

油田地面工程施工风险应急管理

闫文周， 陈芸茜

(西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055)

摘 要: 为了解决油田地面工程施工风险难以快速应对的问题,本文建立油田地面工程施工风险本体网络,结合案例推理技术,构建油田地面工程施工风险应急管理模型。利用 OWL 语言本体化历史案例,计算油田地面工程施工风险案例的综合相似度,在属性阈值和关键属性阈值条件下选择最相似的源案例进行匹配。若不足关键属性阈值条件,则启用 Jess 推理机进行规则推理修正,针对油田地面工程施工风险事件提出最合适的应急措施。知识本体和案例推理技术引入油田地面工程施工风险应急控制领域,完善了现有的事故控制理论,提高了油田地面工程建设安全控制的智能化水平。

关键词: 油田地面工程施工; 风险控制; 知识本体; 案例相似度; 规则推理

中图分类号: TU714 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0985(2020)03-0008-05

Risk Emergency Management of Oilfield Ground Engineering Construction

YAN Wen-zhou, CHEN Yun-xi

(School of management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: In order to solve the problem that the construction risk of oilfield surface engineering is difficult to deal with quickly, this paper establishes the ontology network of construction risk of oilfield surface engineering, and constructs the emergency management model of construction risk of oilfield surface engineering combining with case-based reasoning technology. Using OWL language ontology historical case, the comprehensive similarity of oilfield ground engineering construction risk case is calculated, and the most similar source case to match under the attribute threshold and key attribute threshold is selected. If the threshold conditions of key attributes are not met, Jess inference engine is used to modify the rules, and the most appropriate emergency measures are proposed for the risk events of oilfield surface engineering construction. Knowledge ontology and case-based reasoning technology are introduced into the field of risk emergency control of oilfield surface engineering construction, which improves the existing accident control theory and improves the intelligent level of safety control of oilfield surface engineering construction.

Key words: oilfield surface engineering construction; risk control; knowledge ontology; case similarity; rule reasoning

油田地面工程是保障石油产量的基础设施,随着石油需求的增长,油田地面工程的建设越来越重要^[1]。油田地面工程作为工程建设项目,其施工过程既具有建设工程体量大、周期长等共性,

又具有石化行业科技含量高、技术水平要求高等特性^[2]。例如,油田地面工程需建设满足正常生产的标准化井场,其中油井模块的建设施工中可能会出现井喷风险^[3];油田地面工程需建设职

收稿日期: 2019-08-27 修回日期: 2019-09-29

作者简介: 闫文周(1962-),男,陕西武功人,博士,教授,研究方向为工程项目管理(Email: 495518915@qq.com)

通信作者: 陈芸茜(1995-),女,四川成都人,硕士研究生,研究方向为工程项目管理(Email: 793016090@qq.com)

基金项目: 国家自然科学基金(51478384;51808424);中华人民共和国住房和城乡建设部项目(2018-R1-009)

工办公、生活的标准化站场,其中门岗房模块的建设完全属于建筑工程,会出现建筑工程施工过程中的风险;油田地面工程还需建设包含既有土建工程和石油专业领域的管线模块^[4],包含基坑、基槽、管沟的开挖与石油管道的安装与防腐等工序,可能会出现管沟塌方风险、管道腐蚀风险等^[5,6]。

随着智能化的发展,准确、科学、高效的风险管理已经成为油田地面工程施工风险管理的发展目标。其中,知识本体技术在许多行业的风险管理中都已经成功应用^[7~12],但目前在油田地面工程施工风险应急管理的研究非常欠缺。本文拟用知识本体与案例推理的方法相结合,来解决油田地面工程施工过程中突发事故的应急管理问题。

1 油田地面施工风险应急管理模型

本体是指格式化描述某一范围的知识,规范化的描述形式可以清楚地表示概念间的逻辑关系。如今油田地面工程的建设过程已经日趋标准化,其建设特点是标准化设计、工厂化预制、模块化施工,而知识本体技术本就是进行格式化、标准化的描述,将油田地面工程施工风险与知识本体技术相结合,是标准化建设与标准化决策的结合,大量油田地面工程施工案例进行本体化后,便于快速调用。并且本体使用的 OWL 语言可以为计算机所识别、储存、分析,极大提高了应急处理的效率并且将本体技术引入施工风险应急处理具体信息共享与重用、智能化推理、完善的措施制定等优势,能够为管理者提供迅速的应急参考。案例

推理是定性与定量相结合的问题解决方法,通过重用或修改以前解决相似问题的方案来解决问题。

建立油田地面工程施工风险应急管理模型,首先对历史案例进行本体化表示,利用 OWL 语言建立油田地面工程知识本体网络,再结合历史案例和目标案例的综合相似度进行案例匹配选出最接近的案例,然后后进行案例的修正调整,最后输出最适合目标案例的应急措施,推理流程如图 1 所示。

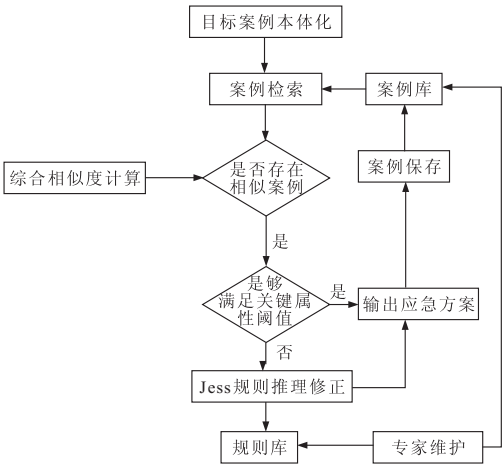


图 1 模型推理流程

1.1 案例的本体化表示

首先进行本体化属性的收集,按照风险类型、风险事件、风险因素、风险后果、承险体 5 大类进行施工风险相关概念属性分解^[13]。其中,风险类型按其是否标准化划分为两类,包括标准化模块施工风险与其他非标准化的功能单元施工风险,又按其单项工程、单位工程和定型模块来细分,风险类型分类如图 2 所示。

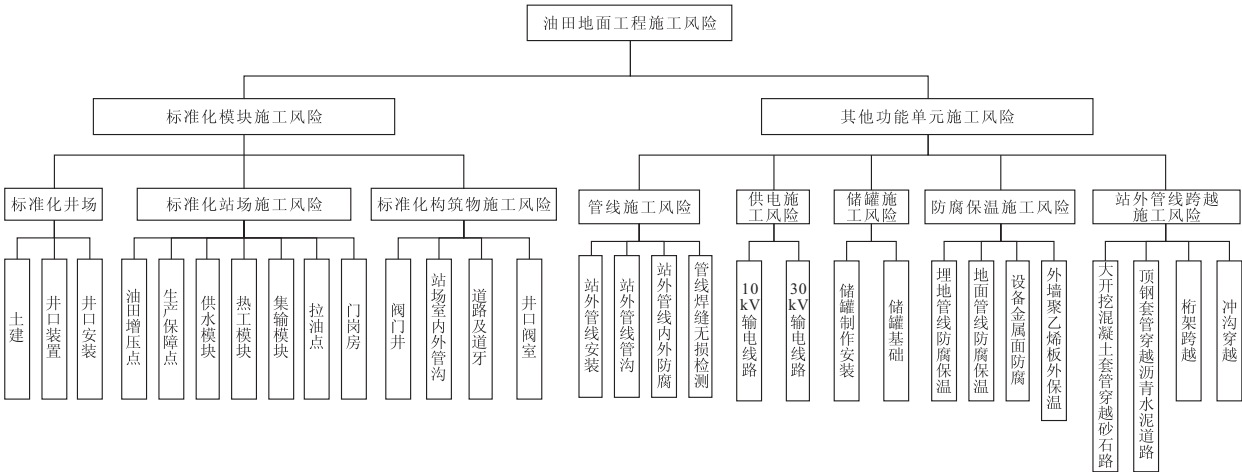


图 2 油田地面工程施工风险类型

通过查找中石油内部统计、通报的地面工程建设施工事故、我国近年来发生的油田地面工程建设事故的相关数据、《工程与科学主题词表》

等,收集整理分析,每大类可以细分为多级概念类,不同的概念类之间存在着属性、所属、部分、实例关系等^[14]。根据对应关系和分解规则,施工风

险相关属性部分表示见表 1。其中 R_i 为属性名称, A 为决策属性, D_i 为组织措施, T_i 为技术措施。

表 1 油田地面工程施工风险相关属性部分表示

编号	属性名称	属性取值
R1	风险类型	管线施工风险
R2	风险事件	管沟塌方
R3	风险因素	放坡比;开挖深度;堆放高度
R4	风险后果	人员伤亡,经济损失,工程质量降低,工期延误
R5	承险体	工程实体,人
A	控制力度	稍微控制 = 1;一般控制 = 2;…;加大力度全程监控 = n
	组织措施	临时设施布局合理减少施工干扰 D_1 ;临时电源、电线敷设避开人流量大的地方及安全出口 D_2 ;及时准备防塌方机械、防塌方材料 D_3 ;…; D_n
	技术措施	重新开挖作业坑 T_1 ;沟壁加固 T_2 ;基坑支护 T_3 ;…; T_n

通过对事故案例本体化属性收集,使用 OWL 语言表述案例。下面给出油田地面工程施工事故案例知识本体库中部分 OWL 语言表述形式:

```
</owl:Class>
<owl:Classs rdf:about = "#人员伤亡">
```

```
<rdfs:subClassOf rdf:about = "R4"/>
</owl:ObjectPropert yrdf:about = "#Affect">
<rdfs:domain rdf:resource = "#R3'"/>
<rdfs:domain rdf:resource = "#T3"/>
<rdfs:rdf:resource = "#R4"/>
```

在工程施工风险案例中,风险事件的产生往往是多种因素相互作用,很少出现单一因素导致的风险事件。在实际的油田地面工程施工风险控制中,例如“管沟塌方”与“施工不当”之间存在一定程度上的关联。产生的风险后果也不一定是单一的后果。例如:某项风险事件可能造成的风险后果是“人员伤亡”或者“工期延误”,可能同时也会造成“工程失稳”和“经济损失”等多种后果复合的结果。通过对油田地面工程施工风险事故中的相关属性进行形式化表示,将收集到的所有油田地面工程施工风险案例进行分解后,使用 OWL 语言表述,运用本体软件 Protégé 4.3,建立风险知识本体模型,油田地面工程施工风险知识本体部分展示见图 3。由于每个案例涵盖的信息面比较广泛,我们可以根据不同的案例添加不同的概念及实例。

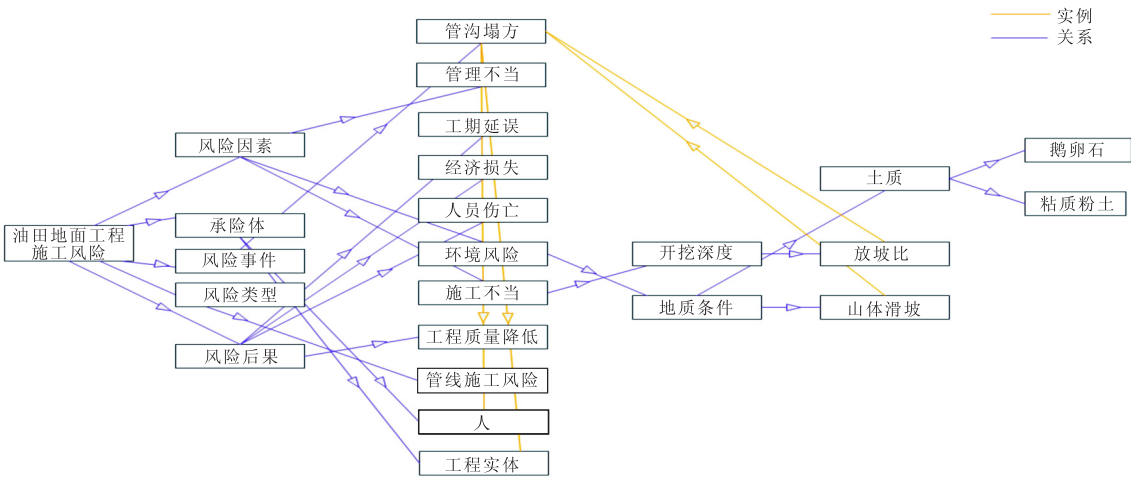


图 3 油田地面工程施工风险知识本体部分展示

1.2 案例检索

在油田地面工程施工风险知识本体网络的基础上进行案例推理,对相似案例进行合理利用或修正,快速生成解决办法,合理决策。

1.2.1 案例属性相似度计算

提取油田地面工程施工风险知识本体的知识属性,源案例 X_i 的相关概念属性为:

$$X_i = \{x_1^i, x_2^i, \cdots, x_m^i\} \tag{1}$$

式中: m 为风险事件中相关概念属性的个数; x_j^i 为源案例 X_i 的第 j 个相关属性

目标案例 Y 的概念属性表示为:

$$Y = \{y_1, y_2, \cdots, y_j, \cdots, y_m\} \tag{2}$$

式中: y_j 为目标案例的第 j 个相关概念属性值。

在油田地面工程施工风险知识中,属性分为语义属性和数值属性,对应的属性相似度不同,计算方法如下:

(1) 语义属性相似度

语义属性常用的衡量方法是通过计算语义距离来计算语义属性相似度。在构建的施工风险知识本体模型上,确定需要衡量的语义属性概念节点间的关系路径长度。为了降低通过关系路径来刻画相似程度的片面性,引入概念间的最近共同

上层概念点与风险知识本体初始点的距离,即计算关系路径总距离来度量相似度计算。

定义 1: a 和 b 是风险知识本体中的任意两个概念节点,两节点的本体路径距离 $\text{dist}'(a, b)$ 的确定如下:

如果 a 和 b 在风险本体中是相同概念的节点,则 $\text{dist}'(a, b) = 0$;

如果 a 和 b 在风险本体中没有关系,则 $\text{dist}'(a, b)$ 不存在;

否则, $\text{dist}'(a, b)$ 是 a 到 b 之间关系路径的总和。

定义 2: 在知识本体结构中,假如 N_a 是节点 a 代表的概念, N_b 是节点 b 代表的概念,则两种概念点的语义属性相似度为:

$$m(N_a, N_b) = \begin{cases} 1, \text{dist}'(a, b) = 0 \\ \frac{N+1}{\text{dist}'(a, b) + N+1}, \text{dist}'(a, b) > 0 \\ 0, \text{dist}'(a, b) = \emptyset \end{cases} \quad (3)$$

式中: N 为 N_a 和 N_b 的最近共同上层概念点到风险知识本体初始点的总和距离。

根据定义 1, 2, 语义属性相似度计算公式为:

$$\text{sim}(y_j, x_j^i) = \begin{cases} 1, \text{dist}'(y_j, x_j^i) = 0 \\ \frac{N+1}{\text{dist}'(y_j, x_j^i) + N+1}, \text{dist}'(y_j, x_j^i) > 0 \\ 0, \text{dist}'(y_j, x_j^i) = \emptyset \end{cases} \quad (4)$$

(2) 数值属性相似度

数值属性由于具有精确的数值表示的特点,其相似度 $\text{sim}(y_j, x_j^i)$ 采用 Manhattan 公式计算。

$$\text{sim}(y_j, x_j^i) = [1 - \text{dist}'(y_j, x_j^i)] = \left[1 - \frac{|y_j - x_j^i|}{\max x_j^i - \min x_j^i} \right] \quad (5)$$

式中: $\max x_j^i$ 为源案例中数值属性的最大值; $\min x_j^i$ 为源案例中数值属性的最小值。

1.2.2 属性权重的计算

确定案例特征属性权重的方法较多,可以采用层次分析法、专家打分法等,限于文章篇幅,本文采用较为简单快捷的专家估计法确定属性权重^[15],权重越大,代表对风险事件的影响力越大。设概念属性 $U = (u_1, u_2, \dots, u_m)$ 。现有 n 位油田地面工程建设领域的专家各自独立客观地给出各属性权重 ω_{mi} , 取各个专家估计的权重均值作为属性权重 ω_m 。

$$\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m) \quad (6)$$

$$\omega_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \omega_{mi} \quad (7)$$

1.2.3 相似案例的匹配

对于目标案例与案例库中样本案例之间相似案例匹配,我们采用案例综合相似度进行计算。定义基于知识本体的目标案例 Y 和源案例 X_i 的综合相似度 $\text{SIM}(Y, X_i)$ 的计算为:

$$\text{SIM}(Y, X_i) = \sum_{j=1}^m w_j \text{sim}(y_j, x_j^i) \quad (8)$$

式中: w_j 为第 j 个属性的权重,且 $\sum_{j=1}^m w_j = 1$;

$\text{sim}(y_j, x_j^i)$ 为目标案例 Y 和源案例 X_i 关于第 j 个属性的相似度。

1.2.4 案例修正

一般情况下,“关键属性”是导致事故发生的主要原因。在利用相似度属性阈值条件匹配最相似案例后,需要进行“关键属性”的阈值判断是否需要修正匹配案例的应急措施。关键属性的相似度阈值 θ 的确定方法是根据以往类似事故的统计数据,计算其 Spearman 相关系数,取相关系数最小值为 θ 。如果关键属性 $\rho_0 \geq \theta$,则可以参考此源案例的风险控制措施;如果 $\rho_0 < \theta$,进而启用规则推理进行修正,运用 Jess 推理机推理有针对性得出目标案例的风险控制措施,最终形成油田地面工程施工风险的应急措施。

当 Jess 推理机启用规则推断时,规则采用“IF-THEN”的形式,前提或条件为“IF”,操作和结果是“THEN”。规则形式为“IF { R_i }, THEN { D_1, T_1 }”,以目标案例的关键属性为前提,如果前提条件逻辑正确,则可以执行其措施;否则,将忽略其措施,并判断下一个规则^[16]。

2 实例分析

某油田地面工程建设项目支线穿越标段,工程内容包括管沟开挖、管线穿越、对口连头。套管中铺设尺寸为 $\Phi 168.3 \times 5.6$ mm 天然气管道。管材采用钢筋混凝土套管,直径 1.2 m,长度 2.5 m,数量 23 根,总长度为 57.5 m。穿越处土质为鹅卵石,连头作业处土质为粘质粉土、细粉砂层,管沟底部为卵石夹圆砾。作业时,管沟突然发生坍塌。经过现场指挥部排查,专家分析事故原因主要是施工不当,放坡不够。造成的后果是预计工期延误 5 d,人员伤亡 1 名。根据本文提出的施工风险控制方法来进行风险管理。在风险知识本体中,相关概念属性相似度越高,风险案例越相似,越具

有参考价值。通过石油行业内的数据统计值,设定油田地面工程风险属性阈值 $\theta=0.8$, $\rho_0=0.7$ 。

2.1 属性相似度计算

根据油田地面工程施工风险目标案例的基本信息,选取了符合知识本体层析的重要特征概念来分析。假设历史案例库中共有 5 个施工风险控制案例,目标案例与源案例的语义属性和数值属性分别见表 2,3。

表 2 语义属性						
特征属性	目标案例	源案例 1	源案例 2	源案例 3	源案例 4	源案例 5
土质	鹅卵石	粘质粉土	鹅卵石	粘质粉土	粘质粉土	粘质粉土

表 3 数值属性						
特征属性	目标案例	源案例 1	源案例 2	源案例 3	源案例 4	源案例 5
放坡比	1:0.5	1:0.7	1:0.7	1:0.5	1:0.5	1:0.7
开挖深度/m	2	2	2.2	2.3	2	2.2
堆放高度/m	1	1	3	3	1	4

2.2 属性权重确定

现邀请了 5 位油田地面工程建设方面的专家对于发生的目标案例的权重进行评估,结果见表 4。

表 4 专家估计法确定属性权重					
专家	特征属性				Σ
	土质	放坡比	开挖深度	堆放高度	
1	0.10	0.35	0.25	0.3	1
2	0.05	0.4	0.2	0.35	1
3	0.2	0.38	0.22	0.3	1
4	0.04	0.5	0.14	0.32	1
5	0.12	0.38	0.2	0.3	1

由式(6)(7),得到各属性权重分别为: $\omega=(0.10,0.40,0.20,0.30)$ 。根据权重排序,因为四类属性中权重最大的是“放坡比”,所以案例匹配的关键属性为“放坡比”。

2.3 案例相似度匹配

以目标案例和源案例 1 的属性相似度计算为例,通过表 2,3 中的语义属性值和数值属性值,结合图 1 中的油田地面工程施工风险部分知识本体模型,根据相似度计算式(4)(5)可得,目标案例和源案例 1 中各概念属性相似度为 $\text{sim}=[0.71, 0.73, 1, 1]$;由式(8)可知,风险案例 1 与目标案例之间的综合相似度为 0.863。

类似地,根据式(4)(5)计算余下源案例与目标案例相似度,并将结果汇总于表 5。

表 5 概念属性相似度计算						
风险知识	权重	概念属性				
		源案例 1	源案例 2	源案例 3	源案例 4	源案例 5
土质	0.1	0.71	1	0.71	0.71	0.71
放坡比	0.4	0.73	0.44	0.52	0.52	0.73
开挖深度	0.2	1	0.33	0	1	0.33
堆放高度	0.3	1	0.33	0.5	1	0
案例综合相似度		0.863	0.441	0.429	0.779	0.429

通过表 5 的综合相似度计算结果可知,源案例 1 与目标案例是最匹配案例,综合相似度最大,为 0.863,即源案例 1 与目标案例最相似。

2.4 案例修正

通过进行案例相似度匹配,得到的结果是案例库中与目标案例最为相似的是源案例 1。再根据关键属性阈值条件判断是否需要启动规则推理,源案例 1 与目标案例的关键属性“放坡比”相似度 0.73,小于预先设定的关键属性阈值 0.8。所以不能直接应用源案例 1 的风险控制措施,需要启用规则推理,启用 Jess 推理机可以根据条件进行规则推理对源案例 1 中的风险控制措施进行修改。将“放坡比($\text{Slope ratio} \geq 1:0.5$)”作为前提条件,将“边坡失稳”“管沟塌方”“作为规则进行推理:

规则 1: IF “放坡比($\text{Slope ratio} \geq 1:0.5$)” AND “边坡失稳”, THEN “使用排桩+内支撑基坑支护”。

规则 2: IF “放坡比($\text{Slope ratio} \geq 1:0.5$)” AND “边坡塌方”, THEN “及时准备防塌方机械、防塌方材料”。

最终的风险控制措施的制定,是在参考源案例 1 中风险事件的控制措施的基础上推理形成针对目标案例的风险控制措施:

OUTPUT= {使用排桩+内支撑基坑支护;及时准备防塌方机械、防塌方材料}

3 结 论

通过对油田地面工程施工风险控制方法的研究,得出了如下结论:

(1)通过对油田地面工程施工风险控制案例进行形式化表示,建立油田地面工程施工风险知识本体模型,为相似案例推理提供基础;

(2)基于案例推理技术,通过计算目标案例与源案例的属性相似度,进行案例匹配,提高了油田地面工程施工风险控制管理的效率;

(下转第 25 页)

[9] Hewes J T, Priestley M J N. Seismic Design and Performance of Precast Concrete Segmental Bridge Columns[R]. San Diego: University of California, 2002.

[10] Palermo A, Pampanin S, Marriott D. Design, modeling, and experimental response of seismic resistant bridge piers with posttensioned dissipating connections [J]. Journal of Structural Engineering, 2007, 133 (11): 1648-1661.

[11] 高 婧, 葛继平, 林铁良, 等. 干接缝节段拼装桥墩拟静力试验研究 [J]. 振动与冲击, 2011, 30 (4): 211-216.

[12] Bu Z Y, Ou Y C, Song J W, et al. Cyclic loading test of unbonded and bonded posttensioned precast segmental bridge columns with circular section[J]. Journal of Bridge Engineering, 2016, 21(2): 04015043-1-17.

[13] 张于晔, 魏红一, 袁万城. 钢纤维混凝土局部增强桥墩抗震性能试验研究[J]. 振动与冲击, 2012, 31 (21): 102-107.

[14] 贾金青, 姜 睿, 徐世烺, 等. 超高强混凝土短柱抗震性能的试验研究 [J]. 地震工程与工程振动, 2006, 26(6): 120-126.

[15] Billington S L, Yoon J K. Cyclic response of unbonded posttensioned precast columns with ductile fiber-reinforced concrete [J]. Journal of Bridge Engineering, 2004, 9(4): 353-363.

[16] Motaref S, Saiidi M S, Sanders D. Shake table studies of energy-dissipating segmental bridge columns [J]. Journal of Bridge Engineering, 2014, 19 (2): 186-199.

[17] 莫金生, 马 龔, 张 洁, 等. UHPC 连接节段拼装桥墩拟静力试验 [J]. 结构工程师, 2018, 34(s1): 88-95.

[18] 蔡忠奎. 混合配筋预制节段拼装桥墩抗震性能与设计方法 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.

[19] Bu Z Y, Ding Y, Chen J, et al. Investigation of the seismic performance of precast segmental tall bridge columns [J]. Structural Engineering and Mechanics, 2012, 43(3): 287-309.

[20] Yamashita R, Sanders D H. Seismic performance of precast unbonded prestressed concrete columns [J]. ACI Structural Journal, 2009, 106(6): 821-830.

[21] 刘文锋, 王金婷, 唐剑维. 抗震能力曲线弹塑性双折线模型的确定方法 [J]. 建筑结构, 2015, 45 (4): 14-17.

[22] Priestley M J N, Seible F, Calvi G M. Seismic Design and Retrofit of Bridges[M]. New York: John Wiley & Sons, 1996.

(上接第 12 页)

(3)通过实例验证分析,对关键属性相似度低于阈值的案例运用 Jess 推理机推理,提高油田地面工程施工风险控制措施的针对性。

参 考 文 献

[1] 佟海松. 油田地面建设项目的特点与风险管理问题研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, (22): 56-57.

[2] 李金城. 油田地面工程施工管理中的问题分析及对策分析[J]. 全面腐蚀控制, 2019, 33(4): 40-41.

[3] 同 霄, 周立辉, 冀忠伦. 井场作业人员应急疏散仿真研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14 (5): 130-136.

[4] 王如君, 王天瑜. 灰色 - 马尔科夫链模型在埋地油气管道腐蚀预测中的应用 [J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(4): 102-106.

[5] 闫 晓, 赵东风, 孟亦飞. 大型 LNG 储罐区卸料管线泄漏事故定量风险分析 [J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(4): 72-77.

[6] 张洪大, 帅传敏, 郭 晴. 基于 AHP 的大庆海外石油钻探项目风险评价指标体系研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(4): 152-157.

[7] 阳震青, 彭润华. 基于知识本体的财务风险预警系统研究 [J]. 会计之友 (下旬刊), 2010, (1): 46-47.

[8] 闫文周, 刘振超. 基于本体的 EPC 总承包项目风险控制研究 [J]. 施工技术, 2016, 45(6): 118-121.

[9] 黄卫东, 吴美蓉, 洪小娟. 基于本体的食品安全应急管理知识表示研究 [J]. 计算机技术与发展, 2015, 25(3): 223-227.

[10] Trokanas N, Cecelja F. Ontology evaluation for reuse in the domain of Process Systems Engineering [J]. Computers & Chemical Engineering, 2016, 85: 177-187.

[11] Mahfoudh M, Forestier G, Thiry L, et al. Algebraic graph transformations for formalizing ontology changes and evolving ontologies [J]. Knowledge-Based Systems, 2015, 73: 212-226.

[12] 高晓荣, 郭小阳, 徐英卓. 基于本体和 CBR 的钻井工程风险决策模型研究 [J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(3): 265-270.

[13] 梅江钟, 马玉洁. 基于综合相似度的地铁施工风险应急推理研究 [J]. 隧道建设, 2017, 37(9): 1126-1133.

[14] 梅江钟, 马玉洁, 郭建斌. 地铁施工风险应急管理研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(9): 20-27.

[15] 李永海. 基于相似案例分析的决策方法与应用研究 [D]. 沈阳: 东北大学, 2014.

[16] 闫文周, 李超洋. 建筑安全事故应急措施推理研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(11): 136-141.