

## Research Article

# An Analysis Method of Black Swan Event based on Impact-spread Tree

Xinying Liu<sup>1,3</sup>, Hang Li<sup>2,3</sup>, Xiaobing Hu<sup>2,3,\*</sup><sup>1</sup>The Flight Technology College, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China<sup>2</sup>College of Electronic Information and Automation, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China<sup>3</sup>China-France Research Center of Applied Mathematics for ATM, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China**ARTICLE INFO***Article History*

Received 11 May 2020

Accepted 05 July 2020

*Keywords*Black swan event  
impact analysis  
impact-spread tree  
judgment  
air crash**ABSTRACT**

The black swan event has the characteristics of rarity and serious consequences. At present, the analysis of black swan events is generally preconceived (that is, the event is assumed to be a black swan event, and then the influence of the event is discussed), or whether it is a black swan event is directly judged according to its characteristics. This method of direct judgment by definition is one-sided and inaccurate, which is not conducive to the development and maturity of research on black swan events. Therefore, this paper solved the problem of whether a method can be used to quantitatively determine whether an event can be called a black swan event before it is defined as a black swan event. This paper proposes a set of analysis methods to determine the black swan event by constructing an impact-spread tree. This method first defines the type of event, analyzes the possible impact range of the event, and draws it into a tree structure. Then, according to the development law of the event, analyzes the impact spread relationship between nodes in the tree structure, and establishes the influence diffusion tree of the event. Finally, by analyzing the impact spread ratio of the event, determine whether it is a black swan event. The case study shows that the method of impact-spread tree can effectively distinguish between black swan events and non-black swan events.

## 基于影响扩散树的黑天鹅事件分析方法

刘馨莹<sup>1,3</sup>, 李航<sup>2,3</sup>, 胡小兵<sup>2,3,\*</sup><sup>1</sup>飞行技术学院 中国民航大学, 天津 300300<sup>2</sup>电子信息与自动化学院 中国民航大学, 天津 300300<sup>3</sup>中法联合空管应用数学研究中心 中国民航大学, 天津 300300**关键词**黑天鹅事件  
事件分析  
影响扩散树  
事件判定  
坠机**摘要**

黑天鹅事件具有稀有性和后果严重性的特征。目前对于黑天鹅事件的分析普遍存在先入为主的问题（即，先假定事件是黑天鹅事件，再讨论事件的影响），或是根据特征直接判断是否是黑天鹅事件。这种直接用定义去判断的方法存在片面性和不准确性，不利于黑天鹅事件研究的发展成熟。因此，本文旨在解决事件发生之后，其尚未被定义为黑天鹅事件之前，是否可以利用一种方法来定量分析判断其是否可以被称为黑天鹅事件这一问题。通过对影响扩散树的构建，提出了一套判定黑天鹅事件的分析方法（即，先分析事件的影响，再据之判定是否为黑天鹅事件）。该方法先明确事件的类型，分析事件可能的影响范围，并初步绘制成树形结构；之后，根据事件的发展规律，分析树状结构中各节点间的影响扩散关系，建立事件的影响扩散树；最后，通过分析事件的影响扩散比例，判定它是否为黑天鹅事件。实例研究表明：影响扩散树这一方法可以有效地区分黑天鹅事件与非黑天鹅事件，有助于黑天鹅事件分析中的对于事件类型的合理判定。

© 2020 The Authors. Published by Atlantis Press B.V.

This is an open access article distributed under the CC BY-NC 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

## 1. 引言

随着社会发展和自然环境的不断变化，各种不安全事件频发，其中有一类事件，发生频率很低，但如果发生其影响将广泛深远。学者们通常将这类事件称为黑天鹅事件。例如，美国的911恐怖袭击事件，它不仅造成了大量的人员死亡，而

且对经济发展、社会稳定和国际声誉等都产生了巨大影响。因此，非常有必要研究和分析黑天鹅事件。

目前，学者们对黑天鹅事件已经展开了相关研究。Liargovas P [1]选取了2001至2005年间三个黑天鹅事件，利用事件分析法分析了此类事件对希腊股市的冲击。杜利芳 [2]论述了黑天鹅与供应链及供应链风险管理之间的关系；茹瑜 [3]根据2011年1月到2012年12月期间遭受黑天鹅事件冲击的32家上市公司的

\*Corresponding author. Email: [huxbtg@163.com](mailto:huxbtg@163.com)

表1 | 黑天鹅事件定义 [4-13]

序号	关键词	来源
1	稀有性+冲击性+事后预测性	Taleb, 2007
2	不可能	Paté-Cornell, 2011年
3	令人惊讶+极端	Aven, 2012
4	不可预测	Masys, 2012
5	不可预测+重大	牟善军, 2013
6	不可能+存在性	徐会永, 2015
7	令人惊讶	Hajikazemi, 2016
8	异常值+抓住情绪+广泛接受	Mueller, 2013
9	意外性+极端影响+突发	刘霞, 2017
10	出乎意料+颠覆性	周敏凯, 2017

财务数据，运用因子分析和Logit回归法对影响其股价恢复能力的因素进行了分析。总的来说，以往研究都是直接认定或假定一个事件就是黑天鹅事件，即“先入为主”的认定方法，再利用相关方法分析该事件的影响，缺乏判定黑天鹅事件的专门方法。鉴于此，笔者在探讨了黑天鹅事件概念的基础上，通过建立影响扩散树，提出一套区别于“先入为主”的判定分析黑天鹅事件的方法。新方法先分析一个事件的影响，再据之判定该事件是否为黑天鹅事件。

## 2. 黑天鹅事件

### 2.1. 黑天鹅事件的定义

黑天鹅这一概念最早应用于经济学领域，金融专家Taleb在《黑天鹅》一书中，对黑天鹅事件的特征及事例进行了具体介绍 [4]。之后，黑天鹅这一概念逐渐被运用到其他领域，不同学者对其定义进行探讨描述，常见的黑天鹅定义见表1。由表1可知，虽然黑天鹅事件定义众多，但学者们基本认同黑天鹅事件具有发生频率低和影响严重等特征。

### 2.2. 黑天鹅事件与相关概念的关系

为了判定和分析黑天鹅事件，有必要将黑天鹅事件与现有相关概念进行区分。这里主要探讨黑天鹅事件与突发事件和非常规突发事件概念的关系。

**突发事件：**指突然发生，造成或者可能造成严重社会危害，需要采取应急处置措施予以应对的自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件 [14]。

**非常规突发事件：**指发生的前兆不明确，具有明显的复杂性特征和潜在次生衍生危害，破坏性严重，采用常规管理方式难以应对处置的突发事件 [15]。事实上，国外学者很早就开始研究这类事件，并将其称之为极端事件。其中美国国家科学基金项目的专项研究则从事物的性质对非常规突发事件进行了定义 [16]。

根据这两类事件的定义，以及以往黑天鹅事件的研究，可以从事件涵盖范围和事件影响领域两方面分析三者之间的关系。就事件涵盖范围而言，根据定义不难发现，突发事件涵盖的事件类型最多，包含非常规突发事件和黑天鹅事件。而黑天鹅事件和非常规突发事件从定义和特征看十分相似，但学者们在研究两类事件时还是有所区别。并非所有非常规突发事件都需要从黑天鹅事件角度进行分析。例如，2004年巴拉圭超市火灾事件，事件共274人遇难，数百人受伤。这件事被当作非常规突发事件进行研究，但黑天鹅事件的研究中并

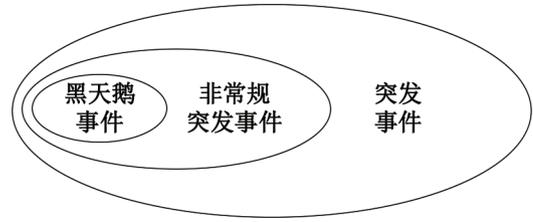


图1 | 黑天鹅事件、非常规突发事件与突发事件在定义上的包含关系。

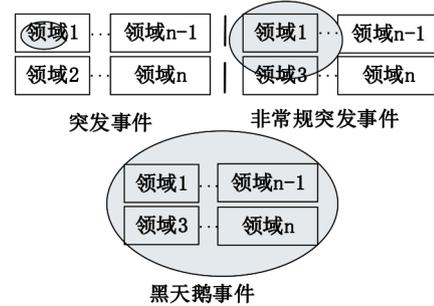


图2 | 黑天鹅事件、非常规突发事件与突发事件可能影响范围。

未提及[16]。由此可见，非常规突发事件包含黑天鹅事件。三者定义上的包含关系见图1。就事件影响范围而言，显然，突发事件的影响领域最小。进一步分析黑天鹅事件和非常规突发事件相关研究，可以发现，虽然两类事件都会造成严重影响，但影响范围有差异。黑天鹅事件更强调系统全局性的危害，它可以看作非常规突发事件中的极端情形。三者影响范围关系也可以用图2进行阐明。

## 3. 黑天鹅事件的判定方法

为解决黑天鹅事件判定分析中，普遍存在的“先入为主”的问题，笔者在传统事故分析方法的基础上，提出了影响扩散树的方法以判定和分析黑天鹅事件，包括3个步骤。

### 3.1. 构建影响扩散树

常见的应用于安全和风险领域的树形结构的方法主要是故障树和事件树。故障树从顶事件追溯因果路径 [17]，而后者从单个事件出发，探索事件之后的可能性。这里，借鉴“树”的思想构建影响扩散树。影响扩散树旨在研究原事件对可能相关领域造成的影响，包括各领域内部或之间影响的相互传递和扩散。需要注意的是，不同类型事件，其影响范围领域有差异。对于某一类型事件，其影响扩散树建立步骤如下：

- (1) 明确事件类型，分析其可能的影响领域，即影响扩散树的第二层。
- (2) 根据事件发生发展的实际情况，细化其在各个领域的影响，即影响扩散树的最底层，每个具体影响称为一个节点；
- (3) 分析各节点间影响扩散关系，详见2.2节，并用特定箭头相连，最终完成影响扩散树构建，如图3所示。

### 3.2. 分析各节点间影响扩散关系

分析各节点间影响的传递和扩散情况，才有可能真实掌握事件造成的全部影响。根据事件影响的具体演化过程，可以将

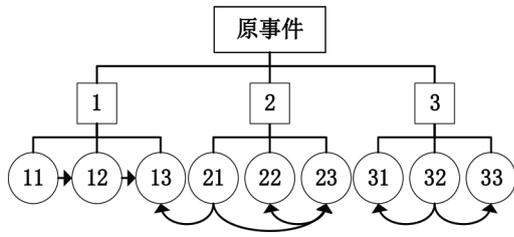


图3 | 影响扩散树示意图。

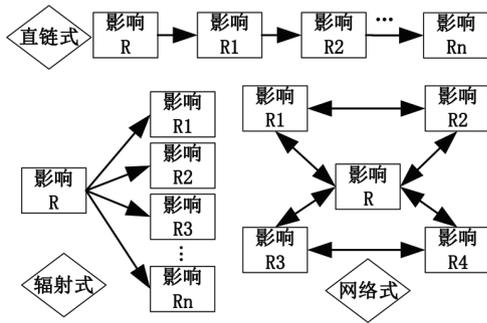


图4 | 典型的影响扩散方式。

演化构成分为三种：直链式、辐射式、网络式。直链式是指R影响开始，逐步演化成R1、R2...Rn，路径呈现直链式。辐射式是指R影响开始，同步演化成R1、R2...Rn，路径呈并行发散式。网络式是指R影响开始，逐步演化成R1、R2...Rn，但R1、R2...Rn又可以反馈给R事件，互相之间蔓延，最终形成网络的结构。

通过对各节点之间的关系进行分析，找出影响的传播关系，在树状结构图的基础上，用箭头进行表示。

### 3.3. 判定方法

有了影响扩散树，就可以根据一个事件的影响在影响扩散树中的扩散情况来判断该事件是否可以称为黑天鹅事件，而不是先入为主地直接假定该事件为黑天鹅事件。如何基于影响扩散树来判定黑天鹅事件，一般是可以根据事件的类型、领域等采用定制化的判定标注。本文采用一种简单的扩散比例判断法，即，要判断一个事件是否是黑天鹅事件，先要根据构建的影响扩散树，计算事件影响的扩散比例：有了影响扩散树，就可以根据一个事件的影响在影响扩散树中的扩散情况来判断该事件是否可以称为黑天鹅事件，而不是先入为主地直接假定该事件为黑天鹅事件。如何基于影响扩散树来判定黑天鹅事件，一般是可以根据事件的类型、领域等采用定制化的判定标注。本文采用一种简单的扩散比例判断法，即，要判断一个事件是否是黑天鹅事件，先要根据构建的影响扩散树，计算事件影响的扩散比例：

$$a(i) = \frac{S_i}{S} \tag{1}$$

式中： $a$ 为某一事件类型， $a(i)$ 为某一具体事件的影响扩散比例， $S_i$ 为事件 $i$ 的影响在影响扩散树中的扩散节点数和， $S$ 为 $a$ 类事件可能造成的所有影响的总和，即影响扩散树中所有的节点。

然后，确定给定类型事件影响扩散的门限比例 $R$ 。它的确定方法多种多样，这里简单通过调研或专家打分的方式确定。

基于以上两步，则可以判定某一事件 $i$ 是否为黑天鹅事件：如果 $a(i) \geq R$ ，则称该事件为黑天鹅事件。如前所述，实际中，不同类型事件，其影响扩散有差异，相应的影响扩散树和门限比例也可能不同。下面以民航坠机事件为例，介绍如何应用影响扩散树方法判定某个事件是否为黑天鹅事件。

需要强调的是：基于公式（1）的扩散比例判断法只是基于影响扩散树来判定黑天鹅事件的一种可行标准而已。结合事件类型、领域等特点，完全可以采用其他的判定标准，比如，不是简单地进行节点数的加和，而是采用较为复杂的加权求和法（即，每个节点有各自的权重，事件在一个节点处的影响有一个百分比的分值）来构造判定标准，如下：

$$a(i) = \frac{\sum(\omega_j * S_j)}{\sum \omega_j} \tag{2}$$

其中 $\omega_j$ 是影响扩散树中节点 $j$ 的权重， $S_j$ 是事件 $i$ 在节点 $j$ 处的影响的百分比分值。如果事件 $i$ 在节点 $j$ 处没有影响，则 $S_j = 0$ 。显而易见，节点权重设定和事件在节点处影响的百分比分值的计算都是基于问题特点而高度定制化的技术。本文后面主要采用基于公式（2）的扩散比例的判定标准，以演示基于影响扩散树的黑天鹅事件判断分析方法的应用过程。

## 4. 案例研究

为了验证前面所提出方法的可行性和有效性，这里，以民航坠机类型事件为例，并选取两个典型的具体事件，波音737 MAX 8事件和伊春空难事件，分析它们是否为黑天鹅事件。

### 4.1. 事件简介

波音737 MAX 8事件：2019年3月10日8点38分，埃塞俄比亚航空公司波音737 MAX 8客机，从亚的斯亚贝巴飞往内罗毕。飞机起飞6分钟后失联，随后被确认坠毁，机上157名乘客和机组人员全部遇难。

伊春空难事件：2010年8月24日21时36分，河南航空公司(原鲲鹏航空有限公司)B3130飞机在执行哈尔滨—伊春航班任务时，在黑龙江省伊春市林都机场降落时失事。机上人员96人，54人生还，42人遇难。

### 4.2. 基于影响扩散树的坠机事件分析

根据前面的介绍，首先建立坠机类型事件的影响扩散树。基于历年来发生的坠机事件，对事件可能造成影响的领域进行分类，并划分出可能造成的结果，构建出坠机事件的影响扩散树，如图5。

下面，逐一分析两个民航坠机事件的影响扩散情况。

波音737 MAX 8空难事故：737 MAX 8空难事故的发生对很多社会领域都造成了巨大的冲击。主要有：（1）首当其冲的是民航业，两起事故导致737 MAX 8机型飞机在全球范围停飞，这对拥有该机型飞机的国内外航空公司的运营力、信任度都造成了影响。停飞同时还增加了航空公司的运营成本，包括常规成本及天气成本等 [18]。此次停飞对福建航空、上海航空这些737 MAX 8机型占机队总数比重较大的航空公司影响更大。同时，受到影响的航空公司的股价也都出现了大幅缩水；（2）737 MAX 8机型飞机制造商-波音公司的声誉、经

济及订单量因此都造成了影响，例如其股价在3个交易日内跌去了11.02%，市值蒸发256.51亿美元。未来与欧洲空客公司的竞争中也将处于劣势地位；（3）保险业也会受一定影响，因为保险公司要对空难中投保的航空公司、乘客进行巨额的经济赔偿；（4）对民众心理造成恐慌。很多民众因此对民航安全性提出质疑，未来出行方式可能也会有所改变；（5）民航法规发生变化。737 MAX 8空难事件发生后，各国民航部门相继出台的停飞波音737 MAX 8飞机的政策，我国民用航空局是第一时间出台这一规定。（6）国际关系受到影响。美国和欧盟因此事在贸易关税方面争锋相对，两方之间贸易关税的博弈愈加激烈。根据相关报道及统计数据，结合前面的坠机类事件影响扩散树，可以得到737 MAX 8空难事件的影响扩散树，如图6所示。加灰色代表具体事件造成的影响。

伊春空难事件：伊春空难的发生结束了2102天的中国航空业的安全运行，对中国航空业敲响了安全的警钟。但就影响范围来看，空难发生虽然引发了全国热议，但影响范围有限，主要有：（1）首先是金融业，事故发生后航空业的股价全线下挫，尤其是南方航空公司、东方航空公司以及海南航空公司，股价都出现了大幅缩水，但其影响只限于国内的航空股，同时国家在事件发生后的一系列措施加上各方的补救，对于金融领域的影响很快就消失了；（2）伊春林都机场在事件发生后，停航了一天，由于地处边陲，因此没有造成大面

积的人员滞留，并且此后飞机客座率也没有受到影响；（3）对于失事飞机所属航空公司河南航空而言这是一次毁灭性的打击，河南航空的所有航班停止运营。由于资不抵债，河南航空于2011年进入破产重组程序，并且撤销了河南航空有限公司企业名称登记。根据相关报道及统计数据，可以得到如图7的伊春空难的影响扩散树。

根据坠机类事件的影响扩散树，第四层节点对于整个公司及领域的影响权重通过专家打分法来确定。坠机事件的扩散比例门限为80%，根据两个事件相应的影响扩散树，即图6和图7，并运用公式（2）分别计算得到737MAX 8事件的扩散比例为96.08%，伊春空难扩散比例为55.56%。可以得出，737MAX 8事件是黑天鹅事件，而伊春空难不是。这与有关这两个事件的事后影响报道，以及相关的统计数据定性分析得到的结论一致，从而验证了所提出方法的有效性。

### 5. 结论与展望

区别于“先入为主”的黑天鹅事件判定分析方法（即，先假定一个事件就是黑天鹅事件，然后再讨论该事件的影响），文本提出了一种基于影响扩散树判定分析黑天鹅事件的方法。通过分析事件可能的影响范围，及各具体影响间的扩散关系，建立事件的影响扩散树，再分析事件影响扩散比例，

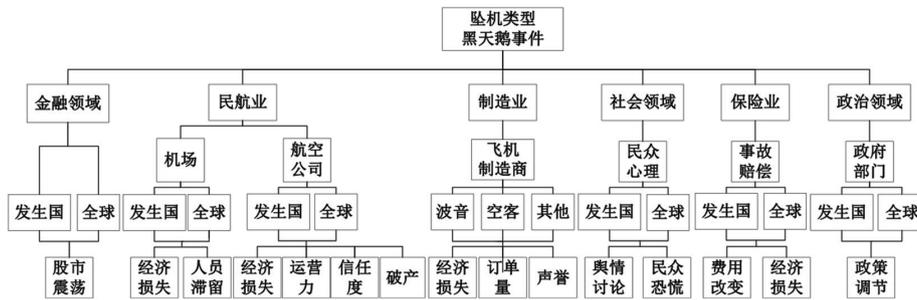


图5 坠机类事件影响扩散树.

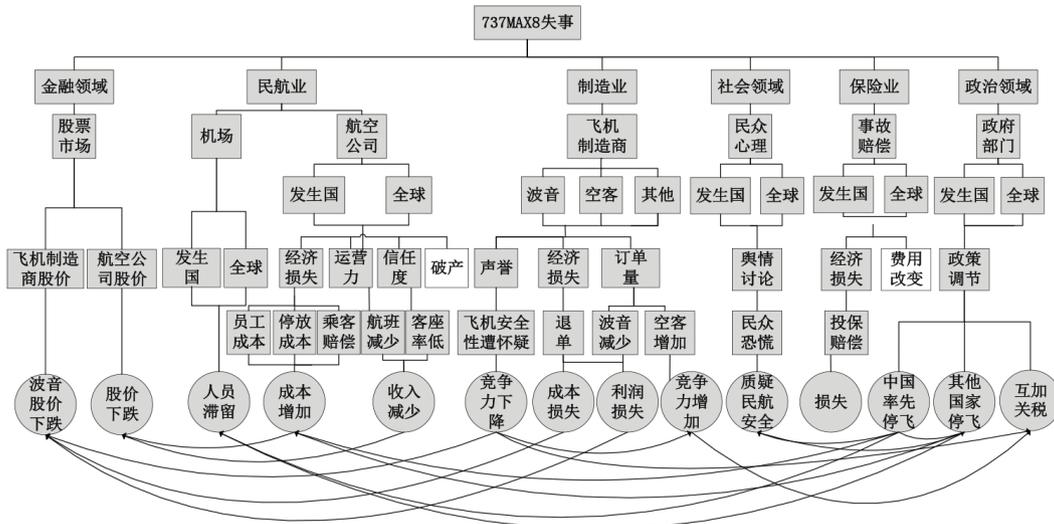


图6 波音737MAX8事件影响扩散树.

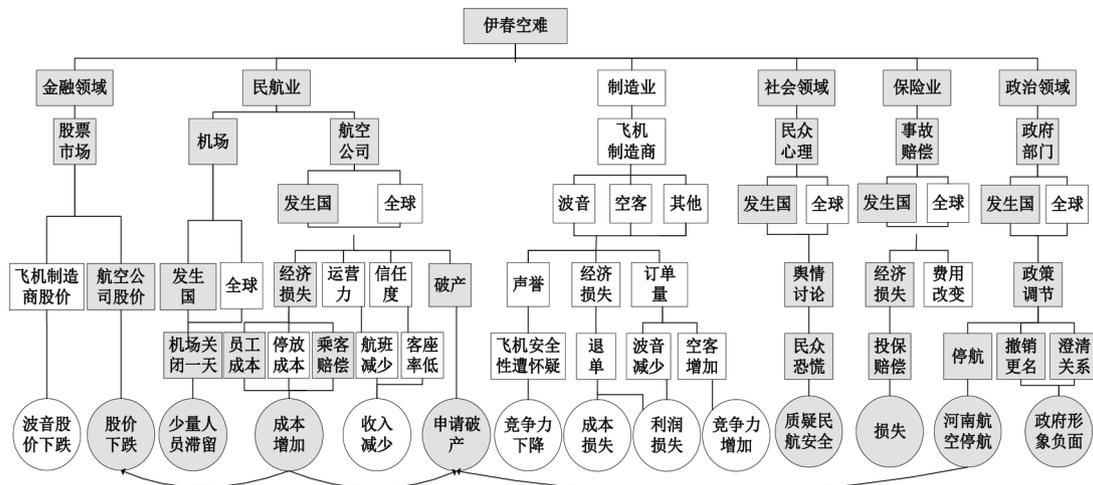


图7 伊春空难事件影响扩散树。

从而判定该事件是否为黑天鹅事件。案例研究结果与相关报道和统计数据的定性分析结论一致，验证了所提出方法的有效性。

本文主要是对黑天鹅事件是否可以用定量方法去分析判断的一种初步探索和尝试，将来还可对所提出的方法进一步开展深入改进和拓展研究。例如，利用专家打分法得到的权重存在一定的主观性，可以研究采用一些客观指标（经济体量、持续时间，等等）合成计算权重的可能性，并应用基于机器学习的大数据技术。另外，对方法的进一步验证和应用需要用更多的事件对比和数据支持，除了分析更多民航客机坠毁事件，还要研究更多其他领域（公共卫生领域，金融领域，等等）的事件，以便能够进一步改进和完善影响扩散树的方法架构和细节。

## 参考文献

- [1] Liargovas P, Repousis S. The impact of terrorism on Greek banks' stocks: an event study. *Int Res J Finance Econ* 2010;51:88–96.
- [2] 杜利芳. 基于黑天鹅理念的制造企业供应链风险管理研究[D]. 太原理工大学, 2014.
- [3] 茹瑜, 许华, 吴东生. 黑天鹅事件冲击下上市公司股价恢复能力研究——基于财务分析的视角[J]. *金融经济*, 2013:93–6.
- [4] Taleb NN. *The black swan: the impact of the highly improbable*. New York: Random House Trade Paperbacks; 2007, pp. 3–4.
- [5] Paté-Cornell E. On black swans and perfect storms: risk analysis and management when statistics are not enough. *Risk Anal* 2012;32:1823–33.
- [6] Aven T. Risk, surprises and black swans: fundamental ideas and concepts in risk assessment and risk management. New York: CRC Press; 2014, pp. 10–17.
- [7] Masys AJ. Black swans to grey swans: revealing the uncertainty. *Disaster Prev Manage* 2012;21:320–35.
- [8] 牟善军. 当心黑天鹅事件——浅谈风险评估的局限性[J]. *安全、健康和环境*, 2013;13:30.
- [9] 徐会永. 论科技期刊名称中“黑天鹅事件”的启示[J]. *编辑学报*, 2015;27:16–18.
- [10] Hajikazemi S, Ekambaran A, Andersen B, Zidane YJ-T. The black swan – knowing the unknown in projects. *Proc Soc Behav Sci* 2016;226:184–92.
- [11] Mueller J, Stewart MG. The curse of the black swan. *J Risk Res* 2016;19:1319–30.
- [12] 刘霞, 白敏. 中国股市“黑天鹅”事件的形成演化机理及其防控研究——以中石化黄岛事件为例[J]. *安阳工学院学报*, 2017;16:38–43.
- [13] 周敏凯. 当前西方民主乱象的根源与未来走向——基于英美“黑天鹅事件”的理论思考[J]. *人民论坛·学术前沿*, 2017:32–40.
- [14] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国突发事件应对法[L]. 2007–08–30.
- [15] 韩智勇, 翁文国, 张维, 等. 重大研究计划“非常规突发事件应急管理研究”的科学背景、目标与组织管理[J]. *中国科学基金*, 2009;23:215–20.
- [16] 刘霞, 严晓, 刘世宏. 非常规突发事件的性质和特征探析[J]. *北京航空航天大学学报(社会科学版)*, 2011;24:13–17.
- [17] 王燕, 尹盼盼, 沈梦露. 基于事故树的铁路客运站火灾风险因素分析[J]. *中国安全科学学报*, 2019;29:44–7.
- [18] 李航, 郭晓梅, 胡小兵. 灾害性天气下航空公司天气成本测算模型[J]. *中国安全科学学报*, 2019;29:7–12.