

喷头组合间距、工作压力和布置形式对 喷灌均匀系数的影响

喻黎明, 吴普特, 牛文全

(中国科学院水利部水土保持研究所, 西北农林科技大学, 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 以 30PSH 喷头为例, 用正交方法分析了喷头的组合系数、工作压力、布置形式对喷灌均匀系数影响的强弱顺序, 其顺序为: 组合系数对均匀系数的影响要大于工作压力, 而工作压力对均匀系数的影响又大于布置形式。以及采用等腰三角形, 组合系数为 1.2R, 工作压力为 0.3 MPa 左右时能达到最佳的均匀系数。这些结论对喷灌工程设计有非常重要的指导意义。

关键词: 组合间距; 工作压力; 布置形式; 均匀系数

中图分类号: S274

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2002)02-0154-04

Influence of the Combination Distance, Work Pressure and Layout Form of Sprinkler Head on Uniformity Coefficient in Irrigation

YU Li-ming, WU Pu-te, NIU Wen-quan

(Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,
Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, NERC of Water Saving
Irrigation in Yangling, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: Taking the sprinkler head of 30PSH as an example, the method of perpendicularity is used to analyze the influence of combination distance, work pressure and layout form on uniformity coefficient in irrigation. The effect sequence is that combination distance is stronger than work pressure, and then is layout form. When the isosceles triangle layout is applied, combination distance is 1.2R and work pressure is 0.35 MPa, then the best uniformity coefficient will be got. These conclusions have very important guidance meaning to the engineering design of irrigation.

Key words: combination distance; work pressure; layout form; coefficient of uniformity

喷灌的均匀系数(C_u)是检测喷灌系统性能的一个重要指标,它是指在喷灌面积上水量分布的均匀程度。不均匀的喷灌,不仅会造成作物生长不齐,直接关系到喷灌作物的增产幅度和质量,而且会造成水洼、水流,甚至下渗过多而浪费。但要求过高的 C_u 又会造成能源的浪费和系统成本的提高。因此,选择合理的 C_u 具有很重要的实际意义。

目前,国内国外对喷灌 C_u 都有较深入的研究,包括对影响 C_u 各因子的研究,但多偏重于单因子对 C_u 的影响,虽然也有布置形式和组合系数对 C_u 的影响,但也是对制造已久而且基本被淘汰的喷头

进行研究。本文应用正交实验方法,用正交表安排实验次数,把组合系数、工作压力、布置形式置于一个正交表中来分析组合系数、工作压力、布置形式等组合因素对 C_u 的影响,同时又兼顾当地的气候条件和经济条件。

1 实 验

喷灌 C_u 与喷头结构、工作压力、喷头的布置形式、喷头组合系数、喷头转速的均匀性、竖管的倾斜

收稿日期: 2002-02-25

基金项目: 国家重大科技产业示范项目“渠灌类型区农业高效用水模式与产业化示范”(99-021-01-02); 中国科学院知识创新工程项目。

作者简介: 喻黎明,男,(1976-),湖南长沙人,研究生,主要从事水资源高效利用研究。

度、地面风速、坡度和风向等因素有关。但喷头的结构、喷头转速的均匀性、竖管的倾斜度、地面风速、坡度和风向这些因素不是主要因素,也不能对它有太多的人为改变。因此,对 C_u 的影响主要是布置形式、组合系数、工作压力这三个因素^[1]。喷头的布置形式有: 正方形、矩形、等边三角形和等腰三角形; 组合系数有: $1R \sim 1.3R$ (R 为喷头的射程) 不等; 而工作压力则应在喷头额定范围内。根据经验和喷头出厂性能说明表取各因素的四个水平(如表 1)。

本文通过对 30PSH 喷头(基本性能如表 3)正交方法就布置形式、组合系数、工作压力进行实验排

列, 然后通过试验测量, 得到不同情况下的 C_u , 填入表 2。

表 1 三种因素四个水平

处理	1	2	3	4
A 布置形式	正方形	矩形	等边三角形	等腰三角形
B 组合系数 R	1	1.1	1.2	1.3
C 工作压力 P/MPa	0.25	0.3	0.35	0.4

根据表 1, 本实验是 3 因素 4 水平的试验, 即 4^3 实验设计问题, 若只考虑各因子的本身效应(不考虑相互作用), 即选用水平数相同(等水平)正交表。可选用 $L_{16}4^5$ 的正交表(正交表中, 试验次数最少的表)。如表 2。

表 2 喷头实验正交表

	A	B	C	均匀性(C_u)试验结果		
	1	2	3	4	5	30PSH
1	1	2	3	2	3	76.4
2	3	4	1	2	2	65
3	2	4	3	3	4	81
4	4	2	1	3	1	74
5	1	3	1	4	4	75
6	3	1	3	4	1	78
7	2	1	1	1	3	83
8	4	3	3	1	2	86
9	1	1	4	3	2	80.2
10	3	3	2	3	3	81
11	2	3	4	2	1	80
12	4	1	2	2	4	76
13	1	4	2	1	1	75.1
14	3	2	4	1	4	76
15	2	2	2	4	2	77
16	4	4	4	4	3	75
K_1	301.7	317.2	297.0	305.1	302.1	
K_2	322.0	303.4	304.1	297.4	308.0	
K_3	300.0	322.0	321.2	319.2	313.4	
K_4	309.0	296.1	311.2	303.0	308.0	
K_1^2	91023	100616	88209	93086	91264	
K_2^2	103684	92052	92477	88447	94987	
K_3^2	90000	103684	103298	101889	98220	
K_4^2	95481	87675	95605	91809	94864	
S	380188	384027	380829	379530	379335	
M	95047	96007	95207	94883	94834	
S_i	229	1189	390	65	16	

$$G = \sum_{i=1}^{16} C_{ui} = 1231.7$$
$$G^2 = 15170855$$
$$CT = 15177085/16 = 94818$$

注: $S = K_1^2 + K_2^2 + K_3^2 + K_4^2$ $M = (K_1^2 + K_2^2 + K_3^2 + K_4^2)/4$ $S_i = M - CT$

表 3 30PSH 喷头在不同工作压力下射程

喷头型号	喷嘴直径/mm	工作压力/MPa			
		0.25	0.3	0.35	0.4
30PSH	5.14×3.18	15.8	16.5	17	17

表 4 直接计算数据表

		布置形式	组合系数	工作压力
水平 和	K_1	302	317	297
	K_2	322	303	304
	K_3	300	322	321
	K_4	309	296	311
水平 平均 值	K_1	100	106	99
	K_2	107	101	101
	K_3	100	107	107
	K_4	103	99	104
级差 R		7.3	8.6	8.1

注: $K = K/f$, f 为自由度, 此处 $f = 3$ 。

2 结果分析

2.1 直接分析法

表 4 为根据实验数据计算所得的结果。级差 R 越大, 说明该因素对指标 (C_u) 的影响越大, 所以, 从表 4 中可以看出: 组合系数对 C_u 的影响要大于工作压力, 而工作压力对 C_u 的影响又大于布置形式。而从平均值上来看, 布置形式以 2 为好, 即为矩形布置; 组合系数以 3 为好, 即为 $1.2R$; 工作压力以 3 为好, 即为 0.35MPa 。但这个处理未做实验, 故还须做必要的验证工作。

2.2 方差分析法^[2]

(1) 选出实验中较优组合。从表 2 可以看出第 8 组试验组合, $C_u = 86$ 最好, 它的组合是 $A_4 B_3 C_3$

(A_4 = 等腰三角形, B_3 = 组合系数为 1.2, C_3 = 工作压力为 0.35 MPa)。

(2) 分析计算。从试验中取得的 A_4 、 B_3 、 C_3 进行组合实验的结果虽然较优但不一定合理, 因为在实验中, 还要分析实验因子的主、次作用和各实验因子的较优水平。也存在更优的组合出现在试验之外的可能, 所以, 要通过对每一个试验因子的分析来做展望, 需做如下计算:

计算各式实验因子列的各水平的均匀系数之和 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 即:

$$K_1 = \frac{C_{UA1i}}{C_{UB1i}} \quad (1)$$

$$C_{UC1i}$$

式中: C_{UA1i} 、 C_{UB1i} 、 C_{UC1i} 分别为 A_1 、 B_1 、 C_1 情况下的均匀系数, 依此类推可分别求出 K_2 、 K_3 、 K_4 。

方差分析法:

计算总体偏差的平方和 S

$$S = \sum_{i=1}^N X_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2 \quad (2)$$

式中: X_i —— 实验结果, 即 C_{ui} 的数值; N —— 试验号数(也叫处理数目), 此处为 16。

计算各因素偏差平方和 S_f :

$$S_f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N K_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^N X_i \right)^2 \quad (3)$$

式中: n —— 同一水平出现的次数; n —— 水平数。

计算误差偏差平方和 S_e :

$$S_e = S - \sum_{k=1}^m S_f \quad (4)$$

式中: m —— 因子的数目, 此处为 3。

计算各因素均方差、误差均方差:

$$\overline{S_f} = S_f / f_f \quad (5)$$

$$\overline{S_e} = S_e / f_e \quad (6)$$

式中: f_f —— 因子的自由度, $f_f = n - 1$; f_e —— 误差的自由度, $f_e = f - 1$; f —— 总体自由度, $f = N - 1$ 。

计算各因子均方差和误差均方差的比值 F_f :

$$F_f = \overline{S_f} / \overline{S_e} \quad (7)$$

根据此比值判断各因子的影响, 判断的标准是“ F 分布表”, 它是根据统计数学的原理编制的, 不同信度 α 的条件下, 分布表中的数值不同。

如: $\alpha = 0.01$, 可信度为 99%, $\alpha = 0.05$, 可信度为 95%, $\alpha = 0.1$, 可信度为 90%, $\alpha = 0.25$, (显著性水平取 $F_{0.25}$), 可信度为 75%, (本例误差较大时)。

计算的 F_f 值与表中的 F 值比较, 以检验因子的显著性。

若 $F_f > F_{0.01}$, 说明该因子水平的改变对试验结果“有高度显著的影响”记作“(*)”;

若 $F_f > F_{0.05}$, 说明该因子水平的改变对试验结果“有显著的影响”记作“(*)”;

若 $F_f > F_{0.1}$, 说明该因子水平的改变对试验结果“有一定影响”;

若 $F_f < F_{0.1}$, 说明该因子水平的改变对试验结果“影响不大”。

方差分析结果见表 5。

表 5 方差分析表

因子	偏差平方和	自由度	平均偏差平方和	F_f	显著性
* 布置形式(A)	$S_a = S_1 = 229.17$	3	76.39	5.676	
** 组合系数(B)	$S_b = S_2 = 1188.85$	3	396.3	29.72	
* 工作压力(C)	$S_c = S_3 = 389.5$	3	129.8	9.74	
误差	$S_D = S_4 + S_5 = 80.75$	6	26.92		

由“ F 分布表”查得:

$F_{0.01}(3, 6) = 9.78$, $F_{0.05}(3, 6) = 4.76$, $F_{0.1}(3, 6) = 3.2$

根据上表分析得出结果为:

组合系数对 C_u 有高度显著影响: 根据表 1 的大小, 若从经济的角度考虑, 组合系数最大(即组合系数为 1.3R)为好, 这样可以减少管材, 降低成本。若从影响效果来看, 改变此系数会对 C_u 产生高度显著性影响。因此, 可从表中取组合系数为 1.2R。

工作压力对 C_u 的有显著影响。从节约能源的角度考虑的话, 应该选择工作压力比较小的情况, 如 0.25 MPa、0.3 MPa。

布置形式对 C_u 有显著影响。从抗风性来说, 应根据不同地区不同实际情况而选择。在风比较小的地方或一特定时间内无风和小风时, 可以在这一地区选用矩形和等腰三角行布置, 可以减少支管移动次数, 节省管道; 而如果这一地区风比较大, 而且有季风性气候, 就应当选用适应于风向经常改变的正方形布置。

此两种方法的结果基本一致。都是组合系数对 C_u 的影响要大于工作压力, 而工作压力对 C_u 的影响又大于布置形式。

2.3 结论验证

(1) 30PSH 在不同工作压力下的水量分布图, 如图 1 所示:

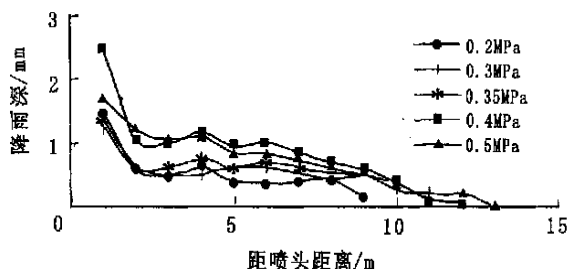


图 1 30PSH 在不同压力下水量分布图

从图 1 分析可以得到: 工作压力从 0.2MPa 到 0.5MPa, 虽然水量分布图基本上是同一个形状, 但降雨量随着工作压力的增加而增大, 因此, 工作压力对水量分布的影响。验证了方差分析法和直接法中的结果。从图 1 中可以很明显可以看到, 工作压力在 0.2MPa 到 0.3MPa 到 0.35MPa 这三个压力等级的水量分布曲线在 2m 到 8m 之间基本保持平行。

(2) 如有一个合理的组合系数, 会得到一个很明显的结果。图 2 为两个喷头在 0.3MPa 的工作压力, 组合系数为 $L=R$ 、1.1R、1.2R、1.3R (R 为射程) 的雨量叠加图。虽然水量分布图的形状大致相同, 但在同一工作压力下, 在大部分区域的降雨量有很大不同。对 C_u 的影响也会有很大的区别: 从图中可以看出, 在组合系数为 $L=1R$ 、1.1R 时, 水量分布比较均匀, 而在组合系数为 $L=1.2R$ 、1.3R 时, 水量分布的变化比较大。因而对 C_u 的影响也比较大。

(3) 图 3 为 30PSH 在正方形布置条件下, 不同组合系数不同工作压力下的 C_u 可以看出: 在工作压力相同的情况下, C_u 都是随组合系数的增大而减小。也可以看到组合系数的影响比较大。虽然工作压力对曲线也有影响, 但随着组合系数的变化, C_u 变化以相同的趋势, 即曲线的走向基本相同。

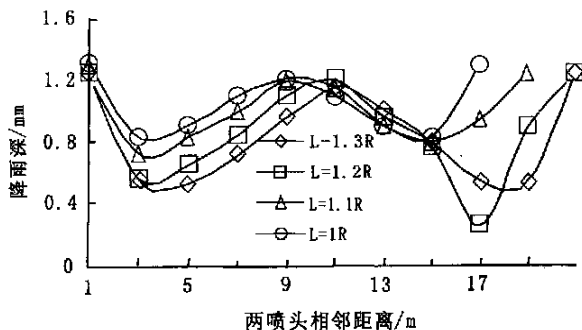


图 2 30PSH 降雨时间为 10 min 的雨量叠加图

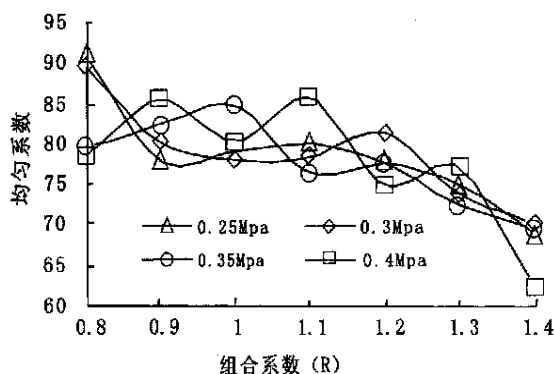


图 3 不同工作压力、组合系数的 C_u 图

从上面分析来看, 直接法和方差分析法所得到的结论正确, 即组合系数对 C_u 的影响要大于工作压力, 而工作压力对 C_u 的影响又大于布置形式。

3 结论

(1) 在喷灌系统中, 喷头的组合系数、工作压力、布置形式对喷灌的 C_u 都有非常重要的影响。它们的影响是根据不同的喷头而言, 就 30PSH 来说, 影响强弱的顺序是: 组合系数对 C_u 的影响要大于工作压力, 而工作压力对 C_u 的影响又大于布置形式。因此, 在均匀性要求高的喷灌设计中, 首先应考虑组合系数, 即根据当地的气候条件、经济条件, 选择喷头间距的大小。而后再选择合适的布置形式和工作压力。

(2) 喷头的组合系数、工作压力、布置形式都是根据喷头的水量分布而定, 而合理的组合系数、工作压力、布置形式都能使喷头水量分布达到最佳状态。

参考文献:

- [1] 水利电力部科学技术情报所. 国外喷灌技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1976
- [2] 许一飞, 等. 喷灌机械原理、设计、应用[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1989