

全球恐怖袭击事件量化分级及反恐态势预测

——基于投影寻踪和灰色新陈代谢模型

邓世成¹, 秦瑶^{2,3*}, 许芥方⁴, 顾艺玮⁵

1. 华东理工大学商学院, 上海 200237
2. 重庆市统计局, 重庆 401147
3. 重庆工商大学数学与统计学院, 重庆 400067
4. 重庆对外经贸学院大数据与智能工程学院, 重庆 401520
5. 乐山市商业银行, 乐山 614000

摘要 恐怖袭击严重威胁地区的和平稳定,且正加速向全球各地蔓延。根据全球恐怖主义数据库(GTD)中1998—2017年恐怖袭击事件数据,基于投影寻踪评价模型(PPM)和灰色新陈代谢模型(GMM)对恐怖袭击事件的危害程度进行了量化分级,并预测了未来5年全球恐怖活动的蔓延趋势。研究显示,恐怖袭击事件危害程度量化后共分为5级,美国纽约“9·11”事件危害程度排名第一;恐怖活动已从重点地区逐渐向全球各地蔓延,但未来5年全球恐怖袭击总量呈现下降态势;中东、非洲等地区在未来5年仍是国际恐怖活动的高发区,非洲将沦为恐怖活动的“重灾区”,而东南亚、南亚等地区将成为恐怖主义新活跃区。

关键词 恐怖袭击事件;量化分析;态势预测

20世纪90年代以来,以美国“9·11”恐怖袭击事件为代表的国际恐怖活动成为社会关注的焦点,恐怖活动从地区逐渐向全球各地蔓延,表现出扩大化、零散化趋势。据中国信息安全测评中心发布的《2018年上半年国际恐怖主义态势报告》显示,

2018年上半年,全球42个国家共发生了639起恐怖袭击案件,较2017年同期增长0.60%,恐怖袭击共造成了3305人死亡。恐怖活动已成为地区和平稳定的首要威胁,反恐成为国际社会的共同难题。对已发生的恐怖袭击事件数据进行分析总结作为

收稿日期:2019-08-01;修回日期:2020-06-22

基金项目:国家社会科学基金重大项目(20ZD124);国家自然科学基金面上项目(72073045);国家自然科学基金重点项目(21AZD036);中央高校基本科研业务费专项

作者简介:邓世成,博士研究生,研究方向为经济统计,电子信箱:ctbud179@qq.com;秦瑶(通信作者),高级统计师,研究方向为经济统计,电子信箱:1226240519@qq.com

引用格式:邓世成,秦瑶,许芥方,等.全球恐怖袭击事件量化分级及反恐态势预测——基于投影寻踪和灰色新陈代谢模型[J].科技导报,2021,39(18):111-121;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2021.18.015

反恐活动的重要组成部分,是对恐怖袭击进行有效预警的基础。利用现有恐怖袭击事件记录数据,发掘事件中的隐藏信息,进而研判恐怖活动的发展趋势对世界和平稳定和地区安全有重要的现实意义。

对恐怖袭击问题的研究契合当今和平与发展的时代主题,具有重要价值,反恐问题受到了学者的广泛关注。针对恐怖袭击问题,学界主要从时空特征和量化评估等角度展开研究。在时空演变特征方面,现有文献大多利用核密度、社会网络分析等方法绘制时间、空间分布图进行分析。柴瑞瑞等以恐怖袭击次数为样本点,采用核密度估计绘制出1989—2014年中国31个省份恐怖袭击事件的分布图,分析恐怖袭击事件的时间空间演化规律,发现有4个年份为恐怖袭击高密度时期,发生地点从早前大多集中在新疆内部地区开始向全国各地蔓延^[1];郝蒙蒙等研究了中南半岛恐怖袭击的时空演变特征,研究显示中南半岛逐渐成为恐怖组织袭击的重点区域之一^[2];付举磊等利用社会网络分析,对“东突”恐怖事件进行了研究,研究表明“东突”恐怖活动呈现出明显的时空分布特征^[3]。

针对恐怖袭击数据的量化分析,研究者普遍采用模糊综合评价、K-mean聚类分析法、贝叶斯网络等方法展开研究。孙柠综合考虑了恐怖主义活动的主客体因素、环境因素以及时间因素,构建了较为系统、全面的风险评估指标体系,依托层次分析法进行赋权,利用模糊综合评价法构建涉恐风险评估模型,并通过实证验证了该模型的可操作性^[4]。魏静等研究认为模糊综合评判法难以解决恐怖袭击威胁评估的本质问题,而贝叶斯网络在具有内在不确定性的推理和解决问题中具有更优良的效果^[5]。刘明辉利用K-means聚类的方法克服了评价模型中经验赋值和专家打分的不足,研究认为K-means聚类分析可以避免人为因素,在民航系统的恐怖袭击风险分类中具有较好的适用性^[6]。还有学者将机器学习算法引入到恐怖袭击事件数据的量化分析模型的优化中,研究结果显示优化后的模型对恐怖袭击事件数据的挖掘表现出较好的适用性^[7-8]。

现有关于恐怖袭击问题的研究多集中在恐怖

袭击事件的现状描述和对恐怖袭击数据挖掘方法的探讨方面,而对于恐怖袭击事件危害量化分级与反恐态势预测的研究尚不多见。基于此,研究以下方面:一是根据全球恐怖袭击事件数据库,基于投影寻踪评价模型对恐怖袭击事件危害程度进行量化分级;二是基于灰色新陈代谢预测模型对未来5年的全球恐怖活动蔓延趋势进行合理预判。

1 数据说明与现状描述

本研究所用数据来源于美国马里兰大学恐怖主义研究应对协会管理的全球恐怖主义数据库(Global Terrorism Database, GTD),其收集整理了1970年以来在全球范围内发生的恐怖袭击事件信息,于每年6—7月更新发布上一年度全球恐怖袭击事件信息,是目前包含恐怖袭击事件案例最多、数据整理最全面且完全公开的数据库。综合考虑数据时效性、指标一致性以及数据完整度等因素,选取数据库中时间跨度为1998—2017年共20年的样本数据,样本中恐怖事件案例数共114183件,包含134个相关指标。样本数据的高维、非正态、非线性特征突出。以1998—2017年全球恐怖袭击事件年度频次数据为例,通过数据的直方图拟合样本分布曲线,图1显示样本分布曲线与正态分布曲线存在明显差异,同时由数据的Q-Q图(图2)可知数

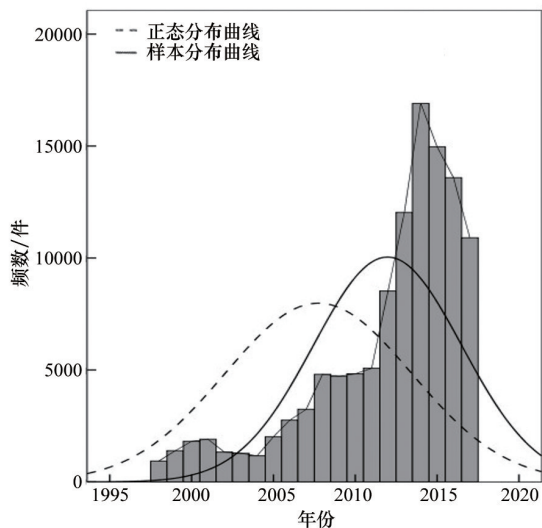


图1 全球恐怖袭击事件分布情况

据点分布未完全在直线周围,较为分散,可认为数据不符合正态分布特征。

根据样本数据绘制出 1998—2017 年全球恐怖袭击事件分布图(图 3),颜色越深代表该地区发生的恐怖袭击事件越频繁。图 3 显示,1998—2017 年恐怖袭击事件发生频次较高的地区主要集中在巴基斯坦、阿富汗和伊拉克等西亚地区,索马里、也门和尼日尼亚等非洲地区,并逐渐向欧洲、北美洲等西方发达国家地区蔓延,恐怖主义活动已不再单纯局限于一国或者地区,而是蔓延到了世界各国。

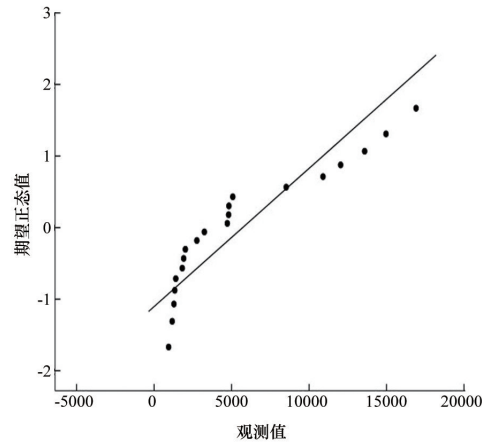


图2 全球恐怖袭击事件频次分布 Q-Q 图



图3 1998—2017年全球恐怖袭击事件年度频次空间分布

2 恐怖袭击事件危害程度量化分析

2.1 模型理论基础

投影寻踪是将高维数据向低维空间投影,通过分析低维空间的投影特性来研究高维数据的特征,从而找到反映数据结构特征的最优投影,是处理多指标问题的多元统计方法。而投影寻踪评价模型(projection pursuit model, PPM)针对恐怖袭击事件数据的高维性和非正态性,有较好的适用性。PPM 的基本思想是将高维数据投影到低维子空间上,寻找出能反映原高维数据结构或特征的投影向量,从

而达到研究和分析高维数据的目的^[9-11],模型建模步骤如下。

第一步,对样本指标数据进行标准化处理。为了消除样本数据中不同指标量纲的影响,本研究采用极差标准化对原始数据进行标准化处理。设样本数据为 $\{x_{ij} | i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p\}$, 其中 x_{ij} 为第 i 个样本的第 j 项指标, n 为样本数, p 为指标数。

针对越大越优的指标(正向指标)标准化公式

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (1)$$

针对越小越优的指标(逆向指标)标准化公式

$$x_{ij}^* = \frac{x_{j\max} - x_{ij}}{x_{j\max} - x_{j\min}} \quad (2)$$

其中, x_{ij} 是标准化前的数据样本值, x_{ij}^* 是标准化后的数据样本值, $x_{j\max}$ 为第 j 指标的最大值, $x_{j\min}$ 为第 j 指标的最小值。

第二步, 构造投影目标函数。把 m 维数据综合成某一方向上的一维投影值并要求投影值散布特征为局部投影点尽可能密集, 整体上各个点团之间尽可能散开。用 m 维的单位向量 $\mathbf{a}(a_1, a_2, \dots, a_m)$ 表示某一投影方向, 样本 i 在该方向上的投影值则可表示为

$$z_i = \sum_{j=1}^m a_j x_{ij}^*, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

设 $S(\mathbf{a})$ 为投影值的标准差, $D(\mathbf{a})$ 为投影值的局部密度, 则投影指标函数可以表示为

$$Q(\mathbf{a}) = S(\mathbf{a})D(\mathbf{a}) \quad (4)$$

其中, $S(\mathbf{a}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}{n-1}}$, \bar{z} 为投影方向上投影值的平均值; $D(\mathbf{a}) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n (R - r_{ik}) f(R - r_{ik})$, $r_{ik} = |z_i - z_k|$, R 为局部密度的窗口半径, 可取 $r_{\max} + \frac{m}{2} \leq R \leq 2m$, 函数 f 为单位跃阶函数, $R - r_{ik} \geq 0$ 时, 其值为 1, $R - r_{ik} < 0$ 时, 其值为 0。

第三步, 优化投影目标函数。通过计算投影目标函数最大化估计最佳投影方向, 即目标函数最大

化: $\max Q(\mathbf{a}) = S(\mathbf{a})D(\mathbf{a})$, 且满足约束条件

$$s.t. \sum_{j=1}^m a_j^2 = 1$$

第四步, 确定投影值。将求得的最佳投影方向 \mathbf{a}^* 与相应的样本指标标准化值相乘累加求和得到投影值。数值越大, 表明该样本恐怖事件的危害程度越高。

2.2 指标体系与数据处理

2.2.1 指标体系构建

恐怖主义作为非传统安全威胁的一个重要体现, 特别是随着社会经济的发展, 具有了更多的时代特征, 表现出全球化、网络化、差异化的新特点, 其危害性的影响因素较多^[12]。针对恐怖袭击事件危害程度评价与分级, 已有研究主要从事件性质、事件发生地、事件规模、人员伤亡以及财产损失等方面构建指标^[13-15]。基于此, 本研究以现有研究为支撑, 兼顾指标数据的可对比性和可量化性原则, 参考澳大利亚经济与和平研究所 (Institute for Economics and Peace, IEP) 发布的《2017 年全球恐怖主义指数报告》中对恐怖袭击事件经济成本的量化指标体系, 加入人员伤亡和财产损失因素。结合 GTD 数据库中指标的属性和数据完整度, 加入不良社会影响因素。从人员伤亡、财产损失和不良社会影响等 3 个维度, 在样本数据 134 个指标中选取 11 个指标构建恐怖袭击事件危害程度评价指标体系, 如表 1 所示。

表 1 恐怖袭击事件危害程度评价指标体系与指标权重

指标类别	指标代码	中文说明	属性	标号	权重
人员伤亡	casualty	伤亡人数	定量	X_1	0.31
	attacktype1	攻击类型	定性	X_2	0.31
	nperps	凶手数量	定量	X_3	0.41
	weaptype1	武器类型	定性	X_4	0.33
财产损失	propextent	财产损害程度	定性	X_5	0.31
	propvalue	财产损失的价值(美元)	定量	X_6	0.15
	ransompaid	赎金支付总额	定量	X_7	0.37
不良社会影响	claimmode	声称负责的模式	定性	X_8	0.19
	nkill	死亡总数	定量	X_9	0.27
	nhours	人质/绑架事件的小时数	定量	X_{10}	0.24
	nperpcap	抓获的凶手数量	定量	X_{11}	0.33

2.2.2 数据预处理

首先,根据所能获得的情报信息提取所需属性。将含有较多缺失值数据的样本剔除,即将11个指标中6个及以上的指标数据缺失(指标数据显示为空白或未知)的样本剔除。原样本数据中包含恐怖事件共114183件,剔除缺失值较多的事件样本14783件,剩余样本事件占总样本87.1%,通过重新绘制1998—2017年全球恐怖袭击事件年度频次分布图,发现剔除缺失值样本后频次分布图与未剔除缺失值样本的频次分布图总体分布一致,说明本文对缺失数据的剔除整体上并未改变样本的年度分布比例,充分保证了美国马里兰大学恐怖主义研究应对协会构建全球恐怖主义数据库时所收集整理样本案例的总体代表性。

其次,对数据进行清洗。数据清洗主要包括2个方面,缺失值数据和异常值数据处理。针对缺失值数据的处理,在前一步剔除缺失值较多的样本后,仍有部分样本的指标数据存在缺失现象(指标数据显示为空白或未知)。主要包括伤亡人数(X_1)、凶手数量(X_3)、财产损害程度(X_5)、财产损失的价值(X_6)、赎金支付总额(X_7)、声称负责的模式(X_8)、死亡总数(X_9)、人质/绑架事件的小时数(X_{10})、抓获的凶手数量(X_{11})等9个指标。在分析上述指标的特性后,一方面根据均值、众数填充或补零的方法对数据进行补齐;另一方面针对含有缺失值指标的样本,通过热卡填充法,在所有样本中找

出与之最相似的样本对象,用该对象对应的指标值对缺失样本指标进行填充,恐怖袭击事件间相似性的判断主要根据恐怖袭击事件的事发时间、事发地域、相关恐怖组织或个人、事件规模、事件性质、袭击方式、人员伤亡以及财产损失等方面综合衡量。

针对异常值数据(指标数据存在明显与指标属性不匹配)的处理,含有异常值的指标主要包括凶手数量(X_3)、财产损失的价值(X_6)、赎金支付总额(X_7)、人质/绑架事件的小时数(X_{10})、抓获的凶手数量(X_{11})等5个指标。根据指标属性,一方面将指标的异常值视为缺失值,以上述缺失值的处理方式处理,另一方面采用相似样本的对应指标数据的平均值、中值、边界值替代异常数据。

同时,因原样本数据中恐怖袭击所致死亡人数和受伤人数中包含了恐怖分子的死亡和受伤人数,而本研究评估的死伤人数不包含恐怖分子,所以用总的死伤人数分别减去恐怖分子死伤人数得到所需的伤亡人数(X_1)和死亡总数(X_9)指标。

最后,针对指标体系中的定性指标进行数量化处理。指标体系中攻击类型(X_2)、武器类型(X_4)、财产伤害程度(X_5)、声称负责的模式(X_8)等指标均为定性指标,各指标选项在表述危害程度上存在阶梯递减关系。基于此,参考李震巍等^[15]关于类似指标的处理方法,采用等分法对各选项进行直接赋值,赋值区间[0-10],赋值越高代表危害程度越大,具体赋值如表2所示。

表2 定性指标量化赋值

攻击类型(X_2)			武器类型(X_4)			财产损害程度(X_5)			声称负责的模式(X_8)		
代码	中文说明	赋值	代码	中文说明	赋值	代码	中文说明	赋值	代码	中文说明	赋值
1	暗杀	6.25	1	生物武器	8.18	1	灾难性的	10.00	1	信件	2.50
2	武装袭击	8.75	2	化学武器	7.27	2	重大的	6.66	2	电话(事件后)	6.25
3	轰炸/爆炸	10.00	3	放射性武器	9.09	3	较小的	3.33	3	电话(事件前)	7.50
4	劫持	5.00	4	核武器	10.00	4	未知	0.00	4	电子邮件	5.00
5	路障事件	2.50	5	轻武器	3.63				5	现场留下便条	3.75
6	绑架	3.75	6	爆炸物	6.36				6	视频	8.75
7	攻击设施	7.50	7	假武器	0.91				7	网站、博客	10.00
8	徒手攻击	1.25	8	燃烧武器	4.54				8	个人声称	1.25
9	其他/未知	0.00	9	致乱武器	2.72				9	其他/未知	0.00
			10	交通工具	5.45						
			11	破坏设备	1.81						
			12	其他/未知	0.00						

2.3 恐怖袭击事件量化分级

将处理后的恐怖袭击事件危害程度指标作为初始投影方向,即11维的单位向量,基于投影寻踪评价模型计算得出各初始投影方向的最佳投影方向,即各指标的权重(表1)。同时结合样本指标标准化值计算得出各样本事件的投影值,即各事件的危害程度量化值。由于投影值序列均值 \bar{z} 反映的是集中趋向,而标准差 δ 反映的是相对离散程度,故可利用 \bar{z} 和 δ 构造危害程度评估分级标准,并将危害程度分为5个等级:I级 $[\bar{z} + \delta, \infty)$,II级 $[\bar{z}, \bar{z} + \delta)$ 或 $[\delta, \bar{z} + \delta)$,III级 $[\delta, \bar{z})$ 或 $[\bar{z}, \delta)$,IV级 $[\bar{z} - \delta, \delta)$ 或 $[\bar{z} - \delta, \bar{z})$,V级 $[0, \bar{z} - \delta)$,恐怖袭击事件危害程度随等级升高而递减。

根据投影寻踪评价模型得出的投影值,并结合危害程度分级标准,将99400件恐怖袭击事件按照危害程度大小分成5类,对应的危害性程度由高到低分别是I级、II级、III级、IV级、V级。其中I级恐怖袭击事件171件,II级恐怖袭击事件1992件,III级恐怖袭击事件22989件,IV级恐怖袭击事件

38615件,V级恐怖袭击事件35633件。根据危害性程度列出1998—2017年危害程度最高的全球10大恐怖袭击事件(表3)。表3中显示,危害程度排名第1和第2的恐怖袭击事件均为2001年9月11日发生在美国纽约世界贸易中心的“9·11”系列事件,该系列事件共造成2767人死亡,16381人受伤,联合国发表报告称此次恐怖袭击事件对美国造成经济损失达2000亿美元。危害程度排名第3、第4、第5和第7的恐怖袭击事件均为2004年3月11日发生在西班牙马德里“3·11”系列事件,也被称为“欧洲的‘9·11’事件”。危害程度排名第6的恐怖袭击事件为2001年7月24日发生在斯里兰卡卡图纳耶克的“7·24”事件。危害程度排名第8的恐怖袭击事件为2007年10月22日发生在斯里兰卡萨利亚普拉的“10·22”事件。危害程度排名第9的恐怖袭击事件为2014年6月15日发生在伊拉克提克里特的“6·15”事件。危害程度排名第10的恐怖袭击事件为2014年8月9日发生在伊拉克辛加尔的“8·9”事件。

表3 1998—2017年全球10大恐怖袭击事件

事件编号	事件时间	所在国家	城市	危害程度量化值	等级
200109110004	2001年9月11日	美国	纽约	5.15	I级
200109110005	2001年9月11日	美国	纽约	5.15	I级
200403110003	2004年3月11日	西班牙	马德里	5.01	I级
200403110007	2004年3月11日	西班牙	马德里	4.95	I级
200403110001	2004年3月11日	西班牙	马德里	4.77	I级
200107240001	2001年7月24日	斯里兰卡	卡图纳耶克	4.61	I级
200403110004	2004年3月11日	西班牙	马德里	4.55	I级
200710220014	2007年10月22日	斯里兰卡	萨利亚普拉	4.42	I级
201406150063	2014年6月15日	伊拉克	提克里特	4.42	I级
201408090071	2014年8月9日	伊拉克	辛加尔	4.12	I级

3 全球恐怖袭击态势预测

3.1 模型设定与指标说明

GM(1,1)预测模型在经济社会中应用广泛,但在基础的GM(1,1)预测模型中,参数 a 和 b 的值均由原始数据计算得出且数值固定,即模型只考虑了原始序列 $x^{(0)}(k)$ 之前的数据,未将系统发展过程中

出现的新信息和新干扰项计算在内,预测模型的精度会随着预测期的增加而显著降低。实际应用中随着时间推移不断有新随机扰动项和影响因素进入灰色系统,导致基础GM(1,1)预测模型只能保证 $x^{(0)}(k)$ 之后少量预测数据的精度。故越是远离时间原点,基础GM(1,1)的预测精度就越低。

针对基础GM(1,1)预测模型的缺陷,结合本研

究数据实际情况,拟在模型预测部分引入GM(1,1)模型群建模思想,即构建灰色新陈代谢模型(grey metabolizing model, GMM)。该模型不同于基础GM(1,1)模型在建模后一直沿用原始序列数据进行建模预测,而是通过原始序列 $x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)$ 建立的GM(1,1)模型预测出 $x^{(0)}(k)$ 的后一个值 $x^{(0)}(n+1)$,并将其作为新信息置入原始序列中,同时去掉最早的数据 $x^{(0)}(1)$,使序列保持等维。将序列 $x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n+1)$ 作为新的原始序列,再次建立GM(1,1)模型并预测下一个值 $x^{(0)}(n+2)$,将其采取同样方式置入新序列中,去掉序列中最早的数据 $x^{(0)}(2)$,再次形成新序列,再建模再预测,如此往复,直到完成预测目标^[16-17]。

从预测方式看,灰色新陈代谢模型较为理想。随着数据序列随时间的发展,旧数据刻画数据演变的作用将逐步降低,因此在数据系统中补充新信息的同时,及时去掉数据系统中原来的旧信息,建模序列才能正确反映数据演变的真实规律^[18-20]。基于此,本文拟构建GMM对全球12个地区恐怖袭击发展态势进行预测。

拟用残差检验方法检验预测模型的精度。检验步骤如下:首先,计算模型还原值与实际值之间的残差;其次,计算绝对残差序列: $\Delta^{(0)}(k) = |x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)|$ ($k = 1, 2, \dots, n$);最后,计算平均相对误差: $\bar{\phi} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \varphi_i$,其中 $\varphi_i = \frac{\Delta^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)}$ 。给定检验

水平,合理的预测模型同时满足 $\bar{\phi} < \alpha$ 和 $\varphi_i < \alpha$ 这2个条件。

全球恐怖主义数据库(GTD)中地区共涉及12个,包括北美、中美洲和加勒比海地区、南美、东亚、东南亚、南亚、中亚、西欧、东欧、中东和北非、撒哈拉以南的非洲、澳大利亚和大洋洲等地区。将12个地区1998—2017年恐怖袭击事件年度频次累计后组成12个时间序列,将其作为模型预测的样本数据。

3.2 恐怖袭击态势预测

灰色新陈代谢模型是由多个灰色GM(1,1)模型组成,其全数据GM(1,1)模型(基于原始序列建立的首个GM(1,1)模型)的精度将决定整个模型的预测效果。同时,灰色新陈代谢模型要求构成原始序列的数据个数不低于4个,建模中根据模型拟合精度选取原始序列的数据个数,即此原始序列中选取包括原点在内的部分或全部数据,构建GM(1,1)模型群,根据模型拟合精度确定最优新陈代谢的基础模型和建模序列维数。预测模型建立前,分别对各时间序列进行光滑性和准指数检验,各地区恐怖袭击事件的原始序列均满足光滑性和准指数性检验条件。基于编程软件计算,以12个地区恐怖袭击事件年度频次时间序列构建灰色新陈代谢模型,最优基础模型及模型检验结果如表4所示。

结合模型的残差检验结果(表4),可看出各基础GM(1,1)模型的平均相对误差均在5%的检验水

表4 各地区恐怖袭击事件时间序列的基础模型及其模型精度检验

地区序列	基础GM(1,1)模型	平均相对误差/%	检验结果
北美	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 280.131e^{0.103k} - 243.131$	2.51**	合格
中美洲和加勒比海	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 0.808e^{0.402k} + 0.191$	3.38**	合格
南美	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 4086.852e^{0.035k} - 3960.633$	1.76**	合格
东亚	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = -93.706e^{-0.620k} + 108.706$	1.94**	合格
东南亚	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = -64639.471e^{-0.017k} + 65827.471$	1.13**	合格
南亚	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = -61960.548e^{-0.084k} + 65762.548$	1.70**	合格
中亚	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 126.029e^{0.067k} - 114.029$	2.57**	合格
西欧	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 5872.619e^{0.042k} - 5679.619$	1.01**	合格
东欧	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = -2698.294e^{-0.085k} + 2907.294$	1.37**	合格
中东和北非	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = -162619.892e^{-0.037k} + 165028.892$	2.09**	合格
撒哈拉以南的非洲	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 18983.887e^{0.080k} - 17815.887$	2.07**	合格
澳大利亚和大洋洲	$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 245.905e^{0.042k} - 244.905$	1.34**	合格

注:**表示检验水平为5%。

平上通过检验,说明模型预测值对真值的变化趋势拟合较好,预测精度高。各模型精度达到建模要求,可以继续构建灰色新陈代谢模型。对灰色新陈代谢预测后续模型进行残差检验,其余模型精度均

达到建模要求。基于灰色新陈代谢模型,对12个地区恐怖袭击未来5年的发展态势进行了预测,结果如表5所示。

表5 2018—2022年全球12个地区恐怖袭击事件年度频次预测结果

地区序列	预测值				
	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
北美	85	94	104	116	128
中美洲和加勒比海	4	6	9	14	22
南美	200	207	214	222	230
东亚	6	4	2	1	1
东南亚	1018	1001	984	968	952
南亚	3285	3021	2778	2555	2349
中亚	12	13	13	14	15
西欧	311	324	338	352	368
东欧	120	111	101	94	86
中东和北非	4898	4719	4545	4379	4218
撒哈拉以南的非洲	2362	2559	2773	3005	3256
澳大利亚和大洋洲	12	13	14	14	15

从表5预测结果可以看出,整体来看,全球恐怖袭击事件呈现逐年下降态势,2022年恐怖袭击事件预测值为11640件,较2018年小幅下降,降幅为5.50%。分地区来看,北美、中美洲和加勒比海、南美、中亚、西欧、撒哈拉以南的非洲、澳大利亚和大洋洲等7个地区的恐怖袭击事件在未来5年呈现逐年上涨的趋势;其中中美洲和加勒比海地区的增速最快,2022年恐怖袭击事件预测值为22件,较2018年增加450.00%,撒哈拉以南的非洲地区的总量最大,2022年恐怖袭击事件预测值为3256件,较2018年增加37.90%。东亚、东南亚、南亚、东欧、中东和北非等5个地区的恐怖袭击事件在未来5年呈现逐年下降的趋势;其中东亚地区的降幅最大,2022年恐怖袭击事件预测值为1件,较2018年降低83.30%,中东和北非地区的总量最大,2022年恐怖袭击事件预测值为4218件,较2018年降低13.90%。从蔓延趋势来看,中东和北非地区的反恐态势最为严峻,是恐怖活动的“重灾区”,恐怖袭击活动虽出现小幅下降态势,但2022年恐怖袭击事件预测值为4218件,总量仍然较大;撒哈拉以南的非洲地区反恐态势较为严峻,2022年恐怖袭击

事件预测值为3256件,且呈现逐年上升态势;南亚和东南亚地区的反恐形势也不容乐观,两个地区在2022年恐怖袭击事件的预测值分别为2349件和952件,仅次于非洲地区,均较2018年有小幅下降;中美洲和加勒比海、东亚、中亚、澳大利亚和大洋洲等4个地区较为稳定,各年恐怖袭击事件预测值均在30件以下。

综上所述可以看出,恐怖活动已从重点地区逐渐向全球各地扩散,表现出全球泛滥的新特征,恐怖威胁正加速向全球各地蔓延;中东、非洲等地区仍然是国际恐怖活动的高发地区,非洲将沦为恐怖活动的“重灾区”,是未来国际反恐态势最为严峻的地区;东南亚、南亚等地区将成为恐怖主义新的活跃区,反恐形势严峻。非洲地区国家的经济发展普遍较为滞后,人民生活贫困,非洲地区间接成为恐怖组织滋生的土壤,全球五大恐怖组织中有4个在非洲发动过恐怖袭击,其中3个组织的大本营设立在非洲。经济发展水平不高导致政府没有财力用于打击恐怖组织,而许多非洲国家之间边防检查不严,武器走私较为普遍,导致恐怖威胁容易向其他地区蔓延。同时,西亚北非长期的战乱状态也深刻

影响着非洲整体的安全形势,许多武器装备从战乱国家,如叙利亚、利比亚等国流入非洲,进一步恶化了非洲地区的安全形势。通过与“伊斯兰国”“基地”等国际恐怖组织联合,非洲本土的恐怖组织获得了人员、武器、资金等方面的支持,增强了其在非洲地区制造恐怖袭击事件的能力。

3.3 模型预测效果分析

根据收集得到的全球恐怖主义数据库(GTD) 2018年最新数据,结合预测模型对2018年全球12

个地区恐怖袭击事件年度频次的预测结果,分析预测模型的预测效果和现实意义。根据表6数据,从地区分布来看,在现实数据中,南亚、中东和北非、撒哈拉以南的非洲以及东南亚地区是恐怖袭击事件的高发地区,中美洲和加勒比海、东亚、中亚、澳大利亚和大洋洲是恐怖袭击事件发生的低风险地区,与模型预测的全球恐怖袭击态势的地区分布特征基本一致。

表6 2018年全球12个地区恐怖袭击事件年度频次模型预测值与实际值对比

地区	2018年实际值		2018年预测值		占比之差/%
	频次	占比/%	频次	占比/%	
北美	100	1.04	85	0.69	0.35
中美洲和加勒比海	15	0.16	4	0.03	0.12
南美	299	3.11	200	1.62	1.49
东亚	6	0.06	6	0.05	0.01
东南亚	874	9.10	1018	8.27	0.83
南亚	3285	34.19	3285	26.68	7.51
中亚	7	0.07	12	0.10	0.02
西欧	201	2.09	311	2.53	0.43
东欧	70	0.73	120	0.97	0.25
中东和北非	2557	26.62	4898	39.78	13.16
撒哈拉以南的非洲	2172	22.61	2362	19.18	3.43
澳大利亚和大洋洲	21	0.22	12	0.10	0.12
总计	9607	100	12313	100	—

从恐怖袭击事件地区占比看,各地区的实际恐怖袭击年度发生次数比重与模型预测的比重差距均较小。其中,差距最大的是中东和北非,差值为13.16%;差距最小的为中亚,差值为0.02%。各地区实际恐怖袭击年度发生次数比重与模型预测比重的平均差距仅为2.31%。

综上,说明灰色新陈代谢模型的预测效果较好,能够反映现实的基本特征。

4 结论

本研究根据全球恐怖主义数据库,从人员伤亡、财产损失和不良社会影响等3个维度构建了恐怖袭击事件危害程度评价指标体系,结合样本数据

的高维性和非正态性特点,基于投影寻踪评价模型对恐怖袭击事件危害程度进行了量化分级;同时,基于灰色新陈代谢模型对未来5年的全球恐怖活动蔓延趋势进行合理预判,得到以下结论:一是恐怖袭击事件危害程度量化后共分为5级,在全球10大恐怖袭击事件中,发生在美国纽约世界贸易中心的“9·11”事件危害程度排名第1;二是恐怖活动已从重点地区逐渐向全球各地扩散,表现出全球泛滥的新特征,恐怖威胁正加速向全球各地蔓延,但未来5年全球恐怖袭击呈现下降态势;三是中东、非洲等地区在未来5年仍然是国际恐怖活动的高发地区,非洲将沦为恐怖活动的“重灾区”,是未来国际反恐态势最为严峻的地区;四是东南亚、南亚等地区将成为恐怖主义新的活跃区,反恐形势严峻。

参考文献(References)

- [1] 柴瑞瑞, 刘德海, 陈静锋. 恐怖袭击事件的时空差异特征分析及内生性 VAR 模型[J]. 中国管理科学, 2016, 24(增刊 1): 281-288.
- [2] 郝蒙蒙, 陈帅, 江东, 等. 中南半岛恐怖袭击事件时空演变特征分析[J]. 科技导报, 2018, 36(3): 62-69.
- [3] 付举磊, 肖进, 孙多勇, 等. 基于社会网络的恐怖活动时空特征分析[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(9): 2324-2332.
- [4] 孙柠. 基于模糊综合评价法的涉恐风险评估模型研究[J]. 应用科技, 2018, 45(4): 69-75.
- [5] 魏静, 王菊韵, 于华. 基于多模块贝叶斯网络的恐怖袭击威胁评估[J]. 中国科学院大学学报, 2015, 32(2): 264-272.
- [6] 刘明辉. 基于 K-means 聚类分析的民航系统恐怖主义风险评估[J]. 数据分析与知识发现, 2018, 2(10): 21-26.
- [7] 赵芸, 赵敏. 采用深度置信网络的恐怖袭击事件量化分级研究[J]. 软件导刊, 2019(7): 173-176.
- [8] 肖卫东, 周城, 孙扬, 等. Parallel Sets 的改进及其在全球恐怖袭击数据分析中的应用[J]. 国防科技大学学报, 2011, 33(1): 115-119.
- [9] 苏屹, 于跃奇. 基于加速遗传算法投影寻踪模型的企业可持续发展能力评价研究[J]. 运筹与管理, 2018, 27(5): 130-139.
- [10] 邓楚雄, 谢炳庚, 李晓青, 等. 基于投影寻踪法的长株潭城市群地区耕地集约利用评价[J]. 地理研究, 2013, 32(11): 2000-2008.
- [11] 李朋林, 唐珺. 基于投影寻踪的“新一线”城市人才环境评价研究[J]. 科技管理研究, 2019, 39(9): 69-75.
- [12] 张家栋. 世界恐怖主义的主要特征与发展趋势[J]. 国际观察, 2011(5): 8-15.
- [13] 吴凤平, 程铁军. 基于改进的灰色定权聚类分析的突发事件分级研究[J]. 中国管理科学, 2013, 21(增刊 1): 110-113.
- [14] 王向爱, 庄元强, 谢为顿, 等. 对恐怖袭击事件记录数据的量化分析与研究[J]. 经济数学, 2019, 36(3): 95-103.
- [15] 李震巍, 金国鹏, 汪平, 等. 对恐怖袭击事件记录数据的量化分析[J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(16): 139-146.
- [16] 刘思峰, 谢乃明. 灰色系统理论及其应用[M]. 4 版. 北京: 科学出版社, 2008.
- [17] 刘思峰, 邓聚龙. GM(1,1)模型的适用范围[J]. 系统工程理论与实践, 2000(5): 121-124.
- [18] 张朝飞, 罗建军, 徐兵华, 等. 基于灰色理论的新陈代谢自适应多参数预测方法[J]. 上海交通大学学报, 2017, 51(8): 970-976.
- [19] 解瑞金, 胡运红, 康莉娜. 新陈代谢灰色模型在中国碳排放量预测中的应用[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(11): 18-26.
- [20] 蔡军. 灰色新陈代谢模型在滑坡动态监测中的应用[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2014, 33(5): 92-94.

Quantitative classification of global terrorist attacks and prediction of anti-terrorist situation: Based on projection pursuit model and grey metabolic model

DENG Shicheng¹, QIN Yao^{2,3*}, XU Jifang⁴, GU Yiwei⁵

1. Business School, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China
2. Chongqing Statistics Bureau, Chongqing 401147, China
3. School of Mathematics and Statistics, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China
4. Big Data and Intelligence Engineering School, Chongqing College of International Business and Economics, Chongqing 401520, China
5. Leshan Commercial Bank, Leshan 614000, China

Abstract The terrorist attacks pose a serious threat to the regional peace and stability and their spread to all parts of the world is accelerating. Based on the data of terrorist attacks from 1998 through 2017 in the Global Terrorist Database (GTD), this paper quantitatively classifies the damage degrees of terrorist attacks based on the Projection Pursuit Model (PPM) and the Grey Metabolic Model (GMM), and predicts the spread trend of the global terrorist activities in the next five years. Based on the quantified damage degrees of terrorist attacks, the terrorist attacks can be divided into five levels, with the first level as the "9·11" incident in New York, USA. Terrorist activities have gradually spread from key areas to all parts of the world, but the total amount of the global terrorist attacks is in a downward trend in the next five years. The Middle East, Africa and other regions will still be the areas of a high incidence of international terrorist activities in the next five years. Africa will become a "disaster area" of terrorism, while Southeast Asia and South Asia will become new active areas of terrorism.

Keywords terrorist attacks; quantitative analysis; situation prediction ●



(责任编辑 傅雪)