

168 径圆形喷灌系统均匀喷灌的喷头研究

安金龙, 李玉花, 马振平, 杨凡, 齐树亭 (河北工业大学, 天津 300130)

摘要 以圆形喷灌机为模型, 通过数学计算并结合 ANSYS 仿真软件, 对 168 径圆形喷灌系统的喷头进行研究。在喷头等间距的情况下, 研究了在给定进口压力下, 达到均匀灌溉时各喷嘴等效半径的大小; 研究了在给定等效喷嘴大小的条件下, 随着进口压力变化灌溉均匀度的变化; 研究了在改变第一喷嘴大小时, 达到均匀灌溉桁架上剩余等效喷嘴大小的变化趋势。

关键词 圆形喷灌机; 仿真研究; 均匀灌溉

中图分类号 S274.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)33-11975-03

The Research of Nozzle Size for Uniform Irrigation in 168 Diameter Center Pivot Sprinkler System

AN Jin-long, LI Yu-hua, MA Zhen-ping et al (Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

Abstract Based on center pivot sprinkler model, through mathematical calculation and combined with ANSYS simulation software, under the condition of nozzle evenly spaced, we first studied on the equivalent radius under a certain pressure to achieve uniform irrigation. Secondly, we studied on sprinkler irrigation uniformity variations with the variation of the inlet pressure under the given equivalent nozzle size. Finally, we studied on the change trend of surplus equivalent nozzle size on truss under uniform irrigation when the first nozzle size is changed.

Key words Center pivot sprinkler; Simulation study; Uniform irrigation

当前中国的农田、大棚、园林的灌溉仍然主要以人工灌溉为主^[1], 既浪费人力物力, 又由于人为因素对农作物的生长产生不利影响。我国从 1976 年开始研究利用电动圆形喷灌机, 并以灌溉均匀度作为衡量喷灌系统的重要指标之一。影响灌水均匀度有多种因素, 包括灌水部件性能、跨间启动角、行走速度以及环境等^[2]。该文以提高电动圆形喷灌机的灌水均匀度为目标, 对沧州华雨喷灌装备制造有限公司生产的电动圆形喷灌机进行了深入研究。

1 几种喷灌均匀度的测定方法

对于喷灌均匀度的计算方法, 国际上惯用的有以下几种。

(1) 修正简易分析法。Christiansen 于 1942 年给出针对在空气中完全静止并匀速转动的喷头的 6 种水量分布图形, 他第一次提出了应以均匀度来选择喷头组合的间距。但是这种方法不完善, 且对计算手段和试验条件有限制。

(2) 电子计算机模拟特性曲面法。此方法是通过同时考虑支管方向、喷头沿支管的间距、喷头组合方式和支管间距这 4 个参数并满足不发生漏喷以及组合后均匀度应大于设计要求值几个条件来实现计算的。

(3) 通过直接叠加法、函数叠加法与差值叠加法来计算组合均匀度, 但这种方法计算量相当大。

该文采用计算机软件 Ansys Workbench 建立喷灌系统的简要三维模型, 并用数学方法推导喷灌均匀度的计算公式, 通过仿真, 对所建立的模型进行分析设计实现均匀灌溉。

2 简化圆形喷灌机的模型结构及分析

2.1 几种大型喷灌机的性能 大型喷灌机习惯上是指工作功率大于 37.3 kW, 控制灌溉面积超过 26.7 km² 的机型。这一类型农机具有自动化程度高, 单位能源消耗少, 生产效益

高等特点。大型喷灌机主要有平移式喷灌机、滚移式喷灌机、绞盘式喷灌机和圆形喷灌机这 4 种类型。

2.1.1 平移式。 平移式喷灌机又称直线连续自走式喷灌机, 其特点是呈矩形喷洒, 没有地角不能灌溉的问题。其特点是不需要考虑喷头大小的因素, 设置为相同的大小就可以实现均匀灌溉的目的, 其不足之处是爬坡能力低, 导向难度增加, 供水系统的难度增大, 不能实现各种地形的喷灌^[3]。

2.1.2 滚移式。 滚移式喷灌机通过安装在每节喷灌支管上的大滚轮进行定点喷灌, 该喷灌机的优点是单位灌溉面积成本低, 移动比较方便; 主要缺点是不能用于较高的作物。

2.1.3 绞盘式。 绞盘式喷灌机利用液压或水压驱动绞盘旋转牵引远射程喷头边牵边喷洒, 该喷灌机的主要优点是单位灌溉面积成本低, 转移方便; 缺点是大多配备了高压喷头, 使得能耗较高, 灌溉水的损失较大; 并且作业时需要在机行道, 占用耕地较多。

2.1.4 圆形。 圆形喷灌机因其喷洒轨迹成圆形而得名, 其喷灌按时针旋转式围绕一中心支轴运行, 亦称为中心支轴喷灌机。这种喷灌机喷头配置方法主要有两种, 一种改变喷头间距法, 即从中心支轴开始, 沿着机组长度方向的喷头间距从大到小逐渐变化; 另一种就是等间距法(文章中讨论的), 喷头的直径由中心向外逐渐增大的方法, 便于批量规模生产, 在生产实践中, 通常采用等间距布置灌水部件^[4]。

圆形喷灌机在上述几种喷灌机中发展最为成熟, 使用效果最好, 在国内应用越来越广泛, 展示出了旺盛的市场生命力^[6]。但由于该技术目前在国内尚未普及, 在操作和使用保养的相关技术方面还需进一步提高, 所以按照华雨装备制造有限公司的技术要求, 研究在等距喷头的环境下对喷灌系统均匀喷灌进行了研究。

2.2 圆形喷灌机喷灌模型简化 对于圆形喷灌机, 假设有喷灌系统, 其为带轮子的长水管(如图 1 中的 MN)和在长水管上等距安排的喷头 A₁, A₂, ..., A_n 所组成。MN 中 M 点固定, MN 以 M 为圆心匀速旋转(图 1), 喷灌机的桁架长为

基金项目 河北省科技厅重大技术创新项目(12220801Z)。

作者简介 安金龙(1970-), 男, 天津人, 副教授, 博士, 从事设施农业机械装备、精准农业与农业自动化研究。

收稿日期 2014-10-11

MN 为 50 m,进水口压力稳定,每一个喷头 A 都能喷灌在其中心半径 2.5 m 的圆中。

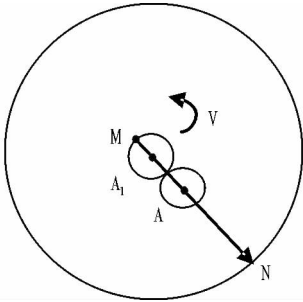


图1 圆形喷灌机喷灌模型示意图

对模型进行简化处理:①不考虑一块地同时被两个喷头所喷的情形;②设相邻的喷头间距为 d(图 1 中显示,喷头 A₁、A₂ 的坐标为 A₁(0,0),A₂(0,d);③喷灌机绕圆心 M 匀速转动,忽略对管内压强产生的影响。

3 仿真方法与数学公式推导

3.1 仿真方法 运用 ANSYS 公司推出的仿真软件 Workbench 建立圆形喷灌机的三维模型,并运用 Workbench 中的 Fluent 软件对圆形喷灌机的输水管和喷头处的压力、压强和流量进行仿真模拟^[5],通过对每个喷头添加监视器,能够直观地看到输水管内压强随输水管的变化而变化,并且也易于通过改变喷头开口的大小而及时地观察到各个喷头压强的变化,进而得出出水量的多少,再经过数学公式计算单位面积的流量,分析当前工作状态下喷灌机是否达到均匀喷灌。

3.2 计算公式与推导 为了便于分析,现假设管内各个出口压强为相等值,以喷头 A₁、A₂ 为例,假设 A₁、A₂ 喷头在单位时间内的出水量分别为 Q₁、Q₂,则:

Q1 / (pi * R1^2) = Q2 / (pi * (R2^2 - R1^2)) (1)

从而得到

Q1 / Q2 = R1^2 / (R2^2 - R1^2) (2)

又有流量计算公式为:

Q = mu * A * sqrt(delta P / rho) (3)

式中:Q——喷头流量,m³/h;μ——流量系数,可取 0.85~0.95 估算值;A——喷嘴过水断面面积,m²;ΔP——喷嘴过水断面相对压强,kPa;ρ——流体密度,kg/m³。

通过上述公式分析,可以初步得出在等间距、各个喷头处压强相等的情形下,喷头出水流量与等效喷孔面积成正比关系。由上式可推导出,初始每个等效喷孔半径之比为 1:√3:√5:√7……:√n,由此对输水管每个喷头进行设计初步的仿真。通过 fluent 软件仿真可以得到每个喷头的压强值 P(即 ΔP),再由公式(3)可以计算出每一个喷头在单位时间内喷出水的流量。通过公式(1)进行验证,计算在此喷头开口条件下是否进行均匀喷灌,如果答案是否定的,则由此得出的各个喷头的流量数值对等效喷孔半径进行调整,通过迭代的方法,使误差尽可能减小,最终得到所要实现的均匀灌溉的数据。

4 仿真研究结果与分析

4.1 喷灌机的三维模型建立 按公司设计的圆形喷灌机参数,通过在 Workbench 中建立喷灌机的简易三维模型,按式(1)、(2)设定等效喷孔大小为初次迭代时的半径,之后对模型进行网格划分,添加约束条件并进行后处理、最后进行数据统计,经过多次迭代,最终达到单位面积流量相同。

4.2 给定压力下达到均匀灌溉时等效喷孔的大小 将进口压力设为设计要求的 3 kg,研究了将第一个等效喷孔大小分别设为 0.3、0.4 和 0.5 cm 3 种情况,桁架所剩喷孔大小按计算所设定的比例 1:√3:√5:√7……:√n 进行初次设定,在 Fluent 中进行迭代仿真,并根据公式(3)对等效喷孔半径进行修正,经过多次迭代,达到预期喷灌均匀的目的。

多次迭代达到单位流量相同时统计的等效喷孔半径数据见表 1。

表1 迭代数据统计

喷口 序号	半径 0.3 cm	单位流量 m³/(h·m²)	半径 0.4 cm	单位流量 m³/(h·m²)	半径 0.5 cm	单位流量 m³/(h·m²)
1	0.30	6.49	0.40	10.0	0.50	13.6
2	0.51	6.50	0.68	10.0	0.88	13.5
3	0.65	6.50	0.86	10.2	1.14	13.5
4	0.76	6.52	0.99	10.1	1.36	13.7
5	0.85	6.51	1.10	10.0	1.55	13.5
6	0.93	6.49	1.18	10.0	1.72	13.5
7	1.00	6.50	1.26	10.0	1.88	13.6
8	1.06	6.52	1.34	10.0	2.03	13.6
9	1.11	6.50	1.40	10.1	2.17	13.6
10	1.16	6.51	1.47	10.1	2.30	13.6
11	1.21	6.49	1.52	10.1	2.42	13.6
12	1.26	6.51	1.58	10.1	2.53	13.6
13	1.31	6.50	1.63	10.1	2.62	13.5
14	1.35	6.50	1.68	10.2	2.72	13.6
15	1.39	6.51	1.73	10.2	2.80	13.6
16	1.43	6.50	1.78	10.2	2.87	13.6
17	1.47	6.49	1.83	10.2	2.94	13.6
18	1.51	6.49	1.87	10.2	3.00	13.7
19	1.55	6.49	1.92	10.2	3.07	13.7
20	1.60	6.49	1.97	10.2	3.14	13.6

为了方便在同一图中观察各个量的变化趋势,将压强和等效半径数据扩大 10 倍,所得单位流量、等效喷孔半径及各喷头处的压强曲线如图 2~4。

由仿真数据和所得曲线图可知,在喷头等间距情况下,要想实现均匀灌溉,必须离中心越远喷口越大;由曲线也可以得出各个喷口处的压强不是总是成线性变化的,同时单位面积流量大小随等效喷孔大小以及各孔处压强的变化而变化;随着首孔等效喷孔半径的增大,后续各等效喷孔等效半径的分散性明显增大。

由试验结果可以知道当进口压力一定时,有多组等效喷孔可以实现均匀灌溉,可以根据主水管的尺寸,选择合适的一组喷孔。

4.3 同一组等效喷孔在进口压力发生波动时对均匀灌溉的影响 在进口压力为 30 N、第一个等效喷孔大小为 0.3 cm

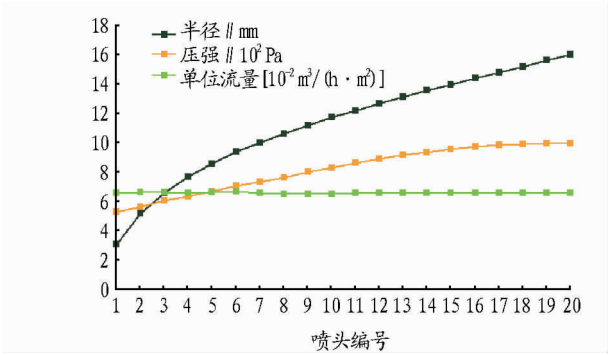


图2 首孔等效半径为 0.3 cm 各个喷口处单位流量及压强

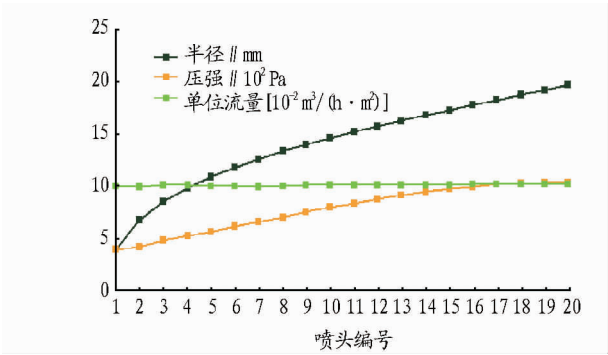


图3 首孔等效半径为 0.4 cm 各个喷口处单位流量及压强时,在达到均匀灌溉的条件下,当进口压力分别波动到 29、28、27、26 和 25 N 时,仿真所得数据如表 2 所示,所得曲线如图 5、6 所示。

表 2 不同进口压力下单位面积流量的迭代数据统计

喷孔 序号	进口压力 //N					
	30	29	28	27	26	25
1	6.49	6.36	6.25	6.14	6.04	5.93
2	6.50	6.32	6.26	6.15	6.00	5.89
3	6.50	6.36	6.29	6.18	6.00	5.90
4	6.52	6.34	6.29	6.17	5.96	5.86
5	6.51	6.37	6.37	6.22	5.98	5.88
6	6.49	6.41	6.44	6.27	6.00	5.90
7	6.50	6.36	6.40	6.23	5.93	5.83
8	6.52	6.35	6.39	6.23	5.90	5.81
9	6.50	6.34	6.39	6.22	5.88	5.79
10	6.51	6.34	6.40	6.23	5.88	5.79
11	6.49	6.34	6.40	6.24	5.88	5.79
12	6.51	6.35	6.41	6.25	5.87	5.79
13	6.50	6.34	6.40	6.25	5.86	5.78
14	6.50	6.33	6.40	6.24	5.85	5.77
15	6.51	6.34	6.41	6.25	5.86	5.77
16	6.50	6.33	6.40	6.24	5.85	5.76
17	6.49	6.32	6.39	6.23	5.84	5.75
18	6.49	6.33	6.40	6.24	5.84	5.75
19	6.49	6.34	6.40	6.24	5.84	5.76
20	6.49	6.34	6.40	6.24	5.84	5.76

由图 5 可以看出,在不同进口压力条件下,可以用同一组喷孔来实现单位面积的流量相同,当进口压力变小时,所得单位面积流量降低,这是由于喷口各处的压强降低引起

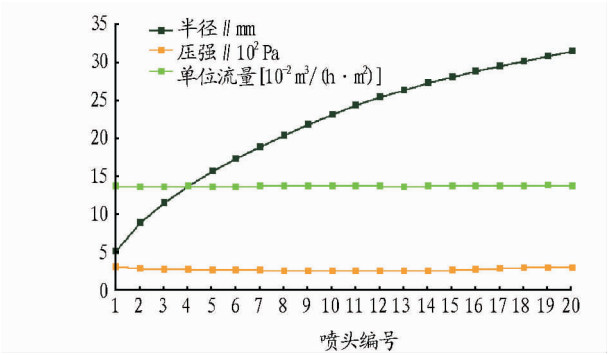


图4 首孔等效半径为 0.5 cm 各个喷口处单位流量及压强

的;由于这组喷孔数据是在进口压力为 30 N 时达到单位面积流量相同确定的,因此在其他压力下会有一定误差。但从图 5 可以看出,当进口压力从 30N 波动到 25N 时,单位面积流量的误差小于 0.5%。所以,进口压力在一定范围内波动时,对整个区域的灌溉均匀度影响不大。

4.4 在给定压力下达达到均匀灌溉时,不同等效喷孔系列喷孔半径的变化趋势 由图 6 曲线可以看出,在不同等效喷孔半径、相同压力情况下,达到单位面积流量相同时,第一个等效喷孔半径越小,桁架上各个等效喷孔半径的变化趋势越缓,单位面积流量也越小。所以针对不同的喷溉系统,可以根据实际情况,选择不同的喷孔系列。

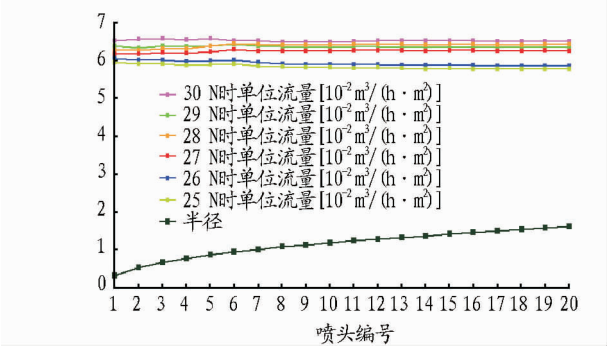


图5 同一组等效喷孔在进口压力发生波动时对均匀灌溉的影响

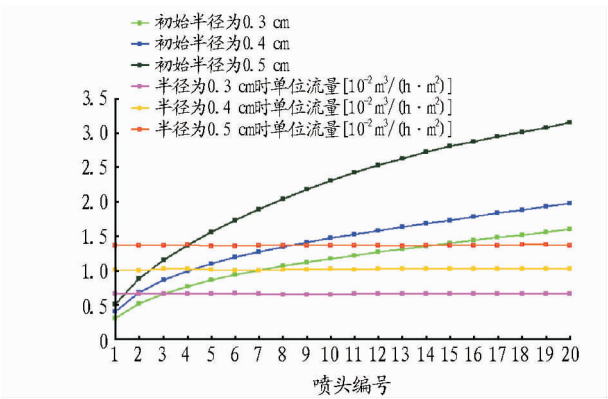


图6 相同单位流量下不同等效喷孔系列喷孔半径的变化曲线

5 结论

(1)对圆形喷灌机而言,在进水口压力不变情况下,当喷头等距时,确定首个喷孔等效半径后,都能找到相应的等效喷孔大小系列,使得整个覆盖区域单位面积流量达到相等。

(下转第 11985 页)

一;第二,堆放紧密影响加热环境通风,导致加热对象下风向方向受热面明显偏低,进而影响升温速率。

3.3 窑体内温度场对温度判定的影响 窑内温度场是不均匀的,排除包装堆放的影响,窑内温度场受循环风速的影响呈现一定规律,一般情况下以热源为温度的最高点,按照风的循环方向呈下降趋势,若窑内风向为双向循环,温度随风向改变也会发生变化,双向循环的热处理窑内温度场受包装摆放的影响而呈现不规则情况,这对样木的摆放制造了难度。不过一般来说,窑内的温度场内的几个特征点基本上可以代表着最高与最低温度,分别是循环风口方向的近地面与顶部,中心位置近地面、中心点与顶部,两侧的底部、中心与顶部。不同窑体受地面、墙面、库门等保温条件以及循环风机等影响因素,温度场会有差异,这需要企业自己通过实测后对特征点进行记录,在实际生产中摸索。

4 结论

(1) 样木温度的测定。根据“3.1”中讨论结果得出具有代表性的样木温度判定位置只需要控制在中心点附近即可,但建议将判定温度提高 5%,以确保处理过程和结果能够符合要求。

(2) 样木厚度的选择。根据“3.2”中的讨论,建议最低温度的判定样木不是与最厚的木质包装一致,而是应该选择整窑包装中堆放紧密的总厚度最大值作为样本,在厚度确定后还应该适当考虑含水率,材种密度等因素,这里可以参照使用该研究设计的木材中心温度记录仪向上取偶数的方法使用(即样本厚度是 5 cm 时,使用木材中心温度记录仪 6 cm 样木;若样本厚度是 6 cm,使用木材中心温度记录仪 8 cm 样木)。

(3) 样木位置的要求。样木的位置需要企业根据窑体实测温度场的情况选择低温点放置,这样才能保证在样木的最低温度达到标准要求的同时,窑内所有处理对象均符合标准要求,使得样木的读数具有实际判定意义。

(4) 判定方法的原则。样木厚度的选择是至关重要的,

(上接第 11977 页)

(2) 随着首个喷孔等效半径的增大,整个覆盖区域单位面积流量会有所增大,但等效喷孔系列的半径会变得更加分散,这是由于随着首个喷孔等效半径的增大,在进水口压力不变情况下,后续喷孔处压强会有所减小所致。

(3) 当进口压力发生波动时,对整个覆盖区域单位面积流量均匀度的影响不大,入口压力从 30 N 波动到 25 N 时,单位面积流量的最大偏差小于 0.5%,所以,允许进口压力有一定的波动。

样木选择厚度超过单一或者堆放紧密的厚度最大值向上取整或适当增加,在取整或适当增加后对木材的含水率、材种密度等参数可以忽略。当然最好选择材种密度大的作为样木,这样将更具有代表性;样木温度的测定探头放置在中心点附近即可,合理的误差范围显示的指示温度对处理的结果没有影响;样木放置的位置必须选择窑内风场的最低值处,这点非常重要,如果不能完全确定,可以在风场的基本特征点均放置样木,以温度最低的样木作为判定指示。

5 结语

对木质包装热处理最低温度判定提出了基本原则。在该原则下,样木的指示温度可以作为整批处理对象是否符合国际标准的判定依据,可以认为处理的结果会是令人满意的。如果原则中提到的几个方面有未达到,则认为样木的指示温度可以代表整批对象的处理结果是不科学的。因此,建议企业和监管部门应该重视国际标准执行过程中的判定方法和原则,这将对标准的执行起到重要的作用,同时也希望国际植物保护组织(IPPC)秘书处制定标准的时候能一并考虑到结果判定的原则和方法。

参考文献

- [1] SIMPSON W T. Estimating heating times of wood boards, square timbers, and logs in saturated steam by multiple regression[J]. Forest Products Journal, 2006, 56: 26-28.
- [2] 宋杰,许忠祥,王建斌,等. 太阳能结合辅助加热型节能热处理窑的理论设计[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(1): 99-103.
- [3] 詹国平,王新,李丽,等. 木质包装热处理国际标准对松材线虫有效性的试验研究[J]. 植物检疫, 2009, 23(4): 1-6.
- [4] 李一农,李芳荣,郑文华,等. 国外木质包装热处理除害失效原因分析[J]. 植物检疫, 2005, 19(5): 283-286.
- [5] 阎升,林何燕,张士才,等. 日本输华木质包装热处理现状及技术缺陷[J]. 植物检疫, 2003, 17(2): 127-128.
- [6] 陈其生,方丹阳. 试述木质材料热处理中心温度确定方法[J]. 植物检疫, 1999, 13(6): 346-348.
- [7] 詹国平,李丽,王跃进,等. 杨木板材干热处理时间预测模型的建立[J]. 植物检疫, 2008, 22(6): 337-342.
- [8] 戚龙君,宋绍祯,严振汾,等. 热处理杀灭木质包装中松材线虫的技术研究[J]. 植物检疫, 2005, 19(6): 325-329.

参考文献

- [1] 王瑗,盛连喜,李科,等. 中国水资源现状分析与可持续发展对策研究[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(3): 10-14.
- [2] 韩文鑫,吴普特,杨青,等. 喷灌水量分布均匀性评价指标比较及研究进展[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 172-177.
- [3] 仪修堂,窦以松,兰有才,等. 中心支轴式喷灌机喷头配置方法及其数学模型[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 117-121.
- [4] 严海军,姚佩佩,朱勇,等. 圆形喷灌机喷头配置技术与软件研究[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 84-88.
- [5] 王华,曹刚. 基于 ANSYS 的含液容器流固耦合模态分析[J]. 重庆科技学院学报, 2006(2): 67-69.
- [6] KINCAID D C. Application rates from center pivot irrigation with current sprinkler types[J]. Applied Eng in Agric, 2005, 21(4): 605-610.