

项目施工方和管理方安全公民行为对安全绩效影响

何清华^{1,2}, 陈震^{1,2}, 李永奎^{1,2}, 范道安^{1,2}

(1. 同济大学 经济与管理学院, 上海 200092; 2. 同济大学 复杂工程管理研究院, 上海 200092)

摘要: 分别基于项目施工方和项目管理方视角, 构建施工安全收益模型和管理安全收益模型并求解, 在此基础上对结论进行蒙特卡罗模拟验证. 研究认为在项目管理方和施工方均无对风险偏好的前提下, 安全公民行为的提升可导致建设项目安全绩效的提升. 提高遵守安全管理人员的比例, 提高项目管理方和施工方的关联系数, 增加安全收益和安全危险的损害, 均有利于建设项目通过安全公民行为实现建设项目安全绩效.

关键词: 安全绩效; 安全公民行为; 建设项目; 仿真

中图分类号: TU714

文献标志码: A

Effect of Safety Citizenship Behavior on Construction Project Safety Performance Based on Project Contractors and Project Managers

HE Qinghua^{1,2}, CHEN Zhen^{1,2}, LI Yongkui^{1,2}, FAN Daoan^{1,2}

(1. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Research Institute of Complex Engineering Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on project contractors and project managers, a construction safety profit model and management safety profit model were developed respectively, and the solution to each of the model was found. The Monte Carlo simulation was used to verify the conclusion. It is supposed that both the project management side and the project construction side do not prefer risk. Therefore, it is maintained that improving the safety citizenship behavior can lead to the improvement of safety performance of construction project. To achieve construction project safety performance by enhancing safety citizenship behavior, the proportion of safety management clients complied rules should be increased, the correlation coefficient of project management side and project construction side should be improved, and safety profit and hazard damage should be increased.

Key words: safety citizenship behavior; safety performance; construction project; simulation

建筑行业现场存在大量不确定因素, 因而迄今为止仍然是全世界工作风险最大的行业之一^[1]. 根据国家安全生产监督管理总局的统计, 2003年到2014年我国建筑业事故次数和死亡人数虽然有所波动, 但没有显著下降的趋势, 安全隐患甚至出现上升趋势. 虽然传统安全理论认为, 不安全事故的原因是人和物共同作用的结果, 但统计中国、美国、香港的数据均显示, 在所有建筑业的不安全事故中, 人的因素造成的事故占有所有事故的80%~90%^[2], 因而安全管理最重要的是人的管理. 2003年Hofmann提出安全公民行为(safety citizenship behavior, SCB)的概念, 认为安全公民行为是指施工现场人员为了保证其他团队成员安全绩效和项目组织安全绩效实现而产生的一种自愿的个体行为, 它不能被传统的奖励系统所直接地或精确地识别, 却能有效地提升项目组织效能^[3]. Didla在此基础上进一步提出, 在工作条件外自发帮助其他项目成员和项目组织实现安全改进, 这种行为称之为安全公民行为^[4]. 有学者认为安全绩效是与安全相关的所有行为效果的总和^[5], 也有学者针对安全服从行为和安全参与行为两种行为效果的分析, 认为安全绩效是安全服从与安全参与效果的总和^[6], 还有学者认为安全绩效是监督者观察到的参与有训练的安全行为的事件^[7].

近年来学者们对安全行为的理论研究, 多采用博弈和演化博弈等方法, 将国家安监部门、项目安全监督者和项目安全执行者三者对立, 研究其相互之间博弈的利益分配^[8-10]. 这种研究解释了利益相关者博弈的现象, 大多针对安全管理的角色内行为, 无法解释安全公民行为的成因和结果, 对项目的安全管

收稿日期: 2015-03-31

基金项目: 国家自然科学基金(71390523, 71471136, 71571137)

第一作者: 何清华(1971—), 男, 教授, 博士生导师, 管理学博士, 主要研究方向为建设项目管理. E-mail: heqinghua@263.net

通讯作者: 陈震(1986—), 男, 博士生, 主要研究方向为建设项目管理. E-mail: cz0021@126.com

理解释不全面.一般认为,安全监管责任是安全绩效的主要影响因素,而安全公民行为对安全管理影响并非主要影响因素,因而很难采用博弈或实证的方法对安全公民行为的影响路径进行研究.故本文采用仿真方法,减少干扰因素作用,突出刻画项目管理方对项目施工方的监管作用以及项目施工方的安全公民行为对其辅助作用,以描述安全公民行为作用路径及影响,突出安全公民行为的影响,为进一步开展安全公民行为研究提供基础.

安全公民行为是除了安全角色内行为提升安全绩效之外重要改进手段^[1].安全公民行为对安全绩效的影响,通过对建言(voice)、服从(compliance)、沟通(communication)等帮助行为结果的大量实证研究,表明其具有积极作用^[4,6,11-12],但少数学者认为只有当风险增大时,安全公民行为会使帮助者和受帮助者同处于安全风险中,才不利于安全绩效的实现^[13].学界普遍对安全公民行为的作用持积极态度,这与传统组织公民行为研究中学者分为积极和消极两派有所不同,为什么二者存在显著差异?

本文中的项目管理方是指项目中的业主方、监理方以及项目管理公司(如果有)三者管理人员的合称.项目施工方是指项目中的施工单位,包括项目中的总承包商和各分包商(如果有)的管理人员和施工人员.本文基于项目施工方和项目管理方,尝试通过理论建模推导的方式从机理研究安全公民行为对安全行为的作用,从而提高安全绩效,进一步根据变量关系提出通过安全公民行为提升安全绩效的方法措施.在此基础上,通过仿真的方式,对上述结论加以验证.

1 模型的假设及解释

行为理论认为人的工作行为是角色内行为和角色外行为共同作用产生的结果,安全公民行为作为组织公民行为的一种,亦属于角色外行为,为简化模型,研究假设安全管理过程中角色外行为有且只包括安全公民行为一种行为,即项目管理方有安全管理的角色内行为,而项目施工方的角色内行为是完成施工目标,安全公民行为是减少安全事故的发生.从行为本身的形成角度,借鉴勒温(Kurt Lewin)行为公式 $B=f(P,E)$.其中, B 指行为的方向和强度, P 指个人的内部动力、内部特征, E 指个人所处的群体环境,表示变量间关系的函数.因而在一般的安全行为建模研究对个人的意识驱动(愿不愿意遵守安

全行为的利益)因素建模的基础上,还增加了环境驱动(文化、制度环境实施成本)因素.传统的安全管理相关理论认为安全事故的发生是第一类危险源(物的因素)和第二类危险源(人的因素)共同作用的结果,只有二者同时发生时安全事故则会发生,即二者的交集为安全事故发生的情形,而第一类危险源发生的概率是物本身出现问题的概率,不受使用阶段人员行为的影响.

故假设项目管理方能够自觉遵守安全管理相关规章制度,因此不考虑政府安监部门对项目管理方的作用,认为管理方利益与项目利益一致.为研究安全公民行为单变量作用,设项目施工人员会对自身安全公民行为作出调整,而不会对自身安全工作行为作出调整,项目管理方亦不会对自身安全工作行为作出调整.设项目管理成本为 C_1 ,施工人员服从管理成本为 C_2 ,施工人员服从管理的比例为 P_0 ,施工人员的不安全工作行为被抓住的比例为 P_1 ,施工人员不安全工作行为造成后果的比例为 P_2 , $P_0 \in [0, 1]$, $P_1 \in [0, 1]$, $P_2 \in [0, 1]$.施工人员不安全工作行为被抓住的损失为 L_1 ,施工人员不安全后果的损失为 L_2 ,施工人员不安全工作行为收益为 G ,施工人员安全工作行为收益为 H ,风险传递系数,即施工人员的安全风险传递给管理人员的比例为 K , $K \in [0, 1]$.组织结构、安全规章的投入 R_1 ,安全文化、安全氛围的投入 R_2 ,有公民行为时施工人员安全风险折减系数为 S ,虽然施工人员间的安全公民行为能使遵守安全的施工人员增多,但是这个比例不会超过1,故隐含条件为 $P_0/S \leq 1$,安全公民行为使施工人员遵守安全工作行为的比例增加至 P_0/S ,使被抓住的、未被抓住造成严重后果、未被抓住未造成严重后果的不遵守安全工作行为的比例减少至 $P_1S, P_2S, (1-P_0-P_1-P_2)S$.从数值上,认为安全绩效是量化后的安全收益和安全成本(安全损失)之差.

2 模型的构建及求解

针对项目中的一次安全管理决策选择^[4,6,14],将建设工程施工现场人员的行为分为三类:安全工作行为是指施工现场人员的行为是符合相关规章,不会产生安全隐患的工作行为;不安全工作行为是指施工现场人员为了其他需要而产生的不符合相关规章,会产生安全隐患的工作行为;安全公民行为并非工作行为,却抑制了不安全工作行为的发生并促进其转化为安全工作行为.当项目采用安全工作行为

时,安全工作行为绩效等于安全工作行为收益.当项目采用不安全工作行为时,存在三种结果:一种是不安全工作行为被项目管理方的安全监管抓住;另一种是不安全工作行为未被项目管理方的安全监管抓住,也没有产生严重后果;第三种是不安全工作行为未被项目管理方的安全监管抓住,但是造成了严重的安全事故.基于项目施工方视角,项目施工方不安全工作行为被抓住时,不安全工作行为未实现,只产生安全工作行为的收益,但是被抓住必须接受项目管理方的处罚,以及行为本身的成本,共同构成项目施工方不安全工作行为被抓住的成本,此时不安全工作行为绩效为安全工作行为收益与处罚之差;项目施工方不安全工作行为未被抓住也未产生严重后果时,不安全工作行为绩效为不安全工作行为收益,并认为此时的不安全工作行为绩效要大于安全工作行为绩效,项目施工方员工才有动力执行不安全工作行为;项目施工方不安全工作行为未被抓住但产生了严重后果时,不安全工作行为虽然有获益,但是必须接受折算成货币形态的事故带来的损失,同时还有不安全工作行为本身的成本,此时不安全工作行为绩效为不安全工作行为收益与事故损失之差.为定量描述上述事件发生过程,因而将其中变量描述为表1所示,实现机制如图1所示.

表1 绩效成本变量表

Tab.1 Variable of performance and cost		
员工类型	收益成本变量	变量表示形式
项目施工方安全管理者	期望成本	$-C_2P_0$
安全工作行为员工	期望收益	P_0H
被抓住不安全工作行为员工	期望收益 被抓住处罚的期望损失	P_1H P_1L_1
未被抓住不安全工作行为员工	期望收益	$(1-P_0-P_1-P_2)G$
未被抓住但造成严重后果的不安全工作行为员工	期望收益 严重后果的期望损失	P_2G P_2L_2
项目管理方安全管理者	期望成本	$-C_1$
	项目施工方遵守安全规章传导至项目管理方的期望收益	$(P_0+P_1)HK$
	项目施工方不遵守安全规章造成事故传导至项目管理方的期望损失	$-P_2L_2K$
项目管理方安全投入	组织结构、安全规章的投入	$-R_1$
	安全文化、安全氛围的投入	$-R_2$

当项目组织中无公民行为时,项目施工方安全绩效为

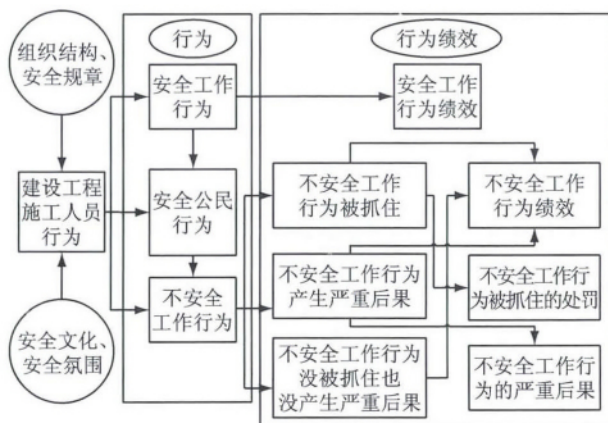


图1 安全公民行为对安全工作行为绩效影响路径

Fig.1 Path of influence of safety citizenship behavior on safety work behavior

$$X_1 = -C_2P_0 - P_1L_1 - P_2L_2 + (1-P_0-P_1)G + (P_0+P_1)H \quad (1)$$

此时,项目管理方安全绩效为

$$Y_1 = -C_1 + P_1L_1 - P_2L_2K + (P_0+P_1)HK - R_1 \quad (2)$$

当项目组织中有安全公民行为时,项目施工方安全绩效为

$$X_2 = -C_2P_0S - P_1SL_1 - P_2SL_2 + (1-P_0S-P_1S)G + (P_0S+P_1S)H \quad (3)$$

此时,项目管理方安全绩效为

$$Y_2 = -C_1 + P_1SL_1 - P_2SL_2K + (P_0S+P_1S)HK - R_1 - R_2 \quad (4)$$

基于假设条件,安全公民行为程度 Z 通过安全风险折减系数 S 影响模型,由于施工人员内部安全公民行为越多,施工人员遵循安全规章执行的可能性就越大^[3],故

$$(Z-P_0) \propto P_0S \propto 1S \quad (5)$$

求项目施工方安全绩效的最佳绩效点,式(3)对 S 求导得

$$\frac{dX_2}{dS} = (C_2+G-H)P_0S^{-2} + P_1H - P_1L_1 - P_2L_2 - P_1G \quad (6)$$

式(6)求极值点,则

$$\frac{dX_2}{dS} = 0$$

$$S^* = \pm \sqrt{\frac{(C_2+G-H)P_0}{P_1L_1+P_2L_2+P_1G-P_1H}} \quad (7)$$

为确定 $P_0 \leq S \leq 1$ 的最值,对式(3)求二阶导数

$$\frac{d^2X_2}{d^2S} = 2(H-C_2-G)P_2S^{-3} \quad (8)$$

在 $P_0 \leq S \leq 1$ 区间,当 $H-C_2-G > 0$ 时, $\frac{d^2X_2}{d^2S} > 0$

0;当 $H-C_2-G<0$ 时, $\frac{dX_2^2}{d^2S}<0$ 。

此时,施工人员面临角色内行为采用不安全工作行为还是安全工作行为的选择,需要分别讨论施工人员安全行为对不安全工作行为的超额收益 $H-C$ 与施工人员服从管理的成本 C_2 二者的关系,以及部分施工人员实施不安全工作行为的超额收益 $P_1L_1+P_2L_2$ 和收益 $C_2+(1-P_1)(G-H)$ 二者的关系。其中, P_1L_1 表示施工人员不安全工作行为被抓住的损失, P_2L_2 表示施工人员不安全工作行为产生后果的损失, $P_1(G-H)$ 表示被抓住的施工人员由于被抓住损失的不安全工作行为比安全工作行为收益的超额收益, $(1-P_1)(G-H)$ 表示没被抓住的人若实施不安全工作行为时的收益比安全工作行为收益的超额收益。

(1) 当 $H-C_2-G<0$ 时,其中 $P_1L_1+P_2L_2>C_2+(1-P_1)(G-H)$ 时,则 $S^* \in (0, P_0)$, 二次曲线开口向下,此时

$$X_{2\max} = X_2(P_0) = -C_2 - P_1P_0L_1 - P_2P_0L_2 - P_1P_0G + (1+P_1P_0)H \quad (9)$$

(2) 当 $H-C_2-G<0$ 时,其中 $P_1L_1+P_2L_2 \leq C_2+(1-P_1)(G-H)$ 时,由于 $P_1L_1+P_2L_2+P_1G-P_1H>0$,故 $S^* \in [P_0, +\infty)$, $S^* \in [P_0, 1]$ 时,二次曲线开口向下,此时

$$X_{2\max} = X_2(S^*) =$$

$$\begin{aligned} & -C_2 \sqrt{\frac{P_0[P_1L_1+P_2L_2+P_1(G-H)]}{C_2+G-H}} - \\ & P_1L_1 \sqrt{\frac{(C_2+G-H)P_0}{P_1L_1+P_2L_2+P_1G-P_1H}} - \\ & P_2L_2 \sqrt{\frac{(C_2+G-H)P_0}{P_1L_1+P_2L_2+P_1G-P_1H}} + \\ & \left(1 - \sqrt{\frac{P_0(P_1L_1+P_2L_2+P_1(G-H))}{C_2+G-H}}\right) - \\ & P_1 \sqrt{\frac{(C_2+G-H)P_0}{P_1L_1+P_2L_2+P_1G-P_1H}} G + \\ & \left(\sqrt{\frac{P_0[P_1L_1+P_2L_2+P_1(G-H)]}{C_2+G-H}} + \right. \\ & \left. P_1 \sqrt{\frac{(C_2+G-H)P_0}{P_1L_1+P_2L_2+P_1G-P_1H}}\right) H \quad (10) \end{aligned}$$

$S^* \in (1, +\infty)$ 时,二次曲线开口向下,此时

$$X_{2\max} = X_2(1) = -C_2P_0 - P_1L_1 - P_2L_2 + (1-P_0-P_1)G + (P_0+P_1)H \quad (11)$$

(3) 当 $H-C_2-G>0$ 时,其中 $P_1L_1+P_2L_2>C_2+(1-P_1)(G-H)$ 时,为使 S^* 有解,则 $0>P_1L_1+P_2L_2+P_1G-P_1H>C_2+G-H$,故 $S^* \in [P_0,$

$+\infty)$, $S^* \in [P_0, 1]$ 时,二次曲线开口向上,此时

$$\begin{aligned} & \text{当 } 1 \geq P_0 > \frac{C_2-P_1L_1-P_2L_2+(1-P_1)(G-H)}{C_2+P_1L_1+P_2L_2+(1-P_1)(H-G)} \text{ 时} \\ & X_{2\max} = X_2(P_0) = -C_2 - P_1P_0L_1 - P_2P_0L_2 - \\ & P_1P_0G + (1+P_1P_0)H \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{当 } 0 \leq P_0 \leq \frac{C_2-P_1L_1-P_2L_2+(1-P_1)(G-H)}{C_2+P_1L_1+P_2L_2+(1-P_1)(H-G)} \text{ 时} \\ & X_{2\max} = X_2(1) = -C_2P_0 - P_1L_1 - P_2L_2 + \\ & (1-P_0-P_1)G + (P_0+P_1)H \quad (13) \end{aligned}$$

$S^* \in (1, +\infty)$ 时,二次曲线开口向上,此时

$$X_{2\max} = X_2(P_0) = -C_2 - P_1P_0L_1 - P_2P_0L_2 - P_1P_0G + (1+P_1P_0)H \quad (14)$$

(4) 当 $H-C_2-G>0$ 时,其中 $P_1L_1+P_2L_2 \leq C_2+(1-P_1)(G-H)$ 时,则 $S^* \in (0, P_0)$, 二次曲线开口向上,此时

$$X_{2\max} = X_2(1) = -C_2P_0 - P_1L_1 - P_2L_2 + (1-P_0-P_1)G + (P_0+P_1)H \quad (15)$$

此时,为找到安全公民行为与安全绩效的同向区间,需找出 $X_{2\max}$ 与 S 的单调减函数区间,故根据式(9)和(14),当安全工作行为相较于不安全工作行为的超额收益低于服从管理的成本,且不安全行为可能的损失高于可以实施不安全工作行为获得的超额收益且 $S^* \in (0, P_0)$ 时,当安全工作行为相较于不安全工作行为的超额收益虽然高于服从管理的成本,但不安全工作行为可能的损失高于可以实施不安全工作行为获得的超额收益且 $S^* \in (1, +\infty)$ 时,安全公民行为的改进可导致安全绩效的改进。

定理1 项目施工方安全绩效与是否有安全公民行为关系复杂,不安全工作行为相较于安全工作行为可能的损失高于实施不安全工作行为获得的超额收益是员工安全总收益随安全公民行为同向改变的充分而非必要条件。

求项目最佳收益点,式(4)对 S 求得

$$\frac{dY_2}{dS} = P_1L_1 - P_2L_2K + P_1HK - P_0HKS^{-2} \quad (16)$$

式(8)求极值点,则

$$\begin{aligned} & \frac{dY_2}{dS} = 0 \\ & S^* = \pm \sqrt{\frac{P_0HK}{P_1L_1 - P_2L_2K + P_1HK}} \quad (17) \end{aligned}$$

对式(4)求二阶导数得

$$\frac{d^2Y_2}{d^2S} = 2P_0HKS^{-3} > 0 \quad (18)$$

由式(10)可知, Y_2 为开口向上的凸函数,故 S^*

为函数最小值.

当 $S^* \in (0, P_0)$ 时

$$P_0 < 0 \cup P_0 > \frac{HK}{P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_1 HK} \quad (19)$$

当 $S^* \in [P_0, 1]$ 时

$$0 \leq P_0 \leq \min\left(\frac{HK}{P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_1 HK}, \frac{P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_1 HK}{HK}\right) \quad (20)$$

此时区间最大值处于边界点, 则

$$X_2(P_0) = (P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_1 HK)P_0 + HK - C_1 - R_1 - R_2 \quad (21)$$

$$X_1(1) = P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_1 HK + P_0 HK - C_1 - R_1 - R_2 \quad (22)$$

当 $S^* \in (1, +\infty)$ 时

$$P_0 > \frac{P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_1 HK}{HK} \quad (23)$$

为讨论 S^* 所在区间的三种情形对函数最大值的影响, 须讨论员工不安全工作行为给管理层带来的绩效 $P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_0 HK$ 与员工安全工作行为给管理层带来的绩效 $P_0 HK$ 的关系.

当 $P_1 L_1 > P_2 L_2 K + (1 - P_1)HK$ 时, 则有

$$\frac{HK}{P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_1 HK} < \frac{P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_1 HK}{HK}$$

此时 $S^* \in (0, 1]$ 有意义, 项目安全绩效函数在 $S=1$ 点取最大值, 此时 $X_{2\max} = X_2(1) = P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_1 HK + P_0 HK - C_1 - R_1 - R_2$. $S^* \in (0, P_0)$ 时, X_2 是关于 S 的单调增函数; $S^* \in [P_0, 1]$ 时, X_2 是关于 S 的先减后增的函数, 最小值点为 S^* . $X_{2\max} = X_2(1)$ 时, 根据式 (5), 安全公民行为的程度 Z 为完全不作为时项目安全绩效最高. 这种结果的根源在于项目对施工人员的不安全工作行为被抓到的处罚要高于施工人员不安全工作行为产生后果给项目管理带来的损失, 以及除不安全工作行为被抓到的施工人员之外所有施工人员给项目管理带来的安全收益之和, 因而出现安全管理的逆向选择, 抑制了安全公民行为. 对于绝大多数企业而言, 首先, 冒着出现大量安全事故的风险对被抓到的施工人员不安全工作行为进行处罚不是企业的安全管理目标; 其次, 被罚施工人员的工资是不是足够承担这么重的处罚, 施工人员是否会自适应降低不安全工作行为, 实际情形可能存在多变量共同作用而使绩效变化更加复杂.

当 $P_1 L_1 < P_2 L_2 K + (1 - P_1)HK$ 时, 则有

$$\frac{HK}{P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_1 HK} > \frac{P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_1 HK}{HK}$$

此时 $S^* \in [P_0, +\infty)$ 有意义, 项目安全绩效函数在 $S=P_0$ 点取最大值, 此时 $X_{2\max} = X_2(P_0) = (P_1 L_1 - P_2 L_2 K + P_1 HK)P_0 + HK - C_1 - R_1 - R_2$. $S^* \in (1, +\infty)$ 时, X_2 是关于 S 的单调减函数; $S^* \in [P_0, 1]$ 时, X_2 是关于 S 的先减后增的函数, 最小值点为 S^* . $X_{2\max} = X_2(P_0)$ 时, 根据式 (5), 安全公民行为的程度 Z 为最高时项目安全绩效最高.

将式 (17) 代入区间, 可知 $S^* \in (1, +\infty)$ 表示管理层管理遵守规章安全工作的员工绩效大于管理不安全工作员工绩效的情形; 相应地 $S^* \in (0, 1)$ 表示管理层管理遵守规章安全工作的员工绩效小于管理不安全工作员工绩效的情形. 管理层希望的是大部分安全绩效应当是安全工作的员工带来的绩效, 绝大多数情形下安全公民行为的程度与项目安全绩效完全正相关.

定理 2 企业以生产安全为安全管理中心目标, 安全工作员工安全绩效大于不安全工作员工安全绩效的项目安全公民行为对安全绩效正相关; 在不安全工作员工安全绩效大于安全工作员工绩效的项目安全公民行为对安全绩效部分负相关. 在不考虑员工自适应做出相应改变的前提下, 以生产安全处罚为安全管理中心目标的项目安全公民行为对安全绩效部分负相关.

X_2, Y_2 分别对 P_0, S 求偏导

$$\frac{\partial X_2}{\partial (P_0, S)} = -C_2 - G + H \quad (24)$$

$$\frac{\partial Y_2}{\partial (P_0, S)} = HK \quad (25)$$

由式 (24) 和 (25) 可知, 由于 $HK > 0$ 恒成立, 当 $H > C_2 + G$ 时, 两函数均为单调增函数, 项目施工方和项目管理方二者的利益是一致的, 都能够通过安全公民行为提升自身的安全绩效. 当 $H = C_2 + G$ 时, 项目中安全公民行为是否实施对项目施工方无影响, 对项目管理方有积极影响. 当 $H < C_2 + G$ 时, X_2 为 P_0, S 的单调减函数, Y_2 为 P_0, S 的单调增函数, 此时项目施工方和项目管理方对安全公民行为是有利益冲突的.

综合上述观点认为: ①提升施工人员安全工作收益是提升安全公民行为意愿, 最终提升安全绩效最主要的手段. 而提升施工人员的安全风险传递给管理人员的比例仅对项目管理方有积极影响, 而无法改变当安全工作收益低于服从管理成本和不安全工作行为收益之和时项目施工方和项目管理方的矛盾. ②降低施工人员服从管理的成本和施工人员不安全工作行为的收益可以增加项目施工方实施安全

公民行为的意愿,有效统一项目施工方和管理方的利益,才能取得更高的安全绩效。

定理3 项目施工方是安全公民行为实施过程中最需要重视的利益相关方,提升施工人员安全工作收益是项目施工方和项目管理方提升安全绩效的关键变量。

项目要通过项目内安全公民行为的方式增加安全绩效,则需要函数拐点 S^* 随之增加,根据式(7),在其他条件不变的前提下, $S^* \propto P_0$, $S^* \propto H$, $S^* \propto K$, $S^* \propto 1/P_1$, $S^* \propto 1/L_1$, $S^* \propto P_2$, $S^* \propto L_2$,故有以下定理。

定理4 服从指令的项目团队成员越多,项目管理层与施工人员安全关联度越高,施工人员安全施工受到的奖励越大或不安全施工受到的惩罚越重,安全事故伤亡越多越惨重或不安全施工受到的惩罚越重的施工现场,越可能通过安全公民行为的方式增加安全绩效。

服从指令的项目团队成员较多,使得项目团队内部容易形成安全文化,而实证研究表明安全文化可以调节安全公民行为影响安全绩效^[15-16]。项目管理层与施工人员安全关联度增加会使项目安全绩效对安全事故更为敏感,安全公民行为能减少安全绩效波动风险,进而增加安全绩效。安全施工获得的利益不仅包括施工人员工作不受伤的收益,还包括持续安全施工的奖励。通过随时间递增式的安全施工奖励机制,使得施工人员不安全工作行为实施的机会成本越来越大,而将施工人员所有的安全利益捆绑于每一个施工人员,这与施工人员角度出发的定理1结论一致。进一步地,可以认为,项目管理方夸大安全事故伤亡的数量和惨重程度以及增加惩罚力度均有利于通过安全公民行为的方式增加安全绩效。这与施工人员角度出发的定理1结论一致。

3 模型的仿真验证

模型构建和求解过程中,将发生安全事故的概率、不安全工作行为被抓住的概率、遵守安全工作行为的概率、安全事故的损失等分别设置成一个变量,而这些变量在实际运行过程中往往是偶然波动、动态变化且难以预测的,其分布的区间跨越上述可行域的多个区间,使得问题变得更加复杂,故采用一个真实的案例背景,采用蒙特卡罗模拟,讨论动态环境下安全公民行为对安全绩效的影响。

根据无锡市高新区中多项目群安全管理的实践

统计结果,选取2013年7月到2014年8月期间数据完整的标段共120段,从观测数据得到标段不安全工作行为被抓住的概率 P_1 满足指数分布,标段不安全工作行为被抓住的极端概率为25%;标段发生事故为偶然事件,服从概率0-1分布, P_2 为1的概率为0.0001;标段遵守安全工作行为的概率 P_0 为0.6。通过确定安全风险调节系数 S 进而确定 P_0/S 的值,当 $S=0.6$ 时,员工服从安全规章最为理想,安全公民行为使员工完全服从,但这种情形是理想情形,由于不安全工作行为被抓住的极端概率为25%,故 $P_0/S \leq 0.75$,故 $S=0.8$;当 $S=1$ 时,安全公民行为有无不影响安全绩效;当 $S>1$ 时,安全公民行为负向影响安全绩效。根据项目规章要求,当安全隐患被发现,对当事人给予200元的处罚,故 $L_1=200$;对于已有事故损失 L_2 统计得到其满足三角分布,最小值为20万元,最大值为100万元,最高频率为500000的分布;项目标段按规模管理成本 $C_1=20$ 万元,员工服从管理的成本 $C_2=1$;员工奖惩对管理层的传导系数为0.3,按项目标段规模、组织结构、安全规章的投入 $R_1=50$ 万元,安全文化、安全氛围的投入 $R_2=10$ 万元。当不安全工作行为获得的收益 G 大于安全工作行为获得的收益时,假设员工不安全工作行为获得的收益满足一个最小值为100元,最大值为900元,最高频率为500的三角分布,员工安全工作行为获得的收益满足一个最小值为10元,最大值为50元,最高频率为20的三角分布。当安全工作行为获得的收益 G 小于安全工作行为获得的收益 H 时,假设员工不安全工作行为获得的收益同前面一致,员工安全工作行为获得的收益满足一个最小值为1000元,最大值为5000元,最高频率为2000的三角分布。分别模拟不安全工作行为收益大于安全工作行为收益时和安全工作行为收益大于不安全工作行为时,由于蒙特卡罗模拟本身收敛较慢,故每种情境模拟5000次,模拟结果分别如图2、表2、图3和表3所示。

表2 不安全收益大时成员和项目的安全绩效期望

Tab.2 Safety performance average of member and project with more unsafety benefits

S 值	P_0/S	绩效/元	
		成员	项目
0.8	0.75	77.17	-799 998.92
1.0	0.60	129.68	-800 001.91
1.5	0.40	177.15	-800 008.32
2.0	0.30	188.38	-800 010.41

模拟实证研究结果表明:①在成员不安全收益大于安全收益的情形下,安全公民行为的增加会增

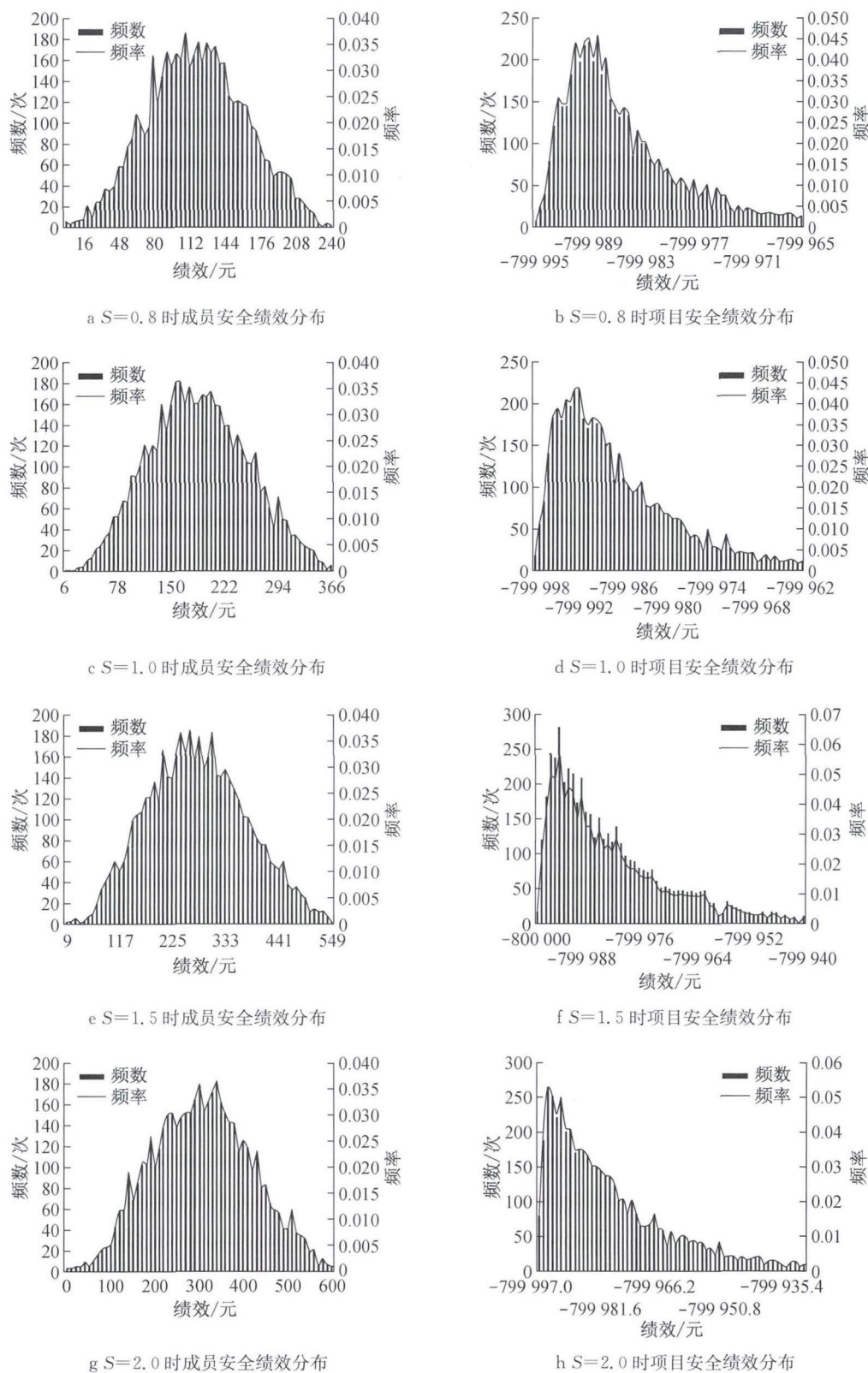


图2 不安全收益大时成员和项目的安全绩效概率分布

Fig.2 Safety performance probability distribution of member and project with more unsafety benefits

加项目的收益,但却会减少成员收益;而在成员安全收益大于不安全收益的情形下,安全公民行为的增加会增加项目的收益,也会增加成员的收益;②在成

员不安全收益大于安全收益的情形下,项目安全绩效波动要小于成员安全收益大于不安全收益的情形下的项目安全绩效;③由于项目本身存在大量对项

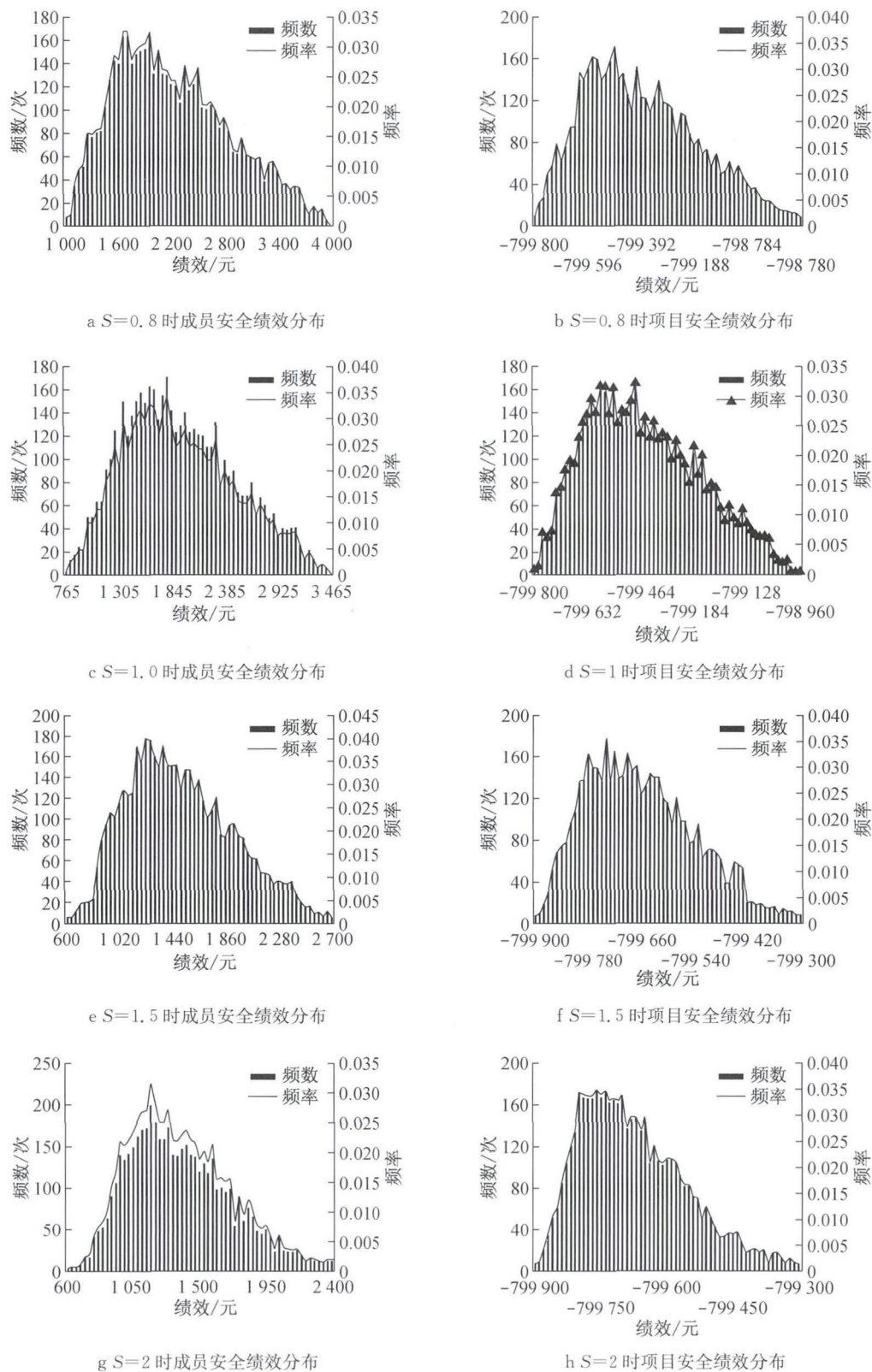


图3 安全收益大时成员和项目的安全绩效概率分布

Fig.3 Safety performance probability distribution of member and project with more safety benefits

目安全的固定投入,故成员安全绩效的波动要大于项目安全绩效。

表3 安全收益大时成员和项目的安全绩效期望
Tab.3 Safety performance average of member and project with more safety benefits

S 值	P_0/S	绩效/元	
		成员	项目
0.8	0.75	2 136.43	-799 381.13
1.0	0.60	1 817.67	-799 495.55
1.5	0.40	1 395.50	-799 642.77
2.0	0.30	1 202.78	-799 706.21

4 结论

基于理论建模对安全公民行为的研究目前尚处于起步阶段. 本文分别基于被管理方和管理方两个角度共同作用, 构建并求解模型研究安全公民行为积极影响项目安全绩效的边界条件和促进安全公民行为的影响因素. 对于厌恶安全风险的项目管理人员和施工人员, 与组织公民行为不同, 安全公民行为能够促进安全绩效的提升, 这与大多数安全公民行为实证的研究结论相似^[4, 13]. 施工人员喜好安全风险偏好会使部分情形下安全公民行为对安全绩效呈消极关系, 实证研究中认为风险较大的项目中, 个别员工处于危险之中时, 安全公民行为反而会连累帮助其他员工的员工, 会增加项目的安全风险, 与本研究结论一致^[13]. 此外, 施工人员服从命令的程度、项目管理层与施工人员安全关联度、施工人员安全施工的奖惩程度均与安全绩效正相关, 训练施工人员服从项目管理, 增加项目安全在项目管理层绩效的权重, 提高安全施工的奖励程度和惩罚程度等措施可提高安全公民行为进而提高安全绩效. 提升施工人员安全工作收益是提升安全绩效的内在动力. 然而, 由于条件限制, 本文并未考虑其他干扰因素, 如安全心理预期、政府行政监管责任等对安全公民行为实施过程中所产生的影响, 亦未就安全公民行为对项目安全绩效的影响进行相应的实证研究, 这是后期亟需解决的问题.

参考文献:

- [1] Biggs H C, Biggs S E. Interlocked projects in safety competency and safety effectiveness indicators in the construction sector[J]. *Safety Science*, 2013, 52:37.
- [2] Han S, Lee S. A vision-based motion capture and recognition framework for behavior-based safety management [J]. *Automation in Construction*, 2013, 35:131.
- [3] Hofmann D A, Morgeson F P, Gerrass S J. Climate as a

moderator of the relationship between leader-member exchange and content specific citizenship: Safety climate as an exemplar [J]. *Journal of Applied Psychology*, 2003, 88(1):170.

- [4] Diddle S, Mearns K, Flin R. Safety citizenship behaviour: A proactive approach to risk management [J]. *Journal of Risk Research*, 2009, 12(3):475.
- [5] Christian M S, Bradley J C, Wallace J C, *et al.* Workplace safety: A meta-analysis of the roles of person and situation factors [J]. *Journal of Applied Psychology*, 2009, 94(5):1103.
- [6] Sampson J M, Dearmond S, Chen P Y. Role of safety stressors and social support on safety performance [J]. *Safety Science*, 2014, 64:137.
- [7] Dearmond S, Smith A E, Wilson C L, *et al.* Individual safety performance in the construction industry: Development and validation of two short scales [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2011, 43(3):948.
- [8] 周国华, 张羽, 李延来, 等. 基于前景理论的施工安全管理行为演化博弈 [J]. *系统管理学报*, 2012(4):501.
ZHOU Guohua, ZHANG Yu, LI Yanlai, *et al.* Evolutionary game analysis of the behavior of construction safety management based on prospect theory [J]. *Journal of System & Management*, 2012(4):501.
- [9] 曹庆仁, 曹明, 李爽, 等. 双重委托代理关系下煤矿安全管理者激励模式 [J]. *系统管理学报*, 2011, 20(1):10.
CAO Qingren, CAO Ming, LI Shuang, *et al.* The incentive for coalmine safety managers under double principal-agent relationship [J]. *Journal of System & Management*, 2011, 20(1):10.
- [10] 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.
ZHOU Min, XIAO Zhonghai. Analysis of safety supervision effect on coal mine using game theory [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2006, 35(1):54.
- [11] Tucker S, Turner N. Young worker safety behaviors: Development and validation of measures [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2011, 43(1):165.
- [12] Zhang M, Fang D. A continuous behavior-based safety strategy for persistent safety improvement in construction industry [J]. *Automation in Construction*, 2013, 34:101.
- [13] Burt C D B, Banks M D, Williams S D. Safety risks associated with helping others [J]. *Safety Science*, 2014, 62:136.
- [14] 裴斐然. 煤矿行业员工的安全公民行为: 影响因素与作用机制 [D]. 广州: 暨南大学, 2013.
PEI Feiran. The study on safety citizenship behavior and related factors of staff in coal trade [D]. Guangzhou: Ji'nan University, 2013.
- [15] Lee T Z, Wu C H, Hong C W. An empirical investigation of the influence of safety climate on organizational citizenship behavior in Taiwan's facilities [J]. *Int J Occup Saf Ergon*, 2007, 13(3):255.
- [16] Hofmann D A, Morgeson F P, Gerrass S J. Climate as a moderator of the relationship between leader-member exchange and content specific citizenship: Safety climate as an exemplar [J]. *Journal of Applied Psychology*, 2003, 88(1):170.