论概率安全评价中的组织风险因素

肖东生,戴立操①,陈建华①
(南华大学 管理学院,湖南 衡阳 421001)

[摘 要] 核电站组织风险已经成为核电站安全运行重要的影响因素,在概率安全评价中考虑组织风险因素是核电安全研究的重要课题。文章在建立组织风险因素与 PSA 之间转换的概念框架的基础上,对组织风险因素进行分类。分类后的组织风险因素受人员行为形成因子的影响,其影响在人因可靠性分析中进行分析。计算和评估这些人员行为形成因子对于事故后操纵员的影响可以计算组织因素对核电站安全的影响。

[关键词] 组织风险; 人员行为形成因子; 概率安全评价
[中图分类号] F224;TM623.8 [文献标识码] A [文章编号] 1673-0755(2018)01-0012-05

核电已经成为我国能源战略重要组成部分。核电运行,安全至关重要。随着一系列的核能工业事故的发生,人们开始意识到组织因素是人与系统的交互作用中风险产生的重要原因。Reason 认为:“人误是结果,不是原因,人误的产生是由其上游的因素——工作环境和组织因素引起的。”[1]组织贯穿或控制着个体所在的人机系统,任何个体的失误及其失误的防御对策均是在组织综合管理下实现的。组织失误既可能对系统的安全造成直接的威胁,也可能对系统的安全可靠性(设备可靠性和人因可靠性)产生长期的侵蚀,削弱系统的防御功能,最终导致事故。资料表明,在核电厂事故中,组织原因平均占 60%以上[2]。核电站安全分析与研究必须更加充分、深入地考虑组织因素的作用和影响,组织风险的研究对于核电站安全分析具有重要意义[3-5]。

核电厂的安全分析对核电厂安全运行意义重大。概率安全评价 PSA(Probability Safety Assessment)被提出和不断发展,它用基于事故场景的方法和思路分析研究核电厂系统,明确地描述系统的危险状态及潜在事故可能的发生和发展过程,通过结合运用多种安全性分析技术,鉴别出其可能的后果,计算出各种危险因素导致事故发生的概率,从而在系统设计、制造、使用和维护的过程中,有力地支持安全风险的管理决策,达到安全的目的。

PSA 在核电安全管理中广泛应用。但如何在核电站复杂系统中考虑组织因素,对组织风险进行定量化研究仍然处于发展阶段。本文旨在对核电站组织因素进行分类的基础上,研究如何在概率安全评价模型中考虑组织风险。

一 组织风险因素分类

核电站组织风险研究主要定位于与安全直接相关的组织因素对电站运行带来的负面的影响,即导致组织失效的因素,包括组织目标、电站系统、培训、规程、操纵员班组结构等。组织风险主要来源于电站组织结构以及为实施电站运行目标而进行的各类组织活动和电站的操纵员班组的运行活动。电站操纵员班组的活动的基本构成是单个的人员活动,组织行为的基础是基本的单个人员活动,电站的单个人员活动是核电站风险分析的基础,组织因素的分析也是如此。

在构建组织风险传导的模型时必须综合考虑组织和个体两个层面的相互影响,也就是必须考虑群体的组织失误之间与个体的人因失误的关联关系。Katz 和 Kahn 指出,系统可以从“不同初始条件通过多种路径达到相同的最终状态”[6],即组织有多种路径可实现其期望的状态。

人因失误是作业人员感知外界信息、构造相对应的模型与操作过程中产生的。在此过程中,人员

[收稿日期] 2017-06-29
[基金项目] 国家社会科学基金“核电组织风险研究”资助(编号:11BGL086);教育部人文社会科学研究一般项目“核电站 PSA 中的组织可靠性研究”资助(编号:11YJA630157)
[作者简介] 肖东生(1955-),男,湖南衡阳人,南华大学管理学院教授,博士。
①南华大学管理学院教授,博士。

行为形成因子 PSF(performance shaping factor)和状态因素为失误发生提供了潜在的条件,而组织和环境条件生成和刺激了这些行为形成因子,激发了人员内部作用机理(或称心理失误原因),使人员认知和行为发生偏离,并依次产生潜在的人员内部失效模式和显现的人员外部失效模式。人因失误产生的原因通常始于环境或人心理内在波动对事件的某些干扰(组织因素)。

为了研究组织风险对电站安全的影响,需要对组织风险中的各个因素进行分类。Rick Jacobs 和 Sonja Haber 基于事故报告分析、问卷调查、面谈等方式发展的核电站组织因素分类。依据组织过程共分为 5 大类,包括 20 个组织因素。[7] Kristian S. Gould 等根据 Kim 和 Jung[8] 发展的行为影响因子全集用于分析航海中的人因失误迫使环境影响因子,其中包括涉及航海中的组织因素分类:班组的因素、班组交流的因素、管理和政策、安全文化,每类都包含若干子类。[9] K.ien 等基于对现有的组织因素分类的回顾和安全绩效指标的研究发展了海上石油和天然气行业组织因素分类,即分为个体因素、培训/能力、程序、政策和指令;计划、协调、组织和控制、设计、PM-方案/监管 6 大类,并且每类都分为若干个组织风险指标[10]。Gordon 分析了海上石油工业的 25 个事故报告发展了所有的人因分类:个体的、群体的和组织因素[11]。Vuuren 发展了钢铁和医学行业的组织原因分类,分为 3 大类主因素,即组织结构、策略和目标以及组织文化,并将其分为 9 个子类:结构包括任务要求、职责、技能和知识、工作程序、监管;策略和目标包括管理优先级;组织文化包括处理风险的标准和规则、安全态度、安全实践[12]。

上述研究表明,不同的高风险行业的组织风险因素分类都是以高风险组织的特点来进行的。核电组织风险因素分类的特点,还需考虑以集中式控制系统和行业特点,比如,安全文化、班组结构、人机界面、通讯交流、人员培训等。航空和航海的特点与核电站类似,所以考虑的很多因素与核电站接近,比如:培训等。海上石油天然气的特点与前述稍有差别,最重要的差别是考虑政策和指令。

对上述报告进行深入研究,研究组织因素影响安全/绩效的机理以及组织因素之间的相关关系。在此基础上建立一个组织因素相互作用和分类的概念框架,该框架描述了组织各层级之间风险因素之间的传导关系(见图 1a)。

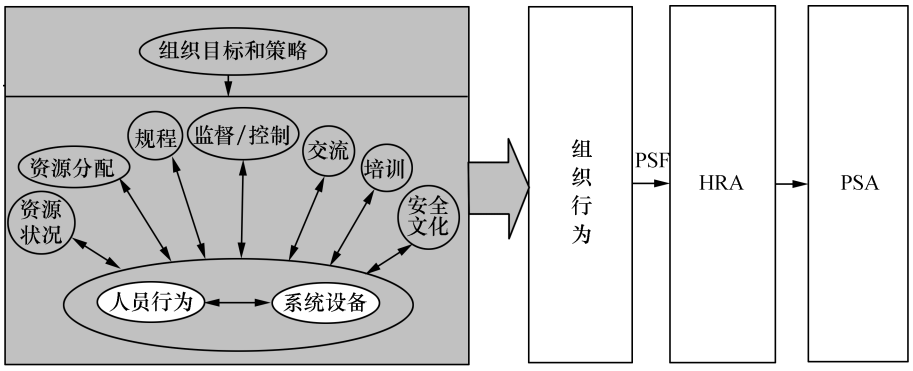

图 1　组织因素分类框架(a)转化为 PSA 分析框架(b)图

图 1a 描述了组织各层级之间风险因素传递的框架。图 1a 中组织的目标指导层是整个组织存在的目标和选择存在的方式,为“组织目标和策略”。与其他营利性组织不同的是,核电站组织的主要目标是“发电”,但由于核电运营的特殊性,所以与之并行甚至更加重要的组织目标还有“安全”。在“组织目标和策略”的指导下,电站维持发电的“绩效”和“安全”的策略目标需要维持对“资源状况”,“资源分配”、“规程”、“监督/控制”、“交流”、“培训”和“安全文化”等组织因素的有效运行。所有的组织风险经由这些因素传导到“基础元素层”。

PSA 评价的是电站运行期间的人员行为与系统的交互过程,所以评价目标主要集中在“基础元素层”。组织因素所导致的组织风险最后在“基础元素层”释放,在 PSA 中的 HRA 中进行评价。组织因素是影响组织行为的因素。根据 PSA 假设,组织行为对于电站的正向影响在始发事件的频率中考虑。PSA 中主要考虑人因可靠性分析中组织的不

安全行为,即组织风险(图 1b)。组织行为受行为形成因子 PSF 的影响,这些影响在人的可靠性分析 HRA(Human Reliability Analysis)中进行分析并并入到 PSA 分析框架中。

二 核电组织风险的因素树

图 1a 的分类框架说明了组织风险如何在组织各层级中传递。在 PSA 中考虑组织风险,需要把组织的各要素指标化。指标化的主要作用是分析 PSF 对组织风险的影响。因素树是组织因素分类框架在核电组织因素中的具体分类,分类的各层级结构形成树形结构(图 2)。树形结构根据组织管理过程发展形成全面的组织因素分类。因素树的目标是解决组织因素的内部分类和分级,从而确定组织风险的根本来源,以便进一步分析 PSF 的影响。

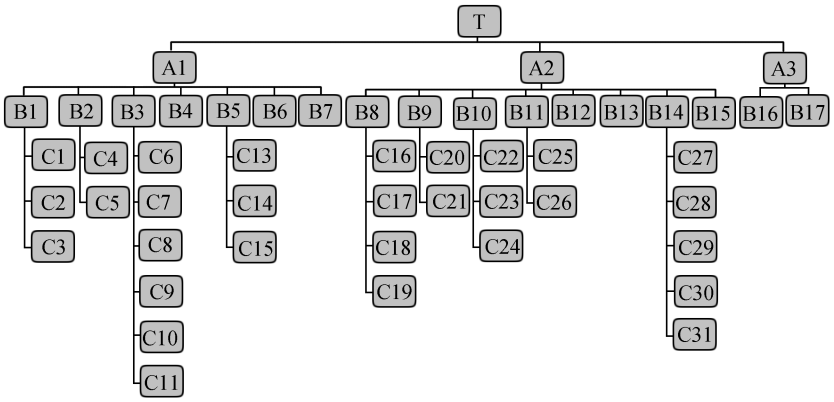

图 2 组织风险的因素树

研究者在 2000-2003 年发生的 71 件人因事件报告进行分析的基础上[13],新增加参考核电站 2012-2013 年内部事件报告 34 份进行组织根本原因分析。将组织因素分为 3 大类,即涉及绩效安全的因素(A1)、涉及组织结构的因素(A2)和涉及组织目标和策略的因素(A3)。组织目标和策略是指一个组织需达到的目标和做出的决策,同时需满足动态变化的内外部环境。组织结构是指组织的特征,涉及任务、权力、责任以及资源的分配,以达到组织功能的有效运行。绩效、安全是指组织中成员所共有的价值观念、行为方式、安全意识等的规范,反映工作人员之间的关系。这种分类涉及到组织管理的全过程,用于作为全面组织因素的分类框架。每个分类都由若干关键词来说明组织因素,如交流,则有交流的有效性、交流的质量等。

为了减少分类的主观性以及采用合适的分类方法,研究人员对分类术语细化,并使用描述性统计分析对研究结果进行再分析。分析由两组独立的研究人员进行,对不一致的分析结果展开讨论,使结果保持一致。

绩效安全的因素(A1)下面继续分为 7 个子因素,分类和分析结果(见表 1)。

表 1 绩效安全的因素(A1)分类和分析结果表

因素	子因素	百分比
	C1 信息资源	1.4%
B1 资源状况	C2 物质资源	11.3%
	C3 人力资源	0
	C4 物质分配	5.6%
B2 资源分配	C5 人力资源分配	0
	C6 工作许可程序	9%
	C7 操作程序	22%
	C8 审核	15.5%
B3 规程	C9 维修程序	14%
	C10 变更管理程序	5.7%
	C11 应急管理程序	5.7%
B4 监管/控制		
B5 交流	C12 外部交流	4.2%
	C14 部门间交流	8.5%
	C15 部门内交流	16.9%
B6 培训		48.5%
B7 安全文化		47.1%

组织结构的因素(A2)下面继续分为 8 个子因素,分类和分析结果见表 2。

表 2　组织结构的因素(A2)分类和分析结果表

因素	子因素	百分比
B8　任务	C16 任务描述	4.2%
	C17 任务要求	0
	C18 任务分配	5.6%
	C19 任务压力	4.2%
B9　工作准备	C20 工作准备	15.5%
	C21 工作计划	2.6%
B10　组织层次	C22 组织层级	0
	C23 人员数量	0
	C24 控制力度	8.4%
B11 员工角色	C25 员工责任	12.7%
	C26 员工角色	2.8%
B12 员工能力		43.7%
B13 质量保证		8.5%
B14 人机接口	C27 工作环境设计	9.9%
	C28 软件设计	11.41%
	C29 人机界面设计	25.7%
	C30 工具设计	11.3%
B15 授权		19.7%

组织目标和组织策略(A3)分类和分析结果见表 3。

表 3　组织结构的因素(A3)分类和分析结果表

因素	子因素	百分比
B16 组织目标		4.2%
B17 组织策略		0

与之前的研究相比,绩效安全的因素(A1)新增加的事件主要集中在操作程序(C7)和维修程序(C9)上,产生的原因是由于新增事件来自不同的参考核电站,而新增事件的参考核电站是新型的数字化控制系统。人机接口(B14)考虑在组织结构的因素(A2)中,这是因为参考核电站的运营公司和设计公司是某核电集团公司的并行公司,由于分属两个具有竞争性的公司,在设计过程中交流和信息交互存在很大障碍,这种障碍给电站运行可能会带来较大的组织风险。数据也反映出软件设计(C28)和人机界面设计(C29)在事件报告中增加较多。软件设计在原研究中只发生 2 起,占 2.8%,现增加了 10 起,占 11.41%。人机界面设计原研究中一共收集到 4 起,占 5.6%,现在增加了 23 起,占 25.7%。前者发生的原因可能是新型控制系统中使用基于计算机的控制室和操作导致软件使用增加,进一步分析发现,其中的 6 起发生在软件升级的过程中,而且导致的都是 A 类失误(潜在失误),对电站风险影响较大。后者发生的原因如前所述,人机界面在设计阶段,与电站运行人员的交流不充分,同时由于人机界面设计的时间压力非常大,导致在实际运行过程中导致较多失误。

三　在 PSA 模型中考虑组织风险

由因素树分解而成的核电站组织的各类风险因素(指标)需要在电站安全评价模型中进行考虑。在 PSA 模型中,系统与人员的交互行为是采用树形结构图来进行描述的。HRA 模型建立在 PSA 场景中。PSA 使用事件树和故障树描述初因事件发生后系统和人员的响应场景。PSA 模型包括 3 个基本元素:

第一,初因(始发事件或者故障树);

第二,安全功能响应以及始发事件发生后其他失效;

第三,系统/或设备的不可靠性或不可靠度。

PSA 事件树虽然对人因建立单独节点进行处理,但人因的作用最终定向的依然是子系统或者设备的失效。在不同的始发事件条件下,组织因素对于人-机接口影响的情况不一样。PSF 是影响控制室操纵员人员绩效的所有影响因素的集合。在始发事件发生后,电站系统允许时间、系统状态、规程、控制室环境,等构成了操纵员事故处理的直接场景。组织各因素包括人机界面设计、操纵员培训、信息共享、任务过程控制等构成了操纵员事故处理的间接场景。以上 PSF 对事故后操纵员的可靠性造成影响。计算和评估这些 PSF 对于事故后操纵员的影响可以计算组织因素对于电站安全的影响。

四　结　论

核电组织风险主要集中在核电组织风险对核电组织-系统连接的接口中,在接口中考虑组织风险因素对操纵员的影响是如何在安全评价中分析组织风险的基本假设。文章研究建立了组织风险产生的层级结构,并转换为 PSA 分析的基本框架。

文章在前面研究工作的基础上,对核电站发生的事故和事件进行了统计分析,对核电站存在的组织风险因素进行了分类。其目的是度量这些分类的指标体系是如何受到人员行为形成因子的影响,并传导到 PSA 的分析框架中。

[参考文献]

[1] Reason J. Managing the risks of organizational accidents [M]. Aldershot: Ashgate Pub Ltd, 1997.

[2] IAEA. Organizational factors influencing human performance

in nuclear power plants[R].
[3] Ronald W McLeod.Human factors in barrier management: hard truths and challenges[J].Process Safety and Environment Protection,2017.
[4] Adams TM,Bekkem KR,Toledo-Duran E J.Freight Resilience Measures [J]. J Transp Eng , 2012, 138 (11): 1403-1409.
[5] Sahebjamnia N,Torabi SA,Mansouri SA.Integrated business continuity and disaster recovery planning: towards organizational resilience[J].Eur J Oper Res,2015,242(1): 261-273.
[6] Katz D,Kahn R L.The Social Psychology of Organizations [M].New York:Wiley,1978.
[7] Jacobs R,Haber S.Organizational processes and nuclear power plant safety[J].Reliability Engineering and System Safety,1994(45):75-83.
[8] Kim J,Jung W.A taxonomy of performance influencing factors for human reliability analysis of emergency tasks [J].Loss Prevention,2003,16(6):479-495.
[9] Kristian S Gould,Bjarte Knappen Roed,Vilhelm F Koefoed, Robert S Bridger, Bente E Moen. Performance-Shaping Factors Associated With Navigation Accidents in the Royal Norwegian Navy [J]. Military Psychology, 2006 (18):111-129.
[10] K Ien.A framework for the establishment of organizational risk indicators [J]. Reliability Engineering and System Safety,2001(74):147-167.
[11] Gordon R.The contribution of human factors to accidents in the offshore oil industry [J]. Reliability Engineering and System Safety,1998(61):95-108.
[12] Vuuren W.Organizational failure: lessons from industry applied in the medical domain[J].Safety Science,1999, 33 (1-2):13-29.
[13] 戴立操,李鹏程,张 力.核电厂安全相关的组织因素分类[J].工业工程,2011(1):1-5.

On Organizational Risk in Probabilistic Safety Assessment

XIAO Dong-sheng,DAI Li-cao,CHENG Jian-hua
(*University of South China*,*Hengyang* 421001,*China*)

Abstract: In Probabilistic Safety Assessment (PSA), organizational risks contribute greatly to the safety of a nuclear power plant.The paper researches on how to figure out organizational risk in a framework of PSA.On the basis of a conception framework of transmitting organizational structure to a PSA analysis pattern,the paper classifies organizational risk elements.The classified elements are influenced by Performance Shaping Factors (PSF) and are calculated in Human Reliability Analysis.Calculating the PSFs can estimate the impacts upon the safety of a nuclear power plant.

Key words: organizational risks; performance shaping factors; probabilistic safety assessment