

河北省农业灌溉工程节水技术适应性研究

马 静¹, 乔光建²

(1. 河北省水利科学研究院, 河北 石家庄 050057; 2. 河北省邢台水文水资源勘测局, 河北 邢台 054000)

摘要 通过对河北省典型区 4 种农业节水灌溉工程的建设投资费用、年运行费用和效益进行计算, 并对比分析其经济效益。结合河北省地域、地形、地貌等特点, 提出了河北省农业灌溉工程节水技术的适应性。渠道防渗和低压管道防渗技术适用于大规模农田; 微灌、滴灌和喷灌等节水技术适用于经济效益较高的果树、蔬菜、花卉等。

关键词 农业灌溉; 节水技术; 节水效益; 投资估算; 河北省

中图分类号: S274 文献标识码: A 文章编号: 1003-9511(2009)05-0054-05

农业节水关键技术通常可分为工程节水技术、农艺节水技术、生物节水技术和管理节水技术 4 种类型^[1], 其应用大致分布在 4 个基本环节中: ①减少灌溉渠系(管道)输水过程中的水量蒸发与渗漏损失, 提高农田灌溉水利用率; ②减少田间灌溉过程中的水分深层渗漏和地表流失, 改善灌水质量的同时, 降低单位灌溉面积的用水量; ③减少农田土壤水分蒸发损失, 有效利用天然降水和灌溉水资源; ④提高作物水分生产率, 减少作物水分奢侈性蒸腾消耗, 获得较高的作物产量和用水效益。

本文基于河北省灌溉农田作物布局结构与区域水资源特征的适应性状况, 根据当前河北省常用的农业节水灌溉技术, 通过典型区实例, 计算不同节水灌溉工程的效益, 从而分析不同农业灌溉工程节水技术的适应性, 为农业节水技术的高效利用提供参考依据。

1 节水灌溉工程建设投资费用

河北省农业节水灌溉工程主要有低压管道防渗工程、渠道防渗工程、微灌工程和喷灌工程。以河北省邢台市山前平原区不同类型节水灌溉工程为例, 可以了解各类节水灌溉工程建设投资情况。

1.1 低压管道防渗工程

以河北省临城县鸭鸽营乡西鸭鸽营村 1 号井低压管道防渗典型工程为例, 其机井控制土地面积为 7.0 hm², 地块东西长 334 m, 南北宽 210 m, 种植作物以玉米、小麦为主, 采用梳齿式布置低压管道, 管道

干管东西长 334 m, 4 条支管垂直于干管。全部工程土方量 936 m³, 其中土方开挖 470 m³, 回填 460 m³。主要材料用量为: \varnothing 125 mm PVC 管 840 m, 出水口 16 个, 首部枢纽 1 套, 取水计量设施 1 套, 管件及其他设施 40 套, 水泥保护口 16 个。工程总投资 2.835 万元, 计 4050 元/hm²。

1.2 渠道防渗工程

河北省临城灌区从西泥河引水灌溉, 灌溉区东西长 2000 m, 南北宽 335 m, 控制面积约 65.0 hm²。引水渠道为土渠, 长 2000 m。因引水口距灌溉区较远, 若用土垄沟输水, 水量损失大, 灌水费用高, 因此采用高标准防渗渠道。防渗渠道的斗渠采用矩形断面, 以水泥砂浆砌石渠墙, 并衬水泥防渗。渠墙宽 0.4 m, 水泥厚 7 cm; 渠槽宽 0.8 m, 深 0.6 m, 沿渠每 6 m 设一道伸缩缝, 以沥青木板止水。全部工程土石方量 5548 m³, 其中土石方开挖 3381 m³, 浆砌石 1439 m³, 水泥 728 m³。主要材料用量为: 块石 1548 m³, 水泥 341 t, 沙子 908 m³, 石子 596 m³。工程总投资 39.0 万元, 计 6000 元/hm²。

1.3 微灌工程

以河北省郝庄镇白云掌村果树微灌工程为例。工程控制面积 5.2 hm², 以种植苹果树为主, 种植间距为 2 × 4 m。灌水器采用山东莱芜旋转式微喷设备, 其喷头性能为: 工作压力 200 kPa, 流量 64 L/h, 喷洒直径 3 m。该工程全部土石方量 1254 m³, 其中土石方开挖 1120 m³, 浆砌石 134 m³。主要材料用量为: 200QJ32-65 型潜水泵 1 套, 直径 80 mm 的钢管 96 m, 直径 80-15PE

作者简介: 马静(1965—), 女, 河北衡水人, 副编审, 从事水利科技审查、规划及水利经济方面的研究。

管 6 245 m, 折射式微灌设备 6 740 套。工程总投资 11.7 万元, 计 22 500 元/hm²。

1.4 喷灌工程

喷灌是一种通过水泵加压, 使灌溉水流经管道、喷头等专用设备, 射到空中并成雾状雨滴, 像降雨一样均匀地散落田间, 对作物进行适时适量灌溉的技术, 适用于各种地形和土壤, 具有节水、省力、灌水均匀、保持水土等优点^[2]。

河北省沙河市东部平原区留村乡农业 1 号示范区面积为 7.0 hm², 以每眼井为一个独立的系统单元, 采用固定式管道喷灌系统。管道系统包括干管、支管 2 级, 竖管 3 级。干管和支管起输、配水作用, 竖管安装在支管上, 末端接喷头, 其作用是将压力水输送并分配到田间喷头中去。干管采用 $\varnothing 110$ mm PVC 管, 水泵采用 200QJ40-65/5 型。全固定式喷灌系统包括加压泵站、输配水系统、喷头和各种配件。工程总投资 12.6 万元, 计 18 000 元/hm²。

2 节水灌溉工程年运行费用

节水灌溉工程年运行费用指每年维持节水灌溉工程运行所需支付的各种费用, 主要包括电费、人工工资和维修费 3 部分。

2.1 电费

根据不同节水技术可确定单位面积用电量。节水灌溉工程年运行电费计算公式为

$$C_1 = \frac{nTQH_n f}{102\eta_{装}} \quad (1)$$

式中: C_1 为节水灌溉工程年运行电费, 元/hm²; n 为年灌水次数; T 为每次灌水持续时间, h; Q 为水泵提水效率, m³/h; H_p 为设计扬程, m; $\eta_{装}$ 为装量效率 (范围为 0.61 ~ 0.68); f 为电价, 元/(kW·h)。

2.2 人工工资

根据不同节水措施需要的用工人数, 可计算节水灌溉工程管理人员年工资费用, 计算公式为

$$C_2 = mp \quad (2)$$

式中: C_2 为节水灌溉工程管理人员年工资, 元/(hm²·a); m 为单位面积年用工量, 工日/(hm²·a); p 为日工资额, 元/工日。

2.3 维修费

维修费是指维修节水灌溉工程及其配套设施的费用, 但不包括水源工程维修费, 因为在节水灌溉之前已具备水源工程。低压管道输水系统多埋于地下, 不易受损, 使用寿命长, 年维修费用按照投资额的百分比计算, 为简化计算, 可取其投资的 2% ~ 3%。年维修费的计算公式为

$$C_3 = KB \quad (3)$$

式中: C_3 为年维修费, 元/hm²; K 为某种节水灌溉工程总投资, 元/hm²; B 为某种节水灌溉工程投资额的百分比。

以上 3 项费用之和就是某种节水灌溉工程年运行费, 即:

$$C_{运行} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (4)$$

根据河北省邢台市现有技术条件和目前市场价格, 以地面灌溉用水量为基础, 分别对不同灌溉工程的投资额、用水量、年运行费等进行计算, 计算结果见表 1。

3 节水灌溉工程效益计算

按照有、无节水灌溉工程对比情况, 分别计算节水灌溉工程农作物增产效益、节水效益、节地效益、节电效益、节省劳动力效益^[3]。将枯水年 ($P = 75\%$) 作为典型年, 节水灌溉工程效益计算结果如下:

3.1 节水效益

水资源是粮食生产的重要物质条件, 水资源经济价值核算是科学管理水资源、合理制定水价和形成灌溉有序水市场的基础。文献 [4] 依据收益还原法基本原理, 采用 C-D 生产函数理论构建了粮食生产中的农业水资源经济价值核算方法体系, 并以黄淮海地区为例进行了实证分析, 结果表明, 黄淮海地区农业水资源的平均经济价值为 1.02 元/m³。虽然根据国家农业生产产业政策, 没有征收农业用水水资源费, 但进行节水效益分析, 还是将 1.02 元/m³ 的水资源价格作为计算依据。节水效益 P_j 按节约的水量乘以水资源价格计算。

3.2 节地效益

使用管灌和微灌技术, 可减少灌溉渠道的面积, 增加农作物种植面积, 从而增加粮食产量。节地效

表 1 典型区灌溉工程运行费用情况

工程名称	投资/ (元·hm ⁻²)	灌溉用水/ (m ³ ·hm ⁻²)	节水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	用电量/ (kW·h·hm ⁻²)	电费/ (元·hm ⁻²)	用工/ (工日·hm ⁻² ·a ⁻¹)	人工费/ (元·hm ⁻² ·a ⁻¹)	年维修费/ (元·hm ⁻²)	年运行费/ (元·hm ⁻²)
低压管道防渗工程	4050	5055	1695	2287	915	5	150	81	1146
渠道防渗工程	6000	5400	1350	2443	977	5	150	120	1247
微灌工程	22500	2025	4725	916	367	2	60	450	877
喷灌工程	18000	3375	3375	2036	814	4	120	360	1294
地面灌溉工程	0	6750	0	3054	1222	10	300	0	1522

益计算公式为

$$P_e = \sum_{i=1}^{n'} S_i R Y_g / S \quad (5)$$

式中： P_e 为节地效益，元/hm²； n' 为管道条数； S_i 为每条管道节省的土地面积，hm²； R 为农产品价格，元/kg（按 1.6 元/kg 计）； Y_g 为节水灌溉后农作物产量，kg/hm²； S 为总面积，hm²。

3.3 农作物增产效益

实施节水灌溉工程后，农作物得到及时灌溉，提高了灌溉保证率，从而使粮食增产。农作物增产效益计算公式为

$$P_a = R(Y_g - Y_n) \quad (6)$$

式中： P_a 为农作物增产效益，元/hm²； Y_n 为节水灌溉前农作物产量，kg/hm²（按 24 000 kg/hm² 计）。

3.4 节能效益

无论是使用地表水还是地下水，从水源到灌溉过程都要消耗能源。通过节水灌溉工程，在减少水资源用量的同时，也减少了输水过程消耗的能源（电力）。节能效益计算公式为

$$P_w = \frac{\sum_{j=1}^n (W_{j1} - W_{j2}) H f}{102 \eta_{装}} \quad (7)$$

式中： P_w 为节能效益，元/hm²； W_{j1} 为无节水灌溉工程时的用水量，m³/hm²； W_{j2} 为实施节水灌溉工程后的用水量，m³/hm²； H 为水泵扬程，m（按不同节水灌溉系统设计扬程确定，该区一般为 30~40 m）； f 为电价，按目前农业用电 0.4 元（kW·h）计； $\eta_{装}$ 为装量效率，按 0.65 计。

3.5 节省劳动力效益

实施节水灌溉工程后，节省劳动力效益体现在 2 个方面：①实行节水灌溉工程后，可以减少灌溉过程中劳动力的配置；②通过局部湿润灌溉，田间土壤疏松，通透气性良好，易溶性肥料、植物生长调节剂、内吸杀虫剂等可随水滴入，可减少中耕、施肥、喷药、锄草等的作业次数和劳动力投入，节省了大量的人力物力。节省劳动力效益计算公式为

$$P_L = p(L_m - L_n) \quad (8)$$

式中： P_L 为节省劳动力效益，元/hm²； p 为劳动力日工资，元/工日； L_m 为节水灌溉前全年用工量，工日/hm²； L_n 为节水灌溉后全年用工量，工日/hm²。

3.6 总效益

节水效益以节约的水量乘以水资源价格计算（元/hm²）；节地效益按节约土地所增产的粮食乘以市场价格计算（1.6 元/kg）；农作物增产效益以采用节水措施所增产的粮食乘以农产品价格计算；节能效益以常规灌溉用电量与采取节水灌溉工程后的用电量之差来计算（按农电价格计算）；节省劳动力效益按采用节水灌溉工程所节省的劳动日乘以日工资进行计算。总效益按下式计算^[5]：

$$P = P_j + P_e + P_a + P_w + P_L \quad (9)$$

根据目前市场粮食价格、农业用电价格、人员工资现状，分别计算采取不同节水灌溉工程的节水效益、节地效益、农作物增产效益、节能（节电）效益、节省劳动力效益和总效益。总效益最高的为微灌节水工程，达 9 440 元/hm²。不同节水灌溉工程的效益计算结果见表 2。

4 不同节水灌溉工程经济效益对比分析

为了进行经济效益分析，一般都先选定某一时间作为基准点，按照计算复利的原理，将计算期不同时间的资金进行时间价值的折算。运用动态分析法评估节水灌溉工程的经济效益，一般采用效益费用比、净效益现值、内部收益率等经济效益指标。

以河北省主要农作物种植结构为研究对象，采用冬小麦、夏玉米一年两熟种植结构进行分析，对不同节水灌溉工程经济效益进行对比。由于农业生产受天然降水量影响较大，因此按枯水年用水量计算不同节水灌溉工程的净效益现值和内部收益率。

折现率是将技术资产的未来收益还原（或转换）为现在价值的比率。在单位计算周期内，预期的资金增值与原有资金之比为单位资金的时间价值。根据水利部 SL72—94《水利建设项目经济评价规范》，考虑水利建设项目的特殊性，对于水利建设项目可采用 7%~12% 的社会折现率进行国民经济评价。

表 2 典型区节水灌溉工程效益计算结果

工程名称	节水效益		节地效益			农作物增产效益			节能(电)效益/(元·hm ⁻²)	节省劳动力效益			总效益/(元·hm ⁻²)
	节水量/(m ³ ·hm ⁻²)	节水效益/(元·hm ⁻²)	节地量/(m ² ·hm ⁻²)	节地效益/(元·hm ⁻²)	节地率/%	增产量/(kg·hm ⁻²)	增产效益/(元·hm ⁻²)	增产率/%		节省劳动力/工日·hm ⁻²	省工效益/(元·hm ⁻²)	节省劳动力率/%	
低压管道防渗工程	1639	1729	150	450	1.5	1200	1920	10	275	5	150	50	4249
渠道防渗工程	1350	1377	75	225	0.75	600	960	5	227	5	150	50	2712
微灌工程	4725	4820	300	1500	5	1800	2880	15	794	8	240	80	9440
喷灌工程	3375	3443	200	1500	5	1200	1920	10	567	6	180	60	7043

由于资金时间价值的存在,对项目进行经济评价方案比较时,需要把发生在不同时间的费用和效益折算为某一特定时间点的费用和效益,然后再进行评价和比较。净效益现值是将项目计算期内各年的净现金流量折算到项目建设初期的现值之和,它是考察项目在计算期内盈利能力的动态评价指标。净效益现值表达式为^[6]

$$N_p = (B_1 - C_{\text{平}}) \frac{(1 + i_c)^n - 1}{(1 + i_c)^n i_c} \quad (10)$$

式中: N_p 为净效益现值,元; B_1 为节水灌溉工程多年平均增产值,元/hm²; $C_{\text{平}}$ 为节水灌溉工程多年平均运行费,元/hm²; i_c 为行业基准收益率或设定的折现率(取12%); n 为项目的计算年限,年。

效益费用比是指折算到基准点的效益折算总值(或折算年值)与投资、年运行费折算总值(折算年值)之和的比值。效益费用比应按下式计算^[7]:

$$E_B = \frac{(1 + i_c)^n - 1}{(1 + i_c)^n i_c} \times \frac{B_1 - C_{\text{平}}}{K} \quad (11)$$

式中: E_B 为效益费用比; K 为某种节水灌溉工程总投资,元/hm²。

在项目财务评价中,内部收益率是能使该项目在整个计算期各年净现金流量现值之和等于零的折现率。它反映项目所占资金的盈利水平,是考察项目盈利能力的主要动态评价指标。内部收益率表达式为

$$(B_1 - C_{\text{平}}) \frac{(1 + i_c)^n - 1}{(1 + i_c)^n i_c} - K = 0 \quad (12)$$

根据典型区各个节水灌溉工程的总投资、年运行费、年总效益等,折现率按12%,计算年限按20年分别计算其净效益现值、效益费用比和内部收益率,计算结果见表3。

表3 典型区不同节水灌溉工程效益分析

工程名称	总投资/ (元·hm ⁻²)	年运行费/ (元·hm ⁻²)	年总 效益/ (元·hm ⁻²)	净效益 现值/ (元·hm ⁻²)	效益 费用比	内部收 益率/%
低压管道 防渗工程	4050	1146	4249	23179	5.72	76.6
渠道防渗 工程	6000	1247	2712	10944	1.82	24.1
微灌工程	22500	877	9440	63966	2.84	38.0
喷灌工程	18000	1294	7043	42945	2.39	31.8

通过对不同节水灌溉工程效益进行分析,发现微灌节水工程净效益现值最高,为63966元/hm²,但由于微灌工程投资较大,效益费用比却不高,为2.84。低压管道防渗工程净效益现值为23179元/hm²,由于该工程投资较小,效益费用比和内部收益率却最高,分别为5.72和76.6%,因此,低压管道防渗节水技术

是一种被广泛采用的节水技术。

5 农业节水灌溉技术适应性分析

通过对不同节水灌溉工程效益进行分析,结合河北省地域、地形、地貌等特点,结果表明不同节水灌溉技术的适应性有所不同。

渠道防渗节水技术能减少灌溉渠系(管道)输水过程中的水量蒸发与渗漏损失,提高农田灌溉水利用率。渠道防渗工程的内部收益率为24.1%,效益费用比为1.82,是上述4种节水灌溉工程中最底的,主要适用于山区大型灌区和丘陵区农业灌溉。根据河北省邢台市2008年节水现状统计,采用渠道防渗和垄沟防渗技术的土地面积分别为24667hm²和14000hm²,占总节水面积的11.0%和6.3%。

根据当前粮食市场价格,粮食生产采用低压管道防渗技术有较高的经济效益。低压管道防渗工程内部收益率达76.6%,效益费用比达5.72,是上述4种节水灌溉工程中最高的。管道输水具有节水、输水迅速、省地、增产和有利于抢季节等特点,与土渠比较,管道输水的利用系数可提高到0.95,适用于平原区以地下水作为水源的近距离输水灌溉。根据河北省邢台市2008年节水现状统计,邢台市农业灌溉节水面积224266hm²,其中低压管道防渗节水面积163333hm²,占总节水面积的72.8%。低压管道防渗节水技术是河北省邢台市应用最广泛的一种节水技术。

微灌节水技术是一种投资大、节水效益好的节水技术。采用微灌节水技术能根据作物的需水量控制灌溉水量,适时适量地灌水,如果同时采用先进的科学技术手段对土壤墒情和灌区输配水系统的水情进行监测、数据采集和计算机处理,可科学有效地控制土壤水分含量,做到计划用水、优化配水,达到既节水又增产的目的。微灌工程内部收益率为38.0%,效益费用比为2.84。微灌属于局部灌溉、精细灌溉,水的有效利用率最高,但微灌工程建设投资也高,一般适用于水果、蔬菜、花卉等产值高、收益高的经济作物。根据河北省邢台市2008年节水现状统计,微灌节水面积2933hm²,仅占节水面积的1.3%。

喷灌节水工程内部收益率为31.8%,效益费用比为2.39。喷灌节水技术是一种投资大、节水效益高的节水技术,但对适用范围有一定的要求。半固定式喷灌适用于耕作面积较小、地面不平整的地块;固定式喷灌适用于耕作作物品种较固定,而且经济效益较高的农作物;大型移动式喷灌适用于土地平整、耕作土地面积较大的地块。河北省邢台市大曹

庄农场使用大型移动式喷灌,经过多年使用情况分析,其经济效益和节水效果均较好。移动式管道喷灌通常将输水干管固定埋设在地下,田间支管和喷头可拆装搬移,周转使用,因而降低了投资。实践证明,移动式管道喷灌除了具有一般喷灌省水、增产、省工、减轻农民负担和有利于农业机械化、产业化、现代化等优点外,还具有设备简单、操作简便、投资低、对田块大小和形状适应性强、一户或联户均可使用等优点,是目前较适合推广的一种微型喷灌技术,可适用于大田作物、蔬菜等。根据河北省邢台市2008年节水现状统计,喷灌节水面积19333 hm²,占节水面积的8.6%。

但未来地面灌溉(沟灌和畦灌)仍将占很大比重,因为这种技术操作简便,投资小。生物节水和农艺节水也将是农业主要节水措施,采取这些措施可提高水分利用率和水分生产率,节约灌溉用水量,如采用深耕、深松等蓄水保墒技术和生物养地技术,可改善土壤结构,提高土壤的蓄水、保水和供水能力,增加自然降水的利用率,降低灌溉用水量。在土质较轻、地面坡度较大或降水量较少的地区,要积极推广保护性耕作技术,加强对秸秆覆盖处理、机械化生物耕作、化学除草剂施用等3个关键技术的研究,促进适用于不同地区的保护性耕作机具的研制和产业化。另外,要研究覆膜和沟播技术,加强低成本、完全可降解地膜的研究,加强土坡表面保墒增温剂的研究与开发,并提倡在作物需水高峰期对作物叶面喷施抗旱剂,鼓励具有代谢、成膜和反射作用的抗旱节水技术产品的研究和产业化。

6 结 语

河北省农业节水灌溉工程技术主要分为2种类型:①渠道防渗和低压管道防渗技术,可减少灌溉渠

系(管道)输水过程中的水量蒸发与渗漏损失,提高农田灌溉水利用率;②微灌、滴灌、喷灌等节水技术,可有效利用天然降水和灌溉水资源,减少田间灌溉过程中的水分深层渗漏和地表流失,在改善灌溉水质量的同时,降低单位灌溉面积的用水量,减少农田土壤水分的蒸发损失。

按照目前农作物和设备的市场价格,对不同节水灌溉工程进行效益分析,结果表明,渠道防渗和低压管道防渗技术适用于大规模农田,微灌、滴灌和喷灌等节水技术适用于经济效益较高的果树、蔬菜、花卉等。

农业节水工程是多种技术紧密结合,水、土、作物资源综合开发的宏大系统工程,只有将其作为系统问题对待,才能做出全面合理的节水对策,避免节水灌溉工程重复建设。此外,应该将农艺节水技术、生物节水技术和水管理节水技术与工程节水技术相结合,传统的农业节水技术与现代农业节水技术相结合,建立综合节水农业技术体系,最大限度地提高节水综合效益。

参考文献:

- [1] 李耀学. 低压管道节水灌溉效益分析[J]. 吉林水利, 1994(12): 37-38.
- [2] SL236—1999 喷灌与微灌工程技术管理规程[S].
- [3] 袁龙天. 农业节水灌溉措施及效益分析[J]. 地下水, 2006, 28(5): 57-59.
- [4] 刘昌明. 节水的潜力与解决缺水的途径[J]. 农业机械, 2000(9): 6-8.
- [5] 孙雪峰, 康凤君. 地下低压管道灌溉工程优化设计[M]. 北京: 中国农业出版社, 1988.
- [6] 邱忠恩, 沈佩君. 中国水利百科全书: 水利经济分册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [7] SL207—98 节水灌溉技术规范[S].

(收稿日期: 2009-04-08 编辑: 彭桃英)

· 简讯 ·

《水利经济》被评为“RCCSE 中国核心学术期刊”

《水利经济》杂志在《中国学术期刊评价研究报告》(2009~2010年)中被评为“RCCSE 中国核心学术期刊”。这是《水利经济》杂志在获得“中国科技核心期刊”、“全国水利系统优秀期刊”、“全国农业系统优秀期刊”等荣誉后再次得到的肯定评价。

《中国学术期刊评价研究报告》由武汉大学中国科学评价研究中心(RCCSE)、武汉大学图书馆和武汉大学信息管理学院编制。该报告公布了2008~2009年中国学术期刊分61个学科的学术期刊排行榜和分4种学报类型的学术期刊排行榜,共计65个排行榜,被评价的学术期刊多达6170种,共有1324种学术期刊进入核心区,其中权威期刊311种、核心期刊1013种,约占总数的21.46%。全国440种经济类期刊中,共有88种期刊被评为“RCCSE 中国核心学术期刊”,《水利经济》杂志位列核心学术期刊的第48名。

(本刊编辑部供稿)