

矿井通风网路的 电力模拟

中南矿冶学院
通风及安全教研组 編著



冶金工业出版社

252.6/

矿井通风网路 的电力模拟

中南矿冶学院
通风及安全教研组 編著

冶金工业出版社

矿井通风网络的电力模拟

中南矿冶学院

通风及安全教 研究 編著

冶金工业出版社出版（地址：北京市灯市口甲54号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第093号

冶金工业出版社印刷厂印 新华书店发行

— * —

1960 年 2 月第一版

1960 年 2 月北京第一次印刷

印数 2520 册

开本787×1092·1/32·46000字·印张2 $\frac{14}{32}$

— * —

统一书号 15062·2079 定价 0.29 元

內 容 提 要

这本小冊子主要介紹了如何利用电模拟方法解算矿井通风网路以及怎样設計和制造这种电力模拟计算机。其中論述了矿井通风网路及其解算的意义和办法，模拟計算方法的原理，模拟元件的实驗和选择，全套模拟计算机的設計以及解算通风网路的程序和方法；此外，还簡要地評介了国内外的这种模拟计算机。

这本小冊子适用于从事矿井通风安全工作的設計、研究人員、工程技術人員以及高等和中等专业学校的师生。

目 录

前 言	5
第一章 矿井通风网路电力模拟的基本原理	7
第一节 矿井通风网路中风流运动动力学	7
第二节 矿井通风机的工作及其性能	9
第三节 矿井通风网路的解算及其意义	11
第四节 模拟的理论基础及矿井通风网路电力模拟的原理	14
第二章 巷道风阻的模拟	20
第五节 非线性电阻用作巷道风阻的模拟元件	20
第六节 采用线性电阻元件作为巷道风阻的模拟元件	40
第三章 通风机的模拟	49
第七节 电源种类的选择	49
第八节 通风机模拟一直流电源诸参数的决定〔1〕	49
第九节 通风机模拟电源的设计	57
第四章 矿井通风网路电力模拟机的装置和实例	64
第十节 电力模拟机的造型	64
第十一节 模拟系数的确定	65
第十二节 量测仪表和解算误差	67
第十三节 非线性模拟机实例	68
第十四节 线性电力模拟机实例	70

前 言

根据党的建設社会主义总路綫的要求，我国的采矿工业和其它各个方面一样也必然地出現大跃进的局面，許多矿山相繼进行了扩建和改建；不断着手設計和建設新的矿山。矿井通风是地下采矿工作中劳动保护的一項极重要的措施必須相应地滿足生产要求。为了正确建立和整頓各矿通风系統，以便使工作地点能够获得足够的新鮮空气，就必须正确地进行通风計算。对于稍許复杂的通风网，采用現有的数学計算方法来計算相当繁瑣，有时甚至无法解算。电模拟方法是現今最好和最有成效的解算方法；随着計算技术和模拟方法的发展，这种方法已經在矿井通风网的計算領域中获得了应用。矿井通风网路电力模拟计算机，以不同的命題方式，可以幫助我們解决下列問題：

1. 选择和审查矿井通风系統方案（包括主要风道的布置和通风机設備的选择）。
2. 合理地选择和調整矿井通风机。
3. 多井口多台通风机及輔助通风机的合理选择，以及分析它們联合作业的合理性和稳定性。
4. 观察自然通风对矿井通风的影响（包括由于火災致使巷道气温升高而造成的“火負压”的影响）。
5. 計算全矿的自然分风量和通风系統的总风阻。
6. 灵活的管理和控制矿井通风。

这本小册子是在我們設計和試制了这种模拟机以及收集了国内外同类模拟机的技术資料的基础上編写的。其中比較

系統地從模擬原理、模擬元件的選擇到設計和製造作了必要的闡述；另外還提供了不夠成熟的經驗和意見。目的是希望礦山和設計機關認為必要時，能夠迅速地製出這種模擬機。書中沒有介紹較複雜的自動調整式的模擬元件。

對於比較好的國外的技術資料，例如通風機模擬電源參數的決定，我們採取了編譯的辦法，加入其中。

由於我們水平有限，同時在試制過程中，獲得的電工元件比較少，所以在內容上可能有錯誤和缺點以及不能滿足要求的地方，希望讀者給予批評和指正。我們謹以此書向偉大的建國十周年獻禮！

編 者

1959.9

第一章

矿井通风网路电力模拟的基本原理

第一节 矿井通风网路中风流运动动力学

矿井通风系统中各个巷道用线条来表示而形成的网路称为矿井通风网路。总的说来，通风网是由各个个别巷道、局部风阻物（巷道转弯、断面变化等处）、各个漏风风路以及通风机设备构成的，而且它们构成通风网路时，有着各式各样的联接方式。

通风风流以风量 Q 流过一段直的、断面不变而且支架形式相同的巷道时，由于巷道本身固有一种对风流运动的风阻

$R_{\text{摩}} = \alpha \frac{LP}{S^3}$ ，风流本身就要发生压力损失，其值由下式计算：

$$H_{\text{摩}} = \alpha \frac{LP}{S^3} Q^2 = R_{\text{摩}} Q^2, \quad (1)$$

式中 $H_{\text{摩}}$ —— 风流的摩擦损失，公斤/米²；

α —— 该巷道的摩擦系数，其值主要决定于巷道壁的糙度（支架形式），公斤·秒²/米⁴；

L —— 该段巷道长度，米；

P —— 该巷道横断面的周长，米；

S —— 该巷道的横断面积，米²；

$R_{\text{摩}}$ —— 该巷道的摩擦风阻，公斤·秒²/米⁶；

Q —— 流过該巷道的风量, 米³/秒。

在巷道轉弯或断面变化的地点, 除了有公式 (1) 所示的摩阻損失以外, 还有局部风阻的风压損失, 用下式表示:

$$H_{\text{局}} = \xi \frac{V^2}{2g} r = \frac{\xi r}{2gs^2} Q^2 = R_{\text{局}} Q^2 \quad (2)$$

式中 ξ —— 局部风阻系数, 其值决定于局部风阻的形式和规格, 无单位;

S —— 相应于 ξ 的局部风阻地点的巷道断面积, 米²;

r —— 空气的重率, 公斤/米³;

g —— 重力加速度, 米/秒²;

Q —— 流过它的风量, 米³/秒;

$R_{\text{局}}$ —— 局部风阻, 公斤·秒²/米⁸。

由于各种风阻和风压損失的单位相同, 对任何一条巷道而言, 总的风阻 R 和风压損失 H 可以用下式表示:

$$H = RQ^2 = R_{\text{摩}}Q^2 + R_{\text{局}}Q^2 = (R_{\text{摩}} + R_{\text{局}})Q^2 \quad (3)$$

如果巷道中风流速度很小, 以致风流运动的流态沒有达到紊流流态时, 則风压損失可用下式表示:

$$H = R_x Q^x \quad (4)$$

式中 x —— 风速 (风量) 指数, $1 \leq x < 2$, 取决于风流的雷诺数; 层流运动时, $x = 1$;

R_x —— 风阻, 公斤·秒²/米^{2+3x}。

除了漏风风流以外, 巷道中的风流运动一般都是紊流, 遵循公式 (3)。因此 (4) 式极少应用。

矿井中巷道的联接方式有串联、并联、角联、以及复杂联。当各巷道串联时, 总风阻

$$R = \Sigma R_i = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (5)$$

当巷道并联时，总风阻

$$R = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}} \right)^2} \quad (6)$$

至于角联和复杂联，其总风阻的计算是十分复杂的，必须逐步计算；而且当系统中存在复杂联的话，目前还无法求出其总风阻和各个风阻之间的数学关系式。

矿井通风网路中，流过各个巷道的风量取决于该巷道风流的压力损失和巷道本身的风阻。对于一个生产矿井和通风机以一定的转速运转而言，产生的总风量和各巷道的自然分风量的大小，既决定于通风机的性能，又取决于巷道系统的联接方式和各巷道的风阻。一般矿井巷道的联接方式都十分复杂，所以想用数学分析方法简便地求出各巷道的自然分风量，往往十分繁杂或者办不到。目前，还只有并联系统中各并联分支巷道的自然分风量的简便计算公式：

$$Q_i = \frac{Q}{\sqrt{R_i} \left(\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}} \right)} \quad (7)$$

式中

$$Q = \sum Q_i。$$

其他更复杂的网路的解算，都要用更繁杂的方法（图解法、各种渐近法、高等代数的方法以及应用电模拟方法等）。

第二节 矿井通风机的工作及其性能

在现代矿井通风网路中，用来产生空气运动的基本能源是通风机设备。承担整个矿井或矿井一翼的通风工作的通风机称为主要通风机；而只承担（用来加强）某一风路（或区

段) 通风工作的通风机称为辅助通风机^①。它们都参加在通风网内工作, 也就是它们以产生的静压来克服巷道的风阻。通风机进口与出口之间风流的压力差称为全压; 而上述有用的静压只是全压的一大部份, 还有一小部份是动压。即

$$H_{\text{全}} = H_{\text{静}} + H_{\text{动}} = H_{\text{静}} + \frac{v^2}{2g} \tau \quad (9)$$

通风机产生的静压 H 是其动转数 n 和风量 Q 的函数, 即 $H = f(n, Q)$; 当转速 n 一定时, H 仅是 Q 的函数, 即

$H = f(Q)$ 。这一关系一般都是用实验方法求出, 绘制在坐标为 $Q-H$ 的图上, 成为在某一转数 n 之下的 $H-Q$ 性能曲线, 如图 1 所示。

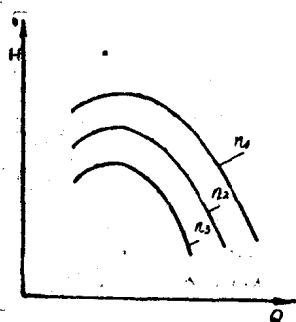


图 1 不同转数时的通风机特性曲线图

A. П. 格尔曼院士从各方面综合分析通风机的工作性能, 求出了下列通风机运转的相似定律:

1) 对同一通风机, 而

转数不同而言, 有:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (10)$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (11)$$

① 如果辅助通风机没有用风墙隔离进、出风口的话, 则不是以产生的静压来克服巷道风阻。

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \quad (12)$$

2) 对一组几何相似的通风机, 轉数相同, 而直径不同而言, 有:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 \quad (13)$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \quad (14)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 \quad (15)$$

3) 对一组几何相似的通风机, 当其轉数和直径均不同时, 有:

$$Q_{n_2 D_2} = \frac{n_2}{n_1} \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3 Q_{n_1 D_1} \quad (16)$$

$$H_{n_2 D_2} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 H_{n_1 D_1} \quad (17)$$

$$N_{n_2 D_2} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5 N_{n_1 D_1} \quad (18)$$

式中 Q_i 、 H_i 、 n_i 、 D_i 、 N_i —通风机产生的风量、靜压、轉数、动輪直径和功率。

第三节 矿井通风网路的解算及其意义

为要使得矿井的通风状况能够适应生产的要求, 通风网的解算具有頗大的意义。在新建矿井設計过程中, 一般都是采取計算总負压和进行风量調节 (平衡負压) 的办法来进行

計算。這種計算比較簡便。但是在生產礦井或準備擴建的礦井，生產實踐常常提出這樣一些問題需要解決：

1) 由於種種原因導致工作面地點變遷，或者各地的產量分配必須改變，或者生產規模稍要擴大等等；致使通風系統內部發生局部的改變以及各地所需要風量也與以往不同。當通風系統內部發生了局部的改變之後，就會一方面使全礦總風阻發生改變，因而原來工作的通風機產生的總風量也會發生改變；另一方面也會使網路中發生風量的重新自然分配。上述種種改變的結果，新的自然分風量能否滿足各地新的需要風量和風向？能否利用原有通風機照舊工作？或是需要調整主扇？或是需要改換新的通風機？這些問題都必須依靠通風網的解算來解答。

2) 當生產礦井需要擴建，致使要改變整個通風系統時，這時，一般都提出幾個通風系統方案，加以全面地比較而後決定。這也需要進行通風網的解算。

3) 當礦井有多台主扇或加上輔扇聯合作業時，為了分析它們聯合作業的合理性和工作穩定性，也必須進行通風網的解算。

所有上述問題的解決，一般可以採取兩種辦法：一種辦法是新礦井設計中採用的總負壓計算，即是以主觀要求風量作為出發點來計算的辦法；另一種辦法是計算客觀的自然分風量的辦法。其所以要用較複雜的後一種辦法，是因為力圖認識和掌握客觀規律，即力圖預先知道將來必然流過各地的風量的多少；掌握了這些客觀分風量，往往便於合理地調整通風系統和調整生產部署，因而也就有助於建立在技術上、經濟上和管理上都有利的通風系統。計算自然分風量時的已

知条件可能有两种：已知各地风阻和通风机性能；已知各地风阻和生产所需要的总风量，这时还须求出合适的通风机。

采用上述后一种解算办法的时候，对于稍微复杂一些的通风网，已经不能用上述公式（7）来解算了。因此必须采用其他方法。为了能够运用其他方法，我们首先列出下面两个最基本的定律：

1. 网络结点的风量代数和等于零，如图2所示，

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

$$\text{即 } Q_1 + Q_2 + Q_4 - Q_3 - Q_5 = 0$$

$$\text{或 } \Sigma Q_i = 0 \quad (19)$$

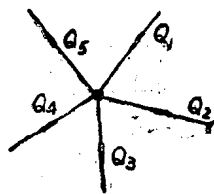
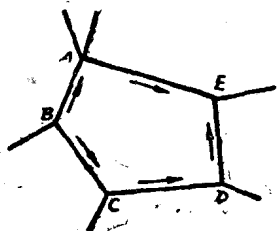
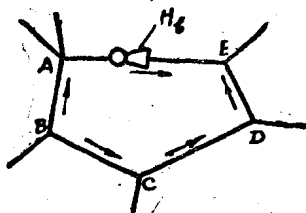


图2 网络结点图

2. 在闭合回路中，各风路的风压损失的代数和等于零，或者各风路风压损失的代数和等于闭合回路中通风机的静压的代数和。如图3a所示，即：



3) 回路中无通风机



6) 回路中有通风机

图3 闭合回路图

$$h_{BA} + h_{AE} - h_{DE} - h_{CD} - h_{BC} = 0, \text{ 或 } \Sigma h_i = 0 \quad (20)$$

对图3b而言为：

$$H_B = h_{BA} + h_{AE} - h_{DE} - h_{CD} - h_{BC}, \text{ 或 } \Sigma H_B = \Sigma h_i \quad (21)$$

这里要说明的一点就是，閉合回路中通风机产生的靜压之符号应取为与安装該通风机巷道的风压損失之符号相反。

至于这两条定律的正确性，公式 (19) 显而易见，无需論証。公式 (20) 和 (21)，只需从某一点起沿閉路繞行一周，写出各路的压力損失，它們的代数和必为零，因为任何一点的压力是单值性的，那么，从某一点出发，繞行一周又回到起点，其压力当然无增无減。

从此，我們就找到了通风网和电力网的相似之处，即是上述第一定律与基尔荷夫第一定律相似，上述第二定律与基尔荷夫第二定律相似。但是通风网与电力网仍然可能存在不同之外，就是：风路中风压損失与风量的平方有关，而电路中电压降是与电流的一次方有关。

从理論上来看，对于任何复杂的通风網路，有了上述两条定律，加上巷道阻力定律和通风机工作性能曲綫方程，就可以將它們联立起来加以解算，即是可以写出方程組

$$\begin{cases} H_i = R_i Q_i^2 \\ H_i = R'_i Q_i \\ H_i = f(Q_i) \\ \Sigma Q_i = 0 \\ \Sigma H_i = 0 \text{ (或 } \Sigma H_i = \Sigma H_n) \end{cases} \quad (22)$$

但是，在复杂網路中要解算方程組 (22) 是相当困难的，因为網路愈复杂，方程組 (22) 中的未知数即方程数愈多。因此晚近提出了电模拟方法。

第四节 模拟的理論基础及矿井通风網路

电力模拟的原理

所謂模拟就是一种現象的縮影或复制；或者是，一种現

象为另一种现象的比拟或模仿。

模拟可以分为数学模拟和物理模拟两类。物理模拟的意思是，模型和原型的区别主要只在于几何上大小不同；模型和原型中进行的过程，其物理本质完全一样。在矿井通风领域中，常见的物理模拟是用来研究巷道风阻系数的巷道模型，它们只是原型的精细缩影。利用物理模拟可以研究其中发生的现象的物理实质，研究所得结果可以直接应用到原型中去。

数学模拟与物理模拟不同，它的意思是，模型内进行的过程和原型内的过程，其物理本质不同，但是这两种物理本质不同的过程遵循同一形式的数学方程。也就是说，模型中实现的是另一种物理现象，不过这个现象和原型中的现象能用同一形式的数学方程描写出来。因此数学模拟的基础是类比，即是同一组数学方程，既可用来解决力学问题，又可用来解决电学问题，等等。正如列宁在“唯物论和经验批判论”中写道：“自然界的统一性在属于不同领域的现象底微分方程的‘惊人相似性’中显示出来”。^①这正是数学模拟的理论基础。

进行数学模拟时，常采用电的或机电式的模型，因为它便于控制、测量、设计和调整等等。它的作用就在于能够用来解算原型中过程的数学方程，以模型中表现出来的电的或机电的量值（电流、电压等，线位移、角位移等）表示方程的解算结果。

既然数学模拟的基础是这种“惊人的相似性”，因此，具体说来，相似论就是进行数学模拟的基础；对于解算通风

① 列宁：“唯物论和经验批判论”1953年人民出版社版，320页。

网的电力模拟（数学模拟）而言，其基本原理述之于下。

在上节中业已叙述，任何复杂通风网的风流运动动力状况都可用下列方程组（22）来表达

$$\left\{ \begin{array}{l} H_i = R_i Q_i^2 \\ H_i = R_i' Q_i \quad (\text{层流运动阻力定律}) \\ H_i = f(Q_i) \\ \sum Q_i = 0 \\ \sum H_i = 0 \quad (\text{或} \sum H_i = \sum H_E) \end{array} \right. \quad (22)$$

电力网络上的基尔荷夫第一、第二定律适用于通风网路；同时，大家知道，欧姆定律与层流运动阻力定律形式上相似；如果电网中又能够表现出在形式上与通风阻力定律相似的电压——电流方程 $v_i = K_i I_i^2$ ；电源的伏安特性 $v_i = f(I_i)$ 也能与通风机的性能方程相似的话，那末电力网络的电力现象就可用形式上与方程组（22）相似的方程组（23）来表达：

$$\left\{ \begin{array}{l} v_i = k_i I_i^2 \\ v_i = k_i' I_i \\ v_i = f(I_i) \\ \sum I_i = 0 \\ \sum v_i = 0 \quad (\text{或} \sum v_i = \sum v_E) \end{array} \right. \quad (23)$$

具体来说，为要真正使方程组（23）与（22）完全相似，以便能用电力网路模拟通风网路，从而在电模拟上测出的电力量值相当于通风的参数值，就必须具备下述相似条件：

1) 几何上相似：电力网路（电模型）中元件之间的连接情形要严格地相同于通风网构件的连接情形。如图 4a 和 4b，即一条巷道对应于一个电阻；一个通风机对应于一个电源；而且它们连接的几何图形相似。

2) 各相应元件和构件的性能上相似（即力学上相