

应急预防标准的风险评估及其经济分析*

宋英华

(武汉理工大学 管理学院, 湖北 武汉 430070)

摘要 文章以安全生产方面的应急管理为研究背景,从应急预防标准具有不确定性的风险分析入手,建立应急预防标准风险评估模型,在此基础上展开对相应可能产生的应急成本、责任风险等方面的经济分析,研究应急预防的管制标准如何影响企业对安全事故预防水平的选择,以及当管制标准不具有不确定性风险时,企业又如何选择对事故的预防水平;通过分析得到这两种情形下的不同推论,为政府监管机构在制定应急预防标准及标准体系建设时,提供有益的参考,以达到对安全事故最优预防控制的目的。

关键词 应急预防; 标准; 风险评估; 经济分析

中图分类号: D035.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-3456(2009)01-0064-05

Economic Analysis and Risk Assessment on Standard of Emergency Prevention

SONG Ying-hua

(School of Management, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei, 430070)

Abstract Based on the study about emergency management related to safety production, this paper starts from the analysis on the uncertain risks of emergency prevention, establishes a model of risk assessment standard on emergency prevention and makes the economic analysis on the correlated cost and the liability risks. Meanwhile, how does management standard on emergency prevention affect enterprise's choice on safety accident prevention level and how dose enterprise respond to accident prevention when management standards don't contain any uncertain risks are also studied in this paper. Through the above analysis, it is concluded with two different inferences which provides valuable reference for government's supervision organ to design emergency prevention standards and standard system construction to achieve the aim of performing the best prevention and controlling on safety accident.

Key words emergency prevention; standard; risk assessment; economic analysis

一、引言

进入 21 世纪以来,随着经济全球化以及企业之间越来越激烈的竞争,生产过程中发生的事故变得越来越普遍。安全生产已经成为世界各国特别是发展中国家必须面对和解决的一个非常严峻、迫切的问题。就我国而言,安全生产问题不仅严重制约国民经济的健康发展,而且影响我国的国际声誉。特别是 08 年由三鹿集团引发的“三聚氰胺”事件更凸

显出当前我国在企业安全生产管理监管和应急体制建设方面的缺失,为此,搞好安全生产应急管理工作,切实保障人民群众的生命财产安全,不仅是企业生存发展的基本要求,更是我国全面建设小康社会、统筹经济社会全面发展和构建和谐社会的重要内容。

应急管理分为四个阶段:应急预防与准备—应急监测与预警—应急处置与救援—事后恢复与重建。其中应急预防与准备是应急管理的基础保障,

收稿日期:2008-12-20

* 湖北省科技攻关计划(2006AA401B68,2007AA402A49)。

作者简介:宋英华(1962-),男,副教授,博士;研究方向:危机与灾害应急管理。

在应急管理起到非常重要的基础性作用。国外学者从20世纪60—70年代开始对安全事故应急管理内在机理等科学定量分析进行了研究,并就影响安全生产业绩的应急管理措施和手段、安全事故造成的经济损失等进行了广泛深入研究,提出了一系列在安全生产方面应遵守的规则和建议^[1],即主要包括安全生产事故预防等在内的应急预防标准体系。而我国学者针对我国安全事故频发的实际情况,近年来的研究主要集中在对安全事故损失和事故的调查分析等问题。在定量、定性分析过程中,孙斌^[2]、田元富^[3]、姚国庆^[4]等提出了一个假定条件,即他们大都将政府监管部门制定的监管标准视为准确无误的,并以此为基础,研究如何有效地开展控制事故的预防等应急预防活动,从而提高政府监管部门的监管效率,实现将安全事故的发生降到最低的目的。

然而,虽然企业在生产过程中不严格实施政府各种应急预防标准(而这些标准是一种具有一定强制力的管制标准)的现象很常见,但往往容易被忽视的是,政府监管部门在制定应急预防标准时也具有不确定性,甚至极大的不确定性。受此影响,就会出现一个现象:即使企业严格依从政府监管部门事先设定的应急预防的管制标准,往往也不一定能够实现最优的应急预防效率。在这种情形下,需要引起关注的是:如果考虑政府监管部门事先制定的管制标准存在着一个不确定性的风险,那么这种不确定性风险将如何影响企业对安全事故的预防水平呢?现有的理论研究并不能对此提供一个明晰的解释。因此,需要对这种应急预防标准存在的客观不确定性开展深入研究,探讨其风险潜在的影响或带来的危害,即应急预防标准的风险评估,以及相应可能产生的应急成本、责任风险等,为政府在建设和完善应急预防标准体系过程中提供可靠的理论依据和方法。

本文首先从政府应急预防的管制标准具有不确定性的风险分析入手,建立应急预防管制标准风险模型,以此为基础,展开对相应可能产生的应急成本、责任风险等方面的理论模型分析,研究应急预防的管制标准如何影响企业对安全事故预防水平的选择,以及当管制标准不具有不确定性风险时,企业又如何选择对事故的预防水平;通过分析得到这两种情形下的不同推论,以期对政府安全生产监管机构在制定监管政策时提供参考,实现对安全事故的最优预防控制。

二、应急预防管制标准风险评估模型及分析研究

1. 应急预防管制标准风险评估模型

首先,考虑如下情形:一个应急预防、管理一般的生产企业(或者是经济中的其他行为人)从事一项具有风险的生产活动,在生产过程中这种风险可能会导致安全事故的发生。为了进一步分析,作如下假定:

(1) x 为企业对安全事故的预防水平,相应的预防成本为 $C(x)$,且 $C(x)$ 为凸, $C'(x) \geq 0$;

(2) 事故发生的概率为 $p(x, \epsilon)$,造成的损失以 $D(x, \epsilon)$ 衡量,此处 ϵ 是一个随机变量,且 $E(\epsilon) = 0$;

(3) 令 $A(x) = E[p(x, \epsilon) D(x, \epsilon)]$,则 $A(x)$ 表示事故造成的期望损失,并假设 $A(x)$ 为凸且递减(即边际损失成本 $A'(x) < 0$),于是有 $C(x) + A(x)$ 为严格凸。

同时,设定三个基本的安全事故预防水平如下:

(1) 社会最优预防水平,用 x^* 表示。当 $x = x^*$ 时,事故造成的社会损失最小;

(2) 政府监管部门对社会最优预防水平的判定标准水平,用 $x_a(\epsilon)$ 表示,政府监管部门在此基础上制定管制标准。由于受对安全事故发生发展的客观认知度的局限,一般地,政府监管部门只能在事故发生后才能准确确定社会最优预防水平,因此引入随机变量 ϵ 来衡量政府监管部门制定应急预防管制标准时存在的不确定性风险;

(3) 企业对事故的最优预防水平,用 x_b 表示。当企业选择 x_b 时,其预期成本最小,因此,企业对事故的最优预防水平实质上是一种应急预防成本最小的预防水平。

于是,在前面的假定条件基础上,针对不同的安全事故预防水平,建立相应的应急预防管制标准风险评估模型。

当生产事故造成的社会损失最小时,有

$$\text{Min}_x E[C(x) + p(x, \epsilon) D(x, \epsilon)] = \text{Min}_x [C(x) + A(x)] \quad (1)$$

因此,社会最优预防水平 x^* 由(1)式决定。当 $x = x^* > 0$ 时,有

$$C'(x^*) = -A'(x^*) \quad (2)$$

(2) 政府监管部门设定的应急预防管制标准与社会最优预防水平的不同之处在于,它具有不确定

性,因此, $x_a(\epsilon)$ 是如下函数的最优解,即

$$\text{Min}_x [C(x) + p(x, \epsilon) D(x, \epsilon)] \quad (3)$$

相应的一阶条件为:

$$C'(x) + \frac{d[p(x, \epsilon) D(x, \epsilon)]}{dx} = 0 \quad (4)$$

方程(4)隐含地决定了 $x_a(\epsilon)$ 。由于 ϵ 是一个随机变量,因此 $x_a(\epsilon)$ 对应着一个分布函数。假定 $x_a(\epsilon)$ 的密度函数为 $q(x)$,且 $q(x)$ 在区间 $[0, +\infty]$ 上连续。

(3)由于政府监管部门在设定事先的应急预防管制标准时具有不确定性的风险,因此一旦应急预防管制标准被制定,必然会影响企业对事故的预防行为,这表明企业在选择 x_a 时不仅受其自身预防成本的影响,同时也在无形中受到政府监管部门应急预防管制标准的不确定性影响。由于 $x_a(\epsilon)$ 的密度函数为 $q(x)$,决定了 x_a 分布的密度函数也为 $q(x)$ 。因此,当企业对事故的预防水平为 x 时,发生事故后导致企业受到惩罚的概率为 $R(x)$

$$R(x) = \int_x^{\infty} q(x) dx \quad (5)$$

据此,当企业对事故的预防水平为 x 时,其遭受的预期惩罚为 $R(x)A(x)$,进一步假定 $C(x) + R(x)A(x)$ 为严格凸。此时企业的应急预防投入成本函数为

$$\begin{aligned} TC(x) &= E[C(x) + R(x) \times p(x, \epsilon) D(x, \epsilon)] \\ &= C(x) + R(x)A(x) \end{aligned} \quad (6)$$

由于 $C(x) + R(x)A(x)$ 严格凸,因此 $TC(x)$ 为严格的凸函数,令 $x = x_b > 0$ 为使(6)式最小的 x ,可知 x_b 唯一。对应的一阶条件为

$$\begin{aligned} TC'(x_b) &= C'(x_b) + A'(x_b) R'(x_b) - \\ &A(x_b) q(x_b) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

2. 基于风险评估模型的经济分析

以方程(7)为基础展开包括应急成本、责任风险在内的经济分析。从方程(7)可以看出,其右边第一项为边际预防成本(应急成本),代表提供 x_a 水平的应急预防时所耗费的成本,根据假定可知其为一个递增的成本。第二项和第三项合称为预期的边际惩罚成本(责任风险),又可将其分解成损失效应和责任效应(损失也是承担责任的一种表现),其中,第二项 $A'(x_b) R'(x_b)$ 定义为“损失效应”,代表边际损失成本与企业采取 x_b 的预防水平时遭受惩罚的概率的乘积,由于 $A'(x_b) < 0$ 且 $R'(x_b) > 0$,可知 $A'(x_b) R'(x_b) < 0$,因此损失效应代表企业没有采取更高应

急预防水平时的成本节省;同时,由于采取更高的预防水平时,其中第三项,即当企业选择采用更高层次的预防水平时,在安全事故发生后遭受惩罚是一个概率递减关系($-q(x_b) < 0$),因此对于采用更高层次的预防水平也同样存在一种成本节省,而 $-A(x_b)q(x_b)$ 这一成本节省的衡量,即为“责任效应”。不难看出,由于损失效应和责任效应均为负值,所以边际惩罚成本也为负值,于是由方程(7)可以一个推论,即推论1:边际惩罚成本随着预防水平的提高(x_b 的增加)而下降(渐小)。

另一方面,对企业选择的最优预防水平 x_b 与社会最优预防水平 x^* 进行比较分析研究,可以得到以下推导:

若存在一个唯一的 x_b ,使得 $TC(x)$ 最小化,当 $TC(x)$ 为严格凸时,于是有

$$TC'(x) < 0 \quad x < x_b$$

$$TC'(x) > 0 \quad x > x_b$$

用代入 x ,于是又可得到 x^*

$$TC'(x^*) < 0 \quad x^* < x_b$$

$$TC'(x^*) > 0 \quad x^* > x_b$$

因此,通过分析 $x = x^*$ 时 $TC'(x^*)$ 的符号,就能对 x_b 和 x^* 进行比较。根据方程(2),有 $C'(x^*) = -A'(x^*)$,将其代入方程(7)得

$$TC'(x^*) = C'(x^*)[1 - R(x^*)] - A(x^*)q(x^*) \quad (8)$$

由于 $C'(x) \geq 0$ 且 $R(x) \leq 1$,因而 $C'(x^*)[1 - R(x^*)] \geq 0$ 。同时 $A(x) \geq 0$ 且 $q(x) \geq 0$,可知 $-A(x^*)q(x^*) \leq 0$ 。然而,在不知道密度函数 $q(x)$ 的性质和边际预防成本大小的情形下,方程(8)的符号依然不能确定,因此对该方程的评价需要进一步的假设。考虑到政府监管部门制定的应急预防管制标准存在不确定性风险所造成的影响,因此可以根据密度函数 $q(x)$ 的性质对方程(8)的符号进行讨论。

为了比较不同的不确定性风险水平之间的影响大小,在传统方法中运用一般阶随机占优考察与比较分析不确定性风险问题^[5]。在运用二阶随机占优方法分析一个分布占优于另外一个分布时,并不能直接解释两个分布的密度函数在某一处(比如 x^* 处)的差别。因此,需要引入一个分布集^[6]的概念进入二阶随机占优模型中。令在该分布集中,每个分布函数只存在位置参数(Location Parameter)和尺度参数(Scale Parameter)的差别,也就是说,对属于同

一分布集且具有连续密度函数的两个分布 f 和 g , 存在 $\alpha > 0$ 和 β 使得

$$f(x) = \alpha g(\alpha x + \beta) \quad (9)$$

由于该分布集中所有的分布只存在位置参数和尺度参数的差别, 表明对属于该分布集的任一分布, 有(a)密度函数为 $q(x)$; (b)具有相同的均值 x^* 。因而, 根据(9)式有 $\beta = (1-\alpha)x^*$, 在此基础上可以定义一个均值保留展型(Mean-Preserving Spreads)集。并将 $\beta = (1-\alpha)x^*$ 代入(9)式中并置换参数

$$q_\alpha(x) = \alpha q[\alpha x + (1-\alpha)x^*] \quad (10)$$

当 $\alpha > 0$ 时, $q_\alpha(x)$ 是一个定义良好(well-behaved)的密度函数, 具有相同均值的随机变量 x , 其密度函数在 q 到 $q_\alpha(x)$ 之间, 因此可用 $q_\alpha(x)$ 替代 $q(x)$ 。当 α 减小时, x 的分布 $q_\alpha(x)$ 的方差越大, 而当 α 增大时, x 的分布 $q_\alpha(x)$ 的方差越小, 这表明应急预防管制标准的不确定性与 α 负相关。假定 $q[\alpha x + (1-\alpha)x^*]$ 的方差为 V_1 , $q_\alpha(x)$ 的方差为 V_2 。则有

$V_1 = \int_x^{+\infty} [(\alpha x + (1-\alpha)x^*) - x^*] q[\alpha x + (1-\alpha)x^*] d(\alpha x + (1-\alpha)x^*)$, 运算后得: $V_1 = \int_x^{+\infty} \alpha^2 (x - x^*)^2 q[\alpha x + (1-\alpha)x^*] dx$, 同理可知 $V_2 = V_1/\alpha$ 。显然在 V_1 保持不变时 α 与 V_2 反向变动。将 $x = x^*$ 代入方程(10)中有 $q_\alpha(x^*) = \alpha q(x^*)$, 显然当 α 变小时, $q_\alpha(x^*)$ 也变小, 反之亦然。代入方程(8), 有

$$TC'(x^*) = C'(x^*)[1 - R_\alpha(x^*)] - A(x^*)\alpha q(x^*) \quad (11)$$

当应急预防管制标准的不确定性越大, 即当 α 变小时, $\alpha q(x^*)$ 也变小, 由方程(11)知 $TC'(x^*) > 0$, 表明 $x^* > x_b$, 说明当应急预防管制标准的不确定性越大, 企业将采取低于社会最优水平的预防措施。当不确定性变小时, α 变大, $\alpha q(x^*)$ 也变大, 此时 $TC'(x^*) < 0$, 从而 $x^* < x_b$ 。据此得到推论 2: 如果应急预防管制标准的不确定性风险越小, 企业越倾向于采取优于社会最优水平的预防措施; 而当不确定性风险越大, 则企业越倾向于采用比社会最优水平低的预防措施。

三、应急预防管制标准确定情形下的应急预防水平选择分析

在应急预防的管制标准确定的情形下, 假定政府监管部门设定的预防水平为 s , 此时 s 不具有不确

定性。由于企业知道监管部门对社会最优预防水平的判定为 s , 因此企业将不会选择低于 s 的预防水平, 即 $x_b > s$ 。这种关系显而易见, 因为在安全事故发生后, 监管部门并不因为企业采取了符合事先设定的应急预防管制标准而作为其不承担事故责任的判定, 因而对企业而言最优的策略就是将安全事故的预防水平设定在该标准之上。同时注意到, 由于 x_b 由 s 决定, 因此 x_b 为 s 的函数, 即 $x_b = x_b(s)$ 。假定这种情形下企业事先预防水平分布的密度函数为 $\hat{q}(x)$, 按照贝叶斯方法, 可知 $\hat{q}(x)$ 的条件概率分布为

$$\hat{q} = q(x | x \geq s) \quad (12)$$

对应的概率为 $\hat{R}(x)$, $\hat{R}(x) = R(x)/R(s)$, 企业的成本函数为

$$\text{Min}_x \hat{T}\hat{C}(x) = C(x) + \hat{R}(x)\hat{A}(x) \quad (13)$$

对于给定的 s , 当 \hat{x} 为满足(13)式的最优解时, 相应的一阶条件为

$$R(s) C'(\hat{x}) + R(\hat{x})A'(\hat{x}) - q(\hat{x})A(\hat{x}) = 0 \quad (14)$$

由于 $x_b = x_b(s)$, 对(14)式全微分, 得

$$d\hat{x}/ds = q(s) C'(\hat{x})/[R(s) C''(\hat{x}) + A''(\hat{x})R(\hat{x}) - 2A'(\hat{x})q(\hat{x}) - A(\hat{x})q'(\hat{x})] \quad (15)$$

当 $C(x) + R(x)A(x)$ 为严格凸时, 可知(15)式

分子和分母均为正, 故 $d\hat{x}/ds > 0$, 因而 s 增加时 \hat{x} 也增加。据此得到推论 3: 在监管部门事先设定的应急预防管制标准不具有不确定性的情形下, 所设定的应急预防管制标准规定的预防水平越严格时, 则企业采取的预防水平更高; 反之亦然。

推论 3 表明, 当政府监管部门设定的应急预防管制标准越严格时, 企业越倾向于采取更高的预防水平, 甚至会采取高于社会最优标准的预防水平。因而值得考虑的另一个问题是, 在认定事先的安全管制机制能提高管制效率的情形下, 应当如何有效地选择最优的应急预防管制标准 s^* , 使 $\hat{x}(s^*) = x^*$

将 $s = s^*$ 和 $\hat{x}(s^*) = x^*$ 代入方程(14)中, 并应用方程(2), 可得

$$C'(x^*)[R(s^*) - R(x^*)] - A(x^*)q(x^*) = 0 \quad (16)$$

由于 $C'(x^*) \geq 0$, $A(x^*)q(x^*) \geq 0$, 可知 $R(s^*) - R(x^*) \geq 0$, 即 $R(s^*) \geq R(x^*)$, 因此

$s^* \leq x^*$ 。注意到,当 $s^* = x^*$ 时,有 $R(s^*) = R(x^*)$,从而 $A(x^*)q(x^*)=0$ 。当 $A(x^*) > 0$ 时, $q(x^*)=0$ 。这表明,监管部门事先设定的应急管理标准并不能实现社会最优的预防目标,显然与 $s^* = x^*$ 矛盾,因此仅有 $s^* < x^*$ 。据此得到推论 4: 在监管部门制定的应急管理标准不具有不确定性风险的情形下,若要使企业采取的预防措施与社会最优预防水平一致,监管部门制定的最优管制标准 s^* 要小于社会最优预防水平 x^* 。

四、结束语

近年来,我国屡屡发生的各类安全生产事故,引起社会的极大关注,成为国民心中一个沉重的话题^[7];同时,也迫切地需要政府有关监管部门加强包括应急管理在内的应急管理体系建设,本文以监管部门制定的有关应急管理的管制标准是否存在不确定性的风险评估为基础,对安全生产过程中事故预防水平的选择进行了模型化分析,探讨了监管部门制定的应急管理标准对安全事故的有效预防造成的影响,并得到了四个基本推论。

其中,根据推论 2,当监管部门制定的应急管理标准存在不确定性风险时,即使企业严格履行监管部门制定的应急管理标准,仍将出现对生产预防过度或不足的情形。该推论表明,生产过程中监管标准不确定性的存在,往往使事故的预防不是有效的。而推论 3 表明,在应急管理标准的制定不具有不确定性风险时,企业将重新审视监管标准。具体而言,当监管标准越严格,企业将采取更高的预防措施。但由此虽然可以纠正企业对安全事故预防不足时产生的负外部性,另一方面却可能导致企业对安全事故的过度预防,造成企业预防成本的浪费。

同时,从推论 2 和推论 3 中可以看出,当企业面对监管部门制定的应急管理标准时,在下列情形下,他们对预防水平的选择一般为次优的:

(1)监管部门设定的应急管理标准不确定性风险非常大;

(2)在确定性情形下,监管部门制定的应急管理标准 s^* 优于社会最优预防水平 x^* 。因此,如果监管部门想在降低安全事故发生的概率同时使企业选择的预防水平最优,则其制定的应急管理标准必须低于社会要求的最优水平,这也正是推论 4 的含义。

尽管本文证明了在确定性情形下,监管部门制定的最优应急管理标准要低于社会最优应急管理标准,但是对于如何设定该最优应急管理标准,还有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] LEVITT R E, SAMELSON N M. Construction Safety Management[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1993.
- [2] 孙斌, 田水承, 常心坦. 事故风险评价与风险管理模式研究[J]. 中国矿业, 2003, 12(1): 71-73.
- [3] 田元富. 建筑安全控制及其应用研究[D]. 西安建筑科技大学, 2004: 75-86.
- [4] 姚庆国, 黄渝祥. 企业安全行为及其经济分析[J]. 煤炭经济研究, 2005(7): 66-69.
- [5] HAIM L, ZVI W. Stochastic Dominance and Prospect Dominance with Subjective Weighting Functions [J]. Journal of Risk and Uncertainty, 1998, 16(2): 147-163.
- [6] 刘新立. 风险管理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006.
- [7] 宋英华. “十一五”期间湖北省突发公共事件应急体系建设规划研究报告[R]. 湖北省人民政府报告, 2006-2007.

(责任编辑: 陈万红)