

地方政府与煤矿企业安全生产协作的互惠博弈模型

□周婷婷¹ 方 乐¹ 马晓南² 刘德海¹

[1. 东北财经大学 大连 116025; 2. 中国银行深圳分行 深圳 518000]

[摘 要] 为了摆脱煤矿安全生产面临的“囚徒困境”，地方政府除了提供公共安全投资、运用市场干预手段等改变成本收益外，还可以完善安全监管的策略设计，即在囚徒困境的元博弈基础上，通过二阶互惠策略设计将囚徒困境元博弈扩展为具有 16×4 策略组合的静态博弈模型，建立了地方政府与煤矿企业在安全生产协作的互惠博弈模型。纳什均衡结果为煤矿企业采取安全生产投资的互惠策略（即当地方政府强监管时加大安全投入，否则减少安全投入），地方政府选择强监管策略，从而达成安全生产的帕累托协作结局。最后，结合11.10云南师宗矿难事故的案例，讨论了政府机构如何通过安全生产互惠策略设计，以及改进安全监管、运用税收和财政补贴等市场调节手段，提高煤矿安全生产水平的途径。

[关键词] 煤矿生产安全；互惠博弈；静态博弈；策略设计；政府监管

[中图分类号] F424.5

[文献标识码] A

[DOI] 10.14071/j.1008-8105(2015)06-0037-07

引言

进入新世纪以来，随着我国以煤炭为主的能源生产和消耗迅速增长，屡屡频发的煤矿安全事故引起了社会和学术界的广泛关注。2005年，国家安全生产监督管理总局采取了重建煤炭安全生产垂直监管体系、大规模关停并转小煤矿、强制要求煤矿企业安装煤矿安全“六大系统”等一系列强有力的监管措施，有效地遏制了煤矿生产事故的高发态势。截止2012年全国原煤产量36.5亿吨，煤矿百万吨死亡率下降为0.374。但是，该指标不仅大幅落后于美国、澳大利亚等发达国家接近于零死亡率水平，而且仍然落后于南非、印度、波兰等发展中国家。我国以煤为主能源生产和消费结构，以及复杂多样的地质条件、采煤工人以缺乏系统安全培训的农民工为主等不利条件，造成我国煤炭安全生产仍然面临着较大的压力。

我国煤矿生产安全监管采取“国家监察、地方监管、企业负责”的安全工作体制。从博弈论的角

度上看，煤矿生产安全涉及到多方面利益相关者，包括中央政府（国家安全生产监督管理总局等）的监管力度和相应的财政税收配套政策、地方政府监管行为和是否存在合谋行为、煤矿企业的安全投资等主体。一些学者基于统计数据分析了某些煤矿安全技术的应用效果^[1]、煤矿损伤事故的影响^[2~3]，以及进行跨国的比较分析^[4]。针对我国煤矿生产安全的政府监管和规制等问题，一些学者运用博弈论分析工具进行了大量研究。一些文献运用传统的静态博弈模型和动态博弈模型建立了煤矿生产安全事故模型。其中，陶长琪等建立了矿难事故中煤矿工人、煤矿经营者、地方政府官员和中央政府监管部门的四方博弈主体的静态博弈模型^[5]；刘穷志建立监管博弈分析煤矿安全事故发生原因，认为地方政府利益保护和管制官员与矿主的合谋，导致了安全事故的频繁发生^[6]。考虑政府安全监管面临的信息不对称问题，肖兴志等构建了煤矿安全规制的中央政府（委托人）、地方政府（监管者）和煤矿企业（代理人）的委托-代理模型^[7~8]。考虑到煤矿安全监管部门和煤矿企业之间的有限理性行为特征，付茂林和

[收稿日期] 2015-01-11

[基金项目] 国家自然科学基金项目（编号：71271045，71571033）；东北财经大学学科建设支持计划特色学科项目（编号：XKT-201411）；东北财经大学科研创新团队培育与扶持计划项目（编号：DUF2015GY03）。

[作者简介] 周婷婷（1990-）女，东北财经大学数学与数量经济学院研究生；方乐（1990-）女，东北财经大学数学与数量经济学院研究生；马晓南（1988-）男，硕士，中国银行深圳分行职员；刘德海（1974-）男，东北财经大学数学与数量经济学院教授。

刘朝明建立煤矿安全监管的演化博弈模型,分析了其演化稳定策略^[9]。Dehai Liu等运用演化博弈理论阐述了我国煤矿安全监管的周期性波动现象^[10]。

尽管个别地方存在着官煤勾结,地方政府监管不力,忽视安全生产、片面追求GDP产值等不利因素,造成了一段时期煤矿安全生产事故频发态势。但是,自从2005年以来我国实施整治煤矿安全生产“两个专项行动”,实施地方政府绩效考核“安全生产一票否决制”,实现煤矿安全生产是地方政府和煤矿企业面临的共同责任和愿景。因此,无论地方政府还是煤矿企业,双方均存在着煤矿安全生产的互惠行为动机。互惠是一种现实社会中广泛存在的心理效用^[11~12],并且很好地解释了一些社会经济合作现象^[13~14]。为了摆脱煤矿安全生产面临的“囚徒困境”,地方政府除了提供公共安全投资、运用市场干预手段等改变成本收益外,还可以完善安全监管的策略设计,即通过扩展策略集合形成新的静态博弈结构,从而达成安全生产的帕累托协作结局(如图1所示)。最后,本文结合“11.10”云南师宗矿难事故的案例,讨论了政府机构如何通过安全生产互惠策略设计,以及改进安全监管、运用税收和财政补贴等市场调节手段,提高煤矿安全生产水平的途径。

一、煤矿安全生产协作的互惠博弈模型

(一) 地方政府改进煤矿安全生产措施分析

根据我国煤矿安全生产管理工作体制,地方政府监管部门负责具体的煤矿安全生产监管工作。考虑到我国一些地方政府存在着官煤勾结的利益输送问题,造成地方小煤矿安全事故频发^[15],因此地方政府监管往往会受到地方政府行政区域利益的较大影响。为了分析地方政府改进煤矿安全生产的措施,本文煤矿安全生产协作博弈的主要参与者为地方政府(监管机构)和煤矿企业。

地方政府改进煤矿安全生产的主要途径包括如下三点:

第一,加大并改进安全监管力度。根据规定,地方政府安全监管机构的主要职责包括:对本地区煤矿安全进行日常性监督检查,对煤矿违法行为进行处理和处罚;监督煤矿企业整改事故隐患和组织复查;依法组织关闭不具备安全条件的矿井;负责组织煤矿安全专项整治和质量标准化工作;参与煤矿事故调查处理;对煤矿职工培训进行监督检查。

第二,政府部门可以采取税收和财政补贴等市场干预手段。在“十一五”期间,我国煤矿安全生产投入持续加大,进一步完善相关经济政策,包括

连续投入国债资金150亿元,带动煤矿企业和地方政府投入安全改造资金880亿元,中央财政投入27亿元“以奖代补”资金用于煤矿整顿关闭,提升了煤矿安全生产保障能力。

第三,地方政府可以针对煤矿企业的安全投入行为特征,有针对性地改进并完善监管策略,通过采取可信的监管措施,来有效引导煤矿企业加以安全生产投资力度。例如,2007年国家煤矿安全监察局综合司公布《煤矿安全监察条例(征求意见稿)》,加大了对违法煤矿的处罚力度。对于隐瞒存在的事故隐患原来的罚款额在5~10万元,新条例中将处以10~50万元的罚款。

无论是地方政府采取加大安全监管投入、发挥市场干预手段,还是通过设计可信的安全监管策略,都可以达成政企双方在煤矿安全生产上的良性互惠关系,从而摆脱双方在煤矿安全投入和监管上的“囚徒困境”。上述博弈关系详见图1所示。

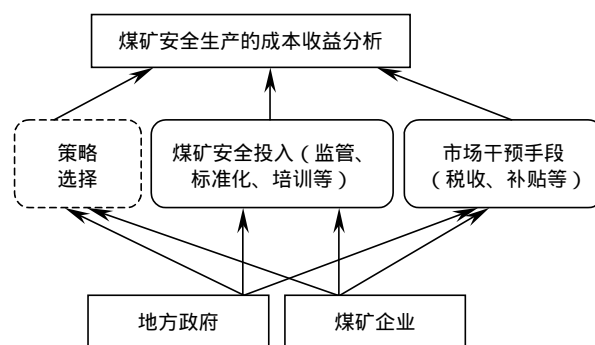


图1 地方政府与煤矿企业安全生产协作的博弈关系

(二) 煤矿安全生产协作的元博弈

当煤矿进行必要的安全投入(如安装“六大系统”等)和地方政府监管机构进行强监管的情况下,一般来说此时不会发生煤矿安全事故。地方政府对煤矿企业市场调控途径包括税收和财政补贴两种手段。设 c_1 和 c_2 分别表示煤矿企业和地方政府安全监管机构在投入和强监管下的投入成本; c'_1 表示煤矿企业在企业投入但是政府实行弱监管时的额外成本; c'_2 表示地方政府安全监管机构在企业不投入但是政府实行强监管情况下的投入成本(即上撇号表示地方政府和煤矿企业只有一方实行积极的安全生产策略); L_1 和 L_2 分别表示煤矿发生安全事故给煤矿企业和地方政府监管机构带来的损失; p_{11} 表示煤矿企业不投入的情况下发生安全事故对煤矿企业造成损失的概率, p_{22} 表示监管机构采取弱监管情况下发生安全事故对监管机构造成损失的概率, p_{12} 表示因为煤矿企业不投入发生安全事故给政府监管机构带来损失的概率, p_{21} 表示因为安全监管机构没有及时

履行自己职责的情况下发生安全事故从而对煤矿可能造成损失的概率。当政府弱监管而企业投入时,煤矿企业的成本是 $-c'_1 - p_{21}L_1$;政府强监管但是企业不投入情况下政府的成本 $-c'_2 - p_{12}L_2$ (企业不配合的情况下政府监管机构还有可能受到因为企业不投入而发生损失的概率);假设 $p_{ij}(i, j=1, 2)$ 较小, $L_i \gg c_j(i, j=1, 2)$ 。考虑到地方政府监管机构介入煤矿安全生产的不同程度,引入控制因子 γ, δ, μ ,其中 γ 为地方政府对煤矿企业安全投入提供税收和财政补贴的优惠比例, δ 为地方政府监管机构放松监管的负面影响系数, μ 为煤矿企业由于安全投入不足造成额外损失程度。

表1 煤矿安全投入与监管元博弈的收益矩阵

政府监管机构2	煤矿企业1	
	投入	不投入
强监管	$(-1 \pm \gamma)c_2, (-1 \mp \gamma)c_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2, -(1 + \mu)p_{11}L_1$
弱监管	$-(1 + \delta)p_{22}L_2, -c'_1 - p_{21}L_1$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2), (1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$

根据表1可知,当煤矿安全生产面临“官煤勾结”(即地方政府疏于监管,煤矿企业安全投入不足)成为纳什均衡结果时,需满足条件:

$$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2) > -c'_2 - p_{12}L_2 \quad (1)$$

$$(1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1) > -c'_1 - p_{21}L_1 \quad (2)$$

作为具有可自我实施特征的纳什均衡结果,不管是煤矿企业还是政府监管部门都没有动机打破这一稳定的均衡结果,因为无论任何一方尝试做出改进煤矿安全的决策,都将自身独自承担相应的成本,同时却无法扭转安全生产恶化的形势。

在满足上述纳什解的基础上,如果表1收益矩阵进一步满足以下条件,则该煤矿安全生产阶段博弈即为经典的囚徒困境博弈,即为典型的牺牲博弈(martyrdom game)模型:

$$-c'_1 - p_{21}L_1 < (-1 \pm \gamma)c_1 < -(1 + \mu)p_{11}L_1 \quad (3)$$

$$-c'_2 - p_{12}L_2 < (-1 \mp \gamma)c_2 < -(1 + \delta)p_{22}L_2 \quad (4)$$

$$(-1 \pm \gamma)c_1 > (1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1) \quad (5)$$

$$(-1 \mp \gamma)c_2 > (1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2) \quad (6)$$

此时,表1所示博弈的极小极大策略为{不投入,弱监管},并且这两个策略分别为煤矿企业和地方政府的占优策略,因此,该问题的博弈均衡结果为{不投入,弱监管}。尽管该博弈存在着一个帕累托更优的结果{投入,强监管},但是由于该结果并非纳什均衡,即任何一方均有动机背离,从而获取更大的利益。

在表1所示的煤矿安全生产的元博弈中,如果满足收益条件(1)~(6),则无论地方政府监管部门,还是煤矿企业,均无动机作出改进煤矿安全生产的必需投入和监管。为了改进这个结果,除了地方政府部门作为规则制定者直接改变博弈收益外,还可以通过有效的策略设计,扩展双方的策略集合,促进双方进行安全互惠投资的帕累托更优均衡结果。

(三)煤矿安全生产基于元博弈的二阶策略扩展

为了进行更高阶的策略设计,我们将煤矿安全生产的阶段博弈表1定义为元博弈。元博弈理论(meta-game theory)是基于最初博弈的任何更高层博弈的一个结构,那么一个局中人被假定从一个元策略的集合中选择,每一个选择都依赖于其他局中人做出的选择。

在表1的静态博弈中,煤矿企业有两个策略,即分别为{投入}和{不投入}。对这个策略中的每一个,煤矿安全监管机构对应着四个元策略:{强监管,无论煤矿企业做出何种选择};{弱监管,无论煤矿企业做出何种选择};{当煤矿企业投入时选择强监管,不投入时选择弱监管};{当煤矿企业投入时选择弱监管,不投入时选择强监管}。表1所示的静态元博弈经过煤矿企业策略集合扩展后,形成表2所示 2×4 静态博弈。

表2 煤矿企业第一阶策略扩展形成 2×4 静态博弈的收益矩阵

政府监管机构2	煤矿企业1			
	投入,无论地方政府是否采取强监管	不投入,无论地方政府是否采取强监管	当地方政府强监管时投入,弱监管时不投入	当地方政府强监管时不投入,弱监管时投入
强监管	$(-1 \pm \gamma)c_2, (-1 \mp \gamma)c_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2, -(1 + \mu)p_{11}L_1$	$(-1 \pm \gamma)c_2, (-1 \mp \gamma)c_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2, -(1 + \mu)p_{11}L_1$
弱监管	$-(1 + \delta)p_{22}L_2, -c'_1 - p_{21}L_1$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2), (1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2), (1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$-(1 + \delta)p_{22}L_2, -c'_1 - p_{21}L_1$

继续求解表2所示静态博弈纳什均衡,该一阶元博弈矩阵在策略组合(行2,列2)处存在一个均衡

点,即{不投入,无论地方政府是否采取强监管;弱监管}。显然,该二阶元博弈的策略设计结果并没有

摆脱“囚徒困境”。为此,我们需要建立一个更高层级的博弈矩阵。

假设地方政府选择一个元策略依赖于煤矿企业在表2中选择四个一阶策略之一,地方政府可以选择表3所示的16种策略组合, 16×4 组合构成了煤矿安全生产的第二阶静态元博弈。同样运用划线法求解该博弈的三个纳什均衡,分别如下:

1. {不投入,无论地方政府是否采取强监管;弱监管,无论煤矿企业选择哪一列},即(行16,列2)。该均衡结果仍然为“囚徒困境”博弈结局;

2. {当地方政府强监管时企业投入,弱监管时不投入;政府强监管,如果煤矿企业选取绝对投入或正互惠策略},即(行7,列3)。此时双方策略均

为正互惠策略,从而产生了煤矿安全投资良性互动的合作效果;

3. {当地方政府强监管时企业投入,弱监管时不投入;政府弱监管,除非企业采取正互惠},即(行14,列3)。此时,政府安全监管机构采取了“投桃报李”正互惠策略。

进一步分析上述三个纳什均衡,其中后两个结果均在正互惠策略设计的基础上产生了煤矿安全投入的协作效果。

结论1:无论地方政府还是煤矿企业在煤矿安全生产上,均面临着安全投入不足的囚徒困境。如果煤矿企业和地方政府通过设计正互惠的安全投资和监管策略,则将会达成更有效率的安全生产协作效果。

表3 政府第二阶策略扩展形成 16×4 静态博弈的收益矩阵

政府监管机构2	煤矿企业1			
	绝对投入:无论地方政府是否采取强监管	绝对不投入:无论地方政府是否采取强监管	正互惠:当地方政府强监管时投入,弱监管时不投入	负互惠:当强监管时不投入,弱监管时投入
强监管,无论煤矿企业采用哪一种策略	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$
强监管,除非煤矿企业选择第四列	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$-(1 + \delta)p_{22}L_2,$ $-c'_1 - p_{21}L_1$
强监管,除非煤矿企业选择第三列	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2),$ $(1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$
强监管,除非煤矿企业选择第二列	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2),$ $(1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$
强监管,除非煤矿企业选择第一列	$-(1 + \delta)p_{22}L_2,$ $-c'_1 - p_{21}L_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$
强监管,如果煤矿企业选择第一或第二列	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2),$ $(1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$-(1 + \delta)p_{22}L_2,$ $-c'_1 - p_{21}L_1$
强监管,如果煤矿企业选择第一或第三列	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2),$ $(1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$-(1 + \delta)p_{22}L_2,$ $-c'_1 - p_{21}L_1$
强监管,如果煤矿企业选择第二或第三列	$-(1 + \delta)p_{22}L_2,$ $-c'_1 - p_{21}L_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$-(1 + \delta)p_{22}L_2,$ $-c'_1 - p_{21}L_1$
强监管,如果煤矿企业选择第一或第四列	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2),$ $(1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2),$ $(1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$
强监管,如果煤矿企业选择第二或第四列	$-(1 + \delta)p_{22}L_2,$ $-c'_1 - p_{21}L_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2),$ $(1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$
强监管,如果煤矿企业选择第三或第四列	$-(1 + \delta)p_{22}L_2,$ $-c'_1 - p_{21}L_1$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2),$ $(1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$
弱监管,除非煤矿企业选择第一列	$(-1 \pm \gamma)c_2,$ $(-1 \mp \gamma)c_1$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2),$ $(1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2),$ $(1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$-(1 + \delta)p_{22}L_2,$ $-c'_1 - p_{21}L_1$
弱监管,除非煤矿企业选择第二列	$-(1 + \delta)p_{22}L_2,$ $-c'_1 - p_{21}L_1$	$-c'_2 - p_{12}L_2,$ $-(1 + \mu)p_{11}L_1$	$(1 + \delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2),$ $(1 + \mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$-(1 + \delta)p_{22}L_2,$ $-c'_1 - p_{21}L_1$

(续表)

政府监管机构2	煤矿企业1			
	绝对投入：无论地方政府是否采取强监管	绝对不投入：无论地方政府是否采取强监管	正互惠：当地方政府强监管时投入，弱监管时不投入	负互惠：当强监管时不投入，弱监管时投入
弱监管，除非煤矿企业选择第三列	$-(1+\delta)p_{22}L_2$, $-c'_1 - p_{21}L_1$	$(1+\delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2)$, $(1+\mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$(-1\pm\gamma)c_2$, $(-1\mp\gamma)c_1$	$-(1+\delta)p_{22}L_2$, $-c'_1 - p_{21}L_1$
弱监管，除非煤矿企业选择第四列	$-(1+\delta)p_{22}L_2$, $-c'_1 - p_{21}L_1$	$(1+\delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2)$, $(1+\mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$(1+\delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2)$, $(1+\mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$-c'_2 - p_{12}L_2$, $-(1+\mu)p_{11}L_1$
弱监管，无论煤矿企业选择哪一列	$-(1+\delta)p_{22}L_2$, $-c'_1 - p_{21}L_1$	$(1+\delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2)$, $(1+\mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$(1+\delta)(-p_{22}L_2 - p_{12}L_2 + p_{22}p_{12}L_2)$, $(1+\mu)(-p_{11}L_1 - p_{21}L_1 + p_{11}p_{21}L_1)$	$-(1+\delta)p_{22}L_2$, $-c'_1 - p_{21}L_1$

(四) 煤矿安全生产的收益调整措施

根据图1所示,地方政府除了设计互惠的安全投资策略外,还可以通过调整税收和财政补贴等市场干预途径,改变博弈的收益。如果地方政府加大税收和财政补贴的优惠比例 γ 值从而满足下述条件,则表1博弈收益矩阵中{投入,强监管}和{不投入,弱监管}分别成为两个纯策略纳什均衡,该问题为协调博弈。显然,{投入,强监管}为帕累托更优的均衡结果。

$$(-1\pm\gamma)c_1 > -(1+\mu)p_{11}L_1 \quad (7)$$

$$(-1\mp\gamma)c_2 > -(1+\delta)p_{22}L_2 \quad (8)$$

为了更加直观地分析结论,考虑两种特例。

结论2:假设煤矿企业安全投入不足造成额外损失 $\mu=0$,此时当地方政府提供税收和财政补贴比例满足条件 $\gamma > 1 - p_{11}L_1/c_1$,并且放松监管的负面影响系数较大 $\delta > (1+\gamma)c_2/p_{22}L_2 - 1$,此时双方将会选择加强监管和安全投入的帕累托最优结果。

结论3:假设地方政府放松监管的负面影响系数 $\delta=0$,当地方政府提供税收和财政补贴比例满足条件 $\gamma > 1 - p_{22}L_2/c_2$,并且煤矿企业安全投入不足造成额外损失较大 $\mu > (1+\gamma)c_1/p_{11}L_1 - 1$,此时双方将会选择加强监管和安全投入的帕累托最优结果。

二、基于“11.10”云南师宗重大矿难的数值分析

2011年11月10日,云南省曲靖市师宗县私庄煤矿发生特别重大煤与瓦斯突出事故,造成43人死亡,直接经济损失3970万元。国家安全生产监督管理局2012年8月28日发布《云南省曲靖市师宗县私庄煤矿“11·10”特别重大煤与瓦斯突出事故调查报告》,分析了造成该起事故的原因。私庄煤矿自2010年11月以来,安全生产许可证、采矿许可证、煤炭生产许可证先后被暂扣或过期,被有关部门责令停产,但该

矿拒不执行省、市、县政府及相关部门的指令,擅自违法组织生产,2010年11月29日~2011年11月9日期间,共生产原煤6万多吨。但除了私庄煤矿非法违法组织生产,未执行“两个四位一体”综合防突措施的直接原因外,还包括有关地方政府监管不力和地方政府有关职能部门不正确履行职责,一些工作人员失职渎职,对私庄煤矿存在的非法违法行为打击不力的间接原因。

(一) 基准情景分析

根据事故调查报告和有关数据,避难硐室的建设成本为500万元左右,安全投入的总成本包括其他安全设施被假定为 $c_1=10$ (单位:百万元),假设政府监管成本等于安全投资成本 $c_2=10$ 百万元;安全生产监管成本 $c'_1=c'_2=15$ 百万元;政府强监管下发生事故对煤企罚 $L_1=15$ 百万元,包括500万的罚款和被迫关闭的损失;由于监管不力造成事故直接的经济损失 $L_2=25$ 百万元(除去15百万煤企的罚款);假设该事故发生之后政府开始实行强监管企业也增加了安全投入,安监总局通报,2012年,全国煤矿事故起数和死亡人数同比减少422起、589人,煤矿事故死亡人数下降到了1500人以内,煤矿百万吨死亡率0.374,这里将每百万吨死亡率作为刻画强监管和投入下发生安全事故给煤矿和政府造成损失的概率,即 $p_{11}=p_{22}=0.374$;国家安全监管总局总工程师、发言人黄毅在国新办发布会上表示,中国煤矿百万吨死亡率由2002年的4.94降至2011年的0.564,假设该比例为弱监管和不投入生安全事故给煤矿和政府造成损失的概率,即 $p_{12}=p_{21}=0.564$ 。

表4 基准情境下云南师宗煤矿的元博弈收益矩阵

煤矿企业1	政府监管机构2	
	强监管	弱监管
投入	-10, -10	-23.46, -9.35
不投入	-5.61, -29.1	-10.91, -18.18

上述收益值下博弈收益矩阵见表4所示。该问题为囚徒困境博弈,如果地方政府既没有进行改善安全监管的有效策略设计,也没有采取税收和财政补贴等措施鼓励煤矿企业加大安全投资,博弈双方最优选择会选择{不投入,弱监管}的策略集合,造成重大煤矿安全隐患。

(二)互惠策略设计和政府市场干预的情景分析

根据结论1,地方政府和煤矿企业为了达成安全生产的共同愿景,可以相互进行信息沟通,通过二阶策略集合扩展,可以构建出表3所示的 16×4 静态博弈(限于篇幅,此处略去表3的案例应用)。双方设计如下互惠的安全策略:一方面,煤矿企业采取表3中第三列正互惠策略(即在政府监管机构强监管时进行安全投入,弱监管时不投入);另一方面,地方政府监管机构采取表3第7行策略(即如果煤矿企业选择第三列正互惠策略,则采取强监管策略),或者采取第14行策略(即除非煤矿企业选择第三列正互惠策略,否则始终采取弱监管策略)。在 16×4 静态博弈中,纳什均衡结果为双方均采取安全防范措施的互惠策略。

除了上述策略设计外,地方政府还可以通过积极的财政手段力度,来改变安全投入的收益,即控制税收和财政补贴的市场干预变量 γ 大小,使其满足结论2的范围: $\gamma \geq 0.439$, $\delta \geq 0.91$,此时博弈将会出现了新的纳什均衡解{投入,强监管},见表5所示。

表5 政府提供税收优惠或财政补贴情境下博弈收益矩阵

煤矿企业1	政府监管机构2	
	强监管	弱监管
投入	-5.6, -10	-23.46, -14.49
不投入	-5.61, -29.1	-10.91, -34.7238

反过来,若政府增加对煤矿企业的税收和违法行为查收力度,根据《中华人民共和国资源税暂行条例实施细则》,从2011年11月1日起煤炭等资源实行从量征收资源税。同时,加大对煤企安全投入不足的惩罚力度,使其满足结论3的范围: $\gamma \geq 0.07$, $\mu \geq 0.66$,见表6所示。

表6 政府增大资源税情境下博弈收益矩阵

煤矿企业1	政府监管机构2	
	强监管	弱监管
投入	-10.7, -9.3	-23.46, -9.35
不投入	-10.71, -29.1	-18.11, -18.18

此时上述博弈结果与表5中提供优惠税率和财

政补贴手段不同,增大税收增缴手段出现了两个纳什均衡解,相比之下{投入,强监管}策略更优,而且随着税收增缴力度的增强,这一策略的优势更加明显。但是,对比表5和表6,政府提供优惠税率和财政补贴等激励手段实施效果更好。

三、结论与建议

本文建立了地方政府与煤矿企业在安全生产协作的互惠博弈模型,从而为我国2005年以来煤矿安全生产形势显著好转提供了一种理论解释。无论地方政府监管不力,还是煤矿企业安全投资不足,都将导致安全生产形势恶化。为了摆脱煤矿安全生产面临的“囚徒困境”,地方政府除了提供公共安全投资、运用市场干预手段等改变成本收益外,还可以完善安全监管的互惠策略设计,达成政府与企业在安全生产的帕累托合作结局。

尽管2005年以来我国煤矿安全生产形势得到明显改进,但是我国以煤为主能源生产和消费结构,以及复杂多样的地质条件、采煤工人以缺乏系统安全培训的农民工为主等不利条件,造成我国煤炭安全生产仍然面临着较大的压力。为了降低煤炭安全生产监管失败的概率,提高我国煤炭生产的安全水平,根据本文的理论研究结论,可以得出如下政策启示。

第一,安装并确保正常运营煤矿安全生产监控系统,评估不同情境下煤矿安全事故发生的概率,从而为煤矿企业或地方政府提供早期的安全预警措施。由于煤矿企业和地方政府对于互惠安全防范措施的选择是相辅相成、相互制约的,各方决策的制定都依赖于自己对对方决策选择的预期以及煤矿事故发生的概率。根据本文分析结论,煤矿企业只有在地方政府与自己采取一致的互惠安全防范措施时,才愿意加大互惠安全措施的投入。

第二,中央和地方政府监管部门应相互协作,共同加大煤矿安全生产的互惠投资,进一步提高煤矿安全生产水平。国家充分利用财政政策、税收政策、金融政策积极引导煤矿企业加大对安全策略的投入,对煤矿企业的安全生产进行奖励,对违法行为严厉打击。同时,针对不尽责的监管机构加大惩罚力度,对尽责的监管机构加大奖励力度,并降低煤矿安全监管成本,切断监管机构与地方政府的利益传输机制,促使监管机构能够在煤矿监管和处置煤矿事故时积极履行职责。

第三,有关政府监管部门需要规范执法环节,降低执法成本。煤矿企业安全监管过程普遍存在着

标准不统一、政令不一致的现象,甚至经常出现惩罚的不可置信或者惩罚的力度远小于所获得的非法收益等,反映了执法过程中存在着较高的执行成本。因此,应该致力于执法环节的规范,提高监管机构不作为和煤矿企业不投入的惩罚标准,以加大对煤矿不法生产行为的威慑,提高煤炭行业安全水平。

参考文献

- [1] ALPERN S, LIDBETTER T. Mining coal or finding terrorists: the expanding search paradigm[J]. *Operations Research*, 2013, 61(2): 265-279.
- [2] KOMLJENOVIC D, GROVES W A, KECOJEVIC V. Injuries in U.S. mining operations: A preliminary risk analysis [J]. *Safety Science*, 2008, 46(5): 792-801.
- [3] MARGOLIS K A. Underground coal mining injury: A look at how age and experience relate to days lost from work following an injury[J]. *Safety Science*, 2010, 48(4): 417-421.
- [4] CHEN H, FENG Q, LONG R. Y, QI H. Focusing on coal miners occupational disease issues: A comparative analysis between China and the United States[J]. *Safety Science*, 2013, 51(1): 217-222.
- [5] 陶长琪, 刘劲松. 煤矿企业生产的经济学分析——基于我国矿难频发的经验与理论研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2007, 2: 124-135.
- [6] 刘穷志. 煤矿安全事故博弈分析与政府管制政策选

择[J]. *经济评论*, 2006, 5: 59-63.

[7] 肖兴志, 陈长石, 齐鹰飞. 安全规制波动对煤矿生产的非对称影响研究[J]. *经济研究*, 2011, 9: 96-107.

[8] 肖兴志, 齐鹰飞, 李红娟. 中国煤矿安全规制效果实证研究[J]. *中国工业经济*, 2008, 5: 67-76.

[9] 付茂林, 刘朝明. 煤矿安全监察进化博弈分析[J]. *系统管理学报*, 2007, 5: 579-584.

[10] LIU Dehai, XIAO Xingzhi, LI Hongyi, et al. Historical evolution and benefit-cost explanation of periodical fluctuation in coal mine safety supervision: An evolutionary game analysis framework[J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 243(3): 974-984.

[11] DUFWENBERG M., KIRCHSTEIGER G. A theory of sequential reciprocity[J]. *Games and Economic Behavior*, 2004, 47(2): 268-298.

[12] FALK A, FISCHBACHER U. A theory of reciprocity [J]. *Games and Economic Behavior*, 54(2): 293-315.

[13] 刘凤军, 李辉. 社会责任背景下企业联想对品牌态度的内化机制研究——基于互惠与认同视角下的理论构建及实证[J]. *中国软科学*, 2014, 279(3): 99-118.

[14] RENIERS G., SOUDAN K. A game-theoretical approach for reciprocal security-related prevention investment decisions[J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2010, 95(1): 1-9.

[15] 聂辉华, 蒋敏杰. 政企合谋与矿难: 来自中国省级面板数据的证据[J]. *经济研究*, 2011, 6: 146-157.

Reciprocal Game Model of Safety Production Cooperative Relationship between Local Government and Coal Mine

ZHOU Ting-ting¹ FANG Le¹ MA Xiao-nan² LIU De-hai¹

(1. Dongbei University of Finance and Economics Dalian 116025 China;

2. Bank of China Shenzhen Branch Shenzhen 518000 China)

Abstract The paper established the reciprocal game model of collaborative action in production safety between local governments and coalmines. In order to get rid of so-called “prisoner’s dilemma” faced by the coalmine production safety, the local government can design the appropriate strategy to reach the Pareto cooperative outcome, and change the payoffs by providing public security investment and market intervention measures. Taking the martyrdom game as a meta-game and designing two order strategies, the “prisoner’s dilemma” martyrdom game is extended to the static game with 16×4 strategies profiles. The local government can choose the strong regulatory strategy, considering the coalmine takes the reciprocal strategy of safety production investment, i.e., facing the strong supervision the coalmine should increase safety input, and it is in reverse. Finally, based on the case of “11.10” Shizong mine accident, the paper discusses the measures to improve the level of coal mine production safety including strategy design and payoff adjustment such as effective taxation and allowance.

Key words coalmine production safety; reciprocal game; static game; strategy design; government supervision

编辑 何 婧