

# 公路隧道射流风机调压数值模拟分析与优化研究(2004289)

石平<sup>1,2</sup> 夏永旭<sup>1</sup>

(1. 长安大学公路学院 西安 710064)

(2. 湖北省公路勘察设计院 武汉 513214)

**摘要** 运用有限元数值模拟方法对公路隧道纵向通风中射流风机的安装位置进行了三维数值模拟与分析。并以综合影响系数K作为评价指标,分别对一台、两台及三台风机的情况进行了模拟计算与分析。给出了公路隧道通风射流风机安装的高度、间距、影响长度以及最佳编组数量的具体建议值。

**关键词** 公路隧道 纵向通风 数值模拟 优化

## 1. 引言

近年来采用全射流或射流风机加竖、斜井的纵向分段通风方式成为长大公路隧道通风的主要模式。然而通风系统中射流风机的安装位置直接影响到通风效果。本文拟采用有限元数值模拟方法,对公路隧道纵向通风中射流风机的编组效果、安装位置调压影响长度进行数值模拟与分析,提出射流风机最佳安装的建议。

## 2. 几何模型及分析方法

数值模拟分析方法采用有限元单元法,基本方程为 $K \sim \varepsilon$ 双参数紊流方程。研究的内容分为:

- ① 不同风机数量风机的调压效果;
- ② 不同风机安装高度的调压效果;
- ③ 不同风机安装间距的调压效果;
- ④ 不同风机安装方案的影响长度;

计算模型以及相关尺寸、变化参数如图1所示,计算工况分为增压和降压两种情况。

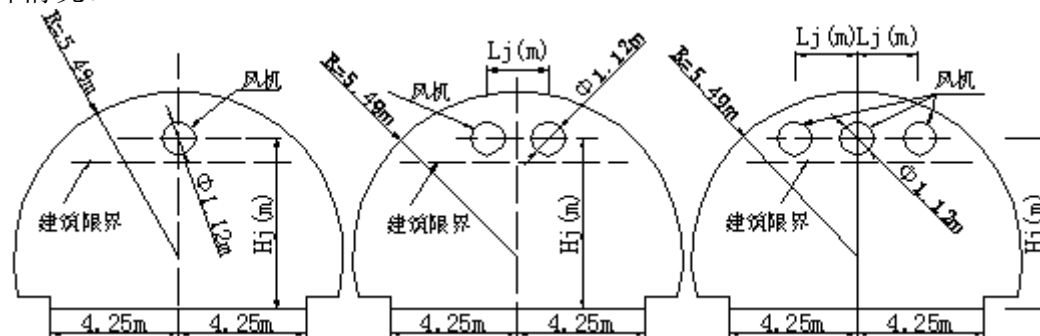


图1 射流风机横截面安装尺寸示意图

## 3. 计算结果与分析

通过大量的数值计算，得到不同风机数量、不同风机安装高度、不同风机安装间隔、不同风机工况时射流风机综合影响系数 K 值见表 1。对不同风机组合的

项目		风机型号		APR-1120/403					
工况	风机数量	组别	安装高度	风机间距	隧道入口静压	沿程损失	模拟计算结果	理论计算结果	综合影响系数
	X	N	H <sub>j</sub> (m)	L <sub>j</sub> (m)	P <sub>1</sub> (Pa)	△P (Pa)	P <sub>j</sub> (Pa)	P <sub>j</sub> (Pa)	K
增压	1	1	5.48	0	-12.4116	4.7895	17.2011	18.6719	0.9212
		2	5.68		-12.0887	4.7895	16.8782	18.6719	0.9039
		3	5.84		-11.8658	4.7895	16.6553	18.6719	0.8920
		4	6.00		-11.7388	4.7895	16.5283	18.6719	0.8852
		5	6.16		-11.4857	4.7895	16.2752	18.6719	0.8716
		6	6.32		-11.2164	4.7895	16.0058	18.6719	0.8572
	2	7	5.68	1.520	-29.2297	4.7895	17.0096	18.6719	0.9110
		8		2.000	-29.3713	4.7895	17.0804	18.6719	0.9148
		9		3.116	-29.3258	4.7895	17.0577	18.6719	0.9135
		10		4.216	-28.9696	4.7895	16.8795	18.6719	0.9040
		11		5.316	-28.0495	4.7895	16.4195	18.6719	0.8794
降压	1	12	5.48	0	26.8638	4.7895	-22.0743	-23.9534	0.9216
		13	5.68		27.2108	4.7895	-22.4213	-23.9534	0.9360
		14	5.84		27.1859	4.7895	-22.3964	-23.9534	0.9350
		15	6.00		27.0176	4.7895	-22.2281	-23.9534	0.9280
		16	6.16		26.9823	4.7895	-22.1928	-23.9534	0.9265
		17	6.32		27.0070	4.7895	-22.2175	-23.9534	0.9275
	2	18	5.68	1.520	48.6040	4.7895	-21.9072	-23.9534	0.9146
		19		2.000	44.8292	4.7895	-20.0199	-23.9534	0.8358
		20		3.116	43.9182	4.7895	-19.5644	-23.9534	0.8168
		21		4.216	44.5564	4.7895	-19.8835	-23.9534	0.8301
		22		5.316	49.0925	4.7895	-22.1515	-23.9534	0.9248
增压	3	23	5.48	2.0	-47.535	4.7895	17.44164	18.6719	0.9341
		24	5.68		-47.064	4.7895	17.2845	18.6719	0.9257
		25	6.08		-46.464	4.7895	17.0845	18.6719	0.9150
	5.68	26	1.520	-46.9070	4.7895	17.2322	18.6719	0.9229	
		27	2.000	-47.064	4.7895	17.2845	18.6719	0.9257	
		28	2.500	-47.1106	4.7895	17.3000	18.6719	0.9265	
降压	3	29	5.48	2.0	57.2059	4.7895	-17.472	-23.953	0.7294
		30	5.68		57.5264	4.7895	-17.579	-23.953	0.7339
		31	6.08		56.9347	4.7895	-17.382	-23.953	0.7256
	5.68	32	1.520	65.2055	4.7895	-20.139	-23.953	0.8407	
		33	2.000	57.5264	4.7895	-17.579	-23.953	0.7339	

表 1 射流风机调压效果数值模拟计算结果汇总表

不同工况时风机调压影响长度计算结果见表 2。

项目	风机型号	组别	风机台数	隧道风速	隧道入口静压	沿程损失	入口影响长度	出口影响长度	综合影响系数	备注
工况	No	N		Vr(m/s)	P <sub>1</sub> (Pa)	△P(Pa)	L <sub>1</sub> (m)	L <sub>2</sub> (m)	K	水力直径 D=8.34m
同向	63	1	1	4.00	-1.3169	4.3012	3.0	94.0	0.9421	$\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$ $V_j = 34.3 \text{ m/s}$ $A_j = 0.312 \text{ m}^2$ $A_r = 65.52 \text{ m}^2$
		2	1	4.25	-0.8066	4.7895	3.0	97.0	0.9462	
		3	1	4.96	0.7875	6.3026	3.0	100.0	0.9551	
	100	4	1	4.00	-9.3211	4.3012	3.0	94.0	0.9067	$\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$ $V_j = 34.3 \text{ m/s}$ $A_j = 0.636 \text{ m}^2$ $A_r = 65.52 \text{ m}^2$
		5	1	4.25	-8.7862	4.7895	3.0	100.0	0.9111	
		6	1	4.96	-7.0798	6.3026	3.0	103.0	0.9199	
	125	7	2	4.00	-16.815	4.3012	4.0	105.0	0.9004	$\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$ $V_j = 34.3 \text{ m/s}$ $A_j = 0.786 \text{ m}^2$ $A_r = 65.52 \text{ m}^2$
		8	2	4.25	-16.183	4.7895	4.0	111.0	0.9017	
		9	2	4.96	-14.337	6.3026	4.0	116.0	0.9088	
反向	90	10	2	4.00	18.937	4.3012	83.0	22.0	0.9525	$\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$ $V_j = 34.3 \text{ m/s}$ $A_j = 0.985 \text{ m}^2$ $A_r = 65.52 \text{ m}^2$
		11	2	4.25	19.483	4.7895	78.0	21.0	0.9500	
		12	1	4.96	21.175	6.3026	72.0	19.0	0.9442	
	112	13	1	4.00	26.765	4.3012	89.0	28.0	0.9439	$\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$ $V_j = 34.3 \text{ m/s}$ $A_j = 1.227 \text{ m}^2$ $A_r = 65.52 \text{ m}^2$
		14	1	4.25	27.307	4.7895	83.0	25.0	0.9401	
		15	1	4.96	29.102	6.3026	78.0	22.0	0.9346	
140	16	1	4.00	23.175	4.3012	91.0	22.0	0.9191	$\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$ $V_j = 25 \text{ m/s}$ $A_j = 1.540 \text{ m}^2$ $A_r = 65.52 \text{ m}^2$	
	17	1	4.25	23.729	4.7895	84.0	20.0	0.9145		
	18	2	4.96	25.498	6.3026	78.0	18.0	0.9049		
同向	125	19	2	24.3	-5.3679	4.7895	4.0	69.0	0.9239	$\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$ $V_r = 4.25 \text{ m/s}$ $A_j = 0.786 \text{ m}^2$ $A_r = 65.52 \text{ m}^2$
		20	2	29.3	-10.264	4.7895	4.0	73.0	0.9089	
		21	2	34.3	-16.183	4.7895	4.0	79.0	0.9017	

表 2 不同工况时风机调压的长度及综合影响系数

通过仔细分析上述计算结果我们可以得出以下主要结论：

(1) 分析所有的计算工况下射流风机的调压效果，可以看到综合影响系数 K 的变化范围为 0.7~1.0，并且始终小于 1.0。说明射流风机的实际调压值小于理论值。

(2) 无论是射流风机的风流与隧道风流同向还是与隧道风流反向, 单台风机的调压效果远远好与两台和三台风机并联。所以从通风效果的角度出发, 如果隧道内的射流风机数不多时, 建议每组布置一台风机。

(3) 无论是单台风机还是两台、三台并联风机, 风机风流和隧道风流同向工况下, 风机安装高度愈底,  $K$  值愈大, 而在反向工况时, 风机的安装高度可以比同向工况高 0.20m。但随着并联风机台数的增加, 风机安装高度对综合影响系数  $K$  的影响越来越小。

(4) 多台风机并联时, 风机在横断面上的安装间距对  $K$  值影响较大。当风机风流与隧道风流相同情况, 无论是两台风机并联安装还是三台风机并联, 风机安装的轴线间距宜取 2.0m; 风机风流与隧道风流相反情况, 风机的轴线间距宜取 1.5m。

(5) 射流风机的调压影响长度随着风机台数和工况的不同而相差较大。但当风机风流与隧道风流同向时, 风机入口段的影响长度为 3.0m~4.0m, 出口段的影响长度为 94.0m~116.0m; 当风流相反时, 入口段的影响长度为 72.0m~91.0m, 出口段影响长度为 18.0m~28.0m。

#### 4. 结束语

1. 射流流风机的调压作用受风机台数、安装高度、相互间距等因素的影响, 在具体布置风机时, 必须根据实际隧道的几何与通风参数进行优化研究予以确定;

2. 如果风机数量不多, 建议每组布置一台为佳;

3. 风机的安装高度尽可能低些, 安装间距根据风流工况取 1.5m~2.0m;

4. 在布置射流风机的位置时, 应充分考虑风机调压的影响距离, 合理布置风机在纵断面的相对位置, 使得射流的产生、发展和完成形成一个完整的过程, 才能充分发挥射流风机的调压功能。通常风机组相距应该大于 120.0m。

#### 参考文献

1. 曾艳华、何川, 特长公路隧道全射流通风技术的应用, 公路, 2002
2. 舒宁、徐建闽等, 计算流体力学在纵向式公路隧道火灾通风中的仿真, 水动力学研究与进展, 2001. 12
3. 中华人民共和国交通部, 公路隧道通风照明设计规范 (JTJ 026.1-1999), 北京: 人民交通出版社, 2000
4. 石平, 公路隧道通风局部效应数值模拟分析与研究, 长安大学硕士学位论文, 2004. 5
5. 王永东、夏永旭: 长大公路隧道纵向通风数值模拟研究, 中国公路学报, Vol. 15(2000). 1
6. 王永东、夏永旭: 公路隧道纵向通风局部数值模拟研究, 西安公路交通大学学报, Vol. 21(2001). 4

