核设施运营单位的核应急能力评估指标体系构建

吕玉航,邹树梁①,王铁骊②
(南华大学 核能经济与管理研究中心,湖南 衡阳 421001)

[摘 要] 核设施运营单位的核应急能力评价是核设施运营单位风险评估及核应急管理的重要内容,构建核设施运营单位的核应急能力评价体系可以提升核设施运营单位的核应急响应能力和管理能力。在对某 4 个核设施运营单位的 20 位专家进行两轮咨询的基础上,结合已有国内外研究成果,并采用临界值法对评价指标进行筛选,建立了一个包含 3 项一级指标,13 项二级指标,38 项三级指标的核设施运营单位核应急能力评价指标体系。指标体系综合考虑了影响核设施运营单位的核应急能力的主要因素,涵盖了核设施运营单位的核应急工作的各个方面,且各指标之间相对独立,操作方便,实施起来简单易行,可协助发现核设施营运单位在应急响应能力方面存在的问题,对核设施运营单位的核应急能力建设起到积极的促进作用。

[关键词] 核设施运营单位; 核应急能力; 评估; 指标体系; 临界值法
[中图分类号] X923 [文献标识码] A [文章编号] 1673-0755(2018)06-0012-06

核应急是为了控制核事故、缓解核事故、减轻核事故后果而采取的不同于正常秩序和正常工作程序的紧急行为,涉及众多专业技术领域和社会管理的复杂系统工程[1]。核设施运营单位是核事故场内应急工作的责任主体,核设施运营单位应急响应能力对于缓解事故后果,保障公众与环境安全至关重要[2-4]。因此建立客观、科学、规范、全面的核应急能力评估体系定期对各核设施运营单位的核应急能力进行评估是非常必要的。

目前,在国内外有关应急能力的研究集中在对突发公共事件中的城市突发公共事件[5-7]、城市灾害等方面相关的应急能力评估研究[8-10],美国、日本已建立了比较完善的综合应急能力评价体系,国内也有大量的相关研究[11-13],但有关核应急能力评估方面研究成果相对较少。朱卫东从防御指标体系、进攻指标体系来构建核事故应急能力评价指标体系[14]。吴小海等按照核事故的特点,构建事前、事中、事后 3 套评价子指标体系[15]。程卫亚等以省级和地方政府的场外核事故应急能力评价体系的建设为例构建了核事故应急能力评估体系[16]。张立国等采取综合性能指标和检查发现的指标体系来评价核事故应急响应能力[17]。由于核事故对人类造成的危害以及严重后果,评价核设施运营单位的核应急能力显得特别重要。本文根据相应的原则,选取评价指标,从系统的角度,通过对核设施运营单位的应急救援预案、应急资源、灾后恢复等综合分析来建立核设施运营单位的核应急能力评估体系。该指标体系覆盖处理核事故的整个过程,并能够系统地反映核设施运营单位应急过程中存在的优势和不足[18-19],有利于改进与提升核设施运营单位的核应急管理能力,并为核电应急管理能力评价的标准化、系统化和信息化提供一定的参考,对我国核电安全和社会可持续发展具有重大的意义。

一 核设施运营单位的核应急能力评价指标体系设计原则

核设施运营单位的核应急能力评价是一项系统、全面、复杂的工作,涉及因素多,因此,构建核设施运营单位的核应急能力评价指标体系必须按照一定的原则选取相应的评价指标,才能保证评价结果的真实性和可信度[20]。核设施运营单位应急能力的评价是对一个复杂系统工程的评价,涉及的内容

[收稿日期] 2018-05-19
[基金项目] 湖南省哲学社会科学基金项目“湖南省核设施运营单位的核应急管理能力评价研究”资助(编号:17JD72);南华大学哲学社会科学基金项目“基于虚拟企业理论的我国核电站建设项目管理模式研究”资助(编号:2012XYB04);湖南省重点学科管理科学与工程资助。
[作者简介] 吕玉航(1978-),女,湖南邵阳人,南华大学核能经济与管理研究中心讲师。
①南华大学核能经济与管理研究中心教授,博士生导师。②南华大学经济管理与法学学院教授,博士生导师。

比较广泛,影响指标的因素也较多,评价指标体系的建立是否客观、科学、合理,关系到核应急能力评价工作的质量,同时也直接影响核设施运营单位的安全管理工作。因此,指标体系必须客观、科学、规范、合理、全面地反映影响核设施运营单位安全工程的所有因素[7]。核设施运营单位的核应急能力评价指标体系的设计应遵循科学性、系统性、可操作性、和完整性原则。

二　核设施运营单位的核应急能力评价指标的选取与体系的构建

(一)核设施运营单位的核应急能力评价指标初选

根据指标设计的科学性、系统性、可操作性和完整性原则,参照国内外学者有关核应急、核设施运营单位的核应急能力评价的研究成果,使用文献资料分析优选法与专家会议法进行核设施运营单位的核应急能力评价指标的初选。邀请了 5 位具有丰富经验的核应急管理方面专家组成专家小组,通过专家会议法对初步构建的评价指标体系内容与结构进行讨论,根据各位专家的意见,初步构建了一个包含 3 项一级指标、16 项二级指标、47 项三级指标的核设施运营单位核应急能力评价指标体系。

(二)核设施运营单位的核应急能力评价指标筛选

1.指标筛选方法

采用德尔菲法进行两轮专家咨询,结合专家意见,运用临界值法进行核设施运营单位的核应急能力评价指标的筛选和修订。

2.开展两轮专家咨询

2017 年 5 月,结合项目需求从大亚湾核电站、福清核电站和海光核电技术公司、南华大学国家核应急宣传和培训基地遴选了 20 名具有丰富实践经验的核应急管理方面专家。

2017 年 5 月,采取德尔菲法开始第一轮专家咨询意见,内容主要包括专家基本情况、专家对各项指标的熟悉程度、判定根据、重要性、可操作性的评分以及建议。通过纸质问卷和电子邮件的方式发放,及时回收问卷、统计分析第一轮咨询结果。2017 年 7 月,按照第一轮咨询专家意见的反馈和结果,编制问卷进行第二轮咨询,要求专家分别对指标再次进行评价并反馈意见。

统计和分析专家意见需要用到的统计指标包括:专家积极系数、专家权威程度、专家意见集中程度和专家意见协调程度。

(1)专家积极系数:一般用专家咨询表的有效回收率表示。

专家积极系数 = 专家咨询表的有效回收率 = $\frac{\text{回收的有效专家咨询表数}}{\text{发出的专家咨询表数}}\times 100\%$

两轮专家咨询的专家积极系数都是 100%,其中第一轮有 15 名专家提出 42 条具体建议,第二轮有 5 名专家提出 8 条具体建议,表明专家对本研究是很支持的,参与的积极程度较高。

(2)专家权威程度:用专家权威系数(Cr)表示。

专家权威系数(Cr) = [判断系数(Ca)+熟悉程度系数(Cs)]/2

专家权威系数 Cr 的取值范围为[0.4,1],专家权威系数越高,表明专家权威程度越高,其评价结果越可靠。两轮咨询专家平均权威系数分别为 0.86 和 0.89,说明专家的权威程度较高,专家评价结果可靠性较高。

(3)专家协调程度:用 Kendall 协调系数 W 表示,主要用于检验所有专家对全部指标的意见协调程度,它是专家咨询结果可信程度的指标。W 的计算方法如下:

$$W=\frac{12}{m^2(n^3-n)-m\sum_{i=1}^{m}T_i}\sum_{j=1}^{n}d_j^2$$

$$d_j=S_j-\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}S_j$$

$$T_i=\sum_{i=1}^{L}(t_l^3-t_l)(i=1,2,\cdots,m)$$

式中咨询专家总数 m,指标个数 n,d_j 表示 j 指标等级和与全部指标等级和的算术平均值之差,T_i 表示修正系数。要求经过 X^2 检验,在 $P<0.05$ 的显著水平下,结果有统计学意义。协调系数 W 的取值范围为[0,1],W 越大,表示专家意见的协调程度越高,专家的意见越趋于一致[21]。

用 SPSS22.0 对回收的问卷数据进行统计分析,计算得出:第一轮咨询的专家协调系数为 0.202,说明专家意见协调程度较低,需要进行第二轮专家咨询。第二轮咨询的专家意见协调系数为 0.288,高于第一轮,说明第二轮的专家意见协调程度高于第一轮专家意见协调程度。两轮协调系数的卡方检验的 P 值均小于 0.05,说明在 95% 置信度下,评价结果可取。

(4)专家意见集中程度:根据指标重要性和可行性的算术平均数来体现。通过专家对指标重要程度进行打分,具体专家意见统计指标计算方法如下:

假设有 m 位专家对 n 项指标的重要程度进行

评价,评价指标的重要程度采用李克特五级量表进行评分[22],评价等级的量化值如表 1 所示。

表 1 指标重要程度评价等级量化值

评价等级	量化值 C_{ij}
非常重要	5
比较重要	4
一般重要	3
不重要	2
很不重要	1

其次,计算出每一项评价指标的算术平均值(M_j)、满分频率(K_j)、等级和(S_j)、变异系数(V_j)。然后,分别计算所有指标在这 4 项指标上的均值和标准差,接着根据均值和标准差计算指标筛选临界值。4 个衡量尺度的临界值计算方法如表 2 所示。临界值法的特点是操作简便,能够充分利用每一轮专家的意见。由于每轮用于指标筛选的临界值都是基于该轮专家咨询的意见生成的,因此临界值的取值能够随着专家意见的变化而变化,能更好地反映出专家意见的变化情况[23]。

根据表 2,使用临界值法筛选核设施运营单位的核应急能力评价指标的原则如下:

第一,如果某一指标同时满足 4 个入选条件,则此指标入选;

第二,如果某一指标同时不满足 4 个入选条件,则此指标删除;

第三,如果某一指标只满足 1 个或 2 个或 3 个入选条件,则根据系统性、科学性、可操作性、完整性等原则经讨论后取舍。

表 2 指标筛选临界值计算方法

衡量尺度	计算公式	方向	均值	标准差	临界值	入选条件	删除条件
算术平均值 $M_j(j=1,2,\cdots,n)$	$M_j=\frac{1}{m_j}\sum_{j=1}^{m_j}c_{ij}(j=1,2,\cdots,n)$	正向	M_{Mj}	σ_{Mj}	$L_{Mj}=M_{Mj}-\sigma_{Mj}$	$M_j>LM_j$	$M_j\leqslant LM_j$
满分频率 $K_j(j=1,2,\cdots,n)$	$K_j=\frac{m_j'}{m_j}\times 100\%(j=1,2,\cdots,n)$	正向	M_{Kj}	σ_{Kj}	$L_{Kj}=M_{Kj}-\sigma_{Kj}$	$K_j<LK_j$	$K_j\leqslant LK_j$
等级和 $S_j(j=1,2,\cdots,n)$	$S_j=\sum_{j=1}^{m_j}c_{ij}(j=1,2,\cdots,n)$	正向	M_{Sj}	σ_{Sj}	$L_{Sj}=M_{Sj}-\sigma_{Sj}$	$S_j>LS_j$	$S_j\leqslant LS_j$
变异系数 $V_j(j=1,2,\cdots,n)$	$V_j=\frac{\sigma_j'}{M_j}(j=1,2,\cdots,n)$	逆向	M_{Vj}	σ_{Vj}	$L_{Vj}=M_{Vj}+\sigma_{Vj}$	$V_j<LV_j$	$V_j\geqslant LV_j$

注:表中“正向”表示该尺度取值越大越好,“逆向”表示该尺度取值越小越好

3.指标筛选与确定

(1)第一轮专家咨询指标筛选结果

应用 EXCEL2007 和 SPSS22.0 软件处理收集的数据。

1)临界值法筛选结果

第一轮评价指标筛选条件,以同时满足指标算术平均值>3.818,满分频率>0.332,等级和>76.364,变异系数<0.218 这 4 个条件作为指标入选标准;以同时不满足这 4 个条件作为指标删除标准;对于只满足 1 个或 2 个或 3 个入选条件的指标,则由协调小组根据指标的系统性、科学性、可操作性等原则进行讨论后决定指标的取舍。使用临界值法进行指标筛选结果,一级指标全部入选,二级指标中“政府反应、民众反应”指标同时不满足 4 个入选条件,删除这两个指标,“应急人力资源建设”有两项不满足指标入选条件,经讨论是包含在应急组织机构建设指标中,因此该指标删除,“后果评估”有一项不满足指标入选条件,考虑指标体系的完整性、系统性,经讨论后该指标保留。三级指标中“应急人员的专业化程度、应急人员的培训”指标同时不满足 3 个入选条件,“应急人员配置的数量、政府对事件的反应和决策、政府对事件的认定、社会舆论导向、集体焦虑”指标同时不满足 4 个入选条件,经讨论二级指标应急人力资源建设已经合并到应急组织机构建设中故其三级指标也删除,因此共删除 7 个三级指标。

2)专家意见分析结果

经过指标筛选后,核设施运营单位的核应急能力评价指标体系剩下一级指标 3 个,二级指标 13 个,三级指标 40 个。结合第一轮专家咨询中专家提出的意见与协调小组的意见对核设施运营单位的核应急能力评价指标体系做进一步调整,核设施运营单位的核应急能力评价指标体系包括 3 项一级指

标、13 项二级指标、38 项三级指标。

(2)第二轮专家咨询指标筛选结果

1)临界值法筛选结果

第二轮评价指标筛选条件,以同时满足指标算术平均值>4.130,满分频率>0.327,等级和>90.870,变异系数<0.200 这四个条件作为指标入选标准;以同时不满足这个四个条件作为指标删除标准;对于只满足 1 个或 2 个或 3 个入选条件的指标,则由协调小组根据指标的系统性、科学性、可操作性等原则进行讨论后决定指标的取舍。使用临界值法进行指标筛选结果,一级指标全部入选,二级指标中“应急预案编制、应急法规与标准建设、应急物资准备、监控与预警能力”有 1 项不满足指标入选条件,“事后处理能力”有 2 项不满足指标入选条件,考虑指标体系的完整性、系统性,经讨论后予以保留。三级指标中“应急人才建设、应急预案的完备性、应急法规与标准的获取、应急法规与标准的更新、应急知识宣传教育的频率、应急知识宣传教育的覆盖率、应急通信设备种类满足要求、事故进展发布信息的及时性、舆情的控制、应急预案修订”指标只满足 3 个入选条件,但考虑到指标体系的完整性,经讨论予以保留。

2)专家意见分析结果

经过指标筛选后,核设施运营单位的核应急能力评价指标体系剩下一级指标 3 个,二级指标 13 个,三级指标 38 个。结合第一轮专家咨询中专家提出的意见与协调小组的意见对核设施运营单位的核应急能力评价指标体系做进一步调整。

3)核设施运营单位的核应急能力评价指标体系最终版

根据临界值法以及专家意见对第 2 版核设施运营单位的核应急能力评价指标体系做出相应调整后,最终得到最终版核设施运营单位的核应急能力评价指标体系,如表 3 所示。

表 3　核设施运营单位的核应急能力评价指标体系(最终版)

一级指标(3 项)	二级指标(13 项)	三级指标(38 项)
A 事前准备与监测能力	A1 应急组织机构建设	A11 应急指挥机构建设
		A12 应急处置机构建设
		A13 应急人力资源建设
	A2 应急预案编制	A21 应急预案的完备性
		A22 应急预案的可操作性
		A23 应急预案定期修订
	A3 应急法规与标准建设	A31 应急法规与标准的获取
		A32 应急法规与标准的更新
	A4 应急宣传教育	A41 应急知识宣传教育的频率
		A42 应急知识宣传教育的覆盖率
	A5 应急演练	A51 实战应急演练的频率
		A52 模拟演练的能力
		A53 应急演练发现问题与改进
	A6 应急物资保障能力	A61 物资装备有效配置及完好程度
		A62 设备应急备件的有效配置及完好程度
	A7 监控与预警能力	A71 全厂断电的预警预报设备完好性
		A72 全厂断电的预警预报机制
		A73 全厂断电的预警预报响应时间
B 事中应对与处置能力	B1 应急通信能力	B11 应急通信设备有效配置及完好性
		B12 应急通信设备维护到位
		B13 应急通信设备种类满足要求
	B2 应急现场指挥与协调能力	B21 事故上报的反应时间
		B22 事故进展发布信息的及时性
		B23 舆情的控制

续表

一级指标(3 项)	二级指标(13 项)	三级指标(38 项)
	B3 应急救援与现场处置能力	B31 疏散警戒能力
		B32 医疗救助能力
		B33 消防抢修能力
		B34 电源的完好性
		B35 治安与交通状况
	B4 后果初评	B41 后果评估的及时性
		B42 后果评估的全面性
		B43 后果评估的准确程度
C 事后善后处置能力	C1 事后处理能力	C11 现场清理
		C12 应急辐射人员辐射剂量监测
		C13 环境监测水平
	C2 总结分析能力	C21 事件经验反馈
		C22 技术与管理改进
		C23 应急预案修订

三 结论与展望

当前在处理突发事件应急能力评价方面,我国的研究总体上滞后于西方发达国家,尤其是核设施运营单位的核应急能力评估研究还比较薄弱,开展核设施运营单位应急能力评价指标体系研究非常必要。本研究采用德尔菲法进行两轮专家咨询,结合专家意见,运用临界值法进行核设施运营单位的核应急能力评价指标的筛选和修订,分别通过对 20 位专家的两轮咨询与打分的数据进行统计和分析对指标进行了筛选,总结得出核设施运营单位的核应急能力评价指标体系的 3 个一级指标,包括事前准备与监测能力、事中应对与处置能力、事后善后处置能力,13 个二级指标包括应急组织机构建设、应急预案编制、应急法规与标准建设、应急宣传教育、应急演练、应急物资保障能力、监控与预警能力、应急通信能力、应急现场指挥与协调能力、应急救援与现场处置能力、后果初评、事后处理能力、总结分析能力,根据一、二级指标的具体内容,综合考虑影响核设施运营单位的核应急能力的主要因素,构建了定性、定量相结合的 38 个三级指标。该指标体系各指标之间相对独立,方便操作,实施起来简单易行,可协助发现核设施营运单位在应急响应能力方面存在的问题,对核设施运营单位的核应急能力建设起到积极的促进作用。但是本次研究在专家咨询过程中,也不能完全排除个别偏差,尚需在下一步实证调查中不断优化完善。

[参考文献]

[1] 国务院新闻办公室发表《中国的核应急》白皮书[J].中国应急管理,2016(01):32-36.

[2] IAEA. Report of the Japanese government to the IAEA ministerial conference on nuclear safety-the accident at TEPCO's Fukushima nuclear power stations[R]. Tokyo: Nuclear Emergency Response Headquarters Government of Japan,2011.

[3] IAEA.IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Nuclear Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami[R/OL].(2012-03-28)[2018-02-21]. http://www. chinansc. cn/ztbd/jn311rbfdhsgyznzt/yjbg/dybg/201203/t20120308_457365.shtml.

[4] LIN DIANKE.Nuclear safety and Nuclear Emergency Situation and Security Recommendations [J]. Environmental Protection and Recycling Economy,2008,28(4):58-59.

[5] 郑双忠,邓云峰,江田汉,等.城市应急能力评估指标体系核心项处理方法研究[J].中国安全生产科学技术,2006(5):20-23.

[6] 郑双忠,邓云峰.城市突发公共事件应急能力评估体系及其应用 [J].辽宁工程技术大学学报,2006,25(6):943-946.

[7] 邓云峰,郑双忠,刘功智,等.城市应急能力评估体系研究[J].中国安全生产科学技术,2005(6):33-36.

[8] 赵 玲,唐敏康.城市灾害应急能力评估指标体系研究[J].职业卫生与应急救援,2008,26(1):31-33.

[9] 张永领.基于应急管理阶段的应急能力评估指标体系研究[J].工业安全与环保,2010,36(9):32-34.

[10] 吴新燕,顾建华.国内外城市灾害应急能力评估的研究进展[J].自然灾害学报,2007,16(6):109-114.

[11] 杨翼斡,张利华,黄宝荣,李颖明.城市灾害应急能力

自评价指标体系及其实证研究[J].城市发展研究,2010,17(11):118-124.
[12] 铁永波,唐 川,周春花.城市灾害应急能力评价研究[J].灾害学,2006,21(1):8-12.
[13] 迟娜娜.城市灾害应急能力评价指标体系研究[D].北京:首都经济贸易大学,2006.
[14] 朱卫东.核电厂安全事故应急管理的脆弱性评估研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2011.
[15] 吴小海,赵满运,屈 岩,等.核事故应急能力评估指标体系构建[J].四川兵工学报,2012(4):47-49.
[16] 程卫亚,吴晓飞,张雪飞,等.我国核应急能力评估体系建设探讨[J].职业卫生与应急救援,2014(10):265-267.
[17] 张立国,曲静原,童节娟,等.核电厂营运单位应急响应能力评估方研究[J].科学技术与工程,2015(3):187-193.
[18] 田 东,邹树梁.中外核电厂安全事故应急管理体系比较[J].中国核工业,2009(11):56-57.
[19] 张少刚,赵 媚,倪小敏,等.基于 AHP-模糊评价的化工园区综合应急能力研究[J].安全与环境学报,2015(4):29-35.
[20] IAEA. Criteria for use in preparedness and response for a nuclear or radiological emergency[R]. No. GSG-2, IAEA, 2011.
[21] 程 琮,刘一志,王如德. Kendall 协调系数 W 检验及其 SPSS 实现[J].泰山医学院学报,2010(7):487-490.
[21] 王春枝,斯 琴.德尔菲法中的数据统计处理方法及其应用研究[J].内蒙古财经学院学报(综合版),2011,9(4):92-96.
[23] 张永领.基于 Delphi 法和最小判别的应急能力逐级评价模式研究[J].中国安全科学学报,2010,20(2):165-170.

Establish Nuclear Emergency Capability Evaluation System of Nuclear Facilities Operation Departments

LV Yu-hang, ZOU Shu-liang, WANG Tie-li
(*University of South China*, *Hengyang* 421001, *China*)

Abstract: Nuclear emergency capability evaluation of nuclear facilities operation departments is an important part of risk assessment and nuclear emergency management. Establishing a nuclear emergency response capability evaluation system for nuclear facilities operation departments can improve the nuclear emergency response capabilities and management capabilities. Based on two rounds of consultations of 20 experts of some four nuclear facilities operation departments and the research results at home and abroad, the study used the critical value method to select the evaluation index, and established a nuclear emergency capability evaluation index system of nuclear facilities operation departments consisting of three first-level indicators, 13 second-level indicators and 38 third-level indicators. The indicator system fully considers all the major factors that affect the emergency response of the nuclear accident and the repetitive crossover between the indicators makes it easy to operate and implement. It can help find out the problems existing in emergency response capability of nuclear facilities operation departments, and can play a positive role in promoting the nuclear emergency response capability of nuclear facilities operation departments.

Key words: nuclear facilities operation departments; nuclear emergency capability; evaluation; index system; critical value method