{s}$

风压 $H_{\text{主}} = -5.383737Q_1^2 + 188.2128Q_1 + 992.9951$
 $= -5.383737 \times 24^2 + 188.2128 \times 24 + 992.9951$
 $= 2409.07 \text{ Pa}$

斜率 $\alpha_{\text{主}} = -10.767474Q_1 + 188.2128$
 $= -10.767474 \times 24 + 188.2128$
 $= -70.207$

I 网孔的风量校正值为

$$\Delta Q_1 = - \frac{\sum R_i Q_i^2 - H_{\text{主}}}{2 \sum R_i |Q_i| - \alpha_{\text{主}}}$$

$$= - \frac{R_1 Q_1^2 + R_3 Q_3^2 + R_4 Q_4^2 + R_7 Q_7^2 + R_8 Q_8^2 + R_{10} Q_{10}^2 - H_{\text{主}}}{2 \times (R_1 |Q_1| + R_3 |Q_3| + R_4 |Q_4| + R_7 |Q_7| + R_8 |Q_8| + R_{10} |Q_{10}|) - \alpha_{\text{主}}}$$

$$= - \frac{1.5 \times 24^2 + 1.43 \times 24^2 + 1.372 \times 11^2 + 1.176 \times 9^2 + 0.784 \times 9^2 + 0.588 \times 11^2 - 2409.07}{2 \times (1.5 \times 24 + 1.43 \times 24 + 1.37 \times 11 + 1.176 \times 9 + 0.78 \times 9 + 0.588 \times 11) - (-70.207)}$$

$$= 1.1252 \text{ m}^3/\text{s}$$

I 网孔中各分支的渐近风量为

$$Q'_1 = Q_1 + \Delta Q_1 = 24 + 1.1252 = 25.1252 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q'_3 = Q_3 + \Delta Q_1 = 24 + 1.1252 = 25.1252 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q'_4 = Q_4 + \Delta Q_1 = 11 + 1.1252 = 12.1252 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q'_7 = Q_7 + \Delta Q_1 = 9 + 1.1252 = 10.1252 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q'_8 = Q_8 + \Delta Q_1 = 9 + 1.1252 = 10.1252 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q'_{10} = Q_{10} + \Delta Q_1 = 11 + 1.1252 = 12.1252 \text{ m}^3/\text{s}$$

(2) III网孔的风量校正值为

$$\begin{aligned}\Delta Q_3 &= -\frac{R_6 Q_6^2 - R_{10} Q_{10}'^2 - R_8 Q_8'^2 - R_9 Q_9^2}{2 \times (R_6 |Q_6| + R_{10} |Q_{10}'| + R_8 |Q_8'| + R_9 |Q_9|)} \\ &= -\frac{8.82 \times 13^2 - 0.588 \times 12.1252^2 - 0.784 \times 10.1252^2 + 0.98 \times 0}{2 \times (8.82 \times 13 + 0.588 \times 12.1252 + 0.784 \times 10.1252 + 0.98 \times 0)} \\ &= -5.1021 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

式中 Q_6' ——I网孔校正后的风量, m^3/s 。

III网孔中各分支的渐近风量为

$$\begin{aligned}Q_6' &= Q_6 + \Delta Q_3 = 13 + (-5.1021) = 7.8979 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{10}'' &= Q_{10}' - \Delta Q_3 = 12.1252 - (-5.1021) = 17.2273 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_8'' &= Q_8' - \Delta Q_3 = 10.1252 - (-5.1021) = 15.2273 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_9' &= Q_9 + \Delta Q_3 = 0 + (-5.1021) = -5.1021 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

经上述计算后⑨分支风量 Q_9' 出现“负”值,说明风流原假设从结点5流向结点6是错的,须改为从结点6流向结点5(如图1-6中所示的虚线箭头),供后面计算使用。

(3) IV网孔的风量校正值为

$$\begin{aligned}\Delta Q_4 &= -\frac{R_5 Q_5^2 + R_9 Q_9'^2 - R_7 Q_7'^2 - R_4 Q_4'^2}{2(R_5 |Q_5| + R_9 |Q_9'| + R_7 |Q_7'| + R_4 |Q_4'|)} \\ &= -\frac{1.47 \times 13^2 + 0.98 \times 5.1021^2 - 1.176 \times 10.1252^2 - 1.372 \times 12.1252^2}{2 \times (1.47 \times 13 + 0.98 \times 5.1021 + 1.176 \times 10.1252 + 1.372 \times 12.1252)} \\ &= 0.459 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

IV网孔中各分支的渐近风量为

$$\begin{aligned}Q_5' &= Q_5 + \Delta Q_4 = 13 + 0.459 = 13.459 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_9'' &= Q_9' + \Delta Q_4 = 5.1021 + 0.459 = 5.5611 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_7'' &= Q_7' - \Delta Q_4 = 10.1252 - 0.459 = 9.6662 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_4'' &= Q_4' - \Delta Q_4 = 12.1252 - 0.459 = 11.6662 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

上述仅是第一次风量校正计算,若网路更为复杂,校正迭代次数又要进行多次,按上面方法计算就更麻烦了。因此,为使计算过程步骤清晰、醒目,又便于检查,可采用表格计算。本例题的计算过程和计算结果见表1-1和表1-2。

计算表明,经5次迭代计算,精度达 $|\Delta Q| = 0.0102 < 0.05$ 。经检查:网孔IV为最大风压平衡差的网孔,其风压平衡差 $\Delta h_4 = |\sum h_4| = 1.0587 \text{ Pa}$,仅为其最小风压 $h_4 + h_7 = 178.0049 + 109.7058 = 287.7107 \text{ Pa}$ 的0.376%,小于5%;5结点是网路中最大风量平衡差的结点,其风量平衡差为 $|\sum Q_5| = 0.01 \text{ m}^3/\text{s}$,仅为其小风量 $Q_5 = 6.13 \text{ m}^3/\text{s}$ 的0.163%,小于5%。因此表1-2中的计算结果即为网路迭代计算的最终结果。

网路的总阻力为 $h_a = 2385.19 \text{ Pa}$

网路的总风量为 $Q_a = 24.33 \text{ m}^3/\text{s}$

网路的总风阻为

$$R_a = \frac{h_a}{Q_a^2} = \frac{2385.19}{24.33^2} = 4.0293 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^5$$

表 1-1 通风网路解算表

网 路 号	分 支 号	风 阻 R $N \cdot s^2/m^5$	第 一 次 试 算					
			初 始 风 量 Q m^3/s	$2RQ$	Y	一次渐近风压 RQ^2 Pa	风量校正值 ΔQ m^3/s	一次渐近风量 Q m^3/s
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
I	1	1.500	24.000	72.000	+	864.000		25.1252
	3	1.430	24.000	68.640	+	823.680		25.1252
	4	1.372	11.000	30.184	+	166.012		12.1252
	7	1.176	9.000	21.186	+	95.256		10.1252
	8	0.784	9.000	14.112	-	63.504		10.1252
	10	0.588	11.000	12.936	+	71.148		12.1252
小 计				219.058		2083.600	1.1252	
II	6	8.820	13.0000	229.320	+	1490.580		7.8724
	10	0.588	12.1252	14.259	-	86.448		17.2273
	8	0.784	10.1252	15.876	-	80.375		15.2273
	9	0.980	0.0	0.0	+	0.0		-5.1021
小 计				259.455		1323.757	-5.1021	
N	5	1.470	13.0000	38.220	+	248.430		13.4590
	9	0.980	5.1021	10.000	-	25.511	Y 已变向	5.5611
	7	1.176	10.1252	23.814	-	120.563		9.6662
	4	1.372	12.1252	33.272	-	201.712		11.6662
小 计				105.306		-48.334	0.459	
I	主要通风机工况点		风压: $H_{\Sigma} = -5.383737 \times 24^2 + 188.2128 \times 24 + 992.9951 = 2409.07 \text{ Pa}$ 斜率: $a_{\Sigma} = -10.767474 \times 24 + 188.2128 = -70.207$					
	风量校正值		$\Delta Q_1 = -\frac{2083.6 - 2409.07}{219.058 - (-70.207)} = 1.1252 \text{ m}^3/\text{s}$					

续表

网 孔 号	分 支 号	风 阻 R $N \cdot s^3/m^8$	第 二 次 试 算					
			一次渐近风量 Q_1 m^3/s	$2R(Q_1)$	γ	二次渐近风压 RQ^2 Pa	风量校正 ΔQ m^3/s	二次渐近风量 Q m^3/s
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
I	1	1.500	25.1252	75.3756	+	946.9135		24.5794
	3	1.430	25.1252	71.8381	+	902.7246		24.5794
	4	1.372	11.6662	32.0121	+	186.7295		11.1204
	7	1.176	9.6662	22.7349	+	109.8801		9.1204
	8	0.784	15.2273	23.8764	+	181.7866		14.6815
	10	0.588	17.2273	20.2593	+	174.5066		16.6815
小 计				246.1164		2502.5409	-0.5459	
II	6	8.820	7.8979	139.3190	+	550.1636		6.9270
	10	0.588	16.6815	19.6174	-	163.6242		17.6522
	8	0.784	14.6815	23.0206	-	168.9884		15.6624
	9	0.980	5.5611	10.8998	-	30.3073		6.5320
小 计				192.8568		1817.2437	-0.9709	
IV	5	1.470	13.4590	39.5695	+	266.2827		13.0698
	9	0.980	6.5320	12.8027	+	41.8137		6.1428
	7	1.176	9.1204	21.4542	-	97.8137		9.5096
	4	1.372	11.1204	30.5141	-	169.6660		11.5096
小 计				104.3324		40.6087	-0.3892	
I	主要通风机工况点		风压: $H_{\Sigma} = -5.383737 \times 25.1252^2 + 188.2128 \times 25.1252 + 992.9951 = 2323.2571 \text{ Pa}$ 斜率: $\alpha_{\Sigma} = -10.767474 \times 25.1252 + 188.2128 = -82.3221$					
	风量校正		$\Delta Q_1 = -\frac{2502.5369 - 2323.2571}{246.1204 - (-82.3221)} = -0.5459 \text{ m}^3/\text{s}$					