

典型人因可靠性分析方法评述*

谢红卫, 孙志强, 李欣欣, 李政仪, 张明, 史秀建, 李龙

(国防科技大学 机电工程与自动化学院 湖南长沙 410073)

摘要 对比较典型的第一代和第二代人因可靠性分析方法进行综述。首先讨论人因可靠性的基本定义,然后选取几种比较有代表意义的第一代方法进行对比分析,以此为基础介绍第一代方法的基本思想和特征,接下来分析第二代人因可靠性分析方法中两种典型方法,讨论它们的基本特点,并分析它们相对于第一代人因可靠性分析方法的优点以及自身的一些问题,最后展望人因可靠性分析方法的发展趋势。

关键词 人因可靠性分析;HRA方法;性能形成因子;认知模型;事件树

中图分类号 TP307 **文献标识码** A

An Overview of Typical Methods for Human Reliability Analysis

XIE Hong-wei, SUN Zhi-qiang, LI Xin-xin, LI Zheng-yi, ZHANG Ming, SHI Xiu-jian, LI Long

(College of Mechatronic Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract Some typical methods for human reliability analysis are surveyed. Firstly, the definition of human reliability is discussed. Secondly, several typical methods are chosen from the first generation methods for comparison and review. Their basic characters and limitations are discussed. Thirdly, two typical methods of the second generation are analyzed in detail. The comparison between the above and the preceding methods is carried out while their advantages and drawbacks are presented. Finally, further research suggestion is proposed.

Key words Human Reliability Analysis (HRA); HRA method; Performance Shaping Factor (PSF); cognitive model; event tree

人因可靠性分析 HRA (Human Reliability Analysis) 的研究开始于 20 世纪 50 年代。20 世纪 50 年代末 60 年代初已经有人开始探讨人为差错对系统可靠性的影响了^[1-2]。此后,随着工业生产尤其是核工业的发展,安全性问题越来越突出, HRA 逐渐得到重视并发展。1973 年, IEEE Transactions on Reliability 出版了关于 HRA 的专辑, David Meister 对当时已经出现的 HRA 方法进行了详细评述^[3], 其中介绍的绝大部分方法由于出现时间比较早, 已经不再使用, 个别方法经过不断改进, 至今仍在应用, 如 THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) 方法^[4]。

20 世纪 80 年代是 HRA 发展的黄金时期, 在某种程度上, 这或多或少与 1979 年发生的美国三哩岛事故有关。目前在用的大部分方法都是在这个时期提出的, 如 SLIM-MAUD (Success Likelihood Index Method-MultiAttribute Utility Decomposition) 方法^[5]、HCR (Human Cognitive Reliability) 方法^[6]和 HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique) 方法^[7]等。受制于心理学、认知科学和计算机科学的发展水平, 这些方法在人为差错机理分析和认知过程建模等方面普遍存在一些不足, 它们着重利用结构化建模和数学计算等方式追求“精确”的分析结果。因此, 很多研究人员将这一时期出现的 HRA 方法称为第一代 HRA 方法^[9, 13]。

20 世纪 90 年代之后, 陆续出现了一些新方法, 如 ATHEANA (A Technique for Human Event Analysis)^[11]、CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method)^[8]和 MERMOS^[12]等。相对于第一代 HRA 方法, 这些方法的一个共同的特点是在分析过程中建立了人的认知过程模型, 试图从认知方面着手, 通过分析环境条件、操作员本身和设备自身状态等人为差错诱因, 来描述人为差错产生机理。基

* 收稿日期 2006-11-06

基金项目: 国家部委基金资助项目(51404010105KG0121); 国家部委资助项目(51319040201)

作者简介: 谢红卫(1965—), 男, 教授, 博导。

于这一点,这段时间出现的方法称为第二代 HRA 方法^[8,10]。

国内外已经有很多专家开展了 HRA 方法的评述工作,从公开的文献和书籍看,国外方面,Haney^[8]与 Dougherty^[9]等人应该是先行者,Hollnagel 于 1998 年对当时已有的重要的 HRA 方法进行较为全面的综述^[8]。Spurgin 等人也进行过类似的工作^[13]。国内方面,王武宏^[14]、高佳、沈祖培和黄祥瑞^[10]等人长期致力于 HRA 的研究与评述工作,并提出了一些非常有价值的观点,为促进 HRA 在我国的发展做出了巨大的贡献。其中,文献 [14] 出现的时间较早,仅仅对第一代方法进行了评述,而文献 [10] 等着重介绍的是第二代方法。

本文通过选取几种有代表意义的方法进行对比分析,全面评述两代 HRA 方法的基本思想与特征,并比较这两代方法各自的优缺点,在此基础上,展望 HRA 未来的发展趋势。

1 人因可靠性基本含义

一开始,HRA 的很多定义都是直接从经典可靠性领域衍生出来的。比如,Dhillon 针对人因可靠性给出的定义就是“在规定的最小时间限度内(如果规定有时间要求),在系统运行中的任一要求阶段,由人成功完成任务或工作的概率^[15]”。HRA 的目的就是通过某种手段来获取这个概率值。这与传统的可靠性定义极其相似,同时也反映了当时认知科学的发展水平,由于对认知机理的研究不够深入,因此,不得不将人与普通的物理部件等量齐观。在这种定义方式的驱动下,HRA 趋向于通过假设检验等手段来确定人为差错的概率分布,从而确定可靠度^[23],这与传统的可靠性分析手段基本雷同。传统的分析手段有一个前提:系统(如电子设备等)的失效率不受应用场景的影响。人因可靠性很明显无法满足这一前提,它总是与任务场景密切相关,因此,采用这种方式得到的人因可靠度值得商榷。目前大部分 HRA 方法都注意到了这一点,如 THERP 方法就规定了很多任务类型对应的基本人因可靠度,在具体的场景下,通过相应的影响因子进行调整,得到最终的人因可靠度。

1994 年,Kirwan 提出,HRA 的主要目标在于正确评估由于人为差错导致的风险和寻求降低人为差错影响的方式。这种定义方式涵盖的内容比较丰富。在实际应用中,找出人因可靠度并不是最终的目标,最终目标应该是寻找导致人因可靠性退化的诱因,并有针对性的加以控制。因此,对人因可靠性的分析就可以转向人为差错的分析,具体过程可以分为差错辨识、差错频率确定和差错规避措施设计三个阶段^[16]。

导致人为差错的原因有很多,具体的影响机理也非常复杂,从现有的资料来看,还没有一种“理论上完全正确的”方法能够遍历所有诱因并获取其机理。但是,总的来说,除了偶尔出现的随机差错之外,人为差错的主要诱因可以分为五类,分别为训练水平、任务本质、人机交互界面质量、环境因素和任务执行时间。从已有的资料来看,关于这些因素如何影响人的工作效率(Human Performance)已经开展大量的研究工作,并取得了很多有益的结果^[17],但是至于如何影响人为差错尚未见到非常有价值的资料。

因此,人因可靠性至少有两个方面的含义:其一,可靠性水平不是保持不变的,它受到任务时间和其它环境因素的影响;其二,不同性质的任务所对应的可靠性水平也是不同的。

2 第一代 HRA 方法

迄今为止,据不完全统计,HRA 方法有 50 多种,但是,某些方法本质上是同一种方法。前面已经提到过,20 世纪 70 年代之前的方法由于出现时间过早,目前已经基本上不再使用了,如通过量比率法、Pontecorvo 法和概率树法^[15]等。因此,这些方法不在本文的范围之内。

常用的第一代 HRA 方法有 30 种左右^[8]。按照所用数据类型进行分类,可以分为纯粹使用专家打分的方法,如专家估计方法^[18];使用仿真数据的方法,如 MAPPS(Maintenance Personnel Performance Simulation)方法^[19]等;使用多源数据的方法,如 THERP 方法等。按照是否建立或者采用操作人员认知模型进行分类,又可以分为两大类,其中专家估计方法和 MAPPS 方法都属于没有建立认知模型的一类,而 HCR 方法采用了 SRK 框架^[20]作为认知模型框架。除此之外,还有一些专用方法,如纯粹采用统计手段的方法^[21]、采用模糊逻辑的方法^[22]和纯粹使用实验手段的方法^[23]。在这些方法中,THERP、

HEART、HCR 和 OAT 等方法是最为常用的,它们代表了第一代方法的不同流派。

2.1 THERP vs. HEART

这两种方法可以归为一类,它们认为人因可靠性是由任务决定的,并受到环境因素的影响。从这个角度出发,STAHR(SocioTechnical Assessment of Human Reliability)^[24]、SLIM 和 MAPPS 方法(MAPPS 比较特殊,考虑的是多个操作人员的情况)也可以归为这一类。

从文献出版时间来看,THERP 方法是 1964 年提出的,其主要设计工作在 20 世纪 70 年完成,但直到 1983 年才最终成型。该方法主要通过建立 HRA 事件树来分析任务执行过程中可能出现的与人有关的差错,分析这些差错发生的概率,即标称人为差错概率 NHEP(Nominal Human Error Probability)。然后通过性能形成因子 PSF(Performance Shaping Factor)对 NHEP 进行调整获得基本的人为差错概率 BHEP(Basic HEP)。最后利用其他任务或者事件的对该差错事件的影响逻辑关系对 BHEP 进行修正获得最终的人为差错概率 CHEP(Conditional HEP)^[4]。

HRA 事件树和 PSF 概念是 THERP 方法提出的。HRA 事件树在结构上类似于故障树,但实质上是有很大的区别的,HRA 事件树以人为差错为中心,通过分解任务流程,确定不同阶段中可能的人为差错,利用二分法建立事件树的分支。此外,HRA 事件树还考虑到了人的自我纠错能力,这是故障树中所有没有体现的。一般情况下,通过查表(如 Air DataStore)可以确定每个分支所对应差错的基本概率。接下来分析可能导致整个任务失败的所有分支,将这些分支概率相加即得到 NHEP。因此,HRA 事件树是 THERP 方法的关键之一。PSF 含义为可以对人为差错产生影响的所有因子,不同的 PSF 对应着不同的权重,在此基础上,可以对 NHEP 进行调整得到 BHEP。考虑到任务之间可能存在相互依赖的情况,该方法还给出了不同依赖程度下从 BHEP 调整到 CHEP 的方法。

THERP 方法的过程比较清晰,沿用至今,积累了丰富的数据资料,HRA 事件树和 PSF 被很多方法以不同形式借用。但是,这种方法还存在以下缺陷。第一,虽然事件树非常有用,但是在建立过程中并没有统一的标准,只能依赖评估人员对任务的理解,因此,评估人员中必须包括领域专家。第二,并不是所有的操作任务差错概率都可以从表中查出,对于这些表中没有包含的差错,只能通过查阅其他表或专家打分等主观手段得出。这两点导致最终的计算结果很难保持一致性。第三,对于比较简单的任务来说,二分法可能还能够满足需要,但是随着任务复杂程度的提高,简单的将操作分为正确或者差错就显得比较粗糙了。第四,在 PSF 和相关任务影响程度的分析方面,不同评估人员的理解很难保持一致,这样一来,就必须增加评估人员的数量,造成人力、财力和时间的浪费。

HEART 方法是由 Williams 于 1986 年正式提出的。它虽然不是为了解决 THERP 方法存在的问题而提出来的,但实际上,其中一些思路恰好是与以上问题一一对应的。HERAT 方法着重研究对人因可靠性有负面影响的因素,即差错诱发条件 EPC(Error-Producing Conditions),并寻求能够降低人为差错几率的措施。该方法基于两个基本假设^[26](1)标称 HEP 即 NHEP 取决于不同的任务场景类型(2)最终的 HEP 可以通过 EPC 进行调节。其中,EPC 的概念和 PSF 非常相似,而通过 EPC 来调整 HEP 的思路也和 THERP 方法不谋而合,不能不说作者借鉴了 THERP 中的一些思想。但是,在具体评估流程方面,HEART 方法要比 THERP 方法简单得多。

Williams 归纳了 8 种不同类型的通用任务场景,并分别设定了标称 HEP 及其上下限,基本上所有任务都可以与这 8 种任务场景相匹配。针对可能出现的某些任务无法与这 8 种任务场景中的任何一种相匹配的情况,还额外指定了一种任务场景。HEART 方法中设定了 38 种 EPC 及其权重,用于调节 NHEP。针对某个具体的任务,还必须通过专家为 EPC 的影响程度打分(打分在 0 到 1 之间)。

HEART 方法避开了事件树,而是直接将任务归纳为 8 种不同的类型。这在很大程度上减轻了评估人员的工作负荷,即使离开领域专家也能够进行评估。此外,EPC 的数量也比较精炼,便于进行快速查询。最后,EPC 的调整公式也比较简单。这样可以在一定程度上保证数据的一致性。但是,需要指出的是,HEART 方法中也包含了主观评估的因素,即 EPC 的影响程度还是需要主观判断,这是因为对于具体任务来说,EPC 的影响程度肯定存在区别。另外,由于该方法的任务类型和 EPC 数量比较少,因此,为了最大程度上保证安全,由该方法得到的结果比较保守,但对于那些高风险领域如核工业来说这也是

必需的。

在这两种方法中,影响机理都通过权重相乘的形式来表示。区别在于 THERP 通过将任务分解为具体的事件,然后通过分析各事件的差错率来获得整个人因可靠度;而 HEART 方法则是将所有任务简单的分为 8 类(加上额外的一类,共 9 类)并给出了每类任务的人因可靠度。相对来说,这种方式比较粗糙。但是,这也使得 HEART 方法使用起来较为方便,因此,在欧洲得到了广泛的应用^[30]。

2.2 AIPA & HCR & OAT

这三种方法认为人因可靠度仅仅取决于可用的任务时间,从这一点讲,它们都属于 TRC(Time Reliability Correlation)方法^[26]的范畴。这类方法的理论基础是针对某种系统状态,只要时间足够长,那么操作人员总可以做出反应。反过来说,如果时间不够长,那么就有可能无法做出反应或者做出错误反应。因此,这类方法的目的是获取没有反应或者错误反应的概率。

AIPA(Accident Investigation and Progression Analysis)方法^[27]在这三种方法中是最简单的,它通过平均响应时间与可用的响应时间来表征某个行为的执行情况,最终依靠专家打分来确定行为无法执行的概率。

HCR 方法^[25]的目标是分析错误反应和没有反应的概率,但最终结果仅仅给出了没有反应的概率。它基于 SRK 模型,将认知行为分为基于技能的、基于规则的和基于知识的三种类型。HCR 方法认为操作人员在规定的任务时间内没有响应的概率服从三参数 Weibull 分布,其中的参数取决于认知行为的类型。与 AIPA 方法不同,HCR 考虑了 PSF 的影响,还可以通过操作人员经验、压力、操作流程指南和人机界面等 PSF 对差错概率进行调节。

OAT 方法^[35]将操作人员行为分为三个阶段:观察 - 分析 - 反应。与以上两种方法相比,该方法对人的行为进行了细分(是否完全准确暂且不计,严格的说,目前所有的认知模型中没有一个能够真实反应人的认知过程)这是一个很大的进步。OAT 方法认为最应该关注的是分析阶段,这一阶段的差错最为重要。因此,该方法首先建立任务的事件树,然后分析其中可能存在的分析差错并估计其概率。在该方法中,差错概率取决于可用的分析时间(从信号发出到必须做出反应的时间段),而不管任务类型和性质。一旦分析时间确定,差错概率就确定了。

这三种方法是 TRC 方法的典型代表,尤其是后两者最为常用。它们的一个共同特点是认为人因可靠度是由可用的响应时间决定的。AIPA 方法最为简单,专家通过分析平均响应时间和可用的响应时间来确定差错概率。HCR 方法将任务分为三种不同的类型(对认知行为要求不同),即使是任务时间相同,不同类型的任务对应的人因可靠度仍有可能不同。HCR 方法还考虑其他一些 PSF 的影响,这是 OAT 中所没有的。OAT 方法是从另一个角度对认知行为进行分析的,着重考虑分析阶段的差错,因此特别适合与故障诊断相类似的领域。OAT 方法借用了事件树的概念,能够对任务进行细分。但是,OAT 中差错概率仅仅依赖于分析时间,而不管任务类型及其他因素,这是它的缺陷之一。

2.3 第一代 HRA 方法的特征分析

(1) 第一代方法基本上可以分为“任务决定论”和“时间决定论”两类。前者包括 THERP 和 HEART 等方法,后者包括 HCR 和 OAT 等方法。前者适应于对时间要求很低的任务,比如正常情况下的操作,而后者则适应于那些与时间密切相关的任务,比如发生事故时的操作必须要有快速反应。

(2) 几乎所有的第一代 HRA 方法都认为人可以同其他物理部件等量齐观,OAT 方法建立了简单的认知模型,HCR 对认知行为进行了分类,但这还远远不够。一个相对准确详细的认知模型对于 HRA 来说不无裨益。

(3) 这些方法一般都采用二叉树逻辑来描述人的行为(成功或失败)。HCR 方法中虽然考虑了正确反应、错误反应和没有反应这三种模式,但是仅仅给出了没有反应的概率,因此实际上也是二叉树逻辑。对于简单的任务来说,这可能已经足够了,但采用二叉树描述较为复杂的行为显然是不够的。

(4) 大部分方法都认可 PSF 对人因可靠度的影响作用,但是实际的影响机理却并不清楚。很多方法中 PSF 影响逻辑只是一种数学上的计算而已,而且 PSF 的数量也很多,很难一一罗列,使用人员只能自己进行判断。此外,OAT 方法根本没有考虑 PSF 的影响作用,而 HCR 方法仅仅考虑了三个 PSF,相对

于 THERP 和 HEART 方法来说,这明显太少了。因此,文献 [28] 考虑将 THERP 和 HCR 相结合,充分发挥各自优势,取得了不错的应用效果。

3 第二代 HRA 方法

根据现有的资料,可以归为第二代 HRA 方法只有 ATHEANA^[11, 31-32]、CREAM^[8]和 MERMOS^[12]这三种。严格地讲,由于 MERMOS 方法没有建立完整的认知模型,不能说是完全意义上的第二代方法。第二代方法的共同特征是都认为任务所处的环境条件才是人为差错的决定因素。因此,它们着重考虑可能导致人为差错的环境条件因素,并分析可能导致的差错。

3.1 ATHEANA vs. CREAM

ATHEANA 方法是由美国核能管理委员会 USNRC 提出来的。该方法认为,绝大部分的人为差错事件 HFE (Human Failure Event) 都是由系统自身条件和 PSF 相结合共同影响造成的,统称为差错诱发环境 EFC (Error-Forcing Context)。EFC 可能导致非安全动作 UA (Unsafe Action), UA 最终将导致 HFE。因此,该方法的重点在于辨识出那些 EFC 及其可能诱发的 UA。为此,ATHEANA 方法将认知过程分为由监测-环境感知-计划-实现四个阶段构成的回路,任一阶段出现差错,都可能导致 UA。在这个认知模型的基础上,与操作人员、维修人员等紧密协作以确定 EFC 和 UA,这应该是一个不断反复的过程,也是 ATHEANA 的关键过程。相关文献声称,USNRC 已经针对核电站建立了一个 EFC 数据库,主要包括人机界面、应激水平和组织因素等 PSF 以及一般电厂条件,如电厂配置与部件仪表控制可用性等^[31]。

CREAM 方法是由 Erik Hollnagel 于 1998 年正式提出的,其核心思想为人的性能并不是孤立的随机行为,而是依赖于完成任务时所处的环境。CREAM 采用情景依赖控制模型 COCOM (Contextual Control Model) 作为认知模型基础。在该模型中,认知功能分为观察 (Observation)、解释 (Interpretation)、计划 (Planning) 和执行 (Execution) 四类,认知控制模式也分为混乱的 (Scrambled)、机会的 (Opportunistic)、战术的 (Tactical) 和战略的 (Strategic),每一类控制模式对应这一个认知行为差错概率 (CFP, Cognitive Failure Probability) 区间。此外,CREAM 还将人的认知行为分为 Coordinate、Communication 和 Verify 等 15 种,不同的认知行为需要不同的认知功能。

CREAM 将情景环境分为 9 类,称为通用效能条件 CPC (Common Performance Conditions),并给出了分析 CPC 如何联合影响控制模式的方法。控制模式取决于 CPC 的联合影响程度,一旦控制模式确定,那么基本的 CFP 区间就确定了。这种方式比较简单,结果也比较粗糙,故称为基本法。CREAM 还提供了一种扩展法用于获取比较精细的结果。首先,对任务进行分解(类似于 THERP 中的事件树),分析不同阶段所必需的认知行为及其所使用的认知功能,然后,分析不同阶段对应的差错类型并查找基本差错概率及上下界,最后,根据 CPC 影响程度调整基本差错概率。

这两种方法可以代表第二代 HRA 方法的发展方向,即从周边环境而非任务的角度出发来分析可靠度,CREAM 的基本法在这一点上表现的尤为突出,其中,CFP 取决于控制模式,而控制模式则完全依赖于 CPC 因子,因此,可以说 CREAM 的基本法是彻底的“环境决定论”。而扩展法在这方面并不突出,表面上看起来可靠度取决于不同的任务,但与第一代方法不同的是,实际上是与任务相对应的认知功能决定了可靠度。

相比之下,在 HRA 方面,CREAM 比 ATHEANA 有优势。第一,在认知模型方面,COCOM 要比 ATHEANA 中的认知模型复杂,而且在 HRA 中也确实发挥了很大的作用。ATHEANA 的认知模型仅仅用于辅助分析 EFC 可能导致的 UA。第二,在应用方面,CREAM 方法提出了一套理论上比较严密的可靠度量化方法,而 ATHEANA 并没有给出 HFE 概率的量化方法,有时候不得不借用以前的方法(如 THERP)。针对这一点,有人提出了利用专家打分方法来获取 HFE 的概率的方法^[31]。而 CREAM 在确定控制模式时不够平滑,已经有人针对这一点提出了一些改善措施^[33-34]。

3.2 第二代 HRA 方法基本特征分析

相对于第一代 HRA 方法而言,第二代 HRA 方法存在以下共同的特征:

(1) 一般都强调人因可靠度不是由任务类型决定的,而是取决于任务环境。这表明研究人员已经

开始注意到环境因素的重要作用,相对于第一代方法而言,这是一个不小的进步。

(2)基本上都建立了认知模型,在认知模型的基础上进行HRA。相对于HCR和OAT的那些简单的认知模型而言,这些认知模型都比较详细,尤其是CREAM所用的COCOM。第二代方法一般都是通过分析环境因素对认知流程中不同阶段的影响,分析可能的人为差错及其概率。相对于第一代方法从“整体”上分析人为差错,这种方式要更全面并且也更准确。此外,对人为差错的描述趋向细化,一般不再采用二叉树的形式,这样一来,能够充分暴露可能的差错模式,提高HRA的准确度。

(3)虽然PSF的影响机理还没有彻底清楚,但是由于存在认知模型,所以在第二代方法中一般不再采用PSF权重相乘的形式来表现影响机理,而是采用了更为复杂的计算方式,这有助于更为客观地发现导致人因可靠度退化的主要诱因。

(4)第二代方法仍然采用了事件树(经过部分改进),比如CREAM方法中就参照事件树的概念建立了任务树,与事件树的区间在于任务树中不包含差错信息。由此可见,事件树仍然是对任务进行分析的有效手段。

4 总结与展望

综合分析两代HRA方法,可以得出:

(1)大部分HRA方法是应核工业概率风险评估PRA(Probabilistic Risk Assessment)的需要提出来的,如THERP、ATHEANA方法等。这是因为在核工业中如果出现人为差错,将会导致不可预料的严重后果。如何将这些方法及其数据移植到其他安全性要求比较高的领域,如航天航空等,是一个需要着重研究的课题。

(2)大部分HRA方法都认可PSF对人因可靠性的影响作用。但是,两代HRA方法在PSF的处理方面都比较简单,比如用于描述人机界面的PSF一般只采用一个“人机界面质量”,这样虽然简化了分析和计算过程,但是由于能够影响人机界面质量的因素有很多,仅仅使用“人机界面质量”来描述将淹没很多信息,此外,几乎也没有方法给出用于评估人机界面质量的标准,只能依靠评估人员的知识水平和经验来确定,导致分析结果带有很大程度上的主观色彩。此外,PSF能否全面的反映任务环境,也是需要进一步研究与验证的。

(3)基于认知模型进行人因可靠性分析已经成为HRA的发展趋势,这是因为认知模型能够反映人为差错的产生机理,对于提高结果的可信性非常有益。但是,由于人的认知过程非常复杂,这些认知模型能否全面反映人的认知过程,尚需进一步验证。

(4)大部分HRA方法适用于分析离散性的任务,比如“当水压超过某定值时,拉下闸门”等,而且迫于PSA的需要,必须针对该任务定量给出人因可靠性的值。这对于一些需要长时间值守的任务是不合适的,在长时间值守过程中,受到环境(噪声、高温等)、任务压力和生理节律等因素的影响,人的执行任务能力总体呈下降趋势,前已提及,当人的能力低于任务的能力需求时,人为差错的产生概率将增加,也就是说人因可靠性降低了。通过分析这种影响机理来确定人因可靠性曲线,对于确定合理的值班制度、提高工作效能和降低人为差错将是非常有意义的。

(5)大多数HRA方法面对的是单人操作任务,仅有个别方法自称能够对多人协作的任务进行可靠性分析,如SLIM和CREAM等。多人协作的任务进行可靠性分析是HRA领域的难点之一,多人协作的任务可靠度与多个单人可靠度之间并不呈现线性关系,如何描述操作人员之间的协作和影响关系,从公开的文献来看,尚未见到较为合适的方法。这也应该成为HRA未来研究的方向之一。

(6)HRA的最终目标应该是寻找导致可靠度降低的诱因,并有针对性地加以控制。但其中很多方法是为PRA服务的,得到一个量化的可靠度指标才是它们的目标,这对于提高人因可靠度并没有太大的助益。因此,下一步研究方向应该是在现有的基础上,从认知理论、统计科学等方面着手,着重分析各种因子对人因可靠度的影响机理,找出导致人因可靠性退化的主要因子,并给出相关的控制措施。

参考文献:

- [1] Williams H L. Reliability Evaluation of the Human Component in Man-machine Systems[J]. Electrical Engineering , April 1958 :78 - 82.
- [2] Shapero A , Cooper J I , Rappaport M , et al. Human Engineering Testing and Malfunction Data Collection in Weapon System Program[R]. Report WADD Technical Report 60 - 36 , Wright Air Development Division , Wright-Patterson AFB , OH , 1960.
- [3] Meister D. A Critical Review of Human Performance Reliability Predictive Methods[J]. IEEE Transactions on Reliability , 1973 22(3) : 116 - 123.
- [4] Swain A D , Guttman H E. Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications (NUREG/CR - 1278) [R]. Washington , DC : US Nuclear Regulatory Commission , 1983.
- [5] Embrey D E. SLIM-MAUD : An Approach to Assessing Human Error Probabilities Using Structured Expert Judgment (NUREG/CR-3518) [R]. Washington , DC : US Nuclear Regulatory Commission , 1984.
- [6] Hanaman G W. Spurgin A J , Lukic Y. Human Cognitive Reliability model for PRA analysis(NUS-4531) [R]. Draft EPRI Report , Electric Power Research Institute , 1984.
- [7] Williams J C. A Data-based Method for Assessing and Reducing Human Error to Improve Operational Performance[C]/Proc. IEEE 4th Human Factor and Power Plants , 1988 436 - 453.
- [8] Hollnagel E. Cognitive Reliability and Error Analysis Method(CREAM) [M]. Elsevier Science Ltd , 1998.
- [9] Dougherty E M. Human Reliability analysis-where shouldst thou turn ?[J]. Reliability Engineering and System Safety , 1990 27(3) 283 - 299.
- [10] 高佳 黄祥瑞 沈祖培. 第二代人的可靠性分析方法的新进展[J]. 中南工学院学报 , 1999 , 13(2) : 138 - 149.
- [11] Barriere M , Technical Basis and Implementation Guidelines for a Technique for Human Event Analysis (ATHEANA) (NUREG-1624) [R]. Rev. 1 , Washington , DC : US Nuclear Regulatory Commission , 2000.
- [12] Bieder C , Le Bot P , Desmares E , et al. Mermos : EDF's New Advanced HRA Method [C]/International 4th Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management , 1998 :129 - 134.
- [13] Spurgin A J. Critique of Current Human Reliability Analysis Methods[C]/IEEE 7th Human Factors Meeting , 2002 , 3. 12 - 3. 18.
- [14] 王武宏. 人机系统可靠性分析的发展[J]. 系统工程学报 , 1998 , 13(1) 29 - 45.
- [15] Dhillion B S. Human Reliability with Human Factors[M]. Pergamon Books Inc. , 1986.
- [16] Kirwan B. A Guide to Practical Human Reliability Assessment[M]. Taylor & Francis , 1994.
- [17] Staal M A , Stress , Cognition and Human Performance : A Literature Review and Conceptual Framework[R]. NASA/TM - 2004 - 212824 , 2004.
- [18] Gertman D I , Blackman H S. Human Reliability and Safety Analysis Data Handbook[M]. New York : Wiley-Interscience , 1994.
- [19] Siegel A I , Bartter W D , Wolff J J , et al. Maintenance Personnel Performance Simulation(MAPPS) Model (NUREG/CR-3626) [R]. Washington , DC : US Nuclear Regulatory Commission , 1984.
- [20] Rasmussen J. Skills , Rules , and Knowledge ; Signals , Signs , and Symbols , and Other Distinctions in Human Performance Models [J]. IEEE Transactions on Systems , Man , and Cybernetics , 1983 , 13(3) 257 - 266.
- [21] Giuntini R E. Mathematical Characterization of Human Reliability for Multi-Task System Operations[C]/IEEE International Conference on Systems , Man and Cybernetics , 2000 , 2 :1325 - 1329.
- [22] Kolarik W J , Woldstad J C , Lu S , et al. Human Performance Reliability : On-line Assessment using Fuzzy Logic[J]. IIE Transactions , 2004 36 :457 - 467.
- [23] Liew L. Human Reliability Evaluation for a Keyboarding Task[D]. Mississippi State University , 1999.
- [24] Phillips L D , Humphreys P C , Embrey D E. A Socio-technical Approach to Assessing Human Reliability[M]. New York : North-Holland , 1986.
- [25] Hannaman G W. Human Cognitive Reliability Model for PRA Analysis(NUS-4531) [R]. Rev. 3 , NUS Corporation , prepared for Electric Power Research Institute , Palo Alto , CA , 1984.
- [26] Dougherty E M , Fragola J R. Foundations for a Time Reliability Correlation System to Quantify Human Reliability[C]/Conference record for IEEE 4th Conference on Human Factors and Power Plants , 1988 , 268 - 278.
- [27] Fleming K N , Hannaman P H , Houghton G W , et al , HTGR Accident Investigation and Progression Analysis Status Report (Vol. II) : AIPA Risk Assessment Methodology[R]. GA/A 13617 Vol. 2 UG - 77 , San Diego : General Atomic Co. , 1975.
- [28] 张力 黄曙东 黄祥瑞. 基于 THERP + HCR 的人因事件分析模式及应用[J]. 核动力工程 2003 24(3) : 272 - 276.
- [29] Kirwan B. Nuclear Action Reliability Assessment (NARA) : A Data-Based HRA Tool[C]/International 7th Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management 2004 :1206 - 1211.
- [30] Kirwan B , Kennedy R , Taylor-Adams S , et al , The Validation of Three Human Reliability Quantification Techniques-THERP , HEART and JHEDI : Part II-Results of Validation Exercise[J]. Applied Ergonomics , 1997 28(1) : 17 - 25.
- [31] Forester J , Bley D , Cooper S E. Expert Elicitation Approach for Performing ATHEANA Quantification [J]. Reliability Engineering and System Safety , 2004 83(2) 207 - 220.
- [32] Thompson C M , Cooper S E , Bley D C. The Application of ATHEANA : A Technique for Human Error Analysis[C]/IEEE 6th Annual Human Factors Meeting , 1997 , 9. 13 - 9. 17.
- [33] Fujita Y , Hollnagel E. Failure without Errors : Quantification of Context in HRA[J]. Reliability Engineering and System Safety , 2004 83 (2) : 145 - 151.
- [34] Kim M C , Seong P H , Hollnagel E. A Probabilistic Approach for Determining the Control Mode in CREAM [J]. Reliability Engineering and System Safety , 2006 , 91(2) : 191 - 199.
- [35] Wreathall J. Operator Action Trees. An Approach to Quantifying Operator Error Probability during Accident Sequences[R]. NUS-4159. San Diego , CA : NUS Corporation , 1982.

