

中文引用格式:赵一归,王梦瑶,邓清禄,等. 安全生产治理系统演化模型及机制[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(8): 14–21.

英文引用格式:ZHAO Yigui, WANG Mengyao, DENG Qinglu, et al. Evolution model and mechanism of work safety governance system[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(8): 14–21.

安全生产治理系统演化模型及机制^{*}

赵一归^{1,2}教授级高级工程师, 王梦瑶³, 邓清禄¹教授, 郭海林^{**1}副教授

(1 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074; 2 应急管理部 信息研究院, 北京 100029; 3 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083)

中图分类号: X913.4

文献标志码: A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.08.0277

资助项目: 国家重点研发计划资助项目(2022YFC3004804)。

【摘要】 为推动安全生产治理现代化理论发展, 基于系统理论与治理理论, 构建包含治理主体、治理规则、治理工具、治理资源的安全生产治理系统要素模型, 通过复杂适应系统(CAS)理论分析聚集、非线性、流、多样性、标识、内部模型和积木7个基本特性, 进一步结合适应度景观理论和NK模型, 构建安全生产治理系统演化的NK景观模型, 揭示系统基因形态(A-R-T-S)的16种状态组合及其适应度分布。结果表明: 安全生产治理系统由治理主体、治理规则、治理工具及治理资源4个要素构成, 具备复杂适应系统的特性; 系统演化遵循“初建阶段: 随机性游走和低状态锁定→发展阶段: 适应性游走和局部协同局限→成熟阶段: 适应性跳跃和深度协同”3阶段机制; 我国安全生产治理系统演化涵盖系统初建期(1978—2002年)、系统完善期(2003—2012年)、系统现代化推进期(2012—2024年)3个阶段和相应机制。

【关键词】 安全生产治理系统; 系统演化; 复杂适应系统(CAS); 适应度景观; NK模型

Evolution model and mechanism of work safety governance system

ZHAO Yigui^{1,2}, WANG Mengyao³, DENG Qinglu¹, GUO Hailin¹

(1 School of Engineering, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan Hubei 430074, China;

2 Information Institute of the Ministry of Emergency Management, Beijing 100029, China;

3 School of Engineering and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: In order to promote the development of theories on the modernization of work safety governance, a four-dimensional model of the work safety governance system—comprising governance actors, governance rules, governance tools, and governance resources—was constructed based on systems theory and governance theory. Using CAS theory, seven fundamental characteristics—aggregation, nonlinearity, flow, diversity, tagging, internal models, and building blocks—were analyzed. Furthermore, by integrating fitness landscape theory and the NK fitness landscape model, an NK landscape model for the evolution of the work safety governance system was developed, revealing 16 state

* 文章编号: 1003-3033(2025)08-0014-08; 收稿日期: 2025-04-09; 修稿日期: 2025-06-12

** 通信作者: 郭海林(1973—), 男, 河北唐山人, 博士, 副教授, 主要从事安全风险分析与智能化管控技术方面的研究。E-mail: guohailin@cug.edu.cn。

combinations of the system’s genetic morphology (A-R-T-S) and their fitness distributions. The results indicate that the system’s evolution follows a three-stage mechanism: Initial Stage: Random walk and low-state locking → Development Stage: Adaptive walk and local coordination limitations → Maturity Stage: Adaptive leap and deep coordination. Empirical analysis indicates that the evolution of China’s work safety governance system encompasses three periods with corresponding mechanisms: the System Initial Establishment Period (1978—2002), the System Improvement Period (2003—2012), and the System Modernization Advancing Period (2012—2024).

Keywords: work safety governance system; system evolutionary; complex adaptive systems (CAS); fitness landscape; NK fitness landscape model

0 引言

《“十四五”国家安全生产规划》^[1]明确提出,到 2035 年基本实现安全生产治理体系和治理能力现代化的奋斗目标。安全生产治理系统是典型的复杂巨系统,深入探究其构成要素和特点,揭示其演化规律与运行机制,对推动安全生产形势持续稳定向好、实现安全生产治理现代化具有重要意义。

目前,国内外学者针对安全生产治理系统从不同角度开展了研究。LEVESON^[2]提出系统理论事故模型与过程,认为安全生产治理系统由技术、组织、人员这 3 个要素构成,其演化依赖各要素的动态适应能力。吴超^[3]从安全系统科学的角度,探讨复杂系统演化中的负效应现象及其控制方法。李莎莎等^[4]结合复杂系统理论,提出一种系统故障演化的动态分析方法,分析多要素协同作用下的故障模式识别问题。SONG Li 等^[5]从社会经济发展的角度分析发现,经济快速发展对安全生产系统存在一定程度的负效应,且不同地区差异显著,区域工伤事故死亡率随经济收入的增加而下降。曾明荣等^[6]筛选出影响宏观安全生产系统风险的 12 个因素,并得出安全生产规划、安全生产控制指标、安全生产法规和安全管理组织机构对地区宏观安全生产系统风险的影响程度最高。综上,当前关于安全生产治理系统演化 and 机制的研究,较少从治理理论和复杂适应系统(Complex Adaptive Systems, CAS)理论相结合的角度展开,且对系统各要素间相互关系及系统整体协同效应的深度挖掘不足。

鉴于此,笔者拟基于 CAS 理论和治理理论,运用适应度景观理论和 NK 模型构建安全生产治理系统演化模型,分析系统各要素间的相互关系,揭示系统演化规律,剖析系统演化机制,以期为推进安全生产治理现代化提供一定的参考。

1 系统要素及复杂适应性特性

1.1 安全生产治理系统界定

姜雅婷^[7]从治理主体及其责任的角度出发,认为安全生产治理是指企业、政府、行业及社会等主体基于各自责任共同参与,为保障生产经营安全、预防和减少事故而展开的一系列活动与过程。根据治理理论^[8],区别于安全生产管理和安全生产监管,对安全生产治理定义如下:由政府、生产经营单位、中介机构、行业组织、社会公众等多元治理主体共同参与,依据治理规则,调配治理资源,运用治理工具,有效防范化解安全风险、减少安全事故、提升人民群众安全感的过程。根据系统理论,系统是由若干要素构成的、为实现特定的目的而相对独立存在的有机整体;系统要素指构成系统的各个部分,又称为子系统^[9]。结合该定义,将安全生产治理系统划分为治理主体、治理规则、治理工具、治理资源 4 大要素,分别对应治理主体子系统、治理规则子系统、治理工具子系统、治理资源子系统,如图 1 所示。

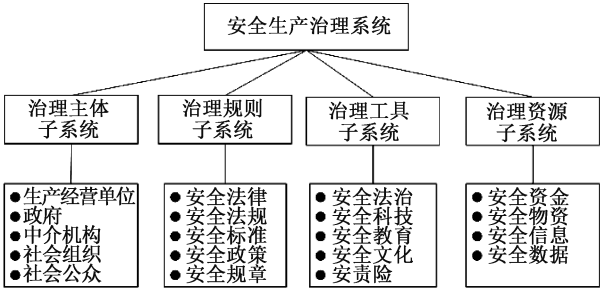


图 1 安全生产治理系统

Fig. 1 Work safety governance system

1.2 复杂适应性特性分析

HOLLAND^[10]将 CAS 的 7 个基本特性分为 4 个特征和 3 个机制。基于此,对照分析安全生产治理系统的复杂适应性。

1.2.1 特征分析

1) 聚集。CAS 的主体通过黏合形成更高一级的主体,即介主体,而介主体又可聚集产生介介主体,如此循环往复,构建典型层次结构^[11]。在安全生产治理系统中,人作为最基本的适应性主体,聚集形成基层政府部门、生产经营单位、中介机构、社会组织、社会公众等高一级的介主体,这些介主体围绕安全生产治理目标持续聚集与再组织,进而推动系统的进化和发展。

2) 非线性。在 CAS 中,非线性表现为主体间相互作用的结果,并非各主体独立作用的简单线性叠加,而是具有乘数效应。在安全生产治理系统中,各类主体存在异质性,参与治理的动力、决策和行为上存在天然的差异性。同时,治理环境中的政策、法律、市场等随机干扰因素,会导致不同主体间存在复杂的博弈合作关系,呈非线性作用。

3) 流。CAS 中存在由节点、连接者、资源组成的流结构。在安全生产治理系统中,各类主体构成网状系统中的节点,沟通平台和信息技术作为连接者,促使信息、资金、技术、装备、方案等资源在主体间流动,形成安全生产治理的流特征,推动整个系统演化和发展。

4) 多样性。多样性是 CAS 的显著特点之一。在安全生产治理系统中,主体的多样性是系统多样性的基础,各主体在参与治理的定位、功能和需求上存在差异,导致主体间的交互方式不同。同时,系统处于经济、政策、法治、文化等多样性的环境中,这些因素对系统演化产生了显著影响。

1.2.2 机制分析

1) 标识机制。在 CAS 中,各主体间基于一定的选择而非随意进行聚集行为,标识则为聚集行为生成边界。在安全生产治理系统中,存在如安全、科技、行业治理等众多标识,其中安全最为重要。例如:政府煤炭管理部门、煤炭企业、煤炭行业协会、煤炭行业中介机构等,在安全标识机制下聚集,构成煤矿安全生产治理系统的主体。

2) 内部模型机制。CAS 理论指出,主体在适应过程中,会受外部刺激并作出反应,进而逐步建立内部模型机制,并逐渐具备一定智能。内部模型具有动态性,主体会在持续适应过程中对其优化。在安全生产治理系统中,每个主体都有基于经验的内部模型,并在与外界的交互作用过程持续对其优化。

3) 积木机制。CAS 由基本单元(积木块)通过多样化方式组合构建,其复杂程度不仅取决于单元

数量,更取决于组合规则的可能性。在安全生产治理系统中,每个治理主体可被视为积木,系统中的法律法规、政策、标准等治理规则要素,以及不断产生的新的规则制度等也都是系统中的积木。处在不同层级的积木,其影响力和作用不同,而积木的不同组合方式则会产生不同的系统行为结果。

2 系统演化模型构建

2.1 适应度景观理论和 NK 模型的基本原理

适应度景观理论将生物进化类比为在三维适应度景观上的探索过程。景观中的每个点表示 1 种可能的基因型,其海拔高度表示生存适应度,高峰表示高适应度,低谷表示低适应度。不同基因型适应度的差异,形成了由高峰、低谷构成的崎岖地形,即适应度景观。

生物学家 KAUFFMAN^[12] 在适应度景观的基础上,提出 NK 模型,以定量研究生物的进化。该模型假设某物种有 N 个基因,不同基因的上位互动数目为 K ,每个基因有许多等位基因,用 A_i 表示,则该物种所有基因组合的数量 S 为:
$$S = A_1 \times A_2 \times \cdots \times A_N = \prod_{i=1}^N A_i$$
除基因数目 N 外,生物进化过程的复杂程度还与 K 有关。基因数目比较少的生物体,可能因为 K 的增大,导致产生的组成结构数量增多,这种特性限制了 NK 模型的应用。基于此,该模型应用于具有相同 K 的结构,以达到用统一的参数 K 反映生物进化的复杂特征的目的。 K 的取值范围为 $0 \leq K \leq (N-1)$, $K=0$ 时,表示各基因之间不存在关联; $K=N-1$ 时,表示各基因不仅受自身状态的影响,还受其他基因的影响。

在 NK 模型的实际应用中,由于生物体自身结构的复杂特性和基因间的非线性关系,整个生物体的适应度函数无法确定。为此,KAUFFMAN^[12] 提出一种简化计算方式:如果基因 i 自身产生变异,或其关联基因产生变异,则从 $(0, 1)$ 均匀分布的随机变量集合中抽取随机数,作为该基因对生物体整体适应度的贡献值 p_i ,此时生物体整体适应度值为:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i$$

LEVINTHAL 等^[13] 将 NK 模型引入到组织管理研究,验证了其在管理学中的适用性。

2.2 系统演化的 NK 景观模型构建

基于适应度景观理论和 NK 模型的思想,将安

全生产治理系统类比为进化中的生物体。系统的整体演化适应能力对应生物体的适应度, 系统中各要素则相当于生物基因。要素间的相互作用反映基因间的互作关系, 而单个要素的可能状态数量则对应基因的等位基因数量。安全生产治理 CAS 与生物体的类比关系如图 2 所示。

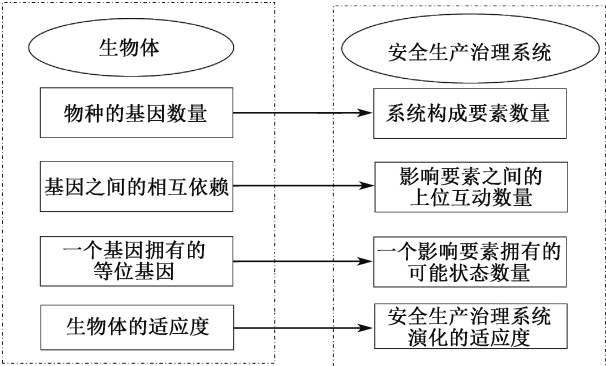


图 2 安全生产治理 CAS 与生物体的类比关系
Fig. 2 Analogical relationship between CAS of work safety governance and living organism

在安全生产治理系统适应性演化过程中, 治理主体、治理规则、治理工具、治理资源等要素间持续产生相互依赖和相互作用, 形成形态各异的要素状态组合, 构成系统内多样化的基因形态空间, 最终产生高低不同的适应性景观。结合图 2 中的类比关系和 NK 模型的基本原理, 可得出系统适应性演化与生物体进化的对应关系(图 3)。

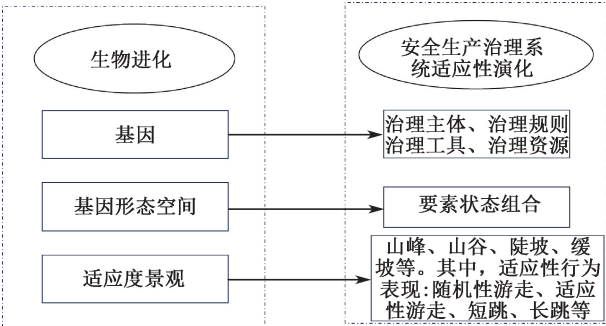


图 3 系统适应性演化与生物体进化的对应关系
Fig. 3 The correspondence between adaptive evolution of systems and evolution of organisms

将安全生产治理系统演化的适应度定义为治理主体、治理规则、治理工具和治理资源 4 大要素对系统整体演化贡献度的平均值, 计算如下:

式中: W 为整体适应度; N 为构成要素的数量; w_i 为要素 i 对整体适应度的贡献, 该值由第 i 个要素自身

的可能状态以及影响该要素的 K 个其他要素的可能状态决定。

3 系统演化过程及机制

3.1 适应度景观模拟

安全生产治理系统适应性演化的要素包括治理主体 A 、治理规则 R 、治理工具 T 和治理资源 S , 要素的数量 $N=4$ 。系统中各要素的相互作用关系 K 取值范围为 $[0, 3]$, 此处 $K=3$, 表示各要素均具有相关性。以 $(0, 1)$ 区间内的数值表征影响系统适应性演化中要素的状态, 以 0 和 1 表示, 则安全生产治理系统演化的适应度空间有 $2^4=16$ 种组合。按照 $A-R-T-S$ 的顺序, 借助 16 个 4 位二进制编码构成的集合 Ω 来表示状态空间, 即 $\Omega=\{ARTS/A=0, 1; R=0, 1; T=0, 1; S=0, 1\}$ 。其中, $A=0$ 表示独立治理, $A=1$ 表示合作治理; $R=0$ 表示相对完善的治理规则, $R=1$ 表示完善的治理规则; $T=0$ 表示相对先进的治理工具, $T=1$ 表示先进的治理工具; $S=0$ 表示有限的治理资源, $S=1$ 表示丰富的治理资源。

首先, 以 $N=4, K=3$ 为参数, 利用 Matlab7.0 软件编写的 NK 模型仿真程序, 得到 A, R, T 和 S 的适应度数据, 并从中选取 50 组作为样本。其次, 标准化处理数据, 计算每个要素所有模拟适应度值的均值, 并对比每次的模拟值与该均值, 低于均值标记为 0, 高于则标记为 1。最后, 归类组合状态, 以每个组合状态中 4 个要素适应度值的平均值作为该组合状态的适应度值; 对相同类型的状态组合, 其最终适应度值取组内所有组合适应度值的均值。不同组合状态的模拟适应度值见表 1。

表 1 不同组合状态的模拟适应度值

Table 1 Adaptation landscape table of work safety management system evolution

组合状态	A	R	T	S	W
1	0	0	0	0	0.459 15
2	0	0	0	1	0.543 43
3	0	0	1	0	0.462 37
4	0	1	0	0	0.526 82
5	1	0	0	0	0.439 08
6	0	0	1	1	0.517 14
7	0	1	0	1	0.555 86
8	0	1	1	0	0.510 91
9	1	0	0	1	0.376 72
10	1	1	0	0	0.405 92
11	1	0	1	0	0.700 45

续表 1

组合状态	A	R	T	S	W
12	1	0	1	1	0.460 11
13	0	1	1	1	0.437 7
14	1	1	0	1	0.515 28
15	1	1	1	0	0.627 48
16	1	1	1	1	0.786 46

3.2 系统演化过程及机制分析

1) 初建阶段。此阶段,安全生产治理系统呈现随机性游走和低状态锁定。系统各要素处于低效状态时, A 、 R 、 T 、 S 组合为“0000”,整体适应度 $W = 0.459\ 15$ 。由于每个要素的效果依赖其他 3 个要素,这种强关联性导致“低状态锁定”。当单一要素尝试改变(如 $R = 1$)时,因 A 、 T 、 S 仍为 0,其适应度仅提升至 0.526 82,整体效果极为有限。然而,治理主体通过随机地尝试改变系统各要素的状态来适应环境,这种随机性游走机制,使得某些主体能够正确把握规则搜寻方向,逐渐适应环境变化,从而更快成长壮大,进而推动系统的适应性演化发展。

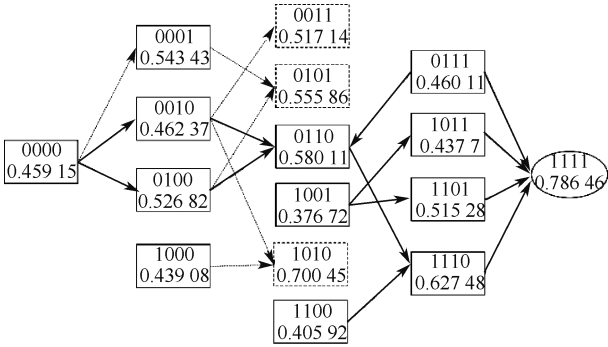
2) 发展阶段。此阶段,安全生产治理系统呈现出适应性游走和局部协同局限。各主体不断总结汲取随机性游走积累的经验,持续增强适应能力,并适时补充更新系统在内适应演化过程中的规则集,随机性游走转变为有限理性探索,从而在选择相对正确的行为决策,循序渐进地攀爬到更高适应度的山峰。

适应性游走能显著降低随机性游走导致的不确定性与随机性,促使系统在该阶段内稳定趋近更高适应度的峰值区域。例如:当 $R = 1$ 、 $T = 1$ 初步提升时, W 提升至 0.580 11;当 $A = 1$ 、 $T = 1$ 提升时, W 大幅提升至 0.700 45,体现了部分协同的乘数效应。然而,由于部分因素不能同步发展甚至缺失,可能出现局部协同的局限性。例如: $A = 1$ 与 $S = 1$ 形成部分协同,但 R 和 T 的缺失成为瓶颈时, W 降低至 0.376 72。

另外,由于治理主体的有限能力与系统要素间复杂的关系,使得适应性游走易受初始搜索点的影响。如果初始搜索点选择不当,则容易陷入局部最优的陷阱。运用布尔超立方体描述系统采用适应性游走而出现的局部最优陷阱,其适应度景观如图 4 所示。

由图 4 可知:出现 3 个局部最优值 0.517 14、0.555 86 和 0.700 45,表示某些状态组合通过局部搜索无法达到全局最优值 0.786 46。

3) 成熟阶段。此阶段,安全生产治理系统呈现出适应性跳跃和深度协同。经过长期的适应性游



注:实方框为要素的状态组合及对应的适应度值;椭圆框为全局最优组合及对应的全局最优值;虚方框为局部最优组合及对应的局部最优值;实箭线为可以到达全局最优值的变革路线;虚箭线为只能到达局部最优值的变革路线。

图 4 系统“适应性游走”适应度景观

Fig. 4 System “adaptive wandering” fitness landscape

走,系统的适应能力虽已得到渐进式提升,但形成的惯例使其容易陷入经验主义,进而陷入局部最优陷阱。因此,需要通过适应性跳跃机制摆脱惯性依赖,跃升至新的发展水平。具体而言,要适时进行创新变革,打破原有规则与惯例,创新治理规则和治理工具,并加大治理资源投入,从而形成新的演化和发展动力。

对于状态“1000”(适应度 0.439 08),通过适应性游走仅能抵达“1010”处的局部最优(适应度 0.700 45),无法达到全局最优。而通过创造性变革,同步变更 2 个要素状态,可直接跃迁至新状态“1110”,从而为下一步达到全局最优打下基础。系统各要素通过适应性游走或适应性跳跃,最终实现全局协同跃迁,形成治理主体、治理规则、治理工具、治理资源的深度协同。此时,要素间构成的网络结构日趋稳定,安全生产治理效能不断提高,所有要素对应表 1 中“1111”的组合状态,适应度 $W = 0.786\ 46$ 。

4 系统深演化型实证分析

依据安全生产治理系统演化 NK 景观模型,首先,基于 1978—2024 年我国安全生产相关年鉴和统计数据,结合专家意见,对 A 、 R 、 T 和 S 打分。其次,计算各因素得分的均值,并对比每年的得分与该因素的均值。得分低于均值时,赋值为 0,表示该年中该因素对系统适应度的贡献低于平均水平;得分高于均值时,赋值为 1,表示贡献高于平均水平。然后,以 10 万从业人员死亡率表征当年安全生产治理绩效,经归一化处理后,得到该年安全生产治理系统的适应度值。最后,归类 A 、 R 、 T 和 S 的状态组合,

同类状态组合的适应度值取其均值作为该组合的最终适应度值。我国安全生产治理系统演化适应度值(1978—2024 年)见表 2。

表 2 系统演化适应度值(1978—2024 年)

Table 2 Adaptability value of evolution of China's safety work governance system(1978-2024)

组合状态	A	R	T	S	W
1	0	0	0	0	0.377 11
2	0	0	0	1	0.415 02
3	0	0	1	0	0.480 18
4	0	1	0	0	0.520 13
5	1	0	0	0	0.329 01
6	0	0	1	1	0.483 54
7	0	1	0	1	0.510 89
8	0	1	1	0	0.580 11
9	1	0	0	1	0.576 69
10	1	1	0	0	0.698 66
11	1	0	1	0	0.679 2
12	1	0	1	1	0.609 96
13	0	1	1	1	0.724 68
14	1	1	0	1	0.520 16
15	1	1	1	0	0.693 8
16	1	1	1	1	0.807 41

1)系统初建期(1978—2002 年)。改革开放之初,为适应社会主义市场经济要求,安全生产治理系统开始重塑。这一时期,治理主体、治理规则、治理资源、治理工具都处于低效状态($A=0,R=0,T=0,S=0$),整体适应度很低($W=0.377\ 11$)。

在治理主体方面,尚未形成有效的合作治理机制。政府由行政管理向监督管理转变,企业主体意识薄弱,社会参与缺位。在治理规则方面,缺乏综合性、系统性的法律,以《矿山安全条例》(1982 年)、《企业职工伤亡事故报告和处理规定》(1991 年)等行政法规为主。在治理资源方面,财政投入有限,企业安全投入不足,高校安全工程专业刚起步,人才储备不足,从业人员多依赖经验积累。在治理工具方面,以行政手段为主,事故后追责,缺乏常态化监管机制,技术基础薄弱,信息化管理差距很大。

这一时期,系统各治理主体通过随机性游走机制,不断探索尝试,推动系统要素适应环境,缓慢演化。然而,由于治理规则缺乏根本性、引导性的法律,形成了低协同锁定。即使安全投入有所增加($S=1$),整体适应度提升有限($W=0.415\ 02$);安全技术有所进步($T=1$),整体适应度提升亦有限($W=0.480\ 18$)。在安全生产实践中,事故呈不断上升态

势,2002 年全国生产安全事故达到最高峰^[14]。

2)系统完善期(2003—2012 年)。在这一时期,系统各治理主体不断积累经验,持续增强适应能力,由随机性游走转变为适应性游走,各要素状态逐渐向好,循序渐进地攀爬到更高适应度的山峰。

在治理规则方面,2002 年《安全生产法》的实施,对这一时期的系统完善起到重要推动作用。同时,《生产安全事故报告和调查处理条例》等法规也相继出台。在治理主体方面,政府监管逐步专业化,国家安全监管总局于 2005 年成立,地方监管机构逐步专业化,企业主体责任得以确立,行业协会、第三方机构等社会力量也开始提供安全培训、技术服务。在治理工具方面,引入经济杠杆,推行安全生产风险抵押金、工伤保险浮动费率等经济手段。在治理资源方面,中央财政设立安全生产专项资金,高校安全学科快速发展,安全生产科技支撑能力不断增强。

系统要素状态组合的整体适应度呈上升趋势,例如:状态组合“0110”下,整体适应度 $W=0.580\ 11$,相较于系统初建期的初始状态有了大幅提升。然而,这一时期也存在“局部优化陷阱”。根据适应度值绘制布尔超立方体,安全生产治理系统演化的适应度景观如图 5 所示。当 $A=1,R=1,T=0,S=0$ 时,出现局部最优值 $W=0.698\ 66$,即治理规则 R 与治理资源 S 部分协同下,治理工具 T 和治理主体 A 滞后,进入局部优化陷阱,无法达到全局最优。这一强关联性暴露出治理工具先进性缺失($T=0$)限制了治理规则和治理资源的效果,治理主体合作不够($A=0$)导致治理漏洞。尽管有局部优化陷阱,但这一时期,系统演化适应度整体大幅提升。在安全生产实践中,自 2003 年以来,生产安全事故总量呈不断下降趋势^[14]。

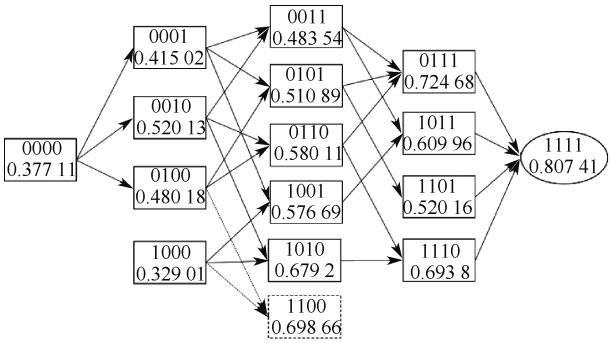


图 5 安全生产治理系统演化的适应度景观

Fig. 5 Adaptability landscape of evolution of safety work governance system

3) 系统现代化推进期(2012—2024年)。这一时期,经过长时间适应性游走,系统各治理主体的协同治理能力显著提升。政府监管水平不断提高,企业自主管理能力增强,社会组织参与度显著提高,新媒体曝光等机制倒逼企业履责,形成了协同治理格局。

在治理规则方面,《安全生产法》经过2014年和2021年的2次修订,强化了风险预防和责任追溯,同时,《企业安全生产标准化基本规范》等4000余项标准发布实施。在治理工具方面,全国安全生产风险监测预警系统、“互联网+执法”平台实现动态监管,人工智能、区块链在隐患排查、应急救援中推广应用。在治理资源方面,安全生产费用提取标准提高,安全生产责任保险等市场化工具参与风险分担和事故预防,注册安全工程师制度进一步完善,高校安全工程专业年培养规模超万人。

系统从低协同混沌态跃迁至高协同有序态,适应度呈非线性提升。四要素间的强关联性形成多米诺效应,产生正反馈循环,使得系统要素的各种组合

整体适应度处于较高水平。当系统要素状态组合为“1111”时,整体适应度达到全局最优($W = 0.80741$)。在安全生产实践中,生产安全事故数量持续稳定下降,安全生产治理体系和治理能力不断提升^[15]。

5 结 论

1) 安全生产治理系统由治理主体、治理规则、治理工具、治理资源4个要素构成,符合CAS的特性。

2) 系统演化遵循3阶段机制:①初建阶段,随机性游走和低状态锁定,②发展阶段,适应性游走和局部协同局限。③成熟阶段,适应性跳跃和深度协同。

3) 实证分析可知:我国安全生产治理系统演化涵盖系统初建期(1978—2002年)、系统完善期(2003—2012年)、系统现代化推进期(2012—2024年)3个阶段和相应机制。

参 考 文 献

- [1] 国务院安全生产委员会. 国务院安全生产委员会关于印发《“十四五”国家安全生产规划》的通知[EB/OL]. (2022-04-12). https://www.mem.gov.cn/gk/zfxxgkpt/fdzdgknr/202204/t20220412_411518.shtml.
- [2] LEVESON N G. Engineering a safer world: systems thinking applied to safety[M]. Cambridge: The MIT Press, 2011: 73-100.
- [3] 吴超. 负系统学的创建研究[J]. 中国安全科学学报, 2023,33(3):1-10.
WU Chao. Negative systematology construction research[J]. China Safety Science Journal, 2023,33(3):1-10.
- [4] 李莎莎, 崔铁军. 系统故障演化过程中不同类对象分布的确定方法[J]. 中国安全科学学报, 2024,34(7):1-7.
LI Shasha, CUI Tiejun. A method to determine distribution of different class objects in process of system fault evolution[J]. China Safety Science Journal, 2024,34(7):1-7.
- [5] SONG Li, HE Xueqiu, LI Chengwu. Longitudinal relationship between economic development and occupational accidents in China[J]. Accident Analysis and Prevention, 2011, 43(1):82-86.
- [6] 曾明荣, 高建明, 刘骥, 等. 区域性安全生产风险影响因素及其权重确定研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2008, 4(3):67-70.
ZENG Mingrong, GAO Jianming, LIU Ji, et al. Study on affecting factors and its weight value of regional work safety risk[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2008, 4(3): 67-70.
- [7] 姜雅婷. 安全生产目标考核制度的治理效果研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2018.
JIANG Yating. The effectiveness of workplace safety target-evaluation system[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2018.
- [8] 赵一归, 冯宇峰. 安全生产治理现代化的内涵、特征及实现路径研究[J]. 安全, 2022,43(6):69-74.
ZHAO Yigui, FENG Yufeng. Research on connotation, characteristics and realization path of work safety governance modernization[J]. Safety & Security, 2022,43(6):69-74.
- [9] 曾帆. 基于系统论的震后重建规划理论模型及关键技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2017.
ZENG Fan. The theoretical models and key technologies of post-earthquake reconstruction planning based on system theory[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017.
- [10] 杨仲. 基于复杂适应系统理论的皖南文化旅游地演化特征和机制研究[D]. 南京: 南京大学, 2018.

YANG Zhong. Evaluation characteristic and mechanism of cultural tourism destination in southern Anhui based on theory of complex adaptive system[D]. Nanjing: Nanjing university, 2018.

[11] 宣云干, 朱庆华. 基于复杂适应系统理论的网络信息生态分析[J]. 情报科学, 2009, 27(6):914-918.
XUAN Yungan, ZHU Qinghua. Network information ecology analysis based on complex adaptive system theory [J]. Information Science, 2009, 27(6):914-918.

[12] KAUFFMAN S. A. The origins of order: self-organization and selection in evolution [M]. New York: Oxford University Press, 1993:411-439.

[13] LEVINTHAL D A, WARGLIEN M. Landscape design: designing for local action in complex worlds [J]. Organization Science, 1999, 10(3):342-357.

[14] 中华人民共和国中央人民政府. 我国安全生产形势近年来持续稳定好转[EB/OL]. (2019-09-18). https://www.gov.cn/xinwen/2019-09/18/content_5430932.htm.

[15] 应急管理部: 从 2012 年到 2022 年全国生产安全事故总量下降 92.2% [EB/OL]. (2023-11-06). <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1781794198925410578&wfr=spider&for=pc>.

作者简介: 赵一归 (1974—),男,辽宁普兰店人,博士研究生,教授级高级工程师,主要研究方向为安全系统工程、安全风险管 理、安全生产战略规划等。E-mail: yiguizhao@126.com。



《中国安全科学学报》被 Ei 数据库收录

2025 年 4 月,《工程索引》(Ei Compendex)发布最新收录期刊目录,《中国安全科学学报》(简称《学报》)成功被收录。

COMPENDEX SOURCE LIST: UPDATED APRIL 2, 2025						
PRINT ISSN	ONLINE ISSN	CHINESE TITLE (中文刊名)	TRANSLITERATED TITLE (刊名翻译)	ENGLISH/TRANSLATED TITLE (英文刊名)	LANGUAGE (语言)	Ei 2024 INDEXING
10014632	-	中国铁道科学	Zhongguo Tiedao Kexue	China Railway Science	Chinese	Renewed (保持收录)
10033033	-	中国安全科学学报	Zhongguo Anquan Kexue Xuebao	China Safety Science Journal	Chinese	New (新收录)
10079289	-	中国表面工程	Zhongguo Biaomian Gongcheng	China Surface Engineering	Chinese	Renewed (保持收录)

自 1991 年创刊以来,《学报》始终秉承“立足安全科技前沿,服务国家重大需求”的办刊宗旨,坚持“学术性、权威性、应用性、信息性”的办刊原则,在安全生产、应急管理、公共安全、防灾减灾、职业健康等领域搭建高水平学术交流平台,发表众多具有创新性和实践价值的研究成果。多年来,《学报》的学术影响力持续攀升,先后入选“中国科技核心期刊”“中文核心期刊”和“中国科学引文数据库核心期刊(CSCD 核心期刊)”,入选中国科技期刊卓越行动计划梯队期刊(一期、二期),并被美国《化学文摘社》(CAS)、Scopus 等国际知名数据库收录。此次成功被 Ei Compendex 数据库收录,更是对《学报》学术地位的有力肯定。