

基于分形思想的灌溉系统

李雪娇, 于洪珍

(中国矿业大学信电学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 基于分形理论设计了一套性能良好的灌溉系统, 此系统能够使灌溉均匀度最大, 同时可以有效地利用水资源。该系统便于计算机控制, 易实现灌溉的自动化。

关键词: 分形; 灌溉系统; 均匀度; 水资源

中图分类号: S274. 2 文献标识码: A

“分形”(fractal)一词是由美国 IBM 公司研究中心物理部研究员暨哈佛大学数学系教授曼德勃罗特(Benoit B. Mandelbrot)在 1975 年首次提出的。它是指一类介于有序和完全无序、微观与宏观之间的新的中间状态。它的一个较为通俗的定义是: 其组成部分以某种方式与整体相似的形态叫分形。其中, 分形理论在填充平面的图形设计方面有很好的应用, 典型的有 Sierpinski 垫片和 Pascal 三角的区域划分。本文就是基于完整填充平面图形的思想, 选择满足灌溉情况的图形单元。

1 基本原理分析

1.1 喷灌强度

喷灌强度是指在单位时间内喷洒在单位喷灌面积上的水深, 常用的单位是 mm/min 或 mm/h。在不考虑风速及空气阻力的情况下, 单个喷头喷灌的区域近似为圆形。据统计数据, 在这个圆形区域内距离圆心不同距离处的喷灌强度不同。当圆形区域内一点距离圆心的距离为 x 时, x 与喷灌强度呈抛物线的函数关系, 如图 1 所示。

设 ρ 表示喷灌强度, x 表示在此圆形区域中各点到喷头的距离。根据流体力学的知识, 推导出该点的喷灌强度为:

$$\rho = -\frac{h}{R^2}x^2 + h + \alpha \quad (0 \leq x \leq R) \quad (1)$$

式中: α 为射程最远处的喷灌强度; h 为该区域的最大喷灌强度; R 为射程。从图 1 可以看出, α 值很小, 在实际计算中可近似看作是 0。

1.2 喷灌均匀度及组合均匀度

喷灌均匀度是指在喷灌面积上水量分布的均匀程度, 是衡量喷灌系统质量的主要指标。设计时常用喷灌组合均匀系数来描述, 用于反映喷灌的均匀程度。喷灌均匀系数 C_u 的公式如下:

$$C_u = 1 - \frac{\overline{\Delta\rho}}{\rho}, \quad \text{其中 } \overline{\Delta\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n |\rho_i - \bar{\rho}|}{n} \quad (2)$$

式中: ρ_i 为组合模拟时控制面积内的测点喷灌强度, mm/h; n 为测量点数; $\bar{\rho}$ 为组合模拟时控制面积内的每一测点喷灌强度的平均偏差值, mm/h。

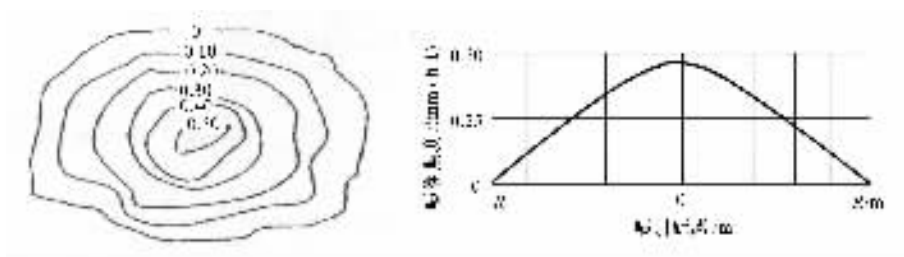


图 1 圆形喷射区域内各处喷射强度与距离的关系图

1.3 基本填充元素的选择

由于单个喷头的喷灌区域近似呈圆形分布,若以圆形作为基本图形元素填充平面,势必有许多空隙或重叠处。此时,利用分形中 Sierpinski 垫片的原理对喷灌区域划分,寻找一种能够紧凑排列且可以填充整个平面的图形元素。而能够满足上述要求的只有正三角形、正四边形、正六边形。可以证明它们的喷灌效率如下:

圆内接正三角形的喷灌效率:

$$\frac{s}{s_{总}} = \frac{\frac{\sqrt{3}R^2}{4}}{\pi R^2} = \frac{\sqrt{3}}{4\pi} = 13.8\%$$

圆内接正四边形的灌溉效率:

$$\frac{s}{s_{总}} = \frac{2R^2}{\pi R^2} = \frac{2}{\pi} = 63.69\%$$

圆内接正六边形的有效喷灌效率:

$$\frac{s}{s_{总}} = \frac{3\sqrt{3}r^2/\pi r^2}{2\pi} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} = 82.7\%$$

由上可知六边形的灌溉效率达到最大。因此,选择六边形作为平面的基本图形。各单元的喷灌情况如图 2 所示。

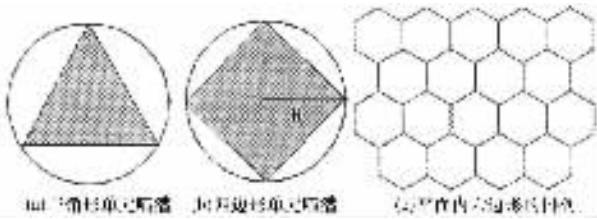


图 2

2 均匀喷灌的单位模型

在水压为 420 kPa,流量为 150 L/min,主管内径为 10 cm,并配有内径为 0.6 cm 的转动喷头的情况下,利用式(1)可知单个喷头喷灌强度与距离之间呈图 3 所示分布。

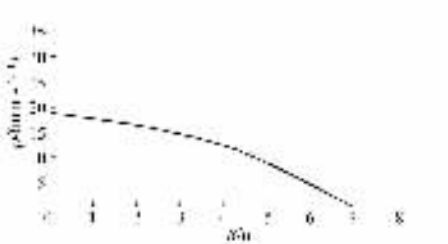


图 3 单个喷头的喷射强度与距离的关系

若 2 个喷头同时喷射,则喷灌强度与距离之间的关系如图 4 中虚线所示。可以看出,图中所示的喷灌方式改善了原喷灌方式的不均匀性,这是实现均匀喷灌的理论基础。

由此可以想到,当多个喷头同时喷灌时,从中就可以寻求一种最优配置,达到最大限度均匀灌溉的目的。问题是如何设置喷头的位置才可以达到上述效果,且怎样才能实现最大限度均匀呢?为此,假设以一个正六边形为基本单位,对其进行分析。设六边形边长为 R ,喷头的射程为 R_d (其中 $R \geq R_d$)。在正六边形的中心及 6 个顶点都设有喷头,且所有喷头都是同一类型的。若 7 个喷头同时喷水,且喷灌时间相等,则在有效灌溉区域内,最均匀地灌溉强度 ρ 如图 5 所示。其中,图 6 中阴影部分为

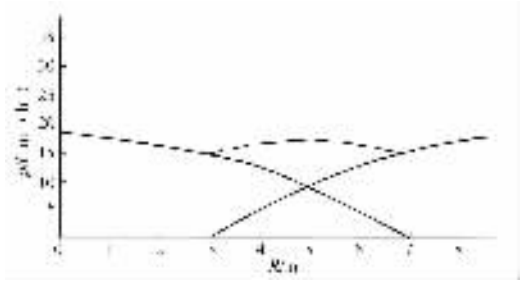


图 4 两个喷头的喷射强度与距离的关系图有效喷灌区域。

取 $R_d = 7$ m,即在喷头射程一定的情况下,利用 MATLAB 编程仿真,求得六边形的最佳边长 $R = 1.24 R_d$,使得有效区域中各点喷灌强度的均方差最小。

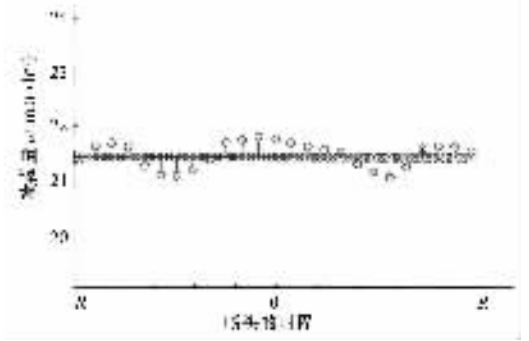


图 5 平面内点的喷灌均匀度

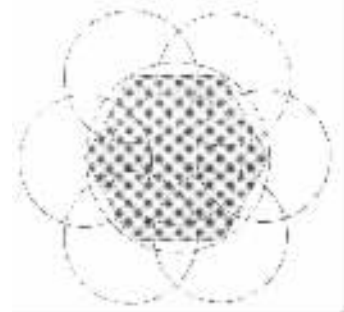


图 6 均匀灌溉的单位模型

通过上面的计算,得到此单位灌溉模型的均匀系数 $C_u = 87.9\%$ 。由此可见,采用此种方案可以高效的利用水资源,提高喷灌水源的利用率。

3 灌溉制度的建立

以上仅仅研究了单个正六边形的水量均匀度。由于资源的限制,水管的数目和装在同一水管上的喷头数目是有限的。因此,以移动式、程控式的喷灌系统为例,制订了周期性灌溉策略,实现系统的最优配置。在此,利用六边形的特殊性对其作进一步的划分,确定水管移动的轨迹。

改变填充的基本图形元素,连接六边形的各顶点,得到了三角形的紧密排列。在此基础上,通过以下几个步骤完成系统的周期性灌溉。三角形的排列如图 7 所示。

第一步:完成对平面所有正六边形中心点的喷灌。首先,标定所有正六边形的中心点。将所有中心点连线后,会发现整个平面被正三角形填充,且正三角形的边长为 R 。根据流体力

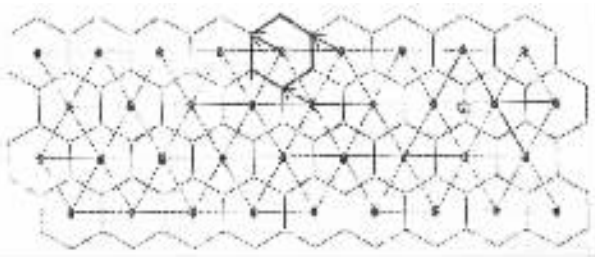


图7 平面正六边形中心点的分布

学的知识,可以推出在一定的大气压下,为了保证喷头的喷水量,每条管道只可以装有限个喷头。由于主管内径为 10 cm,因此每条管道上最多可以安装 3 个喷头,管道和喷头的形状如图 8 所示(3 个喷头分别安装在三角形的 3 个顶点)。为了完成各中心点的一次喷灌,利用计算机搜索平面上顶点互不重合的所有正三角形(忽略边缘),记录下这些三角形的中心点坐标,此时管道将沿着坐标的轨迹移动。这样,就完成了平面的一次喷灌。其中,平面内顶点互不重合的三角形为图 9 所示阴影部分。



图8 喷头与管道的设计图

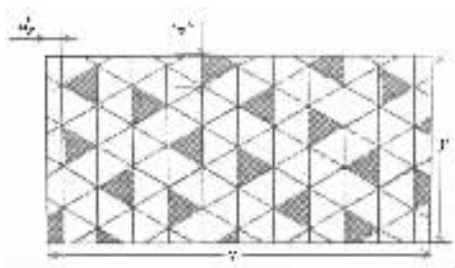


图9 管道移动示意图

第二步:一次喷灌只能实现平面的每一处都有水分,但水量的分布却是严重不均匀的。上面已分析,只有在正六边形的一个中心点和六个顶点全都喷完后,系统才会达到尽量均匀的效果。在这里,定义六边形所有中心点的连线组成网格 B (如图 7 所示)。将网格沿着上述箭头方向移动距离 R 后,会发现原来位于中心点上的喷头移到了六边形顶点上,此时每一个正六边形上有三个对称的喷头(边缘忽略)。然后,按照第一步的方式进行喷灌,直到平面上所有的喷灌点喷完为止。

第三步:若将网格 B 的箭头沿相反的方向移动,则中心点移动到六边形另外的三个顶点处,此三个顶点与第二步中的三个顶点恰好为六边形的六个顶点。此时,仍然按照第一步的方式进行灌溉。这样,七个喷头的喷灌过程就全部完成了(这里假设各喷头喷灌时间相同)。

第四步:利用计算机对上述步骤进行系统仿真,画出不满足灌溉要求的边缘部分。之后,可以根据边缘的特点,适当安置一些固定的喷头。此时,对边缘部分的喷灌就只是一个时间控制的问题了。

4 结 语

由上面的分析可见,基于分形理论设计的灌溉系统能较好地解决水量的均匀分布及水资源的利用率问题,同时还有效地节省许多灌溉时间。当管道的设计合适时,可以实现灌溉时间的最短。通过一定的算法设计,可以实现系统的自动控制,具有较强的可行性。

参考文献:

[1] 郑耀泉. 喷灌微灌设备使用与维修[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
 [2] 吴普特,牛文全,郝宏科. 现代高效节水灌溉设备[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
 [3] 陈 颢,陈 凌. 分形几何学[M]. 北京:地震出版社,2005.
 [4] 张元佳,张玉先. 分形理论对预处理后颗粒的研究[J]. 苏州科技学院学报,2005,18(5):48-52.

(上接第 44 页)

向。但该领域仍未形成系统的技术体系和标准,在生产应用中仍存在不少深层次理论和技术问题,针对膜下滴灌本身的不足和缺陷,加强理论及技术攻关,开发研制、改革创新适合我国国情的膜下滴灌技术是节水灌溉的前瞻性工作。

参考文献:

[1] 员学锋,吴普特. 秸秆覆盖保墒的农田生态效应及“保墒灌溉技术”[A]. 中国农业工程学会 2005 年学术年会论文集(第二分册)[C].
 [2] 聂元森,毛丽娟. 膜下滴灌设计与运用方案解析[J]. 黑龙江水利科技, 2003,(2).
 [3] 张振华,蔡焕杰. 膜下滴灌棉花产量和品质与作物缺水指标的关系研究[J]. 农业工程学报, 2005,(6).
 [4] 盛国成. 膜下滴灌技术的应用与推广[J]. 农机质量与监督,2003,(4).

[5] Mahbub Alam and Rick Zimmerman. Plastic mulch and drip irrigation effects on Kabocha squash yield and soluble solids content [A]. Proceeding of International Conference on Water-saving Agriculture and Sustainable Use of Water and Land Resources [C]. Xian: Shanxi Science and Technology Press, 2003.
 [6] 夏智讯. 节水农业技术研究成果[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002.
 [7] 雷咏雯,郭金强. 棉花膜下滴灌水氮耦合的初步研究[J]. 石河子大学学报,2005,(2).
 [8] 苏 军. 棉花膜下滴灌技术在石河子市的应用研究[J]. 节水灌溉,2005,(5).
 [9] 马富裕,周治国. 新疆膜下滴灌技术的发展与完善[J]. 干旱地区农业研究,2004,(9).
 [10] 郑 重,马富裕. 棉花膜下滴灌决策支持系统研究[J]. 中国农学通报,2004,(6).