

通南高沙土区低压管道灌区 控制面积优化研究

姜国华¹, 单媛媛²

(1. 如皋市水利建筑安装工程有限公司, 江苏 南通 226500; 2. 如皋经济技术开发区水利服务站, 江苏 南通 226576)

摘要:通南高沙土区部分已建管道灌区因一次性投资成本太大及单位面积年耗电费用过高,影响了该项技术的推广应用。为解决管道灌溉发展中的技术难题,根据通南高沙土区特点,分别就3种不同面积的典型灌区进行管灌系统设计。以典型灌区装置效率、管网工程单位面积投资、单位面积年耗电费用为控制措施,提出管道灌区单机单泵适宜控制面积,该成果可为通南高沙土地区发展管道灌溉提供技术支持。

关键词:管道灌溉; 控制面积; 优化研究

中图分类号:TV213.4

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2021)03-0051-04

Optimization research on control area of low pressure pipeline irrigation area in high sandy soil area of south Nantong City

JIANG Guohua¹, SHAN Yuanyuan²

(1. Rugao Water Resources Construction and Installation Engineering Co., Ltd., Nantong 226500, China;

2. Water Resources Service Station, Rugao Economic and Technological Development Zone,
Nantong 226576, China)

Abstract: Due to the large one-time investment cost and the high annual power consumption per unit area in some established pipeline irrigation areas in the high sandy soil area of south Nantong City, the popularization and application of this technology were affected. In order to solve the technical problems in the development of pipeline irrigation, according to the characteristics of high sandy soil area in south Nantong City, the design of pipeline irrigation system in three typical irrigation areas with different areas was carried out. Taking installation efficiency of typical irrigation area, unit area investment of pipeline network engineering and annual power consumption per unit area as control measures, suitable control area of single machine and single pump in pipeline irrigation area was proposed, which could provide technical support for the development of pipeline irrigation in the high sandy soil area of south Nantong City.

Key words: pipeline irrigation; control area; optimization research

通南高沙土区位于长江三角洲北缘,含泰州、南通、扬州市的8个县(市),耕地面积22.33万hm²。近年来,该地区积极推进以管道灌溉为主的高效节水灌溉工程建设,实施了一大批管

道灌溉工程。已建项目后评价表明,部分管道灌区一次性投资成本太大、耗电过高,对后期管道灌溉的大面积推广造成一定影响。开展控制面积优化研究,可降低工程建设成本和运行成本,更好地指

收稿日期:2020-01-11

作者简介:姜国华(1962—),男,工程师,主要从事水利工程项目建设和管理工作。E-mail:1814650017@qq.com

导规划设计工作^[1-2]。

1 研究路线

以通南高沙土地地区控制灌溉面积 13.33 hm²、16.67 hm²、20 hm² 为例,进行管灌系统设计。在此基础上进行典型灌区装置效率、管网工程单位面积投资、单位面积年耗电费用 3 项技术指标计算与评价。

2 管灌系统设计

规划区域为长方形,长宽比为 2:1。灌溉水源取自河道,取水泵站位于长方形区域的角点,设计净扬程 3.5 m。

结合如皋本地农业生产情况,泡田期灌溉定额 m 取 1 500 m³/hm²,灌水周期 T 取 2 d,日工作时间 $t=15$ h。根据《农田低压管道输水灌溉工程技术规范》(GB/T 20203—2006) 要求,取管道水利用系数 $\eta_{\text{管}}=0.95$,田间水利用系数 $\eta_{\text{田}}=0.95$ ^[3-4]。

2.1 设计流量推求

根据设计灌水定额、灌溉面积、灌水周期和每天的灌水时间,按式(1)计算灌溉设计流量:

$$Q_0 = \sum_i \left(\frac{\alpha_i m_i}{T_i} \right) \frac{A}{t\eta} \quad (1)$$

式中: Q_0 为管灌系统的灌溉设计流量, m³/h; α_i 为灌水高峰期第 i 种作物的种植比例,取 1.0; m_i 为灌水高峰期第 i 种作物的设计灌水定额,项目区主要作物为稻麦轮作, m_i 按水稻泡田定额计,取 1 500 m³/hm²; e 为灌水高峰期的作物种类,取 1.0; $\eta = \eta_{\text{管}} \times \eta_{\text{田}} = 0.903$; T 为设计灌水周期,取 $T=2$ d; t 为每天灌水时间,取 15 h; A 为灌溉面积, hm²。

2.2 灌溉管网布置

管道系统按树状管网布置,采用地埋式干、支两级固定管道,支管上布置全塑出水口出水。管材选用硬聚氯乙烯 PVC-U 管材。管径采用经济流速法确定,计算公式如下:

$$D = 1000 \sqrt{\frac{4Q}{3600\pi v}} = 18.8 \sqrt{\frac{Q}{v}} \quad (2)$$

式中: D 为设计管径, mm; Q 为管道设计流量, m³/h; v 为经济流速,塑料管中一般为 1.0 ~ 1.5 m/s,取 1.2 m/s。

经过比选,选择干、支管管径。

干管: 13.33 hm² 的管灌区采用 $\Phi 450$ mm、 $\Phi 280$ mm 两种规格, 16.67 hm² 的管灌区采用 $\Phi 500$ mm、 $\Phi 280$ mm 两种规格, 20 hm² 的管灌区采

用 $\Phi 560$ mm、 $\Phi 315$ mm 两种规格。

支管:全部采用 $\Phi 250$ mm、 $\Phi 160$ mm 两种规格。

2.3 管道系统设计工作水头

(1) 管道沿程水头损失 h_f

管道沿程水头损失 h_f 计算式为

$$h_f = f \frac{Q^m}{D^b} L \quad (3)$$

式中: h_f 为沿程水头损失, m; f 为管材摩阻系数,塑料管取 $f=0.948 \times 10^{-5}$; Q 为管道设计流量, m³/h; D 为管内径, mm; m 为流量指数,塑料管取 $m=1.77$; b 为管径指数,塑料管取 $b=4.77$; L 为管道长度, m。

由于干、支管沿程流量逐渐变化,管路损失需按各段实际流量逐一分段计算。对于支管,为简化水头损失计算过程,可采用考虑多口系数的修正沿程损失公式计算。

(2) 局部水头损失

为简化计算,局部水头损失可按沿程水头损失的 10% ~ 15% 考虑。此处取沿程水头损失的 15% 作为局部水头损失。

(3) 管道系统最大、最小工作水头

管道系统最大、最小工作水头分别按以下公式计算:

$$H_{\max} = Z_2 - Z_0 + \Delta Z_2 + \sum h_{l2} + \sum h_{j2} + h_0 \quad (4)$$

$$H_{\min} = Z_1 - Z_0 + \Delta Z_1 + \sum h_{l1} + \sum h_{j1} + h_0 \quad (5)$$

式中: H_{\max} 、 H_{\min} 分别为管道系统最大、最小工作水头, m; Z_1 为参考点 1 的地面高程, m, 在平原地区参考点 1 一般为距水源最近的给水栓; Z_2 为参考点 2 的地面高程, m, 在平原地区参考点 2 一般为距水源最远的给水栓; Z_0 为管道系统进口高程,取 -0.7 m; ΔZ_1 、 ΔZ_2 分别为参考点 1、2 处给水栓出口中心线与地面的高差,给水栓出口中心线的高程应为其控制的田间最高地面高程加 0.15 m,考虑田块内部的高差 0.05 m,取 ΔZ_1 、 ΔZ_2 为 0.2 m; $\sum h_{l1}$ 、 $\sum h_{l2}$ 为管道系统进口至参考点 1、2 给水栓的管路沿程水头损失, m; $\sum h_{j1}$ 、 $\sum h_{j2}$ 为管道系统进口至参考点 1、2 给水栓的管路局部水头损失, m; h_0 为给水栓工作水头,取 0.4 m。

(4) 管道系统设计工作水头

需设水泵加压的管道灌溉系统,其设计工作水头宜按最大和最小工作水头的平均值近似取用,计算式为

$$H_0 = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} \quad (6)$$

式中: H_0 为管道系统设计工作水头,m。

2.4 水泵选型及动力机配套

(1) 水泵扬程计算

水泵设计扬程计算式为

$$H_p = H_0 + Z_0 - Z_d + \sum h_{f0} + \sum f_{j0} \quad (7)$$

式中: H_p 为灌溉系统水泵的设计扬程,m; H_0 为管道系统设计工作水头,m; Z_0 为管道系统进口高程,取 -0.7 m; Z_d 为泵站前池水位,取 -3.5 m; $\sum h_{f0}$ 、 $\sum f_{j0}$ 为水泵吸水管进口至压水管出口之间的管道沿程水头损失与局部水头损失,m。

其中,水泵压水管出口与前池水位高差取 3.5 m,水泵吸水管进口至管道系统进口之间的水头损失按该高差的25%取值为 0.87 m。

(2) 水泵及电机选择

根据设计扬程、设计流量,查变频控制条件下低扬程水泵选型成果表,选择水泵型号和电动机配套功率。

通过计算水泵管路阻力参数 S_1 、管网阻力参数 S_2 ,求得装置需要的扬程曲线,以此进行工况点校核。确保在变频控制条件下,所选水泵型号在设计扬程、最小扬程和最大扬程工况时均在高效区运行,流量满足灌溉用水要求,同时进行电机功率复核。

电动机配套功率计算式为

$$P_d = K_p P_z / \eta_c \quad (8)$$

式中: P_d 为动力机功率配套值,kW; K_p 为动力机功率备用系数,取 1.15 ; P_z 为水泵轴功率,kW; η_c 为传动效率,直接传动方式取 1.0 。

水泵及电机选择结果:13.33 hm² 的灌区水泵选用300HW-8混流泵(转速970 r/min),配22 kW电机;16.67 hm² 的灌区水泵选用350HW-8混流泵(转速980 r/min),配30 kW电机;20 hm² 的灌区水泵选用400HW-7混流泵(转速730 r/min),配30 kW电机。

3 技术指标计算

3.1 装置效率

(1) 管路效率 $\eta_{\text{管}}$

管路效率可以用管路的输出和输入功率之比求得。设计工况下管路的输出功率为 $\rho g H_{st} Q$,输入功率为水泵的有效功率即 $\rho g H_p Q$,其中 H_p 和 H_{st} 分别为水泵设计扬程和净扬程,故管路效率 $\eta_{\text{管}}$ 计算公式为

$$\eta_{\text{管}} = \frac{\rho g H_{st} Q}{\rho g H_p Q} = \frac{H_{st}}{H_p} = \frac{H_p - \Delta h}{H_p} \quad (9)$$

式中: H_p 为设计扬程,m; Δh 为水泵吸水管进口至管道系统进口之间的管道水头损失。

(2) 传动效率 $\eta_{\text{传}}$

传动方式为直接传动,取 $\eta_{\text{传}} = 1.0$ 。

(3) 动力机效率 $\eta_{\text{动}}$

根据所选电动机的型号查询 $\eta_{\text{动}}$ 。

(4) 水泵效率 $\eta_{\text{泵}}$

根据水泵设计工况,查性能曲线得出 $\eta_{\text{泵}}$ 。

(5) 装置效率 η

装置效率计算公式为

$$\eta = \eta_{\text{管}} \eta_{\text{传}} \eta_{\text{动}} \eta_{\text{泵}} \quad (10)$$

3.2 管网工程单位面积投资

计算管网工程总投资 G ,管网工程单位面积投资 C 的计算式为

$$C = G/A \quad (11)$$

式中: G 为总投资,元; A 为灌溉面积,hm²。

3.3 单位面积年耗电费用

提水电费即为泵站向管网输水并且满足灌溉所需压力的动力费用,泵站所消耗电量计算式为

$$E = \frac{\rho g q t H_{st}}{1000 \eta_{\text{泵站}}} \quad (12)$$

式中: q 为设计流量,m³/s,即为 $\frac{Q(\text{m}^3/\text{h})}{3600}$; t 为运行

时间,h,即为 $\frac{m}{Q}$,根据实地调查,为尽量覆盖灌溉用水量范围,灌溉定额 m 选取了9 000 m³/hm²、12 000 m³/hm²、15 000 m³/hm²、18 000 m³/hm² 分别进行计算; H_{st} 为水泵净扬程,m; $\eta_{\text{泵站}}$ 为将进出水池效率近似取1,可得 $\eta_{\text{泵站}} \approx \eta = 68.83\%$ 。

根据计算电量,电单价取0.52元,可计算出单位面积年耗电费用。

4 技术指标评价

针对通南高沙土地区不同控制灌溉面积的灌区典型设计,以装置效率、管网工程单位面积投资和单位面积年耗电费用为评价指标(表1),确定管道灌区适宜控制面积。其中,电费中的灌溉定额根据实地考察采用1 200 m³/hm²。

(1) 节能指标

装置效率是管道灌溉项目的节能指标。从表1可以看出,通过优化管路布局和水泵选型,不同控制面积的典型灌区的泵站装置效率均大于65%,其

表 1 通南高沙土区不同控制面积管道灌区的技术指标

控制面积/hm ²	装置效率/%	管网工程单位面积投资/(元·hm ⁻²)	单位面积年耗电费用/(元·hm ⁻²)
13.33	67.09	50928	149
16.67	68.02	52494	150
20.00	69.04	51323	147

中控制面积为 20 hm² 的装置效率最高。从节能角度看,单机单泵控制面积在 20 hm² 左右节能效果较佳。

(2) 经济指标

管网工程单位面积投资和单位面积年耗电费用作为管道灌溉系统的经济指标进行评价。从表 1 可以看出,当控制面积为 13.33 hm² 时,管网工程单位面积投资为 50 928 元/hm²,在三者中最低;当控制面积为 16.67 hm² 时,管网工程单位面积投资为 52 494 元/hm²,为三者中最高。从单位面积年耗电费用指标看,不同控制面积情况下的单位面积年耗电费用成本差别不大,且单位面积年耗电费用成本与管网工程单位面积投资相比,在总成本中所占比重很小。按工程使用 15 年考虑,当控制面积在 13.33 hm² 左右时,所需成本最低,工程的经济效益最好。

综合以上对管道灌区的节能指标和经济指标的分析,建议低压管道灌区单机单泵的控制灌溉面积控制在 13.33 hm² 左右。管网布置优先采用树状管网,设 2~3 级固定管道,出水口口径宜选用 110 mm。

5 结 语

低压管道灌溉具有节水、节地、省工等优点,具有广阔的使用前景。管道灌区控制面积优化研究成果近年已在如皋市推广应用,实践证明管网工程单位面积投资及单位面积年耗电费用指标明显下降。该研究成果可为通南高沙土区管道灌溉系统规划设计提供技术支撑和示范引领,项目研究符合一定的社会需求,经济效益和社会效益明显。

参考文献:

- [1] 陈文猛,钱钧,陈凤,等. 江苏省低压管道灌溉技术发展关键问题探讨[J]. 中国水利, 2018(5):45-46.
- [2] 史鼎新,陈平. 设施农业低压管道灌溉系统控制面积优化[J]. 现代农业科技, 2009(24):223-224, 233.
- [3] 王蒙,冯兆云,刘建华,周明耀. 江苏地区农田低压管道输水灌溉工程技术模式研究[J]. 灌溉排水学报, 2014(3):59-63.
- [4] 高良敏. 南方小型机电(塑料、混凝土)管道灌区标准化研究[D]. 扬州:扬州大学, 2012.

(上接第 50 页)

参考文献:

- [1] 李增焕,毛崇华,杨铖,等. 大型灌区智慧灌溉系统开发与应用[J]. 中国农村水利水电, 2019(2):108-112, 118.
- [2] 宋增芳,孙栋元,胡想全,等. 全渠道一体化测控闸门在昌马南干渠灌区的应用[J]. 中国农村水利水电, 2018(4):73-76.
- [3] 王启飞,刘冠军,刘磊,等. 灌区测控一体化闸门系统设计及应用[J]. 中国农村水利水电, 2019(2):159-162.
- [4] 史中兴,张师玮,张彦蕊,等. 大型灌区渠道闸门一体化测控系统[J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(2):145-151.
- [5] 朱蕾,赖剑,罗强. 一体化测控智能闸门在灌区中的应用[J]. 水利信息化, 2018, (18):50-51.
- [6] 王磊,赵自阳,王中根,等. 灌区农业用水测算方法研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2019, 49(6):874-880.
- [7] 许冠芝,温宗周,张阳阳. 基于 STM32 的一体化闸门控制系统设计[J]. 微处理机, 2019, 40(4):9-13.
- [8] 古玉,方天钰,陈建,等. 灌溉渠系非恒定流数值模拟及闸门运行设计[J]. 中国农村水利水电, 2019(7):140-147.
- [9] 王金辉,徐宝山,惠磊. 基于测控一体化闸门传感器清洗方法研究[J]. 节水灌溉, 2019(9):121-124.