

“火风压”理论及其应用

储 重 苏 编

焦 作 矿 院

1982、2

前

言

矿井火灾对煤矿的危害性，主要表现在两方面：

矿井火灾的烟流中含有大量的剧毒气体CO，因此，火灾烟流经过的地点中的人员将中毒受害，造成人员的伤亡；其次就是矿井火灾将造成资源、设备器材的损失。

矿井发生火灾以后，使某些巷道中的温度增高，改变了原有的热力状态，形成附加的自然风压，叫做“火风压”。由于“火风压”的作用，往往导致井下通风系统的紊乱，使事故扩大。

所以，在矿井火灾时期，对于矿山救护成员和指挥员来说，尤其对于矿井决策者和指挥者——矿长和总工程师来说，了解“火风压”的特性，掌握它的活动规律，是十分重要的。

本文是在1963年学习参考有关译著之后，在王省身付教授指导下编写的《矿内火灾》专题，81年在原有基础上又根据自己的体会为专题教学而摘编改写的，力求比较通俗易懂地阐述“火风压”理论及其活动规律，以供同志们参考。顺此向译著者和我的导师——王省身付教授表示感谢。限于自己的业务水平低，谬误之处欢迎同志们批评指教。

目 录

前言

一、“火风压”概念.....	1
二、“火风压”的产生.....	2
三、“火风压”的计算.....	2
四、“火风压”生成的地点.....	3
五、“火风压”的特性曲线表示法.....	3
六、“火风压”使风流逆转.....	4
七、寻找井下火源.....	11
八、井下火灾事故的处理.....	12

“火风压”理论及其应用

通风教研室 储重苏编

一、“火风压”概念

井下发生火灾时,火灾烟流经过的某些巷道内将出现“火风压”。什么叫“火风压”?为了说清这个概念,首先需要将矿井自然风压及其产生的原因与影响因素作如下的分析。

自然风压是利用进风侧与出风侧的温度差,和两井筒井口的标高差,以其能影响空气重率变化的其它因素所造成两井筒空气柱重量对各自底面积上产生的压力差,它是造成井下空气连续流动的动力之一。

如图1所示的平峒通风系统中,进风井口与出风井口标高差为Z米,由于井外空气柱DA和井内空气柱CB的温度不同,则空气柱的重率也就不同,因而两个空气柱的重量不等,即对各自的底面积上的压力不等,造成了A和B两点的压力差,使得空气流动。

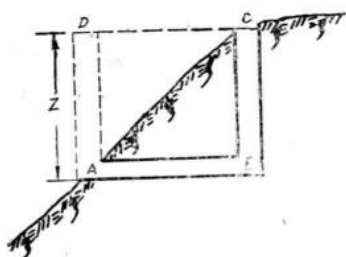


图 1

自然风压的测算:如图1以示的通风系统中,出风井口和进口的高差为Z米,该段地面的空气重率平均值为 r_1 公斤/米³,出风井筒内的空气重率平均值为 r_2 公斤/米³,则该矿的自然风压值,可用下式进行近似计算。

$$h_{\text{自}} = Zr_1 - Zr_2 = Z(r_1 - r_2) \text{ 公斤/米}^2 \quad (1)$$

由上述可见,欲求 $h_{\text{自}}$,关键在于测出各区段的测度Z值,而Z值一般为已知,空气重率r值按下式计算

$$r = \frac{0.465P}{T} \left(1 - \frac{0.378\varphi P_{\text{饱}}}{P}\right) \text{ 公斤/米}^2 \quad (2)$$

式中:

P: 空气的绝对压力,毫米水银柱;

T: 绝对温度, $T = 273 + t$, t为干温度计的读数 $^{\circ}\text{C}$;

φ : 相对湿度, %;

$P_{\text{饱}}$: 在温度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时,达到饱和能力的单位体积空气中水蒸气压力,毫米水银柱。可根据实测的温度 $t^{\circ}\text{C}$ 的数值查有关表而得。

由(2)式可知,其空气重率r的大小受空气的温度、压力和湿度的影响,空气重率和绝对温度T成反比,和绝对压力P成正比。即空气的温度越低,压力越大,湿度越小,则空气的重率越大。而温度是空气重率的主要影响因素。

当空气在 $t = 0^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 0$, $P = 760$ 毫米水银柱的标准状态下, 将各数值代入(2)式, 可计算出绝对干燥的空气重率 $r_{\text{干}} = 1.293$ 公斤/米³。

当空气在 $t = 15^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 60\%$, $P = 760$ 毫米水银柱的状态下, 将各数值代入(2)式, 求得矿内湿空气的重率为 1.2 公斤/米³。

空气重率可以简化用下边的近似公式进行计算:

$$r = 0.463 \frac{P}{T} = 0.463 \frac{P}{273 + t} \text{ 公斤/米}^3 \quad (3)$$

在实际工作中, 只需在进风, 出风井从井口到井底, 等间距设立若干测点, 分别测得各测点的空气压力和温度, 通过(3)式分别求得各测点的空气重率, 再算出进、出风井井筒内空气柱的平均重率, 则可通过(1)式求出矿井的自然风压值, 火灾使沿途井巷中的空气温度升高, 因而使得空气的重率 r 值变小, 火势越大, 巷道中的温度越高, 空气重率越小。

例如, 若 $P = 760$ 毫米水银柱, 湿度 $\varphi = 60\%$ 时, 在 P 值基本不变时, 当 t 分别为 15°C 、 50°C 、 100°C 、 150°C 、 200°C 、 500°C 、用(3)式可算出 r 值分别为 1.22 、 1.09 、 0.95 、 0.83 、 0.61 、 0.46 公斤/米³。

由此可知: 由于井下巷道中发生火灾后, 巷道中的空气温度急剧增加, 而引起巷道中空气重率的变小, 由于这种变化而产生的空气压力的增量即称为“火风压”。

二、“风火压”的产生

如图2所示, 若在1—3井筒的井底3附近发生火灾, 火灾的热流是向上的因而使得进风井筒内的空气重率变小, 这时进风井筒内空气重率平均值 r_1 (公斤/米³) 就会小于自6点到11点的回风线路空气重率平均值 r_2 , (公斤/米³)

即 $r_1 < r_2$, 正是由于火灾引起的这种变化, 因而产生了附加的风压叫“火风压”。

三、“风火压”的计算

若井深的垂高是 Z 米, 则所产生的“火风压”可用下式计算得:

$$h_{\text{火}} = Z(r_1 - r_2) \text{ 毫米水柱} \quad (4)$$

上式表明: 两井筒内的空气重率差越大, 垂高越大, 则所产生的“火风压”越大。

这时所产生的“火风压” $h_{\text{火}}$ 是反对主扇风压 $h_{\text{扇}}$ 的。

所以, 此时矿井总阻力 $h_{\text{阻}} = h_{\text{扇}} + h_{\text{火}}$ 毫米水柱。

例如在图2的3点附近发火, 使 $r_1 = 0.8$ 公斤/米³, 但 $r_2 = 1.2$ 公斤/米³, 若 $Z = 400$ 米, $h_{\text{扇}} = 150$ 毫米水柱, 则反对主扇风压的“火风压”

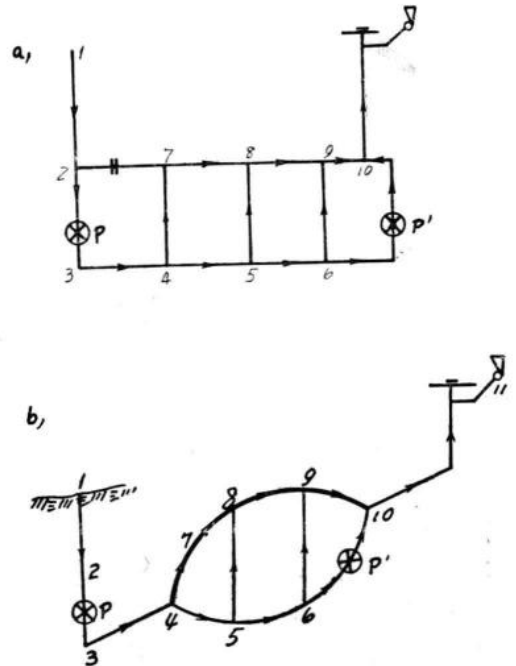


图 2

$h_{火}$ 为

$$h_{火} = 400(0.8 - 1.2) = -160 \text{ 毫米水柱}$$

这时矿井的总阻力为： $h_{阻} = h_{扇} + h_{火}$ 毫米水柱

$$h_{阻} = h_{扇} + h_{火} = 150 - 160 = -10 \text{ 毫米水柱}$$

则表明此时的“火风压”大于主扇风压，使全矿井风流反向。

若在6点（采区上山底部）发生火灾，高温气流使回风路线 $P' \sim 11$ 段的空气重率 r_2 变小。这时，因 $r_2 < r_1$ ，所以产生的“火风压”是帮助主扇风压的。

又例如图2中，在6点 P_1 处发火后，使 $r_2 = 0.8 \text{ 公斤/米}^3$ ，但 $r_1 = 1.2 \text{ 公斤/米}^3$ ，则帮助主扇风压的“火风压” $h_{火}$ 为

$$h_{火} = 400(1.2 - 0.8) = 160 \text{ 毫米水柱}$$

此时矿井总阻力 $h_{阻}$ 为

$$h_{阻} = h_{扇} + h_{火} = 150 + 160 = 310 \text{ 毫米水柱}$$

意思就是说，此时克服矿井通风总阻力的通风压力增大了。

四、“火风压”生成的地点：

由公式(4)可知，“火风压” $h_{火}$ 的大小，和 $(r_1 - r_2)$ 成正比，这就是说火势越大，温度越高，空气重率 r 越小，即空气重率的差值 $(r_1 - r_2)$ 越大， $h_{火}$ 越大；同时，“火风压” $h_{火}$ 还和流经热烟流巷道的起末两端点的高差 Z 成正比。 Z 越大， $h_{火}$ 值越大，但如火灾发生在水平巷道5—6之间时，5与6高差 $Z = 0$ ，则 $h_{火5-6} = 0$ ，所以说水平巷道内没有“火风压”。只有热烟流经过的垂直或倾斜巷道中才会出现“火风压”，而且“火风压”的方向总是向上的。

五、“火风压”的特性曲线表示法：

“火风压”的特性，同样可以表示在 $h \sim Q$ 的座标中，例如图3所示，发生在上行风流里P的火灾，在密闭通往火源的主要风路I和密闭旁侧风路II时所产生的“火风压”大小是不同的。

①密闭通往火源的主要风流后的“火风压”特性曲线

如图6所示，在 P_1 发生火灾，随着火势的发展，“火风压”增大，流入火源的风量增加；风量增加，“火风压”又更大。

如在通往火源的风流中 T_1 处建立密闭，则减少了向火源的供风，“火风压”也就随着供风量减少而下降。所以这种情况下：“火风压”的大小是和向火源供风量大小成正比。如图4所示。

②密闭旁侧风路时的“火风压”的特性曲线

在旁侧风流中进行密闭，密闭越多，则使矿井总风阻值增加越大，因而减少了矿井的总进风量，但是由于密闭了旁侧风流则流入火源的风量增加，“火风压”加大，所以说密闭旁侧风流后，随着矿井总

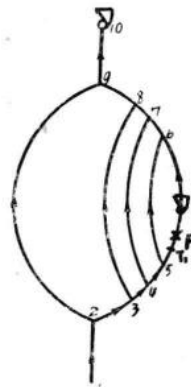


图 3

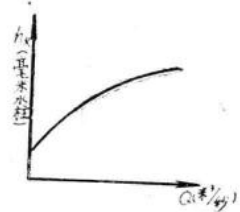


图 4

进风量减少，而“火风压”增大，如图5所示。

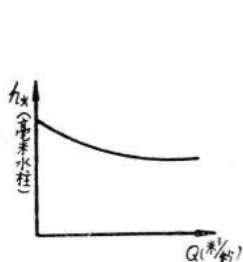


图 5

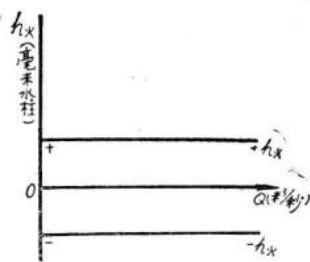


图 6

因此由上边分析可知，对于上行风流中的火灾，应尽快地在通往火源的风路中建立密闭，才能迅速控制火势的发展和降低“火风压”。

③ “火风压”的简易表示法

“火风压”实质上也是自然风压，所以可以象自然风压的特性曲线一样来表示“火风压”特性。

“火风压”的方向和扇风机风

压的方向一致时，“火风压”为(+)值，“火风压”的方向和扇风机风压的方向相反时，“火风压”为(-)。如图6所示。

六、“火风压”使风流逆转

火灾发生的初期，由于“火风压”比较小，所以火灾的烟流随着新鲜风流流动，巷道中的风流仍按原有的风流方向流动，但火灾进一步发展以后，“火风压”增大。“火风压”将起到一个“无形扇风机”的作用。当火灾发生在上行风流中，“火风压”和主扇风压一致，故能使矿井总进风量增加，并能导致与火源所在巷道并联的旁侧巷道的风流方向

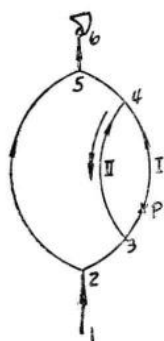


图 7

反向。如图7所示，如果对这一点不了解，或者认识不足。往往可能导致事故的扩大，因为如在I工作面P处发生火灾，人们往往认为与I工作面相距甚远的并与I工作面并联的II工作面是“安全”“可靠”的，是不受火烟侵害的。其实不然，当I工作面P处的火灾火势发展到一定程度后，由于“火风压”的作用，可以造成II工作面的风流逆转，烟流由4点流入工作面II，由此而造成II工作面人员的CO中毒伤亡，由于“火风压”的作用，导致II工作面的风流逆转，使得烟流反向后经3点又流向火源P，由于烟流中含具有爆炸性的气体，经过冷却和补充氧气后，再经火源就可能引起爆炸，尤其对于沼气矿井，风流逆转后的危险性就更加严重。

因此，对于井下火灾时期，在什么情况下风流才能逆转？如何才能防止火灾时期的某些巷道中风流方向逆转呢？对这两个问题的深入探讨，是具有十分重要的现实意义的，下边分两种情况来讨论：

1. 发生在上行风流中的火灾

现有上行通风系统如图8(a)所示，当火灾发生在上行风流中P处，如图8(b)所示，火烟是沿上行风流流动的，“火风压”的作用方向和通风系统中的总风压的方向一致，因此在主要进风流中的风流方向不变。但是在所有并联的旁侧巷道中的风流方向则有可能逆转。

下边讨论其逆转的条件

在图8(b)闭合回路中，在P处发生火灾，任取旁侧巷道b来讨论：以b巷道作为基准巷道，可用A—B将其分为 a_1 、 a_2 、 a_3 组成的内部系统； C_1 、 C_2 、 C_3 组成的外部系统，

图(8a)可以逐步简化为图8(d)

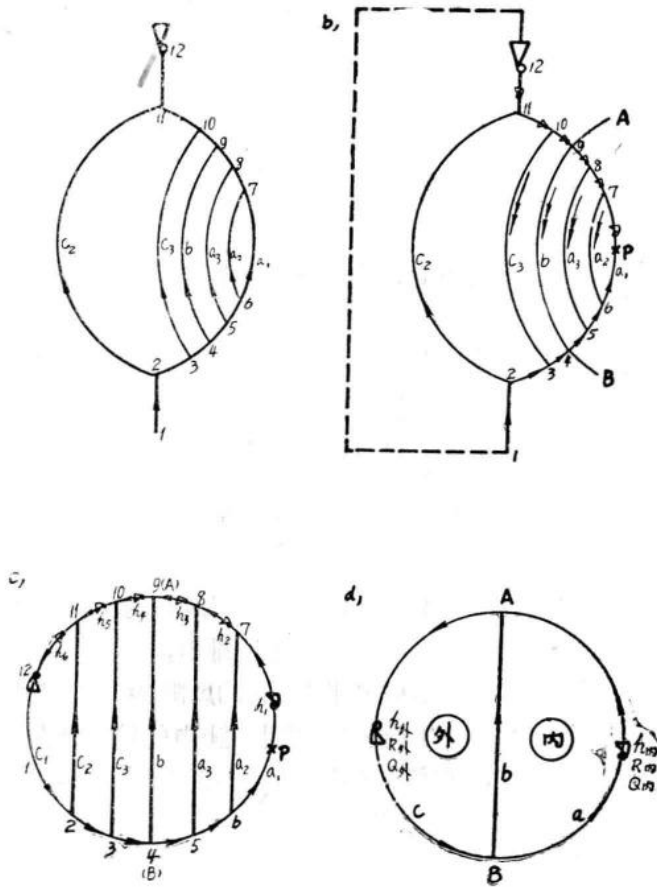


图 8

则有: $h_{内}$ —“火风压”, $h_{内} = h_1 + h_2 + h_3$;

$h_{外}$ —扇风机的风压 $h_{扇}$ 和外部系统中的局部“火风压” h_4 和 h_5 、 h_6 ;

$$\therefore h_{外} = h_{扇} + h_4 + h_5 + h_6;$$

$R_{内}$ —内部系统的风阻;

$R_{外}$ —外部系统的风阻;

R_b —巷道b的风阻。

在图8d中

(1) 巷道b中的风流方向不变。

则在回路CBbAC中

$$h_{外} = R_{外}Q_{外}^2 + R_b Q_b^2 \quad (5)$$

在总回路CBaAC中

$$h_{外} + h_{内} = R_{外}Q_{外}^2 + R_{内}Q_{内}^2 \quad (6)$$

以 $\frac{⑥-⑤}{⑤}$ 得

$$\frac{h_{内}}{h_{外}} = \frac{R_{内}Q_{内}^2 - R_b Q_b^2}{R_{外}Q_{外}^2 + R_b Q_b^2} < \frac{R_{内}Q_{外}^2}{R_{外}Q_{外}^2} < \frac{R_{内}Q_{外}^2}{R_{外}Q_{外}^2}$$

因为 $Q_{外} = Q_{内} + Q_b > Q_{内}$

故 $\boxed{\frac{h_{内}}{h_{外}} < \frac{R_{内}}{R_{外}}}$ (7)

(7)式表示的意义：即如(7)式成立，就能保证b巷道不反向逆转。如何才能保证(7)式成立呢？可通过下列途径：

(1)使 $h_{内}$ 最小，就是使“火风压”值最小，所以，在火灾发生以后尽快地设法减少或断绝向火区供风。迅速采取措施灭火，控制火势的发展，就可降低“火风压” $h_{火}$ ；

(2) $h_{外}$ 最大，意即在井下发生火灾以后，扇风机应保持正常的运转，保证风机风压值不要大幅度变小，不能轻易决定反风或停风；

(3) $R_{内}$ 应尽可能大，所以发生火灾以后，应尽快地在火源前边打上密闭，可大大减少向火区的供风，使 $h_{内}$ 下降，而且使 $R_{内}$ 值提高；

(4) $R_{外}$ 应尽可能小，这就要求我们在平时应加强回风道的维修工作，保证足够的通风断面，如此，才能保证在井下发生火灾时烟流迅速地排出。

从(7)式可知，对于可能要发生逆转的b巷道，它的风阻 R_b 在公式中不起作用。人们在处理矿井火灾时，当P处发生火灾，为了防止旁侧巷道b中的风流反向，常常误认为在b巷道中打上密闭就可以防止其逆转，但实践证明往往在b巷道中打上密闭，随着火势的发展，b巷道仍然发生了逆转，其道理就在此。

(2)风路b巷道中的风流停止流动

风路b巷道中的风流停止流动，即 $Q_b = 0$ ， $Q_{内} = Q_{外}$ 其必要条件推导如下：

在回路CBBAC中

$$h_{外} = R_{外}Q_{外}^2 \quad (8)$$

在回路aABa中

$$h_{内} = R_{内}Q_{内}^2 \quad (9)$$

(9)
(8)得 $\boxed{\frac{h_{内}}{h_{外}} = \frac{R_{内}}{R_{外}}}$ (10)

(3)风路b巷道为水平巷道，其风流反向

风路b巷道内的风流方向，由于“火风压”的作用发生反向逆转，即b巷道的风向改变为由A流向B。但因b巷为水平巷，故不产生“火风压”。故其反向必要条件为

在总回路aACBa中

$$h_{外} + h_{内} = R_{外}Q_{外}^2 + R_{内}Q_{内}^2 \quad (11)$$

在回路aABa中

$$h_{内} = R_{内}Q_{内}^2 + R_b Q_b^2 \quad (12)$$

$$\frac{(12)}{(11) - (12)} \text{得} \quad \frac{h_{\text{内}}}{h_{\text{外}}} = \frac{R_{\text{内}}Q_{\text{内}}^2 + R_b Q_b^2}{R_{\text{外}}Q_{\text{外}}^2 - R_b Q_b^2} > \frac{R_{\text{内}}Q_{\text{内}}^2}{R_{\text{外}}Q_{\text{外}}^2} > \frac{R_{\text{内}}Q_{\text{外}}^2}{R_{\text{外}}Q_{\text{外}}^2}$$

因为: $Q_{\text{内}} = Q_{\text{外}} + Q_b > Q_{\text{外}}$

$$\therefore \boxed{\frac{h_{\text{内}}}{h_{\text{外}}} > \frac{R_{\text{内}}}{R_{\text{外}}}} \quad (13)$$

如风路b巷道为非水平巷道, 其风流反向的必要条件:

如若b巷道为上行风流, 当该巷道反向以后, 则热烟流在该巷道中产生局部“火风压” h_b , 它的作用方向与烟流的运动方向相反, 如图9所示。

则在总回路aACBa中

$$h_{\text{内}} + h_{\text{外}} = R_{\text{内}}Q_{\text{内}}^2 + R_{\text{外}}Q_{\text{外}}^2 \quad (14)$$

在回路AbBa中

$$h_{\text{内}} - h_b = R_{\text{内}}Q_{\text{内}}^2 + R_b Q_b^2 \quad (15)$$

式中: h_b ——为上行风流巷道b在火灾时期风向逆转以后烟流在该巷道中产生的局部“火风压”。

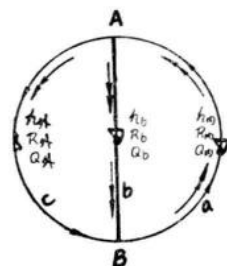


图 9

$\frac{(15)}{(14) - (15)}$ 得:

$$\frac{h_{\text{内}} - h_b}{h_{\text{外}} + h_b} = \frac{R_{\text{内}}Q_{\text{内}}^2 + R_b Q_b^2}{R_{\text{外}}Q_{\text{外}}^2 - R_b Q_b^2} > \frac{R_{\text{内}}Q_{\text{内}}^2}{R_{\text{外}}Q_{\text{外}}^2} > \frac{R_{\text{内}}Q_{\text{外}}^2}{R_{\text{外}}Q_{\text{外}}^2}$$

$$\therefore \frac{h_{\text{内}} - h_b}{h_{\text{外}} + h_b} > \frac{R_{\text{内}}Q_{\text{外}}^2}{R_{\text{外}}Q_{\text{外}}^2}$$

即

$$\boxed{\frac{h_{\text{内}} - h_b}{h_{\text{外}} + h_b} > \frac{R_{\text{内}}}{R_{\text{外}}}} \quad (16)$$

(16)式即为上行旁侧风路逆转的必要条件。

举例: 法国的一次火灾事故, 其通风系统如图10所示, 井下分为东翼和西翼两个风路, 一路经东翼工作面后, 经257M水平由I*风机抽出, 另一路由320M水平流向西翼工作面, 由II*风机抽出。

东翼曾在14个月前在P点发生火灾后一直被密封着, I*主扇停运, 14个月以后, 估计火区已熄灭, 准备恢复上述火区, 因而打开了东翼火区的密闭, 并开动I*主扇, 可是火区并未真正熄灭, 于是火灾又复燃起来了, 地面I*主扇司机发现风机抽出烟流, 在没有接到井下复燃报告也没有接到矿停运主扇的命令, 就立即又停止I*主扇, 在停I*主扇后4~5分钟后, 风流就恢复到原有的状态, 不久就在井底320M水平发现两个中毒的工人, 当送到地面后, 才知道通风系统已被打乱, 于是再进行井下检查, 在3—3'间的风门附近发现死亡一名工人, 在西翼距立井600M远的采区进风平巷中找到6名工人已死亡。

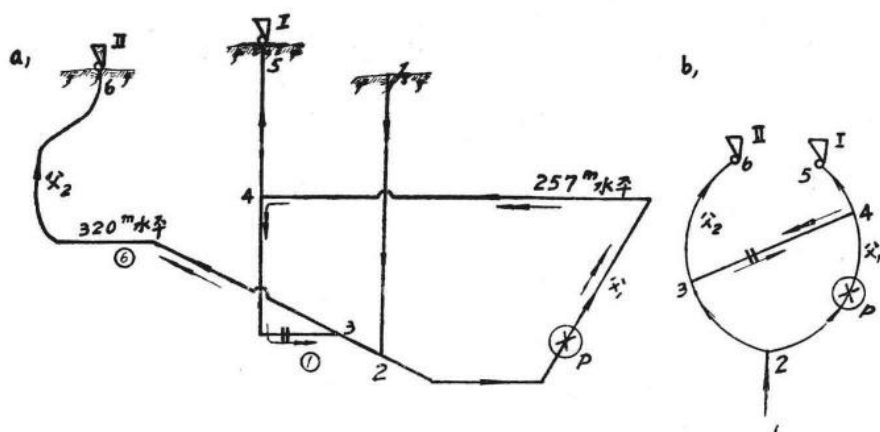


图 10

事后分析, 当 I * 主扇停止运转后, 就在 I * 立井底风流发生了反向, 因为井底 3—3' 之间的两道风门密闭性不好, 平时漏风较大, 当主扇 I * 停运后, 在 II * 主扇的作用下, 使 3—4 风流方向逆转, 烟流方向为 4→3。

因为以巷道 3—4 段来说, I * 主扇是外部系统的负压 $h_{外}$, I * 主扇停止运转就使得 $h_{外}$ 大大降低, 同时又打开了火区的密闭, 使得 $R_{内}$ 降低, 这就使得公式 (16) 式 $\frac{h_{内} - h_b}{h_{外} + h_b} >$

$\frac{R_{内}}{R_{外}}$ 得以成立。

从这一事故中, 使我们认识到, 在矿井火灾时期, 矿井主扇的控制和调度十分重要, 如一旦采取了错误的措施, 即使是短暂的, 也可导致风流的逆转, 而造成事故的扩大和不堪设想的后果。

2. 发生在下行风流中的火灾

在下行风流中如发生火灾, 或者烟流沿下行风路流动时所产生的“火风压”, 其作用方向与巷道中的风流方向相反, 当火势发展后, 在“火风压”的作用下, 发生逆转的是火源所在的主巷道, 随之烟流流入并联的旁侧巷道, 但却风流方向不改变。

例如: 有下行通风系统, 如图 11 所示, 在图 11b 中 P 处生火灾发。图 11(a) 的通风系统, 最后可简化为图 11d 所示。

下行风流中发生火灾, 情况要复杂得多, 现在分几种情况简述如下:

(1) 当 a 风流的方向仍按原方向, 同时 b 巷道中没有烟火通过, 如图 12 所示。

即 $Q_{外} = Q_{内} + Q_b$, $\therefore Q_{内} = Q_{外} - Q_b$, $\therefore Q_{外} > Q_b$, $h_b > 0$, $h_{外} > h_b$

从回路 cb 中得

$$h_{外} = R_{外}Q_{外}^2 + R_bQ_b^2 \quad (17)$$

从回路 ca 中得

$$h_{外} - h_{内} = R_{外}Q_{外}^2 + R_{内}Q_{内}^2 \quad (18)$$

$$\frac{7)}{(18) - (17)} \text{ 得 } \frac{h_{外}}{-h_{内}} = \frac{R_{外}Q_{外}^2 + R_bQ_b^2}{R_{内}Q_{内}^2 - R_bQ_b^2} \quad (19)$$

即

$$\frac{h_{\text{外}}}{h_{\text{内}}} = \frac{R_{\text{外}}Q_{\text{外}}^2 + R_b Q^2 b}{R_b Q^2 b - R_{\text{内}}Q_{\text{内}}^2} > \frac{R_{\text{外}}Q_{\text{外}}^2 + R_b Q^2 b}{R_b Q^2 b}$$

∴

$$\frac{h_{\text{外}}}{h_{\text{内}}} > 1 + \frac{R_{\text{外}}Q_{\text{外}}^2}{R_b Q^2 b}$$

$$\boxed{\frac{h_{\text{外}}}{h_{\text{内}}} > 1 + \frac{R_{\text{外}}}{R_b}}$$

(20)

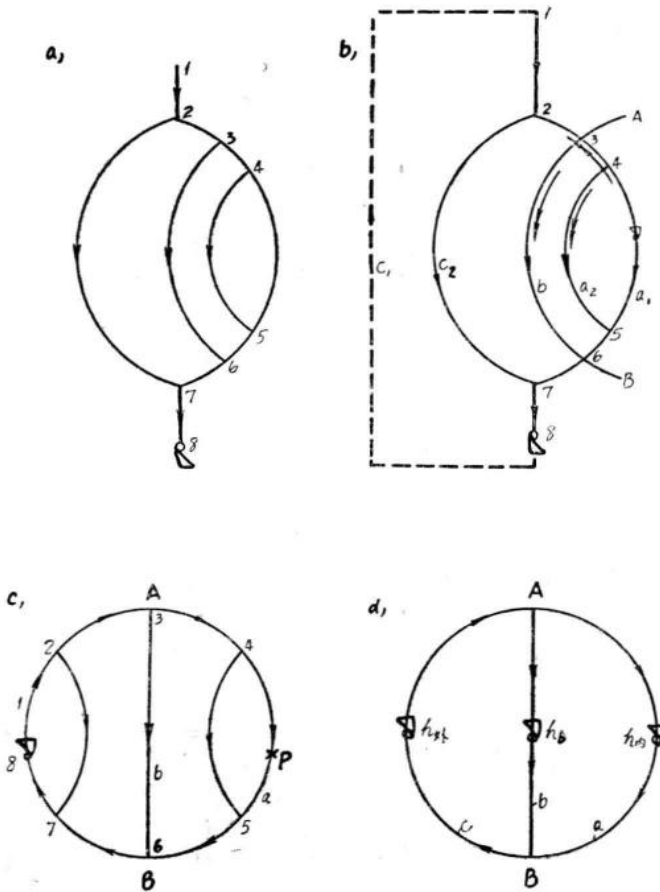


图 1-1

公式(20)就是保持风流a和b的正常流向的必要条件, 现分析该式的诸参数的影响:

① $h_{\text{外}}$ 尽可能大, 就是说当发生火灾后, 扇风机应保持正常的运转, 而不能轻意的决定停风;

② $h_{\text{内}}$ 尽可能小, 意即在井下发生火灾后迅速灭火, 最好采取直接灭火, 可使“火风压”降低;

③ $R_{\text{外}}$ 尽可能小, 意即在日常工作中维修好回风巷道, 保证回风道有足够的通风断面;

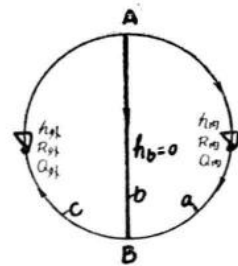


图 1-2

④ R_b 尽量大, 意即为了保持火源所在的主巷道的原风向不逆转, 可迅速关闭旁侧巷道 b 中的防火门或建临时密闭, 增大 R_b , 使矿井的风量大部分从主巷道通过, 如此可以防止主风流的逆转。

⑤ 从(20)式中可见, 在可能发生逆转的主巷道内增加阻力 $R_{内}$, 不起作用, 意即增大 $R_{内}$, 不能防止该巷道的逆转。

(2) 当风路 a 的方向已反向逆转

如图13所示, 当风路 a 的方向反向, 则火烟由 a 流入 b , 因此巷道 b 中会出现“火风压” h_b , 则 $h_{内} > h_b$, $Q_b = Q_{内} + Q_{外}$, $\therefore Q_b > Q_{外}$ 。

从回路 cb 中得

$$h_{外} - h_b = R_{外} Q_{外}^2 + R_b Q_b^2 \quad (21)$$

从回路 ab 中得

$$h_{内} - h_b = R_{内} Q_{内}^2 + R_b Q_b^2 \quad (22)$$

$$\frac{(21)}{(22)} \text{ 得: } \frac{h_{外} - h_b}{h_{内} - h_b} = \frac{R_{外} Q_{外}^2 + R_b Q_b^2}{R_{内} Q_{内}^2 + R_b Q_b^2} < \frac{R_{外} Q_{外}^2 + R_b Q_b^2}{R_b Q_b^2}$$

$\therefore Q_b > Q_{外}$, 故以 Q_b 代替 $Q_{外}$ 代入上式得

$$\frac{h_{外} - h_b}{h_{内} - h_b} < \frac{R_{外}}{R_b} + 1 \quad (23)$$

此式即为 a 风路逆转的条件式。

(3) 风流 a 按原方向, b 巷道反向

如图14所示。

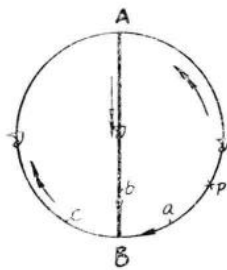


图 13

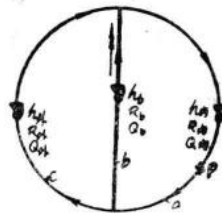


图 14

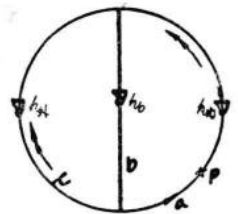


图 15

其条件式为:

$$\frac{h_{外} - h_{内}}{h_b - h_{内}} < 1 + \frac{R_{外}}{R_{内}} \quad (24)$$

(4) 外部系统 C 保持正常方向的条件式

如图15所示, 因为 $Q_b = Q_{外} + Q_{内}$, $Q_b > Q_{内}$

$$\frac{h_{内} - h_b}{h_{外} - h_b} < 1 + \frac{R_{内}}{R_b} \quad (25)$$

当 $h_b > h_{外} > h_{内}$ 时, 风流 b 反向, 风流 a 保持原有方向, 如图16所示的条件式为

$$\frac{h_b - h_{内}}{h_{外} - h_{内}} < 1 + \frac{R_b}{R_{内}} \quad (26)$$

(5) 当外部系统C出现逆转时的条件式

如图17所示, $Q_{外} = Q_{内} - Q_b$, $Q_{内} > Q_b$

$$\frac{h_{内} - h_b}{h_{外} - h_b} > 1 + \frac{R_{内}}{R_b} \quad (27)$$

(6) 外部系统里, 风流停滞的条件式

$$\frac{h_{内} - h_b}{h_{内} - h_b} = 1 + \frac{R_{内}}{R_b}$$

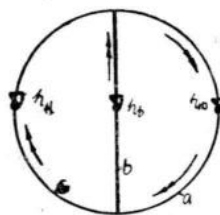


图 16

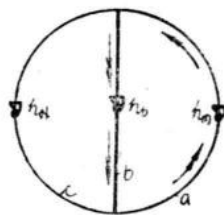


图 17

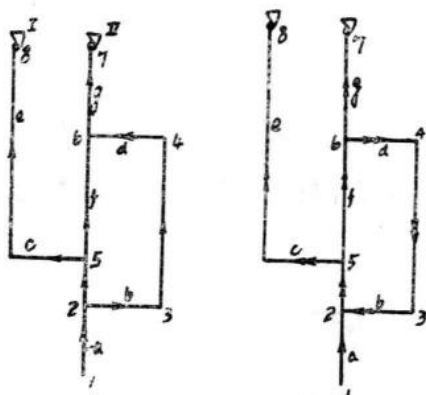


图 18

七、寻找井下火源

1、上行风流中的火源寻找方法

对于上行风流中的火源, 如果通风系统已经紊乱, 则应顺着进烟巷道去寻找火源。

举例: 如图18所示的通风系统中, 在某处发生火灾, 火灾初期, 火势不大时, 火烟将充满巷道 f 、 G , 而此时在巷道 a 、 b 、 c 、 d 、 e 中却没有烟流, 但当火势进一步发展后, 除巷道 a 中无烟流。其它巷道中都充满了烟流, 而且在巷道 b 和 d 中烟流

发生逆转, 那么火源在何处呢? 现分析如下:

(1) 如火源在 $2-5$ 间, 则在火源的后排烟巷道有 $5-6-7$ 和 $5-8$, 因而 b 和 d 巷道中烟流逆转的可能性不存在, 所以可以肯定火源不在 $2-5$ 间。

(2) 假定火源在 $3-4$ 间, 由于“火风压”的作用方向总是向上的, 所以说, 如果火源在 $3-4$ 间, 那么巷道 $3-4$ 中的烟流方向应为 $3 \rightarrow 4$, 而不会发生逆转, 所以, 可以同样肯定地说火源不在 $3-4$ 巷道中。

(3) 如若火源在 $5-6$ 中, 在“火风压”的作用下, 由 $6-7$ 巷道及 II 风机来不及排烟, 当 $P_6 > P_5$ 时, 在整侧风路 $6-4-3-2$ 中风向发生逆转, 在 I # 主扇的作用下, $5-8$ 也会充满烟流。

通过上述分析,可见火源在5—6巷道中。

又如图19所示的通风网络中,井下发生火灾以后,9—3和3—4两巷道的风向改变了,据此可判断火源可能在4—7,7—8,8—9中的任一个巷道内,但若8—6风路也发生逆转,根据这点,火源可能在6—7,7—8中,综合分析上述,就可以判断,火源在7—8巷道内的可能性最大。

2. 下行风流中的火源寻找方法

对于下行风流中的火源,应该迎着排烟的巷道去寻找。

如图20(a)所示的通风网络中,火源可能在5—3中;对于图20(b)的通风系统中,火源可能在6—5中;对于图20(c)所示的通风网络中,火源可能在6—4中。

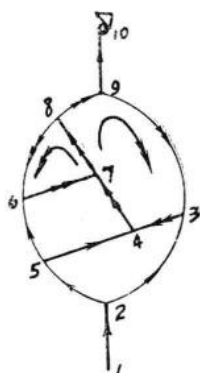


图 19

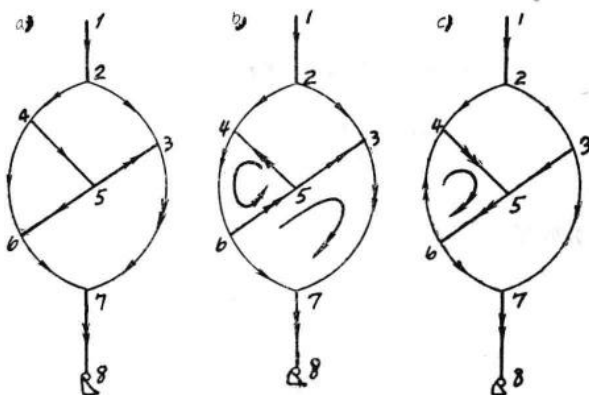


图 20

八、井下火灾事故的处理

举例:某矿通风系统如图21所示,在西翼工作面的下顺槽P处由于明火引起火灾,试作如何处理?

1. 火势发展后,哪些地点出现“火风压”?

凡是烟流经过的倾斜巷道或垂直巷道中产生“火风压”,所以在P处发火,将在10'—11', 12—13、14—15中产生“火风压”。

2. 四个工作面人员是否受到威胁,若可能受害,各撤退路线?

工作面 α_1 中的人员首先受到威胁,所以,应迅速撤退工作面中的人员,对于工作面下部的人员,在火灾初期时,可以迅速穿过P点,即到火源的上风侧,就可撤到9—8段安全地带;对于工作面上部人员,应迅速从工作面的上风巷11—12撤到12—11经11—10—9撤到9—8段。

工作面 α_2 中的人员,在火灾初期还是安全的,但当火势发展以后,在“火风压”的作用下,旁侧风路9—10—11—12中的风向将发生逆转,危及工作面 α_2 的人员安全,所以当发现P处发生火灾时,就应及时通知工作面 α_2 中的人员撤到9—8安全带。

3. 此时I[#]、II[#]风机如何调度?

此时对于矿井主要扇风机,尤其对于有两台以上运转的主扇,当井下发生火灾时,一定要正确调度,如调度错误,必将导致事故扩大。

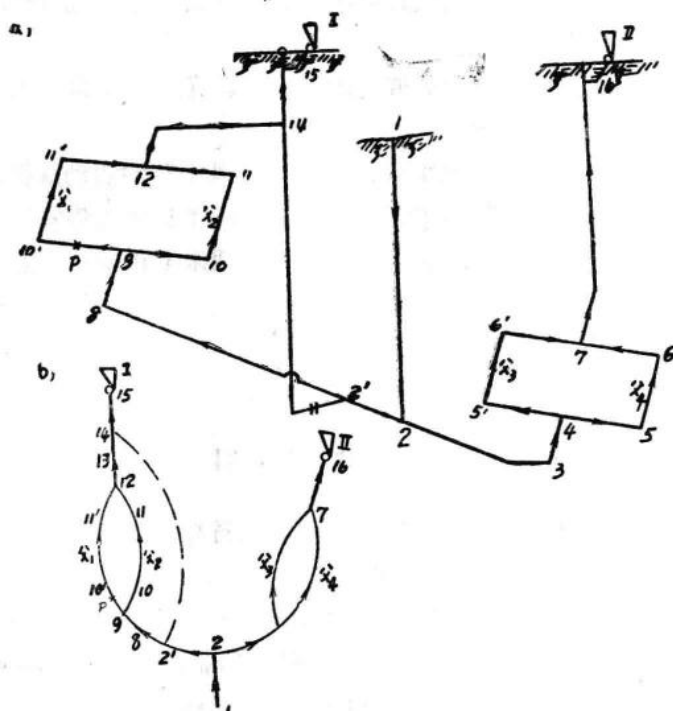


图 21

例如：在 I 号风机正常运转的情况下，对于工作面 α_3 、 α_4 的人员是安全的，但是当 P 处发生火灾后，如错误地决定停止 I 号风机，或使 I 号风机反向，而 II 号风机照常运转，就有可能将火灾烟流抽到工作面 α_3 、 α_4 中，此时该两工作面的人员将受害。

此时，比较安全、可靠的措施，应让 I 号风机照常运转，II 号风机可以照常运转，但如若将 II 号风机停止运转，对于保持井下风流的正常流向更有可靠性。

必须指出的，对于多风机的矿井，当井下发生火灾时，对于排烟的风机，切不可轻易决定停风或反风，否则将导致井下风流的紊乱。

4. 如何控制火势的发展？

为了控制火势的发展，首要的是减少或断绝向火源供风。所以当发现在 P 处发生火灾时，最初发现的人，应立即采取直接灭火措施，迅速扑灭火灾，若火灾不能及时扑灭，当火势发展后，为了控制火势，应尽快在火源 P 处上风侧建立风障和临时快速密闭，以减少或断绝向火源供风。

5. 在 9—10 之间加一密闭，能否防止 9—10—11—12 工作面风路的风流逆转？

在 P 处发生火灾，人们为了防止工作面 α_2 的风向逆转，往往误认为，在 9—10 之间密闭就可以了，其实不然，事实上在 9—10 之间建立密闭不能防止工作面 α_2 的风向逆转。因为在 9—10 之间建立密闭后，就必然加大向火源的供风，火势进一步发展，所以反而促使了工作面 α_2 风路的风向逆转。

九、 结 语

井下发生火灾后，在烟流流经的倾斜巷道、垂直巷道中产生“火风压”，在“火风压”的作用下，能使井下某些巷道的风向发生逆转，导致井下风流紊乱，往往使得远距火源的某些巷道中的人员受害伤亡。

井下发生火灾后，对于多台主扇的调度比较复杂，尤其对于排烟的主扇，切不可轻易停风或反风，不然将导致事故扩大。

井下发生火灾后，产生了“火风压”，掌握“火风压”的活动规律，同时将矿井通风系统绘制成通风网路图，这样一旦井下发生火灾，就能预计到火势发展后的各种可能性，所以对“火风压”的活动规律进行探讨，对于火灾时期采取正确而有效的措施是十分有利的。

参 考 资 料

- 1.北京矿院学报57年第二期，1958年第二期 王省身译文
- 2.矿井火灾与爆炸 戚颖敏译文手稿1963年
- 3.矿井火灾灾变通风理论及其作用，戚颖敏编，煤炭工业出版社1978年
- 4.矿内火灾 苏·A·A·斯阔成斯基等 煤炭工业出版社 1958年
- 5.矿内火灾专题 储重苏编 焦作矿院函授部印64年