

水价与灌溉模式选择的博弈分析

王艳芳¹, 张红玲²

(1. 宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏水利科学研究所, 宁夏 银川 750021)

摘要 运用博弈论方法建立了水价与井渠结合灌溉模式选择的博弈模型, 对供水方与农户用水行为进行博弈分析, 结果表明, 实行渠水、井水统一水价, 能有效激励农户采用井渠结合灌溉。按照博弈模型对宁夏引黄灌区采用地表水与地下水联合灌溉的节水效益进行研究, 结果显示, 采用井渠双灌, 引黄灌区可减少渠首引水量 $1.53 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 减少输水过程中的损失水量 $0.68 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 如果政府将渠水和井水灌溉水价统一提高到 0.04 元/ m^3 , 则井灌效益大于井灌投资, 农户将积极采用井渠结合灌溉模式。

关键词 水价; 灌溉模式; 博弈论

中图分类号 S274

文献标识码: A

文章编号: 1003-9511(2009)02-0032-02

1 研究背景

我国水资源紧缺, 是世界上 13 个严重缺水国家之一。按 1997 年人口计算, 我国人均水资源占有量为 $2220 \text{ m}^3/\text{a}$, 预测到 2030 年将降低到 $1760 \text{ m}^3/\text{a}$, 形势严峻, 水资源已成为制约国民经济可持续发展的重要因素。目前, 我国有一些灌区灌水方法和管理技术落后, 不能适应当前水资源紧缺形势。井渠结合的灌溉模式是在原有渠灌系统基础上, 适当发展井灌而逐渐形成的。这种灌溉模式便于实现地表水和地下水联合运用, 可使农户灵活运用地表水和地下水, 重复利用渠灌的渗漏水, 调控灌区地下水水位, 是北方灌区实现农业高效用水的发展方向。但我国农业用水水价过去一直是地表水、地下水单独计价, 近些年才逐步纳入商品价格管理, 其标准普遍偏低, 大都低于供水成本, 不能有效刺激农户投资节水技术和节水措施, 农户采取井渠结合灌溉模式的积极性不高^[1-3]。

笔者从博弈论的角度, 分析灌溉水价与井渠灌溉模式选择之间的关系, 旨在研究如何通过价格机制激励用户采取井渠结合的灌溉模式。

博弈是指决策主体在相互对抗中, 对抗双方(或多方)相互依存的一系列策略和行动的过程集合^[4]。博弈论最早是经济学上的范畴, 现已广泛应用于社会、政治、法律和自然等领域。沈建芳等^[5]提出水量

调配博弈模型假设, 建立了完全竞争水量调配博弈模型, 并对水量调配博弈模型应用提出建议, 建立一套符合中国国情的水权体系, 完善水资源分配制度, 建立合理的水价形成机制, 健全水权交易市场。杨念^[6]研究了区域中推行节水灌溉的博弈模型, 将主办单位、用水人、节水灌溉的实施、支出、收入等置于对策论中, 建立了督导推广节水灌溉的博弈模型。韩青^[7]对农户节水灌溉技术供给行为进行了博弈分析, 认为提高水价, 制订有效的奖惩法规, 可激励或约束农户的节水行为。李艳等^[8]从博弈论的角度, 分析了水价与节水灌溉之间的关系, 说明水价的提高激励了节水灌溉技术的采用。可见, 博弈论是一种有效的分析工具。

2 水价-井灌博弈模型

2.1 供水方与农户用水行为的博弈分析

在此博弈中, 局中人为供水方和用水户(即农户), 他们都是理性人, 是博弈中选择行动以实现自身利益最大化的决策主体和策略制定者。供水方选择的策略集为低水价、高水价, 农户选择的策略集为渠灌、井灌。双方收益矩阵见表 1。

设 W_1, W_2 分别为渠灌和井灌农产品收入; P_1, P_2 分别为低水价和高水价; Q_1, Q_2 分别为渠灌用水量 and 井灌用水量; M_1, M_2 分别为渠灌和井灌其他生产要素的投入; C 为井灌工程投入的成本, 则:

表1 供水方与农户的收益博弈

农户策略	收益博弈结果	
	供水方策略 P_1	供水方策略 P_2
渠灌	G_{E_1}, N_{E_1}	G_{E_3}, N_{E_3}
井灌	G_{E_2}, N_{E_2}	G_{E_4}, N_{E_4}

注： $G_{E_1}, G_{E_2}, G_{E_3}, G_{E_4}$ 为供水方收益； $N_{E_1}, N_{E_2}, N_{E_3}, N_{E_4}$ 为农户收益。

$$N_{E_1} = W_1 - P_1 Q_1 - M_1 \quad (1)$$

$$N_{E_2} = W_2 - P_1 Q_2 - M_2 - C \quad (2)$$

$$N_{E_3} = W_1 - P_2 Q_1 - M_1 \quad (3)$$

$$N_{E_4} = W_2 - P_2 Q_2 - M_2 - C \quad (4)$$

不难看出，井灌效益为 $P_2 Q_2 + W_2 + M_2$ ，与井灌工程投入的成本 C 之间的关系成为决定两种博弈结果（渠灌、井灌）的关键因素。

设 K 为采取井灌和采取渠灌所得收益之差，则 $K = (W_2 - W_1) - (M_2 - M_1)$ 。根据费用效益比，按低水价和高水价分别进行分析：

a. 按低水价分析。即 $P_1 < (C - K)(Q_1 - Q_2)$ ，这时渠灌农户的收益为 $N_{E_1} = W_1 - P_1 Q_1 - M_1$ ，井灌农户的收益为 $N_{E_2} = W_2 - P_1 Q_2 - M_2 - C$ ，则 $N_{E_2} - N_{E_1} = P_1(Q_1 - Q_2) + K - C < 0$ 。说明农户实施井灌的收益小于实施渠灌的收益。作为理性的经济人，从利益最大化出发，农户将会选择渠灌。同时，由于井灌要消耗动力，灌溉所需的单方水量的费用远高于渠灌。在农业收入不高、人们往往只顾眼前利益的情况下，就算机井已经建成配套，仍会被搁置不用。在这种情况下，实施井灌以政府行政推动为主，政府如若不投资井灌工程，井灌工作就会停滞不前。可见，低水价不能够反映水资源的稀缺程度，不仅助长了水资源利用中的浪费现象，也严重影响了节水农业的效益，制约节水高效农业的发展，因此，建立一个有效激励、控制有序的管理运行机制迫在眉睫。

b. 按高水价分析。即 $P_2 > (C - K)(Q_1 - Q_2)$ ，这时渠灌农户的收益为 $N_{E_3} = W_1 - P_2 Q_1 - M_1$ ，井灌农户的收益为 $N_{E_4} = W_2 - P_2 Q_2 - M_2 - C$ ，则 $N_{E_4} - N_{E_3} = P_2(Q_1 - Q_2) + K - C > 0$ 。说明农户实施井灌的收益大于实施渠灌的收益，因此，农户选择井灌。从政府的收益角度来看，实行高水价可以增加农户的井灌意识。但政府提高农业水价的同时，要建立国家和地方补助金制度，通过财政农业补贴或其他形式回补农民，以支持推行井灌的农户，并充分利用资本市场，对节水投入机制进行改革，建立节水投入多元化体系。此博弈说明政府提高水价，

通过经济杠杆有效调动群众的节水积极性，农户就会考虑采用井灌方式。

2.2 农户用水行为的博弈分析

假设在同一灌区内有 A、B 二个规模相似的农户，双方面临传统渠灌方式和井渠结合灌溉方式两种选择，对应的可能结果有 4 种：①如果两人都不进行井灌工程投入，则双方的收益为 $N_{E_1}' = W_1 - P_i Q_1 - M_i (i = 1, 2)$ ；②两人都同样进行井灌工程投入，则双方收益为 $N_{E_2}' = W_2 - P_i Q_2 - M_2 - C (i = 1, 2)$ ；③当一个农户进行井灌工程投入（假设承担了一半的费用），而另一个农户不进行井灌工程投入时，不进行井灌工程投入农户的收益为 $N_{E_3}' = W_2 - P_i Q_2 - M_2 - C (i = 1, 2)$ ；④进行井灌工程投入农户的收益为 $N_{E_4}' = W_1 - P_i Q_1 - M_i (i = 1, 2)$ 。农户收益矩阵见表 2。

表2 农户与农户的收益博弈

农户 A 投入情况	收益博弈结果	
	农户 B 投入	农户 B 不投入
投入	N_{E_2}', N_{E_2}'	N_{E_3}', N_{E_4}'
不投入	N_{E_4}', N_{E_3}'	N_{E_1}', N_{E_1}'

a. 当 $P_i = P_1$ 为低水价时。假设渠灌水价很低，井灌投入的成本很高，井灌带来的收益不足以抵消井灌的投入，则会满足 $N_{E_4}' > N_{E_2}'$ 。显然农户 A 和农户 B 的偏好都为 N_{E_4}' ，农户 A 和农户 B 从私利出发，注定不会合作，达到囚徒困境。双方都不进行井灌投入的策略是两人的一次性博弈的超优策略，其结果是一个纳什均衡。囚徒困境博弈反映了个人理性与集体理性的矛盾。在渠灌水价较低、井灌投入成本较高的情况下，势必造成农户之间从私利出发而不合作，导致井灌工程闲置不用。如果在上述囚徒困境博弈中引入经济因素（高水价）来限制农户的技术采用行为，则可能出现农户之间的合作解。

b. 当 $P_i = P_2$ 为高水价时。农户进行井灌相当于得到奖励，不进行井灌则被惩罚。当这种奖励或惩罚的力度加大时，农户不同灌溉方式选择行为下的收益满足 $N_{E_2}' > N_{E_4}' > N_{E_3}'$ 且 $N_{E_2}' > N_{E_1}'$ 条件，采用井灌方式等于增加收入，此时，进行机井投入成为农户灌溉技术供给的帕累托最优策略，从而达到了个人目标和集体目标的统一。可见，进行水价刺激，农户灌溉模式的选择行为可从非合作转向合作，水价是促进井渠结合灌溉模式发展的有力经济杠杆。

3 实例

宁夏引黄灌区历史悠久，1949 年中华人民共和国成立以来，经过大规模的整修、扩建和改造，灌区发展速度很快，灌溉面积由建国初期（下转第 70 页）

顺利进行。

笔者从监理视角探讨性地提出水利工程征地移民实物指标复核质量监控的操作规范,并以流程图形式给出(图1)。

4 结 语

笔者从理论上分析了移民心理动态及其对实物复核质量监控的可能影响,并在此基础上提出了实物复核质量监控的规范操作流程。但是,所做的相关研究只是理论上探讨,尽管有些操作在实际工作中得到了证实,但仍需在实践中进一步完善。

参考文献:

[1] 沈菊琴. 工程项目管理: 水利水电工程征地移民监理理

论与实务[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 146-159.

[2] 杨建设. 水利水电工程移民监理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 30-42.
[3] 同宏波. 水库淹没实物指标调查工作探讨[J]. 陕西水利水电技术, 2007(1): 36-38.
[4] 杜瑛, 施国庆. 不同安置模式的水库移民社会适应与整合[J]. 水利经济, 2007, 25(1): 78-80.
[5] 张根林. 水利水电工程建设征地移民设计规范[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003: 256-271.
[6] 左平. 水利水电工程移民监测与评估[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2004: 176-193.
[7] 徐俊新, 施国庆, 郑瑞强. 水库移民补偿中的几个问题探讨[J]. 水利经济, 2008, 26(5): 72-74.

(收稿日期: 2008-08-31 编辑: 徐广生)

(上接第33页)

的 14.8 万 hm^2 发展到现在的 42.7 万 hm^2 , 其中扬黄灌溉面积 6.67 万 hm^2 , 粮食产量大幅度提高, 其产量占全区粮食总产量的 75% 以上, 灌区水利工程为宁夏回族自治区创造了巨大的经济效益和生态环境效益。但是, 灌区水利工程在创造巨大效益的同时, 忽视了灌区水资源的高效利用和合理配置, 致使灌区出现不同程度的盐渍化, 另外, 由于多年实行低价供水, 造成水利工程供水成本得不到合理补偿, 工程老化失修严重, 干渠供水能力下降, 灌区供需矛盾日益突出, 供水效益不断衰减, 因此, 合理调整农业水价, 大力推行井渠结合灌溉, 以节约引黄水量, 建设节水型社会, 是宁夏引黄灌区社会经济必然趋势。

按照前述博弈模型, 对宁夏灌区采用地表水与地下水联合灌溉的节水效益进行研究, 结果表明^[9], 采用井渠双灌, 引黄灌区可减少渠首引水量 $1.53 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$, 减少输水过程中的损失水量 $0.68 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。预计 2010 年井渠双灌可减少田间引黄灌溉用水量 $1.95 \times 10^8 \text{ m}^3$, 减少渠首引黄水量为 $3.48 \times 10^8 \text{ m}^3$, 减少输水过程中水的损失量为 $1.54 \times 10^8 \text{ m}^3$, 说明实施井渠结合灌溉具有显著的节水效益。以宁夏银北灌区惠农井渠结合示范区为例。示范区内井渠结合灌溉面积 202 hm^2 , 机井 10 眼, 井灌总投资为 52.26 万元, 灌溉用水量 136.69 万 m^3/a , 其中引黄灌溉水量 95.68 万 m^3/a , 地下水灌溉水量 41.01 万 m^3/a 。目前, 宁夏自流灌区引黄灌溉水价为 0.012 元/ m^3 , 假设 2010 年水价提高到 0.020 元/ m^3 , 则井渠结合灌溉带来的增产收益及其他收益为 50.4 万元, 其中井灌成本 C 为 52.26 万元, 采取井灌和采取渠灌所得收益之差 K 为 50.14 万元, 渠灌用水量 Q_1 为 95.68 万 m^3 , 井灌用水量 Q_2 为 41.01 万 m^3 , 则此

时农业水价 $P = (C - K)(Q_1 - Q_2) = 0.038 \text{ 元}/\text{m}^3$, 大于假设的 2010 年 0.020 元/ m^3 的农业水价, 因此, 农户使用井灌的积极性不高。此时井渠结合灌溉技术的推广必须靠政府推动。如果政府 2010 年将渠水和井水灌溉水价统一提高到 0.04 元/ m^3 , 则井灌收益大于井灌投资, 农户考虑到自身的利益, 将增强节水意识, 积极采用井渠结合灌溉模式。

4 结 语

运用博弈论方法分析农业水价与井渠结合灌溉之间的关系, 结果表明, 提高农业水价可以刺激农户采用井渠结合的灌溉模式, 但提高水价必须充分考虑农户的支付能力, 政府可建立国家和地方补助金制度, 支持井灌农户。

参考文献:

[1] 沈菊琴, 孙济惠, 薛亚云. 水价探析[J]. 水利经济, 2007, 25(3): 44-47.
[2] 李华, 徐存寿, 季云. 关于农业两部制水价制定方法的探讨[J]. 水利经济, 2006, 24(3): 36-38.
[3] 张超, 杨富喜. 水价机制与用水者行为分析[J]. 水利经济, 2007, 25(5): 25-26;
[4] 姚国庆. 博弈论[M]. 天津: 南开大学出版社, 2003.
[5] 杨念. 区域水中博弈论在节水灌溉中的应用研究[J]. 节水灌溉, 2003(3): 45-48.
[6] 沈建芳, 丰景春. 水量调配博弈分析及应用研究[J]. 水利经济, 2006, 24(2): 20-23.
[7] 韩青. 农业节水灌溉技术应用的经济分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2004: 27-29.
[8] 李艳, 陈晓宏. 农业节水灌溉的博弈分析[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(3): 19-22.
[9] 马苏文, 李刚军, 李怀恩. 宁夏引黄灌区井渠双灌节水效益分析[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(5): 56-60.

(收稿日期: 2008-09-04 编辑: 彭桃英)