

文章编号:1007-6735(2012)03-0240-12

# 现代恐怖主义事件统计规律的研究

朱军芳<sup>1</sup>, 汪秉宏<sup>2,3</sup>

(1. 西南科技大学 理学院, 绵阳 621010; 2. 中国科学技术大学 物理学院, 合肥 230026;  
3. 上海理工大学 复杂系统科学研究中心, 上海 200093)

**摘要:** 现代恐怖主义事件的爆发具有一定的复杂性和多样性,它的爆发时间和地点至今很难预测,但是具有一定的统计分布.本文主要基于统计物理的研究方法对现代恐怖主义事件的研究状况进行了介绍,其内容包括恐怖主义事件所造成的伤亡数(事件惨重性)和爆发的时间间隔的实证研究,及其爆发机制的模拟和解释.

**关键词:** 恐怖主义事件; 伤亡数; 时间间隔

**中图分类号:** O 414; N 94      **文献标志码:** A

## Statistical Law of Modern Terrorism Events

ZHU Jun-fang<sup>1</sup>, WANG Bing-hong<sup>2,3</sup>

(1. School of Science, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China;  
2. School of Physical Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China;  
3. The Research Center for Complex Systems Science, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Modern terrorism events are so complex and diverse that the time and place of terrorism burst can't be predicted. However the occurrence of terrorism events still obeys some statistical distributions. Some research results were introduced for modern terrorism events from the view of statistical physics. The contents include the empirical results of the casualty number, the empirical results of inter-event time and some models which can explain the burst mechanism of terrorism events to some extent.

**Key words:** terrorism events; casualty number; inter-event time

自从美国9·11事件爆发以来,恐怖主义事件的研究成为一个全球热点问题,受到了历史学家、政治家及物理学家等各个领域的科学家的关注.许多研究已经表明,虽然恐怖主义事件的爆发具有不可预测性,但是,从统计物理意义上讲,恐怖主义战争

中所引起的伤亡数以及恐怖主义事件爆发时间间隔等都遵从一定的规律.

本文从实证研究结果和主要的理论模型解释这两方面对现代恐怖主义事件的伤亡数(事件惨重性)和时间间隔的统计性质以及背后的机制分别进行介绍.

收稿日期: 2012-02-13  
基金项目: 西南科技大学博士基金资助项目(10ZX7138)  
作者简介: 朱军芳(1980-),女,讲师.研究方向:复杂网络. E-mail: zjfbird@ustc.edu.cn

## 1 伤亡数的研究

在第二次世界大战期间, Richardson<sup>[1]</sup>就搜集了每次战争中的伤亡数,并惊奇地发现它的分布并不服从泊松分布,而是非常接近于幂律分布.这给予我们对战争的初步认识:损伤人数规模较大的战争发生的概率非常少,但是,仍然可能会发生.之后, Cederman<sup>[2]</sup>用一个森林火灾模型给出了一个可能的解释.2005年, Clauset 和 Young<sup>[3]</sup>则对每次恐怖主义战争中的伤亡数进行了统计,得到与 Richardson<sup>[1]</sup>类似的幂律分布的结果.最近对恐怖主义事件全球数据的统计也表明了伤亡数遵从幂律分布的结果.由于恐怖主义事件的复杂性和多样性,所以,对其发生的根本原因和机制,至今仍然无法给出十分圆满的解释.目前,为了对恐怖主义事件的爆发机制和统计规律作出解释,人们主要从3种观点出发建立了模型.第一种是基于个体的自组织临界模型<sup>[4-7]</sup>.第二种是通过个体被动支持者进行扩张的渗流理论<sup>[8-11]</sup>.第三种是竞争选择的观点<sup>[12-13]</sup>.

### 1.1 伤亡数统计分布的实证研究

现在,由于许多非政府组织拥有了一定的危害性武器,使得他们的破坏力量逐渐增大,这使得恐怖主义袭击的伤亡更加严重. Clauset 和 Young<sup>[3]</sup>对自1968年之后37年内的全球恐怖主义事件进行了研究.用伤亡数  $x$  来描述袭击事件结果的惨重性,发现伤亡数与恐怖主义事件爆发频率  $p(x)$  之间存在一幂律关系  $p(x) = x^{-\alpha}$ ,  $x \geq x_{\min}$ ,  $\alpha$  为幂指数.这表明,具有极其惨重结果的事件很少发生,但由于其伤亡数很大,不可忽视.

文献[1]的数据来自于 MIPT(The National Memorial Institute for the Prevention of Terrorism.)的数据库,这个数据库记录了从1968年到现在发生在187个国家的大约2万次的恐怖主义袭击事件,其中,引起伤亡的袭击有7 088起.图1表明了在对数-对数图上的伤亡数累积分布函数  $p(X \geq x)$ .图1中的实线是对数据的幂律拟合结果,所有的拟合都采用 KS(Kolmogorov-Smirnov)测试来得到  $x$  的最小值  $x_{\min}$ ,从而得到一个最优拟合.图1(a)表明,不论是受伤人数、死亡人数,还是伤亡总数都符合幂律分布.但是,这个结果是否可靠?1998年 MIPT 从 RAND(The Research and Development Corporation)接管数据库,是否可能因为接管前后判断一个恐怖主义的标准不一样

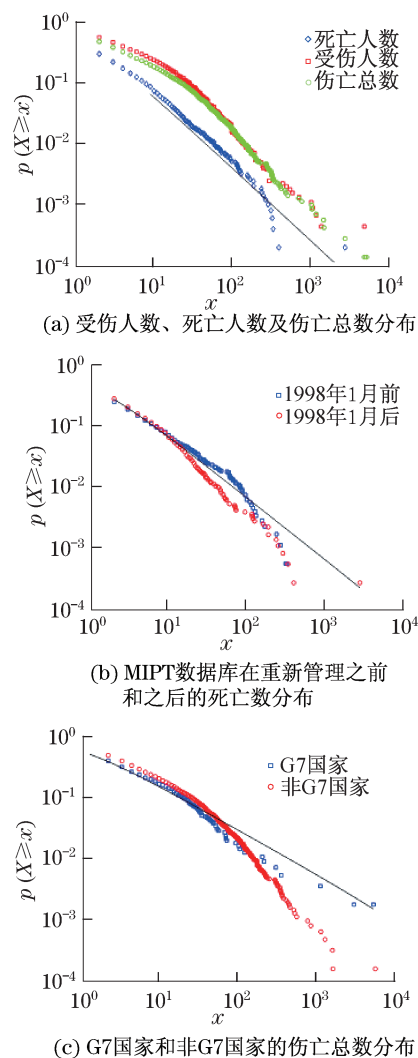


图1 1968~2004年恐怖主义袭击惨重性的分布  $p(X \geq x)$ <sup>[3]</sup>

Fig.1 Distributions  $p(X \geq x)$  of attack severity for attacks worldwide between 1968 and 2004<sup>[3]</sup>

而引入了人为偏离呢?为了回答这个问题,他们用死亡数表征恐怖袭击的惨重性,对(图1(b))1998年前(2 304次,或33%)和1998年后(4 784次,或67%)所有恐怖袭击的惨重性分布进行了研究.从图1(b)中可以看出,它们都服从幂律分布.尽管曲线在中部和尾部有所不同,但幂指数近似相等,都为  $\alpha \approx 2$ ,并不因为接管后事件频率的增加而受到明显的影响.这虽然还不能解释人为偏离的原因,但是,他们也对其余的数据库(International Policy Institute for Counter-Terrorism, ICT)的数据进行了统计,发现有同样的幂指数,这说明全球恐怖主义惨重性分布的幂指数是鲁棒的.图1(c)分别对G7国家(主要工业国家:加拿大、法国、德国、意大利、日本、英国、美国,590次)和非G7国家(除主要工业国家之外的国家,

6 408次)的统计可以看出,其最大的不同在于尾部,这使得它们的幂指数也不同.对 G7 国家有指数  $\alpha_{G7} = 1.71 \pm 0.03$ , 对非 G7 国家有指数  $\alpha_{non-G7} = 2.1 \pm 0.1$ . 幂指数不同的可能原因是,与非 G7 国家相比,G7 国家技术发达,非政府组织可以拥有破坏性更大的高端武器,因而,惨重性较大的恐怖主义袭击事件在 G7 国家发生的概率更大.为了考察惨重性和频率随时间的变化,在图 2 中画出了 1968~2004 年中恐怖主义事件的平均时间间隔  $\Delta t$  (每年平均一次)及惨重性的平均对数值  $\bar{\alpha}$  (每年平均一次)和时间  $t$  的关系图.可以看到,平均时间间隔显著减少,从 1968 年的平均 28 天一次降低到 2004 年的 12 小时发生一次.特别显著的变化发生在 1998 年,这说明 1998 年数据库被 MIPT 接管后,判断一次恐怖主义事件爆发的标准有所降低,这是恐怖主义事件频率增加的部分原因.当然其真实的频率或许也应该是增加的.另外,惨重性随时间的变化表明,恐怖主义事件惨重性在其平均值(虚线表示从 1968~2004 年惨重性的平均对数值)附近随时间波动变化.

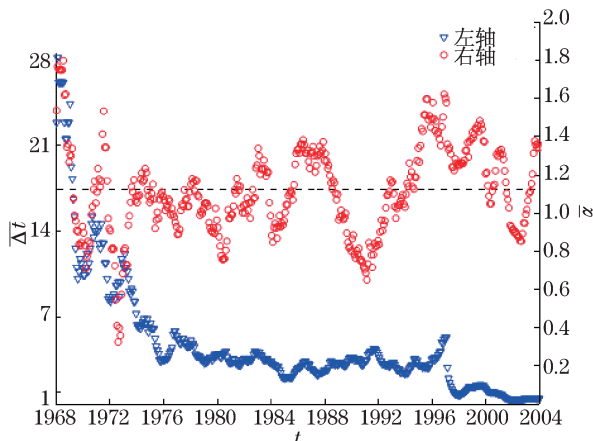


图 2 恐怖主义事件平均时间间隔和惨重性的平均对数值随时间的变化<sup>[3]</sup>

Fig.2 Average inter-event interval and average logarithm of the total severity of attacks<sup>[3]</sup>

此外,Clauset 和 Young 还将恐怖袭击事件分别按照 6 种不同的武器类型进行分类,分别进行了惨重性分布的统计.这些武器类型包括生化武器(0.4%)、爆炸(包括远程控制爆炸,44.3%)、火力射击(1.7%)、武装枪(36.2%)、刀(3.3%),其它(非惯例性武器和没有获知的武器,14.2%).如图 3 所示,可以看出,对不同的武器有不同的截断,这正好和实际相符,比如,用刀来实施行动造成的伤亡数要比用枪或生化武器造成的伤亡数小得多.此外,这些不同

武器对应的分布也正好说明图 1(a)和 1(c)中总的受伤数和非 G7 国家的统计分布的尾部走向是由于爆炸引起的.

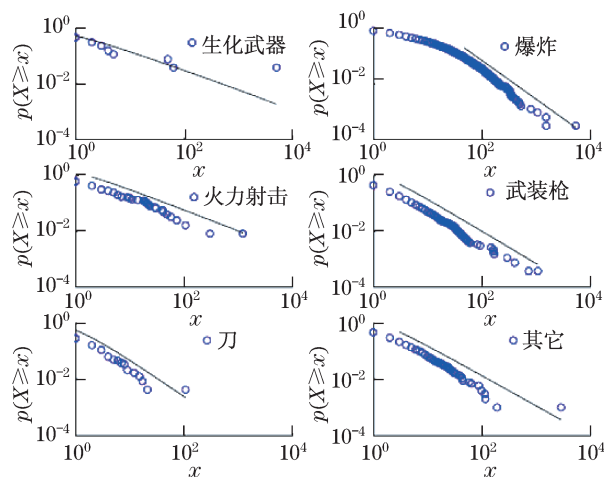


图 3 对于 6 种武器类型 1968~2004 年所有恐怖袭击事件的惨重性分布<sup>[3]</sup>

Fig.3 Total severity distributions between 1968 and 2004 for six weapon types<sup>[3]</sup>

Johnson 等人<sup>[5]</sup>对伊拉克、哥伦比亚的现代恐怖主义事件进行了类似的惨重性统计,如图 4 所示.数据的时间范围分别为从 2003-05-01~2005-10-23 和 1988~2004 年,图中虚线是相关的幂律最优拟合,  $x_{min}$  由 KS 测试给出.从图 4 中可以看出伤亡数的分布服从幂律分布,这和非 G7 国家的统计结果是大致相同的,而且他们都有近似相同的幂指数.

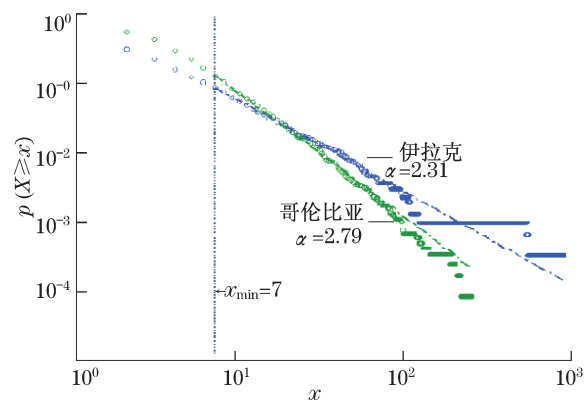


图 4 伊拉克、哥伦比亚的恐怖主义事件伤亡数累积分布图<sup>[5]</sup>

Fig.4 Cumulative distributions describing the total number of events with severity greater than  $x$  in Iraq and Colombia<sup>[5]</sup>

## 1.2 恐怖主义事件爆发机制的模型解释

由于恐怖主义事件的复杂性和多样性,所以,对其发生的根本原因和机制,至今仍然无法给出十分圆满的解释.目前对恐怖主义爆发机制的解释主要

从3种观点出发.第一种是基于个体的自组织临界模型<sup>[4-7]</sup>,在这种模型中,假设恐怖主义事件导致的伤亡数与恐怖组织的大小成正比,恐怖组织之间相互作用,随机地或以一定概率进行分解和合并.第二种是通过个体被动支持者进行扩张的渗流理论<sup>[8-11]</sup>.在某一领土上,如果被动支持者的密度超过某一个值,则恐怖主义事件有可能发生.第三种是竞争选择的观点<sup>[12-13]</sup>.这种观点认为竞争和选择是恐怖分子实施恐怖行动策略的原则.由于恐怖主义组织之间的竞争,导致他们为了提高自己的公众支持率而进行恐怖主义活动,并且,由于反恐行动策略的变化,恐怖分子决定用其它策略替代当前策略的策略替代原则使得恐怖主义分子实施的策略不断变化.

### 1.2.1 自组织临界模型

为了解释伊拉克、哥伦比亚、阿富汗及非 G7 国家恐怖主义事件惨重性分布的统计结果,Johnson 等提出了一个自组织模型<sup>[5]</sup>,此模型认为现代军事力量依然受到限制,每个袭击单位有一定的袭击强度.显然,袭击单位的军事力量是会随时间改变的,而且总的军事力量会分布在各个袭击单位中,各个袭击单位在演化过程中会不停地合并或分解,总的军事力量也会不断地重新分布.自然地,袭击强度在袭击单位分解合并的过程中也会随时间改变.这样的合并和分解过程是符合实际的,比如,分离的袭击单位或单独行动的恐怖分子在一次袭击事件爆发前往往会融合在一起,也可能会因为袭击单位领导力量的分散而分解.

如图5所示,每个袭击单位用  $i, j, k, \dots$  来标记,他们各自有袭击强度  $s_i, s_j, s_k, \dots$ . 每个单位代表一个袭击单位,袭击强度代表袭击事件中的伤亡数.在袭击单位合并和分解的过程中,总的袭击强度被重新分布.这里的袭击单位为人、武器、机械或者信息等.如果是一群人,则他们可以由于处在同一位置而联系或者通过通信系统相互联系.如果是武器或机械则意味着这些装备是可以随时利用的.当然袭击单位也可能同时包括人、武器、机械在内.此外,信息也可以作为袭击单位的一部分,比如,如果爆炸执行者知道恐怖袭击目标所在地的人口密集程度,就可以根据这个信息掌控自己的战斗力.袭击强度定义为袭击事件中的平均伤亡人数.这里的事件包括单边袭击(由于袭击单位的出现而造成伤亡)和双边冲突.

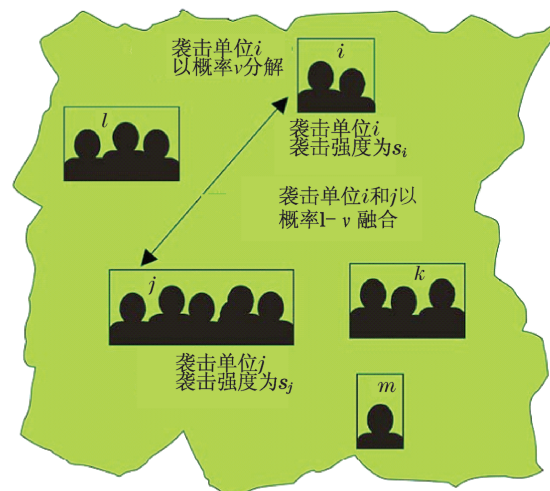


图5 描述现代恐怖主义战争的模型<sup>[5]</sup>

Fig.5 Model describing modern terrorism war<sup>[5]</sup>

假设所有袭击单位的总袭击强度为  $N$ , 袭击强度为  $S_i$ , 因此, 有  $\sum_{i,j,k,\dots} s_i = N, N \gg 1$ . 但是, 模型所得的幂律结果与  $N$  的具体取值并没有关系. 假设袭击强度为  $s_i$  的任意一个袭击单位  $i$  在时刻  $t$  可能作出3种选择: a. 在实际恐怖袭击中, 为了迷惑敌人而减少自己群体的人被捕的可能性, 袭击单位可能作出分解成袭击强度更小的单位的决定. b. 在袭击战争中, 两个袭击单位偶然发现对方, 或为了击破某个目标, 他们往往会合并成一个袭击强度更大的单位. c. 保持原状态不变. 具体演变情况如下: 在每个时步, 以正比于袭击强度的概率随机选择一个袭击单位  $i$ , 然后以概率  $v$  分解成袭击强度为 1 的袭击单位. 袭击强度为  $s_i$  的袭击单位  $i$  和袭击强度为  $s_j$  的袭击单位  $j$  以  $1-v$  的概率结合成为一个袭击强度为  $s_i + s_j$  的袭击单位. 这个模型只有一个简单的参数  $v$  来描述. 当  $v$  很小时, 袭击单位不断合并, 形成为数不多的大的袭击单位. 当  $v$  接近于 1 时, 袭击单位不断分解, 最终大多数的袭击单位都有袭击强度为 1. 当  $v = 0.01$  时, 100 次迭代后有一个单位分解. 从实际角度出发,  $v$  应该取较小的值, 因为, 如果分解过于频繁意味着袭击单位受到很大的军事压力, 在这种状况下, 恐怖袭击战争是不会长久存在的. 这里选择  $v = 0.01$  和  $N = 10\,000$ , 初始袭击单位的袭击强度为 1, 按照上面的演变规则, 如图6(见下页)所示, 最终系统达到稳态, 袭击强度  $s$  的概率分布  $p(s)$  呈现一幂律分布, 幂指数为  $\alpha = 2.5$ .

### 1.2.2 个体被动支持者渗透模型

Galam 从一个新的观点——渗流理论来分析恐怖主义活动<sup>[8]</sup>, 他作了一个粗略的假设, 将恐怖主义

破坏力和周围人们的态度联系起来. 特别是一个区域由被动支持者所覆盖时, 恐怖主义即有爆发的威胁. 这里的被动支持者是指那些不需要表明自己的立场, 不需要和别人交流意见, 完全按照自己的意见保持静默的态度. 他们不反对恐怖主义, 随机地分布在恐怖分子所在区域. Galam 按照渗流理论分析了他们的分布<sup>[8]</sup>.

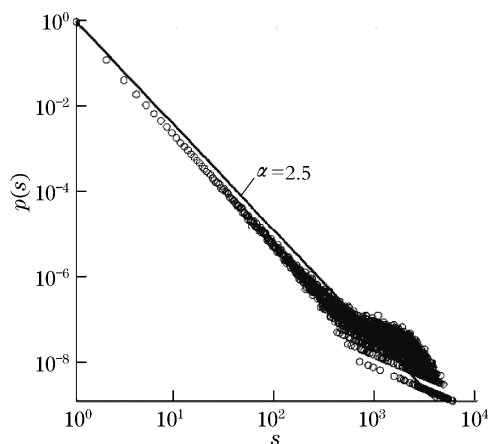


图6 具有袭击强度  $s$  的袭击单位数与袭击强度  $s$  的对数-对数图<sup>[5]</sup>

Fig. 6 Log-log plot of the number of attack units with attack strength  $s$ , versus attack strength  $s$ <sup>[5]</sup>

为了使模型更加清晰, 他假设在一个连续的渗流图景中, 世界是一个格子网络. 每个位置随机地分布在平面上, 最近邻邻居之间的距离小于某一最大长度. 人们随机分布在格子上, 一个人想要改变自己的位置必须有最近邻邻居同时改变自己的位置. 按照这样的条件, 一个恐怖分子从根据地到目标位置必须找到一条由被动支持者连成的连续的路径使得他/她能够成功地与邻居交换位置. 在每一时刻, 交换位置仅仅需要涉及一个被动支持者, 而且恐怖分子和被动支持者的相互作用是局域的、成对的. 非被动支持者由于他们不同意和恐怖分子交换位置而阻碍恐怖分子的移动.

被动支持者的随机分布产生了一些随机簇. 不会有人注意到被动支持者属于哪个簇, 仅仅当恐怖分子移动到他/她的附近成为其邻居时才会产生作用. 其他被动支持者的存在则形同虚设. 然而, 就是这些不被人注意到的被动支持者组成的簇决定了一个恐怖分子能否到达目的地, 也决定了一块领土受到的恐怖主义威胁的程度. 以恐怖分子为中心, 大部分被动支持者都分布在他们周围, 形成恐怖分子基地组织周围的一个主要的簇, 也有一些簇在远离他们的地方形成. 如图7所示, 红色方块允许恐怖分子

无障碍通过, 绿色方块不允许恐怖分子通过. 连接的红色方块是恐怖分子可以进入的簇. 下面的大的簇是有恐怖分子所在的基地周围的簇, 上面那些小的簇对恐怖主义没有贡献, 因为他们没有和恐怖分子所在的簇有连接, 恐怖分子进入不了这些簇, 恐怖主义不可能在这些簇(邻国)中发生. 这也是恐怖主义爆发具有地域局限性的原因.

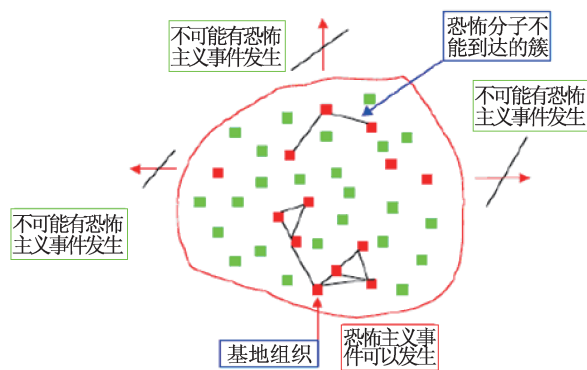


图7 恐怖分子与被动支持者的位置分布图<sup>[8]</sup>

Fig. 7 Location distribution of terrorists and passive supporters<sup>[8]</sup>

现代恐怖主义的特点是, 随着被动支持者的产生, 恐怖主义的爆发在世界上很多地方变得都有可能. 比如, 在阿富汗已经形成了一个巨大的基地组织簇, 如图8所示, 连接在一起的红色方块是一个渗流簇, 在这个簇中, 恐怖分子可以进入, 在任何邻国都有可能发生恐怖主义事件. 然而, 在过去的好多年里, 一些恐怖分子骨干力量一直保持沉默, 没有什么活动, 使我们没有注意到他们的存在. 但是, 意见传播的过程依然存在, 被动支持者在逐渐增加, 然而, 由于没有和基地组织形成的簇相连接, 所以, 他们的增加对恐怖主义活动仍然没有意义. 当被动支持者的密度达到某一值的时候, 所有的簇突然连接成一个世界范围的巨大的簇, 从而形成恐怖主义历史上很大的一次被动的社会渗流现象. 这里被动意味着这种现象的发生是一种没有任何组织性的社会行为. 这仅仅是一个几何结果, 不要求各个成员之间的相互作用就可以使恐怖主义的威胁自动变大.

上面的阐释使我们不禁想问: 这样的说法能否预测世界范围的恐怖主义渗透? 为了回答这个问题, 他们首先假设渗透域为 50%. 在得到世界范围的个体被动支持者的分布之前, 首先要知道地面上每个个体的态度. 但是, 地面上个体众多, 事实上无法统计到每个个体的状态, 因此, 只能进行抽样. 每个被抽到的个体有他自己的态度, 如果个体是允许

恐怖主义活动的被动支持者,用红色方块覆盖格子上的面积,定义为个体面积颜色.如果个体不允许恐怖主义活动,用绿色方块表示个体面积颜色.然后搜集整理他们的颜色,如果红色方块超过 50%,则这些小方块的总面积用红色方块来表示,称为团伙面积颜色.如图 9 所示.

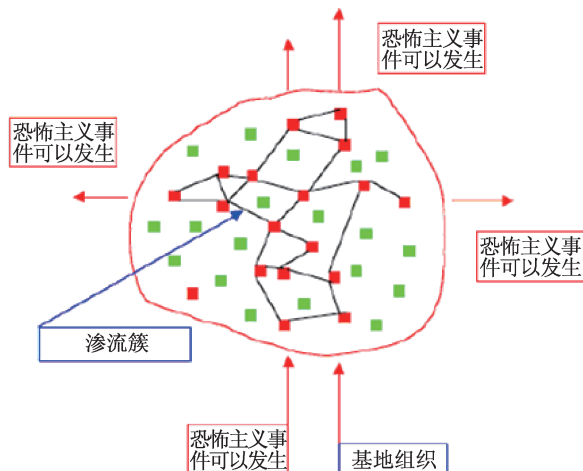


图 8 恐怖分子与被动支持者的位置分布图<sup>[8]</sup>

Fig.8 Location distribution of terrorists and passive supporters<sup>[8]</sup>

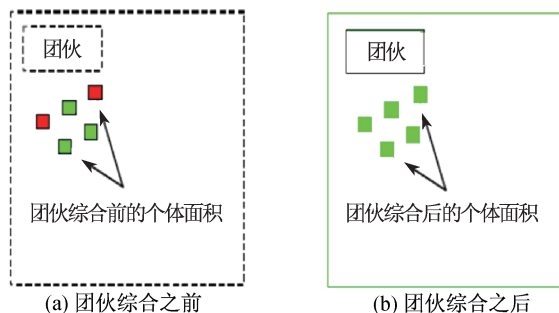


图 9 团伙综合过程<sup>[8]</sup>

Fig.9 Process of clans synthesis<sup>[8]</sup>

类似地,如果绿色方块超过 50%,则得到一个绿色方块表示的团伙面积颜色,称这个过程叫做综合过程.用类似的方法,依次得到用红色方块或绿色方块表示的民族面积、省面积、州面积、国家面积、洲面积和世界面积的颜色.不同层次的面积颜色表明这个层次的领土是否受到恐怖主义威胁.如图 10 所示,如果一个红色方块表示的国家被一些绿色方块表示的国家包围,则这个国家的恐怖主义活动受到限制.

为了定量地阐述世界恐怖主义威胁形成机制,从个体面积颜色到世界面积颜色实施综合过程,进行重新标记.  $n = 0$  表示在世界格子个体所占地

面位置层次,  $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ , 分别表示个体、团伙、民族、省、州、国家、洲及世界等各个层面.如果

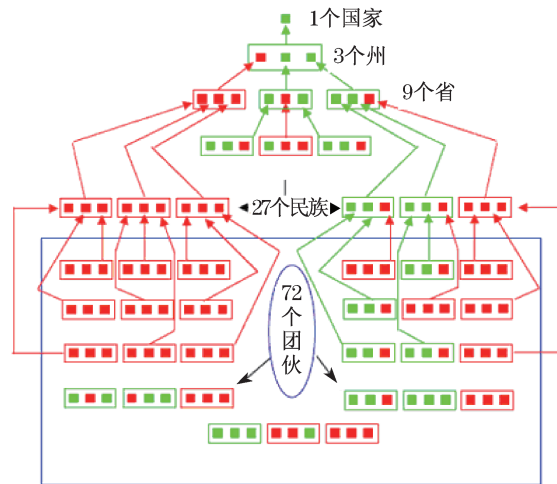


图 10 综合过程<sup>[8]</sup>

Fig.10 Process of synthesis<sup>[8]</sup>

每个个体占 5 个位置,1 个团伙包括 5 个个体,1 个民族包括 5 个团伙,……,1 个世界包括 5 个大洲.那么在地面上一共有  $5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5 \times 5 = 78\ 125$  个个体.假设被动支持者随机分布,则在第  $n$  个层面红色方块(表示被动支持者)存在的概率  $p_n$  与下一层面红色方块概率  $p_{n-1}$  之间的关系为

$$p_n = p_{n-1}^5 + 5p_{n-1}^4(1 - p_{n-1}) + 10p_{n-1}^3(1 - p_{n-1})^2 \quad (1)$$

这里  $n$  可以取 1~8 的值,  $p_0$  给出了初始黑色位置的密度.假设  $p_0 = 0.47$  时渗流发生转变,使得世界范围受到恐怖袭击威胁.接下来用式(1)来验证这一渗流临界概率的正确性.分别选取红色方块的初始密度  $p_0 = 0.20, 0.30, 0.40, 0.47, 0.55$ ,按照式(1)演化,得到表 1 表示的序列.可以看出,对于  $p_0 \leq 0.47$ ,最终不会引起世界范围内的恐怖主义威胁.  $p_0 = 0.47$  时,在国家层次没有受到任何威胁,但是,这种情况下已经暗示将有大的灾难要发生.  $p_0 = 0.55$  则定会导致全世界在恐怖主义威胁之下.表 1(见下页)中的数据已经证明,可以通过个体颜色的分布最终决定世界层面的颜色.但是,这样做忽视了各个层面上一些实体的主导能力.另外,在转变临界点,这样的预测也有可能失败.因此,在现实中,这样的综合过程有时候还是不能提供一个清晰的描述来辨别这些实体的颜色.比如,他们也尝试了每个层面由 6 个实体来综合一次的过程,发现初始概率远远高于渗透临界概率才能出现世界范围的恐怖主义威胁.

表 1 被动支持者所占比率在综合过程中的演变序列  
Tab.1 Ratio sequences of passive supporters during the whole evolution process

| $p_0$ | $p_1$ | $p_2$ | $p_3$ | $p_4$ | $p_5$ | $p_6$ | $p_7$ | $p_8$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0     | 0.20  | 0.06  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0.30  | 0.16  | 0.03  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0.40  | 0.32  | 0.19  | 0.05  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0.47  | 0.44  | 0.40  | 0.30  | 0.18  | 0.04  | 0     | 0     | 0     |
| 0.55  | 0.59  | 0.67  | 0.80  | 0.94  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  |

1.2.3 竞争替代观点对恐怖主义的解释

在以前的工作中,Clauset 主要针对不同袭击模式的恐怖主义事件进行研究<sup>[3]</sup>.事实上很多因素可以影响到恐怖主义事件的发生,比如,群体之间的竞争、他们的关系、公众舆论及其它政治活动等.因此,要在多个参与者参加的长期的冲突中来了解恐怖主义战术,需要考虑到一个更广泛的框架,这个框架包括创新、模仿、竞争及恐怖主义策略替代等.因此,Clauset 对巴以冲突进行研究,用恐怖主义组织之间的竞争、恐怖主义策略替代以及公众意见等因素来评估了恐怖主义的演变<sup>[13]</sup>.结果发现,巴以冲突中的战略演变是非常复杂的,而且在演变中要随时间不断地变化.

以前的研究中,关于恐怖主义策略已经提出了一些比较深刻的见解,但是,人们只考虑恐怖主义策略的某个方面.事实上,由于恐怖主义策略性质的复杂性,我们的认识还非常有限.此外,策略演变对政治背景的变化也是很敏感的,恐怖主义组织之间的关系在战争演变中也不可能总是稳定不变的.基于这些原因,Clauset 提出竞争替代的观点<sup>[13]</sup>.这种观点主要考虑了策略替代、政治合理性(公众舆论)以及恐怖主义组织之间的竞争因素.比如,策略替代方面,政府的行动使得恐怖主义的实施成本大大增加,这时恐怖主义组织就可能改变其策略.举例来说,一个相对袭击模式而发明的自回归分析的金属探测器的使用降低了劫持飞机的次数,但增加了劫持人质的情况<sup>[14]</sup>.政治合理性方面,恐怖分子采取的袭击策略要符合政治形势.例如,Pape<sup>[15]</sup>认为自杀袭击是最典型的非对称冲突中使用的策略,因为事实已经证明,对占领两方相争的领土,它是一个有用的方法,自杀袭击最终可能导致对方退出这块领土.Brym 和 Aranj<sup>[16]</sup>认为恐怖袭击的动力来自于反对政府镇压的愿望.在这个意义上说,通过镇压行为、反镇压行为的相互作用,恐怖袭击事件的发生会更加频繁和严重.布卢姆<sup>[17]</sup>强调,自杀性袭击可能成为流行的冲突,因为这样做可以达到严重伤害敌人和

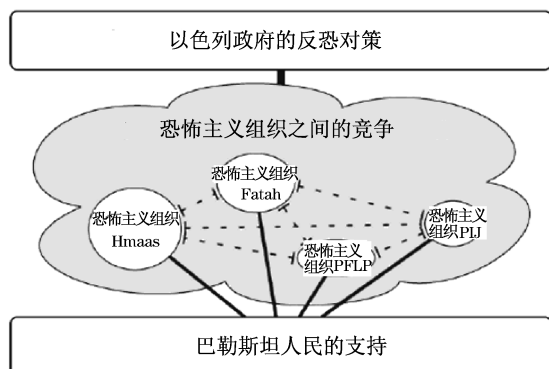
提高进攻者公众形象的双重目的.在恐怖主义组织竞争方面,发动暴动的恐怖主义组织之间相互竞争与一个单独的组织执行一系列暴动相比较,可能产生完全不同的动力学过程和最终结果.一个单独的组织进行一系列的攻击,这个组织可以看作是一个破坏者,能够防止其它组织参与到类似于和谈一样的非暴力的政治事件中<sup>[18]</sup>.此外,一个组织在与其它组织的竞争中也可能诉诸于恐怖主义.

这种观点的基本前提是:a.恐怖主义组织有自主性,而不是仅仅针对政府的反恐行动作出回应的被动者.b.在一个恐怖主义事件中,恐怖主义组织有可能单独行动,也有可能为了获得政治方面的支持而相互学习、相互合作.用这种观点来解释恐怖主义演变的一个重要特点是,他们是以数据研究为中心,而不是以模型为出发点.这样就可以得到定量的可测量的量来描述恐怖主义事件.

Clauset 等选取了以色列-巴勒斯坦恐怖主义为研究背景.从下面几个方面的原因进行考虑:第一,MIPT 数据库已经给出了可以免费共享的世界范围内从 1968 年以来的恐怖主义事件的记录.其中,多达 3 017(总数为 28 445 的 10.6%)次恐怖袭击是发生在以色列和巴勒斯坦领土上.第二,从袭击的执行者和他们的关系来看,恐怖主义事件是比较复杂的.许多巴勒斯坦恐怖主义组织之间的竞争是有据可查的,比如,法塔赫和哈马斯之间的竞争就是见证.第三,Clauset 等有政府反恐行动和公众对恐怖袭击者的支持方面的详细数据,使得可以对以前的结论进行验证.

Clauset 等提出了巴勒斯坦和以色列恐怖组织之间相互作用的概念模型<sup>[13]</sup>.但这不是统计或数学意义上的模型,只是简单陈述巴勒斯坦和以色列的恐怖组织之间的各种联系和相互作用.如图 11 所示,显然,巴勒斯坦存在许多恐怖主义组织,他们之间没有统一的领导,这些恐怖组织的行动和以色列政府的对策很可能是互相关联,然而,他们认为单独的组织独立地响应政府的反恐活动是不可能成为恐怖主义组织实施暴动的主要原因的.事实上,巴勒斯坦人民对恐怖主义组织的支持是巴勒斯坦恐怖主义组织成功的关键.在不同组织之间相互竞争的环境中,如果某个组织实施了最有效的行动,则它可以得到人们的更多支持.图 11 正是反映了这一情况:由于以色列政府的策略约束,巴勒斯坦人民支持恐怖主义组织对以色列的回应,从而导致了以色列各恐怖组织之间为了争取人民支持而竞争.历史已经证明了这一点.法塔赫(Fatah)作为巴勒斯坦重要的恐怖

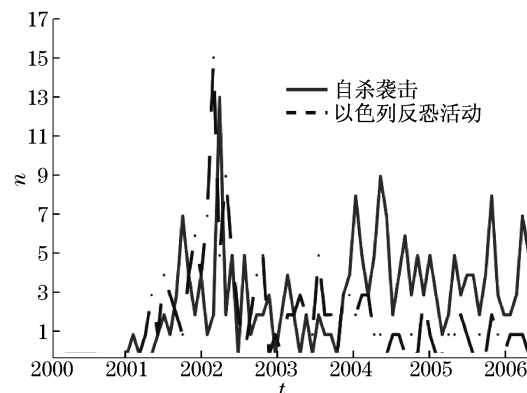
主义组织之一,由于其参与以色列和奥斯陆(Oslo)协定的谈判而导致不得人心失去了很多民意支持.此外,法塔赫向巴勒斯坦人民提供基本保障和社会服务方面没能做好以及领导的腐败无能等,进一步削弱了其受欢迎的程度.这使得其它组织有机会增加他们的支持,反对法塔赫.而哈马斯(Hamas)却成功地提供了有效的社会服务,其领导也不腐败,并通过其自杀袭击,顽强抵抗以色列入侵巴勒斯坦领土.以往的研究把巴勒斯坦的恐怖主义组织看作是一个单独的恐怖主义执行方,这样就不会有竞争存在.而上面这些历史证明,应该把巴勒斯坦方的恐怖主义组织视为一些独立的群体,他们追求一个共同的目标而相互竞争.

图 11 以色列-巴勒斯坦冲突的概念模型<sup>[13]</sup>Fig. 11 Conceptual model of the Israeli-Palestinian conflict<sup>[13]</sup>

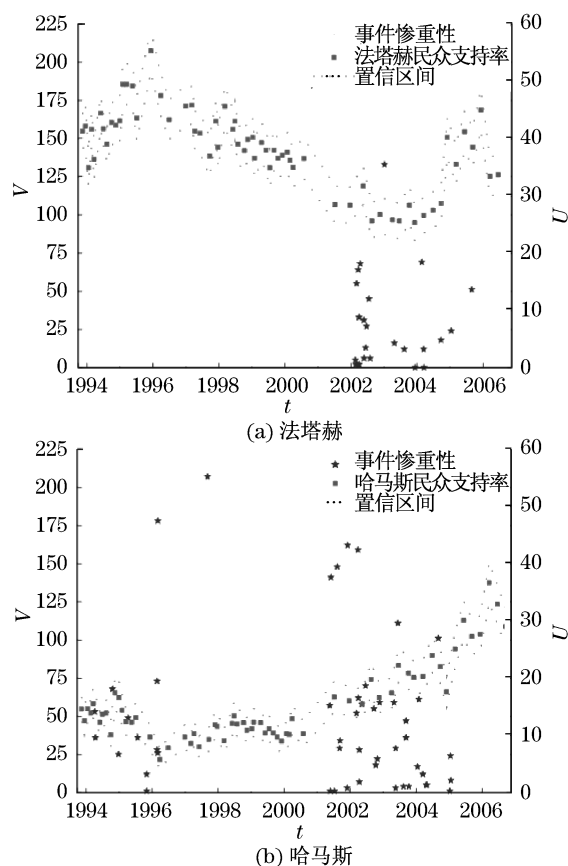
策略替代是恐怖主义组织经常作出的选择.恐怖分子主要是在回应反恐政府的行动中相应改变自己的策略.此外,作者预期,由这个概念模型可以预计,在竞争的环境中,一些公众舆论、具体的攻击方式等因素的影响都可以同时出现,这意味着我们必须注意潜在的冲突的复杂性.现介绍与这些预期有关的实证分析.

首先考虑反恐行动和恐怖主义袭击之间的相互作用以及替代性理论的验证.如图 12 所示,从自杀袭击事件和以色列反恐活动的次数  $n$  随时间  $t$  的变化可以看出,在 2000~2006 年的阿克萨起义中,以色列在反恐活动中采取了两种性质不同的策略.首先,2000~2003 年底,以色列对巴勒斯坦的袭击,有效地奉行了一个针锋相对以牙还牙的策略,在这样一个策略下,巴勒斯坦主要以自杀袭击相对应.然而,从 2004 年 1 月开始,巴勒斯坦的自杀袭击事件减少.在这个时期,以色列建造了安全围栏,由于这

一新策略的使用,巴勒斯坦恐怖主义组织执行自杀袭击的难度增加,因此,自杀性袭击减少.同时,他们之间结束了针锋相对、一报还一报的袭击回应模式,自杀袭击的策略被其它策略所替代.

图 12 自杀袭击事件和反恐活动<sup>[13]</sup>Fig. 12 Suicide attacks and Israeli counterterrorism events<sup>[13]</sup>

但是,仅仅替代理论还不足以解释统计结果的走向趋势,因此,Clauaset 等为以色列和巴勒斯坦冲突的统计特征给出了经验证据和竞争性方面的解释.他们主要考虑了法塔赫和哈马斯的数据,图 13

图 13 自杀袭击严重性和公众对恐怖主义组织的支持率<sup>[13]</sup>Fig. 13 Suicide attack severity and the public approval for each of the terrorism groups<sup>[13]</sup>

显示了法塔赫和哈马斯 1994~2006 年的事件惨重性  $V$  和公众支持率  $U$  随时间  $t$  的变化. 在 1996~2000 年, 法塔赫的公众支持率约以每年 2.5% 的速率一直下降, 在此期间, 法塔赫没有暴力袭击发生. 由于支持率的下降, 法塔赫模仿哈马斯的自杀式袭击来把握舆情赢得市民的支持, 为了解除哈马斯对其霸权构成的重大威胁, 他们发展有专门知识的人来实行自杀行动. 法塔赫的公众支持率大约在 2004 年开始逆转, 这是由于恐怖主义组织之间竞争的结果. 正因如此, 自杀策略受到了公众的支持, 所以, 同期, 支持哈马斯的巴勒斯坦人也略有增加. 至于那些峰值的出现, 则与竞选等其它政治事件相关.

总之, 他们给出了以色列和巴勒斯坦冲突的一些经验例子. 这些例子告诉我们, 策略替代原则、恐怖主义组织之间的竞争和模仿、公众舆论的支持等是恐怖主义演变模式形成的主要原因.

## 2 恐怖主义事件时间间隔统计性质的实证研究

迄今为止, 恐怖主义事件爆发的时间依然不可预测, 但是, 其爆发时间的间隔却具有一定的统计分布, 作者在意见动力学模型中引入历史记忆效应, 对其统计分布进行了解释.

### 2.1 恐怖主义事件时间间隔统计性质的实证研究

作者统计了 2003~2007 年伊拉克和阿富汗的恐怖主义事件时间间隔, 使用 Zipf 的排序分析法研究统计性质, 发现在伊拉克和阿富汗恐怖主义事件发生的时间间隔分别服从幂指数为 2.61 和 2.41 的幂律分布形式<sup>[19]</sup>.

作者的数据来自于 MIPT (<http://www.terrorism-info.mipt.org/incidentcalendar.asp>) 数据库, 它记录了袭击发生的国家、袭击方式、发生时间等信息. 并且, 1998 年后的数据增加了国内恐怖主义事件的数据. 我们知道, 由于深刻的种族冲突、强烈的宗教斗争和越来越强的反西方情绪, 伊拉克和阿富汗地区恐怖主义事件频繁发生. 因此, 作者首先在图 14 中画出了恐怖主义袭击时间的斑图, 图 14 中每个垂直的竖线代表一个袭击事件. 很显然, 袭击事件演变呈现了一个长时间不活动、短时间大量爆发的模式. 也就是说相邻事件的时间间隔很不均匀. 那么, 具有这种活动斑图的恐怖主义事件究竟有怎样的统计性质呢, 为了弄清楚这个问题, 作者研究这两个国家的恐怖主义事件的时间间隔分布.

恐怖主义事件的间隔从每天的事件数得到. 首先, 如果一天内发生的事件数多于 1, 就近似认为事件是均匀发生的, 时间间隔为事件数的倒数; 否则的话, 时间间隔为连续两次袭击事件间的天数. 由于时间间隔数据多样性不充分, 利用 Zipf 的排序分析法<sup>[20]</sup>来分析数据. 如图 15 所示,  $R$  表示排序,  $\Delta t$  表示恐怖主义事件的时间间隔. 对伊拉克和阿富汗, 分别包含了 8 627 个数据点和 772 个数据点, 然后, 在一个截断之后实行最小平方拟合.

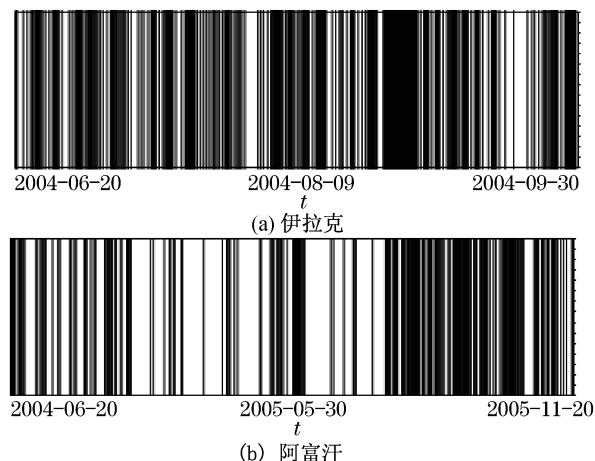


图 14 恐怖主义事件演变序列<sup>[19]</sup>

Fig. 14 Succession of terrorism events<sup>[19]</sup>

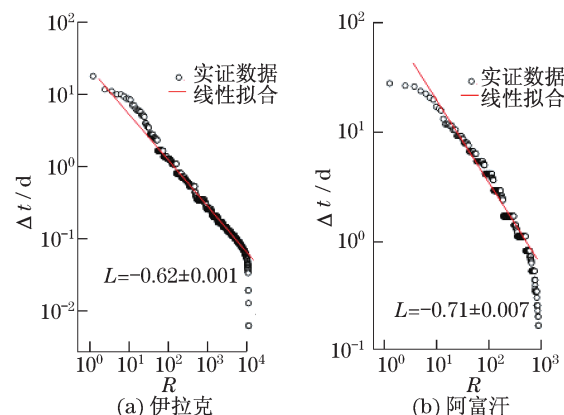


图 15 2003~2007 年恐怖主义事件时间间隔分布图<sup>[19]</sup>

Fig. 15 Inter-event time distribution of terrorism attack events between 2003 and 2007<sup>[19]</sup>

显然, 在 Zipf 的排序图上可以直接观察到, 数据分布符合幂律形式. 为了得到更精确、更实际的排序指数, 依次去掉尾部  $m = 1, 2, 3, \dots$  个点进行拟合, 直到拟合指数不随去除的点变化为止. 如果去除尾部点找不到这样的稳定点, 则在拟合指数变化最小时记下去除的尾部的点, 在去除尾部这些点后, 依次去除头部  $N = 1, 2, 3, \dots$  个点进行拟合, 直到找到稳定的拟合指数. 最终, 如图 15 所示, 对伊拉克和阿富汗

汗,从线性拟合的斜率  $L = -0.62 \pm 0.001$  和  $L = -0.71 \pm 0.007$ , 得到最优的排序指数分别为  $\alpha \approx 0.62$  (去掉尾部 2 800 个点) 和  $\alpha \approx 0.71$  (去掉尾部 380 个点和头部 2 个点).

事实上, Zipf 的幂律排序分布可以认为是一个幂律形式的累积分布. 如果时间间隔概率分布遵循  $p(\tau) = \tau^{-\alpha}$ , 则 Zipf 图下的排序指数  $\alpha_z$  应该满足关系<sup>[21-22]</sup>

$$R^{-1/\alpha_z} = \int_R^\infty p(\tau) d\tau \propto R^{-(\alpha-1)} \quad (2)$$

式中,  $R$  代表排序.

按照式(2), 得到  $\alpha = 1 + 1/\alpha_z$ . 因此, 伊拉克和阿富汗的时间间隔的幂律分布指数分别为  $\alpha = 2.61$  和  $\alpha = 2.41$ . 伊拉克的时间间隔幂指数比阿富汗的要大一些, 这表明伊拉克恐怖主义事件的爆发更具有发散性, 阿富汗的恐怖主义活动更可能发生长时间静默和短时间的爆发. 这样的结果是同恐怖主义演变斑图相一致的.

## 2.2 有记忆效应的意见动力学模型对恐怖主义事件时间间隔的解释

为了理解恐怖主义事件爆发的原因和它所服从的统计特征, 作者利用有历史记忆效应的意见动力学模型来理解恐怖主义时间间隔统计性质背后的潜在机制. 在一定社会环境中, 由于个体具有一定的社会从众性和自我认定心理, 所以, 公众意见的形成和变化受个体相互作用和个体自身历史记忆效应的影响. 在这些因素的影响下, 如果公众反对意见达到一定程度, 则引发恐怖主义事件爆发. 最终, 作者发现, 由这样的模型产生的恐怖主义时间间隔分布服从幂律分布, 其幂指数范围可以覆盖本文实证统计结果的幂律指数.

在二维方格子上, 每个节点和它周围的 4 个邻居双向连接. 这里, 个体和连边分别代表恐怖主义威胁下的所有国民和他们之间的相互作用. 在一个袭击发生前, 某一时刻  $t$ , 每个个体都是有自己的意见  $\sigma_{i,t}$ , 如果是反对意见,  $\sigma_{i,t} = -1$ , 如果是赞同意见,  $\sigma_{i,t} = 1$ . 在最近邻邻居的影响和历史记忆的影响下, 个体产生从众心理和自我认定心理, 以如下概率来翻转自己的意见:

$$p(\sigma_i) = \begin{cases} [\exp(-aW_1) + \exp(-bW_2)]/T, & W_1 > 0 \\ [\exp(-bW_2)]/T, & W_1 < 0 \end{cases} \quad (3)$$

其中

$$W_1(\sigma_{i,t}) = \sigma_{i,t-1} \sum_{j=1}^4 \sigma_{j,t-1}, \quad j = 1, 2, 3, 4$$

$$W_2(\sigma_{i,t}) = \begin{cases} 1, & \sigma_{i,t-1} \sigma_{i,t-2} > 0 \\ 0, & \sigma_{i,t-1} \sigma_{i,t-2} < 0 \end{cases}$$

$W_1(\sigma_{i,t})$ ,  $W_2(\sigma_{i,t})$  分别表征个体从众心理和自我认定心理对翻转概率所作的贡献; 参数  $a, b$  为环境参数和记忆参数, 是模型中的主要参数, 分别用来调节个体从众心理和自我认定心理对翻转概率的影响强度;  $T \geq 2.0$  是描述社会背景混乱程度的一个指标, 称为类温参数.

为了模拟恐怖主义的爆发, 在一个有周期性边界条件的大小为  $L \times L$  二维格子网络上进行模拟. 用定义一个新的序参量  $M$  ( $-1 \leq M \leq 1$ ) 来衡量公众反对意见的强度

$$M = \frac{1}{L^2} \sum_{j=1}^{L^2} \sigma_i, \quad \sigma_i \in (+1, -1)$$

$M$  越小, 公众反对意见越强. 令  $L = 10$ , 初始意见随机分布. 不论实际原因多么复杂, 假设当  $M$  小于一个临界值  $M_c$  时, 恐怖主义事件爆发. 为了调查模型的动力学过程以及确定与真实数据相应的参数设置, 首先调查不同的参数对时间间隔统计结果的影响. 模型参数包括  $a, b, T, M_c$ , 在图 16 中(见下页), 设它们的值为  $a = 0.5, b = 0.5, T = 7.0, M_c = -0.7$ , 然后逐一改变其中 1 个参数的值, 画出时间间隔  $\Delta t$  和其对应的概率  $p$  之间的关系, 考察每个参数各自对时间间隔统计结果的影响(所有数据结果对初始条件做了 200 次平均). 图 16(a) 中, 实线为幂律的线性拟合, 当  $a$  从 0.2 增加到 1.0 的时候, 幂指数从 1.68 (斜率  $L = -1.68$ ) 单调地增加到 2.76 (斜率  $L = -2.76$ ). 这个范围覆盖了伊拉克和阿富汗幂指数取值. 可见, 影响了幂指数的主要参数为  $a$ . 其它参数则决定了时间间隔服从的曲线类型. 当  $b, T, M_c$  的值从小变大的时候, 时间间隔分布曲线均从延展指数类型转变到了幂律类型. 因此, 参数  $a$  是个关键参数, 接着进一步研究了它对幂指数的影响作用. 在图 16(a) 中可以看出, 随着  $a$  的增加, 幂指数逐渐变大. 这说明, 在  $a$  值较小时, 个体有更大的意愿遵从公众意见, 得到的时间间隔分布异质性较强. 而且, 当  $a$  的值增加到足够大时, 幂指数逐渐趋向于一个稳定值, 这是因为对于大的  $a$ , 最近邻邻居的意见影响比较微弱, 以致于恐怖主义动力学演变几乎不受影响.

从对恐怖主义的实际认识来看, 对各个参数的影响的研究表明, 恐怖主义时间间隔分布类型由个体自

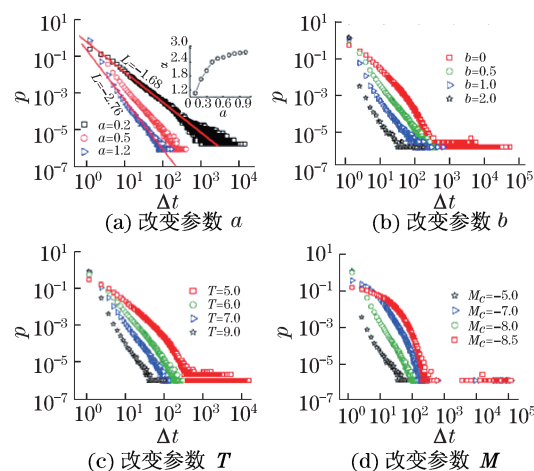
图 16 归一化的时间间隔分布模拟图<sup>[19]</sup>

Fig. 16 Normalized inter-event time distribution obtained by simulations

我认定心理、社会环境的混乱程度和临界序参量来决定,具体的幂指数则由个体的社会从众心理决定.因此,只要选择合适的参数,就可以得到具有某一幂指数的幂律分布.根据这样的性质,首先选定  $b = 0.5$ ,  $T = 7.0$ ,  $M_c = -0.7$ ,使模型能够产生幂律分布,然后调节  $a$  的值来得到与经验数据不同的指数.最终得到,当  $a = 0.6$  时,幂指数  $\alpha = 2.61$  (去除尾部大约 100 个点,拟合斜率  $L = -2.61 \pm 0.02$ );  $a = 0.4$  时,幂指数  $\alpha = 2.41$  (去除尾部大约 300 个点拟合斜率  $L = -2.41 \pm 0.02$ ).如图 17 所示,从所得时间间隔  $\Delta t$  和其概率  $p$  的拟合结果看,正好和实证结果相符.显然,恐怖主义的爆发同社会从众性、自我认定心理和社会混乱程度有关.但是,对某个国家,其社会混乱程度是一定的,很难人为改变,因此,关键在于个人心理作用的影响.从微观角度讲,个人的心理作用决定了一个个体的意见选择.一个国家中,每个人的意见选择导致出现一种宏观上的集体现象,于是,有一部分人反对,一部分人赞成.用 1 个序参数  $M$  来衡量公众反对意见的强度,选定恐怖主义发生的 1 个临界值  $M_c$ ,它的大小决定了恐怖主义袭击是否发生.因此,由微观上个体意见选择结果而导致的宏观上的集体反对意见是恐怖主义时间间隔呈现幂律形式的一个可能的潜在机制.

综上所述,假设恐怖主义的爆发和意见形成有关.意见形成的过程不仅仅依赖于社会影响,而且依赖于个体历史记忆.以前的研究往往注意到前者而忽略了后者.因此,为了理解实证观察到的统计结果,作者利用了有历史记忆效应的意见动力学模型,当公众反对意见达到一定强度时,恐怖主义事件爆发.在这个模型中,个体的心理作用,包括社会从众

性和历史记忆性,起了关键作用.因此,为了赢得民意来加强人民的社会从众性和历史记忆性,也许是减少恐怖主义事件的一个可能的方式.最终,此模型产生了与实证数据相同的结果,这也证明了假设的合理性,为恐怖主义事件的爆发提供了一个更好的理解.此外,恐怖主义事件可以看作是人类活动的一种集体行为.因此,作者不仅仅发现了人类行为中广泛存在的非泊松分布特点,而且提出了能够产生这样的统计性质的一个可能的机制.更进一步讲,从模拟社会动力学的角度表明,社会意见的演变是理解人类集体行为的一个关键点.

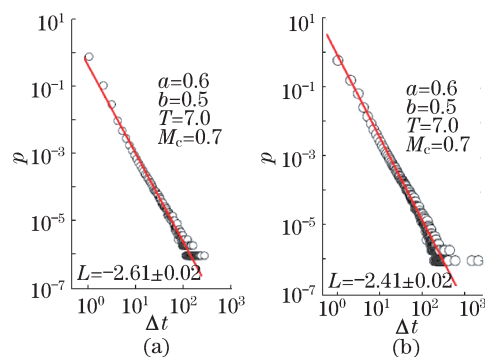
图 17 归一化的时间间隔分布模拟图<sup>[19]</sup>

Fig. 17 Normalized inter-event time distribution obtained by simulations

### 3 总结和展望

对目前恐怖主义的实证统计结果和模型解释作了介绍.首先,恐怖主义事件惨重性的统计结果表明,它的分布服从幂率形式,而且这种分布形式不受袭击方式和国别的影响,具有很强的鲁棒性.对于这样的实证结果,关于其形成机制的解释,主要有 3 种观点.第一种是基于个体的自组织临界模型<sup>[4-7]</sup>,在这种模型中,假设恐怖主义事件中伤亡数与恐怖组织的大小成正比,恐怖组织之间相互作用,随机地或以一定概率进行分解和合并.第二种是通过个体被动支持者进行扩张的渗流理论<sup>[8-11]</sup>.在某一领土上,如果被动支持者的密度超过某一域值,则有恐怖主义事件爆发的威胁.第三种是竞争选择的观点<sup>[12-13]</sup>,这种观点认为,恐怖主义事件爆发的主要原因是恐怖主义组织之间的竞争以及恐怖袭击策略的替代.

然后,对恐怖主义事件爆发时间间隔进行了实证统计,统计结果表明,恐怖主义事件的时间间隔分布服从幂律形式.为了解释这种分布结果,作者从一个新的观点出发,利用具有历史记忆效应的意见动力学

模型,重新定义与公众反对意见的强度相对应的序参量,从意见形成的过程来解释恐怖主义事件时间间隔的统计特征,建立模型.结果证明,模型可以产生和实证相同的统计结果.在这个模型中,本文强调以个人从众性和自我认定心理为主的个人心理效应是公众意见形成的关键因素.公众意见的形成过程为我们提供了恐怖主义事件统计性质背后可能的机制.

对恐怖主义事件爆发机制的探索是一个新的研究方向,虽然关于恐怖主义事件的数据库已经建立,但是,只是关于事件发生的时间、地点、袭击方式、死伤人数的统计以及一些简单的描述.关于其政治背景、恐怖组织分子之间的关系等还没有具体定量的统计.因此,以前的实证统计只能统计一些表层数据来描述现象发生的统计规律.也有相关的不少模型试图对恐怖主义事件的统计规律作出解释,但是都不能得到很圆满的解释.其原因是:

a. 由于恐怖主义事件发生的背景和根源相当复杂,所以,模型中涉及到的一些参量无法得到真正真实的衡量,比如公众意见支持程度.

b. 由于恐怖主义活动的秘密性,无法了解到恐怖组织之间的关系,所以,恐怖主义组织网络的结构还不是很清晰.

c. 由于恐怖主义组织活动的灵活性,应该考虑恐怖分子的移动性,建立更适合实际的模型.

人们应该努力解决上面的问题,进一步认识恐怖主义事件发生的内在原因和物理机制.

#### 参考文献:

- [1] Richardson L F. Variation of the frequency of fatal quarrels with magnitude[J]. Amer Stat Assoc, 1948, 43 (244): 523 - 546.
- [2] Cederman L. Modeling the size of wars: from Billiard Balls to Sandpiles[J]. Amer Pol Sci Rev, 2003, 97 (1): 135 - 150.
- [3] Clauset A, Young M. Scale invariance in global terrorism[EB/OL]. (2005 - 05 - 01) [2012 - 01 - 10]. <http://xxx.lanl.gov/abs/physics/0502014>.
- [4] Johnson N F, Spagat M, Restrepo J A, et al. From old wars to new wars and global terrorism[EB/OL]. (2005 - 05 - 29) [2012 - 01 - 10]. <http://arxiv.org/abs/physics/0506213>.
- [5] Johnson N F, Spagat M, Restrepo J A, et al. Universal patterns underlying ongoing wars and terrorism[EB/OL]. (2006 - 03 - 03) [2012 - 01 - 10]. <http://xxx.lanl.gov/abs/physics/0605035>.
- [6] Johnson N F. Understanding complex system[M]. New York: Springer Berlin/Heidelberg, 2008: 303 - 320.
- [7] Clauset A, Wiegell F W. A generalized aggregation-disintegration model for the frequency of severe terrorist attacks[J]. Journal of Conflict Resolution, 2010, 54 (1): 179 - 197.
- [8] Galam S. The september 11 attack: a percolation of individual passive support[J]. Eur Phys J B, 2002, 26 (1): 269 - 272.
- [9] Galam S, Mauger A. On reducing terrorism power: a hint from physics[J]. Physica A, 2003, 323: 695 - 704.
- [10] Galam S. Global physics: from percolation to terrorism, guerilla warfare and clandestine activities[J]. Physica A, 2003, 330(1/2): 139 - 149.
- [11] Galam S. Sociophysics: a review of Galam mode[J]. Int J Mod Phys C, 2008, 19(3): 409 - 440.
- [12] Clauset A, Young M, Gleditsch K. S. On the frequency of severe terrorist attacks[J]. Journal of Conflict Resolution, 2007, 51(1): 58 - 88.
- [13] Clauset A, Heger L, Young M, et al. The strategic calculus of terrorism: substitution and competition in the Israel-Palestine Conflict[J]. Cooperation and Conflict, 2010, 45(1): 6 - 33.
- [14] Enders W, Sandler T. The effectiveness of antiterrorism policies: a vector-autoregression-intervention analysis[J]. American Political Science Review, 1993, 87(4): 829 - 844.
- [15] Pape R A. The strategic logic of suicide terrorism[J]. American Political Science Review, 2003, 97(3): 343 - 361.
- [16] Brym R J, Araj B. Suicide bombing as strategy and interaction: the case of the second intifada[J]. Social Force, 2006, 84(4): 1996 - 1986.
- [17] Bloom M M. Palestinian suicide bombing: public support, market share, and outbidding[J]. Political Science Quarterly, 2004, 119(1): 61 - 88.
- [18] Kydd A, Watter B. Sabotaging the peace: the politics of extremist violence[J]. International Organization, 2002, 56(2): 263 - 296.
- [19] Zhu J F, Han X P, Wang B H. Statistic property and opinion model for inter-event time of terrorism attack[J]. China Phys Lett, 2010, 27(6): 068902.
- [20] Sornette D, Knopoff L, Kagan Y Y, et al. Rank-ordering statistics of extreme events: application to the distribution of large earthquakes[J]. J Geophys Res, 1996, 101(B6): 13883 - 13893.
- [21] Zipf G K. Human behavior and the principle of least effort[M]. Oxford, England: Addison-Wesley Press, 1949.
- [22] Newman M E J. Power laws, pareto distributions and Zipf's law[J]. Contemporary Physics, 2005, 46(5): 323 - 351.