

起旋器出口断面流速分布与起旋效率

TV142

孙西欢¹, 王文焰¹, 武鹏林², 张羽², 兰雅梅², 彭龙生²

(1 西安理工大学 水电学院, 陕西 西安 710048; 2 太原理工大学 水利系, 山西 太原 030024)

[摘 要] 通过对6种起旋器, 4种流量工况的试验, 对起旋器出口断面流速分布及起旋效率进行了分析。结果表明, 起旋器出口断面轴向流速分布呈类对数型分布, 它比平直流的流速分布更均匀, 可以用平直流速分布公式与一个二次尾流函数来表示; 起旋器出口断面周向流速分布在主流区近似呈线性分布。提出了起旋器的起旋效率计算式, 公式表明要提高起旋效率, 则必须减小阻力损失, 即应对起旋器结构参数进行优化。

[关键词] 起旋器; 流速分布; 起旋效率

[中图分类号] TV14

[文献标识码] A

螺旋流管道输沙
螺旋流起旋器出口断面

固体物料的管道水力输送在水利工程及工业领域得到了广泛应用^[1], 而提高输送浓度和降低输送能耗一直是这一应用研究的主要方向^[2,3]。螺旋流管道输沙是新近提出的输沙新方法^[4], 其原理是利用管道螺旋流较小的周向旋转流动将易沉积于管道底部的粗颗粒泥沙拖拽“悬浮”于主流之中, 从而提高输送浓度并降低输送能耗。螺旋管流输沙的技术关键首先是如何在管道中产生螺旋流。有的学者曾提出在管道内加设单条连续导叶来产生螺旋流^[5], 孙西欢^[6]则提出了利用局部管段内置稀疏导叶(称为圆管螺旋流起旋器)来产生圆管螺旋流。圆管螺旋流起旋器所产生的螺旋流水力特性由其出口断面来表征, 因此本研究就所探讨的螺旋流起旋器出口断面流速分布及起旋效率进行试验分析。

1 起旋器水力试验简介

圆管螺旋流起旋器的结构如图1所示。在长度为 L 的圆管段内以圆心角等分的方法安放 N 个导叶, 导叶与圆管管壁为垂直联结, 故导叶的高度沿圆管断面的径向安放。导叶沿轴向进入起旋器管段后, 以均匀的扭转角(圆管壁上导叶的切线与管轴线的夹角)安放, 其前缘与后缘的夹角便是导叶的包角。起旋器直径与管路直径相同。由此可知, 起旋器结构参数包括导叶的包角 α , 导叶的高度 h , 导叶的厚度 b , 导叶数 N 及起旋器的长度 L 和半径 R 。起旋器水力试验按其结构参数组合进行了6种方案(见表1)和4个流量工况(5.3, 6.4, 7.5和8.1 L/s)共24组试验, 其欧拉数为4.18~6.81。

起旋器由有机玻璃材料制成, 将其安装于环管系统中进行水力试验。试验中压力测定采用测压管法, 流速测量采用三孔毕托柱对断面上径向各点进行施测, 在圆管断面(半径为6 cm)的径向设置了0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5和5.5 cm共6个测点。

[收稿日期] 2000-08-19

[基金项目] 山西省自然科学基金资助项目(971038); 国家自然科学基金资助项目(59779009)

[作者简介] 孙西欢(1960—), 男, 教授, 西安理工大学博士研究生。

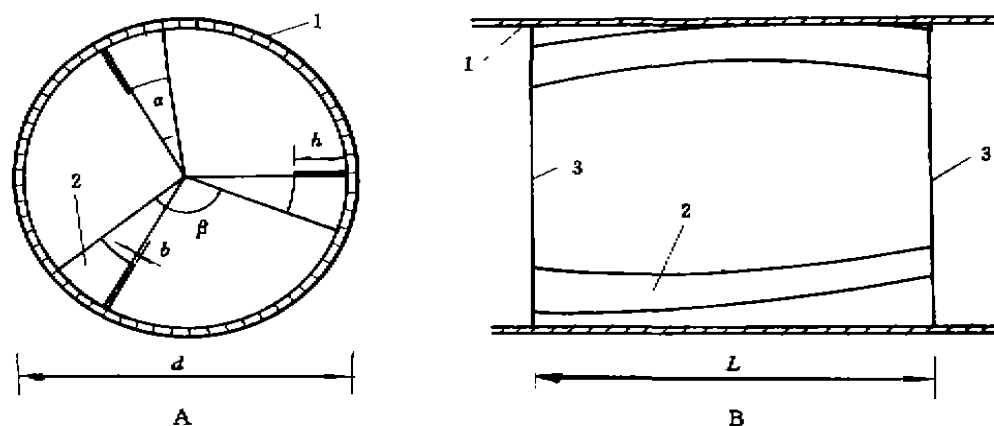


图 1 起旋器断面结构示意图

A. 横断面; B. 纵断面

1. 固体边壁; 2. 导叶; 3. 起旋器与管道连接处; α . 导叶包角; β . 导叶安装等分角;
 d . 内径; b . 导叶厚度; h . 导叶高度; L . 起旋器长度

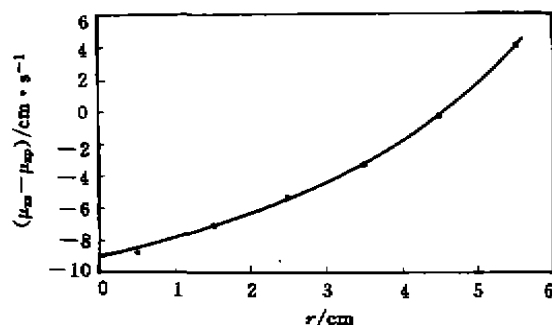
表 1 起旋器试验方案

方案号	α /度	h /cm	N /个	L /cm	R /cm	b /cm	方案号	α /度	h /cm	N /个	L /cm	R /cm	b /cm
1	15	3	4	18	6	0.5	4	15	2	3	18	6	0.5
2	10	3	4	18	6	0.5	5	15	2	2	18	6	0.5
3	15	3	3	18	6	0.5	6	10	2	2	18	6	0.5

2 起旋器出口断面的流速分布特点

2.1 轴向流速

起旋器出口处流场较乱, 根据试验分析, 认为距起旋器出口 1.1 倍管径处形成了较稳定的圆管螺旋流流场, 因而确定该断面为起旋器的出口断面。根据 24 组试验结果, 起旋器出口断面的轴向流速分布呈类对数型分布。因为平直管流在紊流状态下的流速分布为对数型分布, 因此可以将实测的起旋器出口断面轴向流速分布与平直管流流速分布进行比较。图 2 给出了第 1 起旋器方案流量工况为 8.1 L/s 时的实测轴向流速

图 2 第 1 起旋器方案出口断面轴向流速与平直流速差的分布 ($Q=8.1$ L/s)

u_{zs} 与平直流速 u_{zp} 之差的分布图 (图中 r 为起旋器出口断面的径向位置)。由图 2 可以看出, 实测轴向流速在管中心的大部分区域比平直流速轴向流速小, 而在管道边壁附近区域比平直流速轴向流速略大, 这说明起旋器出口断面轴向流速分布比紊流条件下的平直流速

分布更均匀,其原因是水流通过起旋器时,由于周向旋转运动而产生离心力,使断面上水流发生离心运动,从而使轴向流速分布更趋于均匀化。

经对各组试验结果进行分析,起旋器出口断面轴向流速与平直流流速之差 Δu_x 均具有图2所示的特点,即

$$\Delta u_x = u_{xs} - u_{xp} = f(r) \quad (1)$$

式中, $f(r)$ 是由于螺旋流而引起的轴向流速尾流函数。由图2可知, $f(r)$ 为 r 的二次函数,因此, Δu_x 可用下列无量纲表达式表示

$$\frac{\Delta u_x}{u_{xs}} = a + b \left[\frac{u_{xs}(R-r)}{\nu} \right] + c \left[\frac{u_{xs}(R-r)}{\nu} \right]^2 \quad (2)$$

式中, u_{xs} 为轴向摩阻流速,其计算方法与无导叶的普通管段相同; ν 为水的运动粘滞系数; R 为起旋器管段的半径; a, b, c 为常数和系数,可由试验结果拟合求得。其他符号意义同前。

由式(1)和式(2)可知,起旋器出口断面轴向流速分布为

$$\frac{u_{xs}}{u_{xs}} = \frac{u_{xp}}{u_{xs}} + \frac{\Delta u_x}{u_{xs}} = 5.751 \lg \left[\frac{u_{xs}(R-r)}{\nu} \right] + 5.5 + a + b \left[\frac{u_{xs}(R-r)}{\nu} \right] + c \left[\frac{u_{xs}(R-r)}{\nu} \right]^2 \quad (3)$$

式(3)表明,起旋器出口断面的轴向流速分布可用平直流流速分布与一个二次尾流函数之和来表示。常数和系数 a, b, c 因起旋器结构的不同而异,对于图2中所示的起旋器方案,经试验资料拟合 $a=1.948\ 570\ 00, b=-0.004\ 145\ 95, c=0.000\ 000\ 86$ 。

2.2 周向流速

图3给出了第1起旋器方案出口断面周向流速 u_θ 沿径向的变化规律。由图3可知,在施测范围内周向流速沿径向近似呈线性分布。其他方案的起旋器试验资料^[6]也反映了这一规律,这说明起旋器出口断面的周向水流流动是一种以断面中心为圆心,以相同的角速度而运动的旋转运动。因此,周向水流速度分布可用下式表示

$$u_\theta = r\theta' \quad (4)$$

式中, θ' 为该断面的水流旋转角速度。其他符号意义同前。

应说明的是,起旋器出口断面水流旋转角速度 θ' 随起旋器结构的不同而不同;对同一起旋器, θ' 也随流量不同而不同。对于图3所述的第1起旋器方案在流量为 5.3, 6.4, 7.5 和 8.1 L/s 情况下, θ' 分别为 1.379, 1.688, 1.991 和 2.179 rad/s, 还应指出的是上述研究结论仅仅是对起旋器出口断面周向流动的主流区而言,因管道边壁处边界层内的流速分布未予施测和分析,而且边界层内周向流速分布根本不同于式(4)。

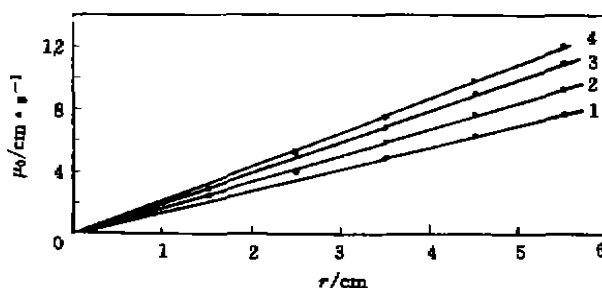


图3 第1起旋器方案出口断面周向流速分布

1. $Q=5.3\text{ L/s}$; 2. $Q=6.4\text{ L/s}$;
3. $Q=7.5\text{ L/s}$; 4. $Q=8.1\text{ L/s}$

3 起旋器的起旋效率

根据水流流经起旋器前后总机械能的平衡分析结果^[6],当起旋器水平安装时,

$$\frac{\bar{p}_1 - \bar{p}_2}{\gamma} = E_r + \Delta h \quad (5)$$

式中, $\bar{p}_1, \bar{p}_2$ 分别为起旋器进出口断面的平均压强; γ 为水的容重; E_r 为出口断面的平均旋转动能; Δh 为起旋器的阻力损失。

式(5)表明,起旋器的压能损失由两部分组成,一部分用于克服起旋器的阻力损失,另一部分则转化为出口断面的旋转动能。起旋器的阻力损失因有导叶的存在而较普通管段大,因此起旋器的压能损失要较普通管段大。

由式(5)知,起旋器出口断面的旋转动能是由压能转化而来,因此,起旋器起旋效率 η 定义为起旋器出口断面旋转动能与其平均压能之比,即

$$\eta = \frac{E_r}{(\bar{p}_1 - \bar{p}_2)/\gamma} \quad (6)$$

式中, E_r 为出口断面旋转动能, $E_r = (R^2 \theta'^2)/(4g)$; $(\bar{p}_1 - \bar{p}_2)/\gamma$ 为起旋器进出口断面的平均压能之差。由压力分布的分析结果^[6]

$$\bar{p}_2 = p_{c2} - \frac{\rho}{4} R^2 \theta'^2 \quad (7)$$

式中, p_{c2} 为起旋器出口断面管壁处的压强。又将能量平衡原理应用于起旋器^[6],可得到

$$\frac{\bar{p}_1 - \bar{p}_{c2}}{\gamma} = \lambda_v \frac{L}{2R} \frac{\bar{u}_x^2}{2g} \quad (8)$$

式中, λ_v 为起旋器阻力系数; $\bar{u}_x$ 为轴向平均流速。其他符号意义同前。

将 E_r 及式(7)、(8)代入式(6),可得到起旋效率的计算表达式

$$\eta = \frac{1}{1 + \lambda_v \frac{L}{R} \left(\frac{\bar{u}_x}{R\theta'} \right)^2} \quad (9)$$

根据试验资料^[6],按式(9)计算了第 1 至第 3 起旋器方案不同流量工况下的起旋效率,其值均为 3.5%~6.0%。这说明起旋器的压能转化为水流旋转动能的只是其一小部分,而大部分损失则用于克服起旋器的阻力。因此,要提高起旋效率必须减小起旋器的阻力损失,由式(9)知,应减小起旋器阻力系数 λ_v 、起旋器相对长度 $\frac{L}{R}$ 并提高 θ' ,也就是说应对起旋器结构参数进行优化。

[参考文献]

- [1] E. J 瓦普斯. 固料物料的浆体管道输送[M]. 黄河水利委员会科研所译. 北京:水利出版社,1980. 1-4.
- [2] 张书农. 管道水力输送的研究动态[J]. 泥沙研究,1982,(2):73-83.
- [3] 费祥俊. 浆体与粒状物输送水力学[M]. 北京:清华大学出版社,1994. 13-16.
- [4] 彭龙生. 螺旋流冲沙与输沙[J]. 太原理工大学学报,1998,29(1):4-7.

[5] 彭龙生,张 羽.平轴螺旋管流的能耗初探[J].太原理工大学学报,1998,29(3):229-232.

[6] 孙西欢.水平轴圆管螺旋流水力特性及固粒悬浮机理试验研究[D].陕西西安:西安理工大学水电学院,2000.

Outlet cross-section velocity distribution and rotation efficiency of spiral pipe flow generator

SUN Xi-huan¹, WANG Wen-yan¹, WU Peng-lin²,

ZHANG Yu², LAN Ya-mei², PENG Long-sheng²

(¹ Institute of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi, 710048, China; ² Department of Hydraulic Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi 030024, China)

Abstract: The cross-section axial velocity distribution at outlet and rotation efficiency of the spiral flow generator are analyzed in this paper, based on the experiment data of 6 spiral flow generators at 4 flow rates. The cross-section axial velocity distribution at outlet of the spiral flow generator is a logarithm-like function, which can be expressed by a velocity distribution formula of 2-D pipe flow and secondary wake flow function, and more uniform than that of 2-D pipe flow. The cross-section circumferential velocity distribution at outlet of the spiral flow generator is a liner function. The rotation efficiency formula is then suggested. In order to raise the rotation efficiency of spiral flow generator, its resistance must be reduced by optimizing its structure parameters.

Key words: spiral pipe flow generator; velocity distribution; rotation efficiency

· 简 讯 ·

高产优质节水小麦新品种“西农 2208”通过审定

由西北农林科技大学农学院博士生导师王辉教授主持选育的高产、优质、节水小麦新品种“西农 2208”,日前通过陕西省农作物品种审定委员会的正式审定。

“西农 2208”为弱冬性,抗旱耐冻,分蘖性较强,成穗率高,高抗倒伏,成熟落黄好,高产性能突出。1997~1999 年 3 年校内产量试验表明,该品种平均产量为 7414.5 kg/hm²,比对照品种增产 27.5%。2000 年陕西省杨陵、武功、蒲城、富平等县(区)大田种植试验表明,其平均产量分别为 8182.5, 8254.5, 7038.0, 7912.5 kg/hm²,分别较对照产量提高 28.7%, 36.6%, 14.2% 和 24.6%。该品种综合抗病性好,对条中 29, 30, 31, 杂 46 II, 水 11-13 等条锈病生理小种免疫,对赤霉、叶枯病有良好抗性。品质优良,达到国家中强筋小麦品种品质标准。

该品种属节水耐旱型高产品种,适宜关中川、塬灌区和旱肥地及同类生态区 6000~7500 kg/hm² 以上地力种植,同时可以麦棉、麦辣套种。

(温晓平 供稿)