

高风险移动放射源风险管控模糊综合评价

张学东, 李小飞*, 王海山, 赵家宁, 郑舒琦, 闫德坤
(甘肃省核与辐射安全中心, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 根据高风险移动放射源辐射安全风险特点与辐射事故经验反馈, 结合辐射安全监管部门和企业实际, 在充分调研的基础上, 构建高风险移动放射源辐射安全风险管控评价指标体系, 体系分为目标层、准则层和方案层, 准则层 8 项指标, 方案层 40 项指标。采用层次分析法确定各指标权重, 运用模糊综合评价方法对甘肃省 7 家高风险移动放射源企业进行评价, 结果表明决策层指标权重较大, 与实际情况相符。

关键词: 高风险移动放射源; 辐射安全; 风险管控; 模糊综合评价; 层次分析法

中图分类号: X946; TL77 文献标志码: B 文章编号: 1006-2009(2022)05-0006-04

Fuzzy Comprehensive Evaluation on Risk Control of High-risk Mobile Radioactive Sources

ZHANG Xue-dong, LI Xiao-fei*, WANG Hai-shan, ZHAO Jia-ning, ZHENG Shu-qi, YAN De-kun
(Gansu Nuclear and Radiation Safety Center, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: According to the radiation safety risk characteristics of high-risk mobile radioactive sources and the experience feedback of radiation accidents, in combination with the actual situation of radiation safety regulatory departments and enterprises, and on the basis of full investigation, an evaluation index system for radiation safety risk control of high-risk mobile radioactive sources was established. The system was divided into target layer, criterion layer with 8 indexes and scheme layer with 40 indexes. Analytic hierarchy process was used to determine the weight of each index, and fuzzy comprehensive evaluation method was used to evaluate 7 high-risk mobile radioactive source enterprises in Gansu Province. The results showed that the index weight of the decision-making layer was large, which was consistent with the actual situation.

Key words: High-risk mobile radioactive sources; Radiation safety; Risk management and control; Fuzzy comprehensive evaluation; Analytic hierarchy process

在 2016 年召开的华盛顿核安全峰会上, 我国提出要加强高风险移动放射源监管, 提高放射源安全监管水平^[1]。高风险移动放射源指探伤和测井等用途的 II 类移动放射源, 探伤源主要包括 Se-75、Co-60、Ir-192 等密封放射源, 测井源主要为 Pu-238/Be、Am-241/Be 中子源^[2]。在没有防护的情况下, 接触此类源几小时至几天可致人死亡。高风险移动放射源在作业、贮存和运输过程中存在对周围工作人员与公众照射的风险。2004—2013 年我国工业 γ 射线探伤应用领域共发生 17 起事故, 其中 15 起直接或间接与移动 γ 射线探伤有关, 且一旦发生就是重大和较大事故^[3-4]。

随着国民经济的快速发展, 使用的高风险移动放射源越来越多, 伴随事故产生辐射安全风险也越来越大。为加强高风险移动放射源辐射安全风险管控, 原环境保护部下发了《关于进一步加强 γ 射线移动探伤辐射安全管理的通知》(环办函[2014]1293 号)。全国各地结合实际开展了有益的探索, 高风险移动放射源辐射安全风险管控全面加强, 政

收稿日期: 2022-02-23; 修订日期: 2022-07-12

基金项目: 甘肃省科技计划基金资助项目(20CX4ZA020)

作者简介: 张学东(1967—), 男, 浙江绍兴人, 高级工程师, 本科, 主要从事核与辐射监测、辐射环境保护与监管工作。

* 通信作者: 李小飞 E-mail: 491746690@qq.com

府部门监管水平和核技术利用单位防控水平大幅提升。然而,目前在高风险移动放射源辐射安全风险防控评价评估方面,国家层面尚未出台统一的标准。今以甘肃省为例,探索建立辐射安全风险管控评价指标体系,采用层次分析法得到各指标权重,对高风险移动放射源风险管控水平进行模糊综合评价,并提出相关的改进建议,为进一步加强辐射安全风险管控提供参考。

1 辐射安全风险管控评价指标体系的建立

1.1 主要考虑的因素

(1) 涵盖法律法规与监管要求。高风险移动放射源属于重点监管对象,《中华人民共和国放射性污染防治法》《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等法律法规^[5]对其生产、销售、使用和运输等核技术利用活动中涉及的辐射安全许可、环境影响评价与竣工环境保护验收等程序均有明确规定,对放射源异地使用作业、人员资质管理、放射性物品运输等也有严格要求。在构建评价指标体系时,应将法律法规、核安全管理体系配套程序文件及属地监管部门的规范性文件纳入考虑因素。

(2) 关注高风险移动放射源过程管控中存在的风险因素。高风险移动放射源因其场所的不稳定性和现场的复杂性,若工作人员操作不当,则易发生源辫或放射源脱落、放射源卡源无法回收等安全事件。高风险移动放射源在作业完毕后一般被存放在项目部或工地周围的暂存库内,存在误照射、火灾、被盗或自然灾害破坏等风险。在运输环节,目前大多数企业未取得放射性物品运输许可证,在运输途中存在遗落、被盗及发生严重交通事故燃烧或爆炸的风险。探伤作业一般在夜间进行,开放的工作场所、恶劣的现场环境、复杂的工况条件、困乏的作业人员增大了作业过程中辐射事故的风险。企业雇佣无资质人员、不按规程操作等违法行为增大了事故风险。在构建评价指标体系时,应对过程管控中存在的风险因素予以重点关注。

(3) 注重辐射事故经验反馈。为深刻汲取高风险移动放射源等辐射事故的教训,原国家环保总局下发了《关于 γ 射线探伤装置的辐射安全要求》,原环境保护部下发了《关于进一步加强 γ 射线移动探伤辐射安全管理的通知》(环办函[2014]1293号),对 γ 射线移动探伤人员管理、现场作业安全、辐射安全主体责任落实及监督检查等提出了

要求。鉴于此,历次事故后发现的业主单位辐射安全管理漏洞、管理层安全意识和责任意识淡漠、工作人员职业素质不高、公众辐射危害意识缺乏、制度和操作规程不完善、监督部门监督检查力度不够等问题也应被纳入评价指标体系的考虑因素。

(4) 体现大数据信息化技术运用。我国在华盛顿核安全峰会上承诺,将对高风险移动放射源的实时监控。按照生态环境部的要求,相关核技术利用单位履行辐射安全主体责任,省级生态环境部门统筹本行政区内各单位高风险移动放射源实时监控工作,建立省级监控系统,并将放射源基本信息、地理位置等数据传输至国家信息平台。目前,各省将高风险移动放射源在线监控作为辐射安全风险防控的一项重要内容,结合本省实际加以完善。相关企业严格按照核与辐射安全监管系统要求,及时上报相关信息。信息化技术在核与辐射安全风险管控中发挥的作用越来越大,构建评价指标体系时应予以考虑。

(5) 兼顾环境敏感性与公众沟通。在环境影响评价阶段和实际作业过程中,高风险移动放射源作业区周围可能存在居民点、学校、医院及其他环境敏感性动植物、文物等,企业在作业前后应做好公众告知、沟通与必要的解释工作,避免产生不必要的涉核恐慌心理,乃至发生冲突。在构建评价指标体系时,应考虑公众沟通的因素,从源头防范可能引发的社会风险。

1.2 建立评价指标体系的程序

(1) 在充分理解法律法规与监管要求、核与辐射安全监督检查技术程序、相关规范性文件的基础上,开展文献调研,结合历年辐射事故经验反馈,提出高风险移动放射源辐射安全风险管控评价指标体系框架。

(2) 结合辐射环境监管部门工作报告、高风险移动放射源环境影响评价与辐射安全许可评审过程材料、辐射安全风险隐患排查总结、应急与监测能力评估报告、辐射安全与防护年度评估报告等资料,通过走访企业,综合考虑高风险移动放射源在线监控系统运行情况,对评价指标体系进行补充和完善。

(3) 拟订初步的高风险移动放射源辐射安全风险管控评价指标体系。

(4) 广泛征集业内专家、各级辐射安全监管机构、高风险移动放射源企业管理人员和技术人员、社会公众等对评价指标体系的意见和建议,对存在的不足

足及时修改完善。

(5) 根据各方意见对指标体系细化完善后, 构建高风险移动放射源辐射安全风险管控评价层次结构模型, 并将其应用于企业评价。

基于以上程序建立的高风险移动放射源辐射

安全风险管控评价指标体系见表1。该体系分为目标层、准则层和方案层, 其中, 准则层有8项指标, 方案层有40项指标。

表1 高风险移动放射源辐射安全风险管控评价指标体系

Table 1 The radiation safety risk management evaluation index system of high-risk mobile radioactive sources

目标层	准则层		方案层			
	指标	权重	指标	权重	组合权重	排序
高风险移动放射源辐射安全风险管控	政府监管 U_1	0.122 7	法律法规体系完备性 U_{11}	0.277 6	0.034 1	8
			辐射监管纳入生态环境保护督察 U_{12}	0.188 8	0.023 2	18
			环境信用评价结果运用 U_{13}	0.095 4	0.011 7	35
			高风险移动放射源管理考核 U_{14}	0.094 9	0.011 6	36
			辐射安全执法监管责任制 U_{15}	0.168 1	0.020 6	25
			辐射安全监管能力建设 U_{16}	0.175 2	0.021 5	22
			辐射安全行政许可要求落实 U_{21}	0.204 4	0.028 6	13
			放射源转让、运输及送贮手续办理 U_{22}	0.101 1	0.014 1	31
	管理体系运行 U_2	0.139 9	辐射安全与防护制度及操作规程 U_{23}	0.142 9	0.020 0	26
			辐射安全与防护机构及人员设置 U_{24}	0.155 8	0.021 8	21
			核与辐射安全隐患排查及消除 U_{25}	0.241 3	0.033 8	9
			辐射安全与防护评估报告 U_{26}	0.077 0	0.010 8	39
			辐射安全档案管理 U_{27}	0.077 5	0.010 8	38
			辐射安全防护设施 U_{31}	0.160 0	0.024 5	17
			辐射环境监测 U_{32}	0.084 5	0.013 0	34
			作业场所监测 U_{33}	0.100 3	0.015 4	29
			个人剂量监测及健康体检 U_{34}	0.088 0	0.013 5	33
			辐射安全防护措施落实 U_{35}	0.136 6	0.020 9	23
			辐射安全人员管理 U_{36}	0.163 2	0.025 0	16
			放射源出入库管理规范(台账) U_{37}	0.091 8	0.014 1	32
	在线监控系统运行 U_4	0.089 1	作业前后安全检查及记录 U_{38}	0.062 8	0.009 6	40
			作业场所警戒措施 U_{39}	0.112 8	0.017 3	28
			车载视频监控运行 U_{41}	0.333 3	0.029 7	12
			源库视频监控运行 U_{42}	0.234 9	0.020 9	24
	辐射应急 U_5	0.171 3	放射源监测数据及传输 U_{43}	0.125 4	0.011 2	37
			在线监控信息化水平 U_{44}	0.306 4	0.027 3	14
			成立辐射应急队伍 U_{51}	0.202 7	0.034 7	6
			辐射应急预案及时修订 U_{52}	0.181 1	0.031 0	10
			辐射应急设施设备及应急物资准备 U_{53}	0.202 7	0.034 7	7
	核安全文化建设 U_6	0.130 4	辐射应急演习及评估 U_{54}	0.181 1	0.031 0	11
			地震、火灾及疫情下防控措施 U_{55}	0.131 1	0.022 5	20
			辐射应急培训 U_{56}	0.101 3	0.017 4	27
	公众沟通 U_7	0.110 1	决策层 U_{61}	0.614 4	0.080 1	1
			管理层 U_{62}	0.117 2	0.015 3	30
	环境敏感性 U_8	0.083 2	执行层 U_{63}	0.268 4	0.035 0	5
			公众具有辐射危害意识 U_{71}	0.209 8	0.023 1	19
			辐射环境信息公开 U_{72}	0.549 9	0.060 5	2
			辐射环境投诉处理 U_{73}	0.240 3	0.026 5	15
			周围环境敏感目标情况 U_{81}	0.500 0	0.041 6	3
			环境风险防范措施 U_{82}	0.500 0	0.041 6	4

2 辐射安全风险管控模糊综合评价

2.1 指标权重计算

高风险移动放射源辐射安全风险管控评价指标体系的各指标权重采用层次分析法计算^[6-7], 步

骤如下:①建立阶梯层次结构模型;②进行专家咨询,采用1~9比率标度法,构造各层次判断矩阵;③求解矩阵的最大特征根和特征向量;④依据特征向量计算各指标相对权重向量;⑤层次单、总排序及一致性检验。邀请10名专家,根据其评价数据计算各指标权重,结果见表1。由表1可见,准则层权重较大的3项指标分别为辐射应急、辐射安全防护设施及措施、管理体系运行,方案层权重较大的3项指标分别为决策层、辐射环境信息公开、周围环境敏感目标情况。

2.2 模糊综合评价

模糊综合评价步骤如下:①确定待评价的因素集为表1中的高风险移动放射源辐射安全风险管控评价指标体系,权重分别为 W 、 w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 、 w_5 、 w_6 、 w_7 、 w_8 ;②在专家咨询的基础上,根据高风险移动放射源辐射安全风险管控水平,构造由好、较好、一般、较差、差5个等级组成的评价集;③邀请专家通过单因素评判得到各指标的隶属度 r_i ,形成隶属度矩阵 R_i ;④确定因素集权重向量 B_i ,对评价集归一化,形成因素评价矩阵 B ;⑤计算综合权重向量 C 并进行评价。

2.3 应用实例

采用上述评价指标体系,邀请10名专家,对甘肃省7家高风险移动放射源企业的辐射安全风险管控情况进行评价,构造隶属度矩阵。评价结果表明,1家企业为较好,4家企业为一般,2家企业为较差。较差企业主要存在决策层对辐射安全风险管控工作不重视、日常管理和防护措施不到位、核与辐射设施安全隐患排查和消除未及时开展或进度缓慢、在线监控设施运行维护有漏洞等问题,与现场检查结果和历年资料情况相符。

3 结论与建议

综合考虑辐射安全风险影响直接和潜在因素,结合辐射事故经验反馈,以及辐射环境监管部门和企业实际,构建高风险移动放射源辐射安全风险管控评价指标体系。运用模糊综合评价方法,对甘肃省7家高风险移动放射源企业进行评价,结果表明,在辐射安全风险管控工作中还存在监管部门能力建设与高风险移动放射源风险不匹配,企业制度建设不规范、安全责任意识不强等问题。为加强高风险移动放射源辐射安全风险防控工作,在遵循科学性和预防性原则的前提下,提出以下建议。

(1)为各市级辐射安全监管部门配备便携式辐射剂量检测仪,建立高风险移动放射源探伤作业告知制度和“四不两直”现场检查机制,核与辐射监管部门强化辐射安全风险管控评价结果运用。

(2)将高风险移动放射源辐射安全风险管控与企业安全生产和年度工作同安排、同部署、同落实,积极开展核安全文化建设,增强管理人员和工作人员的安全意识。

(3)结合当前简政放权政策形势,从强化事中事后监管的角度考虑,建议由第三方机构承担辐射安全风险管控评价工作。此外,积极推动辐射安全责任保险试点工作,在高风险移动放射源领域建立责任保险。

结合高风险移动放射源辐射安全风险防控实际,在核与辐射安全隐患排查基础上,从多角度构建较为完善的评价指标体系,并在甘肃省辐射安全风险管控工作中进行运用,为辐射环境监管、企业辐射安全风险管控和隐患排查提供了科学依据。该评价方法简便通用,计算结果较为稳定,具有一定的应用和推广价值。然而,在确定指标标准时可能会受评价者个人主观因素的影响。建议在后续研究中,由监管部门出台高风险移动放射源辐射安全与防护管理标准化建设指标的具体评定办法,选取有经验的专家或管理人员,尽量降低人为主观因素的影响,提升评价方法的规范性与指导性。

[参考文献]

- [1] 习近平. 加强国际核安全体系 推进全球核安全治理——在华盛顿核安全峰会上的讲话[J]. 中国应急管理, 2016, 10(4): 7-11.
- [2] 周晓剑, 杜江, 唐罡, 等. 高危险移动放射源综合监控系统的设计与研制[J]. 核电子学与探测技术, 2013, 33(10): 1256-1259.
- [3] 彭建亮, 陈栋梁, 王晓涛, 等. 2009—2011年全国辐射事故调查[J]. 中国职业医学, 2014, 41(4): 470-471.
- [4] 余宁乐, 陈维. 南京¹⁹²Ir放射源辐射事故现场的卫生应急处置[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(1): 73-74.
- [5] 郭承站. 我国核与辐射安全监管现状及对策[J]. 核安全, 2013, 12(Z1): 1-14.
- [6] 李小飞, 张谈贵, 张学东, 等. 辐射事故应急预案的模糊综合评价[J]. 环境监测管理与技术, 2020, 32(1): 4-7.
- [7] 吴岳玲, 李世龙, 邱小琮, 等. 清水河流域水质综合分析 with 评价[J]. 环境监测管理与技术, 2021, 33(2): 40-45.

本栏目编辑 姚朝英