

文 斌 著

知识元及其相关模型构建研究 ——基于煤矿事故领域

Research on the Construction of
Knowledge Element and its Relavant Models

——Based on the Coal Mine Accident Domain



科学出版社

知识元及其相关模型构建研究

——基于煤矿事故领域

文斌 著



Research on the Construction of
Knowledge Element and its Relevant Models
——Based on the Coal Mine Accident Domain

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书围绕煤矿事故的发展、变化以及应急管理中的信息、知识、模型的描述与组织等问题进行研究,建立知识元及相关模型,为煤矿事故领域信息、知识、模型处理提供统一的描述标准,为煤矿事故应急处理的多学科信息、知识、模型的集成和融合建立一定的基础理论及方法。本书引入共性知识元模型思想对煤矿事故领域知识元及相关模型构建问题进行研究,系统地对知识元的形式化表示、煤矿事故领域知识元模型、煤矿事故领域知识元本体模型和煤矿事故领域知识元网络等内容进行介绍和阐述。

本书适合作为信息管理、计算机应用及相关专业的高年级本科生和研究生教材,也适合作为从事信息技术、知识处理、应急管理等相关技术专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

知识元及其相关模型构建研究:基于煤矿事故领域/文斌著. —北京:科学出版社, 2017.5

ISBN 978-7-03-052712-7

I. ①知… II. ①文… III. ①煤矿-矿山事故-应急对策-知识管理-研究 IV. ①TD77

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第080856号

责任编辑:付 艳 苏利德 王迎春/责任校对:刘亚琦

责任印制:张欣秀/整体设计:楠竹文化

编辑部电话:010-64033934

E-mail: edu-psy@mail.sciencep.com

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年7月第 一 版 开本:720×1000 B5

2017年7月第一次印刷 印张:15 1/4

字数:258 000

定价:78.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

民族教育信息化教育部重点实验室
云南省高校民族教育与文化数字化支撑技术工程研究中心



本书的出版幸承2010年国家自然科学基金项目“非常规突发事件演化分析和应对决策支持模型集成原理与方法”（91024029）、2015年国家自然科学基金项目“多源异构的海量少数民族文化资源挖掘与服务关键技术研究”（61562093）、2016年国家自然科学基金项目“基于语义的边疆民族地区泥石流灾害辅助应急决策研究”（61661051）、2013年云南省科技计划项目“基于语义的教育突发事件应急决策技术研究”、2015年云南省科技计划项目“基于云计算的海量少数民族文化数字资源管理与服务模型研究”（2016FA024）、2014年云南师范大学博士科研启动项目“基于复杂网络的教育突发事件演化机理分析及应对策略研究”的资助。



我国大部分煤矿都为井工矿。井工开采是在多数信息未知或不确定的地下动态空间环境进行的,进而导致煤矿行业成为事故发生率很高的行业。经统计,2000~2012年,我国累计发生煤矿事故33 557起,死亡57 030人。煤矿事故造成了生命和经济方面的巨大损失。而对煤矿事故的应急处置存在资源难以共享、高效预案缺乏、协调统一的指挥缺少、有效对策难以得到等问题,煤矿事故应急管理研究成为一个紧迫的任务。煤矿事故具有偶然性、预测难等特点,难以用单一的方法和模型来解决应急决策,而是需要针对情境即时综合信息、知识和模型。因此,如何建立模型把来自不同学科的非结构化或不同结构的信息、知识、模型组织并管理起来,有效并且方便地建立和维护这些信息、知识、模型,并针对相关情境快速提供准确的信息、知识、模型是煤矿事故应急管理的关键问题之一。知识元为知识结构的最小单位,是描述事物的最小单位,能够从概念、属性、组成要素方面揭示事物的本原,知识元能够作为统一标准把来自不同学科、不同结构的信息、知识、模型进行描述和集成起来。因此,本书以“知识元及其相关模型构建研究——基于煤矿事故领域”为题开展研究工作。

知识元在文本信息挖掘与处理方面得到了深入的研究,但在应急管理领域,特别是煤矿事故领域有待进一步提炼和建模。王延章提出了共性知识元模型。知识元是基于哲学思想——事物是可不断



细分,在管理学范畴下事物知识的最小单元。本书基于此对知识元的形式化表示、煤矿事故领域知识元、煤矿事故领域知识元本体模型、煤矿事故领域知识元网络模型进行系统的研究。

本书共 7 章,主要内容如下。

第 1 章:绪论。对研究背景及选题依据进行介绍,阐述用知识元来研究煤矿事故及其涉及的相关事物的必要性及意义,然后分别对应急知识管理研究现状、知识元研究现状、复杂网络研究现状、描述逻辑研究现状进行综述,最后介绍研究内容、本书结构和技术路线。

第 2 章:基本概念及相关理论基础。首先介绍知识元和知识元模型,然后介绍传统描述逻辑 ALC 的语法、语义、推理,其推理包括可满足性、概念包含等检测问题,其中可满足性判定是关键问题,可以用 Tableau 算法(基于表的算法)来完成,介绍 ALC 的该算法。复杂网络随着时代的发展逐渐被人们重视,网络由节点和边组成,节点表达要研究的对象,边表达这些对象之间的关系,其最常见的统计特性包括平均路径长度、度与度分布、聚类系数等,并对规则网络等几个典型模型进行介绍。此外,还对煤矿事故领域知识元、对应的网络和它的网络要素进行确立。

第 3 章:描述逻辑 KEDL 形式化系统。在传统描述逻辑 ALC 的基础上进行扩展,提出描述逻辑 KEDL(knowledge element description logics),其中包括:概念由 ALC 中一类概念扩展成两类概念,即对象知识元概念和属性知识元概念,关系扩展成对象知识元间关系、属性知识元间关系、对象知识元和属性知识元关系三类关系,添加反关系构造器。建立描述逻辑 KEDL 的语法、语义以及公理体系,然后通过证明得到 KEDL 的一些性质,如幂等律、排中律等,并通过证明讨论 KEDL 的语义推论和语法推论的关系,得两者相等价,即 KEDL 形成化系统具有完备性。描述逻辑 KEDL 的表达能力比传

统描述逻辑 ALC 更强,能够更好地形式化描述知识元,并为基于知识元的推理提供逻辑基础。

第 4 章:煤矿事故领域知识元模型构建研究。对煤矿事故进行分析得出,面向应急管理的煤矿事故涉及煤矿事故本身、其所在的煤矿客观事物系统环境以及人们对其进行的应急管理活动。基于系统论把煤矿事故、煤矿客观事物系统、煤矿应急管理活动进行细分,细分到管理学意义下不可再分为止,分别提出煤矿事故基元事件、煤矿事故应急活动基元概念;然后分别抽取这些不可再分事物的属性要素及其关系,基于共性知识元模型分别建立表达煤矿事故领域涉及的相关事物及信息的三种知识元和它们的模型,对三类知识元模型的知识元表达的完备情况进行讨论,另外讨论这些知识元间的关系。基于实例描述说明所建立的相关知识元模型能够很好地表达事故及相关信息。

第 5 章:煤矿事故领域知识元本体模型构建研究。根据煤矿事故领域概念分类体系及构建的相关知识元,为了实现对知识元的组织和查询检索,基于本体论构建了煤矿事故领域知识元本体模型,其中包括煤矿客观事物系统知识元本体、煤矿事故知识元本体、煤矿事故应急活动知识元本体,提出基于树型结构来对三类知识元本体进行构建,并建立三类知识元本体基于树型结构的语义描述模型。然后采用本体开发工具 Protégé 构建煤矿事故领域知识元本体,并采用 OWL (ontology web language) 对所构建的煤矿事故领域知识元本体进行形式化描述,再次基于 Fact++ 推理器对所建立的知识元本体进行推理和查询研究。通过所建立的模型能够有效地实现煤矿事故领域知识元组织和查询检索。

第 6 章:煤矿事故领域知识元网络研究。首先依据煤矿事故领域知识元模型及其关系建立其知识元网络的数学模型。之后给出煤矿事故领域知识元网络建立的流程和方法,经过分析、统计确立煤



矿事故领域知识元网络节点、关系，接着从煤矿事故领域知识元网络的节点数、边数、密度、平均节点度、聚类系数等各方面分析其整体属性和特征，并对煤矿事故领域知识元网络节点中心度、中介中心度、接近中心度进行分析。最后对煤矿事故领域的八个知识元子网的属性特征、中心性进行分析。

第7章：总结和展望。对全书内容进行总结，对知识元及相关模型构建研究进行展望。

本书是作者在其博士学位论文基础之上进行修改完善编写而成的。整个研究和编写过程得到了中国矿业大学（北京）张瑞新教授，大连理工大学王延章教授、裘江南教授，云南师范大学徐天伟教授、甘健侯教授等的指导和帮助，作者借此机会深表谢意。本书的研究得到了国家自然科学基金（91024029）、国家自然科学基金（61562093）、国家自然科学基金（61661051）、云南省科技计划项目（2016FA024）、云南省科技计划项目（2013FD015）、民族教育信息化教育部重点实验室（云南师范大学）、云南省高校民族教育与文化数字化支撑技术工程研究中心等的资助，科学出版社对本书的出版给予了大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在不足之处，恳请各位读者批评指正。

文 斌

2016年8月

前言

第 1 章 ◆ 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究的意义	5
1.2 国内外研究现状	7
1.2.1 应急知识管理	7
1.2.2 知识元研究综述	9
1.2.3 复杂网络及其在知识管理领域研究综述	10
1.2.4 描述逻辑研究综述	13
1.3 研究内容和技术路线	15
1.3.1 主要研究内容	15
1.3.2 组织结构	16
1.4 本章小结	18
第 2 章 ◆ 基本概念及相关理论基础	19
2.1 知识元	19



2.1.1	知识元概念	19
2.1.2	知识元模型	19
2.1.3	知识元网络	20
2.2	描述逻辑	21
2.2.1	传统描述逻辑ALC的语法	21
2.2.2	传统描述逻辑ALC的语义	21
2.2.3	传统描述逻辑ALC的推理	22
2.2.4	传统描述逻辑ALC的可满足性问题	22
2.3	网络表示及其特征参数	23
2.3.1	网络的图表示	23
2.3.2	网络特征参数	24
2.4	网络模型	26
2.4.1	规则网络	26
2.4.2	随机网络	28
2.4.3	小世界网络模型	29
2.4.4	无标度网络模型	31
2.5	煤矿事故领域相关概念	32
2.6	本章小结	33

第3章 ◆ 描述逻辑 KEDL 形式化系统 35

3.1	描述逻辑KEDL的提出	35
3.2	KEDL的形式化公理体系	36
3.2.1	描述逻辑KEDL的语法	36
3.2.2	描述逻辑KEDL的语义	38
3.2.3	描述逻辑KEDL的公理、公理解释说明	40
3.3	描述逻辑KEDL的基本性质	45

3.4	描述逻辑KEDL形式化系统的可靠性和完全性	65
3.5	实例说明	78
3.6	本章小结	84
第4章	煤矿事故领域知识元模型构建研究	85
4.1	煤矿事故主要类型及其特征	85
4.1.1	煤矿事故分类	85
4.1.2	煤矿事故的特点	86
4.2	煤矿事故分析	87
4.2.1	煤矿事故内外环境分析	87
4.2.2	煤矿事故主要构成分析	87
4.2.3	煤矿事故应急管理分析	89
4.3	煤矿客观事物系统知识元模型构建	90
4.3.1	煤矿客观事物系统的概念及分类	91
4.3.2	煤矿客观事物系统知识元模型	91
4.3.3	煤矿客观事物系统知识元之间的关系	94
4.4	煤矿事故知识元模型构建	94
4.4.1	基元事件的定义	95
4.4.2	煤矿事故知识元模型	95
4.4.3	煤矿事故知识元之间的关系	97
4.5	煤矿事故应急活动知识元模型构建	98
4.5.1	煤矿事故应急活动基元概念	98
4.5.2	煤矿事故应急活动知识元模型	99
4.5.3	煤矿事故应急活动知识元之间的关系	101
4.6	煤矿事故知识元与煤矿客观事物系统知识元的关系 讨论	107



4.6.1	煤矿事故的发生机理	107
4.6.2	煤矿事故基元事件与煤矿客观事物系统对象的关系	108
4.6.3	煤矿事故知识元与煤矿客观事物系统知识元的关系	113
4.7	煤矿事故应急活动知识元与煤矿客观事物系统知识元的关系讨论	114
4.7.1	煤矿事故应急活动基元与煤矿客观事物系统对象的关系	114
4.7.2	煤矿事故应急活动知识元与煤矿客观事物系统知识元的关系	118
4.8	煤矿事故知识元与煤矿事故应急活动知识元的关系讨论	119
4.8.1	煤矿事故基元事件与煤矿事故应急活动基元间关系	120
4.8.2	煤矿事故知识元与煤矿事故应急活动知识元的关系	124
4.9	实例验证	125
4.10	本章小结	127

第5章 ◆ 煤矿事故领域知识元本体模型构建研究

128

5.1	煤矿事故领域知识元本体	128
5.2	煤矿事故领域知识元本体模型	129
5.2.1	煤矿事故领域知识元本体的形式化	129
5.2.2	煤矿客观事物系统知识元本体	130
5.2.3	煤矿事故知识元本体	136
5.2.4	煤矿事故应急活动知识元本体	141
5.2.5	煤矿事故领域知识元本体模型的特性	147
5.3	煤矿事故领域知识元本体的构建与推理实现	147
5.3.1	构建煤矿事故领域知识元本体	147
5.3.2	煤矿事故领域知识元本体编码	150
5.3.3	基于煤矿事故领域知识元本体的推理	151

5.4	本章小结	153
第 6 章	煤矿事故领域知识元网络研究	154
6.1	煤矿事故领域知识元网络化描述	154
6.1.1	煤矿事故领域知识元系统化模型	154
6.1.2	煤矿事故领域知识元网络化模型	156
6.2	煤矿事故领域知识元网络建模	157
6.2.1	数据收集与处理	158
6.2.2	知识元网络节点确定	160
6.2.3	知识元网络关系确定	161
6.3	煤矿事故领域知识元网络结构及其属性	161
6.3.1	煤矿事故领域知识元网络结构分析	162
6.3.2	煤矿事故领域知识元网络个体属性分析	166
6.3.3	子网络属性分析	170
6.4	本章小结	194
第 7 章	总结和展望	197
7.1	主要工作与创新	197
7.2	下一步研究工作	200
	参考文献	202
	附录	215

第 1 章

绪 论



首先对研究背景进行介绍, 阐述用知识元来研究煤矿事故及其涉及的相关事物的必要性及意义, 然后分别对应急知识管理研究现状、知识元研究现状、复杂网络研究现状、描述逻辑研究现状进行综述, 最后提出研究内容、本书结构和技术路线。

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

我国是煤炭生产和消耗大国, 煤炭提供了 $2/3$ 的能源消耗, 76% 的工业燃料、发电能源、工业动力都由煤炭提供, 煤炭还提供民用商品能源的 60% 和化工原料的 70%。可以说, 煤炭在我国经济发展中起到了重要的战略作用。我国大部分煤炭都是由井工开采生产的, 占到 90% 以上。井工开采是在多数信息未知的地下动态空间环境进行的, 进而导致煤矿行业成为事故发生率很高的行业, 煤炭生产行业也是安全形势比较严峻的生产领域。依据《煤炭工业统计年报》等发布的数据, 经统计得, 2000~2012 年我国累计发生煤矿事故 33 557 起, 死亡 57 030 人, 其中 3~9 人死亡事故 2 695 起, 死亡 12 189 人, 10 人以上 517 起, 死亡 11 083 人^[1, 2] (表 1.1 和图 1.1); 事故的分类统计情况



见表 1.2 和图 1.2、图 1.3。

表 1.1 2000~2012 年我国煤矿事故情况统计

年份	起数	死亡人数	死亡 3~9 人事故 (较大事故)		死亡 10 人以上事故 (重大、特大事故)	
			起数	死亡人数	起数	死亡人数
2000	2 722	5 798	391	1 783	75	1 405
2001	3 082	5 670	336	1 587	49	1 015
2002	4 344	6 995	321	1 423	56	1 167
2003	4143	6 434	286	1 257	51	1 061
2004	3 641	6 027	247	1 085	42	1 008
2005	3 306	5 938	208	877	58	1 739
2006	2 945	4 746	237	1 072	39	744
2007	2 421	3 786	179	815	28	573
2008	1 954	3 215	118	535	38	707
2009	1 616	2 631	106	475	20	509
2010	1 403	2 433	110	517	24	532
2011	1 201	1 973	85	412	21	350
2012	779	1 384	71	351	16	273
合计	33 557	57 030	2 695	12 189	517	11 083

表 1.2 2000~2012 年我国煤矿事故分类统计

年份	顶板事故		瓦斯事故		机电事故		运输事故		放炮事故		水害事故		火灾事故		其他事故	
	起数	死亡人数	起数	死亡人数	起数	死亡人数	起数	死亡人数	起数	死亡人数	起数	死亡人数	起数	死亡人数	起数	死亡人数
2000	1 228	1 521	724	3 132	75	79	291	330	48	52	104	351	13	40	239	293
2001	1 531	1 879	662	2 436	97	99	444	495	64	70	109	432	13	84	162	175
2002	2 364	2 766	743	2 407	134	136	496	534	83	94	162	516	20	185	342	357
2003	2 140	2 455	584	2 061	137	128	531	570	92	99	137	551	20	75	502	495
2004	1 985	2 309	492	1 900	97	89	582	605	105	122	118	357	17	91	245	554
2005	1 805	2 058	414	2 171	105	105	536	578	89	101	109	605	11	58	237	262
2006	1 633	1 902	327	1 319	94	93	467	517	78	90	100	417	7	26	239	382
2007	1 299	1 518	272	1 084	90	86	409	453	69	77	63	255	10	72	209	241
2008	1 032	1 222	182	778	106	109	348	400	39	55	59	263	11	111	177	277
2009	805	939	157	755	97	97	285	319	45	75	47	166	4	31	176	249
2010	702	829	145	623	71	78	246	281	34	37	38	224	12	168	155	193
2011	567	665	119	533	57	57	239	279	32	35	44	192	4	34	139	178
2012	366	459	72	350	56	58	145	201	24	25	24	122	5	27	87	142
合计	17 457	20 522	4 893	19 549	1 216	1 214	5 019	5 562	802	932	1 114	4 451	147	1 002	2 909	3 798

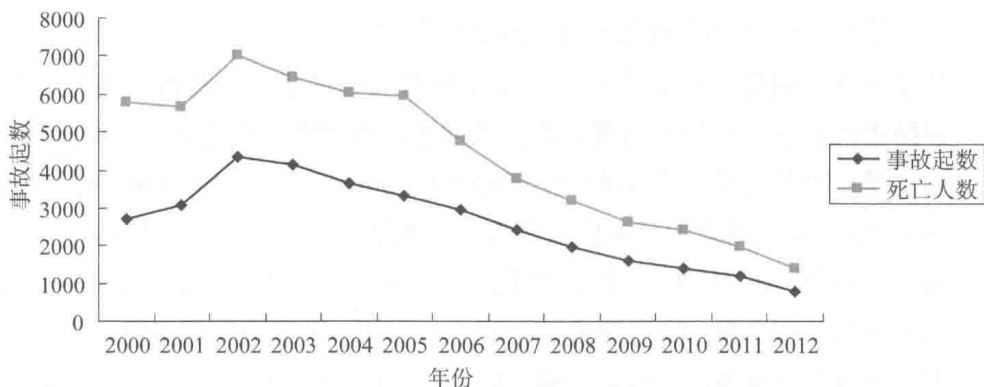


图 1.1 2000~2012 年我国煤矿安全情况

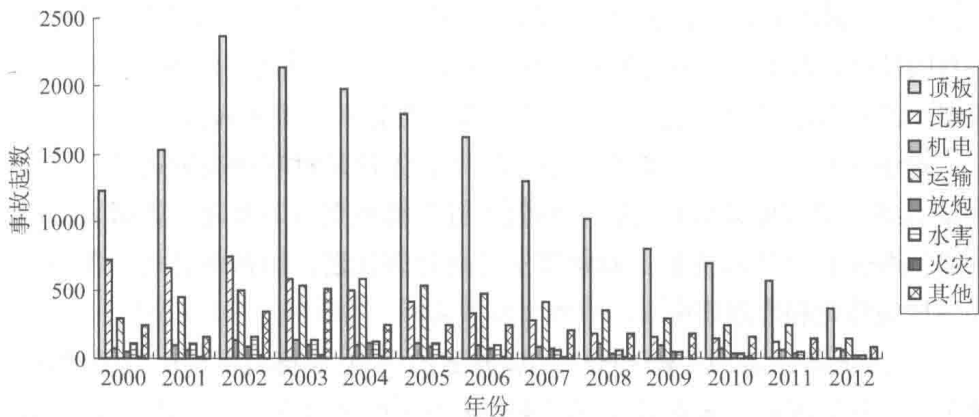


图 1.2 2000~2012 年我国煤矿事故分类情况

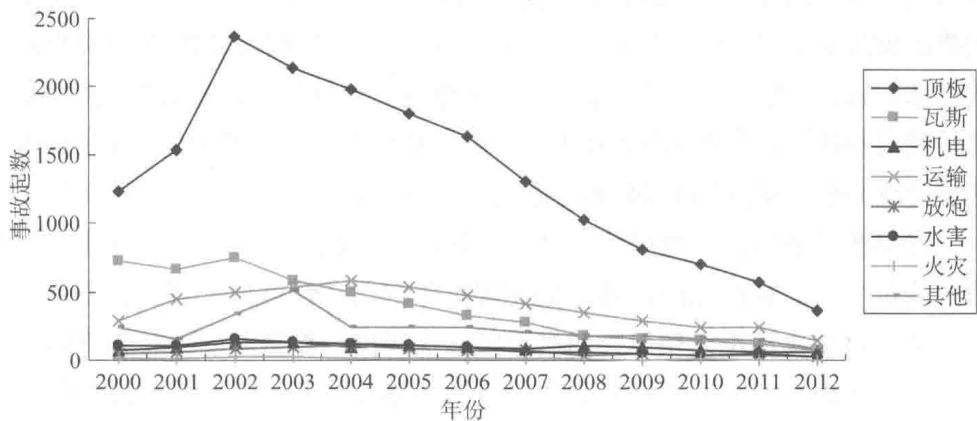


图 1.3 2000~2012 年我国煤矿各类事故增减趋势



从以上统计数据可以看出,煤矿事故给人们的生命、生活和经济等方面带来了巨大损失,而对其的处置存在资源难以共享、高效预案缺乏、协调统一的指挥缺少、有效对策难以得到等问题,煤矿事故应急管理研究迫在眉睫。而以煤矿事故为典型代表的突发事件的应急管理研究也在逐步加强。美国早在1979年就开始重视国家应急管理体系的建立,“9·11”事件后得到长足进展。2006年1月8日,我国国务院发布《国家突发公共事件总体应急预案》。同年5月,国务院应急管理办公室成立。目前,政府应对突发危机事件的处理方式还是以预案为主。但是,预案处理的方式是一种事先制定、事后应对的方式,很多情况下政府和公共管理部门根据应急预案所作的决策往往不适用于现实情况,不能对危机事件进行有效的响应和管理。各个具体的危机事件都具有各自的特点,而预案是事先编制好的,因此适应性、灵活性较差。尤其是面对预案中没有考虑到的问题,就会束手无策,管理和决策陷入混乱^[3]。

对于突发事件来说,在其应急管理中,无论是对它的决策还是它涉及的决策系统,都需要以信息支持、知识支持、模型支持为基础。美国、德国、日本等都在整合政府资源,制定国土安全科研计划,加强现有技术在应急管理领域的转化和应用研究。

从2008年开始,国家自然科学基金设立“非常规突发事件应急管理研究”重大研究计划项目,旨在解决我国重大突发事件应急管理中的核心科学问题。本书依托的重大计划项目支持课题以危化品、矿山等领域事故案例为背景,从管理学方面探讨不同学科领域非常规突发事件情境应对、演化、决策、实施的共性管理学范式,从知识科学方面研究支持应急处理的信息、知识、模型如何管理以及采用何种机制集成,其中创新点包括:建立非常规突发事件领域的共性基础知识元模型,采用知识元揭示非常规突发事件和它的相关信息本源结构及属性特征,建立元数据模型及各类实体信息模型,以知识元为基础揭示相关信息关联、知识关联和模型关联的内在机理等^[3, 4]。

以煤矿事故为代表的突发事件存在偶然性、难预测、随机性以及对人类造成的危害大、影响范围广和次生灾害多等特点,针对煤矿事故这类复杂突发事件的应急决策难以用单一的模型或方法解决,而是需要针对情境即时综合信息、知识和模型。因此,如何建立共性基础知识元模型把来自不同学科的非结构化或不同结构的信息、知识、模型组织管理起来,有效方便地建立和维护这些模型,并针对情境快速提供准确的信息、知识、模型是应急管理