

文章编号:1671-251X(2015)10-0056-05 DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.10.015
吴保磊,张军波,王恩元.煤矿应急救援系统协同研究[J].工矿自动化,2015,41(10):56-60.

煤矿应急救援系统协同研究

吴保磊¹, 张军波², 王恩元³

(1. 中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221116; 2. 河南能源化工集团研究院有限公司, 河南 郑州 450046; 3. 中国矿业大学 安全工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要:在分析煤矿应急救援系统协同特征的基础上,借鉴社会网络理论建立了煤矿应急救援系统协同模型,并通过计算度数中心度、网络密度、单元协同熵、系统协同熵来获得应急救援系统协同状况。实例应用结果表明,将社会网络分析法应用到煤矿应急救援系统中,实现了对煤矿应急救援系统协同状态的定量分析和评价,对提高煤矿应急救援系统效能具有指导意义。

关键词:煤矿; 应急救援系统; 协同; 社会网络

中图分类号:TD773 文献标志码:A 网络出版时间:2015-09-29 14:51

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150929.1451.015.html>

Study on coordination of coal mine emergency rescue system

WU Baolei¹, ZHANG Junbo², WANG Enyuan³

(1. School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. Henan Energy and Chemical Industry Group Research Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450046, China;

3. School of Safety Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: A coordination model of coal mine emergency rescue system was established by use of social network theory based on analysis of coordination features of coal mine emergency rescue system, and coordination status was acquired by calculating point centrality, network density, unit coordination entropy and system coordination entropy. The application results show that quantitative analysis and evaluation of coordination status of coal mine emergency rescue system can be realized with application of social network analysis method in coal mine emergency rescue system, which has guiding significance for promoting efficiency of coal mine emergency rescue system.

Key words: coal mine; emergency rescue system; coordination; social network

0 引言

煤矿应急救援系统是一个多层次、多因素的复合结构系统^[1-2],由日常建设子系统、救援支持子系统、救援任务子系统、善后恢复子系统及从属于各子系统的功能单元组成。这些功能单元存在于系统内部的不同层次中,承担着不同职能。煤矿应急救援

系统的顺利实施,其关键在于系统内各功能单元之间的协同运行。协同学研究的是系统内个体之间如何协作,并且通过协作产生新的空间结构、时间结构或功能结构^[3],达到协同或和谐的状态^[4]。协同学的相关理论已经在数控机床^[5]、军事^[6]、供应链^[7]、电子商务^[8]、计算机^[9]等领域应用,并取得了一定的研究成果。目前,关于煤矿应急救援系统的研究在

收稿日期:2015-05-25;修回日期:2015-08-17;责任编辑:盛男。

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAK04B07-2);教育部科学技术研究资助项目(113031A);江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏政办发[2014]37号)。

作者简介:吴保磊(1979-),男,江苏邳州人,讲师,博士研究生,主要研究方向为煤矿安全技术、图像处理与识别,E-mail:blwu@cumt.edu.cn。

应急机制^[10]、应急预案^[11]、应急救援能力评价^[12-13]和应急救援组织结构模式^[14-16]等方面取得了进展,但对煤矿应急救援系统协同的研究尚缺乏关注。本文将社会网络应用到煤矿应急救援系统的协同研究中,通过提高系统内各功能单元协同的能力,减少系统内部的无序性,提高应急救援效能。

1 煤矿应急救援系统协同特征

1.1 协同类型

煤矿应急救援系统的协同可分为2个类型:

① 煤矿应急救援系统内部各功能单元之间的协同,在应急救援指挥部的统一组织下,各功能单元在救援行动上的整体协调配合;② 煤矿应急救援系统与其他应急救援系统之间的协同,当事故规模超过本应急救援系统救援能力范围,应急救援指挥部调度、协调其他应急救援系统。

1.2 协同内容

煤矿应急救援系统的协同包含高质量的信息传递和协同互动2个方面的内容。高质量的信息传递包括信息发送和信息释义2个过程:信息发送是协同的一方将所处环境状况、工作状态以及要采取的行动方案等准确发送出去;信息释义是协同的另一方接收信息,并对信息进行准确解释。协同互动是协同的另一方根据所接收信息,能够感知对方的行动意图,对自身行动做出调整,并将自身信息反馈给对方。

1.3 协同模式

按照信息传递方式将协同划分为3种模式:

① 信息不共享下有指挥中心的协同,该协同模式最重要的特征是协同组织结构分散,不能实现信息共享,协同的进行完全依靠通信、协同机制以及指挥员之间的相互配合;② 信息共享下无指挥中心的协同,该协同模式在各功能单元间实现信息共享,但没有形成指挥中心;③ 信息共享下有指挥中心的协同,该协同模式的主要特点是在信息网络条件下,信息在各功能单元间共享,指挥中心能够迅速了解更多的信息。

2 煤矿应急救援系统协同模型

2.1 协同路径

协同路径将煤矿应急救援系统内的功能单元联系起来,反映了系统内参与协同的功能单元状态。

通常情况下,由于各功能单元所承担功能的限制,系统内的功能单元不可能全部参与到某一项行为中,协同运行时的信息流动过程即协同路径是有限的。另外,由于个别功能单元的失效,造成协同信息中断^[17],也会造成协同路径中断。

2.2 协同矩阵

煤矿应急救援系统的协同可用协同矩阵来表述,协同矩阵中的各元素为“0”或“1”。其中“0”代表2个功能单元间无协同信息传递,即没有协同路径;“1”代表2个功能单元间有协同信息传递,即存在协同路径。煤矿应急救援系统协同矩阵生成后,可用来构建系统的协同网络。

2.3 协同网络

社会网络是由多个节点(行为者)和节点之间的连线(行为者之间关系)组成的集合^[18],其作为社会学领域重要的分析工具和研究手段,已经在知识管理^[19-20]、人际关系^[21]、经济^[22-23]等方面取得了一定的研究成果。煤矿应急救援系统的空间分布以及各功能单元之间的协同联系,使得煤矿应急救援系统构成了一个完成某种特定功能的、具备社会网络特征的协同网络。煤矿应急救援系统协同网络构建规则如下。

规则1:将煤矿应急救援系统的各功能单元抽象为节点,并将各功能单元间协同时的信息流动抽象为节点之间的边,且不考虑个体差异和边权大小;

规则2:任意2个节点间只要有信息流经过,均进行无向连边操作,并统一记“1”为边权值^[24]。

2.4 协同计算

2.4.1 度数中心度

节点的度数中心度是研究网络拓扑结构的基本参数,用于描述在静态网络中节点所产生的直接影响力,可分为2类:① 绝对度数中心度,表示连接节点的边数,与节点相连的边越多,说明该节点在网络中交际的范围越广,影响力越大^[25];② 相对度数中心度,即绝对度数中心度的标准化^[25]。

假设网络有 n 个节点,则节点 x 的绝对度数中心度为

$$C_d(x) = d(x) \quad (1)$$

式中: $d(x)$ 为连接节点的边数。

为了比较不同规模网络中节点的重要性,需要对绝对度数中心度进行归一化处理。具有 n 个节点的网络中,节点的度不会超过 $n-1$,故节点的相对

度数中心度为

$$C_D(x) = \frac{C_d(x)}{n-1} \tag{2}$$

相对度数中心度描述的是功能单元(节点)执行本单元功能时,协同路径数与系统中所有单元可能存在的协同路径数的比值,即该单元的协同率。如果该单元与系统内所有单元之间均有协同关系,则单元协同率为 1。

2.4.2 单元协同熵

所有协同关系都是以信息形式来表述,由于系统内的噪声或信息阻塞,信息在传递过程存在不确定性,同时增加了系统协同的复杂性。本文用单元协同熵 H_1 来度量单元在协同时信息的不确定性:

$$H_1 = -C_D(x)\log_2 C_D(x) \tag{3}$$

单元协同熵越小,该单元的协同不确定性越小,系统协同性越好。

2.4.3 网络密度

当煤矿应急救援系统中各功能单元均执行本单元功能时,各项行动之间的协同是共享的。网络密度是指各功能单元之间实际协同路径数与可能存在的最大协同路径数的比值,其表达式为

$$\rho = \frac{2L}{n(n-1)} \tag{4}$$

式中: L 为各功能单元之间实际协同路径数。

网络密度越大,表明网络中信息的流动性越强,系统内信息传递的质量越高,对系统中各功能单元的影响越大。在实际网络中,最大网络密度为 0.5^[25]。

2.4.4 系统协同熵

网络密度的大小反映了网络中信息流动性的强弱,直接影响煤矿应急救援系统中信息传递的质量,从而影响系统的协同效果。本文用系统协同熵 H_2 来描述系统整体的协同程度:

$$H_2 = -\rho\log_2 \rho \tag{5}$$

系统协同熵越大,代表系统内协同程度越差;系统协同熵越小,代表系统内协同程度越好。

3 实例应用

以安阳大众煤业有限责任公司(简称大众矿)为例,对其应急救援系统的协同性能进行分析。

大众矿通过对事故救援不断总结,积累了许多经验,初步建立了完整的应急救援系统,其结构如图 1 所示。

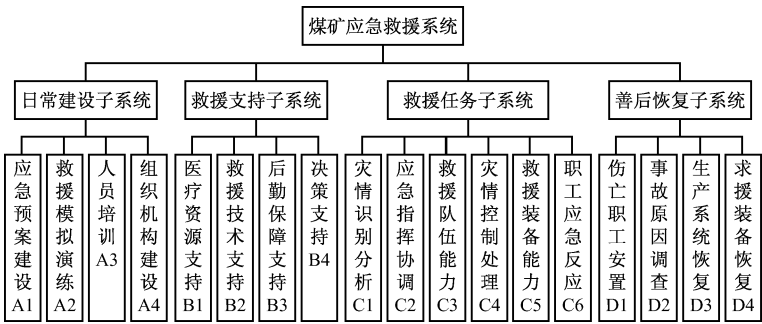


图 1 大众矿应急救援系统结构

根据大众矿应急救援系统运行时各功能单元之间的协同关系,采用矩阵形式对大众矿应急救援系统进行等价转换,考虑到各功能单元相互影响的无方向性,构建的协同矩阵为对称矩阵,见表 1。

将表 1 代入社会网络分析软件 Ucinet6.204 数据库^[25],自动生成大众矿应急救援系统协同网络,如图 2 所示。

根据式(1)~式(3),计算大众矿应急救援系统协同网络的绝对度数中心度、单元协同率、单元协同熵,结果见表 2。从表 2 可看出,应急预案建设单元

A1 和人员培训单元 A3 的协同率最高,其单元协同熵也最大。表明应急预案建设单元 A1 和人员培训 A3 对系统协同作战的影响最大,是煤矿应急救援系统建设的重点,同时需要不断从外界引入人员、技术、装备等,提升单元内部的有序性。

从表 1 中提取实际协同路径数和可能存在的最大协同路径数,代入式(4)、式(5),可得大众矿应急救援系统网络密度为 0.424 8,系统协同熵为 0.343 9,表明大众矿应急救援系统内信息传递质量高,协同关系较好。

表 1 大众矿应急救援系统协同矩阵

功能 单元	功能单元																	
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	C5	C6	D1	D2	D3	D4
A1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A2	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
A3	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A4	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
B1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
B3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
B4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
C1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
C2	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
C4	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C5	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
C6	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D2	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D3	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D4	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

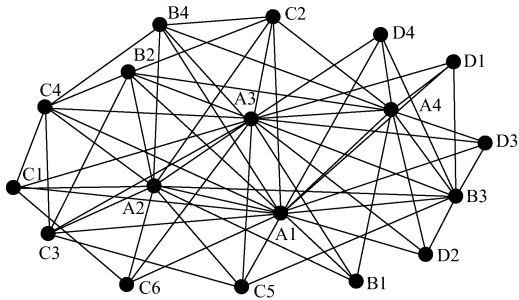


图 2 大众矿应急救援系统协同网络

4 结论

(1) 借鉴社会网络分析法,将煤矿应急救援系统协同信息传递抽象为协同网络,建立协同模型,实现了对煤矿应急救援系统协同状态的定量分析和评价。

(2) 通过对煤矿应急救援系统协同状态进行计算,可找出系统中对协同作战影响最大的功能单元并进行完善,从而提高煤矿应急救援系统的救援能力。

(3) 在对煤矿应急救援系统进行改进时,可将改进前后的系统协同熵进行比较,以判断改进后的系统是否更具有优越性。

表 2 大众矿应急救援系统协同计算结果

功能 单元	绝对度数 中心度	单元协 同率	单元协 同熵
A1	16	0.941	10.76
A3	16	0.941	10.76
A2	12	0.706	1.40
A4	11	0.647	1.03
B3	9	0.529	0.58
C4	7	0.412	0.32
B2	7	0.412	0.32
C3	6	0.353	0.23
C2	6	0.353	0.23
B4	6	0.353	0.23
C5	5	0.294	0.17
C1	5	0.294	0.17
D4	4	0.235	0.11
D3	4	0.235	0.11
D2	4	0.235	0.11
D1	4	0.235	0.11
C6	4	0.235	0.11
B1	4	0.235	0.11

参考文献:

- [1] 杨力,刘程程,宋利,等.基于熵权法的煤矿应急救援能力评价[J].中国软科学,2013(11):185-192.
- [2] 胡敬东,李学来,刘凤茹.煤矿应急救援技术研究若干新进展[J].煤矿安全,2005,36(5):33-35.
- [3] 刘秉瀚,王伟智,方秀端.协同模式识别方法综述[J].系统工程与电子技术,2003,25(6):758-762.
- [4] 陈庆发,周科平,胡建华,等.碎裂矿段开采与空区处理协同研究[J].中南大学学报:自然科学版,2010,41(2):728-735.
- [5] 郭克希,谭佩莲,杨俊.一种基于TRIZ理论的协同设计系统[J].东华大学学报:自然科学版,2008,34(3):258-261.
- [6] 蹇明裕,丁红岩,王甲兴,等.直升机双机协同飞行投雷研究[J].舰船电子工程,2010,30(2):29-31.
- [7] 张翠华,任金玉,于海斌.供应链协同管理的研究进展[J].系统工程,2005,23(4):1-6.
- [8] MCIVOR R, HUMPHREYS P, MCCURRY L. Electronic commerce: supporting collaboration in the supply chain [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 139(1/2/3): 147-152.
- [9] 陈微,王志英,肖依,等.降低协同设计虚拟机启动开销的译码后指令缓存技术[J].计算机研究与发展,2011,48(1):19-27.
- [10] 郭德勇,刘金城,姜光杰.煤矿瓦斯爆炸事故应急救援响应机制[J].煤炭学报,2006,31(6):697-700.
- [11] 郭德勇,郑茂杰,程伟,等.煤与瓦斯突出事故应急预案研究与应用[J].煤炭学报,2009,34(2):208-211.
- [12] 杨力,董一平,刘程程.基于网络层次分析法的煤矿应急救援能力评价[J].工矿自动化,2015,41(3):114-118.
- [13] 杨力,王蕾.基于ISM方法的煤矿应急救援能力评价指标体系[J].中国矿业大学学报:社会科学版,2015(1):55-61.
- [14] 张军波,郭德勇,王立兵.煤矿应急救援组织结构模式研究[J].煤炭学报,2012,37(4):664-668.
- [15] 张军波,郭德勇,王立兵.煤矿应急救援系统脆性研究[J].煤炭科学技术,2011,39(2):80-83.
- [16] 孟凡册,张军波.煤矿应急救援组织结构有序度与柔性度分析[J].工矿自动化,2014,40(8):100-103.
- [17] 宋华岭,温国锋,李金克,等.基于信息度量的企业组织系统协同性评价[J].管理科学学报,2009,12(3):22-36.
- [18] 郎君,秦兵,宋巍,等.基于社会网络的人名检索结果重名消解[J].计算机学报,2009,32(7):1365-1374.
- [19] 殷国鹏,莫云生,陈禹.利用社会网络分析促进隐性知识管理[J].清华大学学报:自然科学版,2006,46(增刊1):964-969.
- [20] LIEBOWITZ J. Linking social network analysis with the analytic hierarchy process for knowledge mapping in organizations [J]. Journal of Knowledge Management, 2005, 9(1): 76-86.
- [21] 陈亮,陈忠,李海刚,等.基于复杂网络的企业员工关系网络演化分析[J].上海交通大学学报,2009,43(9):1388-1393.
- [22] BOGINSKI V, BUTENKO S, PARDALOS P M. Statistical analysis of financial networks [J]. Computational Statistics and Data Analysis, 2005, 48(2): 431-443.
- [23] 张鼎,庄新田.上海股市单边下跌股票风险复杂网络特性分析[J].东北大学学报:自然科学版,2011,32(4):604-608.
- [24] 朱涛,常国岑,施笑安.基于复杂网络的指挥信息系统拓扑模型研究[J].系统仿真学报,2008,20(6):1574-1576.
- [25] 刘军.整体网分析讲义:UCINET软件实用指南[M].上海:格致出版社,2009:98.