

# 矿井火灾时期的主扇控制

——“火风压”对矿井主扇性能之影响的理论分析

储 重 苏 编

焦 作 矿 院

1982、2

## 目 录

|                          |   |
|--------------------------|---|
| 一、矿井火灾对主扇工作状况的影响作用.....  | 2 |
| 二、矿井火灾对离心式主扇的影响及其控制..... | 5 |
| 三、矿井火灾对抽流式主扇的影响及其控制..... | 7 |
| 四、风峒中的火灾对主扇的影响.....      | 8 |
| 五、结语.....                | 9 |

# 矿井火灾时期的主扇控制

## ——“火风压”对矿井主扇性能之影响的理论分析

焦作矿院

储重苏 编

为了保证矿井的正常生产,就必须依靠矿井主扇将新鲜空气送入井下。以提供人们呼吸所必需的新鲜空气和创造良好的劳动条件。有人将矿井主扇比拟为矿井的“肺脏”,由此可见矿井主扇的重要作用。因此,保证矿井主扇在正常情况下以及在灾变情况下都能安全可靠地运转是具有十分重要的意义。

在灾变时期,如果矿井主扇的工作状况受到灾变的影响或破坏,就必然使事故扩大,或者使事故的处理变得更加困难甚至不可能。尤其在矿井火灾时期,由于“火风压”的作用,将使矿井主扇的工作状况发生很大的变化。“火风压”对矿井主扇产生那些影响作用?以及火灾时期矿井主扇如何根据不同的具体条件进行控制等等?这些,将是本文探讨的中心问题。限于水平,请同志和批评指正。

本文在中国矿院黄元平教授拟定的提纲和提供素材的基础上,并在他指导下编写的。顺此表示感谢。

### 一、矿井火灾对主扇工作状况的影响作用

#### 1、矿井火灾使空气重率 $r$ 发生变化

空气重率  $r$  按下式计算

$$r = \frac{0.465P}{T} \left( 1 - \frac{0.378\varphi P_{\text{饱}}}{P} \right) \text{公斤/米}^3 \quad (1)$$

空气重率  $r$  它可用下式近似计算

$$r = 0.463 \frac{P}{T} = 0.463 \frac{P}{273 + t} \text{公斤/米}^3 \quad (2)$$

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,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\varphi$ —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,毫米水银可根据实测的温度  $t^{\circ}\text{C}$  的数值查表得。

从公式中可知空气重率和温度成反比。和绝对压力成正比,其中温度是空气重率的主要因素。

井下发生火灾时,高温的火烟能使火源的下风侧沿途温度升高,因而使沿途的空气小,火势越大,温度越高,空气重率  $r$  越小。

例如：当  $P = 760$  毫米水银柱， $t = 15^{\circ}\text{C}$ ，用(2)式可求得矿内湿空气的重率为  $1.22$  公斤/米<sup>3</sup>；

如  $P$  不变，当  $t = 100^{\circ}\text{C}$  时， $r = 0.95$  公斤/米<sup>3</sup>；

当  $t = 200^{\circ}\text{C}$  时， $r = 0.61$  公斤/米<sup>3</sup>。

## 2、“火风压”的产生

假设某矿在正常情况下，自然风压至甚微可忽略不计，但由于火灾时空气的重率  $r$  变小，因而产生火灾时期的自然风压的增量叫做“火风压”，“火风压”的方向始终是向上的。

如图 1 所示，若在进风井筒 A 点发生火灾。高温的烟流使进风风筒 1—A—2 中的空气重率平均值  $r_1$  变小，此时进风风筒内的空气重率平均值  $r_1$  小于

6—7—8—9—11—12 回风路线的空气重率平均值  $r_2$ ，并且在此条件下，火灾所产生的“火风压” $h_{\text{火}}$  是反对主扇风压  $h_{\text{扇}}$  的。

设井口至井底的垂高是  $Z$  米，则所产生的“火风压”可用下式进行近似计算。

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

上式表明：火势越发展， $t$  越高， $r_2$  越

小，进回风侧的空气重率差  $(r_1 - r_2)$  值越大，且垂高越大则所产生的“火风压”越大。

例如：已知： $Z = 200$  米， $h_{\text{扇}} = 150$  毫米水柱， $r_2 = 1.2$  公斤/米<sup>3</sup>，在进风井筒内发生火灾后，使  $r_1 = 0.7$  公斤/米<sup>3</sup>。则此时，反对主扇风压的“火风压”的火风压  $h_{\text{火}}$  为：

$$h_{\text{火}} = 200(0.7 - 1.2) = -100 \text{ 毫米水柱}$$

因为“火风压” $h_{\text{火}}$  是反对主扇风压  $h_{\text{扇}}$  的，故此时矿井通风总阻力：

$$h_{\text{阻}} = h_{\text{扇}} + h_{\text{火}} = 150 + (-100) = 150 - 100 = 50 \text{ 毫米水柱}$$

或者说，此时主扇风压中需用 100 毫米水柱的风压来抵消“火风压” $h_{\text{火}}$  的反对作用，主扇剩余的风压才是用来克服矿井阻力的。

如图 1 所示，假如在采区上山底部 6 点发生火灾，则高温的火灾烟流使回风路线 6—7—8—9—11—12 段的空气重率  $r_2$  变小，则有  $r_1 > r_2$ ，此时所产生的火风压方向是与主扇风压方向一致的，是帮助主扇风压的。

例：已知： $Z = 200$  米， $h_{\text{扇}} = 150$  毫米水柱， $r_1 = 1.2$  公斤/米<sup>3</sup>，如在采区上山底部 6 点发生火灾后，高温烟流使  $r_2 = 0.7$  公斤/米<sup>3</sup> 此时产生的“火风压” $h_{\text{火}}$  是帮助主扇风压的。

$$\text{则 } h_{\text{火}} = 200(1.2 - 0.7) = 100 \text{ 毫米水柱}$$

因为此时产生的“火风压”是帮助主扇风压的。则此时矿井通风总阻力为

$$h_{\text{阻}} = h_{\text{扇}} + h_{\text{火}} = 150 + 100 = 250 \text{ 毫米水柱}$$

或者说，此时克服矿井通风总阻力的通风压力增大了。

## 3、矿井火灾对矿井总风阻的影响

井下发生火灾后，使得矿井总风阻  $R$  降低。因为巷道的摩擦风阻  $R$  用下计算。

$$\text{即} \quad R = \frac{\alpha \cdot L \cdot P}{S^3} \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^8} \text{即千缪} \quad (4)$$

$$\text{而} \quad \alpha = \frac{\lambda \cdot r}{8g} \frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4} \quad (5)$$

式中:  $\alpha$ —摩擦阻力系数,  $\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4}$ ;

$L$ —巷道长度, 米;

$P$ —巷道断面的周长, 米;

$S$ —巷道的断面积, 米<sup>2</sup>;

$r$ —空气重率, 公斤/米<sup>3</sup>;

$\lambda$ —达西系数, 决定于管道粗糙度, 无因次;

$g$ —重力加速度, 米/秒<sup>2</sup>

所以, 由上述二式可知: 井巷的风阻  $R$  和摩擦阻力系数  $\alpha$  成正比, 而  $\alpha$  又和空气的重率  $r$  成正比。故  $R$  和  $r$  成正比。

由前述已知: 火灾时期, 井下高温烟流经过的巷道中的空气重率  $r$  变小, 则高温烟流经过的巷道风阻值必然变小, 因而导致矿井的总风阻变小。也就是说火灾时矿井的风阻曲线会下降而变得平缓些。火势越大, 波及面越广, 则风阻曲线变得越平缓。如图 2 所示, 图 2 中  $R_1$  是某矿火灾前的风阻曲线;  $R_2$  是井下发生火灾时的风阻曲线;  $R_3$  是井下火灾火势进一步发展后的风阻曲线。

#### 4. 矿井火灾对主扇性能的影响作用

井下发生火灾时能使主扇的性能发生变化。

扇风机的风压 ( $h$ ) 和功率 ( $N$ ) 都和通过扇风机的空气重率  $r$  成正比。所以, 在火灾时, 热的烟流进入主扇, 则由于热气流的重量  $r$  小, 致使主扇的风压和功率都相应变小。也就是说进入主扇的空气质量重率变小时, 主扇的特性曲线和功率特性曲线都相应变低。如图 3 所示的, 1 和 2 分别为火灾前主扇的风压特性曲线和功率特性曲线, 3 和 4 分别是当井下发生火灾后热烟流通过主扇时的风压特性曲线和功率特性曲线。

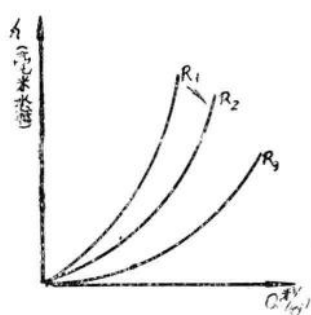


图 2

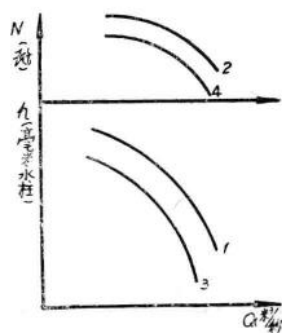


图 3

## 二、矿井火灾对离心式主扇的影响及其控制

### 1、火源在上行风流中

如图1所示的,在采区上山底6处发生的火灾,是上行风流中的火灾。所产生的“火风压” $h_{火}$ 是帮助主扇风压的。

如图4所示。火灾前:矿井自然风压很小,可略而不计。 $a$ 是矿井离心式主扇的风压特性曲线; $b$ 是该主扇的功率曲线; $R_1$ 是该矿井的总风阻特性曲线,则此时扇风机的工作点为①,功率为 $N_1$ 瓩。

火灾时期:“火风压” $h_{火}$ 可近似用直线 $C$ 表示,“火风压”是帮助主扇风压的;故 $h_{火}$ 为正值,“火风压” $h_{火}$ 的特性曲线 $C$ 和主扇风压曲线 $a$ 按等风量条件下风压相加的原则可画出 $a$ 和 $c$ 的联合特性曲线 $d$ 。

由于火灾的影响使空气重率 $r$ 变小,如此时矿井的风阻 $R_2$ 降为 $R_2$ ,则②点是联合工作点,(2')是主扇的工作点,此时扇风机的功率 $N_2$ 瓩;

如若火势进一步发展,矿井风阻曲线降为 $R_3$ ,则③点是联合工作点,而主扇的工作点为(3'),表明此时主扇仍在照常运转,但其风压为零。这时井下空气的流动完全依靠“火风压” $h_{火}$ 的作用。此时

$$\text{有 } h_{火} = R_3 Q_3 \quad \text{则 } R_3 = \frac{h_{火}}{Q_3^2} \quad \text{千 穆} \quad (6)$$

此式为井下发生火灾后,主扇风压为零的判别式,即③式成立,表明主扇仍在运,但却不起作用。

如风阻再下降,当风阻下降到 $R_4$ ,则 $R_4 < R_3$ 则当 $R_4 < \frac{h_{火}}{Q_3^2}$ 时,主扇工作点④在第IV象限,主扇的风压值为负值,表明此时主扇的工作风压成为通风的阻力,对排除矿井火灾烟流极不利,尤其当此时对应的功率或 $N_4$ 值增大。如果功率超过主扇电动机的最大功率时,电动机就会烧坏。所以“火风压”越大,联合曲线越高,矿井风阻越小,曲线越平缓,扇风机的工作点越偏左偏低,所对应的功率越大,则烧坏电动机的可能性越大。

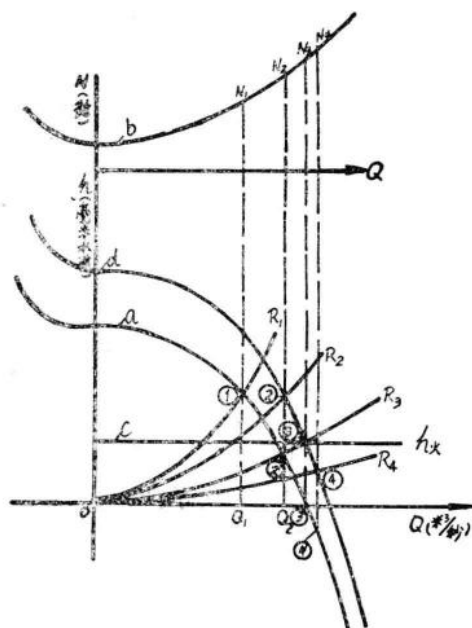


图 4

在此情况下,应立即设法增加矿井总风阻 $R$ 值,才可避免烧毁主扇并维持主扇正常工作。

随着火势进一步发展,“火风压”增大,在“火风压”的作用下,流向火源的风量增加,可以使流向火源的巷道中的风速提高,使煤尘飞扬,因而可能引起煤尘爆炸。

当“火风压”增大时，R值大幅度降低，使主扇风压变为负值，此时应下放离心式扇风机前边的闸门，以增大矿井阻力，提高R值，即可防止烧毁电动机。为了控制火势的发展，首先应在火源前边迅速打临时密闭，减少向火源供风，即可降低“火风压”

如果火灾发生在井下分支的上行风流中，根据具体情况需要主扇反风时，由于此时的“火风压”是反对反风时的主扇风压的，所以“火风压”对主扇反风不利。如图5所示，当“火风压” $h_{火}$ 不大时，以C直线表示，如离心式主扇反风前后的风压曲线a和功率曲线b变化不大，反风前后的矿井总风阻曲线是 $R_2$ ，故用a和c按等风量，而风压相减的原则画出联合曲线d，则发火后，反风前的工作点是②，而③则是发火后，反风时的工作点。此时虽然能够反风，但反风后的风量和功率都变小了（ $N_3 < N_2$ ）和发火前的功率 $N_1$ 相比，变化也不大，故不会烧坏电动机。

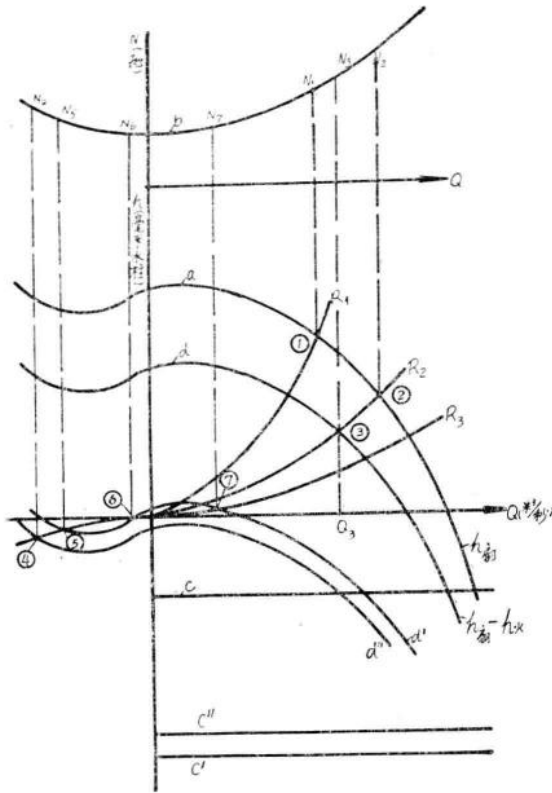


图 5

的，故 $h_{火}$ 为负值，如图5所示，a为离心式主扇特性曲线，b为功率特性曲线； $R_1$ 是火灾发生前矿井的总风阻特性曲线，如火灾前的矿井自然风压 $h_{自}$ 很小，可忽略不计，则①点即为火灾前的扇风机的工作点，功率为 $N_1$ 瓩，风量为 $Q_1$ 米<sup>3</sup>/秒。火风压为负值，用直线C表示，c和a按等风量，风压相减的原则，可得联合特性曲线d，此时火势不大，风阻曲线变为 $R_2$ ，这时的联合作业工作点为③，则有 $N_3$ 瓩和 $Q_3$ 米<sup>3</sup>/秒。

从②和③点可见，此时的风量和功率变化都不大，故不会烧坏电动机。但若火势发展后，“火风压”增大为C'或C''，联合曲线变为d'或d''，如风阻曲线变为 $R_3$ ，则工作点为④或⑤、⑥、⑦。而④、⑤、⑥三个工作点的风量是负值，这表明在“火风压” $h_{火}$ 的作用

当火风压 $h_{火}$ 较大时，例如当 $h_{火} > h_{扇}$ 主扇最大风压 $h_{扇}$ 大时，则主扇反风不能实现，若以反风后的风量为正，则反风前的风量为负，此时矿井风阻曲线为 $R_3$ ，“火风压”以C'直线表示，联合曲线为d'，则工作点为④，其风量是负的，这表明：开动了主扇的反风设备，但风流却反不过来，此时的功率变化不大，不会烧坏电动机。但风量大幅度降低，所以应防止瓦斯积聚和爆炸。

当 $h_{扇} < h_{火} < h_{扇}$ 大时， $h_{扇}$ 为主扇风量是零时的风压，若风阻曲线是 $R_3$ ，“火风压”以直线C'表示，联合曲线d'，则有三个工作点为⑤、⑥、⑦，而且其中⑤、⑥两个工作点的风量是负值，因而在此情况下风量一会儿是正的，一会儿是负的。这表明：开动主扇反风设备后，风量极不稳定，而且很小。

## 2、火源在下行风流中

如在图1所示，在进风井筒内发生火灾，所产生的“火风压”是反对扇风机风压

下主扇虽仍在照常运转，但扇风机却不向外出风，反而成为进风口，表明风流反向了。并从⑤、⑥、⑦三点可见工作点极不稳定，并且有两个工作点⑤、⑥的风量是负值。

如火灾发生在井下分支的下行风流中。当火势发展后，在“火风压”的作用下，火源所在的下行风流有可能反向，并导致烟流侵入旁侧的下行风路中去。

例如进风井筒内发生火灾，其“火风压”是反对主扇风压的，但却是帮助反风风压的。所以，此时“火风压”对反风有利。但需注意：在“火风压”较大时进行反风，功率会迅速增加，需防止烧坏电动机。

### 三、矿井火灾对轴流式主扇的影响及其控制

#### 1、在上行风流中发生火灾时

如图1所示的，在采区上山口⑥处发生火灾其产生的“火风压”是帮助主扇风压的如图6(a)所示，a为轴流式主扇的风压特性曲线，b为功率曲线， $R_1$ 为矿井发生火灾前

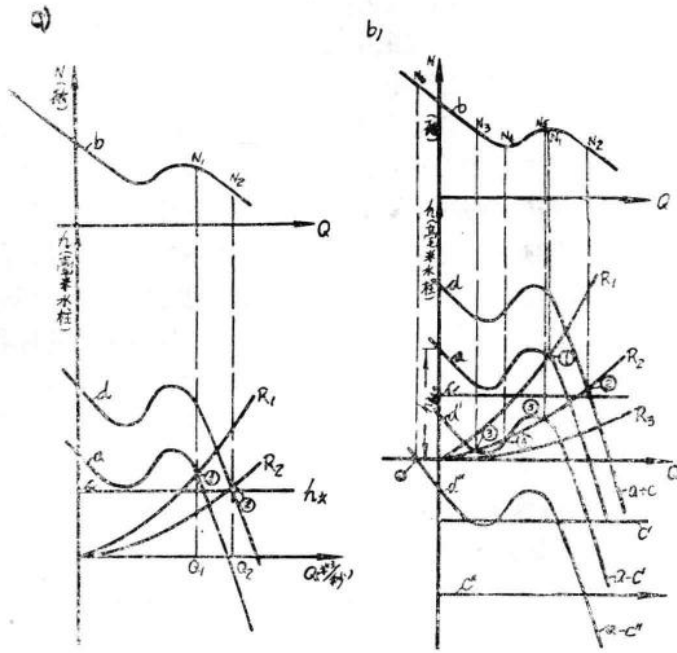


图 6

的总风阻曲线，发生火灾前矿井的自然风压很小，忽略不计。①是扇风机的工作点，功率为 $N_1$ 瓩，发生火灾后，风阻曲线降为 $R_2$ ，火风压以C直线近似表示，则a+c的联合曲线为d，所以②是联合作业的工作点，功率降为 $N_2$ 瓩，不会烧坏电动机（这点与离心式主扇不同。）但随着“火风压”的增大，火区进风量增加，所以应注意防止煤尘飞扬与爆炸。

如果火源发生在井下分支的上行风流中，根据具体情况需进行矿井主扇反风的话，因为上行风流中的火灾所产生的火风压是和主扇风压是一致的，是帮助主扇风压的，但却是反对主扇反风时的风压的，所以此时“火风压”对主扇反风是不利的。

如此轴流式主扇是用反风绕道的方法进行反风，反风前后该主扇的风压和功率曲线假如变化不大以图6(b)中的a和b表示该主扇的风压和功率曲线，反对反风风压的“火风压”以

$C'$  直线表示, 则  $a-c'$  的联合为  $d'$ , 由于火灾的高温改变了巷道中的空气重率  $r$ , 而使得风阻降为  $R_2$ , 这时,  $R_2$  和  $d_1$  有三个交点, 即有③、④、⑤三个工作点, 所以在此情况下风量和功率不稳定, 时大时小。

若当火风压  $h_{火}$  值大于  $Q = 0$  时的扇风机风压  $h_{扇}$  时, 例如“火风压”  $h_{火}$  为  $C''$  时, 风阻降为  $R_2$  时, 此时的联合作业曲线为  $d''$ , 工作点⑥, 即风量是负值, (若以反风后的风量为正), 这表明: 主扇反风不成, 而且矿井总风量大大减少, 需注意防止瓦斯积聚与爆炸; 而且功率增到为  $N_6$  瓩, 应防止烧坏电动机。

对于上述情况下的火灾, 首先应采取有效的方法迅速灭火; 同时迅速设置调节风门或建临时密闭, 减少或遮断进入火源的风量, 即可大大削弱“火风压”; 如需主扇反风, 就及早进行; 为了防止反风后风量不稳定, 必要时可使风流短路, 以降低矿井总风阻; 为了防止反风后风量大小不稳定或反不过来, 在条件可能的情况下, 可迅速加大电动机的转数。

## 2. 在下行风流中发生火灾时

如图 1 所示的发生在进风井筒中的火灾, 所产生的“火风压”是反对主扇风压的。

如图 6 b) 所示,  $a$  和  $b$  分别为轴流式主扇的风压和功率曲线,  $R_1$  是火灾前后矿井总风阻曲线, 如果火灾前矿井的自然风压很小, 可略而不计, 则①是火灾前的扇风机工作点。当进风井筒中发生火灾后, 反对主扇风压的“火风压”以  $C'$  直线表示,  $d'$  是联合曲线, 风阻曲线  $R_2$ , 则有③、④、⑤三个工作点, 此时主扇的风量和功率都不稳定。当“火风压”  $h_{火}$  比  $h_{扇}$  大时, “火风压”值以  $C''$  直线表示, 风阻曲线变为  $R_3$ , 联合曲线是  $d''$ , 则工作点是⑥, 这时风量是负的, 这表明主扇在照常运转并未启动反风设备, 但井下风流却反向了, 并且反向后的风量甚小, 而功率却增加很大, 此时应防止烧坏电动机。

由于此情况下的“火风压”是帮助主扇反风的, 所以对主扇反风有利。如图 6 b) 所示,  $a$  和  $b$  分别是该轴流式主扇反风前后的风压和功率曲线,  $R_1$  是发火前后的矿井风阻曲线则发火前的工作点是①, 功率是  $N_1$  瓩, 风量是  $Q_1$  米<sup>3</sup>/秒, 如  $C$  直线为反风后的“火风压”  $h_{火}$ , 则  $d$  为反风后的  $h_{火}$  和  $h_{扇}$  (即  $a + c$ ) 的联合曲线,  $R_2$  是反风时的风阻曲线, 则反风后的工作点为②点, 功率变小为  $N_2$  瓩, 风量大到  $Q_2$  米<sup>3</sup>/秒, 由于功率变小, 反风时不会烧坏电动机, 但由于风量变大, 要注意防止煤尘的飞扬、爆炸。

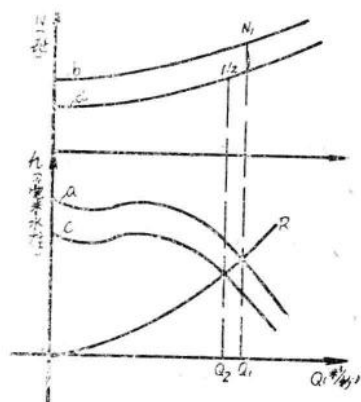


图 7

针对上述情况, 在积极灭火的同时, 要设置调节风门, 以减少向火源供风, 从而削弱“火风压”, 为了防止风量大幅变小、风量不稳定并防止风流自动反向。在可能的条件下, 可加大电机的转数。反风后, “火风压”帮助反风风压, 在“火风压”较大的情况下, 如图 7 所示, 总进风量增加, 必要时可在进风流中设置调节风门或风障, 以增加矿井总风阻, 或调整主扇前导器叶片的角度, 使主扇特性曲线变低, 控制总风量, 防止流向火源的巷道中煤尘飞扬、引起爆炸。

## 四、风峒中的火灾对主扇的影响

当主扇附近风峒中发生火灾, 高温气流进入主扇, 因高温气流的重率变小, 而重率和主扇的风压与功率都成正比, 所以主扇 (离心式或轴流式一样) 的风压和功率曲线都会降低, 而矿井的风阻曲线则

变化不大。如图7所示, a和b分别是主扇正常状态下的风压和功率曲线, c与l分别是主扇排出高温气流时的风压和功率曲线, R是矿井总风阻, 风峒P的火灾, 对R影响甚微, 可忽略不计, 可认为R不变。所以在火灾发生之前, 主扇的工作点为①, 风量是 $Q_1$ 米<sup>3</sup>/秒, 功率是 $N_1$ 瓩, 当火灾发生后主扇排出高温气流时的工作点为②点, 风量降低为 $Q_2$ 米<sup>3</sup>/秒, 功率减少到 $N_2$ 瓩, 这种情况下不会烧坏电动机, 但需注意防止风量大幅减少的后果。

如果火灾发生水平巷道中, 例如图1的4—5段中, 由4、5两点高差为零, 故据公式(3)可知 $h_{火4-5} = 0$

## 五、结论

矿井发生火灾后, 井下空气温度升高, 使得井下空气重率 $r$ 值变小, 因而使矿井总风压值下降。由于空气重率 $r$ 的变小而产生了“火风压” $h_{火}$ 。火源在水平巷中, 或热烟流经过的水平巷道中则不产生火风压; 只有火源在垂直、倾斜的巷道中或热烟流经过的垂直、倾斜巷道中才产生“火风压”。“火风压”的方向总是向上的。所以, 火源在上行风流中, 还是在下行风流中, 则“火风压” $h_{火}$ 对主扇风压的影响作用就不一样。在上行风流中, “火风压”是帮助主扇风压的; 如火源在下行风流中, “火风压”则是反对主扇风压的。

对于离心式主扇, 在井下上行风流中发生火灾时, 由于“火风压” $h_{火}$ 的作用, 功率 $N$ 值大大增加, 所以应防止烧坏电动机; 如需进行反风时, 应及时反风, 否则晚了, 有可能反风不成。离心式主扇, 在下行风流中发生火灾, 如需主扇反风时, 由于反风后“火风压” $h_{火}$ 和反风风压一致, 因此在反风时也应注意防止功率急增, 烧坏电动机。为了防止火灾时期离心式主扇的功率急增, 而烧坏电动机, 可在火灾时期将闸门下放到适当的位置, 以增加矿井阻力, 改变工况, 保护电动机。

对于轴流式主扇, 在井下上行风流中发生火灾的, 应注意防止在“火风压”的作用下, 井下风量剧增, 使风速超限吹起煤尘, 引起煤尘爆炸。如需反风时, 就及早反风, 免得晚了, 反不成, 还有功率剧增, 烧坏电动机的可能, 为了防止反风时风量不稳定, 必要时使风流短路, 或加大主扇的转数。而在下行风流中发生火灾时, 当“火风压” $h_{火} > k_{扇} 0$ 时, 主扇照常运转但井下风流反向, 反向后的总风量很小, 而功率剧增, 有烧坏电动机的危险。

据上述分析可知, 生产矿井根据具体情况, 事先作出井下发生火灾的各种可能性的应急措施, 对于火灾时期主扇控制就可避免盲目性, 对于正确处理火灾具有十分重要的现实意义。

## 参 考 资 料

- 1、北京学报57年第二期, 58年第二期 王省身译文
- 2、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78年
- 3、煤炭译丛 64年第11期
- 4、矿内火灾专题 储重苏编 焦作矿院函授部印64年

