

液-固(气)旋流器分离性能分析及环保工程应用*

张作萍¹, 陈海², 郭金基², 张开成³, 姚云³, 李航飞³, 贺炜³

(1. 广东省建筑科学研究院, 广东 广州 510500;
2. 中山大学应用力学与工程系, 广东 广州 510275;
3. 中山盛兴幕墙有限公司, 广东 中山 528412)

摘要: 阐述环保工程和化学工业中的广泛使用的液-固(气)旋流分离器结构特性, 并分析液-固(气)旋流分离器的流场结构, 观察旋流器的流线和流动现象。根据实验数据, 采用圆柱室内二维轴对称涡流模型, 计算涡室内准自由涡区压力分布, 得准自由涡区的速度函数; 按旋流器液-固(气)流体运动规律, 计算分离的颗粒直径和分离效率。通过实验方法揭示液-固(气)旋流器流体运动的规律, 最后给出废气治理工程的实例, 并讨论其在环境保护领域中的应用前景。

关键词: 液-固(气)旋流; 分离器; 速度; 流线; 压力; 分离粒径

中图分类号: TH12 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 03-0041-06

液-固(气)旋流分离器在化工和环保废水处理及液压润滑系统中是十分重要的装置。其流场规律的研究, 由于内部流场是多相、三维、具有粘性, 质量的传导和热量交换的流动, 完整的三维流动计算十分困难, 迄今未见有关文献的报导。现阶段主要通过实验手段, 结合近似计算分析方法了解内部流动规律的情况。文献[1]研究气-固旋风分离器三维流场的测定, 得到了内部流动较详细的结果。文献[2]进行了旋风分离器内流场的试验研究, 测定了分离器全空间内的三维速度分布。文献[3]、[4]对旋风分离器的气相流场进行了测试, 并进行数值模拟。文献[5]研究在液-气(固)旋流器流场的测量介质不同条件下, 实测旋流器的流场结构, 近似计算压力分布和分离粒径及分离效率, 本文仍通过模型试验与近似分析的方法研究液-固(气)旋流器分离性能及效率。

1 液-固(气)旋流器的流场显示

模型试验选用 $\phi 500$ mm 旋流分离器的模型, 通入水-固(气)混合体为工质, 测试过程通过水泵加压, 液位控制器, 保持液位恒定。本实验装置及测试结果与文[5]旋流分离器部分基本相同, 其流场结构显示如下:

选取圆柱坐标 (r, θ, z) 组成右手坐标系(见图1), 模型沿高度方向分成四个截面: I-I, II-II,

III-III及A-A, 前三个截面在不同的方位如 $[0^\circ]$ 、 $[90^\circ]$ 、 $[180^\circ]$ 、 $[270^\circ]$ 和不同的径深上测得其切向速度、压力和轴向速度; 其切向速度分布图, 如图1所示, A-A截面切向速度 u_θ 流线示意图如图2

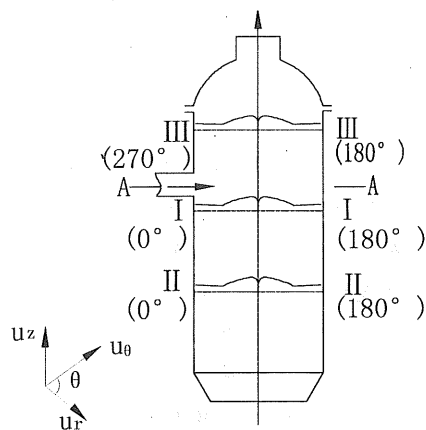


图1 旋流器切向速度分布

Fig. 1 Tangential velocity distribution

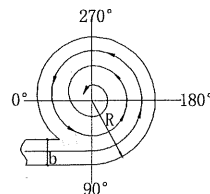


图2 截面A-A切向速度流线示意图

Fig. 2 Tangential velocity of A-A section

* 收稿日期: 2007-11-01

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(980343); 广东省环保科技研究开发项目(粤环1999-13)

作者简介: 张作萍(1970年生), 男, 高级工程师; 通讯联系人: 陈海; E-mail: chenhai@mail.sysu.edu.cn

所示, I - I 截面轴向速度分布图如图 3 所示, 旋流分离器实际描绘的流线表示在图 4 中。

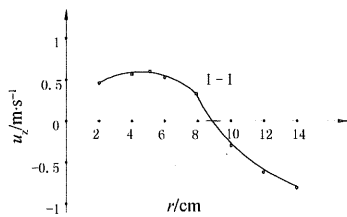


图 3 旋流器 I-I 截面轴向速度
Fig. 3 Axial velocity of I-I section

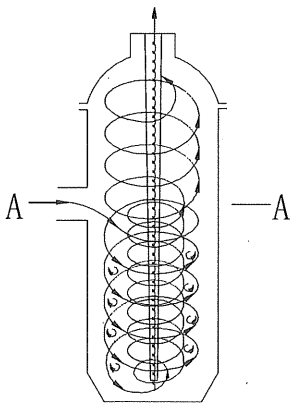


图 4 $\phi 500$ mm 旋流器实测流线图
Fig. 4 $\phi 500$ mm cyclone flow line measurement

从实际的切向、轴向速度和流场可视化可看出: ①喷射流体从切线方向进入旋流器先下旋, 旋流流体大部分至底部而后上旋, 形成三维流场, 中心出现强制涡核, 涡核上宽下窄类似倒锥形, 锥角近似 1.5° , 比旋风分离器所测得的为小^[1,5]。②喷射流体从入口至底部出现外层下行及内层上行的双层旋流流动结构, 局部出现较小的二次涡流。外层下行的速度与入射角 (与水平的夹角) 有关。随入射角和孔口宽度不同, 流体旋动的流线也不同 (见图 4), 从实测的速度来看, 其分布随着方位和截面选取不同, 变化较大, 远不如分布有规律。

③流场旋动情况与喷射流体入口速度关系较大。如果速度低于某一数值时, 旋动状态消失。④通入水-气-固 (微粒子) 多相流后, 双层流动结构区域分离出固体微粒子有推向壁面堆积现象; 若水中加入轻质的固体微粒形成聚集物, 密度比水小得多的聚集物在双层流动结构内向上流动。⑤喷射流体入口截面上方, 双层流动区域消失。从水-气-固多相旋动分离出的固体微粒子推向壁面。若水中加轻质固体颗粒形成的聚集物上旋至顶部水面溢出, 净水由底部排出。

2 切向速度和压力的计算

液-气 (固) 旋流器的切向速度分布较有规律, 除在中心附近出现大致与半径成正比的强制涡区外, 在涡核半径以外周围由于壁面的磨擦及液流粘性的影响, u_θ 按负幂次律变化, 即

$$u_\theta = A/r^n \quad (1)$$

式中 A , n 为由实验测定的常数, 这个区域称为准自由涡区。从大量的实验数据中, 根据最小二乘法原理, 运用数理统计的方法^[6], 把预测函数 (1) 式两边取对数, 化为直线回归。由实测数据和预测值取对数的误差平方和取极小值的条件, 可以确定 A 、 n 值, 然后计算相关系数并进行相关检验。若相关函数愈接近于 1, 化直线为曲线后, 实测点愈接近按负幂函数 (1) 式表示的曲线上。最后给出显著性水平, 检查已求得的相关函数是否大于临界值, 以判断其总体的可靠性。

根据以上的方法, 由表 1, I - I 截面的实测数据求得: $A = 5.862\ 69$, $n = 0.630\ 85$, II - II 截面的实测数据求得: $A = 3.920\ 4$, $n = 0.511\ 71$, 代入 (1) 式得 u_θ 值列于表 1。依据表 1, 可画出 $u_\theta - r$ 曲线, 如图 5 所示。由图 5 及表 1 表明: 在准自由涡区, 起始段理论计算值与实验值相差大一些, 而随 r 的增大, 两者基本一致, 用 (1) 式表示切向速度 u_θ 基本正确。

表 1 速度的实验值与计算值结果

Tab. 1 Experimental and calculated values results of the velocity

截面	r/cm	0.5	1	2	4	6	8	10	12	14
I - I	实测 $u_\theta/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	1.8	2.37	2.63	2.28	1.96	1.72	1.41	1.23	1.02
	计算 $u_\theta/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$				2.445	1.893	1.579	1.372	1.222	1.109
II - II	实测 $u_\theta/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	1.52	1.94	2.12	1.87	1.63	1.35	1.22	1.12	0.98
	计算 $u_\theta/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$				1.929	1.567	1.353	1.207	1.099	1.02

液-气 (固) 旋流分离器压力分布很有规律, 本文用简单圆柱室内二维轴对称非粘性 (理想) 流动

进行模拟。流体从设在圆柱切线方向流入至中央出口的圆形涡室, 为简单起见可不考虑轴向区的运动,

故涡室内流动的运动方程和连续方程近似地表示为^[7]:

$$u_r = \frac{du_r}{dr} - \frac{u_z^2}{2} = -\frac{1}{\rho} \frac{dP}{dr} \quad (2)$$

$$u_r \frac{du_\theta}{dr} + \frac{u_r u_\theta}{r} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{du_r}{dr} + \frac{u_r}{r} = 0 \quad (4)$$

在入口处,当 $r=r_1$ 时,

$$u_\theta = u_{\theta 1}, u_r = u_{r1} \quad (5)$$

求解微分方程,可得:

$$P_1 - P = \frac{1}{2} \rho u_0^2 \left[\left(\frac{r_1}{r} \right)^2 - 1 \right]$$

式中, $u_0 = \sqrt{u_{r1}^2 + u_{\theta 1}^2}$ 。

当液流入口半径方向宽度为 b 时, $\tan \theta_1 = \frac{u_{r1}}{u_{\theta 1}} = \frac{b}{2\pi r_1}$, 上式修正为:

$$P_1 - P = \frac{1}{2} \rho u_0^2 \left[\left(\frac{r_1}{r} \right)^2 - 1 \right] \left[1 + \left(\frac{b}{2\pi r_1} \right)^2 \right] \quad (6)$$

实际上,由于流体的粘性、重力及 Magnus 力的影响,压力差略小于这一计算值,并且该式较适用于准自由涡区域。

现将 $\phi 500$ mm 旋流分离器入口截面 $u_{\theta 1} = 2.2$ m/s, 按(6)式计算压力差 $P_1 - P$ 的分布值及实测值列于表2并绘在图6中,由图6及表2表明;准自由涡区,压力差 $P_1 - P$ 的计算值与实验值十分接近。

表2 $\phi 500$ mm 旋流器入口截面的压力差 $P_1 - P$ 计算与实验值

Tab. 2 Experimental and calculation pressure difference $P_1 - P$ of $\phi 500$ mm cyclone importers section

r/cm	6	8	10	12	14	16	18	20	23
(6)式 $P_1 - P$ (kPa)	40.367	21.627	12.953	8.241	5.400	3.556	2.292	1.388	0.448
实验 $P_1 - P$ (kPa)	39.810	21.470	12.810	8.220	5.350	3.540	2.270	1.377	0.443

3 分离性能的分析

液-固(气)旋流分离器内液-气流及颗粒运动极其复杂,对于颗粒的分离捕集机理就不得不作出许多假设,从而形成各种不同的分离机理模型,本文先仿照 Rosin (见文[4])关于旋风分离器的临界粒径的计算方法,研究旋动流体中液-气流携带的固体微粒的运动规律。

设从切线方向进入旋流分离器的微细粒子, $d_s \leq 1$ mm, 它相对于气流的速度 u_{θ} 很小, 其雷诺数 $R_{el} = \frac{\mu_{\theta} \cdot d_s}{\nu}$ 可以小于1; 在此条件下, 微细粒子遇

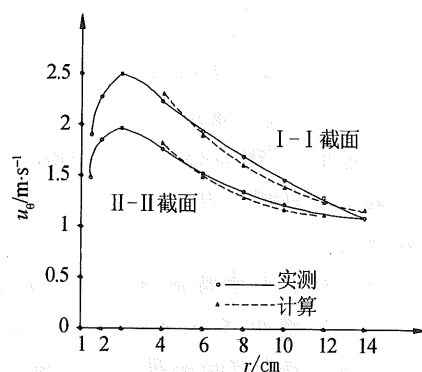


图5 切向速度 u_θ 实测与计算曲线

Fig. 5 Experimental and calculated values curve of the tangential velocity u_θ .

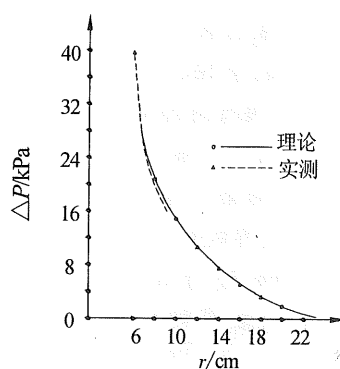


图6 切向压力 P 的实测与计算曲线

Fig. 6 Experimental and calculated values curve of the tangential pressure P .

到的阻力适应于 Stokes 阻力定律范围, 假设距离旋流器中心 r 处的粒子旋转速度 u_θ , 则在该点的粒子, 由于受离心力的作用加速度为 (u_θ^2/r) , 从旋动的液-气流中的分离速度 $u_r = \frac{dr}{dt}$, 即径向速度, 可以由下式表示^[5,7]:

$$u_r = \frac{dr}{dt} = \frac{\gamma_s - \gamma}{\mu g} \cdot \frac{u_\theta^2}{r} d_s^2 \quad (7)$$

式中 γ_s 为固体微粒的重度; γ 为液-固(气)流体的重度; μ 为液-固(气)流动力粘性系数, 后两者必须从液-固(气)流中随机取样实验确定。

假设切向的微粒速度近似等于液-气流速度,

并设旋流器入口的平均速度为 u_i , 分离器的平均半径记为 R , 把准自由涡区切向速度 (1) 式 u_θ 无量纲化后, 代入 (7) 式。微粒子从入口管内侧 $R-b$ 处 (b 为入口宽度), 在离心力作用浮游到达柱体壁面 R 处所需要的时间, 可以由 (7) 式经过积分计算而求解得到。

另一方面, 粒子在分离器内向下作螺旋运动, 经过几次旋动到达壁面 R 处所需之时间可由运动学方程求得, 两式消去时间参数, 经过移项及开方运算可得粒子的临界直径:

$$d_s = \frac{1}{kR^n} \sqrt{\frac{9\mu g [R^{2(n+1)} - (R-b)^{2(n+1)}]}{2\pi R N^* (n+1) \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot u_i}} \quad (8)$$

式中 k 为常数, 通常选取 $0.8 \sim 1.2$, n 由 (1) 式确定; R 为旋流器的半径, b 为旋流器入口宽度; N^* 为粒子旋动到壁面所需的圈数。

微粒在液-气流中下旋, 在离心效应下向外浮游, 当到达壁面被捕集下来, 它的效率为 100%。按 (8) 式计算的临界粒径, 又记为 d_{s100} 。当液-气流的颗粒有 50% 被分离的粒径 (即效率为 50%) 称为 50% 的临界粒径, 又称为切割粒径 d_{s50} 。

以上计算仍属于转圈理论模型范畴, 它未考虑向心的径向液-气流速度对微粒分离的影响, 显然不够全面。Leith 及 Licht^[8] 在旋风分离器的研究中, 推出了横向渗混模型, 认为在分离器的任一横截面上, 颗粒浓度的分布是均匀的, 但在近固体壁处的边界层内, 是层流流动, 只要颗粒在离心力作用下浮游进入此边界层内, 就可以被捕集分离下来, 这就是边界层分离的理论。

根据横混模型的分析方法, 只需研究近壁处的颗粒运动, 经过一系列的数学推导及运算整理, 可得边界层分离理论的切割粒径及分离效率的计算式为:

$$d_{s50} = 3(0.3465)^{n+1} \left[\frac{\mu^2 R}{5(n+1)\rho_s \mu_i K_V K_A} \right]^{1/2} \quad (9)$$

式中 ρ_s 为颗粒的密度

$$K_A = \frac{\pi R^2}{\alpha \cdot b}; \quad K_V = \frac{V_1 + 0.5V_2}{8R^3}$$

V_1 为在分离器入口高度一半以下环形空间的体积; V_2 为分离器排气管端口以下的分离空间体积减去内旋流的体积。

$$\eta_1 = 1 - \exp\left[-0.693\left(\frac{d_s}{d_{s50}}\right)^{\frac{1}{n+1}}\right] \quad (10)$$

式中 n 为外旋流速度指数, 参考 (1) 式由实验确

定。

但上两式是按旋风分离器导出的, 若应用到液-气 (固) 旋流分离器中, 其推导过程应用到 stokes 数时, μ 应由液-气流动粘性系数替换; ρ_s 也应考虑液-气流密度的影响。用 $(\rho_s - \rho)$ 替代。 n, μ, ρ 经过实验确定。

液固旋流分离器是由切向导流的高速液流产生旋动流体, 固体颗粒在旋动流体离心力场作用下而分离, 切割粒径 d_{s50} 的经验计算公式, 可以参看文献 [9]。Srarovsky^[10] 提出将切割粒径 d_{s50} 与流量 Q 、压力差 ΔP 和旋流器直径 D 关联在一起的准数方程, 再根据已有的实验数据进行设计计算, 具有一定的实用意义。

4 环保工程应用及讨论

液-固 (气) 旋流分离器在环保工程和化工中有广泛的应用, 本文列举广东中山盛兴股份有限公司喷涂车间三苯废气治理工程喷淋循环水净化装置 (见图 7): 液-固 (气) 旋流分离器的应用例子加以说明。

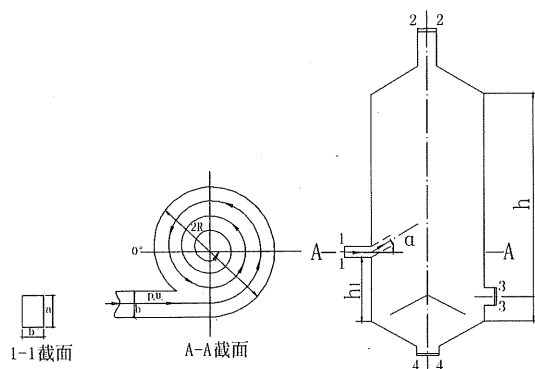


图 7 液-固 (气) 旋流分离器示意图

Fig. 7 The fluid-solid (gas) swirl-liquid separator

例: 液-固 (气) 旋流分离器主体为圆筒体, 上、下端为圆锥体分别与 2-2 废水排放管、4-4 废渣排放管连接, 三苯废气治理循环水利用楼面高度水头压力 P_i 及速度 u_i , 由矩形截面方管 1-1 以水平方向成角 α 切向进入圆筒体, 如图 7 所示。含三苯循环水包括不溶于水的固体微粒和微溶于水部分 (例如甲苯、二甲苯) 液体形成的液-固 (气) 多相流体作旋转向上运动, 旋动流体螺旋运动过程产生的离心力将多相流中不同密度的分子微团分离, 将比水重的微团 (粒) 抛向壁面, 比水轻的微团 (粒) 与水分离, 分层向上运动, 经 2-2 排放管排出。由于三苯循环水中甲苯、二甲苯微溶于

液体和三苯固体微粒比重比水轻,实践证明已达到设计的效果。比水重的微团(粒)抛向壁面在重力作用下下沉经受料斗由4-4管排放到浆渣沉淀池。经旋动治理其余的循环水由3-3管排入下一步治理工序。本装置三苯治理循环水流量 $Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$, 流速 $u_i = 3.16 \text{ m/s}$, 由实验数据选取 $n = 0.63085$, $k = 1.2$, 水温 30°C 动力粘性系数 $\mu = 9.114 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, 旋流器几何尺寸: $R = 500 \text{ cm}$, $b = 10 \text{ cm}$, $a = 15 \text{ cm}$, $h = 1.6 \text{ m}$, $\alpha = 10^\circ \sim 15^\circ$ (与液-固(气)多相流与旋流器内旋转圈数 N^* 有关), 试计算分离最小的颗粒 d_s 。

计算过程如下:

将(8)式改写为如下形式:

$$d_s = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{9\mu g R [1 - (1 - b/R)^{2(n+1)}]}{2\pi(n+1)N^*(\gamma_s - \gamma)\mu_i}}$$

式中 $\gamma_s - \gamma$ 为液-固(气)流体与固体微粒的重度的差值。

本文选取不同重度的微粒(团)含液体微团, $\gamma_s - \gamma = 0.1 \times 10^4 \text{ N/m}^3$ (轻质), $\gamma_s - \gamma = 0.9 \times 10^4 \text{ N/m}^3$ 计算。按选取角, 旋转圈数 $N^* = 5$, $\gamma_s - \gamma = 0.1 \times 10^4 \text{ N/m}^3$ 。

$$d_s = \frac{1}{12} \sqrt{\frac{9 \times 8.94 \times 10^{-4} \times 0.5 \times 0.0336}{2\pi \times 5 \times (1 + 0.635) \times 0.1 \times 10^4 \times 3.16}}$$

$$= 0.2405 \times 10^{-4} \text{ (m)} = 24.05 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\gamma_s - \gamma = 0.9 \times 10^4 \text{ N/m}^3$$

$$d_s = \frac{1}{1.2} \sqrt{\frac{9 \times 8.94 \times 10^{-4} \times 0.5 \times 0.0336}{2\pi \times 5 \times (1 + 0.635) \times 0.1 \times 10^4 \times 3.16}}$$

$$= 0.0802 \times 10^{-4} \text{ (m)} = 8.02 \text{ } \mu\text{m}$$

依据以上实验研究及分析计算讨论如下:

(1) 液-固(气)旋流器流体切向速度分布中心为准自由涡, 涡核是倒锥形, 锥角近似为 1.5° , 外层由准自由涡, 按 r 的负幂次律变化; 轴向速度在入口截面下方呈现外层下旋内层上流的双层流动结构, 下行速度和入射流体的速度及水平方向夹角有关。径向速度在准自由涡区比切向速度小一个数量级。

(2) 流量量可在旋流分离器中液-固(气)多相流被分离出固体微粒有推向壁面堆积的现象, 三苯废气治理循环水, 甲苯、二甲苯微溶于水部分密度比水轻, 连同其它轻质固体微粒形成聚集物, 该聚集物上旋至顶部溢出。

(3) 根据实验数据用近似性分析方法计算分离最小粒径 d_s , 其中矩形截面入射流体的速度和它与水平方向夹角 α 对 d_s 影响较大。当入射角 α 增

大时, 旋转流动在圆筒体旋转圈数 N^* 减少, 分离最小粒径则增大, 例如 $N^* = 2.5$, 按上述计算实例: $d_s = 11.34 \text{ } \mu\text{m}$ 。

本文通过实验方法揭示液-固(气)旋流器流体运动的规律, 所得到的研究成果, 除上述实例外, 还应用于旋流气浮充气装置、工业炉脱硫除尘及水泥窑旋流收尘塔等环保工程项目^[11], 有重要的实用价值。

参考文献:

- [1] 凌志光, 黄存魁. 旋流式分离器三维流场测定[J]. 力学学报, 1989, 21(3): 266-272.
LING Zhiguang, HUANG Cunkui. Investigation of 3D flow field in vortex type cyclone separator[J]. Acta Mechanica Sinica, 1989, 21(3): 266-272.
- [2] 吴小林, 姬忠礼, 田彦辉, 等. PV型旋风分离器内流场的试验研究[J]. 石油学报(石油加工), 1997, 13(3): 93-99.
WU Xiaolin, JI Zhongli, TIAN Yanhui, et al. Experimental study on flow field of PV type cyclone separator[J]. Acta Petrolei Sinica (Petroleum Processing Section), 1997, 13(3): 93-99.
- [3] 陈雪莉, 吕术森, 周增顺, 等. 一种新型旋风分离器气相流场实验研究和数值模拟[J]. 化学反应工程与工艺, 2004, 20(2): 139-145.
CHEN Xueli, LU Shusen, ZHOU Zengshun, et al. Experimental study and numerical simulation of the flow field in a new cyclone-type separator[J]. Chemical Reaction Engineering and Technology, 2004, 20(2): 139-145.
- [4] 郭金基. 扩展式分离器的性能计算[J]. 中山大学学报: 自然科学报, 1987(3): 30-35.
GUO Jinji. The characteristic computation of the cyclone separators with spreader[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 1987(3): 30-35.
- [5] 郭金基, 张应元, 杨宗炼. 液-气(固)旋流器流场的测定和分离粒径的计算[J]. 水动力学研究与进展, 1991, 增刊(6): 89-94.
GUO Jinji, ZHANG Yingyuan, YANG Zonglian. Investigation of flow field and calculating diameter of separating pellets of the liquid-gas (particle) whirl fluid device[J]. Journal of Hydrodynamics (Ser. A), 1991(S6): 89-94.
- [6] 冯力. 回归分析方法原理及SPSS实际操作[M]. 北京: 中国金融出版社, 2004.
- [7] 董志勇. 射流力学[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [8] LEITH D, LICHT W. The collection efficiency of cyclone type particle collectors a new theoretical approach[J]. A I Ch E Symp Series, 1972, 6S: 196.
- [9] 冯伯华. 化学工程手册(第5卷22篇)[M]. 北京: 化

- 工出版社, 1989.
- [10] SRAROVSKY L. Solid-Liquid separation [M]. Ind Ed Butterworths, 1981.
- [11] 郭金基, 陈海, 张应元, 等. 烟火粉尘旋流分离性能的计算及其环保应用[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2000, 39(1): 18-22.

GUO Jinji, CHEN Hai, ZHANG Yingyuan, et al. The separating characteristic computation of the swirl fluid dust and its application in environmental treatment[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2000, 39(1): 18-22.

The Environmental Application and Separation Performance Analysis of the Fluid - Solid (Gas) Swirl-Liquid Separator

ZHANG Zuo-ping¹, CHEN Hai², GUO Jin-ji², ZHANG Kai-cheng³, YAO Yun³, LI Hang-fei³, HE Wei³

(1. Guangdong Province Construction Science Academy, Guangzhou 510500, China;

2. Department of Applied Mechanics and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

3. Zhongshan Shengxing Limited-Liability Company, Zhongshan 528412, China)

Abstract: The structural property of the fluid-solid (gas) swirl-liquid separator for environmental protection and chemical industry is described. Their flow field structure is analyzed, then the flow line and mobile phenomenon are observed. According to a series of experiment data, the velocity function of quasi-free-vortex in cylinders are calculated. Using the 2D axisymmetric cylindrical vortex model, this pressure distribution of quasi-free-vortex in cylinders are studied. By the principle of fluid-solid (gas) liquid swirl, the separation particle diameter and efficiency are discussed. Through experimental technique the fluid flow of the fluid-solid (gas) swirl-liquid separator are explained. Finally, the examples of environmental projects are introduced, and the application prospects are discussed.

Key words: fluid-solid (gas) swirl-liquid; separators; velocities; flow line; pressure; separation particle diameter.

(上接第 40 页)

An Improved Model for Analysis on Impurity Distribution in Diode p - n Junction

LI Chao-rui, LIU Xiao-wei

(School of Physics and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The impurity concentration distribution in diode p - n junction can be presented with the simplified models, named as abrupt junction and the linearly graded junction, but precise measurements show there existing limitation in these tradition models. Based on capacity-voltage experiment data from the most common commercial diodes, the impurity distribution in p - n junction will be described more accurately with use of improved model. Though $C - V$ relation of some samples can be independently expressed with unique component of $n = 1/2$ or $n = 1/3$, others must be explained by the modified model with both of $n = 1/2$ and $1/3$ components. The new model provides the method to get more accurate physics parameters for diode p - n junction.

Key words: p - n junction; impurity concentration; capacity-voltage method; Passion equation