

高效节水灌溉在高标准农田工程设计中的应用

刘曜¹, 胡筱琼^{2,3}

(1.中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵阳 550081;

2.成都市节约用水监管事务中心, 成都 610015; 3.西南交通大学, 成都 610031)

摘要:为“发展生态农业, 保障农业的可持续发展”, 在高标准农田项目设计中应用高效节水灌溉技术, 加快现代农业建设进程, 实现农业现代化的有力保障。巩固和挖掘高标准农田工程效益, 努力加强节水灌溉项目建设, 全面推行农业节约用水, 实行水资源的高效利用。通过本文研究, 能有效解决项目区农业灌溉用水不足问题, 提高灌溉水利用率和灌溉用水保证率。对该区域农业的可持续发展具有良好的经济、社会效益。

关键词: 高效; 节水灌溉; 高标准农田

中图分类号: S274

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2021632

刘曜, 胡筱琼. 高效节水灌溉在高标准农田工程设计中的应用[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.1): 52-55.

LIU Yao, HU Xiaojiong. Application of High-efficiency Water-saving Irrigation in High-standard Farmland Engineering Design[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.1): 52-55.

0 引言

党的十九大以来, 以习近平同志为核心的党中央高度重视节水工作, 省、市、县各级水利部门、农业部门坚持和落实“节水优先”方针, 以提升水资源集约节约利用能力为目标, 深入实施国家节水行动, 大力发展农业节水灌溉, 研究培育新型农业生产经营模式, 力求提高水分利用率、追求农业发展高品质、高效益发展, 建设资源节约型、环境友好型的新型农业产业模式。将高效节水灌溉作为高标准农田建设的重要内容也是国务院办公厅印发《关于切实加强高标准农田建设提升国家粮食安全基础保障能力的意见》中的重要指示。

通过高标准农田建设, 提高农田基本设施条件, 可极大提高土地质量和土地利用效率, 增加农民收入, 全部实现节水灌溉, 形成区域化布局、专业化生产、规模化经营的局面, 以利于市场的形成, 推动农村第二、第三产业的发展; 增加绿化面积, 改善地区生态环境, 改变田间小气候, 起到固土蓄肥, 最大限度降低自然灾害的作用。本文主要针对以种植水稻为主的种植结构, 采用低压管道灌溉方式进行灌溉。

1 节水灌溉工程设计

水稻灌溉拟推荐“薄、浅、湿、晒”控制灌溉

模式能够减少田间耗水量, 节约用水。节水灌溉工程投入使用后, 正常水文年份单位面积用水量节水20%以上。改善土壤中水、气、热状况, 调节田间小气候, 促进肥料分解, 提高肥效, 创造一个良好的环境条件, 利于水稻的生长发育, 使禾苗转青快, 分蘖提早、集中, 有效分蘖增多, 抽穗开花整齐, 穗大粒多, 谷粒饱满, 且不易倒伏, 从而提高单产量, 促进高产。在广西, “薄、浅、湿、晒”灌溉区早晚两季年产量可达 15 750 kg/hm², 比浅灌结合晒田产量提高 630 kg/hm²。

1.1 灌溉制度和定额

灌溉定额计算根据南方某市的灌溉试验资料, 参考相关经验, 本文采用我院分析拟定的灌溉定额计算模式, 按逐旬田间水量平衡法推求。

$$M = M_{\text{泡}} + M_{\text{生}} = (M_1 + M^2 + f + 0.6E_{20} - R) + (Y - R' \pm \Delta H), \quad (1)$$

式中: M 为水稻净灌溉定额 (mm); $M_{\text{泡}}$ 为泡田期净灌溉定额 (mm); $M_{\text{生}}$ 为生长期净灌溉定额 (mm); M_1 为土壤饱和水深 73.3 mm; M^2 为田间水层深 30 mm; f 为下渗量, 泡田期 $f_{\text{泡}} = 2.0$ mm/d, 生长期 $f_{\text{生}} = 1.0 \sim 2.0$ mm/d; E_{20} 为 20 cm 蒸发器蒸发量 (mm); R 为泡田期有效雨量 (mm); X 为旬降水量 (mm), 当 $X \geq 100$ mm 时, $R = 100$ mm, 当 $X < 100$ mm 时, $R = X$; Y 为田间耗水量 $Y = f_{\text{生}} + \alpha E_{20}$; α 为散发系数; R' 为生长期有效雨量 (mm); R_m 为最大有效雨量 (mm), $R_m = 1/2 (Y \pm \Delta H)$, 当 $R_m \geq X$ 时, $R' = X$, 当 $R_m < X$ 时, $R' = R_m$; ΔH 为田间水层变

幅 (mm)。

定额从小到排队进行频率分析计算, 以 P—III型

根据该区域的气象条件, 根据气象站历年降水、蒸发资料求得水稻历年灌溉定额过程。将历年灌溉

曲线适线, 成果见表 1。

表1 水稻“薄、浅、湿、晒”灌溉制度技术要求

Table 1 Technical requirements for the “thin, shallow, wet, sun” irrigation system for rice

作物生长期	移植期	返青期	分蘖初、盛期	分蘖后期
田间水量控制	水层 (15~20 mm)	浅水 (30~40 mm)	无水层, 土壤含水率 100%	落干晒田 (7~10 d)
要求	薄水插秧, 插完即回灌浅水	满足秧苗湿润和生态需水要求	3~5 d 灌 1 次 10 mm 以下的跑马水, 保持田间土壤饱和	冷浸田、肥黏田重晒至田边周围围白; 壤土田中、轻晒至田间鸡爪缝; 高坑、沙土田只露不晒。要控制土壤含水率下限 70% 为宜。
作物生长期	拔节孕穗期	抽穗开花期	乳熟期	黄熟期
田间水量控制	湿润 (10~20 mm) 水层	薄水 (5~15 mm)	3~5 d 灌 1 次 10 mm 以下跑马水	落干
要求	回水攻胎, 幼穗分化前期灌跑马水	浅薄扬花, 保持浅薄水	湿润灌浆, 禾苗青枝腊秆, 田间湿润至黄熟	-

应用我院分析拟定的灌溉定额计算公式, 求得各种旱作物历年逐月节水灌溉定额。将各种作物历年灌溉定额从小到排队, 并以 P—III型曲线适线, 进行频率分析计算, 采用的设计灌溉定额依据计算定额与协调后成果见表 2—表 4。根据本地区实际, 水稻各灌水时段灌溉定额见表 5。

表2 水稻灌溉制度

Table 2 Rice irrigation system

生长期	时间	水层深度/mm	下渗量/(mm·d ⁻¹)	散发系数
返青	15	20~40	2.0~1.5	0.8~0.9
分蘖	15	0~20	1.5~1.0	0.9~1.0
拔节	15	10~20	1.5	1.1
孕穗	16	10~20	1.5	1.1~1.2
抽穗	15	15~20	1.5~1.0	1.0~1.1
乳熟	16	10~20	1.0	0.9~1.0
合计	92	-	1.5	1.01

表3 农作物设计净灌溉定额成果表 (节水)

Table 3 Crop design net irrigation quota results (water saving)

作物种类	统计参数			不同频率设计值/(m ³ ·hm ⁻²)		
	(m ³ ·hm ⁻²)	Cv	Cs/Cv	50%	80%	95%
水稻	3 810.0	0.20	2	3 765.0	4 425.0	5 145
油菜	1 257.0	0.21	2	1 239.0	1 471.5	1 725
玉米	1 183.5	0.20	2	1 168.5	1 377.0	1 605
小麦	1 299.0	0.21	2	1 279.5	1 515.0	1 785
蔬菜	1 770.0	0.22	2	1 740.	2 085.0	2 460

表4 农作物设计净灌溉定额成果表 (传统)

Table 4 Crop design net irrigation quota results (Traditional)

作物种类	统计参数			不同频率设计值/(m ³ ·hm ⁻²)		
	(m ³ ·hm ⁻²)	Cv	Cs/Cv	50%	80%	95%
水稻	4 755.0	0.19	2	4 695.0	5 490	6 330
油菜	1 515.0	0.21	2	1 486.5	11 770	2 070
玉米	1 420.5	0.20	2	1 401.0	1 650	1 920
小麦	1 560.0	0.21	2	1 530.0	1 830	2 130
蔬菜	2 130.0	0.22	2	2 085.0	2 505	2 940

表5 设计灌区水稻灌溉定额 (P=80%)

Table 5 Design irrigation quota for rice in irrigation area (P=80%)

时段	生长阶段	灌水定额/(m ³ s ⁻¹)	时间/d	灌水次数/次	1次灌水持续时间/d	每次灌水定额/(m ³ hm ⁻²)
0401—0505	附加用水	28.1	35	4	5	21.15
0506—0520	打田	69.5	15	1	15	69.45
0521—0601	返青	23.3	12	2	4	43.65
0602—0707	分蘖	38.0	36	5	3	52.95
0708—0714	晒田复灌	22.8	7	1	5	68.40
0715—0804	拔节孕穗	37.1	20	2	6	46.35
0805—0819	抽穗扬花	28.1	15	2	5	42.15
0820—0903	灌浆	28.8	10	2	5	43.20
0904—0926	成熟	9.28	15	1	3	46.35
合计	-	300	165	20	-	-

根据灌溉定额计算成果, 灌区历年水稻 P=80% 水稻最大日定额为 69.45 m³/hm²; 蔬菜 P=80% 最大日定额为 6.78 m³/hm²。上述作物常规最大用水月不会同时发生, 但考虑到种植区从追求经济效益方面可能进行大棚种植、反季节种植措施, 因此在计

算灌溉设计水量时各种作物最大用水月按同时发生考虑。

1.2 低压管道工程设计

水田田间水利用系数田取 0.95, 旱地取 0.90; 管道水量利用系数 0.95^[1], 管道计算成果见表 6。

表 6 管道设计参数成果

Table 6 Pipeline design parameter results

编号	措施	公称直径/mm	设计长度/m	灌溉面积/hm ²	净灌溉模数/ (m ³ s ⁻¹ ·100 hm ²)	设计流量/ (m ³ s ⁻¹)	加大设计流量/ (m ³ s ⁻¹)	流速
HB01-01#灌溉 PE 管	新建	200	215	12.00	0.243	0.044	0.057	2.34
HB06-01#灌溉 PE 管	新建	160	99	8.00	0.243	0.029	0.038	2.25
HB06-02#灌溉 PE 管	新建	200	1052	13.3	0.243	0.049	0.063	2.58
HB06-03#灌溉 PE 管	新建	160	349	6.67	0.243	0.024	0.032	1.89
ZC01-01#灌溉 PE 管	新建	90	184	3.00	0.243	0.008	0.010	2.03
ZC01-02#灌溉 PE 管	新建	90	183	3.00	0.243	0.008	0.010	2.03
ZC01-03#灌溉 PE 管	新建	90	188	3.00	0.243	0.008	0.010	2.03
ZC01-04#灌溉 PE 管	新建	90	191	3.00	0.243	0.008	0.010	2.03
ZC01-05#灌溉 PE 管	新建	90	235	3.00	0.243	0.008	0.010	2.03
ZC01-06#灌溉 PE 管	新建	200	706	17.30	0.243	0.046	0.059	2.42
ZC01-07#灌溉 PE 管	新建	90	201	3.00	0.243	0.008	0.010	2.03
ZC01-08#灌溉 PE 管	新建	90	297	2.67	0.243	0.007	0.009	1.83
ZC01-09#灌溉 PE 管	新建	90	561	3.00	0.243	0.008	0.010	2.03
ZC01-10#灌溉 PE 管	新建	90	551	2.67	0.243	0.007	0.009	1.83
ZC01-11#灌溉 PE 管	新建	200	851	20.00	0.243	0.053	0.068	2.79
ZC01-12#灌溉 PE 管	新建	90	463	3.00	0.243	0.008	0.010	2.03
ZC01-13#灌溉 PE 管	新建	90	10	2.00	0.243	0.007	0.009	1.83
ZC05-01#灌溉 PE 管	新建	315	1411	26.67	0.243	0.097	0.127	2.10
ZC05-02#灌溉 PE 管	新建	315	1417	28.00	0.243	0.102	0.133	2.20
HQ02-01#灌溉 PE 管	新建	200	31	5.33	0.243	0.025	0.025	1.03
HQ02-02#灌溉 PE 管	新建	160	303	3.33	0.243	0.012	0.016	1.02
HQ02-03#灌溉 PE 管	新建	160	274	3.33	0.243	0.012	0.016	1.02
HQ02-04#灌溉 PE 管	新建	160	156	6.67	0.243	0.024	0.032	2.05

1.3 管道水力学计算

采用自流管道灌溉，通过水源经过管道输送至各地块，出水桩流量较小，其能量主要靠水源的重力势能转化为动能获得，水源势能主要转化为动能和用来克服管道水头损失 2 部分，因此，本项目管道水力学计算主要是计算山坪塘水源势能能否满足管道沿程水头损失和出水口所需动能。

$$\text{沿程水头损失: } h_f = \frac{fLQ^m}{d^b}, \quad (2)$$

式中： h_f 为沿程水头损失 (m)； L 为管长 (m)； f 为沿程摩阻系数； Q 为流量 (m³/h)； d 为管内径 (mm)； m 为流量系数，取 1.77； b 为管径指数，取 $b=4.77$ ^[2]。

局部水头损失按照沿程水头损失 15%计算，因此，总水头损失为 1.15 h_f 。在整个输水管网中，离水源较远，高程较高的点一般为最不利点，从水源处至最不利点的管网为计算该地块最不利管网的计算依据，即从水源至最不利点各级管道和管道附件总的水头损失为总水头损失。各地块压力校核结果表明，大部分地块能够满足自流灌溉压力要求，经

计算各地块均能满足自流灌溉的要求。

1.4 信息化和智能化设计

布置灌溉系统的水肥一体化技术设备，实现精准化灌溉，即智能化农业管理。自动记录灌溉实施过程中的相关数据，如灌溉水与肥的消耗量等，为灌溉决策提供数据分析支持。可通过外接土壤张力计、电导率仪、高清摄像头、气象站等外设，实现全方位、全自动的灌溉与数据收集。达到了按作物生长规律精准供给营养、为种植者做到了节水节肥、省时省工、提高品质、增加产量的目的。操作简单，节省人力资源，管理人员只需根据仪器监测的相关参数通过控制中心的电脑端（手机端）操作即可实现田间区域的灌溉施肥管理。

2 结论

低压管道灌溉区域的灌溉水利用系数将从现状的 0.41 提高到 0.85，年新增节水 26.16 万 m³，同时灌溉干支管均用下埋式，有很好的节地效益，与传统渠道灌溉相比，项目区能产生约 1.17 hm² 的节地效益。能有效解决项目区农业灌溉用水不足问题，

提高灌溉水利用率和灌溉用水保证率。推动高效农业发展的方式缓解了农业用水矛盾。通过水资源的合理配置，促进了农业产业化进程，实现农业增产，农民增收，提高了水土涵养能力，有效地防止水土流失，对促进整个地区生态环境良性发展具有积极的作用。

参考文献：

- [1] 高标准基本农田建设标准. TD/T 1033—2012[S].
- [2] 灌溉与排水工程设计标准. GB/T50363—2018[S].

Application of High-efficiency Water-saving Irrigation in High-standard Farmland Engineering Design

LIU Yao¹, HU Xiaoqiong^{2,3}

(1. Guiyang Engineering Corporation Limited, Guiyang 550081, China;

2. Chengdu Water Conservation Supervision Affairs Center, Chengdu 610015, China;

3. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: In order to “develop ecological agriculture and ensure the sustainable development of agriculture”, high-efficiency water-saving irrigation technology is applied in the design of high-standard farmland projects, so as to speed up the construction of modern agriculture and realize a favorable guarantee for agricultural modernization. Consolidate and tap the benefits of high-standard farmland projects, strive to strengthen the construction of water-saving irrigation projects, fully implement agricultural water conservation, and implement efficient use of water resources. Through the research of this paper, the problem of insufficient agricultural irrigation water in the project area can be effectively solved, and the utilization rate of irrigation water and the guarantee rate of irrigation water can be improved. The sustainable development of agriculture in this region has good economic and social benefits.

Key words: high-efficiency; water-saving irrigation; high-standard farmland

责任编辑：赵宇龙