

# 地下巷道风流逆转理论及其在安全疏散与灭火扑救中的应用

13  
101-110

黄恒栋

(华中理工大学建筑工程学院 武汉 430074)

TU111.1  
TU834

**A 摘要** 地下建筑起火后, 地下巷道风流在热风压与火风压共同作用下, 造成某些支路风流方向与原来未起火前的方向相反流动(即风流逆转), 从而导致整个地下建筑巷道火烟弥漫, 妨碍地下人员撤向地面的安全疏散和地面消防人员进入地下火场灭火扑救。作者根据地下通风网络的通风理论推证出在通风网络中某些支路风流发生逆转的可能性及其逆转条件, 并据此条件提出防治其逆转的技术措施。

**关键词** 地下通风, 通风网络, 巷道风流, 安全疏散, 灭火

**中图法分类号** TU111.1, TU834

## 1 风压源作用下支路风流方向的确定

1) 在地下通风网络中, 如果各支路风流在单一的压源作用下流动时, 那么, 在正常连接(串联和并联)的分支风路里, 其风流方向便能完全确定, 而且与风路中其它支路风流的风阻和风压大小无关 如图1所示。

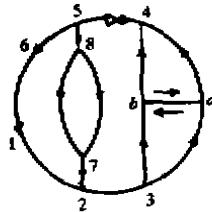


图1 单一压源分支路风流方向确定

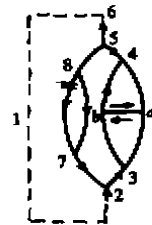


图2 角联分支路风流方向不确定

2) 如果在通风网络中, 附加了角联分支路时。例如  $a$ 、 $b$  分支风路。(图2)即使在单一压源作用下, 角联分支风流因其相邻分支风路的风阻比值不同。 $a$ 、 $b$  支路的风流方向不确定。

3) 当在一个正常连接的不同分支风路中。如果有两个压源作用(如图3)时, 则在此两压源作用方向一致的那些分支风路的风流方向是完全确定的, 即  $a$ 、 $b$ 、 $d$ 、 $f$  诸个支风路中, 风流方向完全确定, 而且  $e$ 、 $c$  两分支风路中, 由于两压源作用方向相反, 风流方向不能确定。它

收稿日期: 1994-06-16

黄恒栋: 男, 1937年生, 副教授

国家自然科学基金资助项目。

取决于风压大小,又取决于分支风路的风阻。

当风流方向与给定压源作用方向一致时,称为相对于压源的正流。反之称为反流。

在图 4 所示通风系统中,  $c$  和  $e$  中的风流具有确定方向。相反  $a$ 、 $b$ 、 $d$ 、 $f$  风流方向变化不定。

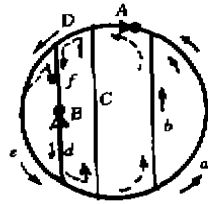


图 3 两个压源方向一致

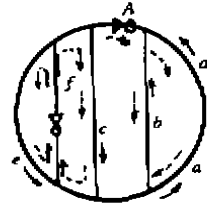


图 4 向压源方向相反

在第一种情况下(图 3),在有压源作用的分支风路中,风流  $d$ 、 $f$  将是相对于两个压源的正流;此类系统特点是两个压源作用方向一致;在第二种情况下(图 4),系统特点是两压源作用方向相反。

当两压源作用方向一致时(图 3),只有在包含压源的闭合回路  $aDBC'$ 、 $bADBC'$  具有完全确定的方向,这些风路称为通风系统的主干风路,流经这种风路的风流称为主干风流。所有其它风流称为旁侧风流。

由上述可知,当主干风流方向确定不变时,两压源方向也必然一致;当两压源方向不一致时,旁侧风流反而具有固定不变的流动方向。

在风流方向不定的分支路中,当两压源大小和风量参数一定时,它们的流动方向才能确定。此时,该风流方向称为正流。

当某分支风路停滞时,两压源之比称为临界比值。

4) 在通风系统中,若有两个以上压源,同时作用在并联支路中时(图 5),要使压源方向一

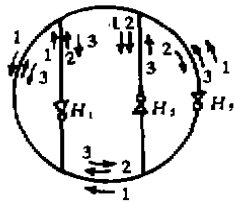


图 5 并联支路中几个压源同时作用

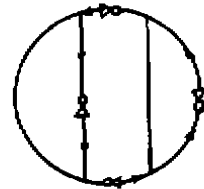


图 6 几个压源方向一致

致,毫无可能。只有当多个压源同时作用在同一风路中(主干风流)中(图 6),才可能出现作用方向一致。

当地下建筑巷道发生火灾时,一方面由于在高温火烟所流经的路程上,要出现一些局部火风压,从而引起风流变化。另一方面,也由于火源附近火烟体积膨胀,也能引起风流变化。下面,首先讨论仅限于火风压对风流的影响。然后,再附加火烟体积膨胀对风流的影响。

如果火灾发生在上行风路里,或者高温火烟流经上行风路,火风压方向与系统总热风压

方向必然一致。即从火源流向出风口的风流(主干风流),将具有完全确定的方向,而且不会反向(图 7)。所有其它风流即从主干风流分出去的且在火源前,还连通主干风流的风流(旁侧风流),则可能逆转。

如果主干风路的风压作用方向不一致时,则主干风流方向不确定,且视热风压与火风压大小,可能部分或者全部逆转(图 8)。

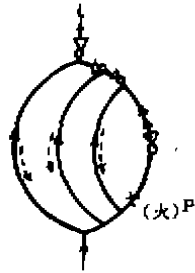


图 7 上行风流中起火,旁侧风流逆转

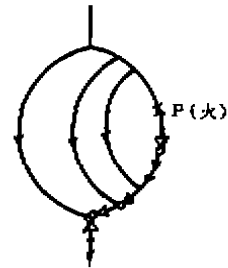


图 8 下行风流中起火,主干风流可能逆转

根据以上论述,地下建筑火灾,有三种基本类型(依在上,下行风路起火,及其压源方向一致与否):

- (1) 上行风流中的火灾(热风压与火风压作用方向一致,即火焰流动与总热压方向一致)
- (2) 下行风流中的火灾(热风压与火风压作用方向相反,即:  $h_{\text{热}} < h_{\text{火}}$ , 火焰流动方向与总热风压方向相同)。
- (3) 下行风流中的火灾(热风压与火风压作用方向相反,即  $h_{\text{热}} > h_{\text{火}}$ , 火焰流动方向与总热风压方向相反)。

## 2 分支风路的联人和切断对其风阻的影响

当联入一风流方向与整个通风系统风流方向相同的分支风路时,则将使该通风系统的等积孔增大、总风阻便减小。同时,该网络中的风量必然增加(设风压不变)。同理,当隔断一个风流方向与整个系统的风向相同的分支风路(即密闭该支路)时,则将会增大整个系统的风阻。

现考察已知的反向分支风路 A D C(如图 9 所示),同时,保持系统的风压不变。

设

- $r_0$ ——表示 A 点前和 C 点后系统的总风阻
- $r$ ——系统中 A B C 部分的风阻
- $R_0$ ——分支风路 A D C 联入前该系统的总风阻
- $Q_0$ ——分支风路 A D C 联入前流经该系统的风量

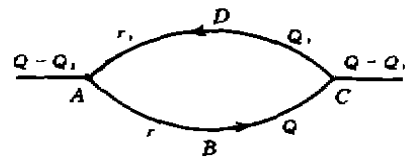


图 9 反向正常支路联入系统内图示

量

则联入前该系统 A C 点的风压:

$$h = (r_0 + r) Q_0^2 = R_0 Q_0^2 \tag{1}$$

将风量为  $Q_1$  且沿着 CA 方向流动的分支风路 ADC 联入上述系统后,若在新系统中的 ABC 部分流经的风量为  $Q$  时,则流经整个新系统的风量  $Q - Q_1$ , 此时有

$$h = r_0(Q - Q_1)^2 + rQ^2 \quad (2)$$

若令  $R_1$  为新系统的合成风阻, 则有:

$$h = R_1(Q - Q_1)^2 \quad (3)$$

由式(1)和式(2)得:

$$(r_0 + r)Q^2 = r_0(Q - Q_1)^2 + rQ^2 > (r_0 + r)(Q - Q_1)^2 \quad \therefore Q > Q - Q_1 \quad (4)$$

使方程(1)和(3)右边相等则有:

$$R_0 Q^2 = R_1(Q - Q_1)^2 \quad (5)$$

由式(4), 式(5)有:

$$R_1 > R_0 \quad (6)$$

即当系统风压恒定时, 并联入一个反向风流的分支风路时, 则将使系统的总风阻增大。相反, 从通风系统中隔断一个反向风流分支风路时, 则该系统总风阻减小。同理, 并联入一个同向分流分支风路时, 则系统的总风阻减小。相反, 从通风系统中隔断一个同向分支风路时, 则系统总风阻增大。

依据上述原理。倘使在地下建筑的相互并联的诸巷道中, 如果巷道均为水平巷道, 即使在其中一个分支巷道中发生火灾, 火烟不会弥漫其他的分支巷道中。此时, 地下人员可安全疏散到这些分支巷道之中。这些巷道中的风阻愈大, 则安全疏散和避难愈安全, 同时, 也便于地面消防人员由进风口进入未起火的这些分支巷道, 沿上风并联结点处进入火灾区分支巷道进行扑救。而且可将各未起火巷道两端的防火门关闭, 增大这些分支巷道的风阻, 以确保这些分支巷道更为安全。

由此, 地下建筑巷道, 应尽量设计成诸并联分支风路组成的地下空间, 以保证地下建筑发生火灾后, 安全疏散和避难, 以及顺利地灭火扑救。但是, 由于功能需要, 而往往设计成复杂的分支风路巷道时, 应当确保为安全疏散和避难, 巷道的风流方向, 在发生火灾时不能逆转, 否则, 将会造成火烟弥漫, 危及地下人员生命安全。

下面, 就上行和下行风流中发生火灾时, 分支风路风流方向的逆转进行讨论。

### 3 上行风流系统中起火时其风流方向及判别条件

由上所述通风系统中热风压与火风压的作用方向一致时, (例如在上行风流中发生火灾, 图 10 所示), 则通过上述压源的主干风流, 将具有完全确定的方向。同时, 每条旁侧风流的方向取决于上述两压源相互大小以及分支风路风阻大小。

在什么条件下, 能使流经任意并联分支风路的风流, (例如  $b$  支路路风流, 图 10a) 保持正常流向或逆流转? 当通风系统为正常连接(由串并联支路组成)时, 为使该系统具有普适性, 则假定通风系统是由一些具有正常风流支路和反向风流支路所构成(图 10a), 此处所谓正常风流和反向风流均相对于热风压的方向而言的。

由上述讨论可知: 在该系统中, 主干风路具有确定的方向。而所有局部火风压在此主干风路中其作用方向与热风压方向一致, 其它旁侧风路的方向由各风源大小和支路风阻大小而确

定:

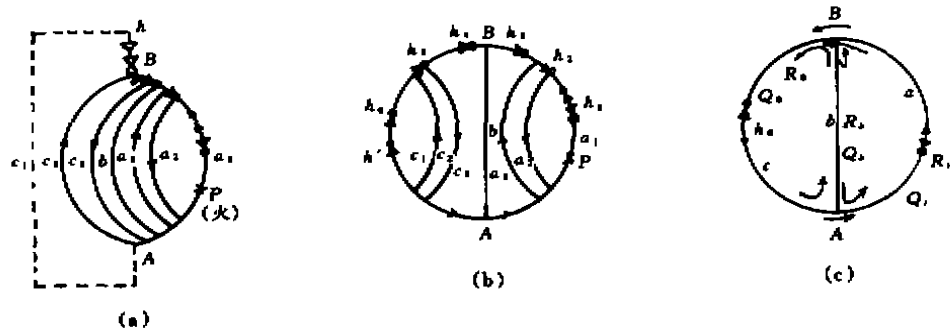


图 10 上行风流中起火时的系统风路结构图

以所研究的风流方向的  $b$  风路为界 ( $AB$ ) 可将系统分成两部分, 内部分系统 (右) 和外部分系统 (左), 设  $h_1$  等于内部分系统各局部火风压 ( $h_1, h_2, h_3$ ) 之和,  $h_0$  为外部分系统风压之和 (即为热风压  $h$ 、局部火风压  $h_1, h_2, h_3$  之和),  $R_1$  为内部分系统合成总风阻;  $R_0$  为外部分系统合成总风阻;  $R_b$  为分支风路  $b$  的风阻, 则由此有如图 10 所示的风流结构图形式。

沿闭合回路  $cAB$ , 沿闭合回路  $cAaB$ , 有压降方程:

$$h_0 = R_0 Q_0^2 + R_b Q_b^2 \quad h_0 + h_1 = R_1 Q_1^2 + R_b Q_b^2$$

上述两方程相减并除以第一方程, 则得风  $b$  具有正向流动 ( $AB$ ) 所需条件:

$$h_1/h_0 = (R_1 Q_1^2 - R_b Q_b^2) / (R_0 Q_0^2 + R_b Q_b^2) < R_b Q_b^2 / R_0 Q_0^2 < R_b Q_b^2 / R_1 Q_1^2$$

$$(\because Q_0 = Q_1 + Q_b > Q_1, \quad \therefore h_1/h_0 < R_1/R_0) \quad (7)$$

由此可知, 欲保持  $b$  风流正向流动, 则必须力促该系统的内部分系统的风压  $h_1$  要小, 或者力促外部分系统的风压要大; 同时, 要使内部分系统的风阻  $R_1$  要大, 或者要使外部分系统风阻  $R_0$  要小。而所研究支路风阻  $R_b$  对该支路风流方向变化不起作用, 由此可得, 此时该支路便是风阻  $R$  很小的未密闭的旁侧风路, 还是风阻  $R_b$  很大的衬砌裂缝或密闭墙裂隙中的风流, 均不发生反向。这对地下人员由该支路安全疏散和地面人员灭火扑救相当有利。因为此时火烟不能向该支路  $b$  弥漫。

由此, 可采取下列措施。确保该支路风流方向不变:

1) 力使  $h_1$  最小, 即地下建筑火灾初期局部火风压值较小的情况。因此, 扑灭地下建筑火灾同其他地面火灾一样, 应当及早发现, 并用常规的灭火器具, 依靠该建筑的保卫人员, 使初期火灾消灭于襁褓之中。

2) 力使  $h_0$  最大, 在地下建筑火灾的各个阶段, 均可在出风口处, 附加地下巷道的热风压进行抽风排烟, 这对于保证支路  $b$  风路方向不变, 使火灾巷道中的高温火烟流不向该支路中弥漫, 并使该支路  $b$  巷道成为地下疏散人员的临时避难巷道具有重要意义。在建筑设计和灭火扑救中均应注意象南昌市老福山地下贸易中心火灾中, 仅管南昌消防支队当时配备有抽风排烟机械, 在冒烟的出口抽风排烟, 但因为巷道并非正常联结 (系耦合联结巷道), 故效果不大。

3) 为使  $R_1$  增大, 应利用紧密墙隔断正向风流 ( $a_1, a_2, a_3$ ), 在防火措施上还可采用关闭该

支路防火门来实现。

4) 为使  $R_n$  减小, 应用密闭墙, 防火门隔断正向风流  $C_2$  或减少主干风流  $C_1$  中的存放物资。

由此得出: 由于  $R_n$  在一定范围内变化, 对其本身风流方向改变不起作用, 只要上面各项技术措施确保式(7)成立, 则我们得到一个新的启示: 在地下建筑火灾发生后, 可利用与火灾支路邻近的某并联支路, 作为地下疏散人员的临时避难巷道, 不管该巷道中人员集中多少, 抢救物资堆放多少, 只要式(7)保持不变, 则该巷道中不会产生火烟弥漫而危及地下安全疏散到此的人员生命以及抢救到此的物资安全。

当风路  $b$  停止流动时, 则  $Q_b = 0$ , 且  $Q_i = Q_n$ , 因此, 回路  $a B b A, A b B e$  压降方程为:

$$h_i = R_i Q_i^2; \quad h_n = R_n Q_n^2, \quad \therefore h_i / h_n = R_i / R_n \quad (8)$$

现在研究风流  $b$  逆转的必要条件。令  $b$  为一水平巷道, 则当风流  $b$  已发生逆转 ( $B \rightarrow A$  方向) 且形成火烟弥漫该巷道时, 沿回路  $a B c A, a B b A$  列压降方程有:

$$h_i + h_n = R_i Q_i^2 + R_n Q_n^2; \quad h_i = R_i Q_i^2 + R_n Q_n^2$$

两式相减再除第二式有:

$$h_i / h_n = (R_i Q_i^2 + R_n Q_n^2) / (R_n Q_n^2 - R_i Q_i^2) > R_i Q_i^2 / R_n Q_n^2 > R_i Q_i^2 / R_i Q_i^2$$

$$(\because Q_i = Q_n + Q_b > Q_n) \quad \therefore h_i / h_n > R_i / R_n \quad (9)$$

倘使  $b$  是一条上行风流时, 在风流逆转后, 高温火烟在此风路中存在附加火风压  $h_n$ , 且其方向与火烟流动方向相反 (图 10) 沿回路  $a B c A, a B b A$  列压降方程:

$$h_i + h_n = R_i Q_i^2 + R_n Q_n^2; \quad h_n + h_b = R_n Q_n^2 - R_i Q_i^2$$

两式相减, 再除第二式:

$$(h_i - h_b) / (h_n + h_b) = (R_i Q_i^2 + R_n Q_n^2) / (R_n Q_n^2 - R_i Q_i^2) > R_i Q_i^2 / R_n Q_n^2 > R_i Q_i^2 / R_n Q_n^2$$

$$\therefore (h_i - h_b) / (h_n + h_b) > R_i / R_n \quad (10)$$

综上所述可得下面讨论: 当系统内部分系统的火风压  $h_i <$  外部分系统的热风压  $h_n$  (即起火初期) 时, 条件式(7)成立, 风流  $b$  保持起火前的方向 (正常流向); 随着火风压增大 (即火势逐渐发展), 流经支路的风流慢慢下降, 达到  $h_i / h_n = R_i / R_n$  (即条件式(8)) 成立时, 风路  $b$  中风流立即停止不再流动; 如果火势继续发展, 即火风压  $h_i$  再增大时, 则风  $b$  就要改变起火前的正常方向, 即在该支路  $b$  中发生风流逆转。此时, 火烟即将流经该支路  $b$ , 造成火烟弥漫整个巷道。

最后, 讨论风  $b$  的逆转过程, 若风路  $b$  是水平巷道或者下行巷道。停风以后, 必定是立即发生逆转, 即条件式(9)成立; 若风路  $b$  是一条上行巷道时, 欲使其中风流停止, 只有此时出现  $h'_i = h_n$  时, 才有可能, 即  $h'_i = (R_i / R_n) h_n = h_n$ , 而风流真正发生逆转, 即只有当  $h'_i$  满足式(10)时, 才会出现, 即

$$h''_i = (R_i / R_n)(h_n + h_b) + h_b > h'_i$$

由此可见, 在火风压  $h_i, h''_i$  的过程中, 风流还不会发生逆转。但此时, 可看到在风路  $b$  中的“火烟倒退现象”, 即新风流沿上行巷道底部向原有风流方向继续流动。而火烟流则沿上行巷道顶板慢慢向下移动, 或者火烟在上行巷道顶板下浮动, 再慢慢下降而充满整个巷道, 只有当火烟将要达到  $A$  点并向风路  $a$  流动时 (图 11), 分支风路  $b$  的风流才会真正逆

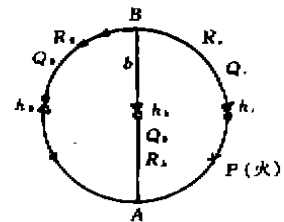


图 11 上行风流支路  $b$  逆转图

转,与此同时,火烟的滚动也相应地加快速度(此过程便出现火烟的回流)。

因此,仅是分支风路的风流速度降低,而顶板下面火烟漂浮就是判定该支路风流可能发生逆转的危险及其危险程度大小的信号和征兆。这给地下安全疏散中的人们和消防扑救人员提供了该支路风流将是否出现逆转危险的判别方法,应力争在发生逆转前,尽快撤离此分支风路。

为了防止地下建筑发生火灾时地下巷道支路风流逆转,必须遵照上述所提出的保持该支路巷道风流起火前的原有正常流动方向的技术措施。

#### 4 下行风流系统中起火时风流方向及其判别条件

所谓下行风流是指系统的热风压作用方向与火风压作用方向相反的风流。

图12为下行风流中起火情况,假定支路c为外部分系统,a为内部分系统,b为房侧支路风流。

由前述通风原理可知,在一条支路中有两个作用方向完全相反的压源时,该支路风流方向将与较大压源方向相同。所以,当通风系统中存在三个不同压源,即 $h_a$ 、 $h_m$ 、 $h_b$ 时,则可能出现两种不同风流方向(图13),最大压源 $h_b$ 所在风流,其方向在两种情况下均是确定不变的,并与风流作用方向一致;反之,最小压源 $h_a$ 所在风流永远与该压源相反;中等压源 $h_m$ 所在风流其方向不定。

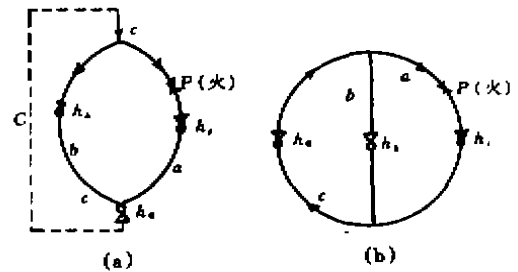


图12 下行风流中起火图

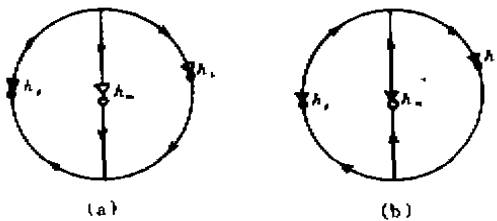


图13 三压源时可能风流方向

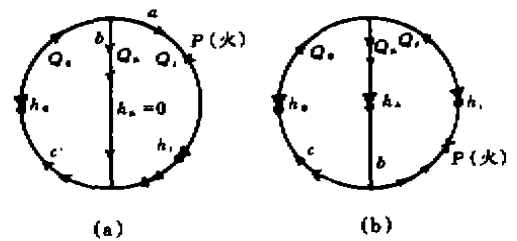


图14  $h_m > h_a > h_b$  时可能风流方向

由图13知:发生火灾时,地下巷道风流的原有正常方向相当于图14(a)所示,即只有当 $h_m > h_a > h_b$ 时,才有可能保持原有方向,当 $h_a$ 大于 $h_b$ 小于 $h_m$ 时,通风系统的外部分系统的风流才能发生变化,即可能发生逆转,由此可见,在下行风流中发生火灾时,有下面三种情况:

- a)  $h_m > h_a > h_b$  或  $h_m > h_b > h_a$  可能保持原有正常方向
- b)  $h_a > h_m > h_b$  或  $h_b > h_m > h_a$  则系统风流方向不定
- c)  $h_a > h_b > h_m$  或  $h_b > h_a > h_m$  则风流方向逆转

假定, 只有在分支风  $b$  中流过灼热火烟时, 才能产生火风压  $h_b$ 。

1) 当  $h_a > h_b > h_c$  或  $h_a > h_c > h_b$  时, 从风流方向看, 有可能出现两种状态(即图 14a 和图 14b 所示):

(1) 按图 14a 所示, 风流  $a$  的方向是正常的。同时, 分支风路  $b$  中无火烟流过, 即

$$Q_a = Q_c - Q_b \quad Q_a > Q_b \quad h_b = 0 \quad h_c > h_a$$

由此, 即可列出两个压降方程式:

闭合风路:

$$c b: \quad h_a = R_a Q_a^2 + R_b Q_b^2$$

$$c a: \quad h_a - h_c = R_a Q_a^2 + R_c Q_c^2$$

两式相减后再除第一式得:

$$\begin{aligned} h_a/h_c &= (R_a Q_a^2 + R_b Q_b^2) / [R_a Q_a^2 - R_c (Q_a - Q_b)^2] > (R_a Q_a^2 + R_b Q_b^2) / [R_a Q_a^2 - R_c (Q_a - Q_a)^2] \\ &= (R_a Q_a^2 + R_b Q_b^2) / R_c Q_b^2 \end{aligned}$$

由此得出: 保持风流  $a b$  正常方向的必要条件:

$$h_a/h_c > 1 + R_b/R_c \quad (11)$$

上式指出, 只有当  $h_a$  尽可能大时, 而且  $h_c$  和外部分系统风阻  $R_c$  尽可能小时才能满足, 并保持正常风向不变, 而可能发生逆转的内部分系统的风阻  $R_b$  却不起作用, 即上述条件与上行风流保持正常风向的条件是一致的。

(2) 当风流方向已逆转(图 14b), 火烟则由  $a$  流入  $b$ , 在该分支风流  $b$  中出现  $h_b$ , 但是  $h_c > h_b$  时,  $Q_a = Q_b - Q_c$ ,  $Q_b > Q_c$ 。

由闭合回路  $c b$ 、 $a b$  列压降方程式:

$$h_a - h_b = R_a Q_a^2 + R_b Q_b^2; \quad h_c - h_b = R_c (Q_b - Q_c)^2 + R_b Q_b^2$$

两式相比得:

$$\begin{aligned} (h_a - h_b)/(h_c - h_b) &= (R_a Q_a^2 + R_b Q_b^2) / [R_c (Q_b - Q_c)^2 + R_b Q_b^2] < \\ &= (R_a Q_a^2 + R_b Q_b^2) / [R_c (Q_a - Q_a)^2 + R_b Q_b^2] = 1 + R_a/R_c \quad (12) \end{aligned}$$

因为此时,  $h_a > h_c$ , 则只有满足下述条件, 即

$$\begin{aligned} \therefore \quad h_a/h_c &< (h_a - h_b)/(h_c - h_b) \\ \therefore \quad h_a/h_c &< 1 + R_a/R_c < (h_a - h_b)/(h_c - h_b) \quad (13) \end{aligned}$$

分支风路  $a$  中的风流即不会具有确定方向, 在此情况下, 将出现火烟逆转, 所以式(13)是  $a$  风流是否反向的差别条件。

当  $h_a > h_b > h_c$  时, 风流  $a$  不会逆转, 而逆转的却是旁侧风流  $b$ , 其条件是:

$$(h_a - h_c)/(h_b - h_c) < 1 + R_a/R_c \quad (14)$$

2) 当  $h_c > h_a > h_b$  或  $h_b > h_a > h_c$  时

如图 15a 和图 15b 所示, 也存在两种情况, 不过此时火烟都要流经分支风路  $b$ 。即使出现  $h_a$ , 可能发生逆转的是外部分系统中的风流  $c$ 。

(1) 依据图 15a,  $Q_a = Q_b - Q_c$ ,  $Q_b > Q_c$ 。

由闭合回路  $a b$ 、 $c b$  列压降方程式:

$$h_a - h_b = R_a Q_a^2 + R_b Q_b^2; \quad h_c - h_b = R_c (Q_b - Q_c)^2 + R_b Q_b^2$$

由此:



$$(h_1 - h_b) / (h_b - h_a) = (R_a Q^2 + R_b Q_b^2) / [R_a - (Q_b - Q)^2 + R_b Q_b^2]$$

以较大值  $Q_b$  代替  $Q$  得出：外部分系统风流保持正常方向的条件式：

$$(h_1 - h_b) / (h_b - h_a) < 1 + R_b / R_a \quad (15)$$

用同样方法可得出当  $h_b > h_a > h_1$  时，风流  $b$  反向，而风流  $a$  保持原方向（图 16a）的条件式：

$$(h_b - h_1) / (h_b - h_a) < 1 + R_a / R_b \quad (16)$$

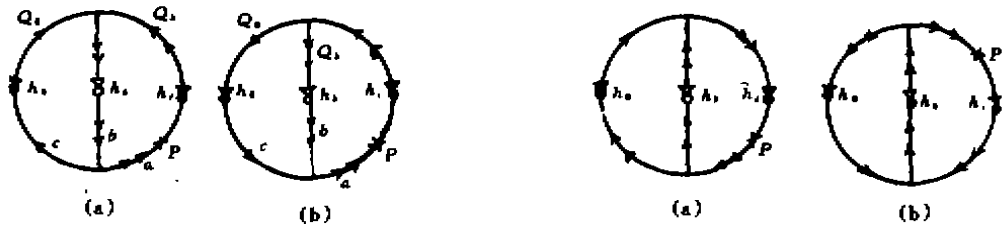


图 15  $h_1 > h_b > h_a$  时的可能风流方向

图 16  $h_b > h_a > h_1$  时可能风流方向

(2) 在外部分系统  $c$  中，出现风流逆转现象时（图 15b），

$$Q_c = Q - Q_b \quad Q_c > Q_b$$

由闭合回路  $ab$ 、 $ac$  列压降方程式：

$$h_1 - h_b = R_a Q^2 + R_b Q_b^2; \quad h_b - h_a = R_a Q_b^2 - R_a (Q - Q_b)^2$$

由此：

$$(h_1 - h_b) / (h_b - h_a) = (R_a Q^2 + R_b Q_b^2) / [R_a Q_b^2 - R_a (Q - Q_b)^2]$$

以小值  $Q_b$  代替大值  $Q$ ，

$$(h_1 - h_b) / (h_b - h_a) > 1 + R_b / R_a \quad (17)$$

外部系统里，风流停滞条件是式(16)、式(17)变为等号。

如果  $h_b > h_a > h_1$  时，外部系统中风流逆转条件即变为：

$$(h_b - h_1) / (h_b - h_a) > 1 + R_a / R_b \quad (18)$$

停止风流条件，上式取等号。

3) 当  $h_1 > h_b > h_a$  或  $h_b > h_1 > h_a$  时风流流动两种可能如图 17 所示。此时，外部系统的管路  $c$  一定要逆转。如果在外部系统中，存在有相关联的  $b'$  风流，而且其中出现的火风压  $h_{a'}$   $>$   $h_a$  时，则逆转后的风流很可能流到分支管路  $b'$  中的任一条风流里去（图 17a）。此时，风  $b$  变成内部分系统而风流  $b'$  则变成旁侧风流，外部分系统（风  $b'$  以外部分）欲保持原先的流向，所需必要条件由式(15)和(17)来决定。

如果在上述系统中没有  $h_{a'} < h_a$  的分支风流  $b'$  存在。一碰上外部分系统风流逆转，则整个地下巷道风流都会反向，进风口变成了出风口。此时，流入分支风流  $b$  的可能是风流  $a$  中的火烟（图 17a），也可能是沿逆转风压作用方向而进入的新风。在此条件下，灭火工作应从原来的出风口一面进行，火灾的性质完全改变，由一个

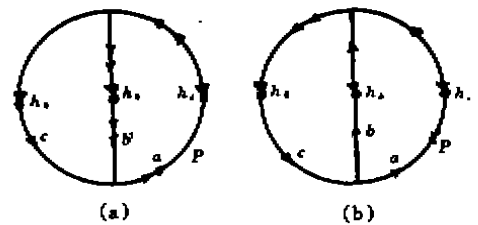


图 17  $h_1 > h_b > h_a$  时可能的风流方向

下行风流中火灾变成了上行风流中火灾。

由以上论述可知:在下行风流中发生火灾时,所出现的变化较上行风流中更为复杂,欲保证火灾时巷道风流不发生逆转将更为困难。一旦发生火灾,最好力争将火烟经由上行风流引出风口。所以应当尽可能采用上行风流通风,这是在地下建筑设计中必须充分注意的问题。

### 参 考 文 献

- 1 Huang Hengdong. The countermeasures to the pollutions of smoke of high temperature in passageway of underground buildings. Fire science and technology, proceedings of the first asian conference. Hefei, China October 9-13, 1992: p221-226
- 2 Huang Hengdong. The moving of high temperature smoke in fire along safe passageway of underground buildings. International symposium on multidisciplines Wuhan, China July 1-3, 1992. abstracts, p203

(编辑:刘家凯)

## Application of the Theory of Air Current Reverse in Underground Lane to Dispersing Human Being and Extinguishing a Fire

*Huang Hengdong*

(Dept. of Civil Engineering, Middle China University of Technology)

**Abstract** When a fire breaks out in underground construct, air current in underground lane pressured by hot air current may flow to opposite direction in some branches, that is the air current reverse. Air current reverse makes whole underground lanes filled with fire and smoke, which hinder people from dispersing up ground and fireman from going down underground to distinguish the fire. According to the ventilate theory of in the underground ventilation network, the possibility and conditions of the air current reverse in some branches are deduced. Some technical measures used to avoid its taking place are proposed

**Key Words** fire, underground construct, air current, reverse