

我国石油天然气企业安全监管博弈分析

冉以发¹, 冯义军², 张 琳³

(1. 中国石油天然气股份有限公司浙江销售分公司, 浙江 杭州 310007)

2. 中国石油天然气管道工程公司工艺室, 河北 廊坊 065000

3. 中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: 采用经济博弈论分析了石油天然气企业的安全监管问题。根据石油天然气企业的特点, 建立了政府安全监管机构和石油天然气企业之间的博弈模型, 同时建立了企业内部监管机构和一线操作员工之间的博弈模型, 分别求解了两个博弈模型, 得到了各自的最优策略概率。分析了石油行业的安全形势, 提出了相关建议。

关键词: 石油; 天然气; 安全; 企业; 博弈模型; 策略

文章编号: 1006 5539(2007) 05 0008 06

文献标识码: A

近年来, 我国石油天然气企业安全事故发生日趋频繁, 给企业员工、国家财产、周边居民的生活和人身安全都带来了巨大的危险和影响。安全已经成了石化天然气企业不得不面临和解决的问题。对以往事故发生的原因进行统计, 可以发现大多数事故发生都是由于人的违章生产、违章作业、违章指挥等“三违”方面的原因造成的。因此, 有效遏止人的危险因素就可以有效避免事故的发生。本文运用经济博弈论方法来研究石油天然气企业的安全监管问题。

由于石油天然气企业本身所具有的高风险性, 决定了其是国家安全生产监督管理局的重点监管行业; 加之石油天然气企业自身对本行业高风险性的认识, 我国的三大石油公司在其组织机构内部也都相应的设置了各种安全监管机构, 并且企业的第一负责人要对安全事故负直接责任。因此, 我们可以将石油天然气企业的安全监管组织结构简化为如图 1。

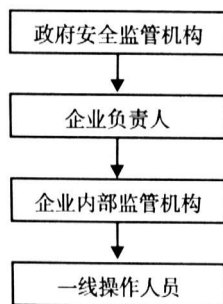


图 1 石油天然气企业安全监管组织机构

因此安全监管博弈模型是两方面的: 第一个模型是政府监管机构和企业之间的博弈模型; 另一个是企业内部的博弈模型, 即内部管理机构和一线操作人员的博弈。

1 政府安全监管部门与石油天然气企业博弈模型

1.1 政府安全监管机构和企业之间的博弈

局中人集合: 定义为 $I = \{1, 2\}$, 其中 1 表示存在安全事故隐患的石油天然气企业, 2 表示政府安全监管机构^[1~4]。

策略集合: 定义为 $S_1 = \{\text{消除, 不消除, 消除不力}\}$; $S_2 = \{\text{查处, 不查处, 查处不力}\}$ 。 S_{ij} 又称策略空间; i 表示第几个局中人; j 表示第几种策略。

收益函数: 给定所有局中人的策略组合, 每一个局中人所得到的收益“收益函数是策略组合和收益之间的一种函数关系”, 定义为 $U_j(S_1, S_2)$, $j = 1, 2, 3$ 表示第几个策略。其表示当局中人 1 采取 j 策略, 局中人 2 采取 j^* 策略时, 局中人各自的收益。

假设每一个局中人对另一个局中人的策略选择都有准确的了解, 也就是说局中人的信息是完全信息。在模型中做如下假设:

a 石油天然气企业的收益假设为当监管部门采

收稿日期: 2005 08 17

作者简介: 冉以发 (1979), 男, 重庆云阳人, 助理工程师, 注册安全工程师, 2002 年毕业于西南石油大学油气储运专业, 现主要从事安全环保管理工作。电话: (028) 86014120

取不查处策略时, 企业自觉投入资金 I_1 消除安全事故隐患, 确保企业正常生产, 既无经济损失又无额外收益, 也不会被处罚; 相反企业若采取不消除安全事故隐患策略, 可能发生事故的概 率 (风险系数) 是 f_1 , 其事故损失是 L_1 ; 若消除安全事故隐患不彻底即消除不力, 投入资金 I_2 , 可能发生事故的概 率 (风险系数) 是 f_2 , 其事故损失是 L_2 。

b 石油天然气企业在监管部门采取查处策略时, 消除安全事故隐患需投入资金 I_1 , 同时将受到监管部门的处罚为 P_1 ; 若不消除时的处罚力度加大为 P_2 。

c 石油天然气企业在监管部门查处不力情况

下, 监管部门的处罚为 P_3 。

d 监管部门的收入假设为监管部门在采取查处的策略时为尽自己的本职, 其收益为零。

e 监管部门采取不查处策略时, 石油天然气企业消除安全事故隐患, 因此监管部门节省了查处成本而获得收益为 C ; 相反当在石油天然气企业采取不消除安全事故隐患策略, 监管部门将受到上级监管部门的处罚为 D 。

f 在监管部门采取查处不力策略时, 监管部门需花费查处成本 C , 同时也会受到上级监管部门的处罚为 D 。

模型的得益矩阵如表 1。

表 1 政府监管部门和石油天然气企业得益矩阵

		政 府 安 全 监 管 部 门		
		查处 P_c	查处不力 θP_c	不查处 $1-P_c$
石油天然气企业	消除 P_x	$-I_1-P_1, 0$	$-I_1-P_3, -C_1$	$-I_1, C$
	消除不力 θP_x	$-I_2-f_2^*L_2-P_1, 0$	$-I_2-f_2^*L_2-P_3, -C_1-D$	$-I_2-f_2^*L_2, -D$
	不消除 $1-P_x$	$-f_1^*L_1-P_2, 0$	$-f_1^*L_1-P_3, -C_1-D$	$-f_1^*L_1, -D$

1.2 混合策略纳什均衡的求解

从上述模型可以看出, 政府监管机构在博弈中有三种策略: 查处、不查处和查处不力。假设各自发生的概率分别为 P_c , $1-P_c$ 和 θP_c ($0<\theta<1$); 石油天然气企业在博弈中也有三种策略: 消除, 不消除和消除不力。假设各自发生的概率分别为 P_x , $1-P_x$ 和 θP_x ($0<\theta<1$)。同时为了简化模型作如下假设: (1) $f_1=f_2=f$ (2) $L_1=L_2=L$ (因为发生风险的概率和安全事故损失都按照最坏情况准备, 所以假设是合理的)。

假设石油天然气企业采取的策略为 $S_1=\{P_x, 1-P_x, \theta P_x\}$, 其含义为企业以 P_x 的概率选择消除, $1-P_x$ 的概率选择不消除, θP_x 的概率选择消除不力; 政府安全监管机构采取的策略为 $S_2=\{P_c, 1-P_c, \theta P_c\}$, 其含义类似企业采取策略的含义。

石油天然气企业的期望效用函数为:

$$U_1(S_1, S_2)=P_x[P_c(-I_1-P_1)+\theta P_c(-I_1-P_3)+(1-P_c)(-I_1)]+(1-P_x)[P_c(-I_2-fL-P_1)+\theta P_c(-I_2-fL-P_3)+(1-P_c)(-I_2-fL)]$$

(1)

对 (1) 式中的 P_x 求一阶偏导数并令其为 0 得石油天然气企业最优的一阶条件为:

$$\frac{\partial U_1(S_1, S_2)}{\partial P_x}=[P_c(-I_1-P_1)+\theta P_c(-I_1-P_3)+(1-P_c)(-I_1)]-[P_c(-I_2-fL-P_1)+\theta P_c(-I_2-fL-P_3)+(1-P_c)(-I_2-fL)]=0$$

(2)

因此,

$$P_c^*=\frac{I_1-fL-\theta(-I_2-fL)}{P_2-P_1+\theta(fL-P_1-I_1)+\theta^2(-fL-P_3-I_2)}$$

(3)

政府安全监管机构的期望效用函数为:

$$U_2(S_1, S_2)=0+\theta P_c[P_x(-C_1)+\theta P_x(-C_1-D)+(1-P_x)(-C_1-D)]+(1-P_c)[P_xC+\theta P_x(-D)+(1-P_x)(-D)]$$

(4)

对式 (1) 中的 P_c 求一阶偏导数并令其为 0 得政府安全监管部门最优的一阶条件为:

$$\frac{\partial U_2(S_1, S_2)}{\partial P_c}=\theta[-P_xC_1-\theta P_xC_1-\theta P_xD-C_1-D+P_c(C_1+D)]-(P_xC-\theta P_xD-D+P_xD)=0$$

(5)

因此,

$$P_x^* = \frac{\theta(D + C_1) - D}{2\theta D - \theta^2(D + C_1) - C - D} \tag{6}$$

联立式 (3)和 (6)得到混合策略纳什均衡为:
 $S^* = (S_1^*, S_2^*) = \{[P_c^*, 1 - P_c^*, \theta P_c^*], [P_x^*, 1 - P_x^*, \theta P_x^*]\}$

1.3 混合策略纳什均衡的求解分析

1.3.1 石油天然气企业最优概率分析

从上述模型可以看出,石油天然气企业以 P_x^* 的概率采取消除安全隐患时可以获得最大期望效用。当石油天然气企业采取消除策略的概率 $P > P_x^*$ 时,政府安全监管部门的最优策略就是不查处;反之就要查处;如果石油天然气企业采取消除策略的概率 $P = P_x^*$ 时,政府安全监管部门的最优策略是随机的选择查处或者不查处。

从式 (6)可以看出,企业采取消除策略概率的大小取决于 D, C, C_1 。当 $\theta = 0$ 时,模型变为纯策略纳什均衡,此时

$$P_x^* = \frac{\theta(D + C_1) - D}{2\theta D - \theta^2(D + C_1) - C - D} = \frac{D}{C + D} = 1 - \frac{C}{C + D}$$

明显可以看出企业采取消除策略的概率与监管部门查处成本 C 成反比,与更高一级部门对监管部门失职的惩罚 D 成正比。因此要使企业采取消除策略的概率增加就必须从降低监管部门查处成本和加大对监管部门失职的惩罚力度两方面考虑。

1.3.2 政府安全监管部门最优概率分析

同上述石油天然气企业最优概率一样,当政府安全监管部门以 P_c^* 的概率采取查处时可以获得最大期望效用。当其采取查处的概率 $P > P_c^*$ 时,石油天然气企业的最优策略就是消除安全事故隐患;反之就是不消除;如果政府安全监管部门采取查处策略的概率 $P = P_c^*$ 时,企业的最优策略是随机的选择消除或者不消除。

2 石油天然气企业内部安全监管博弈模型

2.1 企业内部安全监管机构和一线员工之间的博弈

局中人集合^[4-6]: $I = \{3, 4\} = \{\text{企业内部监管机构, 一线操作员工}\}$;

策略集合: $S_3 = \{\text{努力监督, 不监督}\}, S_4 = \{\text{遵章作业, 违章作业}\}$;

收益函数如前所述。

同样假设每一个局中人对另一个局中人的策略选择都有准确的了解,也就是说局中人的信息是完全信息。在模型中做如下假设:

a 操作者遵章作业的正常收益为 W ;操作者违章作业时被查处的罚款为 W_1 ;而没有被查处时获得的效用(如偷懒、节省精力等)为 W_2 。

b 安全监管机构的正常收益为 R ;其失职而受到的惩罚效用为 U_1 ;安全监管机构监管遵章操作者付出的监管成本(如体力消耗等)为 U_3 ;安全监管机构监管违章操作者付出的监管成本(如导致人际关系紧张等)为 U_2 ;安全监管机构成功查处违章操作者后得到报酬为 F 。

c 一线操作人员违章作业的概率为 p , 遵章作业的概率 $1 - p$;安全监管机构不监管的概率为 q , 监管的概率为 $1 - q$;安全监管机构成功查处违章操作者的概率为 α ;操作者的违章行为被他人检举的概率为 β 。其中 α, β 由外在因素决定,在此不作深入讨论。

模型的得益矩阵如表 2

表 2 内部监管部门和一线操作员工得益矩阵

		内 部 安 全 监 管 部 门	
		不监管 q	监管 $1 - q$
一线 操作 员工	违章作业 p	$W_2 - \beta(W_1 + W_2),$ $R - U_1$	$W_2 - \alpha(W_1 + W_2),$ $R - U_2 + \alpha F$
	遵章作业 $1 - p$	W, R	$W, R - U_3$

2.2 混合策略纳什均衡的求解

该模型是一个严格的非合作博弈模型,双方只有非合作没有合作的可能性。原因如下:如果员工选择遵章作业,则监管机构选择不监管;但是如果监管机构选择不监管,则员工选择违章作业,而员工如果选择违章作业,则监管机构选择监管,当监管机构选择监管时,员工又选择遵章作业。如此循环,不可能调和,因此双方只存在混合策略纳什均衡。混合策略的条件是:

$$\begin{cases} W > W_2 - \alpha(W_1 + W_2) \\ W_2 - \beta(W_1 + W_2) > W \\ R - U_2 + \alpha F > R - \beta U_1 \end{cases} \tag{7}$$

解不等式 (7)得:

$$\begin{cases} \alpha > \frac{W_2 - W}{W_1 + W_2} \\ \beta < \frac{W_2 - W}{W_1 + W_2} \\ \alpha \frac{F}{U_2} + \beta \frac{U_1}{U_2} > 1 \end{cases} \quad (8)$$

当监管机构进行监管和不监管的期望效用相等时,得到的就是一线员工最优违章作业的概率,即

$$P(R - \beta U_1) + (1 - p)R = P(R - U_2 + \alpha F) + (1 - p)(R - U_3) \quad (9)$$

$$\text{因此得 } p^* = \frac{U_3}{U_3 - U_2 + \alpha F + \beta U_1} \quad (10)$$

当一线员工违章作业和遵章作业期望效用相等时,得到的就是监管机构最优监管概率,即

$$q[W_2 - \beta(W_1 + W_2)] + (1 - q)[W_2 - \alpha(W_1 + W_2)] = qW + (1 - q)W \quad (11)$$

$$\text{因此得 } q^* = \frac{W - W_2 + \alpha(W_1 + W_2)}{(\alpha - \beta)(W_1 + W_2)} \quad (12)$$

所以安全监管机构与操作者的博弈纳什均衡解为:

$$S^* = (S_3^*, S_4^*) = \{ (p^*, 1 - p^*), (q^*, 1 - q^*) \}$$

2.3 混合策略纳什均衡的求解分析

图 2 表示一线员工的混合策略。图 2 中 R 到 M 的连线与横轴的交点 p^* 是一线员工违章作业的最佳概率, 遵章作业的最佳概率为 $1 - p^*$, 纵坐标就是在横坐标对应的一线员工违章作业概率下, 安全监管机构不监管的期望得益 $R(1 - P) + MP$ 。假设一线员工的违章概率大于 p^* , 那么安全监管机构不监管的效用将小于 0 于是监管机构选择的策略是监管; 如果一线员工的违章概率小于 p^* , 此时监管机构不监管的效用大于 0 于是选择不监管, 此时, 即使员工的违章概率再稍稍增大一些, 只要小于 p^* , 监管机构都趋向于选择不监管, 由于没了监管, 一线员工的违章概率会逐渐增大, 趋向于 p^* , 均衡点就是一线员工以概率 p^* 和 $1 - p^*$ 分别选择违章作业和遵章作业。此时, 安全监管机构监管和不监管的期望得益是相同的, 均为 0。

安全监管机构采取监管和不监管混合策略概率分布, 也可用同样的方法来确定。结论是图 3 中的 q^* 和 $1 - q^*$ 是安全监管机构采取不监管和监管的最佳概率。

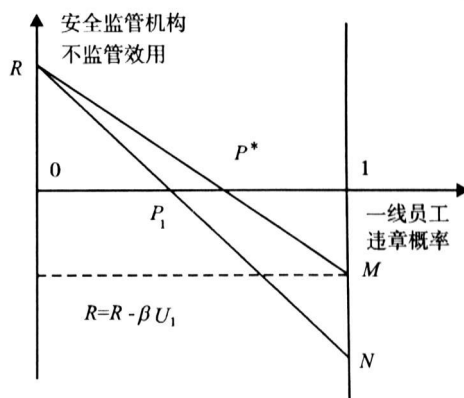


图 2 一线员工的混合策略图

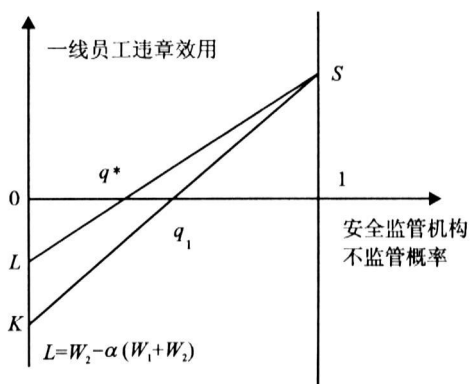


图 3 监管机构的混合策略

施以减少一线员工违章概率。首先考察为减少一线员工违章现象而加重对失职的安全监管机构的处罚时会出现的结果。在图 2 中, 对安全监管机构不监管的处罚加重会使 M 移至 N 点, 如果一线员工违章概率不变, 安全监管机构不监管的期望得益变为负值, 那此时安全监管机构肯定选择监管, 在监管的情况下, 一线员工违章的概率减小, 直至减小到 p^* , 此时, 安全监管机构又会恢复混合策略, 达到新的混合策略均衡。也就是说加重对失职的安全监管机构的处罚, 在短期内的效果是使安全监管机构尽职, 在长期内的真正作用是减少一线员工违章概率。同样的, 再分析加重对一线员工违章的处罚会出现的结果。在图 3 中, 对一线员工违章的处罚加重意味着 L 移至 K 点, 如果安全监管机构监管概率不变, 一线员工违章的期望得益变为负值, 那此时一线员工肯定选择遵章, 但在长期中, 一线员工增加遵章的概率会使安全监管机构更多地选择不监管, 最终不监管概率上升到 q^* , 达到新的混合策略均衡。由于一线员工违章概率是由图 2 决定的, 加重一线员工违章

下面再进一步分析如何运用这个模型来制定措

的处罚只能短期内减少一线员工违章概率, 它的长期作用是减少监管概率。如果能把减少监管概率看做减轻监管部门的工作量, 那么加重一线员工违章的处罚还是有意义的。这种政策目标与政策结果之间的这种关系被称为“激励的悖论”, 这对于制定安全管理政策有一定的启发性。

从式(10)可以看出, 一线员工违章作业的概率的大小取决于 U_1, U_2, U_3, F 。由于内部监管部门监管遵章作业和违章作业付出的成本 U_3 和 U_2 基本上相等的, 因此, 式(8)简化为:

$$p^* = \frac{U_3}{\alpha F + \beta U_1} \quad (13)$$

从式(13)可以看出, 如果内部监管部门监管遵章作业时付出的成本越高, 一线员工选择违章作业的概率越高; 当监管部门因成功查处而获得的奖励越低, 而因失职而被惩罚受到的效用越低时, 一线员工选择违章作业的概率越高。

将式(12)变形得到:

$$q^* = \frac{W - W_2 + \alpha(W_1 + W_2)}{(\alpha - \beta)(W_1 + W_2)} \\ = \frac{W - W_2}{(\alpha - \beta)(W_1 + W_2)} + \frac{\alpha}{(\alpha - \beta)} \quad (14)$$

由于 α, β 由外在因素决定, 一般情况下为常数, 因此内部监管部门采取监管的概率与操作者遵章作业的正常收益为 W 成正比, 与操作者违章作业时被查处的罚款为 W_1 和没有被查处时获得的效用(如偷懒, 节省精力等)为 W_2 成反比。

因此, 在企业内部监管机构与一线员工操作博弈模型中, 监管机构总是以 q^* 和 $1 - q^*$ 的随机选择不监管和监管, 而一线员工总是以 p^* 和 $1 - p^*$ 的随机选择违章作业和遵章作业。

3 结论

从本文建立的两个博弈模型中可以看出, 要保证石油天然气企业的安全, 必须做到:

a 仅从博弈模型得到的结果可以看出在理论上有这样的趋势: 政府安全监管力度越大, 企业就越自觉的消除安全隐患; 政府安全监管部门对于安全事故的惩罚力度越大, 企业也就能自觉的消除安全隐患; 对政府监管部门失职的惩处越大, 监管部门查处成本越低, 监管部门也就越能努力查处。因此, 必须减小政府监管部门查处成本, 加大对存在隐患而又

不消除的企业的安全。双管齐下保证石油天然气企业的安全。

b 企业自身监管机构对于违章操作监管力度越大, 员工就越能遵章作业; 企业内部监管机构对于员工违章作业的惩罚力度越大, 员工也就越遵章作业; 企业负责人对于监管机构失职的惩罚力度越大, 对于监管有力的奖励越高, 就越有助于员工遵章作业。因此, 必须加大对违章作业人员的处罚和对失职监管者的惩处, 才能有效降低违章作业的概率, 同时在安全收益上形成公平分配机制, 激励监管机构努力工作, 将安全事故遏止在萌芽状态。

c 同时我们必须看到现行做法当中的一些缺陷。一旦石油企业出现重大安全事故, 一般采取的措施都是要处理“一把手”, 不管这个“一把手”平时安全工作抓得有多么的紧, 取得了多么大的成绩, 都会采取“一刀切”的方式, 以平息民愤。其实我们认为这样的做法有不妥的地方, 时间长了会使政府(上级主管部门)与“一把手”之间陷入“囚徒困境”。因为, 那些平时狠抓安全工作的“一把手”和那些平时不重视的“一把手”在企业发生安全事故后, 受到的处罚是一样的, 而且那些不重视安全工作的“一把手”由于在平时的安全工作中不会很自觉的增加安全成本的投入, 使企业的成本较那些自己增加安全成本的企业低, 因此, 其本人也会从中获得比平时重视安全管理工作的“一把手”多的利益。于是, 时间一长, 越来越多的“一把手”都会自觉不自觉的采取不增加安全成本的措施。这就导致了政府(上级主管部门)与“一把手”之间必然陷入“囚徒困境”。

d 事实上, 在市场经济体制之下, 政府与市场没有哪一方是万能的, 都有失灵的时候。如果认为只要干部们尽心尽责, 就能避免甚至于彻底消除事故, 靠严厉处分干部就能起到“杀一儆百”的作用, 从而来消除事故。其实这种想法和做法都是计划经济的思维, 它夸大了政府的作用, 忽视了企业安全生产的主体地位。石油行业安全事故发生频率日趋增加的事实已经说明了依靠严厉处分干部来消除事故, 让干部承担事实上的“安全生产的无限责任”的做法, 使政府(上级主管部门)和领导干部的关系变成了“智猪博弈”: 因为, 石油行业安全事故发生后, 政府或上级部门总会处罚某些干部, 而那些与事故相关领导干部此时必然会出来“活动”、“攻关”, 甚至为了减轻处罚不惜隐瞒事故真相, 瞒报慌报。这

种局面不改,石油行业的安全形势很难走出“囚徒困境”。

石油行业要走出“囚徒困境”不能单靠简单的加大惩罚力度,结论 **a、b**是指要有这种趋势,但是并不是越大越好,这种惩罚的力度并不是没有限制的;同时应该考虑转变领导干部的“无限安全生产责任”为“有限责任”,区别对待事故企业的领导干部,同时强化石油企业“安全生产主体”的责任。只有这样才能使双方的“非合作博弈”逐步过渡到“合作博弈”,进而使石油行业的安全形势根本上走出“囚徒困境”。

参考文献:

- [1] 刘照鹏. 防治煤矿灾害事故的博弈分析[J]. 中国煤炭, 2005 31(12): 60-62
- [2] 付茂林, 刘朝明, 叶素文. 查处矿山安全隐患的博弈分析[J]. 山东工商学院学报, 2003 17(4): 96-100
- [3] 王永生, 慕庆国. 安全监察的博弈模型研究[J]. 企业经济, 2004 (4): 53-54
- [4] 周敏, 肖忠海. 煤炭企业安全生产监管效能的博弈分析[J]. 中国矿业大学学报, 2006 35(1): 54-60
- [5] 谢识予. 经济博弈论(第二版)[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2003
- [6] 蒋宏锋. 证券监管的一个博弈模型[J]. 广东商学院学报, 2003 (1): 53-56