

文章编号: 1004-4051(2024)07-0041-07

DOI: 10.12075/j.issn.1004-4051.20240678

基于页岩气资源禀赋特征的差异化补贴方式研究

黄聿铭^{1,2}, 宋昆鹏³, 张 扬², 苗长虹⁴, 陈 丹², 李小慧⁵

- (1. 河南大学地理学博士后流动站, 河南 开封 475001;
2. 河南财经政法大学工程管理与房地产学院, 河南 郑州 450016;
3. 河南省国土空间调查规划院, 河南 郑州 450012;
4. 河南大学地理与环境学院, 河南 开封 475001;
5. 河南省地质局生态环境地质服务中心, 河南 郑州 450014)

摘 要: 定额的页岩气产量补贴政策因未考虑资源禀赋特殊性, 使得有限的补贴资金优先流向优质资源, 导致我国页岩气开发的不均衡发展。基于此, 提出一种以资源禀赋及开采条件为考量因素的差异化补贴方式, 由基本补贴和可变补贴两部分组成, 以有效地引导和激励页岩气开发企业的投资行为。首先, 以保障企业基本收益率需求为前提, 采用净现值法得到企业所需基本补贴。然后, 依据委托代理理论构建政府与企业双方的收益函数, 通过量化资源禀赋及开采条件与社会效益间的相关系数, 得到可变补贴的测算模型, 以及三种类型区块(黄金型、朝阳型、夕阳型)的可变补贴系数范围。研究结果表明: 黄金型区块不需要任何补贴即可实现产量收益, 朝阳型区块仅需基本补贴即可正常投资, 是政府应重点扶持的对象, 夕阳型区块是给予可变补贴的上限; 可变补贴系数测算模型中的社会效益产出系数、资源禀赋及开采条件等不确定性因素变化所引起的结果波动范围在-6.88%~6.99%之间, 证明该模型具有良好的稳健性。差异化补贴方式兼顾了不同页岩气区块政策实施的公平性, 有望提高财政资金的使用效率, 以及有效激励不同页岩气区块的均衡健康发展。

关键词: 页岩气; 资源禀赋; 差异化补贴; 委托代理理论; 可变补贴测算模型

中图分类号: TD-9; F426.22 **文献标识码:** A

Study of differential subsidy approach based on the resource endowment characteristics of shale gas

HUANG Yuming^{1,2}, SONG Kunpeng³, ZHANG Yang², MIAO Changhong⁴,
CHEN Dan², LI Xiaohui⁵

- (1. Post-Doctoral Station, Henan University, Kaifeng 475001, China;
2. School of Engineering Management and Real Estate, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450016, China;
3. Henan Institute of Survey and Planning in Land and Space, Zhengzhou 450012, China;
4. The College of Geography and Environmental Science, Henan University, Kaifeng 475001, China;
5. Ecological Environment Geo-Service Center of Henan Geological Bureau, Zhengzhou 450014, China)

收稿日期: 2024-03-28 责任编辑: 刘硕

基金项目: 河南省高校人文社会科学研究一般项目资助(编号: 2025-ZZJH-147); 河南省科技攻关项目资助(编号: 242102220091)

第一作者简介: 黄聿铭(1992—), 女, 汉族, 湖北宜昌人, 博士, 讲师, 主要从事能源经济、资源规划等方面的研究工作, E-mail: huangyuming718@126.com。

引用格式: 黄聿铭, 宋昆鹏, 张 扬, 等. 基于页岩气资源禀赋特征的差异化补贴方式研究[J]. 中国矿业, 2024, 33(7): 41-47.

HUANG Yuming, SONG Kunpeng, ZHANG Yang, et al. Study of differential subsidy approach based on the resource endowment characteristics of shale gas[J]. China Mining Magazine, 2024, 33(7): 41-47.

Abstract: The fixed shale gas production subsidy policy does not take into account the specificity of resource endowment, which makes the limited subsidy funds flow to the high-quality resources in priority, leading to the unbalanced development of shale gas development in China. Based on this, a differential subsidy approach with resource endowment and exploitation conditions as the key factors is proposed, which consists of two parts: the basic subsidy and the variable subsidy, in order to effectively guide and incentivize the investment behavior of shale gas development enterprises. First, the basic subsidy required by enterprises is obtained by using the net present value method on the premise of guaranteeing their basic rate of return needs. Then, based on the principal-agent theory, it constructs the return functions of both the government and the enterprises, and by quantifying the correlation coefficients between resource endowment and exploitation conditions and social benefits, it obtains the measurement model of variable subsidy and the range of variable subsidy coefficients for three types of blocks (golden-type, sunrise-type, sunset-type). The results show that golden-type blocks can achieve production returns without any subsidies; sunrise-type blocks can be invested normally with only basic subsidies sunrise-type blocks are the objects that the government should focus on supporting; and sunset-type blocks are the upper limit of variable subsidies. The fluctuation range of the results caused by changes in uncertainties such as the output coefficients of social benefits, resource endowment and mining conditions in the variable subsidy coefficient model ranges from -6.88% to 6.99% , which proves that the model has a good robustness. The differential subsidy approach takes into account the fairness of the policy implementation of different shale gas blocks, and is expected to improve the efficiency of the use of financial funds, as well as effectively incentivize the balanced and healthy development of different shale gas blocks.

Keywords: shale gas; resource endowment; differential subsidy; principal-agent theory; variable subsidy measurement model

0 引言

天然气作为化石能源中相对清洁的资源,在当前仍无法完全摆脱对化石能源依赖的情况下,更受青睐。近年来,页岩气作为一种非常规一次资源,为全球能源市场的革新吸引了越来越多的投资^[1]。尤其是页岩气补贴政策的实施,更是掀起了学术讨论的热潮^[2]。我国于2012年正式对页岩气开发进行补贴,至今已经历了十年之多。补贴标准从最初的0.4元/ m^3 (2012—2015年)逐步下调至0.3元/ m^3 (2016—2018年)和0.2元/ m^3 (2019—2020年),财政部更是于2019年宣布取消固定补贴额度,改为“阶梯式奖励”。随着政府资金的灵活运用,出现了多种补贴方式。但大多数研究者认为,直接生产补贴是迄今为止对页岩气开发最有效的经济激励措施^[3-4]。而作为资本密集型和技术密集型产业,这些逐步缩减甚至取消的补贴方式势必会对开发商的投资行为产生重要影响。

根据能源局数据统计,2012年,我国页岩气年产量仅为 $25 \times 10^6 \text{ m}^3$,在实施页岩气产量直补后,2018年产量增加到 $108 \times 10^8 \text{ m}^3$,2019年产量为 $153 \times 10^8 \text{ m}^3$,2020—2022年期间因新冠肺炎疫情影响数据暂不做参考。结合美国页岩气革命经验,产量的大幅增长与政府财政政策的支持密不可分^[5]。然而,补贴的有效性仍然是一个有争议的问题。由于我国天然气市

场机制和页岩气资源地质条件复杂等原因,政策实施效果远不如预期,部分企业未能享受到这一福利^[6]。在不考虑资源禀赋特殊性情况下,有限的补贴资金必然优先流向优质资源,而相对较差的资源因得不到足够的补贴迟迟不能进入开发行列,这种现象导致了我国页岩气开发的极度不平衡,同时,优惠政策的预期激励效果也大打折扣。我国页岩气资源在禀赋特征方面具有天然的差异性,需要政府的合理化干预才能有效地缓解并改善由资源禀赋引起的“资源诅咒”现象^[6-7]。因此,合理考虑地区间资源条件的差异,探究既能激励企业积极投入页岩气开发活动,又能提高政府财政支出效率的补贴模式,对于促进我国页岩气产业的均衡可持续发展有着非常重要的现实意义。

目前,众多研究人员对页岩气的开发提供持续有力的补贴这一观点已获得充分共识^[8-11]。杨济源等^[12]认为,页岩气财政补贴标准每增加0.1元/ m^3 ,企业内部收益率可增加 $0.8\% \sim 1.5\%$ 。LIU等^[13]指出,定额补贴政策不利于提高企业增产的积极性,这意味着多数企业会倾向于保持稳定生产,获得应有的补贴。丰厚的补贴金额可以对企业决策起到有效的激励作用,但过高的补贴水平会增加主管部门的财政负担,降低资本配置效率。补贴作为一种政策,应根据

多重偏好采用不同的补贴强度。然而,考虑资源差异的能源政策早在 20 世纪 80 年代,就被学者 KNOLL^[14]提出,实施差别利润税对美国国内石油生产,尤其是资源质量差、产量低的油井生产产生了很大的积极影响。同样,我国专家也表示,不同区块页岩气产量增长难度系数不同,对于开发潜力较大的区块,可适当调整补贴额度,提高页岩气产量增速^[15-16]。

部署差别化补贴的好处显而易见,但如何调整补贴方式和补贴额度是实践中需要解决的首要问题。为此,基于政策的公平和效率原则,结合净现值法和委托代理理论,构建了考虑资源禀赋条件的差异化补贴模型。以期为我国页岩气的高效、有序开发提供一定的理论借鉴。

1 差异化补贴方式设计思路

页岩气开发补贴的主体为政府,客体为从事页岩气开发的企业。政府补贴的首要目标是推动页岩气项目落地、激励新开发区增产,以及加强老开发区稳产。在财政许可的前提下,实现期望效用的最大化,以缓解我国能源需求的紧张态势,实现我国能源安全等社会效益。而企业的目标则是尽可能多地获得政府补贴,以实现自身经济效益最大化。因此,为兼顾政府与企业二者在补贴期望上的双重目标,采用基本补贴与可变补贴相结合的测算模式,将固定产量补贴系数转化为补贴区间。

首先,以项目落地为出发点,根据企业财务数据

计算结果以判断页岩气项目价值是否通过论证,并由此测算出政府补贴最低值,即基本补贴;其次,以政府期望效益为出发点,考虑项目所在区块资源禀赋特征及开采条件对可变补贴激励强度系数的影响,通过委托代理模型测算出的补贴值作为可变补贴;最后,基本补贴与可变补贴之和即为优化后的补贴系数值。构建框架如图 1 所示。

2 理论基础与方法

2.1 净现值法

净现值(NPV)是衡量经济效益的一种常用且有用的方法,它评估的是在给定贴现率下项目经济寿命期内产生的净现金流量总和^[17],定义见式(1)。

$$NPV_T = \sum_{i=T_0+1}^T \frac{CI_i - CO_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=0}^{T_0} \frac{I}{(1+r)^i} \quad (1)$$

式中: I 为施工期间产生的现金流用,包括地表工程成本、钻井工程成本、管道建设成本等; CO_i 为运营期的现金流出量,包括页岩气井的天然气生产运营成本和维护项目运营所需的固定费用; CI_i 为现金流入量,考虑了销售收入和补贴收入; r 为贴现率; T 为评估期。

2.2 委托代理理论

在交易中,政府将其能源需求委托给开发商,反之,开发商作为代理人在开发页岩气的基础上实现政府的目标。这意味着他们之间的交易存在委托代

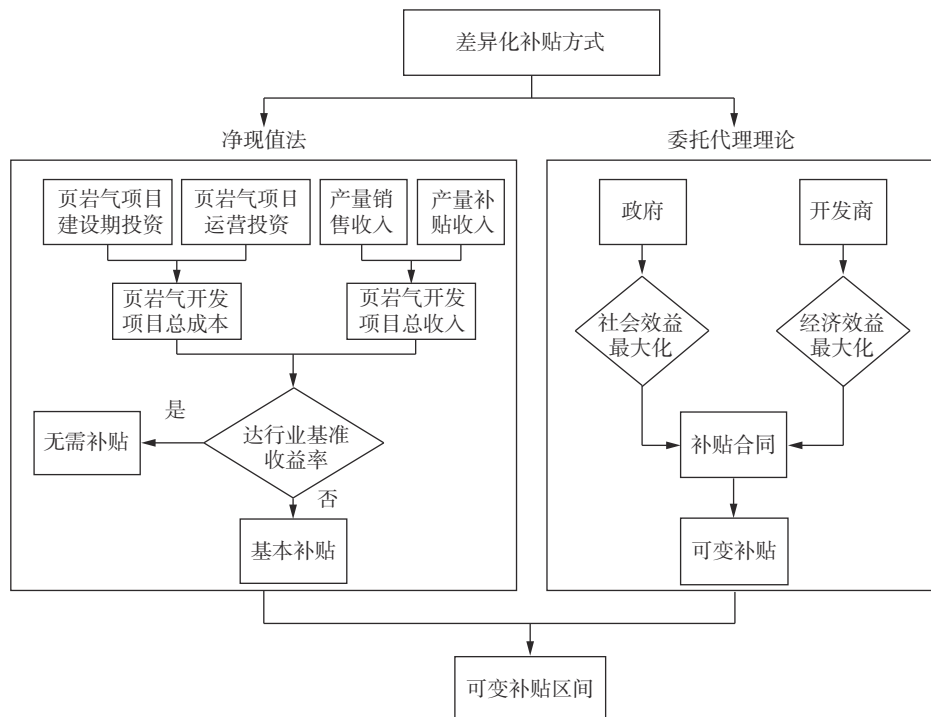


图 1 差异化补贴方式设计思路

Fig. 1 Design ideas of differential subsidy approach

理关系。然而,在政策制定过程中,政府与开发商在页岩气开发补贴的委托代理关系中存在着博弈和信息不对称^[18]。首先,政府和企业分别拥有财政补贴和投资开发的决策权,是博弈双方的行为主体。政府为提高自身期望效益制定补贴政策,会尽量减少财政支出,以最小的投入获得最大产出效益。企业通过选择最大可能获得补贴的决策,以减少自身的支出负担、获取更大利润而进行投资^[19]。两者对补贴额度的期望方向上是互斥的。其次,企业在面临复杂的区块资源禀赋、难开采条件等信息时,只有在自身利益得到保障的前提下才会选择投资生产。而政府掌握的信息是由企业整理后的项目报告和财务报表等获得的,存在概略性和滞后性。政府补贴的决策直接影响企业的投资行为,企业的开发决策将影响政府的未来收益。因此,双方通过项目合同形成了以政府部门为委托人,以企业为代理人的委托代理关系。

2.2.1 模型假设

结合委托代理理论的基本模型和页岩气项目的建设运营现状,提出以下假设^[19]。

1) 政府作为委托方,为风险中性;企业作为代理人,为风险规避者。

2) 政府与企业都是理性人,政府目标是实现期望效益最大化,企业目标是实现经济效益最大化。

3) 企业努力程度为 e 。

4) 企业运营成本为固定成本与可变成本之和,可变成本包括企业努力成本和风险成本,见式(2)。

$$C = C_0 + C_e + C_p \quad (2)$$

式中: C_0 为固定成本; C_e 为企业努力成本; C_p 为风险成本。

5) 页岩气开发过程中产生的经济效益 G 计算见式(3)。

$$G = pQ \quad (3)$$

式中: p 为天然气售价; Q 为页岩气产量, $Q = Q_0 + k \ln e$, k 为努力程度与页岩气产量间关系系数,企业通过努力程度 e 产生社会效益 Bs , $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$,见式(4)。

$$Bs = qe + \varepsilon \quad (4)$$

式中, q 为努力程度与社会效益相关系数,指企业付出单位努力时产生的社会效益。

6) 可变补贴激励强度系数为 β 。

7) 资源禀赋及开采条件与效益相关系数为 a 。

2.2.2 模型建立

1) 政府收益函数。政府收益函数 X 与项目收益

和支出补贴有关,计算见式(5)。

$$X = G + Bs - S \quad (5)$$

通常,政府补贴会设置一个奖励标准点,假定奖励点为基础社会效益值 B_0 ^[20], $B_0 = q_0 e_0$ 。以 a_0 表示基础努力程度 e_0 下页岩气区块资源禀赋特征及开采条件值,则有政府补贴,计算见式(6)。

$$S = sQ = (s_0 + s_1)Q = [s_0 + \beta[n_1(qe - q_0 e_0) + n_2(ae - a_0 e_0)]]Q \quad (6)$$

式中: s 为补贴系数,由基本补贴 s_0 与可变补贴 s_1 组成; n_1 、 n_2 为社会效益和资源禀赋及开采条件各自对补贴激励强度系数 β 的影响权重, $\beta \in (0, 1)$, $n_1 + n_2 = 1$ 。

由假设2)可知,政府期望效益函数即收益函数,计算见式(7)。

$$E(X) = pQ + qe - [s_0 + \beta[n_1(qe - q_0 e_0) + n_2(ae - a_0 e_0)]]Q \quad (7)$$

2) 企业收益函数 Y 。企业收益函数 Y 与销售收入、政府补贴、运营成本相关,计算见式(8)。

$$E(Y) = pQ + [s_0 + \beta(ae - a_0 e_0)]Q - C_0 - \frac{1}{2}ce^2 - \frac{1}{2}\rho\sigma^2 \quad (8)$$

3) 目标函数与约束条件。为实现各自利益最大化,作为委托人的政府通过设计补贴政策以期望企业选择 e ;而作为理性投资人,企业则会通过测算来选择 e' 。基于此,建立补贴测算模型,计算见式(9)。

$$\max E(X) = pQ + qe - [s_0 + \beta[n_1(qe - q_0 e_0) + n_2(ae - a_0 e_0)]]Q$$

s.t.

$$(IR) pQ + [s_0 + \beta[n_1(qe - q_0 e_0) + n_2(ae - a_0 e_0)]]Q -$$

$$C_0 - \frac{1}{2}ce^2 - \frac{1}{2}\rho\sigma^2 \geq \bar{Y}$$

$$(IC) pQ + [s_0 + \beta[n_1(qe - q_0 e_0) +$$

$$n_2(ae - a_0 e_0)]]Q - C_0 - \frac{1}{2}ce^2 - \frac{1}{2}\rho\sigma^2 \geq pQ +$$

$$[s_0 + \beta[n_1(qe' - q_0 e_0) + n_2(ae' - a_0 e_0)]]Q -$$

$$C_0 - \frac{1}{2}ce'^2 - \frac{1}{2}\rho\sigma^2 \quad (9)$$

2.2.3 模型求解

在政府的激励下,企业根据财务计算来选择努力程度,以实现利润最大化。在这种情况下,努力程度被认为是最大值,同时满足以下条件式(10)和式(11)。

$$e \in \operatorname{argmax} Y = p(Q_0 + k \ln e) + S_0 + \beta Q[n_1(qe - q_0 e_0) + n_2(ae - a_0 e_0)] - C_0 - \frac{1}{2}ce^2 - \frac{1}{2}\rho\beta^2\sigma^2 \quad (10)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial e} = 0 \quad \frac{\partial^2 Y}{\partial^2 e} < 0 \quad (11)$$

通过以上步骤,可以得出努力程度的计算公式,见式(12)。

$$e = \frac{pk + \beta(n_1q + n_2a)}{c} \quad (12)$$

为方便起见,用 q 代替 k ,假定努力程度与页岩气产量之间的关系与努力程度与社会效益产出之间的相关系数一致。此外,企业需要达到一定的行为绩效水平才能被进一步激励。因此,建立了拉格朗日函数,计算见式(13)。

$$L(\beta) = p(Q_0 + ke) + qe - [s_0 + \beta[n_1(qe - q_0e_0) + n_2(ae - a_0e_0)]]Q + \lambda \left[p(Q_0 + ke) + [s_0 + \beta[n_1(qe - q_0e_0) + n_2(ae - a_0e_0)]]Q - C_0 - \frac{1}{2}ce^2 - \frac{1}{2}\rho\beta^2\sigma^2 \right] \quad (13)$$

将式(11)代入式(10),根据拉格朗日函数关于 β 的一阶导数可得式(14)。

$$\lambda = 1 \quad \beta = \frac{(n_1q + n_2a)(pq + 1)}{(n_1q + n_2a)^2 + \rho c \sigma^2} \quad (14)$$

显然, σ^2 、 c 、 ρ 与 β 成负相关, p 与 β 成正相关, q 和 a 对 β 的相关性不确定。

3 模型分析与讨论

3.1 资源禀赋及开采条件与效益相关系数

差异化补贴的基本思路是根据页岩气区块特征的差异化划分补贴水平,因此,有必要分析资源条件与补贴额度之间的关系。资源禀赋和开采条件是一个定性指标,有成熟的方法和结论可供参考^[21-22]。

1)区块的选择。以五峰组-龙马溪组为例,结合平面上区块的划分,选定评价单元A、评价单元B、评价单元C、评价单元D和评价单元E,筛选12个评价关键指标,见表1。

表1 页岩气区块的指标数据

Table 1 Indicators data of shale gas blocks

指标类型	关键指标	评价单元A	评价单元B	评价单元C	评价单元D	评价单元E
资源禀赋特征	TOC/%	1.80	2.50	3.00	2.64	3.18
	Ro/%	2.50	2.50	2.20	2.59	2.73
	孔隙率/%	0.25	1.00	1.70	6.50	2.30
	厚度/m	80	40	50	68	84
	气体含量/(m ³ /t)	0.66	1.22	2.00	6.00	3.00
	脆性矿物含量/%	8	13	27	40	10
	目标层深度/m	2 000	3 000	1 500	3 000	2 500
	断层类型	中型	小型	小型	小型	小型
	压力系数	1.0~1.1	1.4~1.5	1.2~1.4	1.9~2.1	1.1~1.2
开发条件	覆盖层厚度/m	80~100	140~160	90~110	160~190	120~140
	地形坡度/(°)	17~25	12~17	12~22	10~15	10~15
	管网设施	少	完整	完整	完整	完整

2)权重确定。以层次分析法和熵值法分别确定主观权重 w_{zj} 和客观权重 w_{kj} ,综合权重由式(15)计算所得。

$$w_j = \frac{w_{zj}w_{kj}}{\sum_{j=1}^n w_{zj}w_{kj}} \quad (15)$$

3)关联度、欧氏距离和相对贴近度。将原始数据规范化后与相应综合权重相乘求得加权规范化矩阵 $(z_{ij})_{m \times n}$;根据式(16)和式(17)测算出各区块与正负理想解的灰关联度 r_i^+ 、 r_i^- 和欧氏距离 d_i^+ 、 d_i^- ,由式(18)求得相对贴近度 C_i^+ ,见表2。

$$r_i^+ = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\min \min |z_j^+ - z_{ij}| + \rho \max \max |z_j^+ - z_{ij}|}{|z_j^+ - z_{ij}| + \rho \max \max |z_j^+ - z_{ij}|} \quad (16)$$

$$r_i^- = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\min \min |z_j^- - z_{ij}| + \rho \max \max |z_j^- - z_{ij}|}{|z_j^- - z_{ij}| + \rho \max \max |z_j^- - z_{ij}|}$$

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^+)^2}, \quad d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - z_j^-)^2} \quad (17)$$

$$C_i^+ = \frac{T_i^+}{T_i^+ + T_i^-} = \frac{xR_i^+ + yD_i^-}{(xR_i^+ + yD_i^-) + (xR_i^- + yD_i^+)} \quad (18)$$

式中: $|z_j^+ - z_{ij}|$ 和 $|z_j^- - z_{ij}|$ 分别为正理想解、负理想解与样本之间的绝对差值; ρ 为分辨率系数; R_i^+ 和 R_i^- 分别为各区块与正理想解、负理想解之间相关性的无量纲值; D_i^+ 和 D_i^- 为欧氏距离的无量纲值,介于0和1之间,通常取0.5。

4)资源禀赋及开采条件与效益相关系数 a 。相对贴近度 C_i^+ 反映待评价区块与正负理想解接近程度, C_i^+ 值越高,代表 a 的分值越大,区块越优; C_i^+ 值越小,代表 a 的分值越小,区块越差。 a 与 C_i^+ 间的关系见表3。

根据 a 值将区块划分为三种类型。黄金型区块指资源禀赋及开采条件极好的区块,表现为相对贴近度大($C_i^+ \geq 0.8$),该类区块产量效益颇丰,即使没有

表2 各区块的灰度关联度、欧氏距离和相对贴近度

Table 2 Gray correlation, Euclidean distance and relative closeness of each blocks

区块	评价 单元 A	评价 单元 B	评价 单元 C	评价 单元 D	评价 单元 E
正理想解的灰色关联	0.100	0.654	0.643	1.000	0.710
负理想解的灰色关联	1.000	0.818	0.814	0.123	0.875
正理想解的欧氏距离	1.000	0.878	0.812	0.113	0.908
负理想解的欧氏距离	0.110	0.486	0.557	1.000	0.422
相对贴近度	0.198	0.402	0.424	0.894	0.515

表3 相关系数 a 和相对贴近度 C_i^+ 间的对应关系Table 3 Corresponding functional relationship between correlation coefficient a and relative closeness C_i^+

资源禀赋及开采条件与 效益相关系数	$C_i^+ \leq 0.2$	$0.2 < C_i^+ < 0.8$	$C_i^+ \geq 0.8$
a	1	$\frac{5}{3}C_i^+ - \frac{4}{3}$	0

补贴($a=0$),也能轻松盈利;朝阳型区块($0.2 < C_i^+ < 0.8$)是资源条件极好但开发条件差或资源条件一般但开发条件极有利的区块,或者资源禀赋及开采条件较好的区块,该类区块极有可能取得突破,是页岩气增产的有力保障,也是政府补贴的重点对象;夕阳型区块 $C_i^+ \leq 0.2$,资源贫瘠、开发难度高导致该区无法产生较高收益,不宜过多补贴($a=1$)。

3.2 其他参数设置

1)社会效益产出系数 q 。单位页岩气产生的收益主要从环境收益 R_1 、国家税收 R_2 、就业增长 R_3 、国家能源安全 R_4 四个方面考虑。

a)环境效益 R_1 。参考LIU等^[23]对生产页岩气所减少 CH_4 与 CO_2 的环境效益计算,得 R_1 为0.164元/ m^3 。

b)增加税收 R_2 。我国页岩气开发项目所缴税收主要包括增值税 r_1 、资源税 r_2 、城建税 r_3 、教育税附加 r_4 、所得税 r_5 。税金总额计算见式(19)。

$$R_2 = pQ \times (r_1 + r_2) + pQ \times r_1 \times (r_3 + r_4) + (pQ + S - C) \times r_5 \quad (19)$$

c)就业收益 R_3 。鉴于我国对油气的高度依赖,假定页岩气开发直接增加就业岗位数量,则每立方米页岩气产生的就业收益计算见式(20)。

$$R_3 = P_j \times N_j \quad (20)$$

式中: P_j 为失业补贴额; N_j 为单位页岩气提供工作岗位数。

d)保障国家能源安全 R_4 。借鉴罗东坤等^[24]提出的煤层气开发对能源安全的贡献,设单位页岩气产生能源安全效益 R_4 约为0.007元/ m^3 。

2)影响 β 的因子权重 n_1 和 n_2 。经济效益与社会效

益息息相关,因净现值法以页岩气产量效益为出发点计算最低补贴值已含有社会效益因素,社会效益产出系数与资源禀赋及开采条件两个参数对可变补贴影响权重 n_1 和 n_2 设为0.3和0.7。

3.3 模型灵敏度分析

为进一步明确参数变化对模型结果输出的影响程度,对不确定性因素 q 、 a 、 n_1 、 n_2 分别进行 $\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$ 的变化模拟以观测 β 的变化情况。由表4可知, a 和 n_2 下降10%时, β 变化仅4.5%; n_1 在进行 $\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$ 调整时, β 几乎没有变化;相比于其他因素, β 对社会效益产出系数 q 较为敏感。整体而言,各因素变化所引起的模型结果波动维持在 $-6.88\% \sim 6.99\%$ 的范围内,说明该模型具有良好的稳健性。

表4 可变补贴激励强度系数的灵敏度分析

Table 4 Sensitivity analysis of variable subsidy incentive intensity factor

单位: %					
参数	-10%	-5%	0	5%	10%
n_1	-1.87	-0.93	0.00	0.91	1.79
n_2	-4.51	-2.20	0.00	2.10	4.09
q	-6.88	-3.46	0.00	3.48	6.99
a	-4.51	-2.20	0.00	2.10	4.09

4 结 论

本文的主要创新点在于考虑了资源条件对政府和页岩气企业形成的委托代理关系的影响。通过对地质条件和工程条件的配置,提出了一种可调整的差异化补贴方式,为解决成本收益两难问题、优化补贴效果、提高页岩气长期开发能力提供了决策依据。

1)现行的无差别补贴方式难以满足我国页岩气产业均衡发展的需求。为此,提出了一种新的补贴方式,即由保证企业基准收益率的基本补贴和激励企业投资页岩气开发的可变补贴组成。并完成了可调整的页岩气开发差异化补贴模式。

2)针对政府与页岩气企业间的博弈和信息不对称,基于委托代理理论建立互利函数。结果表明,变量补贴刺激强度系数与随机性方差标准值、企业努力成本系数和风险规避负相关,与页岩气价格正相关。

3)完成了资源条件与社会效益关系系数的规定。第一,将三种类型的页岩气区块按其相对接近程度进行划分;第二,以该相对接近度值为自变量,建立以关系系数为因变量的分段函数,从而实现对区块差异化补贴的定量分析。具体来说,黄金型区块不需要给予任何补贴,企业即可实现产量收益需求;夕阳型区块是差异化补贴额度的上限;朝阳型区块是

页岩气增产的有力保障,也是政府重点扶持的对象。因此,本文提出的差异化补贴模型可以为页岩气开发补贴优化定量设计提供一定的理论参考。

参考文献(References):

- [1] 马永生,蔡勋育,赵培荣.中国页岩气勘探开发理论认识与实践[J]. *石油勘探与开发*, 2018, 45(4): 561-574.
MA Yongsheng, CAI Xunyu, ZHAO Peirong. China's shale gas exploration and development: understanding and practice[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2018, 45(4): 561-574.
- [2] 赵群,姜馨淳,杨慎,等.中国页岩气资源财税扶持政策对产业发展的影响[J]. *中外能源*, 2019, 24(3): 27-33.
ZHAO Qun, JIANG Xinchun, YANG Shen, et al. Impact of fiscal and taxation support policy on Chinese shale gas industrial development[J]. *Sino-Global Energy*, 2019, 24(3): 27-33.
- [3] 刘辰星,郭瑞.我国页岩气开发补贴方式分析与建议[J]. *中国矿业*, 2023, 32(S2): 23-26.
LIU Chenxing, GUO Rui. Analysis and suggestions on subsidy mode for shale gas development in China[J]. *China Mining Magazine*, 2023, 32(S2): 23-26.
- [4] HUANG Y M, ZHENG W L, ZHANG D Y, et al. China's shale gas development subsidy analysis and optimization considering resource endowment characteristic[J]. *International Journal of Energy Research*, 2023, 24: 8303280.
- [5] 孙金凤,单凯.中美页岩气扶持政策梳理和实施效果研究[J]. *中国石油大学学报(社会科学版)*, 2021, 37(4): 18-24.
SUN Jinfeng, SHAN Kai. Review of China and US shale gas policies and yield effect[J]. *Journal of China University of Petroleum(Edition of Social Sciences)*, 2021, 37(4): 18-24.
- [6] 杨震,孔令峰,杜敏,等.国内致密砂岩气开发项目经济评价和财税扶持政策研究[J]. *天然气工业*, 2016, 36(7): 98-109.
YANG Zhen, KONG Lingfeng, DU Min, et al. Economic evaluation on tight sandstone gas development projects in China and recommendation on fiscal and taxation support policies[J]. *Natural Gas Industry*, 2016, 36(7): 98-109.
- [7] STEPHENSON M H. Shale gas in North America and Europe[J]. *Energy Science & Engineering*, 2016, 4: 4-13.
- [8] ARAUJO L C, PINA A B S, AIDAR L A G, ET al. Recommendations and guidelines for implementing PPP projects: case of the electricity sector in Brazil[J]. *Built Environment Project and Asset Management*, 2019, 9: 262-276.
- [9] GAO S K, DONG D Z, TAO K, et al. Experiences and lessons learned from China's shale gas development: 2005-2019[J]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2021, 85: 103648.
- [10] 郭瑞,刘辰星.页岩气开发中的成本估算问题分析[J]. *中国矿业*, 2022, 31(7): 44-48, 64.
GUO Rui, LIU Chenxing. Analysis of cost estimation in shale gas development[J]. *China Mining Magazine*, 2022, 31(7): 44-48, 64.
- [11] 马学俊.中美页岩气扶持政策梳理和比较研究[J]. *石油化学技术与经济*, 2023, 39(6): 1-5, 35.
MA Xuejun. Sorting and comparative study of shale gas support policies between China and the United States[J]. *Technology & Economics in Petrochemicals*, 2023, 39(6): 1-5, 35.
- [12] 杨济源,李海涛,张劲,等.四川盆地川南页岩气立体开发经济可行性研究[J]. *天然气勘探与开发*, 2019, 42(2): 95-99.
YANG Jiyuan, LI Haitao, ZHANG Jin, et al. Economic feasibility study on tridimensional development of shale gas, Southern Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 2019, 42(2): 95-99.
- [13] LIU J Y, LI Z X, DUAN X Q, et al. Subsidy analysis and development trend forecast of China's unconventional natural gas under the new unconventional gas subsidy policy[J]. *Energy Policy*, 2021, 153: 112253.
- [14] KNOLL M S. The crude oil windfall profit tax act of 1980: an economic analysis of its effect on domestic crude oil production[J]. *Resources and Energy*, 1987, 9(2): 163-185.
- [15] LIU H M, ZHANG Z X, ZHANG T. Shale gas investment decision-making: green and efficient development under market, technology and environment uncertainties[J]. *Applied Energy*, 2022, 306: 118002.
- [16] 王纪伟,宋丽阳,聂海宽.页岩气开发利用补贴政策深度优化建议[J]. *当代石油石化*, 2023, 31(4): 4-8.
WANG Jiwei, SONG Liyang, NIE Haikuan. Suggestions on on-depth optimization of subsidy policies for shale gas development and Utilization[J]. *Petroleum & Petrochemical Today*, 2023, 31(4): 4-8.
- [17] SU J C, ZHANG J C, ZHU W L. Improved methodology of economic evaluation of coalbed methane based on discounted cash flow analysis[J]. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2018, 47(3): 631-638.
- [18] 王文宾,陈祥东,周敏,等.不对称信息下逆向供应链奖惩机制研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2014, 43(1): 175-182.
WANG Wenbin, CHEN Xiangdong, ZHOU Min, et al. Study on the premium and penalty mechanism of reverse supply chain under asymmetric information[J]. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2014, 43(1): 175-182.
- [19] 娄云.不对称信息下我国页岩气开发承包商激励机制研究[D]. 青岛:中国石油大学(华东), 2024.
- [20] 黄聿铭.页岩气开发补贴绩效评价及其额度优化设计方法[D]. 北京:中国矿业大学(北京), 2024.
- [21] 陈雪,蔡默仑,周昕.页岩气水平井产能预测方法及应用:以四川盆地威远区块为例[J]. *油气井测试*, 2023, 32(2): 68-72.
CHEN Xue, CAI Molun, ZHOU Xin. Productivity prediction method for horizontal wells in shale gas horizontal well in Weiyuan block of the Sichuan Basin[J]. *Well Testing*, 2023, 32(2): 68-72.
- [22] 黄江杰,李常辉,潘志刚.龙山区块牛蹄塘组页岩气资源评价与勘探有利区研究[J]. *中国矿业*, 2022, 31(9): 171-178.
HUANG Jiangjie, LI Changhui, PAN Zhigang. Study on shale gas resource evaluation and exploration favorable area of Niutitang Formation in Longshan Block[J]. *China Mining Magazine*, 2022, 31(9): 171-178.
- [23] LIU J Y, LI Z X, LUO D K, et al. Shale gas production in China: a regional analysis of subsidies and suggestions for policy[J]. *Utilities Policy*, 2020, 67: 101135.
- [24] 罗东坤,夏良玉.煤层气目标区资源经济评价方法[J]. *大庆石油学院学报*, 2009, 33(4): 115-119, 145.
LUO Dongkun, XIA Liangyu. Economic evaluation method for CBM prospect resources[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2009, 33(4): 115-119, 145.