

文章编号: 1009 - 6582 (2007) 02 - 0072 - 10

# 乌池坝特长公路隧道通风方案设计

石 平 程久胜

(湖北省交通规划设计院, 武汉 430051)

**摘 要** 文章简要介绍了乌池坝特长公路隧道的工程概况, 对目前最为常用的全射流通风以及斜、竖井加射流风机组合的分段纵向通风方式进行了对比、分析和研究, 并充分考虑了正常运营、交通阻塞、火灾和换气四种不同工况下隧道内气流组织、通风及其控制等要求, 提出了推荐方案: 右线采用斜井集中排出式 + 竖井送排式 + 射流风机纵向通风, 左线采用斜井集中排出式 + 射流风机纵向通风。本通风方案采用了一井两用的设计思路, 即左线斜井同时对左线隧道和右线隧道进行集中排风; 此外, 考虑左线入口段火灾时的排烟, 从右线竖井处设置了专用排烟通道连接左线。在满足通风要求的基础上, 重点研究了通风运营成本及运营安全、火灾排烟及火灾通风控制等关键问题。

**关键词** 特长公路隧道 纵向通风 方案设计

**中图分类号**: U453. 5 **文献标识码**: A

## 1 工程概况

乌池坝隧道是位于沪蓉国道主干线湖北省恩施至利川高速公路上 (吉心至箐口境内) 的特长公路

隧道, 是宜恩高速公路上的控制性工程。该隧道为双洞单向交通, 两洞轴线相距 35 m。隧道区域地形复杂, 山岭险峻, 峰峦叠嶂, 隧道中间段最大埋深约 488 m。乌池坝隧道通风主要设计参数见表 1。

表 1 乌池坝隧道通风主要设计参数

Table 1 Main design parameters for ventilation of Wuchiba tunnel

项 目	左 洞	右 洞
隧道长度 /m	6 708	6 693
行车方向纵坡	+1. 0%, - 1. 80%	+1. 8023%, - 0. 7%
进出口桩号 /m	ZK253 + 182 ~ ZK259 + 890	YK253 + 162 ~ YK259 + 855
平均海拔标高 /m	1 137	1 137
内净空断面积 /m <sup>2</sup>	63. 96	63. 96
隧道内空断面当量直径 /m	8. 197	8. 197
预测交通量 / (Pcu/d)	2015 年	20 712
	2028 年	42 407
路线设计车速 / (km/h)	80	80
夏季隧址平均气温 / ( )	24. 8	24. 82

## 2 运营通风系统基础设计参数

### 2.1 隧道通风标准

公路隧道的通风原理是: 通过向隧道内注入新鲜空气, 稀释洞内由汽车排出的废气和烟雾, 使得隧

道内的空气质量和烟雾透过率能保证司乘人员的身体健康和行车安全。然而, 隧道内的废气总量和烟雾浓度, 与汽车的排污强度以及隧道内的车流密度成正比; 而送入隧道内的新风量又取决于保证隧道内的空气质量的卫生标准。乌池坝隧道属于特长公

修改稿返回日期: 2007 - 01 - 04

作者简介: 石平, 男, 硕士, 助理工程师。

路隧道,卫生标准的确定结合其双洞单向交通的实际情况,根据《JTJ026 1999公路隧道通风照明设计

规范》,选取不同工况下的设计参数(表2)。

乌池坝隧道长度达到6.708 km,属于特长隧道,

表2 乌池坝隧道CO允许浓度、烟雾允许透过率设计参数

Table 2 Design parameters for standard concentration of CO and smoke in Wuchiba tunnel

设计参数	交通阻滞				正常运营			
	80 km/h	70 km/h	60 km/h	40 km/h	20 km/h	10 km/h	交通管制	养护维修
CO允许浓度 ( ) /ppm	250				30			
烟雾允许透过率 (K) /m <sup>-1</sup>	0.0035	0.0070	0.0075	0.0090	0.0090	0.0095	0.0120	0.0035

换气频率定为每小时4次。采用纵向通风的隧道,换气风速不应低于2.5 m/s。按一辆大型车着火考虑火灾规模,其热量释放率为50 MW,计算得出火灾临界风速为2.839 m/s。

### 2.2 隧道通风主要计算参数

换气次数:4次;换气控制风速:2.5 m/s;自然风速:2.5 m/s(阻力);隧址夏季平均设计温度:24.8;洞顶风机房环境温度:10;隧址设计气压:88.61 kN/m<sup>2</sup>;隧道设计行车速度:80 km/h;正常行车速度:80 km/h;交通阻滞车速:10 km/h(阻滞路段),40 km/h(其余路段)。

### 2.3 交通量及交通组成

根据《沪蓉国道主干线恩施(吉心)至利川(鱼泉口)公路工程可行性研究报告主报告》(修编本)交通量预测,近期2015年年平均日交通量为20712辆/d(小车),远期2028年为42407辆/d(小车)。考虑到单洞的不平衡因素,右、左线车辆比例系数均取0.52,高峰小时交通量(第30位小时交通量)按年平均日交通量的10%计算。按照汽车车型折算系数和汽、柴油车比例,将其换算成实际交通量(表3、表4),合计可得近期2015年实际高峰小时交通量为819辆/h,远期2028年为1677辆/h。

## 3 隧道需风量的计算

需风量计算以2015年为近期,以2028年为远期。

### 3.1 稀释CO的需风量

根据《JTJ026.1-1999公路隧道通风照明设计规范》中关于隧道内的CO排放量及需风量的计算公式,行车速度分别按80 km/h、70 km/h、60 km/h、40 km/h、30 km/h、20 km/h以及交通阻塞(10 km/h)时的工况计算。

表3 乌池坝隧道2015年高峰小时交通量(辆/h)

Table 3 Peak-hour traffic volumes in year 2015 of Wuchiba tunnel (Vehicles/h)

类别	右线		左线	
	汽油车	柴油车	汽油车	柴油车
小型客车	228	0	228	0
大型客车	31	46	31	46
轻型货车	207	52	207	52
中型货车	75	75	75	75
大型货车	0	103	0	103
拖挂车	0	0	0	0
集装箱车	0	2	0	2
合计	541	278	541	278
备注	右、左行比例系数均取0.52;高峰比例系数为10%			

表4 乌池坝隧道2028年高峰小时交通量(辆/h)

Table 4 Peak-hour traffic volumes in year 2028 of Wuchiba tunnel (Vehicles/h)

类别	右线		左线	
	汽油车	柴油车	汽油车	柴油车
小型客车	466	0	466	0
大型客车	63	94	63	94
轻型货车	424	107	424	107
中型货车	153	153	153	153
大型货车	0	211	0	211
拖挂车	0	1	0	1
集装箱车	0	5	0	5
合计	1106	571	1106	571
备注	右、左行比例系数均取0.52;高峰比例系数为10%			

隧道内的CO排放量计算公式为:

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

稀释 CO 的需风量计算公式为

$$Q_{req(CO)} = \frac{Q_{CO}}{p} \cdot \frac{\rho}{T_0} \cdot T \times 10^6 \quad (2)$$

式中,各符号含义参见《设计规范》,下同。

### 3.2 稀释烟雾浓度需风量

根据《JTJ026 1 - 1999 公路隧道通风照明设计规范》中关于隧道内的烟雾排放量和需风量的计算公式,行车速度分别按 80 km/h、70 km/h、60 km/h、40 km/h、30 km/h、20 km/h 以及交通阻塞 (10 km/h) 时的工况计算。

隧道内烟雾排放量计算公式为

$$Q_{V1} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} \cdot q_{V1} \cdot f_{a(VD)} \cdot f_d \cdot f_{h(VD)} \cdot f_{iv(VD)} \cdot L \cdot \prod_{m=1}^{n_D} (N_m \cdot f_{m(VD)}) \quad (3)$$

稀释烟雾的需风量为

$$Q_{req(VD)} = \frac{Q_{V1}}{K} \quad (4)$$

### 3.3 稀释空气中异味的需风量

《公路隧道通风照明设计规范》3.4.6 条规定:隧道空间不间断的换气频率,不宜低于每小时 5 次;交通量小或特长隧道,可采用每小时 3~4 次。

乌池坝隧道属于特长隧道,故换气频率可以定为每小时 4 次。因此,稀释空气中异味的需风量可用下式表达:

$$Q_{req(YW)} = L \cdot n \times 3600 \quad (5)$$

根据公式,右线:  $Q_{req(YW)} = 475.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ;

左线:  $Q_{req(YW)} = 476.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ;

规范中 3.4.6 条还规定:采用纵向通风的隧道,换气风速不应低于  $2.5 \text{ m/s}$ 。在此规定下,隧道内稀释空气中异味的需风量应同时满足

$$Q_{req(YW)} = 2.5 \cdot A \quad (6)$$

根据公式,右线:  $Q_{req(YW)} = 159.9 \text{ m}^3/\text{s}$ ;

左线:  $Q_{req(YW)} = 159.9 \text{ m}^3/\text{s}$ ;

### 3.4 火灾工况时的需风量

火灾发生时,为保证着火点处的烟气不向后方倒流而危及后继车辆的安全,要求隧道内必须保证具有最低的临界风速 ( $v_c$ ),其值根据火灾发生时可燃物质的热量释放率计算确定。关于避免发生回流现象的临界风速的求解,美国矿业局给出了如下的方程,即

$$C_p A T v_c^3 + Q v_c^2 - k_g^3 g H Q = 0 \quad (7)$$

式中  $v_c$  ——临界风速 ( $\text{m/s}$ );

$g$  ——重力加速度 ( $\text{m/s}^2$ );

$H$  ——隧道高度 ( $\text{m}$ );

$Q$  ——火源热量释放效率 ( $\text{W}$ );

——周围空气密度 ( $\text{kg/m}^3$ );

$C_p$  ——在恒压下的空气比热 ( $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ );

$A$  ——隧道净空面积 ( $\text{m}^2$ );

$k = 0.61$  (无量纲);

$k_g$  ——坡度修正系数 (无量纲),可由图 1 查得;

$T$  ——环境温度 ( $\text{K}$ )。

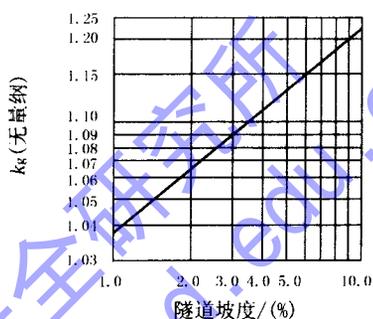


图 1 坡度修正系数

Fig 1 Correction factors for the grades of slope

假设有一辆大型车着火,其热量释放率为 50 MW。将下列参数代入 (7) 式:  $C_p = 1004 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ ,  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ,  $H = 7.0 \text{ m}$ ,  $Q = 50 \text{ MW}$ ,  $A = 63.96 \text{ m}^2$ ,  $T = 297.8 \text{ K}$ ,  $k = 0.61$ ,  $k_g = 1.06$  (上、下行线)。得到临界风速  $v_c$  为  $2.839 \text{ m/s}$ 。

由临界风速 ( $v_c$ ) 和隧道通风断面积 ( $A$ ) 即可求得火灾时的需风量:

$$Q_{req(HZ)} = v_c \cdot A \quad (8)$$

即  $Q_{req(HZ)} = 181.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

## 4 需风量的确定

乌池坝隧道右、左线稀释 CO、烟雾、异味以及火灾工况的需风量统计见表 5、表 6。综合表 5、表 6 的计算结果,得出近期和远期的需风量见表 7。

根据《JTGB02003 公路工程技术标准》中高速公路服务水平分级和本隧道的近远期高峰小时交通量,在设计车速为 80 km/h 时,本隧道近期服务水平可以达到一级,服务车速 74 km/h。而在远期高峰小时交通量下服务水平显然达不到一级,介于二级和一级之间,最大工况车速为 66~74 km/h。为了满足 70~74 km/h 工况速度下的通风需求,并考虑运营安全,所以,远期仍以 80 km/h 的需风量作为控制风量,由此确定最终隧道需风量 (表 8)。

表 5 乌池坝隧道右线稀释 CO、烟雾、异味及火灾工况风量统计

Table 5 Statistics of required air volumes for the dilution of CO, smoke, smell and fire in Wuchiba right tunnel

类别 车速/(km/h)	近 期				远 期			
	稀释 CO	稀释烟雾	稀释异味	火灾工况	稀释 CO	稀释烟雾	稀释异味	火灾工况
80	134.3	514.5	475.6	181.6	219.8	871.5	475.6	181.6
70	136.6	456.3	475.6	181.6	223.7	772.9	475.6	181.6
60	160.8	363.4	475.6	181.6	263.1	615.7	475.6	181.6
40	241.1	308.2	475.6	181.6	394.7	522.0	475.6	181.6
30	318.1	316.6	475.6	181.6	520.7	536.4	475.6	181.6
20	477.2	331.4	475.6	181.6	781.0	561.4	475.6	181.6
10(阻塞)	301.2	361.9	475.6	181.6	493.0	613.0	475.6	181.6
备注	(1)稀释 CO、烟雾需风量年折减系数为 1.5%; (2)阻塞长度为 1 km,其余长度按 40 km/h计算。							

表 6 乌池坝隧道左线稀释 CO、烟雾、异味及火灾工况风量 (m<sup>3</sup>/s)统计

Table 6 Statistics of required air volumes (m<sup>3</sup>/s) for the dilution of CO, smoke, smell and fire in Wuchiba left tunnel

类别 车速/(km/h)	近 期				远 期			
	稀释 CO	稀释烟雾	稀释异味	火灾工况	稀释 CO	稀释烟雾	稀释异味	火灾工况
80	120.8	110.0	476.7	181.6	197.8	186.3	476.7	181.6
70	137.0	117.3	476.7	181.6	224.2	198.8	476.7	181.6
60	161.1	119.8	476.7	181.6	263.7	202.9	476.7	181.6
40	241.7	141.7	476.7	181.6	395.6	240.1	476.7	181.6
30	262.5	167.5	476.7	181.6	429.7	283.7	476.7	181.6
20	393.7	182.4	476.7	181.6	644.5	309.0	476.7	181.6
10(阻塞)	301.7	173.6	476.7	181.6	493.9	294.1	476.7	181.6
备注	(1)稀释 CO、烟雾需风量年折减系数为 1.5%; (2)阻塞长度为 1 km,其余长度按 40 km/h计算。							

表 7 乌池坝隧道需风量 (m<sup>3</sup>/s)统计

Table 7 Statistics of required air volumes (m<sup>3</sup>/s) for the ventilation of Wuchiba tunnel

类别 车速/(km/h)	右线		左线	
	近期	远期	近期	远期
80	514.5	871.5	476.7	476.7
70	475.6	772.9	476.7	476.7
60	475.6	615.7	476.7	476.7
40	475.6	522.0	476.7	476.7
30	475.6	536.4	476.7	476.7
20	475.6	781.0	476.7	644.5
10(阻塞)	475.6	613.0	476.7	493.9
备注				

表 8 乌池坝隧道控制需风量 (m<sup>3</sup>/s)

Table 8 Required control air volumes (m<sup>3</sup>/s) for the ventilation of Wuchiba tunnel

类别	右线	左线
近期	514.5	476.7
远期	871.5	476.75

合隧道所处的地形、地质以及正常运营、交通阻塞、防火救灾等情况,而且还要考虑到长期运营的经济效益。

### 5.1 全射流纵向通风方案(方案一)

由于隧道右线近、远期控制风量分别达到了 514.5 m<sup>3</sup>/s和 871.5 m<sup>3</sup>/s,若采用全射流通风,隧道近、远期断面平均风速高达 8.04 m/s和 13.63 m/s,显然不符合《规范》要求。左线断面平均风速为 7.45 m/s,虽然没有超过《规范》规定,但是 6.708 km长的隧道采用全射流对防灾救灾相当不利。所以此方案不可取。

## 5 通风方案比选

乌池坝隧道属特长隧道,交通流中大型柴油车所占比例较大。因此,在研究通风方案时,不仅要结

### 5.2 左、右线各 1 竖井方案 (方案二)

把隧道左、右线分成两段,采用竖井送、排式加射流风机组合的纵向通风。由于地质条件相对较差、竖井当量直径较大、施工困难,近期通风土建费用和远期的运营费用都很高,而且施工便道很长;两洞入口段的防灾救灾不利。

### 5.3 左、右线各 1 斜井方案 (方案三)

把隧道左、右线分成两段,采用斜井送、排式加射流风机组合的纵向通风。由于地质条件相对较差,斜井当量直径大、长达近 700 m,近期通风土建费用和远期的运营费用都很高,而且施工便道也较长;两洞入口段的防灾救灾不利。

### 5.4 左线 1 斜井 + 右线 1 竖井方案 (方案四)

把隧道左线分成两段通风,左、右线共用一个斜井,斜、竖井均位于全长 1/3 靠近出口的位置。左线斜井的两个风道均为排风道,近、远期均对左线和右线集中排风。由于斜、竖井均靠近出口,使得井的长

度大大缩短,通风土建费用明显降低;而且通过在竖井附近设置排烟通道与左线隧道连接,有利于左线进口段的火灾通风控制;右线进口段利用左线斜井排风道集中排风,右线被划分为三段式通风,这样对防灾、救灾非常有利。本方案最大的优势在于:

- (1) 缩短了斜、竖井及便道长度,有利于环境保护,降低了通风土建费用;
- (2) 斜、竖井地质条件较好,便于施工;
- (3) 与在中间位置设置单斜井或竖井相比,井的断面积和当量直径有所减小,而且远期运营费用也明显减少。

最后将方案四作为推荐方案。因此,仅就方案四进行设计。

## 6 通风系统构成

本隧道在传统的单井单用的基础上,也采用了一井两用的设计,即在左线斜井同时对左线隧道和右线隧道进行集中排风。通风方案如图 2 所示。

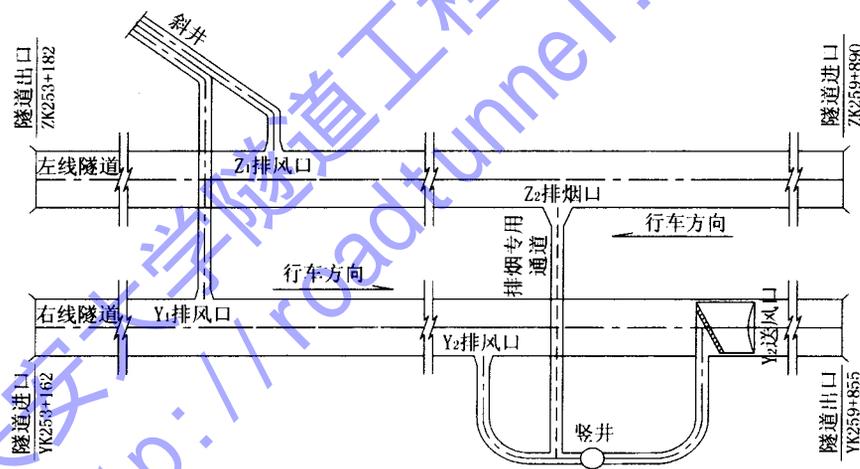


图 2 乌池坝隧道通风系统总体平面布置示意

Fig 2 Plane layout of the ventilation system of Wuchiba tunnel

### 6.1 右线:斜井集中排出式 + 竖井送、排式 + 射流风机的纵向通风

此通风方式如图 3 所示,一斜井加一竖井将隧道分为三段。斜井位于 YK255 + 570 处,长 352.935 m (考虑斜向坡长),洞内设置横隔板,其中 Y<sub>1</sub> 号排风道 (断面积为 19.24 m<sup>2</sup>) 对右线集中排风,另一个 Z 号排风道 (断面积为 11.55 m<sup>2</sup>) 用于左线集中排风。竖井位于 YK256 + 985 处,长 289 m,直径 7.0 m,洞中设置隔板,将其分为两个通风井,一个为 Y<sub>2</sub> 号排

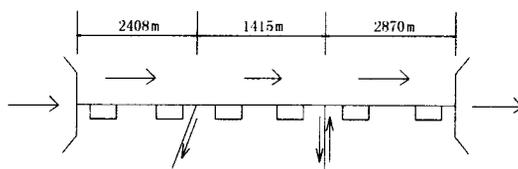


图 3 斜井集中排出式 + 竖井送、排式 + 射流风机纵向通风示意

Fig 3 Longitudinal ventilation with inclined shaft for exhaust, vertical shaft for delivery and exhaust incorporating jet fans

风井,断面积 15.91 m<sup>2</sup>;另一个为 Y<sub>2</sub>号送风井,断面积 20.17 m<sup>2</sup>。此方案由于采用了双井,所以分段长度较短,防火区段划分合理。

6.2 左线:斜井集中排出式+射流风机纵向通风

此通风方式如图 4所示,利用斜井的 Z<sub>1</sub>号排风道将隧道分为两段。斜井位于 ZK255+640 m处,长 352.935 m(考虑斜向坡长),洞中设置隔板,Z<sub>1</sub>号排风井(断面积为 11.55 m<sup>2</sup>)只对左线集中排风,Y<sub>1</sub>号排风井(断面积 19.24 m<sup>2</sup>)仅对右线集中排风。通过在左线 ZK257+011处设置专用的 Z<sub>2</sub>号排烟通道与右线竖井连接,使左线在防火救灾功能上等效于双井三段式,防火区段划分也比较合理,平时 Z<sub>2</sub>号排烟口卷帘门关闭,火灾工况时开启。

由于山顶有一乡村道路,施工方便,投资少,故

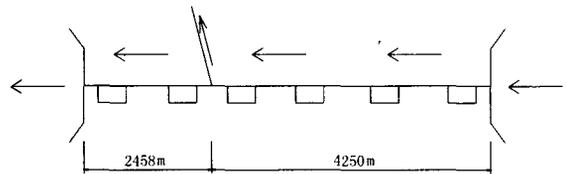


图 4 斜井集中排出式+射流风机纵向通风示意

Fig 4 Longitudinal ventilation with inclined shaft for exhaust incorporating jet fans

均采用地面风机房。

6.3 通风计算

根据《JTJ026-1999公路隧道通风照明设计规范》中的基本公式,分别对上述通风方案进行通风计算,计算结果见表 9、表 10。

表 9 右线(斜井排出式+竖井送排式)通风方案计算结果

Table 9 Computed results of the ventilation option with inclined shaft for exhaust, vertical shaft for delivery and exhaust in right tunnel

参数	2015年	2028年	参数	2015年	2028年
隧道总需风量/(m <sup>3</sup> /s)	514.5	871.5	第三段设计风速/(m/s)	3.87	6.31
第一段需风量/(m <sup>3</sup> /s)	196.7	326.3	第二段送排风口总升压力/Pa	44.43	128.01
第二段需风量/(m <sup>3</sup> /s)	109.2	191.8	隧道所需总升压力/Pa	-158.23	-169.24
第三段需风量/(m <sup>3</sup> /s)	208.6	353.4	射流风机所需升压力/Pa	-215.23	-318.22
第一段设计风量/(m <sup>3</sup> /s)	307.0	396.6	射流风机台数/台	4, 2, 4(反向风机)	6, 2, 6(反向风机)
第一段设计风速/(m/s)	4.80	6.20	第一段排风轴流风机台数/台	1	2
第一段排风量/(m <sup>3</sup> /s)	130.5	169.2	第一段排风轴流风机设计风压/Pa	643.87	1091.48
第一段排风风速/(m/s)	2.70	3.50	第一段排风轴流风机轴功率/kW	93.2	102.4
第二段设计风量/(m <sup>3</sup> /s)	176.5	227.3	第一段排风轴流风机电机功率/kW	112.9	124.0
第二段设计风速/(m/s)	2.76	3.55	第二段排风轴流风机台数/台	1	2
第一段排风口升压力/Pa	12.56	20.97	第二段排风轴流风机设计风压/Pa	779.73	1175.08
第二段排风量/(m <sup>3</sup> /s)	137.5	177.1	第二段排风轴流风机轴功率/kW	116.8	113.4
第二段排风风速/(m/s)	2.76	3.55	第二段排风轴流风机电机功率/kW	141.4	137.3
短道风量/(m <sup>3</sup> /s)	39.0	50.2	第二段送风轴流风机台数/台	1	4
短道风速/(m/s)	0.61	0.78	第二段送风轴流风机设计风压/Pa	656.40	2058.49
第二段送风量/(m <sup>3</sup> /s)	208.6	353.4	第二段送风轴流风机轴功率/kW	149.2	198.1
第二段送风风速/(m/s)	15.25	25.83	第二段送风轴流风机电机功率/kW	180.6	239.9
第三段设计风量/(m <sup>3</sup> /s)	247.6	403.6			

6.4 风机配置

根据以上计算结果,可以给出乌池坝隧道的计算风机配置(表 11)。同时,结合风机厂家提供的轴流风机和射流风机的特性曲线和对应规格,给出了乌池坝隧道通风方案的风机初步配置(表 12)。

特别要注意的是,在第 8 节“运营通风控制”中,针对不同的交通量,需要的射流风机台数也不同,所以,射流风机的安装台数以表 13、表 14 为

准。

6.5 风机的安装

关于风机的安装,可以根据计算结果,分为前期(2015年)和后期(2028年)两段安装,即首期安装的风机只需满足 2015年的通风要求,而第二期的安装于 2015年开始,安装完毕后,可以满足 2028年的通风要求。当然,也可以在第二期安装前,根据当时的汽车排污水平,重新优化风机配置。

表 10 左线(斜井排出式+射流风机)通风方案计算结果  
Table 10 Computed results of the ventilation option with inclined shaft for exhaust incorporating jet fans in left tunnel

参数	2015年	2028年
隧道总需风量 / (m <sup>3</sup> /s)	476.70	476.70
第一段需风量 / (m <sup>3</sup> /s)	301.93	298.88
第二段需风量 / (m <sup>3</sup> /s)	174.77	177.82
第一段设计风量 / (m <sup>3</sup> /s)	345.38	332.59
第一段设计风速 / (m/s)	5.40	5.20
第一段排风量 / (m <sup>3</sup> /s)	139.54	139.54
第一段排风风速 / (m/s)	2.80	2.80
第二段设计风量 / (m <sup>3</sup> /s)	205.85	193.05
第二段设计风速 / (m/s)	3.22	3.02
第一段排风口升压力 / Pa	15.97	14.92
隧道所需总升压力 / Pa	-56.75	-68.72
射流风机所需升压力 / Pa	-72.71	-83.64
射流风机台数 / 台	2, 2 反向风机	2, 2 反向风机
第一段排风轴流风机台数 / 台	1	1
第一段排风轴流风机设计风压 / Pa	1 000.74	980.61
第一段排风轴流风机轴功率 / kW	154.91	151.80
第一段排风轴流风机电机功率 / kW	187.53	183.76

## 7 火灾时的通风控制

### 7.1 公路隧道火灾的危害

公路隧道的火灾,由于其发生的时间、地点均不可预测,所以很难完全杜绝,加之隧道内空间狭小,灾害发生时常常伴随严重的交通阻塞,如果施救不及时和方法不当,必然会造成严重的人员伤亡和财产损失。1999年发生在意大利勃朗峰隧道和奥地利陶恩隧道的重大火灾事例,充分说明了公路隧道火灾的危害性。所以,认真做好防火救灾预案研究,对于保障公路隧道的安全运营十分重要。

### 7.2 乌池坝隧道火灾时的通风控制

#### 7.2.1 火灾区段的划分和逃生洞的设置

公路隧道的防火救灾,重要的是合理进行火灾区段划分,然后按区段设置在火灾发生时的人员撤离路线和控制风机运转的方案,以达到排烟灭火、人员逃生的目的。尽管乌池坝隧道左、右线在火灾发生时,其射流风机和竖井可以达到排烟救生的目的,但是,为了更快地使人员撤离,将灾害损失降低到最

表 11 乌池坝隧道计算风机配置

Table 11 Allocation of ventilation fans for Wuchiba tunnel by computation

类别	2015年						2028年					
	射流风机			轴流风机			射流风机			轴流风机		
	台数	电机功率 / (kW/台)	总功率 / kW	台数	电机功率 / (kW/台)	总功率 / kW	台数	电机功率 / (kW/台)	总功率 / kW	台数	电机功率 / (kW/台)	总功率 / kW
右线	10(-)	42	420	1 1 1	113(-) 141(-) 181(+)	435	14(-)	42	588	2 2 4	124(-) 137(-) 240(+)	1 482
左线	4(-)	42	168	1	188(-)	188	4(-)	42	168	1	184(-)	184
备注	(+)表示轴流风机送风、射流风机升压; (-)表示轴流风机排风、射流风机降压											

表 12 乌池坝隧道通风方案风机配置

Table 12 Allocation of fans for the ventilation option of Wuchiba tunnel

类别	2015年						2028年					
	射流风机			轴流风机			射流风机			轴流风机		
	台数	电机功率 / (kW/台)	总功率 / kW	台数 / 型号	电机功率 / (kW/台)	总功率 / kW	台数	电机功率 / (kW/台)	总功率 / kW	台数 / 型号	电机功率 / (kW/台)	总功率 / kW
右线	10(-)	42	420	1/ 1/ 1/	150(-) 150(-) 250(+)	550	14(-)	42	588	2/ 2/ 4/	150(-) 150(-) 250(+)	1 600
左线	4(-)	42	168	1/	200(-)	200	4(-)	42	168	1/	200(-)	200
备注	(+)表示轴流风机送风、射流风机升压, (-)表示轴流风机排风、射流风机降压; 射流风机型号为 1120型,轴流风机为 型; 左线射流风机布置远期与近期同											

低点,可以利用双洞单向交通这一有利条件,将两个隧道的防火救灾统一考虑。

将整个隧道划分为6个防火区段,两个隧道每隔一定距离设一个人行联络横通道,用作人员逃生;每隔一定距离设一个车行联络横通道,供车辆撤离(图5),在联络风道口安装风门(平时关闭)。

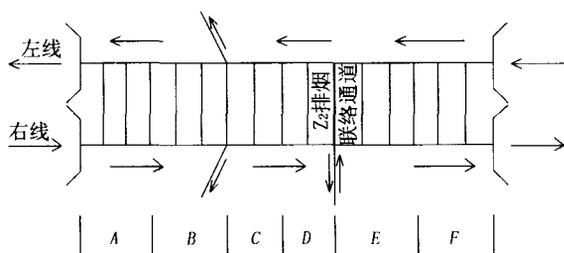


图5 乌池坝隧道防火区段划分示意

Fig 5 Fire-fighting bt division of Wuchiba tunnel

### 7.2.2 火灾发生时人员逃生与风机控制

#### (1) 右线发生火灾

如果右线A区发生火灾,立即封闭右线交通,火灾前端车辆从出口迅速撤离,后端车辆通过联络通道从左线撤离。关闭竖井所有轴流风机和斜井的 $Y_1$ 排风轴流风机,A段射流风机反向倒吹,烟从进口排出。

如果火灾发生在B区,立即封闭右线交通,火灾前端车辆从出口迅速撤离,火灾点后端车辆通过联络通道从左线撤离。关闭竖井所有轴流风机,开足斜井的 $Y_1$ 排风机和A、B段射流风机,烟从斜井的 $Y_1$ 排风井排出。

如果火灾发生在C区,立即封闭右线交通,火灾前端车辆从出口迅速撤离,后端车辆通过联络通道从左线撤离。关闭竖井所有轴流风机,开足斜井的 $Y_1$ 排风机和C段射流风机反向倒吹,烟从斜井的 $Y_1$ 排风井排出。

如果火灾发生在D区,立即封闭右线交通,火灾前端车辆从出口迅速撤离,火灾点后端车辆通过联络通道从左线撤离。关闭斜井的 $Y_1$ 排风机和竖井送风机,开足竖井排风机,并且开足C、D段的射流风机,烟从竖井排风井排出。

如果火灾发生在E区,立即封闭右线交通,火灾前端车辆从出口迅速撤离,后端车辆通过联络通道从左线撤离。关闭斜井的 $Y_1$ 排风机和竖井送风机,开足竖井排风机,同时E段射流风机反向倒吹,烟从竖井排风井排出。

如果火灾发生在F区,立即封闭右线交通,火灾前端车辆从出口迅速撤离,后端车辆通过联络通道从左线撤离。关闭斜井的 $Y_1$ 排风机和竖井排风机,开足竖井送风机和F区射流风机,烟从出口排出。

#### (2) 左线发生火灾

如果左线A区发生火灾,立即封闭左线交通,火灾前端车辆从出口迅速撤离,后端车辆通过联络通道从右线撤离。关闭斜井 $Z_1$ 排风机,开足A段射流风机,烟从出口排出。

如果火灾发生在B区,立即封闭左线交通,火灾前端车辆从出口迅速撤离,后端车辆通过联络通道从右线撤离。开足斜井的 $Z_1$ 排风机,并且A、B段射流风机反转倒吹,烟从斜井的 $Z_1$ 排风井排出。

如果火灾发生在C区,立即封闭左线交通,火灾前端车辆从出口迅速撤离,火灾点后端车辆通过联络通道从右线撤离。开足斜井的 $Z_1$ 排风机和C、D段的射流风机,烟从斜井的 $Z_1$ 排风井排出。

如果火灾发生在D区,立即封闭左线交通,火灾前端车辆从出口迅速撤离,后端车辆通过联络通道从右线撤离。关闭斜井的 $Z_1$ 排风机,开启排烟通道门,开足竖井排风机,并且C、D段射流风机反转倒吹,烟通过专用的 $Z_2$ 号排烟联络通道从竖井排风井排出。

如果火灾发生在E区,立即封闭左线交通,火灾前端车辆从出口迅速撤离,后端车辆通过联络通道从右线撤离。关闭斜井的 $Z_1$ 排风机,开启排烟通道门,开足竖井排风机,同时F段射流风机反向倒吹,烟通过专用的 $Z_2$ 号排烟联络通道从竖井排风井排出。

如果火灾发生在F区,立即封闭左线交通,火灾前端车辆从出口迅速撤离,后端车辆通过联络通道从右线撤离。关闭斜井 $Z_1$ 排风机,F区射流风机反向倒吹,烟从进口排出。

无论火灾点发生在何处,人员均背离火灾点经最近联络通道至相邻的未发生火灾的隧道撤出。

## 8 运营通风的控制

### 8.1 运营通风控制的目的

公路隧道运营通风控制的目的是为了保障隧道内具有安全、良好的运营环境,而在不同工况时通风机的开启时间、送排风量的多少以及火灾发生时的通风排烟等,都必须通过风机控制来实现。这就要求:一方面必须保障隧道内在正常运营时具有良好

的卫生环境和照明水平,在火灾发生时能快速高效地灭火排烟;另一方面,结合隧道交通量的实际情况,尽可能将通风能耗降低到最低点。

### 8.2 乌池坝隧道的通风控制

#### 8.2.1 乌池坝隧道的控制模式

乌池坝隧道的通风控制方法为自动和联动相结合,采用直接控制法,即对于正常交通(包括交通阻塞),通过设置在隧道内各点的烟雾透过率传感器和CO探测器,直接检测行驶车辆排放出的烟雾透过率和CO浓度,将检测信息传输到控制中心,经计算机计算后给出控制信号,控制风机运转,向洞内送入新鲜空气,稀释烟雾浓度和CO浓度,以保障隧道内的环境达到预先设定的卫生标准和照明水平。

乌池坝隧道火灾时的通风控制,要满足上述的灭火排烟要求。但是,真正火灾时的防灾救灾通风控制步骤,要严格按照预先制定的防火救灾预案执行。图6给出了乌池坝隧道的通风控制流程。

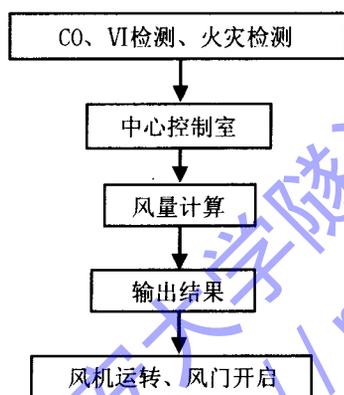


图6 乌池坝隧道通风控制流程

Fig 6 Flow chart for ventilation control of Wuchiba tunnel

#### 8.2.2 通风控制

乌池坝隧道通风控制的级档初步可按不同交通量分为六个档次,分别为10%、30%、50%、70%、90%、100%。级档的阶跃由中心控制计算机自动调节完成。从表13、表14给出的不同交通量时的风机控制方案可以发现,表13、表14中的射流风机的台数比表12中的要多,因此,可以调整为表15中的风机配置。

表13 右线控制方案

Table 13 Ventilation control option for right tunnel

交通量 /(%)	2015年			2028年		
	需风量 /(m <sup>3</sup> /s)	射流 风机	轴流 风机	需风量 /(m <sup>3</sup> /s)	射流 风机	轴流 风机
10	475.6	10	1 1 1	475.6	10	2 2 2
30	475.6	6	1 1 1	475.6	0	2 2 2
50	475.6	0	1 1 1	475.6	8(-)	2 2 2
70	475.6	4(-)	1 1 1	610.1	4(-)	2 2 4
90	475.6	8(-)	1 1 1	784.4	12(-)	2 2 4
100	514.5	10(-)	1 1 1	871.5	14(-)	2 2 4

表14 左线控制方案

Table 14 Ventilation control option for left tunnel

交通量 /(%)	需风量 /(m <sup>3</sup> /s)	2015年		2028年	
		射流风机	轴流风机	射流风机	轴流风机
10	476.7	14	1	14	1
30	476.7	10	1	10	1
50	476.7	6	1	6	1
70	476.7	2	1	2	1
90	476.7	2(-)	1	2(-)	1
100	476.7	4(-)	1	4(-)	1

根据表15的风机配置,可以得到左线斜井和右线竖井地面风机房的轴流风机配置(表16)。

表15 乌池坝隧道通风方案风机配置

Table 15 Allocation of fans for the ventilation option of Wuchiba highway tunnel

类别	2015年						2028年					
	射流风机			轴流风机			射流风机			轴流风机		
	台数	电机功率 /(kW/台)	总功率 /kW	台数 型号	电机功率 /(kW/台)	总功率 /kW	台数	电机功率 /(kW/台)	总功率 /kW	台数 型号	电机功率 /(kW/台)	总功率 /kW
右线	10(-)	42	420	1/ 1/ 1/	150(-) 150(-) 250(+)	550	14(-)	42	588	2/ 2/ 4/	150(-) 150(-) 250(+)	1600
左线	14(+)	42	588	1/	200(-)	200	14(+)	42	588	1/	200(-)	200
备注	(+)表示轴流风机送风、射流风机升压;(-)表示轴流风机排风、射流风机降压;射流风机型号为1120型,轴流风机为型;左线射流风机布置远期与近期同											

表 16 乌池坝隧道通风方案斜井、竖井风机房轴流风机配置

Table 16 Allocation of axial fans for vertical and inclined shafts of Wuchiba highway tunnel

类别	2015年			2028年		
	轴流风机			轴流风机		
	台数 型号	电机功率 /(kW/台)	总功率 /kW	台数 型号	电机功率 /(kW/台)	总功率 /kW
斜井风机房	1/	200(-)	350	1/	200(-)	500
	1/	150(-)		2/	150(-)	
竖井风机房	1/	150(-)	400	2/	150(-)	1 300
	1/	250(+)		4/	250(+)	

## 9 结 语

乌池坝隧道通风方案采用了一井两用的设计思路,即左线斜井同时对左线隧道和右线隧道进行集中排风;此外,考虑左线入口段火灾时的排烟,从右

线竖井处设置了专用排烟通道连接左线隧道。与传统的单井单用的通风设计相比,本通风方案具有通风运营成本低、运营更加安全、有利于双洞火灾时的排烟以及火灾通风控制更为灵活等特点。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国交通部. JTJ 026 1 - 1999 公路隧道通风照明设计规范 [S]. 北京:人民交通出版社, 2000 - 06
- [2] 夏永旭. 我国长大公路隧道通风中的几个问题 [J]. 公路, 2003, 48 (5): 146 ~ 149
- [3] 邓念兵. 公路隧道防火救灾对策研究 [D]. 硕士学位论文. 西安:长安大学, 2003 - 06
- [4] 石平. 公路隧道通风局部效应三维数值模拟分析与研究 [D]. 硕士学位论文. 西安:长安大学, 2004 - 05

## Ventilation design option for Wuchiba super - long highway tunnel

Shi Ping Cheng Jiusheng

(Communication Planning and Design Institute of Hubei Province, Wuhan 430051)

**Abstract** The Wuchiba super - long highway tunnel project is introduced briefly. The present most commonly adopted jet ventilation and the partitioned longitudinal ventilation combined with inclined and vertical shafts incorporating jet fans are contrasted, analyzed and studied attentively. The requirements of air flow, ventilation and its control in the tunnel are fully considered under four different working conditions - regular operation, traffic jam, fire and ventilation. The recommended option is: inclined shaft for exhaust, vertical shaft for deliver and exhaust and jet fan for longitudinal ventilation on the right line; inclined shaft for exhaust and jet fan for longitudinal ventilation on the left line. The design idea involves utilizing the inclined shaft on the left line to exhaust the air from both right and left tunnels in the design option. Moreover, considering the exhaust of fire smoke in the entrance of left tunnel, an additional exhaust duct is installed from the vertical shaft of the right tunnel to the left one. Cost for operation ventilation, operation safety, smog exhaust during a fire and its control and other key problems are well addressed.

**Key words** Super - long highway tunnel; Longitudinal ventilation; Design option