

文章编号: 1673-193X(2016)-04-0113-05

基于项目反应理论的矿工应急响应能力评估*

汪伟忠¹, 卢明银², 张国宝¹

(1 安徽科技学院 管理学院, 安徽 滁州 233100; 2 中国矿业大学 矿业学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 个人应急响应能力评估是个体应急处置能力建设和提升的基础。为了有效测度矿工应急响应能力, 提出了一种基于项目反应理论的矿工应急响应能力评估方法。首先, 运用信息加工模型对人员应急响应能力形成机理进行分析; 然后以煤矿机电作业人员为例, 从危险情景判断和响应状态两个维度设计矿工应急反应状况测试题, 获取某矿20名机电作业人员应急反应数据, 并借助项目反应理论中两参数 Logistic 模型项目特征曲线对煤矿机电作业人员应急响应能力进行评估; 研究结果表明, 项目反应理论可用于测度矿工个人应急响应能力, 可以为矿工应急响应能力提升提供理论指导。

关键词: 矿工; 应急响应能力; 评估; 项目反应理论

中图分类号: TU714 文献标志码: A doi: 10.11731/j.issn.1673-193x.2016.04.021

Emergency response ability evaluation for miners based on item response theory

WANG Weizhong¹, LU Mingyin², ZHANG Guobao¹

(1. University of Science and Technology of Anhui, Chuzhou Anhui 233100, China;

2. School of Mines, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu 221116, China)

Abstract: Personal emergency response ability evaluation is the foundation of individual emergency ability construction and promotion. Aiming at making an effective measure for miners' emergency response ability, an emergency response ability evaluation method based on item response theory is proposed. Firstly, an information processing model is used to analyze the formation mechanism of personal emergency response ability. Then, a questionnaire of miners' emergency response status is designed by an example of coal mine mechanical and electrical workers. The two parameter Logistic model project characteristic curve is employed to measure 20 miners' emergency response ability from two dimensions of discrimination of dangerous situation and responsiveness. The result shows that, the item response theory can be used to measure miners' emergency response ability, then provide a theoretical direction to improve miners' emergency response ability.

Key words: miners; emergency response ability; evaluation; item response theory

0 引言

众多煤矿事故调查和研究结果表明, 煤矿作业人员的失误行为或不安全行为是诱发和导致各类煤矿安全生产事故的主因^[1]。而这些人员失误行为或者不安全行为形成和煤矿作业人员在应对应急作业过程的反应机制有很高关联度^[2-3]。为此, 在分析矿工应急响应能力形成机理的基础上, 定量测度矿工应急能力水平, 将

有助于矿工的岗位优化和矿工安全能力的提升。

目前国内外针对应急能力评价方法进行了大量的理论和实践研究。美国和日本等国家从国家层面构建灾害应急能力评估体系, 并通过调研问卷的方式评估各级组织的应急能力水平^[4]; 国内主要运用网络层次分析、模糊综合评价、熵值法等系统综合分析方法建立不同对象主体的应急能力水平测度模型^[5]。这些研究主要是针对城市或者企业应急系统等宏观和中观层面的应急能力评估, 对于微观层面的个体应急能力的定量测度研究相对较少。而对于应急系统中人员因素或者人员应急能力的研究主要集中于应急能力的模型构建和要素分析方面。如: Pezzullo 等^[6]通过半定量方法分析47位驾驶员在危险品物流运输中对风险的认知和感知影响因素, 为危险品物流运输人员应急心理模型奠定了基

收稿日期: 2016-02-23

作者简介: 汪伟忠, 硕士。

通讯作者: 卢明银, 博士, 教授。

* 基金项目: 安徽省教育厅人文社科重大项目(SK2014ZD022); 安徽科技学院人才引进项目(SRC2014400)

础; Ma 等^[7]运用 ERPs 方法研究生产人员感知危险信息和处理危险信息的过程,为提升人员感知危险信息能力提供了理论依据; Hofinger 等^[8]从心理学和行为理论视角研究应急状态下应急人员行为规律,发现应急人员的问题; Khawaja^[9]、廖中举等^[10]从认知视角对人员应急能力的形成过程和构成要素进行了研究。综上所述,目前应急能力的研究多以宏观对象为主,而对于微观对象的人员应急能力的研究也主要以应急能力的机理模型为主要内容,较少涉及危险情景中人员应急反应状态。为此,本文以信息加工模型揭示矿工对于危险情景的应急反应能力形成机理,并将项目反应理论(IRT)引入矿工应急响应能力量化测度问题。随机选取煤矿机电作业人员作为测试对象,从机电作业危险情景危险程度判别和反应状态选择两个维度设置测试题目,对煤矿机电作业人员应急响应能力测评,从而说明项目反应理论在矿工应急响应能力测度中的有效性,以期对矿工应急响应能力测度和提升提供参考。

1 矿工应急响应能力形成机理

综合现有的应急能力概念和定义,可知应急能力具备时间维度特性,通常可以按照突发事件的时间发展划分为事前应急预备能力、事件过程的应急响应能力以及事件后的应急恢复能力^[2]。由此可知,人员应急能力也具备一定的时间维度特性,可以按照作业系统或者作业环境中的危险情景发生和发展过程,将人员的应急能力划分为危险信息感知能力、危险情景响应能力以及危险情景应对和恢复能力^[11]。由上述阶段划分可知应急响应能力是建立在作业情景危险信息感知基础之上,实质是针对突发事件过程的信号^[12-13]。由此,应急响应能力的形成是一个复杂的危险信息处理过程,该过程以作业情景中危险信息感知为基础,包括危险信息加工处理、危险信息风险程度判别、应急状态选择、响应行为决策等环节,并以最终响应行为输出为终点,这个复杂的信息处理过程可以采用人因工程学中关于人员反应能力经典模型,也即 Wickens 信息加工模型进行描述^[2,11],具体如图1所示。

由图1给出的信息加工模型,结合人员应急能力划分可知,图中应急响应能力所属阶段处于危险信息感知和具体操作行为执行两个动作之间,由此人员应急响应能力应该外在体现为对感知危险信息的判断、响应状态的选择和具体的响应行为方式决策三个过程中。综上所述,矿工应急响应能力水平也应该外在表现为对煤矿作业情景中危险信号的判断准确性、响应状态的选择准确性以及响应行为方式的决策正确性三个维度上。由此,本文将矿工应急响应能力界定为:煤矿作业人员在

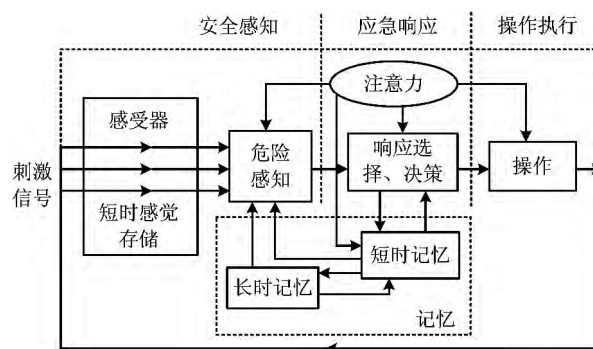


图1 Wickens 信息加工模型

Fig. 1 Information processing model for Wickens

具体作业过程中,基于对作业情景中危险信号的感知,综合运用自身知识和经验对危险信号进行判断,从而选择反应态度、决策反应行为,最终达到及时应对危险情景并降低事故损失的一种综合能力^[14]。

2 基于项目反应理论的应急响应能力评估模型

2.1 项目反应理论介绍

项目反应理论(Item Response Theory, IRT)也可称为项目特征曲线理论,是以项目特征曲线为关键技术的一种心理定量测量模型,该测量模型通过测试项目的区分度和难度等项目未知参数估计被测试者潜在的特质水平^[15]。目前在教育和心理研究领域也有人员能力测评问题,常采用项目反应理论(IRT)精确测评被试的能力状况^[4],且由矿工应急响应能力的形成机理分析可知,矿工应急响应能力主要体现为对危险情景的风险程度判定的准确性以及响应状态选择以及响应行为决策的准确性,这就说明可以通过设定具体的危险情景对矿工上述三个内容完成的质量进行分析,并最终确定矿工的应急响应能力水平,而项目反应理论的基本原理与矿工应急响应能力水平测度思路相一致。因此,可以通过项目反应理论对矿工应急响应能力进行测度。采用项目反应理论进行矿工应急响应能力的测度,主要基于项目特征曲线。项目特征曲线是一组用以描述被测试对象的某种能力与对应测试项目正确反应可能性的回归曲线,同时被测试者正确反应可能性可以用于估计被测试者待测能力的水平高低。项目特征曲线可以通过式(1)的一般化项目特征曲线函数表示。

$$p_i(\theta_j) = p(u_{ij} | \theta_j) = \alpha \quad (1)$$

式中, u_{ij} 是第 j 位被试者在第 i 个测试项目的反应; α 是第 j 位被试在第 i 个测试项目的准确概率。

可以表征上述项目特征曲线函数的反应理论模型有多种形式,常用的有 Logistic 模型和正态分布累积模

型两种类型。考虑两者的可替换性和计算简便,本文选择 Logistic 模型测度矿工应急响应能力,Logistic 模型如式(2)所示。

$$p_i(\theta_j) = c_i + (1 - c_i) [1 + \exp(-1.7a_i(\theta_j - b_i))]^{-1} \quad (2)$$

式中, a_i 、 b_i 和 c_i 是指测试项目 $i(i=1,2,\dots,n)$ 的区分度、难度和猜测度; θ_j 是指第 j 位被试者的能力参数; $p_i(\theta_j)$ 是第 j 位被试能力参数为 θ_j 时在第 i 个测试项目的准确概率。

式(2)中反应理论模型的猜测度 $c_i=0$,是指测试题目中存在判断和选择情形。而本文设计的测试题目是依据煤矿作业过程中的实际危险情境和危险源设定的,因而未猜测因素,为此猜测度 $c_i=0$ 。从而上述三参数 Logistic 模型可以变换为两参数 Logistic 模型,如式(3),且模型涉及各参数关系可用图2描述。

$$p_i(\theta_j) = p(u_{ij} | \theta_j) = [1 + \exp(-1.7a_i(\theta_j - b_i))]^{-1} \quad (3)$$

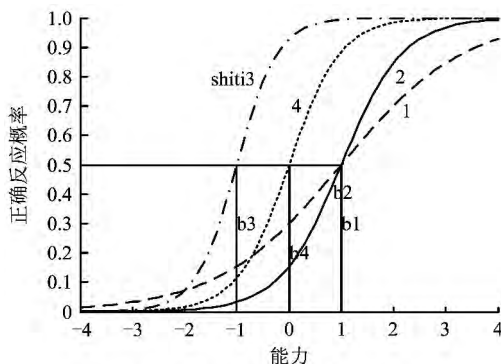


图2 两参数 Logistic 模型项目特征曲线

Fig. 2 Item characteristic curve of two parameters Logistic model

图2所示的两参数 Logistic 模型反映的是被试者检测“能力”与测试题目准确反应概率两者间的关系,且4条曲线分别为4个测试项目。当被测试者在4个测试项目的正确反应率为0.5时,被测试者的能力值将与测试项目曲线在该点(拐点)于能力轴投影值相同,可以判定被测试者对测试项目给出正确反应和错误反应的概率相同为0.5,且该点在水平轴投影可以作为项目难度 b_i 的参数。由此,测试项目难度 b_i 取值越大,测试项目曲线越趋向能力坐标轴右侧,被测试者做出正确反应所需要的能力也越高。显然,图2的4个测试项目难度依次为: $b_1=b_2=1$, $b_3=-1$, $b_4=0$ 。同时,由曲线斜率相关性可知,测试项目曲线拐点处斜率可以表征被测试者能力值与正确反应概率之间的敏感程度,斜率

取值越大则敏感程度愈大,对能力变化刻画越明显,因而可以作为测试项目的区分度 a_i 。由此,4条项目测试曲线中,拐点处的曲线斜率测试项目2大于项目1,也即测试项目区分度 $a_2 > a_1$ 。

2.2 基于项目反应理论的应急响应能力测度

综上,项目反应理论是一种基于回归分析的定量测量方法,通过统计和参数估计实现能力参数测定。为此可以运用参数估计实现矿工应急响应能力的危险情景判别和响应状态选择两个维度评估,参数估计公式如式(4)。

$$\hat{\theta}_j = \frac{z_j - \bar{\theta}}{S_{\theta}} \quad (4)$$

式中, $\hat{\theta}_j$ 是第 j 位矿工的应急响应能力估计值, $\bar{\theta}$ 和 S_{θ} 分别为所有被测试矿工在所设定的测试题目中分数的样本均值和标准差; $z_j = \sum_{i=1}^m u_{ij}$ 是第 j 位矿工在所有设定测试项目的总得分。

3 实证分析

3.1 测试项目设计

为了有效测度煤矿机电作业人员的应急响应能力水平,通过专家咨询、河南某煤矿机电队危险源辨识结果一级一线技术人员访谈等方法从人员、环境和机器设备3个方面对这些危险源进行分类遴选10种风险程度相对较高的煤矿井下机电作业危险情景设置测试题。测试题目设置过程中主要涉及机电作业人员对危险情景危险程度判定准确度和应急状态选择两个维度,形成以危险程度判定、响应状态选择和响应措施执行3个层次的煤矿机电作业人员应急响应能力测试项目,具体的测试题目设计如表1所示。

3.2 数据调研和计算

随机选取河南某煤矿机电队20位煤矿机电作业人员按照表1中设计的测试项目对其进行测试,并以编号8#的机电作业人员为例进行方法说明。编号8#的机电作业人员在应急响应能力三个层次题目的综合得分如表2所示。

同理,通过相同的方法获取其他19位机电作业人员在应急响应能力所有测试题目中的数据,从而可得20位被测试的机电作业人员应急响应能力测试综合得分的均值为 $\bar{\theta}_{DS} = 8.13$;得分标准差为 $S_{\theta-DS} = 0.389$ 。因此,由式(4)可得编号8#的机电作业人员的应急响应能力的能力值为 $\hat{\theta}_{DS} = 1.208$ 。同理,可得所有被测试的20位机电作业人员应急响应能力的能力值,结果如图3所示。

表1 矿工应急响应能力测试题
Table 1 Miners' response ability test questions

编号	危险情景描述	危险度判定	响应状态选择	具体措施
DS ₁	停送电作业,所需绝缘工具或者设备不合格	1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6 □	是□ 否 □ 不确定□	(选择是需填写)
DS ₂	停电过程中停电后,未执行“验电和放电”作业	1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6 □	是□ 否 □ 不确定□	(选择是需填写)
DS ₃	停电过程中未挂警示牌,误送电	1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6 □	是□ 否 □ 不确定□	(选择是需填写)
DS ₄	检修配电柜未按调度指令要求时间操作	1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6 □	是□ 否 □ 不确定□	(选择是需填写)
DS ₅	电缆吊挂高度过低不符合要求	1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6 □	是□ 否 □ 不确定□	(选择是需填写)
DS ₆	主通风机反风启动,未锁防爆门	1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6 □	是□ 否 □ 不确定□	(选择是需填写)
DS ₇	电气焊操作未检查气瓶及仪表完好情况	1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6 □	是□ 否 □ 不确定□	(选择是需填写)
DS ₈	检修电气设备时,瓦斯浓度超限	1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6 □	是□ 否 □ 不确定□	(选择是需填写)
DS ₉	烧焊作业或高温工件引燃可燃物	1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6 □	是□ 否 □ 不确定□	(选择是需填写)
DS ₁₀	制动钢丝绳锈蚀、变形、磨损超限	1 □ 2 □ 3 □ 4 □ 5 □ 6 □	是□ 否 □ 不确定□	(选择是需填写)

表2 编号8#机电作业人员响应能力测试结果
Table 2 Test results of mechanical and electrical worker's emergency response capability

编号	DS ₁	DS ₂	DS ₃	DS ₄	DS ₅	DS ₆	DS ₇	DS ₈	DS ₉	DS ₁₀	合计
得分	1.0	0.8	0.6	1.0	0.8	1.0	1.0	0.8	0.6	1.0	8.6

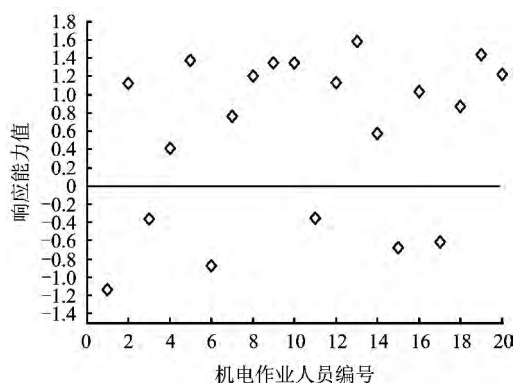


图3 机电作业人员响应能力

Fig. 3 Mechanical and electrical worker's response capability

3.3 应急响应能力分析

1) 由上述测试结果结合 Logistic 模型能力值分布特征以及文献[15]中的能力划分标准可知,编号8#的机电作业人员应急响应能力值均处中等能力值范围内,也即该机电作业人员对煤矿机电作业中存在的危险情景的风险准确判别、响应状态正确选择以及响应行为准确决策的水平属于中等水平。由此可知,编号8#对于复杂的危险作业情景中的岗位会存在不匹配现象。同时,编号8#的机电作业人员在应急响应能力测试量表中,对于DS₃和DS₉两个测试项目的表现较差,而这两个测试题目所涉及的危险源在煤矿机电作业过程中属于高频危险源,表明编号8#对发生概率高的危险情景的应急响应

能力相对较低,产生的原因可能与矿工对这些危险源的感知疲劳有关。

2) 所有20位被测试煤矿机电作业人员的应急响应能力值均没有达到高能力值范畴,编号1#、编号6#、编号15#和编号17#的机电作业人员响应能力均属低等。一方面表明这4名被测试矿工对作业环境中的危险情景的风险程度判别能力、应急响应状态准确选择以及应对突发情景采取正确措施的能力相对较弱,需要在安全教育培训中重点加强危险情景认知和风险程度判别教育,并同时加强危险情景应急模拟训练;同时,在这些被测试者安全教育考核未通过之前,安排作业任务时,尽量安排在危险因素较少、事故发生可能性较低的作业环境。

4 结论

1) 在分析人员应急能力划分的基础上,通过信息加工理论对矿工应急响应能力形成机理进行分析,认为矿工应急响应能力主要是指矿工对具体表现为矿工对煤矿作业情景中危险源的风险程度准确判别、应急响应状态准确选择和应急措施的正确决策三个方面。基于此,运用项目反应理论建立矿工应急响应能力评估模型。结合煤矿机电作业危险源辨识结果设置了包含10个危险情景3个测试维度的煤矿机电作业人员应急响应能力测试题目对煤矿机电作业人员应急响应能力进行评估。

2) 运用项目反应理论和编制的测试项目对20位煤矿机电作业人员的应急响应能力进行测度,最终结果表明20位被测试者中应急响应能力属于低等能力值的有4位,说明其应急能力相对较差,作业任务分配过程中不能直接分配到危险源的数量相对较多的作业岗位。

3) 本文在运用项目反应对矿工应急响应能力进行测度,仅涉及了人员应急响应能力值的测度问题,对于测试题目设置的难度、区分度等项目参数和应急响应能力间的相关性没有进一步探讨。通过结合不同岗位分析测试题目难度、区分度和应急响应能力间关系,如何为人员岗位匹配优化提供决策参考还需后续进一步研究。

参考文献

- [1] 许正权,张妮,王华清,等. 矿工不安全行为的网络传播性分析[J]. 科技进步与对策, 2014, 31(11): 54-56.
XU Zhengquan, ZHANG Ni, WANG Huaqing, et al. Analysis on network communication of miners' unsafe behavior[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2014, 31(11): 54-56.
- [2] 吴俊. 基于免疫遗传进化理论的安全生产应急能力跃迁机理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.
- [3] 梁振东. 基于 ANP 的煤矿员工非意向不安全行为影响因素研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(11): 157-161.
LIANG Zhendong. Study on influencing factors of non-intentional unsafe behavior for coal miners based on ANP[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2014, 10(11): 157-161.
- [4] 张雪,池宏,刘博伦. 基于题目反应模型的应急团队能力评估方法[J]. 管理评论, 2014, 26(4): 93-100.
ZHANG Xue, CHI Hong, LIU Bolun. Team ability assessment method in emergency management utilizing item response model[J]. Management Review, 2014, 26(4): 93-100.
- [5] 苗成林,孙丽艳,杨力. 基于多级模糊综合评价法的煤矿企业应急能力评价研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(11): 103-108.
MIAO Chenglin, SUN Liyan, YANG Li. Evaluation on emergency capability of coal mining enterprises based on multilevel fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2013, 9(11): 103-108.
- [6] L. Pezzllo, R. D. Filippo. Perceptions of industrial risk and emergency management procedures in Hazmat Logistics: A qualitative mental model approach[J]. Safety Science, 2009, 47(4): 537-541.
- [7] Q. G. Ma, J. Jin, L. WANG. The neural process of hazard perception and evaluation for warning signal words: Evidence from event-related potentials[J]. Neuroscience Letters, 2010, 483(8): 206-210.
- [8] G. Hofinger, R. Zinke, S. Strohschneider. Role-specific psychological requirements in preparing public transportation staff for disaster response[J]. Disaster Prevention and Management, 2011, 20(4): 398-412.
- [9] M. A. Khawaja, F. Chen, N. Marcus. Analysis of collaborative communication for linguistic cues of cognitive load[J]. Human Factors, 2012, 54(4): 518-529.
- [10] 廖中举. 基于认知视角的企业突发事件预防行为及其绩效研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
LIAO Zhongju. Research on firm's managerial cognition, emergency preventive behavior and its performance[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [11] C. D. Wickens, J. D. Lee, Yili Liu, S. E. Gordon-Becker. Introduction to Human Factors Engineering[M]. New Jersey: Pearson Education, Inc., 2004: 121-139.
- [12] 刘玉姣,刘剑,朱宝岩. 认知心理学视角下矿工的信息加工模型研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, 11(11): 161-166.
LIU Yujiao, LIU Jian, ZHU Baoyan. Study on information processing model of miners under the view of cognitive psychology[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015, 11(11): 161-166.
- [13] 王永明. 事故灾难类重大突发事件情景构建概念模型[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(2): 5-8.
WANG Yongming. Conceptual model on scenario construction for major accidents[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2016, 12(2): 5-8.
- [14] Y. Ju, A. Wang, X. Liu. Evaluating emergency response capacity by fuzzy AHP and 2-tuple fuzzy linguistic approach[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(16): 6972-6981.
- [15] 李启明,周志鹏,王盼盼,等. 基于项目反应理论的地铁施工人员安全感知能力测定研究[J]. 工程管理学报, 2010, 24(3): 287-293.
LI Qiming, ZHOU Zhipeng, WANG Panpan, et al. Determination of safety perceptual competency for metro construction workers based on item response theory[J]. Journal of Engineering Management, 2010, 24(3): 287-293.