

文章编号:1007-2284(2012)06-0078-04

# 高含沙黄河水滴灌系统关键技术的研究

张杰武<sup>1</sup>,张 力<sup>2</sup>,彭 斌<sup>2</sup>

(1. 甘肃瑞盛·亚美特高科技农业有限公司,兰州 730020;2. 兰州理工大学机电学院,兰州 730050)

**摘要:**针对高含沙黄河水滴灌系统滴头堵塞的问题,根据滴头堵塞的内因和外因,采取内外结合、双管齐下的技术思路对首部和尾部系统进行改装。对首部的泥沙分离器进行结构优化和改进,提高其对水源中固体颗粒的分离效率,将造成滴头堵塞的外因降低;对尾部的滴头内部流道进行重新设计,在保证消能效果的前提下,缩短流道长度和放大流道尺寸,增强滴头本身的抗堵塞能力和抗老化问题,从而解决了滴灌技术推广中的关键技术。

**关键词:**滴灌系统;高含沙黄河水;泥沙分离器;滴头

**中图分类号:**S275 **文献标识码:**A

## Research on Drip Irrigation System Key Technology for High Sediment in Yellow River Water

ZHANG Jie-wu<sup>1</sup>, ZHANG Li<sup>2</sup>, PENG Bin<sup>2</sup>

(1. Gansu Ruisheng-Yamit High-tech Agriculture Co., Ltd, Lanzhou 730020, China;

2. School of Electro-mechanical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050)

**Abstract:** For emitter congestion problems of high sediment Yellow River water drip irrigation, head and tail systems were modified according to internal and external factors of emitter congestion. The structure of sediment separator was optimized. The separative efficiency was improved. External factor of emitter congestion was reduced. The internal port of emitter was redesigned. Shorten the length and magnified port flow size were applied to enhance anti-clogging and anti-aging ability. The key technologies of drip irrigation system were solved.

**Key words:** drip irrigation; high sediment, Yellow River water; sediment separator; emitter; optimization

## 0 引言

滴灌是按照作物需水要求,通过低压管道系统与安装在毛管上的灌水器,将水和作物需要的养分一点一滴,均匀而又缓慢地滴入作物根区土壤中的灌溉方法,滴灌系统如图1所示。

滴灌采用全管道输水和局部微量灌溉,使水分的渗漏和损失降低到最低限度,滴灌能做到适时地供应作物根区所需水分,不存在外围水的损失问题,可使水的利用效率大大提高,是世界上最为节水的灌溉方式。滴灌可方便地结合施肥,即把化肥溶解后灌注入灌溉系统,由于化肥同灌溉水结合在一起,肥料养分直接均匀地施到作物根系层,真正实现了水肥同步,大

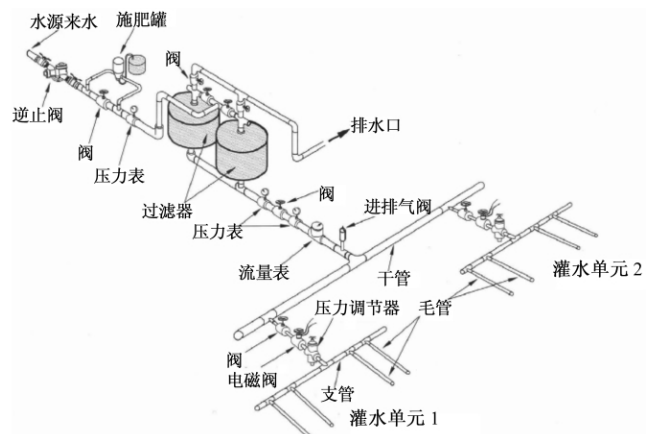


图1 滴灌系统

Fig. 1 Trickle Irrigation System

大提高了肥料的有效利用率<sup>[1,2]</sup>。

在滴灌系统中,滴头是最重要的部件之一,被称之为滴灌

收稿日期:2011-02-26

基金项目:甘肃省科技型中小企业技术创新基金(0703CCCA011)。

作者简介:张杰武(1956-),男,硕士,主要从事节水灌溉研究。E-mail:zljzg@163.com。

系统的核心,其作用是使有压水流通过其内部特殊齿形的狭长流道充分消能后,从滴孔处稳定、均匀的滴入土壤。在滴灌系统运行过程中,一旦某个滴头因水中的固体颗粒沉积在滴头狭长流道中而造成堵塞,不仅会导致其流量大幅降低、破坏湿润方式,还会使未发生堵塞的滴头流量增大,从而破坏整个滴灌系统的灌溉均匀度,增加滴灌系统的维护成本,直接影响滴灌工程的使用寿命和应用效益,滴头堵塞的问题已经成为在高泥沙河水灌溉区推广滴灌技术发展所面临的障碍。实验室和田间的反复试验证明:滴头堵塞的外因是水源中含有的固体颗粒,而其狭窄的齿状流道则是其易于发生堵塞的内因。通过确立内外结合、双管齐下的技术思路,即对现有首部的水力旋流器进行优化设计,提高其对水源中固体颗粒的分离效率,将造成滴头堵塞的外因降低;对尾部的滴头内部流道进行重新设计,在保证消能效果的前提下,缩短流道长度或放大流道尺寸,增强滴头本身的抗堵塞能力,最终解决了滴灌技术推广中的技术难题<sup>[3-4]</sup>。

## 1 新型的水流泥沙分离系统的研制

图2为新型的水流泥沙分离系统。灌溉用水由进水口K1流入,通过进水管进入分水管35,通过分水管上的分流管分别将水分流到对应的分离器中形成旋流,大部分泥沙沿着分离器的内壁流向对应的集沙罐中,含有微细泥沙的水集中到分离器的上部中心,由水的压力向上流入对应的叠片过滤器,在叠片过滤器进行过滤后,清水流向叠片过滤器的出口,经由安装在集水管上的集流管汇集在集水管5中,出水管将处理后的水通入滴灌管网系统。

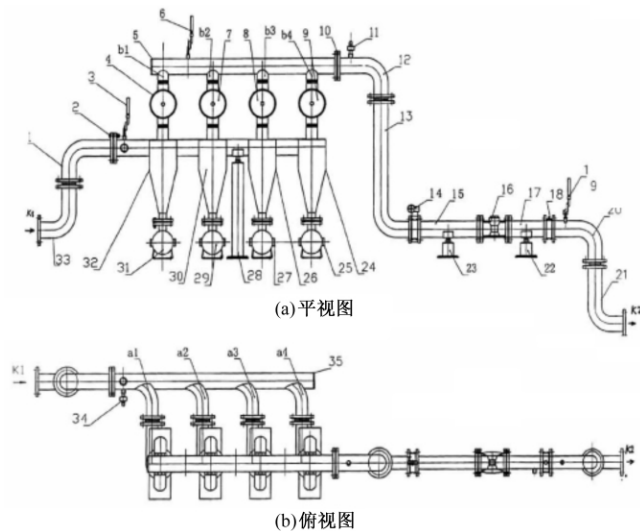


图2 新型的水流泥沙分离系统

Fig. 2 New type Sediment Separation System

首部系统的研究解决了黄河水泥沙的过滤问题。过滤设备是滴灌系统得以长期、安全可靠运行的关键设备。根据泥沙分离器的工作原理,采用流体力学三元流理论对其水力特性进行数值模拟计算和分析,实现泥沙分离器的结构优化,同时结合自动反冲洗过滤器,研制出了适用于处理不同泥沙含量的系列新型整体成型首部高效泥沙分离器。

尾部研究解决滴头抗堵塞、抗老化的问题。滴头设备是滴灌系统的核心,最新研制的双向紊流滴头可充分满足不同植物,不同生长期的用水和需水要求。紊流器内设有双曲线全密封4个消能减压流水道与外插无限出水滴管相连,由于该滴头采用全密封紊流,外加全开放型无限出水点滴管,构成了双向全开放型滴头,实现了抗堵塞。

## 2 泥沙分离器的流场分析及优化

### 2.1 泥沙分离器的流场分析

泥沙分离器主要包含沙水进口一个、分离出口两个(含沙水与沙粒)、泥沙分离器本体和集沙罐,如图3所示。

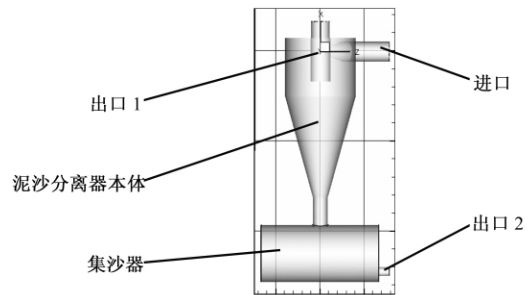


图3 泥沙分离器主体的整体几何模型

Fig. 3 Geometry Model of Sediment Separation

(1)方程组求解方式。求解器选择分离式(segregated solver)的隐式方案(Implicit)。

(2)边界条件与网格划分。计算域的进口采用稳态、均相、沿轴向速度一定的速度进口条件,给定湍流强度及水力直径,并假定进口处颗粒的体积分数均匀分布,等于固体输送的体积分数;全部流动区域内与流体相接触的壁面上均采用无滑移壁面条件,壁面附近采用标准壁面函数。网格划分进行网格数无关性与计算收敛精度无关性的检查,最终确定泥沙分离器网格结点总数为126346。

(3)泥沙分离器计算结果分析。图4为原型机和改型机内部沙粒的速度矢量和运动轨迹,原型机中,含沙水进入分离器后,没有形成分离所需要的沿分离器壁面切线方向的旋流,而是形成了沿壁面法线反向的涡流,即在分离器内部没有形成旋流分离所需要的分离动力学环境;另外在该型分离器内部存在着严重的短路流。这是致使原型机在分离过程中不能有效分离泥沙的2个主要原因。

根据存在的问题在改型机中进行了如下的改进<sup>[5-8]</sup>：

(1)改善分离器进口处的入流条件,尽量使环流靠近分离器内壁,为离心式分离创造条件;

(2)适量增加分离器内溢流管在分离器内的深度,尽量避免含沙水的短路流现象;

(3)适量增加分离器锥体的比例,使分离过程增长,有效的使泥沙沿锥面流进集沙罐;

(4)适当改变分离器的圆柱形式,使入流环量在进入分离器时就有向下运动的趋势,并减小流动压力损失;

(5)适当改变分离器的圆柱形式,以改善溢流管进出口的流态,减小流动压力损失。

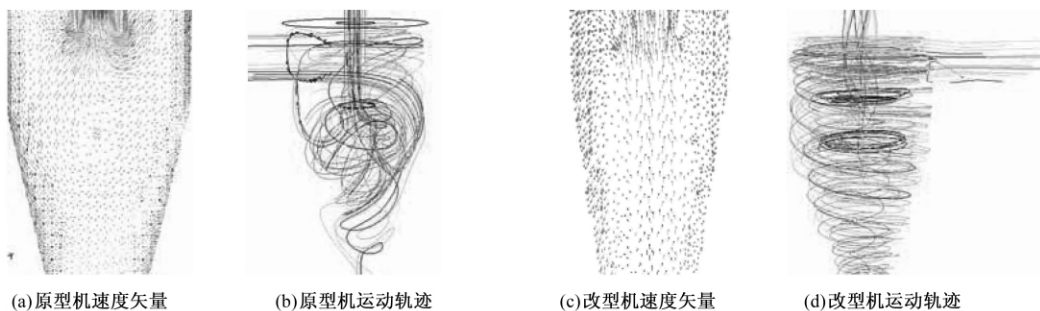


图 4 原型机和改型机内部流场  
Fig. 4 Internal Flow Field of Prototype and Retrofit Machine

通过对改型机的流场分析,分离效果得到了根本的改善,提高了改型机的分离性能。

### 2.2 泥沙分离器的结构优化

泥沙分离器的传统成型方法是钢板卷弯,接口对焊的制造工艺,并且是在离心分离器的上端开一个对接孔,把引流管对焊在离心分离器上。按照上述工艺制造的泥沙分离器,在高含沙黄河水滴灌系统的使用过程中,焊缝处出现了比较明显的气蚀现象,严重的影响了滴灌系统的使用寿命和分离效果。针对上述问题,在对泥沙分离器内部流场的计算分析和优化基础上,开发出了具有导流装置的整体成型泥沙分离器,如图 5 所示。

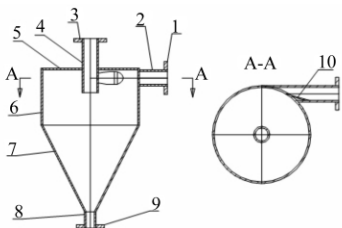


图 5 整体成型及具有导流的泥沙分离器  
Fig. 5 Overall Forming Sediment Separator

分离器本体采用整体一次成型技术制成,整体材质一致且纵向、横向无焊缝,避免了因焊缝造成的缺陷,保证了分离效果和使用寿命。采用整体成型的制造新工艺,减少了零件,降低了成本,装配时取消了焊接,消除了因焊接引起的变形,使泥沙分离器的材质一致。在内外表面对分离器本体进行耐磨蚀处理。锥体与集沙罐的连接部位设置可定期更换的预破损变径圈,避免了锥体的损坏;集沙罐一侧设置人工清沙口,另一侧安装排水球阀,实现了冬季防冻。同时在引流管的对接部分设置了导流板,把水流导向分离器的内壁,分离效果明显得以提高。经现场运行证明,在高强度、大密度的泥沙冲击和摩擦下较长时间内保持了良好的工作表面,有效的克服了气蚀现象的发生,同时分离效果也大幅得以提升。

### 3 尾部抗堵塞滴头

依据 GB17187-1997《农业灌溉设备—滴头—技术规范 and 试验方法》对常用的齿形、矩形和涡流通道 3 种单元试验件进行了流道流量与压力特性试验,3 种结构特征如图 6 所示,图 7 为 3 种流道单元局部阻力特征图。在图 7 中,局部阻力系数均

随着流道单元数的增加呈线性增长;涡流流道的局部阻力系数较其他两种流道要大,这是因为涡流流道除了直流道部分消能外,还有使水流产生漩涡的锥腔。

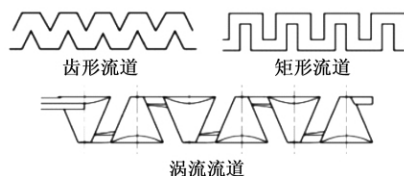


图 6 3 种滴头的结构特征  
Fig. 6 The Structure Feature of Three Kind of Emitters

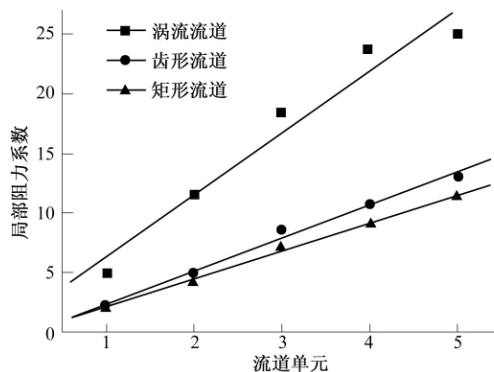


图 7 3 种流道单元局部阻力特征图

Fig. 7 Local Resistance of Three Kind of Passage

图 8 为工作水压对 3 种流道局部阻力特征的影响。图中除涡流流道局部阻力系数随工作水流压力的增大而缓慢增长的趋势外,其他流道的局部阻力系数均随工作水压的增大而逐渐减小。3 种流道的局部阻力系数随着工作水压的变化幅度不大,局部阻力特征受工作水压的影响较小,这在一定程度上可以保证滴头的出水均匀度。涡流流道的局部阻力系数是齿形和矩形流道的两倍左右,因此,涡流流道可缩短其消能流道的长度或扩大其孔径尺寸,另外,涡流流道多个水力漩流器组成的锥腔结构使水流在其中形成了复杂的立体漩涡,保证了滴头更高的出水均匀度;连续漩涡水流对壁面产生强烈的冲刷作用,增强了流道的抗堵塞能力。

据此,我们开发出图 9 抗堵塞能力强、出水均匀度高适的新型涡旋流道滴头。如正面图所示,滴头为扁平长形一体化结构,沿长度方向设有进水过滤窗口 1,较大的过滤面积具有高强度的抗堵塞能力,水经过涡流流道 2 产生紊流,对有压水进行消

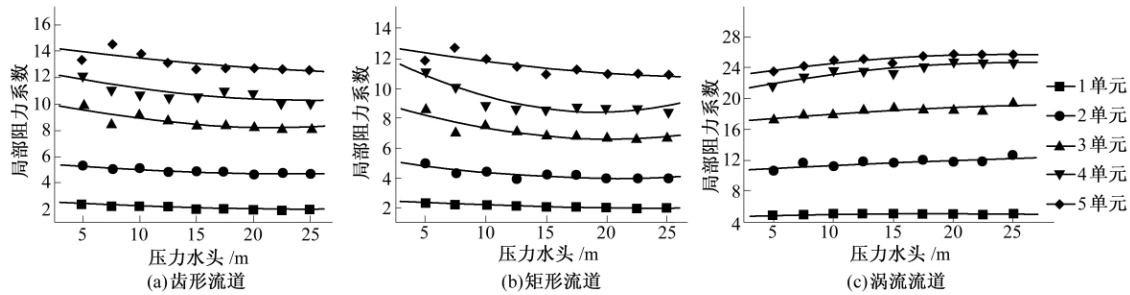


图 8 3 种流道形式的分单元工作水压—局部阻力特征规律

Fig. 8 Local Resistance of Three Kind of Passage For Different Working Pressure

能,降低速度,使出水均匀,短而宽的涡流流道使滴头的抗堵塞能力得到加强;如切面图所示,滴头的黏结面为圆弧面,其弧度与适用的滴管管线的内弧面相适配;如背面图所示,滴头进水过滤窗口 1 为通孔,槽筋 11 用来提高整体结构的均匀性,增强滴头的拉伸能力、抗卷折和抗碾压能力。将上述钻孔型强效黏结内镶式扁平滴头,沿轴线方向黏结在以 PE 为原料的滴灌管内壁上,再在与浴池形出水槽 3 对应的滴灌管外壁处冲有滴水孔,流经滴灌管的有压水通过进水过滤窗口 1 进入消能流道 2 中,产生紊流状态,对有压水进行消能,再到出水槽 3,水流通过滴灌管上钻孔型滴水孔,逐滴精确和均匀地流向作物根系,使作物得到所需的最佳水分和养分<sup>[9,10]</sup>。

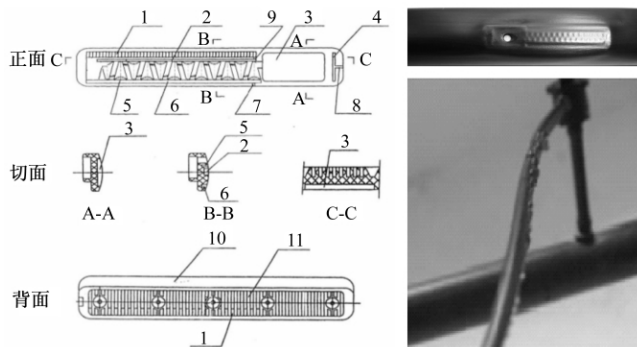


图 9 新型强效黏结内镶式扁平滴头结构

Fig. 9 One New Kind Structure Of Mosaic Plat Emitter

根据对泥沙分离器的流场分析及优化、抗堵塞滴头的研究开发、高泥沙水系的特性和滴灌系统对水质的要求,成功研发了引河滴灌系统成套装置,该装置主要由旋流式离心分离器+叠片式分离器+自动反冲洗过滤器+集沙罐+新型强效黏结内镶式扁平滴头 5 个单元设备组成,如图 10 所示。经实际应用表明,该系统与原净化系统相比较,具有坚固耐用、过滤性能可靠、自动化程度高、自动冲洗彻底、程序设置简单、易于维护等优势特点。另外,还可通过多组并联的方式来处理大水量和提高分离效果。

## 4 结 语

(1) 根据高泥沙水系泥沙含量较高的特点,分离系统采用离心分离与叠片分离相结合的两级分离方式;

(2) 基于旋流分离原理和流体力学三元流理论,实现了高效离心式泥沙分离器的优化;根据高泥沙水系离心式泥沙分离



图 10 引河滴灌系统成套装置

Fig. 10 Drip Irrigation System Complete Set of Equipment

器的结构和运行特点,开发出相应的加工制造工艺;

(3) 新开发的内镶式涡旋流道扁平滴头的变流量设计充分满足了不同植物、不同生长期的用水和需水要求,紊流器采用全密封紊流,外加全开放型无限出水点滴管,构成了双向全开放型滴头,防止了堵塞。 □

## 参考文献:

- [1] 景可, 陈永宗, 李凤新, 等. 黄河泥沙与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [2] 牛生海. 黑河流域中游地区实施滴灌工程的重要性及措施[J]. 甘肃水利水电技术, 2007, 43(1): 14-15.
- [3] 李世英. 对我国节水灌溉技术发展的几点思考[J]. 节水灌溉, 2001, (1): 30-31.
- [4] 刘秀珍, 郑德聪. 精确灌溉与施肥自动化管理系统的研制与实现[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 197-200.
- [5] 王志斌, 陈文梅. 旋流分离器中固体颗粒随机轨道的数值模拟及分离特性分析[J]. 机械工程学报, 2006, 42(6): 34-39.
- [6] 孙步功, 吴建民, 赵武云, 等. 滴灌用黄河水泥沙分离参数优化[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(3): 27-30.
- [7] 罗金耀, 刘新阳, 高传昌. 滴灌用水力旋流器的颗粒分离粒度[J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, 42(3): 305-307.
- [8] 刘新阳, 罗金耀, 高传昌. 滴灌用水力旋流器中颗粒分离的数值模拟[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 7-10.
- [9] 许文博, 王新坤, 李俊红, 等. 基于 CFD 三维数值模拟的新型蠕动式滴灌水器水力性能研究[J]. 节水灌溉, 2010(6): 10-14.
- [10] 王文娥, 王福军. 迷宫滴头水力特性非定常数值模拟研究[J]. 水利学报, 2010, 41(3): 332-337.