

DB61

陕西省地方标准

DB 61/T xxxx-20xx

公路隧道自然风利用技术指南
(征求意见稿)

Technical guide for natural wind utilization of highway
tunnels

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

陕西省市场监督管理局 发布

目 次

前 言 1

1 范围 2

2 规范性引用文件 2

3 术语和定义 2

4 设计原则 3

5 自然风计算 3

6 土建设计 5

7 隧道风机控制 6

附录 A （规范性） 有斜竖井隧道超静压差计算方法 8

附录 B （规范性） 有斜竖井隧道热位差计算方法 12

附录 C 附录 C（规范性） 有斜竖井隧道风墙压差计算方法 14

前 言

本文件按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由陕西省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：陕西交通控股集团有限公司、陕西交控建投经营管理有限公司、中交第一公路勘察设计研究院有限公司、西南交通大学。

本文件主要起草人：XXX。

本文件由陕西交通控股集团有限公司负责解释。

本文件首次发布。

本文件由陕西交通控股集团有限公司解释。

联系信息如下：

单位：陕西交通控股集团有限公司

电话：029-87832666

地址：陕西省西安市雁塔区太白南路9号

邮编：710065

公路隧道自然风利用技术指南

1 范围

本文件规定了公路隧道自然风利用技术设计原则、自然风计算、土建设计、隧道风机控制。

本文件适用于有自然风可利用的各级公路新建和改建山岭隧道通风设计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JTG D70/2 公路隧道设计规范 第二册交通工程与附属设施

JTG/T D70/2-02-2014 公路隧道通风设计细则

3 术语和定义

3.1

隧道自然风 tunnel natural wind

由于自然条件差异在隧道进出口（竖斜井）之间所产生的能量差引起的隧道内运动气流。

3.2

通风井 ventilation shaft

为公路隧道运营通风而设置的风道，包含竖井、斜井和平行导洞三种类型。

3.3

超静压差 ultra-static pressure difference

由水平气压梯度形成的压力差。

3.4

热位差 thermal-potential pressure difference

由隧道洞内外温度差异形成的压力差。

3.5

风墙压差 wind wall pressure difference

由自然风从洞（井）外吹向洞（井）内形成的压力差。

3.6

节能风道 energy saving air flue

确保自然风在通风井与主洞间稳定连续流动的辅助风道。

4 设计原则

- 4.1 公路隧道自然风利用设计应与隧道通风设计综合考虑，同步设计。
- 4.2 公路隧道自然风利用设计应与隧道所在位置自然风特征综合进行考虑统筹规划，一次设计；通风设施可根据预测交通量变化分期实施。
- 4.3 自然风利用通风设计应包括自然风计算、土建设计、隧道风机控制等方面。
- 4.4 自然风利用通风设计中自然风计算应综合考虑隧道所处位置、洞口及通风井口气象条件、隧道长度、隧道断面面积等指标，合理计算满足运营通风要求的自然风压。
- 4.5 自然风利用通风设计中自然风计算中公路隧道宜建立进出口洞口以及所有的斜（竖）井洞口气象观测站，利用气象观测站的数据对隧道洞内自然风进行计算。
- 4.6 自然风利用通风设计中土建设计应在不影响隧道安全的前提下，考虑地形地质、隧道海拔高程、隧址区域自然条件等因素进行设计。
- 4.7 自然风利用通风设计中隧道风机控制可根据自然风分布特点划分隧道风机控制时段，确定不同控制时段内隧道风机控制方法。

5 自然风计算

5.1 无斜竖井隧道自然风计算

- 5.1.1 当公路隧道位于气象变化差异较为稳定地区时，应将自然通风力作为隧道通风阻力考虑，洞内自然风风速宜按式（5.1.1）计算，当未取得明确计算结果时，可取 2.0~3.0m/s。

$$V_n = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_{in}(\lambda_r \frac{L}{D_r} + \xi_e + 1)}} \quad (5.1.1)$$

式中：

v_n —自然风风速，m/s；

ΔP —自然通风力，N/m²；

ρ_{in} —隧道内空气密度，kg/m³；

λ_r —隧道壁面摩擦阻力系数；

L —隧道长度，m；

D_r —隧道截面当量直径，m；

ξ_e —隧道局部阻力系数。

- 5.1.2 公路隧道两洞口间超静压差宜按式（5.1.2）计算。

$$\Delta P_u = P_1 - P_2 - \rho_{in} g H \quad (5.1.2)$$

式中：

ΔP_u —超静压差, Pa;

P_1 —隧道低洞口处大气压强, Pa;

P_2 —隧道高洞口处大气压强, Pa;

ρ_{in} —隧道内空气密度, kg/m³;

g —重力加速度, m/s²;

H —海拔高度, m。

5.1.3 公路隧道两洞口间热位差宜按式(5.1.3)计算。

$$\Delta P_t = \left(\frac{\rho_1 + \rho_2}{2} - \rho_{in} \right) gH \quad (5.1.3)$$

式中:

ΔP_t —热位差, Pa;

ρ_1 —隧道低洞口处空气密度, kg/m³;

ρ_2 —隧道高洞口处空气密度, kg/m³;

ρ_{in} —隧道内空气密度, kg/m³;

g —重力加速度, m/s²;

H —海拔高度, m。

5.1.4 公路隧道两洞口间风墙压差宜按式(5.1.4)计算,风墙压差系数宜通过数值模拟或模型试验确定,没有的可根据经验或类似工程取值。

$$\Delta P_w = \frac{\delta}{2} [\rho_1 (V_1 \cdot \cos \alpha_1)^2 - \rho_2 (V_2 \cdot \cos \alpha_2)^2] \quad (5.1.4)$$

式中:

ΔP_w —风墙压差, Pa;

δ —风墙压差系数;

V_1 —低洞口处自然风风速, m/s;

V_2 —高洞口处自然风风速, m/s;

ρ_1 —隧道低洞口处空气密度, kg/m³;

ρ_2 —隧道高洞口处空气密度, kg/m³;

α_1 —低洞口处洞外自然风与隧道中轴线夹角, 度;

α_2 —高洞口处洞外自然风与隧道中轴线夹角, 度。

5.1.5 公路隧道自然风计算应综合考虑热位差、超静压差以及风墙压差的影响,无斜(竖)井隧道自然风风速宜按式(5.1.5)计算。

$$v_n = \sqrt{\frac{2 \times \left(P_1 - P_2 - 2\rho_{in}gH + 0.35[\rho_1(V_1 \cdot \cos \alpha_1)^2 - \rho_2(V_2 \cdot \cos \alpha_2)^2] + \left(\frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \right) gH \right)}{\rho_{in} \left(\lambda_r \frac{L}{D_r} + \xi_e + 1 \right)}} \quad (5.1.5)$$

式中：

v_n —自然风风速，m/s；

ρ_{in} —隧道内空气密度，kg/m³；

λ_r —隧道壁面摩擦阻力系数；

L —隧道长度，m；

D_r —隧道截面当量直径，m；

ξ_e —隧道局部阻力系数；

P_1 —隧道低洞口处大气压强，Pa；

P_2 —隧道高洞口处大气压强，Pa；

g —重力加速度，m/s²；

H —海拔高度，m；

ρ_1 —隧道低洞口处空气密度，kg/m³；

ρ_2 —隧道高洞口处空气密度，kg/m³；

V_1 —低洞口处自然风风速，m/s；

V_2 —高洞口处自然风风速，m/s；

α_1 —低洞口处洞外自然风与隧道中轴线夹角，度；

α_2 —高洞口处洞外自然风与隧道中轴线夹角，度。

5.2 有斜竖井隧道自然风计算

5.2.1 对于采用斜竖井分段纵向式通风的公路隧道，应通过风量及风压平衡建立非线性方程组，采用迭代法获得其数值解。

5.2.2 有斜竖井隧道超静压差可按附录 A 方法计算。

5.2.3 有斜竖井隧道热位差可按附录 B 方法计算。

5.2.4 有斜竖井隧道风墙压差可按附录 C 方法计算。

6 土建设施设计

6.1 公路隧道自然风辅助运营通风土建设计主要包括地下风机房和节能风道设计。

6.2 地下风机房的设计应充分考虑地质条件，宜设置在地质情况较好的区段。

6.3 风机房宜设为扁平拱型，与风道连接顺畅，满足风机抢修需求。

- 6.4 地下风机房按功能可分为风机区、营运操作区、设备区及维修区。
- 6.5 隧道主洞可作为隧道两端洞口之间自然风流的通风道。
- 6.6 公路隧道利用自然风时，宜单独设置节能风道。
- 6.7 节能风道内宜设置风阀，风阀密封性应满足不漏风、不回流。
- 6.8 节能风道设置位置应根据隧道结构、风机房设置位置、轴流风机布设方案以及地质环境等实际情况综合确定。
- 6.9 节能风道可设置在风机房上方、风机房下方或风机房内轴流风机同侧。
- 6.10 节能风道的面积大小宜根据主风道面积大小和自然风设计风速综合确定，可按照式（6.10）确定：

$$A_0 \times v_0 = A_\varepsilon \times v_\varepsilon \quad (6.10)$$

式中：

A_0 —主风道断面面积， m^2 ；

v_0 —主风道风速， m/s ；

A_ε —节能风道断面面积， m^2 ；

v_ε —节能风道风速， m/s 。

7 隧道风机控制

7.1 公路隧道自然风利用通风控制应符合以下原则：

- ①当隧道内自然风风速大于隧道设计风速且方向与机械通风一致时，可不开启风机完全利用自然风进行通风。
- ②当隧道内自然风方向与机械通风方向相同，但是风速小于设计风速时，部分利用自然风，结合隧道风机进行通风。
- ③当隧道内自然风方向与机械通风方向相反时，则将自然风作为阻力考虑，关闭节能风道内风阀，完全进行机械通风。
- ④当一个时段内风速风向变化频繁，而无法确定固定的模式时，按照自然风作为阻力进行控制。

7.2 自然风利用的隧道风机控制策略可采用分时段风机控制策略或风机实时控制策略。

7.3 隧道风机的控制时段划分应考虑风机本身性能和节能效果。

- 7.4 机械通风风机开启数量应根据洞外气象数据、设计风速和自然风风速大小进行计算，按照分时段控制模式决定开启风机的台数及功率。
- 7.5 公路隧道洞外地表自然风风速、风向、大气压力、空气温度、空气湿度等气象数据宜通过气象监测站监测获取。
- 7.6 风机控制采用分段式风机控制策略时，风机启动台数由对应区段所需风压与风机风压比值向上取整确定，即

$$N = \left\lceil \frac{\Delta P_q}{\Delta P_f} \right\rceil \tag{7.5}$$

式中：

ΔP_q —所需风压，Pa；

ΔP_f —风机风压，Pa。

- 7.7 风机控制采用实时风机控制策略时，宜在洞内布设 CO、烟雾、温度等传感器。
- 7.8 风机控制采用实时风机控制策略时，宜根据车流量、CO 浓度、烟雾浓度、温度等指标，实时控制风机启动。
- 7.9 风机控制采用实时风机控制策略时，宜在车流量、CO 浓度、烟雾浓度、温度等指标稳定一段时间后，控制风机关闭。
- 7.10 风机控制采用实时风机控制策略时，宜与 CNN、RNN、LSTM 等神经网络预测技术相结合，实现风机预防性控制。

附录 A

(规范性)

有斜竖井隧道超静压差计算方法

以一单斜（竖）井隧道为例，具体说明在超静压差单独作用下，隧道各区段及斜（竖）井内的自然风风量（速）计算方法。

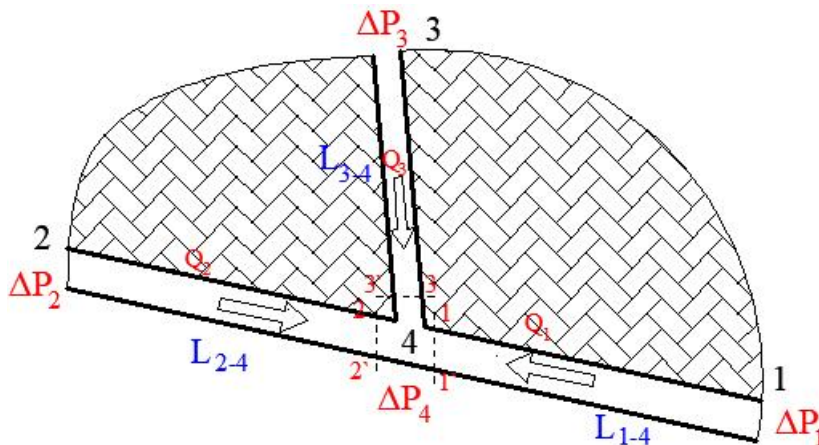


图 A.1 单斜竖井隧道超静压差示意图

如图 A.1 所示，实测取得隧道洞口以及斜（竖）井口超静压 P_1 、 P_2 、 P_3 ，以斜（竖）井口超静压 P_3 为计算基准点，用隧道洞口 1 处超静压 P_1 减去基准点超静压 P_3 获得该处相对于基准点的超静压差 $\Delta P_1 = P_1 - P_3$ ，隧道洞口 2 处超静压 P_2 减去基准点超静压 P_3 获得该处相对于基准点的超静压差 $\Delta P_2 = P_2 - P_3$ ，隧道斜（竖）井口 3 处超静压 P_3 减去基准点超静压 P_3 获得该处相对于基准点的超静压差 $\Delta P_3 = P_3 - P_3 = 0$ 。

当风流 Q_m 流入节点 4 时，规定风流 Q_m 为正，反之为负。根据风流流动的阻力定律有：

$$\begin{aligned}\Delta P_1 - \Delta P_4' &= (R_1 + R_1') \cdot Q_1 \cdot |Q_1| \\ \Delta P_2 - \Delta P_4' &= (R_2 + R_2') \cdot Q_2 \cdot |Q_2| \\ \Delta P_3 - \Delta P_4' &= (R_3 + R_3') \cdot Q_3 \cdot |Q_3|\end{aligned}\quad (\text{A-1})$$

式中：

ΔP_i — i 点超静压差，Pa；

$\Delta P_i'$ — i 点风流达到稳定时其全压力差，Pa；

Q_i — i 点风量， m^3/s ；

R_m —风道 m 的摩擦风阻，它是由沿程阻力系数 λ_m 和风道长度 L_m 、断面积 S_m 和断面周长 P_m 等参数决定的，有 $R_m = \frac{\lambda_m \rho}{8} \cdot \frac{L_m P_m}{S_m^3}$ ， kg/m^7 ；

R'_m —风道 m 的入口局部风阻, 由入口的局部损失系数 ξ_e 和断面积 S_m 等参数决定。当风道 m 为风流进口时, $R'_m = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\xi_e}{S_m^3}$, kg/m^7 ; 当为风流出口时, $R'_m = 0$ 。

在通风网路中, 对于节点 i , 当空气密度变化很小时, 流入节点 i 的风量等于流出节点 i 的风量, 即任意节点 i 的风量代数和为零。对于图 A.1, 节点 4 有

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \quad (\text{A-2})$$

式中: Q_i — i 点风量。

联立式 (A-1) 与式 (A-2) 构成方程组。求解该方程组可得到各段的风量 Q_m , 其中 Q_m 的正负情况反映了风流的方向。

该方程组为非线性方程组, 且风流 Q_m 的正负待定以及 R'_m 的取值与风流的方向有关, 直接求解该方程组较为困难。因此可采用迭代法求解各段的风量。

首先, 确定 $\Delta P_4'$ 的取值范围。节点 4 作为一个中间节点, 风流有进必有出。当风流从节点 m 流入节点 4 时, 由于沿程压力损失, 必有 $\Delta P_4' < \Delta P_m$; 当风流从节点 4 流出到节点 m 时, 必有 $\Delta P_4' > \Delta P_m$ 。由此可以得知 $\Delta P_4'$ 的真实值应介于 ΔP_1 、 ΔP_2 及 ΔP_3 这三个值的最大值与最小值之间, 即有 $\text{Min}(\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3) < \Delta P_m < \text{Max}(\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3)$ 。

其次, 令 $\Delta P_4' = \text{Min}(\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3)$, 代入式 (A-1) 进行求解, 得到一组 Q_1 , Q_2 , Q_3 。

然后, 以一定的步长 (例如 $\Delta P_4'^{(n+1)} = \Delta P_4'^{(n)} + 0.01$) 进行迭代, 直到 $\Delta P_4' = \text{Max}(\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3)$ 时停止。

最后, 将所得多组 Q_1 , Q_2 , Q_3 带入 $f = |Q_1 + Q_2 + Q_3|$, f 最小值所得 Q_1 , Q_2 , Q_3 便为方程组的数值解, 即 1 处、2 处、3 处风量。

对于有多个斜 (竖) 井的隧道, 其原理一样, 但需要多重循环, 循环的重数即为斜 (竖) 井的个数, 以两斜 (竖) 井隧道为例, 简要叙述。

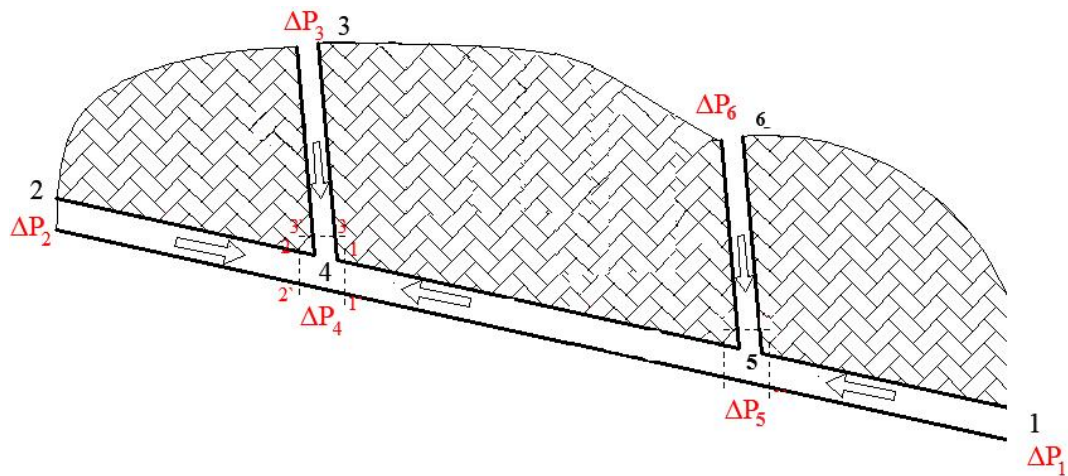


图 A.2 两斜竖井隧道超静压差示意图

如图 A.2 所示, 对图 A.1 进行扩展, 实测取得隧道洞口以及斜(竖)井口超静压 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_6 , 以隧道洞口超静压 P_1 为计算基准点, 用隧道洞口 1 处超静压 P_1 减去基准点超静压 P_1 获得该处相对于基准点的超静压差 $\Delta P_1 = P_1 - P_1 = 0$, 隧道洞口 2 处超静压 P_2 减去基准点超静压 P_1 获得该处相对于基准点的超静压差 $\Delta P_2 = P_2 - P_1$, 隧道斜(竖)井口 3 处超静压 P_3 减去基准点超静压 P_1 获得该处相对于基准点的超静压差 $\Delta P_3 = P_3 - P_1$, 隧道斜(竖)井口 6 处超静压 P_6 减去基准点超静压 P_1 获得该处相对于基准点的超静压差 $\Delta P_6 = P_6 - P_1$ 。

以风流 Q_{mn} 表示风流从 m 处流入 n 处, 规定风流 Q_{mn} 为正, 反之为负。

当风流 Q_{24} 、 Q_{34} 、 Q_{54} 、流入节点 4 时, 根据风流流动的阻力定律有:

$$\begin{aligned}\Delta P_2 - \Delta P_4' &= (R_2 + R_2') \cdot Q_{24} \cdot |Q_{24}| \\ \Delta P_3 - \Delta P_4' &= (R_3 + R_3') \cdot Q_{34} \cdot |Q_{34}| \\ \Delta P_5' - \Delta P_4' &= (R_5 + R_5') \cdot Q_{54} \cdot |Q_{54}|\end{aligned}\quad (A-3)$$

式中:

ΔP_i — i 点超静压差, Pa;

$\Delta P_i'$ — i 点风流达到稳定时其全压力差, Pa;

Q_i — i 点风量, m^3/s ;

R_m —风道 m 的摩擦风阻, 它是由沿程阻力系数 λ_m 和风道长度 L_m 、断面积 S_m 和断面周长 P_m 等参数决定的, 有 $R_m = \frac{\lambda_m \rho}{8} \cdot \frac{L_m P_m}{S_m^3}$, kg/m^7 ;

R_m' —风道 m 的入口局部风阻, 由入口的局部损失系数 ξ_e 和断面积 S_m 等参数决定。当风道 m 为风流进口时, $R_m' = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\xi_e}{S_m^3}$, kg/m^7 ; 当为风流出口时, $R_m' = 0$ 。

当风流 Q_{15} 、 Q_{65} 、 Q_{45} 、流入节点 5 时, 根据风流流动的阻力定律有:

$$\begin{aligned}\Delta P_1 - \Delta P_5' &= (R_1 + R_1') \cdot Q_{15} \cdot |Q_{15}| \\ \Delta P_6 - \Delta P_5' &= (R_6 + R_6') \cdot Q_{65} \cdot |Q_{65}| \\ \Delta P_4' - \Delta P_5' &= (R_4 + R_4') \cdot Q_{45} \cdot |Q_{45}|\end{aligned}\quad (A-4)$$

在通风网络中, 对于节点 i , 当空气密度变化很小时, 流入节点 i 的风量等于流出节点 i 的风量, 即任意节点 i 的风量代数和为零。对于图 A.1, 节点 4 有

$$Q_{24} + Q_{34} + Q_{54} = 0 \quad (A-5)$$

$$Q_{15} + Q_{65} + Q_{45} = 0$$

联立式（A-3）、式（A-4）与式（A-5）构成方程组。求解该方程组可得到各段的风量 Q_{mn} ，其中 Q_{mn} 的正负情况反映了风流的方向。

同样采用迭代法来求解各段的风量，详细计算方法叙述如下：

第一步，确定 $\Delta P_4'$ 、 $\Delta P_5'$ 的取值范围为 $[\text{Min}(\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3, \Delta P_6), \text{Max}(\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3, \Delta P_6)]$ ，计算步长 i 。

第二步，令 $\Delta P_4' = \text{Min}(\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3, \Delta P_6)$ ， $\Delta P_5' = \text{Min}(\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3, \Delta P_6)$ 。

第三步，将 $\Delta P_4'$ 与 $\Delta P_5'$ 代入式（A-1）进行求解，得到一组 Q_{24} ， Q_{34} ， Q_{54} ， Q_{15} ， Q_{65} ， Q_{45} 。

第四步，令 $\Delta P_5' = \Delta P_5' + i$ ，若 $\Delta P_5'$ 大于 $\text{Max}(\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3, \Delta P_6)$ ，令 $\Delta P_5' = \text{Min}(\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3, \Delta P_6)$ ，执行下一步；否则执行第三步。

第五步，令 $\Delta P_4' = \Delta P_4' + i$ ，若 $\Delta P_4'$ 大于 $\text{Max}(\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3, \Delta P_6)$ ，执行下一步；否则执行第三步。

第六步，将所得多组 Q_{24} ， Q_{34} ， Q_{54} ， Q_{15} ， Q_{65} ， Q_{45} 带入 $f = |Q_{24} + Q_{34} + Q_{54} + Q_{15} + Q_{65} + Q_{45}|$ ， f 最小值所得 Q_{24} ， Q_{34} ， Q_{54} ， Q_{15} ， Q_{65} ， Q_{45} 便为方程组的数值解，即为对应处风量大小，结束。

附录 B

(规范性)

有斜竖井隧道热位差计算方法

假设洞内气温为 T_0 ，两洞口及斜（竖）井口气温分别为 T_1 、 T_2 、 T_3 ，对应的空气密度分别为 ρ_0 、 ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3 ，各洞口及井底的高程分别为 H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 ，如下图所示。

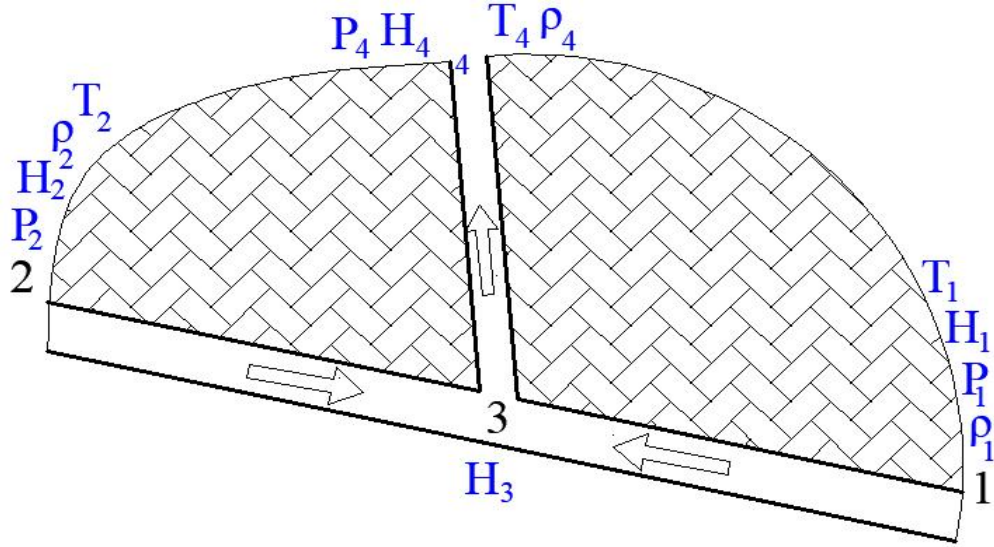


图 B.1 有斜（竖）井的隧道热位差示意图

如图 B.1 所示，取斜（竖）井口与低洞口两处的空气密度平均值为外界空气平均密度，

即 $\rho = \frac{\rho_1 + \rho_4}{2}$ ，各段热位差计算公式有：

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{热I}} &= \rho_I g H_{1-4} - \rho_0 g H_{1-3} - \rho_0 g H_{3-4} \\ \Delta P_{\text{热II}} &= \rho_{II} g H_{2-4} - \rho_0 g H_{2-3} - \rho_0 g H_{3-4}\end{aligned}\quad (\text{B-1})$$

式中：

$\Delta P_{\text{热I}}$ 、 $\Delta P_{\text{热II}}$ —低洞口 1 处、高洞口 2 处与斜井口 4 处之间的热位差，规定热位差方向从隧道洞口到斜井口为正，反之为负，Pa；

H_{m-n} —两点相对高差即 $H_m - H_n$ ，m；

ρ_I 、 ρ_{II} —低洞口 1 处、高洞口 2 处与斜井口 4 处之间外界的空气平均密度，按 $\rho_I = \frac{\rho_1 + \rho_4}{2}$ ， $\rho_{II} = \frac{\rho_2 + \rho_4}{2}$ 取值， kg/m^3 。

在静止大气中，m、n 两点间的大气压差为静压差，有 $P_m - P_n = \rho g H_{m-n}$ ，因此点 m 相对于点 n 的超静压差 $\Delta P = P_m - P_n - \rho g H_{m-n} = 0$ 。如果洞内外空气密度一致，即 $\rho_0 = \rho$ ，则 $\Delta P = P_m - P_n - \rho_0 g H_{m-n} = 0$ ，洞内空气将不发生流动；反之，洞内空气将发生流动，此时隧道内空气流动的驱动力仅为热位差，但其效果与超静压差作用下无异。因此可将低洞口 1 处和高洞

口 2 处与斜井口 4 处之间的热位差认为是各洞口相对于斜井口的超静压差，即 $\Delta P_1 = \Delta P_{\text{热I}}$ 、 $\Delta P_2 = \Delta P_{\text{热II}}$ ，然后按超静压差作用下洞内自然风的计算方法分别计算热位差作用下各段的自然风风量（速）。

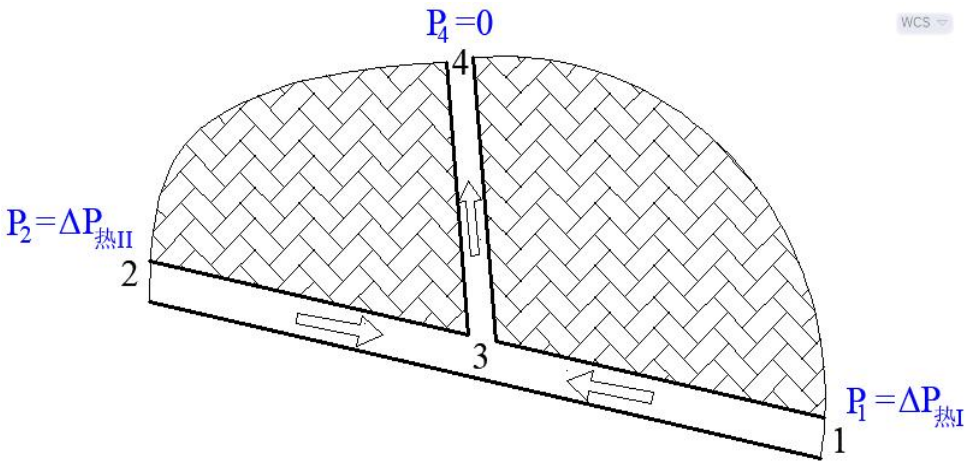


图 B.2 有斜（竖）井隧道热位差转化成超静压差示意图

对于有多个斜（竖）井的隧道，其原理一样，但需要多重循环，循环的重数即为斜（竖）井的个数。

附录 C

(规范性)

有斜竖井隧道风墙压差计算方法

目前主要的斜（竖）井口形式为送风井口垂直于地面，排风井口平行于地面，对于长大隧道的斜（竖）井，通常处于与正洞洞口类似的地形环境下，因此与正洞相类似，对于风向与送风斜井洞口走向呈任意角度 α 的外界自然风，可只取与洞口垂直的速度分量进行计算，即吹向送风斜井口时产生“风墙式”压力有：

$$\Delta P_{\text{送}} = 0.7 \times \frac{P_{\text{送}}}{2} (V_{a\text{送}} \cdot \cos \alpha_{\text{送}})^2 \quad (\text{C-1})$$

同理，吹向排风斜井洞口时，只取与洞口垂直的速度分量进行计算，产生“风墙式”压力有：

$$\Delta P_{\text{排}} = 0.7 \times \frac{P_{\text{排}}}{2} (V_{a\text{排}} \cdot \cos \alpha_{\text{排}})^2 \quad (\text{C-2})$$

式中：

$V_{a\text{送}}$ —送风斜（竖）井口外大气自然风速，m/s；

$V_{a\text{排}}$ —排风斜（竖）井口外大气自然风速，m/s；

$\alpha_{\text{送}}$ —送风斜（竖）井口自然风风向与地面的夹角，度；

$\alpha_{\text{排}}$ —排风斜（竖）井口自然风风向与地面的夹角，度。