

恐怖袭击事件的防御资源分配问题

丁雪枫

(上海大学 管理学院, 上海 200444)

摘要: 在考虑防御资源可能有限的情况下, 提出将零和博弈的思想运用于恐怖袭击事件的风险评价问题中. 采用定量分析方法, 利用目标损失概率模型对各被袭目标的有限资源配置进行决策, 分析模型中各关键参数的确定方法, 探讨袭击资源、防御资源的最优分配方案. 以城市地铁站点为例, 对各站点风险等级定性评估, 计算和比较不同防御资源下各目标的损失概率, 确定有限防御资源下目标资源分配的最优方案, 并验证所提出方案的实用性和有效性.

关键词: 恐怖袭击; 零和博弈; 袭击资源; 防御资源; 风险等级

中图分类号: F237

文献标志码: A

Defense Resource Optimal Allocation Problem of Sudden Terrorism Attack Incident

DING Xuefeng

(School of Management, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: In consideration of limited defense resources, an idea based on zero-sum game was proposed to solve the problem of risk assessment for terrorism attacks. With quantitative analysis, a damage probability model was used to make decisions for attack targets under the limited resources. By analyzing the calculation method of key parameters of the model, an optimal resource allocation scheme was achieved. Finally, taking the target for urban subway stations as an example, through risk level qualitative assessment of the stations, loss probabilities of each target were calculated and compared under different defense resources to determine the optimal resource allocation scheme. The results show that the proposed scheme is practical and effective.

Key words: terrorism attack; zero-sum game; attack resource; defense resource; risk grade

近年来, 国际恐怖主义在世界各地制造了多起针对平民的恐怖袭击事件, 并带来了严重的后果. 美国、英国、俄罗斯、印尼、印度等国家, 都经历了国际恐怖主义的浩劫. 我国面临的恐怖主义威胁风险正在不断提高^[1].

目前对于恐怖袭击事件爆发的准确信息还很难预测, 但并不意味着恐怖袭击事件完全不可控. 由恐怖袭击事件发生的特点和海因里希事故理论可知, 只要消除或扼制容易或可能引发恐怖袭击事件的潜在事件, 就可以控制或降低由其引发或导致的更严重事故的发生. 但由于恐怖袭击事件具有复杂、多样、突发的特点, 在还无法准确预测袭击发生的时间、地点、人数、手段和在防御资源有限的情况下^[2], 为降低恐怖袭击造成的巨大损失, 需要将有限的防御资源进行合理且有效的配置, 采用科学的方法和手段, 对可能或容易引发恐怖袭击事件发生的潜在被袭目标进行风险分析与评价, 根据其对目标造成的损失严重程度实现有限防御资源的最优分配.

从现有文献来看, 对恐怖袭击事件的研究大多是从理论或定性的角度对恐怖袭击事件发生的机理展开探讨, 针对恐怖袭击事件资源分配的模型和方法的研究十分有限. 李本先等^[1]针对恐怖突发事件下恐惧传播的演化过程, 应用平行系统的思想, 采用仿真软件构建了恐惧传播演化的人工系统. 田云霞^[3]研究了恐怖袭击对地区未来安定与经济发展造成的危害性, 建立了危害性估算模型, 并就主要因素进行了分析. 赵国敏等^[4]以地铁线路上的 22 个车站为例, 应用目标损失概率模型定量分析了恐怖袭击风险, 通过防御资源变化得到了不同目标损失概率. 王振等^[5]采用定量分析方法对数据进行处理, 得出最可能的袭击目标、威胁属性, 确定出袭击幕景, 并以体育馆为例进行实例分析. 孙多勇等^[6]运用系统

收稿日期: 2014-08-14

基金项目: 教育部人文社科研究项目(13YJC63-23); 上海市优秀青年教师科研专项基金; 上海市博士后科研资助项目(11R21416300); 中国博士后科学基金(2012M510892); 国家自然科学基金(71272047); 浦江人才资助项目(13PJC100)

第一作者: 丁雪枫(1980—), 女, 讲师, 管理学博士, 主要研究方向为管理理论与工业工程、公共安全事件应急管理.

E-mail: athena_shu@shu.edu.cn

学相关理论分析了恐怖组织生存、演化、发展的过程,重点考察了不同资源对恐怖活动的影响,建立了恐怖组织网络的动态仿真模型.韩传峰等^[7]针对反恐设施选址问题,构建了完全信息非合作动态博弈模型,讨论单个设施点和离散选取多个设施点的不同情形,应用遗传算法对其进行求解.刘明等^[8]引入协同决策理论与方法,在生物危险源扩散网络与应急物流网络协同机制方面,分析了生物危险源扩散演化方法和应急资源时变需求预测模式,并提出生物反恐应急协同决策模式.

本文结合恐怖袭击事件的特点,探索其发生规律和影响后果,基于风险理论及博弈理论,研究在防御资源有限的情况下,通过引入目标损失概率模型对潜在被袭目标进行定量风险评价,使得防御资源达到最优分配.在应用方面,选择极易成为恐怖分子袭击目标并会造成巨大人员和财产损失的城市地铁站点为研究对象,通过对实例进行计算,验证所提出方案的合理性和有效性.

1 问题描述

从事故危险源的角度来看,恐怖袭击风险与自然风险存在很大差异.前者的危险源来自于恐怖分子的主观意识,是故意策划、制造并实施的恐怖行为,属于主观故意性致因,恐怖袭击风险反映了人的智能与意图^[4].这里,假设有 N 个袭击目标,每个目标的目标值用 V_i 表示($i=1,2,\dots,N$);每个恐怖袭击分子拥有 A_T 个袭击资源,袭击者对其所选择的袭击目标进行分配的袭击资源用 A_i 来表示;每个防御者拥有 D_T 个防御资源,在袭击者对目标 i 实施袭击时,防御者必须对该目标分配多少防御资源 D_i 做出决策;目标 i 所遭受的全部损失用概率函数 $P(V_i, A_i, D_i)$ 表示.

1.1 零和博弈

零和博弈(zero-sum game)源于博弈理论,也称为零和游戏或游戏理论.它是指一项游戏中,游戏者必有输有赢,一方赢则意味着另一方输,如果将获胜记为 1 分,输则记为 -1 分.如果对弈的 A 和 B 双方, A 方获胜得分为 n 分,则 B 方输掉的分数一定为 $-n$ 分;如果 A 方输了一 m 分,则 B 方获胜的得分一定也为 m 分.可得, A 方的总得分为 $(n-m)$, B 方的总得分为 $(m-n)$.显然, $(n-m) + (m-n) = 0$, 即游戏的总成绩永远为 0.

零和博弈可以很好地应用于恐怖袭击事件中的

风险分析问题.恐怖袭击者要袭击的目标具有各自不同的目标值(如地理位置、人口数量等),博弈的主体主要是恐怖袭击者与防御者,恐怖袭击者具有一定的袭击资源,而防御者具备一定的防御资源.恐怖袭击者和防御者的博弈体现于对各自资源在多个目标分配上所做出的决策,两者之间的资源分配对弈可以认为是恐怖袭击者资源损失为正支付、防御者资源损失为负支付的期望损失 E 的一个零和博弈,其公式可表示如下:

$$E = \sum_i V_i P(V_i, A_i, D_i) \quad (1)$$

式中: E 表示期望损失.

1.2 袭击损失概率模型

当恐怖袭击者以一定的袭击资源对某个目标实施袭击时,防御者会以一定的防御资源对目标进行防御,被袭目标受到的损失概率模型可以表示为^[9]

$$P(V_i, A_i, D_i) = \frac{E}{V_i} = \frac{A_i}{A_i + V_i} \exp\left(-\frac{A_i D_i}{\sqrt{V_i}}\right) \quad (2)$$

恐怖袭击者总是期望以一定袭击资源袭击目标时 E 值越大越好,而防御者则期望以一定防御资源对目标防御时目标所受的 E 值越小越好.对于被防御的受袭目标,如果其中存在防御 E 值大于其他目标防御 E 值时,则需要从较低 E 值目标向较高 E 值目标转移防御资源,直到 E 值达到平衡,两者相等为止,即 $E = E^{(0)}$, $E^{(0)}$ 为平衡期望损失.图 1 给出了不同防御资源的情况下,袭击资源与成功袭击概率之间的关系.

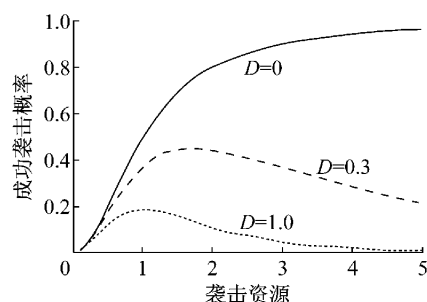


图1 袭击资源与成功袭击概率之间的关系图

Fig.1 Relationship between attack resources and probability of success

损失概率模型为防御者如何有效分配有限的防御资源提供决策支持,即当被袭目标的期望损失值达到 $E^{(0)}$ 值时,对被袭目标所造成的损失最大,应优先选择该期望损失值下的目标分配资源,以降低恐怖袭击造成的损失.同时,当损失概率模型的期望损失达到 $E^{(0)}$ 值时,所对应的 $D^{(0)}$ 值和 $A^{(0)}$ 值即是对目标 i 所分配的最优防御资源量和最优袭击资源.

1.3 模型中关键参数的确立

(1) 平衡期望损失 $E^{(0)}$

在恐怖袭击信息很难预测的情况下,防御者的防御资源有限,为了尽可能降低袭击造成的损失,需要将防御资源在被袭目标之间进行合理分配.对于期望损失 E ,只要所有被袭目标中,存在一个目标的期望损失值大于其他目标,则防御者就可以将分配给其他目标的防御资源转移给该目标,当受袭目标的袭击损失与防御损失达到相等的时候,则认为此时的期望损失 E 值达到平衡,即得到 $E^{(0)}$. 平衡期望损失 $E^{(0)}$ 为防御者优先选择哪些被袭目标来分配防御资源提供了合理的决策支持,对于受袭造成比较大损失的那些被袭目标,其期望损失值是相等的,在进行防御资源分配时,优先选择期望损失值为 $E^{(0)}$ 的目标进行分配,并按目标的 E 与 $E^{(0)}$ 之间差值的升序顺序选择被袭目标来分配资源.由此可得,为被袭目标分配防御资源时优先顺序是根据各目标的期望损失值与平衡期望损失值之间的差值,即各目标被袭所造成损失的大小进行分配决策.

(2) 最优袭击资源 $A^{(0)}$

当目标值 V 、防御资源 D 的值确定的情况下,对于恐怖袭击者来说,对应着一个最优袭击资源 $A^{(0)}$,即使可以使被袭目标损失造成最大时的袭击资源值.假设 P_i 表示目标 i 被袭击的概率, k 为量纲一常数,则有

$$P_i = \frac{-k}{V_i \frac{\partial}{\partial D_i} P(V_i, A_i, D_i)} = \frac{k}{V_i A_i^{(0)} E^{(0)} V_i^{\frac{3}{2}}} = \frac{k \sqrt{V_i}}{A_i^{(0)} E^{(0)}} \quad (3)$$

式(3)中, $A^{(0)}$ 为最优袭击资源,可用如下公式求解:

$$A^{(0)}(V_i, D_i) = \frac{V_i^{\frac{3}{2}}}{D_i} + \frac{1}{9} \sqrt{V_i^3 + 27 \frac{\sqrt{3} V_i^3}{D_i^2}} - \frac{1}{3} \frac{V_i}{\frac{V_i^{\frac{3}{2}}}{D_i} + \frac{1}{9} \sqrt{V_i^3 + 27 \frac{\sqrt{3} V_i^3}{D_i^2}}} \quad (4)$$

在理想状态下,假如恐怖袭击者对目标实施袭击时目标没有任何防御,即 $D=0$,则目标的损失概率为1,此时 $P(V_i, A_i, D_i)$ 可以理解为是避开防御监控时的损失概率.由式(3)可得,对于恐怖袭击者来说,要保证在避开防御监控情况下对目标成功实施袭击,则对目标分配的袭击资源近似等于目标值的开方.此时恐怖袭击者的最优决策方案是使用全部 A_T 个袭击资源对目标实施袭击.当 $0 < D \leq 1$ 时,恐怖袭击者成功袭击目标的概率在最优袭击资源 $A^{(0)}$

处达到最大,之后会随着袭击资源的增多而逐渐降低.这是由于防御者会对目标分配的袭击资源进行判断,并对目标分配防御资源,使得 E 值达到 $E^{(0)}$.

(3) 最优防御资源 $D^{(0)}$

如果最优袭击资源 $A^{(0)}$ 的值已知,设 $D^{(0)}$ 表示最优袭击资源情况下的最优防御资源,则对于所有的被袭目标 i ,由式(2)可得

$$P(V_i, A_i, D_i) = \frac{E}{V} = \frac{(A^{(0)})^2}{(A^{(0)})^2 + V} \exp\left(-\frac{1}{\sqrt{V}} A^{(0)} D\right) \quad (5)$$

再由式(4)和(5),可得

$$D^{(0)} = \frac{\sqrt{V_i}}{A^{(0)}} \ln\left(\frac{V_i}{E} \frac{(A^{(0)})^2}{(A^{(0)})^2 + V_i}\right) \quad (6)$$

(4) 目标损失概率 $P(V_i, A_i, D_i)$

已知被袭目标 i 的目标值 V_i ,先假定一个 E 值,由式(4)和式(6)可以计算出 $D^{(0)}$,再不断调整对 E 的值,直到 $D^{(0)}$ 之和等于 D_T 为止,此时 E 值对应的即为 $E^{(0)}$.由式(4)和(2)就可以计算出 $A^{(0)}$ 的值,以及目标 i 的损失概率 $P(V_i, A_i, D_i)$ 的值.

2 实例分析

地铁是城市交通的大动脉,人员密集程度很高,尤其是中大型城市的地铁系统,恐怖分子选择地铁站点作为袭击目标与其全线性、连带性、局限性、群体性的特征密切相关.

本文以上海市轨道交通3号线为研究对象.3号线南起上海南站,北至江杨北路,线路跨越六个区,多处站点与其他轨交线换乘,途径上海南站、上海火车站、中山公园、宜山路、曹杨路、宝山路、长江南路、赤峰路、江湾镇等客流量较大的站点.假设各个站点为恐怖袭击的潜在目标,即目标个数 N 为29.为了研究遭受恐怖袭击目标的目标防御资源最优分配,先从定性角度对各站点遭受恐怖袭击的风险等级进行划分,然后在此基础上,利用第1节提出的方法,从定量角度对目标损失概率模型进行计算,对各个被袭目标的防御资源配置做出决策.

对于每个目标站点遭受恐怖袭击风险大小的量化计算,可以采用包含目标的易受攻击性 G 和恐怖袭击造成的损失严重性 S 两个参量的函数进行表述.设 R_s 表示目标站点所遭受的恐怖袭击的风险,则有^[9-10]

$$R_s = f(G, S) \quad (7)$$

对于目标来说,目标的规模越大,人流量越多,

则对于恐怖袭击者越有吸引力,目标越容易遭受到攻击.对地铁各站点,设 h 表示地铁的人员密度, a 表示地铁的财产密度, F 表示地铁的功能重要性, j 表示地铁政治意义重要性, X 表示目标对恐怖袭击者的吸引力,则有 $X = haFj$. 对于地铁设施来说,设 t_d 表示地铁设施保护系统的拖延时间, t_r 表示地铁设施保护系统的响应时间, Y 表示地铁设施系统的有效性指数,则有 $Y = t_d/t_r$. 地铁目标站点的易受攻击性 G 可以表示为 $G = X/Y$. 地铁站点的易受攻击性可以划分为四个等级,各等级定义如表 1 所示.

表 1 地铁站点的易受攻击性等级

Tab.1 Levels of metro site attack vulnerability

等级	定义
很高	全国性设施,是对恐怖袭击者极有吸引力的攻击目标,且目标所具备的防御水平不足
高	地区性设施或中等规模的国家设施,对恐怖袭击者有一定的吸引力,且现有防御水平一般
中	地区外设施,公众认知度一般,对恐怖袭击者而言属于潜在攻击目标,且现有防御水平基本适当
低	小规模设施,对恐怖袭击者而言是一种可能的攻击目标,且现有防御水平较高

地铁各站点在遭受恐怖袭击的过程中必然会有人员伤亡或者固定设施的损坏,可以用损失严重性 S 来对其进行表述. 设 S_h 表示现场人员伤亡的严重性, S_a 表示固定设施损坏严重性, S_i 表示固定设施的间接影响严重性,则有 $S = S_h + S_a + S_i$. 地铁站点的损失严重性可以划分为四个等级,各等级的定义如表 2 所示.

各地铁站点遭受恐怖袭击的风险大小可以用各站点的易受攻击性等级和遭受到恐怖袭击的损失严重性等级构成的关联矩阵来表示. 设 H 表示遭到恐

表 2 地铁站点损失严重性等级

Tab.2 Levels of metro site loss severity

等级	定义
毁灭性的	地铁站点固定设施遭到恐怖袭击后被彻底破坏,造成大量人员伤亡,大部分财产被破坏且无法修复
严重的	地铁设施遭到部分破坏,大体保持完整,且造成大量人员伤亡. 站点内的一些财产因损坏而无法修复,整个站点需要关闭两周或者更长的时间进行修复
明显的	地铁设施大部分未受到影响,部分人员受轻伤,有一定的财产损失,站点暂时关闭或停止运营的时间不超过一天
轻度的	地铁站点没有遭受到明显影响,无人员伤亡,无主要财产损失,站点失控不超过四小时

怖袭击的地铁站点处于高风险,应当尽快采取降低风险的防范措施; M 表示遭到恐怖袭击的地铁站点处于中等风险,应在最近的将来采取降低风险的防范措施; L 表示遭到恐怖袭击的地铁站点处于低风险,采取降低风险的防范措施可以提升安全性,但没有高、中风险要求迫切,则遭到恐怖袭击站点的风险水平矩阵如表 3 所示.

表 3 地铁站点遭到恐怖袭击的风险水平等级矩阵

Tab.3 Risk level grade matrix of metro site when encountering terrorism attacks

损失严重性等级	易受攻击性			
	很高	高	中	低
毁灭性的	H	H	H	M
严重的	H	H	M	L
明显的	H	M	M	L
轻度的	M	M	L	L

根据上述地铁站点遭受恐怖袭击的风险评价方法,可以得出上海地铁 3 号线各站点的风险水平等级大小,如表 4 所示.

表 4 地铁 3 号线各站点的风险水平等级分析

Tab.4 Analysis of each metro line 3 station risk level grade

上海南站(27)	石龙路(14)	龙漕路(13)	漕溪路(23)	宜山路(26)	虹桥路(25)	延安西路(12)
H	M	M	M	H	H	M
中山公园(28)	金沙江路(11)	曹杨路(22)	镇坪路(21)	中潭路(20)	上海火车站(29)	宝山路(19)
H	M	M	M	M	H	M
东宝兴路(18)	虹口足球场(17)	赤峰路(16)	大柏树(15)	江湾镇(24)	殷高西路(10)	长江南路(9)
M	M	M	M	H	M	M
淞发路(7)	张华浜(6)	淞滨路(5)	水产路(8)	宝杨路(4)	友谊路(3)	铁力路(2)
L	L	L	M	L	L	L
						江杨北路(1)
						L

根据各站点目标不同的风险水平等级,对各站点进行编号(表 4 中的数字),并计算每个站点目标值. 各站点的目标值可用如下公式求解: $V_i = 1 \times 1.5^{i-29}$ ($i=1,2,\dots,29$). 考虑防御资源数量分别为 10, 20, 50 的情况,根据式(2), (4) 和(5) 计算各站点的目标损失概率值,结果如图 2 所示.

恐怖袭击事件发生前对于恐怖袭击者攻击的目标所能获取到的信息有限,因此恐怖袭击者将会以多少资源去攻击目标都是未知的. 如果防御资源有限,就可能不是所有被袭目标都会被分配到防御资源,此种情况下,应按照各地铁站点的风险等级水平大小来分配防御资源. 由图 2 可得,如当 $D_T = 10$ 时,

目标1~21都没有被分配到防御资源;如当 $D_T=20$ 时,目标1~19时都没有被分配到防御资源;当 $D_T=50$ 时,目标1~16没有被分配防御资源。

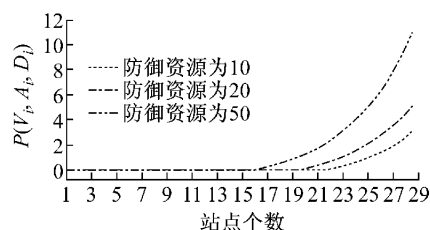


图2 各站点目标损失概率值

Fig.2 Target loss probability value of each station

事实上,随着防御资源数量越来越多,被分配防御资源的目标也会随之增多。理想状态下,如果防御者具有足够多的防御资源,则无论袭击者以何种数量的袭击资源对各个目标实施攻击,防御者都可以对所有被袭目标分配防御资源,此时受袭损失最小。但在实际情况下,多数时候防御者的资源有限,当恐怖袭击者对目标实施攻击时,为了尽可能降低受袭造成的损失,防御者需要综合判断被袭目标的实际情况,依据各被袭目标的风险等级水平高低,对被袭目标分配资源的先后次序、数量等做出最优分配方案。

3 结语

恐怖袭击事件具有突发性、隐蔽性强的特点,由于其发生的具体时间、地点、手段很难预测,恐怖袭击事件一旦发生,会造成巨大的人员伤亡,并带来重大的经济损失和严重的社会影响,因此研究在防御资源有限的情况下,对被袭目标所分配的防御资源进行合理分配有助于降低袭击所造成的巨大损失,具有十分重要的现实意义。结合风险理论的相关评价方法对潜在受袭目标受袭风险进行定性分析,并运用零和博弈的思想,提出了利用被袭目标的损失概率模型对被袭目标所分配的防御资源进行最优决策的方法,并对模型中关键参数的确定进行了探讨。最后,以城市地铁站点为例,结合实例对所提出方法进行计算,验证了方法的有效性和合理性,对于采取针对性的防范措施具有重要的参考依据和指导意义。

参考文献:

[1] 李本先,李孟军.基于平行系统的恐怖突发事件下恐惧传播的仿真研究[J].自动化学报,2012,38(8):1321.

LI Benxian, LI Mengjun. The simulation of fear diffusion based on parallel system under the paroxysmal terrorism incident circumstance[J]. Acta Automatica Sinica, 2012, 38(8): 1321.

[2] 朱军方,汪秉宏.现代恐怖主义事件统计规律的研究[J].上海理工大学学报,2012,34(3):240.

ZHU Junfang, WANG Binghong. Statistical law of modern terrorism events[J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2012, 34(3): 240.

[3] 田云霞.“恐怖袭击”之危害的数学模型探析[J].太原师范学院学报:自然科学版,2006,5(2):31.

TIAN Yunxia. An asynchronous parallel algorithm about the secant method for solving nonlinear systems of equations[J]. Journal of Taiyuan Normal University: Natural Science Edition, 2006, 5(2): 31.

[4] 赵国敏,刘茂,张青松,等.基于博弈论的地铁车站恐怖袭击风险定量研究[J].安全与环境学报,2006,6(3):121.

ZHAN Guomin, LIU Mao, ZHANG Qingsong, et al. Terror attack risk assessment of subway station based of game theory[J]. Journal of Safety and Environment, 2006, 6(3): 121.

[5] 王振,刘茂.定量风险分析在恐怖袭击风险评估中的应用[J].中国公共安全,2006,12(4):18.

WANG Zhen, LIU Mao. Application of quantitative risk assessment on terrorism attack[J]. China Public Security, 2006, 12(4): 18.

[6] 孙多勇,李文举,付举磊,等.基于Agent建模的恐怖袭击影响因素仿真分析[J].安全与环境学报,2013,13(5):259.

SUN Duoyong, LI Wenju, FU Julei, et al. On the factors leading to terror attacks based on the Agent simulation analysis approach[J]. Journal of Safety and Environment, 2013, 13(5): 259.

[7] 韩传峰,孟令鹏,张超,等.基于完全信息动态博弈的反恐设施选址模型[J].系统工程理论与实践,2012,32(2):366.

HAN Chuanfeng, MENG Lingpeng, ZHANG Chao, et al. Location of terror response facilities based on dynamic game of complete information[J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2012, 32(2): 366.

[8] 刘明,萧毅鸿.生物反恐应急管理中的协同决策理论[J].南京理工大学学报:社会科学版,2013,26(4):31.

LIU Ming, XIAO Yihong. Collaborative decision-making theory in emergency management of anti-bioterrorism[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology: Social Science, 2013, 26(4): 31.

[9] 张铮,吴宗之,刘茂.设施遭恐怖袭击的风险分析方法探讨[J].中国安全科学学报,2003,13(7):60.

ZHANG Zheng, WU Zongzhi, LIU Mao. Discussion on risk analysis for terror attack on facility[J]. China Safety Science Journal, 2003, 13(7): 60.

[10] Major J A. Advanced techniques for modeling terrorism risk[J]. Journal of Risk Finance, 2002, 4(1): 15.