

复杂高分子材料工程问题解决方案对安全影响的评价方法

毕海普*, 邵 辉

(常州大学环境与安全工程学院, 常州 213164)

摘要:系统理论指导下安全影响评价是从系统整体、系统结构、系统要素等方面由整体到局部的“探究问题方法”;解决工程问题则是从问题影响因素的不确定性分布分析、因素关联的动态变化分析、问题整体表现趋势分析等方面的“系统思维模式”。本文通过系统理论和工程问题的映射和逆映射,建立了复杂高分子材料工程问题解决方案对安全影响的评价方法,并以高分子材料火灾事故致死概率评估为例,详细阐述了具体工程问题解决方案对安全影响的评价方法设计及应用。

关键词:系统思维模式;复杂工程问题;专业认证;安全

解决复杂工程问题能力是工程教育专业认证下学生培养的核心问题。《华盛顿协议》和《工程教育专业认证标准》明确提出,本科培养涉及技术、工程、管理等多因素、多层面,没有固定、简单重复的规程和方法等解决这种问题^[1~3],这就要求学生要“学会学习”,具备扎实的理论基础并学会分析和使用典型思想及方法,从而切实提升学生解决复杂问题的能力^[4]。辩证唯物主义认为事物的部分与整体、部分与部分、部分与环境都是相互联系的系统,因此哲学思想下的工程实践问题就是从影响因素之间相互联系的角度去改造客观世界^[5~7]。运用系统思维方式综合分析复杂工程问题解决方案对安全的影响,不仅要对工程问题的系统整体进行研究,也要对它的元素、层次、结构等进行全面综合的考察。高分子材料与工程专业认证毕业要求6(工程与社会)中,明确了要评价高分子材料与工程专业工程实践和复杂工程问题解决方案对安全的影响^[8,9]。本文采用系统思维方法,以高分子材料专业为例,从工程问题的系统整体及其组成元素双重角度,建立复杂工程问题解决方案对安全影响的评价方法,从而提升学生解决复杂工程问题的综合能力。

1 解决复杂工程问题的系统思维模式

1.1 系统到工程问题的映射分析

(1) 系统到工程问题

一般系统论的创始人贝塔朗菲(Bertalanffy)认为“系统是相互联系、相互作用的诸元素的综合体”,强调系统组织(或相互作用)、动态的含义^[10]。工程实践问题是由若干部分组成的整体,解决工程问题要从整体与部分、部分与部分、整体与环境的相互联系和作用中,探索它的本质特征和运动规律。系统与工程问题的映射关系见图1。

图1中,由系统到工程问题是从一般性到特殊问题的映射,解决复杂工程问题是为了保障系统正常运行,即从工程问题实际方案到系统一般规律的逆映射。解决复杂工程问题时工程问题的影响因素有 n 个,映射到系统中它包含 n 个要素;影响因素之间以某种逻辑关系共同作用于工程问题,即系统的要素之间有特定的结构关系。

(2) 系统结构到工程问题因素关联

系统结构或系统整体性是系统最基本的特征,系统是相互依存的集、群,“部分”、“子整体”之间的互

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.02.011

收稿:2020-07-23;修回:2021-04-23;

基金项目:2021年江苏省高等教育教改研究重点课题(解决复杂安全工程问题能力培养的线上线下混合式教学模式研究),常州大学教育教学研究重点课题(GJY2020001);

* 通讯联系人:毕海普(1982-),女,博士,副教授,教育部工程教育专业认证秘书,研究方向为系统安全分析。E-mail: bihaipu@cczu.edu.cn.

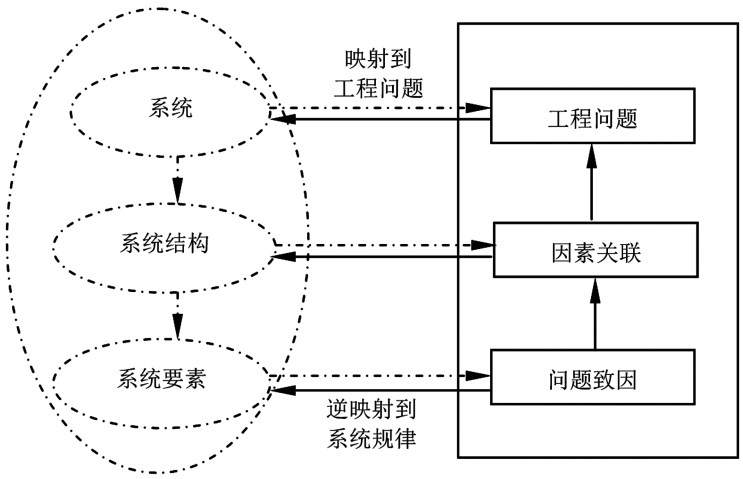


图 1 系统理论到工程问题的映射关系图

Figure 1 The mapping relation between system theory and engineering problem

动变化保障系统功能的发挥。

映射到工程问题,解决问题的影响因素之间存在相互关联关系,因此,解决方案不但要研究系统宏观上的整体,还要研究其各个影响因素之间的联系,甚至“影响因素”的下级贡献指标及其相互关系,以及这些关联或关系的发展历程和演化趋势。

(3)系统要素到工程问题因素

现实的系统是运动的物质世界中的系统,系统要素是动态的、不停止的物质运动,系统整体的存在和表现依赖于物质要素的运动。

映射到工程问题,工程问题的解决方案不但要从整体出发观察问题的现状,更要从影响问题各因素的自身演化过程中探求整体的本质和规律,把握工程问题的整体表现和发展趋势。

1.2 工程问题的系统思维模式

应用系统思维分析复杂工程问题要遵循系统理论的特征,即任何系统都是动态的,都处于生成、发展甚至灭亡的动态演化之中。因此,培养学生应用系统理论探究问题要由整体到元素,层层深入;培养学生解决复杂工程问题的系统思维模式则要由元素到整体,不断归纳,综合考虑,如图 2 所示。

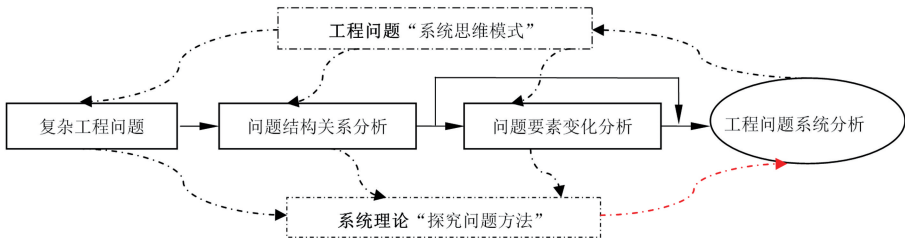


图 2 解决复杂工程问题能力培养模式

Figure 2 The ability training mode of solving complex engineering problem

图 2 逻辑图中,培养学生学习“探究问题方法”是在系统理论指导下,由系统整体到系统元素及其结构关系,引导学生主动思考,分析和探究问题的决定因素;通过“探究问题方法”训练使学生能够“学会学习”,对工程问题主动探究。解决工程问题“系统思维模式”是从问题要素及其关系分析入手,进而找出问题整体的解决方案;通过“系统思维模式”培养学生解决工程问题的思路和方法,解决问题有模式可参考。

培养学生学习探究问题方法由整体到要素共有三个层次,解决工程问题系统思维模式由要素到整体分三个步骤,以高分子材料与工程专业的复杂工程问题解决方案为例,基于专业认证要求,解决方案需考

虑高分子材料对安全的影响,高分子材料可能导致火灾事故,事故致死概率评价如下:

(1)系统理论指导下的探究问题方法

系统理论指导下,系统的动态性取决于两个方面:系统内部诸要素随时间的不断变化;系统要素之间及其与周围环境的交换活动。

①基于系统整体的问题分析方法

系统安全思想指导下任何事物中都包含有不安全的因素,安全系统的突变,如物质或能量发生突然释放,使系统进入意外状态,则可能引起事故。事故造成重大人员伤亡是一个概率问题。

概率是指随着观测次数的增加,频率逐渐稳定于某个常数 P ,如安全事故概率常用的千人死亡率等。根据海因里希法则,重伤、轻伤和未遂事故的比率大约是 $1:29:300$,即在330起事故中造成重伤的只有一起,就像有些人多次违章却没有发生损伤事故一样。

②考虑系统结构变化的问题分析方法

系统的结构是指系统内部各要素的排列组合方式,系统的构成要素相互联系相互制约,他们之间存在相对稳定的联系方式、组织秩序及时空关系。

系统特定的结构规定了各个要素在系统中的地位与作用,结构的变化以及要素间数量比例关系的变化制约着整体的发展变化。如影响事故概率的决定因素之间以“逻辑与”的关系作为系统结构,则事故概率为因素概率乘积;不同因素对事故概率综合计算的贡献权重值发生变化,则事故概率也会随之发生线性或非线性的变化。

③考虑要素自身变化的问题分析方法

由于系统构成要素自身变化十分复杂,而且往往缺少历史事故统计数据,因此在进行定量概率分析的过程中,难免会引入许多很难处理的不确定性。

问题分析时就需要明确这些要素的不确定性及其给分析带来的影响,不确定性是指因素的演化方向和发展结果不确定,或者刻画事物运动特征的特征量不能客观精确地确定。如风险指标损失、危害等的可能性随时间的演变规律、随空间的分布规律、随致灾物质理化属性的变化规律等。

(2)复杂工程问题的系统思维模式

学生解决复杂工程问题时要逆向操作,遵循系统思维模式,先考虑问题要素的动态变化,再分析问题要素结构的动态变化,最后进行问题整体的系统分析。构建良好的系统思维模式就必须对系统构成要素、系统结构及系统整体进行分析。

①问题致因要素分析

系统要素的状态是运动和变化的,而且一个要素的变化可能会引起其它要素的变化,这些都会影响系统的状态和发展趋势。安全的影响因素往往没有固定值,它的状态随时间和空间而变化,如工件加工时间、机器故障间隔时间和修理时间等,但基于大数定律的概率统计具有一定的分布规律,如完成任务时间、“尖峰”服务时间等呈现对数正态分布,各种类型的误差、机加工项目说明书注明的偏差、某些服务系统的处理时间等呈现正态分布。

②问题致因的关联分析

系统的整体功能是由结构来实现的,如事故包含 n 个致死概率因素,考虑最坏结果情况下把各个因素的事故致死概率叠加,求解事故伤害概率。以火灾事故为例,现场人员伤亡概率的主要致死因素是CO毒气和高温,分别确定两个因素对应的不确定的动态变化分布值,结合两个因素的暴露参数,叠加计算现场人员致死概率变量,作为人员死亡概率的估计值。在确定事故因素条件下求解事故致死概率,既要考虑致死因素的发生概率的影响,又要考虑因素之间关系函数变化对系统整体的影响。

③工程问题的系统分析

系统要素与要素、要素与系统、系统与环境之间存在相互作用关系,工程问题的系统整体分析要综合考虑上述因素和关系,如基于系统要素的不确定性、要素与要素之间的结构特征进而求解事故致死概率

可借助蒙特卡罗模拟方法。蒙特卡罗模拟借助水晶球软件,用概率分布来替代单个数值,考虑了因素自身的不确定性变化特点;进行随机模型模拟可以生成量化的基于概率的电子表格模型,例如可以得到“以 75% 的概率保证在预算内”或“某一油库装满一亿桶油的可能性有 90%”这样的结果。

2 基于系统思维模式的安全影响综合评价方法

复杂工程问题系统思维模式在教学实践中要结合教学对象学情特点、工程问题解决方案特点进行综合设计。工程问题系统思维模式的培养方法以具体工程问题为载体,高分子材料应用不当可能存在安全隐患,如火灾事故现场人员伤亡概率问题是复杂高分子材料问题解决方案必考虑项,本文以高分子材料火灾事故致死概率为例,阐述评价方法设计及应用,探讨如何建立基于系统思维模式的安全影响综合评价方法。

2.1 培养学生探究事故致死因素的方法

以系统整体、系统结构、系统要素的系统理论基础为指导,培养学生“发现问题-分析问题-解决问题”的问题本质思考,找出火灾事故伤亡问题的特点、致死要素及其结构特征。

高分子材料研发和使用中存在火灾隐患,事故现场火焰以多种形式释放热量形成高温烟气,并携带大量有毒气体一氧化碳,伴随着空气流动形成高温、有毒的火灾环境,对于没有采取防护措施的易感人群,高温灼伤和毒气毒性是人员致死的主要原因。

因此,火灾事故致死概率的计算是系统整体问题,高温、毒气之间及其致死机理是工程问题的系统结构,高温和毒气随空间变化规律是系统要素的不确定性分布特征。

2.2 培养学生掌握基于系统思维模式的安全影响综合评价方法

基于系统思维模式的安全影响综合评价方法从要素到整体,逐步分析致死因素的不确定概率分布、分析致死因素的致死机理、分析致死不确定性概率的计算和评估。

(1) 致死要素分析

选取某一次火灾事故作为应用案例,使用 FDS 软件计算火灾蔓延情况,用事故现场烟气移动情况验证模型后,输出温度和一氧化碳的体积分数值,利用 Excel 分别对“火场温度”、“一氧化碳浓度”要素进行概率分布拟合,得出事故现场温度、CO 浓度随位置变化的对数正态分布情况。

(2) 事故现场致死机理分析

将事故现场热烟气和一氧化碳毒性的伤害效果叠加来评估人员致死风险。综合伤害概率变量计算见式(1)。

$$y = y_T + y_{CO} = -59.2214 + 3.7 \ln(10^6 C t) + 1.5035 \ln(T^{3.61} t) \quad (1)$$

式中, C 为一氧化碳体积分数; T 为空气温度($^{\circ}\text{C}$), t 为人员在该浓度范围内停留的时间(min)。

(3) 人员致死概率的系统分析

以高温烟气和一氧化碳为预测变量,以致死概率变量为预测单元,选择蒙特卡罗抽样,经过 4000 次水晶球软件运算得到预测的概率变量频率,计算结果显示,火灾现场死亡伤害概率变量也具有不确定性分布特征,致死概率变量最小值为 0.65,最大为 10.7,分布规律符合正态分布;概率变量中间值为 5.76,概率变量大于 5 的确定性为 66.93%;概率大于 1% 的概率变量在 2.97 和 8.15 之间,确定性为 84.74%。概率变量与人员致死概率存在一一对应关系,可作为人员死亡概率的估计值,进而评价复杂高分子材料问题解决方案的安全影响。

3 结论

由系统到工程问题是从一般性到特殊问题的映射,解决复杂工程问题是为了保障系统正常运行的实际方案到系统一般规律的逆映射,因此培养学生应用系统理论探究问题要由整体到元素、层层深入;培养

学生掌握解决复杂工程问题的系统思维模式则要由元素到整体、综合考虑。基于系统思维模式,复杂高分子材料工程问题解决方案对安全的影响评价以实际工程问题为载体,复杂高分子材料火灾事故致死概率评估需由整体到局部探究致死因素、由局部到整体计算致死概率的不确定性分布特征,进而为解决方案可能带来的安全影响提供评价依据。

参考文献:

[1] Oladiran T, Pezzota G, Uziak J, Gizejowski M. Int J Eng Educ, 2013, 29(6): 1591~1603.

[2] Mehaffy G L. Educause Review, 2012, 47(5): 25~42.

[3] 蒋宗礼. 中国大学教学, 2016, 11: 27~30,84.

[4] 孙爱晶,陈怡君,石晓娟. 高教学刊, 2017, 9: 33~34.

[5] 周廷勇,周作宇. 大学教育科学, 2018, 2: 9~18,122.

[6] 邵辉,葛秀坤,毕海普,赵庆贤,郝永梅,邢志祥. 常州大学学报(社会科学版), 2014, 15(1): 104~107.

[7] 张炳生,陈志刚. 中国高等教育, 2008, 17: 52~53.

[8] 付中禹,谭志勇,周超. 高分子通报,2020, 6: 75~77.

[9] 曾小平,江学良,王大威,黄华波,吴江渝. 高分子通报, 2019, 12: 60~65.

[10] 冯·贝塔郎菲. 一般系统论: 基础、发展和应用. 林康义,魏宏森. 北京:清华大学出版社,1987: 28~47.

Assessment Method of Safety Impact in Solving Complex Polymer Materials Engineering Problems

BI Hai-pu*, SHAO Hui

(School of Environmental and Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract:Under the guidance of system theory, safety impact assessment is a “inquiry-based problem approach”, which is from whole to part and follow the layers of in-depth as the system entirety, the system structure and the system elements; while the problem-solving process of practical application is from part to whole and concerns on the “systematic thinking model” comprehensively like the uncertainty distribution analysis of system elements, the dynamic changes of system structure and the description trend analysis of system entirety. By the mapping and inverse mapping between system theory and engineering problem, the assessment method of safety impact in solving complex polymer materials engineering problems is established in this paper. Taking the assessment of death probability of polymer material fire accident as an example, the design and application of safety impact assessment for specific engineering problem solutions is described in detail.

Key words:Systematic thinking model; Complex engineering problem; Engineering education professional certification; Safety issue