

高原特长隧道施工通风技术研究

杜美 罗彬

(中铁四局集团第四工程有限公司，安徽 合肥 2300041)

【摘 要】通过对高原特长隧道特点进行分析，对拟采用的隔板式+独头压入式通风方式和压入式通风方式进行比选，确定最优方案；对各阶段施工通风方案进行风量、风压计算，并确定合适的通风风机型号。研究结果对国内高原特长隧道的通风设计有一定的借鉴。

【关键词】高原特长隧道；压入式通风；通风设计；风机优选

一、引言

隧道施工过程中，施工通风作为隧道内外空气流通的唯一手段，为洞内提供新鲜空气、排除粉尘及有毒有害气体，更重要的是保障施工作业人员的健康安全，维持施工机械设备正常运行，是整个隧道工程安全建设的生命线。

二、工程特点

隧道地处高原半干旱气候区，冬季长而冷，受高海拔影响，低气压环境下大气含氧量仅为海

平面的 60% 左右，洞内含氧量比洞外更低，施工人员及机械设备缺氧环境下工效损失明显，同时高原地区，机械设备故障率、金属结构件的脆性断裂、内燃设备的油耗和废气排放均有不同程度升高。

三、隧道施工通风方式优选

隔板式+独头压入式通风方式或压入式通风方式，现从技术性、安全性和经济性对这两者进行对比优选，如表 1 所示。

表 1 通风方案的对比

序号	方案	内容	优缺点	选择方案
1	隔板式+独头压入式通风	采用辅助坑道横断面分隔为上、下两部分，上部作为进风通道，然后在辅助坑道底部与正洞交汇处设置风仓，安装井底送风机与软管形成压入式通风系统分别向工作面供风，所有回风流经横洞下部通道排往洞外。	(1) 该通风方式辅助坑道采用隔板式通风方式，正洞采用独头压入式通风方式；通风时，辅助坑道上部的进风通道风流处于负压状态，送风机后段风筒处于正压状态；如果巷道隔板或隔板连接处密封性差，辅助坑道下侧的污风就会漏入辅助坑道的上部，含瓦斯、CO 的污风就会通过风机，会形成循环风，安全性差； (2) 送风机设置在辅助坑道与正洞交汇位置维护和运行难度较大； (3) 采用隔板将辅助坑道的上部分割成独立的进风系统，工程量大，成本较高，加工运输不方便，维护难度大。	不选用
2	压入式通风	利用设置在洞外的风机通过风筒将新鲜空气送至工作面，以供给洞内足够的新鲜空气。	(1) 利用洞口设置通风机向掌子面压入新鲜空气，则整个通风系统均处于正压状态； (2) 局部通风机及其附属电气设备均布置在新鲜风流中，污风不通过局部通风机，安全性好； (3) 柔性风筒，其成本低、重量轻，便于运输。	选用

四、隧道施工通风设计

（一）各阶段施工通风方案

第一阶段：横洞自身施工；2、3# 横洞各布置一台通风机。

第二阶段：2、3# 号横洞工区施工正洞大里程、正洞小里程采用压入式通风；于 2# 横洞洞口设置 1# 通风机向正洞小里程方向通风、设置 2# 通风机向正洞大里程方向供风；于 3# 横洞洞口设置 3# 通风机向正洞小里程方向通风、设置 4# 通风机向正洞大里程方向供风。

（二）通风标准

1. 空气中氧气含量，按体积计不得小于 20%。

2. 粉尘容许浓度，每立方米空气中含有 10% 以上的游离二氧化硅的粉尘不得大于 2mg，每立方米空气中含有 10% 以下的游离二氧化硅的矿物性粉尘不得大于 4mg。

3. 有害气体最高容许浓度：

一氧化碳：平原地区时间加权平均容许浓度为 $20\text{mg}/\text{m}^3$ ，短时间（15min）接触容许浓度为 $30\text{mg}/\text{m}^3$ ，海拔在 2000m~3000m 的地区，一氧化碳最高容许浓度为 $20\text{mg}/\text{m}^3$ ；海拔大于 3000m 的地区，一氧化碳最高容许浓度为 $15\text{mg}/\text{m}^3$ 。

二氧化碳按体积计不得大于 0.5%；氮氧化物（换算成 NO_2 ）为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。

4. 隧道内气温不得高于 28°C 。

5. 隧道内噪声不得大于 90dB。

6. 隧道施工通风应能提供洞内各项作业所需的最小风量，每人应供应新鲜空气 $4\text{m}^3/\text{min}$ ，隧道内燃机械排出废气需风量不小于 $3\text{m}^3/(\text{min}\cdot\text{Kw})$ 。

7. 隧道施工通风的风速，全断面开挖时不应小于 $0.25\text{m}/\text{s}$ ，在分部开挖的坑道中不应小于 $0.25\text{m}/\text{s}$ ，并均不大于 $6\text{m}/\text{s}$ 。

8. 每 100m 平均漏风率不宜大于 1%；瓦斯隧

表 2 风量计算参数

序号	部位		单位	参数
1	开挖面积	正洞	m^2	70/ 单工作面
		横洞		65
2	一次爆破炸药量	正洞	kg	186.6
		横洞		119.9
3	洞内最多作业人数	正洞	人	80/ 单工作面
		横洞		60
4	通风换气长度		m	100
5	内燃机械设备功率	装载机	Kw	162
		出碴汽车		215
		挖掘机		130
		混凝土罐车		215
		其他		98
6	最小回风风速		m/s	0.25
7	爆破排烟时间		min	15

道装药爆破时，爆破地点 20m 内，风流中瓦斯浓度必须小于 0.5%。

(三) 需风量计算

风量计算相关参数见表 2:

(1) 按洞内同时作业最多人数计算:

$$Q_A = k \cdot q \cdot n$$

式中: q —作业面每一作业人员的需风量, 取 $4\text{m}^3/\text{min}$;

n —作业面同时作业的最多人数, 人;

k —风量备用系数, 取 $1.1 \sim 1.25$ 。

经计算正洞工作面需风量 $6.7\text{m}^3/\text{s}$, 横洞工作面需风量 $5.0\text{m}^3/\text{s}$ 。

(2) 按开挖面爆破排烟计算:

$$Q_0 = \frac{7.8}{t} \sqrt{A(S \cdot L)^2}$$

式中: A —同时爆破炸药量, kg ;

t —通风时间, min ;

L —通风换气长度, m ;

S —隧道断面积, m^2 。

隧道内通风换气长度按 150m 进行计算, 通风时间取 15min (允许爆破人员进入工作面检查爆破效果的最短通风时间), 经计算正洞双工作面需风量 $17.25\text{m}^3/\text{s} \times 2 = 34.5\text{m}^3/\text{s}$, 横洞开挖面需风量 $23.74\text{m}^3/\text{s}$ 。

(3) 按内燃机械设备总功率计算:

$$Q_{\text{内}} = q \cdot \sum H_i \cdot \alpha_i = 820 \times 0.6 \times 4 = 32.8\text{m}^3/\text{s}$$

式中: H_i —各种内燃机械功率, kw ;

α_i —同时工作柴油机械设备利用系数。装载机、混凝土罐车、出碴车利用率、挖掘机、其他机械设备综合系数取 0.60 。

q —内燃机械单位功率供风量, $4\text{m}^3/(\text{kw} \cdot \text{min})$ 。

经计算正洞和横洞开挖面需风量 $32.8\text{m}^3/\text{s}$ 。

(4) 按最低风速计算:

$$Q_{\text{风}} = S \cdot V$$

式中: S —隧道最大开挖断面积, m^2 ;

V —隧道内允许最小回风风速, 0.25m/s ;

经计算两单线正洞工作面总需风量为 $35\text{m}^3/\text{s}$,

表 3 风机风压参数计算结果

参数	风机 1		风机 2		风机 3		风机 4	
	横洞	正洞	横洞	正洞	横洞	正洞	横洞	正洞
长度	2409	2051	2409	2801	1950	2799	1950	1687
风筒直径	2.2	2	2.2	2	2.2	2	2.2	2
空气密度	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
风筒面积	3.7994	3.14	3.7994	3.14	3.7994	3.14	3.7994	3.14
总风阻 R	0.4989	1.1633	0.4989	1.3573	0.4251	1.3568	0.4251	1.1221
总阻力系数	1.6621		1.8562		1.7819		1.4942	
局扇风量	58.42		62.35		59.93		54.09	
风筒风压损失	3398.55		4050.721		3737.712		2828.701	
保护网 + 钟形口风压	97.27		73.42		67.82		82.48	
消音器风压	9.73		7.34		6.78		8.25	
风管延长接头	172.21		81.47		75.25		146.01	
动压	43.91		43.89		44.22		44.29	
Total	3721.67		4256.84		3931.78		3109.73	

横洞开挖面需风量为 $16.25\text{m}^3/\text{s}$ 。

(5) 综合以上需风量计算结果, 取最低风速 0.25m/s 为最大值, 双洞掌子面需风量 $Q_F=35\text{m}^3/\text{s}$ 。

(四) 风机供风量计算

轴流风机总风量 (Q_T) 为施工面需求风量 (Q_F) 与全段 (出风口至工作面) 风管泄漏风量 (Q_L) 之和。风管内每米的风量和风压均不相同, 以每米为单位计算出全段 (出风口至施工面) 风管泄漏风量 (Q_L), 总风量计算公式如下:

$$Q_T = Q_F + \sum Q_L$$

(五) 通风机风压计算

根据隧道掘进设计长度、局部通风机供风量、掌子面需风量、风管风阻, 计算掘进工作面局部通风机工作风压值。

$$H_f = R_p \cdot Q_{\text{扇}} \cdot Q_{\text{掘}}$$

式中: H_f —压入式局部通风机风压, Pa; $Q_{\text{扇}}$ —局部通风机供风量, m^3/s ; $Q_{\text{掘}}$ —掌子面需风量, $35\text{m}^3/\text{s}$; R_p —压入式风管总风阻, $\text{N} \cdot \text{S}^2/\text{m}^8$ 。

风管总风阻是由摩擦风阻、局部风阻组成, 其大小取决风管的直径、总长度、接头个数等参数计算获得^[4]。具体见下式:

$$R_p = 6.5\alpha \times L \times g/d^5 + (n \times \zeta_{j0} + \sum \zeta_{bei} + \zeta_n) \times \frac{\rho}{2s^2}$$

式中: α —风管摩擦阻力系数, $\text{N} \cdot \text{S}^2/\text{m}^4$; L —风管长度, m; d —风管直径, m; ρ —空气密度, kg/m^3 ; s —风管断面积, m^2 ; n —风管接头个数; ζ_{j0} —风管接头局部阻力系数, 取 0.09; ζ_{bei} —风管拐弯局部阻力系数, 取 1.25; ζ_n —风管入口局部阻力系数, 当入口处修圆时, 取 0.1。

(六) 风机选型

4 台主通风机分别设于 2、3# 横洞洞口 30m 外, 根据通风机的风量和风压, 根据最小功率和最佳效率运行区间自动配备出最优的风机型号, 及风机运转特性曲线。采用变频风机, 在隧道开挖初期可用低速, 中期用中速, 后期用高速, 也可

以在每天不同的施工工序中进行改变, 更具有节能性。

五、结论

本文以高原特长隧道为工程背景, 参考国内外通风设计标准, 得出以下结论:

1. 通过对川高原特长隧道特点进行分析, 对拟采用的隔板式+独头压入式通风方式和压入式通风方式进行对比优选, 最终确定采用压入式通风方案。

2. 通过对洞内同时作业最多人数、爆破排烟、内燃机械设备总功率、最低风速等计算结果, 获得了该隧道施工通风实际所需风量, 需风量取最低风速 0.25m/s 为计算依据。

3. 轴流风机总风量 (Q_T) 为施工面需求风量 (Q_F) 与全段 (出风口至工作面) 风管泄漏风量 (Q_L) 之和, $Q_T=Q_F+\sum Q_L$, 管道泄风量需根据厂家风机及风管进行计算。

4. 隧道掘进工作面局部通风机工作风压值计算如下

$$H_f = R_p \cdot Q_{\text{扇}} \cdot Q_{\text{掘}}$$

(H_f —压入式局部通风机风压, Pa; $Q_{\text{扇}}$ —局部通风机供风量, m^3/s ; $Q_{\text{掘}}$ —掌子面需风量, $35\text{m}^3/\text{s}$; R_p —压入式风管总风阻, $\text{N} \cdot \text{S}^2/\text{m}^8$ 。)

5. 为提高通风效率和通风效果, 可考虑增设射流风机, 提高通风效率, 节约通风时间。

参考文献:

- [1] 刘昌敏. 特长公路隧道通风设计方案比选[J]. 山西交通科技, 2020(2):69-71.
- [2] 张茂生. 海底隧道进口段通风设计[J]. 石家庄铁路职业技术学院学报, 2013(1):1-6.
- [3] 郝世杰. 青岛地铁 1 号线跨海隧道通风设计[J]. 暖通空调, 2016(5):7-10.
- [4] 刘攀, 张少雄, 孙龙, 谢全敏. 五明隧洞工程施工通风计算与设计[J]. 土工基础, 2021(5):549-552.