



Scenario Expression Model of Zhengzhou Rainstorm Subway Disaster Event Based on Knowledge Element Theory

Yongcun Ren¹, Ren Zhang^{2,*}

¹ Institute of Meteorology and Oceanology, National University of Defense Technology

² Institute of Meteorology and Oceanology, National University of Defense Technology

*Corresponding author. Email: zhang_ren17@nudt.edu.cn

ABSTRACT

The sudden subway disaster caused by the torrential rain (7.20 rainstorm event) in Zhengzhou, Henan Province on July 20, 2021 is one of the few major urban casualties in recent years. In view of the characteristics of Zhengzhou rainstorm subway disaster event with many elements, complex relationships and high measurability of element attributes, the knowledge element theory in the field of informatics is applied to the scenario expression of this event. Firstly, the characteristic elements of Zhengzhou rainstorm subway disaster event and the typical attributes of these elements are extracted. Then, the knowledge element expression model is established and applied to the scenario analysis of Zhengzhou rainstorm subway disaster events, and the driving mode of the evolution and development of Zhengzhou rainstorm subway disaster events is analyzed. This study attempts to describe the basic composition and driving relationship of Zhengzhou rainstorm subway disaster scenario from the micro perspective and the essential level, so as to provide an idea for the extraction, storage and retrieval of information about similar events of Zhengzhou rainstorm subway disaster, and provide a reference for risk prevention and response countermeasures to deal with and prevent similar events of "Zhengzhou rainstorm subway disaster".

Keywords: Scenario expression Zhengzhou rainstorm subway disaster, knowledge element, scenario expression

基于知识元理论的郑州暴雨地铁灾害事件情景表达模型

任永存¹, 张韧^{2,*}

¹ 国防科技大学气象海洋学院

² 国防科技大学气象海洋学院

* 通讯作者. 电子邮箱: zhang_ren17@nudt.edu.cn

摘要

针对郑州暴雨地铁灾害事件要素众多、关系复杂、要素属性可测性较高的特点,将情报学领域的知识元理论应用于此事件的情景表达。首先提炼出了郑州暴雨地铁灾害事件情景特征要素及这些要素所包括的典型属性。接着,建立了知识元表达模型,将其应用于郑州暴雨地铁灾害事件情景分析,并分析了郑州暴雨地铁灾害事件演化发展的驱动模式。本研究尝试从微观的角度、从本质的层次去描述郑州暴雨地铁灾害事件情景的基本构成及驱动关系,从而为郑州暴雨地铁灾害类似事件信息的抽取、存储、检索提供了一种思路,为应对郑州暴雨地铁灾害类似事件提供风险防范和响应对策参考。

关键字: 郑州暴雨地铁灾害, 知识元, 情景表达。

1. 引言

在“情景-应对”应急模式下,情景是决策者赖以决策的基础,在关键情景点做出科学、有效的决策是突发灾害应急决策的关键问题之一。依据斯坦福研究院对情景分析步骤的研究,情景表示就是识别关键因素及其状态的过程^[1]。重大突发事件情景构建是对突发灾害事件的一种合理设想,是对不确定的未来灾难开展应急准备的一种战略性思维工具^[2]。王颜新^[3]指出情景是包含很多重要参数的集合,从静态角度看,“情景”可以是对不确定环境中非常规突发事件在某一具体时间片断上属性状态的描述,对应着非常规突发事件在不同时空节点上的集成表现。武旭鹏等^[4]认为情景就是呈现在决策主体面前的,能够影响事件未来发展方向的重要要素状态的集合。张承伟^[5]从知识元的理论出发,提出了知识元结构的四元组模型,构建了以知识元为基础的“情景表达模型”,并以2007年山东济南“7.18暴雨”突发事件为例,验证了该“情景表达模型”的有效性和可行性。陈雪龙^[6]运用粒计算理论,建立了基于粒计算非常规突发事件情景层次模型,可有效实现基于复杂、不确定情景信息快速生成满足不同层次应急管理用户需求的粒度情景结构。本研究拟根据暴雨地铁灾害的事件情景特性,利用情报学领域知识元理论,从微观的角度,从最本质的层次去分析郑州暴雨地铁灾害事件情景基本组成要素、要素属性及其之间驱动关系,实现以共性的表达,对郑州暴雨地铁灾害事件各情景片段的规范化描述,从而为基于“情景-应对”的暴雨地铁灾害类似事件灾害应急管理打下基础。

2. 共性知识元模型

王延章教授^[7]首先对知识元理论进行了共性模型化表达,提出了知识元对象、属性、关系三元组模型。该模型认为,客观世界是由“元”的集合,这些“元”之间相互关联,即构成了系统。对某一具体知识对象的认知可表示为:

$$-K=(k1,k2,\dots,kn) \quad (1)$$

其中, K 为对客观世界的某方面认识,即某一具体知识, kn 为组成这些知识的知识元。根据王延章教授的三元组模型,每一个知识元是由三部分组成的:①知识元的名称和概念 Nm ,②属性的状态集 Am ,③属性间的作用关系集 Rm 。因此,每一个知识元 kn 可表示为:

$$Km=(Nm,Am,Rm)m \in n \quad (2)$$

对于任一属性 $a \in Am$,其状态又可以用另一层知识元 Ka 来表示,即属性知识元:

$$Ka=(pa,da,fa) \quad (3)$$

式中, pa 为对属性的可测特征描述, da 为测量纲, fa 为属性时变关系函数。当 fa 为空,则表示不存在相关的变化函数。

式(2)中,对于任一关系 $r \in Rm$,即 r 为 $Am*Am$ 上一个映射关系, r 由以下构成:映射属性描述 p ,如逻辑、函数、随机等;输入属性的状态集 AI ;输出属性的状态集 AO ;输入属性和输出属性状态集的映射关系函数 $AO=f(AI)$,则属性关系知识元表达为:

$$kr=(p,AI,AO,f) \quad (4)$$

3. 暴雨灾害事件情景表达

暴雨灾害事件的情景是暴雨灾害事件演化发展全过程中各个要素属性及驱动的集合,体现了暴雨灾害事件的状态和趋势。一次暴雨灾害的发生、发展、演变过程可以看作若干个情景片段的集合。

暴雨灾害事件=

$$(S0,S1,S2,\dots,Si,\dots,Sn) \quad (5)$$

式中, Si 为暴雨灾害事件 ti 时刻的情景。

本研究将每个暴雨灾害情景抽象为突发事件,承灾体,应急响应活动,孕灾环境,四个要素的集合,即:

$$Si=(Ii,Bi,Ri,Ei) \quad (6)$$

式中, Ii 为该情景下突发事件要素集, Bi 为承灾体要素集, Ri 为应急响应活动要素集, Ei 为孕灾环境要素集。

本研究将各个情景要素作为构成情景的最小单元,即暴雨灾害事件情景“知识元”。则式(6)可以写为:

$$Si=(\{KI\},\{KB\},\{KR\},\{KE\}) \quad (7)$$

$\{KI\}$ 为该情景中突发事件要素知识元的集合, $\{KB\}$ 为该情景中承灾体要素知识元的集合, $\{KR\}$ 为该情景中应急响应活动要素知识元的集合, $\{KE\}$ 为该情景中孕灾环境要素知识元的集合。

式(7)中,任一情景要素 $K \in (I,B,R,E)$ 可以使用式(2)共性对象知识元模型进行表达,该情景要素的任一属性又可以用式(3)的共性属性知识元进行表达。

因此，以 S_i 情景下某承灾体要素 B_j 的某属性知识元 A_m 为例，其知识结构如图 1。

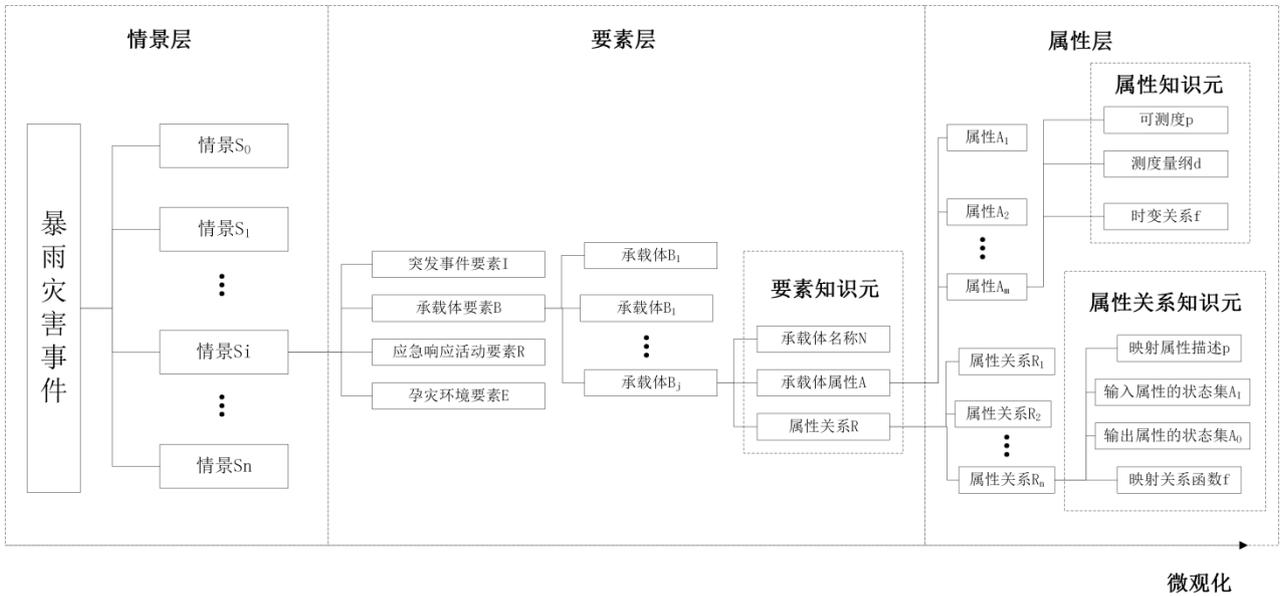


图 1 暴雨灾害事件情景知识结构示例

可见，通过情景要素及其属性可高效地构建当前暴雨灾害事件的情景状态。那么，这种状态是如何演化发展的呢？本研究认为，上述情景要素之间的相互作用关系是驱动暴雨灾害事件演化发展的动力，这种相互作用关系通过属性的因果联系来实现。

为了分析这种因果关系，我们将任意要素知识元 Kn 的属性集 An 划分为输入属性集 $\{ail\}$ ，反映要素的固有特征诸如时间、地点等信息；状态属性

集 $\{asp\}$ ，反映要素在当前情景下的现状；输出属性集 $\{aoq\}$ ，反映要素对其它对象产生影响的状态。则任意要素知识元 Kn 的属性集 An 可表示为：

$$A_n = \{ai_1, \dots, ai_l, as_2, \dots, as_p, ao_1, \dots, ao_q\} \quad (8)$$

则暴雨灾害事件要素之间演化发展可用图 2 表示，这种关系与知识元关系理论是完全契合的。

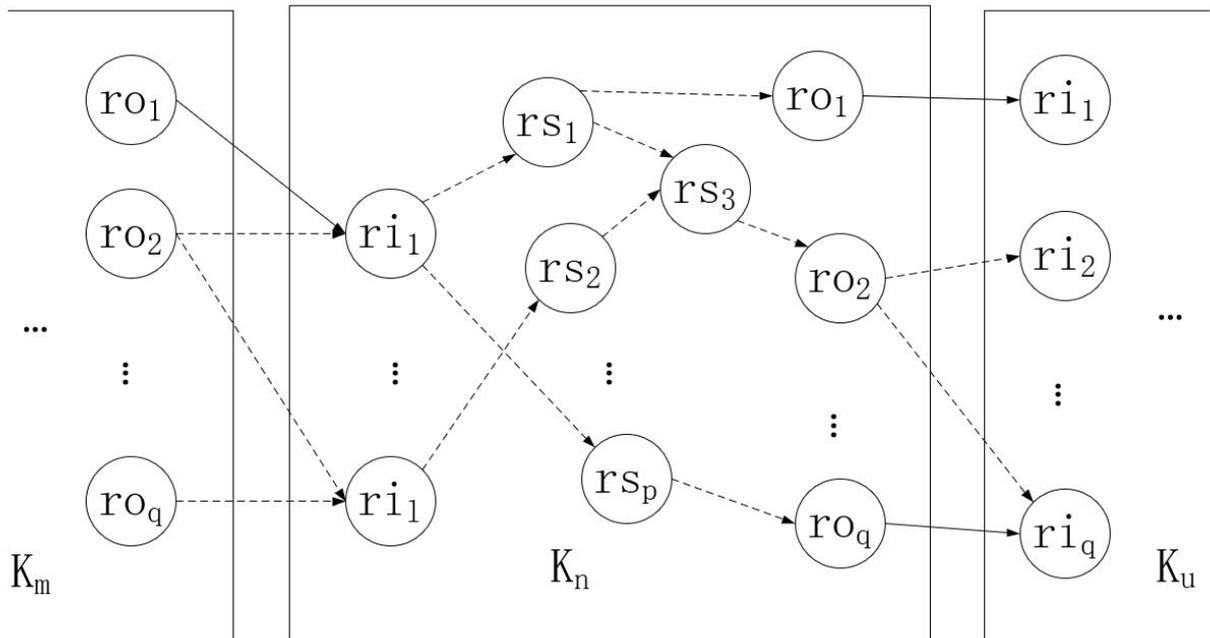


图 2 要素作用关系示意图

上图中, Km, Kn, Ku 为暴雨灾害情景要素知识元, 它们之间通过知识元属性间的作用关系构建起关联(图中以箭头表示)。这种作用关系存在以下几种类型:

1) 从属性知识元角度来看: ① kn 的输入属性作用于其自身状态属性; ② kn 的状态属性作用于其自身输出属性; ③ kn 的输出属性作用于 ku 的输入属性。

2) 从要素知识元角度来看: ①要素知识元内部属性间相互作用; ②不同要素之间属性相互作用。

因此, 各要素知识元的关系集 R 可表示为:

$$R = \begin{cases} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1t} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2t} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{t1} & r_{t2} & \dots & r_{tt} \end{cases} \quad (9)$$

式(9)中, $r_{mn} \in \{0,1\}$, $m, n = 1, 2, \dots, t$ 。

若 $r_{mn} = 0$, 则 km 与 kn 无直接作用关系; 若

$r_{mn} = 1$, 则表示要素之间存在作用关系。当 $m = n$ 时, 则表示要素内属性之间相互影响。当 $m \neq n$ 时,

表1 郑州暴雨地铁灾害事件中典型情景及其要素示例

则表示不同要素属性之间的作用。此种情形下, 可再细分为以下关系: 突发事件作用于承灾体, 承灾体的状态演变影响突发事件, 应急响应活动作用于突发事件和承灾体, 突发事件和承灾体的状态影响应急响应活动, 突发事件、承灾体、应急响应活动均受孕灾环境要素影响。

3) 从关联对象数量上来看: 一个属性作用于另一个属性, 多个属性作用于一个属性, 一个属性作用于多个属性, 多个属性作用于多个属性。

4) 从关联类型来看: ①属性之间以函数构建关系, 即 $aoq = fr(\{ail\})$, fr 可用式(4)关系知识元表达, 如图2中虚线箭头; ②某要素的输出属性直接成为另一要素的输入属性, 即 $aoq = ail$, 如图2中实线箭头。

4. 基于知识元理论的郑州暴雨地铁灾害事件情景表达模型

由于篇幅有限, 本文以郑州暴雨地铁灾害事件为例进行分析。选取其中三个主要情景片段进行分析, 如表1所示。其它事件亦可以类似方式进行分析。

情景编号	情景要素			
	突发事件 I	承灾体 B	应急响应活动 R	孕灾环境 E
S1	连日暴雨	城市道路基础设施	加强检查巡视, 隐患排查	气象条件, 道路条件
S2	城市内涝	五龙口停车场	排水, 加固挡水围墙, 疏通排水管线	气象条件, 停车场情况
S3	洪水灌入地铁隧道	地铁及乘客	疏散救援	地势条件, 地铁、人员情况
S4	地铁失电迫停, 14人死亡			

图3描绘了本次事件中的部分情景片段。图中, 大虚线方框为某时刻的情景; 其划分成四个虚线内框为四个要素知识元, 即如式(7)所表达; 其中矩形为要素知识元名称, 椭圆形为对应知识元的属性, 属性间关系用箭头表示。可以看到, 本案例中的属性间关系涵盖了本文描述的各种类型。虚线箭头表

示属性之间以映射构建关系, 即 $aoq = fr(\{ail\})$; 实线箭头则表示某要素的输出属性直接成为另一要素的输入属性, 即 $aoq = ail$ 。

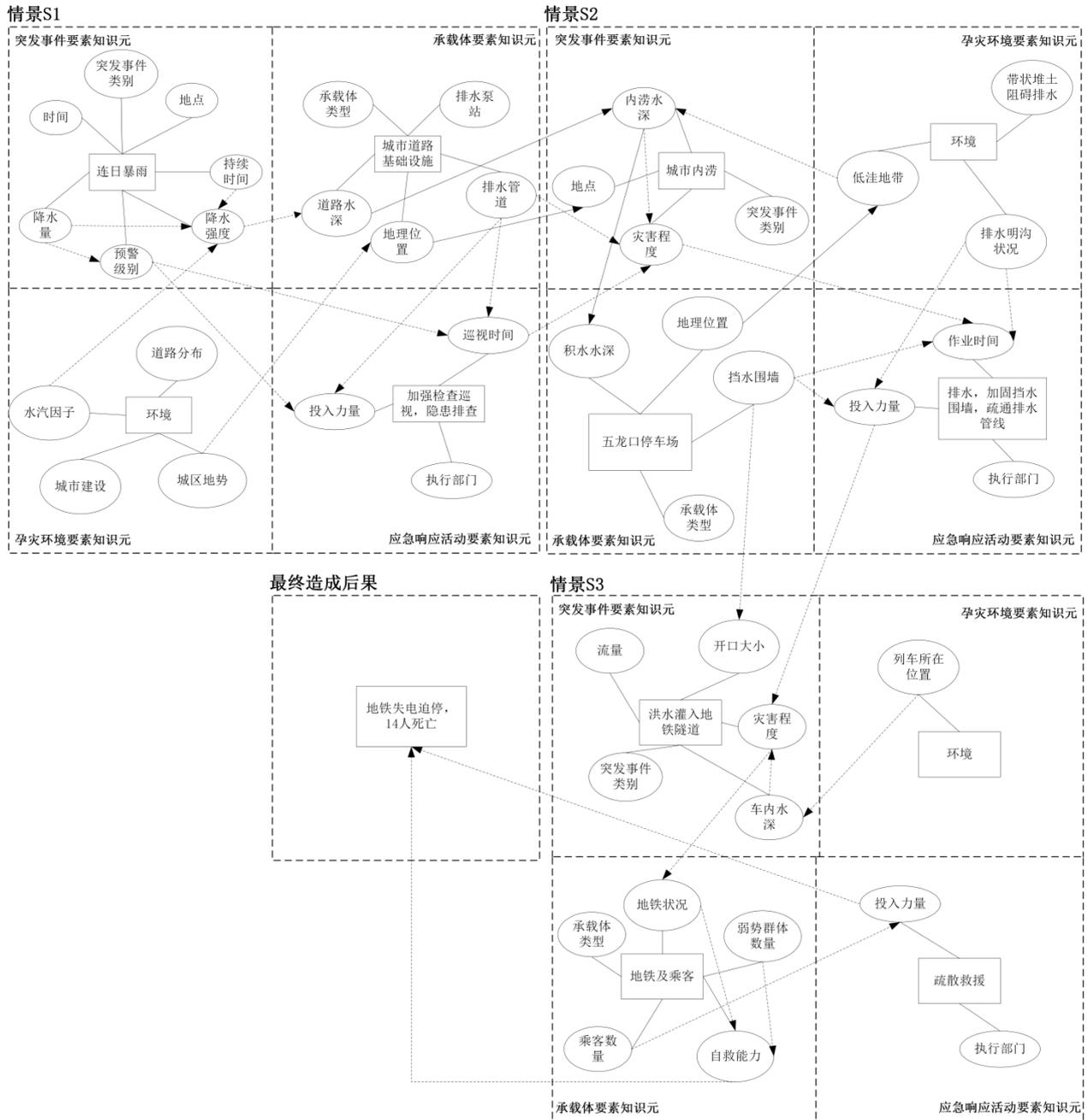


图3 郑州暴雨地铁灾害事件情景片段

以S1情景中要素知识元K连日暴雨为例，其表达为： K 连日暴雨=（连日暴雨， $(AI, AS, AO), R$ ）。其属性集可表达如表2。

K连日暴雨中的属性关系集R主要包含：①降水量和持续时间作用于降水强度；②降水量作用于预警级别；③预警级别作用于巡视时间和投入力量；④降水强度作用于道路水深；⑤气象环境条件作用于降水强度。以①为例，降水强度与降水量、持续时间三个属性之间关系用关系知识元表达为 $kr =$ （函数，（{降水量}，{持续时间}），{降水

强度}，降水强度=降水量/持续时间），其中，{降水量}，{持续时间}，{降水强度}分别用表2中的属性知识元描述。以④为例，道路水深受本次暴雨降水强度影响，但还同时取决于其它诸多水文、地理因素，关系较为复杂，难以用定量函数表达，则降水强度和道路水深之间关系可用关系知识元表达为 $kr =$ （正相关，{降水强度}，{道路水深}，无函数）。

表2 K连日暴雨属性集

类型	名称	属性知识元			
		可测性描述 p	测度量纲 d		时变函数 f
			取值类型	单位	
	突发事件类别	可描述	字符型	无	无
输入属性 AI	时间	可测	时间型	无	无
	地点	可描述	字符型	无	无
状态属性 AS	降水强度	可测	数值型	mm/h	时变
	持续时间	可测	时间型	无	时变
输出属性 A0	降水量	可测	数值型	mm	时变
	预警级别	可描述	字符型	无	时变

5. 结论与展望

本文根据暴雨灾害事件要素众多、关系复杂、要素属性可测性较高的特点,将情报学领域的知识元理论应用于郑州暴雨地铁灾害事件情景的表达,主要完成了以下工作:

1) 将承灾体要素集,应急响应活动要素集,孕灾环境要素集,造成后果要素集作为知识元,建立了事件情景的知识元表达模型 $S_i = (\{KI\}, \{KB\}, \{KR\}, \{KE\})$,即将郑州暴雨地铁灾害事件情景表达为承灾体,突发事件,应急响应活动,孕灾环境四个要素知识元的集合。分析了上述要素之间的相互作用,借助属性知识元清晰地表达了郑州暴雨地铁灾害事件的发展关系。

2) 由于篇幅有限,仅探讨了郑州暴雨地铁灾害部分情景片段的部分知识元,但依然可以看到,该模型可以有效地抽取郑州暴雨地铁灾害事件情景的关键信息,厘清事件情景的基本构成及驱动关系,实现对郑州暴雨地铁灾害事件情景的规范化描述,从而为基于“情景-应对”的郑州暴雨地铁灾害类似事件应急管理打下基础。

致谢

本论文的研究得到了国家自然科学基金项目(No.41976188)、湖南省自然科学基金项目(No.2021JJ40669)的支持。

参考文献

[1] G. Ringand. Scenario Planning Managing for the Future [M]. Wiley, Chichester, 1998.

[2] 殷志明,张红生,周建良,等.深水钻井井喷事故情景构建及应急能力评估[J].石油钻采工艺,2015,37(1):166-171.

[3] 王颜新.非常规突发事件情境重构模型研究[D].哈尔滨工业大学,2011.

[4] 武旭鹏,夏登友,李健行.非常规突发事件情景描述方法研究[J].中国安全科学学报,2014,24(4):159-165.

[5] 张承伟,李建伟,陈雪龙.基于知识元的突发事件情景建模[J].情报杂志,2012(7):11-15.

[6] 陈雪龙.基于粒计算的非常规突发事件情景层次模型[J].中国管理科学,2017,25(1):129-138.

[7] 王延章.模型管理的知识及其表示方法[J].系统工程学报,2011,26(06):850-856.

Open Access This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

