

中文引用格式:刘宇腾,刘宇飞,王景刚,等. 能源工程安全中的认知偏差与决策优化机制:以福岛核电站事故为例[J]. 中国安全科学学报, 2025, 35(10): 60-66.

英文引用格式:LIU Yuteng, LIU Yufei, WANG Jinggang, et al. Cognitive biases and decision optimization mechanism in energy engineering safety: case study of Fukushima nuclear power plant accident[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(10): 60-66.

能源工程安全中的认知偏差与决策优化机制: 以福岛核电站事故为例*

刘宇腾¹, 刘宇飞², 王景刚^{**1}教授, 罗景辉¹, 张昌建¹

(1 河北工程大学 能源与环境工程学院, 河北 邯郸 056038;

2 石家庄铁道大学 安全工程与应急管理学院, 河北 石家庄 050011)

中图分类号:X945

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.10.1684

资助项目:河北省重点研发计划项目(236Z4310G);河北省创新能力提升计划项目(2256769H)。

【摘要】 为了探究认知偏差对于能源安全工程决策所造成的影响,以福岛核电站事故为研究对象,通过事故时间线回溯和关键决策点解析,构建从风险识别(地震海啸评估)、危机处置(冷却系统失效处理)到善后管理(信息披露决策)的全周期决策分析链,运用认知心理学理论,分析能源工程安全管理中的决策偏差现象,揭示其在应急响应、风险评估等环节的具体作用机制。结果表明:福岛核电站事故的应急决策中存在确认偏误、锚定效应、代表性启发法、框架效应、损失厌恶和过度自信6类典型认知偏差;认知偏差分析能够提升能源工程安全管理水平和安全应急响应的有效性。

【关键词】 认知偏差; 决策优化; 能源工程; 核电站事故; 应急响应

Cognitive bias and decision optimization mechanism in energy engineering safety: case study of Fukushima nuclear power plant accident

LIU Yuteng¹, LIU Yufei², WANG Jinggang¹, LUO Jinghui¹, ZHANG Changjian¹

(1 School of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei 056038, China; 2 School of Safety Engineering and Emergency Management, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang Hebei 050011, China)

Abstract: To study the impact of cognitive bias on energy safety engineering decision-making, the Fukushima nuclear power plant accident was taken as the research object. A full-cycle decision-making analysis chain, covering risk identification (earthquake and tsunami assessment), crisis disposal (cooling system failure treatment), and aftermath management (information disclosure decision-making), was built through retrospective analysis of the accident timeline and key decision points. Cognitive psychology theory was used to analyze decision-making bias phenomena in energy engineering safety management, and the specific mechanisms of these biases in emergency response and risk assessment were revealed. Results show that six typical cognitive biases are present in the emergency decision-making during this accident,

* 文章编号:1003-3033(2025)10-0060-07; 收稿日期:2025-05-04; 修稿日期:2025-07-06

** 通信作者:王景刚(1962—),男,山东海阳人,博士,教授,主要从事能源系统工程方面的研究。E-mail: jinggangwang@hebeu.edu.cn。

including confirmation bias, anchoring effect, representative heuristics, framing effect, loss aversion, and overconfidence. This analysis demonstrates that cognitive bias identification can enhance energy engineering safety management, and improve the effectiveness of safety emergency responses.

Keywords: cognitive biases; decision optimization; energy engineering; nuclear power plant accident; emergency response

0 引言

能源工程安全是保障国家能源命脉和社会稳定运行的根基^[1]。随着全球能源转型进程的加速,核电、风电和智能电网等新型能源系统呈现出技术集成度高、耦合性强和事故后果不可逆等显著特征^[2]。以日本福岛核泄漏为代表的重大事故后果表明:能源工程事故不仅会造成千亿级经济损失,还可能引发跨境生态灾难和持续性社会恐慌^[3]。传统安全管理体系过度依赖工程硬防护和技术可靠性评估,忽视了复杂人机交互场景下的认知决策脆弱性。国际原子能机构(International Atomic Energy Agency, IAEA)事故报告显示,核能安全事故与人为判断失误具有相关性^[4],这暴露出认知偏差在能源工程安全领域的重要影响尚未被充分认识。

目前,诸多学者开展了大量的认知对不安全行为影响的研究。叶贵等^[5]构建工人认知水平模型并开展相关仿真分析,对比不同因素下不安全行为的发生比率,发现相比于不完全信息,完全信息下建筑工人认知的更新频率更快,工人不安全行为和危害数量的比例更低;FANG Dongping 等^[6]建立建筑工人认知水平分析的 5 步认知模型,研究发现信息是导致不安全行为的主要原因;刘嘉伦等^[7]利用问卷调查法调查了不同年龄段的建筑工人危险认知的差异情况,并对比分析了其中的差异。张孟春等^[8]界定了 2 类直接导致事故的建筑工人不安全行为,分析 2 类不安全行为产生的认知过程,揭示了不安全行为产生的认知机制,并提出了相应的管理措施。目前,国内外关于此类的研究多集中于工人认知水平的层面上,且研究方法主要采用模拟仿真与调查问卷 2 种方式^[9-10]。

认知偏差是决策者在认识和判断事物时与事实本身或标准规则间所产生的某种差别和偏离^[11],是对危险认知概念的进一步细化。目前,对于认知偏差与决策的有关研究较少,多数研究集中在探讨研究对象产生认知偏差的成因,较多采用调查问卷的形式,且主要集中于个人等单视角角度^[12-13],缺少

从多决策者的角度进行探索,此外,不仅缺乏具体安全工程事故分析案例,还缺少对认知偏差给实际工程安全事故造成影响的系统性研究和与之对应的后续优化方案。

鉴于此,文中拟突破传统单维视角,创新性地构建多层级认知分析框架,以福岛核事故为典型案例,从认知心理学的视角出发,分析其中存在的认知偏差问题,总结不同关键决策点下的实际不当行为特征,阐述认知偏差理论,并针对上述问题提出优化建议,以期提升能源工程的安全管理水平。

1 认知心理学与认知偏差简介

1.1 理论简介

认知偏差的概念由 KAHNEMAN 等^[14]提出,旨在判断决策过程中由于特定心理倾向导致的系统性错误。认知偏差的分类如图 1 所示。

1.2 分类框架的构建逻辑

图 1 中,认知偏差体系为 5 维分类体系,经过三重理论验证。

1) 神经科学证据。功能性磁共振成像(Functional Magnetic Resonance Imaging, FMRI)研究表明^[15]:启发式偏差与基底神经节自动化加工相关,而动机性偏差涉及前额叶皮层与边缘系统的博弈。

2) 工程场景适配性。通过分析美国国家航空航天局、IAEA 等机构的 50 份事故报告,发现信息处理偏差(如框架效应)在技术文档解读中占比达 37%,显著高于其他领域。

3) 干预可行性。社会性偏差(如群体思维)可通过组织架构调整进行缓解,而记忆偏差需要人机交互界面进行优化,分类差异决定了应对策略的针对性。

相较于经典的双系统模型,文中的分类方式更强调工程决策的情境嵌入性。例如:将过度自信独立归类于动机性偏差而非启发式偏差,这是因为决策者常出于维护组织声誉的动机而非单纯认知捷径高估自身的控制能力。

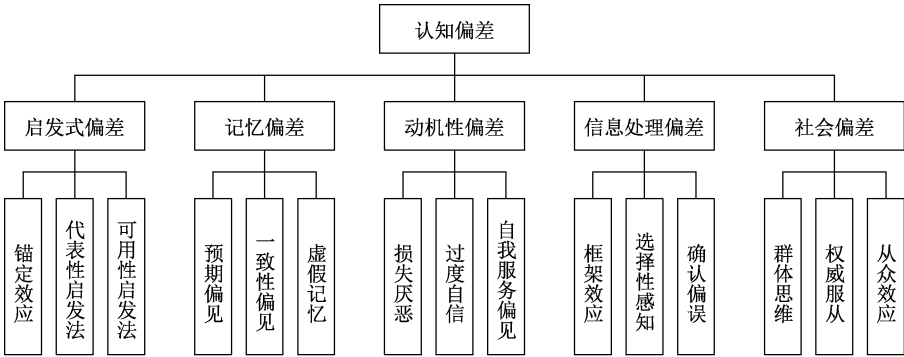


图 1 认知偏差的分类

Fig. 1 Classification of cognitive biases

2 能源工程安全案例实证分析

2.1 事故案例选择

核能工程作为复杂社会技术系统的典型范例，其安全决策涉及工程设计、运营管理和应急响应等多阶段的耦合问题。福岛第 1 核电站事故是 2011

年日本大地震及其引发的巨大海啸之后发生的严重核事故。该事故完整呈现了从风险识别(地震海啸评估)、危机处置(冷却系统失效处理)到善后管理(信息披露决策)的全周期决策链,因此,利用认知偏差相关理论,梳理该事故的时间线,并列出每一关键决策点和认知偏差的类型以及出现的实际不当行为,结果见表 1。

表 1 福岛核电站事故中的关键决策点及发生的认知偏差

Table 1 Key decision points in Fukushima nuclear power plant accident and possible cognitive biases

时间线	关键决策点	认知偏差类型及分析	实际不当行动
发生 9.0 级大地震	地震发生后需要立即评估地震对福岛第 1 核电站的影响,并决定是否启动应急程序	确认偏误。基于历史数据和之前的经验,认为现有的安全措施足以应对地震的影响	日本核科学家认为,该国核反应堆技术是可以充分应付地震灾害的,对日本的核科技、日本所建反应堆的安全措施、日本的抗震技术能力毫不怀疑 ^[16]
海啸袭击福岛第 1 核电站	海啸来袭之前,需要根据初步估计的海啸高度制定紧急响应计划	锚定效应。基于以往的经验,对海啸的高度估计过低,导致了未能充分准备相应措施应对实际的海啸高度	日本核科学家和工程师认为,日本核反应堆下面都有很厚的橡皮层隔震,可以防御 6~7 级的地震,以及 7~8 m 高的海啸,高于在断裂带发生大地震时的风险性上限 ^[16]
1 号机组发生氢气爆炸	在发现氢气积聚时,需要迅速采取措施防止爆炸	代表性启发法。决策者依据过去的成功经验来处理问题,忽略了当前事故的独特性	东京电力公司对特定外部灾害以及引起的多机组影响评估不足,针对极端外部灾害的准备不够充分 ^[17]
3 号机组失去冷却功能	在冷却系统失效时,需要快速制定备用冷却方案	框架效应。决策者被紧急情况下的信息呈现方式所误导。在这种情况下,决策者可能会因为信息传递的方式而无法作出最有效的决策	针对注入淡水还是海水进行冷却的问题,4 位专家面对首相进行了不同角度的错误判断与模糊不清的说明,直到最后,负责现场处置的所长才作出了继续使用注入海水进行冷却的正确判定 ^[18]
2 号机组发生氢气爆炸	面临潜在的重大损失时,需要权衡风险与收益,并采取下一步行动	损失厌恶。避免更大灾难的压力导致不当行为。在这种高压环境下,决策者可能因害怕更大的损失而作出冒险的选择	核反应堆出现问题的时候,日本政府反复强调爆炸是气体爆炸而不是燃料棒的爆炸,没有多少核泄漏,发生氢气爆炸后的泄漏量反而比最初还要小,甚至冒险篡改爆炸时间数据试图极力缓解事态避免更大危机,因而延误了后续补救措施的实施 ^[19]
后续数周至数月的事故处理	在整个事故处理过程中,需要秉承高效、合理、公开、公正的原则	过度自信。认为已采取的措施足以应对局面	核事故发生后,有关专家及多国政府多次质疑日本政府有意隐瞒实情,不积极寻求国际原子能机构的支持,表现得过于自负 ^[20]

2.2 事故案例分析

福岛第 1 核电站事故的时间线揭示了在面对极端自然灾害时,不同时间节点处面对关键决策时不当行为导致的后果,如在估计海啸高度时,由于锚定效应的存在,低估了此次事故的威胁。而在面对氢气爆炸的风险时,代表性启发法会使决策者过度依赖于过去的经验,而忽视当前事故的独特性和复杂性。在需要制定应急预案时,受困于框架效应而无法第 1 时间作出合理的决策。在事故不断扩大后,由于损失厌恶导致不合理的决策行为。最后,在事

故处理问题上存在的过度自信导致后处理过程的混乱无序。

3 决策优化机制

3.1 风险预案管理体系

分析福岛第 1 核电站事故中的风险,结合日本广播协会拍摄的事故纪录片^[21]和东京电力公司风控沟通专员高桥吉野的访谈^[22],以及工程具体运行情况,归纳出内部及外部相关风险类型,并针对这些风险提出针对性的风险应对预案,见表 2。

表 2 福岛核电站事故中的风险应对预案

Table 2 Risk response plan for Fukushima nuclear power plant accident		
风险类型	描述	风险应对预案
地震	核电站所在地区发生强烈地震	加强建筑结构的抗震设计,确保其能够承受预期的最大地震烈度;定期进行抗震演练,提升应急响应能力;安装先进的地震预警系统,争取宝贵的应急响应时间
海啸	地震引发海啸,破坏核电站冷却系统	建造更高更坚固的防波堤;设计多重冷却系统以备不时之需
冷却系统故障	主冷却系统出现故障,导致反应堆温度升高	安装多重冷却系统;定期维护检查冷却设备;制定应急冷却方案
氢气爆炸	在冷却系统失效时,氢气积累导致爆炸	安装自动排气系统;加强监测氢气浓度;提供紧急疏散指导
电力供应中断	自然灾害导致外部电力供应中断	建立独立的电力供应系统,包括备用发电机和储能设备;确保应急电源的可靠性和稳定性,定期进行测试和维护;制定电力中断应急预案,包括快速启动备用电源和协调外部电力支援
通信故障	紧急情况下,通信系统出现故障	使用多种通信手段;定期检查通信设备
人员失误	由于紧张或缺乏经验,操作员发生失误	加强人员培训,特别是应急响应和危机管理方面的培训;实施双人复核制度,确保关键操作的准确性和安全性;建立有效的沟通机制,确保信息在团队内部准确、及时地传递
物资短缺	应急物资不足,影响救援效率	储备充足的应急物资;定期检查库存;建立物资供应链应急预案
信息传播滞后	关键信息传递延迟,影响决策质量	建立快速信息传播网络机制,确保信息在团队内部和外部的实时传递;使用自动化报告系统,减少人工传递信息的误差和延迟;增强信息共享平台的功能,提高信息的透明度和可访问性

3.2 多角度参与决策优化机制

框架效应的研究中存在一种“驯化”理论,指出行为往往受到所在国家的政治权威、对事件发生地点了解的程度、主流意识形态和文化背景等因素的影响^[23]。福岛核事故中,针对首相的提问,4 位专家从各自角度进行了说明,直到第 5 次才由现场处置人员作出正确的决定。事后,福岛核电站事故独立调查委员会认为首相官邸过度主导、干预现场处理^[16]是政治过度介入、技术过度介入等^[17]的不当

表现。合理的决策应建立在多视角且全面分析的基础之上,避免陷入单一框架或某一角度的过度介入。多角度参与决策机制旨在通过跨学科合作和多方参与,提高决策的质量和效率。在福岛第 1 核电站事故中,较为单一的决策视角和信息源导致了认知偏差的积累,进而影响了应急响应的有效性。因此,组建一个多元化、多视角的团队对于应对复杂的安全挑战至关重要。

多角度参与决策的机制主要应用于事故中期。

在使用海水还是淡水进行冷却的优化案例中,多角度参与决策机制的团队可以由现场操作人员、运营管理层、应急响应团队、政府监管机构、外部专家以及公众与媒体等构成,见表3。现场操作人员通过传感器和其他监控设备收集海水冷却效果的实时数据,外部专家基于历史数据和过往事故模型,进一步分析数据并提供专业的技术建议并进行独立的技术评审。运营管理层根据分析结果制定应急响应方案,应急响应团队提供具体的行动步骤和资源需求,政府监管机构审查方案的合规性和安全性,公众与媒体则持续关注实施效果。这种分工确保了全过程透明、高效,并且通过多方协作和反馈,提高了应急响应的质量和效率。

表3 分工设计原因及合理性分析

Table 3 Analysis of reasons and rationality of division of labor design		
角色构成	职责聚焦	分工合理性
现场操作人员	实时监控设备、采集第一手数据,反馈现场动态	确保决策基于最新、最真实的现场信息,避免因信息滞后或失真导致误判
运营管理层	统筹资源调配、制定战略方向,协调跨部门协作	从全局视角平衡效率与安全,避免单一部门利益主导,保障决策的可行性和系统性
应急响应团队	快速执行应急预案,提供技术性行动方案	专业化的处置能力缩短响应时间,将决策直接转化为行动,降低事故升级风险
政府监管机构	审查合规性、监督法律与标准执行	通过外部监管规避企业自审自管的潜在利益冲突,确保公共利益和社会安全底线
外部专家	提供独立技术评估,提出第三方建议	弥补内部团队知识盲区,以客观立场消除决策偏见,增强方案的科学性和创新性
公众与媒体	监督过程透明度,反馈社会意见与舆论关切	倒逼决策公开化,防止暗箱操作;通过社会反馈优化方案,提升公众信任与接受度

3.3 分阶段决策优化机制

在福岛核电站事故中,日本政府在事故不断扩大的情况下,为了避免慌乱和造成更大的损失,不惜冒险篡改时间数据,试图极力缓解事态^[16],这种行为大大延误了采取补救措施的黄金时间,对事故灾损造成了不可估量的影响。

分阶段决策优化机制是一种在面对复杂、不确定或高风险情境时,将整个决策过程分解为多个有序步骤的策略。该方法有助于逐步解决问题,降低一次性决策的风险,并允许根据每个阶段的结果进行调整和优化。福岛核电站事故中,面对事态不断升级,需要尽快作出应急决策的情况下,为避免由于损失厌恶等认知偏差造成的决策失误,可以考虑使用分阶段决策优化方法,通过分阶段实施,更好地分配资源,确保每个阶段的任务得到全面而有效的执行。供政府机构参考的福岛核电站分阶段决策优化流程见表4。

表4 供政府机构参考的福岛核电站分阶段决策优化流程

Table 4 Phased decision-making process of Fukushima nuclear power plant for government agencies' reference

决策阶段	描述	决策内容
紧急响应	在事故开始时作出紧急决策	疏散居民;建立快速响应小组,明确各小组职责,确保通信畅通,及时收集现场数据,为后续决策提供依据;成立应急指挥中心
审定预案	在事故发生过程中审定应急决策	审定应急预案;组织专家进行预案复审,评估预案的有效性和可行性,必要时进行调整。同时,确保信息公开透明,及时回应公众关切
后续处理	在事故刚刚结束后采取的决策	事故定性;向媒体通报事故情况;调查相关责任方的过失
中期稳定	在事故刚结束的一段时间内作出的稳定局面的决策	实现冷停堆;加强信息公开;推动灾后重建
长期恢复	在事故结束较长时间内采取的恢复决策	核电站退役;核废料处理;能源政策转型

分阶段决策处理损失,可以有效缓解面对巨大损失时,人们表现出的风险厌恶程度,从而帮助其作出更好的决策^[24]。在事故中后期的决策制定问题上,政府机构等行政执法机构可以采用将整个决策过程分解为多个有序步骤的策略。如在实际工程案例中,日本政府可先在各责任方共同参与的基础上审查应急管理预案,并根据后续实施效果与具体情况,不断进行调整并优化,然后,制定向公众与媒体提供反馈的决策,以避免各信息流入方造成误判,甚至因此而延误后续补救措施。

3.4 引入外界监督与评价

福岛核电站事故发生后,尽管日本政府在很多方面作出了巨大的努力,但其在后续处理上表现得过于自负,信息传递不及时且决策迟缓和处理失当,受到了多国政府及专家的质疑^[19]。事故发生后,面对美、俄等国对于日本是否需要援助的询问,日本方面表现的非常保守,且过高评估自我能力^[17],在后续的灾后重建^[25]、核废料处理^[26]和能源政策转型^[27]等问题的处理上也存在失当和争议行为。

外部监督与评价具有科学决策、透明公信、国际协作和长效治理等普适性特征,引入外部监督与评价机制可以有效降低认知偏差中的过度自信水平,缓解其对决策和行为的负面影响。自福岛核事故发生以来,IAEA 多次派出专家及技术团队调查取证日本核事故,同时,监督日本方面进行事故处理。日本原子能安全保安院则全面监督和评审日本核电企业

的自查过程^[28]。此外,IAEA 召开多次国际级学术会议,针对核污染、事故预防和后续救灾内容等方面进行了讨论与研究。目前已有多种针对福岛核事故后续问题处理展开的外部监督与评价措施,并取得了一定的成果。这证明引入外部监管对缓解认知偏差带来的失当行为有所益处。

4 结 论

- 1) 福岛核电站事故的应急决策中存在确认偏差、锚定效应、代表性启发法、框架效应、损失厌恶和过度自信 6 类典型认知偏差。
- 2) 由案例分析可知:在各时间节点处面对关键决策时,不同的认知偏差对于福岛核事故的应急安全响应产生了重要影响。
- 3) 认知偏差分析与决策优化能够提升能源工程安全管理水平和安全应急响应的有效性。

参 考 文 献

[1] 芮雪琴,牛冲槐. 能源产业技术安全及其影响因素分析[J]. 工业技术经济,2008,27(4): 35-37.

[2] 谢克昌. 新型能源体系发展思考与建议[J]. 中国工程科学,2024,26(4): 1-8.

XIE Kechang. Strategic thinking and suggestions on new energy system[J]. Strategic Study of Chinese Academy of Engineering, 2024, 26(4): 1-8.

[3] 张力. 日本福岛核电站事故对安全科学的启示[J]. 中国安全科学学报,2011,21(4): 3-6.

ZHANG Li. Enlightenment of Fukushima nuclear power plant accident to safety science[J]. China Safety Science Journal, 2011, 21(4): 3-6.

[4] 许倩. 核电厂核安全文化测度方法研究[D]. 衡阳:南华大学,2023.

XU Qian. Research on the measurement method of nuclear safety culture in nuclear power plants[D]. Hengyang: University of South China, 2023.

[5] 叶贵,赵宏哲,杨晶晶,等. 建筑工人认知水平对不安全行为影响仿真研究[J]. 中国安全科学学报,2019,29(9): 36-42.

YE Gui, YUE Hongzhe, YANG Jingjing, et al. Simulation study on influences of construction workers'bounded rational cognition on unsafe behaviors[J]. China Safety Science Journal, 2019, 29(9): 36-42.

[6] FANG Dongping, ZHAO Chen, ZHANG Mengchun. A cognitive model of construction workers' unsafe behaviors[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2016, 142(9): DOI:10. 1061/(asce)co. 1943-7862. 0001118.

[7] 刘嘉伦,韩豫,张泾杰,等. 不同工龄建筑工人危险认知的结果差异[J]. 土木工程与管理学报,2018,35(2): 175-180.

LIU Jialun, HAN Yu, ZHANG Jingjie, et al. Result differences in hazard cognition among workers of different ages[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2018, 35(2): 175-180.

[8] 张孟春,方东平. 建筑工人不安全行为产生的认知原因和管理措施[J]. 土木工程学报,2012,45(增2): 297-305.

ZHANG Mengchun, FANG Dongping. Cognitive causes of construction worker's unsafe behaviors and management measures[J]. China Civil Engineering Journal, 2012, 45(S2): 297-305.

[9] REASON J. Modelling the basic error tendencies of human operators[J]. Reliability Engineering&System Safety, 1988, 22(1/2/3/4): 137-153.

[10] CHANG Y H J, MOSLEH A. Cognitive modeling and dynamic probabilistic simulation of operating crew response to complex system accidents: part 1. overview of the idac model[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2007, 92(8): 997-1 013.

[11] KAHNEMAN D, TVERSKY A. Subjective probability: a judgment of representativeness[J]. Cognitive Psychology, 1972, 3(3): 430-454.

[12] 韩豫,尹贞贞,刘嘉伦,等. 建筑工人的危险认知偏差特性及成因[J]. 土木工程与管理学报,2019,36(5): 56-61,

67.

HAN Yu, YIN Zhenzhen, LIU Jialun, et al. Characteristics and causes of hazard cognitive bias of construction workers[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2019, 36(5): 56-61, 67.

- [13] 李晓周,丁志国. 基于认知偏差的非理性决策行为解析[J]. 当代经济研究,2010(6): 59-62.
LI Xiaozhou, DING Zhiguo. On the irrational decision-making behavior based on recognition deviation[J]. Contemporary Economic Research, 2010(6): 59-62.
- [14] KAHNEMAN D, TVERSKY A. Judgment under uncertainty: Heuristics and biases[J]. Science, 1974, 185(4157): 1124-1131.
- [15] 宋健,刘深泉,臧杰. 基于基底神经节机理的行为决策模型[J]. 动力学与控制学报,2020,18(6): 1-31.
SONG Jian, LIU Shenquan, ZANG Jie. Behavioral decision-making model based on the mechanism of the basal ganglia[J]. Journal of Dynamics and Control, 2020, 18(6): 1-31.
- [16] 梁梦雅. 福岛核事故伦理问题治理研究[D]. 太原:山西大学,2023.
LIANG Mengya. Research on the governance of ethical issues in Fukushima nuclear accident[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2023.
- [17] 柴国旱,杨志义,肖军,等. 福岛核事故后核安全改进行动及安全要求研究[J]. 原子能科学技术,2022,56(3): 399-409.
CHAI Guohan, YANG Zhiyi, XIAO Jun, et al. Research on nuclear safety improvement actions and safety requirements after Fukushima nuclear accident[J]. Atomic Energy Science and Technology, 2022, 56(3): 399-409.
- [18] 尹晓亮. 福岛核事故的危机管理及其反思[J]. 南开学报:哲学社会科学版,2016(6): 104-113.
YIN Xiaoliang. The crisis management of Fukushima nuclear accident and its reflections[J]. Nankai Journal: Philosophy and Social Science, 2016(6): 104-113.
- [19] 石原享一[日]. 战后日本经济的成败启示[M]. 肖燕,梁憬君,译. 北京/西安:世界图书出版公司,2019:118.
- [20] 王群,耿云玲. 日本福岛核事故分析与思考[J]. 国防科技,2012,33(6):11-19.
WANG Qun, GENG Yunling. An analysis and thinking of Fukushima Daiichi nuclear accident in Japan[J]. National Defense Science and Technology, 2012,33(6): 11-19.
- [21] 被抑制的冷却水-福岛核电站事故-失控的2天[EB/OL]. [2024-12-04]. <https://www.bilibili.com/video/BV1wt411a7Z6/>.
- [22] 独家专访日本东京电力公司专家:福岛核事故本可避免,致力于内部改革[EB/OL]. [2024-12-04]. <https://www.yicai.com/news/100976797.html>.
- [23] 杜骏飞. 框架效应[J]. 新闻与传播研究,2017,24(7):113-126.
DU Junfei. Framing effect[J]. Journal of Journalism and Communication Research, 2017, 24(7): 113-126.
- [24] HEERSINK L P, RUDLOFF C, FLEISCHMANN M, et al. Integrating pricing and inventory control: is it worth the effort? [J]. Business Research, 2008, 1(1): 106-123.
- [25] 苏宁. 福岛核事故发生十余年灾区重建缓慢 日本数万避难民众依然难返家园[N]. 法治日报,2022-05-23(5).
- [26] 向丽娟. 日本决定将核污水排入大海[J]. 生态经济, 2021, 37(6):1-4.
XIANG Lijuan. Japan decided to dump nuclear sewage into the sea[J]. Ecological Economy, 2021, 37(6): 1-4.
- [27] 宫笠俐,叶笑晗. 日本能源结构转型与政策执行困境[J]. 日本学刊, 2024(1):133-152,155. .
GONG Lili, YE Xiaohan. dilemma of Japan's energy structure transformation and policy implementation[J]. Japanese Studies, 2024(1): 133-152,155.
- [28] 宋歌. 试论 IAEA 在处理日本福岛核泄漏危机中的作用[D]. 郑州:河南大学,2015.
SONG Ge. On the role of IAEA in dealing with the Fukushima nuclear leakage crisis in Japan[D]. Zhengzhou: Henan University, 2015.

作者简介: 刘宇腾 (2000—),男,河北秦皇岛人,硕士研究生,主要研究方向为能源系统运行。E-mail:582261728@qq.com。

