

三角环流滴灌灌水器抗堵塞特性研究

陶 凯

(句容市水利农机局, 江苏 镇江 212400)

摘要: 堵塞已成为滴灌技术的行业难题, 是影响滴灌技术发展的关键问题之一。针对这一问题, 构建了一种三角环流滴灌灌水器, 并开展了基于 CFD 的水力及抗堵塞特性模拟分析。CFD 分析表明, 灌溉水中的颗粒粒径与浓度对灌水器流量影响不明显, 对灌水器流道内的颗粒浓度分布影响显著, 灌溉水中的颗粒粒径越大、浓度越高, 灌水器流道内累积的颗粒浓度越大。当灌溉水中颗粒粒径为 0.05 mm 时, 灌水器流道内的最大浓度只有 1.582%, 而且流道内泥沙颗粒的累积效应不显著, 说明三角环流滴灌灌水器具有较好的抗堵塞能力。

关键词: 滴灌; 灌水器; 三角环流; 堵塞

中图分类号 S275.5

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2018) 09-0026-04

Study on anti-blocking characteristics of triangle circulation drip irrigation emitter

TAO Kai

(Water Conservancy and Agricultural Machinery Bureau of Jurong, Zhenjiang 212400, Jiangsu)

Abstract: Blocking has become an industry problem of drip irrigation technology, which is one of the key problems affecting the development of drip irrigation technology. Aiming at this problem, a triangle circulation drip irrigation emitter was constructed, and the simulation analysis of hydraulic and anti-blocking characteristics based on CFD was carried out. The CFD analysis showed that the particle size and concentration of the irrigation water have no obvious influence on the flow rate, and the particle concentration distribution in the irrigation channel was significant. The larger the particle size and the higher the concentration of the irrigation water were, the larger the accumulated particle concentrations in the irrigation channel. When the particle size of the irrigation water was 0.05mm, the maximum concentration in the irrigation channel was only 1.582%, and the cumulative effect of the sediment particles in the flow channel was not significant, which indicated that the triangle circulation drip irrigation emitters had a better anti-blocking ability.

Key words: drip irrigation; emitter; triangle circulation; blocking

滴灌作为国际公认的一种高效节水灌溉技术, 具有灌水均匀、高效节水节肥、增产增收、便于管理等优点, 被世界各国广泛应用, 并快速发展, 在我国农业可持续发展和新农村建设中发挥着重要作用。灌水器是滴灌技术的核心部件, 其成本占

滴灌系统造价的 25% ~ 35%^[1], 主要作用是使压力水流通过内部的流道消能, 使水流稳定、均匀的滴入土壤, 其水力性能的优劣对滴灌系统的造价、能耗、灌水质量及使用寿命等具有决定性的作用。但灌水器流道尺寸狭小, 流态复杂, 滴灌水中

收稿日期: 2018-06-09

基金项目: 江苏省水利科技项目(2017055); 江苏省农业科技自主创新资金(CX(14)2100)。

作者简介: 陶凯(1991—), 男, 本科, 主要从事农水工程技术及管理。

通讯作者: 朱力(1988—), 男, 本科, 主要从事农水及水库移民后期扶持工程管理。

的杂质易在流道内沉积、凝结与黏附,使灌水器发生堵塞现象,降低滴灌灌水质量和使用寿命^[2-5]。滴灌水肥一体化、低压滴灌、地下滴灌的发展^[6-9],再生水、黄河水、微咸水等在滴灌技术中的应用,增加了灌水器堵塞的风险因素^[10-14]。堵塞已成为滴灌技术的行业难题,是影响滴灌技术发展的关键问题之一。本文构建一种三角环流滴灌灌水器,并采用 Fluent 软件进行计算流体动力学(CFD)模拟分析,开展灌水器内部流动、固-液-气多相耦合运动的分析,预测灌水器水力性能及抗堵塞性能。

1 三角环流滴灌灌水器结构

在对灌水器进行 CFD 数值模拟之前,需要通过 CAD 对灌水器进行造型,如图 1 所示,构建一种三角环流滴灌灌水器。三角环流滴灌灌水器由进口、出口与流道主体 3 个部分组成,流道主体由 30 个流道单元依次连接而成,流道单元为 2 个三角形扁柱体嵌套形成的三角环流通道。进口部分由 3 个长度为 1.5 mm 的长方体组成,每个长方体间隔 0.5 mm,出口部是 1 个 1.5 mm×0.6 mm×0.7 mm 的长方体。

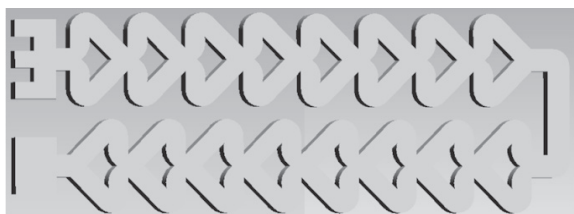


图 1 三角环流滴灌灌水器结构

2 CFD 数值模拟

灌水器流道中的水流是水与各种泥沙、杂质等颗粒的混合流动,属于液-固两相流动,采用计算流体动力学(CFD)模拟分析,能够便捷的获取灌水器流道内固体颗粒流动与分布情况,预测灌水器水力性能与抗堵塞性能。

2.1 网格划分

利用 Gambit 进行网格划分,基于分段划分的

思想,将滴头分为进口段、流道段和出口段分别进行结构网格划分,采用 0.08 mm 基本尺寸的六面体网格,考虑到流道单元拐角处为三角形块,选用 TGrid 网格结构对其进行网格划分。为了更准确地模拟近壁区的流动状况,在近壁区加密网格,最终生成 18 万个左右的单元网格,流道单元网格如图 2 所示。

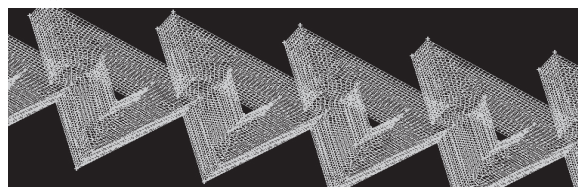


图 2 流道网格局部放大图

2.2 数值计算

求解器选择 Fluent5/6,流体选用不可压缩的水,温度为室温,运动粘度为 $\nu=1.0 \times 10^{-6}$ 。入口边界类型选择压力入口,出口边界类型选择压力出口,湍流模型采用 $k-\varepsilon$ 模型,用分离隐式稳态求解器求解各控制方程,速度和压力的耦合采用 SIMPLE 算法处理,各参数的离散均采用二阶精度的迎风格式。采用欧拉-拉格朗日法离散相模型来进行模拟分析,单向耦合方法来计算颗粒的运动。假设颗粒的形状为球形,密度为 2500 kg/m^3 ,颗粒直径 d 分别取 0.01 mm、0.05 mm、0.1 mm、0.12 mm、0.15 mm 等 5 个水平,体积浓度取 1%,进口压力设置为 50 kPa,出口压力为 0,其他壁面条件为默认值。

3 结果与分析

3.1 颗粒粒径对抗堵塞性能的影响

不同粒径模拟的流量与浓度结果如表 1 所示,不同粒径的颗粒相浓度分布如图 3 所示。

由表 1 可知,粒径大小不同时,灌水器流量变化很小,流道内颗粒浓度差异较大。粒径为 0.01 mm 时,最大浓度为 1.446%;当粒径增加到 0.1 mm 时,最大浓度达到 39%;而当颗粒粒径为 0.05 mm 时,最大浓度只有 1.582%,说明三角环流滴灌灌水器具有较好的抗堵塞能力。随着粒径的增大,颗粒浓度呈线性增大。虽然粒径大小对瞬时流量影响

表 1 不同粒径条件下的流量与浓度

d/mm	0.01	0.05	0.1	0.12	0.15
$q_l \text{ (L/h)}$	1.6679	1.6717	1.6737	1.6743	1.6703
$VF_{\max} \text{ (%)}$	1.446	1.582	38.77	47.45	59.19

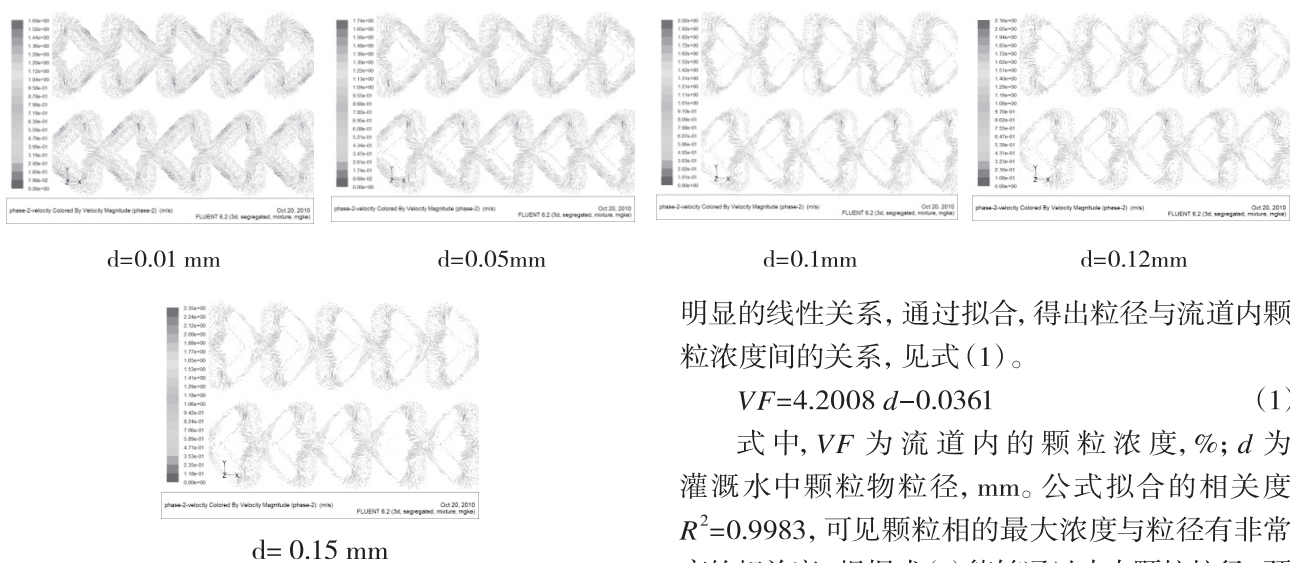


图 3 不同粒径颗粒浓度分布

不大,但当滴灌间歇灌水的停止期间,毛管内残留的颗粒会结块,浓度大结块就大,再灌水时易引起灌水器堵塞。因此,对于图 1 所示的三角环流滴灌灌水器,当灌溉水源中有超过 0.1 mm 的颗粒粒径时,须采取有效水处理措施给予去除。

由图 3 可知,在流道单元拐角处、流道交汇处浓度均有升高,其他区域相对较低。流道单元拐角处的颗粒浓度和入口处浓度,与颗粒大小无明显关系;流道拐角处背水区的颗粒浓度随着粒径大小的增加而降低。

由表 1 可以看出,粒径与最大浓度之间存在

明显的线性关系,通过拟合,得出粒径与流道内颗粒浓度间的关系,见式(1)。

$$VF=4.2008\ d-0.0361 \tag{1}$$

式中, VF 为流道内的颗粒浓度,%; d 为灌溉水中颗粒物粒径, mm。公式拟合的相关度 $R^2=0.9983$, 可见颗粒相的最大浓度与粒径有非常高的相关度。根据式(1)能够通过水中颗粒粒径,预测三角环流滴灌灌水器流道内的颗粒浓度,可以作为灌水器设计或滴灌工程中水处理设施配置的依据。

3.2 入口浓度对抗堵塞性能的影响

表 2 为颗粒直径 0.1 mm, 灌水器入口(灌溉水)颗粒浓度 0.1% ~ 3%, 入口浓度与灌水器流量、流道内浓度分布的影响。图 4 为不同入口浓度条件下流道内的浓度分布图。

由表 2 可知,在入口浓度增大时,灌水器的流量也受到一定影响,但变化不明显,入口浓度对流量没有显著作用。随着入口浓度的增大,流道内的颗粒浓度按照一定规律逐渐增大。通过拟合,得

表 2 入口浓度与灌水器流量、流道内浓度

$V(\%)$	0.1	0.3	0.8	1	1.5	2	2.5	3
$q/(L/h)$	1.6592	1.6592	1.6689	1.6737	1.68466	1.7056	1.6877	1.68672
$VF_{\max}(\%)$	1.833	1.991	3.109	3.877	4.1568	4.4579	4.931	5.2521

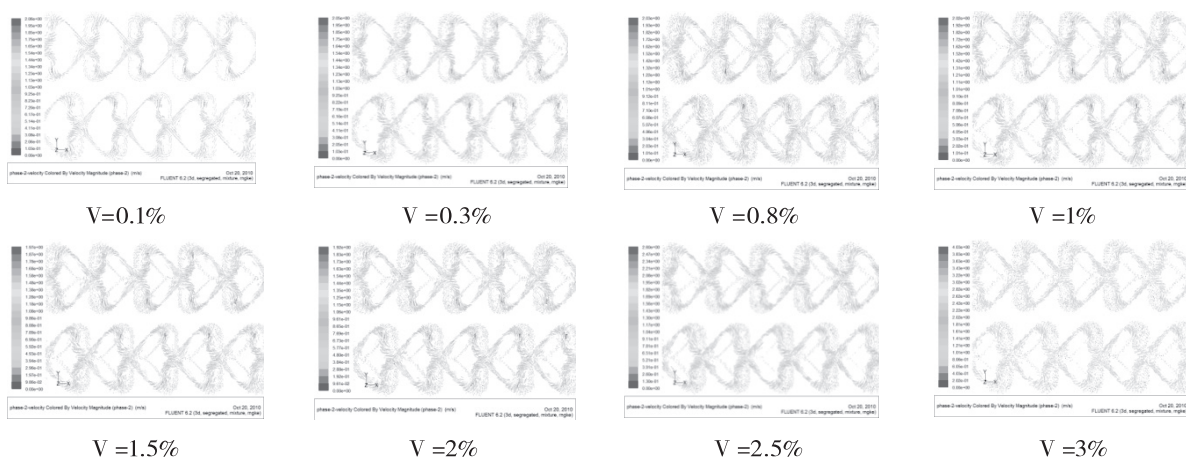


图 4 不同入流颗粒浓度的浓度分布图

出入口浓度与流道内颗粒浓度之间的关系, 见式(2)。

$$VF=1.6858x^{0.3375} \quad (2)$$

式中, VF 为流道内的颗粒浓度, %; x 为灌溉水中颗粒浓度, %。公式拟合的相关系数 $R^2=0.9761$, 较好的揭示了两者的关系。随着入口浓度的增大, 流道中颗粒浓度增大。根据式(2)可以通过水中颗粒浓度, 预测三角环流滴灌灌水器流道内的颗粒浓度, 能够作为灌水器设计的依据。

整体上看, 流道内颗粒浓度的分布随着灌水器入口浓度的升高而升高, 流道内各个位置处的颗粒浓度变化规律略有不同。随着灌水器入口浓度的增加, 在单元进水口处的颗粒浓度有所升高。流道拐角处的颗粒浓度与入口浓度没有明显关系, 颗粒粒径一定时, 此处的颗粒浓度差异不大。灌溉水中颗粒浓度达到 3% 时, 流道内的颗粒浓度只有 5.25%, 流道内的颗粒浓度增加梯度小于灌溉水中颗粒浓度增加梯度, 说明三角环流滴灌灌水器流道内泥沙颗粒的累积效应不显著, 具有较好的抗堵塞能力。

4 结论

通过对三角环流灌水器两相流的数值模拟分析得出, 随着颗粒直径和体积浓度的增大, 灌水器的流量没有显著的变化, 而颗粒相在流道中的浓度分布呈一定规律变化。当灌溉水中颗粒粒径为 0.05 mm 时, 最大浓度只有 1.582%; 流道内的颗粒浓度增加梯度小于灌溉水中颗粒浓度增加梯度, 说明流道内泥沙颗粒的累积效应不显著。因此, 三角环流滴灌灌水器具有较好的抗堵塞能力。拟合了粒径与流道内浓度的关系式及入口浓度与流道内浓度的关系式, 可以作为灌水器设计及滴灌工程水处理的依据。

流道中悬浮颗粒物的运动与流道中水流速度密切相关, 水流速度越大其泥沙输运能力越强。三角环流流道结构复杂, 导致流道中的流场分布杂乱, 流道中流场局部存在漩涡, 单元两侧拐角处流速梯度较大, 悬浮颗粒浓度在流道中的分布发生了变化, 有利于增加灌水器流道的抗堵塞能力。当流速一定时, 流道内水流的泥沙输运能力也是有限的, 粒径越大、入口浓度越高, 灌水器流道内局部的颗粒浓度也就越高。停止灌水后, 部分颗

粒将会留在流道内, 多次使用后颗粒将在这些部位沉淀结块, 容易造成堵塞。因此, 滴灌灌溉水源应根据使用的灌水器流道尺寸及结构, 使用合适的过滤装置, 尽量降低悬浮颗粒的大小及浓度, 延长灌水器的使用寿命。

参考文献:

- [1] 魏青松, 史玉升, 董文楚, 等. 新型灌水器快速自主开发数字实验研究[J]. 节水灌溉, 2004(2):10-14.
- [2] 李云开, 周博, 杨培岭. 滴灌系统灌水器堵塞机理与控制方法研究进展[J]. 水利学报, 2007, 48(S):1-12.
- [3] Nakayama FR, Bucks D A. Water quality in drip trickle irrigation: A review[J]. Irrigation Science, 1991, 12(4):187-192.
- [4] 王建东. 滴头水力性能与抗堵塞性能试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [5] 龚时宏, 李久生, 李光永. 喷微灌技术现状及未来发展重点[J]. 中国水利, 2012, (2):66-70.
- [6] 官雅辉, 牛文全, 刘璐, 等. 肥料类型及浓度对水肥一体化浑水滴灌滴头输沙能力的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(1):78-84.
- [7] 范兴科, 吴普特, 牛文全, 等. 低压滴灌条件下提高系统灌水均匀度的途径探讨[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(1):18-20.
- [8] 仵峰, 范永申, 李辉, 等. 地下滴灌灌水器堵塞研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1):80-83.
- [9] 李久生, 陈磊, 栗岩峰. 地下滴灌灌水器堵塞特性田间评估[J]. 水利学报, 2008(10):1272-1278.
- [10] 周博, 李云开, 裴旸婷, 等. 再生水滴灌灌水器附生物膜生长对堵塞的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3):146-151.
- [11] 闫大壮, 杨培岭, 李云开, 等. 再生水滴灌条件下滴头堵塞特性评估[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5):19-24.
- [12] 李云开, 宋鹏, 周博. 再生水滴灌系统灌水器堵塞的微生物学机理及控制方法研究[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15):98-107.
- [13] 冯吉. 引黄滴灌系统泥沙逐级调控机制及方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [14] Dehghanisanij H, Anioji H, Riahi H, et al. Effect of emitter characteristics and irrigation schemes on emitter clogging under saline water use[J]. Journal of Arid Land Studies, 2007, 16(4) 225-233.