

中文引用格式:佟瑞鹏,胡向阳,马雨晴,等. 风险动物园(X):蝴蝶效应的二元解释框架与韧性建构[J]. 中国安全科学学报, 2026, 36(4):9-18.

英文引用格式:Tong Ruipeng, Hu Xiangyang, Ma Yuqing, et al. Risk zoo (X): a binary interpretation framework and resilience construction regarding butterfly effect[J]. China Safety Science Journal, 2026, 36(4):9-18.

风险动物园(X): 蝴蝶效应的二元解释框架与韧性建构*

佟瑞鹏 教授, 胡向阳, 马雨晴, 辛乐
(中国矿业大学(北京)应急管理与安全工程学院, 北京 100083)

中图分类号:X913 文献标志码:A DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2026.04.2147

基金项目:国家自然科学基金资助(52074302);北京市自然科学基金资助(8212015)。

【摘要】 为防范风险管控中“蝴蝶效应”的发生,针对风险放大韧性治理效能提升的科学需求,基于风险二重性构建蝴蝶效应的“风险社会放大”与“风险级联放大”的二元解释框架,梳理蝴蝶效应的社会放大机制与级联传导特征,并探索以人为核心的蝴蝶效应韧性建构机制。结果表明:风险二重性强调风险客观实在性与社会建构性的辩证统一,解构蝴蝶效应产生的不确定性根源于现代社会-技术系统的复杂性与风险社会建构导致的模糊性。一方面,现代社会-技术风险相互关联、相互依存,形成错综复杂的风险网络,表现内生复杂性,为风险级联放大提供动力;另一方面,受限于知识的局限性,公众风险感知与行为受到社会、制度、文化多方面因素的影响,表现为社会模糊性,为风险社会放大提供条件。风险二重性要建立人本协同的韧性治理体系,以健全风险监测预警体系、完善风险沟通交流机制、推动多元主体参与治理为主要抓手,提升风险蝴蝶效应的韧性治理效能。

【关键词】 风险动物园; 蝴蝶效应; 风险二重性; 社会放大; 级联效应; 韧性治理

Risk zoo (X): a binary interpretation framework and resilience
construction regarding butterfly effect

Tong Ruipeng, Hu Xiangyang, Ma Yuqing, Xin Le

(School of Emergency Management and Safety Engineering, China University of Mining and
Technology-Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: To prevent the occurrence of the butterfly effect in risk management, and in response to the scientific need to enhance the effectiveness of resilience governance in the face of risk amplification, a binary explanation framework for the butterfly effect was constructed based on the duality of risk. This framework encompassed social and cascading amplification of risk, clarifying the social amplification mechanism and cascading transmission pattern of the butterfly effect. On this basis, human-centered resilience construction mechanism in response to the butterfly effect was further explored. The results show that the duality of risk emphasizes the dialectical unity between the objective reality of risk its social constructiveness. Meanwhile, based on this duality, the uncertainty arising from the butterfly effect can be deconstructed, rooted in the complexity of modern socio-technical systems and the ambiguity resulting from

the social construction of risk. On the one hand, modern socio-technical risks are interlinked and interdependent, forming an intricate risk network that exhibits endogenous complexity and provides impetus for risk cascade amplification. On the other hand, constrained by risk knowledge, the public's risk perception and behavior are influenced by social, institutional, and cultural factors, among others, manifesting as social ambiguity that creates conditions for the social amplification of risk. The duality of risk necessitates the establishment of a human-centered resilience governance system, that focus on improving risk monitoring and early warning system, refining risk communication mechanism, and promoting multi-stakeholder participation in governance, thereby enhancing the effectiveness of resilience management against the butterfly effect.

Keywords: risk zoo; butterfly effect; duality of risk; social amplification; cascade effect; resilience governance

0 引言

蝴蝶效应的概念最初起源于混沌学理论,美国气象学家洛伦兹发现,南美洲亚马孙流域的一只蝴蝶煽动几次翅膀,大概两周后美国得克萨斯州就会发生狂风暴雨^[1]。蝴蝶效应的提出,被广泛应用在灾害风险领域,描述初始危险事件触发次生及后续危险的跨系统放大过程^[2]。自然、技术和社会系统的强耦合性使得多灾种复合风险的非线性演化愈演愈烈,一个小的风险信号会随着繁杂系统的反馈回路在整个时空范围中循环,在演化过程中可能出现各种难以预料的“意外”状况,导致风险后果影响级联升级为不可逆的灾难,表现为灾害风险的蝴蝶效应^[3]。初始风险因素随着时间积蓄与其他风险因素相互耦合叠加,造成系统中个体脆弱性和敏感性增加,产生更为严重的后果,蝴蝶效应的耦合机制与复杂演化特征使其与传统风险的预见性和可控性相比显著降低^[4]。

蝴蝶效应已超越简单因果关系的范畴,而是多种风险因素相互关联、相互作用的非线性结果,主要特征表现为:跨越不同时空领域,涉及不同的利益相关群体,且关键主体交互不足,要素间整合不充分^[5]。从风险演化轨迹看,各类风险因素相互关联、相互作用,形成一个时空交替的复杂动态演化网络,呈现出集中爆发的态势^[6]。局部风险经过多级链条传递后扩散到整个系统,多种风险因素、社会环境、受灾主体在时空上交汇,导致比单一风险简单叠加更为严重的损失。学者们针对风险因素之间的耦合与级联效应,形成了灾害链风险、系统风险、复合风险、关联风险以及跨界风险等类似的观点^[5-7],最常见的是建模和模拟方法^[8]。然而,现有研究对参与者在实践中管理此风险努力的重视有限,鲜有文

献深入研究行为体与级联耦合风险演化之间的互动关系,导致此类风险治理策略在实践运作与制度化调整中难以落地。

现代社会正步入高度不确定性和高度复杂性的风险社会,公众对风险的感知态势成为现代社会治理体系与系统运行机制的缩影^[9]。蝴蝶效应的治理困境不仅表现为其复杂成因与演化机制,其后果也远比单一风险更严重、影响更深远。蝴蝶效应的发生根植于风险的本质属性,如何理解风险放大的演化特征与参与者适应行为之间的互动关系至关重要。因此,笔者拟在风险二分法的基础上,构建蝴蝶效应的二元解释框架,推动蝴蝶效应治理从二分走向融合,弥补当前学界在风险认知、沟通以及治理方面的固有争论,以期为学界重新审视风险放大本质提供新的见解,为韧性治理体系直面风险放大的复杂性挑战提供可参照的行动框架。

1 风险认知演进图景

人们会面对诸如健康、安全、金融、环境等众多风险,如何理解、沟通、评估这些风险,以便做出正确的决策,成为人们关注的热点话题^[10]。现实中公众对风险的感知与实际风险存在显著性差异。现有风险认知研究表明:专家对风险的判断明显不同于民众,专家遵循科学方法和逻辑,基于历史数据、概率和期望值(伤亡率、经济损失等)进行判断;而外行人依赖风险感知来衡量风险大小,包括对风险的恐惧、公平性和个人收益等因素,便涌现了风险“客观实在性”与“主观建构性”两重属性。具体来看,在风险认知上,焦点在于风险是客观存在的还是社会建构的;在风险分析上,焦点在于风险能够被评估还是被感知;在风险决策上,体现在价值导向还是科学导向的选择上^[11]。为此学界针对风险本质的讨论

也涌现了不同的风险观点,大致可分为 3 个学派,即建构主义学派、本体主义学派和风险二重性学派,其代表观点和学者见表 1。

表 1 主流风险学派理论观点

Table 1 Key theoretical perspectives of mainstream schools of risk theory		
理论学派	代表人物	主要观点
风险社会	Beck ^[9]	技术或人为风险在风险社会中占主导地位,具有不可感知、不可计算、不可控制、不可逆和危害公平等性质,不确定性取代经验与传统,成为风险社会的基本特征
风险文化	Douglass ^[12]	强调个体对风险的主观感知、反思性判断和文化价值观的作用,将风险视为一种社会建构,而非单纯的客观存在
风险系统	Luhmann ^[13]	风险是系统在当下选择所引发的未来不确定性,强调风险并非单纯客观事实,而是与时间、观察和社会建构紧密相关
风险感知	Slovic ^[14]	人们对风险的主观判断,而非基于客观事实或概率。人们通过直观感受、情感体验和认知偏差评估风险,而非单纯依赖数据或科学分析
风险科学	Aven ^[15]	将不确定性视为风险的主要组成部分,解释专业风险判断与风险感知之间的区别,强调专业知识在评估和描述风险中的重要性
风险治理	Renn ^[7]	现代风险具有高度复杂性、不确定性和模糊性,风险治理是跨学科、多主体的过程,强调风险沟通是风险治理的核心,通过信息共享、对话协商建立信任,解决利益冲突

1.1 风险建构论

建构主义学派认为,风险是主体在社会、文化语境中反思性建构的产物,风险并非绝对增加,而是被察觉和认知的程度变化所致,主要观点有以 Douglass 等^[12]为代表的风险文化学派与以 Slovic^[14]为代表的风险感知学派。Douglass 试图从认知主体自身的生活方式感知风险及与风险有关的行为,认为集体中个人持有的信仰和价值取向模式,即社会文化强烈影响个体风险认知,引入文化偏见、格群文化理论等阐释风险的社会建构属性,凸显风险社会的秩序、边界与责任问题^[13]。例如:在美国、日本和荷兰等国进行的一项实证研究表明:拥有不同的文化世界观、价值取向的个体与核电风险感知和接受程度有关^[16]。Slovic 等^[14]主张运用心理学方法研

究风险问题,侧重对风险根源的主观属性和主观体验的测量,认为风险感知是可以测量并预测的,且风险对每个人都有着独特意义,风险感知结果是因人而异的。因而风险感知被认为是个体基于自身客观经验及所处风险环境的主观判断、认知理解和感受思考的结果,分为情感反应和认知反应。

Sandman 等^[17]认为风险引发的情感意义(如可控性、不公平感、对后代的影响等)会影响风险感知、沟通与决策,提出“风险=危害+愤怒”的核心命题,即公众在感知风险的潜在后果时,先是产生一种压倒性、本能式的情感反应,然后才是较为理性地判断其危害程度。认知反应既受到个体价值偏好、知识推理、心理特征、文化差异等影响,也会受到个体风险信息加工行为(知觉风险特征、风险情感反应、社会制度规范、个体知识经验、感知信息充分性等行为)的影响^[18]。Trickey 在风险情绪和认知反应基础上,拓展了风险容忍度和稳定性的解释,提出风险指南针模型,如图 1 所示,把风险人格分为无忧无虑、缜密谨慎、感知强烈、沉着冷静等 8 种类型^[19]。不同社会群体在面对相同的风险事件时,受到风险人格特质、社会背景、性格差异的影响,存在巨大的风险感知偏差。

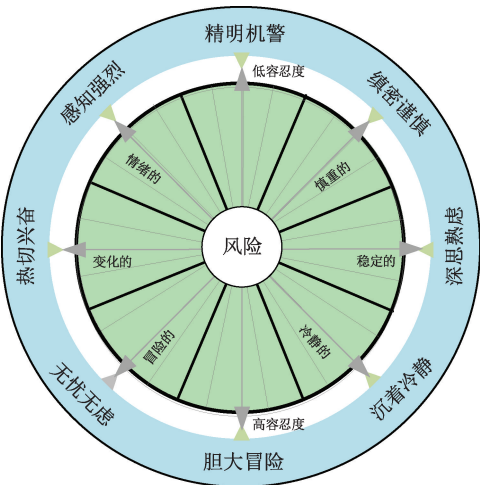


图 1 风险指南针
Fig.1 Risk compass model

风险建构论揭示了传统风险评估与管理过度依赖专家权威和个体理性假设的缺陷。如新冠大流行期间,全球风险认知普遍存在“乐观偏差”,即行为个体对疫情爆发概率和严重程度判断过低,认为“这不会发生在我身上”,导致责任机构在组织、物资、人力和文化等方面准备不足^[20]。但是风险建构论过度强调主观建构而忽视客观基础,可能导致对实际风险的评估和关注度降低,削弱量化评估和标

准化管理的有效性,阻碍科学共识的形成。风险建构论试图从文化、认知等多维度解析风险,但风险认知的影响因素众多且繁杂,致使理论框架难以系统化整合。导致在面对系统性风险时,过分关注认知层面而忽略制度性协调机制,从而限制对系统风险的整体性治理。

1.2 风险实在论

客观实在主义学派主张风险作为独立于人类意识的客观存在,其危害性是基于物理或技术事实的一种客观事实。如贝克认为现代社会是以风险为核心属性的形态,现代风险是现代化进程中人为制造的、系统性的不确定性,这些风险超越了人类的感知和控制能力^[9]。如自然风险、技术风险可能带来人员伤亡、财产损失或环境灾变,这些危害具有独立于感知的客观基础,以 Beck 和 Giddens 为代表的风险社会理论学派,以 Luhmann 为代表的风险系统理论正是此类观点的主流。Beck 在《风险社会》中强调风险常常是不可预见的,而科学研究几乎不能证实有关其存在,风险依赖因果解释,存在相关知识之中,更接近于不确定性的概念^[9]。Luhmann 认为风险引发的损害是系统性的,现代社会的制度分化虽旨在降低复杂性,但反而增加了系统性风险^[13]。在风险社会中许多风险问题涉及利害关系复杂、相关不确定性很大,这就需要超越科学确定的、无价值偏好的传统视角,通过知识和信息、对话和参与等不同方面推动公共政策成为共识和有效执行。

遵循技术取向的客观实在论认为,风险评估只要遵循科学方法逻辑,就能够在认知范围内不依赖于其他因素而独立地开展,而且其结果是普遍适用且有效的。如以安全科学为代表的自然科学领域,通常把风险定义为可能性与损失的期望值,表示为 $E(X) = X \cdot P$, X 表示相关技术风险的收益, P 表示相关概率^[21]。但随着对风险认识不断深入,风险从预期损失的概率分布进化为“不确定性对目标的影响”。为反映这种不确定性,风险分析师把概率设为置信区间或不确定区间 $[\underline{P}, \bar{P}]$,如蒙特卡罗模拟、三角模糊数等评价方法的应用。对于已知的已知,它们是可预测的,随机不确定性通常根据概率描述,采用传统 $E(X)$ 进行评价;已知的未知因其潜在概率分布的信息是不完整的,导致分布不充分或不正确,意味着要根据不同的评价目的、情境和学习目标在多种评价形式中做出置信度选择。而对于未知的未知,当评级模型中反映了对未来的不正确表示、使用了不适当的参数或应用了错误的模型结构时,

就会产生模型风险,通常要采用回溯性评价调整模型结构。

科学风险决策将人视为理性人,能够在现有信息基础上做出最为理性的选择,强调决策的专业性和知识性、信息的客观性和及时性。事实上,技术专家在科学调查复杂性的过程中,知识总是不完整和有选择性的,虽然在某种程度上可通过使用科学方法来表征,但是并不能完全解决。科学知识,特别是数据、信息的局限与缺失,往往制约着人们对风险发生概率和可能后果做出客观、准确的判断。以人工智能、大数据等为代表的新兴技术不断涌现,技术专家运用情景模拟与预测方法为决策者提供风险演化态势的各类情报信息,旨在消除不确定性。但是这种不确定性的测量局限于数据的变化,超出风险分析师知识范围的不确定关系通常不会得到妥善解决,如前沿技术带来的新兴风险与未知威胁或黑天鹅风险。因此,面对不确定性较高的风险时,来自专家的经验知识也不是客观中立的,这使得风险概率评估结果并不可靠,风险评估时缺乏解释力和信息偏差。

1.3 风险二重性

风险二重性观点认为,风险是社会建构和客观实在的辩证性统一,2种视角并非对立,而是相互依存^[11]。风险二重性摆脱了传统风险治理建立在风险实在性或建构性的假设基础之上,它更加强调二者的相互融合,从整体视角来理解风险的复杂性成因以及推动风险治理框架的建构。客观风险通过社会认知和文化语境转化为建构风险,如技术风险可能因公众文化认同或媒体叙事而被放大或淡化,衍生新的风险问题。因此,风险二重性否认公众是“无知者”和被动的知识接受者,不再将公众对科学决策的抵触看作是一种非理性表达,而是主动维护自身权益的途径。公众拥有的地方性知识(在特定文化或社会群体中生成并依赖其独特情境的知识体系,强调知识的本土性、情境性和文化嵌入性),同样有助于推动风险决策的科学化,应视为同专家知识一样重要且合理^[22]。地方知识与科学知识的互动要求风险治理超越单一的实在论或建构论立场。科学风险决策需结合科学分析与公众参与,实现从单向科普转向以公众为中心的双向互动,通过沟通协商和透明化决策,消减风险认知分歧并增强社会信任。这有助于化解技术争议,如疫苗接种或人工智能伦理问题。

风险二重性代表观点有以 Aven 为代表的风险

科学流派,以 Renn 为代表的风险治理学派,他们呼吁整合跨学科知识,提供最新且合理化知识的实践^[23]。风险科学基于不确定性的风险观点,将风险视为不确定性 U 和后果严重性 C 的组合,即 $R = \{A \mid C, U\}$, R 为风险事件, A 为风险情景,而不仅仅将不确定性视为概率,可获得对风险的新认识。在风险实践中,风险沟通的主要挑战与潜在意外和不可预见的情况有关。因此,风险评估是在一定知识的基础上进行,但这些知识可能存在局限性,所以不确定性可进一步分解为概率 Q 与知识强度判断 K 。考虑不同个体主观建构,知识强度不同,后果判断也就不同,故形成 $R = \{A' \mid C', Q, K\}$ 的评估框架^[21],其中, A' 为已知风险情景, C' 为主观后果,以充分考虑评估者知识范围之外的潜在意外事件,因为风险评估中未预见或忽略的事件可能会发生,如黑天鹅与灰犀牛会如期而至。

风险治理强调风险是一个包含“物理”和“社会”维度的复杂现象,即超越客观存在与主观建构的二元对立,倡导主客观因素的融合统一。在多元危机背景下,系统性风险治理存在因果链条难以量化、黑天鹅风险难以穷尽、知识评估主张多元、治理体系条块分割等诸多结构性不足^[4]。在高度复杂与不确定条件下,从风险评估、风险沟通到治理策略需要对传统风险管理方法与工具进行系统性革新,特别是在复杂性建模、风险沟通对话、多方协同治理和提升公众风险素养等多方面能力建设,以适应系统风险的复杂性、不确定性与模糊性。为提升治理效能, Renn 主张跨部门风险评估与跨机构协同机制,构建包容性治理结构,并将韧性管理原则纳入制度设计与政策响应,以增强系统对风险冲击的吸收、恢复与适应能力,进而实现合作性、综合性和包容性的综合风险治理^[7]。

2 蝴蝶效应的二元解释框架

风险二重性决定了蝴蝶效应的解释应该基于风险实在性与社会建构性的辩证统一,本节基于社会建构性阐明蝴蝶效应的风险社会放大机制,基于客观实在性解读蝴蝶效应的风险级联放大框架。

2.1 风险社会放大

风险的社会放大框架 (Social Amplification of Risk Framework, SARF) 起源于 20 世纪 80 年代西方社会,试图描述和解释风险事件、个体心理、社会制度及文化之间的互动如何影响个人或组织的风险认

知,造成风险的放大或弱化^[24]。SARF 开发了一种能够解释包括风险传播在内的广泛研究结果的综合框架,克服风险认知和风险沟通研究的分散性,用来描述潜在风险感知和应对各种动态社会的过程。具体而言,风险放大是风险相对较低的某些危害和事件可能成为社会中特别关注的焦点和社会政治活动的过程,风险的社会放大不仅可以定性和定量地增加关于风险的信号,还可以增加社会对风险的感知、与风险相关的行为以及风险本身及其后果^[25]。因此,风险的社会放大过程包含 2 个阶段:信息传输(风险信号传播)与社会反应(公众对风险感知与行为),如图 2 所示。

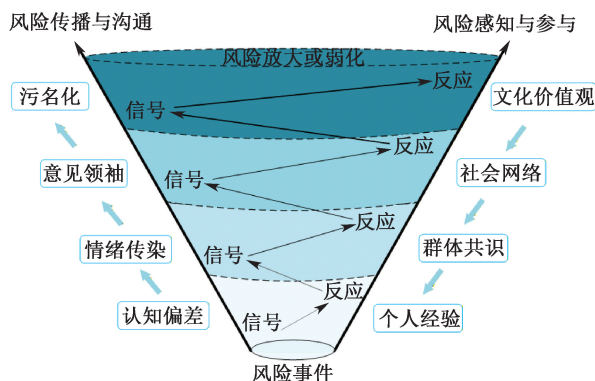


图2 风险社会放大路径

Fig. 2 Pathways of risk society amplification

风险信号说试图说明风险信息在传播过程中的放大原理,信息源通过媒介传递给信息接收者过程中信号的加强或减弱过程。风险信息是由个体和社会实体来传递和处理的,个体即可以是传达风险评估的专家,也可以是正在经受风险的个体,社会实体是新闻媒体、文化团体、公共机构、人际网络等。风险信号说成立的基础是每一条信息都包含真实、推论、价值关联和象征意义。风险信号在传递的过程中,公众根据各自的立场及价值观去解读风险信息并再次传播相关信息,可能会存在以下 2 种情况造成风险误判:①过滤掉重要信号(信息缺失、误传);②过度解读和重构信号(理解偏差、信息失真)^[26]。风险信号经过解读、转换、再解读、再转换,而引起级联效应,对社会造成更大的影响。科学知识可有效衡量客观和特定领域的风险信号,但对于新兴风险与未知风险,高度的科学推理能力反而会导致风险认知减弱,如新冠病毒爆发初期并没有引起人们高度的警惕,因为人们还没有足够的科学理由来担心。

从社会反应视角出发,风险的扩散依赖于公众被“放大”的风险感知,同时混合着公众的情感偏向

以及个人风险素养差异等多方因素的影响。个体对风险事件的消极情感导致了非理性判断,而个体关于风险的科学素养反映了人们对于风险事件的理性判断以及对于风险信息的处理技能,媒介素养构建了人们对风险事件的理解与认知结构^[27]。除此之外,信任危机也是社会风险扩张动力的重要组成部分,对风险沟通或治理的不信任会加剧或降低风险认知,加强或减弱公众对风险信号的反应,促进对风险的可接受性的认知^[28]。公众对风险的评判与政府专家对风险的认知迥然各异,有一套自己的评价标准和价值观,技术官僚给予风险“低微”的定义有时会引发公众巨大风险感知。社会和个人在风险沟通过程中塑造、丧失或重建信任,以日本福岛核电站为例,人们对运营商的信任因为政府管理核电站的能力而受到影响,并波及到德国,致使德国于2022年底关闭境内全部核电。风险社会放大正是沿着“实在风险-感知风险-社会风险”不断扩散、叠加、突变和外化,引发蝴蝶效应。

2.2 风险级联放大

风险级联放大指风险系统中初始风险通过一系列关联机制引发后续风险事件,且后续危害程度呈非线性增长的现象。风险级联放大强调风险间的关联性与并发性,形成错综复杂的耦合网络,为综合治理带来巨大挑战。基于复杂系统治理范式,级联风险的治理困境表现为内生复杂性、科学不确定性、社会模糊性3个方面。

2.2.1 内生复杂性

复杂性是指难以识别和量化大量潜在风险因素和特定不良影响之间的因果关系,本质是风险因素之间的耦合效应,包括协同、冲突、再造、涌现等^[7]。风险级联放大的实质是耦合风险链发、群发、并发的过程,多主体链接在一起使得某些主体的脆弱性状态更容易波及关联的主体,放大灾害后果损失。现代社会-技术的“紧耦合性”使事故风险的发生机制不再遵循传统的线性路径,而是呈现出多节点的网络化特征。复杂网络中每个节点都可能成为事故触发的关键点,而节点之间的相互耦合和依赖关系加剧了事故预测和控制的难度^[29]。学界把这类内部子系统既独立又关联的系统称为“系统的系统”,现代社会-技术系统均处于城市的“三维空间”(图3),系统之间的联系均可在物理、社会和信息空间找到其相对应的“投影”^[30]。澄清级联风险的潜在驱动因素特征和理解其演化特征,需要将不同触发因素之间相互作用和相互关联的复杂关系纳入一

个整体框架^[5]。各方主体进行合作、资源共享、协同应对,确保风险信息互联的效度和精度,实现风险智能感知、实时监测和多点触发,通过提取风险级联效应发生与转化的因果关系,分析风险关联网络与耦合形态,识别与评析关键风险因素、提高系统韧性,防止级联效应扩散和蔓延。

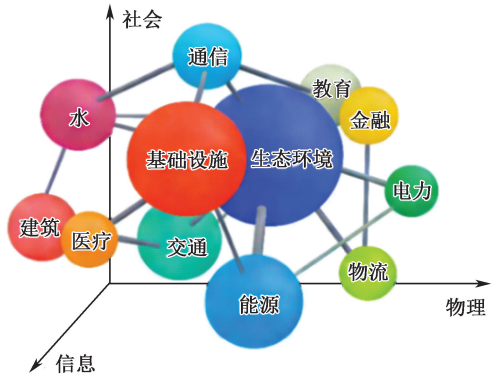


图3 社会-技术系统关联网络

Fig. 3 Socio-technical system correlation network

2.2.2 科学不确定性

不确定性是在某一情境或事件中,由于信息不完整、知识局限或随机干扰等因素,导致无法准确预测结果的状态,反映事物发展的多样性和不可预知性^[10]。不确定性的实质是对复杂性进行科学回应的失灵,社会-技术系统的复杂性导致风险不断涌现新的特征,对风险综合认知和治理能力的要求也越来越高。蝴蝶效应的不确定性来源主要包括2个方面,①风险评估背景下,必须承认人类的知识总是不完整和有选择性的(认知局限);②事故因果链的复杂性降低不完全或不充分(意识疏忽)。级联风险的描述数据主要从事事故过程分析和经验教训中获得,但现实中数据可用性较低,尤其是风险信息的局限与缺失,使得人们难以客观、精准的评估风险发生的概率和可能结果^[2]。事实上,在科学调查复杂性的过程中,人类知识总是不完整和有选择性的。级联风险常以隐形链为开端,风险发生和演化的速度相对较慢,风险因素在因果链中的分布比较稀疏,而随着风险发展到显性链阶段,风险事件节点爆发的速度加速上扬。故需要构建以灾害情景、响应任务相匹配的风险知识、监测预测、信息传递、备灾响应机制,以降低不确定性对蝴蝶效应蔓延的影响。

2.2.3 社会模糊性

模糊性意味着风险信息来源、内容及其影响存在多种解读方式,对同一风险现象及其背景的不同主观解释会重新塑造风险^[31]。级联风险传播链非常隐蔽和复杂,不同风险接受水平、文化价值观、社

会背景等都会影响多元社会群体对风险的感知,进而影响其行为规范。在高度互联互通的社会-技术网络中,受到级联影响的主体通过多种形式连接,信息不能在管理主体之间有效流动,导致对级联风险被低估、忽视或响应失灵。关键信息传递与共享在级联风险治理中起到至关重要的作用,但是级联风险演化过程中涉及多主体,在功能和组织属性缺失的情况下,受价值偏好与信息不兼容的影响,不同主体掌握的风险信息有很大差异,这就会导致关键信息缺失或信息失真的问题^[32]。风险决策是建立在科学信息基础之上,关键风险信息的缺失与失真会影响到责任主体风险感知与行为决策,进而导致风险态势扩大。随着复杂性的不断提高,风险信息越来越庞大、复杂,碎片化、多样化的数据更注重组织对信息的综合利用,要求组织在对细微现象或细微差错进行多角度的观察、充分总结,寻找根本原因,从而实现从细微到宏观的预警信号。

3 风险放大韧性治理架构

全球化、工业化、城市化、信息化等特征形塑了蝴蝶效应非线性、不确定性、高脆弱性的复杂景观,提升社会-技术系统治理韧性是实现安全可持续发展的关键策略。基于风险二重性,分别针对从技术治理与社会治理提出蝴蝶效应韧性治理架构,如图 4 所示,以提升风险放大治理能力。

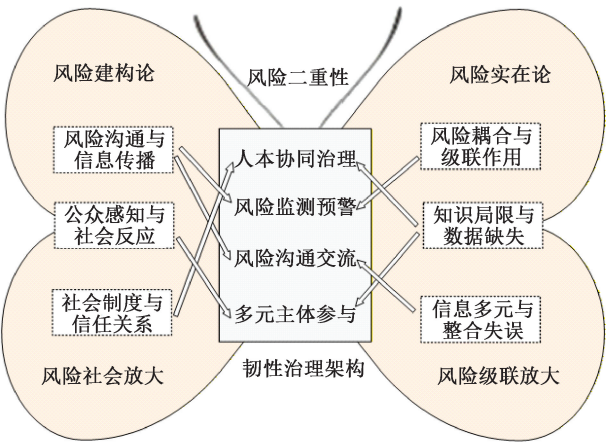


图 4 蝴蝶效应韧性治理架构

Fig. 4 Butterfly effect resilience governance framework

3.1 构建人本协同治理理念

风险二重性表明:人与风险从对抗关系转向相互依存、互为主客体的关系。在风险社会及其高度复杂性和高度不确定性条件下,根据既有科学理论和方法,尤其是按照分析性思维的模式,无法有效感

知新兴或未知风险,更无法实现精准预测^[10]。因此,高度不确定下的风险认知要求人们要有创新思维,需要人们将知识、思想、专业等整合到行动当中,以适应复杂风险情境。构建以人本协同为核心的风险治理体系,坚持“人既是风险作用对象,也是风险治理主体”的协同治理理念,将公众参与纳入风险治理体系^[33]。人本协同理念的核心价值主要体现在以下 3 个方面:①社会参与风险治理,保障风险决策的科学性与民主性,保障公众的参与权、知情权和监督权;②公平与包容,保障在风险信息获取、理解、回应方面的机会公平,兼顾多元群体差异;③赋权与赋能,公众通过教育、培训、政策安排,从单纯的信息接收者转变为风险感知、传播与反应的主动节点。以此构建跨领域、跨部门、跨层级的风险协商决策机制,精准判断各类风险及其次生、衍生风险。

3.2 健全风险监测预警体系

构建有效的风险预警机制,提高预见能力,是提升社会韧性的重要依托。蝴蝶效应的非线性、复杂性、不确定性和模糊性,特别是意料之外的“黑天鹅”,要求全体社会具有良好的科学预见和预警能力。人本协同理念为风险预警体系提供了新的发展动力,人即是风险预警信号接受对象也是发出主体,风险预警信息要实现“到人-看懂-照做”的末端转化^[34]。人本协同风险预警体系通过整合监测预测、风险评估、信息传递、应对机制和恢复机制等核心功能与关联流程,提供科学信息促进公民、社区、企业与政府机构在风险苗头出现时采取行动以降低潜在损失。建立健全多层次、系统化的人本协同风险预警体系同时应该遵循:全员覆盖可及,预警信息准确及时、预警内容可理解、预警指令可执行;共建共享共用,覆盖政府、社区、企业、传播媒介与科研机构等主体开展联合会商,形成从监测到响应的联动机制;持续改进提升,通过开展教育培训、演练复盘、技术迭代,不断优化风险预警效果,提高公众的风险预控能力。

3.3 完善风险沟通交流机制

公众既是风险知识的生产者,又是风险信号的传播者,“语境模式”和“民主模式”为科学的社会建构和公共治理提供了多元途径^[35]。风险沟通应摒弃技术范式下的单线传播模式,向民主范式下的多元参与模式转变。①改变官方即主体、公众即客体的二元对立模式,强调风险沟通各方平等是实现有效风险沟通的关键基础。②包容与信任是风险沟通

的重要途径。政府、企业和专家既要确保风险信息的真实性、全面性和对称性,以包容和理解心态认同公众所担忧的潜在风险和自身合法权益,消减风险认知分歧。③采取与风险情境相适应的沟通策略。风险沟通除告知险情、说明风险决策知识背景与预期结果的基础职能外,还应通过灵活、人性化的沟通策略向公众传递尊重与关切同情的情绪,减缓舆论压力。④协商合作和达成共识是风险沟通的最终目标。多方沟通主体通过民意协商、政策透明、即时回应等风险沟通方式,促进对风险形成共同的理解和认知,提高各方对风险的判断与适应能力,实现有效风险沟通。

3.4 推动多元主体参与治理

在知识劳动分工日趋专业化的现代社会,公众从理解科学、接受科学向公众参与科学、科学民主决策的转变,是实现风险治理的重要途径。社会-技术系统在物理、社会、信息组成的三维空间中高度互联,级联与耦合风险链演化迅速,单一层级或管理部门难以有效应对。因此,在风险治理中技术专家不再处于绝对的垄断地位,公众同样拥有关键的社会政治话语权。公众作为治理主体的重要基础是其有一套评价风险的标准和价值观,以自己的方式来定义风险,以期规避可能的不利后果。行业、政府、社区与居民在构建风险意识、培训风险预防知识,到准备、实施和评估风险缓解计划,众多利益相关者在成为风险治理一线人员的同时,形成对风险的共同认知,塑造对风险较为一致的可接受性和承受力,保证处置的灵活性和参与的有效性,进而消除分歧。同时,政府机构充分发挥在风险治理中的监督与领导角色,重视网络舆情监督与吸纳民意汇集民智,形成多元主体参与的风险治理机制。在形成风险治理主体与资源下沉的同时,政府在政策制定与知识供给方面进行统筹协调,为适应、处置和参与力的存续提

供有力的制度保障。

4 结 论

1) 风险二重性强调风险客观实在性与社会建构性的辩证统一,解构了风险不确定性的根源为现代社会-技术系统的复杂性与风险社会建构导致的模糊性。风险二重性要求风险治理从传统单一控制向包容性治理转变。

2) 基于社会建构性阐明蝴蝶效应风险社会放大的解释框架。风险通过信息传递和社会反应机制被放大,即风险信息通过社会传播,影响公众的认知和反应,公众对风险的反应会引发次生风险,包括持久的社会压力与信任危机等。

3) 基于客观实在性构建蝴蝶效应风险级联放大的解释框架。现代社会-技术风险相互关联、相互依存,形成错综复杂的演化网络,表现为内生复杂性、科学不确定性、社会模糊性,为系统风险级联放大提供条件。

4) 风险二重性要求蝴蝶效应治理要建立以人为核心的韧性治理体系,具体以构建人本协同治理理念、健全风险监测预警体系、完善风险沟通交流机制、推动多元主体参与治理转化为主要抓手,提升蝴蝶效应韧性治理效能。

5 后 记

本文是风险动物园系列研究的终结篇。该系列论文构建了风险动物园“图谱构成→理论溯源→机制阐释→分析评估→实践应用→案例解读(黑天鹅+灰犀牛+金丝猴+大白兔+蝴蝶效应)”知识架构,得到了同行的热切鼓励和深度反馈,为完善风险隐喻理论体系与科普转化指明方向。然囿于所知,风险动物园仍属刍议,不乏欠妥之处,欢迎学界批评砥砺。

参 考 文 献

- [1] Stoutenborough W J, Kirkpatrick J K, Field J M, et al. What butterfly effect the contextual differences in public perceptions of the health risk posed by climate change[J]. Climate, 2015,3(3):668-688.
 - [2] 魏玖长. 风险耦合与级联:社会新兴风险演化态势的复杂性成因[J]. 学海,2019(4):125-134.
 - [3] 张惠,翟拉. 城市复合型灾害治理:吸纳复杂系统范式的应对之道[J]. 广州大学学报(社会科学版),2022,21(6):145-157.
- Zhang Hui, Zhai La. Urban compound disaster governance: responses absorbing complex system paradigm[J]. Journal of Guangzhou University (Social Science Edition), 2022,21(6):145-157.

- [4] Renn O, Laubichler M, Lucas K, et al. Systemic risks from different perspectives[J]. *Risk Analysis*, 2022, 42(9): 1 902–1 920.
- [5] Pescaroli G, Alexander D. Understanding compound, interconnected, interacting, and cascading risks: a holistic framework[J]. *Risk Analysis*, 2018, 38(11): 2 245–2 257.
- [6] 李智超. 从突发事件到系统风险: 城市级联灾害的形成与治理[J]. *行政论坛*, 2022, 29(6): 94–101.
Li Zhichao. From emergencies to system risks: the formation and governance of urban cascading disasters [J]. *Administrative Tribune*, 2022, 29(6): 94–101.
- [7] Renn O. Risk governance: coping with uncertainty in a complex world[M]. London: Routledge, 2017: 1–12.
- [8] Aghakouchak A, Huning L S, Chiang F, et al. How do natural hazards cascade to cause disasters [J]. *Nature*, 2018, 561(7724): 458–460.
- [9] Beck U. The terrorist threat: world risk society revisited[J]. *Theory, Culture & Society*, 2002, 19(4): 39–55.
- [10] Aven T. An uncertainty-based risk perspective on risk perception and communication: opportunities for new empirical-based research[J]. *Risk Analysis*, 2025, 45: 2 073–2 078.
- [11] 王超. 超越二元之争: 现代灾害风险科学研究的逻辑进路及转向[J]. *灾害学*, 2025, 40(2): 61–64, 76.
Wang Chao. Beyond the dualistic debate: the logical approach and direction of modern disaster risk science research[J]. *Journal of Catastrophology*, 2025, 40(2): 61–64, 76.
- [12] 斯科特·拉什, 王武龙. 风险社会与风险文化[J]. *马克思主义与现实*, 2002(4): 52–63.
- [13] Luhmann N. Technology, environment and social risk: a systems perspective[J]. *Industrial Crisis Quarterly*, 1990, 4(3): 223–231.
- [14] Slovic P. Perception of risk[M]. London: Routledge, 2016: 220–231.
- [15] Aven T. Risk science contributions: three illustrating examples[J]. *Risk Analysis*, 2020, 40(10): 1 889–1 899.
- [16] Tsujikawa N, Tsuchida S, Shiotani T. Changes in the factors influencing public acceptance of nuclear power generation in Japan since the 2011 Fukushima Daiichi nuclear disaster[J]. *Risk Analysis*, 2016, 36(1): 98–113.
- [17] Sandman P M. Hazard versus outrage in the public perception of risk: in effective risk communication: the role and responsibility of government and nongovernment organizations [M]. Boston: Springer US, 1989: 45–49.
- [18] 黄清. 国外风险传播研究的路径、框架和启示[J]. *国外社会科学*, 2018 (6): 137–144.
- [19] Trickey G. Understanding and measuring risk type[J]. *Assessment and Development Matters*, 2012, 4(1): DOI: 10.53841/bpsadm.2012.4.1.2.
- [20] Aven T, Zio E. Globalization and global risk: how risk analysis needs to be enhanced to be effective in confronting current threats[J]. *Reliability Engineering and System Safety*, 2021: DOI: 10.1016/j.ress.2020.107270.
- [21] Aven T. Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation[J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 253(1): 1–13.
- [22] Wynne B. Misunderstood misunderstanding: social identities and public uptake of science[J]. *Public Understand Science*, 1992, 1(3): 281–304.
- [23] Aven T, Thekdi S A. On how to characterize and confront misinformation in a risk context[J]. *Journal of Risk Research*, 2022, 25(11/12): 1 272–1 287.
- [24] Kasperson R E, Renn O, Slovic P, et al. The social amplification of risk: a conceptual framework[J]. *Risk Analysis*, 1988, 8(2): 177–187.
- [25] Kasperson R E, Webler T, Ram B, et al. The social amplification of risk framework: new perspectives[J]. *Risk Analysis*, 2022, 42(7): 1 367–1 380.
- [26] 汪伟全. 风险放大、集体行动和政策博弈: 环境类群体事件暴力抗争的演化路径研究[J]. *公共管理学报*, 2015, 12(1): 127–136, 159.
Wang Wei-quan. Risk amplification, collective action and policy game: a descriptive analysis about environmental groups struggle violence[J]. *Journal of Public Management*, 2015, 12(1): 127–136, 159.
- [27] Sumi T, Hirayama R, Kashima Y. Risk perception and risk talk: the case of the Fukushima Daiichi nuclear radiation risk[J]. *Risk Analysis*, 2017, 37(12): 2 305–2 320.
- [28] Earth A, Siegrist M. The social amplification of risk framework: a normative perspective on trust [J]. *Risk Analysis*, 2022, 42(7): 1 381–1 392.

- [29] 佟瑞鹏,胡向阳,王乐瑶,等. 风险动物园(IV):基于复杂系统思维的风险隐喻事件识别与评估[J]. 中国安全科学学报,2024,34(2):53-59.
Tong Ruipeng, Hu Xiangyang, Wang Leyao, et al. Risk zoo (IV): risk metaphor event identification and evaluation based on complex system thinking[J]. China Safety Science Journal, 2024,34(2):53-59.
- [30] 方东平,李在上,李楠,等. 城市韧性:基于“三度空间下系统的系统”的思考[J]. 土木工程学报,2017,50(7):1-7.
Fang Dongping, Li Zaishang, Li Nan, et al. Urban resilience: a perspective of system of systems in trio spaces[J]. China Civil Engineering Journal, 2017, 50(7): 1-7.
- [31] Johansen I L, Rausand M. Ambiguity in risk assessment[J]. Safety Science, 2015, 80: 243-251.
- [32] 陈长坤,王思琪,孙凤琳,等. 城市关联基础设施多层网络韧性评估模型[J]. 中国安全科学学报,2024,34(5):204-213.
Chen Changkun, Wang Siqi, Sun Fenglin, et al. A resilience assessment model for multilayer networks of urban interdependent infrastructure [J]. China Safety Science Journal, 2024,34(5):204-213.
- [33] 范如国. “全球风险社会”治理:复杂性范式与中国参与[J]. 中国社会科学,2017(2):65-83,206.
Fan Ruguo. Governance of "global risk society": the paradigm of complexity and Chinese participation[J]. Social Sciences in China, 2017(2): 65-83,206.
- [34] 欧阳敏,程泽楷,张亦琼,等. 人本协同城市早期预警体系的建设思路与发展策略[J]. 中国工程科学,2025,27(5):279-293.
Ouyang Min, Cheng Zekai, Zhang Yiqiong, et al. A people-centered collaborative framework and development strategies for urban early-warning systems[J]. Strategic Study of CAE, 2025, 27(5): 279-293.
- [35] 刘翠霞. 知识的力量:公众风险感知的影响因素审思;基于一项科普干预实验与调查的探索性分析[J]. 山东社会科学, 2019 (11):96-109.
Liu Cuixia. The power of knowledge: a reflection of the influence factors of public risk perception-an exploratory analysis based on experiment and investigation intervened by popular science[J]. Shandong Social Sciences, 2019 (11):96-109.

作者简介: 佟瑞鹏 (1977—),男,黑龙江穆棱人,博士,教授,主要从事行为安全管理、职业心理健康、环境风险评估等方面的研究。E-mail: tongrp@cumtb.edu.cn。