

# 黄河水泥沙分离用水力旋流器分离效率的研究

刘永平, 龚俊, 刘晶

(兰州理工大学机电工程学院, 甘肃兰州 730050)

**摘要:** 在模拟黄河水泥沙分离试验装置上, 改变底流口直径、进口压力、进口物料浓度以及进口物料颗粒粒度分布等参数, 进行了正交对比试验. 通过对不同试验条件下的溢流口悬浮液进行粒级效率分析, 定性地总结出旋流器的某些结构和操作参数对分离效率的影响规律. 研究结果表明, 水力旋流器的分离效率与进料口颗粒分布有关; 在进料口悬浮液固相颗粒粒级分布相同的情况下, 进料口压力和底流口直径的变化同样对分离效率产生影响.

**关键词:** 水力旋流器; 固液分离; 分离效率

**中图分类号:** TQ051.8   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1005-6254(2006)05-0033-03

## Investigation of separation efficiency of hydrocyclone for separation of sediments from Yellow River water

LIU Yong-ping, GONG Jun, LIU Jing

(School of Mechanical & Electrical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu 730050, China)

**Abstract:** Based on the analysis of key structural and operating parameters which influence the separation efficiency of hydrocyclone, the orthogonal experiments are carried out with simulative experimental apparatus by the change of some parameters, such as underflow port diameter, inlet pressure, inlet material concentration and grain size distribution. The effects on separation efficiency were qualitatively summarized and evaluated by the analysis of gradation efficiency on suspending liquid at overflow port. The results show that the separation efficiency of hydrocyclone is related to the inlet grain size distribution. If the grain size distribution of suspending liquid at inlet is identical, the change of inlet pressure and underflow port diameter can influence the separation efficiency.

**Key words:** hydrocyclone; solid-liquid separation; separation efficiency

黄河水用于农业滴灌时, 为了防止黄河水所含泥沙在滴管内沉积, 堵塞小孔, 要求被引入的黄河水必须经过前级处理才能进行滴灌. 黄河水作为待分离的悬浮液其特点是泥沙含量高, 粘度低, 且物料特性随季节、地域不同而变化. 对其进行沙水分离要求设备生产能力高, 投资成本低, 且随进口物料特性的变化, 能够适当更换结构或操作参数来达到沙水分离的指标要求<sup>[1,2]</sup>. 水力旋流器是一种通用的固液分离设备, 除具有占地面积小, 处理能力大, 分离效

率高, 无转动部件等优点外, 还可通过改变水力旋流器的结构和操作参数适应进口物料特性的变化<sup>[3-8]</sup>, 因此采用水力旋流器对黄河水进行沙水分离, 是一种有效的分离手段.

### 1 水力旋流器分离效率的计算方法与影响参数

#### 1.1 水力旋流器分离效率的计算方法

分离效率是衡量分离过程完善程度的评价指标.

收稿日期: 2006-05-26

基金项目: 教育部研究基金资助项目(008K-033)

作者简介: 刘永平(1973-), 男, 甘肃白银人, 工学硕士, 讲师, 主要从事固液分离、机电一体化技术的研究.

龚俊(1963-), 男, 四川中江人, 教授, 主要从事分离过程理论、机械装备及其自动化、超细粉体制备技术方面的研究.

一般用给料中各粒级物料进入旋流器溢流产品中的质量百分率表示该粒级物料的分选效率(总效率)<sup>[3,5]</sup>。

$$E_i = \frac{Mu_i}{M_i} \quad (1)$$

式中,  $Mu_i$  为第  $i$  粒级颗粒在底流口的质量流率,  $M_i$  为第  $i$  粒级颗粒在进料口的质量流率。

如果已知第  $i$  级物料在进料口、溢流口、底流口的质量浓度分别为  $C_i, Co_i, Cu_i$ , 则总效率可表示为

$$E_i = \frac{(C_i - Co_i)Cu_i}{(Cu_i - Co_i)C_i} \quad (2)$$

## 1.2 水力旋流器分离效率的影响参数

水力旋流器的分离效率主要取决于旋流器的结构和操作参数<sup>[3]</sup>。其结构参数主要有水力旋流器直径  $D$ 、底流口直径  $Du$ 、溢流管直径  $Do$ 、锥体角度等; 操作参数又可分为进口压力和进口物性参数等。通过实践分析并结合现有条件, 采用影响分离效率的底流口直径、进口压力、进口物料浓度和进口物料颗粒粒度分布等参数进行筛选试验。

## 2 试验方法与试验装置

### 2.1 试验方法

旋流器的分离效率(总效率)值, 并不能完全代表其分离效率, 只有粒级效率才能准确反映旋流器的分离性能<sup>[4]</sup>。目前国内应用于固液分离领域的旋流器研究文献中, 都没有给出旋流器进料口悬浮液颗粒粒级分布, 因此各文献所列分离效率没有可比性。为了正确比较进口的不同粒度分布、不同结构尺寸对旋流器的分离性能的影响, 试验采用粒级效率曲线进行分离性能比较。

试验根据不同时段, 区段的黄河水粒度分布, 制备具有不同粒度分布的进料口悬浮液。利用 BT-1500 型离心沉降式粒度分布仪测定进料口悬浮液固相颗粒粒度分布和中位径。图 1 为典型悬浮液固相颗粒粒度分布图。具有不同中位径的进料口悬浮液与所对应的旋流器分离效率组成粒级效率曲线。粒级分布和粒级效率的测定为旋流器结构对比筛选提供了科学依据。

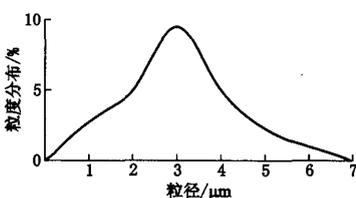


图1 进料口悬浮液固相颗粒粒级分布图

### 2.2 试验过程

选择一种基准旋流器, 改变进料口悬浮液的颗粒粒度分布, 测量并计算各粒度分布下的分离效率即粒级效率。同时, 不断更换基准旋流器的结构参数和操作参数, 进行正交对比试验, 再测量其粒级效率。通过正交对比试验可深入了解该结构参数和操作参数对旋流器分离效率的影响, 同时寻找出旋流器结构参数和操作参数的最佳配比。

### 2.3 试验装置

本试验采用 FXJ-150-I 型水力旋流器, 其基本结构参数如表 1 所示。

表1 水力旋流器基本结构参数

| 内径<br>$D/\text{mm}$ | 柱体高<br>$h/\text{mm}$ | 进料口直径<br>$D_1/\text{mm}$ | 溢流管直径<br>$Do/\text{mm}$ | 锥角<br>$\theta/(\text{°})$ |
|---------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 150                 | 150                  | 32                       | 40                      | 15                        |

试验装置原理如图 2 所示。先后将几组与不同时段、区段黄河水泥沙粒度分布相似的固相颗粒与自来水按一定比例混合加入循环水箱, 经搅拌机混合均匀后, 再经离心泵加压进入水力旋流器。分离完成后, 富含泥沙的底流液体自底流管线排出进入水箱, 泥沙含量很低的溢流溶液经溢流口管线也进入水箱, 重新混合形成一个循环。在底流口和溢流口处分别设有取样口, 试验过程中随时可以取样分析。

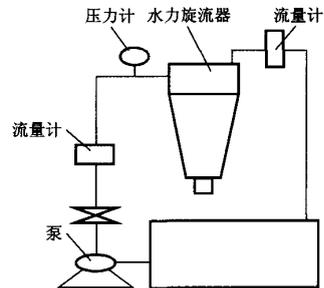


图2 试验装置原理图

## 3 试验结果及分析

### 3.1 进料口压力的影响

根据试验装置所选基准旋流器的结构特性, 在进料口悬浮液颗粒粒级分布不同的条件下, 进行三组进口压力变化的试验。表 2 是底流口直径为 12 mm, 不同进口压力下的试验数据, 利用激光粒度分布仪测量各种试验条件下进料口和底流口悬浮液粒度分布状态, 通过比较可求得不同进料口压力下旋流器的粒级效率, 参见图 3。

表2 不同进料口压力下的试验数据

| 试验 | 进料口压力<br>$P/\text{MPa}$ | 底流口直径<br>$D_u/\text{mm}$ | 流量<br>$Q/(\text{m}^3/\text{h})$ |
|----|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 1  | 0.02                    | 12                       | 6.8                             |
| 2  | 0.04                    | 12                       | 7.1                             |
| 3  | 0.06                    | 12                       | 8.5                             |

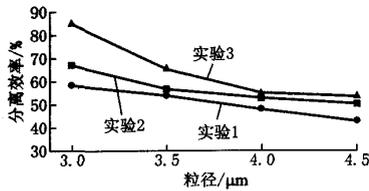


图3 不同进料口压力下旋流器的粒级效率曲线

由图3可看出,随着进料口悬浮液固粒粒径的增加,分离效率明显降低.其原因是当进料口悬浮液颗粒较粗时,底流口排除的固体颗粒量较大,因此底流口的阻力也较大,无法排除所有的固体颗粒,一部分就从溢流口排出,造成分离粒度增加,分离效率降低.另一方面,在进料口固粒粒度分布相同的情况下,随着进料口压力的增加,分离效率增加.特别当压力从0.04 MPa增至0.06 MPa时,分离效率明显增加,最高时达到85%.

3.2 底流口直径的影响

和3.1一样,在进料口悬浮液颗粒级分布不同的条件下,进行三组底流口直径变化的试验.表3是进料口压力为0.06 MPa,不同底流口直径下的试验数据,同样可求得不同底流口直径情况的旋流器粒级效率,参见图4.

表3 不同底流口直径下的试验数据

| 试验 | 进料口压力<br>$P/\text{MPa}$ | 底流口直径<br>$D_u/\text{mm}$ | 流量<br>$Q/(\text{m}^3/\text{h})$ |
|----|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 1  | 0.06                    | 12                       | 8.47                            |
| 2  | 0.06                    | 14                       | 8.51                            |
| 3  | 0.06                    | 16                       | 8.45                            |

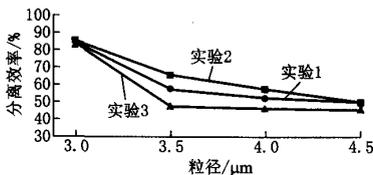


图4 不同底流口直径下旋流器的粒级效率曲线

由图4可以看出,随着进料口悬浮液固粒粒径的增加,分离效率明显降低.在进料口压力为0.06 MPa,底流口直径16 mm的条件下,当进料口悬浮液固粒的中位径增至3.5 μm时,分离效率下降最为明显.当进料口悬浮液固粒的中位径继续增加时,下

降趋势趋于平缓.而在进料口颗粒粒度分布相同的情况下,随着底流口直径的增加,分离效率有先增加后减小的趋势.这主要是由于在一定范围内,随着底流口直径的增加,底流的含固量可增加到某一限度.并且底流口直径的增加在某种程度上可降低分离粒度,提高分离效率.但是,在底流含固量达到极限值的条件下,再增加底流口直径,分流比将继续增加,使底流口排固量降低,分离效率降低.

4 结论

(1) 应用于黄河水泥沙分离的水力旋流器的分离效率与进料口颗粒分布有关.在旋流器结构参数和其他操作都相同的条件下,进料口悬浮液颗粒中位径从3 μm增至4.5 μm时,分离效率最高下降了38%.

(2) 进料口悬浮液固相颗粒级分布相同的情况下,进料口压力和底流口直径的变化同样对分离效率产生影响.当进料口压力从0.02 MPa增至0.06 MPa时,分离效率最高可增加44%.当底流口直径从12 mm增至16 mm时,分离效率有先增后减的趋势.当底流口直径从12 mm增至14 mm时,分离效率最大增加11%;当底流口直径从14 mm增至16 mm时,分离效率最大减小21.4%.

参考文献 (References)

- [1] 辛舟. 基于滴灌的黄河水泥沙分离试验研究[J]. 排灌机械, 2005, 23(3): 32-34.
- [2] 龚俊, 刘晶, 辛舟, 等. 基于黄河水泥沙分离的水力旋流器的溢流性能研究[J]. 兰州理工大学学报, 2004, 30(5): 52-54.
- [3] 褚良银, 陈文梅, 戴光清, 等. 水力旋流器[M]. 北京: 化学工业出版社, 1997.
- [4] 刘凡清, 范德顺, 黄钟, 等. 固液分离与工业水处理[M]. 北京: 中国石化出版社, 2001.
- [5] 林高平, 邹宽, 林宗虎, 等. 水力旋流器分离效率计算[J]. 有色金属, 2002, 54(2): 74-76.
- [6] 刘培坤, 王书礼, 王静. 水力旋流器用于污泥脱水的试验研究[J]. 过滤与分离, 2001, 11(2): 14-15.
- [7] 刘晓敏, 檀润华, 蒋明虎, 等. 水力旋流器结构形式及参数关系研究[J]. 机械设计, 2005(2): 26-28.
- [8] 高学仕. 除油水力旋流器结构尺寸筛选试验研究[J]. 化工机械, 2001, 28(1): 5-8.

(责任编辑 侯素娟)