

罗通元, 吴超. 事故基本问题刍议[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 5-12. [LUO Tongyuan and WU Chao. Discussion on the fundamental issues about accident [J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(4): 5-12. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.04.002.]

事故基本问题刍议^{*}

罗通元^{1,2}, 吴超^{1,2}

(1. 中南大学资源与安全工程学院, 湖南长沙 410083; 2. 中南大学安全理论创新与促进研究中心, 湖南长沙 410083)

摘要:为了从事事故机理和事故学的高度阐明事故在安全科学研究的重要性, 阐明事故致因理论处于基础安全学和应用安全学的结合部, 并在安全科学教学中起“桥梁”作用。开创性地提出事故消除的“金标准”并作为事故发生的本质机理。同时, 确定事故机理起着解释事故发展过程中所出现的异状和症候, 担负着新隐患的发现作用; 其次, 以系统为研究范畴借鉴人因理论, 研究了事故机理的研究对象应该是人体和物质, 还提出原因、条件和诱发因素三大事理要点; 根据原因结果论定义事故原因并分析了六种事故原因类型, 首创事故发生的四条一般性规律以及总结出三条事故原因推理方法; 最后, 提出事故分析所需的七类知识及宏观策略。结果表明: 事故机理的新解能提供全新的事故分析策略, 并为建立事故学学科和丰富事故理论体系奠定基础。

关键词:事故机理; 事故发生规律; 推理方法; 事故原因; 知识与策略

中图分类号: X913; X5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2018)04-0005-08

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.04.002

事故与人类社会的发展相伴相随, 可以说人类的历史就是一部与事故和伤害斗争的历史。安全与事故是一组对应的概念, 长期以来学者们通过对事故机理及致因的研究极大丰富了安全科学的机理基础, 安全科学是从研究生产安全事故层面发展起来的, 其中的事故模型深刻影响着人们对安全的认知^[1]。因此, 安全科学的核心就是研究事故, 重点在于揭示事故发生发展的机理以及如何预防事故。

Leveson^[2]认为随着技术的快速进步、事故性质的改变、人机关系复杂性和耦合性的提高, 需要探讨新的事故致因分析模型, 并指出人机交互的不合理将成为导致事故发生的重要因素; Surry等^[3]提出的人因调查技术模型只限于人因分析, 不能深入探究人因失误背后深层的组织和社会因素; Bellamy^[4]提出的重大事故预防金字塔模型指出系统中信息流的偏差是造成事故和事故扩大的重要因素; 赵潮锋等^[5]从安全信息缺失的视角初步探讨了事故致因, 但过于宽泛; Underwood等^[6]认为事故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, 并指出事故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。上述从不同的视角构建的事故致因模型都在传统事故机理和模型解释方面有了突破, 但上述研究对事故致因机理研究还不够深入, 专注于人因及事故推理分析的事故致因理论研究还很欠缺。同时在事故原因的学科建设基础理论研究方面还极其欠缺, 事故机理是安全学科的最基本理论之一, 有必要探索建立事故机理学或事故原因学。不同的生产力发展阶段出现的安全问题不同, 现有事故致因模型都是在特定的时代和特定的应用背景下提出的, 因此也就有其特定的适用范围。尤其是进入大数据时代、工业4.0时代、人工智能时代以后, 复杂系统事故的多米诺效应越来越大, 这就要求更深入更新的事故机理及基础研究成果以支撑新形势新挑战下的事故分析。传统的事故致因模型将不能满足复杂系统事故的调查与分析。

综上分析, 因此, 探讨基于新的事故理论将为事理学建设奠定理论基础。鉴于此, 笔者通过论述事故机理在安全科学中的地位、事故机理的研究对象、事故的发生规律与事故分析的一般推理方法等, 以期对事故预防研究与实践提供新方法和新思路, 丰富事故理论体系, 并为事故学的

* 收稿日期: 2018-01-22 修回日期: 2018-04-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51534008)

第一作者简介: 罗通元(1988-), 男, 汉族, 陕西宝鸡人, 博士研究生, 研究方向为安全科学基础理论。

E-mail: 952551556@qq.com

构建奠定理论基础。

1 事理在安全科学中的地位

1.1 事故理论在教学中的地位

事故致因理论这里简称事理，事故理论是沟通基础安全科学与应用安全科学的“桥梁”性理论。可以把安全科学分为基础理论学科和工程应用学科，基础理论学科包括安全学、安全原理学、安全人机学等，主要研究系统(人或物质)在正常状态下实现人身免受外界因素危害的基本规律及其需要的物质保障条件，那么事故理论就应以基础安全学为基础。工程应用学科包括工业安全技术、防火防爆技术、个体防护、事故调查处理、应急救援等，主要研究隐患的探查与事故预控。事故过程中出现的异状和症候是以事理变化为基础的，事故理论与安全工程应用密切相关，是安全科学应用的基础。一个好的安全人或安全劳动者必须具有丰富的事理知识。因此事故理论处于基础安全学和应用安全学的结合部，在整个安全类课程中起着“桥梁”作用。

1.2 事理在事故预控中的作用

现代安全科学技术的发展和其他技术在事故控制中的应用，极大地丰富了隐患治理的手段和方法，为事故的及早判断和消除提供了有利条件。但可以预见，在相当长的时期，现有的工程技术及风险分析方法还不能有效代替事故理论在隐患探查和风险预控中的作用。事理对系统中的事故消控是通过对人生理缺陷、心理障碍、物故障部位和环境不良状态的观察和利用认知过程规律、物故障诊断技术和环境监测预警等手段做出事故前期的判断和控制。因此，比现有的其他检查手段和方法更为客观全面和准确。一般地说，特重大事故的预防前先做事理分析，可以将事故发生的本质机理称为事故消除的“金标准”。虽然强调了事理分析的重要性，事理研究的对象一直不是很明确具体。事故的发生点具有复杂性，因此，其也存在着一定的局限性。事理分析能够确定事故的性质，而且还能回答安全工程师提出的检查问题，解释系统(人或物)出现的异状和症候，确定破坏或伤亡的原因。事故理论不仅是理论性强的基础安全学，而且也是实践性很强的应用安全学。故在安全科学体系中，事故理论的作用凸显在隐患治理和事故预控中，具有不可替代性。

1.3 事理在安全科学研究中的应用

安全科学的飞速发展得益于现代科学技术的进步。事故理论作为基础安全学和应用安全学的“桥梁”亦起着重要作用。事故致因的研究涉及多

种建模理论，如模型论、相似理论、系统论和系统辨识等最基本理论，还有复杂系统理论、自组织理论、网络理论、定性理论等。主要通过“模型”体现出来，事故理论经历了从以人、能量、管理和系统的发展阶段，使事理的研究从单纯的人的不安全行为和物的不安全状态深化到了系统思维。它的应用实践以危险源辨识、危险源控制和危险性评价为抓手，同时解释事故发展过程中所出现的异状和症候，担负着新隐患的发现作用。在安全科学研究中，事故研究广泛应用于理论及实践，并占有极重要的位置。

2 事理的研究对象

安全科学本质上是事故预防的科学，因此其研究对象应该是事故。研究内容应该是事故的发生发展规律以及事故的预防对策。也可以说安全学是以系统为研究范畴以系统内发生的事故为对象的学科。事理的研究对象根据研究承害体来源的不同分为基于人体的事理和基于物质的事理。

2.1 直接原因的事理

事故发生在哪里这个问题是难以具体明确的，反过来思考事故的受害对象到底是什么。目前的研究趋势应该给出比以往更清晰的界定，好比安全这一基本概念难以统一认识一样，笔者认为事故是发生在人身上的可能造成伤害的意外事件。比如，建筑工地脚手架坍塌就是一起事故，至于有没有人员伤亡就涉及到事故类型了。众所周知，事故的发生绝大多数原因是由人为因素造成的，同时，绝大多数事故会对人产生直接或间接的伤害。这一点极好的说明了事故受害体是人，人既是致害体也是受害体。所以，以人为对象研究事故机理就显得极端必要。

其实物的不安全状态早就归为事故发生的直接原因之一，关于物包含人员操作的机械设备，及工人周围环境的一切设施等。物的状态以安全或存在隐患区分，分为四大类型：防护等装置缺陷、设备设施等缺陷、个人防护用品缺陷和生产场地环境的缺陷，以这些类型为准将不安全状态分为：物本身存在的缺陷、防护保险方面的缺陷、物的放置方法的缺陷、作业环境场所的缺陷、外部的和自然界的不安全状态、作业方法导致的物的不安全状态、保护器具信号、标志和个体防护用品的缺陷等。

2.2 事故发生条件

事故原因简称事因，又称为致害因素，它是指作用于人体或物质的众多因素中，能引起事故并赋予该事故特征的因素。事故机理简称事理。

发生事故时可以从原因、条件和诱发因素三方面与分别思考,将原因和条件归为事因研究范畴,将诱发因素归为事理范畴。事因在一定条件下发挥致害作用。因此可以说,事因是指能引起某一事故的特定因素,它是决定事故特异性的。

事故发生的条件主要指那些能够影响事故发生的各种受害体内外的因素。它们本身虽然不能引起疾病,但是可以左右事因对受害体的影响,直接作用于致害体或者促进或阻碍事故的发生。例如工人过度疲劳、工作场所条件恶劣、劳动防护不合格、安全监测监控失效等都可以削弱系统的抗风险能力,这时如果有少量不足以引起正常人或物安全状态的隐患发生进入系统,就可以引起一连串意外事件直至事故。例如工作场所里绝缘皮破损的电线如果碰到了未穿绝缘鞋的工人就会发生触电事故;与此相反,充足的精神状态、舒适良好的工作环境、全面合格的安全防护措施、监测监控及时有效等,都能增强系统对风险隐患的抵抗力,事故冗余度提升,此时如果穿戴绝缘鞋的工人踩到破损的电线也可以不发生触电。因此,在有些事故的预防中,考虑条件作用是很重要的。

其中能加强事因作用或促进事故发生的因素称为诱因。诱因也是事故发生的一种条件,如老旧机械系统中,转子不平衡作为诱因,诱发轴承磨损甚至断轴等。此外,年龄也可以作为某些事故发生的条件。例如儿童生性好动,安全意识缺乏,在没有大人监护的情况下极易做出危险举动。每年儿童因误吞笔帽、硬币等造成窒息死亡的案件屡见报端。

3 事故发生发展的一般规律

事故发生发现的一般规律主要是指各种事故发生过程中一些普遍存在的共同的基本规律。

3.1 破坏与抗破坏

破坏与抗破坏的斗争贯穿于事故的始终,两者间相互联系又相互斗争,这是构成事故各种后果表现,推动事故发展的基本动力。在事故中破坏与抗破坏作用常常同时出现,不断变化,如图1所示。事故是发生在系统内影响人的安危的意外事件,系统具有一定的边界,可以近似认为系统自身存在反馈的封闭特征。以化工厂爆炸伤亡事故为例,现代企业大规模高自动化程度很高,这就要求操作工人具备更高的安全技能以应对复杂系统的复杂故障和隐患。化工厂火灾爆炸事故是一系列破坏与抗破坏作用的结果:初期时发生反应器高温高压报警信号、压力容器管道接焊接点裂纹、管道高压液体喷溅、可燃液体气化形成可

燃蒸汽云、工人暴露在气体中、带静电防护服摩擦起电等一系列变化,但是与此同时化工系统内会出现一系列变化,如监控室超限警报声响起、关闭压力反应器进料阀和打开泄压阀、打开旁通以降低出料管道压力、监控设备区域人员位置、提示搬运定时释放自身静电等,如果温度和压力较低,未出现高压液体喷射,则通过各种抗破坏反应和恰当的干预,系统即可恢复安全;反之,如初期破坏较重,出现喷射进而出现大量可燃气云,抗破坏的各种措施无法抗衡破坏反应,又无及时恰当的人员控制措施,则风险会进一步恶化,直至发生伤亡事故。由此可见,破坏与抗破坏之间的斗争以及它们之间的力量对比常常影响事故的发展方向 and 转归。应当强调在破坏和抗破坏之间无严格的界限,它们之间可以相互转化。例如险兆事故早期时频繁的高温高压误报警会增加安全监控人员的麻痹心理,以致控制人员会人为关闭报警装置,但是长此以往就会削弱控制人员的抗破坏性,以致真正事故超限报警后无所事事,引发后续伤亡事故。

在不同的事故中破坏和抗破坏的斗争是不相同的,这就构成了各种事故的不同特征。在实际生活生产中,应尽量支持和加强抗破坏反应而减轻和消除破坏反应,破坏反应和抗破坏反应间可以相互转化,如一旦抗破坏反应转化为破坏反应时,则应全力消除或减轻它,以使隐患消除或减少。发生事故时系统破坏与抗破坏过程如图1所示。

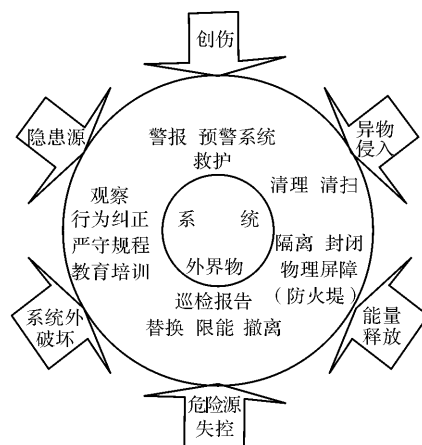


图1 事故时系统的破坏(箭头)与抗破坏反应(圆圈内)

3.2 因果交替

如果没有原因对结果的时间先在性预设,就不可能确认什么是因什么是果^[7]。在事故的发生发展过程中,原因和结果间可以相互交替和相互转化,如果善于揭露各种事故现象之间的因果联系,就会掌握事故的发展取向和伤亡的主导环节,并加以有效的预防。在事故的过程中,原始致害

因素作用于系统后,系统势必产生一定的隐患,这些隐患在一定条件下又会引起另一些变化,也就是说,由原始事故因素引起的后果,可以在一定条件下转化为另一些变化的原因。由于原因和结果之间相互转化和交替,所以即使原始事故原因已不存在,上述的因果交替可推动事故过程不断发展。因此,这种因果交替的过程常是事故发展的重要形式。现以系统事故为例,说明其发展过程中的因果交替。图2为例说明了隐患暴露或危险源失控时出现的恶性循环,循环过程会造成隐患积累从而为下一次事故创造条件。

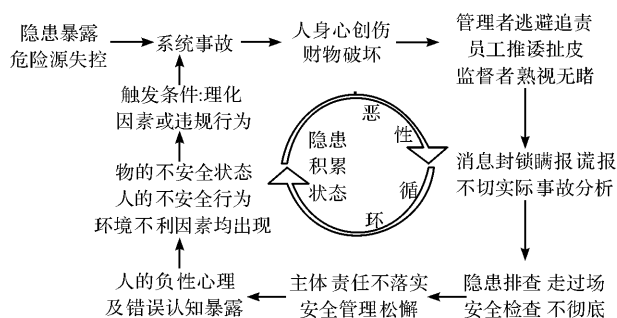


图2 隐患暴露时的恶性循环

事故中因果交替规律的发展,常可形成恶性循环,从而使事故不断恶化,直至出现人的死亡,同时类似事故重复发生。但如经过恰当的干预,在事故发生的过程中也可以形成良性循环,从而促进系统处于安全状态。在不同的事故中以及在事故的不同阶段,因果交替的内容是不同的。因此,如果能及早采取措施在事故发展的某一环节打断因果转化和恶性循环,就可使事故朝着有利于隐患消除的阶段发展。

3.3 系统与个体

任何事故基本上都是系统事故,而人,物环境和致害因素作用出现的隐患或不安全状态与行为等,均是系统性事故的局部表现。系统局部的隐患可以通过耦合和传导等形式影响整个系统,而人的不安全行为和心理状态也可以通过群体心理效应和人机作用的途径影响系统物质环境等其他局部的隐患发生。因此,在研究事故过程中系统和个体的关系时,应该认识到每一个事故过程中,个体和系统之间的关系都有各自的特征,而且随着事故的发展两者间的联系又不断变化,同时还可以发生彼此间的因果转化,此时究竟是系统性隐患还是个体隐患占主导地位,应作具体分析。

3.4 管理关联性

事故的频发多发于社会背景和经济快速发展具有密切的关系^[8],从实践来看事故的多发频发都与管理因素之间存在密切的关联,管理的角度进行事故机理剖析才能从源头上杜绝事故多发趋

势。管理原因是激发事故发生的首要因素,管理上的缺陷、错位、缺失和不作为,以及急功近利的项目都是隐患产生的首要条件。管理上的缺失都会导致人的不安全行为、物的不安全状态和环境不安全因素出现和交叉,任何管理原因都制约物的状态和人的行为,事故隐患可以认为是管理缺陷引起的,只要遇到人的不安全行为必然导致事故发生。有研究表明事故发生的频率与管理缺陷数量及作用时间呈正相关关系。管理越混乱且持续时间越长,事故越容易发生且呈多发趋势。同时,管理原因也体现在事故调查与隐患治理上,调查上的管理不严谨,隐患治理时管理不全面等必然造成事故的恶性循环。

4 关于事故原因的讨论

4.1 事故原因的定义

决定论因果观说明一定的原因必然导致一定的结果,广义因果律也指出原因就是使结果发生概率升高的事件或特征,即一定的原因只是可能而不是必然导致一定的结果。原因和结果是既有必然性又有偶然性,既是客观存在又是可以为人的思维所认识。事故中的因果关系是哲学上因果关系在事故领域具体应用^[9]。事故致因理论从本质上是解决事故是如何发生的,为什么会发生及怎样防止事故这三大问题的,事故理论的研究已成为指导企业进行事故管理的主导理论^[10-11]。其实关于事故的因果关系并不是简单的形式,包含四种常见的联接方式:单因单果、单因多果、多因单果和多因多果。那么,事故原因究竟是如何理解,可以将其定义为:那些能使人发生伤亡概率升高的因素,就可以认为是事故原因,其中某个或多个因素不存在时,事故频率就会下降。

事故原因可以按照一定维度进行氛围,以原因结构论可以将原因的种类分为以下六种:充分原因、必要原因、充分必要原因、充分非必要原因、必要非充分原因和非充分非必要原因等。

(1)充分原因。充分原因是指那些有该因素存在,某事故必定会发生的原因。犹如事故树中的最小割集。

(2)必要原因。必要原因强调的是该因素不存在,某事故一定不发生的原因。犹如事故树中的最小径集。或者说在某事故发生之前,一定有该因素存在的原因。

(3)充分必要原因。其指的是有该因素存在,某事故必定打算,该因素不存在,某事故一定不发生的原因。例如:超高压且泄压失效的反应器近乎100%会爆裂。充分必要原因的特点是严格意义的充分必要原因极为罕见,属于狭隘的、传统

的原因解释。

(4)充分非必要原因。它指的是有该因素存在,某事故必定发生,该因素不存在,某事故不一定不发生的原因。或者说该事故发生前,不一定有此因素出现。例如:刀砍、枪击等都可以造成一个人的伤害,但伤害并不一定要刀砍或枪击造成。或者说伤害发生前,不一定非要有刀或枪出现。所以,刀砍或枪击是伤害的充分非必要的原因。

(5)必要非充分原因。指该因素不存在时,某事故是一定不发生的,但因素存在该事故不一定发生的原因。例如:起吊时塔吊吊钩松脱+未戴安全帽的工人误入塔吊下方+狂风骤起=物体打击,那么,松掉了挂钩卡扣就是物体打击事故的必要原因,但不是该事故的充分原因。其实该类型的原因较多见。主要是指以人员涉入危险区可控的事故,某因素单独存在不一定有事故发生。

(6)非充分非必要原因。非充分非必要原因是指该因素存在时某事故可能发生(但不是一定发生),而因素不存在时该事故也有可能发生的原因类型。例如:不系安全带导致死亡,但不是每个不系安全带的人都会导致死亡,所以安全带不是车祸死亡的充分原因;也不是每起车祸死亡者都因为不系安全带(或者说车祸死亡者中也有系安全带者出现),所以安全带不是车祸死亡的必要原因。这种类型的特点也较多见,适合现代主流观点。

传统且单一的充分必要原因或充分原因在如今的社会中越来越少见,对绝大多数事故来说,充分原因是由一系列因素组成的,即使是单一的机械伤害也是如此。例如:未安装防护罩的飞轮+隔离栏杆破坏+披散长发+人紧挨飞轮低头操作=机械绞伤。目前对于大多数事故,特别是复杂系统的暗箱事故,其充分原因或充分必要原因并未完全清楚,一般只是证实或初步证实原因组中几个因素。有的是充分原因,有的可能是多个必要原因等。

事故原因如果按通常安全科学或事故调查的原则也可以分为直接原因、间接原因,或技术原因、管理原因等多种形式。直接原因是直接导致事故发生的原因,间接原因是通过直接原因对事故起作用的原因,间接原因又可成为中间原因。较直接的原因离事故较近,导致事故的发生概率较大称为事故的近因,多指较微观的事故发生机制因素;间接原因离事故较远,导致事故的发生概率较小称为事故的远因,多指宏观的管理上的隐患因素。常见直接原因比如人的不安全行为和物的不安全状态,常见的间接原因比如监督不力,管理缺失等。直接原因和间接原因是相对的,可

以相互转换,直接原因和间接原因可以构成一条事故原因链,有近因也有远因,链条上的每一个环节都触发和导致下一环节。需要说明的是安全科学上的某事故研究所涉及的原因往往不只是原因链上的某一环节或者说只是原因网上的某一部分,不同实践领域不能依据概率大小只把概率大的近因当作根本原因,应该寻根到底铲除根源。

4.2 事故原因研究的推理方法

其实推理方法千千万不如实践来的真,事故的研究不可能去做真正的实验,只能依靠发生的真实案例或者实验模拟的手段达到揭示事故规律的目的。推理方法中常用的有假设演绎法等。

(1)假设演绎法 假设演绎法是在为数不多的事故经验事实以及已有的安全科学理论基础上,通过逻辑推理或创造性想象等形式的设想。验证是证实设想真伪的过程,由于事故的特殊性只能通过实例去检验假设的真伪。该方法是在提出假设到验证假设之间起衔接作用的逻辑方法。是从前提必然地得到结论的推理过程或者说从一些假设的命题出发,运用逻辑的规则,导出另一命题的过程。假设演绎法的推理形式可以按如下形式理解。过程1:如果得到假设A,则必然推出经验证据E;过程2:获得经验证据E,所以反推假设证据A可能成立。

比如,提出假设A:行为鲁莽且性格急躁的人会出现不安全行为及违章表现。演绎的证据: E_1 (习惯性违章的人性格急躁或行为粗鲁率高于正常人), E_2 (急躁性格导致不安全行为的发生率高于富有耐心且行事谨慎的人), E_3 (控制急躁鲁莽的工人工作性质,加强教育和惩戒等管理后,工人的不安全行为和违章表现发生率下降), E_4 (提高行为粗鲁和性格急躁型工人的工作强度和复杂性,不安全行为发生率升高)……。得出的结论:如果证据 E_1 、 E_2 、 E_3 和 E_4 成立,则假设A可能成立,证据E越多,假设A成立的可能性越大。

(2) Mill 准则

Mill 准则是始于分析流行病学的比较推理,创始人穆勒是试图将因果推理的原则加以系统化的第一人^[12],因此,该方法后人总结出科学研究五准则:求同法、存异法、同异并用法、共变法和剩余法。①求同法是研究的事故特征为A、B、C、D、E……,研究事故发生的因素为a、b、c、d、e……;如果研究的事故具有共同的特征A(如人的行为学特征、心理认知特征、物质状态特征和环境特征等等),而这些相同或相似特征A的事故案例都有相同的研究因素a,那么因素a是事故A的影响因素。其模式可以表达为:对象1(包含事故A、B、C……)有关的因素为a、b、c……;对象2(包含事故A、D、E……)有关的因素为a、

d、e……；对象3(包含事故A、F、G……)有关的因素为a、f、g……，由此可以得出因素a是事故A的影响因素。实例解释如，一组(对象1、2、3……)铝制品加工车间都发生过粉尘爆炸事故，它们都有除尘设备未按时开机的记录，则表明无除尘记录是车间粉尘爆炸的影响因素；或者一组(对象1、2、3……)车间里除尘机未开的话都发生了粉尘爆炸事故，那么也可以表明未开除尘机是爆炸事故的影响因素。②存异法是另一种推理方法，假设研究的事故特征为A、B、C、D、E……，研究的因素为a、b、c、d、e……；如果研究对象不具有共同的特征A，而那些不具有该特征A的其他非事故组也没有研究因素a，那么因素a就是事故A的影响因素。其模式可以表达为：对象1(非事故组无A，包含事故B、C……)有关的因素为b、c……；对象2(包含事故D、E……)有关的因素为d、e……；对象3(包含事故F、G……)有关的因素为f、g……，由此可以得出因素a是事故A的影响因素。实例解释如，一组(对象1、2、3……)铝制品加工车间都没有发生过粉尘爆炸事故，它们都按时足量开启除尘设备，则除尘设备是车间粉尘爆炸的影响因素；或者一组(对象1、2、3……)车间里除尘机全开的话都没有发生粉尘爆炸事故，那么也可以表明除尘机是爆炸事故的影响因素。③同异并用法就是求同法和存异法两种方法的联合使用，相当于在一个研究中既设立了事故组，也设立了非事故组，是事故研究的逻辑基础。实例解释如，一组粉尘爆炸车间都没有开启除尘设备；另组未发生爆炸事故的车间都正常使用除尘设备，所以除尘机是爆炸事故的影响因素。④共变法是求同法的特例，相当于研究的事故组中，设立了不同情形和状态的级别，可以详细分析事故的因素深层次关系的关联强度。其模式可以表达为：对象1(包含事故A₁、B、C……)有关的因素为a₁、b、c……；对象2(包含事故A₂、D、E……)有关的因素为a₂、d、e……；对象3(包含事故A₃、F、G……)有关的因素为a₃、f、g……，由此可以得出因素a是事故A的影响因素。实例解释如，多组粉尘爆炸车间，除尘设备状态不同导致事故不同程度发生，且除尘设备的相对危险性越高，粉尘爆炸事故发生趋势越强。统计学上除尘设备故障率与爆炸事故发生呈正相关。那么除尘设备是爆炸事故的影响因素。⑤剩余法是求异法的特例，其认为如果事故(A、B、C……)，它们在特定范围内的有关因素是(a、b、c……)，又知道A导致a，B导致b……，那么因素a是事故A的影响因素。其模式可以表达为：对象1(包含事故A、B、C……)有关的因素为a、b、c……；对象2(包含事故B……)有关的因素为b

……；对象3(包含事故C……)有关的因素为c……，由此可以得出因素a是事故A的影响因素。

(3)统计学关联方法

统计学上的相关是排除了干扰因素后的影响因素E与事故A之间的相关关系或联系。这种关联只是逻辑推理上的联系并不是因果关联，确定因果关联还需要排除系统内事故影响边界偏倚、人的主观偏倚、环境干扰和系统内在混杂偏倚的干扰，同时还要确定事故发生的时间序及空间序的关系。统计学上的关联放在事故研究中类似于事故耦合机制，目前国内外较多的研究集中在材料科学、医学等自然科学范畴^[13-14]，社科中多见于教育研究领域^[15]。因此，对于事故原因的耦合或关联研究亟待展开。当然，也可以用因果判定标准进行综合评价。关联的过程大致如下：①(提出假设)影响因素E和事故A，②(排除偶然干扰)有无统计学关联？③(排除系统虚假)有无偏倚？④(确定前因后果)有无时间和空间的先后？⑤合理与否？

通过研究事故的发生是由一系列关联因素构成，所谓偶合作用下的事故机制。导致事故的关联主要为统计学的关联，其中最值得研究的就是因果关联。一般将事故发生的原因归为直接原因和间接原因等，其实也可以在关联的角度理解为直接因果关联和间接因果关联。因果关联就是排除诸多干扰之后，有时间和空间先后关系的影响因素E和事故A之间的统计学关联。它的特点符合概率论因果观(事故原因就是使得事故发生概率升高的危险因素，而因果关联要求事故A与影响因素E有统计学关联)，同时因果关联是判断直接原因因果关系的必要前提，时间和空间上的先后关系表明先出现因素E，后出现事故A。

原因判断的标准中可从时间顺序、关联强度、关联的可重复性、关联的合理性和终止关系等几个方面来考察，第1时间顺序就是可疑的原因C引起事故A(C→A)，则C必须发生于之前，这就是前因后果的时间顺序。原因和后果之间往往存在时间间隔，有的间隔持续时间长而又的持续时间短，这要针对隐患造成事故类型来区分，一般将事故可以分为突发事故和缓发事故。比如许多机械事故是由于机械部件缓慢磨损导致机毁人亡的，有些交通事故则是驾驶员一瞬间猛打方向盘造成的；第2是关联强度，即就是可能的原因E与事故A在研究中相互联系的程度。犹如Petri网中的条件变迁弧，库所之间的关联强度越大，变迁越容易。在事故因素的关联强度研究中可以引入分形理论、灰色关联分析等定量方法，可以突破常规静态图表分形，确定事故时间序列相空

间^[16-17]。关联强度与因果关联呈正相关,强关联如果为混杂因素所致,关联越强,越容易被识别出来;第3关联的可重复性是指在不同企业、不同地区和不同环境下可以重复出现的相同或相似的关联结果。可重复性往往会使得因果关联的可能性增加;第4关联的合理性从下面两方面理解:对于关联的解释与现有知识不矛盾,符合事故的规律,这就是客观评价。研究者或评价者从自身的知识背景出发,支持因果假设的把握度,这相当于主观评价。例如,不系安全带与高处坠落的因果关联,设想在脚手架上行走的工人,没有系安全带,一脚踩空跌落摔伤不是没有道理的。

通常对于事故原因分为事故引发人所在组织的内部和外部原因,也就是集中在组织和个人层面^[18]。而个人的行为与后果的时间关联和因果关联就是必须具备的。一个事故原因本身必须要达到或部分达到第1、2条标准,如果符合第5条标准则更好;第3、4条标准是对该研究的外部评价,如果不吻合则因果关联的可信度降低。第3、5条牵扯到事故原因研究分析本身的论证强度。

5 事故分析的知识和策略

5.1 事故分析的知识

在基于知识的方法中,知识的构成及事故原因的分析策略起着核心和关键作用。知识是指人类在长期的生产与生活中所积累的认识与经验的总结,知识的表达是与研究领域相关的,结合事故的特点将其划分为:事故征兆、经验知识、背景知识、过程知识、模型知识、决策知识与控制知识。简要介绍如下:①事故征兆是指事故发生前的各种特征属性表现为异常时候的一种定性或定量的描述,属于事实性知识。②经验知识指的是在长期的事故调查实践中,积累的关于如何进行事故分析和原因调查的启发式知识。经验知识属于浅层次知识具有启发性,同时分析效率高,形式上也规范统一。③背景知识一类来自事故理论分析、危害等级划分、模型试验的实测数据等知识,另一类是指系统运行中对发生事故情景的刻画,如事故类型等。④过程知识反映动态的具有时序的事故发生过程。⑤模型知识是指基于系统或设备等结构原理,能够对突发事故进行分析的一系列事故致因模型,属于深层知识。⑥决策知识是指事故发生时应该采取的应急处置措施,可采用的消除隐患及人身伤害的方案,以及次生事故发生的对策和危险源控制对策。⑦控制知识是利用监测控制技术和系统管理,协调各类知识的应用,提高分析的效果和效率。

5.2 事故分析的策略

在整个事故分析过程中,专家会适时、有机的使用上述各类知识,通过对事故预兆信息的判断,来确定系统事故的原因,整个过程是有穷递归的过程。

在进行事故分析时,专家一般采用下面三种知识模型来简化分析过程:浅知识模型、深知识模型和混合知识模型。浅知识模型是指利用系统或人的不安全行为或物的不安全状态出现时的征兆信息来判断,这种模型比较适合功能关系不明确,征兆信息较多的情况。而深知识模型是通过获取系统中结构信息和人物作用过程信息,来对事故进行分析,一般在实际应用中,常常采用深浅结合的混合知识模型。在使用各种类型的知识时,不能将这些知识随意的堆砌和使用,也不能简单的分割使用,因为这些知识表达方式以及提供的信息不尽相同。事故分析必须灵活的结合各种类型的分析知识,并在相应合理的推理机制下完成。

6 结论

事故机理的研究核心就在于阐明事故研究的对象、导致事故发生的因素和如何指导事故分析等方面的基础问题。归根到底的目的就是促进安全科学的发展,事故过程中出现的异状和症候是以事理变化为基础的,事故理论与安全工程应用密切相关,是安全科学应用的基础。事故机理对系统中事故消除是通过对人生理缺陷、心理障碍、物故障部位和环境不良状态的观察和利用认知过程规律、物故障诊断技术和环境监测预警等手段做出事故前期的判断和控制。因此,比现有的其他检查手段和方法更为客观全面和准确。

安全科学本质上是事故预防的科学,目前的研究趋势应该给出比以往更清晰的界定,好比安全这一基本概念难以统一认识一样,事故的发生绝大多数原因是由人为因素造成的,同时,绝大多数的事故会对人产生直接或间接的伤害。这一点极好的说明了事故受害体是人,人既是致害体也是受害体。因此,事故机理研究的重点应该是人,如此就显得十分必要了。

事故发生发展的规律很多,不同的维度下存在富有差异的规律,普遍存在的共同规律对于机理的研究显得尤为重要。比如破坏与抗破坏、因果交替、系统与个体和管理的关联性等四大普遍规律指出在研究事故的过程中这些规律往往起到基础性作用,为事故原因分析提供直接思路。事故的原因从因果概率论出发理解为那些能使人发生伤亡概率升高的因素,比如充分原因、必要原

因、充分必要原因、充分非必要原因、必要非充分原因和非充分非必要原因等。

事故的研究不可能去做真正的实验,只能依靠发生的真实案例或者实验模拟的手段达到揭示事故规律的目的,可以通过假设演绎、Mill 准则和统计关联方法等进行基础研究。同时,事故原因判断的标准中可从时间顺序、关联强度、关联的可重复性、关联的合理性和终止关系等几个方面来考察,真正做出客观合理的事故评价。诚然,这些工作的基础就是掌握并灵活运用事故分析的事故征兆、经验知识、背景知识、过程知识、模型知识、决策知识与控制知识等,通过合理推理事故机理,结合多类型知识来得到准确的事故过程和原因。

参考文献:

- [1] 陈宝智, 吴敏. 事故致因理论与安全理念[J]. 中国安全生产科学技术, 2008, 4(1): 42-45.
- [2] Leveson N. A new accident model for engineering safer systems[J]. Safety Science, 2004, 42(4): 237-270.
- [3] Gordon R, Flin R, Mearns K. Designing and evaluating a human factors investigation tool (HFIT) for accident analysis[J]. Safety Science, 2005, 43(3): 147-171.
- [4] Bellamy L J, Geyer T A W, Wilkinson J. Development of a functional model which integrates human factors, safety management systems and wider organisational issues[J]. Safety Science, 2008, 46(3): 461-492.
- [5] 赵潮锋, 周西华. 安全信息缺失事故致因理论的初步研究[J]. 世界科技研究与展望, 2012, 34(1): 6-9.
- [6] Underwood P, Waterson P. Systemic accident analysis: Examining the gap between research and practice[J]. Accident; analysis and prevention, 2013, 55(2): 154-164.
- [7] 梁栋. 因果序、时间序与时间的因果论[J]. 自然辩证法研究, 2015, 31(10): 19-23.
- [8] 周世宁, 林柏泉, 沈斐敏. 安全科学与工程导论[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2005.
- [9] 王兵兵. 论交通事故责任中的因果关系[J]. 道路交通与安全, 2003, 4(1): 23-30.
- [10] 罗春红, 谢贤平. 事故致因理论的比较分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2007, 3(5): 111-115.
- [11] 牛聚粉. 事故致因理论综述[J]. 工业安全与环保, 2012, 38(9): 45-48.
- [12] 马骥, 赵宏. 预防医学[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [13] 胡基平, 黎法明, 席永涛等. 海上交通系统风险成因耦合机理仿真[J]. 应用基础与工程科学学报, 2015, 23(2): 409-419.
- [14] 曹霞, 陈云香, 崔雷. 基于 Sci-2 的国外医学信息学文献引文耦合分析[J]. 医学信息学杂志, 2015, 36(2): 45-50.
- [15] 王玉梅. 企业技术创新动态发展过程中知识管理与人才管理耦合演化过程分析[J]. 情报理论与实践, 2011, 31(6): 35-39, 11.
- [16] 邵辉, 施志荣, 赵庆贤. 事故关联维数的分形特征分析[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 25(4): 141-144.
- [17] 景国勋, 张悦. 火灾事故致因的多因素灰色关联分析[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(3): 93-97.
- [18] 鲁征, 傅贵, 薛忠智. 天津港“8·12”危险品仓库火灾爆炸事故行为原因研究[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 205-211.

Knowledge and Strategy on the Basic Problems of Accidents

LUO Tongyuan^{1, 2} and WU Chao^{1, 2}

(1. School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;
2. Safety & Security Theory Innovation and Promotion Center of CSU, Changsha 410083, China)

Abstract: In order to clarify the importance of accident mechanism and accident Science in safety science research, it is proposed that accident causation theory is in the combination of basic safety and applied safety, and plays a bridge role in safety science teaching. The golden standard of accident elimination is the essential mechanism of accident. At the same time, the accident mechanism plays an important role in explaining the abnormalities and symptoms in the process of accident development, and plays a role in discovering new hidden dangers. Secondly, based on the theory of human factors, the research object of accident mechanism should be human body and substance, and the three main points of reason, condition and inducing factors are put forward. According to the cause-result theory, six types of accident causes are defined and analyzed, four general rules of accident occurrence are created and three reasoning methods of accident causes are summarized. Finally, seven kinds of knowledge and macro-strategies for accident analysis are put forward. The results show that the new solution of accident mechanism provides a brand-new accident analysis. It lays the foundation for establishing accident discipline and enriching accident theory system.

Key words: accident mechanism; accident occurrence rule; reasoning method; accident cause; knowledge and strategy