

核应急管理中的工业工程技术应用前景

王曦,王星¹,邹树梁²,王铁骊³
(南华大学核能经济研究中心,湖南衡阳421001)

[摘要] 文章从核应急管理的流程化特点出发,对接工业工程技术的分析工具,指出当前核应急规范和研究成果在流程优化和操作标准用时方面的不足需要工业工程技术的辅助。结合工业工程的相关特点,指出其两大技术,即方法研究与作业测定,是针对作业流程进行优化的科学方法,天然地适用于核应急管理流程优化和标准用时问题。分析了工业工程在这些方面的应用前景,重点介绍了三种作业测定技术,即秒表时间研究、工作抽样和预定动作时间标准法的应用方法。为核应急流程的精细化管理提供了思路,也开拓了工业工程的应用领域。

[关键词] 核应急管理; 工业工程; 方法研究; 作业测定

[中图分类号] X945;X913 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2019)04-0010-07

核应急管理是防范核事故及次生灾害的最终屏障,担负着核工业健康稳定发展的重大责任。随着我国核能行业的发展以及核电产业的扩张,核应急管理也提到重要的层面。当前核应急管理规定涉及内容比较全面,相关的法律、法规及指导性文件已渐成体系。《中华人民共和国核安全法》是等级最高的核应急管理法规,国务院行政法规《核电厂核事故应急管理条例》、国家核安全局部门规章《核电厂核事故应急管理条例实施细则》等文件构成了核应急管理的框架体系,体系中涉及各类标准约132项^[1]。

当前核应急管理领域的成果比较丰富,基本分为两大类。第一类是核应急管理评价体系的研究,如陈慧玲等人对国内外核应急管理体系及相关标准进行了分析,提出了海上核应急管理的相关措施^[2]。黄彦君等人针对核电厂应急监测任务构建了评价指标体系,设计出10个二级指标和35个三级指标,形成了可操作的总体评价指标^[3]。吕玉航等人使用临界值法对评价指标进行筛选,从事前准

备与监测能力、事中应对与处置能力和事后善后处置能力三个方面构建了核应急能力评价指标体系^[4]。第二类是核应急管理中某些操作细节的分析。这类研究涉及核应急准备阶段的柴油发电机组故障识别^[5]、核电厂松脱事件的应急处置^[6]、人员撤离^[7]、公众洗消^[8]、应急计划区划分^[9]等方面。这些研究为指导核应急管理提供了参考^[4]。但是,上述规范性文件和研究成果在指导核应急管理方面还存在一定的不足。一方面,规范性文件重在提供应急管理的指导方针,一般列举了核应急过程的必备流程。但是流程之间的衔接优化尚无明确的规范加以指导。另一方面,前述研究成果一般都聚焦于某一流程的技术细节,但针对技术实施时间效应的研究相对匮乏。例如,针对核应急人员现场辐射水平测量方法的研究提高了测量效率^[10],但是未确定方法实施的标准时长。这不利于应急管理过程的“时效性”把控,一旦经历真实事故,将难以科学预判时间进程,容易造成关键资源——“救援时间”的低效率浪费。即便少数研究已认识到上述问题,强

[收稿日期] 2019-05-22

[基金项目] 湖南省哲学社会科学基金项目“核电站突发事件应急管理流程的IE优化研究”资助(编号:11YBB322);湖南省高等学校科学研究项目“以作业测定为指向的核电站突发事件应急管理流程优化的MR研究”资助(编号:12C0330);南华大学哲学社会科学基金项目“基于工业工程的我国核电站突发事件应急管理流程优化研究”资助(编号:2011XYB16);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)

[作者简介] 王曦(1982-),男,湖北襄阳人,南华大学核能经济与管理研究中心讲师。

1 南华大学语言文学学院讲师。2 南华大学核能经济与管理研究中心教授,博士生导师。3 南华大学经济管理与法学院教授,博士生导师。

调了核应急管理中“可操作性”的重要性^[4],但是涉及核应急管理流程的规范化与标准化实现途径的研究成果还是凤毛麟角。

本文基于上述背景展开研究,力求从一类专门针对作业流程进行优化的技术类别,即工业工程,找到核应急管理流程优化与作业标准化的途径,希望为核事故应急管理的流程设计工作提供方法借鉴。

一 核应急管理的流程化视角辨析

核应急管理是指在核事故应急时采取的事故对策、应急准备、应急措施及事故后恢复行动的管理活动^[11],从时间跨度上,它大致分为事前准备与监测、事中应对与处置、事后善后与恢复等模块^[4]。在工作内容上,核应急管理体现出明显的连续性、协同性,是一系列特定工作流程的有机综合。以《核电厂应急计划与准备准则:场外应急计划与应急程序》(GB/T17680.4—1999)为例,它列举了从应急启动、应急环境辐射监测与评价、气象资料获取到应急支援和应急状态终止的19个计划与执行程序。各步骤的执行需要及时有效且协调一致。可见,核应急管理具有明显的流程化特征,各工作程序之间存在5种关系。

(一)上下游关系

上下游关系表现为一个工作程序的实物产成品或者服务效果是另一个工作程序所需资源的直接输入或者间接输入^[12]。例如,作为核应急管理的关键节点,应急监测直接决定核事故分级的结果,应急监测成为核事故分级的上游程序,反之亦然。而应急工作人员辐照剂量制定程序又紧跟核事故分级而定。因此,应急监测位于核事故分级和辐照剂量水平制定两项程序的上游。忽略甚至颠倒上下游关系,将直接扰乱核应急管理的整体流程,破坏流程的流畅度与逻辑关系。

(二)控制关系

控制关系主要表现为一个工作程序所产生的信息流对另一工作程序具有控制作用,可以激活另一个工作程序^[12]。例如,应急环境辐射评价的结果将决定是否启动应急通知、通信和报警程序。再如,应急计划区的划分直接影响饮用水和食物控制程序。与上下游关系相比,控制关系也暗含时间先后顺序,后一程序必然晚于前一程序。不仅如此,控制程序还强调上游程序对下游程序的驱动作用。这决定了存在控制关系的程序之间,必须严格对标上一流程的结果,精准选择下一程序的执行方向。

(三)任务关系

任务关系主要表现为工作程序之间的任务关联性,即前一工作程序的完成是后一活动或流程的前提条件^[12]。任务关系也属于上下游关系,但与控制关系不完全一致。区别在于控制关系强调上游工作程序对下游程序的触发机制,而任务关系仅要求下游程序必须等待上游程序的完成才能开始,但不一定存在触发机制。例如,核事故早期的洗消过程,需要针对人员、车辆、地面及部分设备进行测量、洗消和去污,这是人员转移安置之前的必要措施,因此洗消程序与人员撤离之间是任务关系^[8],人员撤离需要在洗消程序之后进行。

(四)资源关系

资源关系主要表现为不同的工作程序共享某种资源,对某项资源的调用是同时进行的^[12]。例如,在应急支援过程中消防支援力量进场与人员疏散撤离程序可能需要同时进行,两者都对通行道路共享共用,为了避免路段拥堵可能采取交通管制措施^[13]。

综上所述,核应急管理的流程涉及各工作程序的交织,是一项内容复杂、逻辑性强,同时追求效率的有机活动整体。当前核应急法律法规对核应急管理的要求逐渐明确细致,形成了种类丰富、覆盖面宽的机构体系与文件序列。但是核应急管理体系的建设并不是单纯地建设相关机构与预案,还需要梳理出科学、优化的业务流程^[14],确保各项应急程序合规、高效、按质完成。这需要在两方面着力推动,其一是流程衔接的合理化,打造承接顺畅、无多余重复或者不合理程序的核应急管理模式,其二是挤压作业流程中的无效时间,最大限度提高核应急管理效率,探索经济有效的最佳作业时长。而实现这些目标非常需要工业工程的技术。

二 工业工程技术的功能

工业工程技术(industry engineering)属于工程学范畴,它的主要功能是流程系统的设计改造,目标是抑制资源浪费,提高流程效率,强化操作标准。它主要包括两大技术类型,方法研究与作业测定。

(一)方法研究

方法研究是运用各种分析技术对现有工作(加工、制造、装配、操作、管理、服务等)方法进行记录、考察、分析、改进,本着经济、合理、有效的原则,进行的方法标准化活动^[15]。方法研究的对象是系统,解决的是系统优化问题。因此,方法研究着眼于全局,

是从宏观到微观,从整体到局部,从粗到细的研究过程。其具体内容如图 1 所示。

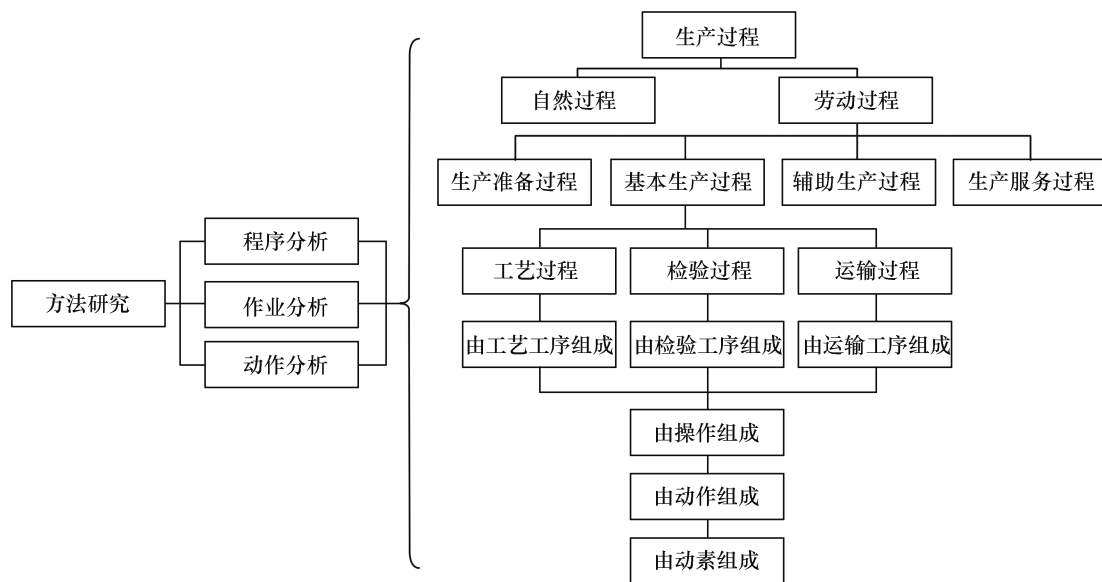


图1 方法研究的内容

注:上图来源为易树平、郭伏(2008)主编的《基础工业工程》

方法研究的分析过程具有一定的层次性。一般首先进行程序分析,使工作流程化、优化、标准化,然后进行作业分析,最后进行动作分析。程序分析是对整个过程的分析,工序是其研究的最小单位;作业分析是对某项具体工序进行的分析,操作是研究的最小单位;动作分析是对作业者操作过程动作的分析,研究的最小单位是动素。方法研究的分析过程

是从粗到细,从宏观到微观,从整体到局部的过程(见图2)。图中的“工序”指一个作业者或者一组作业者,在一个工作地点,对一个劳动对象或一组劳动对象连续进行的操作;“操作”是指作业者为了达到一个明显的目的,使用一定的方法所完成的若干个动作的总和,它是工序的基本组成部分;而“动素”则是指构成动作的基本单位,如伸手、移物等。

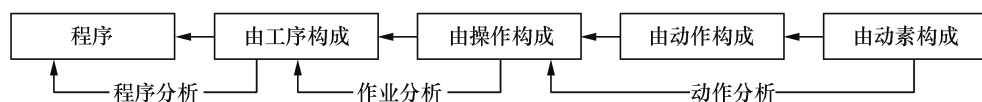


图2 方法研究的分析层次

注:上图来源为易树平、郭伏(2008)主编的《基础工业工程》

(二) 作业测定

作业测定是运用各种技术来确定合格操作者按照规定的作业标准,完成某项工作所需时间的过程^[16]。合格操作者必须具备必要的身体素质、智力水平和教育程度,并具备必要的技能和知识,接受过某项工作特定方法的完全训练,能独立完成所从事的工作,并在安全、质量和数量方面达到令人满意的水平。作业标准是指经过方法研究后制定的标准工艺方法和科学合理的操作程序。

作业测定的直接目的是科学制定合格操作者按照规定的作业标准完成作业任务所需的标准时间,但这不是唯一和最终的目的。通过制定和贯彻作业

标准时间,促使操作者充分有效地利用工作时间,减少无效时间,最大限度地提高操作效率。作业测定作为工业工程的一项基础性的应用技术,具有广泛的用途,这主要体现在(1)用于生产、作业系统的设计及最佳系统的选择;(2)用于作业系统的改善;(3)用于生产作业系统的管理;(4)为企业贯彻分配原则及实施各种奖励制度提供科学依据;(5)用于分析工时利用情况,挖掘工时利用的潜力。

作业测定在实践和研究两方面都堪称流程操作标准化的最佳方法。运用该方法进行分析的研究成果比较丰富。高广章利用作业测定对某公司装配线流程和节拍进行了详细的测定与分析,指出该工段

在任务分配、操作方法、标准时间等方面存在的问题,并在此基础上,运用动作经济原则进行改善^[16]。黄小华等(2012)以某公司一款灯具装配线为研究对象,运用作业测定中的秒表测时法,测定装配线各工序的作业时间,找出其中的瓶颈工序^[17]。李军等(2017)针对某电子企业手机 Housing 检包线目前存在的生产效率低下、劳动成本上升的问题,依据作业测定技术所获得的数据,对检包线进行平衡分析和优化设计,达到了平衡各工站负荷、提高生产效率的目的^[18]。李强等(2012)从作业时间测定和装配线平衡率的基本概念出发,利用动作分析提高装配线平衡率,使装配线平衡率提高了21个百分点,日产能从81台提高到114台^[15]。

(三)方法研究与作业测定的关系

方法研究与作业测定都是工业工程技术,彼此密切相关。方法研究着眼于对现有工作方法的改进,其实施效果要用作业测定衡量,而作业测定是努力压缩生产中的无效时间,为作业制定标准时间。在逻辑顺序上,一般先进行方法研究,制定出标准的作业方法,然后再测定作业时间。作业测定要以方法研究所选择的科学合理的作业方法为前提,并在此基础上制定出标准作业定额;而方法研究则要用作业测定的结果作为选择和评价工作方法的依据。因此,两者相辅相成。

三 工业工程在核应急管理中的应用前景

工业工程技术具有方法成熟、操作科学、逻辑清晰、面向流程的特点,它与流程型工作高度契合。而流程科学性和时效性也日益被核应急管理法规所重视,随着工业工程专业的大力发展,以及核工业科研人员对流程改善研究的日益重视,该技术融入核应急管理的前景广阔。

(一)核应急管理的流程划分为引入工业工程技术做好了铺垫

工业工程技术将研究重心聚焦于流程,所有分析对象都被视为一系列内容功能相对独立、内容逻辑交叉连贯的程序集合。当流程尚未肃清、边界模糊不定时,工业工程将分散更多精力进行前期梳理,实现流程模块化,而引入工业工程的见效时机将更加延后。相比之下,核应急管理的基本流程已经较为确定的清晰划分。例如,核辐射突发事件医学应急演练的过程划分为从事件接报与队伍集结出发到救援队伍撤离的八步流程^[19];核电厂核应急指挥与决策的过程细分为基础数据采集/预处理、系统业务评价、应急指挥、应急数据管理、关键信息显示和系

统运行管理等六大流程^[20];核辐射监管包含了集卡、监测通道、查询品名、法检商品、进危险品仓库等多项流程^[21]。流程划分无论在相关的核应急法规文件还是研究成果中都成为基本内容落实下来。核应急管理已成为流程界定相对清晰的模块化典范,因此工业工程技术天然适合核应急管理领域,这就为该技术在核应急管理领域的应用提供了较大的便利。

尽管业界自发利用工业工程对核应急管理优化的成果时常出现,例如应急计划的简化研究^[22-23]、食品和饮用水中的放射性核素分析方法的提速研究^[24]、放射性碘内污染判断方法快速化研究^[25]等,但是工业工程技术的思想精髓——ECRS原则还未被研究人员自觉使用。该原则重在减少不必要的工序,达到更高的生产效率。它包括4个方面,即取消(eliminate)、合并(combine)、重排(rearrange)、简化(simplify)。流程分析时,首先考虑多余流程取消的可能性;其次,对于无法取消但又必要者进行合并,达到省时简化的目的;再次,对于无法取消或合并的流程进行重排,使作业顺序达到最佳;最终可考虑采用最简单、最快捷的方法来完成之前优化的流程,使新的工作方法更加有效。坚持使用ECRS原则指导核应急流程优化研究,将使该领域的研究路径更加清晰,也将促进核应急管理更加科学高效。这也从侧面反映了工业工程技术在这一领域仍具有相当大的应用空间。

(二)核应急流程标准化的欠缺为工业工程提供了用武之地

我国已经建立庞大的核应急管理政策与法规体系,涉及核事故应急计划与准备、应急设施、应急对策和应急防护措施、核应急响应能力的保持、核事故医学应急准备与响应等诸多方面^[1]。划分出的上述模块实现了初步的流程切割,但各模块所需要素的协调过程未在政策法规中详细指明。以《核电厂应急计划与准备准则;核电厂营运单位应急野外辐射监测、取样与分析准则》(GB-T 17680.10—2003)为例,文件对组织过程指定了各类关键要素,也大致规定了执行中的主要程序,包括(1)监测组管理;(2)烟羽监测;(3)人员防护;(4)污染控制等。其中,检查监测设备的缺陷情况是第1程序向第2程序传导的关键信息要素,但文件未就两程序的交接边界作出细致规定^[26],信息传递成功的确认标准未能写明,不利于责任划分。但在实际操作中,起止点的确定是流程科学化的必备要点。此类标准化缺失场景正是工业工程的用武之地,经过工业工程优化

后,流程对接点有望实现“非此即彼”的准确归属,对接点的触发与终止将保证职责的明确划分。

核应急标准化欠缺的第二种表现,是相关程序的操作时长未能在相关文件中得到规范,各程序持续时间基本无量化标准。例如,在核应急防护措施中,需要“预先确定人员的撤离路线和撤离所需的时间”,但尚不能明确撤离工作内容与撤离标准时长之间的对应关系^[27]。《核动力厂营运单位的应急准备和应急响应》(HAD 002/01—2010)指出,任何防护行动或补救行动的持续时间应是最优化的,该条款明确了操作时间的核定原则。遵循该原则的研究成果相继出现,涉及核电厂应急撤离时间估算^[7,28-29]、公众洗消时间评估^[8]、应急柴油机启动时间^[30]、核应急指挥与决策速度^[20]等。这些尝试客观上为提升作业效率作出了贡献,聚焦“时间消耗”是这些研究的共同特点,但没有哪项研究能拿出有科学依据的用时标准,或者标明误差范围的参考时间。这项研究空白有望在工业工程的辅助下得到解决。工业工程在确定作业标准时间方面有独到的科学方法,这些方法为确定核应急标准用时提供了合适的工具。其中,秒表时间研究、预定动作时间标准法、工作抽样法都是测定基本动作时间的常用方法。

第一,秒表时间研究是作业测定技术的常用方法。它以秒表或者电子计时器对操作者的作业执行情况进行直接、连续的观测,来确定操作者完成某项工作所需的标准时间。事先熟悉作业详细过程是使用该方法的基本前提,这里以核电厂数字化主控室操纵员操作过程的某一片段为例解释秒表时间研究的应用步骤。该过程选取执行状态导向法事故程序(SOP)中的缓解规程的一段操作,涉及过程为“①选取电厂计算机信息和控制系统操作界面中的目标设备,打开其对话框;②在对话框中通过鼠标选定并点击所需状态;③状态切换完成退出对话框”^[31]。秒表时间研究介入该过程的应用步骤分为:(1)作业分解,目的是得到界限清晰、长短适度的操作单元,其中“选取目标设备打开对话框”的动作可以划分为4个作业单元:①选取目标;②打开对话框;③选定状态;④退出。第①单元的操作细分为a握取鼠标→b定位→c移动鼠标→d双击打开,其中动作a的起始节点为手接触鼠标,而鼠标开始有目的地移动既是动作a的截止节点,也是动作b的起始节点,这一划分将保证计时过程的准确性,其他单元以此类推。全套操作的后续细分动作依次为e定位→f移动鼠标→g选择→h退出。(2)确定观测次数。

常用误差界限法确定总观测次数, $n = \left(\frac{40S}{\bar{X}}\right)^2$, $\bar{X}$ 是初步测时的平均时长,S为时长样本标准差^[32]。(3)使用秒表等工具测时,连贯地确定各细分动作的起始时间点和终止时间点,多次测时并平抑误差。(4)使用三倍标准差法剔除异常值。(5)加入适当的宽放时间,针对操作员与监控人员之间的必要交流,可以适当放宽秒表测时结果。宽放率表示为 $\frac{\bar{t}}{nT} \times 100\%$, $\bar{t}$ 为动作中断时间的平均值; n 为相邻两次中断之间操作者完成的操作周期数, T 为一个作业周期内完成工作所需的正常时间。(6)在秒表测时结果和宽放率的基础上确定标准时间。经过上述6个步骤得到上述具体操作的最终标准用时。

第二,工作抽样是对作业者和设备的工作状态进行瞬时观测,推断人员操作时间构成的工时研究方法,其估计结果一般是活动事项的发生次数或发生率。使用该方法毋须像秒表测时法那样持续观察,仅仅在随机时刻抽样观察即可,因此操作过程更加方便。假如抽样目的是估算“在操作界面中选取目标设备”的时间,其基本步骤为:(1)确定抽样次数 n 。利用公式 $n = 4P(1-P)/E^2$, E 为绝对精度(一般取3%), P 为某项操作发生的先验概率^[32]。(2)在操作者的工作期间内按照观测次数制定科学的随机时刻表。(3)在规定的随机时刻对操作者的上述动作进行发生与否的记录。(4)通过第(1)步得到的观测次数获得上述具体动作“选取目标设备”的出现比率,再根据总体观测过程中操作者完成操作的总次数计算该动作完成一次的标准时间。与秒表时间研究相比,该方法的优点明显,一方面,观测者无需全程紧盯操作过程,对操作者干扰较小,同时观测过程随机进行,减少了观测工作的负荷,可以扩大观测人员同时兼顾的范围。工作抽样法也有不足,类似点击鼠标动作的捕捉难以实现,即针对细微动作的观察误差大于秒表时间研究。

第三,预定动作时间标准法是一类解放测量手段的时间估算方法。该方法的默认前提是,所有复杂操作都是耗时确定的若干基本动作的组合。依据国际方法时间衡量理事会公布的时间消耗系统数据,时间研究人员可以摆脱秒表等工具的限制,以查字典的方式计算具体操作的细分动作标准用时,并加总为具体操作的合成标准时间^[32]。借用“选择操作界面中的目标设备”的操作实例,这里需要依次进行:(1)动作要素划分,例如握取鼠标的起始动作将细分为第一步的动素“伸手”,而双击鼠标则转换

为动素“手指按压”,以此类推。(2)查阅具体动素的标准用时。例如,握取鼠标的“伸手”动素用时可根据移动距离(单位:cm)和伸手情景查阅“伸手时间标准数据”。经查,当每次伸向鼠标的具体位置固定时,若伸手距离为10cm,则会消耗6.1TMU(约0.2秒)。(3)依照操作流程可以整合动素序列的整体用时,从而获得“选取目标设备”的全程用时估计值。可见,早期的动素标准用时测算表是时间估计的科学基础,而用时测算的大致工作则在查阅数据和整合数据过程中实现。与前两种方法相比,预定动作时间标准法可以大幅度规避测时工具带来的误差,只要依照科学的动作分解和数据查阅,一般会得到较为固定的时间估计值。

(三)标准用时的早期开拓性工作将决定工业工程与核应急深度融合的效果

工业工程对作业标准用时的不懈研究就是为了提高效率,减少资源浪费。而时间就是核应急过程中最珍贵的资源。把握时间进度对提高核应急管理的效果具有重大的实践意义,但是估算合理的标准用时面临两类主要障碍,分别是操作者熟练度和外部环境不确定性。将工业工程引入核应急管理领域,就要在这两类障碍方面做好早期开拓性工作。第一类障碍是作业测定技术天然面临的问题,即操作者的个体差异对时间估计的影响,但如果筛选合格的操作者并经过科学的训练一般都可以解决。经过早期工业工程专家的测算,不同的人做同一种动作,所需时间值大体相同,误差仅在10%以下。因此,合格熟练操作者演示的标准用时具有较大的可信度,值得推广且作为规范执行。

第二类障碍似乎难以应对,因为不可预知的核事故增加了外部不确定性,制定预防性质的流程标准时间可能无用武之地。但是,只要把握了核事故的后续发展规律,则可以准确预见后续发展涉及的应急管理流程。我国的《国家核应急预案》和各省、专业组级别的预案均是贴近实战要求的行动参考,核事故应急演习正是瞄准可能发生的真实事故而提前策划的行动流程^[33]。“以演促训”的演习思路符合作业测定的基本思路,熟悉到精通的练习过程将有效节省时间,提升核应急管理效果。

总之,只要研究人员合理应对上述两类障碍,做好早期开拓性工作,遵循工业工程的运用规范,则该技术与核应急管理融合的效果将极大提升,工业工程的应用前景将非常广阔。

四 结论和展望

当前在核应急管理的流程改进及优化方面,尚存在政策法规覆盖面宽但不够精细的局面,运用工业工程技术进行流程改进和时间控制的研究非常重要。本文首先分析了核应急管理的流程化特征,指出管理内容具有上下游关系、控制关系、任务关系、资源关系。随后介绍了工业工程的两项技术,即方法研究与作业测定的基本功能,以及两项技术在研究领域的相关成果。通过分析工业工程在核应急管理领域的应用前景,指出核应急管理的流程划分为引入工业工程技术做好了铺垫,核应急流程标准化的欠缺为工业工程提供了用武之地,标准用时的早期开拓性工作将决定工业工程与核应急深度融合的效果,研究人员需要关注核应急操作者的熟练度和外部不确定性问题,做好工业工程的早期开拓性工作。

[参考文献]

- [1] 董芳芳,罗峰,刘富贵.核应急标准概况及工作建议[J].核标准计量与质量,2018(4):2-7.
- [2] 陈慧玲,石磊,马强,等.国内外核应急管理体系及相关标准规范研究[J].船舶标准化与质量,2018(2):4-11.
- [3] 黄彦君,赵锋,王海峰,等.核电厂应急监测能力评估指标体系构建[J].环境监测管理与技术,2016,28(5):1-5.
- [4] 吕玉航,邹树梁,王铁骊.核设施运营单位的核应急能力评估指标体系构建[J].南华大学学报(社会科学版),2018,19(6):12-17.
- [5] 蒋定功.核电大型应急柴油机组软管破裂根本原因分析及措施[J].核科学与工程,2019,39(1):88-94.
- [6] 胡建荣,吕爱林,杨泰波,等.核电厂松脱事件报警及应急响应研究[J].核动力工程,2018,39(5):181-185.
- [7] 王瑞英,郜建伟,李雯婷,等.核电周边人员撤离能力评估技术研究[J].核科学与工程,2018,38(4):624-631.
- [8] 景奇,祁明亮,刘凯,等.核应急公众洗消时间评估问题研究[J].中国安全生产科学技术,2018,14(3):5-12.
- [9] 罗峰,李国青.ACP100事故源项与应急计划区划分方法探讨[J].辐射防护,2017,37(4):322-326.
- [10] 唐秀欢,杨宁,包利红,等.西安脉冲堆核事故下现场核应急人员剂量理论计算[J].辐射防护,2014,34(2):91-96;101.
- [11] 王韶伟,柴建设,岳会国,等.日本福岛核事故对我国核应急管理的启示[J].北京师范大学学报(自然科学版),2011,47(4):511-515.

- 学版), 2012, 48(6):669-673.
- [12] 于强. 应急管理流程研究[J]. 长春大学学报, 2009, 19(7):21-24.
- [13] 李琦, 孙明军, 吴维, 等. 辽宁红沿河核电厂编制重大核事故应急救援协同方案的实践[J]. 核动力工程, 2017, 38(2):68-71.
- [14] 王宁, 王延章. 应急管理体系及其业务流程研究[J]. 公共管理学报, 2007(2):94-99;127.
- [15] 李强, 梁工谦, 张晶. IE 技术在发动机装配线作业改善中的应用[J]. 机械设计与制造, 2012(3):79-81.
- [16] 高广章. 模特排时法在生产平衡中的应用[J]. 机械设计与制造, 2009(8):98-100.
- [17] 黄小华, 彭艺. 工作研究在车灯装配线平衡中的应用[J]. 机械管理开发, 2012(5):79-80;82.
- [18] 李军, 范丙毅, 李翔宇. 手机 Housing 检包线平衡分析及优化设计[J]. 工业工程, 2017, 20(2):71-77.
- [19] 秦斌, 李抗, 李娜, 等. 核辐射突发事件医学应急演练方案流程设计[J]. 中华灾害救援医学, 2014, 2(3):147-149.
- [20] 杨亚鹏, 张建岗, 汤荣耀, 等. 集成化核电厂核应急指挥与决策支持系统开发[J]. 辐射防护, 2015, 35(5):274-283.
- [21] 柴长虹, 潘世杰, 杨振宇. 洋山口岸核辐射监管的流程创新[J]. 检验检疫学刊, 2018, 28(5):52-55.
- [22] 陈晓秋, 李冰, 林权益. 对 AP1000 核电厂简化应急计划的探讨[J]. 辐射防护, 2008(4):244-249.
- [23] 陈晓秋, 端节. 关于先进核电厂简化场外应急计划审管基础的讨论[J]. 核安全, 2009(4):20-23;27.
- [24] 潘京全. 事故应急情况下食品与饮用水中放射性核素的快速分析方法探讨[J]. 中国辐射卫生, 1993(1):38-40.
- [25] 吴自香, 刘彦兵, 麦维基, 等. 核事故应急条件下放射性碘内污染快速判断方法的研究[J]. 中国辐射卫生, 2009, 18(1):31-32.
- [26] 核工业标准化研究所. 核电厂应急计划与准备准则: 核电厂营运单位应急野外辐射监测、取样与分析准则: GB/T 17680. 10-2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003:3.
- [27] 董芳芳. 《核动力厂营运单位的应急准备与应急响应》(送审稿)等三个核安全导则通过审查[J]. 核标准计量与质量, 2009(1):54-55.
- [28] 李雯婷, 侯杰, 郜建伟, 等. 福清核电厂应急撤离时间估算[J]. 辐射防护, 2017, 37(2):108-115.
- [29] 赵建军, 罗海英. 宁德核电厂应急撤离路线代价利益分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, 42(增刊1):1-5.
- [30] 周国强, 邱毓. 核电厂应急柴油机启动时间影响因素研究[J]. 核科学与工程, 2012, 32(增刊1):31-33.
- [31] 李林峰, 向啸吟. 数字化主控室操纵员操作模式及响应时间研究[J]. 核动力工程, 2019, 40(1):87-90.
- [32] 易树平, 郭伏. 基础工业工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- [33] 陈荣. 我国核事故应急演习工作研究与建议[J]. 辐射防护, 2018, 38(3):240-245.

Application Prospect of Industrial Engineering Technology in Nuclear Emergency Management

WANG Xi, WANG Xing, ZOU Shu-liang, WANG Tie-li

(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: Starting from the process characteristics of nuclear emergency management, this paper docked with the analysis tools of industrial engineering technology, and pointed out that the deficiencies of current nuclear emergency norms and research results in process optimization and operation standard time need the assistance of industrial engineering technology. Combined with the relevant characteristics of industrial engineering, it was pointed out that the two major technologies, namely method research and operation measurement, would be scientific methods for optimization of operation process and naturally applicable to optimization of nuclear emergency management process and standard time-consuming problem. Then, the application prospects of industrial engineering in these fields were briefly analyzed, and three kinds of operation measurement techniques, namely stopwatch time study, work sampling and standard method of predetermined action time, were emphatically introduced. This study provides ideas for the refined management of nuclear emergency process, and also opens up the application field of industrial engineering.

Key words: nuclear emergency management; industrial engineering; methodological research; operational measurement