

径向导气旋风分离器阻力特性研究

何伟才 王怀彬 张子栋 刘文铁 上官新会

(哈尔滨工业大学)

〔摘要〕 蕊管的阻力损失占旋风分离器阻力损失很大部分。在蕊管圆周面上开设径向小孔，使气流径向导入蕊管避免了强制涡带来的无效损失，可使旋风分离器的阻力损失降低1/3多。本文研究了蕊管径向开孔时旋风分离器阻力的特性。

关键词 旋风分离器 径向流 阻力特性

1 前言

旋风分离器是工业上广泛使用的一种分离设备，在其100多年的发展史中，从盲目的使用阶段，逐步发展到建立比较完善的分离机理。从转圈理论发展到筛分理论、边界层理论。同时对其流场和阻力特性作了较深入、准确的测定和分析^[1,2]。旋风分离器阻力与流场紧密相关。据前人的测定可知，压力损失主要起于半径方向的离心力作用^[3]，而离心力主要由切向速度和旋转半径($F = mu^2/R$)决定。据前人的测定和数值计算可知，最大切向速度在蕊管内^[4]，约在 $r_c = (2/3)r_s$ 处。

由于蕊管内旋转气流阻力损失很大，占旋风分离器总阻力损失的(50~60)%，甚至达87%^[3]。蕊管的阻力损失对分离基本不起作用，因此必须寻求一种有效的方法来降低蕊管的无效损耗。Prantl在蕊管加装导向叶片可使阻力降低22%^[5]。我们做过在蕊管

加装栅格的试验，对阻力降低效果不明显，且只有进口速度大于20 m/s时才起作用。在蕊管圆周面上均匀开设小孔后，使旋风分离器的流场发生了较大的变化，由原来的旋源、涡汇的复杂流场转变成只有涡汇流场。阻力损失也降低了1/3以上，但分离效率变化不大。

2 理论分析

对于理想流体，切向反转旋风分离器的主流是：有势的自由涡与有旋的强制涡组成的切向流以及径向对着圆心流动的汇流与径向背着圆心向外流动的源流。而压力损失主要起于半径方向的离心力作用。旋风分离器的总阻力损失 Δp_i 应包括：进口损失 Δp_{i1} ，出口损失 Δp_{e1} 和旋涡流场损失 Δp_{x1} 。在旋涡流场损失 Δp_{x1} 中，又包括自由涡流损失 Δp_{r1} 和强制涡流损失 Δp_{c1} 。因此，总阻力损失可表示为：

$$\Delta p_i = \Delta p_{i1} + \Delta p_{e1} + \Delta p_{r1} + \Delta p_{c1} \quad (1)$$

为便于分析比较，我们仅考虑旋涡流场损失。

收稿日期 1991-04-15

本文联系人 何伟才 男 150006 哈尔滨工业大学热能工程教研室

在自由涡中:

$$\Delta p_{z1} = \frac{\rho K_1^2}{2} \left(\frac{1}{r_c^2} - \frac{1}{r_w^2} \right) \quad (2)$$

在强制涡中:

$$\Delta p_{z1} = \frac{1}{2} \rho u_c^2 \quad (3)$$

式中, ρ 、 K_1 、 r_c 、 r_w 、 u_c 分别为流体密度、常数、自由涡到强制涡的临界半径、筒体半径、和最大切向速度。

对于蕊管均匀开有径向小孔的旋风分离器, 其主流是: 有势的自由涡与汇流。假定气流沿开孔蕊管均匀导入。其总阻力损失 Δp_2 应包括: 进口损失 Δp_{i2} 、自由涡流损失 Δp_{z2} 和径向导气的局部阻力损失 Δp_r , 即

$$\Delta p_2 = \Delta p_{i2} + \Delta p_{z2} + \Delta p_r \quad (4)$$

在自由涡区, 自由涡流损失 Δp_{z2} 可由下式表示:

$$\Delta p_{z2} = \frac{\rho K_2^2}{2} \left(\frac{1}{r_n^2} - \frac{1}{r_w^2} \right) \quad (6)$$

径向导气的局部阻力损失 Δp_r 可简单表示为:

$$\Delta p_r = \frac{1}{2} \xi \rho u_r^2 \quad (7)$$

式中, K_2 、 r_n 、 ξ 、 u_r 分别为常数、蕊管半径、局部阻力系数和径向气流速度。当两种旋风分离器的进口结构与气流参数相同时, 其进口阻力损失可认为相同, 即

$$\Delta p_{i1} = \Delta p_{i2} \quad (8)$$

由于进口结构与气流参数相同, 则 $K_1 = K_2$, 又由于 $r_c < r_n$, 比较式 (2) 和式 (6) 可知。

$$\Delta p_{z2} < \Delta p_{z1} \quad (9)$$

如果沿蕊管圆周的开孔直径、开孔面积(开孔率) 足够大, 则阻力系数 ξ 及径向气流速度 u_r 减小。而 u_c 通常很大。因此在一定条件下, 比较式 (3) 和式 (7), 可使:

$$\Delta p_r < \Delta p_{z1} \quad (10)$$

比较式 (1) 与式 (4), 注意式 (8)、式 (9) 和式 (10) 的关系, 并考虑到切向反转式旋风分离器的总阻力损失中还包括出口阻力损

失 Δp_{e1} , 容易看出, 径向导气旋风分离器的阻力损失小于切向反转式旋风分离器的阻力损失即

$$\Delta p_2 < \Delta p_1 \quad (11)$$

为验证式 (11) 的正确性, 进行了径向导气旋风分离器阻力特性的试验研究。

3 实验设备与方法

实验装置系统如图1所示, 旋风分离器采用一般的切向反转式结构。外筒直径 $D_w = 200 \text{ mm}$, 蕊管直径 $D_n = 100 \text{ mm}$, 蕊管壁厚 $\delta = 5 \text{ mm}$, 进口尺寸宽 60 mm , 高 175 mm , 材料为有机玻璃。开孔蕊管有不同开孔直径、不同开孔率、不同开孔面积等形式。

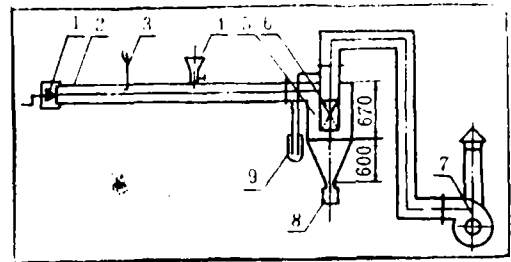


图1 实验装置系统

- 1. 调节风门 2. 进风道 3. 测速管
- 4. 给料装置 5. 旋风分离器 6. 开孔蕊管
- 7. 引风机 8. 集灰瓶 9. U型测压计

流速与压力测定: 标准皮托管安装在进口风道上并使其与微压计相连, 测出动压可算出进口平均速度及流量。采用U型压力计测量分离器的进出口静压降。

进口气流粉尘浓度及分离效率的测定: 采用称量及计时法。测得每次实验给入粉量及实验时间, 并称出由分离器分离下来的粉尘重量。按通过风道的空气流量及在一定时间内的给入粉量 G_i 和分离下来的粉尘重量 G_c , 可计算出气流的粉尘浓度 μ 及分离效率 η

$$\mu = \frac{G_c}{uA} \quad \text{g/m}^3 \quad (12)$$

$$\eta = \frac{G_c}{G_i} \times 100\% \quad (13)$$

式中, u 、 A 分别为进口平均速度及流通面积。

4 实验结果与讨论

4.1 各种蕊管阻力特性

4.1.1 常规蕊管的阻力特性。数据列于表1。

表 1

u (m/s)	7.64	12.09	14.24	15.41	15.70
$\frac{\Delta P}{(P_0)}$	333.5	971.2	1324.4	1520.6	1618.7
ζ	9.98	11.06	10.87	10.75	10.93

平均阻力系数 $\zeta_1 = 10.72$

4.1.2 不开孔蕊管长度为480 mm 时的阻力特性, 如表2所示。

平均阻力系数 $\zeta_2 = 9.46$

4.1.3 开孔直径为 $\phi 5.8$ mm, 开孔面积比

$\frac{S}{A_0} = 1.78$ (S —蕊管开孔面积, A_0 —蕊管截

面积) 开孔率 $e = 15\%$ 的阻力特性, 如表3所示, 蕊管的结构尺寸如图2所示。

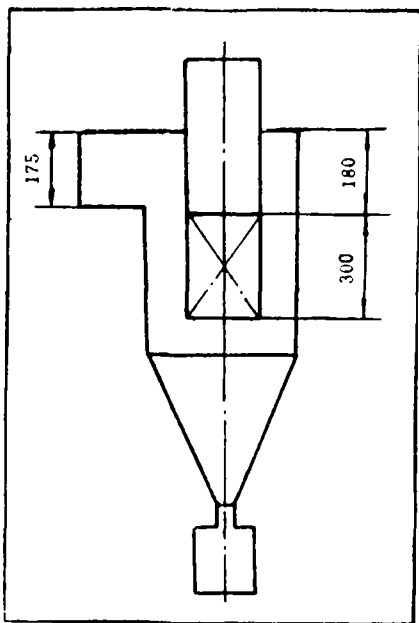


图 2 蕊管结构尺寸

平均阻力系数 $\zeta_3 = 6.88$

4.1.4 开孔直径为 $\phi 3.2$ mm, 开孔面积比为

2.36, 开孔率 $e = 19.6\%$ 时阻力特性如表4所示。

平均阻力系数 $\zeta_4 = 7.14$

4.1.5 蕊管全部均匀开孔, 孔径为 $\phi 5.8$ mm, 蕊管长度为300 mm, 其阻力特性如表5所示。

平均阻力系数 $\zeta_5 = 10$

表 2

u (m/s)	13.24	14.68	15.82	16.66
$\frac{\Delta P}{(P_0)}$	1000.6	1226.3	1402.8	1589.2
ζ	9.50	9.47	9.33	9.53

表 3

u (m/s)	7.53	10.29	12.60	14.68	16.02	17.93	18.82
$\frac{\Delta P}{(P_0)}$	245.3	441.5	667.1	882.9	1059.5	1304.7	1432.3
ζ	7.20	6.94	7.0	6.82	6.87	6.70	5.73

表 4

u (m/s)	7.64	10.29	13.17	15.53	16.82	17.83	19.02
$\frac{\Delta P}{(P_0)}$	245.3	470.9	784.8	1020.2	1196.8	1324.4	1520.6
ζ	7.0	7.40	7.53	7.04	7.04	6.94	7.0

表 5

u (m/s)	8.44	11.31	13.31	14.49	15.23	15.87	16.16
$\frac{\Delta P}{(P_0)}$	421.8	784.8	1079.1	1245.9	1373.4	1500.9	1589.2
ζ	9.85	10.22	10.14	9.88	9.86	9.92	10.13

将上述实验结果进行比较:

同长度无孔蕊管与开孔蕊管相比:

$$\frac{\zeta_2 - \zeta_3}{\zeta_2} \times 100\% = 27.27\%$$

$$\frac{\zeta_2 - \zeta_4}{\zeta_2} \times 100\% = 24.52\%$$

可见, 开孔蕊管阻力约降低25%。

与常规蕊管相比:

$$\frac{\zeta_1 - \zeta_3}{\zeta_1} \times 100\% = 35.82\%$$

$$\frac{\zeta_1 - \zeta_4}{\zeta_1} \times 100\% = 33.40\%$$

结果表明, 径向导气后阻力降低1/3 以

上。

蕊管全部均匀开孔, 阻力较大。

4.2 开孔蕊管下端封口与不封口时的阻力特性

如图3所示, 低速时蕊管不封口比封口阻力小; 高速时封口比不封口的阻力小。这

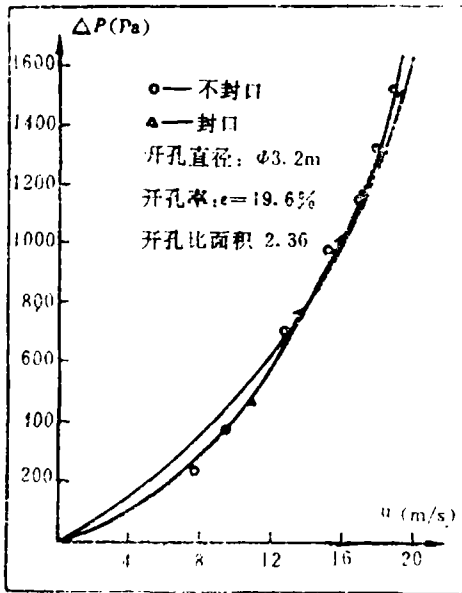


图 3

是由于低速时气流到端口处旋流强度很弱, 端口增加了流通截面因而阻力变小; 当速度

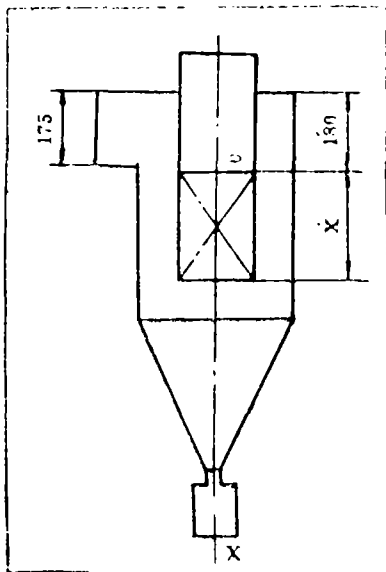


图 4

较高时, 到达端口处气流还有较强的旋流强度, 气流以旋流方式进入蕊管, 旋转气流增加了流动阻力, 因而不封口流动阻力较大。

4.3 相同开孔率不同开孔面积 (如图4所示) 的阻力特性

由图5、图6可知, 开孔率一定, 封口时阻力随开孔面积增加而逐渐减小; 当开孔面积增大到一定值后, 阻力将保持恒值。不封口时阻力随开孔面积减小而增大, 开孔面积为零时阻力为常规蕊管的阻力; 当开孔面积逐渐增大时, 阻力逐渐减小, 开孔面积进一步增大时, 阻力也将保持为恒值。

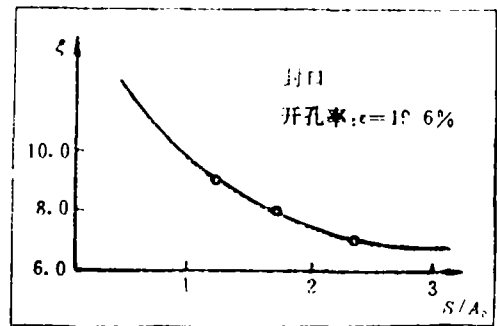


图 5

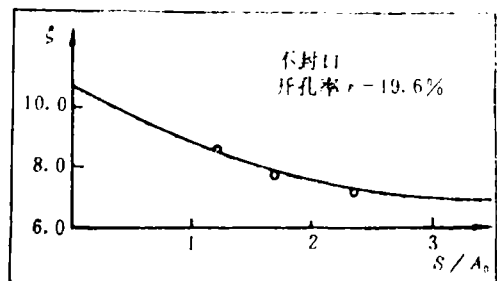


图 6

4.4 开孔面积一定, 开孔蕊管沿垂直方向变化 (如图7所示) 时阻力的变化

从图8可知, 当开孔面积一定, $X = 0$ 时, 阻力最大; 当 X 逐渐增大, 阻力逐渐下降, 直到蕊管不开孔段大约等于进口高度 B 的 1.1 倍时, 阻力不再下降。

4.5 径向导气旋风分离器的分离效率

由实验结果可知, 当开孔直径为 $\phi 5.8$ mm、开孔段长为 300 mm、开孔率为 15% 时,

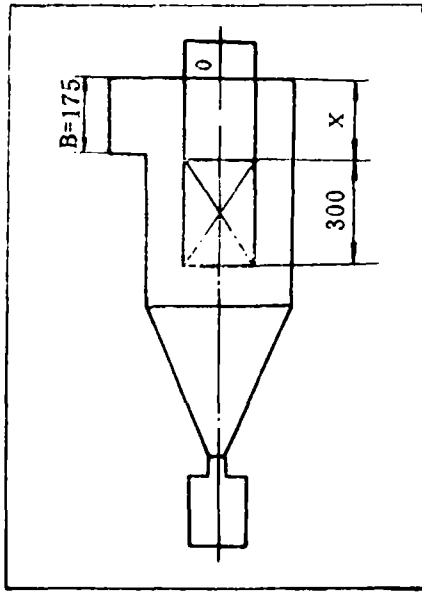


图 7

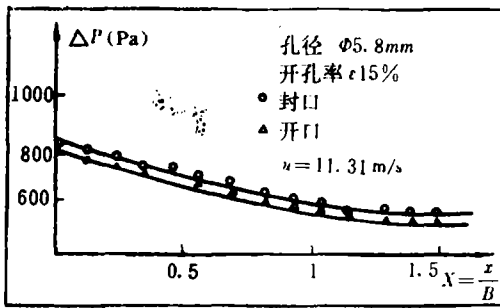


图 8

阻力降低较大。但效率也有所下降，约降低3%左右。当开孔直径为 $\phi 3.2\text{ mm}$ ，开口段长为300 mm、开孔率为19.6%时，阻力降低较大，效率也与常规蕊管相当。在相同进

口风速下，在高含尘浓速时，分离效率降低0.7%；在低含尘浓度时，分离效率提高1%以上。在低速时，蕊管不封口与封口分离效率相当；在高速时，不封口比封口分离效率降低约0.5%。

5 结 论

1. 蕊管径向开孔是降低旋风分离器阻力损失的有效途径，可降低阻力损失1/3 以上。
2. 开孔率、开孔直径、开孔面积对阻力与分离效率有较大的影响。采用小孔径、大开孔面积可以降低阻力也可以使分离效率不降低。
3. 蕊管开孔段上部应保持一定长度的不开孔段，该段长度可取为进口截面高度的1.1 倍。一定长度的不开孔段对降低阻力和提高分离效率都有利。

参 考 文 献

- 1 王怀彬等. 循环流化床旋风分离器阻力损失的 计算模型. 哈尔滨工业大学学报, 1990 (6) : 22-25
- 2 王怀彬等. 循环流化床锅炉高温旋风分离器性能 的模化. 热能动力工程, 1990, 5 (4) : 14-20
- 3 陈明绍等. 除尘技术的基本理论及应用. 中国建筑 工业出版社, 1981, 177, 160
- 4 岑可法等. 工程气固多相流动的理论及计算. 浙江 大学出版社, 1990, 619
- 5 谭天佑等. 工业通风除尘技术. 中国建筑工业出 版社, 1984, 247

Study of Resistance Characteristics of Cyclone Separators with Radial Outflowing of Air

He Weicai, Wang Huaibin, Zhang Zidong,

Liu Wentie, Shanguan Xinhui

(Harbin Institute of Technology)

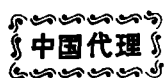
Abstract

The resistance loss of a core tube accounts for a major part of the resistance

loss of a cyclone separator. With the provision of small radial holes on the core tube periphery it is possible to introduce air flow into the core tube in a radial direction, thus eliminating the loss caused by a forced swirl and lowering the resistance loss of the cyclone separator by one third. This paper presents the study results of the cyclone separator resistance characteristics when the core tube has been provided with radial openings.

Key words: cyclone separator, radial flow, resistance characteristics

北京大云传感技术开发部向您提供



美国 ICSENSORS
MOTOROLA 公司压力传感器变送器

- 用于组装压力传感器、变送器的敏感元件
- 应用于工业控制、生物医疗、国防工业等领域的压力传感器、变送器

基 本 指 标

传感器与敏感元件

- 量程: 0-1000mmH₂O---60MPa
- 精度: 0.05%、0.1%、0.25%、0.5%
- 满量程输出: >30mv、100mv
- 使用温度: -10°C~60°C、-40°C~125°C
- 长期稳定性: 0.2%量程/年
- 表压、差压、绝压、密封表压
- 316不锈钢隔离膜片
- 转载: 千倍
- 温漂、时漂: 0.02%
- 售价68元—1200元

变送器

- 量程: 0-500mmH₂O---600kg/cm²
- 精度: 0.1%、0.25%、0.5%
- 供电: 24V
- 输出: 4~20mA (二线制)
- 长期稳定性: 0.2%量程/年
- 信号微处理器集成化、无分离元件
- 316不锈钢隔离膜片或法兰
- 本质安全、全天候结构
- 保修期一年, 使用寿命高于12年
- 售价1300元—2800元

应 用 领 域

- 组装压力传感器 • 组装液位传感器、变送器 • 高精度标准压力计 • 高精度真空压力计
- 冶金、石油、化工自动化 • 航空电子设备 • 机床监控 • 海洋工程 • 医药工业 • 汽车行业
- 食品加工工业 • 污染控制 • 液位测量与控制 • 液压伺服设备 • 制冷设备 • 工业锅炉
- 呼吸机(仪) • 检漏 • 空调

欢迎垂询

诚征经销商

单位: 北京大云传感技术开发部

地址: 北京海淀区东升园五条一号(乘331、375路汽车五道口商场下路南)

电话: 7717998 传真: 5001495 邮政编码: 100083

联系人: 李岩峰