

# 碟式分离机在黄河水农业灌溉中的应用

孙步功<sup>1</sup>, 龚俊<sup>2</sup>, 辛舟<sup>2</sup>

(1. 甘肃农业大学 工学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 兰州理工大学 机电工程学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘 要:** 针对黄河流域农业灌溉用水中黄河泥沙含量高的问题, 根据黄河泥沙的基本特征设计了适用于黄河水泥沙分离的碟式分离机, 并按照离心力场中颗粒沉降条件计算出分离机主要参数。在黄河泥沙分离的试验中对不同试验条件下的清液进行了粒级效率分析。通过一次回归正交试验, 分析了影响分离效果的主次因素并找出了最佳参数组合。通过回归正交设计得到了以分离效率  $Y$  为试验目标的回归方程, 运用方差分析可知该方程极显著 ( $\alpha=0.005$ ) 并且拟合较好。试验结果表明: 转鼓转速对分离效率影响极显著, 喷嘴数量和碟片间隙对分离效率影响较小。

**关键词:** 滴灌; 黄河泥沙; 碟式分离机; 分离效率

**中图分类号:** S274.5   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1005-6254(2007)04-0046-04

## Application and study on dish separator in agricultural irrigation for Yellow River

SUN Bu-gong<sup>1</sup>, GONG Jun<sup>2</sup>, XIN Zhou<sup>2</sup>

(1. College of Engineering Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. College of Mechano-Electronic Engineering Lanzhou University of science and Technology, Lanzhou, Gansu 730050, China)

**Abstract:** To solve the problem of silt separation for Yellow River's water for agricultural drip irrigation, the dish silt separator is designed considering the major characteristics of silt in Yellow River. The key constructional parameters of separator are calculated. The experiment system to separate the silt of Yellow River is discussed. The effects on separation efficiency are qualitatively summarized and evaluated by the analysis of gradation efficiency on limpid liquid. The major factor and best parameter combination are analysed by making a primary orthogonal regression test. The regression equation is found out based on orthogonal regression test. The results showed that the separation efficiency of separator is related to rotation speed of drum closely and is less related to nozzles and the gap between two dishes of disc separator.

**Key words:** drip irrigation; Yellow River's silt; dish separator; separation efficiency

西北地区干旱少雨, 黄河流域农业用水采用滴灌、喷灌等节水灌溉措施势在必行。但由于黄河泥沙含量大, 容易造成滴灌孔、喷灌喷嘴的堵塞, 甚至管道的堵塞, 严重影响节水灌溉的推广和发展。另外, 黄河泥沙在田地里的堆积也影响土地的肥力, 加剧土地沙化<sup>[1]</sup>。因此, 分离黄河泥沙是进行农业节

水灌溉的先决条件。黄河泥沙分离的目的是用于农业灌溉, 不宜采用化学分离方法, 只能用机械分离方法, 且必须是分离成本低, 能耗低, 效率高的机械式分离设备。

在机械式分离设备中, 碟式分离机是一种结构简单、分离成本低的分离设备<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2007-04-20

基金项目: 教育部研究基金资助项目 (008K-033)

作者简介: 孙步功 (1971-), 男, 甘肃通渭人, 副教授, 博士, 主要从事固液分离、机械设计方面的研究。

龚俊 (1963-), 男, 四川中江人, 教授, 博导, 主要从事固液分离理论及设备、超细粉体制备技术的研究。

## 1 碟式分离机分离原理与主要结构

### 1.1 分离原理

如图 1 所示, 进料口悬浮液沿转鼓中心引入, 向下通过碟片进入碟片和转鼓壁之间的空腔。在高速旋转中, 液体以薄层在碟片间沿径向向内流动, 并流向位于转鼓顶部的出口。沉渣沉积在两碟片中上碟片的下表面上。随后颗粒在碟片下表面向下向外往碟片边滑动, 沉降到转鼓壁上, 最后经喷嘴排出。该分离机用碟片降低沉降高度, 增加沉降面积。固体颗粒在分离力场的作用下, 大大提高了沉降速度, 以便颗粒能很快地从液相中分离出来<sup>[3]</sup>。

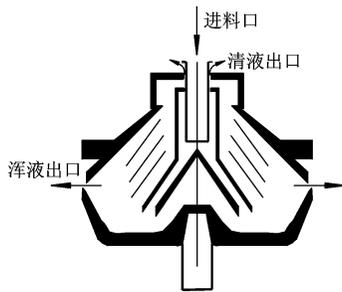


图 1 喷嘴排渣碟式分离机原理

### 1.2 主要结构

喷嘴排渣碟式分离机的结构如图 2 所示。

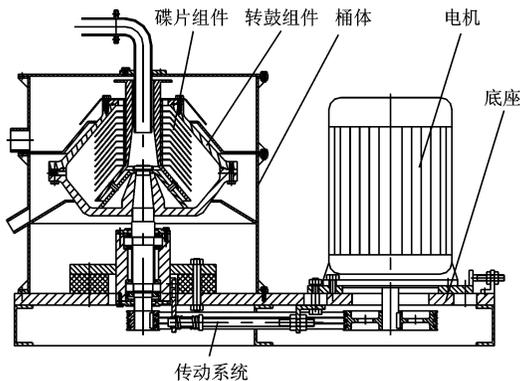


图 2 喷嘴排渣碟式分离机结构

机壳主要由底座和上下桶体构成, 上下桶体收集从转鼓中分离出来的清液和浑液, 底板作为电动机及传动部件的支承构件。分离机采用立轴皮带传动, 并具有张紧装置, 使立轴处的皮带轮刚性定位在机壳上, 让机壳承受皮带的张力, 解决了皮带张紧力对挠性轴定位的影响。皮带轮与立轴采用间隙带键传动, 故立轴既能传递扭矩, 又不承受皮带张力。上、下转鼓等组成转鼓组件。其内壁设计成锥角是 45° 的圆锥形, 以利于容渣和排渣。转鼓锥端部安装

不同数量和直径的喷嘴。36 个碟片由碟片间隔环逐个隔开并套在碟片套管上, 碟片及套管通过分液盘上的扭矩销由立轴带动旋转。

## 2 性能试验

### 2.1 试验流程

本试验试验流程如图 3 所示。

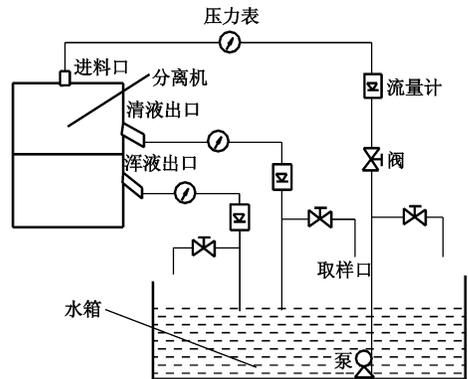


图 3 黄河泥沙分离试验流程图

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, 经搅拌器混合均匀后进入试验系统。试验料液由送料泵经阀、流量计和压力表, 由进料口送入分离机。分离后清液经出料口、压力表和流量计进入水箱, 浑液经出料口、压力表和流量计进入水箱。在进料管路和出料管路均开有取样口, 试验过程中随时可以取样分析。

### 2.2 试验指标

分离效率是衡量分离过程完善程度的评价指标, 用进料中各粒级物料进入分离机浑液中的质量百分率表示该粒级物料的分效率<sup>[4-6]</sup>。

$$E_i = \frac{M_{ui}}{M_i}$$

式中  $M_{ui}$  为第  $i$  粒级颗粒在浑液出口的质量流率,  $M_i$  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, 清液出口, 浑液出口的质量浓度  $C_i, C_{oi}, C_{ui}$ , 则总效率可表示为:

$$E_i = \frac{(C_i - C_{oi})C_{ui}}{(C_{ui} - C_{oi})C_i}$$

### 2.3 试验方案

根据分离机基本原理可知, 影响分离效率的因素主要有喷嘴数量、转鼓转速和碟片间隙, 故选为本次试验的 3 因素。为了初步确定上述 3 因素对分离效率影响的主次作用和最佳参数组合, 试验采用一

次回归正交设计,其因素水平编码见表 1。试验方案如表 2 所示。每个处理试验做 3 次,取其平均值作为该处理的试验指标值<sup>[7,8]</sup>。

表 1 因素水平编码

因素	喷嘴数量 / 个	转鼓转速 / (r/min)	碟片间隙 / mm
下水平 (-1)	12	2 000	1.0
上水平 (+1)	36	3 600	2.0
变化区间 $\Delta j$	12	900	0.5
零水平 $Z_0j$	24	2 900	1.5

表 2 试验方案与数据处理

试验号	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$	$X_0X_2X_3$	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	1	96.6
2	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	97.8
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	82.9
4	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	83.6
5	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	94.8
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	96.3
7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	81.8
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	82.4
9	1	0	0	0	0	0	0	0	90.1
10	1	0	0	0	0	0	0	0	89.9
11	1	0	0	0	0	0	0	0	90.8
$B_j = \sum XY$	987	5.6	54.8	-4	1	0.2	-1.4	0.4	
$d_j = \sum X^2$	11	8	8	8	8	8	8	8	
$b_j = B_j / d_j$	89.73	0.7	6.85	-0.5	0.125	0.025	-0.175	0.05	
$Q_j = b_j B_j$		3.92	375.38	2	0.125	0.005	0.245	0.02	
显著性水平		0.1	0.001	0.1					

表 3 方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方和	F	显著性
回归	381.3	3	127.1	568.934	$F_{0.005(3,2)} = 199.2$
失拟	1.595 1	5	0.319	1.428	$F_{0.25(5,2)} = 3.28$
误差	0.446 7	2	0.223 4		
总和	388.341 8	10			

### 3.1 转鼓转速对分离效率影响极显著

高速旋转的转鼓中,悬浮液以薄层在碟片间沿径向向内流动。分离机用碟片降低沉降高度,增加沉降面积。固体颗粒在分离力场的作用下,提高了沉降速度,颗粒能很快地从液相中分离出来。沉渣沉积在两碟片中上碟片的下表面上,颗粒在碟片下表面向下向外往碟片边滑动,沉降到转鼓壁上后经喷嘴排出。转鼓转速越快,沉降速度越快。

### 3.2 碟片间隙对分离效率影响较小

喷嘴数量直接影响浑液出口的流量,碟片间隙直接影响颗粒沉降高度。但由于高速旋转中,分离

## 3 试验结果及分析

试验结果与数据处理如表 2 所示。方差分析见表 3。

从表 2 可以看出,3 个因素对分离效率影响的作用依次为:分离机转鼓转速(回归系数  $b_1 = 6.85$ )、喷嘴数量(回归系数  $b_2 = 0.7$ )、碟片间隙(回归系数  $b_3 = 0.5$ )<sup>[9]</sup>。前者的显著水平明显优于后两者,且试验因素间交互作用不明显。

力场中固体颗粒的沉降是很快的。分离效率是用进料悬浮液中各粒级物料进入分离机浑液中的质量百分率表示的。故喷嘴数量和碟片间隙对分离效率的影响不明显。

### 3.3 回归方程

通过回归正交设计整理得到以分离效率 Y 为试验目标的回归方程是

$$Y = 68.42 + 0.0047 Z_1 + 1.8 Z_2 - 0.042 Z_3$$

其中  $Z_1$  为喷嘴数量,  $Z_2$  为转鼓转速,  $Z_3$  为碟片间隙。从表 3 可以看出回归方程是极显著的 ( $\alpha = 0.005$ ),且方程拟合较好<sup>[10]</sup>。

## 4 结 论

黄河水的高泥沙问题是滴灌技术在沿黄灌区推广应用的主要障碍。使不含泥沙或少含泥沙的黄河水进入滴灌系统则是农业滴灌能够在沿黄灌区顺利进行的保证。研发的喷嘴排渣碟式分离机,可以使

黄河水经过该分离机处理后直接用于滴灌。

试验结果和回归分析表明, 分离机转鼓转速对分离效率影响极显著, 如果提高转鼓转速可使分离效率进一步提高。分离效率是用进料悬浮液中各粒级物料进入分离机浑液中的质量百分率表示的, 喷嘴数量和碟片间隙对分离效率的影响不明显。分离性能的最佳组合处理为: 喷嘴数量为 32 个、转鼓转速为 3 000 r/min、碟片间隙为 1.0 mm。

### 参考文献 (References)

- [ 1 ] 景 可, 陈永顺, 李凤新. 黄河泥沙与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 31—55.
- [ 2 ] 刘凡清, 范德顺. 固液分离与工业水处理 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2001: 18—31.
- [ 3 ] 刘永平, 龚 俊, 刘 晶. 黄河水泥沙分离用水力旋流器分离效率的研究 [J]. 排灌机械, 2006, 24(5): 33—35.
- [ 4 ] 孙启才, 金鼎五. 离心机原理结构与计算 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1978: 21—46.
- [ 5 ] 龚 俊, 孙步功, 辛 舟. 碟式分离机整机动平衡的方法 [J]. 兰州理工大学学报, 2004, 30(6): 46—48.
- [ 6 ] Svarovsky L. 固液分离 [M]. 王梦剑, 译. 北京: 原子能出版社, 1982: 15—29.
- [ 7 ] 孙步功, 龚 俊, 辛 舟. 黄河泥沙分离机流量公式推导及试验流量确定 [J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(6): 710—712.
- [ 8 ] 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.
- [ 9 ] 孙步功. 适于黄河泥沙分离的碟式离心机设计与试验研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2004: 15—41.
- [ 10 ] 辛 舟, 龚 俊, 黄建龙. 旋流分离技术在黄河泥沙分离中的应用 [J]. 兰州理工大学学报, 2004, 30(4): 67—69.

(责任编辑 陈建华)

## 投 稿 须 知

《排灌机械》是由中国农业机械学会主管, 中国农业机械学会排灌机械分会和江苏大学流体机械工程技术研究中心(具国家级重点学科)共同主办的国家级科技期刊, 国内外公开发行, 为中国科技类核心期刊; 在行业中的影响与日俱增, 多次获“全国农机科技优秀期刊一等奖”、“优秀科技情报成果二等奖”、“全国农机系统优秀科技期刊”及“江苏省高等学校图书馆(科技情报)先进集体”称号。被“中国学术期刊(光盘版)”、“万方数据库”、“科学技术部西南信息中心”等数据库全文收录。

《排灌机械》主要栏目有: 泵理论与技术、泵站工程、节水灌溉工程、检测与控制、流体工程、运行与监测、综述与论坛等。

欢迎国内外的专家学者投稿, 且明确以下几点:

1. 遵照《中华人民共和国著作权法》, 在本刊发表的稿件被视为版权(含各种介质的版权)同意转让给本刊编辑部。如有异议, 请在投稿时说明。
2. 本刊原则上只接收硕士生和中级职称以上作者的论文, 重点录用部省级以上基金项目、特别是国家级基金项目的论文。
3. 规范的论文写作是作者研究的重要组成部分。观点明确、数据可靠、言简意明、重点突出是论文的基本要求。写作规范的论文对于论文能否录用是基本的前提, 对于被国际数据库检索至关重要。
4. 投稿前应认真阅读本刊《论文写作要求》(可在相关站点上下载), 请按要求仔细整理稿件后再投稿。
5. 作者原则上不得超过 5 人, 投稿时需确定好作者的排序, 以后不得更改(包括次序、增减、更换)。
6. 请作者将电子文稿发至本刊电子信箱。
7. 文稿请勿一稿多投。

(本刊编辑部)