

罗通元. 应急科学的基础理论研究进路[J]. 灾害学, 2023, 38(3): 198-204, 211. [LUO Tongyuan. Research Approaches of the Basic Theory of Emergency Science[J]. Journal of Catastrophology, 2023, 38(3): 198-204, 211. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2023.03.031.]

应急科学的基础理论研究进路*

罗通元

(榆林学院 能源工程学院, 陕西 榆林 719000)

摘要: 为了从安全科学的高度建立专门研究应急科学的新学科, 以安全科学目前的研究理论和方法为指导, 结合人文社会医学等学科的研究范式, 提出关于应急研究的新观点、新理论和新模型。首先, 通过文献检索分析了国内外应急相关研究成果, 对存在问题和应急科学研究的基本趋势进行了阐述; 其次, 提出应急具有的6种属性关系, 明确应急的特性和内涵。在应急类型研究中首创了基于应急认知的分类层次模型; 同时, 根据科学学思想提出了应急科学思维下的安全新定义和其他安全科学相关基本概念, 并进行了内涵解释; 此外, 开创构建了应急科学的基本概念, 建立了应急科学概念模型, 指出应急科学研究的“345”模式及其内涵; 再次, 借鉴交叉学科范式研究出应急科学的相关理论基础和学科分类关系, 构建出应急科学之树; 最后, 总结应急科学3个主要方面的研究内容。

关键词: 应急内涵; 应急科学; 新安全定义; 应急科学概念模型; 学科基础建设

中图分类号: X915.5; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2023)03-0198-08

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2023.03.031

关于应急相关问题国外很早就有学者进行研究: UNDERWOOD等^[1]认为应急是系统组分之间不期望的、不能控制的关联关系(即安全信息)的结果, 并指出应急致因理论的研究与实践存在脱节的原因之一就是忽视系统组分之间的安全关联; ABBAS Z等^[2]提出了炼油厂维修相关应急的因果模型, 并结合人工神经网络、模糊系统和元启发式算法, 提出了早期应急预测的最佳模型。将影响应急发生的主要因素分为外部因素、内部因素、执行因素、行为因素、情境因素和工作因素, 实现了应急类型预测、后果类型预测和人口密度预测; MIKOLA J OETTINGEN^[3]应用临界性分析方法对应急的非期望临界状态进行了分析, 借鉴物理领域的超临界概念设计了蒙特卡洛连续能力分析。实现了应急状态的临界确定, 对应急发生提供了新思路; ALI J G等^[4-6]开发了黎巴嫩道路交通应急在线平台, 提取用于研究应急的超速生长尺度, 包括不同的参数, 如地区面积、每个地区的人口规模和道路网络长度等数据, 提供了时间聚类模式和针对交通应急的规律和行为模式; 相比国外对于应急相关技术和工程策略的研究, 国内学者在应急基础理论方面也有研究, 国内呈现出应急工程和应急基础研究的“双轮驱动”态势, 主要文献分为基础研究和工程技术两大类。应急基础研究文献主要有: LUO^[7]提出了基于安全信息认知模型的事故致因理论, 该理论从信息传播和认知过程研究安全信息在应急发生中的作用, 解释了应急的成因机理是安全信息的传播缺少/失真, 提出基于安全信息流的应急预防措施; 黄浪等^[8]在构建基于物质流、能量流和信息流构建应

急链式演化模型的基础上, 构建基于能量流系统的应急致因与预防模型; FU等^[9]梳理了应急致因模型在过去一百年的发展历史, 认为组织因素将会被更现代的安全管理系统所取代, 人们将会更加关注安全文化在应急预防中的作用, 应急因果模型将以线性和系统的方式发展。未来的应急致因模型将向动态分析、应急预测和智能综合分析方向发展; 傅贵等^[10]从应急的影响对象、模型的组成和应急发生的路径3个维度对10种应急致因模型进行了对比分析, 指出应急致因模型对应急影响对象的涵盖越来越全面, 应急致因模型的组成日趋全面, 且趋于对模型中各模块给出清晰定义以能保证分析结果的准确性。应急发生的路径描述由链式向系统网状发展; 罗通元^[11]研究了应急机理的研究对象应该是人体和物质, 提出原因、条件和诱发因素三大事理要点, 分析应急的研究对象和应急发展的一般规律, 对应急原因进行定义; 应急工程研究文献主要有: ZHANG等^[12]分析了几十年的储罐区域发生的多起骨牌应急, 建立了火灾→火灾、火灾→爆炸、爆炸→火灾、爆炸→爆炸四种典型的应急节点上报模型和应急链传播概率模型, 主要由初始应急概率、应急节点上报概率和目标储罐失效概率组成。

综上所述, 目前学界从应急工程应用和应急基础理论两维度对应急进行了相关研究, 虽然取得了一定的理论和应用价值, 但这两条研究路径限制了应急科学上游基础理论的发展, 也不利于促进整个安全科学发展。应急研究者往往只是专注于所在部门或行业, 以特定应急为出发点结合应急分析技术提出新方法或解决新问题。出现几

* 收稿日期: 2022-11-20 修回日期: 2023-01-20

基金项目: 陕西省教育科学规划课题(SGH20Q225); 2023年度陕西省哲学社会科学专项(2023QN0261)

作者简介: 罗通元(1988-), 男, 汉族, 陕西宝鸡人, 博士, 讲师, 主要从事应急管理、安全科学基础理论研究。

E-mail: 952551556@qq.com

种类型的倾向特点: ①应急致因模型构建; ②旧有应急模型的新应用; ③他科学理论的迁移应用; ④自科学方法的行业实践。以上倾向的研究却没有剥离出应急科学的核心实质, 没有形成应急自身的理论积累。应急科学作为一门新兴交叉学科, 其学科体系还不完善, 其学科理论基础还非常薄弱。目前对于应急的研究尤其是机理和规律的探索更多的走向了风险、应急和安全的角度去研究, 关于什么是应急、应急的本质是什么、应急的特征、内涵和机理是什么等等一系列涉及到应急的自理论还得不到统一的、有高度的认识。研究应急是安全工作者的必备课题, 如何预防或减少应急发生也是很重要的。研究应急的学者比较关注具体的问题, 而不注重做学问, 不重视把应急提升为一门学问。这就是目前存在的重转化轻研究、重应用轻理论的弊端。

国内外应急相关的文献数万篇, 长期处于内卷化效应的桎梏之中, 至今缺乏将应急研究提高到学科建设的高度, 加快建立应急科学就成为当前构建安全科学基础理论体系的迫切要求。本文从应急科学学科高度探讨应急科学建立的基本问题, 为安全科学分支的发展提供一定的理论支持。

1 应急科学的提出

安全科学的研究对象之一就是应急, 追求安全就是追求零应急, 传统安全工作的主要目标是应急预防, 因而零应急成为安全人和企业追求的美好目标。作为理念或是信念或是追求, 毫无疑问零应急是可以倡导的。从客观上讲, 零应急是难以实现的, 不限定时空范围提出零应急的目标也是违背客观规律的。因此, 基于安全科学和应急理论的相关研究, 立足于理论思辨层面, 深入剖析与阐释应急的概念、内涵、研究内容等基本问题, 为安全科学基础研究提供新思路。

1.1 应急的属性关系

应急从字面意义理解可以赋予各种定义, 理解应急需要追溯到应急的本质属性上去把握, 一般意义上将应急定义为引起伤害的意外事件, 这是基于主观思考的结果。应急矛盾是困扰安全问题和保障生产生活的主要矛盾之一, 如何厘清应急本质, 把握应急性质成为应急科学研究的首要课题。这一矛盾的解决依赖于科学和经验知识, 在社会系统中应急研究并不能单纯的依赖应急推演、应急管理和致因分析, 获取的应急知识需要符合应急科学的本质, 总体来看应急科学研究中应急属性体现在以下方面。

(1) 客观意外性。应急是不确定的事件, 其发生的形式既受必然性的支配, 也受偶然性的影响, 应急何时何地因何原因发生都是未知的, 凡应急必是人们不期望的具有意外性的事件, 这体现了应急的孕育、发生、发展、传播、耦合、迁移和消亡等过程均是不受控的自然过程。如果按发生速度应急可分为突变应急和缓变应急, 无论哪种应急都是各种偶然和必然因素综合诱导的结果。应急自身的过程是脱离于人的控制自由发展的过程, 人在应急前期的作用体现在不安全行为的因素方面。

(2) 系统复杂性。从系统观点来看, 应急总是在系统中某时某地的节点破坏。社会系统中的任

何扰动带来的危害事件都是系统韧性缺失后其内部的子要素破坏, 应急的发生具有系统性, 应急的预防也是系统工程。要实现系统安全创造安全系统就需要以整体哲学思想为基础, 以解决要素问题为突破, 在分析应急致因后综合的统筹的考虑预防措施。

(3) 治理迭变性。应急发生的原因有的已经认识, 有的尚未认识, 有的应急可以预防, 有的还无能为力。应急的原因可控, 有的原因不可控。可以看出应急问题的治理并不是用当前技术或管理可以一劳永逸解决的, 一种“飞行-修理-飞行”的方法是能够采纳的新思维范式。重视第一次应急后的预防为铲除下一次应急的孕育温床, 社会中应急具有相似性, 研究大量相似应急诱因、类型和措施后得知, 在治理类似应急的过程中会存在现有技术手段或管理干预下无法解决的难题。只有想到应急前面才能堵住应急诱发的道路, 所以, 要用迭代更新的思维来解决未来可能发生的应急。

(4) 致因要素繁杂性。早期人类将应急原因归为自然惩罚和天劫, 中期出现系列致因理论模型, 至今应急致因理论发展方兴未艾。从频发倾向论到海因里希模型, 从能量释放论到系统控制论, 应急致因的发展由应急的繁杂原因牵动推进。不同应急可能有同一原因引起, 不同原因也可能解释同一应急, 这种致因复杂关系是随着社会技术系统日趋复杂、快速工业化和人类思辨产生的。新技术、新工艺和新系统必然带来新的应急致因要素, 而且应急致因要素也充满变化。

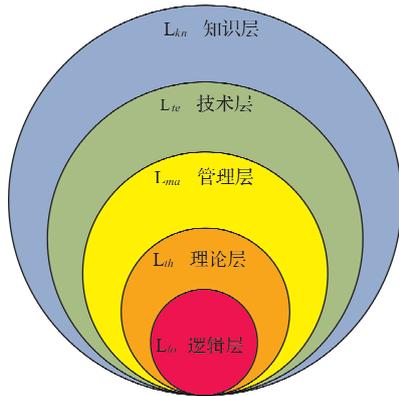
(5) 科学基础性。一切安全科学都是发轫于应急的研究, 人类是从关注应急开始探索安全世界, 研究安全科学都是在预防应急的根本目的下完成的, 但是安全科学经常被错误的扩展为行业安全而成为万金油。应急是本原, 安全是形式。安全科学是预防应急的方法论, 指导预防各类应急。应急科学是比安全科学具有更大范畴、更深基础和更强理论性的科学, 以应急为研究对象采用科学方法才能形成真正的独立学科, 使得安全科学更具体和符合实际。

(6) 潜在隐蔽性。世界万事万物无时不处于各种风险和隐患之中, 尤其是人类活动的领域均存在危险因素。危险不一定形成应急, 但是一定形成应急发生的潜在条件。按此理解可将应急分为隐性应急和显性应急, 前者就是不期望出现的各种危险要素的总和状态, 后者就是发生了伤害的实际意外事件。一般的潜在隐蔽要素可能会导致应急显现出来, 但是应急是否发生受诱导因素的影响, 应急的潜在隐蔽性将是预防应急和超前管理的基础属性。

应急科学可以看作是多科学交叉下的综合科学, 应急科学需要社会学、管理学和工学等跨学科的交叉融合, 各种管理学模型能为应急致因模型提供理论借鉴和指导, 社会学方法为应急预防提供支撑基础。如图 1 所示是应急科学交叉属性简示。



图 1 应急科学的综合交叉学科属性



L_{lo} ● 逻辑层: 哲学认知逻辑、应急观念发展、致因思维构建、应急预防范式

L_{th} ● 理论层: 应急模型架构、概率量化方程、评价分级方法、预测预警程序

L_{ma} ● 管理层: 系统控制策略、人因行为管理、物质能量调控、环境外界干预

L_{te} ● 技术层: 监测检测设备、应急预警系统、应急救援系统、个人防护装备

L_{kn} ● 知识层: 基础学科理论、应急系统工程、管理技术优化、经验实践总结

注: 应急本身即可属于哲学层面也可属于科学层面, 从研究应急本质出发一般认为不同维度的应急分类均是具有一定科学价值的研究。本层次关系也是探讨认知过程中应急的分类关系, 厘清应急关系能更具体的深入研究应急本质规律。

图2 应急的认知分类层次关系

1.2 应急的类型

要认识应急并且对应急进行研究就要进行归纳分类, 分类依据不同的目的、方法和角度进行。现实中应急分类的方法主要有: 应急属性、危害后果、所属行业、伤害程度、严重程度、国标规范、发生原因、受伤性质和作业性质等十几种分类方法。无论哪种应急分类都需要根据研究和实践的需要, 结合应急管理恰当的选择符合实际情况的分类方法, 将应急进行科学的分类可以找出应急发生的规律性, 进而提出同类应急的一般预防方法。本文从研究的角度提出应急分类的系统方法, 以探究事物的认知过程为基础将应急以知识层、技术层、理论层、管理层和逻辑层等五层进行分类, 每一类下面又有对应的子类, 其中知识层是应急研究内容范畴, 技术层是应急研究过程, 理论层是应急研究基础理论体系, 管理层是应急管理方法, 逻辑层是应急对象的确定依据, 具体的应急认知分类层次关系见图2所示。

2 应急科学层面的相关概念

2.1 新安全定义

安全就是不发生应急, 可是不发生应急并不意味着安全。应急是安全研究的本原, 安全是应急基础上的抽象。研究应急的问题就必须首先明确相关的学科基本概念, 在安全科学的范畴中剖析基于应急科学思维范式下的新应急科学定义迫在眉睫。根据此思考建立若干新学科词汇新解, 根据科学的指导可以将安全科学领域的主语概念用应急科学思维进行重新表述。查阅国内外文献可知, 安全学科的概念至今不统一, 学者们从不同的角度去理解安全概念。基本概念指导基础理论的建立。在学科层面首要任务就是厘清基本概念, 以下给出主要安全概念的表述并进行内涵解释。

(1) 新定义是应急科学学科理论下的逻辑提炼, 体现出应急的特性。前述说明应急具有的系统过程性和偶然损失性等特征, 以应急科学为切入点说明安全的基本定义反映出更加强调安全研究的内核, 突出安全研究的根本问题应该是应急。结合应急科学凝练安全问题是一种尝试, 这能够深入对应急相关理论做进一步探讨。从安全新定义可看出, 安全仍然是一种综合状态和保障此状态的条件集, 这并不是简单的套用而是较传统定义更明确和具体。体现出状态问题不仅仅是关于人的身心危害而是扩展到系统层面的要素稳定、组织受控和化解风险等领域。之所以扩展新概念的范畴就是鉴于应急具有的系统过程性和预防复杂性。

(2) 人类活动是安全的基本内涵之一, 不存在没有为实现某种目的而进行的活动。无论是何种系统只要有人参与均会发生某些活动, 系统中的要素总是处在一定的活动支配之下。广义的人类活动是人类为了生存发展和提升生活水平, 不断进行了一系列不同规模不同类型的活动, 包括农、林、渔、牧、矿、工、商、交通、观光和各种工程建设等。人类本来就是系统的一个组成要素, 近几百年来人类社会非理性超速发展, 已经使人类活动成了影响社会上各系统安全的主导负面因子。诸如高危行业应急、社会生活意外、系统伤害破坏和个人安全防护失效等这一切无不给人类安全敲响了警钟。因此, 在研究应急科学的安全内核问题时必须以人类某种活动为前提条件。

(3) 管理和技术是安全方法论的核心。从大范围来看, 一切应急预防手段无外乎工程和管理两个范畴。安全问题是涉及全领域多方面的综合系统问题, 解决安全问题就必须采取综合措施。应急是由复杂因素共同作用或致因连锁反应导致的结果, 因此, 对应急的预防而言必须采取综合的、系统的手段。只有采取双管齐下的标本兼治方法才能起到立竿见影的效果, 应急必然会涉及到人的参与, 而对人的研究离不开管理手段, 其中的社会学、管理学、政治学、心理学和行为学等理论对个体控制起到核心作用; 系统中的物质(装置)运行离不开现有技术手段的加持, 其中的电子电气技术、计算机技术、机械材料技术和“四新”对物质控制起到根本作用。因此, 从系统中最重要的人和物因素去研究应急科学和定义新安全是需要管理和技术双重方法。

(4) 新安全的核心内容包括人身心无危、系统要素稳定、组织功能受控和防范化解风险四方面。人身心无危是安全的基本追求, 传统安全定义就是以人身心为研究对象的, 其中涉及到身体即外身体无恙和外在心理无创两层面。身体无恙指的是身体不受到来自外界的突发伤害(职业伤害和生活意外), 慢性职业病也包括在内。心理无创指的是人内心的应急带来长期且难以自愈的继发认知障碍(如心理阴影、噩梦错误幻觉), 新安全定义将这一部分的研究内容称之为转化应急人; 系统要素稳定是指从系统韧性出发对抗应急发生的稳定机制和方法。内容包括系统结构稳定、系统功能稳定、系统风险稳定和系统要素稳定四方面, 新安全的内涵之一就是以系统工程为范式推动系统稳定维持; 组织功能受控指的是社会组织中的基本功能在实现的过程中受到一定的控制, 防止出现功能紊乱和形态溢出; 防范化解风险是新安

全新使命之一，风险化解也是安全研究的内容，在研究如何确定风险因素、风险分级和风险控制等方面引入新技术和管理措施。

2.2 若干基础概念

根据新安全定义及其内涵，可以得出系列安全科学的基础定义。表 1 展示了涉及到安全科学领域的重要基础术语的新定义及内涵，从中可知，基于应急思维下的系列概念对于构建基础应急科学是必要和有价值的，厘清概念后才能为应急科学基础研究提供思路，避免不切实际和空谈。

3 应急科学的学科基本问题

3.1 应急科学的定义

安全作为问题是古老的，但是应急科学作为安全学科之一却是新兴的。在安全科学基础理论研究大海中，应急科学犹如即将下水的巨轮，等待大海的拥抱。在学科分类国家标准中，许多安

全学科都亟待完善发展，应急科学属于基础研究的一块处女地。应急科学创立的目的主要体现在厘清应急基础理论的困惑，形成应急的共识；探讨应急的学科边界、研究范畴和通过多视角建立安全应急科学的概念模型等三方面。根据前述应急的概念和应急科学的目的，依据安全科学若干概念的阐释，可以总结出应急科学的定义为：应急科学是一定时空范畴下，以安全为目的、以应急为研究对象，研究系统中应急的成因、预测、致灾或消失的机制与规律，应急的预测、预防与最优控制方法和工程措施，发生应急的应急、勘查、鉴定、处理、借鉴等的管理和技术手段等的一门综合交叉学科。简单理解为，应急科学是研究系统中应急规律、管理和技术的安全科学理论。应急科学的概念模型如图 3 所示，通过概念模型的构建可以明确应急科学的研究目的、研究对象、研究内容、理论基础和学科目标等等概念内涵，为探索应急科学学科发展奠定基础。

表 1 基于新安全定义的应急科学基础定义及其内涵

| 概念 | 定义 | 内涵 |
|-----|---|---|
| 安全 | 安全是一定时空范畴内使理性人在实现某种意图而进行的活动过程中，通过采取管理和技术手段以达到理性人身心无危、系统要素稳定、组织功能受控和防范化解风险的综合状态及其保障条件。 | 新安全定义具有 8 条重要内涵见上文 |
| 风险 | 风险是一定时空内理性人在系统内受到危害的可能性及其严重度。 | 系统中要素受到危害可能性和严重性决定了其状态，也反映出系统的安全状态。可以进行定性表述和定量刻画。 |
| 应急 | 应急是指一定时空内产生了导致理性人身心受损、系统要素破坏和组织功能失效的危害结果。 | 应急可以理解为状态或事件，总体而言是产生了不期望的后果，具有系统性破坏效应。应急发生必然造成一定的负面后果。 |
| 危险 | 危险是指一定时空内系统可能受到危害的状态及保障条件缺失或者产生了可能引发负面后果的量子度。 | 危险可以用危险度来定量描述，危险可看作造成风险的现实前提，在系统中危险可能由系统要素的中的不安全行为或不安全状态导致。 |
| 隐患 | 隐患是可能造成一定时空内可能造成出现危险的一切人的不安全行为、物的不安全状态或管理的缺陷。 | 包括系统隐患、系统要素的隐患和外部危害，人的不安全行为、物的不安全状态、环境恶劣和管理缺陷等均属于系统要素的隐患。 |
| 危险源 | 危险源是确定能够形成一定时空内系统风险危害的内外界因素的总和。 | 现实的危险源可能存在，但是不一定带来危险，甚至发生应急。隐患一定是危险源，危险源不一定是隐患。 |

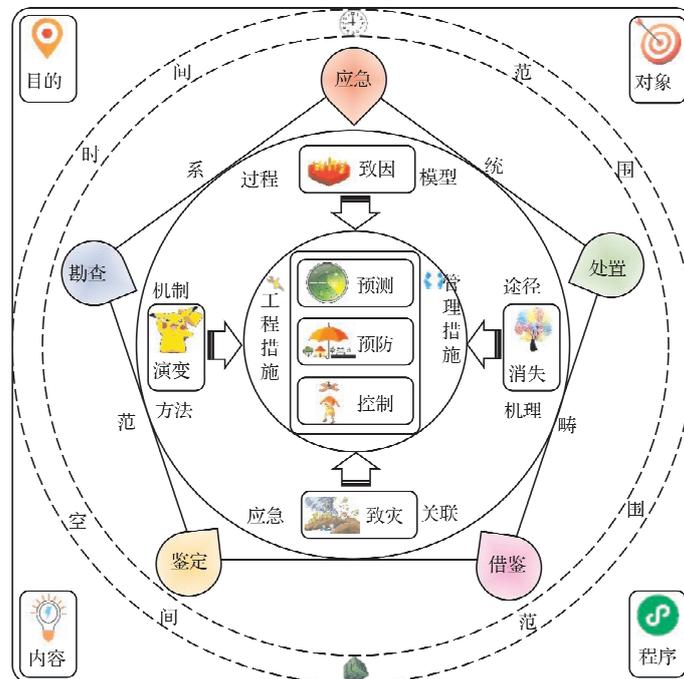


图 3 应急科学的定义模型

3.2 应急科学的内涵解释

根据图3的应急科学定义模型,可知应急概念具有重要的内涵和外延。应急科学中涉及的概念及学科内涵的解释如下。

(1)应急科学定义刻画了应急科学的基本框架。从图3的概念模型可以看出应急科学的目的、对象、内容、程序、方法、理论和学科框架。概念中对应急科学研究框定了一定的时空范围,这为学科建设限定了假定和具象化研究对象提供基础条件。系统作为研究对象之一反映出应急科学是为了解决系统问题而存在的,这是历史赋予的使命,在经过长期的应急理论发展,逐步形成符合人类科学认知和现实状态的科学假设。系统研究的趋势也促进安全科学的转型升级。应急科学的研究目的就是实现系统安全,这一目的也是构建新学科的内生动力,须知研究目的和对象是应急科学的建立必须首要解决的哲学科学问题。

(2)研究内容的“三四五”模式。从图3可以看出应急科学研究内容是很复杂深入的,结构上的研究内容大致分为三个层次,即外层:发生应急的应急、勘查、鉴定、处理、借鉴等方案和技术手段;中层:系统应急的致因、演变、致灾或消失的工程或管理措施;内层:一般应急的预测、预防和控制方法。应急科学研究内容是应急科学概念的核心,支撑应急理论的发展和完善,以下几点是研究内容的具体说明。

(3)应急科学内容的“三”指的是内层的一般应急的预测、预防和控制方法。这是应急科学的核心内容之一,应急预测是运用预测方法,分析应急可能发生的危险性和危险度,向管理者提供应急发生风险、应急严重程度评估及应急影响后果预警的综合措施;应急预防是基于预测的基础实施的应急管理方法,结合预测的结果提出针对性的防止应急发生发展的一系列工程和管理方案;应急控制则是借鉴管理控制理论加强应急管理系统中各要素的控制,以达到应急预防、应急和安全的目的。应急中研究的重要环节就是事前预防、事中应急和事后预测,总体而言是针对应急的控制方法理论。

(4)研究内容的“四”模式就是针对系统中的应急进行致因、演变、致灾或消失的工程或管理分析。通过致因分析得出应急的原因、应急演变、衍生和耦合关系;应急演变在应急科学研究中也是近年来的研究热点,那是因为越复杂的系统越容易产生意外的应急流的演化和变迁现象。这种演化过程是衍生应急和连锁应急发生的重要诱因;致灾分析是应急发生后的灾害效应所致,小应急演化成大应急,大应急演变为灾难。无论是自然灾害还是人为灾害都可以看作是复杂应急的致灾效应导致的;应急也有消失的阶段,无论灾应急生命链的哪个环节都可以采取手段切断应急的发展,最终使得应急消失。这就是中层的应急科学“四”模式具体说明,该模式也是连接外层和内层的桥梁。

(5)内容模式的“五”即应急、勘查、鉴定、处理和借鉴五个方面。其中应急就是在应急发生后

的救援处置和善后处理过程,是传统的事后管理思维的产物,也是普遍实践应用的应急管理方法;勘查是应急后展开的具体初步工作,为应急现场搜救和救援提供初步参考;鉴定则是利用应急现场的人证物证等材料,实施应急原因分析的基本过程;处理就是针对应急的性质和致因分析提出对应急当事人和当事物提出技和管理措施;借鉴在应急分析和预防中利用同类应急的知识和经验,为应急的具体处置提供的外部参考。应急科学外层模式是近代安全科学研究的重点,随着历史发展到现代社会,应急研究走向规律和机制方向,未来的应急必定朝着预测、预防和控制的内核方向发展。以上3点是基于“三四五”模式的应急科学研究内容,该内容旨在推动应急科学研究向纵深化和科学化方向发展。

(6)基于工程措施和管理措施的综合交叉学科。应急科学是安全科学的底层基础研究领域,架构于安全科学之下受到研究安全科学的方法原理的指导。安全科学是大交叉综合科学,涉及的内容十分复杂,大致包括理、工、管、法、文和医学等十几种基础学科的理论支撑。交叉学科的属性决定了应急科学研究必须在借鉴和融合的基础上走出一条符合应急科学规律的新道路。应急科学的基础理论并不是具有自身的深厚科学积累的自体系,而是需要进行融合创新的它体系,在学科的发展中不断吸收创新出应急科学研究的方法、原理、程序和体系。应急科学的研究离不开人,人既是应急的当事者又是应急的决策者,对涉及到人的研究就不是技术工程领域的简单问题而是必须进行心理、生理、行为和认知研究的综合复杂体,这样的研究就需要工程措施和管理措施的多学科介入。

4 应急科学的学科分类

目前的《学科分类与代码》^[13]涉及到专门应急相关的学科很少,安全科学也是存在很多空白的学科亟待补充完善。应急科学作为新兴学科还缺乏必要的理论体系,自然其可研究的内容是全面复杂的。学科体系建立首先需要有奠基性的基础性学科为指引,研究学科分支的进一步分类和细化,借鉴自然科学体系完成应急科学的学科分支的丰富完善。根据应急科学的研究领域和定义可知其具有独立的学科体系,应急科学是由安全科学体系、自然科学体系和管理学体系等学科体系交叉融合而形成的,从属于安全科学基础的学科分支。安全科学学科有广阔的研究领域和学科分支,其下的应急科学势必具有丰富的学科体系。鉴于此,本文尝试在借鉴安全科学不同学科属性、层次与研究对象的基础上^[14],结合应急科学的研究对象分门别类的列举应急科学的学科分支。分支至少应包括:应急心理学,应急致因理论,应急演化规律,应急预测与预防方法,应急管理,应急调查方法与技术,应急仿真与重现技术,应急鉴定技术与规范,应急控制工程,典型应急案例,某某行业应急等。建立的应急科学之树如图4所示。

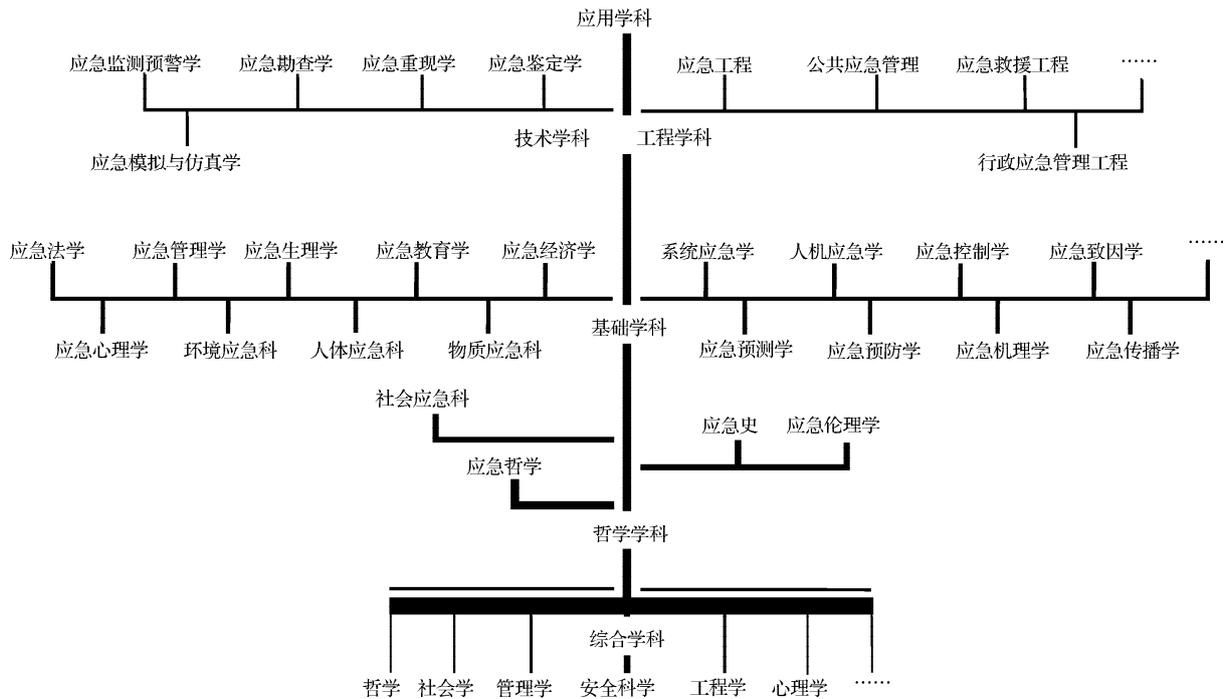


图4 应急科学之树

5 应急特性与研究内容

5.1 应急特性

应急研究中必然存在着自己的特点或规律，通过了解应急的特点才能采取有效措施预防应急发生，根据上述的应急属性关系可以总结出应急具有的基本特性如下：

(1)偶然复杂性。应急后果及后果的严重程度，都是随机的、难以预测的。反复发生的同类应急并不一定产生完全相同的后果。这就解释了相似应急产生的后果却截然不同，这为预防应急提出了对症治理的思想。应急的发生具有突发和意外的表征，尽管有些应急带有缓变的过程，但是人们很难决定应急爆发的临界点在何处何时。对于应急预防而言有许多不能确定的因素，这是应急的预知过程的复杂性决定的。

(2)系统变化性。无论是一般应急还是特殊应急都是系统内部要素受干扰而破坏的结果。导致应急的原因是多方面的，预防应急的措施也是综合性的，对应急的管理应该按照系统工程的思想进行治理。系统出现应急后并不是单纯以损失后果为终点，而是通过一系列变化和传播形成连锁或耦合现象。应急发生可以看作一系列相互作用要素的传播过程，应急发生后也具有涟漪效果对于系统其他过程而言，要建立闭环的系统尤其是应急所在系统或部位要保持与其他系统的功能衔接和结构独立。

(3)人因核心性。一切应急的发生都是有其原因的，大多数应急的原因都是可以被人认知的。人始终处于社会应急的核心位置。系统内部的控制和干预都是人作用的结果，实现系统功能和保障系统安全都是人参与的决策，在应急中人的认知和行为会影响着应急的发展和走向，应急在系统中发生的传播和耦合同样受人的影响比较复杂的应急要找出引起应急的原因并非易事，很多应

急由多种因素共同影响。要深入剖析应急的根源，找出应急的根本原因，研究因果之间的关系才能防止应急的再次发生。

(4)潜在预兆性。所谓应急的潜在预兆性是指应急隐患在发展之初的孕育阶段，存在的方式一般为隐匿的、潜在的，随着生产的每个过程随机变化，应急逐步向显性发展。潜伏的应急中隐患已经存在很久了，在等待一定的时机或条件发生。在潜伏过程中会发生预兆性的表现，这些预兆很少被人觉察或意识到。万事万物都处在无序混乱和有序秩序的平衡状态之间，但是熵是导致系统平衡破坏的内在属性，熵增就意味着系统安全状态受到挑战，如果不加以纠正这种非平衡态会产生新熵流而发生应急。应该采取措施防止熵增带来的负面影响，进而预防应急发生。

5.2 应急科学的研究内容

根据应急特性可知，应急要形成科学学科必须遵循系统原理和科学方法论指导，从应急科学定义可以简单总结出应急科学核心研究内容是“345”模式，分为应急事前的预测、预防和控制层面，应急过程的致因、演变、致灾或消失的工程或管理分析，应急处置的踏勘、准备、响应、恢复和反馈。目前学界从应急工程应用和应急基础理论两维度对应急进行了相关研究虽然取得了一定的理论和应用价值，但这两条研究路径限制了应急科学上游基础理论的发展，也不利于促进整个安全科学发展。应急研究者往往只是专注于所在部门或行业，以特定应急为出发点结合应急分析技术提出新方法或解决新问题。出现几种类型的倾向特点：①应急致因模型构建；②旧有应急模型的新应用；③他科学理论的迁移应用；④自科学方法的行业实践。以上倾向的研究却没有剥离出应急科学的核心实质，没有形成应急自身的理论积累。应急科学作为一门新兴交叉学科，其学科体系还不完善，其学科理论基础还非常薄弱。概括起来应急科学体系的主要研究内容主要分类以下三方面，具体内容见图5所示。

(1) 应急学科基础研究。涉及到应急科学的基本内容、研究框架、研究目标、应急科学原理、应急科学方法论、应急科学程序和应急策略分析等内容。学科的研究更多的是从科学思维的角度出发采用系统方法构建应急科学的学科基础。应急科学理论研究的基础主要是原理、方法论、概念框架和实践方法等, 借鉴其他安全科学学科框架和构建模式, 创新应急科学的框架体系, 最终实现应急科学学科独立学科体系。

(2) 应急机理层面的研究。在应急科学研究中最基本、最重要的就是分析应急发生的原因以及剖析应急背后的机理问题。应急发生是许多系统因素综合作用下的结果, 随着社会和生产系统的日趋复杂化, 隐患的多变性和复杂程度也不断提高了。针对危险源的控制和管理方法也促使管理者去思考如何实现安全管理, 在此基础上形成对于应急的新认识。致因模型早已有之, 但是符合时期特点的应急理论却发展较少, 应急科学的研究内容之一就是去挖掘突发事件致因理论和应急机理机制。

(3) 应急实践管理的研究。应急作为一种不期望的结果很少涉及到应急的技术学问, 作为一门学科应该建立符合应急应用技术的理论体系和方法论。最终的目的在于利用应急原理和模型解释应急发生的过程以及利用应急分析方法研究应急发展规律。在仿真模拟方面也需要进一步研究, 为应急救援和事后预防提供可借鉴的科学指导。应急前的预防组织策略、应急中的应急管理方法和应急后的改进提升计划都是应急应用管理的实践。

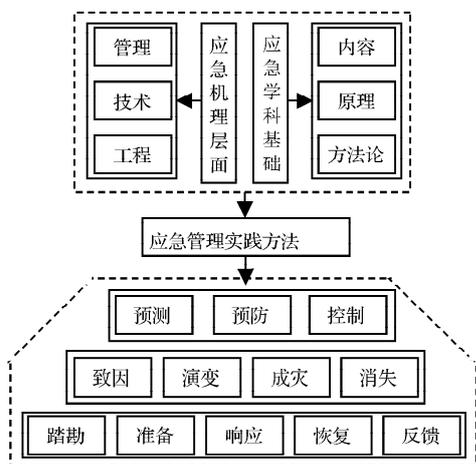


图5 应急科学主要研究内容

6 结论

(1) 应急科学可以看作是多科学交叉下的综合科学, 应急科学需要社会学、管理学和工学等跨学科的交叉融合, 各种管理学模型能为应急致因模型提供理论借鉴和指导, 社会学方法为应急预防提供支撑基础。人始终处于社会应急的核心位置。实现系统功能和保障系统安全都是人参与的决策, 在应急中人的认知和行为会影响着应急的发展和走向, 应急在系统中发生的传播和耦合同样受人的影响。应急本身具由一定的系统特征。应急是一定形态结构下实现伤害的各要素协调作用的状态。应急是系统熵增的必然结果。熵是导致系统平衡破坏的内在属性, 熵增就意味着系统安全状态受到挑战。

(2) 应急科学是一定时空范畴下, 以安全为目的、以应急为研究对象, 研究系统中应急的致因、演变、致灾或消失的机制与规律, 应急的预测、预防与最优控制方法和工程措施, 发生应急的应急、勘查、鉴定、处理、借鉴等的管理和技术手段等的一门综合交叉学科。简单理解为, 应急科学是研究系统中应急规律、管理和技术的应急科学理论。应急科学概念可以归纳为“345”模式: 即外层: 发生应急的应急、勘查、鉴定、处理、借鉴等方案和技术手段; 中层: 系统应急的致因、演变、致灾或消失的工程或管理措施; 内层: 一般应急的预测、预防和控制方法。

(3) 应急科学是由安全科学体系、自然科学体系和管理学体系等学科体系交叉融合而形成的, 从属于安全科学基础的学科分支。安全科学学科有广阔的研究领域和学科分支, 其下的应急科学势必具有丰富的学科体系。主要的应急科学理论基础为法学、心理学、教育学、行为科学、管理学、经济学、系统学、数学、物理学、化学、生物学、逻辑学、侦查学、技术学和工程学等等。应急科学的主要学科分支至少应包括应急心理学, 应急致因理论, 应急演化规律, 应急预测与预防方法, 应急管理, 应急调查方法与技术, 应急仿真与重现技术, 应急鉴定技术与规范, 应急控制工程, 典型应急案例, 某某行业应急等等。

(4) 应急科学的基础理论并不是具有自身的深厚科学积累的自体系, 而是需要进行融合创新的它体系, 在学科的发展中不断吸收创新出应急科学研究的方法、原理、程序和体系。研究内容是“三四五”模式, 分为应急的预测、预防和控制层面, 应急的致因、演变、致灾或消失的工程或管理分析, 应急的应急、勘查、鉴定、处理和借鉴。概括起来看应急科学研究的主要内容应为应急理论层面的研究、应急应用管理的研究和应急科学学科基础研究三大部分。

参考文献:

- [1] UNDERWOOD P, WATERSON P. Systemic accident analysis: examining the gap between research and practice[J]. Accident analysis and prevention, 2013, 55(2): 154-164.
- [2] ABBAS Z, HASAN A, MOHAMMAD R. Development of prediction models for repair and maintenance-related accidents at oil refineries using artificial neural network, fuzzy system, genetic algorithm, and ant colony optimization algorithm[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2019, 131: 331-348.
- [3] MIKOLAJ O. A criticality study on the LA-1 accident using Monte Carlo methods[J]. Nuclear Engineering and Design, 2020, 359: 467-476.
- [4] ALI J G, H HAMMOUD, M DIMASSI, et al. Allometric scaling of road accidents using social media crowd-sourced data[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2019, 142: 534-541.
- [5] ADEDIGBA S A, KHAN F, YANG M. Dynamic safety analysis of process systems using nonlinear and non-sequential accident model[J]. Chemical Engineering Research and Design, 2016, 111: 169-183.
- [6] AWAL Z I, HASEGAWA K. A study on accident theories and application to maritime accidents[J]. Procedia Engineering, 2017, 194: 298-306.
- [7] LUO T, WU C. Safety information cognition: a new methodology of safety science in urgent need to be established[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 209: 1182-1194.
- [8] 黄浪, 吴超, 王秉. 基于熵理论的重大事故复杂链式演化机理及其建模[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(5): 10-15.
- [9] FU G, XIE X, JIA Q. The development history of accident causation models in the past 100 years: 24Model, a more modern accident causation model[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2020, 134: 47-82.

(下转第211页)