

非圆形喷洒域喷头的可实现性研究^{*}

孟秦倩¹, 王 健², 蔡江碧¹

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院; 2 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 提出通过变圆心途径实现非圆形喷洒域喷头的构想, 研究了实现这一构想的数学原理; 以近似正方形喷洒域为重点, 对水质点的运动轨迹和运动速度、喷灌强度和喷灌均匀度进行了计算机模拟和计算; 提出了实现非圆形喷洒域的结构设想。结果表明: 运用双圆周复合运动可较简单地实现非圆形喷洒域; 近似正方形喷洒域的点滴喷灌强度取决于喷头单向喷洒时的线喷灌强度函数。

[关键词] 喷灌; 喷头; 非圆形喷洒域; 双圆周复合运动

[中图分类号] TV 134 1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)02-0145-04

19 世纪 90 年代, 摇臂式喷头的问世标志着喷灌技术的真正开始, 之后经过 60 多年的不断实践, 使得喷灌技术日臻完善。近几十年, 人们对水的需求与日俱增, 供需矛盾日益突出, 水资源问题对人类社会的可持续发展提出了挑战^[1,2]。作为用水大户的农业, 在灌溉方面相应受到冲击, 从而使节水效率高的喷灌迅速发展。但是, 在喷灌技术的应用中, 逐渐暴露出一个隐蔽而突出的弱点——圆形喷洒域问题。

由于圆形喷洒域和方形田块在几何形状上的不相容性, 使摇臂式喷头在大田应用中存在严重的复喷和超喷现象, 产生水量浪费。经计算, 喷头正方形布置时, 复喷率(复喷面积和喷灌面积之比)为 57.08%; 正三角形布置时, 复喷率为 20.92%。对于 100 m × 100 m 的正方形地块, 喷头按 20 m 间距作正方形布置时, 超喷率(喷到地块以外的面积与地块本面积之比)为 7.98%。除此之外, 对于形状各异的草坪、花坛的灌溉, 也存在超喷和复喷现象。因此, 研究非圆形喷洒域喷头具有明显的节水意义。

查阅节水灌溉近几年的发展方向和动态, 非圆形喷头的研制在国内外已经逐渐开展, 特别是在国内, 这一课题已经引起许多企业和科研单位的注意和重视, 并且已经开始对这一课题进行深入研究。目前还没有新产品开发的有关报道, 但非圆形喷洒域喷头的问世是必然的。

1 非圆形喷洒域的研究

1.1 实现非圆形喷洒域的途径

旋转式喷头的工作状态, 是在定值压力下, 水流

通过喷管及喷嘴形成一股集中水舌射出, 水舌在空气阻力及粉碎机构的作用下被粉碎成细小的水滴, 同时转动机构使喷管和喷嘴围绕竖轴缓慢旋转, 这样水滴就会均匀地喷洒在喷头的四周, 形成一个半径等于喷头射程的圆形或扇形喷洒域。

分析旋转式喷头的工作原理可以发现, 实现非圆形喷洒有 3 种可能途径: 变压力, 变喷射角, 变圆心。这里以变圆心法为重点研究对象, 找出实现非圆形喷洒域的关键所在。

1.2 实现非圆形喷洒域的数学原理

如图 1 所示, P 点绕定点 O 作匀速圆周运动, M 点绕 P 点作匀速圆周运动, 则 M 点相对于定点 O 的运行轨迹必然不为圆。这一轨迹曲线可称为双圆周复合运动曲线。对于喷灌系统, 定点 O 为给水竖管的给水栓, P 点为旋转式喷头, M 点为喷头喷射水流的最远点, PM 扫过的面积域即为喷头的喷洒域。

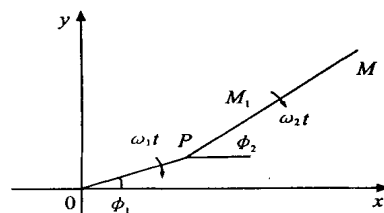


图 1 双圆周复合运动曲线的生成

Fig. 1 Formation of bi-circumference compound motion curve

设第一级、第二级圆周运动的半径分别为 R_1 ,

^{*} [收稿日期] 2002-04-05

[作者简介] 孟秦倩(1971-), 女, 陕西兴平人, 讲师, 硕士, 主要从事水工建筑物研究。

R_2 ; 转动速度分别为 ω_1, ω_2 ; 初相角分别为 Φ_1, Φ_2 。那么, 双圆周复合运动曲线的参数方程为:

$$x = R_1 \cos(\omega_1 t + \Phi_1) + R_2 \cos(\omega_2 t + \Phi_2)$$

$$y = R_1 \sin(\omega_1 t + \Phi_1) + R_2 \sin(\omega_2 t + \Phi_2)$$

该方程所描述的曲线是一个很大的曲线族, 曲线形状取决于参数 $\eta_\omega = \omega_2/\omega_1$ 和 $\eta_R = R_2/R_1$ 的大小。

1.3 近似正方形曲线方程

令双圆周复合运动曲线方程中 $\Phi_1 = 0, \Phi_2 = 0$, 则

$$x = R_1 \cos \omega_1 t + R_2 \cos \omega_2 t$$

$$y = R_1 \sin \omega_1 t + R_2 \sin \omega_2 t$$

若使:

$$\eta_R = \frac{R_2}{R_1} = 3 + 2\sqrt{2}$$

$$\eta_\omega = \frac{\omega_2}{\omega_1} = -\frac{1}{3}$$

则该方程所描绘的图形为近似正方形, 如图 2 所示。

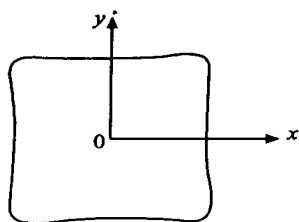


图 2 近似正方形曲线

Fig. 2 Approximate square curve

经过数学分析, 近似正方形为一条光滑连续曲线, 通过计算得近似正方形的面积同标准正方形的面积之比为 1.044 : 1, 由此可以看出二者在形状上十分接近。同样令 η_R, η_ω 满足其他参数, 可绘制其他近似图形(略)。

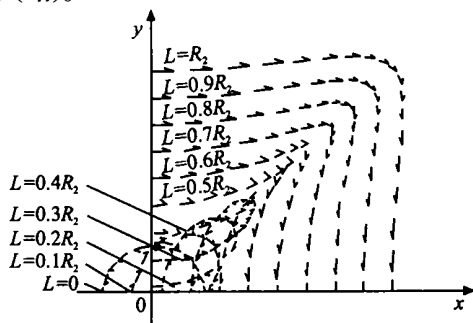


图 3 水质点运动矢量图

Fig. 3 Vector chart of drop water

2.4 近似正方形域喷灌技术指标的研究

喷灌强度、喷灌均匀度及水滴打击强度是喷灌的 3 个技术指标。本研究着重在于喷灌强度、喷灌均匀度的探讨, 水滴打击强度的研究将在新型喷头的

2 近似正方形喷洒域性质的研究

2.1 复喷率的计算

对近似正方形喷洒域而言, 当喷头按正方形布置并保证不漏喷时, 喷头间距为 $1.656R_2$, 其复喷率为 4.4%, 和圆域相比已经很小了。

2.2 水滴的运动

研究水质点的运动轨迹对调节喷头的水量分布起重要作用。利用计算机绘制出距喷头出射点不同距离 L 处水质点的运动轨迹图, 如图 3 所示。从图 3 可以看出, 当 L 大于某一数值时, 具有同 L 的各水质点运动的轨迹不发生交叉, 当 L 小于此距离时, 具有同 L 的水质点轨迹出现 4 次(如 $L = 0.4R_2$)或 8 次(如 $L = 0.1R_2$)以上的形状交叉。显然, 喷洒域中存在由于水质点轨迹交叉形成的复喷核。复喷核的面积约为 $0.55R_2^2$, 复喷核可以通过调整喷头的结构, 限制近距离水量来满足需求。

2.3 水质点的速度

喷头的运动除了自转速度外, 还随一级圆周运动作牵连运动。喷头相对于一级圆周运动的转动速度应该为 $\omega_2 - \omega_1$, 牵连运动的存在必将影响出射水流在绕定点 O 旋转时整个喷洒域内的旋转速度。

图 3, 图 4 为利用计算机描绘出的各水质点运动速度矢量图和速度变化图。从速度矢量图 3 上能明确看到速度的大小和方向的变化过程, 从边中点到角点, 旋转速度逐渐减小, 边中点最大, 角点最小。由图 4 可见, 各水质点速度以 $\pi/2$ 为周期变化。在 0 和 $\pi/2$ 时为最大, 在 $\pi/4$ 时为最小, 数学推导也可证明。

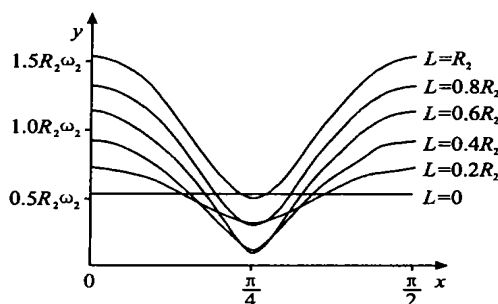


图 4 水质点运动速度变化图

Fig. 4 Chart of variety of water drop motion velocity

试验中进行。

2.4.1 喷灌强度的计算

喷灌强度是喷洒域中点位的函数, 即点喷灌强度。点喷灌强度的提法为, 已知 PM 段的线喷灌强度函数为 $q(l)$, 求喷洒域中点

喷灌强度函数 $P(x, y)$ 。设 $M_L(x, y)$ (距 P 点的距离为 L) 为 PM 上的任一点, 则 M_L 点的运动轨迹方程为:

$$x = L \cos \omega t - R_1 \cos 3\omega t$$

$$y = L \sin \omega t + R_1 \sin 3\omega t$$

该点速度 $\vec{V}_L = \left\{ \frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right\} = \{ 3\omega R_1 \sin 3\omega t - \omega L \sin \omega t, 3\omega R_1 \cos 3\omega t + \omega L \cos \omega t \}$, 则 dt 时段 M

点移动的距离为 $\vec{V}_L dt$ 又 t 时刻包含 M_L 的 dL 微元段的位置矢 $\vec{dL} = \{ \cos \omega t, \sin \omega t \} dL$, 故 dt 时段含 M_L 点的 $\vec{dL}$ 扫过的面积微元 $dA = |\vec{V}_L t \times \vec{dL}|$ 。由水量平衡可得: $q(l) dt dL = P(x, y) dA$, 故 $p(x, y) = \frac{q(l) dL}{dA}$, 即喷灌强度 $p(x, y)$ 依赖于线喷洒强度函数 $q(l)$, 而 $q(l)$ 由喷头性能所确定。

2.4.2 喷灌均匀度的计算 喷灌均匀度仍采用圆域喷头的均匀度系数 C_u 及水量分布图表示。将近似正方形域分为若干等面积的小区域, 第一象限的分区如图 5 所示。当喷头做二级圆周运动进行喷洒时, 喷头出水量必然落在各个小区内, 喷完 1 周后, 统计喷洒后各小区的总水量, 即为时间 t 内的喷灌

强度。因为小区面积相等, 所以水量的大小可反映喷洒是否均匀, 并根据克里斯琴森公式计算均匀度系数。

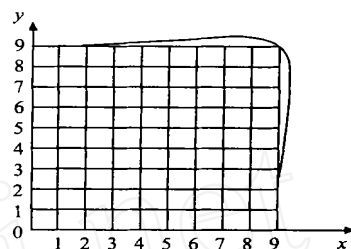


图 5 计算均匀度的分区

Fig 5 Chart of calculating spraying even degree

以中线长为 10 m 的近似正方形喷洒域为例计算均匀度。计算条件是喷头线喷洒强度 $q(l)$ 和射程表现为图 6 所示的关系时, 各小区内水量的分布如图 7 所示。从图 7 可见, 沿近似正方形对角线方向, 远中心点段出现有几个高峰, 水量分布极不均匀, 其余部位水量分配相对平衡。这和计算机模拟水质点运动速度的结果是一致的。而喷头线喷洒强度 $q(l)$ 的喷洒水量, 可以通过调整摇臂式喷头的结构来满足要求^[3]。

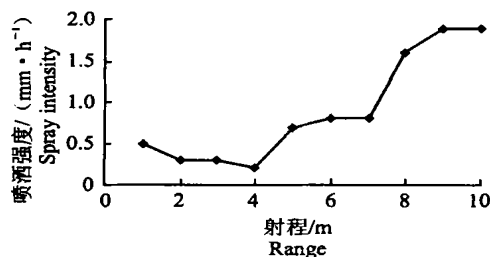


图 6 喷头的喷洒强度与射程的关系

Fig 6 The relationship between spraying intensity and range

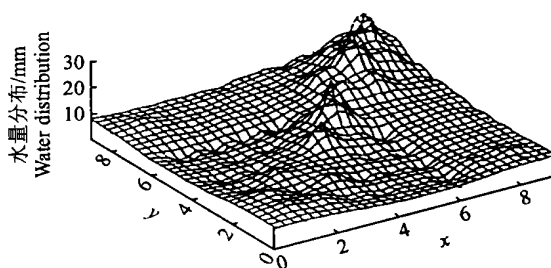


图 7 正方形域水量分布

Fig 7 Water distribution of approximate square district

3 旋转构件的驱动方式

旋转构件是连接给水竖管和喷头的一段供水管, 其长度为 R_1 , 其驱动方式有外供能源驱动和水力驱动两种, 在现有条件下采用水力驱动。水力驱动旋转构件有 2 种方式: (1) 在构件一侧水平开设小孔, 小孔数量及大小由旋转速度决定。喷灌系统工作时, 根据水力学动量原理, 在压力作用下构件将向小孔喷水的反方向旋转^[4]。(2) 应用内水流驱动的旋转式喷头的旋转结构, 用内水流驱动旋转构件的转动,

同时喷头采用内水流驱动的旋转式喷头。

4 结 论

1) 非圆形喷洒域喷头的研制, 是解决现行喷头圆形喷洒域同矩形地块在几何形状上的不相容而致使水量浪费的根本途径。

2) 运用双圆周复合运动原理, 使旋转式喷头在自转的同时, 又参与绕给水竖管转动, 可以较简单地实现非圆形喷洒域。当参数 $\eta_k = 1/3$, $\eta_k = 3 + 2\sqrt{2}$ 时, 该曲线所用的近似正方形同正方形十分接近, 面

积比仅为 1.044 : 1。

算公式。该强度取决于喷头单向喷洒时的线喷灌强

3) 推导出了近似正方形喷洒域的点喷灌强度计

度函数 $q = q(l)$, 即喷灌强度是射程的函数。

[参考文献]

- [1] 陈大雕 我国节水灌溉技术推广与发展状况综述[J]. 节水灌溉, 1997, (4): 21- 26
- [2] 吴景社 世界灌溉发展趋势[J]. 世界农业, 1995, (6): 21- 24
- [3] 蒋定生, 金兆森 摇臂式喷头设计原理[M]. 北京: 水利出版社, 1980
- [4] 王汉杰 水资源工程学[M]. 北京: 农业出版社, 1990

The research on realizing non-circular spraying district of sprinkler

MENG Qín-qín¹, WANG Jiàn², CAI Jang-bi¹

(1 College of Water Resources and Architectural Engineering; 2 College of Resources and Environmental Science, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The thesis poses realizing non-circular spraying district by changing circle center and studies math-principle of this imagination. The motion trace of drop of water, the motion velocity of drop of water, spraying intensity and spraying even degree have been imitated and calculated by computer. Structure imagination has been posed. The main conclusions are: 1) realizing non-circular spraying district can use bi-circumference compound motion, 2) sprinkler line spraying intensity of sprinkler single direction spraying decides the drop spraying intensity of approximate square spraying district.

Key words: spray irrigation; sprinkler; non-circular spraying district; bi-circumference compound motion