

浅谈农业种植结构调整对高效节水灌溉工程的影响 ——以马家塘灌区王庄子玉米滴灌为例

方 超

宁夏浩禹工程咨询有限公司 宁夏 银川 750001

摘 要:中宁县喊叫水乡马家塘灌区地处宁夏中部干旱带,水资源严重匮乏是制约当地经济社会发展和脱贫攻坚的瓶颈,近年来灌区先后实施了多项高效节水灌溉工程,这些工程在建成后运行过程中,因灌区进行种植结构调整,灌溉制度发生了变化,需要对工程进行合理的调整以适应作物的灌溉需求。本文以马家塘灌区已建成运行的王庄子玉米滴灌工程调整为色素辣椒滴灌为例,在种植结构调整后,田间末级管道布置方式发生较大变化的情况下,通过分析新灌溉制度下滴灌系统的流量偏差情况,判断现有滴灌工程是否适用于调整后的作物灌溉模式,并结合工程管护企业自身运行管理经验,提出较为合理的可操作性改造方案。同时,通过分析已建滴灌工程是否对该地区常见几种作物具有较为广泛的适用性,总结出高效节水灌溉设计中的几点经验和建议。

关键词:高效节水;种植结构调整;解决方案

1 背景

宁夏地处内陆,干旱缺水、水资源匮乏,经济社会发展主要依赖于国家限量分配的黄河过境水。宁夏将水资源作为最大的刚性约束,落实最严格的水资源管理制度,加大节水力度,全区累计发展高效节水灌溉面积470万亩,占有效灌溉面积的48.4%。中宁县地处宁夏中部,全县发展高效节水面积27.94万亩,占有效灌溉面积的41.0%。高效节水灌溉工程已成为宁夏全区优化水资源配置的重要手段和措施。中宁县喊叫水乡马家塘灌区属于扬黄灌区,灌区开发面积5.13万亩,发展高效节水灌溉面积3.41万亩,其中玉米滴灌面积达2.88万亩,其余为红枣、马铃薯等。喊叫水乡“十三五”期间是中宁县脱贫攻坚的主战场之一,缺土地、缺水、缺资金、缺技术、产业单薄是致贫的主要原因,传统的玉米等作物经济价值低,土地产出效益低,已建高效节水工程缺乏技术力量和运行维护资金,难以高效利用。为了打赢脱贫攻坚战,该乡引进大型农业企业对土地进行流转集约化经营,改玉米传统作物而大力发展小杂粮、色素辣椒、洋葱等特色种植产业,规划建设万亩色素辣椒种植基地。为此,必须对已建高效节水工程进行合理的改造调整,才能满足企业种植不同作物的灌溉需求,以助力灌区农业产业可持续发展和有效巩固全乡脱贫攻坚事业。

2 工程概况

中宁县喊叫水乡地处宁夏中部干旱带风沙干旱区,干旱缺水的自然条件使得产业发展极为困难,经济社会发展基本依靠限量分配扬黄河过境水。马家塘中型灌区位于喊叫水乡中南部,是宁夏扶贫扬黄灌溉一期工程固海扩灌西线灌区的组成部分,2004年11月建成并投入使用,灌区总人口约1.37万人,设计净灌溉面积4.84万亩,实际开发面积5.13万亩,种植作物以玉米为主,面积约4.24万亩,占比达82.65%,其余为枣树、枸杞、红葱等小规模经济作物。灌区平均灌溉定

额330m³左右,单方水产粮2.27kg,其中玉米单方水效益1.5元。灌区超规模开发,传统农业占主导地位,种植结构单一且比例大,水资源转化效率和经济效益较低。

中宁县喊叫水乡万亩色素辣椒种植基地位于马家塘灌区中部,主要通过配套和改造已有高效节水灌溉工程发展节水型特色农业,其中包括已建王庄子玉米滴灌工程区,该工程建成于2017年,灌溉面积4650亩,建成有70000m³小型调蓄水池1座和综合灌溉首部1座。王庄子玉米滴灌工程依托地势特点,按照“高水高用、低水低用”原则,设计为高中低3个灌水系统,田间设干管-分管-支管-毛管4级管道,支管、毛管为地面铺设PE管道,其余为埋地PVC管道。根据原设计资料,玉米采用宽窄行“0.7m+0.3m”种植,灌溉方式为滴灌,一管两行布置,玉米滴灌灌溉定额为210m³/亩,灌溉水利用系数为0.9,设计年总需水量108.50万m³,可用水指标115.09万m³。按照种植结构调整计划,项目区种植作物全部调整为色素辣椒,采用开沟起垄覆膜种植,垄宽0.7m、沟宽0.3m,一膜双行(行距0.4m),灌溉方式为膜下滴灌,一管一行布置。辣椒滴灌灌溉定额为207m³/亩,灌溉水利用系数取0.9,设计年需水量106.95万m³。

3 技术方案

3.1 基本资料

工程位于宁夏中宁县喊叫水乡王庄子村(36°57'9.67"N, 106°45'33.90"E),海拔1458~1506m之间,地势西南高、东北低,田块坡降约1/200~1/120。区域属中温带半干旱区,降水稀少,蒸发强烈,多年平均降雨量239mm,多年平均陆面蒸发量1300mm,干旱指数5.4,地下水埋深45~60m,多年平均风速3.3m/s,最大风速14.8m/s,无霜期169天,多年平均气温6.4℃,年平均日照时数2856.4h,最大冻土深度137cm,主要气象灾害有干旱、风沙和霜冻。土壤质地以砂壤土为主,土壤平均容重1.43g/cm³,田间持水量22%,有机质含量5.7g/kg,

全盐量2.54g/kg, pH值8.13~8.69, 前茬作物为单种玉米。

续表:

3.2 技术路线

根据《微灌工程技术规范》GB/T 50485-2020, 本工程灌溉设计保证率为85%, 灌溉水利用系数为0.9。项目区现状种植作物为单种玉米, 宽窄行种植, 一管两行滴灌方式灌溉。作物调整为色素辣椒后, 根据滴灌方式下辣椒的一般种植模式和经营企业多年的种植经验, 色素辣椒采用开沟起垄种植, 一管一行膜下滴灌方式方灌溉。作物调整后, 现有滴灌系统灌水小区(由支管和毛管组成的灌水单元)的设计不能满足辣椒滴灌的要求, 必须对作物灌溉制度的进行分析研究, 并制定经济合理的滴灌系统改造方案, 才能满足灌溉需求。工程改造技术路线可大致为: ①分析不同作物灌溉制度差异; ②计算分析系统流量偏差及轮灌制度差异; ③分析不同作物灌水小区设计差异; ④提出改造方案并实施; ⑤收集数据和调整优化。

3.3 灌溉制度与技术参数

玉米生长期较短, 全生育期约为137天, 包括播种期、苗期、拔节期、抽雄吐丝期、灌浆期、成熟期。玉米耗水量大, 根系活动深度30~50cm, 一般4月下旬播种, 按易于作业的“宽窄行”设计, 宽行0.7m、窄行0.3m, 株距18~20cm, 中部干旱带滴灌玉米种植密度在6000~6500株/亩, 采用“干播湿出”方式, 头水4月末开始, 灌水周期5~7天, 灌水定额16.67m³/亩, 全生育期灌水12次左右, 灌溉定额210m³/亩。

色素辣椒的生育周期约170天左右, 包括发芽期、幼苗期、开花坐果期、结果期四个阶段, 其中结果期长达50~120天左右, 此期间需水需肥量也较大。辣椒既不耐旱, 亦不耐水, 土壤水分控制要求较高, 一般控制在16~20%为宜, 根系活动深度在15~30cm。田间栽培采用开沟起垄覆膜种植, 沟宽0.3m, 垄宽0.7m, 一膜两行, 行距0.4~0.5m, 穴距0.3m, 每穴2~3株。头水4月末开始, 灌水周期4~6天, 灌水定额10.67m³/亩, 低于滴灌玉米的平均值, 灌溉主要以高频次、小灌水量方式控制田间土壤含水量, 全生育期灌水20次左右, 灌溉定额207m³/亩。

依据《微灌工程技术规范》GB/T 50485-2020和《宁夏滴灌工程规划设计导则》DB 64/T1290-2016中相关规定, 结合灌区实际情况, 以下列举了玉米等灌区常见几种作物在滴灌工程设计中主要技术参数的取用值, 见表1。

表1 马家塘灌区常见几种作物主要滴灌设计参数取用值

项目 作物	规范建议值		设计取用值			计算成果		
	耗水强度I _b	土壤湿润比P	耗水强度I _b	土壤湿润比P	计划湿润深H	设计灌溉周期T	最大净灌水定额M _{max}	设计净灌水定额M _d
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(cm)	(d)	(mm)	(mm)
玉米	5~9	60~70	5.0	70	50	5	27.53	25.00
辣椒	4~7	60~90	4.0	80	30	4	15.10	16.00
马铃薯	4~7	60~70	4.0	70	30	5	19.81	20.00

项目 作物	规范建议值		设计取用值			计算成果		
	耗水强度I _b	土壤湿润比P	耗水强度I _b	土壤湿润比P	计划湿润深H	设计灌溉周期T	最大净灌水定额M _{max}	设计净灌水定额M _d
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(cm)	(d)	(mm)	(mm)
枸杞	3~7	30~50	5.0	50	70	5	27.53	25.00
枣树	3~7	30~40	4.0	40	60	5	20.45	20.00

备注: 枣树按照矮化密植考虑; 计划湿润层深H数值参照“DB 64/T1290”执行。

由表1数据可见, 马家塘灌区常见作物的设计净灌水定额值均小于或等于现状作物的值, 其中玉米与枸杞灌水定额值相当, 色素辣椒相较玉米的定额值较低。

3.4 灌水单元与轮灌制度

根据原设计资料, 王庄子玉米滴灌工程田间设“干管—分干管—支管—毛管”四级管道, 分干管以上均为埋管, 支管即为地面辅管, 灌水小区由支(辅)管和毛管两级管道组成灌水单元, 单条支管铺设长度50m, 滴灌带顺逆坡长度均为70m, 灌水小区面积为10.5亩。在以往滴灌工程设计中, 一般以支管为单元进行轮灌(即单个灌水小区), 分干管一般设计为轮灌, 分干管以上为续灌, 为避免流量过度集中, 分干管上一般按组轮流开启若干条支管。本工程中共计划分灌水小区约450个, 按照5天一个周期, 分25个轮灌组完成灌溉。玉米滴灌工程典型小区布置见图1。

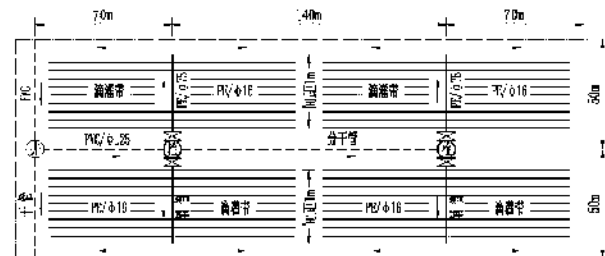


图1 现状典型小区布置图(玉米)

3.5 偏差分析

滴灌模式下, 玉米与色素辣椒在灌溉制度上存在较大差异, 不同作物在滴灌设计时, 因灌水器的选型及布置的不同, 使得灌水小区的设计也存在差异, 以下列举了灌区常见几种作物种植结构及部分滴灌参数值, 见表2。

表2 常见几种作物种植结构及部分滴灌参数值

项目 作物	株行距 S ₁ × S ₂	毛管布 置形式	灌水器 流量q	毛管 间距S _L	灌水器 间距S _c	一次灌 水时间t	日工作 时数C	实取轮 灌组N
	(m × m)		(L/h)	(m)	(m)	(h)	(h)	(组)
玉米	(0.7+0.3)	一带 两行	1.38	1.0	0.3	6.04	18.12	15
辣椒	(0.6+0.4)	一带 一行	1.38	0.5	0.3	1.93	19.32	40
马铃薯	0.9单行	一带 一行	1.6	0.9	0.3	3.75	18.75	25

续表:

项目 作物	株行距 $S_1 \times S_2$	毛管布 置形式	灌水器 流量 q	毛管 间距 S_L	灌水 器间 距 S_0	一次灌 水时间 t	日工作 时数 C	实取轮 灌组 N
	(m×m)		(L/h)	(m)	(m)	(h)	(h)	(组)
枸杞	1×3单行	一管 一行	2.0	3.0	0.5	20.83	20.83	5
枣树	2×3单行	两管 一行	2×4	3.0	2.0	16.67	16.67	5

备注: () 内表示宽窄行种植; 玉米、辣椒、马铃薯属于大田密植作物, 枸杞、枣树为乔木果树。

在种植结构调整后, 滴灌系统的灌水小区、系统流量、轮灌制度等均发生了不同程度的变化。

(1) 灌水小区: 滴灌带常用的有内镶贴片式和单翼迷宫式两种, 滴灌管一般有内镶式滴头和按扣式滴头两种。在不考虑压力补偿的情况下, 灌水器工作水头一般为10m。根据规范要求, 灌水小区允许流量偏差 $[qv] \leq 20\%$, 灌水器流态指数取0.6时, 灌水小区允许水头偏差为3.4m, 一般支管和毛管各计50%。按照现状玉米滴灌的灌水小区布置结构, 以“支管50m+双侧毛管70m”组合方式计算得: 玉米、辣椒、马铃薯、枸杞、枣树灌水小区流量分别为 $32.15 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $64.30 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $41.01 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $9.52 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $9.52 \text{ m}^3/\text{s}$, 流量差异较大。

(2) 系统流量: 微灌工程一般按照“以水定规模”的原则进行规划, 在限定供水能力的情况下, 确定了种植结构, 可开发灌溉面积也就确定了。对于已建工程, 在保证灌溉面积不变的情况下调整种植结构, 需进行水量平衡计算, 根据《微灌工程技术规范》GB/T 50485-2020公式3.2.3-2算得: 玉米、辣椒、马铃薯、枸杞、枣树单一作物下, 系统所需供水量分别为 $950.45 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $713.14 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $734.81 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $826.80 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $826.80 \text{ m}^3/\text{s}$ 。虽然流量差异较大, 但均低于玉米。

(3) 轮灌制度: 由表1、表2数据可见, 不同作物的灌溉周期 T 、一次灌水延续时间 t 、实际日运行小时数 h 、轮灌组数 N , 都存在较大的差异, 不能统一使用, 需对特定的制定相应的轮灌制度。

综上, 以玉米调整为色素辣椒为例, 灌水小区流量偏差为50%, 与现有支管不能匹配; 系统流量较调整前有所下降, 工程供水能力满足; 轮灌制度发生较大变化, 需重新制定划分。

3.6 改造方案

本着经济适用的原则, 对原有工程不作较大调整, 根据偏差分析结果, 仅对田间工程部分进行一定的改造即可, 包括对灌水小区重新设计布局, 复核各级管道水力计算, 重新划分轮灌组, 制定可行并易于操作的轮灌制度表等。因地埋管道改造难度较大, 灌水小区设计布局和管网改造主要以地面管道为主。调整作物后, 按照一管一行的滴灌带布置方式, 灌水小区流量增加且偏差较大, 具体改造办法是增设出地栓和加密支管布局, 使灌水小区流量能够与支管及分干管过流能力相匹配, 调整后灌水小区面积降至5.25亩, 总数量

增至900个。典型布置见图2。

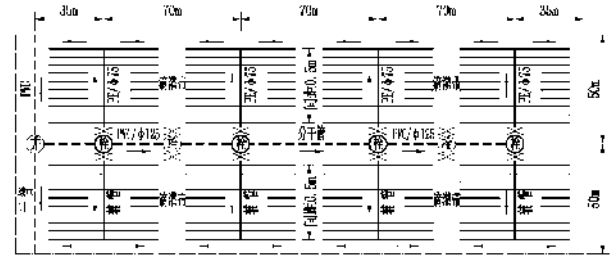


图2 典型小区改造布置图(辣椒)

原设计玉米滴灌系统中450个灌水小区按照15组进行轮灌, 灌水周期5天, 单条分干管每次开启2条支管(两个小区面积21.0亩, 流量 $64.30 \text{ m}^3/\text{s}$); 调整后, 色素辣椒滴灌系统900个灌水小区按照40组进行轮灌, 灌水周期4天, 单条分干管每次开启2条支管(面积10.5亩, 流量 $64.30 \text{ m}^3/\text{s}$)。调整后, 滴灌系统运行严格执行新的轮灌运行图。

3.7 运行效果

(1) 工程运行和节水方面

中宁县喊叫水乡万亩色素辣椒种植基地的规划建设, 涉及多个高效节水灌溉工程, 因各工程情况不一, 设计思路也存在差异, 田间管网的布局也有所不同, 在种植结构调整时采用的改造方式也会不尽相同。本文通过对原有王庄子玉米滴灌工程的改造优化, 本着经济适用、满足企业需求的原则, 最大限度的利用原有基础设施进行改造设计, 降低实施难度, 工程改造后运行良好。辣椒的生长对水分十分敏感, 为保证土壤含水量在最优区间, 日常灌溉呈现出低灌水量、短时段、高频次的特点, 但是由于工程没有实现自动化灌溉, 人工操作维护的工作量较大, 成本较高, 尤其夜间运行难度较大; 再者, 在没有土壤墒情监测情况下, 很难做到量化灌溉, 这不利于土壤水分的精确控制和节水效益的提升。滴灌玉米和辣椒在灌溉定额上数值差别不大, 种植结构调整前后总需水量均不超可用水指标总量, 用水有保证。

(2) 社会效益方面

在企业规模化和集约化的管理模式下, 工程能够实现较为精准的水肥一体化操作和标准化的种植, 产量和品质都有所保证, 当年色素辣椒喜获丰收, 辣椒品质好, 辣椒素含量高, 加上订单农业的经营模式, 市场前景良好。由于当地特色产业的快速引进和示范推广, 产业结构不断得到优化, 在“党组织+龙头企业+村级集体经济合作社+农户”的新发展模式下, 亩产效益达4000元以上, 有效地带动了当地群众脱贫致富。

4 总结

水资源短缺、农业产出效益低, 长期制约着当地经济社会的发展, 只有大力发展高效节水灌溉工程, 挖掘农业节水潜力, 推广应用高效节水灌溉技术, 走节水型特色现代农业的路子, 确保建成一片、成功一片、发挥效益一片, 才能破解水资源瓶颈, 支撑水资源可持续利用和经济社会可持

续发展,助力和巩固脱贫攻坚成果。(1)通过对马家塘灌区王庄子玉米滴灌工程在调整作物后成功改造运行的实例表明:在一定条件下,玉米滴灌工程能够调整种植色素辣椒,具有较好的适应性。在我区滴灌工程设计中,一般都能参照《宁夏滴灌工程规划设计导则》中的相关要求执行,逐渐形成了较为统一的设计理念 and 标准,类比灌区其他常见的几种作物的灌溉特点,玉米滴灌工程对调整种子其他作物是具有可操作性的,对于枸杞这类高于原作物设计灌溉定额的,需要对工程的取水和供水的可靠性进行必要的分析论证。(2)我区高效节水工程的自动化灌溉覆盖程度普遍较低,后期运行中人工操作维护的工作量非常大,在没有气象数据和土壤墒情监测的情况下更是无法做到精量化灌溉。以玉米、马铃薯这类大田密植作物为例,滴灌设计中一次灌水延续时间较短,轮灌组之间阀门轮换开启的间隔时间较短,需要付出的大量人工成本。针对目前高效节水工程自动化程度较低的实际状况,在管网布局和轮灌制度设计中应充分考虑工程运行中的不利条件,可以采用轮灌单元相对集中的轮灌方案,适当增加分干管管径,将分干管由轮灌改为续灌,使得轮灌单元由支管(即单个灌水小区)改为分干管单元,按此方案,虽然亩均投资增加约25~30元左右,但人工成本可下降50%以上,此种方法应在工程设计中得到广泛的体现。(3)截止2020年,宁夏全区发展高效节水灌溉面积达470万亩,按照宁夏节水型社会建设“十四五”规划要求,“十四五”期间将继续大力推广高效节水灌溉技术,加大农业种植结构调整,严控高耗水作物的种植,中部干旱风沙区压减籽粒玉米种植规模,推广旱作节水技术,因地制宜推广喷灌、微灌、低压管道输水等高效灌溉技术,加强农田土壤墒情监测,推行测墒灌溉,打造特色发展的现代旱作节水农

业示范区。计划到2025年,全区高效节水灌溉面积达到600万亩,占总灌溉面积的比例达到50%,智能化管理的高效节水灌溉面积达到50万亩以上。目前,玉米是全区各县最主要的产粮作物,在发展高效节水的各类种植作物中,玉米占比也超65%以上,主要分布在中部干旱带区域,这里也巩固脱贫攻坚的主战场,玉米种植效益相对较低,随着农业种植结构的不断优化调整,玉米种植比例将会逐步降低,特色种植产业得到大力推广发展,对怎样合理利用好已建高效节水工程,充分发挥其“节水、节肥、增产、高效”的优势,需要根据每个工程的具体情况进行合理的优化改造,并能满足新型土地经营主体合理要求,成功做强特色产业,才能进一步推动社会资本投入,吸引个体大户、企业、社会团体等参与节水农业建设,为节水灌溉事业注入活力,带动高效节水农业高质量发展。

参考文献:

- [1]高宏,鲍子云.宁夏高效节水灌溉发展存在的问题与对策[J].农村水利,2017,(7):26-28.
- [2]刘佳,张玲丽,颀建明,等.干旱气候条件下灌溉方式与灌溉定额对辣椒生长的影响[J].中国沙漠,2013,33(2):373-381.
- [3]程凤林,颀建明,郁继华等.甘肃干旱内陆区灌溉定额对土壤含水量和色素辣椒生长量的影响[J].甘肃农业大学学报,2011,4(2):71-75.
- [4]GB/T 50485-2020,微灌工程技术标准[S].
- [5]DB 64/ T1290-2016,宁夏滴灌工程规划设计导则[S].

作者简介:方超,男,1986,工程师,研究方向:水利工程规划设计。