

文章编号: 1007-4929(2014)04-0094-04

中心支轴式喷灌机典型工程标准设计

王 俊, 李铁男, 王宏伟

(黑龙江省水利科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 黑龙江省粮食产量逐年递增, 节水灌溉面积逐年扩大, 中心支轴式喷灌机以其具备节水、高效、省工、增产、适用性强的特点, 在黑龙江省发展越来越受重视。针对目前规划设计不规范、结构不合理、投资不合理等清苦, 本文以灌溉区为例, 探讨中心支轴式喷灌机典型工程标准设计流程, 对规范设计、指导施工起到指导作用。

关键词: 中心支轴式喷灌机; 节水灌溉; 标准设计

中图分类号: S275.9 **文献标识码:** B

粮食安全关系国民经济发展和稳定的全局, 对我国这样人口众多的发展中国家具有战略意义。黑龙江省是农业大省, 近年来兴修大水利、发展大农机。换来黑龙江省粮食产量八连增, 2011 年粮食产量突破 557 亿 kg, 首次跃居全国第一^[1]。“十一五”以来新增灌溉面积 200 万 hm^2 , 达到 447 万 hm^2 , 其中喷灌占 23%, 为全省粮食生产奠定一定基础。黑龙江省委省政府规划到 2015 年建设成为 750 亿 kg 粮食生产大省, 粮食商品率达到 80% 以上。2011 年底完成的黑龙江省“节水增粮行动”实施方案, 确定 2012—2015 年建设高效节水灌溉工程面积 100 万 hm^2 的目标, 其中喷灌占 86%, 而中心支轴式喷灌占喷灌面积的 62%。先进的大型喷灌机技术的推广, 为黑龙江省现代化农业建设提供可靠的现代化水利设备和技术支撑。

中心支轴式喷灌机又称圆形喷灌机、指针式喷灌机, 由中心支座、塔架车、喷洒桁架、末端悬臂、末端尾枪和电控同步系统等部分组成。装有喷头的输水支管支撑在自动行走的塔架车上, 围绕可供水的中心支座一边旋转一边进行喷洒作业的灌溉机械。

自 2010 年以来, 尤其是 2012 年东北四省区“节水增粮行动”项目实施后, 中心支轴式喷灌机在黑龙江省得到了快速发展, 仅 2012 年在黑龙江省安装并运行的中心支轴式喷灌机约 3 000 台套。合理选择喷灌机布置方式及规范化设计十分重要。

中心支轴式喷灌系统典型设计应包括: 资料收集、可行性分析、方案比选、水源工程设计及喷灌系统典型设计等部分。本文以黑龙江省某试验基地为例, 阐述中心支轴式喷灌系统典型设计方法。

1 资料收集

喷灌是通过输水管道将水以喷洒的方式输送到田间, 模拟天然降雨的灌溉形式, 通过这种方式来补充天然降雨的不足与不均^[2]。喷灌机的设计要考虑多方面因素, 因此资料收集应包括喷灌区自然条件、生产条件、社会经济条件、相关规划及灌溉试验资料等。通过勘测、调查和试验等手段获得的各种资料和试验成果, 并进行必要的核实和分析, 做到真实、准确^[3]。

1.1 地理位置

试验区作为喷灌区具有交通条件便利、基础电力设施完备、材料运输及制安方便等优势, 有助于灌溉设备的展示与示范, 为推广应用中心支轴式喷灌技术提供技术支撑。

1.2 地形地貌

喷灌区地势平缓, 总体趋势东高西低, 地面高程在 200 m 左右, 地面坡降 1/1 000~1/2 000。按其地貌成因属堆积低平原。喷灌区地块近似方形, 地块面积 25.2 hm^2 , 玉米沿南北方向种植。

1.3 水文气象

喷灌区地处中温带大陆性半干旱季风气候区, 主要特征是: 冬季寒冷、干燥, 时间长达 200 d 以上, 夏季雨热同期。其特点是气温变化大, 日照时间长, 降雨时空分布不均, 风多风大、频率高, 土壤蒸发量大, 春夏之交干旱频发。多年平均气温 3.5 $^{\circ}\text{C}$, 多年平均降水量 415.0 mm。降水年内分配不均, 6—8 月降水量占全年降水量的 66.5%, 地域分配不均, 差异较大。年均蒸发量(E601)895.3 mm, 不小于 10 $^{\circ}\text{C}$ 的年均有效积温 2 876 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期 140 d, 平均日照 2 661 h, 冻土层深度 2.10 m。年平

收稿日期: 2014-02-13

基金项目: 水利部公益性行业专项经费项目(201301096); 水利部科技推广项目(TG1201); 水利部 948 项目(201221)。

作者简介: 王 俊(1979-), 男, 工程师, 主要研究方向为节水灌溉技术及水资源高效利用研究。E-mail: 123819310@qq.com。

均风速 2.5 m/s,风向多为西北风。

1.4 土壤条件

喷灌区地处东亚大陆地带性土壤、黑钙土带内。在形成过程中,受周围自然条件影响,又发育了较大面积的隐性土壤,盐碱化草甸土、沼泽土和风沙土。喷灌区以黑钙土为主,pH 值在 7.0~8.0 之间。土壤层厚度 25~40 cm,土壤密度 1.3 g/cm³,田间持水量 30%,土壤含盐量 0.18%~0.34%,土壤肥力中等。

1.5 作物情况

喷灌区位于黑龙江省玉米种植带内,主要灌溉作物为玉米,南北向种植,株行距为 30 mm×65 mm,旱情多出现在春季。属雨养农业,播种时采用坐水种。平均产量为 30 kg/hm²。分析计算收集到的基本参数及长期试验观测数据玉米主要特效如表 1、表 2、表 3。

表 1 玉米生育期
Tab. 1 Maize growth period

生育期	播种 出苗期	拔节期	抽穗期	灌浆期	黄熟期	合计
生育时段	05-09— (月-日)	05-22— 06-23	06-24— 07-18	07-19— 08-17	08-18— 09-15	
生育天数/d	13	33	25	30	29	130

表 2 玉米各生育期需水量表
Tab. 2 Water demand variation during each scale

生育期	播种 出苗期	拔节期	抽穗期	灌浆期	黄熟期	合计
需水强度/(mm·d ⁻¹)	1.12	1.61	2.5	3.45	1.52	2.14
需水量/mm	14.56	53.13	62.5	103.5	44.08	277.77

表 3 玉米作物计划湿润层深度
Tab. 3 Corn crop moisture layer depth

生育阶段	播种	拔节	抽穗	灌浆—成熟
活动层深度/mm	30	40	50	60

1.6 水源条件

区域地下水分布特性为第四系砂、砾石层孔隙潜水,分布在松花江高低漫滩地带。含水层由细砂、中粗砂、砂、砾卵石层组成。部分地段上覆 0.5~10 m 厚粉质黏土。含水层厚度为 20~35 m,局部段达 40 m。地下水位埋深 3~5 m,局部具弱承压性。富水性强,单井涌水量 2 000 m³/d 左右。

2 可行性分析

喷灌区在县级节水灌溉“十二五”规划区域内,地下水资源有保障。喷灌区布置在试验区交通便利、配套动力设施完善,试验区集科研、生产于一体可行性强,设专人管理养护。

3 方案比选

方案比选的目的是达到资金与效益的最优化。本方案比选只针对中心支轴式喷灌系统进行论述,包括水源比选、田间布置方式比选。

3.1 水源比选

拟发展喷灌区周边无大江大河及主要河流的支流经过,水源以地下水为主。灌灌区地下水资源丰富,区域位于村屯附近,无工矿企业等用水大户。

3.2 田间布置方式比选

首先分析中心支轴式喷灌机控制面积与投资的关系,在尽可能合理利用资金的前提下,喷灌机田间布置方式直接影响设备综合效益的发挥。喷灌区单井涌水量在 2 000 m³/d 左右足以满足灌溉地块对水量的要求,供水模式为“一井一机”模式。

通过对黑龙江省 2012 年节水增粮行动中心支轴式喷灌机发展调查,通过加权平均得到中心支座、中心控制装置、各种型号桁架、塔架车、悬臂等主要构成部分的平均价格。在此基础上将各种型号跨体组合,使单套喷灌机控制面积达到 6.67~60 hm²,在“一井一机”模式下,通过计算得到各种控制面积与资金的关系如表 4、图 1。

表 4 控制面积与投资关系
Tab. 4 Control the area and the relationship of investment

控制面积/ hm ²	估算价格/ 元	单位面积投资/ (元·hm ⁻²)
6.67	195 000	29 250
13.33	261 000	19 575
20.00	322 000	16 100
26.67	358 000	13 425
33.33	398 000	11 940
40.00	421 000	10 525
46.67	462 000	9 900
53.33	493 000	9 244
60.00	525 000	8 750

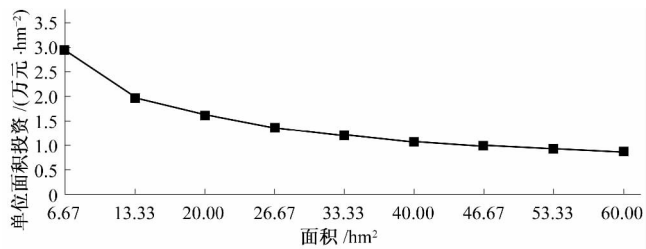


图 1 投资面积与投资关系

Fig. 1 Investment area and relationship

由此,在水资源条件好的地区,中心支轴式喷灌机灌溉面积与设备单位面积投资成反比,地块内设备数量越少越经济。喷灌区地块较规则,确定布置 1 台喷灌机,地块面积为 25.2 hm²,实际灌溉面积为 20 hm²。

4 水源工程设计

根据对临近村屯的现有水源井进行抽水试验,实测井深 40 m,含水层分为两层,位于 5~8 m 及 20~35 m 之间,弱承压水,单井涌水量为 80 m³/h 左右,静水位 5 m,动水位 15 m。确定水源井井深为 40 m,开孔孔径 550mm,终孔孔径 400 mm,井壁管材质为钢管,壁厚 5 mm,全部采用接箍焊接,采用桥式过滤

器,孔隙率为 25%~30%。取水目的层为第四系砂砾石孔隙潜水,即 20~35 m 含水层,上部 5~8 m 含水层段采用黏土球封井。滤水管 15 m,井壁实管 23 m(沉淀管 2 m),回填滤料高度 15 m、黏土封井止水 23 m。

5 喷灌系统设计

首先对收集到的基础资料及试验资料进行分析,确定玉米田间灌溉制度,同时对灌溉区进行 GPS 测绘,保障地块边界准确,经实地勘察地块内无影响设备正常运行的障碍物,可以保证喷灌机全圆运行。

5.1 灌溉制度制定

5.1.1 灌溉制度确定

根据项目区土壤、水文地质条件的不同,参照临近地区的旱作物灌溉制度确定。经过计算最终确定 90% 保证率的灌溉制度如表 5。

表 5 玉米高效节水灌溉制度(喷灌)

Tab. 5 Corn efficient and water saving irrigation system (Irrigation)

生育期	播种 出苗期	拔节期	抽穗期	灌浆期	黄熟期	合计
生育时段	05-09— 05-21	05-22— 06-23	06-24— 07-18	07-19— 08-17	08-18— 09-15	
生育天数/d	13	33	25	30	29	130
灌水净定额/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	240	300	300	120		960

(1) 灌水定额计算。

① 最大净灌水定额 m_s

$$m_s = 0.1\gamma h(\beta_1 - \beta_2)$$

式中: m_s 为最大净灌水定额,mm; γ 为计划湿润层土壤干密度, g/cm^3 ,为 $1.35 \text{ g}/\text{cm}^3$; h 为土壤计划湿润层深度,cm,取 40 cm; β_1 为适宜土壤含水率上限(占干土重量的百分比),%,取田间持水率 $\theta_{\text{田}}=23\%$ 的 90%; β_2 为适宜土壤含水率下限(占干土重量的百分比),%,取田间持水率 $\theta_{\text{田}}=23\%$ 的 65%。

经计算得: $m_s=0.1 \times 1.35 \times 40 \times 0.23 \times (0.9 - 0.65) = 29.9 \text{ mm}$,即 $300 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

② 设计灌水周期 T

$$T \leq T_{\max}$$

$$T_{\max} = \frac{m_s}{I_d}$$

式中: T 为设计灌水周期,d; $T_{\max}$ 为最大灌水周期,d; I_d 为设计耗水强度,mm/d,取 $5 \text{ mm}/\text{d}$;其余符号意义同前。

经计算得: $T_{\max}=6.0 \text{ d}$ 。综合考虑各项因素,本项目中心支轴式喷灌采用高频灌溉,取 $T=1 \text{ d}$ 。

(2) 设计灌水定额。

$$m_d = T I_d$$

$$m_{\text{毛}} = m_d / \eta$$

式中: m_d 为设计净灌水定额,mm; $m_{\text{毛}}$ 为设计毛灌水定额,mm; η 为灌溉水利用系数,取 0.86;其余符号意义同前。

经计算得: $m_d=5.0 \text{ mm}$, $m_{\text{毛}}=5.8 \text{ mm}$ 。

灌溉制度设计参数及计算结果汇总如表 6。

表 6 灌溉制度设计参数及计算结果汇总表

Tab. 6 Irrigation system design parameters and calculation results summary table

参数	内 容
计划湿润层深度 h/cm	40
土壤密度 $\gamma/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.35
田间持水率 $\theta_{\text{田}}$	0.23
适宜土壤含水率上限 $\beta_1/\%$	20.7
适宜土壤含水率下限 $\beta_2/\%$	14.95
设计耗水强度 $I_d/(\text{mm} \cdot \text{d}^{-1})$	5.0
管道系统水利用系数 η_G	0.98
田间喷洒水利用系数 η_P	0.88
灌溉水利用系数 η	0.86
最大净灌水定额 m_s/mm	29.9
最大灌水周期 $T_{\max}/\text{d}$	6.0
设计灌水周期 T/d	1.0
设计净灌水定额 m_d/mm	5.0
设计毛灌水定额 $m_{\text{毛}}/\text{mm}$	5.8
系统总流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	60
灌溉面积/ hm^2	20
设计日灌水时间 t/h	16.8

5.2 喷灌机工作制度

项目区土壤为黑钙土,最大允许喷灌强度 $\rho=12 \text{ mm}/\text{h}$,为防止形成地表径流,结合灌水定额,设定每圈灌溉水量为 5.8 mm ,喷灌机每小时出水量为 $60 \text{ m}^3/\text{h}$,根据灌溉面积,设计定为 16.8 h 转一圈。

5.3 沿程水头损失计算

5.3.1 沿程水头损失及局部水头损失按下列公式计算

$$h = h_f + h_j$$

$$h_f = f L \frac{Q^m}{d^b}$$

$$h_j = 0.1 h_f$$

式中: h 为管道水头损失,m; h_f 为管道沿程水头损失,m; h_j 为管道局部水头损失,取沿程水头损失 10%; Q 为流量, m^3/h ; d 为管道内径,mm; L 为管道长度,m; m 为流量指数; b 为管径指数。

5.3.2 水泵扬程确定

水泵扬程计算公式:

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

式中: H 为系统总水头,m; Z_c 为动水位,15 m; Z_d 为地形高差,0 m; H_f 为水泵管道水头损失(m),5.5 m; h_f 为供水管道沿程损失(m),0.34 m; h_i 为局部水头损失(m),取 4 m; H_p 为喷灌机正常工作压力(m),20 m。

经计算: $H=15+0+5.5+0.34+4+20=44.84 \text{ m}$

查找泵型曲线,选择水泵型号为 200QJ63-48/4-15。

经计算汇总的水力计算表如表 7。

表 7 水力计算表
Tab. 7 Hydraulic calculation table

项目	内 容	参数及计算结果
输水管道 水力计算	长度 $L(\text{PE})/\text{m}$	5
	管道内径 d/mm	108.4
	计算流量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	60
	摩阻系数 f	94 800
	流量指数 m	1.77
	管径指数 b	4.77
	水头损失扩大系数 k	1.1
	输水管道水头损失 h/m	0.34
	输水管道进口流量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$	60
	管道材质	钢管
泵管水力计算	长度 L/m	17
	管道内径 d/mm	80
	计算流量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	60
	摩阻系数 f	625 000
	流量指数 m	1.9
	管径指数 b	5.1
	水头损失扩大系数 k	1.1
	水泵管道水头损失 h/m	5.5
	动水位 Z_c/m	15
	地形高差 m	0
设计扬程和 设计流量计算	局部水头损失 m	4
	入口工作压力 m	20
	设计流量 $Q/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	60
	设计扬程 H/m	44.84

6 设备选型

喷灌区土壤为黑钙土,选择轮胎 14.9×24 真空灌溉专用轮胎,0.55 kW 驱动电机可以在黑钙土上正常运行。根据玉米各生育期植株高度不同,喷头距地面高程确定在 1.5 m,随着植株生长逐步调整喷头高低。设备主要参数如表 8。

7 动力配套

配套总功率等于水泵功率 N_p 与喷灌机功率 N_e 之和。

$$N = N_p + N_e = 15 + 0.55 \times 4 = 17.2 \text{ kW}$$

8 结 语

本文以黑龙江省某试验区为典型,对中心支轴式喷灌系统设计进行探讨,归纳出资料收集、可行性分析、方案比选、水源设计、喷灌系统设计几个流程。根据玉米生育期特性,通过长系列降雨及试验观测资料进行玉米灌溉制度确定,计算生育期最大灌水定额,确定喷灌机灌水量及运行规律。根据土壤条件确定轮胎型号及驱动电机类型,保障设备正常运行,满足作物生育期需水量。设备已运行 1 a,地块测产达到 50 kg/hm²,增加幅度明显。

中心支轴式喷灌机在黑龙江省高效节水灌溉中处于初始阶段,目前主要用于玉米、马铃薯等作物灌溉,随着农民用水户

表 8 喷灌机主要技术参数表
Tab. 8 Sprinkler main technical parameter table

分类	项目	详细参数
结构 配置	1 设备长度	设备长度 245 m; 有效灌溉半径 245 m
	2 跨体配置	54.5 m/跨×4 跨+26.8 m 悬臂
	3 单机有效灌溉面积	20 hm ²
整机 性能	4 设备入口供水参数	0.2 MPa,系统总流量 60 m ³ /h
	5 设备入口供电参数	交流 380±20 V,50 Hz
	6 中心支点和桁架	热浸镀锌高强度钢材, 标准化设计,达到通用化 ①能够任意调节喷灌机的运行速度;② 能够控制喷灌机实现正/反转或停机;③ 控制箱面板运行指示灯能显示喷灌机运 行故障原因;④能够累计并显示设备运行 时间
	7 主控箱功能	
	8 整机最大功率	0.55 kW/跨(电机)×4 跨=2.2 kW
	9 设备爬坡能力	≤20%
	10 灌溉强度	4.5 mm/d,灌溉一圈最快 13 h
	11 灌水均匀度	≥85%
	12 跨体主管参数	外径 168 mm,镀锌薄壁钢管,壁厚 3 mm
	13 跨体通过高度	3 m
跨体 参数	14 驱动电机及减速器	380 V 5 Hz,功率 0.55 kW,灌溉专用, 铝合金外壳,防水密封带离合
	15 轮胎型号	14.9×24 真空灌溉专用轮胎可转
喷头 参数	16 喷头种类	NELSON S3000 或 R3000 低压喷头, 全部配备 Nelson 调压器
	17 喷头间距	2.23 m
	18 喷头距地面高度	1.5 m
辅助 选项	19 尾跨指示灯	具备
	20 设备同步保护功能	具备
	21 紧急停机功能	具备
	22 电机热保护功能	具备
	23 过雨量保护功能	具备
	25 低水压自动停机	具备
	24 辅助功能扩展接口	具备

节水意识的增强、劳动力价值的提升,作为节水、省工程度较高的灌溉设备,中心支轴式喷灌机在经济作物、大田作用中的应用将逐渐增加^[4],在保障黑龙江省粮食安全及粮食增产过程中起到保障和促进作用。因此,希望本文的探讨对黑龙江省规划设计、指导安装中起到积极作用。

参考文献:

[1] 黑龙江省统计局. 黑龙江省统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2012.
[2] GB/T50085-2007,喷灌工程技术规范[S].
[3] 水利部农村水利司,中国灌溉排水发展中心. 喷灌工程技术[M]. 郑州:黄河水利出版社,2011. 45—47.
[4] 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.