

Study on Comparison and Selection of Ventilation Schemes for Dengloushan Tunnel

Xiaoguang Lu^{1*}, Qinglin Wang², Yinliang Wu^{3#}

¹Chongqing Bureau of Geology and Minerals Exploration Southeast Sichuan Geological Team, Chongqing

²Yunnan Jiantuo Boxin Engineering Construction Center Test Co., Ltd., Kunming Yunnan

³CCCC Second Highway Consultants Co., Ltd., Wuhan Hubei

Email: 331731571@qq.com, #13807146669@163.com

Received: May 5th, 2019; accepted: May 20th, 2019; published: May 27th, 2019

Abstract

In order to explore the ventilation scheme of the G8012 Mile-Chuxiong highway project from the Mile to Yuxi section of the Dengloushan tunnel, based on the calculation of the required air volume of the Dengloushan tunnel, considering the near and long-term planning of the left and right tunnels and adding to the practical construction conditions, the paper proposes two ventilation schemes that are “two segments in the left line of three-inclined well, three segments with longitudinal ventilation of the right line” and the “two segments in the left line of three-shaft, three segments with longitudinal ventilation of the right line”. The comparison results show that: three-shaft well’s ventilation shaft length is below 500 m, the three-inclined shaft scheme is about 1500 m, and the ventilation resistance of the three-inclined well is large, resulting in the fan installed power increasing 1654 kW, the growth ratio is 15.3%, and the operation energy consumption and the civil engineering quantity increase, which is not suitable. It is recommended the “two segments in the left line of three-inclined well, three segments with longitudinal ventilation of the right line” as the ventilation scheme of the tunnel, and the 1250 type large thrust jet fan should be selected to replenish the pressurization.

Keywords

Dengloushan Tunnel, Ventilation Scheme, Air Volume Required, Shaft, Inclined Well

登楼山隧道通风方案比选研究

路晓光^{1*}, 王庆林², 吴银亮^{3#}

*第一作者。

#通讯作者。

¹重庆市地质矿产勘查开发局川东南地质大队, 重庆

²云南建投博昕工程建设中心试验有限公司, 云南 昆明

³中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉

Email: 331731571@qq.com, #13807146669@163.com

收稿日期: 2019年5月5日; 录用日期: 2019年5月20日; 发布日期: 2019年5月27日

摘要

为了探究G8012弥勒至楚雄高速公路工程弥勒至玉溪段登楼山隧道的通风方案, 本文通过对登楼山隧道需风量的计算, 考虑左右洞近、远期规划, 结合隧道通风实际施工条件及目前国内通用的处理方法, 提出了“三斜井左线两段、右线分三段纵向通风”和“三竖井左线两段、右线分三段纵向通风”两种通风方案, 并进行比选研究。对比结果表明: 三竖井方案通风井长度在500 m以下, 三斜井方案在1500 m左右, 三斜井通风阻力较大, 导致风机装机功率增大1654 kW, 增长比率15.3%, 运营能耗和土建工程量增加, 不宜采用。推荐“三斜井左线两段、右线分三段纵向通风”作为该隧道的通风方式, 并选用1250型大推力射流风机进行补充增压。

关键词

登楼山隧道, 通风方案, 需风量, 竖井, 斜井

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前, 公路隧道的通风方式主要有全横向式、半横向式、纵向式三种以及三种的组合形式[1] [2] [3]。每种通风方案既有优点, 又各有不足之处。比如采用全横向和半横向式通风, 隧道内较为干净, 空气质量好, 可以起到很好的防风排烟效果, 行车较为舒适, 事故率降低, 但是工程造价以及后期通风营运花费较大。纵向通风所花费的设备费用较低, 建设工程量相对较小, 后期运营开支节省, 通风样式灵活, 但洞内的环境状况和行车舒适性稍差[4]。

近30年来, 纵向式通风方式得到广泛的应用, 其工程适用性显著提高, 任何公路隧道均可应用。国内隧道的通风方式也大多采用分段送排式竖向式, 从全横向式和半横向式逐渐过渡[5] [6]。

登楼山隧道地处云南高原山区内, 隧道通过轴线最高海拔2331.4 m, 最低海拔1383.1 m, 相对最大高差948.3 m。高海拔地区空气密度低, 隧道内通风质量不佳, 易造成行车舒适感降低, 交通事故频发[7]。此外, 登楼山隧道左线和右线均有距离超过10 km纵坡为+1.9%的路段, 在长距离的大纵坡隧道内行驶, 车辆长时间处于爬坡状态, 车速较低, 易产生大量的有害气体, 保证充足的通风量对行车安全尤为重要。根据通风计算、道路通行量及施工组织设计, 并结合隧址区地质地形条件, 合理确定斜竖井数量、位置、长度和纵坡是通风方案确定的主要内容[8]。

本文将综合考虑各方面因素, 提出两种通风方案并进行比选研究, 最终推荐最优设计方案, 为登楼山隧道的后期施工提供参考。

2. 登楼山隧道概况

登楼山隧道为分幅隧道，隧道进口采用削竹式，出口采用端墙式，进出口段纵坡均较陡。隧址区主要以中风化白云岩、中风化粉砂岩、中风化泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、中风化石灰岩，隧道工程地质与水文地质条件复杂。登楼山隧道主要设计参数如表 1 所示。

Table 1. Main design parameters of Dengloushan tunnel

表 1. 登楼山隧道主要设计参数表

项目	隧道起点桩号	隧道终点桩号	隧道长度(m)	行车方向纵坡长度(m)	隧道进口设计标高(m)	隧道出口设计标高(m)	隧道平均设计标高(m)	净空断面积(m ²)	隧道净空断面当量直径(m)	路线设计车速(km/h)
左线	ZK48+340	ZK59+325	1098 5	+1.9%/10890 -2.3%/95	1376	1584	1480	98.8	9.78	100
右线	YK48+343	YK59+235	1089 2	+1.9%/10817 -2.3%/75	1586	1376	1481	98.8	9.78	100

3. 登楼山隧道通风方案及比选

3.1. 隧道需风量的计算

根据《道路隧道设计规范》(DG/TJ 08-2033-2008)有关规定，一级公路隧道通风设计分期可按 10 年为界划分。据此取登楼山隧道近期设计特征年为 2030 年，远期设计特征年为 2040 年。

在进行隧道需风量计算时，按照行车速度以下每 10 km/h 一档分别计算稀释一氧化碳(CO)和烟雾(VI)所需风量[9] [10]。同时考虑阻滞状态需风量、稀释空气异味的需风量、火灾工况下需风量，取其最大者作为设计需风量。隧道需风量计算结果如表 2 所示。

Table 2. Calculation results of required air volume under different working conditions of Dengloushan tunnel

表 2. 登楼山隧道各工况下的需风量计算结果

年号	2030 (近期)				2040 (远期)			
	左线		右线		左线		右线	
运行工况	Q _{req} CO (m ³ /s)	Q _{req} VI (m ³ /s)	Q _{req} CO (m ³ /s)	Q _{req} VI (m ³ /s)	Q _{req} CO (m ³ /s)	Q _{req} VI (m ³ /s)	Q _{req} CO (m ³ /s)	Q _{req} VI (m ³ /s)
10 km/h	367.99	170.19	366.40	467.40	618.67	236.01	616.00	769.64
30 km/h	435.76	173.17	540.74	363.57	732.61	285.15	909.10	598.67
40 km/h	408.53	230.14	405.55	571.91	686.82	378.96	681.82	941.74
50 km/h	326.82	200.21	324.44	735.94	549.46	329.67	545.46	1211.83
60 km/h	272.35	179.67	270.37	660.46	457.88	295.86	454.55	1087.54
70 km/h	231.50	154.86	230.17	784.52	389.20	255.00	386.97	1291.83
80 km/h	204.26	138.51	243.33	836.50	343.41	228.08	409.09	1377.42
火灾(m ³ /s)	291.46		291.46		291.46		291.46	
换气(m ³ /s)	889.76		883.28		889.76		883.28	
控制需风量(m ³ /s)	889.76		883.28		889.76		1377.42	

根据需风量计算结果，登楼山隧道左洞通风系统近、远期控制工况为换气；右洞近期控制工况为换气，远期为稀释烟雾。

3.2. 登楼山隧道通风方案及比选

3.2.1. 方案一：三斜井，左线两段，右线分三段纵向通风

根据表 1 登楼山隧道需风量的计算结果，右线远期稀释烟雾的需风量达到 1377.42 m³/s，左线换气需风量达到 889.76 m³/s，左线换气量较右线需风量小，同时考虑到特长隧道排烟分区长度不宜超过 5 km。故设置两处通风井，采用左线分两段、右线分三段纵向通风方案，可有效降低通风风速，降低运营能耗，同时兼顾了排烟分区要求。

1) 通风分段划分

隧道通风区段划分取决于洞内斜井与主洞交点桩号，结合地质条件选取两处通风井。方案一隧道斜井与主洞交点桩号及斜井长度如图 1 所示。

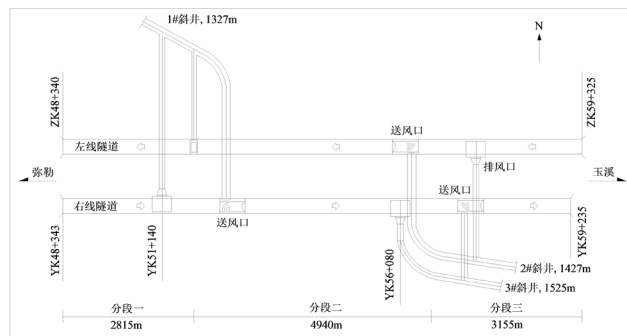


Figure 1. Schematic diagram of three inclined well ventilation scheme
图 1. 三斜井通风方案示意图

登楼山隧道为单坡隧道，需风量与隧道长度线性相关。根据左右线各分段的计算需风量，可以进行各分段风量设计，各分段的需风量应稍高于计算需风量，同时为避免送排风口之间产生短道回流，需设计一定量的短道风量，根据类似工程经验，初步选取短道风量 100 m³/s。由此可得到左右线各分段近期和远期通风量，详细布置情况如图 2 和图 3 所示。

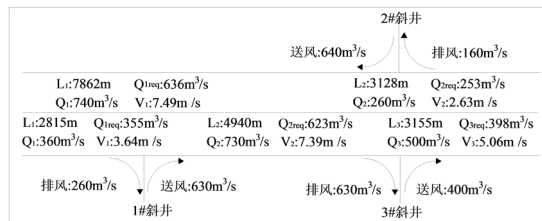


Figure 2. Long-term air volume layout of three inclined well
图 2. 三斜井远期风量布置图

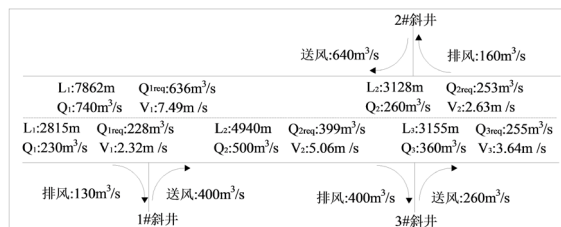


Figure 3. Recent air volume layout of the three inclined well
图 3. 三斜井近期风量布置图

1#斜井排风道及2#斜井的排风道需要兼顾火灾工况下的排烟需求，排烟量需大于 300 m³/s。由于并联设置的轴流风机性能参数和型号应一致，为兼顾运营通风和火灾排烟，需增设一台同型号轴流风机用于火灾排烟。即 1#斜井排风道设置 3 台排风量为 130 m³/s 的轴流风机，正常运营开启 2 台，设计风量 260 m³/s，火灾工况开启 3 台，排烟量 390 m³/s；2#斜井排风道设置 2 台排风量为 160 m³/s 的轴流风机，正常运营开启 1 台，设计风量 160 m³/s，火灾工况开启 2 台，排烟量 320 m³/s。远期风量及排烟量布置情况如图 4 所示。

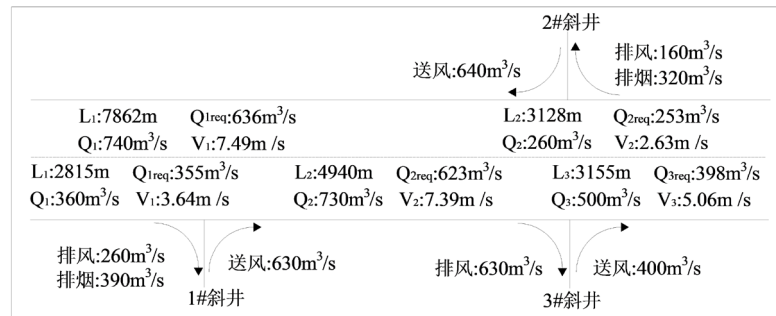


Figure 4. Long-term air volume and smoke exhaust layout of three inclined well
图 4. 三斜井远期风量及排烟量布置图

2) 通风井断面设置

以远期设计需风量和排烟量作为通风井断面计算的控制指标。通风井的设计风速宜取 13 m/s~20 m/s，考虑到本项目通风井长度较长，为减小风机配置电机功率，降低运营费用，通风井断面拟定时取较小的洞内风速 15 m/s 左右。送风联络通道风速 13 m/s 以下，送风口风速取 30 m/s 以下，排风口风速取 8 m/s 以下，排风联络道风速取 13 m/s 以下，排烟道设计风速 15 m/s，排烟口设计风速 10 m/s。拟定的斜井各断面面积如表 3 所示。

Table 3. Each section's area of three inclined well ventilation scheme
表 3. 三斜井通风方案各断面面积

位置	风量(m ³ /s)	竖井面积(m ²)	联络道(m ²)	送风口(m ²)	排风口(m ²)
左线 2 号斜井	排烟	320	21.4	21.4	32.0
	送风	640	42.7	49.2	21.3
右线 1 号斜井	排风	260	26.0	20.0	32.5
	排烟	390	68.0	26.0	39.0
右线 3 号斜井	送风	630	42.0	48.5	21.0
	排风	630	42.0	48.5	78.8
	送风	400	26.7	30.8	13.3

3) 通风计算

a) 送排风压力

送排风口升压力按式(1)、(2)计算，

$$\text{排风口升压力: } \Delta P_e = 2 \times \frac{Q_e}{Q_{r1}} \left(2 - \frac{V_e}{V_{r1}} \cos \alpha - \frac{Q_e}{Q_{r1}} \right) \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_{r1}^2 \quad (1)$$

$$\text{送风口升压力: } \Delta P_b = 2 \times \frac{Q_b}{Q_{r2}} \left[\left(\left(\frac{V_b \cdot \cos \beta}{V_{r2}} - 2 \right) + \frac{Q_b}{Q_{r2}} \right) \right] \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_{r2}^2 \quad (2)$$

式中:

ΔP_e ——排风口升压力(N/m²);

ΔP_b ——送风口升压力(N/m²);

Q_{r1} ——第 I 区段设计风量(m³/s);

V_{r1} ——第 I 区段设计风速, $V_{r1} = \frac{Q_{r1}}{A_r}$;

Q_{r2} ——第 II 区段设计风量(m³/s);

V_{r2} ——第 II 区段设计风速;

Q_e ——排风量(m³/s);

V_e ——与 Q_e 相应的排风口风速;

α ——排风口喷流方向与隧道方向夹角, 本项目排风口夹角为 90°;

β ——送风口喷流方向与隧道方向夹角, 本项目送风口夹角为 0°。

b) 气流浓度设计判定

隧道气流浓度 C 可用需风量与设计风量之比表示, 竖井底部浓度按式(3)计算:

$$C_2 = \frac{Q_{req1}}{Q_{r1}} \quad (3)$$

分段末端浓度 C_3 按式(4)计算:

$$C_3 = \frac{Q_{req2}}{Q_{r1} - Q_e - Q_{req1} + \frac{Q_e \cdot Q_{req1}}{Q_{r1}} + Q_b} \quad (4)$$

排风口与送风口之间的短道不得产生回流, 应满足下列条件:

$$\frac{Q_e}{Q_{r1}} \leq 1.0$$

c) 设计浓度应满足下列条件

$$0.9 \leq C_2 \leq 1.0$$

$$0.9 \leq C_3 \leq 1.0$$

d) 所需压力设计判定

隧道内所需压力 ΔP 按式(5)计算:

$$\Delta P = \Delta P_r - \Delta P_t + \Delta P_m = (\Delta P_{r1} + \Delta P_{r11}) - (\Delta P_{t1} + \Delta P_{t11}) + \Delta P_m \quad (5)$$

式中:

ΔP ——隧道内所需压力增量 N/m²;

ΔP_r ——隧道内沿程磨阻损失 N/m²; 对于 I 段, 没有隧道出口流体压力损失, 对于 II 段, 没有隧道入口流体压力损失, 但均应考虑竖井分叉损失, 按照规范取值;

ΔP_t ——汽车交通活塞作用升压力 N/m²;

ΔP_m ——自然风阻抗力 N/m²;

ζ 入口 = 0.5; ζ 分歧 = 0.28; ζ 出口 = 1; ζ 合流 = 0.7。

e) 计算结果

通风井断面、轴流风机的装机规模均由远期风量控制。采用静叶可调轴流风机，近期通过调整风机运行工况，满足近期设计通风需求。本项目隧道通风阻力较大，需设置射流风机进行补充增压，隧道断面较大可选用 1250 型的大推力射流风机。计算汽车交通力时，考虑不利情况，偏于安全，计算车速取 50 km/h。三斜井方案通风系统规模如表 4 所示。

Table 4. Ventilation system scale of three inclined well scheme

表 4. 三斜井方案通风系统规模

项目	1#斜井		2#斜井		3#斜井	
	排风井	送风井	排风井	送风井	排风井	送风井
设计风量(m ³ /s)	390	630			630	400
竖井风速(m/s)	15	15			15	14.98
竖井面积(m ²)	26	42			42	26.7
联络风道风速(m/s)	15	12.99			12.99	12.99
送排风口风速(m/s)	10	30			7.99	30
送排风口面积(m ²)	39.0	21.1			78.8	13.3
右线 短道窜流量(m ³ /s)	100				100	
风机台数(台)	3	4			4	2
单台风机风量(m ³ /s)	130	157.5			157.5	200
设计风压(Pa)	1200	2100			1100	2200
单台风机功率(kw)	200	450			250	560
功率合计(kw)	600	1800			1000	1120
射流风机	单台功率 45 kw, 共 50 台(其中 40 台为消防排烟风机)					
设计风量(m ³ /s)			320	640		
竖井风速(m/s)			14.95	14.99		
竖井面积(m ²)			21.4	42.7		
联络风道风速(m/s)			14.95	13		
送排风口风速(m/s)			10	30		
送排风口面积(m ²)			32	21.3		
左线 短道窜流量(m ³ /s)		100				
风机台数(台)			2	4		
单台风机风量(m ³ /s)			160	160		
设计风压(Pa)			1400	2100		
单台风机功率(kw)			560	450		
功率合计(kw)			1120	1800		
射流风机	单台功率 45 kw, 共 62 台(其中 40 台为消防风机)					
轴流风机	7440 kw (共 19 台)					
合计 总装机功率 (kw)	近期 3600 kw (80 台), 远期增加 1440 kw (32 台)					
射流风机						
合计	12,480 kw					

3.2.2. 方案二：三竖井，左线两段，右线分三段纵向通风

根据初步设计的斜井方案，每处斜井长度均在 1.5 km 左右，风道内压力损失过大。为减小风道内压力损失，方案二提出“三竖井左线两段，右线分三段纵向通风”进行同深度比选，隧道竖井与主洞交点桩号及竖井长度如图 5 所示。

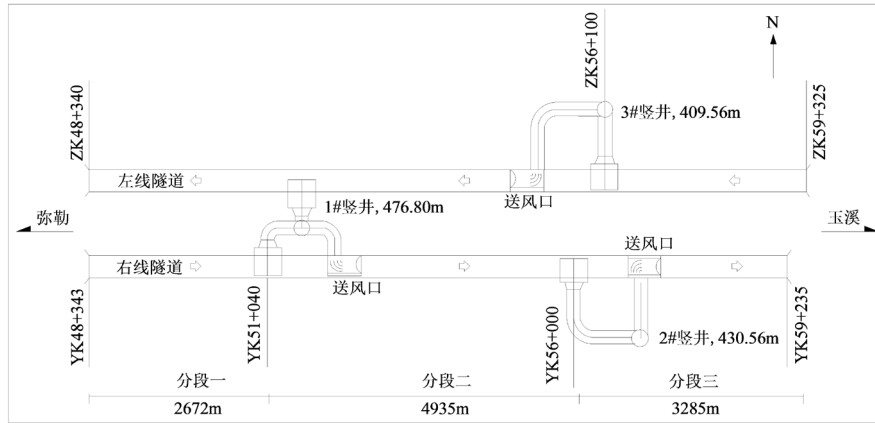


Figure 5. Schematic diagram of three shaft ventilation scheme
图 5. 三竖井通风方案示意图

登楼山隧道为单坡隧道，需风量与隧道长度线性相关。在方案一“三竖井左线两段，右线分三段纵向通风”思路的基础上，结合竖井通风量的计算方法，可得到“三竖井左线两段，右线分三段纵向通风”方案，远期和近期通风量的详细布置情况如图 6 和图 7 所示。

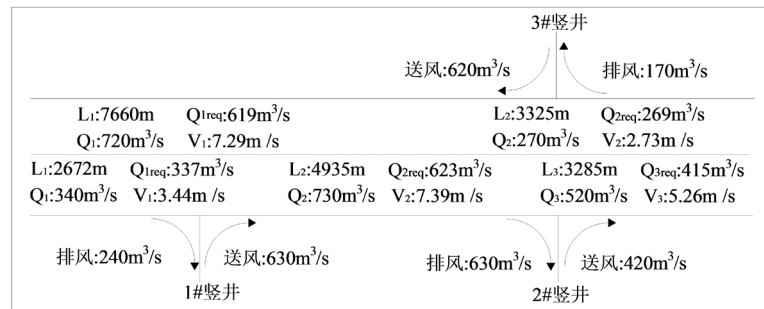


Figure 6. Long-term air volume layout of three shaft
图 6. 三竖井远期风量布置图

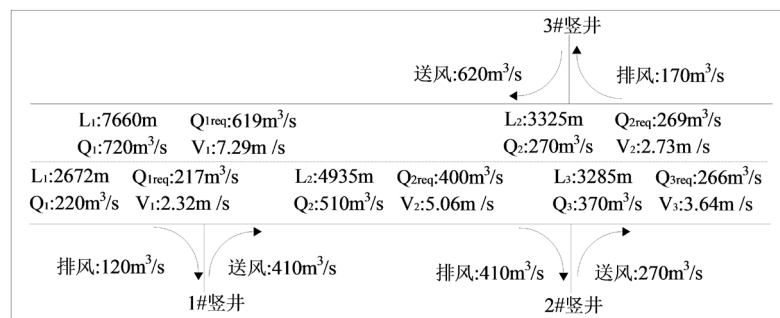


Figure 7. Recent air volume layout of the three shaft
图 7. 三竖井近期风量布置图

1#竖井排风道及3#竖井的排风道需要兼顾火灾工况下的排烟需求，排烟量需大于 300 m³/s。由于并联设置的轴流风机性能参数和型号应一致，为兼顾运营通风和火灾排烟，需增设一台同型号轴流风机用于火灾排烟。即 1#竖井排风道设置 3 台排风量为 120 m³/s 的轴流风机，正常运营开启 2 台，设计风量 240 m³/s，火灾工况开启 3 台，排烟量 360 m³/s；3#竖井排风道设置 2 台排风量为 170 m³/s 的轴流风机，正常运营开启 1 台，设计风量 170 m³/s，火灾工况开启 2 台，排烟量 340 m³/s。远期风量及排烟量布置情况如图 8 所示。

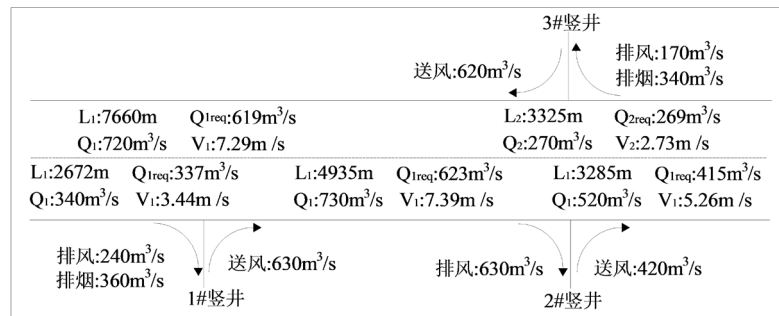


Figure 8. Long-term air volume and smoke exhaust layout of the three shaft
图 8. 三竖井远期风量及排烟量布置图

1) 通风井断面设置

以远期设计需风量和排烟量作为通风井断面计算的控制指标。通风井的设计风速宜取 13 m/s~20 m/s，考虑到本项目通风井长度较长，为减小风机配置电机功率，降低运营费用，通风井断面拟定时取较小的洞内风速 15 m/s 左右。送风联络通道风速 13 m/s 以下，送风口风速取 30 m/s 以下，排风口风速取 8m/s 以下，排风联络道风速取 13 m/s 以下，排烟道设计风速 15 m/s，排烟口设计风速 10 m/s。拟定的竖井断面面积如表 5 所示。

Table 5. Each section's area of three shaft ventilation scheme
表 5. 三竖井通风方案各断面面积

位置	风量 (m ³ /s)	竖井面积 (m ²)	联络道 (m ²)	送风口 (m ²)	排风口 (m ²)
左线 3 号竖井	排烟	340	22.7		34
	送风	620	41.3	47.7	20.7
右线 1 号竖井	左线排烟	360	24.0	24.0	36
	排风	240	66.0	27.7	45
右线 2 号竖井	送风	630	42.0	48.5	21.0
	排风	630	42.0	48.5	78.8
	送风	410	27.3	31.5	13.7

2) 通风计算

在本项目中，方案二和方案一对于风机的规格和交通力计算时计算车速的选取都是相同的，三竖井方案通风系统规模概况如表 6 所示。

Table 6. Ventilation system scale of three shaft solution
表 6. 三竖井方案通风系统规模

项目	1#竖井		2#竖井		3#竖井	
	排风井	送风井	排风井	送风井	排风井	送风井
设计风量(m ³ /s)	360	630	630	410		
竖井风速(m/s)	15	15	15	15.02		
竖井面积(m ²)	24	42	42	27.3		
联络风道风速(m/s)	13	12.99	12.99	13		
送排风口风速(m/s)	10	30	7.99	29.93		
送排风口面积(m ²)	36	21	78.8	13.7		
右线 短道窜流量(m ³ /s)	100		100			
风机台数(台)	3	4	4	3		
单台风机风量(m ³ /s)	120	157.5	157.5	136.7		
设计风压(Pa)	900	1800	800	1900		
单台风机功率(kw)	132	400	160	350		
功率合计(kw)	396	1600	640	1050		
射流风机	单台功率 45 kw, 共 52 台(其中 40 台为消防排烟风机)					
设计风量(m ³ /s)					340	640
竖井风速(m/s)					14.98	14.99
竖井面积(m ²)					22.7	42.7
联络风道风速(m/s)					14.98	13
送排风口风速(m/s)					10	30
送排风口面积(m ²)					34	21.3
左线 短道窜流量(m ³ /s)			100			
风机台数(台)					2	4
单台风机风量(m ³ /s)					160	160
设计风压(Pa)					800	1800
单台风机功率(kw)					160	400
功率合计(kw)					320	1600
射流风机	单台功率 45 kw, 共 64 台(其中 40 台为消防风机)					
轴流风机	5606 kw (共 20 台)					
合计 总装机功率(kw)	近期 3600 kw (80 台), 远期增加 1620 kw (36 台)					
射流风机						
合计	10,826 kw					

3.2.3. 方案比选

方案一和方案二的比选情况如表 7 所示。

Table 7. Comparison and selection of ventilation schemes for Dengloushan tunnel
表 7. 登楼山隧道通风方案比选

主要技术经济指标	单位	方案一：三斜井		方案二：三竖井	
		左线	右线	左线	右线
通风井型式		1 斜井	2 斜井	1 竖井	2 竖井
通风排烟分段长度	m	7862 + 3128 (排烟分区为: 2735 + 5145 + 3105)	2815+ 4940+ 3155	7660 + 3325 (排烟分区为: 2735 + 4925 + 3325)	2672+ 4935+ 3285
长度	m	2#: 1427;	1#: 1327; 3#: 1525;	3#: 410;	1#: 477; 2#: 431;
通风井	面积	2#: 64.1;	1#: 68.0; 3#: 68.7;	3#: 64;	1#: 66; 2#: 69.3;
数量		3 处/面积合计 200.8 m ²		3 处/面积合计 199.3 m ²	
风机房型式		地面风机房	地面风机房	地面风机房	地面风机房
射流风机数量	台	50	62	52	64
轴流风机数量	台	13	6	14	6
风机总功率	kW	12,480 kW		10,826 kW	
结论		不推荐		推荐	

由于竖井方案长度在 500 m 以下，斜井方案风井长度在 1500 m 左右。斜井通风距离较长，通风阻力较大，导致风机装机功率相比竖井增大 1654 kW，增长比率 15.3%，运营能耗增加。竖井利用烟囱效应，降低轴流风机功率，从而降低通风运营费用[3]。此外，在高海拔地区采用三竖井通风方案有利于提高通风效率，减小单个竖井的面积，降低土建工程量和施工难度，还有较多的工程实例可供参考，大大节约技术成本和工程成本。所以，推荐方案二“三竖井左线两段，右线分三段纵向通风”。

4. 结论

1) 根据计算，登楼山隧道左洞通风系统近期和远期控制需风量为 889.76 m³/s，控制工况主要为换气。右洞近期控制需风量为 883.28 m³/s，控制工况主要为换气，远期控制需风量为 1377.42 m³/s，控制工况主要为稀释烟雾。

2) 登楼山隧道通风阻力较大，通风系统需设置射流风机进行补充增压，隧道断面较大可选用 1250 型的大推力射流风机。考虑不利情况，选取车速 50 km/h 进行交通力计算。

3) 三竖井方案通风井长度在 500 m 以下，三斜井方案通风井长度在 1500 m 左右。相比于三竖井，三斜井通风距离较长，通风阻力较大，风机装机功率增大 1654 kW，增长比率 15.3%，运营能耗增加，土建工程量增多，不宜采用。所以，本项目通风方案推荐“三竖井左线两段，右线分三段纵向通风”。

参考文献

- [1] 陈光明, 韦薇, 胡益华. 特长公路隧道斜井、竖井设计技术与经验[J]. 隧道建设, 2015, 35(4): 342-349.
- [2] 夏令旭. 我国长大公路隧道通风中的几个问题[J]. 公路, 2003(5): 146-149.
- [3] 崔德振, 邢金城, 凌继红, 等. 城市道路隧道通风井形式对通风效果的影响[J]. 现代隧道技术, 2014, 51(6): 136-141.
- [4] 闫治国, 杨其新, 王明华, 等. 火灾工况下公路隧道竖井通风模式试验研究[J]. 土木工程学报, 2006, 39(11): 101-106.
- [5] 夏永旭, 王永东, 赵峰. 秦岭终南山公路隧道通风方案探讨[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002, 22(5): 48-50.

-
- [6] 王小敏, 方勇. 南大梁高速公路华蓥山特长隧道施工通风方案[J]. 现代隧道技术, 2013, 50(4): 188-196.
- [7] 王明年, 李琦, 于丽, 等. 高海拔隧道通风、供氧、防灾与节能技术的发展[J]. 隧道建设, 2017, 37(10): 1209-1216.
- [8] 陈璋, 陈光明, 程久胜, 等. 龙潭隧道斜井、竖井设计[J]. 公路, 2005(8): 170-175.
- [9] 朱春, 张旭. 公路隧道通风设计需风量几个问题的研究[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(2): 364-367.
- [10] 李英, 韩常领. 法国公路隧道通风量计算方法[J]. 中外公路, 2009, 29(4): 380-383.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org