

中华人民共和国行业标准

铁路隧道运营通风设计规范

**Code for design on operating ventilation
of railway tunnel**

TB 10068—2000

J 71—2001

主编单位：铁道部第二勘测设计院

批准部门：中华人民共和国铁道部

施行日期：2001年4月1日

中 国 铁 道 出 版 社

2001年·北 京

关于发布《铁路站场道路和排水设计规范》 等 15 个铁路工程建设标准的通知

铁建设函〔2000〕445 号

《铁路站场道路和排水设计规范》(TB 10066—2000)、《铁路站场客货运设备设计规范》(TB 10067—2000)、《铁路隧道运营通风设计规范》(TB 10068—2000)、《铁路隧道防排水技术规范》(TB 10119—2000)、《铁路货车车辆设备设计规范》(TB 10031—2000)、《铁路驼峰信号设计规范》(TB 10069—2000)、《铁路驼峰信号施工规范》(TB 10221—2000)、《铁路区间道口信号设计规范》(TB 10070—2000)、《铁路信号站内联锁设计规范》(TB 10071—2000)、《铁路通信电源设计规范》(TB 10072—2000)、《铁路光缆 PDH 通信工程施工规范》(TB 10215—2000)、《铁路通信用户接入网设计规范》(TB 10073—2000)、《铁路车站客运信息设计规范》(TB 10074—2000)、《铁路电力牵引供电隧道内接触网设计规范》(TB 10075—2000)、《铁路枢纽电力牵引供电设计规范》(TB 10076—2000)等 15 个铁路工程建设标准,经审查现批准发布,自 2001 年 4 月 1 日起施行。届时,原《铁路货车车辆段设计规范》(TBJ 30—90)、《铁路货物列车检修所设计规则》(TBJ 31—90)、《铁路货车站修所设计规则》(TBJ 32—90)、《铁路光缆数字通信工程施工规定》(TBJ 215—92)同时废止。

对工程延续项目勘测设计中新老规范的衔接问题,按《关于实施新发布设计规范有关问题的通知》(建技〔1999〕88 号)办理。

以上标准由部建设管理司负责解释,由中国铁道出版社和铁路工程技术标准所组织出版发行。

中华人民共和国铁道部
二〇〇〇年十二月二十一日

前 言

本规范是根据铁道部铁建函〔1998〕43号文的要求编制的。

本规范共分7章，其主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、通风计算、瓦斯隧道通风、通风道与风机房、通风机及机电设备，另有2个附录。

本规范系首次编制，在执行过程中，希望各单位结合工程实践，认真总结经验，积累资料。如发现需要修改和补充之处，请及时将意见和有关资料寄交铁道部第二勘测设计院（成都市通锦路3号，邮政编码：610031），并抄送铁路工程技术标准所（北京市朝阳区门外大街227号，邮政编码：100020），供今后修订时参考。

本规范由铁道部建设管理司负责解释。

本规范主编单位：铁道部第二勘测设计院。

本规范参编单位：铁道部第四勘测设计院。

本规范主要起草人：王克家、喻渝、肖明清。

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	3
3 基本规定	7
4 通风计算.....	10
4.1 一般规定.....	10
4.2 自然风的计算.....	11
4.3 单线隧道机械通风.....	12
4.4 双线隧道内燃牵引机械通风.....	20
5 瓦斯隧道通风.....	21
5.1 一般规定.....	21
5.2 通风计算.....	21
6 通风道与风机房.....	23
6.1 通 风 道.....	23
6.2 风 机 房.....	23
7 通风机及机电设备.....	25
7.1 通 风 机.....	25
7.2 机电设备.....	25
附录 A 局部阻力系数	26
附录 B 常用摩擦阻力系数 λ 值	30
本规范用词说明	31
《铁路隧道运营通风设计规范》条文说明.....	32

1 总 则

1.0.1 为贯彻国家有关法规和铁路技术政策，统一铁路隧道运营通风设计技术要求，使铁路隧道运营通风设计做到安全适用、技术先进、经济合理，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于国家铁路网中客货列车共线运行、旅客列车最高行车速度 140 km/h 的标准轨距铁路隧道运营通风的设计。

1.0.3 铁路隧道运营通风应使隧道内具有符合卫生标准的空气环境，保证隧道中养护人员、乘务人员与旅客免受有害气体的危害。同时，应减少有害气体、湿气、高温等对隧道内各种设备及隧道衬砌的腐蚀和影响。

1.0.4 铁路隧道运营通风设计除应符合本规范外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 隧道运营通风 operation ventilation of tunnel

为排除运营期间隧道内有害气体等，以达到符合卫生标准的空气环境，保证人身安全、设备正常使用和列车运行安全所进行的各种通风换气的统称。

2.1.2 自然通风 natural ventilation

利用列车通过隧道时产生的活塞风和自然风或温度差、气压差等引起的空气流动，将隧道内有害气体和热量排出隧道外的通风方式。

2.1.3 机械通风 machnical ventilation

用通风机械送入新鲜空气，或排出有害气体的通风方式。

2.1.4 纵向式通风 longitudinal ventilation

利用机械通风，使风流在隧道纵向流通的通风方式。

2.1.5 洞口风道式通风 ventilation duct of portal method

将通风机置于隧道洞外，通过通风道将风流吹入或吸出隧道的一种通风方式。

2.1.6 射流通风 jet blower method

采用洞口堆放式或洞内壁龛式设置射流风机进行集中通风，或采用纵向布置风机的接力式通风的方式。

2.1.7 通风道 ventilation duct

将新鲜空气从隧道外送入隧道内或将隧道内的污染空气排出到隧道外的风道。前者称送风道，后者称排风道。

2.1.8 通风机 ventilator

机械通风中使用的送风机和排风机。

2.2 符 号

- Q ——风量
 Q_g ——风机供风量
 Q_e ——隧道内排烟有效风量
 Q_s ——隧道短路端风量
 Q_n ——隧道内自然风风量
 Q_m ——列车活塞风风量
 Q_{ms} ——提前通风隧道短路端风量
 Q_{me} ——提前通风隧道内排烟有效风量
 Q_0 ——风道风量
 h ——风压
 H_g ——风机全压
 h_u ——风机动压
 h_s ——风机静压
 h_0 ——风道口动压
 h_1 ——隧道短路端动压
 h_2 ——隧道通风端动压
 h_ξ ——局部阻力损失
 h_λ ——沿程摩擦阻力损失
 λ ——摩擦系数（达西系数）
 ξ ——局部阻力系数
 p_1 ——隧道短路端静压，透气压力
 p_2 ——隧道通风端静压，隧道内空气压力
 p_0 ——风道口静压
 p_m ——活塞压力
 p_n ——隧道两洞口间自然风压差
 p_L ——帘幕压力

N_g ——风机轴功率

N_e ——电机输出功率或风机输入功率

N_{ed} ——需要电机功率

η ——效率

η_R ——风机全压效率

η_s ——风机静压效率

η_c ——电机与风机传动效率系数

η_e ——电机效率系数

F ——隧道断面积

F_0 ——风道口面积

F_L ——帘幕漏风缝隙面积

F_{ap} ——平均断面积

f_T ——列车平均断面积

f ——风机环状面积或计算过程中代表面积符号

a ——列车断面阻塞系数

S ——隧道断面湿周

S_0 ——风道口断面湿周

d ——隧道断面当量直径

d_0 ——风道口断面当量直径

d_{ap} ——平均断面当量直径

B_0 ——风道口断面净宽

L_T ——隧道长度

L_s ——隧道短路端长度

L_e ——隧道通风端长度

L_m ——活塞风引进新鲜空气段长度

L_q ——烟气段或排烟段长度

l ——通风道长度

l_T ——列车长度

K_i ——活塞风修正系数
 K_R ——风量分配修正系数
 K_e ——电机容量储备系数
 K_m ——活塞风作用系数
 N ——列车阻力系数
 v_m ——活塞风速度
 v_n ——隧道内自然风速
 v_0 ——风道口风速
 v_s ——隧道短路端风速
 v_c ——隧道通风段风速
 v_T ——列车速度
 v_{me} ——提前通风隧道通风端风速
 v_r ——列车与隧道间隙中空气的相对速度
 γ ——空气重度
 γ_n ——隧道外空气重度
 γ_a ——隧道内空气重度
 ξ_n ——隧道内自然风阻力系数
 ξ_m ——活塞风阻力系数
 M_i ——局部或摩擦风阻力系数
 M_ξ ——局部风阻系数总和
 M_λ ——摩擦风阻系数总和
 M ——短路端风阻系数
 M_c ——风阻系数总和
 q_T ——额定功率下机车排烟体积
 C_T ——烟气浓度
 \bar{C}_x ——平均烟气浓度
 R ——风量分配系数
 R_m ——提前通风风量分配系数

t_q ——通风排烟时间
 $\{t_q\}$ ——允许通风排烟时间
 a_0 ——动量校正系数
 a ——动能校正系数
 θ ——风道中线与隧道中线的夹角
 ω ——风机转速

3 基本规定

3.0.1 长隧道和特长隧道内的线路宜顺直，坡度宜缓，隧道引线也宜具有提高行车速度的条件，以利隧道运营通风。

3.0.2 隧道洞口宜位于开敞的地方，隧道方向宜与常年自然风频率较高的方向一致。

3.0.3 为减少通风阻力，隧道衬砌壁面宜平整光滑；长隧道和特长隧道宜采用整体道床或混凝土宽枕道床。

3.0.4 内燃机车牵引的运营隧道内空气的卫生标准应满足下列要求：列车通过隧道后 15 min 内，空气中一氧化碳浓度小于 30 mg/m^3 ，氮氧化物（换算成 NO_2 ）浓度小于 10 mg/m^3 。电化运营隧道内的卫生标准除应符合上述规定外，其湿度应小于 80%，温度应低于 28°C ，臭氧浓度应小于 0.3 mg/m^3 ，含有 10% 以下游离二氧化硅的粉尘浓度应小于 10 mg/m^3 。

3.0.5 隧道设置机械通风，应根据牵引种类、隧道长度、隧道平面与纵断面、道床类型、行车速度和密度、气象条件及两端洞口地形条件等因素综合考虑确定，并应符合下列规定：

1 内燃机车牵引，长度在 2 km 以上的单线隧道，宜设置机械通风。

2 电力机车牵引，长度在 8 km 以上的单线隧道，宜设置机械通风进行换气（行车密度较低、自然风条件较好时，可适当加长长度）。

3 内燃机车牵引的双线隧道当隧道长度 L (km) \times 行车密度 N (对/d) ≤ 100 时不应设置机械通风。

虽不符合上述条件，但自然通风条件不良，难以在规定时间内达到容许卫生标准时，亦宜考虑设置机械通风。

3.0.6 隧道机械通风方案，应根据技术、经济条件，考虑安全、

效果等因素，综合比较确定。一般情况应采用纵向式通风。隧道较长时，可采用分段通风。

机械通风方式，当采用轴流风机时，可选用洞口风道式、斜井式、竖井式等；当采用射流风机时，可选用纵向布置风机接力式通风，或在洞口同一断面布置风机集中式通风；也可采用射流风机和轴流风机相结合的通风方式。

隧道运营通风应充分利用斜井、竖井、横洞等辅助坑道，其设置的位置与断面尺寸，应结合运营通风的要求，统一考虑确定。

3.0.7 配置通风设备时，通风机所需供给的有效风量，应按挤压为主的原理计算，并考虑列车通过隧道的活塞作用和自然风的影响。

通风机供给的隧道内风速不应大于 8 m/s 。

3.0.8 洞口风道式通风的设置，应符合下列规定：

1 宜采用吹入式通风。通风机设于低洞口端，通风设备宜设在洞外；当必须设在洞内时，机房和设备应有防潮、防锈蚀的措施。

2 隧道运营通风宜选用大风量、低压头的轴流式通风机；风机传动应配套，宜选用电力传动。

3 无帘幕洞口风道式通风的设置，风道与隧道的夹角宜小，风道口与风道的过风面积及风机类型应使通风系统处于良好的工作状态。

4 通风设备的基础应置于稳固的地基上。

3.0.9 射流风机的设置，应遵守下列规定：

1 纵向等距离布置射流风机时，其间距不宜小于 70 m 。

2 射流风机宜采用洞口堆放式或洞内壁龛式，不宜采用拱顶吊装式。

3 射流风机采用支架固定时，其支架应做成可拆式，以便维修拆装；风机支架两端应设置防护钢网。

4 风机支架等钢结构应接地。

5 为保证风机能按设定的时间启动关停，有效地利用活塞风，风机控制系统应设置自动控制装置。

3.0.10 特长隧道及瓦斯隧道运营通风的设置应与消防通风综合考虑。

4 通风计算

4.1 一般规定

4.1.1 采用纵向式通风,应通过风机作用将新鲜空气引入隧道,在空气沿隧道流动的同时将烟气以“挤压”方式推出隧道。

4.1.2 通风计算应考虑隧道内烟气的扩散作用,设计中可按现场试验的测定情况,采用一定系数计入其影响。通风时间应为上坡列车车尾出洞后至通风排烟完成的时间。

4.1.3 通风设计中空气标准重度 γ_0 可采用 12 N/m^3 计算,计算风机功率时,则应按当地最冷月的平均气温、气压和相对湿度予以修正。

4.1.4 行车条件有关参数应按下列规定选用:

1 列车长度 l_T ,应按近期列车长度考虑或采用 350 m 计算。

2 列车速度 v_T ,应按牵引计算中速度距离曲线图求得,单坡隧道按全隧道平均计算,人字坡隧道按上下坡段各自平均计算。

3 列车平均断面积 f_T ,应按列车活塞作用系数的现场试验所得的统计值计算,也可采用 12.6 m^2 。

4 列车活塞作用系数可按式计算:

$$K_m = \frac{Nl_T}{\left(1 - \frac{f_T}{F}\right)^2} \quad (4.1.4)$$

式中 l_T ——列车长度 (m);

f_T ——列车平均断面积 (m^2);

N ——隧道列车阻力系数,单线隧道 $N = 86 \times 10^{-4} (1/\text{m})$;

F ——隧道断面积,隧道断面有变化时, F 值按分段长度

加权平均计。

4.1.5 隧道通风各项参数，应按下列规定采用：

- 1 隧道断面积 F 与当量直径 d ，应按过风净截面计算，可不包括有盖板的水沟断面。
- 2 隧道与风道各项局部阻力系数 ξ 可按附录 A 选用。
- 3 隧道与风道壁面摩擦系数 λ 可按附录 B 选用。
- 4 曲线隧道的曲线段阻力，其摩擦系数比直线段增大 20%。
- 5 通风计算中当隧道有阻力较小的漏风通道（未经完全封闭的泄水洞、溶洞、斜井、竖井、平导等）时，应作特殊计算。

4.2 自然风的计算

4.2.1 自然风的作用，应按对隧道通风排烟较不利的情况考虑，当缺乏当地实测资料时，对单坡隧道顺上坡方向行车通风排烟，可按隧道内自然风速 1.5 m/s 计算，双线隧道内自然风速可按 2.0 m/s 计算。

4.2.2 采用机械通风时，隧道内自然风的计算应符合下列规定：

- 1 人字坡隧道采取迎列车提前通风时，计算的自然反风与机械风向相反而与此行车方向相同。
- 2 竖井（斜井）吹入式机械通风，烟气由列车出洞的隧道端排出时，按竖井（斜井）口与隧道高洞口的自然风压相等，对隧道低洞口的自然风压差均以 $+P_n$ 计算（ P_n 为该隧道无竖井时，隧道内自然反风 1.5 m/s 的压差值）。
- 3 竖井吸出式机械通风，烟气分两段同时流向竖井排出时，竖井口与隧道高洞口的自然风压相等，对隧道低洞口的自然风压差以 $+P_n$ 或 $-P_n$ （ P_n 为该隧道无竖井时，隧道内自然反风 1.5 m/s 的压差值， $-P_n$ 为自然顺风 1.5 m/s 者）；两种情况，取其通风排烟不利的情况计算。

4.3 单线隧道机械通风

4.3.1 列车在隧道中运行,其前后端的压力差,即活塞压力,可按下式计算:

$$p_m = K_m \frac{\gamma}{2g_n} (v_T - v_m)^2 \quad (4.3.1)$$

式中 p_m ——活塞压力 (Pa);
 K_m ——活塞风作用系数;
 v_T ——列车速度 (m/s);
 v_m ——活塞风速度 (m/s);
 g_n ——重力加速度,采用 9.81 m/s^2 ;
 γ ——空气重度 (N/m^3)。

4.3.2 当隧道为单一的通道,无自然风等其他压源,也无竖井等旁通道时,列车在隧道内运行,其活塞风速度 v_m 与活塞风阻力系数 ξ_m 可按下式计算:

$$v_m = v_T \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\xi_m}{K_m}}} \quad (4.3.2-1)$$

$$\xi_m = 1.5 + \frac{\lambda(L_T - l_T)}{d} \quad (4.3.2-2)$$

式中 ξ_m ——活塞风阻力系数;
 L_T ——隧道长度 (m);
 l_T ——列车长度 (m);
 λ ——摩擦系数 (达西系数);
 d ——隧道断面当量直径 (m)。

4.3.3 当无竖井等旁通道的隧道内有自然风时,列车在隧道内运行,其活塞风速 v_m 与自然风阻力系数 ξ_n 可按下式计算:

$$v_m = v_T \frac{1 - \sqrt{\frac{\xi_m}{K_m} \pm \frac{\xi_n}{K_m} \left(\frac{v_n}{v_T}\right)^2 \left(1 - \frac{\xi_m}{K_m}\right)}}{1 - \frac{\xi_m}{K_m}} \quad (4.3.3-1)$$

$$\xi_n = 1.5 + \frac{\lambda L_T}{d} \quad (4.3.3-2)$$

式中 v_n ——自然风速，可按对通风不利的自然反风 1.5 m/s 计；

ξ_n ——隧道内自然风阻力系数。

注：式 (4.3.3-1) 中，当隧道内自然风向与列车运行方向相同时取负号，反之取正号。

4.3.4 列车尾出洞时烟气末端（即烟气界面）距隧道出口的距离，即排烟长度 L_q ，可按式 (4.3.4) 计算。

$$L_q = K_i \left(1 - \frac{v_m}{v_T} \right) L_T \quad (4.3.4)$$

式中 K_i ——活塞风修正系数， $K_i = 1.1$ 。

4.3.5 列车尾出洞后，隧道内排烟需要风量可按式 (4.3.5) 计算。

$$Q_e = K_i \left(1 - \frac{v_m}{v_T} \right) \frac{FL_T}{t_q} \quad (4.3.5)$$

式中 t_q ——通风排烟时间 (s)。

4.3.6 当已确定允许的通风排烟时间 t_q ，并求得隧道内排烟需要风量 Q_e 之后，即可按式 (4.3.6) 计算无帘幕洞口风道吹入式通风需要的风量。

$$Q_g = K_R \frac{Q_e}{R} \quad (4.3.6)$$

式中 K_R ——风量分配修正系数，采用 1.05；

R ——风量分配系数。

4.3.7 风量分配可按式 (4.3.7) 计算，风道口三通区压力分布见图 4.3.7。

$$R = \frac{-b + \sqrt{c(a-b) + ab}}{a-b} \quad (4.3.7)$$

式中 R ——风量分配系数；

$$a = 2 + k \frac{p_2}{n_2}$$

$$b = 2 + k \frac{p_1}{h_1}$$

$$c = 2n \cos \theta$$

$$n = \frac{F}{F_0}$$

$$k = 1 + \frac{\cos \theta}{2n}$$

$$R = \frac{Q_e}{Q_g}$$

$$R - 1 = \frac{Q_s}{Q_g}$$

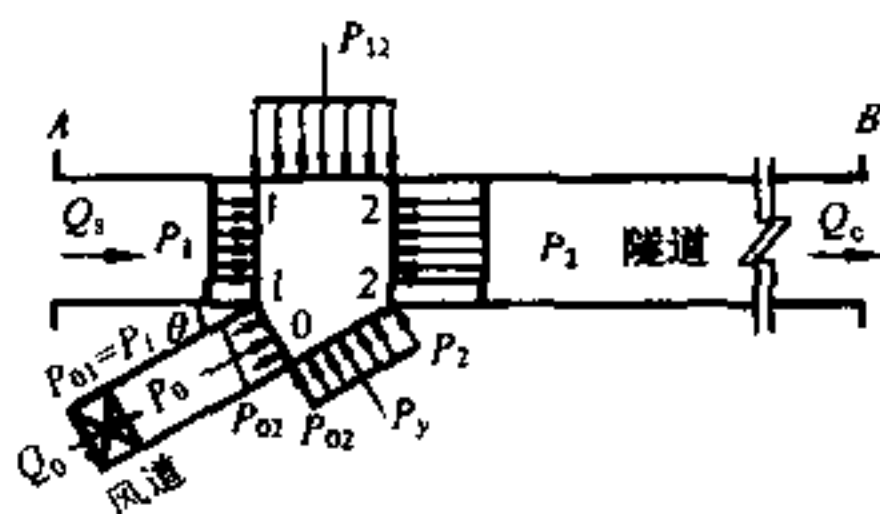


图 4.3.7 风道口三通区压力分布计算简图

当隧道中无自然风时

$$a = a_0 = 2 + k \frac{\lambda L_e}{d}$$

$$b = b_0 = 2 + k \frac{\lambda L_s}{d} (R < 1 \text{ 时})$$

$$\text{或 } b = b_0 = 2 - k \left(1.5 + \frac{\lambda L_s}{d} \right) (R > 1 \text{ 时})$$

当隧道中有自然风时

$$a = a_0 \pm k \xi_n \left(\frac{v_n}{v_e} \right)^2 = 2 + k \left(\frac{\lambda L_e}{d} \pm \xi_n \left(\frac{v_n}{v_e} \right)^2 \right)$$

$$b = b_0 = 2 + k \frac{\lambda L_s}{d} (R < 1 \text{ 时})$$

$$\text{或 } b = b_0 = 2 - k \left(1.5 + \frac{\lambda L_s}{d} \right) (R > 1 \text{ 时})$$

式中自然反风取正号，反之取负号。

在求解风量分配比 R 之前， b_0 值要按 $R < 1$ 或 $R > 1$ 分别取用，一般洞口风道式通风可先按 $c/a < 1$ 或 $c/a > 1$ 预先判别（ $c/a < 1$ ，则 $R < 1$ ； $c/a > 1$ 则 $R > 1$ ）。

4.3.8 风流流动过程中，风压损失可按下列公式计算：

$$\text{局部阻力损失} \quad h_{\xi} = \xi \frac{\gamma}{2g_n} v^2 \quad (4.3.8-1)$$

$$\text{沿程摩擦阻力损失} \quad h_{\lambda} = \lambda \frac{l}{d} \frac{\gamma}{2g_n} v^2 \quad (4.3.8-2)$$

风道口静压 p_0 ，当 $R < 1$ 时

$$p_0 = p_1 = \frac{\lambda L_s}{d} \frac{\gamma}{2g_n} v_s^2 \quad (4.3.8-3)$$

当 $R > 1$ 时

$$p_0 = p_1 = - \left(1.5 + \frac{\lambda L_s}{d} \right) \frac{\gamma}{2g_n} v_s^2 \quad (4.3.8-4)$$

4.3.9 洞口式通风所需风机全压 H_g 可按下列公式计算：

1 当 $R < 1$ 时

$$H_g = \left(\frac{\gamma}{2g_n} \times 100^2 \right) \left[\sum \left(\xi_i \frac{1}{F_i^2} + \frac{\lambda_j l_j}{d_j} \frac{1}{F_j^2} \right) + \frac{1}{F^2} + \frac{\lambda L_s}{d} \left(\frac{1-R}{F} \right)^2 \right] \left(\frac{Q_g}{100} \right)^2 \quad (4.3.9-1)$$

2 当 $R > 1$ 时

$$H_g = \left(\frac{\gamma}{2g_n} \times 100^2 \right) \left[\sum \left(\xi_i \frac{1}{F_i^2} + \frac{\lambda_j l_j}{d_j} \frac{1}{F_j^2} \right) + \frac{1}{F^2} - \left(1.5 + \frac{\lambda_j l_j}{d} \right) \left(\frac{R-1}{F} \right)^2 \right] \left(\frac{Q_g}{100} \right)^2 \quad (4.3.9-2)$$

注： $\frac{\gamma}{2g_n} (Q_g)^2 \left[\sum \left(\xi_i \frac{1}{F_i^2} + \frac{\lambda_j l_j}{d_j} \frac{1}{F_j^2} \right) \right]$ 为风机房进口到风道口各处局部阻力损失及各段沿程摩擦阻力损失之和。

4.3.10 列车在隧道内行驶未出洞之前，开动风机提前通风，可采用下列方式：

1 顺列车提前通风，用以加大列车的活塞风速，从而缩短

需要的排烟长度，此方式主要用以解决长隧道高洞口端接近车站，允许通风时间很短的隧道。

2 迎列车提前通风，用以加大列车与隧道内空气的相对速度，解除或减轻司机室的烟熏程度，亦有助于内燃机车的冷却。

4.3.11 顺列车提前通风时，风量分配可按式 (4.3.11) 计算：

$$CQ_g^2 = \left(2 + k \frac{p_2}{h_2}\right) Q_{me}^2 - \left(2 + k \frac{p_1}{h_1}\right) (Q_{me} - Q_g^2) \quad (4.3.11)$$

式中 p_2 ——隧道通风端静压，其计算式为

$$p_2 = \frac{\lambda(L_e - l_T)}{d} \frac{\gamma}{2g_n} v_{me}^2 - K_m \frac{\gamma}{2g_n} (v_T - v_{me})^2 \pm \xi_n \frac{\gamma}{2g_n} v_n^2$$

注：自然顺风取负号，反风取正号。

p_1 ——隧道短路静压，其计算式为

$$p_1 = - \left(1.5 + \frac{\lambda L_s}{d}\right) \frac{\gamma}{2g_n} v_{ms}^2$$

4.3.12 顺列车提前通风时列车尾出洞时排烟长度 L_q 可按式 (4.3.12) 计算：

$$L_q = K_i \left(1 - \frac{v_{me}}{v_T}\right) L_T \quad (4.3.12)$$

式中 v_{me} ——隧道内合成风速（机械风与活塞风共同作用）。

4.3.13 顺列车提前通风时，在列车出洞后到排烟完毕，排除烟气需要的时间，可按式 (4.3.13) 计算：

$$t_q = \frac{1}{uv_e} \left\{ \operatorname{arsh} \left[e^{uL_q} \operatorname{sh} \left(\operatorname{arth} \frac{v_e}{v_{me}} \right) \right] - \operatorname{arth} \frac{v_e}{v_{me}} \right\} \quad (4.3.13)$$

式中 $u = \frac{\xi_n}{2L_T}$ 。

4.3.14 顺列车提前通风时，列车后面烟气段内的平均烟气浓度可按式 (4.3.14—1) 计算，列车与隧道周壁间隙中空气的相对风速可按式 (4.3.14—2) 计算：

$$\bar{C}_x = \frac{g_T C_T}{(v_T - v_{me}) F} \quad (4.3.14-1)$$

$$v_r = \frac{v_T - v_{me}}{1 - a} \quad (4.3.14-2)$$

4.3.15 迎列车提前通风时, 风量可按下列规定计算:

1 当风机供风能力不强, 隧道内风向与列车方向相同时, 其风量可按式 (4.3.15—1) 计算:

$$CQ_q^2 = \left(2 + k \frac{p_2}{h_2}\right) Q_{me}^2 - \left(2 + k \frac{p_1}{h_1}\right) (Q_g + Q_{me})^2 \quad (4.3.15-1)$$

式中

$$p_2 = -\left[1.5 + \frac{\lambda(L_e - l_T)}{d}\right] \frac{\gamma}{2g_n} v_{me}^2 + K_m \frac{\gamma}{2g_n} (v_T - v_{me})^2 \pm \xi_n \frac{\gamma}{2g_n} v_n^2$$

注: 当自然风与列车同向时取正号; 当自然风与列车反向时取负号。

$$p_1 = \frac{\lambda L_s}{d} \frac{\gamma}{2g_n} v_{ms}^2$$

2 当风机供风能力很强, 隧道内风速与列车反风, 短路端漏风, 其风量可按式 (4.3.15—2) 计算:

$$CQ_q^2 = \left(2 + k \frac{p_2}{h_2}\right) Q_{me}^2 - \left(2 + k \frac{p_1}{h_1}\right) (Q_g - Q_{me})^2 \quad (4.3.15-2)$$

式中

$$p_2 = \frac{\lambda(L_e - l_T)}{d} \frac{\gamma}{2g_n} v_{me}^2 + K_m \frac{\gamma}{2g_n} (v_T + v_{me})^2 \pm \xi_n \frac{\gamma}{2g_n} v_n^2$$

$$p_1 = \frac{\lambda L_s}{d} \frac{\gamma}{2g_n} v_{ms}^2$$

4.3.16 迎列车提前通风时, 列车后面烟气段内的平均烟气浓度可按式 (4.3.16—1) 计算, 列车与周围空气的相对速度可按式 (4.3.16—2) 计算:

$$\bar{C}_x = \frac{q_T C_T}{(v_T + v_{me}) F} \quad (4.3.16-1)$$

$$v_r = \frac{v_T + v_{me}}{1 - a} \quad (4.3.16-2)$$

4.3.17 射流风机压力可按式 (4.3.17) 计算:

$$p_j = \frac{\gamma}{g_n} v_j^2 \left(\frac{\varphi}{1 - \varphi} \right) (1 - \psi)^2 \frac{1}{K_j} \quad (4.3.17)$$

式中 p_j ——射流风机压力 (一组, x 台);

γ ——空气重度 (N/m^3);

v_j ——射流风机出口风速 (m/s);

$$\varphi = \frac{x F_j}{F}$$

F_j ——一台风机出口断面积 (m^2);

F ——隧道横断面积 (m^2);

$$\psi = \frac{v_e}{v_j}$$

v_e ——隧道断面平均风速 (m/s);

K_j ——考虑隧道壁面摩擦影响的射流损失系数, 与风机距壁面的距离有关, 可按图 4.3.17 取值。

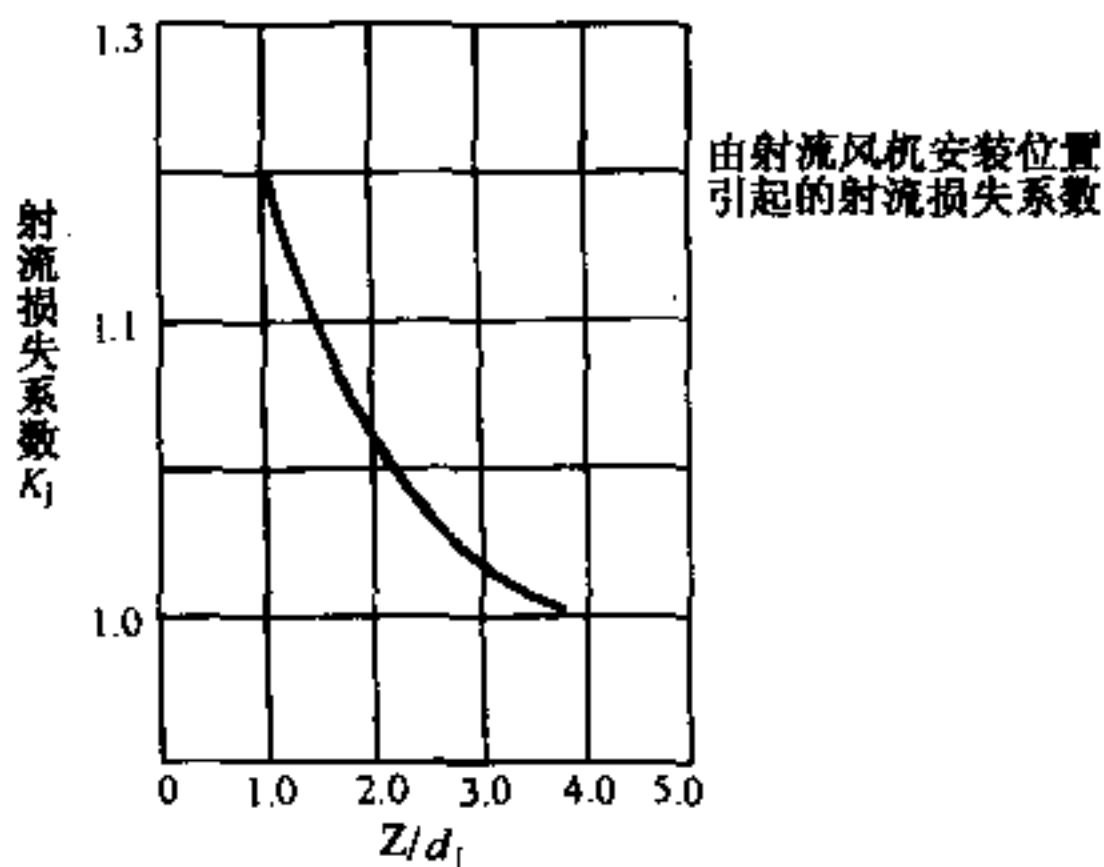


图 4.3.17 射流损失系数 K_j

Z ——风机中心距隧道壁面的距离 (mm);

d_j ——风机出口直径 (mm)。

4.3.18 采用射流风机通风时, 可根据隧道需要风量 (风速 v_e)

与隧道通风阻力等，按下式计算所需射流风机台数（隧道内无列车时）：

$$np_j = p_\lambda + p_n \quad (4.3.18)$$

式中 n ——需要射流风机组数（每组 x 台），

$$n = \frac{\xi_n (v_e^2 + v_n^2)}{\frac{2v_j^2}{K_j} \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} \right) \left(1 - \frac{v_e}{v_j} \right)^2}$$

p_j ——每组射流风机压力；

p_λ ——隧道通风阻力，

$$p_\lambda = \left(1.5 + \frac{\lambda L_T}{d} \right) \frac{\gamma}{2g_n} v_e^2 = \xi_n \frac{\gamma}{2g_n} v_e^2$$

p_n ——自然风压力（反风），

$$p_n = \left(1.5 + \frac{\lambda L_T}{d} \right) \frac{\gamma}{2g_n} v_n^2 = \xi_n \frac{\gamma}{2g_n} v_n^2$$

4.3.19 列车在隧道内顺列车提前通风，当已定射流风机台数 n 时，可按式（4.3.19）计算提前通风隧道风速 v_{me} ：

$$\left[\frac{2n}{K_j} \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} \right) + K_m - \xi_m \right] v_{me}^2 - \left[\frac{4n}{K_j} \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} \right) v_j + 2K_m v_T \right] v_{me} + \frac{2n}{k_j} \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} \right) v_j^2 + K_m v_T^2 \mp \xi_n v_n^2 = 0 \quad (4.3.19-1)$$

$$np_j + p_m = p_{\lambda m} \pm p_n \quad (4.3.19-2)$$

式中 p_j ——射流风机压力， $p_j = \frac{\gamma}{g_n} v_j^2 \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} \right) \left(1 - \frac{v_{me}}{v_j} \right)^2 \frac{1}{K_j}$ ；

p_m ——列车活塞压力， $p_m = K_m \frac{\gamma}{2g_n} (v_T - v_{me})^2$ ；

$p_{\lambda m}$ ——有列车时隧道通风阻力，

$$p_{\lambda m} = \left[1.5 + \frac{\lambda (L_T - l_T)}{d} \right] \frac{\gamma}{2g_n} v_{me}^2 = \xi_m \frac{\gamma}{2g_n} v_{me}^2$$

注：当自然顺风时，式（4.3.19—2）中 p_n 采用负号，式（4.3.19—1）中 v_n^2 项改用正号。

4.4 双线隧道内燃牵引机械通风

4.4.1 双线隧道沿程阻力系数 λ 可取 $0.015 \sim 0.019$ 。

4.4.2 双线隧道宜采用射流通风方式。

4.4.3 单列车在双线隧道内运行时, 列车阻力系数 N 可取 8×10^{-4} (1/m)。交会列车时活塞风长度应取零。

4.4.4 为保证双线隧道内列车通过能力, 通风允许时间应按列车运行图进行选择确定, 当无资料时, 可按下式计算:

$$t = \frac{86\,400}{m + n - Z} - t' \quad (4.4.4)$$

式中 t ——平均允许通风时间 (s);

m, n ——每日上行、下行列车次数;

Z ——每日在隧道内的交会次数;

t' ——列车在隧道内的平均运行时间 (s)。

4.4.5 列车出洞时隧道中残留的污浊空气段长度可采用换气系数计算, 换气系数可取 1.1。

$$L_q = 1.1 \left(1 - \frac{v_m}{v_T} \right) L_T \quad (4.4.5)$$

4.4.6 双线隧道采用射流通风时, 风机宜集中布置, 当风机台数较多, 难以布置于一个断面时, 可分几个断面布置, 同时断面的间距应合理。

4.4.7 隧道内通风风速应根据不同的射流风机布置方式选取合适的喷流系数计算, 对于风机集中布置情况, 应考虑洞内风速达到稳定需要一段时间的影响。

5 瓦斯隧道通风

5.1 一般规定

5.1.1 运营隧道内，瓦斯浓度在任何时间、任何地点都不得超过0.5%。

5.1.2 瓦斯隧道运营通风宜在列车进入隧道前或在列车出隧道后进行。列车在隧道内运行时不应进行通风。

5.1.3 瓦斯隧道运营期间宜采用定时通风：当隧道内瓦斯浓度达到0.4%时，必须启动风机进行通风，保证隧道内瓦斯浓度不大于0.5%，当瓦斯浓度降到0.3%以下时，可停止通风。

5.1.4 瓦斯隧道应设置控制室，对隧道内各分站的瓦斯、风速等有关参数及分站设备的工作状态、馈电状态等进行连续自动监测；当出现瓦斯浓度超限或其他异常情况时，控制室中心站应能自动报警，并发出风机启动信号，启动风机对隧道内进行通风，排除隧道内的瓦斯。

5.2 通风计算

5.2.1 瓦斯隧道运营通风计算应以瓦斯逸出量及隧道内最小风速作为主要依据。

5.2.2 瓦斯逸出量可按式(5.2.2)计算：

$$q = \frac{K \cdot A \cdot (p_1^2 - p_2^2)}{2h\gamma p_2} \quad (5.2.2)$$

式中 q ——瓦斯逸出量 (m^3/s)；

K ——衬砌及缝隙的渗透系数 (cm/s)，可通过试验测定；

p_1 ——透气压力(MPa)，可取封闭后煤层内的瓦斯压力值；

p_2 ——隧道内空气压力，可取0.1 MPa；

A ——透气面积 (m^2), $A = L_1 \cdot S$;

L_1 ——隧道穿越煤系地层的长度 (m);

S ——隧道断面周长 (m);

h ——渗透厚度 (cm), 可取衬砌厚度;

γ ——气体的重度 (N/cm^3)。

5.2.3 瓦斯隧道运营通风的最小风速不得小于 1.0 m/s 。

5.2.4 瓦斯隧道通风计算应按本规范第 4 章有关公式进行, 但不计列车活塞作用时, 其需风量应分别按瓦斯逸出量和隧道内最小风速计算, 并取其最大值, 再计算风机风压等。

6 通风道与风机房

6.1 通 风 道

6.1.1 通风道不应设置在有塌方、滑坡等不良地质地段，亦不应设在地表水或地下水汇集的山沟与低洼处。必要时，经技术、经济比较后，机械设备可置于地下洞室。

6.1.2 风道进口宜与地形等高线正交或接近正交。

6.1.3 选择风道位置、风道与隧道的夹角等，除按有关公式计算进行通风效果比较外，尚应考虑地形、地质与施工等条件。风道与隧道的夹角不宜小于 15° ，通常采用 $15^\circ \sim 20^\circ$ 。

6.1.4 风道长度宜短，风道断面不宜太小和变化过多，断面形状可取半圆拱并使断面高宽接近。风道口（隧道边墙处）断面形状与高宽比可按地质情况、施工条件与结构条件等因素确定。紧靠风机的一段风道应顺直，风道的中心线应与风机轴线一致。

6.1.5 双侧风道（并联）与单侧风道布置方式的选择可按施工与运营管理等条件比选确定。

6.1.6 风道内应设置不小于 3‰ 的向隧道方向的下坡，除竖井、斜井外，风道纵坡亦不宜过大。

6.1.7 风道口（隧道边墙处）底部高程宜高出该处轨面 15～20 cm；当风道坡度较大时；风道与隧道连接段，应有不小于 10 m 的缓坡，使风流通畅。

6.1.8 风道内风速宜采用 15～20 m/s。

6.1.9 利用辅助坑道进行隧道运营通风时，应核算其断面积，并使其符合通风的要求。

6.2 风 机 房

6.2.1 风道外洞口地形、地质应适合风机房施工场地与运营养

护的需要。

6.2.2 风机房应保持干燥，采用吸出式通风时应避免风道漏水随风吸出而淋湿风机、电动机等设备。

6.2.3 风机房不应设在深挖槽内，宜设在地势开阔处，并需注意通风时的风流作用，不使雨水飘淋电动机、风机等设备。

6.2.4 风机房应安装避雷设备并设置遮断开关，保障安全。

7 通风机及机电设备

7.1 通 风 机

7.1.1 隧道运营通风，应根据所需的供风量和风压选择风机。并按风机特性曲线选定风机的型号、工况点（风量、风压）和叶片角度。同时应根据经济技术条件比选，确定采用一台大的风机或用两台较小的风机并联。

7.1.2 吹入式通风可不装扩散器；吸出式通风必须装扩散器。

7.1.3 风机可不考虑备用的台数。

7.1.4 采用竖井(斜井)式通风时,风机、电动机等设备不宜设在井下。

7.1.5 双线隧道通风宜采用射流风机。

7.1.6 射流风机的选型应结合采用洞内壁龛式或洞口堆放式所引起隧道断面增加的工程量比选确定。

7.2 机 电 设 备

7.2.1 通风动力宜采用电力驱动。两台风机并联时，通风动力应满足两台风机同时起动的需要。

7.2.2 供电时，应考虑电力变压器至风机房的线路压降，电力变压器至机房距离不宜过远。


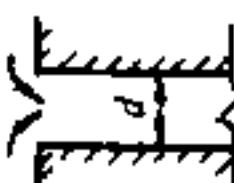
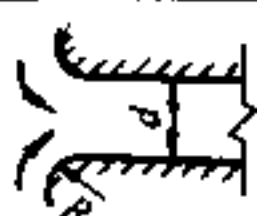
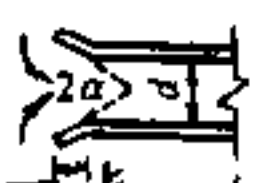


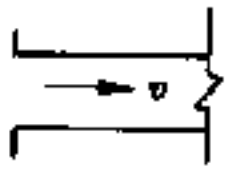
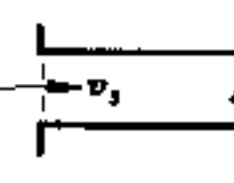
7.2.3 在雷击区变电系统均应安装避雷设备。电力变压器的高压端尚应设置遮断开关。

7.2.4 风机动力为二级供电系统，不考虑备用电网，应与其他供电线路分开，避免相互干扰。瓦斯隧道的风机动力应为一级供电系统，必要时应设置部分备用电源。

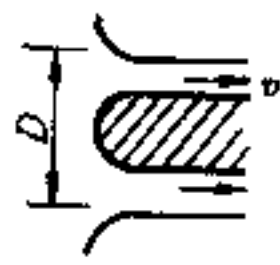
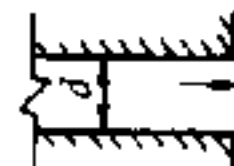
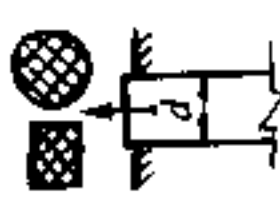


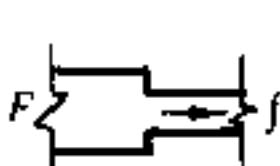
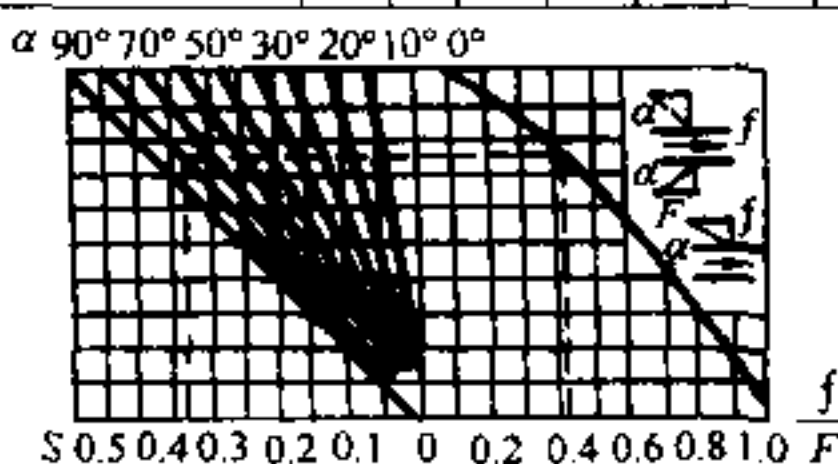
7.2.5 用内燃机驱动风机时，应采取措施防止内燃机废气随风带入隧道。设计时应考虑油料的供应和储放设施。

附录 A 局部阻力系数

表 A 局部阻力系数

顺序	名 称	图 式	阻力系数	备 注
1	直管进口		$\xi = 0.6$	见注 1 第 220 页
	有直角边进口		$\xi = 0.3$	见注 1 第 220 页
	带曲边的进口		$\xi = 0.1 \left(\frac{R}{d} = 0.1 \right)$	见注 1 第 220 页
	喇叭形进口		$\xi = 0.05 \left(\frac{2\alpha = 45^\circ}{l/d = 0.5} \right)$	见注 1 第 220 页
	带网格的进口		$\xi = 0.4$ (网格净面积为 80% 时)	见注 2 第 180 页
	竖风道进口		$\xi = 1.0$	见注 2 第 181 页
2	铁路隧道及风道进口		$\xi = 0.5$	
	风机房铁栅栏进口		$\xi = 0.1$ (网格净面积为 80% 时)	连同进口损失 $\xi = 0.5 + 0.1$

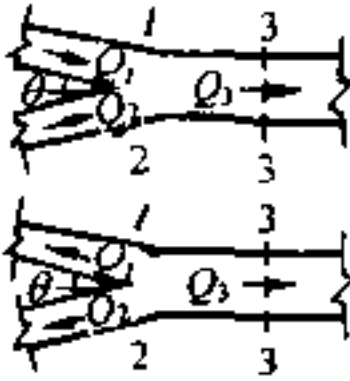

续表 A

顺序	名 称	图 式	阻力系数	备 注														
2	风机集风器进口		$\xi = 0.4$	$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2}$ (取自风机模型资料)														
	直管出口		$\xi = 1.0$	见注 1 第 136 页														
	带网格的出口		$\xi = 1.6$ (网格净面积为 80% 时)	见注 2 第 178 页														
	竖风道出口		$\xi = 1.0$	见注 2 第 178 页														
3	突然扩大	 $\xi = \left(1 + \frac{f}{F}\right)^2 (l > 8d \text{ 时})$		见注 2 第 175 页														
4	突然收缩	 <table data-bbox="942 1896 1467 2104"><tr><td>f/F</td><td>0</td><td>0.2</td><td>0.4</td><td>0.6</td><td>0.8</td><td>1</td></tr><tr><td>ξ</td><td>0.5</td><td>0.42</td><td>0.34</td><td>0.25</td><td>0.15</td><td>0</td></tr></table>	f/F	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	ξ	0.5	0.42	0.34	0.25	0.15	0		见注 3 第 100 页
f/F	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1												
ξ	0.5	0.42	0.34	0.25	0.15	0												
5	断面渐扩	 曲线: I—圆形; II—正方形		见注 3 第 100 页 当 $R > 20^\circ \sim 25^\circ$ 时, 宜按突然扩大计														

续表 A

顺序	名称	图式	阻力系数	备注
6	断面渐缩			见注 3 第 100 页
	转弯		$\xi = 1.735 \left(\frac{\alpha^0}{100} \right)^2$	见注 4 第 154 页
	圆弧弯管		$\xi = 0.6 \quad (\gamma = \frac{1}{3} d, R = 1.5d \text{ 时}); \xi = 0.3 \quad (\gamma = \frac{2}{3} d, R = 1.67d \text{ 时})$	见注 1 第 235 页
	带锐角的 90° 弯管		$\xi = 1.4$	见注 1 第 235 页
	内缘切成 15° 弯管		$\xi = 0.66 (\text{切割长} = 0.56)$	见注 1 第 235 页
	内缘呈圆弧形		$\xi = 0.75 (\gamma = \frac{1}{3} b \text{ 时})$ $\xi = 0.52 (\gamma = \frac{2}{3} b \text{ 时})$	见注 1 第 235 页
	两个 90° 同向弯管		$\xi = 2.1 (l > 8b \text{ 时})$	见注 1 第 235 页
7	两个 90° 反向弯管		$\xi = 2.4$	见注 1 第 235 页

续表 A

顺序	名称	图式	阻力系数	备注
8	对称三通管 汇流与分流		汇流 $\xi_{13} = \frac{4}{n^2} + 1 - \frac{4\cos\theta}{n}$ 分流 $\xi_{31} = \frac{4}{n^2} + 1 - \frac{4\cos\theta}{n}$	摘自 N·E·依杰里克《水力摩阻》第 240 页 $n = \frac{F_3}{F_1}$ 均用 v_1 计算
9	固定的百叶栅格		$\xi = 0.3$	见注 2 第 181 页

注：1 《矿井巷道的通风阻力》；
 2 《风道计算法》；
 3 《通风风道计算法》；
 4 《矿井通风学》。

附录 B 常用摩擦阻力系数 λ 值

附录 B 常用摩擦阻力系数 λ 值

顺序	隧道风道特征	λ	α	备 注
1	混凝土拱, 浆砌块石墙, 碎石道床, 普通枕	0.026	0.004 0	$\alpha = \frac{\gamma \lambda}{8 g_n}$ 表中以 $\gamma = 12 \text{ N/m}^3$ 计
2	混凝土拱及墙, 碎石道床, 普通枕	0.025	0.003 8	
3	混凝土拱, 浆砌块石墙, 整体道床或混凝土宽枕	0.023	0.003 5	
4	混凝土拱及墙, 整体道床或混凝土宽枕	0.021	0.003 2	
5	浆砌块石风道	0.018	0.002 8	
6	混凝土风道	0.016	0.002 5	
7	锚 喷	$\frac{1}{\left(1.74 + 2 \lg \frac{d}{2K}\right)^2}$		d —当量直径(m) K —壁面平均凸起高度(m)
	$\frac{K}{d} = 0.001$ 0.005 0.010 0.020 0.030	0.020 0.030 0.038 0.049 0.057		

注: 计算式 $\lambda = 0.11 \left(\frac{K}{\alpha} \right)^{0.25}$ 。

本规范用词说明

执行本规范条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

(1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

《铁路隧道运营通风设计规范》

条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

1.0.1 在 40 多年我国铁路隧道建设过程中，隧道运营通风设计取得了一定的经验和成果，为了更有效地发挥铁路隧道运营通风设计有效的经验和成果，在总结经验的基础上，为统一技术标准，故制订本规范。

1.0.3 隧道是铁路的重要结构物，隧道通风系统是长隧道不可缺少的部分，若在长隧道内不解决运营通风，将危害养护人员、乘务人员、旅客的身体健康，腐蚀隧道内各种设备和衬砌，为此，条文明确了运营通风的目的和要求。

1.0.4 条文中所指尚应符合的国家现行的有关强制性标准主要有：

- (1) 《铁路隧道设计规范》(TB 10003—99)；
- (2) 《铁路隧道施工安全技术规则》(TBJ 404—87)；
- (3) 《铁路技术管理规程》；
- (4) 《铁路隧道施工规范》(TBJ 204—86)；
- (5) 《铁路运营隧道空气中内燃机车废气容许浓度》(TB 1912—87)；

3.0.4 卫生标准的制订是根据国务院 1982 年 2 月 13 日的国发〔1982〕30 号文发布的矿山安全条例的第六节第五十一条的有关规定为依据的。

关于氮氧化物（换算成 NO_2 ）浓度的卫生标准是根据 1988

年1月4日发布的铁道部标准《铁路运营隧道空气中内燃机车废气容许浓度》(TB 1912—87)制订的。

关于电化隧道卫生标准,目前工作情况如下:

(1) 关于电力牵引的隧道内有害气体浓度和电磁场强度及人体感应电流量测数据如说明表 3.0.4—1 及说明表 3.0.4—2 所示:

说明表 3.0.4—1 电力牵引隧道内有害气体浓度

隧道名称及 单、双线	长 度 (m)	机车类型 及台数	有害气体浓度 (mg/m ³)			粉尘浓度 (mg/m ³)		噪声强度 (dB)			
			NO _x	CO	SO ₂	平均	最高	平均	最高		
大瑶山(双)	14295	韶山型一台	0.4	<1.3	0.5	0.65	5.70	27.8	45.4	114	100
会龙场(单)	4009	韶山型一台	0.467	3.73	0.366	1.54	2.93			102	

说明表 3.0.4—2 电力牵引隧道电磁场强度及人体感应电流

隧道名称及 单、双线	电场强度 (kV/m)				磁感应强度 (mT)				人体感应电流 (μA)			
	隧道外		隧道内		隧道外		隧道内		隧道外		隧道内	
	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值
大瑶山(双)	4.24		2.01	4.20	0.28		0.21	0.87	39.1		17.2	34.0
会龙场(单)	2.3	<6	2.0		0.26	<2	0.2		20	70	17	

(2) 由于电力牵引的铁路隧道运营通风,过去研究极少。本规范中有关电气化隧道的运营通风有关要求和规定是参照西(安)—(安)康线的秦岭隧道《电化特长单线隧道运营通风必要性及综合配套技术的研究》(1995G48—R)的阶段成果审查意见及铁鉴函〔1997〕306号《关于西安安康线青岔至营盘(含秦岭特长隧道)技术设计的批复》拟定的。

秦岭特长隧道的运营通风的设计原则是:

(1) 根据课题组对秦岭隧道环境状况的分析,可能出现洞内湿度、粉尘、臭氧超过卫生标准;不利条件的困难地段,洞内温度超过28℃,氧气含量低于20%的情况,有必要设置机械通风。

(2) 采用纵向诱导式(射流风机)通风方案。

(3) 通风按纵向诱导式通风理论检算,并考虑列车活塞风及自然风的作用,通风风流方向应与列车行驶方向相同,充分利用列车活塞效应。

(4) 通风时间按 90 min 计算,并分别核算 45 min 及 60 min 的通风能力,在天窗时间内通风,风机台数应考虑 10% 的备用量。

(5) 洞内射流风机采用集中并联布置方式,并置于洞内侧壁。

(6) 洞内风机设置应遵循能耗较少原则,并便于集中管理及养护维修。

由于电气化隧道运营通风的科研仍在继续进行,实践尚少,因而在本规范中仅原则列述,有关通风计算的具体规定尚待今后补充完善。

本规定未包括地层中放出的有害气体的特殊处理。

3.0.5 隧道设置机械通风的条件,条文提出“应根据牵引种类、隧道长度、隧道平面和纵断面、道床类型、行车速度和密度、气候条件及两端洞口地形等因素综合考虑确定”,是通过各地区 30 多座隧道的调查结果确定的。一座隧道是否设置机械通风不能单纯以长度来确定,例如某隧道长 2 533 m,为整体道床,两端洞口分别有 130 m 和 360 m 的曲线,坡度约为 12‰(双机),内燃牵引,隧道自然通风良好,一般排除有害气体约需 15~20 min,在不利情况下排烟时间约 30 min;而某隧道长 2 434 m,为碎石道床,纵坡为 +6‰, -7‰人字坡,蒸汽机车牵引,行车速度约为 25 km/h,列车通过隧道排除有害气体约需 40 min,自然风影响不利时时间更长。双线隧道电力牵引,因缺乏相关的资料与工程应用实例,本标准未提出相应标准,有待进一步积累资料,待条件成熟时增补。

1 鉴于影响隧道运营通风的因素比较复杂,如何确定隧道需设置机械通风的具体条件,尚待继续研究试验,本条就“隧道

长度”这一因素而言，在内燃机车牵引时规定 2.0 km 上，是通过已建成的隧道调查，作为考虑设置机械通风的隧道长度指标的大致界限，在实际应用中尚需结合具体工点特点，按照条件所规定的原则，研究确定。

2 关于提出当电力牵引的单线长隧道在 8 km 及以上时，宜考虑设置机械通风进行隧道内换气是根据既有隧道大瑶山隧道（双线，全长 14 295 m）及会龙场隧道（单线，全长 4 009 m）的调查拟定的，目前（西）安—安（康）线秦岭隧道正在进行科研，尚有待今后试验成果予以修正。因此，对此更应结合具体工点特点，综合多方面的因素，来确定是否设置机械通风。

3 关于双线隧道目前已有焦枝复线新龙门隧道（全长 2 540 m）（科研合同编号 1993G19）及京九线五指山隧道（全长 4 455 m）〔科研合同编号 1993G19（补充合同）〕两个科研成果，因此，本规范纳入了双线隧道机械通风一节。1999 年 10 月 21 日在洛阳由铁道部建设管理司组织评审的《双线铁路隧道运营通风标准制订的研究》的科研成果，明确提出“双线隧道设置运营通风标准值 $L \cdot N = 100$ ，其中 L 为隧道长度（km）， N 为行车密度（对/d），即在一般情况下，当 $L \cdot N \leq 100$ 时，不应设置机械通风。”并经对内燃牵引的铁路隧道，用该标准检查，符合实际，故本次规范编制时予以纳规。

3.0.6 迄今，全国完成运营通风设计的隧道已近 300 座，大多为无帘幕洞口风道式。竖井式和斜井式一般系结合施工使用的竖井和斜井作风道，采用得较少。

当利用辅助坑道作运营通风时，需要根据通风对断面的要求进行核算，这是根据过去某些隧道在设计辅助坑道时未考虑适应运营通风的要求，往往发现坑道断面不能满足运营通风的需要，若进行改造，则造成浪费，对于运营通风道断面的选定来说，一般认为良好的风道，风速应在 12 m/s 以下，可使克服坑道摩擦阻力需要的压力减少，因而可以节约通风所需的动力，克服风道内阻力所需的压头，其关系式如下：

$$h = RQ^2 = \alpha \cdot \frac{SL}{F^3} Q^2$$

式中 α ——沿程摩擦阻力系数；

S ——断面周边长 (m)；

L ——风道长度 (m)；

F ——风道断面积 (m^2)；

Q ——所需风量 (m^3/s)。

根据上述关系式，假设坑道长 200 m，在同一条件下，当风量在 $240 \text{ m}^3/\text{s}$ 时， $F = 5 \text{ m}^2$ 比 $F = 20 \text{ m}^2$ 面积的坑道，克服风道摩擦阻力所需的压头增加 24 倍，耗电量也增加 24 倍，这说明断面大小对消耗的动力影响很大。

射流风机（均为轴流式风机）通风与洞口风道式通风原理相同，理论上两者的通风效率也应接近，但由于风机效率、风道损失等的差别，风机功率有所差别，土建工程方面射流风机要占用隧道断面空间而省去了洞口风道式的风道与风机房，如果隧道断面净空无富余，需加大隧道断面来安装风机，则经济上是否划算应作具体比较。机电设备方面，风机价格可能有差别，射流风机要多一些进洞电力电缆，射流风机分散在洞内（或集中于洞口，或是悬挂于洞顶），养护将增加一些困难。

因此，在通风方面选择中，要结合隧道的实际，做经济技术比较。

当隧道断面无富余空间时，可考虑在局部地段扩大隧道断面来布置射流风机，此时射流阻力将增大，通风效率将降低，所需风机台数将有所增加，如果风机布置在隧道洞口，将洞口的断面扩大，则将与洞口风道吹入式相仿（多如射流风机并联工作）。

3.0.7 目前我国铁路隧道采用的通风方式多属纵向式通风，通过现场试验研究证明，排除隧道内的有害气体的过程，系以挤压为主。故条文规定：“配置通风设备时，通风机所需供给的有效风量，应按挤压为主的原理进行计算”。自然风对运营通风的影响，当自然风方向与气流排烟方向一致时，起着加压的作用。反

之，则起阻力的使用，两者作用不同，在设计计算时应予以考虑。

考虑列车通过隧道的活塞风是利用列车在隧道中运行时的活塞作用，引起洞外新鲜空气从洞口向隧道内流动；当通风方式是采用沿列车运行方向吹入式通风时，其方向与列车运行方向相同，可利用列车的活塞作用，引起洞外新鲜空气从洞口向隧道内流动；如列车出洞后开始通风可以节省通风量，当通风方向与列车运行方向相反，且采用迎面吹入式通风时，则不能利用活塞风对通风的有利作用，同时还要考虑风流方向改变的影响。

当隧道为单方向通风时，选择通风位置，应在低洞口至活塞风长度范围内布置（通风设备设于低洞口）这样能使隧道内有害气体顺利地排出洞外。

条文规定：“通风机供给的隧道内风速，不应大于 8 m/s ”，主要是根据人体感觉和适应能力而定的。

3.0.8 洞口风道吹入式通风系统中，通风机供给的风量，通过风道进入隧道排除污染了的空气，由于设置通风机这一端洞口有可能一部分风量从短路端漏出洞外，也有可能引进一部分风量，即进入隧道起排除污染空气作用的有效风量小于或大于通风机的供风量，影响隧道内有效风量与许多因素有关：如风道口面积、风道中线与隧道中线的夹角、隧道长度、风道位置以及隧道内自然风速、风向等条件均可影响有效风量，在同一条件下，改变风道与隧道的夹角，如从 0° 变到 30° 时，流量分配比要减少 0.09，可见其影响。

3.0.9 射流风机可在隧道一个断面上布置一台或多台作为一组，根据隧道断面与风机尺寸决定在隧道纵向按一定间距要求，按通风需要布置若干组。

同一断面上，两台或两台以上的风机组的风机横向间距按安装、检修所需尺寸拟定即可。

风机组布置在靠近洞口地段或隧道中部地段，对于隧道纵向通风的效果是相同的，为使动力电缆引入隧道距离较短，当然应

布置在靠近变电站的洞口段，如果隧道低洞口外设置变电站无特殊困难，则风机组布置在低洞口段比较适宜，此时当列车进洞通风时，风机组全部或部分是在活塞风引进的新鲜空气中运转。

各风机组的纵向间距应大于风机射流段的距离（即一组风机出口高速风流与隧道风流混合后达到隧道断面风速基本均匀（相当于隧道风流为均匀流动时的风速）时的距离）。关于射流段的距离有各种文献介绍其试验结果，不尽一致，考虑单线铁路隧道中采用射流风机时，风机直径较小，所需台（组）数不会很多，且为将烟气段一次通风挤压出隧道的通风方式，故建议射流风机距离按 $10d$ 考虑， d 为隧道当量直径（水力直径），加上安全度则风机纵向最小间距可按 $10d + 20\text{ m}$ 设计，并不宜小于 70 m 。

如风机组布置在低洞口段，第一组风机进风口距洞口（进风端）的距离，理论上对通风效果无多大影响，如果不需反转通风，则按 10 m 布置即可。如风机组布置在高洞口段，则最后一组风机距出风端洞口最小距离应不小于射流段长度，也即 $10d + 20\text{ m}$ 。

风机距隧道壁（顶）面距离太近时，对安装检修不便且影响通风效果。当隧道断面净空有限，不得已而将风机布置距壁面较近时，要计入降低通风效果的影响。

4.1.2 隧道机械通风的设计原则，一般都以排出隧道烟气为主要目标，即以上坡列车为通风对象，顺列车上坡方向通风排除隧道内烟气。因此，条文明确“单坡隧道只计上坡列车烟气的排除”。而人字坡隧道则不同方向的列车有不同方向的上坡地段，因此要“按两个方向行车的各自上坡的列车考虑通风排烟”。

4.1.4~4.1.5 行车条件有关参数及隧道通风各项参数是根据大量的试验量测资料总结出来的，对于单线隧道运营通风的设计，经过实践验证，是符合实际的，可应用于设计中。但对于双线隧道运营通风，通过近年来的试验量测，已作了部分调整，请参见第 4.4.1 条~第 4.4.3 条的说明。

4.2.1 隧道内的自然通风，就是不用风机设备，完全靠列车的

活塞作用及其剩余能量与自然风的共同作用，把烟气排出隧道。当隧道内的自然风向与列车运行方向相同时，自然风是助力作用，排烟则较快；若自然风向与列车运行方面相反时，列车出洞后活塞风逐渐衰减到零，然后反向流动，趋向恢复原始自然风的状态，将烟气从列车进洞的一端排出，这样的排烟时间相当长。故条文明确规定：“当缺乏当地实测资料时，对单坡隧道顺上坡列车方向通风排烟时，可按隧道内自然风速 1.5 m/s 计，双线隧道内自然风速 2.0 m/s 计。”

4.2.2 机械通风时，由于自然风与机械通风方向相同，并与列车运行方向一致时，自然风是助力作用，则计算比较简单，但当自然风与机械通风方向相反者，情况比较复杂，因此条文作了具体规定，然而这些规定也不能概括完全，因而在实际工作中，尚应作具体分析，分别对待。

4.3.1 列车在隧道中运行时，与机械活塞的作用相似，在列车的前端产生正压，并使列车后端空气稀薄而形成负压，此种列车前后端的压力差即称为列车活塞压力，由于列车活塞压力的作用，迫使隧道内的空气产生流动，即为列车活塞风，从列车首尾的压差来看，根据一般紊流阻力理论，列车活塞压力 P_m 与列车和隧道间隙中之空气对于列车的平均相对速度 v_T 的平方成正比，并与列车长度 l_T 成正比，据此推导出列车活塞压力的计算式。

4.3.2 从列车前后方的隧道段来看，列车活塞压力 P_m 应与隧道内阻力相平衡。当隧道是一个单一的隧道时，列车前端的正压力 P_{MB} ，用以克服列车前方的隧道摩擦阻力损失，其值为 $P_{MB} = \frac{\lambda L_R}{d} \cdot \frac{\gamma}{2g_n} v_m^2$ ；列车尾部的负压 P_{MA} ，用以克服隧道入口和列车

后方隧道的摩擦阻力损失： $-P_{MA} = \left(1.5 + \frac{\lambda L_A}{d}\right) \frac{\gamma}{2g_n} v_m^2$

$$P_m = P_{MB} - P_{MA} = \left[1.5 + \frac{\lambda(L_T - l_T)}{d}\right] \frac{\gamma}{2g_n} v_m^2 = \xi_m \frac{\gamma}{2g_n} v_m^2$$

式中

$$\xi_m = 1.5 + \frac{\lambda(L_T - l_T)}{d}$$

$$v_m = v_T \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\xi_m}{K_m}}}$$

此即单一隧道无自然风时列车活塞风速的计算公式。

4.3.3 当无竖井等旁通道的隧道内有自然风时，列车在隧道内运行时所产生的活塞压力 P_m 和自然风压 P_n 共同作用，与隧道内空气流动的阻力 P_λ 相平衡，即 $P_m + P_n = P_\lambda$ 。

将 $P_m = K_m \frac{\gamma}{2g_n} (v_T - v_m)^2$ 、 $P_n = \xi_n \frac{\gamma}{2g_n} v_n^2$ 和 $P_\lambda = \pm \xi_m \frac{\gamma}{2g_n} v_m^2$ 代入，即推导得本条的计算公式。

4.3.4 隧道内烟气段长度 L_q ，系指列车尾出洞时气段末段即烟气界面（列车活塞风引进之新鲜空气与烟气接触面附近烟气中有害气体为容许浓度的断面）距隧道出口的距离，简称“排烟长度”，按挤压理论计算的气段长度为 $L_q = L_T - L_M$ 。

但在烟气流动过程中，烟气界面在烟气段中的相对位置，将随流动时间而变化，故烟清（即当高于容许浓度的烟气段全部排出隧道时）所需的排烟长度将比计算的 L_q 有些增加，习惯上用换气系数 i 来考虑此因素。

换气系数 i ，应与烟气段初始浓度，有害气体容许浓度、烟气界面状况、通风方式和时间、隧道断面风速分布等条件有关，但通过试验，未得到较好的验证，也看不出其规律性。经过研究，认为在目前的情况下，不如以一安全系数（即活塞风修正系数 K_i ）的形式考虑过渡段内冲淡的影响，更觉直观，故决定采用条文所列计算公式。

4.3.5 设列车出洞后开风机，此时，隧道内稳定风速为 v_e ，由列车活塞风 v_m 变至 v_e 有一个变速过程，由于风机起动时间并不很精确，且 v_e 与 v_m 同方向，当二者数值相差不很大时，此变速过程可略去不计，以资简化，则需要的隧道通风量的计算公式如条文所列。

4.3.6 当隧道与风道之夹角 θ 和风道口面积 F_0 等值已设定，由于隧道短路端的漏风式引进风以及隧道内自然风的影响，都已反映到风量分配比 R 值内，故在求得 R 值之后，即可按条文所列公式计算需要的风机风量。

4.3.7 在模型试验中，风量分配计算公式得到了验证，现场试验中，又进行了验证，此风量分配计算公式，已应用多年。

4.3.8 局部阻力与摩擦阻力均通过试验取得数值，这是由于管道几何形状和流体流向变化（如缩小、扩大、转弯、三通等），导致气流速度的变化，造成气流非弹性冲击，并产生涡流，而损失其运动力（此即局部阻力损失）；和当流体沿着具有任意形状横断面的管道流动时，由于气流与管道周壁的摩擦作用而产生一部分能量损失（称为摩擦阻力损失），其大小取决于流体的流动速度、动力黏滞系数、密度、管壁的粗糙度和管道的水力半径等。

4.3.9 风机全压由伯努力方程求得该计算公式。

4.3.10 条文说明如下：

1 顺列车提前通风的特点是：

（1）列车的活塞风速与机械风的合成风速大于单一的活塞风速，即 $v_{me} > C_m$ ；与此同时，列车与隧道内空气的相对速度则减小。

（2）由于隧道内风速增大，需要排烟的长度缩短，故在列车出洞后，当风机风量相同时排烟时间将缩短，但包括提前通风所用时间在内，总的开机时间将增长。

（3）由于烟气段缩短，使烟气浓度增大，对内燃机车冷却也不利。

2 迎列车提前通风的特点是：

（1）列车活塞风与机械风的合成风速将小于单一的活塞风速，即 $v_{me} < v_m$ ；列车与隧道内空气的相对速度增大。

（2）烟气分布范围加大，烟气段增长，而浓度则降低；列车出洞后若仍继续吹风反向排烟，则排烟长度即隧道全长，且存在有风流反向的过程，排烟所需风量增大，通风时间增长。

(3) 由于加大列车与隧道内空气的相对速度, 可解除或减轻司机室的烟熏程度, 也有助于内燃机车的冷却, 与提高列车速度的效果相同。

4.3.11 根据各项压源的函数关系及能量方程和公式, 得到列车提前通风的一般计算式。

4.3.14 由于提前通风, 则 $v_{me} > v_m$, 故 $(v_T - v_{me}) < (v_T - v_m)$, 因而提前通风与不提前通风相比较, 所需排烟长度 L_q 缩短列车与周围空气的相对速度 v_r 减小, 平均烟气浓度 \bar{C}_x 则增加。

4.3.15 均根据隧道内压力分布的情况, 按动量平衡方程推求出计算式。

4.3.17~4.3.19 根据射流风机通风原理推求的计算式。

4.4.1 隧道沿程阻力系数是通风计算最关键、最基本的参数之一, 但目前该参数的实测值较少, 根据现有测试和研究成果列于说明表 4.4.1 中, 由该表可见, 隧道沿程阻力系数随道床类型、衬砌类型而变化, 在今后设计和研究中, 应注意选取合适的 λ 值, 并选取合适的工点补充完善 λ 的实测值。

说明表 4.4.1 双线铁路隧道沿程阻力系数表

隧道名	隧道长度 (m)	衬砌类型	道床类型	曲线情况	沿程阻力系数 λ
新龙门隧道	2 540	拱墙均为模筑混凝土	宽枕道床	反向曲线 $R = 800$ m 及 $R = 600$ m	0.014
牛家庄一号隧	1 653	拱部为模筑混凝土, 边墙为毛方石衬砌	碎石道床	进口 $R = 600$ m, 曲线长 160 m, 出口 $R = 600$ m, 曲线长 401 m	0.017
长沙隧道	713.3	拱墙均为模筑混凝土	碎石道床	出洞口为少量缓和曲线	0.019
樟河二号隧	1 417.7	拱墙均为模筑混凝土	整体道床	隧道南段位于曲线上	0.019
根据粗糙管沿程阻力系数关系推求结果					0.018~0.02

4.4.2 双线铁路隧道内行车密度大，列车运行情况比较复杂，采用洞口风道式通风方式时，当需要进行上、下行两个方向通风时，可能需在隧道进、出口都设置风道，不利于管理，土建工程相应也增加较大。射流通风最大的优点是节省土建工程和很方便地进行上、下行两个方向的通风。目前，我国在双线铁路隧道仅试验研究过射流通风，设计有通风系统的二座双线隧道（焦枝复线新龙门隧道和京九线五指山隧道）均采用射流通风。

4.4.3 由于双线隧道内列车阻塞比远小于单线隧道，列车在隧道中偏离中线较大等原因，双线隧道内活塞风速最大值及平均值较单线隧道内小，活塞风从初始变化到最大值的时间较长，相对稳定的时间较短，不稳定程度较大。根据新龙门隧道现场测试结果，单列车活塞风长度约为隧道长度的 0.25~0.3 倍，对于交会列车隧道内活塞风风流方向总是变化的，与上、下行列车进、出洞时间，列车速度和长度、自然风等因素有关。但不管列车交会地点如何变化，隧道内一般均有活塞风，且在初始阶段，风速增量方向与先进洞的列车运动方向一致，随着反向列车进洞，风速增量方向发生改变，之后，若先出洞列车方向与风速增量方向相反，则风速继续保持原变化方向；若先出洞列车与风速增量方向相同，则风速变化方向又发生改变，即与后出洞列车方向一致；考虑到双线隧道内列车活塞风的特点，计算列车活塞风时最好按一维不可压缩非恒定流计算。但为设计计算方便，条文中仍仿照单线隧道列车活塞风计算方法，建议列车阻力系数 $N = 8 \times 10^{-4}$ (1/m)，该值是根据新龙门隧道现场测试和模型试验结果得出的，其离散性比较大，且 N 并非常数，随隧道长度和沿程阻力系数，列车长度和速度、自然风速度和方向等因素而变化。因此，在设计中应根据具体工点选择合适的 N 值。

4.4.4 双线铁路隧道因行车密度大，若仍采用单线铁路隧道允许通风时间为 15 min 的标准，则将大为降低行车密度，影响整条线路的运输能力，这是很不经济的。因此，建议双线隧道允许通风时间按实际列车运行图选择，在无资料的情况下，可按条文

中式 (4.4.4) 计算。

4.4.5 列车在双线隧道内运行时,排出的有害气体与列车引入的活塞风在隧道的一部分长度上发生混合,相对增长了污浊空气段长度,因此引入换气系数来计算实际污浊空气段长度。一般说来,由于双线隧道内列车活塞风不稳定程度大,混合段长度可能较单线隧道更长,但双线隧道因净空面积大,污浊空气浓度相对较低,这又削弱了混合段的影响,两者综合考虑,取换气系数为 1.1,这也与新龙门隧道现场测试结果相一致。

4.4.6 根据新龙门隧道模型试验结果,风机台数相同时,风机布置方式对通风效率有较大影响,洞口集中布置、风机正转(吸)时效率最高,其次是风机分散布置(3~4 台为一组)、风机正转(吹),再其次是风机分散布置,风机反转(吸),最后是洞口集中布置,风机反转(吸)。因此,风机布置方式宜采用集中布置,这也有利于养护维修,对于多个断面相对集中布置的情况,断面间距应大于射流展开长度外加一定的安全距离,根据新龙门隧道试验结果,可采用 120 m 左右,当风机集中布置于洞口段,又需利用反转通风时,最外排风机距洞口应有一定的距离。

4.4.7 根据新龙门隧道试验结果,集中布置射流风机时喷流系数大小与风机台数、风机正反转工况、隧道长度、自然风等因素有关。新龙门隧道风机正转、自然顺风时喷流系数小于自然逆风时喷流系数,且随不同台数有所变化。风机正转、自然顺风时喷流系数平均值为 $K = 1.5$,自然逆风时喷流系数平均值为 $K = 1.75$ 。因此设计中应根据不同工点的具体情况选取合适的喷流系数。此外,在试验中也发现,列车车尾出洞后洞内风速达到稳定需要一段时间,如正常通风时,洞内风速由小到大,而提前通风时,洞内风速由大到小。因此设计中应考虑这种影响,对于正常通风,稳定风速影响系数(即按洞内稳定风速计算的通风长度与实际引入的新鲜空气段长度之比) S 可取 1.10~1.15,对于提前通风 S 可取 0.9。

5.1.1 瓦斯隧道的运营通风在 60 年代曾在贵昆线岩脚寨隧道,

由西南铁路建设工程指挥部组织的“隧道运营通风战斗组”作过试验研究。主要还是按常规运营通风的要求进行的，曾进行了自然通风，列车活塞风，机械通风、隧道内地层瓦斯以及机车废气浓度，机车温升等方面的测定与劳动卫生防护的研究。本次成果则主要来自南昆线家竹箐隧道的瓦斯隧道运营通风的研究试验(科研合同编号铁建工科字 N6)。

对于瓦斯浓度允许值，系根据《铁路瓦斯隧道运营通风标准值研究》成果确定，还有待今后通过实践总结修正。

5.1.2 这条条文是由瓦斯的特性所规定的，为了防止意外，因而规定，不应采用列车在洞内运行时进行通风，并要求尽可能采用吸出式通风方式。

5.1.3~5.1.4 均参照家竹箐隧道的科研成果拟定。

5.2.1~5.2.2 在家竹箐隧道的运营通风试验研究中，结合提高混凝土密实性，得到建成隧道的瓦斯渗入量是瓦斯隧道的运营通风主要对象，而渗入量与瓦斯压力、衬砌及缝隙的渗透系数有直接关系。对此要作认真的、确切的量测。对瓦斯隧道而言，内燃牵引产生的有害气体不是通风的主要对象，因而在条文中明确瓦斯隧道运营通风计算的主要依据是瓦斯逸出量。计算公式是依据家竹箐隧道的科研成果确定的。

5.2.3 最小风速的规定是根据安全规程的规定拟定的。

5.2.4 现以南昆线家竹箐隧道采用的斜井吸出式通风算例列示于后：

(1) 已知参数

①隧道长度 $L_T = 4\,990\text{ m}$ ，除隧道进、出口段有局部线路位于曲线段外，其余均位于直线。

②线路主坡度为 11‰ ，威舍至红果方向为上坡方向。

③隧道设计为一次电化。

④隧道断面积 $F = 31.25\text{ m}^2$ ，当量直径 $d = 5.8\text{ m}$ ，隧道拱圈与边墙均采用复合式衬砌，煤系地段采用全封闭衬砌，一次支护与二次支护之间加设 HDPE 板，整体道床，隧道壁面摩擦系

数取 $\lambda = 0.02$ 。

⑤2号斜井采用混凝土就地灌注并铺底取 $\lambda = 0.016$ 。

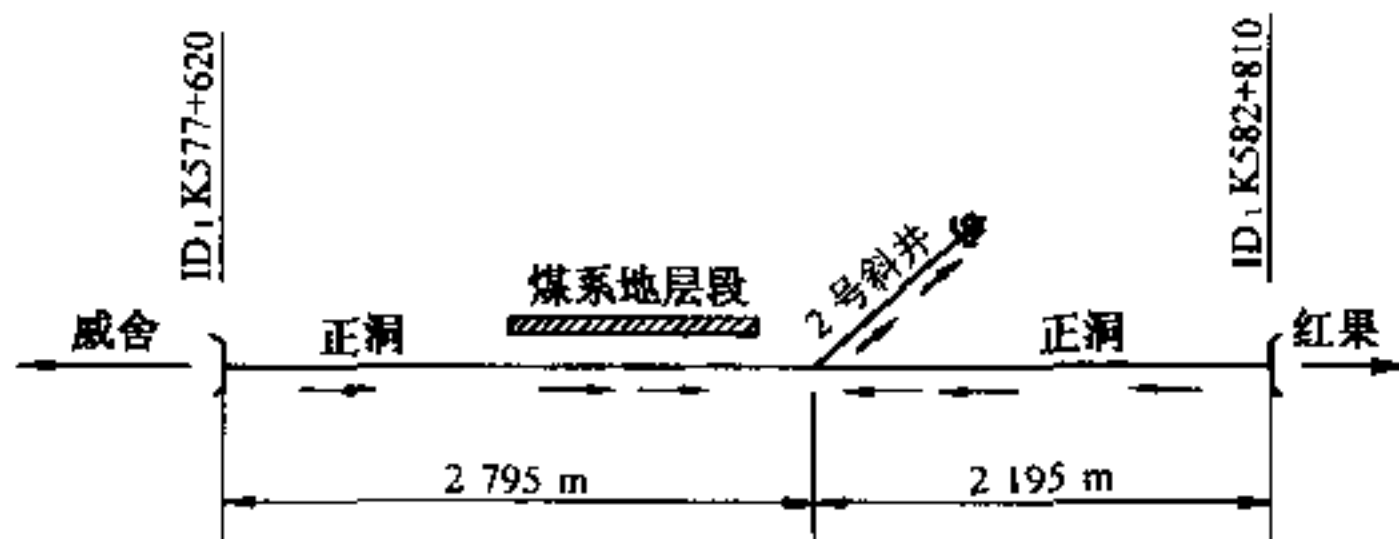
⑥风量备用系数 $K = 1.05$ 。

⑦按隧道内自然风 $v_n = -1.5 \text{ m/s}$ (对煤系地段), 空气重度 $\gamma = 1.2 \text{ kg/m}^3 = 11.77 \text{ N/m}^3$ 。

⑧隧道内瓦斯浓度标准: $\delta_{\text{CH}_4} \leq 0.5\%$ 。

(2) 斜井吸出式通风计算

①通风方案 (如图)



②风量分配比计算

$$1.0 + \frac{\lambda L_1}{d_1} = 1.0 + \frac{0.02 \times 2795}{5.8} = 10.64$$

$$1.0 + \frac{\lambda L_2}{d_2} = 1.0 + \frac{0.02 \times 2195}{5.8} = 8.57$$

$$\xi_n = 1.5 + \frac{\lambda L_T}{d} = 1.5 + \frac{0.02 \times 4990}{5.8} = 18.71$$

$$R = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\left(1.0 + \frac{\lambda L_1}{d}\right) + \xi_n \left(\frac{v_n}{v_1}\right)^2}{1.0 + \frac{\lambda L_2}{d}}}} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{10.64 + 18.71 \times \left(\frac{1.5}{1.5}\right)^2}{8.57}}}$$

$$= 0.351$$

③需要风量计算

a. 根据瓦斯渗漏量配风

据前述瓦斯渗漏量计算所需风量, 在瓦斯渗漏压力为

1.6 MPa时, 煤系地层段需要风量仅为 $4.2 \text{ m}^3/\text{s}$, 很小, 故按煤系地层段最小风速配风。

b. 按最小风速配给风量

根据前述, 为防止煤系地层段拱部瓦斯聚集, 并稀释和排除拱部瓦斯在此按煤系地层段 (L_1 段) 风速 $v_1 = 1.5 \text{ m/s}$ 计。

则 $Q_1 = v_1 \times F = 1.5 \times 31.15 = 46.73 \text{ m}^3/\text{s}$

L_2 段 (非煤系地层段) 风量及风速为:

$$Q_2 = Q_1 \times \left(\frac{1-R}{R} \right) = 46.73 \times \left(\frac{1-0.351}{0.351} \right) = 85.61 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_2 = \frac{85.61}{31.15} = 2.75 \text{ m/s}$$

需要风机风量:

$$Q = K(Q_1 + Q_2) = 1.05 \times (46.73 + 85.61)$$

$$= 138.96 \text{ m}^3/\text{s}$$

由于在计算风机风量时考虑了 5% 的余量, 因而隧道各段风速和风量略有增加。

则隧道内 L_1 、 L_2 段的实际风量和风速如下:

$$v_1 = 1.05 \times 1.50 = 1.58 \text{ m/s}$$

$$Q_1 = 1.58 \times 31.15 = 49.22 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_2 = 1.05 \times 2.75 = 2.89 \text{ m/s}$$

$$Q_2 = 2.98 \times 31.15 = 90.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_g = Q_1 + Q_2 = 49.22 + 90.02 = 139.24 \text{ m}^3/\text{s}$$

取 $Q_g = 140.00 \text{ m}^3/\text{s}$

④需要风机静压计算

根据风道 (2 号斜井) 几何参数可按常规风阻计算方法计算得通风系统总风阻 $M_c = 51.60 (\mu/10)$, 则主风机静压为

$$H_g = M_c \times \left(\frac{Q_g}{100} \right)^2 + P_2$$

$$= 51.6 \times \left(\frac{140}{100} \right)^2 + 5.25$$

= 106.39 mm 水柱

⑤风机轴功率及需要电动机功率

风机功率:

$$N_g = \frac{106.39 \times 140}{102 \times 0.82} = 178.08 \text{ kW}$$

电机功率:

$$N_{ed} = 1.15 \frac{178.08}{0.98 \times 0.94} = 222.31 \text{ kW}$$

现场实际安装一台 ASN-2643/1120 型风机, 其参数为:

风机风量——8 400 m³/min

风机全压——1.173 kPa

电机容量——225 kW (防爆电机)

按本课题要求, 铁五局瓦斯监测中心于 1997 年 12 月 5 日至 12 月 14 日对主风机进行了测试, 其结果如下:

风机风量——8 195 m³/min

风机全压——112 mm 水柱

6.1.1 条文的规定是从安全稳妥考虑的, 这里要补充说明: 凡初、近期以内燃牵引过渡, 远期为电力牵引时, 则在初设文件中应对如何设置运营通风提出具体意见提请鉴定, 而一次电化且考虑战备需要者, 应按内燃牵引隧道对通风的要求, 作“预留运营通风”的勘测设计, 即风道、风机房场地等土建工程与隧道一起施工, 风机房及机电设备等缓建。

6.1.2 这与隧道洞口的选择是一样的, 因而要求风道进口尽可能与等高线正交。

6.1.3 吸入式通风中隧道短路长度、风道与隧道夹角以及风道长度等对通风效果的影响均可用公式定量计算。

短路段应不长于上坡列车出洞时活塞风引进新鲜空气段长度, 短路段最小长度以保证隧道、风道的结构要求与施工安全为度, 一般可用至 40 m 左右 (短路段长度也可缩短至 0, 即当隧道洞口有条件时可扩大洞口断面, 风机设在扩大的洞口, 风机口

即风道口)。

风道、隧道夹角宜不小于 15° 以便施工，不宜过大以免影响通风效果。

6.1.5 两台风机的并联，可采用一个风道、两台风机并列的方式，也可采用在隧道两侧各设一个风道的双风道方式，双风道要设两座风机房，机房人员使用管理有所不便。

6.2.1~6.2.4 对风机房提出若干要求是为了保证运营操作的安全和工程的稳定，在设计中对于安全、稳定的其他方面也应予以注意。

7.1.1~7.1.5 为节省动力，风机应选低风压、大风量的，一般用轴流式风机（风机叶轮直径宜大，转速宜低，毂比宜小），需要风量小时，可两台或多台风机并联使用。

除风道阻力很大者外，目前可以 50A₄11No22 型风机为主，需要风量较小时可考虑 50A₁₁12No16 与 No20 型风机，需要风量较大时可考虑 05-12No28 型风机。

吸出式通风风机宜装扩散筒。

一般情况下，风机不考虑备用台数。

7.2.1~7.2.5

1 通风动力以电力为主，如电力供应困难或有其他原因，必要时可考虑用内燃机为动力的方案。若以内燃机为动力时，应作好供油设施的设计，并应采取措施防止内燃机烟气随风进入隧道。

2 两台风机并联时，通风动力应满足两台风机同时起动的需要。

3 要注意变压器至机房的线路压降，变压器至机房距离不宜太远。

4 除变压器高压端设置遮断开关外，风机房也应设置遮断开关以保证安全。

5 风机动力供电系统应与其他线路分开，以免互相干扰。

6 在雷击区，除变电系统应安装避雷设备外，风机房也应

安装避雷设备。

7 瓦斯隧道为确保安全，要求其风机动力应为一级供电系统，必要时应设置部分备用电源。