

倾角和压力对空气中微润管出流特性的影响

赵彤, 范严伟, 赵廷红, 王昱

(兰州理工大学 能源与动力工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 为探明倾角(微润管与水平面的夹角)和压力对空气中微润管出流特性的影响,确定微润管倾角和压力与比流量的关系,通过室内试验研究了不同铺设倾角(0° 、 30° 、 45° 、 60° 、 90°)及 0° 和 90° 倾角时不同压力水头条件下微润管的出流特性。结果表明:微润管出流规律符合达西定律,微润管比流量随压力水头的增大而增大,两者具有较好的线性关系;相同进水压力条件下,微润管比流量随倾角的增大而增大,与倾角正弦值呈线性关系,可将微润管倾角折算为等效水头;据此提出了包括倾角和压力的微润管比流量计算公式。研究成果为微润灌溉工程规划、设计提供基础依据。

关键词: 微润管; 出流特性; 铺设倾角; 压力水头; 比流量

中图分类号:TV139.1; S274.2

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2017)05-0247-03

Effect of dip angle and pressure head on flow characteristics of moistube in the air

ZHAO Tong, FAN Yanwei, ZHAO Tinghong, WANG Yu

(College of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: In order to find out the effect of dip angle (the angle between moistube and horizontal plane) and pressure on the flow of moistube in the air, and to determine the relationship between moistube dip angle, pressure and the specific discharge, the discharging characteristics of moistube was studied through laboratory test under conditions of different laying angles (0° , 30° , 45° , 60° , and 90°) and different pressure head of 0° and 90° . The results indicate that the flow of moistube accords with Darcy's law, the specific discharge of moistube increases with the increase of pressure head and there are good linear relationship between them. Under the same water pressure head, the specific discharge of moistube increases with the increase of the angle and has a linear relationship with the inclination of sine, while the moistube angle can be converted into equivalent head. The calculation formula of moistube specific discharge including angle and pressure head is put forward. The research results can provide basis for the planning and design of the micro embellish irrigation works.

Key words: moistube-irrigation; flow characteristic; dipangle; pressure head; specific discharge

1 研究背景

微润灌溉是在半透膜原理基础上,利用半透膜管渗出水分进行灌溉的一种新型节水灌溉技术,具有显著的节水、增产效果^[1-3]。目前,已在山区丘陵、盐碱荒地和沙漠地带等复杂环境下得到推广应用。微润管出流特性研究是优化灌水技术要素和确定灌溉制度的基础。国内学者针对微润灌溉土壤水

分运动特性^[4-8]进行了研究,结果表明:压力水头是影响微润管出流特性的重要因素^[9-13],祁世磊等^[14]、邱照宁等^[15]通过空气中微润管的出流试验认为出流量与管中水压呈线性关系,以上研究是针对微润管水平铺设条件下开展的,未考虑铺设倾角对微润管出流特性的影响,而微润灌溉工程中,微润管铺设在具有坡度的山区丘陵时,往往存在一定倾角。因此,研究倾角对微润管出流特性的影响具有

收稿日期:2017-03-04; 修回日期:2017-05-31

基金项目:国家自然科学基金项目(51409137); 甘肃省高校科研项目(2016-011)

作者简介:赵彤(1990-),女,河南三门峡人,在读硕士研究生,研究方向为节水灌溉技术。

通讯作者:范严伟(1982-),男,山东聊城人,在读博士研究生,讲师,主要从事水土资源高效利用及节水灌溉理论研究。

一定的现实意义。本文以室内空气出流试验为依据,试图阐明倾角与压力对空气中微润管出流特性的影响,以期微润灌溉工程设计提供理论支撑。

2 材料与方法

2.1 试验装置

试验装置由马氏瓶、橡胶软管、微润管(长度 1 m)3 部分组成(如图 1 所示)。试验中通过调节微润管倾角和位置来控制供水压力。在整个试验过程中以进水口 A 点的水头为测量水头 h_A ,在调节微润管倾角变化的过程中,保证 A 点的位置不变。

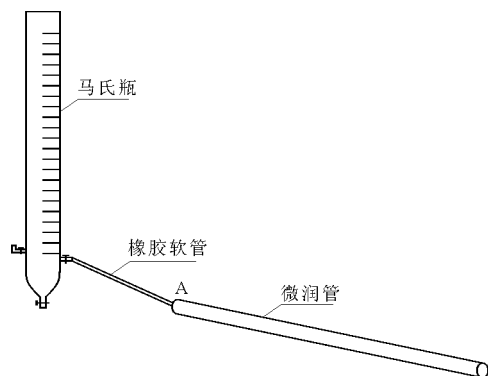


图 1 试验装置示意图

2.2 试验方法及测定指标

整个试验共分为 3 组。第 1 组:将微润管水平(0°)放置,分别测定压力水头在 0.20、0.55、1.00、2.07、2.41、2.74 m 条件下微润管的累积渗水量;第 2 组:将微润管竖直(90°)放置,分别测定压力水头在 0、0.55、0.75、1.77、2.04、2.41 m 条件下微润管的累积渗水量;第 3 组:压力水头为 2.41 m 时,将微润管进行不同倾角放置,放置角度分别为 0° 、 30° 、 45° 、 60° 、 90° ,分别测定不同倾角下微润管的累积渗水量。试验中微润管的渗水量通过马氏瓶的水位线进行测定,在出流稳定后每隔 10 min 记录一次。

2.3 计算方法

微润管为多孔性半透膜,与土壤等多孔介质一样,其出流规律符合达西定律^[16]。即:

$$Q = k \cdot \pi \cdot D_n \cdot L \cdot \frac{H}{d} \times 10^4 \quad (1)$$

式中: Q 为沿线流量, mL/min ; k 为微润管渗透系数, cm/min ; D_n 为微润管内径, mm ; L 为管长, m ; H 为压力水头, m ; d 为管壁厚度, mm 。

微润管既是输水管,又是灌水器,管壁各处都是透水点。假定表面孔隙均匀分布于微润管上,由此可算得微润管单位长度的流量,即比流量的表达式为:

$$q_s = Q/L \quad (2)$$

式中: q_s 为微润管比流量, $\text{mL}/(\text{m} \cdot \text{min})$ 。

将式(2)代入式(1)可得:

$$q_s = k \cdot \pi \cdot D_n \cdot \frac{H}{d} \times 10^{-4} \quad (3)$$

试验过程中,微润管内径 D_n 和管壁厚度 d 为恒定值,式(3)可进一步简化为

$$\begin{cases} q_s = K \cdot H \\ K = k \cdot \pi \cdot \frac{D_n}{d} \times 10^{-4} \end{cases} \quad (4)$$

式中: K 为微润管综合渗透系数, $\text{mL}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ 。

3 结果与分析

3.1 0° 倾角不同压力水头微润管出流特性

根据试验数据,得 0° 倾角不同压力水头微润管出流特性曲线,如图 2 所示。

从图 2 中可以看出, 0° 倾角条件下,累积渗水量与时间具有良好的线性关系,相同渗水时间内,累积渗水量随压力水头的增大而增大。将各时段累积渗水量与其对应的时间进行线性回归分析,直线斜率表示不同压力水平下的微润管沿线流量,考虑到微润管为表面均匀出流,可算出微润管比流量,进一步得到比流量与压力水头关系曲线,如图 3 所示。

由图 3 可知,微润管比流量随压力水头的增加呈线性增加趋势。微润管具有一定的膜阻力,无压条件下微润管不出流,说明压力水头是微润管在空气中出流的驱动力,其渗流规律符合达西定律。采用公式(4),对比流量与其对应的压力水头进行线性回归分析,图中直线斜率表示微润管综合渗透系数。

根据试验资料,可得微润管 0° 倾角条件下比流量-压力水头的关系式:

$$q_s = 1.5043 h_A \quad (R^2 = 0.9843) \quad (5)$$

式中: h_A 为 A 点压力水头, m 。

公式(5)中决定系数 $R^2 = 0.9843$,说明微润管比流量与压力水头之间存在明显的线性正相关关系。

3.2 90° 倾角不同压力水头微润管出流特性

90° 倾角条件下,微润管内各点压力随高度变化,为简化计算,取微润管中心位置为压力水头计算点。根据试验数据,得 90° 倾角不同压力水头微润管出流特性曲线,如图 4 所示。

从图 4 中可以看出, 90° 倾角条件下,累积渗水量与时间具有良好的线性关系,相同渗水时间内,累积渗水量随压力水头的增大而增大。其变化规律与 0° 倾角一致。将各时段累积渗水量与其对应的时间

进行线性回归分析,进一步得到比流量与压力水头关系曲线,如图5所示。

由图5可知,90°倾角条件下,微润管比流量随压力水头的增加也呈线性增加趋势。采用公式(4),对比流量与其对应的压力水头进行线性回归分析,可得微润管90°倾角条件下比流量-压力水头的关系式:

$$q_s = 1.5017 \left(h_A + \frac{L}{2} \right) \quad (R^2 = 0.9656) \quad (6)$$

公式(6)中决定系数 $R^2 = 0.9656$,说明90°倾角条件下,将微润管中心位置作为压力水头计算点方法可行,且微润管比流量与压力水头之间存在明显的线性正相关关系。

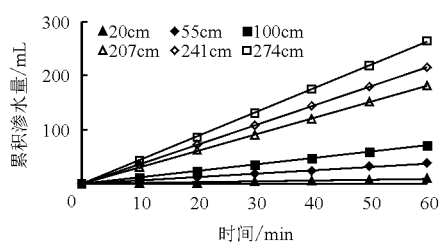


图2 0°倾角不同压力水头微润管出流特性曲线

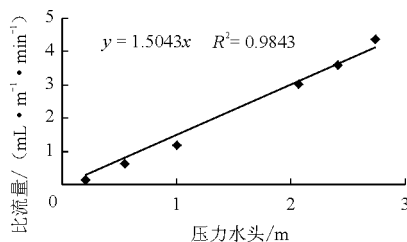


图3 0°倾角比流量与压力水头的关系曲线

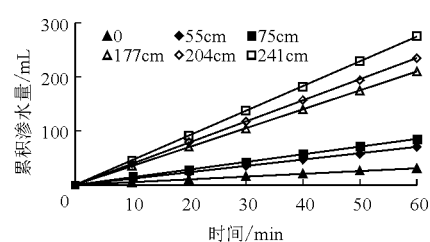


图4 90°倾角不同压力水头微润管出流特性曲线

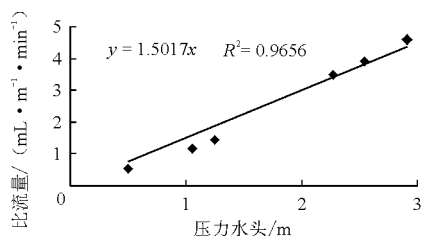


图5 90°倾角比流量与压力水头的关系曲线

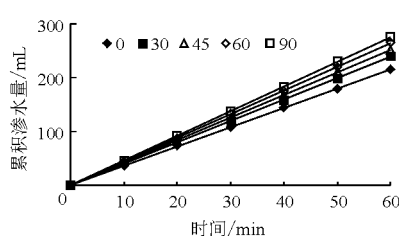


图6 不同倾角微润管出流特性曲线

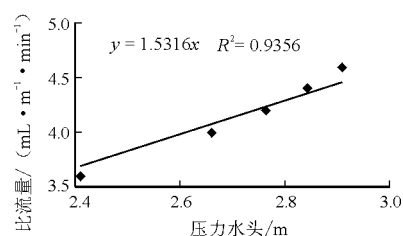


图7 不同倾角比流量与压力水头的关系曲线

由图7可知,不同倾角条件下,微润管比流量随压力水头的增加也呈线性增加趋势。采用公式(4),对比流量与其对应的压力水头进行线性回归分析,可得不同倾角条件下微润管比流量-压力水头的关系式:

$$q_s = 1.5316 \left(h_A + \frac{L}{2} \cdot \sin \alpha \right) \quad (R^2 = 0.9356) \quad (7)$$

式中: α 为微润管与水平向夹角。

公式(7)中决定系数 $R^2 = 0.9356$,说明采用微润管中心位置作为压力水头计算点,并将倾角折算为等效水头方法可行。微润管比流量与压力水头之间存在明显的线性正相关关系。

综合公式(5)、(6)和(7)可看出,三者综合渗透系数基本相等,据此,建立微润管比流量与压力水

3.3 不同倾角微润管出流特性

根据试验数据,得不同倾角微润管出流特性曲线,如图6所示。

从图6中可以看出,不同倾角条件下,累积渗水量与时间具有良好的线性关系,相同渗水时间内,累积渗水量随倾角的增大而增大。不同倾角条件下,微润管内各点压力水头随高度及倾角变化。借鉴90°倾角微润管计算压力水头取值方法,不同倾角条件下,仍取微润管中心位置为压力水头计算点,取倾角正弦值,将倾角折算为等效水头。

将各时段累积渗水量与其对应的时间进行线性回归分析,得到比流量与压力水头关系曲线,如图7所示。

头、倾角的通用计算模型。即:

$$q_s = K \left(h_A + \frac{L}{2} \cdot \sin \alpha \right) \quad (8)$$

4 结 论

(1)微润管渗流规律符合达西定律,微润管比流量与压力水头之间存在明显的线性正相关关系。

(2)不同倾角条件下,可采用微润管中心位置作为压力水头计算点,取倾角正弦值,将倾角折算为等效水头。

(3)据此建立了微润管比流量与压力水头、倾角的通用计算模型。

本试验是在微润管空气出流条件下进行,对于微润管在土壤中的渗流规律有待进一步研究。

(下转第254页)

(2)排水全年为咸水水质,矿化度逐月变化规律明显,与水量变化规律呈负相关。2015 年矿化度变化范围为 7.0 ~ 10.5 g/L,平均矿化度 8.6 g/L;2016 年矿化度变化范围为 6.2 ~ 10.8 g/L,平均矿化度 8.7 g/L。

(3)2015 与 2016 年塔南总排共向塔里木河排盐约 11.93×10^4 t,排盐量逐月变化规律明显且与排水量呈正相关。在塔里木河流域“上灌下排”的耕作模式下,农田排水已成当地农业生产中的“毒瘤”。

(4)排水属于 Na-Cl 型水质,再利用时需考虑 Na^+ 、 Cl^- 对作物及土壤的危害。 Na^+ 为主要阳离子,平均占比 16.7%,平均浓度 1.4 g/L; Cl^- 为主要阴离子,平均占比 35.6%,平均浓度 3.1 g/L。灌区农田排水量较大月份的矿化度、 Na^+ 、 Cl^- 浓度均较低,再利用时可优先考虑。

参考文献:

- [1] 苏宏超,沈永平,韩萍,等. 新疆降水特征及其对水资源和生态环境的影响[J]. 冰川冻土,2007,29(3):343-350.
- [2] 艾力江·沙吾提. 南疆水资源分布现状及开发利用对策[J]. 水利规划与设计,2015(1):31-33.
- [3] 贺新春,邵东国,刘武艺,等. 农田排水资源化利用的研究进展与展望[J]. 农业工程学报,2006,22(3):176-179.
- [4] Shannon M C, Grieve C M. Options for using low-quality water for vegetable crops[J]. Hortscience A Publication of

the American Society for Horticultural Science, 2000, 35(6):1058-1062.

- [5] Kaffka S, Oster J, Corwin D. Forage production and soil reclamation using saline drainage Water[C]//Proceedings of 2004 National Alfalfa Symposium. And 34th CA Alfalfa Symposium, 13-15 December 2004 San Diego, CA. Department of Agricultural and Range Science Cooperative Extension, UC, Davis, Davis, USA, 2004:247-253.
- [6] Qadir M, Oster J D. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture[J]. Science of the Total Environment, 2004,323(1-3):1-19.
- [7] 刘大刚,王少丽,许迪,等. 农田排水资源灌溉利用适宜性评价指标体系研究[J]. 灌溉排水学报,2013,32(2):93-96.
- [8] 赖永明,洪林,陈浩,等. 咸水灌溉影响及改善措施研究进展[J]. 节水灌溉,2012(12):55-59.
- [9] 郭凯,巨兆强,封晓辉,等. 咸水结冰灌溉改良盐碱地的研究进展及展望[J]. 中国生态农业学报,2016,24(8):1016-1024.
- [10] 王兴鹏,段爱旺,李双. 农田利用排水灌溉对土壤入渗特性及棉花生长的影响[J]. 农业机械学报,2016,47(6):100-106.
- [11] 王少丽,刘大刚,许迪,等. 基于模糊模式识别的农田排水再利用适宜性评价[J]. 排灌机械工程学,2015,33(3):239-245.

(上接第 249 页)

参考文献:

- [1] 薛万来,牛文全,张子卓,等. 微润灌溉对日光温室番茄生长及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(6):61-66.
- [2] 于秀琴,窦超银,于景春. 温室微润灌溉对黄瓜生长和产量的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(7):159-163.
- [3] 张国祥,申丽霞,郭云梅. 基于微润灌溉技术的大棚白菜生长状况试验研究[J]. 节水灌溉,2016(7):6-8+12.
- [4] 张俊,牛文全,张琳琳,等. 微润灌溉线源入渗湿润体特性试验研究[J]. 中国水土保持科学,2012,10(6):32-38.
- [5] 褚丽妹,葛岩,潘兴辉,等. 苹果树微润灌溉技术试验研究[J]. 节水灌溉,2012(4):30-31+36.
- [6] 张俊,牛文全,张琳琳,等. 初始含水率对微润灌溉线源入渗特征的影响[J]. 排灌机械工程学,2014,32(1):72-79.
- [7] 张立坤,窦超银,李光永,等. 微润灌溉技术在大棚娃娃菜种植中的应用[J]. 中国农村水利水电,2013(4):53-55.
- [8] 魏镇华,陈庚,徐淑君,等. 交替控水条件下微润灌溉对番茄耗水和产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2014,33

(4):139-143.

- [9] 牛文全,张俊,张琳琳,等. 埋深与压力对微润灌湿润体水分运移的影响[J]. 农业机械学报,2013,44(12):128-134.
- [10] 何玉琴,成自勇,张芮,等. 不同微润灌溉处理对玉米生长和产量的影响[J]. 华南农业大学学报,2012,33(4):566-569.
- [11] 薛万来,牛文全,张俊,等. 压力水头对微润灌土壤水分运动特性影响的试验研究[J]. 灌溉排水学报,2013,32(6):7-11.
- [12] 张朝晖,张建贵,徐宝山. 微润管灌溉技术参数试验研究[J]. 灌溉排水学报,2015,34(08):63-66.
- [13] 薛万来,牛文全,罗春艳,等. 微润灌溉土壤湿润体运移模型研究[J]. 水土保持学报,2014,28(4):49-54.
- [14] 祁世磊,谢香文,邱秀云,等. 低压微润带出流与入渗试验研究[J]. 灌溉排水学报,2013,32(2):90-92.
- [15] 邱照宁,江培福,肖娟,等. 微润管空气出流及制造偏差试验研究[J]. 节水灌溉,2015(3):12-14.
- [16] 张书函,雷廷武,丁跃元,等. 微孔管灌灌时土壤水分运动的有限元模拟及其应用[J]. 农业工程学报,2002,18(4):1-5.