改变喷头喷洒轨迹的力学途径*

张社奇, 刘淑明, 韩维生, 钱克红
(西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘　要]　利用流体力学原理, 针对园林工程的多途径喷洒问题, 分析了水头、管道截面积、出射角对流速和轨迹的影响, 提出了改变喷头喷洒轨迹的力学方法和途径。

[关键词]　喷灌; 喷洒轨迹; 园林工程
[中图分类号]　O 35　　[文献标识码]　A　　[文章编号]1000-2782(2001)04-118-04

随着我国政府和人民对生态环境建设的重视, 各种园林绿化工程得到了实施, 并产生了积极的作用。然而, 现有的喷灌设备不能完全满足园林工程的需要, 诸如很多的方形绿化地仍然使用喷洒轨迹为弧形的喷洒龙头, 既浪费了水资源, 又使园林景观受到影响[1~3]。面对多途径喷洒的工程需求, 本研究主要以弧形轨迹改变为方形轨迹为研究对象, 依据流体力学原理, 提出了改变喷头喷洒轨迹的力学方法和途径。

1　水头对流速的影响

改变水头的途径一般有两种: 一是利用水塔提升水头; 二是采取机械加压, 如无塔自动上水器等。其基本原理是, 前者的压强变化是由高度差所引起, 后者则是采取机械加压的方法实现压强和速度的变化, 两者总的力学效应是相同的。由这两种方法获得的压强差必将对不同高度上的流速产生一定作用, 但并非全部, 因为一般的流速值还与输水管道的面积有关[4]。本文根据连续性原理和伯努力方程[5], 讨论不同情况下的流速变化。

1.1　垂直影响

如图 1a, b, c 所示, 所取面积为等效截面积, 若选取不同高度和不同断面积的同一流线上两点, 图 1a 则为上下截面积相同的情况, 取流线两点 A, B, 由于水流稳恒, 流速、面积均相同, 压强满足

$$P_B - P_A = \rho g (H_1 - H_2), \tag{1}$$

式中, P_A, P_B 为所选截面的压强, ρ 为水的密度, H_1, H_2 为两截面的高度。

(1) 式表明, 截面积相同时, 压强变化与静止流体相同。图 1b 为上部截面积大于下部的情况, 图 1c 为上部截面积小于下部的情况。两种情况应满足以下关系:

$$\begin{gathered} V_3 S_3 = V_4 S_4, \\ V_5 S_5 = V_6 S_6, \\ P_3 + \frac{1}{2}\rho V_3^2 + \rho g H_3 = P_4 + \frac{1}{2}\rho V_4^2 + \rho g H_4, \\ P_5 + \frac{1}{2}\rho V_5^2 + \rho g H_5 = P_6 + \frac{1}{2}\rho V_6^2 + \rho g H_6。 \end{gathered} \tag{2}$$

式中所有的 V, S, P, H 分别表示各截面处的流速、截面积、压强和高度, ρ 为水的密度。

换言之, 当输水管道上下截面积相同时, 上下部的流速相同, 压强只取决于高度差; 当上下截面积不同时, 在水塔供水过程中存在两种情况, 一是在用水高峰期, 下部各分管道面积总和一般均大于上部, 致使上下部水流速度降低, 水压不足; 二是在用水低潮时, 下部各分管道面积总和小于上部, 导致上下部水流速度增高, 水压充足。

1.2　水平影响

如图 1d, e 所示, 取同一高度、不同截面积的同一流线上两点, 图 1d 为截面积相同的情况, 其压强、面积、流速均相同。图 1e 表示截面积不同的情况, 流线上两点的压强、流速、面积满足下列公式:

$$V_8 S_8 = V_9 S_9,$$

$$P_8 + \frac{1}{2}\rho V_8^2 = P_9 + \frac{1}{2}\rho V_9^2。$$

* [收稿日期]　2000-10-25
[基金项目]　西北农林科技大学科研基金资助项目
[作者简介]　张社奇(1964-), 男, 陕西扶风人, 副教授, 主要从事环境物理和生物物理研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

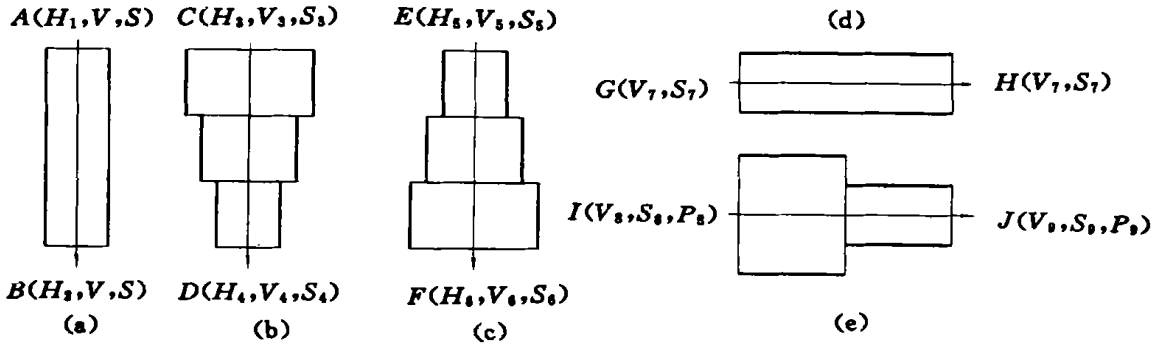

图 1　压强对流速的影响

Fig. 1　The influence of the pressure on the current speed

2　喷头喷洒轨迹的变化特征

由于空气阻力受地域环境影响因子较多, 在研究一般的运行轨迹时, 可忽略(暂不考虑, 或就具体问题而定)空气阻力的影响。由力学原理可知[3], 流体的运动只受到重力的作用, 形成了抛物线轨迹。假设喷头处的水速为 V, 出射角为 φ, 以流体喷出的瞬间开始记时, 时间记为 t, 则射程 x 与喷洒高度 y 应有下列关系:

$$x = V\cos\varphi t,$$

$$y = V\sin\varphi t - \frac{1}{2}gt^2。\qquad (3)$$

图 2 给出了 $V = 10\,\mathrm{m/s}$ 的轨迹图。图中各线代表与水平夹角为 15°, 30°, 45°, 60°, 75° 的对应抛洒距离和高度。

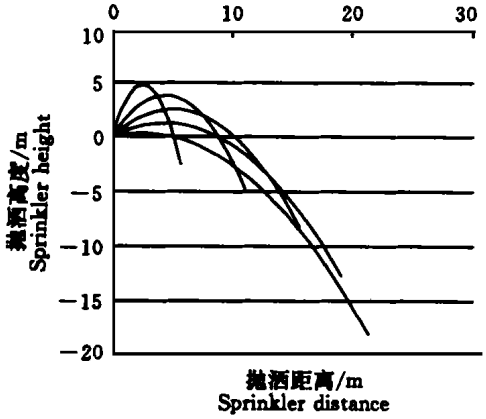

图 2　$V = 10\,\mathrm{m/s}$ 时的抛洒轨迹

Fig. 2　The chart of the spary orbit at $V = 10\,\mathrm{m/s}$

由图 2 可知, 在一定的流速情况下, 抛洒轨迹具有两个明显特征: 一是抛洒轨迹与倾角有关, 若在喷头高度上, 出射角等于 45 时射程最远; 二是抛洒轨迹与喷头高度密切相关, 当喷头高度增加时, 小角度的喷洒距离和能力增大, 因此, 实际的喷灌设备应具有调节高度的能力。

3　改变喷头喷洒轨迹的力学途径

从以上分析可以看出, 影响喷洒轨迹的因素主要有 3 个, 即水压、管道截面积、出射角。现以旋转式龙头为例, 探讨实现方形喷洒轨迹的力学途径。

一般的旋转式喷头的喷洒轨迹为圆弧形, 要改变其轨迹, 必须通过调节水压、管道截面积、出射角才能实现方形喷洒轨迹。但是调节水压的方法在喷头的设计上不很实用, 因为它将带给设备很大的体积和费用。所以只能采取后两项调节来完成, 若考虑实际喷头的总体设计要求, 本研究将通过改变管道头的截面积实现圆弧轨迹向方形轨迹的变化, 通过出射角的变化完成所有面积的喷洒。

图 3 为圆弧轨迹变为方形轨迹的原理图。其中的圆形轨迹表示一个旋转式喷头的一般轨迹, 方形代表改变后的轨迹。在图 3 中选取 AEB 圆弧作为样本, 研究使其成为 $AGFB$ 的直线形式的方法。图 3 中 OG 代表任意一个时刻的喷洒距离, OG 的长度是随时间变化的, 即要求其起点为 O, 而终点 G 始终在 AB 直线上运行, 即其长度随着旋转角度的变化规律为

$$L_1 = R\cos\frac{\pi}{4}/\cos\alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}R/\cos\alpha,\qquad (4)$$

式中, L_1 为长度; α 为旋转角; R 为旋转半径(最大喷洒距离)。

要完成以上的变化规律, 就意味着喷头的出射速度变化也将呈现的变化规律为

$$v = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0/\cos\alpha,\qquad (5)$$

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

式中, v 为旋转角为 α 时的速度; v_b 为最大喷射速率。

根据公式(2)和(5)可知, 通过改变管道截面积则能实现以上的轨迹变化, 且面积的变化规律为

$$s = \sqrt{2}\, s_0 \cos \alpha, \tag{6}$$

式中, s_0 为流速最大时的管道横截面积; s 为旋转角为 α 时的截面积。

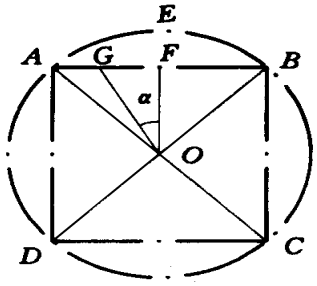

图 3 轨迹变化图

Fig. 3 Chart of the variation of the orbit

在图 4 中, 虚线部分表示管道出水的截面积, OX 线的端点 X 将在竖直方向匀速运动, 这种匀速运动是在旋转龙头的旋转带动下经过连杆而获得的, 这里相当于加装了一个遮挡片, 在技术上很容易实现。因此, 本文不再讨论连杆装置, 而研究在这种匀速状态下的面积变化规律。由于圆形面积的大小与张角成正比, 则图 4 中的截面积变化完全取决于角度 b 的变化规律, 再加之 X 点的匀速运动, 最终使得管道出水的截面积变化规律与所要求的(6)式吻合。

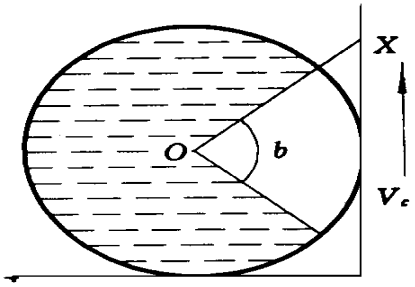

图 4 管道截面控制

Fig. 4 The control chart of the pipe section

4 全方位灌溉的轨迹实现

在实施灌溉工程时, 前面指出了轨迹由弧形向方形的改变, 但未能给出对绿化地的整体扫描路径, 下面将研究实现各个区域整体抛洒的方法。

由于喷头的结构和组成要考虑其系统性, 前面通过改变管道截面积达到了轨迹由弧形向方形的变化, 这里以变化喷头的仰角来完成对所有区域的扫描。图 5 是笔者在不考虑喷头设置高度的情况下, 依照上面讨论的抛洒轨迹的变化特征, 获得的不同仰角下的扫描轨迹。图的几何中心为喷头的位置, 可以看出, 仰角越小, 其扫描路径较密, 这也是射程远的区域, 在距离喷头近的区域, 其扫描路径稀疏, 如果喷头喷洒过程对流体的散失有影响, 这样的扫描结果也符合实际要求, 因为在短距离的区域所获得的散失流体较多, 抵消了扫描路径稀疏的负面影响。因此, 采用匀速改变仰角的方法, 一方面可以实现整个区域的喷灌要求, 另一方面又便于喷头装置的整体设计。

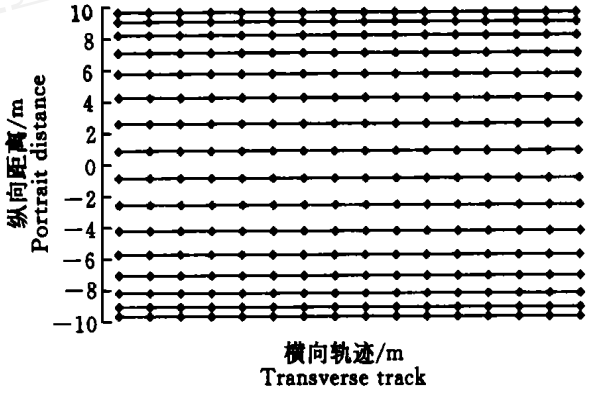

图 5 仰角与扫描路径的关系

Fig. 5 The relationship between the verticle angle and the scan path

5 结论与讨论

1) 改变喷头喷洒轨迹的途径有 3 种, 即改变水压、管道截面积和喷头出射角(仰角)。

2) 实际喷头喷洒轨迹的设计应选用较为实用的方法, 即通过遮挡管道截面积实现流速变化, 进而达到轨迹的变化; 通过旋转带动喷头出射角(仰角)的变化, 实现全方位的喷洒, 而使整个绿化地得到均匀灌溉。

3) 在方形绿化地使用的喷头, 应将喷头的遮挡片作成扇性, 并使其与旋转的连杆相配合, 组成一个整体, 实现截面积的变化呈余弦规律进行, 达到旋转喷头的弧形轨迹向方形轨迹的转变。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[参考文献]

[1] 李英能. 对我国喷灌技术发展若干问题的探讨[J]. 节水灌溉, 2000, (1): 1- 3.

[2] 刘海军, 龚时宏. 喷灌水滴的蒸发研究[J]. 节水灌溉, 2000, (2): 16- 19.

[3] Silva L. G. Modeling evaporation and microclimate changes in sprinkler irrigation: Ⅰ model formation and calibration transaction of ASAE [J]. Jour of Irrigation, 1988, 31(5): 1481- 1486.

[4] 马文蔚. 物理学(上册) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[5] 王国栋. 大学物理学[M]. 西安: 世界图书出版公司, 1998.

[6] 张三慧. 力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.

The hydromechanics way to change the nozzle sprinkling orbit

ZHANG She-qi, LIU Shu-ming, HAN Wei-sheng, QIAN Ke-hong

(*College of Life Sciences, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: This article analyzed the influences of water pressure, pipe section and out angle on the current speed and the orbit according to the principle of hydromechanics. The mechanics methods and ways of the nozzle sprinkling orbit were also studied.

Key words: sprinkler irrigation; spray orbit; garden engineering

欢迎订阅 2002 年《吉林农业科学》

《吉林农业科学》是吉林省农业科学院主办, 国内外公开发行的综合性农业科技期刊。主要报道最新农业科技成果、研究报告、学术论文、专题综述和科研动态等。辟有作物育种、栽培、土壤肥料、植物保护、园艺、畜牧兽医和国外农业等栏目。适合广大农民朋友、农业科技研究人员、农业生产管理人员和农业院校师生阅读。

《吉林农业科学》为双月刊, 16 开本, 56 页。每期定价 4. 00 元, 全年 24. 00 元。邮发代号 12- 71, 全国各地邮局均可订阅。如在邮局订阅有困难或已错过订阅时间, 也可从邮局汇款与本刊编辑部直接订阅, 汇款时请注明订阅年份和期次, 款到立即发刊。

地址: 吉林省公主岭市西兴华街 6 号《吉林农业科学》编辑部

电话: (0434) 6257384

邮政编码: 136100

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net