

圆形喷灌机启闭时段对喷洒化学液均匀性的影响

严海军¹, 金宏智², 王福军¹

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

摘要: 圆形喷灌机采用比例法喷洒化学液, 引用赫尔曼—海恩(Heemann-Hein)公式计算喷洒化学液均匀系数。喷洒化学液开始和结束时, 由于配置在输水管上的喷头喷洒化学液的起始时间不同, 造成了局部面积内喷洒化学液的不均匀性。该文提出了圆形喷灌机从输水管第一个喷头开始喷洒化学液至最末喷头开始喷洒化学液的间隔时间内, 每个喷头喷洒时间的计算公式。计算结果表明当圆形喷灌机输水管布置喷头总数为 80~200 时, 在首末喷头喷出化学液的时间段内, 有效喷洒化学液面积约占此时段内总扇形灌溉面积的 1/2。为提高喷洒化学液的均匀性, 提出了圆形喷灌机喷洒化学液的正确操作步骤。

关键词: 圆形喷灌机; 喷洒化学液; 均匀系数; 启闭时段

中图分类号: S275.5; S143.92

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)05-0126-04

0 引言

近年来, 发达国家已开始了利用 3S 和计算机控制系统进行精准灌溉技术研究, 其中精确灌水和喷洒化学液的变量技术是主要研究内容^[1]。众所周知, 圆形和平移式喷灌机是实施精准灌溉技术的最佳执行平台之一。目前圆形和平移式喷灌机正朝着综合利用的方向发展, 不仅可以喷水, 而且还能喷洒化肥、农药、除草剂等化学液。要实现变量精准灌溉, 尤其对喷洒化学液而言, 喷灌机机组喷洒均匀性的优劣至关重要。若在灌溉面积内喷洒化学液不均匀, 除对作物产量和品质带来不利影响外, 还可能引起深层渗漏或地表径流, 污染周围环境。一般的管道式喷灌系统和定期移动的喷灌机组, 影响喷洒均匀性的因素包括原液浓度和混合液浓度、喷头结构及自身水力性能、喷头组合形式、环境因子(风速、风向)等。但圆形喷灌机是一种绕中心支轴旋转、连续自移喷洒的多支喷灌系统。开始喷洒化学液时, 靠近中心支轴处输水管上的喷头先喷洒, 然后喷头逐个依次往后喷洒, 造成首尾区域内喷洒化学液量不均^[2]。对圆形喷灌机喷洒化学液均匀性而言, 除上述常见的影响因素外, 还包括喷洒化学液开始和结束的启闭时间及圆形喷灌机的走停位置。因此, 本文试图研究圆形喷灌机在启闭时段内影响喷洒化学液均匀性的关键技术, 主要包括以下内容:

1) 提出圆形喷灌机化学剂混合液进入中心支轴, 由第一个喷头开始喷洒化学液直至最末喷头开始喷洒的间隔时间(以下简称输水管充化学液时间)及此时段内各喷头喷洒水量的计算公式; 2) 研究圆形喷灌机喷洒化

学液的启闭时间和走停位置与喷洒化学液均匀性之间的关系; 3) 提出圆形喷灌机喷洒化学液的正确操作步骤。

1 喷洒化学液均匀系数的计算

圆形喷灌机喷洒化学液的分布与喷洒水的分布之间关系密切。假设浓度一定的化学液原液经电动注射泵注入输水管后, 在到达中心支轴弯头前已与灌溉水充分混合, 并且输水管输送过程和喷头喷洒的化学液的浓度保持一致, 则可引用赫尔曼—海恩(Heemann-Hein)的修正公式^[3]计算圆形喷灌机喷洒化学液均匀系数。

$$C_{UH} = 100 \times \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |h_i - \bar{h}| r_i}{n \bar{h} r_i} \right] \quad (1)$$

式中 C_{UH} ——均匀系数, %; n ——用于数据分析的雨量筒数量; i ——用于数据分析的雨量筒的序号, 距中心支轴最近的雨量筒 $i=1$; 距中心支轴最远的雨量筒 $i=n$; h_i ——第 i 个雨量筒内收集的混合液的深度, mm; r_i ——第 i 个雨量筒至中心支轴的距离, m; \bar{h} ——所收集化学液的深度的加权平均值, $\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i r_i}{\sum_{i=1}^n r_i}$, mm。

2 圆形喷灌机喷洒化学液的特征

根据圆形喷灌机的工作特性, 喷洒化学液通常采用比例法, 即喷洒化学液的时间等于喷灌机在规定喷洒化学液的灌溉面积上运行一次所需的时间, 配液箱的容积应能储存一次喷洒化学液所需的总量, 而且采用电动注射泵确保原液与混合液浓度在整个喷洒过程中均匀一致, 此外还将圆形喷灌机的百分率计时器调整至 100%^[4]。

3 启闭时段对喷洒均匀性的影响

3.1 输水管充化学液时间的计算

圆形喷灌机输水管充化学液时间是个关键技术参数, 可用于确定圆形喷灌机喷洒化学液的正确启动时间和结束时输水管的冲洗时间。

收稿日期: 2003-01-25 修订日期: 2004-07-02

基金项目: 国家“863”计划(2001AA24023); 国家“十五”重大科技专项(2002AA2Z4161)

作者简介: 严海军(1974-), 男, 讲师, 博士生, 主要从事灌排设备技术与应用研究。北京 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083。Email: water220@cau.edu.cn

通讯作者: 金宏智(1940-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事大型喷灌机研究。北京 中国农业机械化科学研究院, 100083

输水管充化学液时间的计算公式在满足前面的假设条件下, 按后退法推导。设圆形喷灌机输水管总长 L , 布置 N 个喷头, 相邻喷头间距 a , 第一个喷头与中心支轴中线距离 a_0 , 如图 1 所示。

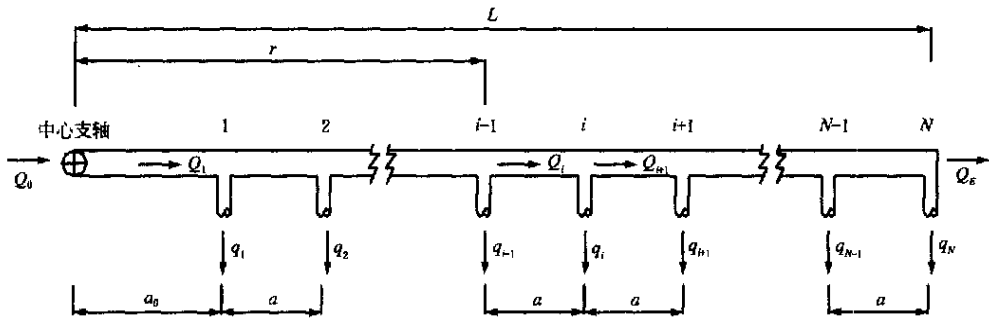


图 1 圆形喷灌机输水管喷头配置示意图
Fig. 1 Schematic diagram of sprinklers along lateral for the center pivot system

化学液混合液经过第 i 段所需时间^[5, 6]

$$t_i = \frac{aA}{N \sum_{k=1}^i (q_k + Q_E)} \quad (2)$$

式中 q_k ——第 k 个喷头出流量; A ——输水管截面积。

混合液经过首段所需时间

$$t_1 = \frac{a_0 A}{N \sum_{k=1}^1 (q_k + Q_E)} = \frac{a_0 A}{Q_0} \quad (3)$$

式中 Q_0 ——入机总流量。

则圆形喷灌机在输水管充化学液的时间内, 每个喷头洒水的时间为

$$T_i = \sum_{j=1}^i t_j = \frac{a_0 A}{Q_0} + \sum_{j=2}^i \frac{aA}{N \sum_{k=j}^i (q_k + Q_E)} \quad (4)$$

式中 q_k 按公式(5) 计算^[7]

$$q_k = (Q_0 - Q_E) \cdot \frac{(2X + 2k - 3)}{(X + N - 1)^2} \quad (5)$$

式中 X ——输水管上的第一个喷头与中心支轴中线距离 a_0 与相邻喷头间距 a 之比, 即 $X = \frac{a_0}{a}$ 。

将式(5) 代入式(4), 整理得

$$T_i = \frac{aA}{Q_0} \left[X + \sum_{j=2}^i \frac{1}{N \sum_{k=j}^i (1 - s) \frac{2X + 2k - 3}{(X + N - 1)^2} + s} \right] \quad (6)$$

式中 $s = \frac{Q_E}{Q_0}$ 。

当 $X = 1, s = 0$, 此时式(6) 简化为

$$T_i = \frac{aA}{Q_0} \sum_{j=1}^i \frac{1}{N \sum_{k=j}^i \frac{2k - 1}{N^2}} \quad (7)$$

应用式(7) 可求出任意一台规格型号、不同喷头间距的圆形喷灌机在输水管充化学液时间内, 输水管任意一个喷头洒水的时间。最末喷头的喷洒出化学液时间 T_N 就是输水管充化学液时间, 可表示为

$$T_N = \frac{aA}{Q_0} \sum_{j=1}^N \frac{1}{N \sum_{k=j}^N \frac{2k - 1}{N^2}} = \frac{aA}{Q_0} \cdot H \quad (8)$$

其中

$$H = \sum_{j=1}^N \frac{1}{N \sum_{k=j}^N \frac{2k - 1}{N^2}} \quad (9)$$

一般来说, 较常见的圆形喷灌机输水管长达 200~500 m, 布置喷头数约 80~200 个, 通过计算机编程可求解出部分 H 值, 见表 1。进一步将 H 值拟合成 N 的函数关系。

$$H = 1.2197N^{1.1898} \quad r^2 = 0.9998 \quad (10)$$

从式(8) ~ (10) 中可知, 输水管充化学液时间 T_N 的大小与入机总流量 Q_0 、喷头间距 a 、输水管截面积 A 及喷头数 N 有关。实践证明多数情况下, 圆形喷灌机的 T_N 值在 4~12 min 之间。

表 1 不同喷头数 N 的 H 值

Table 1 H Values with different numbers N of sprinklers

喷头数 N	H	喷头数 N	H
10	18.2387	110	328.771
20	43.0354	120	363.846
30	70.4481	130	399.338
40	99.5596	140	435.215
50	129.934	150	471.45
60	161.316	160	508.018
70	193.535	170	544.899
80	226.47	180	582.074
90	260.033	190	619.527
100	294.152	200	657.243

3.2 输水管充化学液的时间与有效喷洒面积的关系

当输水管充化学液的时间内, 圆形喷灌机可能有两种运行状态: 一是机组不行走直至最末喷头开始喷洒化学液; 二是机组行走与第一个喷头开始喷洒化学液几乎同步开始进行。实际运行时, 多采用后者。在首末喷头喷洒化学液的时间段内, 输水管各喷头开始喷洒化学液并不同步, 而在圆形喷灌机绕中心支轴旋转灌溉的扇形地块面积内, 只有部分面积得到化学液的有效喷洒, 而另一部分面积只接受到水。

圆形喷灌机喷洒化学液时, 一般百分率计时器设定值为 100%。假设各塔架同步行走, 输水管近似保持直线状态。则在输水管充化学液时间内, 输水管最末喷头已行走的弧长距离为

AB = U \cdot T_N \tag{11}

式中 U——百分率计时器设定值 100% 时的塔架车行走线速度。

此外在时间 T_N 内, 圆形喷灌机已灌溉的扇形地块面积 F 表示为

F = \frac{L}{2} U \cdot T_N \tag{12}

设 X = 1, L = N \cdot a_0 将式(8)代入式(12), 则扇形灌溉面积 F 为

F = \frac{1}{2} \frac{a^2 A N}{Q_0} \sum_{j=1}^N \frac{1}{2k-1} \tag{13}

每个喷头的有效喷洒面积可表示为

F_i = a \cdot U \cdot T_i \tag{14}

将式(7)代入式(14), 则在时间 T_N 内, 圆形喷灌机扇形灌溉面积内喷水面积(没有喷洒化学液的面积)F_1 为

F_1 = \sum_{i=1}^N F_i = \frac{a^2 A U}{Q_0} \sum_{j=1}^N \sum_{k=j}^N \frac{1}{2k-1} \tag{15}

面积 F_1、F 与圆形喷灌机塔架车行走速度、输水管规格型号、喷头间距及入机总流量有关, 但 F_1/F 之比只与喷头数有关。当输水管布置喷头总数 N = 80 ~ 200 时, F_1/F = 0.4919 ~ 0.4226, 表明圆形喷灌机喷洒化学液时, 在充化学液的时间 T_N 内约 1/2 的扇形面积不能得到有效的化学液喷洒。

3.3 应用实例

标准型国产 DYP-400 圆形喷灌机输水管长 400 m, 内径 D = 159 mm。假设第一个喷头与中心支轴距离和相邻喷头间距均为 2.5 m, 入机总流量 Q = 160 m^3/h, 输水管布置喷头总数 N = 160, 塔架车行走线速度 U = 2 m/min。根据式(7)得到输水管各喷头的洒水时间, 见图 2 所示, 由此可知输水管充化学液时间 T_N = 568 s。根据式(13)、(15)可求出圆形喷灌机开始喷洒化学液时, 灌溉的扇形面积内有效喷洒化学液面积和无效喷洒化学液面积(洒水面积), 见图 3 所示。

4 正确操作步骤

为解决圆形喷灌机启闭时段内喷头喷洒化学液不同步的问题, 提高喷洒均匀性, 提出以下正确操作步骤:

- 1) 启动供水主泵, 向喷灌机输水管充水, 喷灌机不行走;
- 2) 当最末喷头开始喷水时, 喷灌机开始行走, 同时

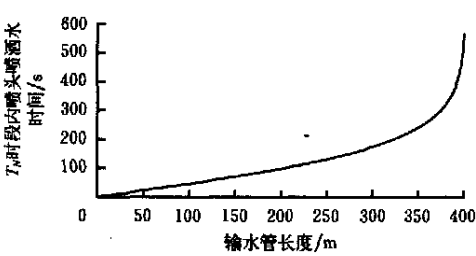


图 2 在 T_N 时段内输水管各喷头洒水时间与中心支轴距离的关系

Fig. 2 Time of applying water of each sprinkler versus distance from the sprinkler to center pivot during time of T_N

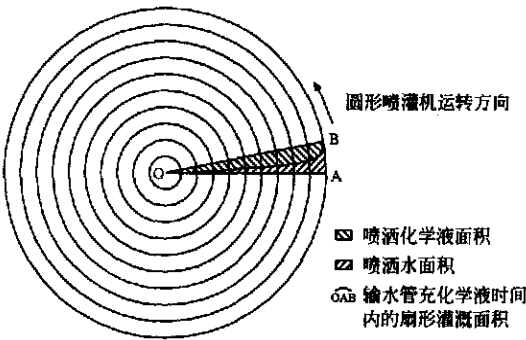


图 3 圆形喷灌机喷洒化学液的扇形面积示意图

Fig. 3 Schematic drawing of the fan-shaped chemigation area applied by the center pivot system

启动化肥液注射泵, 并记下喷灌机的初始位置;

- 3) 喷灌机旋转一圈后, 回到初始位置时, 关闭注射泵, 供水主泵继续供水, 喷灌机继续行走;
- 4) 经过输水管充化学液时间后, 供水主泵停机, 喷灌机继续行走;
- 5) 所有喷头停止喷水, 喷灌机停止行走。

上述操作步骤既可以手动控制, 也可对目前圆形喷灌机的电控系统进行适当改进, 实现自动控制。在圆形喷灌机开始工作时得不到化学液有效喷洒的近 1/2 扇形面积, 由喷灌机旋转一圈后重叠喷洒来弥补。理论上分析, 冲洗输水管所需时间恰好等于输水管充化学液的时间, 而且冲洗输水管时喷洒化学液面积等于开始喷洒时的净洒水面积。通过圆形喷灌机重叠喷洒后, 提高了灌溉面积内喷洒化学液的均匀性。

5 结论

- 1) 推导了圆形喷灌机输水管充化学液时间及该时段内各喷头洒水时间的计算公式, 表明各喷头洒水时间与入机总流量 Q_0、喷头间距 a、输水管截面积 A 及喷头数 N 有关。从理论上证明了圆形喷灌机输水管布置喷头总数为 80 ~ 200 时, 在输水管充化学液时间内的有效喷洒化学液面积约占总灌溉扇形地块面积的 1/2。
- 2) 为提高圆形喷灌机喷洒化学液的均匀性, 提出了特定启闭时段内的正确操作步骤。

[参 考 文 献]

[1] 康绍忠, 蔡焕杰, 冯绍元 现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 1- 6

[2] 金宏智, 何建强, 钱一超 变量技术在精准灌溉上的应用[J]. 节水灌溉, 2003, (1): 1- 3

[3] The American Society of Agricultural Engineers Test procedure for detemining the unifomity of water distribution of center pivot and lateralmove irrigation machines equipped w ith spray or sprinkler nozzles[S]. A S A E S436 1. St Joseph, M ichigan, 2001.

[4] The irrigation A ssociation Chem igation [R]. A rlington, V irginia, 2000, 92- 97.

[5] Delar D R, Eisenhauer D E. Travel time for chemicals in an irrigation system [J]. Transactions of the A S A E, 1983, 26(2): 495- 496

[6] Buttemore G W, Eisenhauer D E. Calculation of chem ical flushing times in center pivot irrigation systems [J]. Transactions of the A S A E, 1989, 32(4): 1193- 1196

[7] 严海军, 金宏智 圆形喷灌机末端出流多口系数的研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(5): 65- 68

Effect of start/stop time on unifomity of chem igation for center pivot

Yan Haijun¹, Jin Hongzhi², Wang Fujun¹

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;
2. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Center pivot systems usually use proportional method for chem igation. The unifomity coefficient of chemical applied can be calculated using the modified fomula of Heemann and Hein. When chem igation starts or stops, the chemical applied by the sprinklers along the lateral is not unifom, which will result in a bad unifomity in the chemical application area. A new mathematical equation, for calculating the amount of net water applied by each sprinkler between the time interval of the first sprinkler and the last one beginning to apply chemical, is proposed in this paper. By using the developed equation, a derived result indicated that as the total number of the sprinklers along the lateral ranges from 80 to 200, the effective chemical area is about one half of the total fan-shaped irrigated area during the time interval. In order to improve the chem igation unifomity, a proper procedure of operating the center pivot is presented.

Key words: center pivot; chem igation; unifomity coefficient; start/stop time