

江苏省稻作区低压管道灌溉适宜控制规模研究

郭相平¹,王敏¹,陈盛¹,章二子²

(1.河海大学农业工程学院,南京210098;2.江宁区水务局,南京211100)

摘要:【目的】充分考虑工程经济性、实用性以及江苏省的现实情况,提出适合江苏省的低压管道输水灌溉工程的适宜控制规模。【方法】初步分析江苏省稻作区管道灌溉系统适宜控制规模的影响因素,建立灌溉管网的系统优化模型并采用界限流量法求解该模型。按照优化模型,估算出不同灌溉工程规模下的管网系统年费用,得到系统控制规模与单位面积年费用的关系。【结果】绘制系统控制规模与单位面积年费用关系图,在综合考虑工程建设投资和后期运行、管理和维护的情况下,建议管灌系统工程的适宜控制规模为23~30 hm²。【结论】根据现实情况适当选取管道灌溉工程的控制规模,对于节省工程投资以及工程运行后期的管理维护具有现实意义。

关键词:江苏省;低压管道;控制规模;优化模型;界限流量法

中图分类号:S274.2

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggpps.2019105

郭相平,王敏,陈盛,等.江苏省稻作区低压管道灌溉适宜控制规模研究[J].灌溉排水学报,2019,38(11):28-35.

0 引言

根据全国用水资料可知,农业用水始终占据全国总用水量的60%以上,农业用水基数巨大。从20世纪80年代以来,我国通过改进地面灌溉、渠道衬砌、发展管道灌溉、喷微灌等措施的实施,抑制了农业用水^[1],从1997年开始,我国农田单位面积实际灌溉用水量呈现缓慢下降的趋势,农业用水逐渐趋向于节水^[2]。江苏省是中国综合发展水平最高的省份,其拥有丰富的过境水资源,但可利用水量较少,农业是其最大的用水户,占总用水量的50%左右。但随着工业和城市化的发展,工农业用水矛盾加剧,农业用水面临着严峻的形势^[3],因此解决江苏省农业灌溉用水短缺的问题迫在眉睫。低压管道灌溉是用压力管道代替输水渠道,以减少输水过程中的渗漏及蒸发损失为主要目的进行灌溉的一种节水灌溉技术。目前,我国井灌区的低压管道灌溉技术已发展成熟,该技术现已由北方旱作区向南方水田区、由井灌区向提水灌区、由平原区向丘陵山区发展^[4]。实践证明,在机井和提水灌区供水的情况下,管道灌溉比土渠输水分别节水30%和40%左右^[5]。水稻生产是农业灌溉最大的用水户,占据了农业用水的65%以上,解决水稻生产用水过多问题是农业节水的重要环节^[6]。因此在江苏省稻作区推广低压管道灌溉技术具有重要意义。

国内外学者采用线性规划、动态规划、遗传算法、人工神经网络算法及模拟退火算法等方法在低压管道灌溉系统的管网布置和管径优化等方面进行了大量研究^[7-13],为压力管道的输配水优化设计提供了重要参考,但对于压力管道灌溉系统适宜控制规模的研究较少,而系统适宜控制规模的选取也在很大程度上决定了管网布置的难易程度和灌溉系统的投资大小,因此控制规模的确定是灌溉管网系统设计的重要部分。本文将初步分析影响江苏省稻作区管网系统适宜控制规模的因素,并结合管网优化布置和管径优化,对江苏省稻作区的低压管道灌溉系统适宜控制规模进行初步探究。

收稿日期:2019-06-24

基金项目:江苏省水利科技项目(2018046)

作者简介:郭相平(1968-),男,山东菏泽人。教授,主要从事农业水土工程理论研究。E-mail: xpguo@hhu.edu.cn

1 系统控制规模的影响因素

1.1 工程投资

管道灌溉系统工程投资包含水源工程(首部枢纽及泵房)和管网工程投资二部分,其中输配水管网投资一般占灌溉系统总投资的70%^[14],该部分的投资大小决定了整个系统的投资大小。目前管道灌溉通常采用PVC或PE等塑料管道,随着管径的增大,塑料管道的单价通常呈指数增加,当管径较大时,管道的单价将增加很多^[15]。当系统的控制规模偏大时,即使对管径进行优化,依然无法避免由于管径较大而造成的系统投资偏大的问题;当控制规模偏小时,灌溉系统的亩均投资会相对增加,这是由于在现代农业生产中往往需要配备一些固定性生产要素,如灌溉系统和泵房、进出水建筑物等生产用建筑,当规模没有达到固定要素的最大潜能时,扩大规模而产生的费用是不高的^[16]。所以对于水稻这种经济效益较低的作物来说,控制规模过小会使得投资回收期相对延长^[17]。选取适当的控制规模能最大程度地节省管道灌溉工程投资。

在水源工程投资中,输电线路和变压器对工程投资影响巨大。按规范^[18-19]要求,用电设备容量在250 kW及以下者,可以低压方式供电,低压配电电压宜采用220 V/380 V。考虑到电力系统建设费用高,且变压器被盗风险较高,需要配备管理人员住房看护。故本文主要讨论不需要配备变压器和新建输电线路的泵站,而是通过控制灌溉面积、枢纽采用一体化泵站的方式进行分析。

1.2 规模化经营程度

系统的控制规模与当前农业生产规模化经营现状密切相关。改革开放以来,我国推行的家庭联产承包责任制使得个体经营成为主流经营模式,在短期内提高了农业生产效率,但同时也阻碍了农业科学技术的推广和应用^[20]。江苏省个体经营模式下,农民每户承包面积大多不超过1.5 hm²。规模经营模式下,6~20 hm²的家庭农场是土地流转的主要形式,20 hm²以上的种田大户承包面积占比不大(2016,江苏省农委资料)。对于个体经营模式,低压管灌系统控制面积不宜过大,否则会出现水费征收、系统日常维护由谁负责等运行管理方面的难题。在规模经营模式下,低压管道输水系统节水、节地的规模效应明显,不存在土地承包权和经营权的矛盾^[20],管理方便。适当增加控制面积可有效分摊水源工程建设费用,降低单位面积工程费用。因此,在水源、耕地分布允许的情况下,控制面积扩大到33 hm²是可行的。该规模相当于一条斗渠的控制范围,可涵盖江苏省目前绝大多数的家庭农场。

1.3 管理水平

管理水平对低压管道输水灌溉系统的功能发挥和使用寿命影响至关重要。根据初步调查,目前江苏省小型泵站一般由行政村或自然村(组)村民负责管理。控制面积过大而跨越行政区时,协调管理和水费征收难度增加^[21]。从行为和心理学角度考虑,管理人员在开启给水栓操作时,步行距离一般不宜超过400~500 m。即泵站到最远的控制阀的行走距离宜小于500 m^[22]。从实际运行效果来看,控制面积33 hm²以下的泵站,尤其是13~20 hm²左右的泵站,运行管理较好。

对于土地流转后的农田,格田面积较大,管理水平较高,控制面积可以适当增加。根据低压管道输水灌溉发展较好的上海市2018年资料,低压管道输水灌区单泵控制面积一般在13~33 hm²;南京市江宁区的调查结果也显示,控制面积13~26 hm²的泵站最为适宜。超过67 hm²,由于水头损失和提水电费增加,实际运行效果不佳。

2 管网系统优化模型

灌溉管网系统投资包括工程基建投资和运行费二部分,管网优化目标是管灌系统的年费用最小,即工程投资的本利年摊还值及年运行费之和最小。目标函数为:

$$\min W = \alpha F + C, \quad (1)$$

式中: W 为管网系统年费用(元); F 为工程基建投资(元); C 为系统年运行费(元); α 为资金回收因子(本利摊还因子)。

$$\alpha = \frac{i_s(1+i_s)^t}{(1+i_s)^t - 1}, \quad (2)$$

式中: i_s 为社会折现率(%); t 为管网系统的使用年限(年)。

2.1 工程基建投资

工程投资包括水源工程(首部枢纽及泵房)和管网工程投资。根据前面提到的上海市推广低压管道输水灌溉工程的成功经验及在上海和南京市江宁区实地调研结果认为低压管道灌溉系统以不超过 33~40 hm² 为宜。水源工程的投资以泵站投资为主,而供电外线费用是泵站投资的主要组成之一。拟对 3~40 hm² 范围内面积不等的低压管道输水灌溉系统进行优化,所需的最大功率为 30~40 kW,可采用低压配电方式,所以不考虑变压器及供电线路的费用。拟采用一体化智能泵站为灌溉枢纽。一体化智能泵站是基于物联网技术研发出来的智能一体化灌排设备,是 1 种可以移动、可以组装的智能灌排设备,它将现代电气控制、自动化测控、超声波计量、智能保护、红外安防监控、视频监控、水利物联网及现代建筑等技术与泵机组进行一体化系统集成,其有技术先进、操控方便、安全可靠、节约占地、安装快捷等特点^[23]。对于给定的管道灌溉系统,泵站的总投资可表示为^[24]:

$$K = \frac{S \cdot \gamma}{102} \sum_{j=1}^n \frac{(Q_j H_j)^z}{\eta_j}, \quad (3)$$

式中: K 为泵站投资(元); S 为泵站投资参数(元/kW); γ 为泵站机组储备系数,通常取 1.05~1.1; Q_j 为第 j 个泵站的流量(L/s); H_j 为第 j 个泵站的扬程(m); η_j 为第 j 个泵站的工作效率(%); z 为泵站经济效益指数, $0 < z < 1$ 。

管网工程投资主要是管道投资和配套设施投资,其中配套设施投资及管道安装施工费可按管道投资的比例进行估算。则管网工程投资可表示为:

$$P = \left(\sum_{i=1}^n f(D_i) l_i \right) (1 + \lambda), \quad (4)$$

式中: $f(D_i)$ 为第 i 管段的管道造价函数,可根据江苏省的市场价格通过统计分析、曲线拟合得出(元); l_i 为第 i 管段的管道长度(m); λ 为配套设施投资及管道安装施工占管道投资的百分数(%)。

工程基建投资为:

$$F = K + P = \frac{S\gamma}{102} \sum_{j=1}^n \frac{(Q_j H_j)^z}{\eta_j} + \left(\sum_{i=1}^n f(D_i) l_i \right) (1 + \lambda). \quad (5)$$

2.2 管网年运行费

管网系统年运行费 C 包括能耗费 C_e 、维修费 C_r 和管理费 C_a 。维修费和管理费可按基建投资的一定比例估算,即:

$$C_r + C_a = \mu F, \quad (6)$$

能耗费为:

$$C_e = \frac{E \cdot Q \cdot T \cdot H}{367.2 \eta}, \quad (7)$$

$$Q = \frac{15A \cdot M}{\eta_0 n t}, \quad (8)$$

$$T = N \cdot n t, \quad (9)$$

式中: μ 为维修及管理综合费率(%); E 为电价(元/kW·h); Q 为管网设计流量(m³/h); T 为水泵年工作时间(h); H 为水泵扬程(m); η 为水泵平均工作效率(%); A 为灌溉面积(m²); M 为灌水定额(m³/hm²); η_0 为灌溉水利用系数; N 为年灌水次数; n 为灌水周期(d); t 为每天灌水时间(h)。

水泵的扬程 H 为:

$$H = H_0 + h_f = H_0 + \sum_{i=1}^n h_{fi} = H_0 + \sum_{i=1}^n \beta f \frac{q_i^m}{D_i^b} l_i, \quad (10)$$

式中: H_0 为水泵的净扬程(m); h_f 为管网水头损失(m),此处采用勃拉-休斯公式计算; q_i 为第 i 管段的设计流量(m³/h); f 、 m 、 b 分别为管材摩阻系数,流量指数和管径指数,对于硬塑料管, $f=0.948 \times 10^5$, $m=1.77$, $b=4.77$; β 为考虑局部水头损失的系数,此处取 1.1。

将式(5)一式(10)带入式(1),可得:

$$W = (\alpha + \mu) \left[\frac{S\gamma}{102} \sum_{j=1}^n \frac{(Q_j H_j)^2}{\eta_j} + \left(\sum_{i=1}^n f(D_i) l_i (1 + \lambda) \right) \right] + \frac{E \cdot Q \cdot T}{367.2 \eta} \left(H_0 + \sum_{i=1}^n \beta f \frac{q_i^m}{D_i^b} l_i \right) \quad (11)$$

对于一个给定的灌溉系统, H_0 为定值, 设计流量 Q 也为定值, 泵站投资主要随设计流量的大小而变化, 跟系统扬程的关系并不明显, 因此对于各个控制规模的管灌系统而言, 可忽略泵站选择对水源工程投资的影响, 则目标函数可简化为:

$$\min W = (\alpha + \mu) \sum_{i=1}^n f(D_i) l_i (1 + \lambda) + \frac{E \cdot Q \cdot T}{367.2 \eta} \sum_{i=1}^n \beta f \frac{q_i^m}{D_i^b} l_i \quad (12)$$

2.3 模型约束条件

1) 压力约束。管道各节点的出水口压力约束应该大于系统正常工作时的最小压力。

$$E + H - h - \sum_{i=1}^{L(j)} \beta f \frac{Q_i^m}{D_i^b} L_i - E_j - H_{j\min} \geq 0, \quad (13)$$

式中: E 为水源的水面标高(m); h 为水泵管路的水头损失(m); $L(j)$ 为从水源到第 j 点节点的管道数; E_j 为第 j 节点的地面高程(m); $H_{j\min}$ 为第 j 节点正常工作的最小压力(m)。

2) 管道承压约束。在管道输水过程中, 管道各处的压力不能超过管道的最大承压力, 考虑在灌溉系统中管网首部的压力最大, 因此只需管网首部压力小于管道的最大承压力。

$$E + H - h - E_1 - 102H_c \leq 0, \quad (14)$$

式中: H_c 为管道允许承压力(MPa)。

3) 流量及管径约束。考虑采用一体化泵站, 适合于供排水量为 50~800 m³/h, 配套进出水管径 200~400 mm。根据市场调查, 超过 400 mm, 塑料管单位长度的造价将大幅增加, 且管道配件需要订做。结合上述考虑, 选择约束条件:

$$50 \text{ m}^3/\text{h} \leq Q_i \leq 800 \text{ m}^3/\text{h}, \quad (15)$$

$$200 \text{ mm} < D_{\mp} < 400 \text{ mm}, \quad (16)$$

式中: Q_i 为第 i 管段的设计流量(m³/h); D_{\mp} 为连接水泵的干管管径(mm)。

4) 流速约束。为防止流速过小造成管道内泥沙或杂物淤积, 管道流速应不小于 0.6 m/s; 为防止流速较大造成水击破坏或运行能耗费过高, 管道流速应不大于 3 m/s^[25]。

$$0.6 \text{ m/s} \leq v_i \leq 3 \text{ m/s}, \quad (17)$$

式中: v_i 为第 i 管段的管道流速(m/s)。

2.4 管网优化模型求解

选用界限流量法来求解模型, 界限流量是对于某一标准管径所对应的相对经济的流量范围, 当流量在这一范围内时选择该管径都是经济的^[26]。该方法确定的是标准管径, 可令相邻 2 种标准管径的年费用相等来推求界限流量。界限流量法相比于遗传算法^[27]、人工神经网络法等智能算法, 具有更强的实用性和可操作性。

假定 D_{k-1} 、 D_k 、 D_{k+1} 为 3 个相邻的管径, 根据式(11)可以绘出不同管径下年费用 W 随流量 q 变化的 3 条曲线 $W \sim D_{k-1}$ 、 $W \sim D_k$ 、 $W \sim D_{k+1}$, 如图 1 所示, 3 条曲线的两两交点为 q_k 、 q_{k+1} , 当流量在 $q_k \sim q_{k+1}$ 时, 选择管径 D_k 是经济的, 当管段流量等于界限流量时, 相邻 2 档管径都可以选用。

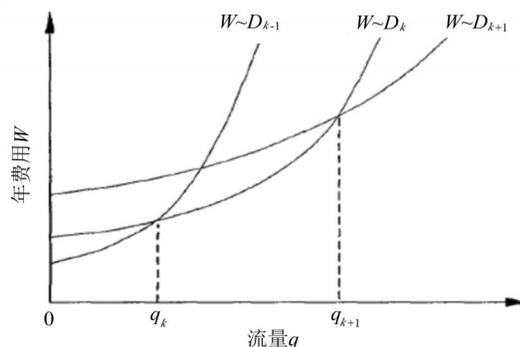


图 1 界限流量法示意图

对于给定的管道系统,任意管段的设计流量 q_i 与管网系统设计流量 Q 存在如下关系:

$$Q = k_i q_i, \quad (18)$$

式中: k_i 为管网设计流量 Q 与管段流量 q_i 的比值。

将2个相邻管径 D_{i-1} 、 D_i 带入式(12)得到 W_{i-1} 、 W_i ,令其相等即可得到对应的界限流量。

$$q = \left\{ \frac{367.2\eta(\alpha+\mu)(1+\lambda)[f(D_i)-f(D_{i-1})]}{EkT\beta f(D_{i-1}^{-b}-D_i^{-b})} \right\}^{\frac{1}{m+1}}。 \quad (19)$$

对于给定的灌溉管网系统, k_i 的值由管网布置方式和各管段设计流量决定,用界限流量法求出界限流量表,与实际流量比较后选出适合的经济管径。最后复核该管径组合是否满足约束条件的要求,如不满足,则调整管径至满足约束条件。

3 管道灌溉系统适宜控制规模

运用上述模型和求解方法确定经济管径后,可根据不同控制面积对管道灌溉系统年费用的影响,寻求江苏省低压管道输水灌溉技术的适宜控制规模。

江苏省地势低平,河湖众多,平原及水面面积所占比例居全国首位,江苏省土地面积10.26万 km^2 ,平原洼地占70%,河湖水面占16%,丘陵山地占14%^[28]。考虑平原地区地形平坦,耕地集中连片,田块规格相对较大,采用干、支两级管道的组成方式进行管网布置,运用系统优化模型对在3~40 hm^2 范围内面积不等的低压管道输水灌溉系统进行优化设计。

3.1 基本数据

按规范^[29]要求,塑料管道的折旧年限为20 a,此处选取管网系统的使用年限为20 a,社会折现率为8%,由式(2)计算得到资金回收因子 $\alpha=0.10185$;系统维修及管理综合费率 μ 取3%;配套设施及管道安装施工费占管道投资百分比 λ 取15%;农业排灌用电电价 E 取为0.50元/($\text{kW}\cdot\text{h}$);按规范^[30-31]以管道系统水利用系数和田间水利用系数均不低于0.95计算可得灌溉水利用系数不低于0.90,但在系统实际运行中灌溉水利用系数无法达到理想值0.9,根据上海市采用低压管道输水灌溉的小型水田灌区测算得到的农田灌溉水有效利用系数结果可知, η_0 在0.7~0.8之间,因此取灌溉水利用系数为0.75;管径选取应以作物需水量最大的生育期为依据选取,对水稻而言泡田期需水量最大,江苏省水稻泡田期灌水定额取8 m^3/hm^2 ;水泵年运行时间根据作物综合灌溉定额和不同系统控制面积计算选取,江苏省最新综合灌溉定额为40~44 m^3/hm^2 ,此处选取43 m^3/hm^2 进行计算;年水泵平均工作效率 η 为75%;考虑局部水头损失的系数 β 为1.1;泵站投资参数 S 取1000元/ kW ^[24];泵站机组储备系数 γ 取1.10;泵站经济效益指数 z 取0.7;规模化管灌工程管网压力一般为0.3~0.5 MPa,本文拟采用管道承压能力为0.63 MPa的PVC硬塑材料,可以满足低压管道输水灌溉的强度要求^[32]。对于硬塑料管材, $f=0.948\times 10^5$, $m=1.77$, $b=4.77$ 。某塑管建材厂家提供的管径系列及单价见表1。该数据基本反映了目前市场价格与管道管径之间的关系。

表1 0.63 MPa PVC管道价格表

外径/mm	价格/(元· m^{-1})	外径/mm	价格/(元· m^{-1})	外径/mm	价格/(元· m^{-1})
20	3.63	110	35.66	280	231.96
25	4.62	125	46.51	315	291.28
32	6.34	140	58.81	355	370.88
40	8.46	160	76.82	400	470.72
50	10.69	180	93.93	450	594.44
63	15.02	200	117.68	500	738.43
75	20.58	225	146.90	560	921.31
90	30.06	250	186.07	630	1165.10

利用Excel软件根据表1数据进行统计分析和曲线拟合,通过图2可发现幂函数的拟合度小于二次项函数(图2),管道价格的二次项函数为:

$$f(D_i) = 3.69675 - 0.01662D_i + 0.00296D_i^2, \quad (20)$$

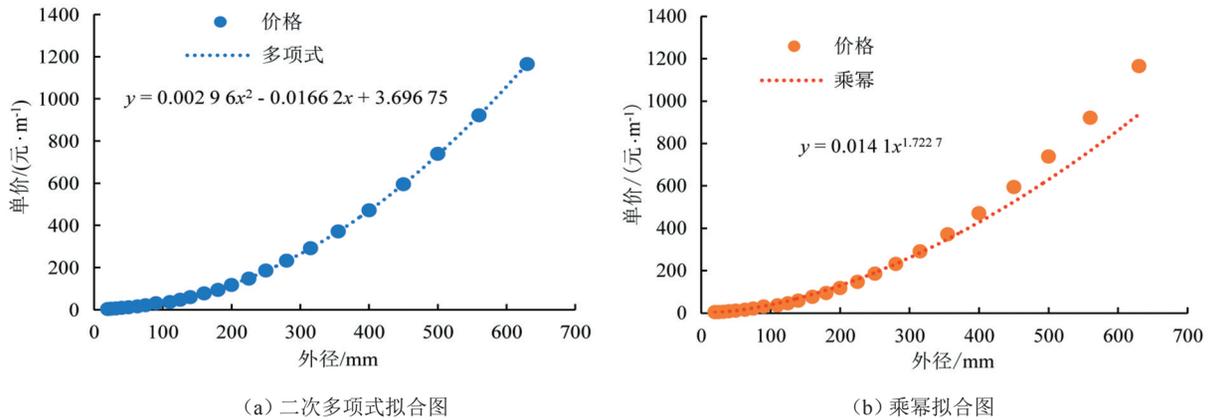


图2 管道价格函数曲线拟合图

3.2 系统控制面积与单位面积年费用关系

根据不同系统控制面积下的管网设计流量与不同 k 值情况下的界限流量比较,选取干管和支管的管径,并将管径价格代入式(11)计算年费用,结果如表2所示。

表2 系统优化设计结果

控制面积/hm ²	干管		支管		系统年费用/元	单位面积年费用/元
	管径/mm	流量/(m ³ ·h ⁻¹)	管径/mm	流量/(m ³ ·h ⁻¹)		
3.6	225	360	160	2.49	30 774.99	8 548.61
7.5	250	462	160	2.13	49 587.03	6 611.60
10.5	280	560	180	2.04	61 052.14	5 814.49
12	280	565	180	2.05	66 239.16	5 519.93
16	280	533	180	1.46	69 005.36	4 312.83
20	280	571	180	1.56	82 658.77	4 132.94
25	280	571	180	1.25	93 463.79	3 738.55
27.5	315	629	180	1.37	101 121.87	3 677.16
30	315	686	180	1.50	113 796.61	3 793.22
36	315	785	180	1.43	140 511.29	3 903.09
39	355	850	180	1.55	150 352.22	3 855.19

注:表中控制面积为39 hm²的情况下,干管设计流量均大于流量约束的上限800 m³/h,可考虑采取增加水泵的方法定制一体化智能泵站来满足系统流量的需求。

可由表2建立系统控制面积与单位面积年费用之间的关系,如图3所示。由图3可知,系统控制面积与单位面积年费用拟合曲线关系为:

$$y = -0.2038x^3 + 20.286x^2 - 653.67x + 10613$$

对该函数求导可得 $y' = -0.609x^2 + 40.572x - 653.67$,令导函数 $y' = 0$,可求得曲线的极值点分别为 $x_1 = 27.29$, $x_2 = 39.33$ 。即当系统控制面积在0~27.29 hm²之间时,单位面积年费用单调递减,当控制面积在27.29~39.33 hm²之间时,单位面积年费用年调递增,所以该函数在 $x = 27.29$ hm²时存在最小值。即系统控制面积取27.29 hm²左右时,单位面积年费用最小。考虑实际工程的规划设计,当控制面积在23~30 hm²,单位面积年费用均较小,即对于平原地区系统最优控制面积范围是23~30 hm²;对于田块相对较小的丘陵山区和河网地区,系统的控制面积可以根据实际情况适当减小,因地制宜。

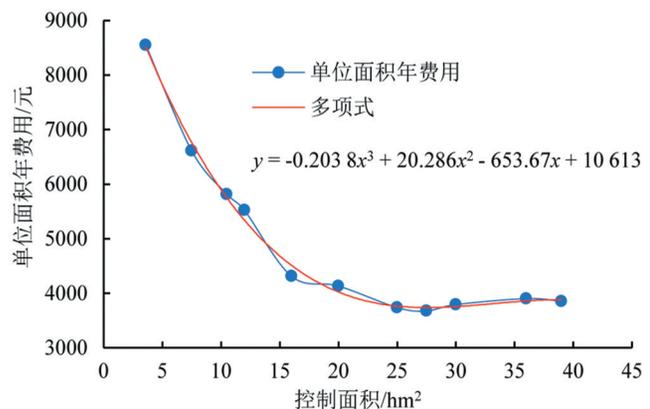


图3 系统控制面积与单位面积年费用关系图

4 讨论与结论

目前国内外对低压管道输水灌溉工程的研究大多集中于管网布置和管径优化方面,较少有关于工程控制规模的研究。对于管灌系统而言,只考虑管网布置和管径优化而忽略控制规模的正确选取,往往会影响工程的经济性和实用性。

从江苏省稻作区低压管道输水灌溉工程的推广需求出发,针对压力管道灌溉系统适宜控制规模研究的问题,在了解江苏省目前的发展现状、发展需求及推广过程中存在的问题的情况下,基于江苏省的自然、经济及土地流转状况,对低压管道输水灌溉工程的适宜控制面积进行优化。

本文综合考虑了管理因素、经济因素和经营模式,建立了江苏省低压管道灌溉管网优化模型,实用于 $3\sim 40\text{ hm}^2$ 范围内面积不等的管灌系统,用界限流量法求解优化管径,将优化结果运用于管灌系统,可得到当控制面积在 $0\sim 27.29\text{ hm}^2$ 范围内时,系统单位面积的年费用随着控制面积的增大而减小,当控制面积在 $27.29\sim 39.33\text{ hm}^2$ 范围内时,系统单位面积的年费用随着控制面积的增大而增大,即当控制面积在 27.29 hm^2 时,系统单位面积年费用最小。在工程实际运用时,由于地形等因素的限制,将面积控制在 27.29 hm^2 这个固定值是不现实的,因此综合考虑工程建设投资和后期运行、管理和维护的情况下,系统最佳的控制面积范围为 $23\sim 30\text{ hm}^2$,可为江苏省低压管道灌溉的推广和应用提供参考。

本文是在采用一体化泵站的前提下进行优化的。对于水源条件好的地区,可采用流动机泵的地区,减少水源工程投入。该情况下适宜控制面积可以更小。对于电力系统条件完善、规模经营的地区,也可以通过完善轮灌制度,增加控制面积。

参考文献:

- [1] 李云玲. 水资源需求与调控研究[D]. 北京:中国水利水电科学研究院, 2007.
- [2] 吴芳, 张新锋, 崔雪锋. 中国水资源利用特征及未来趋势分析[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(1):30-39.
- [3] 张娜娜, 王海涛, 吴颖超, 等. 基于数据包络分析模型的江苏省农业水资源利用效率评价[J]. 水土保持通报, 2015, 35(4):299-303.
- [4] 梁春玲, 刘群昌, 王韶华. 低压管道输水灌溉技术发展综述[J]. 水利经济, 2007(5):35-37, 76-77.
- [5] 李其光, 马海燕, 王昕, 等. 管道输水灌溉适宜工程规模初探[J]. 节水灌溉, 2012(10):63-64, 68.
- [6] 张明生, 王丰, 张国平. 中国农业用水存在的问题及节水对策[J]. 农业工程学报, 2005(S1):1-6.
- [7] KAUR Damanjeet, SHARMA Jaydev. Design of optimal water distribution networks[J]. Journal of the Pipeline Division, 1968, 94(1):1-10.
- [8] 曹立明, 王小平. 遗传算法: 理论、应用及软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2002.
- [9] WALTERS Godfrey A, LOHBECK Tilman. Optimal layout of tree networks using genetic algorithms[J]. Engineering Optimization, 1993, 22(1):27-48.
- [10] SAMARASINGHE Sandhya. Neural Networks for Applied Sciences and Engineering[M]. Auerbach, 2007.
- [11] 周荣敏, 雷延峰, 林性粹. 压力输水树状管网遗传优化布置和神经网络优化设计[J]. 农业工程学报, 2002(1):41-44, 11.
- [12] CUNHA Maria Da Conceicao, SOUSA Joaquim. Water distribution network design optimization: simulated annealing approach[J]. Journal of Water Resources Planning & Management, 1999, 125(4): 215-221.
- [13] 王新坤, 蔡焕杰. 多重群体遗传算法优化树状给水管网[J]. 农业工程学报, 2004(6):20-22.
- [14] 李道西, 胜志毫. 灌溉管网优化设计研究进展[J]. 中国农村水利水电, 2018(2):23-27.
- [15] 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.
- [16] 韩朝华. 个体农户和农业规模化经营:家庭农场理论评述[J]. 经济研究, 2017, 52(7):184-199.
- [17] 张双. 韩墩引黄灌区管道输水灌溉技术与适宜控制规模[D]. 济南:山东大学, 2017.
- [18] 民用建筑电气设计规范. JGJ16—2016[S].
- [19] 供配电系统设计规范. GB50052—2009[S].
- [20] 韩占兵. 农业生产规模化经营现状、障碍与政策支持[J]. 农村经济与科技, 2018, 29(7):1-2, 21.
- [21] 王兴华. 农田水利管理体制变革困境[J]. 农业工程, 2018, 8(7):77-78.
- [22] 奕永庆. 喷滴灌优化设计[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2018.
- [23] 张长洲. 一体化智能泵站将成为农田灌溉的新宠[N]. 中国水利报, 2016-10-19(3).
- [24] 胜志毫. 管道灌溉系统优化设计研究[D]. 郑州:华北水利水电大学, 2018.
- [25] 白丹. 泵站加压输水管的优化[J]. 西安理工大学学报, 1996(4):348-350.
- [26] 翟国静. 关于给水管网界限流量的讨论[J]. 河北工程技术高等专科学校学报, 1997(4):16-18.
- [27] 汪春峰, 蒋妍. 基于蜂群算法和遗传算法的贝叶斯网络结构混合学习方法[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2015, 43(4):16-20.
- [28] 王蒙, 冯兆云, 刘建华, 等. 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, 33(3):59-63.
- [29] 水利建设项目经济评价规范. SL 72—1994[S].

- [30] 农田低压管道输水灌溉工程技术规范. GB 20203—2006[S].
[31] 灌溉与排水工程设计规范. GB 50288—99[S].
[32] 王昕, 马海燕, 张禾, 等. 规模化管道输水灌溉管网优化模型研究与应用[J]. 节水灌溉, 2015(10):87-89.

Study on Suitable Control Scale of Low Pressure Pipeline Irrigation in Rice Growing Area of Jiangsu Province

GUO Xiangping¹, WANG Min¹, CHEN Sheng¹, ZHANG Erzi²

(1.College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2.Jiangning District Water Bureau, Nanjing 211100, China)

Abstract:【Objective】Considering the economy and practicability of the project as well as the reality of Jiangsu Province, the appropriate control scale of low-pressure pipeline irrigation project suitable for Jiangsu Province is proposed.【Method】The influencing factors of suitable control scale of pipeline irrigation system in rice-growing areas of Jiangsu Province were preliminarily analyzed, and the system optimization model of irrigation pipe network was established and solved by the boundary flow method. According to the optimization model, the annual cost of the pipe network system under different irrigation project scales was estimated, and the relationship between the system control scale and the annual cost per unit area was obtained.【Result】Drawing the relationship diagram between the system control scale and the annual cost per unit area, considering the investment in the project construction and the later operation, management and maintenance, it was suggested that the appropriate control scale for the pipe irrigation system project was 23~30 hm².【Conclusion】Proper selection of the control scale of the pipeline irrigation project according to the actual situation was of practical significance for saving project investment and management and maintenance in the later period of project operation.

Key words: Jiangsu province; low pressure pipeline; control scale; optimization model; boundary flow method

责任编辑:赵宇龙

关于评选优秀论文的公告

为鼓励创新,本刊已开启优秀论文评选活动,每年评选优秀论文10篇,每篇奖励800元,并颁发获奖证书,届时将在期刊网站首页展示,同时微信公众号推送。欢迎广大读者、作者积极向我刊投稿。

《灌溉排水学报》编辑部