

散流器半受限分散射流的数学模型及分析

山东建筑大学 萧震宇[☆]

中铁济南勘察设计咨询有限公司 翟捷

摘要 建立了数学模型,通过数值求解得到了散流器在不同半锥顶角下的射流轨迹,分析了锥体顶角对射流的影响,建议锥体顶角为 $110^{\circ}\sim 130^{\circ}$ 。

关键词 散流器 半受限分散射流 数学模型 锥体顶角

Mathematical model and analysis of semi-restricted dispersed jet from a diffuser

By Xiao Zhenyu[★] and Zhai Jie

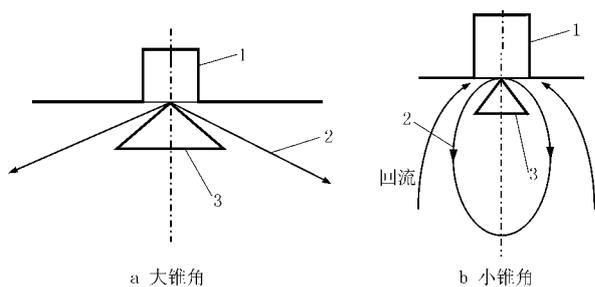
Abstract Develops a mathematical model. Obtains the jet path of a diffuser with different half cone vertex angles by numerical solution. Analyses the influence of cone vertex angle on jet, and recommends the desired cone vertex angle of $110^{\circ}\sim 130^{\circ}$.

Keywords diffuser, semi-restricted dispersed jet, mathematical model, cone vertex angle

[★] Shandong University of Architecture and Engineering, Jinan, China

0 引言

目前,散流器送风口在房间空调末端装置中应用十分广泛,这是因为散流器送风射流(如图 1 所示)具有较好的速度特性、温度特性和对称性,使房



1 送风管及散流器 2 射流轨迹 3 圆(方)锥体

图 1 散流器分散射流示意

间各处参数分布较均匀,死角少,可达到较高的控制精度。但在实际工程中散流器的送风射流处于有限空间中,房间的围护结构限制了射流的扩散,此时自由射流的规律不再适用,而目前的有限空间射流理论研究尚不成熟,致使对其研究常采用实验的方法^[1-2],得到的结论一般具有局限性。为了使

研究更具有有一般性,本文提出了一种室内带锥体送风口(如散流器)的解析模型。

1 射流模型的建立

通过建立分散射流模型来分析半受限射流的特性,以确定锥体角大小对分散射流形状和分布的影响,进而找出最佳锥体角。

1.1 模型建立与解析

图 2 是简化了的半受限分散射流物理模型。图中, u_0 为送风口初始平均风速, m/s ; d_0 为送风口直径, mm ; α_0 为半锥顶角, $^{\circ}$; α 为射流极角, $^{\circ}$; R_0 为锥体边长, mm ; R 为射流半径, mm ; R_{max} 为射流半径的最大值, mm ; p_w, p_n 分别为射流外区和内区的静压, Pa 。

由图 2 可以看出,由于锥体边壁和空间等的限

[☆] 萧震宇,男,1976 年 4 月生,学士,工程师
250014 济南市历下区和平路 47 号山东建筑大学设计研究院二所
(0531) 86367595 (0) 13964000428
E-mail: xiaozy@jnnu.com
收稿日期:2006-04-03
一次修回:2007-01-14
二次修回:2007-03-05

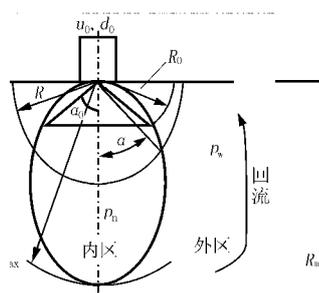


图 2 射流计算模型

制,影响了射流边界层的发展,射流半径及流量不像自由射流一直增大,而是增大到一定程度后反而逐渐减小,使其边界线呈橄榄形,流线呈闭合状,出现与射流方向相反的回流区。射流各截面的动量不再相等,而是沿程减小;同时射流内压力也是变化的,随着射程增大,压力也增大,到闭合端头时最大。达到稳定后,射流压力比周围空气压力要大些。

锥体后射流的背压与推力系数(即压差力)的关系如图 3 所示^[3]。由图 3 可知,背压值最大时,

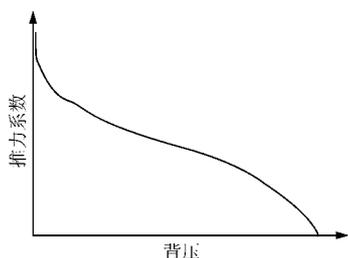


图 3 锥体背压与推力系数(压差力)的关系

$$\Delta p = p_w - p_n = -\frac{I_0}{2} \frac{1}{F_w} + \frac{I_0}{2} \frac{1}{F_n} = \frac{I_0}{2} \left[\frac{1}{2\pi R^2 \cos\alpha} - \frac{1}{2\pi R^2 (1 - \cos\alpha)} \right] = \frac{I_0}{4\pi R^2} \left(\frac{1}{\cos\alpha} - \frac{1}{1 - \cos\alpha} \right) \quad (7)$$

作用力与极坐标增量之间的关系可表示为

$$\frac{\Delta p F_T}{I_0} = \frac{dl}{dR} = \frac{R d\alpha}{dR} \quad (8)$$

式中 \$dl\$ 为与射流内、外区压差力相对应的射流弧长;\$F_T\$ 为承受射流内、外区压差力的橄榄球体侧面投影面积,\$m^2\$,可近似按下式计算:

$$F_T = \pi(R^2 - R_0^2) \sin\alpha \quad (9)$$

1.2 带锥体型散流器送风射流的数学模型

$$\ln \frac{R}{R_0} + \frac{1}{2} \left(\frac{R_0^2}{R^2} - 1 \right) = \frac{2}{3} \ln \frac{3 \tan^2 \left(\frac{1}{2} \alpha \right) - 1}{3 \tan^2 \left(\frac{1}{2} \alpha_0 \right) - 1} - 2 \ln \frac{\tan^2 \left(\frac{1}{2} \alpha \right) + 1}{\tan^2 \left(\frac{1}{2} \alpha_0 \right) + 1} \quad (12)$$

推力系数(压差力)最小,射流将呈弯曲状;推力系数(压差力)最大时,背压值最小,射流弯曲变缓。当射流内、外区压力(静压力)与射流惯性力平衡时,其流场结构将处于稳定状态,此时射流闭合。

射流结构受射流锥体形状影响,为了简化分析,假设射流流线沿射流方向均匀分布在射流区及回流区,当射流惯性力与内、外区静压力平衡时,可有以下关系式:

$$I_0 + (p_w F_w + p_n F_n) = 0 \quad (1)$$

式中 \$I_0\$ 为射流惯性力,\$N\$;\$F_n\$ 和 \$F_w\$ 分别为橄榄形内区和外区的表面积,\$m^2\$。

根据锥体的对称性,可将式(1)表示为

$$\left(\frac{I_0}{2} + p_w F_w \right) + \left(\frac{I_0}{2} + p_n F_n \right) = 0 \quad (2)$$

由于研究的是射流的稳定状态,即受力的平衡状态,为了简化复杂力场和便于计算,假定射流稳定时,存在以下关系式:

$$\frac{I_0}{2} + p_w F_w = 0 \quad (3)$$

$$\frac{I_0}{2} + p_n F_n = 0 \quad (4)$$

式(3),(4)的正确与否可通过仿真和实验来验证。由于锥体的作用,橄榄球体可近似视为梨形的球体,即近似由锥台与部分球体组成的几何体,因而 \$F_n, F_w\$ 可近似用下式表示:

$$F_n = 2\pi R^2 \cos\alpha \quad (5)$$

$$F_w = 2\pi R^2 (1 - \cos\alpha) \quad (6)$$

射流内、外区之间的静压差为

将式(7),(9)代入式(8)得

$$\frac{R^2 - R_0^2}{R^3} dR = \frac{4}{\frac{1}{\cos\alpha} - \frac{1}{1 - \cos\alpha}} \frac{d\alpha}{\sin\alpha} \quad (10)$$

$$\int_{R_0}^R \frac{R^2 - R_0^2}{R^3} dR = \int_{\alpha_0}^{\alpha} \frac{4}{\frac{1}{\cos\alpha} - \frac{1}{1 - \cos\alpha}} \frac{d\alpha}{\sin\alpha} \quad (11)$$

由式(11)得^[4]

式(12)即是带锥体型散流器送风射流的数学模型。

2 模型计算示例

当此类散流器的几何尺寸(R_0, α_0)已知时,可

通过式(12)确定 R 与 α 之间的关系。设 $R_0 = 25$ mm, 当 $\alpha_0 = 15^\circ \sim 85^\circ, \alpha = 0^\circ \sim 85^\circ$ 时, R 值计算结果见表 1。

根据上述计算值可画出散流器在不同半锥顶

表 1 R 值计算结果

mm

$\alpha_0 / (^\circ)$	$\alpha / (^\circ)$																	
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
15	33.4	32.8	30.9	25.0														
20	37.4	36.9	35.3	32.4	25.0													
25	42.4	41.9	40.4	37.8	33.9	25.0												
30	48.8	48.3	46.8	44.2	40.6	35.5	25.0											
35	57.4	56.8	55.2	52.5	48.7	43.8	37.3	25.0										
40	69.5	68.8	67.0	64.0	59.8	54.5	47.9	39.7	25.0									
45	88.0	87.3	85.1	81.5	76.5	70.3	62.7	53.7	43.1	25.0								
50	121.0	120.0	117.1	112.4	105.9	97.7	87.9	76.5	63.6	48.7	25.0							
55	202.0	200.5	195.8	188.2	177.6	164.4	148.7	130.6	110.4	88.0	62.7	25.0						
60													25.0	3.66×10^{11}	5.45×10^{11}	6.63×10^{11}	7.39×10^{11}	7.80×10^{11}
65														25.0	55.4	70.1	79.2	84.1
70															25.0	42.1	49.1	52.8
75																25.0	36.2	39.8
80																	25.0	32.2
85																		25.0

角 α_0 下的射流轨迹,如图 4 所示。

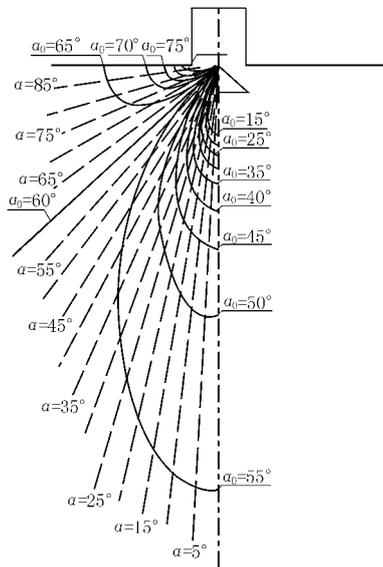


图 4 散流器在不同半锥顶角 α_0 下的射流轨迹示意图

由图 4 可以看出:

1) 当 $\alpha_0 < 55^\circ$ 时,射流轨迹呈橄榄形,射流线闭合形成内、外区。

2) 当 $55^\circ < \alpha_0 < 60^\circ$ 时,射流出现散射;当 $\alpha_0 = 60^\circ$ 时,射流呈直线,无任何偏转;当 $\alpha_0 > 60^\circ$ 以后,射流散射并发生偏转,甚至出现贴附现象。

3) 为了满足空调房间温度、速度均匀的要求,锥体顶角在 $110^\circ \sim 130^\circ$ 之间为宜。

4) 与文献[2]的实验结果是一致的,说明式(1),(3),(4)及假定是合理正确的。

3 结论

本文提出了一种室内带锥体的送风口(如散流器)的解析模型,该模型是建立在稳态条件下射流受力平衡的原理基础上,不再遵循大空间自由射流的送风规律。利用该模型对室内散流器类送风口射流的计算表明,锥体顶角大小对射流形状的影响很大。顶角越大,射流贴附性越好,即射流的射程越远;反之亦然。这与工程实际是完全吻合的。锥体顶角在 $110^\circ \sim 130^\circ$ 之间时,可有效地提高室内热工参数的均匀性。

参考文献

[1] 周谟仁. 流体力学泵与风机[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1979:244-245
 [2] 赵静野,祁惠峰,张玉娟. 圆锥型送风射流特性的研究[J]. 暖通空调,2004,34(2):76-77
 [3] 刘金合,宋明德. 塞式喷管流场计算[J]. 空气动力学学报,2002(4)
 [4] 王沫燃. MATLAB与科学计算[M]. 2版. 北京:电子工业出版社,2003