

地下水超采井灌区农业水权界定到户理论分析

王冠儒¹, 胡继连^{1,2*}, 王秀鹃^{3*}

(1. 山东农业大学 经济管理学院, 山东 泰安 271018; 2. 山东农业大学 马克思主义学院, 山东 泰安 271018; 3. 山东农业大学 公共管理学院, 山东 泰安 271018)

摘要:【目的】促进地下水资源的合理利用, 解决地下水超采问题。【方法】本文对井灌区地下水超采“公地悲剧”属性进行经济学分析, 提出井灌区地下水超采“公地悲剧”解决路径, 研究井灌区农业水权初始分配模式。还对井灌区农业水权界定到户进行成本分析, 提出井灌区农业水权界定到户的改进建议。【结果】地下水超采与井灌区农户“不加限制”的取水灌溉有关, 现有井灌区农业水权属于“村组”式水权制度, 水权界定模糊, 农户取用过地下水进行农田灌溉, 导致了井灌区地下水超采“公地悲剧”。而井灌区农业水权界定的成本过高是导致井灌区农业水权的界定不清的根本原因。【结论】农业水权清晰界定到户有助于解决地下水超采“公地悲剧”问题, 应在水权界定过程中采取完善现代化计量设施建设、成立农民用水协会、引入合同节水管理模式和建立井灌区节余水权转让机制等措施降低农业水权界定成本, 进而促进井灌区农业水权界定到户, 提高井灌区农业水权效率, 优化井灌区地下水资源配置。

关键词: 水权界定; 地下水超采; 井灌区; 公地悲剧

中图分类号: TV93

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022505

OSID:



王冠儒, 胡继连, 王秀鹃. 地下水超采井灌区农业水权界定到户理论分析[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(3): 136-144.

WANG Guanru, HU Jilian, WANG Xiujuan. Delineation of Agricultural Water Rights to Individual Households in Regions Overexploiting Groundwater for Irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(3): 136-144.

0 引言

【研究意义】随着经济社会的发展, 各行各业用水需求不断增加, 在地表水资源不能满足需求的情况下, 人们开始大规模开采地下水, 以此来保障经济社会发展所必需的水资源供给。而地下水是一种典型的公共池塘资源^[1], 在世界范围内普遍存在过度利用的现象^[2]。地下水的过度开采会引发地面下沉、海水入侵和河道断流等问题的发生, 对生态环境的可持续发展造成恶劣影响。地下水超采与井灌区农户“不加限制”的取水灌溉有关, 属于井灌区地下水超采的农业用水“公地悲剧”。井灌是中国北方地区农业灌溉的主要供水方式之一^[3-4], 地下水开采量的 70%以上均用于农业灌溉^[5]。但截至 2021 年我国农田灌溉水有效利用系数仅为 0.568^[6], 农业灌溉用水效率低导致实际灌溉用水量超出合理用水量, 农业灌溉过量抽取地下水对井灌区地下水超采和地下水漏斗形成具有

重大影响。“村组”式农业水权制度是造成井灌区农户“不加限制”的取水灌溉的主要原因, 也是井灌区地下水超采“公地悲剧”的根源所在。因此, 改变现有“村组”式农业水权制度, 推进井灌区农业水权制度改革, 将农业水权界定给农户成为解决地下水超采“公地悲剧”的重要突破口。

【研究进展】我国正积极推动地下水超采综合治理, 2021 年 11 月公布的《地下水管理条例》中明确指出要加强地下水的节约与保护, 规范地下水超采治理工作。农业水权制度改革要立足于改变现有“村组”式农业水权制度, 将水权清晰界定作为农业水权制度改革的重要任务, 有效治理地下水超采。汪恕诚^[7]率先提出, 明晰水权是实现水资源优化配置的经济手段; 沈茂英^[8]针对四川现有农业水权制度面临水权分配确权、计量设施安装成本高、体制性矛盾等困境, 提出保障农业基本水权、理顺灌区农业用水机制等建议。胡继连^[9]指出现有农业水权的“村组”产权属性很大程度上影响了农业用水效率, 应进一步采取农业水权清晰界定到户措施, 以此来提高农用水效率。姜文来等^[10]对农业用水计量等农业用水管理问题进行探讨, 提出要多措并举推进农业用水计量工作, 因地制宜改进现有计量方式, 建设现代化智慧灌区。戎丽丽等^[11]和葛颜祥等^[12]提出建立以地下水水权清晰界定为基

收稿日期: 2022-09-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(42007411)

作者简介: 王冠儒(1998-), 男, 山东济南人。硕士研究生, 主要从事农业资源与环境管理研究。E-mail: guanruwang616@163.com

通信作者: 胡继连(1963-), 男, 山东淄博人。教授, 主要从事资源与环境经济研究。E-mail: jihu@sda.edu.cn

王秀鹃(1981-), 女, 山东泰安人。教授, 主要从事资源与环境管理研究。E-mail: xjwang0709@sda.edu.cn

础的水权交易机制,利用水权市场对地下水进行初始分配,对地下水水权进行清晰界定,以此来有效控制地下水开采量,提高地下水资源利用效率,整治地下水超采问题。郭晖等^[13]提出“合同节水管理+水权交易”模式,促进合同节水管理和水权交易共同发展。

当前农业水权界定工作仍处于探索阶段,水权分配方法并没有普适性标准。国内外学者对水权分配方法进行大量探索。Gebre 等^[14]引入多标准决策(MCDM)进行水权的分配。Asitatiek 等^[15]进行水权分配时考虑气候变化、水库运行能力等因素,并建立多目标优化模型,以保证水资源分配的公平性。潘少斌等^[16]利用动态水权,构建了灌溉面积和灌溉需水量相结合的混合分配模式,确定了农业基本水权和动态水权,保证农业水权分配的科学合理。张丹等^[17]采用了基于用户满意度的综合加权模型,完成了农户间农业水权的初始分配,兼顾农业水权初始分配的个体公平与整体公平。管新建等^[18]基于灌区农户农业人口和灌溉面积,运用基尼系数法对灌区农户间农业水权进行初始分配,使分配结构更具公平性。贺天明等^[19]运用投影寻踪混沌粒子群优化模型,构建农用水权初始分配体系,对灌区农业水权进行深层次初始分配,实现灌区农业水权分配到户,为农业水权界定到户奠定了基础。

【切入点】综上所述,推进井灌区农业水权制度改革是解决井灌区地下水超采问题的关键所在。井灌区农业水权制度改革的核心任务就是将井灌区农业水权清晰界定给农户,改变井灌区农业水权的“村组”式产权属性。【拟解决的关键问题】本文拟在前人研究的基础上,对井灌区地下水超采“公地悲剧”的经济学属性及其解决路径进行理论分析,研究井灌区农业水权界定到户水权初始分配模式,并有针对性地对井灌区农业水权界定到户的成本收益进行分析,根据水权界定成本分析结果提出井灌区农业水权界定到户建议,促进地下水资源的合理利用,实现可持续发展。

1 井灌区地下水超采“公地悲剧”属性与解决路径

1.1 井灌区地下水超采“公地悲剧”属性及原因分析

当许多人共同使用某种稀缺资源时,资源的严重配置不当或滥用就会出现,从而导致了“公地悲剧”^[20]。现有井灌区水权“村组”式产权属性是造成井灌区地下水超采“公地悲剧”的重要原因。“村组”式水权制度下农户之间水权划分并不明确,村组内所有农户都有平等使用地下水的权利导致地下水资源成为公共资源,农业水权成为井灌区农户的共有产权。共有

产权下井灌区农户使用地下水采取“以需定取”的方式,其取用水量并不受到限制,只要其交纳相应水电费即可。而井灌区农户受“丰水高产”观念的影响并出于自身利益最大化考虑,会在灌溉面积、用电量、时间相同的情况下,增加地下水的使用量,直至其农田得到充分的灌溉为止,造成地下水资源过度利用,进而导致地下水超采“公地悲剧”。

井灌区地下水超采“公地悲剧”可以用图 1 所示模型来解释。图 1 中横坐标为井灌区地下水资源使用量, MC 曲线为边际成本曲线, MB 曲线为边际私人收益曲线, MSB 曲线为边际社会收益曲线, MB 和 MSB 曲线之间的距离为增加地下水资源使用量所产生的外部成本。

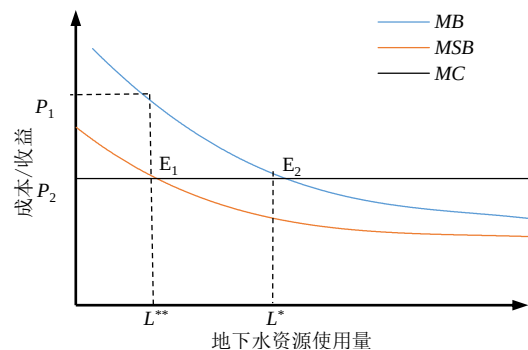


图 1 地下水超采“公地悲剧”的图示模型

Fig.1 A graphic model of the ‘tragedy of the commons’ of groundwater overextraction

从整个社会利益最大化的角度分析,图 1 中 E_1 点,当 $MSB=MC$ 时,井灌区地下水资源的使用达到最佳状态。这时最优地下水资源的使用量为 L^{**} ,社会边际收益为 P_2 ,井灌区单个农户的边际收益为 P_1 ,存在 P_1-P_2 的外部性收益。对井灌区农户而言,只需支付 MC 数量的费用,不需要支付额外费用,就可以获得这部分外部性收益。因此,从井灌区农户经济理性角度考虑,其会增加地下水资源的使用量,直到地下水资源的私人边际收益 MB 等于其支付的私人成本 MC 时,即图 1 中的 E_2 点。这时,地下水资源的使用量为 L^* ,远大于其最优地下水资源的使用量 L^{**} ,地下水资源就出现过度利用现象,井灌区地下水超采“公地悲剧”由此发生。

1.2 井灌区地下水超采“公地悲剧”解决路径：水权到户

井灌区农业水权界定到户是治理地下水超采“公地悲剧”重要措施之一。本文借鉴前人^[21-22]研究成果,总结提炼其经验做法,并根据井灌区农业用水特点,分 3 步将井灌区农业水权界定到户,步骤如下:

第一步明确井灌区内农业水权分配总量。根据地下水赋存情况,在维持正常的生态环境前提下,确

定井灌区可持续出水量,结合井灌区农作物灌溉水定额,借助先进设备利用数学模型来计算井灌区的地下水水权分配总量。

第二步选择井灌区农业水权分配模式。确定水权分配的相关参数,可将耕地面积、农作物种类、灌溉定额和地理区位(输水距离)等因素考虑在内,明确单位面积用水定额,测算出井灌区每位农户分得水权的比例,再根据井灌区地下水分配总量,对井灌区的每位农户进行初始水权分配,将水资源分配到最终用水户。

第三步农业水权确权到户,发放射频水卡,农户凭卡取水用水。在井灌区安装用水计量设施,农户必须刷卡取地下水,且卡内可用水量是根据第二步农户所获得水权数量来确定的,当用水累计总量超过农户卡内可用水量时,机电设备会停止供水。此时农户若想继续用水,则依据农业用水超定额用水加价收费制度交纳超额水资源费,方可继续取水。

水权到户后再结合灌溉面积用水量采用“阶梯水费”制度可进一步促进农业节水。井灌区农业用水可根据“多用水多付费”的原则,以井灌区农业用水定额为基准,确定每个梯度的加价幅度,实行超定额用水加价收费制度。实行阶梯水价制度后,农户用水超出灌溉定额后再取地下水,水费会随取水量增多而阶梯式上涨,增加其农业生产成本。农户作为经济理性人,为不增加其成本,会自觉规避争水、抢水、浪费水等负外部性行为,减少了地下水的无谓消耗,提高水资源利用效率,促进井灌区地下水超采“公地悲剧”问题的解决。山东省新泰市开展农业水价综合改革试点工作,实行3个阶梯的农业水价超定额累进加价制度:在灌溉定额内水价按照运行维护成本水价执行;超过灌溉定额50%以内的农业用水量,按1.1倍水价执行;超出灌溉定额50%以上的农业用水量,按1.2倍水价执行。新泰市开展农业水价改革后,减少了灌溉浪费,提高了农业用水效率,试点地区平均每年可节水672万 m^3 。

2 井灌区农业水权界定到户水权初始分配模式

2.1 井灌区农业水权分配的基本分配模式

在现实中,井灌区农业水权分配模式可分为基本分配模式和混合分配模式等。不同井灌区根据经济、民俗、农作物种类以及对地下水资源的需求程度等,选择合适的水权分配模式。井灌区农业水权基本分配模式包括人口分配模式、灌溉面积分配模式、产量分配模式、灌溉定额分配模式等^[12, 22]。式(1)一式(5)中, R_a 代表的是在不同分配模式下进行水权分配时,

农户 a 可获得的水量; R 是井灌区地下水权可分配总数量。

1) 灌溉定额分配模式。本原则考虑农作物种类不同,其灌溉定额也不尽相同。在农业水权分配时,根据不同农作物生长发育的需水要求,应把灌溉定额作为1项分配参数。该模式下水权分配的计算式为:

$$R_a = R \times \sum_{i=1}^I (k_n \times m_n^i) / \sum_{i=1}^I (k_n \times M_n^i), \quad (1)$$

式中: k_n 表示农作物 n 的灌溉用水定额; m_n^i 表示第 i 年农作物 n 的种植面积; M_n^i 表示第 i 年井灌区农作物 n 的总种植面积。

2) 人口分配模式。地下水资源被视作是一种“公共池塘资源”,每个人都对水资源享有占有和使用的权利,按人口分配可以体现出个体公平的原则。人口分配模式主要是根据井灌区每户的人口数量进行农业水权的初始分配。因此,井灌区每户的初始水权分配水量可表示为:

$$R_a = R \times \left(\frac{X_a}{X} \right), \quad (2)$$

式中: X_a 为第 a 个农户家中的人口数量; X 为井灌区总人口数。

3) 灌溉面积分配模式。灌溉面积分配模式主要适用于农用水权分配。土地种植面积的大小会对灌溉用水量产生直接影响。种植面积大的农户所需的灌溉用水量大。灌溉定额模式下水权分配的计算式为:

$$R_a = R \times \left(\frac{Y_a}{Y} \right), \quad (3)$$

式中: Y_a 为第 a 个农户的农田灌溉面积; Y 为井灌区总灌溉面积。

4) 产量分配模式。产量分配模式可体现土地综合生产效率,其是以投入地下水资源所产出农作物的量来衡量的。产量分配模式下水权分配的计算式为:

$$R_a = R \times \left(\frac{g_a}{G} \right), \quad (4)$$

式中: g_a 为第 a 个农户的农业生产量; G 为井灌区农作物的总产量。

2.2 基于基尼系数的水权分配模型

人口、灌溉面积和灌溉定额水权分配模式是侧重于水权分配公平性,产量分配模式侧重于效率性。因为人口分配模式、灌溉面积分配模式、灌溉定额分配模式、产量分配模式的分配依据和侧重点不同,所以得到的分配结果也是有差异。现在井灌区农业用水大多采用灌溉面积分配模式,按照农户实际灌溉面积来确定水权数量。由于该分配模式只考虑农户灌溉面积单个因素,农户都会对其褒贬不一,若损害了农户的利益,甚至会引发农户间的冲突。本文在借鉴前人研究的基础上^[19, 23-24],构建基尼系数的井灌区农业水权

分配模型来完成井灌区农业水权的初始分配。该模型以井灌区农业人口、灌溉面积、农业产量作为控制指标，计算各指标的基尼系数值，并求出各指标基尼系数之和，力求在公平范围内使各指标基尼系数之和最小化，以此优化井灌区农业水权分配，以确保井灌区农业水权分配的公平性。基尼系数的大小反映了分配的公平性，基尼系数越小，分配越公平。井灌区水权对外产权清晰且排他性强，但在村组内其产权模糊，分割性不强。在井灌区基尼系数应该趋近于 0 才是合理的。基尼系数的计算式为：

$$G_j = 1 - \sum_{a=1}^n (X_{aj} - X_{(a-1)j})(Y_{aj} - Y_{(a-1)j}), \quad (5)$$

$$X_{aj} = x_{(a-1)j} + M_{aj} / \sum_{a=1}^n M_{aj}, \quad (6)$$

$$Y_{aj} = y_{(a-1)j} + W_a / \sum_{a=1}^n W_a, \quad (7)$$

式中： j 为人口、灌溉面积、农业产量控制指标的编号； G_j 为基于 3 项指标的基尼系数值； n 为井灌区参与水权分配的农户数； X_{aj} 为基于指标 j 的累积比例； M_{aj} 为农户 a 指标 j 的值； Y_{aj} 为基于指标 j 水权总分配量累计比例； W_a 为农户 a 水权分配量，当 $a=1$ 时， $(X_{(a-1)j}, Y_{(a-1)j})$ 为 $(0,0)$ 。

为调整各个指标基尼系数之和，需采用熵值法计算各个指标权重，计算式为：

$$F_{aj} = \frac{W_{0(a)}}{Z_{aj}}, \quad (8)$$

$$P_{aj} = \frac{F_{aj}}{\sum_{a=1}^n F_{aj}}, \quad (9)$$

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{a=1}^n (P_{aj} \times \ln P_{aj}), \quad (10)$$

$$S_j = \frac{1-E_j}{\sum_{j=1}^m (1-E_j)}, \quad (11)$$

式中： F_{aj} 为第 a 个农户指标 j 的单位水权分配量； $W_{0(a)}$ 为第 a 个农户水权现状分配量； Z_{aj} 为第 a 个农户指标 j 的实际值； P_{aj} 为指标 j 下农户 a 在该指标中所占比例； E_j 为指标 j 下单位水权分配量的信息熵； S_j 为评价指标 j 的权重； m 为评价指标的个数， $m=3$ 。

以人口、灌溉面积、农业产量这 3 项控制指标的基尼系数之和最小为目标函数，构建井灌区农业水权分配模型，设井灌区水权可分配总量为决策变量，在水权分配总量不变的前提下，在 3 项指标基尼系数和各农户水权调整比例上下的约束条件下求解，得出井灌区农业水权分配最优方案，分配模型构建过程如下：

$$\min G = \sum_{j=1}^3 S_j G_j, \quad (12)$$

$$\sum_{a=1}^n W_a = \sum_{a=1}^n W_{0(a)}, \quad (13)$$

$$G_j \leq G_{0(j)}, \quad (14)$$

$$F_a = \frac{W_{0(a)} - W_a}{W_{0(a)}}, \quad (15)$$

$$F_{a0} \leq F_a \leq F_{a1}, \quad (16)$$

式中： G_j 为优化过后指标 j 的基尼系数值； G_{0j} 为指标 j 下现状基尼系数值； F_a 为第 a 个农户的水权分配调整比例； F_{a0} 和 F_{a1} 分别为第 a 个农户水权分配调整比例的可行上下限。

3 井灌区农业水权界定到户的益本分析

3.1 水权界定的收益分析

3.1.1 井灌区农业水权清晰界定经济社会效益分析

水权的清晰界定带来较大经济收益和社会效益。水权界定为水权转让提供了有利条件。井灌区地下水资源合理分配到农户后，水资源持有者具有处置该部分水资源的权利。在井灌区引入水市场，井灌区农户可以联合其他农户以农民用水协会为单位将通过节水技术改造、主动节约用水等方式节余的地下水资源有偿交易给企业或政府，让地下水资源在不同行业之间的流转，实现了地下水的“农转非”。而地下水的“农转非”的水价一般而言是要高于农业用水的价格，低于工业城市用水价格。“在农转非”过程中，农户作为转让方可以获得较高的节水收益，甚至可以抵消或超过其农业灌溉所支付的水费，降低了农业生产成本，给灌区和农户带来较大经济效益，在此利益驱动下井灌区农户会更加自觉地节水，可以进一步提高地下水资源的利用效率。而水权受让方以较低成本获得了所需地下水资源并将其投入更高效的生产利用，促使水资源由低效用途向高效用途的转移，以使这部分水资源发挥更大的社会效益。

宁夏吴忠市完善水权确权制度，构建水权市场化交易机制，促使水资源流向高利用率和高效益产业。青铜峡鸽子山灌区在各用水户管口安装电磁流量计等计量设施，将灌区 588 万 m^3 水资源确权给 28 户葡萄种植户，实现农业水权计量到户。确权后灌区节水效益明显，节水 300~450 m^3/hm^2 。通过网上水权交易平台，吴忠市叶盛镇联丰村将 50 万 m^3 农业用水交易给其他行业，获得资金 12.6 万元，本次 80% 的收益将分发给农户，可抵扣其农业生产过程中的农业灌溉水费，约 375 元/ hm^2 ，实现了经济效益与节水效益双赢。

3.1.2 井灌区农业水权清晰界定生态效益分析

生态效益主要体现在地下水资源的可持续利用。首先水权界定的过程中可以预留出保护生态环境所需的最低水资源量，在水权分配的过程中不得对这部分水资源进行分配，这样可以有效缓解生态环境用水

需求,保障了地下水资源的可持续性。其次水权到户后,农户要根据所拥有的水权数量进行取用水。取水用水行为会更加规范,可以有节制的取用地下水,并规避取水过程中跑冒渗漏情况,保障自己的农田用水。这样可以提高农业用水有效利用系数,用更少的水来灌溉农田,一定程度上缓解地下水超采,保护了生态环境。河北省自 2014 年开展地下水超采治理活动以来,构建农业水权界定和水权交易机制构建,并将全省 453 333 hm^2 耕地进行季节性休耕,从每年种植 2 季作物调整为 1 季,以此来压减地下水。2021 年底,河北地下水超采区浅层和深层地下水位比 2020 年上升 1.87、5.12 m,压减地下水超采量 52.3 亿 m^3 。

生态效益主要体现在灌区生态环境的改善。习近平总书记在二十大报告中强调:“要推进美丽中国建设,坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理”。地下水资源的保护在山水林田湖草一体化保护中起重要作用。地下水资源的可持续有利于保护河湖生态。地下水位降低到一定程度后就不能补给河湖,甚至会导致河湖干涸,进而也会降低环境自净能力,带来水污染。甘肃省民勤县位于石羊河流域下游,1970 年后为了提高粮食产量,开始打井取用地下水,毫无节制的打井行为导致地下水位普遍下降 10~20 m,土地荒漠化和流域末端青土湖完全干涸,生态环境恶化。2007 年起甘肃石羊河流域开展治理行动,在治理地下水超采过程中,民勤县按照“以水定产、以水定地”的原则,向农户发放水权证,将水权确权到户,还调整农业产业结构,引导农户种植低耗水高收益作物,减少地下水用水量。经过系统治理,地下水超采得到有效缓解,也给当地带来较大的生态效益,原来枯死的植被重新恢复,地下水位也有明显的回升,2010 年干涸的青土湖又开始重现水面,截至 2020 年水域面积已经达到 2 000 多 hm^2 ,流域生态效益显著提升。

3.2 井灌区农业水权界定的成本分析

井灌区农业水权界定的总成本由农业水权排他成本和内部管理成本构成。农业水权的排他成本和内部管理成本过高导致了井灌区农业水权排他程度低、水权难以界定到户。井灌区农业水权排他成本过高阻碍了农业水权界定到户。由于地下水资源具有流动性和时空变异性,再加上井灌区农户取水用水过程中存在跑水、漏水、渗水的现象,造成了井灌区地下水灌溉用水量精确度量难度大且度量成本过高的问题。由于现实中农业用水空间分散,要实现井灌区农户地下水用水量的精确计量和农业水权界定到户,必须引进先进的终端用水计量设施,并在田间安装封闭的管道渠系,打造井灌区农业用水计量“一户一表”模式,并依照每户的实际地下水取水用水量进行收费。但现

实中完善田间封闭管道渠系和安装终端用水计量设备的成本过高,而安装后井灌区要保证终端用水计量设施、封闭的管道渠系等农田水利工程的正常运行,也会产生很高的保养、维护和维修成本。综上所述,井灌区农业水权界定排他成本非常高,从一定程度上会对农业水权进一步清晰界定产生阻碍,使水权界定难以在普通的大田作物灌溉中推行。

井灌区农业水权内部管理成本过高阻碍了农业水权界定到户。内部管理成本与水权界定的清晰程度有关。水权界定的越清晰,村组内部追逐地下水资源价值的人数越少,内部管理成本越低。反之,水权界定的越模糊,村组内部追逐地下水资源价值的人数越多,内部管理成本越高。井灌区农业水权属于“村组”式水权,农户追逐地下水资源价值的人数很多,井灌区农业水权的内部管理成本很高。在井灌区许多农户共同分享地下水资源所有权或使用权时,内部要进行高度的协商,而井灌区农业用水户的分布呈零散、范围广、无组织的特点,对井灌区农户的取水用水行为进行管理、规范、监督,会大幅增加人力、物力、财力,在村组内产生很高的组织成本、信息搜寻成本和时间成本等。比如,农民用水协会对每户农业灌溉用水记录在册花费的人力、物力成本和井灌区农民用水协会内部农户之间的谈判协商成本等。

3.3 井灌区农业水权收益成本对比分析

水资源清晰界定所得的效益很高,但要想把水权界定到户必然也会产生很大的成本。水权界定的收益和成本的大小会从根本上影响水权界定的实施。如图 2 所示, C 为水权界定总成本, MC 为水权界定边际成本, R 为水权界定总收益, MR 为水权界定边际收益, K 表示水权界定的清晰程度,用 R/C 表示水权界定效率 Y 。当 $0 < K < K^*$ 时, $R > C$, $MR > MC$, 水权界定的收益大于水权界定的成本,且水权界定对于井灌区农户来说是值得追求的;当 $K = K^*$ 时, $R = C$, $MR = MC$, Y 为 1, 水权界定效率达到最优。当 $K > K^*$ 时, $R < C$, $MR < MC$, 水权界定的收益小于水权界定的成本,水权的界定对井灌区农户来说是得不偿失的。

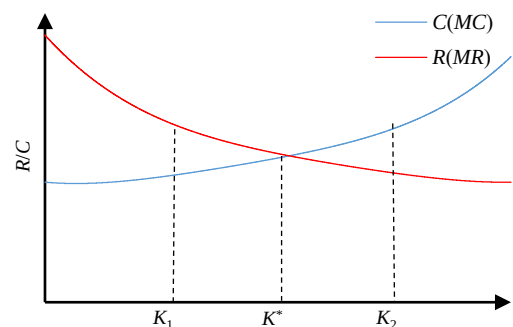


图 2 水权界定程度与水权界定效率

Fig.2 The defining degree and efficiency of water rights

当 $K=K^*$ 时, 井灌区农业水权并没有清晰界定到户, 井灌区农业水权仍然属于“村组”水权, 且村组人数保持在一定合理规模区间内。若想将农业水权清晰界定给农户, 即当 $K>K^*$ 时, 水权界定的总成本随水权界定清晰程度的提高而增加, 水权界定的总收益随水权界定清晰程度的提高而减少, 水权界定的效率也会随水权界定清晰程度的提高而下降。在此阶段, 水权界定的总成本始终大于水权界定的总收益, 水权界定是得不偿失的。也就是说, 农户作为经济理性人, 只有当井灌区农业水权界定后收益高于农业水权界定成本时, 农户才会选择界定水权, 而当农业水权界定成本高于其界定后所得收益时, 农户水权界定的积极性会大大降低, 农户不会选择进一步界定水权。因此要想实现井灌区农业水权清晰界定到户关键在于降低井灌区水权界定的总成本和增加水权界定的总收益, 提高水权效率, 激发其水权界定到户积极性。

4 讨论

近年来地下水超采问题已经成为民众关心的热点问题。地下水超采的治理要坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导, 贯彻落实“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路, 坚持以水定城、以水定地、以水定人、以水定产, 把地下水超采治理作为生态文明建设的重要任务, 加快解决地下水过度开发利用问题, 还水于河, 藏水于地。为治理井灌区“公地悲剧”, 解决地下水超采问题, 当前学者做了大量研究, 然而学术界对地下水超采治理的研究主要集中于农业产业布局的调整、节水技术的应用和发展雨养农业等方面, 对井灌区农业水权制度改革为治理措施的研究较少。所以本文主要着眼于井灌区农业水权制度改革研究, 提出建立健全水权界定和流转制度, 突破水权界定的关键技术, 促进井灌区农业水权界定到户的改革建议, 以期从取水源头上治理地下水超采, 努力实现地下水资源可持续利用。

井灌区农业水权界定改革要以降低水权到户成本, 明确水权到户收益为方向。只有当水权到户的收益大于成本时, 水权界定才有意义, 农户才有水权界定的积极性。现有井灌区水权是以“村组”形式存在, 要想完成水权到户, 实现“一户一表”成本过高, 而井灌区又无相应的水权市场和水权交易机制, 即使水权到户后, 农户也无法进行水权流转取得收益。现实中井灌区水权到户过高和水权收益获得相关机制不健全两方面共同阻碍了水权到户工作的进行。要想推动井灌区农业水权界定到户工作, 应以降低水权到户成本, 明确水权到户收益为抓手, 实现水权到户收益大于成本的目标, 激发农户参与井灌区农业水权清晰

界定的积极性, 进而促进农业水权的清晰界定。本文提出成立农民用水协会, 加强灌区农户管理, 引入井灌区节水管理机制, 让社会资本参与水权到户工作, 在井灌区内安装 IC 卡计量设施, 推行井灌区“一井一表”模式和农户“一户一卡”模式, 降低水权到户成本, 建立井灌区节余水权转让机制, 推动节余水权转让, 建立农户获取节水收益的渠道, 让农户能实实在在地享受节水收益, 并发挥农民用水协会的协商功能, 在水权转让过程中为农户争取更多收益, 让农户享受水权到户带来的经济和生态红利。

5 井灌区农业水权界定改革建议

5.1 完善现代化计量设施建设, 降低农业水权的排他成本

完善现代化的监测计量设施, 加强地下水动态监测, 尽快实现井灌区农业灌溉计量设施全覆盖, 促进井灌区农业节水。技术进步可以提供新的计量方法和手段, 来降低水权的界定成本。在井灌区内安装 IC 卡计量设施, 向农户发放射频卡, 推行井灌区“一井一表”模式和农户“一户一卡”模式, 通过机井射频器计量到户。农户在取用地下水进行农田灌溉时, 需到机井旁的智能计量设施上插卡消费, 方可取水, 待到灌溉完成时再刷卡结束计费。智能计量设备将会按方计算用水量, 并根据灌溉用水量自动扣除 IC 卡内的费用。“一井一表”模式下农户无须单独安装用水计量设施, 只在井灌区机井处安装终端计量设备即可, 且购买安装机井终端计量设备的费用由政府进行补贴, 井灌区农户只承担小部分费用。该模式可省去农业水权界定到户过程中农户单独安装用水计量设施的费用, 降低了农业水权的界定排他成本。

5.2 成立井灌区农民用水协会, 降低农业水权的内部管理成本

井灌区成立农民用水协会后, 除政府负责井灌区农业灌溉设施的建设、运行、维护和管理外, 农户也可以农民用水协会为依托直接参与井灌区的灌溉管理, 有助于降低井灌区农业水权的内部管理成本和实施成本。首先, 农户参与井灌区灌溉管理, 实现了井灌区农户的角色转变, 其由以前的水利灌溉设施使用者转变为现在的管理者和监督者, 农户的责任意识增强, 其会像水利灌溉设施所有者一样承担应尽的责任, 关心爱护井灌区的水利灌溉设施, 化解破坏水利灌溉设施的风险。其次, 农民用水协会将井灌区全体农户进行分组管理, 各小组内的农户居住较为集中, 有一定的地缘关系, 农户之间互相较为了解。以组为单位的管理模式较之前相比, 可以提升管理效率, 降低管理成本。因为农民用水协会管理模式与政府部门的科

层的管理体系相比,其能充分获取井灌区农户用水相关信息,有效行使管理职能,所以可以以较低的组织成本、时间成本等来实现井灌区农用灌溉设施的有效管理。最后,农民用水协会可以参与井灌区农业节余水权的流转,降低水权交易各项成本。与单个农户相比,农民用水协会进入水权市场具有较强的谈判能力,在水资源农转非的谈判过程中,其可以以较低的谈判总成本和较高的水权转让收益完成井灌区农业节余水权的规模化流转。综上所述,成立井灌区农民用水协会可有效降低农业水权的内部管理成本。

5.3 引入社会资本参与井灌区节水管理,降低水权到户成本

引入社会资本,在井灌区采取合同节水管理运作模式,节水服务企业与井灌区农民用水协会签订合同,为农户提供资本、技术、节水改造和管理等用水服务,并以与用水户共享节水效益的方式获取收益,推进节水服务的产业化,有效降低水权到户成本^[25]。井灌区

节水管理的运作模式如图3所示。井灌区当地政府与节水服务企业进行合作,签订合作协议,由节水服务企业参与井灌区节水工程的改造。节水服务企业资金一般采取银行贷款、融资等方式承担井灌区购买农业水权界定计量设施、安装封闭渠系管道等节水改造工程设施的费用。合同期内节水服务企业负责井灌区节水项目的运行、管理和维护工作,待到合同期满后,节水服务企业退出节水项目的运行、管理和维护,前期由其建设的节水设施设备无偿交给政府,后期井灌区节水项目的管理和维护均由政府负责。项目建设完成之后由井灌区当地政府与节水服务企业共同确定合同期内井灌区分年度的节水目标,政府对节水目标完成情况进行监督考核,节水服务企业保证合同期内井灌区节水收益达到每年度目标数值,就可以与井灌区全体农户按约定比例共享井灌区节水收益,并向农户收缴水资源费,以收回前期井灌区农业水权界定节水改造工程的成本,并获取相应收益。

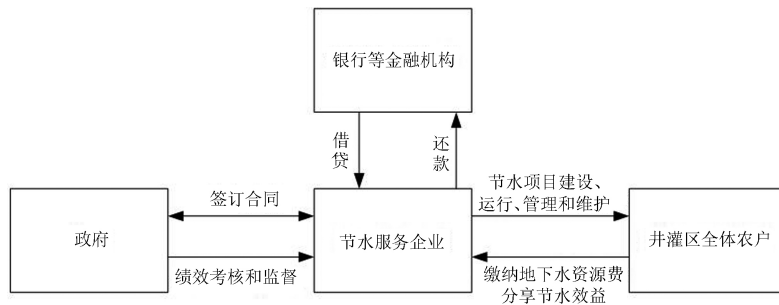


图3 井灌区节水管理的运作模式

Fig.3 Operation mode of contract water saving management in well irrigation area

宁夏贺兰县2018年引入社会资本,探索建设农业节水灌溉合同节水机制,节水服务企业投资新建节水项目工程,项目实施后年均节省水资源9 500万 m^3 ,节水量占该县总用水的30%。甘肃西梁灌区构建农田灌溉合同节水模式。项目落地后水资源有效利用系数超0.9,灌区2 773 hm^2 土地年均节水约220.28万 m^3 。

5.4 建立井灌区节余水权转让机制,倒逼水权界定

实现井灌区农业水权的清晰界定,离不开井灌区农户节余水权转让机制的支持。但当前,井灌区农业水权转让机制面临交易机制、保障制度不完善和农户分散经营等一系列问题。引入新技术和完善水权转让机制等手段是解决这些问题的关键所在。一方面,应根据井灌区农户分散经营的特点因地制宜设计井灌区节余水权交易机制,采取农户集中转让模式,实现农户水权集体规模化流转,降低节余水权的转让成本,提升转让效率。另一方面,井灌区节余水权转让应以先进的水权计量交易技术、健全的水权交易平台、适宜的交易组织形式和程序为支撑,降低水权交易成本,推动水权的规模化流转。井灌区农户节余水权转让机

制建立后,农户通过节余水权流转获得额外的收益,激发农户水权界定的积极性,倒逼水权界定。

6 结论

1) 水权到户是井灌区地下水超采“公地悲剧”的解决路径。根据井灌区农业用水特点,探索出井灌区农业水权到户的具体步骤,还借助基尼系数水权分配模型,对井灌区农户农业水权分配进行优化,确保了农业水权分配的公平性。

2) 现实中水权界定到户成本高,收益不明。井灌区农业水权界定的排他成本和内部管理成本过高且水权界定收益不明阻碍了农业水权到户工作的推进,降低了农户水权到户的积极性。

3) 水权到户改革以降低水权到户成本,明确水权到户收益为基本原则。采取完善现代化计量设施建设、成立井灌区农民用水协会、引入合同节水管理机制和建立井灌区节余水权转让机制等措施,降低成本,明确收益,为井灌区农业水权界定到户工作创造有利条件,推动井灌区可持续发展。

参考文献：

- [1] OSTROM Elinor. Governing the commons: the evolution of institutions for collective action[M]. New York: Cambridge University Press, 1990: 30-33.
- [2] SHEN Dajun. Groundwater management in China[J]. Water Policy, 2015, 17(1): 61-82.
- [3] 王晓玲, 杜秀文, 刘丽艳, 等. 我国井灌建设可持续发展研究[J]. 中国农村水利水电, 2006(8): 6-11.
- [4] 郭晖, 范景铭, 陈向东. 井灌区地下水水权交易机制与保障措施研究[J]. 人民黄河, 2019(6): 53-57.
GUO Hui, FAN Jingming, CHEN Xiangdong. Study on mechanism and safeguards of groundwater rights trading in well irrigation areas[J]. Yellow River, 2019(6): 53-57.
- [5] 杨旭洋, 刘彬, 闫丹丹, 等. 华北平原地下水超采区不同节水技术灌溉用水量分析: 以河北省沧州市为例[J]. 科学技术与工程, 2018(17): 150-155.
YANG Xuyang, LIU Bin, YAN Dandan, et al. Analysis on irrigation water consumption of different water-saving techniques in groundwater overdraft area of North China plain: A case study of Cangzhou City, Hebei Province[J]. Science Technology and Engineering, 2018(17): 150-155.
- [6] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报(2021)[J]. 北京: 水利水电出版社, 2022.
- [7] 汪恕诚. 水权和水市场—谈实现水资源优化配置的经济手段[J]. 中国水利, 2000(11): 6-9.
- [8] 沈茂英. 长江上游农业水权制度现状与面临困境研究: 以四川省为例[J]. 农村经济, 2021(3): 9-17.
SHEN Maoying. The Current situation of agricultural water rights system in the upper reaches of the Yangtze River and its difficulties[J]. Rural Economy, 2021(3): 9-17.
- [9] 胡继连. 农用水权的界定、实施效率及改进策略[J]. 农业经济问题, 2010, 31(11): 40-46.
HU Jilian. The definition of the irrigation water and its enforcement efficiency[J]. Issues in Agricultural Economy, 2010, 31(11): 40-46.
- [10] 姜文来, 姜赛男, 刘洋. 农业用水管理三个关键问题探讨[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(8): 9-12.
JIANG Wenlai, JIANG Sainan, LIU Yang. Three key issues in agricultural water management[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(8): 9-12.
- [11] 戎丽丽, 胡继连. 地下水水权冲突及其协调机制[J]. 水利经济, 2007(2): 48-50, 58.
RONG Lili, HU Jilian. Water right conflicts of underground water and their coordination mechanism[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2007(2): 48-50, 58.
- [12] 葛颜祥, 胡继连. 水权市场与地下水资源配置[J]. 中国农村经济, 2004(1): 56-62.
- [13] 郭晖, 陈向东, 董增川, 等. 基于合同节水管理的水权交易构建方法[J]. 水资源保护, 2019(3): 33-38, 62.
GUO Hui, CHEN Xiangdong, DONG Zengchuan, et al. Construction method of water right trading based on water-saving management contract[J]. Water Resources Protection, 2019(3): 33-38, 62.
- [14] GEBRE, S L, CATTRYSSSE D, ORSHOVEN J V, et al. Multi-criteria decision-making methods to address water allocation problems: A systematic review[J]. Water, 2021, 13(2): 125.
- [15] ASITATIKIE A N, GEBEYEHU W Z. Assessment of hydrology and optimal water allocation under changing climate conditions: The case of Megech River sub basin reservoir, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia[J]. Modeling Earth Systems and Environment, 2021, 7(4): 2 629-2 642.
- [16] 潘少斌, 刘路广, 董苇, 等. 农业水权分配方法研究[J]. 节水灌溉, 2022(4): 27-30, 36.
PAN Shaobin, LIU Luguang, DONG Wei, et al. A study on agricultural water rights distribution method[J]. Water Saving Irrigation, 2022(4): 27-30, 36.
- [17] 张丹, 刘姝芳, 王寅, 等. 基于用户满意度的农户水权分配研究[J]. 节水灌溉, 2020(9): 8-11, 15.
ZHANG Dan, LIU Shufang, WANG Yin, et al. Study on water rights allocation of farmers based on user satisfaction[J]. Water Saving Irrigation, 2020(9): 8-11, 15.
- [18] 管新建, 黄安齐, 张文鸽, 等. 基于基尼系数法的灌区农户间水权分配研究[J]. 节水灌溉, 2020(3): 46-49, 56.
GUAN Xinjian, HUANG Anqi, ZHANG Wenge, et al. Study on water right allocation among farmers in irrigation district based on Gini coefficient method[J]. Water Saving Irrigation, 2020(3): 46-49, 56.
- [19] 贺天明, 王春霞, 张佳. 基于遗传算法投影寻踪模型优化的深层次农业用水初始水权分配: 以新疆建设兵团第八师石河子灌区为例[J]. 中国农业资源与区划, 2021(7): 66-73.
HE Tianming, WANG Chunxia, ZHANG Jia. The allocation of initial water rights in deep agriculture based on the projection tracing model optimized by genetic algorithm: A case study of Shihezi irrigation area[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021(7): 66-73.
- [20] HARDIN Garrett. The tragedy of the commons[J]. Science, 1968(162): 1 243-1 248.
- [21] 杜丽娟, 柳长顺. 中国农户灌溉水权确权研究[J]. 水利水电技术(中英文), 2022(3): 61-69.
DU Lijuan, LIU Changshun. Research of confirming the right for irrigation water to farmers in China[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2022(3): 61-69.
- [22] 葛颜祥. 水权市场与农用水资源配置[D]. 泰安: 山东农业大学, 2003.
- [23] 沈菊琴, 杨佳佳, 王丽娟, 等. 基于基尼系数优化熵权-TOPSIS 法的排水权初始分配研究[J]. 水利经济, 2022(2): 46-50, 56, 89.
SHEN Juqin, YANG Jiajia, WANG Lijuan, et al. Initial allocation of drainage rights based on optimization of Gini coefficient and entropy weight-TOPSIS method[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2022(2): 46-50, 56, 89.
- [24] 程一鑫, 李一平, 朱晓琳, 等. 基于熵值—环境基尼系数法的平原河网区污染物总量分配[J]. 湖泊科学, 2020(3): 619-628.
CHENG Yixin, LI Yiping, ZHU Xiaolin, et al. Total pollutant load allocation in plain river network based on the entropy-environmental Gini coefficient method[J]. Journal of Lake Sciences, 2020(3): 619-628.
- [25] 曹淑敏. 合同节水模式下节水量纳入水权交易的有关问题与对策[J]. 水利经济, 2019, 37(4): 36-38, 55, 77.
CAO Shumin. Related problems and countermeasures of bringing water-saving amount into water rights trading under the contract water-saving model[J]. Journal of Water Resources Economics, 2019, 37(4): 36-38, 55, 77.

Delineation of Agricultural Water Rights to Individual Households in Regions Overexploiting Groundwater for Irrigation

WANG Guanru¹, HU Jilian^{1,2*}, WANG Xiujuan^{3*}

(1. College of Economics and Management, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

2. College of Marxism, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;

3. College of Public Administration, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: 【Objective】 Promote the rational use of groundwater resources and solve the problem of groundwater overexploitation. 【Method】 This paper conducts an economic analysis on the property of the "tragedy of the commons" over-exploitation of groundwater in the well-irrigated area, proposes a solution to the "tragedy of the commons" in the over-exploitation of groundwater in the well-irrigated area, and studies the initial distribution model of agricultural water rights in the well-irrigated area. It also analyzes the benefits and costs of household-based agricultural water rights in well-irrigated areas, and puts forward improvement suggestions for household-based agricultural water rights in well-irrigated areas. 【Result】 The overexploitation of groundwater is related to the "unrestricted" water intake of farmers in well irrigation areas. The existing agricultural water rights in well irrigation areas belong to the "village group" water rights system, and the definition of water rights is vague. Farmers use excessive groundwater for farmland irrigation, leading to the "tragedy of the commons" of groundwater overexploitation in well irrigation areas. The high cost of defining agricultural water rights in well-irrigated areas is the root cause of the unclear definition of agricultural water rights in well-irrigated areas. 【Conclusion】 The clear definition of agricultural water rights to households is helpful to solve the problem of groundwater overexploitation "the tragedy of the commons". In the process of defining water rights, measures should be taken to improve the construction of modern metering facilities, establish farmers' water use associations, introduce contractual water-saving management models and Measures such as establishing a transfer mechanism for surplus water rights in well-irrigated areas can reduce the cost of defining agricultural water rights, thereby promoting the definition of agricultural water rights in well-irrigated areas to households, improving the efficiency of agricultural water rights in well-irrigated areas, and optimizing the allocation of groundwater resources in well-irrigated areas.

Key words: definition of water rights; groundwater overexploitation; well-irrigated areas; tragedy of the commons

责任编辑: 白芳芳

关于评选优秀论文的公告

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