

文章编号: 1007-4929(2012)03-0072-03

# 中心支轴式喷灌机地角漏灌问题解决方案探讨

王永辉, 兰才有, 仪修堂

(中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

**摘要:**中心支轴式喷灌机一个明显缺陷是不能灌溉正方形地块的四个地角。近年来,该机组在我国的用量大幅增长,合理解决四角漏灌问题对提高耕地利用率愈加重要。详述了国内外常见的解决方案,包括三角形布置机组安装位置、加装末端喷枪、增设管道式喷灌系统、配置地角装置以及利用未灌溉土地等。最后对各方案的适应性进行分析,为用户选择提供参考。

**关键词:**中心支轴式喷灌机;地角漏灌;土地利用率

中图分类号:S275.5 文献标识码:A

中心支轴式喷灌机也可称为圆形喷灌机或时针式喷灌机,它于20世纪50年代出现在美国,至今已在许多国家和地区广泛应用。与其他喷灌机相比,该机组具有自动化程度高、控制面积大、对作物及地形的适应性强、喷洒均匀性好、节水、节能等优点<sup>[1]</sup>。但是,它也具有明显的缺陷,即不能灌溉正方形地块的四个地角,导致土地利用率低。

近年来,我国政府加大了对农田水利建设的投资和关注,包括中心支轴式喷灌机在内的灌溉设备用量大幅增长。据统计,2010年我国新增的中心支轴式喷灌机就达到2000台,2011年的增长量可达3000台左右。随着该机组在我国的大面积推广和应用,解决地角漏灌的问题日益重要。本文简述了目前国内外出现的解决方案,并对方案的适应性进行了分析,作为用户选择的参考。

## 1 地角漏灌问题的产生

典型配置的中心支轴式喷灌机主要由中心支座、桁架、塔架车、末端悬臂、控制系统和灌水器等6部分组成,它的结构如图1所示。田间作业时,泵站或者压力管道提供的压力水通过桁架输水管道上均匀布置的灌水器喷洒出来,塔架车则围绕中心支座作圆周运动,使喷洒的水分分配到机组整个覆盖区域。

中心支轴式喷灌机所灌溉的区域是圆形,不能喷洒到正方形地块的四个地角,从而产生了漏灌现象。它的土地利用率由式(1)计算:

$$\eta = \frac{S_{\text{圆}}}{S_{\text{方}}} = \frac{\pi(nL+L)^2}{[2(nL+L)]^2} = \frac{\pi}{4} = 78.54\% \quad (1)$$

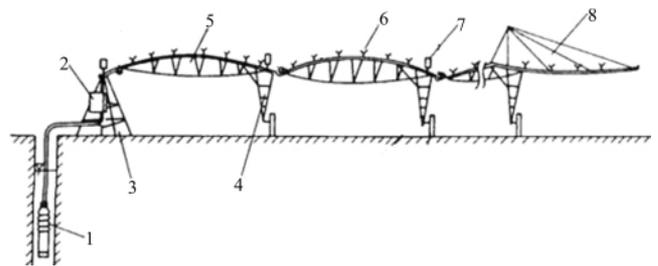


图1 中心支轴式喷灌机结构图

1-井泵;2-中央控制箱;3-中心支座;4-塔车架;5-桁架;6-灌水器;  
7-塔架盒;8-末端悬臂

式中: $\eta$ 为土地利用率,无量纲; $S_{\text{圆}}$ 为中心支轴式喷灌机覆盖面积, $\text{m}^2$ ; $S_{\text{方}}$ 为布置中心支轴式喷灌机的正方形地块面积, $\text{m}^2$ ; $n$ 为喷灌机跨数,跨; $L$ 为喷灌机跨距(假设该喷灌机跨距相等), $\text{m}$ ; $l$ 为喷灌机悬臂长度, $\text{m}$ 。

我国常见机组长为325 m,用它灌溉650 m×650 m的正方形地块,漏灌的面积将达到9.07  $\text{hm}^2$ ,导致严重的土地损失。

## 2 地角漏灌的解决方案

为解决中心支轴式喷灌机地角漏灌问题,用户和生产厂家研究出许多方案,包括采用三角形布置机组安装位置、加装末端喷枪、增设管道式喷灌系统、配置地角装置以及其他土地利用方法等,下面对这些方案作简要介绍。

### 2.1 三角形布置机组安装位置

喷灌区域面积较大时,需要布置多台机组。机组的组合形式多种多样,通常采用三角形布置的方式可以减少未灌溉的面

收稿日期:2011-11-07

作者简介:王永辉(1987-),男,硕士研究生。E-mail:wyh198704@126.com。

积<sup>[2]</sup>。

如图 2 所示,在正方形地块上分别采用正方形和三角形 2 种机组布置方式。从阴影部分面积可以看出,三角形布置方式地角漏灌面积比正方形布置方式要小。计算可知,三角形布置的土地利用率可达 90%,相对于正方形布置提高了 12%。

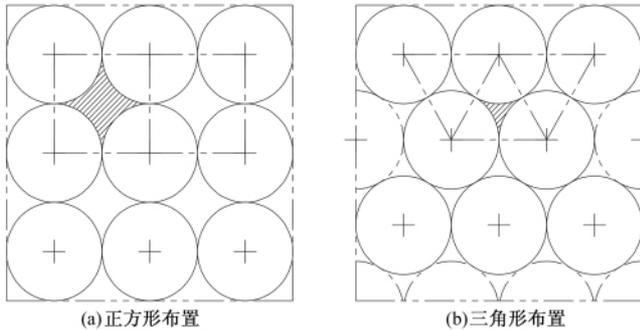


图 2 中心支轴式喷灌机田间布置图

虽然三角形布置机组安装位置可以减少地角漏灌面积,但实践中这一方案存在局限性:

首先,我国土地采用联产承包责任制,用户的地块面积不大,布置机组安装位置通常会产生“尴尬”区域,如图 2 边界处非全圆的机组示意图。如果不能布置合适的机组,边界区域会有大块面积漏灌;而布置多台较短的机组会增加成本。

其次,在我国东北地区,虽然有面积较大的农场,但由于原有的防风林带多成直线条带栽种,大量机组不便于三角形布置。

最后,三角形布置机组安装位置不利于电线杆的架设。

### 2.2 加装末端喷枪

末端喷枪实际上是一只安装在中心支轴式喷灌机悬臂尾部的中远射程旋转式喷头,机组运行时它可以将压力水喷洒至悬臂以外较远的区域,相当于延伸了主管道。图 3 为美国 T-L 公司生产的带末端喷枪的机组。末端喷枪可以跟随机组全圆喷洒,也可以只在地角区域喷洒,下面只讨论它用于地角灌溉的情况。



图 3 带末端喷枪的喷灌机

当末端喷枪仅用于地角灌溉时,机组需要安装对应的控制单元,使末端喷枪能够根据不同的地形自动启闭。另外,为降低能耗,中心支轴式喷灌机的桁架和悬臂段大都采用低压散射式喷头,机组末端的压力很低,因此需要在末端喷枪的上游安装一台增压泵,才能满足中远射程旋转式喷头的工作压力需求。

图 4 为末端喷枪用于地角喷灌的示意图,阴影部分为该地

角处的灌溉区域<sup>[3]</sup>。假定机组顺时针旋转,长度为  $r_1$ ,末端喷枪工作时机组运行的有效半径为  $r_2$ 。当机组运行到 S 点时喷枪开始喷洒,至 F 点喷枪停止工作。则一个地角增加的灌溉面积可按式(2)计算:

$$A = \frac{(r_2^2 - r_1^2)}{2} \left[ \frac{\pi}{2} - 2\cos^{-1} \left( \frac{r_1}{r_2} \right) \right] \quad (2)$$

式中:A 为末端喷枪喷洒面积,  $m^2$ ;  $r_1$  为机组实体长度,  $m$ ;  $r_2$  为机组实体长度与末端喷枪射程之和,  $m$ 。

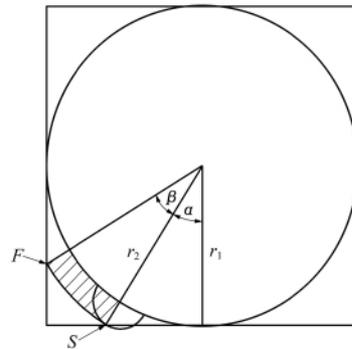


图 4 末端喷枪控制区域

末端喷枪的流量、射程、运行角度受到机组长度及地块形状等因素的制约,实际运用中常取  $(r_2 - r_1)/r_2 = 0.07$ ,根据射程合理安排末端喷枪在地角的启闭时间,可使土地利用率达到 85%<sup>[4]</sup>。

这一方案设备投资少,不需要额外的劳动力投入。不足之处在于末端喷枪的喷洒质量受风影响较大。

### 2.3 增设管道式喷灌系统

在地角增设管道式喷灌系统,相当于将中心支轴式喷灌机与管道式喷灌设备相结合。用户可以在每个地角都布置管道系统,也可以多个地角共享一套管道系统,当灌溉下一个地角时再将管道挪到恰当位置。

增设管道式喷灌系统最大的问题是如何为地角系统供水。一种方式是铺设管道将有压水源分别输送到四个地角;另一种方式是在喷灌机主管道末端设给水栓,利用主管道中的压力水作为水源。两种方式各有优缺点,现分述于下。

第一种供水方式好处是地角与圆形区域的作业互不影响,可以发挥管道式喷灌系统和中心支轴式喷灌机各自的优势。缺点是需要购置压力管道和新建泵站,设备投资大。

第二种供水方式好处是不需要额外的泵站与管道,投资小。缺点是当机组运行至地角位置时要停止行进,为地角供水,机组的自动化程度受到影响。与此同时,喷灌机上的喷头要全部关闭,等该地角灌溉完毕机组开始行走时再开始喷洒。还需要注意的是,由于圆形区域与地角区域灌溉方式不同,运行工况有差别,所以机组的供水泵站要有相应的流量调节措施。

增设管道喷灌系统的方案可以灌溉地角所有区域,对地形适应性好,但是需要投入较多的劳动力。此外,配套的设备投资也较高,投资为 3 000~7 500 元/ $hm^2$ 。

### 2.4 配置地角装置

1973 年美国制造商研制出一种专门解决中心支轴式喷灌机地角漏灌问题的地角装置,它是一组带悬臂的柔性桁架,衔

接于喷灌机基本桁架末端<sup>[5]</sup>,如图5(a)所示。它的工作原理见图5(b)。

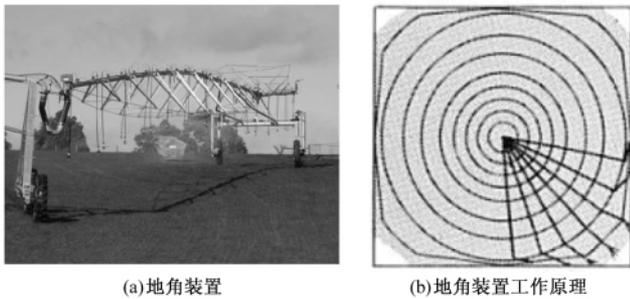


图5 中心支轴式喷灌机地角装置

图5 中心支轴式喷灌机地角装置

地角装置使用GPS定位系统进行导向,通过感应铺设于地角的线缆控制行走轨迹。它可以根据机组运行位置处的地形展开和收拢,具有较好的地形适应性。配置地角装置后的中心支轴式喷灌机能够灌溉正方形地块的大部分区域,例如美国维蒙特公司生产的机组可使土地利用率达到96%。此外,地角装置的喷洒方式采用低压喷洒,灌溉质量较高。

虽然这一方案在解决地角漏灌问题上具有很好的效果,但在世界上应用并不广泛,原因就在于控制系统复杂,机组成本高。据了解,地角装置的成本约占机组费用的1/3,而它所灌溉的土地仅为正方形地块的1/5,性价比低。

## 2.5 其他解决方案

上面介绍的方案都是以灌溉地角区域为目的,可在一定程度上提高土地利用效率。实际作业中,合理利用中心支轴式喷灌机没有灌溉到的四个地角也是解决问题的一种方式。

(1)种植耐旱作物。如果农作物对水分敏感,漏灌的地角区域与圆形区域相比作物产量会下降很多,这种情况下可以考虑在地角区域种植耐旱作物。例如在中心支轴式喷灌机圆形覆盖区域播种粮食主产物玉米,而在地角种植高粱、谷子等耐旱作物。这种方法可以提高粮食总产量,因此在许多地方广泛采用。

应该注意的是,两种或多种农作物在正方形地块交叉种植将会给耕种、植保以及收获带来不便。

(2)安置牲畜或农机具。牧民可以将牲畜安置在地角区域,避免占用可灌溉的草场。农场则可以将地角区域开发为农机具安置点,农忙时使用方便,但需要有人看管。

(3)种植防风林带。在我国北方地区布满了带状的防风林,起到了保护耕地的作用。当前东北地区中心支轴式喷灌机用量很大,可以在地角区域也种植林木,增加绿地面积。由于茂密的林木围绕着喷灌机,喷头受风的影响减弱,降低了漂移损失,从而提高灌溉质量。

种植防风林的另一个好处就是保护生态环境。国外有学者研究了中心支轴式喷灌机地角种植防风林对物种保护的作用。在生态脆弱的地区,随着荒地被开垦,原有的环境发生改变,在四个地角种植防风林可以使原有物种得到保护<sup>[6]</sup>。

(4)安装太阳能光电板。美国科罗拉多州的圣路易斯山谷中,许多用户在中心支轴式喷灌机四个地角安装太阳能光电板,转化的电能用于照明和驱动喷灌机行走,获得了良好的经济效益<sup>[7]</sup>。我国西北地区日光充足,土地开阔,在利用中心支

轴式喷灌机时可借鉴这一方法。太阳能光电板除了发电之外,还可以降低它所覆盖区域的土壤水分蒸发量,对改造生态环境有一定效果。

需要注意的是,太阳能光电板只能在种植矮秆作物的地块安装,例如小麦、马铃薯等,否则阳光容易被遮挡,不能发挥作用。

## 3 方案选型

解决中心支轴式喷灌机地角漏灌问题的方案较多,不同方案的投资、投劳、对地形的适应性以及灌溉质量有所区别。针对第2节提出的4种灌溉地角的方案,根据农牧业上的应用经验,用户在选用时可参考下述分析。

### 3.1 单位面积的设备投资

地角灌溉设备和工程的投资对用户选择方案有很大影响,若将单位面积投资放在选型首位,则各方案由少到多的排序如下:

①三角形布置机组安装位置。②加装末端喷枪。③增设管道式喷灌系统。④配置地角装置。

### 3.2 喷灌作业对劳力的投入

劳力成本和生产效率关系到用户的回报问题,若将投入劳力多少放在选型首位,则由少到多排序如下。①三角形布置机组安装位置/加装末端喷枪/配置地角装置。②增设管道式喷灌系统。

### 3.3 对地形的适应性

实际生产中,地块的形状并不规则,导致上述方案在应用时有一定的局限性,所能提高的土地利用率也随地形而异。4种方案对地形的适应性由好到差的排序如下:①增设管道式喷灌系统。②配置地角装置。③加装末端喷枪。④三角形布置机组安装位置。

### 3.4 灌溉质量

是否能够获得较好的灌溉效果,使地角区域与圆形区域的灌溉质量相当,也是选择地角灌溉方案的依据。地角灌溉质量由高到低排序如下:①三角形布置机组安装位置。②增设管道式喷灌系统。③配置地角装置。④加装末端喷枪。

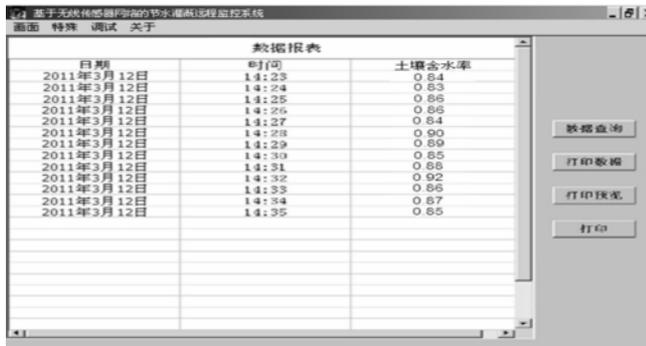
## 4 结语

通过对中心支轴式喷灌机地角漏灌问题解决方案的介绍与简要分析,建议如下:

(1)三角形布置机组安装位置的方案土地利用效率很高,且不需要增加其他部件,当地块面积大时应该首先考虑这一方案。合理确定各机组中心轴的安放位置及相应的机组长度,使组合后的漏灌面积减少。

(2)每种方案都有其适应性与优缺点,用户要根据自己的实际情况选用。例如东北地区可以种植防风林带,西北地区则可以设置太阳能电池板。从经济性上考虑,一般情况下机组应加装末端喷枪,当土地投资大、农作物价格高时采用管道式喷灌系统或者配置地角装置也具有一定的经济性。

(3)在解决地角漏灌问题时,既可以采取增加灌溉面积的方案,也可以考虑利用地角土地的方法,必要 (下转第78页)



日期	时间	土壤含水率
2011年3月12日	14:23	0.84
2011年3月12日	14:24	0.83
2011年3月12日	14:25	0.85
2011年3月12日	14:26	0.85
2011年3月12日	14:27	0.84
2011年3月12日	14:28	0.80
2011年3月12日	14:29	0.89
2011年3月12日	14:30	0.85
2011年3月12日	14:31	0.85
2011年3月12日	14:32	0.92
2011年3月12日	14:33	0.86
2011年3月12日	14:34	0.87
2011年3月12日	14:35	0.85

图8 数据报表窗口

Fig. 8 Frame of data report

## 6 结 语

基于无线传感器网络的农田节水灌溉系统将无线传感器网络技术应用于农田土壤含水率信息的实时采集,为精准农业信息采集和节水灌溉控制提供有效的实现手段。本文设计的节水灌溉监控系统,应用低成本、低功耗的无线传感器网络技术,避免了布线的不便,提高了节水灌溉控制系统的灵活性。系统根据 WSN 节点通过土壤水分传感器采集的土壤含水率和农田用水规律实施精准灌溉,既有效地解决了农业灌溉用水利用率低的问题,缓解了水资源日趋紧张的矛盾,又充分发挥了节水设备的作用,提高效益,使灌溉更加科学、方便。该节水灌溉监控系统支持对土壤含水率参数的查询和对灌溉阀门的远程控制,降低农产品的灌溉成本,提高灌溉质量,具有很大的推广价值。

### 参考文献:

- [1] 徐泽珍. 我国水资源现状与节水技术[J]. 现代农业科技, 2008, (16): 337.
- [2] 崔 莉, 鞠海玲, 苗 勇, 等. 无线传感器网络研究进展[J]. 计算机研究与发展, 2005, (1): 163-174.
- [3] 刘 卉, 汪懋华, 王跃宣, 等. 基于无线传感器网络的农田土壤温湿度监测系统的设计与开发[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2008, 38 (3): 604-608.

(上接第 74 页) 时两者相结合。例如三角形布置方案存在边界处无法安置新机组的问题,可以在边界区域安置农机具或者圈养牲畜,提高土地利用率。

### 参考文献:

- [1] 兰才有. 发展节水灌溉的若干问题[J]. 农机科技推广, 2005, (4): 16-18.
- [2] 喷灌工程设计手册编写组. 喷灌工程设计手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989: 471-480.
- [3] R D von Bernuth. Nozzling Considerations for Center Pivot with End Guns[C]. ASAE, 1983: 419-422.
- [4] Ken Solomon, Malcolm Kodoma. Center Pivot End Sprinkler Pattern Analysis and Selction[C]. ASAE, 1978: 706-712.
- [5] John E. Davis, Hebron. CORNER WATERING SYSTEM FOR

- [4] 蓝会立, 张认成, 毛思文. 基于无线传感器的粮情检测系统设计[J]. 农机化研究, 2006, (9): 99-102.
- [5] 李 莉, 张彦娥, 汪懋华, 等. 现代通信技术在温室中的应用[J]. 农业机械学报, 2007, 38(2): 195-200.
- [6] 王 殊, 阎毓杰, 胡富平, 等. 无线传感器网络的理论及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [7] 江 挺, 胡培金, 赵燕东. 基于 ZigBee 无线传感器网络的灌溉控制系统设计[J]. 节水灌溉, 2011, (2): 58-61.
- [8] J A Lopez Riquelme, F Soto, J Suardiaz, et al. Wireless Sensor Networks for precision horticulture in Southern Spain [J]. Computing & Electronics in Agriculture Journal, 2009, 68(2): 25-35.
- [9] Raul Morais, Miguel A. Fernandes, Samuel G. Matos, et al. A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture[J]. Computing & Electronics in Agriculture Journal, 2008, 62: 94-106.
- [10] 蔡义华, 刘 刚, 李 莉, 等. 基于无线传感器网络的农田信息采集节点设计与试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 176-178.
- [11] 张增林, 郁晓庆. 基于 ZigBee 和 ARM9 的农田墒情远程监测系统[J]. 节水灌溉, 2011, (7): 54-57.
- [12] 郁晓庆, 张增林. 基于 STC89C52 和 GSM 的灌溉远程监控系统[J]. 节水灌溉, 2011, (4): 55-57.
- [13] 数字温湿度传感器 SHT1X 数据手册[EB/OL]. www.sensifion.com.
- [14] 沈建华. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 1-285.
- [15] 孙凌云, 刘善梅. 基于 16 位 MCU 的温湿度控制系统的设计[J]. 大众科学, 2008, (1): 35.
- [16] 陈 龙, 邓光灿, 孙 麒. 基于 MSP430 单片机的多路数据采集系统的设计[J]. 现代电子技术, 2006, 29(20): 107-109.
- [17] CC2430 芯片数据手册[EB/OL]. http://www.Tai-yan.com/BBSI/htm\_data/71/0807/38736.html.
- [18] 谢 东. 基于 ARM 的嵌入式远程测控系统网关的设计[J]. 现代电子技术, 2006, (13): 85-88.
- [19] 武金磊, 攀世银. S3C44BOX 的网络通信功能开发与实现[J]. 信息与电子工程, 2007, 5(4).

CENTER PIVOT IRRIGATION MACHINES[P]. United States Patent, 4569481, 1986-02-11.

- [6] John Opie. Ogallala: water for a dry land[C]// U of Nebraska Press, 2000: 116-132.
- [7] Billy Roberts. Potential for Photovoltaic Solar Installation in Non-Irrigated Corners of Center Pivot Irrigation Fields in the State of Colorado[R]. Technical Report, 2011, 7.
- [8] Lionel Rolland. Mechanized sprinkler irrigation[M]. Food & Agriculture Organization, 1982: 279-298.
- [9] 欧泽兵. 美国圆形和平移喷灌机的应用及对农业的影响[J]. 农业机械, 2000, (9): 24-25.
- [10] Andreas Phocaidis. Handbook on pressurized irrigation techniques[M]. Food & Agriculture Organization, 2007: 10-3-10-14.