

中图分类号: S532; S277.9+4 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2012)05-0374-05

农机应用

## 中心支轴式喷灌机典型标准工程设计

李保明\*, 薛桂宁, 王 虎, 余鹏飞, 李宏伟, 欧阳俊, 顾成建

( 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083 )

**摘 要:** 中心支轴式喷灌机是一种高效灌溉设备, 具有节约用水、效率高、降低劳动强度、增产、适应性强等特点。在我国发展规模化、集约化农业的过程中, 具有广泛的用途。针对喷灌机在实际安装和使用中, 规划设计不科学、不配套、不经济情况, 本文以实际工程为例, 提出了中心支轴式喷灌机设计流程。此流程, 对于提高喷灌工程设计水平, 改善喷灌工程质量有着重要的指导意义。

**关键词:** 中心支轴式喷灌机; 典型灌溉; 喷灌设计

## Irrigation Project Design for Center Pivot Sprinkling Machine

LI Baoming\*, XUE Guining, WANG Hu, YU Pengfei, LI Hongwei, OUYANG Jun, GU Chengjian

( Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China )

**Abstract:** As one kind of automatic and highly effective saving water irrigation equipment, the center pivot sprinkling machine has many excellent characteristics, such as water saving, labor saving, production increase, and wide adaptability. The center pivot sprinkling machine obtained more and more applications in developing the formalization and the intensified agriculture process in China. According to a typical project region, the standardized design process was developed from starting of the project to the arrangement of equipment rationalization. The results would be beneficial to enhance the project design level and to improve the quality of the irrigation project.

**Key Words:** center pivot sprinkling machine; typical irrigation project; irrigation project design

由于干旱等农业灾害气候出现较为频繁, 地面河湖缺水, 地下水位急剧下降等因素造成的粮食减产, 严重影响了人们的生活。我国既是一个人口大国, 也是一个人均水资源贫乏的国家<sup>[1]</sup>, 因此, 为了保证粮食生产需要以及对水资源的保护, 国家通过政策引导以及大量的补贴, 大力发展和支持节水灌溉事业。

中心支轴式喷灌机又称或圆形喷灌机, 由中心支座(Center trestle table)、塔架车(Trestle-tower vehicle)、喷洒桁架(Sprinkling truss)、末端悬臂(Endmost cantilever)和电控同步系统(Synchronous system controlled by electric)等部分组成。装有喷头的若干跨桁架, 支承在若干个塔架车上。桁架之间通过柔性接头连接, 以适应坡地等作业。中心支

轴式喷灌机具有节约用水、效率高、降低劳动强度、增产、适应性强等特点。见图1和图2。



图1 中心支轴式喷灌机

Figure 1 Center pivot sprinkling machine

收稿日期: 2012-10-10

作者简介: 李保明(1978-), 男, 工程师, 主要从事节水灌溉设备研究及技术推广工作。

\* 通信作者(Corresponding author): 李保明, E-mail: caulbm@163.com。



图 2 中心支轴式喷灌机工作鸟瞰图

Figure 2 Bird eye view of center pivot sprinkling machine working in the field

作为一种先进的节水灌溉设备,中心支轴式喷灌机在国内正进入快速发展的阶段,现在全国每年以超过数千台的速度安装于各地,服务于现代农业。仅 2012 年初步统计,全国总计安装喷灌机中心点台套约 7000 台套。然而,在大面积使用大型中心支轴喷灌机的同时,中心支轴式喷灌机工程设计没有规范的设计流程,设计方法和标准不统一,规划设计后土地浪费比较严重,水、电、渠、井等配套设施布置比较杂乱,缺乏设计标准和规范。因此,完善的、科学的典型工程设计显得尤为重要。

## 1 中心支轴式喷灌机设备优缺点

### 1.1 设备的优点

(1)该设备是迄今为止自动化程度最高的喷灌设备,可降低劳动强度,省时省力;

(2)设备通过性好,对作物适应性强,几乎在所有作物中都可以使用;

(3)设备跨体间采用柔性连接,爬坡能力强,可以达到  $15^\circ$  坡度角;

(4)可实现定时定量灌溉,管理方便。相对比传统大水漫灌,灌溉水利用率高,同时可以通过辅助设备实现施肥、施药等功能;

(5)电控系统安全可靠,设备单一供水口简单,操作管理方便

### 1.2 设备的缺点

由于喷灌机运行方式是圆周运动,所以决定了设备具有不可避免的缺点。

(1)中心支轴式喷灌机工作时绕中心点旋转,所

有方形地块会有四个旱角,喷灌面积有效率只能达到 75% 左右;

(2)喷灌机工作时,喷灌强度从中心支座向悬臂方向逐渐增大,末端喷灌强度很大,一般会产生地表径流。

总的来说,中心支轴式喷灌机的具有节约用水、效率高、降低劳动强度、增产、适应性强等特点。所以以电力驱动的中心支轴式喷灌机得到了越来越普遍的认可,并获得了十分显著的节水增产效果<sup>[2]</sup>。尤其是马铃薯行业,采用中心支轴式喷灌机作为灌溉设备的大型农场越来越多。

## 2 喷灌机典型工程设计

典型工程标准设计流程包括:资料收集(包括土壤、水源、地形、电力、作物)、项目规划、项目设计(包括喷灌运行速度、灌水定额、需水量、喷灌机额定运行时间、速比调节、水力计算、泵扬程计算及选择、总功率计算)。本文以内蒙古某农场为例,提出了中心支轴式喷灌机典型工程设计标准设计流程。

### 2.1 资料收集

作物需水量的多少受作物种类、气象、地域、土壤和农业措施等多方面的影响。灌溉系统设计的目标就是要补充自然环境中水分的不足,以满足不同生长期作物对水分的需求。了解自然资源状况特别是土壤、水源对灌溉系统的影响,是进行灌溉系统设计的前提。因此,在进行典型工程标准设计之前要充分收集以下资料。

#### 2.1.1 土壤条件

项目区土壤主要为典型的草原地带性土壤——栗钙土,其次为垂直分布的淡黑钙土及受地下水影响在草甸植被下发育的隐域性草甸土。表层容重较小,在  $1.1 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ ,土壤孔隙度较大,为 50.9%~69.1%。黑钙土呈中性至微碱性反应, pH 值 7.5~9.0。

#### 2.1.2 水源情况

农场周边无常年有水河流,主要以地下水为主。项目地地下水充足,灌溉选用原有水井。井深 80 m,经洗井实测最大出水量  $120 \text{ m}^3/\text{h}$ 。井静水位为 9 m,动水位 15 m,井出水量充分。每台设备配置一眼井,通过输水管直接输入设备。考虑便利性及灌溉连续性,采用地下水作为灌溉水源。根据实际测量,地下水 pH 值为 7.9,偏弱碱性,可以作为灌溉用水。

### 2.1.3 地形条件

在进行前期资料收集后, 需要进行 GPS 测绘。GPS 测绘的原则是忠实反映地块实际情况。沿地块边界开始, 走完一个闭合回路, 边走边进行航迹记录并记录航点。完成地块边界测定之后, 去测量地块中间的障碍物, 包括: 林带、坟地、电线杆、河沟等。独立障碍物标示清楚其航点位置, 条状障碍物测其起始点和大概宽度。完成正常测定工作后, 可以连接电脑, 通过 Mapsource 软件转换, 然后通过 CAD 进行规划设计。

布置中心支轴式喷灌机时, 需要绘制一张标有地块边界、道路、障碍物、水源的图纸。图中应标出所有尺寸。地块形状以及建筑物、水井、道路等障碍物的位置, 将决定中心支座的安装位置和机组长度。地块的尺寸和形状, 以及与障碍物位置之间的组合关系, 将决定中心支轴式喷灌机是否能全圆运行, 以及它的起始、停机位置和机组长度。

### 2.1.4 电力条件

动力的选择可以是电网供电或发电机供电。根据项目地实际情况, 地块边界有配电站, 三相交流电 380 V, 50 Hz, 可以根据实际需要向中心点地埋式电缆供电, 能够满足设备需要。

### 2.1.5 作物

种植作物选定为马铃薯。采用敞垄种植, 大垄距单行种植。开始播种日期5月5日, 最晚播种日期5月25日。开始收获日期9月10日。

采用大水漫灌种植时, 灌溉不能及时作业, 1 hm<sup>2</sup>均产量为 15 000 kg。

## 2.2 中心支轴式喷灌机规划

喷灌工程的规划设计是对整个工程进行总体安排, 是项目具有合理性和经济性的前提。它的任务是在综合分析基本资料、掌握喷灌区基本情况和特点的基础上, 按照最适合模式确定喷灌工程的总体方案。它是整个喷灌工程建设的依据, 也是进行具体技术设计的前提。喷灌工程规划阶段应提交的成果规划报告和工程规划布置图。

实际项目喷灌机的水源为地中间井水, 井口位置在中心点附近。通过深井泵引水上来后, 可以直接供给喷灌机。动力部分确定由地边界配电站接地埋式电缆到中心点, 提供喷灌机以及水泵电源。

### 2.2.1 机型的选择

喷灌机选择电力驱动形式。规划地块布置喷灌机2台, 系统长度为 319 m, 总喷灌面积为 67 hm<sup>2</sup>。输水管外径用 165 mm, 壁厚 3 mm。设备共 5 个驱动塔架车, 每个上面配置 1.1 KW 电动机。设备最低点离地高度 2.7 m, 即设备适应可以种植的作物最大高度不超过 2.7 m。

### 2.2.2 方案布置

喷灌机规划项目地块长 1 123 m, 宽 594 m, 总面积为 80.8 hm<sup>2</sup>。喷灌机采用并行相接设计, 共布置 2 台中心支轴式喷灌机, 有效喷灌面积为 67 hm<sup>2</sup>。喷灌机中心点海拔为 710 m, 最外侧点海拔高度为 730 m。坡面为平整缓坡, 坡度计算:

$$i = \frac{h}{l} \times 100\% = \frac{730-710}{319} \times 100\% = 6.27\%$$

等于 3.6°, 小于喷灌机允许的最大坡度角 15°, 可以正常运行。

## 2.3 中心支轴式喷灌机设计

### 2.3.1 喷灌机参数计算

喷灌机运行一圈最快时间

$$T = \frac{2 \pi Li}{60 \pi n D}$$

式中:

$T$ —中心支轴式喷灌机每旋转一圈所需的最短时间(h);

$L$ —中心支座到末端塔架车之间的距离(m);

$n$ —电动机转速(r/min);

$D$ —车轮外径(m);

$i$ —两级减速器的总速比, 无量纲。

电动机转速额定为 1 450 r/min; 车轮外径为 1.26 m; 一减速比为 50:1, 二减速比为 40:1。所以喷灌机运行一圈最小时间为:

$$T = \frac{2 \pi Li}{60 \pi n D} = \frac{2 \pi (319-15) \times 2000}{60 \pi \times 1450 \times 1.26} = 11.1 \text{ (h)}$$

### 2.3.2 设计灌水定额(m)

按照《喷灌工程技术规范》(GBT50085-2007T)的规定, 最大净灌水定额按如下公式计算:

$$m = 0.1 \gamma h (\beta'_1 - \beta'_2)$$

式中:

$m$ —设计灌水定额, mm;

$\gamma$ —土壤容重, 项目地土壤为栗钙土,  $\gamma$  取为

1.45 g/cm<sup>3</sup>;

$h$ —滴灌土壤计划湿润层深度, cm, 根据项目区主要种植作物, 土壤计划湿润层深度  $h = 30$  cm。

$\beta'_1$ 、 $\beta'_2$ —适宜土壤含水率上、下限(占干土重量

的百分数), %, 适宜土壤含水率上限  $\beta'_1$  取田间持水量的75%, 下限  $\beta'_2$  取田间持水量的 60%, 根据项目区土壤性质, 田间持水量取25%。

由以上各参数, 得到地块的设计灌水定额(mm):

$$m = 0.1\gamma h(\beta'_1 - \beta'_2) = 0.1 \times 1.45 \times 30 \times (75 - 60) \times 0.25 = 16.31(\text{mm})$$

### 2.3.3 喷灌机需水量

一台标准灌溉 33.35 hm<sup>2</sup> 的喷灌机需水量一般在 80~140 m<sup>3</sup>/h 间可调, 最终选择是根据井的出水量, 水量调节依靠喷头配置。根据项目区实际井水测出的出水量为 120 m<sup>3</sup>/h, 考虑到供水安全, 选择喷灌机需水量为 110 m<sup>3</sup>/h。

### 2.3.4 根据灌水定额计算喷灌机运行时间

$$T = \frac{A \times m}{Q}$$

式中:

$T$ —喷灌机按照灌水定额喷灌一圈实际需要运行时间(h);

$A$ —喷灌一圈的面积(m<sup>2</sup>);

$m$ —灌水定额(mm);

$Q$ —喷灌机入机需水量, 这里取 110 m<sup>3</sup>/h。

由以上各参数, 得到喷灌机按照灌水定额喷灌一圈实际需要运行时间(h):

$$T = \frac{A \times m}{Q} = \frac{33.35 \times 10000 \times 0.01631}{110} = 49.4(\text{h})$$

### 2.3.5 计算喷灌机按照定额灌水运行时速度调节比例

喷灌机按照定额灌水运行时速度调节比例即喷灌机按照全速运行时间比按照定额灌溉运行时间, 即:

$$i = \frac{T_q}{T_e} \times 100\% = \frac{11.1}{49.4} \times 100\% = 22.5\%$$

喷灌机时间调节器调节至 22.5%运行速率即可保证灌水到达定额。

### 2.3.6 主输水管水力计算

供水管是从井房至喷灌机中心支轴处这一段地埋供水管道。这段管道长 30 m, 采用 PVC 塑料管, 管道规格为外径 110 mm, 承压等级 0.63 MPa。供水管水头损失依据哈森-威廉斯(Hazen-Williams) 公式计算:

$$h_f = \frac{10.667 \times Q^{1.852} \times L}{C^{1.852} \times D^{4.77}}$$

式中:

$h_f$ —沿程摩阻损失水头(m);

$Q$ —流量(m<sup>3</sup>/h);

$D$ —管道内径(mm)

$L$ —管道长度(m);

$C$ —沿程摩阻系数, 与管道材质有关。

本项目地  $Q = 110$  m<sup>3</sup>/h,  $D = 104.6$  mm,  $L = 30$  m,  $C$  按照PVC 取值为 150。

由于井距离喷灌机中心很近, 经计算:  $h_f$  可以忽略不计, 取值 0。

### 2.3.7 喷灌机水泵扬程计算

水泵扬程按如下公式计算:

$$H = H_f + h_f + h_i + H_p$$

式中:

$H$ —水泵扬程(m);

$H_f$ —泵支管水头损失(m), 根据动水位距地 15 m, 取值 15;

$h_f$ —供水管沿程损失(m), 这里取 0;

$h_i$ —局部水头损失(m), 取值 4;

$H_p$ —喷灌机正常工作压力(m), 取值 25。

计算水泵扬程  $H = 15 + 0 + 4 + 25 = 44$  (m)。

### 2.3.8 水泵的选择

根据项目实际情况, 选择潜水式清水泵流量为 110 m<sup>3</sup>/h, 扬程为 44 m。按最大流量 1.1 倍作为最大流量, 取放大 5%~10% 余量后的扬程这两个性能的主要参数, 在型谱图或者系列特性曲线上确定具体型号。

利用泵特性曲线, 在横坐标上找到所需流量值, 在纵坐标上找到所需扬程值, 从两值分别向上和向右引垂线或水平线, 两线交点正好落在特性曲线上, 则该泵就是要选的泵, 但是这种理想情况一般很少, 通常会碰到下列两种情况:

第一种: 交点在特性曲线上方, 这说明流量满足要求, 但扬程不够, 此时, 若扬程相差不多, 或相差 5% 左右, 仍可选用, 若扬程相差很多, 则选扬程较大的泵, 或设法减小管路阻力损失。

第二种: 交点在特性曲线下方, 在泵特性曲线扇状梯形范围内, 就初步定下此型号, 然后根据扬程相差多少, 来决定是否切割叶轮直径, 若扬程相差很小, 就不切割, 若扬程相差很大, 就按所需 $Q$ 、 $H$ , 根据其 $n_s$ 和切割公式, 切割叶轮直径, 若交点不落在扇状梯形范围内, 应选扬程较小的泵。

选用 250QJ125-48/3, 扬程  $H=48$  m, 流量  $Q=125$  m<sup>3</sup>/h。电机功率  $N_p=25$  kw, 额定电流 53.8 A。

### 2.3.9 总功率计算

总功率等于两台水泵功率和两台喷灌机的功率 $N_e$ 之和。

$$N=2 \times N_p + 2 \times N_e = 61(\text{kw})$$

## 3 结 论

本文以内蒙古某农场为例, 对如何进行标准化工程设计进行了探讨。从整个设计过程来看, 一个标准的喷灌机设计流程应该包括以下几个步骤: 资料收集、项目规划、项目设计。根据确定适合的种植作物, 再根据土壤、水源、电力情况进行管线规划布置。最终根据选定作物, 在其不同生长期所

需要的灌水定额, 选择喷灌机不同的运行速度, 达到作物的按需灌溉。根据实际跟踪调查, 使用中心支轴式喷灌机灌溉的试验马铃薯地块, 当年 1 hm<sup>2</sup>均产量为 39 000 kg, 增产效果明显。

随着我国集约化、规模化农业的发展, 农业水资源的日益紧张、灌溉水价的不断提升和农业劳动力的转移等, 以中心支轴式喷灌机为代表的大型喷灌机是实现农业灌溉机械化的重要装备, 在我国的发展空间和潜力将更加巨大。中心支轴式喷灌机使用量也呈现出逐年快速增长的趋势<sup>[3]</sup>, 对我国农业的发展起到巨大的促进作用。因此, 中心支轴式喷灌机的标准化设计在实际应用中的作用越来越大, 希望本文的探讨能对标准化设计有所裨益, 并能指导设备的安装和使用, 为我国的节水灌溉事业有所帮助。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王增发. 我国节水灌溉技术的研究与推广[J]. 节水灌溉, 1998(1): 38-40.
- [2] 赵竟成, 任晓力. 喷灌工程技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [3] 兰才有, 仪修堂, 薛桂宁, 等. 中国喷灌设备的研发现状及发展趋势[J]. 排灌机械, 2005(1): 1-6.



## 大庆金辉农业科技开发有限公司

大庆金辉农业科技开发有限公司成立于 2012 年 3 月 15 日, 是一家以农业科技开发、农业机械设备、化肥研发与销售为项目的私营公司, 总部位于大庆国家级高新技术产业开发区。公司以服务三农为宗旨, 以质量和诚信求生存, 以科技创新求发展, 以广交天下朋友为理念, 以农民增收为己任, 始终以从事农业生产者的市场需求为导向, 以解决生产中出现的实际问题为立足之本。

公司本着节约就是增效的观念, 重点研究并生产的产品有信丰圆牌马铃薯中微量元素水溶肥; 防治早晚疫病高效、低成本新型复配药剂(亩成本低于 10 元/次); 防治除草剂药害(包括前茬、封闭及苗后除草剂使用不当引起的)的专用药剂; 马铃薯种薯繁育专用播种机、收获机等; 脱毒马铃薯, 品种有鲜薯食用型中晚熟品种‘克新 13 号’、‘克新 18 号’; 淀粉加工专用型品系‘ND0702-49’; 早熟品种‘早大白’、‘尤金’、荷兰系列、‘中薯 5 号’和‘龙引薯 1 号’等。

此外公司还重点发展以下几方面的业务:

针对各地区的土壤类型及养分含量, 结合马铃薯的需肥规律, 为客户制订一整套科学合理的立体化平衡施肥技术体系;

根据各地区的气候特点制订早晚疫病综合防治技术体系(包括高效低成本早晚疫病防治药剂); 致力于马铃薯种薯繁育技术体系及种薯质量控制技术研究, 可根据客户的需求, 对马铃薯种薯生产进行全程指导。欢迎新老用户前来合作指导!

联系地址: 大庆市高新区火炬新街 40 号 邮 编: 163310

联 系 人: 金光辉 邮 箱: dqjhny@163.com

联系电话: 0459- 6280535 13946967350