

1 总 则

1.0.1 为公路隧道通风与照明设计及营运管理提供技术准则，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于高速公路，一、二级公路的新建隧道和改建隧道，三、四级公路的新建隧道和改建隧道可参照执行。

1.0.3 本规范所采用的设计交通量为由远景设计年限年平均昼夜交通量换算的混合车高峰小时交通量；计算行车速度为洞内线形计算行车速度，一般不宜大于 100km/h。

1.0.4 公路隧道的通风与照明应纳入隧道建设总体设计周密考虑，以保证隧道内安全行车和经济营运为宗旨，选择适宜的通风方式和照明方式。

1.0.5 应根据公路等级、车道数、设计交通量、计算行车速度、车辆种类与排放量、隧道海拔高程、隧道所经路线及洞口附近的自然条件、隧道断面与平纵线形、洞内装饰情况等因素进行通风与照明设计。

1.0.6 通风设施宜接近、远期交通量的变化分期设置，但应统一规划，一次设计。隧道由双向交通变更为单向交通时，应考虑机械通风的衔接。

1.0.7 隧道通风设计可按下列顺序实施：

- 1 根据隧道长度和交通量，初步确定通风方式；
- 2 收集交通、气象、环境、地质、地形、地物等通风设计基础资料；
- 3 根据有关调查资料尤其是车辆情况，计算需风量；
- 4 从安全、技术、经济等方面进行通风方式比较，选择最佳通风方式；
- 5 计算通风压力、风量和风速等；

6 确定风机的规格和配置，并对风道、风机房等进行结构设计。

1.0.8 隧道照明设计可按下列顺序实施：

- 1 收集隧道设计有关资料，初勘现场自然环境；
- 2 初步判定或现场测定洞外亮度，制定洞外减光方案；
- 3 确定入口段、过渡段、中间段及出口段的亮度与长度指标；
- 4 选择光源与灯具，并确定灯具安装位置与角度；
- 5 根据路面材料与灯具光强分布表，计算各段亮度、均匀度；

6 洞口土建完工后，对洞外亮度进行验核，必要时修正照明设计。

1.0.9 公路隧道通风与照明设计应贯彻国家的技术经济政策，积极而慎重地采用新理论、新技术、新材料、新设备、新工艺，使通风与照明达到安全实用、质量可靠、经济合理、技术先进的要求。

1.0.10 通风与照明设计除应考虑正常交通工况外，还应考虑洞内发生火灾等工况。

1.0.11 隧道口或通风竖井出口的废气排放应符合环保的有关规定。

1.0.12 公路隧道通风与照明设计除应遵守本规范外，尚应符合国家和交通部现行的有关标准、规范。

2 符 号

2.0.1 通风中的主要符号

A_b ——送风道断面积

A_c ——汽车正面投影面积

A_e ——排风道断面积

A_j ——射流风机的出口面积

A_m ——汽车等效阻抗面积

A_{kw} ——理论功率

A_r ——隧道断面积

b ——下角码，表示送风道空间

C ——隧道气流浓度

C_n ——烟雾浓度

D_a ——轴流风机的叶轮直径

D_b ——送风道断面当量直径

D_e ——排风道断面当量直径

D_j ——射流风机的叶轮直径

D_r ——隧道断面当量直径

e ——下角码，表示排风道空间

F ——风机喷流推力

f_d ——车密度系数

f_a ——车况系数

f_h ——海拔高度系数

f_{iv} ——纵坡一车速系数

f_m ——车型系数

H_e ——有效排风口高度
 H_0 ——排风口结构高度
 H ——排风上升高度
 K ——烟雾设计浓度
 K_b ——送风口升压动量系数
 K_e ——排风口升压动量系数
 L ——隧道长度
 L_a ——噪声级水平
 L_{sa} ——比噪声级
 N ——设计交通量（混合车辆）
 p_0 ——标准大气压
 Δp_b ——送风口升压力
 Δp_d ——风道压力损失
 Δp_e ——排风口升压力
 Δp_m ——自然风阻力
 Δp_j ——射流风机升压力
 Δp_r ——通风阻抗力
 Δp_v ——交通通风力
 p_{tot} ——全风压力
 q_b ——单位长度送风量
 Q_b ——送风量
 Q_e ——排风量
 q_{CO} ——氧化碳基准排放量
 Q_{CO} ——隧道全长一氧化碳排放量
 Q_{req} ——需风量
 Q_s ——短道风量
 Q_r ——隧道内设计风量
 q_{VI} ——烟雾基准排放量

Q_{VI} ——隧道全长烟雾排放量
 r_1 ——大型车比例
 S_{kw} ——风机轴功率
 T ——隧道夏季的设计气温
 T_0 ——标准气温
 v_b ——送风道(口)风速
 v_e ——排风道(口)风速
 v_j ——射流风机的出口速度
 v_n ——自然风作用引起的洞内风速
 v_r ——隧道设计风速
 v_t ——计算行车速度
 α ——交通通风力系数
 β ——喷流方向与隧道轴向的夹角
 γ ——空气容重
 δ ——一氧化碳设计浓度
 Δ ——平均壁面粗糙度
 ζ_d ——各位置的形状损失系数
 ζ_e ——隧道入口损失系数
 η ——风机效率
 η_{VI} ——烟雾净化率
 λ ——壁面摩阻损失系数
 ν ——运动粘滞系数
 ξ_c ——汽车空气阻力系数
 ρ ——空气密度

2.0.2 照明中的主要符号

b ——最小衬托长度
 d ——适应距离
 D_{ex} ——出口段长度

D_{th} ——入口段长度
 D_{tr} ——过渡段长度
 E_{av} ——路面平均水平照度
 h ——隧道洞口内净空高
 H ——灯具安装高度
 I_{cr} ——灯具的光强值
 $L_{20}(A)$ ——适应点亮度
 $L_{20}(S)$ ——洞外亮度
 L_{av} ——路面平均亮度
 L_{ex} ——出口段亮度
 L_{in} ——中间基本亮度
 L_{max} ——路面最大亮度
 L_{min} ——路面最低亮度
 L_{th} ——入口段亮度
 L_{tr} ——过渡段亮度
 M ——灯具养护系数
 S ——灯具间距
 U_0 ——路面亮度总均匀度
 U_1 ——车道中线上亮度纵向均匀度
 W ——隧道路面宽度
 η ——灯具利用系数
 ρ ——反射率
 Φ ——灯具额定光通量

3 通 风

3.1 调 查

3.1.1 通风规划和设计时，应对交通量、气象及环境进行调查。

1 交通量调查的内容包括车辆类型、数量及其历时变化等，应了解汽车发动机的种类和汽车实载情况。

2 气象调查的内容包括隧道进出口气压、风向、风速、温度、湿度、冻害及相关地区的气象资料，并根据需要作实地观测。

3 环境调查包括地形、地物、地质、洞口及竖（斜）井口附近的建筑物分布，居民分布，重要设施等。

3.1.2 调查的同时还应对通风噪声、废气排放及竖（斜）井施工可能对周围环境和居民生活造成的影响进行初步评价。

3.2 通 风 方 式

3.2.1 可按下列方法初步判定是否设置机械通风：

1 双向交通隧道，当符合式（3.2.1-1）的条件时，宜设置机械通风。

$$L \cdot N \geq 6 \times 10^5 \quad (3.2.1-1)$$

式中 L ——隧道长度（m）；

N ——设计交通量（辆/h）。

2 单向交通隧道，当符合式（3.2.1-2）的条件时，宜设置机械通风。

$$L \cdot N \geq 2 \times 10^6 \quad (3.2.1-2)$$

3.2.2 通风方式的选择

1 机械通风方式可分为纵向式、半横向式、全横向式以及

在这三种基本方式基础上的组合通风方式。机械通风方式的种类见表 3.2.2。

表 3.2.2 机械通风方式的种类

纵向通风方式	半横向通风方式	全横向通风方式	组合通风方式
1)射流风机式	1)送风半横向式	—	—
2)集中送入式	2)排风半横向式		
3)竖(斜)井送排风式			
4)竖(斜)井排出式			
5)静电吸尘式			

2 应充分考虑各通风方式的特点，并根据隧道长度、平曲线半径、纵坡、海拔高程、交通条件、气象条件、环境条件，经综合比较后，选择较为安全、经济和营运维护方便的通风方式。

3 选择机械通风方式考虑下列因素：

- 1) 交通条件；
- 2) 地形、地物、地质条件；
- 3) 通风要求；
- 4) 环境保护要求；
- 5) 火灾时的通风控制；
- 6) 维护与管理水平；
- 7) 分期实施的可能性；
- 8) 工程造价、营运电力费、维护管理费。

3.2.3 隧道通风要求：

1 单向交通的隧道设计风速不宜大于 10m/s，特殊情况可取 12m/s；双向交通的隧道设计风速不应大于 8m/s；人车混合通行的隧道设计风速不应大于 7m/s。

2 风机产生的噪声及隧道中废气的集中排放均应符合环保的有关规定。

3 确定的通风方式在交通条件等发生变化时，应具有较高的稳定性，并便于防灾时的气流组织。

4 隧道内营运通风的主流方向不应频繁变化。

3.3 污染空气的稀释标准

3.3.1 隧道通风主要应对一氧化碳 (CO)、烟雾和异味进行稀释。

3.3.2 CO 设计浓度

1 采用全横向通风方式与半横向通风方式时，CO 设计浓度可按表 3.3.2-1 取值；采用纵向通风方式时，CO 设计浓度可按表 3.3.2-1 所列各值提高 50ppm 取值。

表 3.3.2-1 CO 设计浓度 δ

隧道长度 (m)	≤ 1000	≥ 3000
δ (ppm)	250	200

注：隧道长度为 1000m~3000m 时，可按插入法取值。

2 交通阻滞（隧道内各车道均以怠速行驶，平均车速为 10km/h）时，阻滞段的平均 CO 设计浓度可取 300ppm，经历时间不超过 20min。阻滞段的计算长度不宜大于 1km。

3 人车混合通行的隧道，长度不宜超过 2000m，其 CO 设计浓度应按表 3.3.2-2 取值。

表 3.3.2-2 CO 设计浓度 δ

隧道长度 (m)	≤ 1000	≥ 2000
δ (ppm)	150	100

注：隧道长度为 1000m~2000m 时，可按插入法取值。

3.3.3 烟雾设计浓度

1 采用钠灯光源时，烟雾设计浓度应按表 3.3.3 取值；采用荧光灯光源时，烟雾设计浓度应提高一级。

表 3.3.3 烟雾设计浓度 K

计算行车速度 (km/h)	100	80	60	40
K (m^{-1})	0.0065	0.0070	0.0075	0.0090

2 当烟雾浓度达到 0.012m^{-1} 时, 应按采取交通管制等措施考虑。

3 隧道内进行养护维修时, 应按现场实际烟雾浓度不大于 0.0035m^{-1} 考虑。

3.4 需风量

3.4.1 一般规定

1 通风设计中, 车辆有害气体的排放量以及与之对应的交通量, 都应有明确的远景设计年限, 两者应相匹配。计算近期的需风量及交通通风力时应采用相应年份的交通量。

2 确定需风量时, 应对计算行车速度以下各工况车速按 20km/h 为一档分别进行计算, 并考虑交通阻滞状态, 取其较大者作为设计需风量。

3 在双向交通隧道中, 上坡较长方向的交通量按设计交通量的 60% 进行计算。

3.4.2 CO 排放量应按式 (3.4.2) 计算:

$$Q_{\text{CO}} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \cdot q_{\text{CO}} \cdot f_a \cdot f_d \cdot f_h \cdot f_{iv} \cdot L \cdot \sum_{m=1}^n (N_m \cdot f_m) \quad (3.4.2)$$

式中 Q_{CO} ——隧道全长 CO 排放量 (m^3/s);

q_{CO} —— CO 基准排放量 ($\text{m}^3/\text{辆} \cdot \text{km}$), 可取 $0.01 \text{m}^3/\text{辆} \cdot \text{km}$;

f_a ——考虑 CO 的车况系数, 按表 3.4.2-1 取值;

f_d ——车密度系数, 按表 3.4.2-2 取值;

f_h ——考虑 CO 的海拔高度系数, 按图 3.4.2 取值;

f_m ——考虑 CO 的车型系数, 按表 3.4.2-3 取值;

f_{iv} ——考虑 CO 的纵坡—车速系数, 按表 3.4.2-4 取值;

n ——车型类别数;

N_m ——相应车型的设计交通量 ($\text{辆}/\text{h}$)。

表 3.4.2-1 考虑 CO 的车况系数 f_a

适用道路等级	f_a
高速公路、一级公路	1.0
二、三、四级公路	1.1~1.2

表 3.4.2-2 车密度系数 f_d

工况车速 (km/h)	100	80	70	60	50	40	30	20	10
f_d	0.6	0.75	0.85	1	1.2	1.5	2	3	6

表 3.4.2-3 考虑 CO 的车型系数 f_m

车型	各种柴油车	汽 油 车			
		小客车	旅行车、轻型货车	中型货车	大型客车、拖挂车
f_m	1.0	1.0	2.5	5.0	7.0

表 3.4.2-4 考虑 CO 的纵坡—车速系数 f_{iv}

i (%)	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
v_i (km/h)									
100	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.4	1.4	1.4	1.4
80	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2
70	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2
60	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
50	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
40	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
30	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
20	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0
10	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

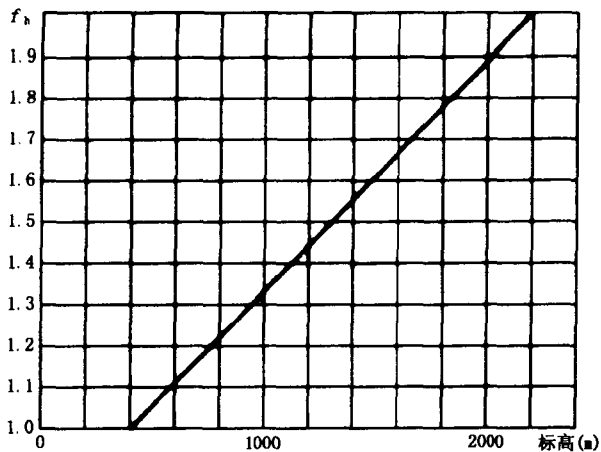


图 3.4.2 考虑 CO 的海拔高度系数 f_h

注：当取值超出图示范围时，可作直线延伸。

3.4.3 稀释 CO 的需风量应按式 (3.4.3) 计算：

$$Q_{\text{req}(\text{CO})} = \frac{Q_{\text{CO}} \cdot p_0 \cdot T}{\delta \cdot p \cdot T_0} \times 10^6 \quad (3.4.3)$$

式中 $Q_{\text{req}(\text{CO})}$ ——隧道全长稀释 CO 的需风量 (m^3/s)；

p_0 ——标准大气压 (kN/m^2)，取 $101.325\text{kN}/\text{m}^2$ ；

p ——隧址设计气压 (kN/m^2)；

T_0 ——标准气温 (K)，取 273K；

T ——隧道夏季的设计气温 (K)。

3.4.4 烟雾排放量应按式 (3.4.4) 计算：

$$Q_{\text{VI}} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \cdot q_{\text{VI}} \cdot f_{\text{a(VI)}} \cdot f_{\text{d}} \cdot f_{\text{h(VI)}} \cdot f_{\text{m(VI)}} \cdot L \cdot \sum_{m=1}^{n_b} (N_m \cdot f_{\text{m(VI)}}) \quad (3.4.4)$$

式中 Q_{VI} ——隧道全长烟雾排放量 (m^2/s)；

q_{VI} ——烟雾基准排放量 ($\text{m}^2/\text{辆} \cdot \text{km}$) 可取 $2.5 \text{m}^2/\text{辆} \cdot \text{km}$ ；

$f_{\text{a(VI)}}$ ——考虑烟雾的车况系数，按表 3.4.4-1 取值；

- $f_{h(VI)}$ ——考虑烟雾的海拔高度系数，按图 3.4.4 取值；
 $f_{iv(VI)}$ ——考虑烟雾的纵坡—车速系数，按表 3.4.4-2 取值；
 $f_{m(VI)}$ ——考虑烟雾的车型系数，按表 3.4.4-3 取值；
 n_D ——柴油车车型类别数。

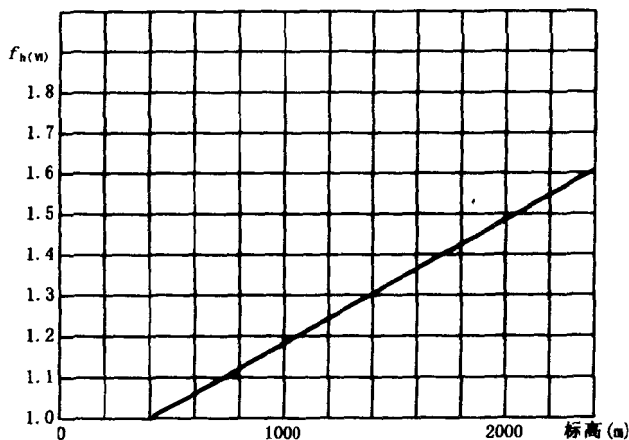


图 3.4.4 考虑烟雾的海拔高度系数 $f_{h(VI)}$

注：当取值超出图示范围时，可作直线延伸。

表 3.4.4-1 考虑烟雾的车况系数 $f_a(VI)$

适用道路等级	$f_a(VI)$
高速公路、一级公路	1.0
二、三、四级公路	1.2~1.5

表 3.4.4-2 考虑烟雾的纵坡—车速系数 $f_{iv(VI)}$

v_c (km/h) \ i (%)	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
80	0.3	0.4	0.55	0.8	1.3	2.6	-	-	-
70	0.3	0.4	0.55	0.8	1.1	1.8	3.1	-	-
60	0.3	0.4	0.55	0.75	1.0	1.45	2.2	-	-
50	0.3	0.4	0.55	0.75	1.0	1.45	2.2	-	-
40	0.3	0.4	0.55	0.7	0.85	1.1	1.45	2.2	-
30	0.3	0.4	0.5	0.6	0.72	0.9	1.1	1.45	2.0
10~20	0.3	0.36	0.4	0.5	0.6	0.72	0.85	1.03	1.25

表 3.4.4-3 考虑烟雾的车型系数 $f_{m(VI)}$

柴 油 车			
轻型货车	中型货车	重型货车、大型客车、拖挂车	集装箱车
0.4	1.0	1.5	3~4

3.4.5 稀释烟雾的需风量应按式 (3.4.5) 计算：

$$Q_{\text{req}(VI)} = \frac{Q_{VI}}{K} \quad (3.4.5)$$

式中 $Q_{\text{req}(VI)}$ ——隧道全长稀释烟雾的需风量 (m^3/s)；

K ——烟雾设计浓度 (m^{-1})，按表 3.3.3 取值。

3.4.6 稀释空气中异味的需风量

隧道空间不间断换气频率，不宜低于每小时 5 次；交通量较小或特长隧道，可采用每小时 3~4 次。

采用纵向通风的隧道，隧道内换气风速不应低于 2.5m/s 。

3.5 通风计算

3.5.1 一般规定

1 在所设计的通风系统中，风机及交通通风力提供的风压和风量必须满足需风量的要求。

2 应根据通风计划、初步设计、技术设计和施工图设计等不同阶段，进行粗略或详细的通风计算。

3 在隧道通风计算中可把空气作为不可压缩流体对待；隧道内的空气流可作为不随时间变化的恒定流处理，且视汽车行驶也为恒定流。在标准大气压状态下的空气物理量可按表 3.5.1-1 取值。

表 3.5.1-1 空气物理量

容重 γ (kN/m^3)	11.77
密度 ρ (kg/m^3)	1.20
运动粘滞系数 ν (m^2/s)	1.52×10^{-5}

4 隧道壁面摩擦损失系数及入口损失系数应根据隧道或风

道的断面当量直径和壁面糙率以及风道结构形状等取值，当为混凝土壁面时常用损失系数可按表 3.5.1-2 取值。其他材料、弯道及变断面摩阻损失系数可按附录 A 计算或取值。

表 3.5.1-2 损 失 系 数

隧道壁面摩阻损失系数 λ_r	0.02
主风道（含竖井）壁面摩阻损失系数 $\lambda_b、\lambda_e$	0.022
连接风道壁面摩阻损失系数 λ_d	0.025
隧道入口损失系数 ζ_e	0.6

5 通风设计中应尽可能减少风道断面面积变化和转弯次数，损失系数的取值应充分考虑隧道和风道壁面粗糙程度、结构形状。

6 交通通风力必须针对具体工程的通风系统进行分析。交通通风力在交通阻塞或双向交通情况下宜作为阻力考虑；在单向交通情况下宜作为推力考虑。

7 应针对计算行车速度以下各工况车速分别计算汽车交通通风力。

3.5.2 自然风阻力

1 在通风计算中，一般可将自然通风力作为阻力考虑。

2 自然风阻力应按式（3.5.2-1）计算：

$$\Delta p_m = \left(1 + \zeta_e + \lambda_r \cdot \frac{L}{D_r} \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_n^2 \quad (3.5.2-1)$$

式中 Δp_m ——自然风阻力(N/m^2)；

v_n ——自然风作用引起的洞内风速 (m/s) 可取 2m/s
~3m/s；

ζ_e ——隧道入口损失系数，可按表 3.5.1-2 取值；

λ_r ——隧道壁面摩阻损失系数，可按表 3.5.1-2 取值；

ρ ——空气密度 (kg/m^3)，按表 3.5.1-1 取值；

D_r ——隧道断面当量直径 (m)。

隧道断面当量直径按下式计算：

$$D_r = \frac{4 \times A_r}{\text{隧道断面周长}} \quad (3.5.2-2)$$

式中 A_r ——隧道净空断面积 (m^2)。

3.5.3 交通通风力可按式 (3.5.3-1) 计算：

$$\Delta p_t = \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n_+ \cdot (v_{t(+)} - v_r)^2 - \frac{A_m}{A_r} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot n_- \cdot (v_{t(-)} + v_r)^2 \quad (3.5.3-1)$$

式中 Δp_t ——交通通风力 (N/m^2)；

n_+ ——隧道内与 v_r 同向的车辆数 (辆)， $n_+ = \frac{N_+ \cdot L}{3600 \times v_{t(+)}}$ ；

n_- ——隧道内与 v_r 反向的车辆数 (辆)， $n_- = \frac{N_- \cdot L}{3600 \times v_{t(-)}}$ ；

v_r ——隧道设计风速 (m/s)，一般情况 $v_r = \frac{Q_{\text{req}}}{A_r}$ ；

$v_{t(+)}$ ——与 v_r 同向的各工况车速 (m/s)；

$v_{t(-)}$ ——与 v_r 反向的各工况车速 (m/s)；

A_m ——汽车等效阻抗面积 (m^2)。

汽车等效阻抗面积可按式 (3.5.3-2) 计算：

$$A_m = (1 - r_1) \cdot A_{cs} \cdot \xi_{cs} + r_1 \cdot A_{cl} \cdot \xi_{cl} \quad (3.5.3-2)$$

式中 A_{cs} ——小型车正面投影面积 (m^2)，可取 2.13m^2 ，或参照附录 B 取值；

ξ_{cs} ——小型车空气阻力系数，可取 0.5，或参照附录 B 取值；

A_{cl} ——大型车正面投影面积 (m^2)，可取 5.37m^2 ，或参照附录 B 取值；

ξ_{cl} ——大型车空气阻力系数，可取 1.0，或参照附录 B 取值；

r_1 ——大型车比例。

3.5.4 通风阻力可按式 (3.5.4) 计算：

$$\Delta p_r = \left(1 + \zeta_e + \lambda_r \cdot \frac{L}{D_r} \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v_r^2 \quad (3.5.4)$$

式中 Δp_r ——通风阻力 (N/m²)。

3.5.5 射流风机通风方式

1 通风压力模式

射流风机的通风方式模式如图 3.5.5 所示。

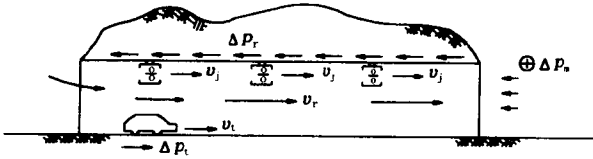


图 3.5.5 射流风机通风方式模式图

2 隧道内压力平衡应满足式 (3.5.5-1)：

$$\Delta p_r + \Delta p_m = \Delta p_t + \sum \Delta p_j \quad (3.5.5-1)$$

式中 $\sum \Delta p_j$ ——射流风机群总升压力 (N/m²)。

3 射流风机所需台数计算

在满足隧道设计风速 v_r 的条件下，射流风机台数可按式 (3.5.5-2) 计算：

$$i = \frac{\Delta p_r + \Delta p_m - \Delta p_t}{\Delta p_j} \quad (3.5.5-2)$$

式中 i ——所需射流风机的台数 (台)；

Δp_j ——每台射流风机升压力 (N/m²)。

每台射流风机升压力应按式 (3.5.5-3) 计算：

$$\Delta p_j = \rho \cdot v_j^2 \cdot \frac{A_j}{A_r} \cdot \left(1 - \frac{v_r}{v_j} \right) \cdot \eta \quad (3.5.5-3)$$

式中 v_j ——射流风机的出口风速 (m/s)；

A_j ——射流风机的出口面积 (m²)；

η ——射流风机位置摩擦损失折减系数，可按表 3.5.5 取值。