• 自然灾害防治体系 •
DOI: 10.3724/BNSFC-2025-0019

自然灾害基础理论体系研究现状与展望*

张永双[1**] 李长冬[2] 张帆宇[3] 张 涛[1]

1. 中国地质大学(北京) 工程技术学院,北京 100083
2. 中国地质大学(武汉) 工程学院,武汉 430074
3. 兰州大学 土木工程与力学学院,兰州 730000

[摘 要] 自然灾害种类多、危害大,具有显著的时空差异性与链生效应,导致灾害防治面临的关键基础理论问题众多。我国自然灾害孕生背景复杂、主控因素多变,不同类型灾害的时空分布规律存在较大差异,灾害防治基础理论体系亟待完善。本文基于国内外自然灾害基础理论研究现状,总结分析了孕灾、触灾、成灾、链灾和致灾理论(简称“五灾效应”),提出自然灾害基础理论体系研究的核心目标是揭示致灾因子与灾害形成演化之间的作用机制。深入理解灾害全过程演化机制和时空规律,可为灾害隐患识别、监测预警、风险评估、工程治理、应急救援和调控管理等防控技术提供坚实的基础理论支撑,并助力自然灾害防治理论技术创新。

[关键词] 自然灾害;时空分布;五灾效应;基础理论;创新体系

自然灾害是地球大气圈、水圈、生物圈和岩石圈多尺度耦合作用下的破坏性事件,具有类型多样、时空分异显著、链式叠加放大等特征,对人类生存环境造成巨大威胁[1,2],如1985年哥伦比亚鲁伊斯火山泥流瞬间吞没阿尔梅罗镇,造成约23 000人死亡;2023年2月土耳其*M* 7.8级地震导致约59 500人遇难。当前气候变暖正在放大极端灾害事件的频率、强度与空间差异,孕育更复杂的风险格局,如北美洲山火呈现频次更高、规模更大、火季更长的态势[3];近年来极端降雨与洪涝事件发生频次在多个地区显著增多[4],包括2024年西班牙瓦伦西亚地区和2025年中国北方地区。与此同时,灾害的复合—级联形态长期存在:1963年意大利瓦伊昂水库滑坡激起巨浪,导致下游约2 000人遇难[5];2004年印度洋*M* 9.1级地震引发海啸,造成约227 000人死亡[6]。在气候变暖背景下,极端雨洪事件更易触发灾害链式过程,如2023年7月京津冀受台风残余环流影响出现极端降雨,诱发多起滑坡—泥石流灾害链,死亡/失踪人数超过100人[7]。由此可见,在全球气候变暖、地震趋于活跃和人类活动加剧的背景下,多圈层耦合作用导致局地极端灾害更易演变为区域性、链条式巨灾,防控难度成倍增加[8]。

我国是全球受自然灾害影响最严重的国家之一,且近年来灾害呈现复合化、极端化、高频化的新态势,以单一灾种为对象的传统理论体系难以整体反映多灾种、全过程的关联性与突变性,也难以为新态势下的防控实践提供有效支撑。在此问题驱动与需求牵引下,灾害科学的研究范式正由单一灾种向系统性风险转变,并涌现出一系列前沿理论:从强调整体性的地球系统科学观[9],到揭示突发性的临界转变理论[10],再到厘清风险传导的级联效应、复合事件框架[11,12],以及突出人类活动反馈的人—自然耦合系统范式[13],共同重塑了对自然灾害的认知。由此,本文在系统吸收并借鉴上述前沿理论的基础上,结合我国地质地理背景,对自然灾害形成演

收稿日期:2025-07-28; 修回日期:2025-09-02
* 本文根据国家自然科学基金委员会第410期“双清论坛”讨论的内容整理。
** 通信作者,Email:zhys100@cugb.edu.cn
本文受到国家自然科学基金项目(42472350)的资助。

引用格式: 张永双,李长冬,张帆宇,等. 自然灾害基础理论体系研究现状与展望. 中国科学基金,2025,39(6):872–879.
Zhang YS,Li CD,Zhang FY,et al. The progress and prospects of the basic theoretical system on natural disasters. Bulletin of National Natural Science Foundation of China,2025,39(6):872–879.(in Chinese)

化的孕灾、触灾、成灾、链灾、致灾五个环节进行整合性分析，初步构建以“五灾效应”为核心的自然灾害基础理论体系，以期为隐患识别、监测预警、风险评估、工程治理、应急救援与调控管理等提供基础理论支撑，服务国家公共安全与高质量发展目标。

1　自然灾害时空分布规律

近50年来，全球自然灾害事件呈持续增多趋势（图1A）。按灾种统计，气象、洪旱、地震、地质与海洋灾害分别占19.9%、19.9%、15.1%、14.9%和11.1%[14]，表明气象、水文和地质动力过程是当前的主体灾害风险源（图1A）。按区域统计，亚洲、欧洲、北美洲和南美洲是自然灾害频次最高的四大区域，其中国际公认的高风险带主要集中于环太平洋地震带、孟加拉湾三角洲及北大西洋飓风通道等敏感区[15]。我国作为全球受自然灾害影响最严重的国家之一，尽管近十余年来人员伤亡得到有效控制，但单次极端灾害事件对经济社会的冲击强度却在不断增大（图1B、1C）。例如，从2010年甘肃舟曲特大泥石流灾害，到2021年河南郑州“7·20”特大暴雨洪涝灾害，直接经济损失从百亿量级跃升至千亿量级[16,17]，充分表明了极端灾害对高密度资产区的巨大破坏性。因此，如何有效应对由极端事件导致的高额经济损失风险，已成为我国新时期防灾减灾工作面临的严峻挑战。

1.1　我国自然灾害孕生背景

我国自然灾害孕生背景极其复杂（图2），主要体现在五个方面：（1）三级阶梯地形地貌是导致灾害多发的地形条件。青藏高原—横断山脉构成第一阶梯，地应力异常带集中，易触发强震和滑坡；第二阶梯的盆地—丘陵地带易发生浅层岩土体失稳；第三阶梯的东部平原和滨海低洼区泄水能力差，易引发洪涝灾害。（2）活动断裂带与新构造运动提供内生驱动力。环太平洋地震带与板块构造活动引发地震及次生灾害，且新构造运动持续改造地貌，形成软弱层和断陷带。（3）季风—高低压耦合塑造主要外生驱动力。季风带来丰沛水汽，南海—西北太平洋高压与副热带高压相互作用导致沿海区域暴雨、台风频发，西伯利亚高压带来寒潮暴雪，青藏高原的低压和西风急流影响西北干旱和沙尘灾害。（4）水资源分布失衡提供次要外生驱动力。长江、黄河等大河流域水系丰富，强降雨易引发洪水，库区则有溃坝和涌浪风险；地下水过度开采导致北方干旱和地面沉降，加剧

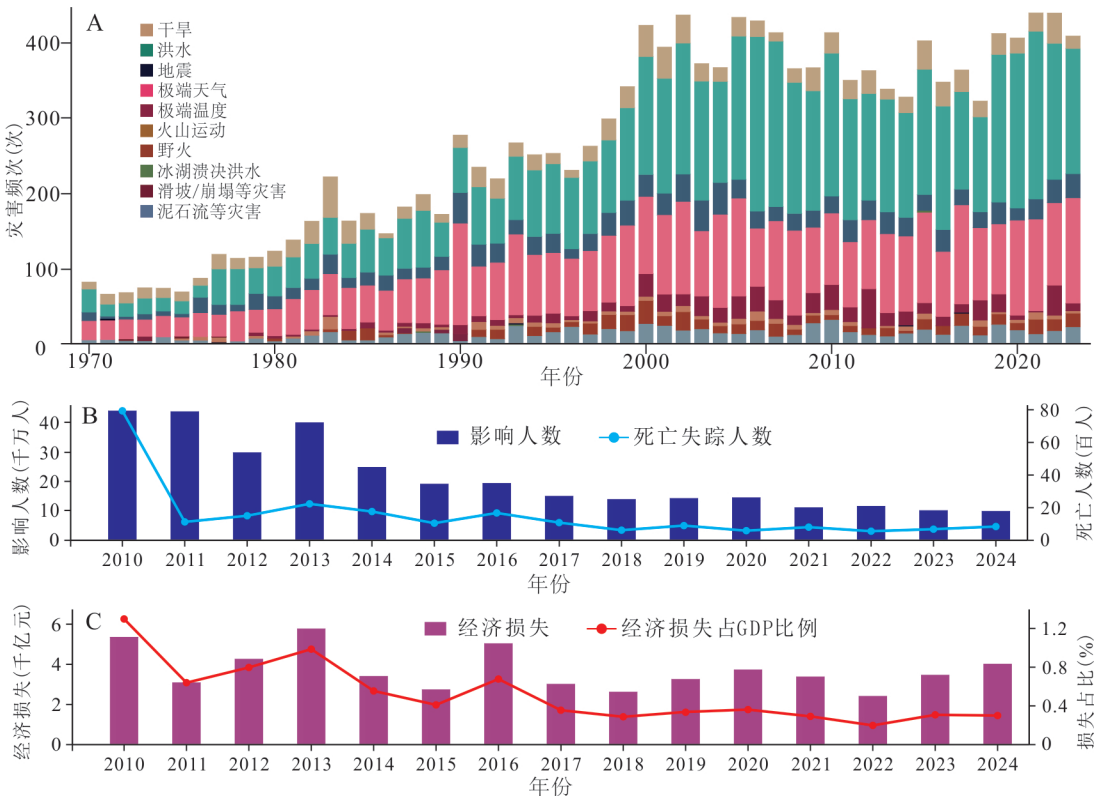


图1　自然灾害时空分布及灾情：（A）全球近50年自然灾害发生频次；（B）中国近10年灾害影响人数；（C）中国近10年因灾经济损失

Fig.1　Spatio-temporal Distribution and Impacts of Natural Disasters. (A) Frequency of Disasters over the Past 50 Years in the World; (B) Population Affected by Disasters in China over the Past 10 Years; (C) Economic Losses from Disasters in China over the Past 10 Years

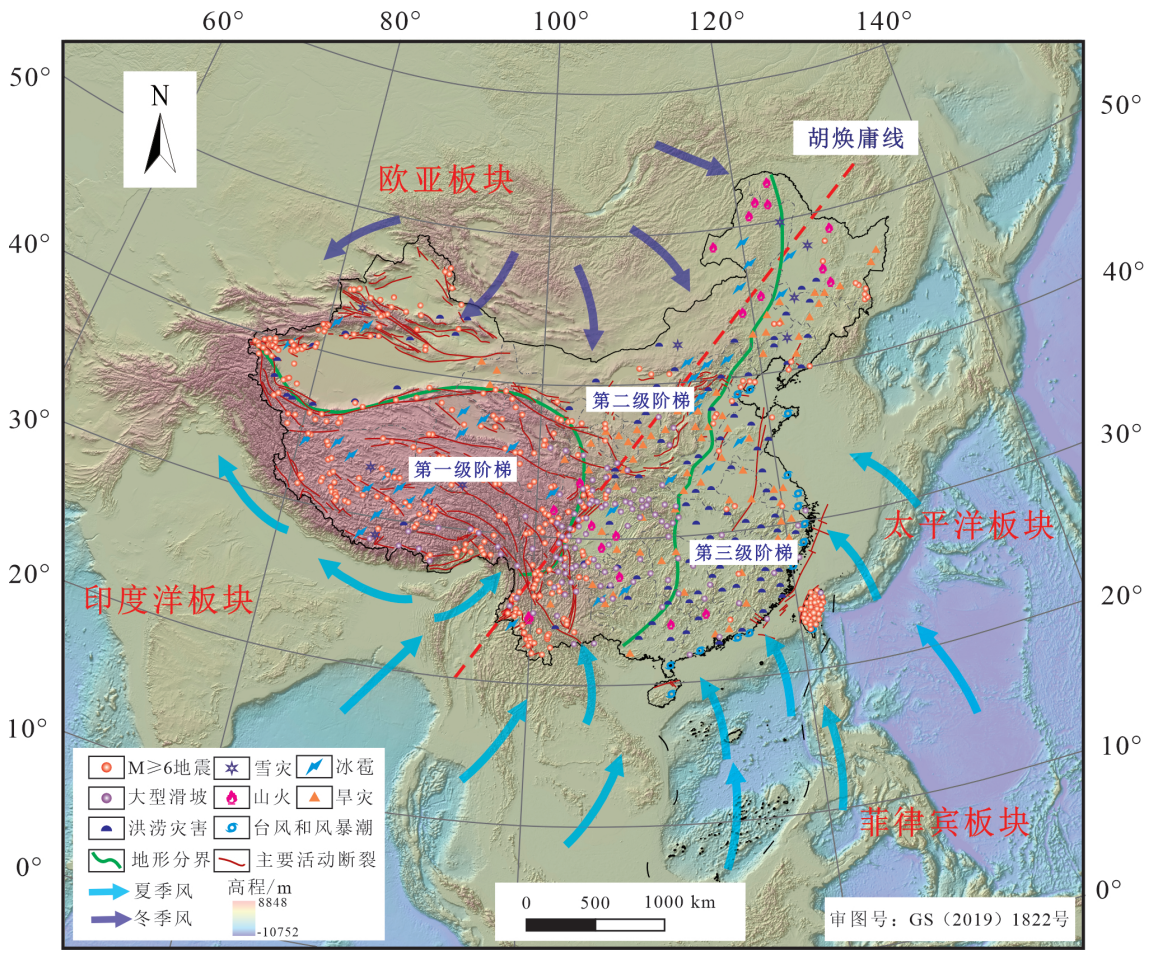


图2 中国自然灾害孕生背景与主要灾害类型分布[18-20]

Fig.2 Genesis Background and Distribution of Natural Disasters in China[18-20]

水资源短缺。(5)人类活动进一步放大灾害效应。城市建设用地年均扩张超过3%,硬化地表削弱了天然调蓄功能,易引发内涝;高山峡谷区开发破坏坡体稳定,促进滑坡灾害;滨海围填海改变潮滩动力,增加风暴潮风险。

上述五大因素交织,促使我国自然灾害呈现多源驱动、复合放大的整体特征,成为自然灾害基础理论研究和构建防灾减灾技术体系不可忽视的孕灾背景。

1.2 我国自然灾害时空分布规律

正确认识自然灾害的发生时间和空间分布规律,是自然灾害防治理论创新研究的基础。在时间上,受季风进退节律、南北高压系统转换与水汽通道季节性重构的共同控制,我国部分自然灾害类型存在一定季节性规律。在春季,蒸发量总体大于降水量,易出现旱情并伴随森林火灾;在夏季,受季风和台风环流叠加影响,降雨量、地表径流量显著增大,南方地区进入洪涝高发期,同时诱发大量山洪地质灾害;在秋季,受台风残余水汽与副热带高压共同扰动,沿海风暴潮与内陆旱涝急转并存,并且复合型灾害持续活跃;在冬季,西伯利亚冷高压南侵,寒潮、暴雪和低温冰冻事件集中出现。而地震、海啸等灾害类型发生时间呈现随机、无时序特征。

2 自然灾害基础理论体系研究现状

基础理论是自然灾害防治体系的根基,旨在揭示致灾因子与易灾体(如岩土体、森林、热液、海洋、大气等)之间的相互作用及成灾机制。目前,国内外学者对单灾种的孕生成灾机制已有基本清晰的认识,建立了大陆强震的地球动力学模型[21]、台风暴雨的动力—热力诊断模型[22],以及洪水、滑坡、泥石流的产汇流与坡面失稳模型等[23,24],但在解释自然灾害多圈层耦合、复合触发与链式放大等特征,特别是多灾种协同、多链条汇聚的巨灾现象等方面,仍有许多值得深入探索的关键科学问题,主要包括:多圈层作用孕灾、极端事件触灾、多动力耦合成灾、多过程叠加链灾和多链条互馈致灾,简称“五灾效应”(图3)。该框架立足地球科学系统理论,以多圈层(大气—水文—岩石—生物—人类活动)耦合为顶层设计,以复合事件与级联风险为支撑,将灾变过程从五个环节进行机制化分解:(1)圈层间应力—水—能量—物质的循环如何孕灾?(2)极端事件在阈值突破时如何

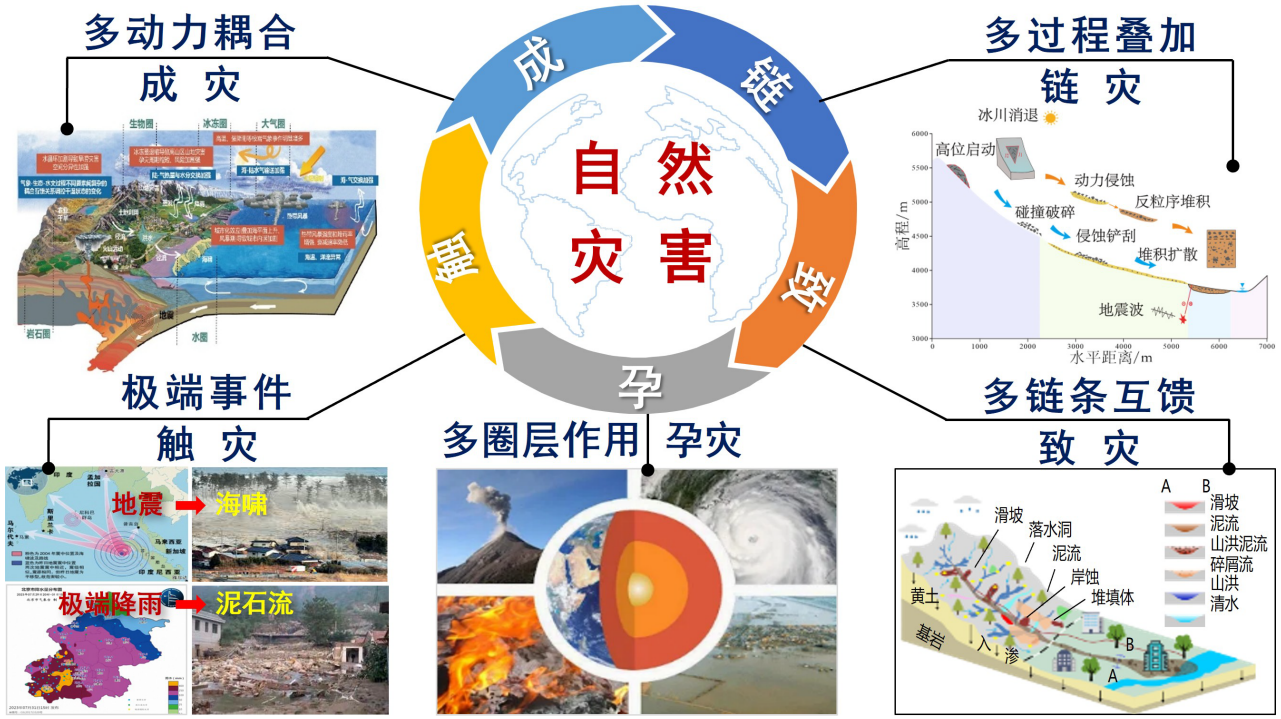


图3 “五灾效应”构成的自然灾害基础理论体系框架

Fig.3 Framework of the Fundamental Theoretical System for Natural Disasters Based on the “Five-disaster Effect”

触发大范围灾害?(3)地球内外动力与人类活动营力如何协同推动成灾?(4)多灾种并发、多过程叠加如何演化为复合链式巨灾?(5)灾害链与工程链互馈如何放大灾害风险?对这些关键环节的深入建模与系统性解答,可为自然灾害全过程防治奠定统一的科学依据,并形成自然灾害基础理论创新体系。

2.1 多圈层作用孕灾理论

多圈层作用孕灾理论的核心思想与国际前沿的地球系统科学观高度契合,即:地球各圈层间的互馈作用决定着地表动力过程,控制着区域自然灾害孕育与演化,深刻影响了不同尺度孕灾系统稳定性和灾害动力学机制。自然灾害孕生是极其复杂的多尺度问题,从宏观星球到局地单元都表现为连续的物质—能量耦合链。太阳辐射、月球引力等天体作用影响大气—海洋环流与地壳应力场,是灾害孕生的宇宙尺度背景;大气、水、岩石、生物和人类多圈层作用通过应力传递、水分能量交换驱动各灾种的生成和转化,是灾害孕生的圈层尺度背景;最终,这些大尺度影响汇聚并作用于岩土体、水流等局地单元,这正是国际上“关键带”科学所聚焦的研究范畴[25],其对圈层作用的非线性响应最终决定了灾变程度。多圈层作用孕灾理论的主要研究方向包括:(1)自然灾害的时空发育特征、分布规律与成因分析;(2)圈层作用过程对孕灾基因非线性演变的控制机制;(3)多时空跨尺度圈层能量传递过程与孕灾驱动机制;(4)圈层作用对地震—洪旱—地质灾害更迭的控制机制。

当前,国内外学者正在着力从宏观上揭示应力、水在圈层中的积累、作用、传递及其孕灾过程。例如,青藏高原在板块抬升过程中岩石强度降低,从而促进强震—滑坡链生,2008年汶川地震诱发60 000余处滑坡[26];2009年南亚夏季风振荡期间,印度北部水汽输送增加约40%,引发超300起滑坡事件[27]。然而,相关研究目前仍局限于个例与部分区域,尚缺乏跨尺度统一框架去刻画关键孕灾因素阈值及其能量集聚与突变过程,还需进一步揭示多圈层不同时空尺度耦合作用下的孕灾机制。

2.2 极端事件触灾理论

极端事件是指复现期低于10%或突破历史极值并造成显著损失的自然或人为灾变过程,其基本属性可概括为低频、高强、巨影响[28]。极端事件是触发巨灾的重要因素,具有显著的跨时空多尺度触灾效应,控制着巨型灾害(链)演进过程与社会响应。围绕这一主题,国内外长期聚焦以下四个方向开展研究:(1)极端事件时空转化特征与巨型自然灾害触发机制;(2)极端事件触发圈层级联失稳机制与时空叠加效应;(3)极端环境下巨灾因素的积累机制与触灾临界条件;(4)极端事件下社会经济系统的响应规律与耦合机制。

2.3 多动力耦合成灾理论

多动力耦合成灾理论的核心思想与国际上“人—自然耦合系统”的研究范式高度一致,即气候变化、构

造运动与人类活动等多动力耦合作用为自然灾害的形成提供了重要驱动力,不同动力因素的耦合作用控制着大型灾害的复杂成灾过程。其主要聚焦四个关键问题:(1)气候动力、构造动力、水动力等单要素成灾机制;(2)多动力耦合成灾机制与大型灾害的形成演化过程;(3)自然灾害演化过程中的相态转化及其动力学机制;(4)多动力耦合作用的成灾过程定量表征与灾害预测模型。

当前学界基本阐明了多动力耦合驱动下的成灾效应,初步构建了内外动力耦合作用下的灾害形成演化框架[29,30]。例如,阐明了水—地震—人类活动协同触发的大型滑坡模式[31-33],发现了高速远程滑坡的流态转化与势流体链动效应[34-36]。多动力耦合过程决定了大型灾害的复杂性与突发性,尚需进一步定量刻画多动力耦合的时空强度及其突变阈值,并阐明巨型灾害聚集规律,为监测预警和风险评估提供可验证的定量依据。

2.4 多过程叠加链灾理论

多过程叠加链灾理论的核心思想与国际灾害科学中的“级联灾害”概念一脉相承,即不同类型灾害的形成演化存在叠加效应,灾链体演进过程中的物质与能量转化控制着灾害链的动态演化路径及非线性放大效应。其主要研究方向包括:(1)灾害物源损伤积累判识模型与失稳临界判据;(2)多物源加积与灾害链阶段转化的动力学机制;(3)长距离演进多过程叠加的灾害级联放大机制;(4)灾害链时空扩展路径与危险性动态评估模型。

近年来我国诸多灾害案例已凸显了相关研究的重要性。在青藏高原,受升温、地震及暴雨叠加控制,滑坡—堵江—溃坝—洪水/泥石流灾害链频现,如易贡滑坡导致的溃坝流流量高达120 000 m^3/s[37,38];在长江中游库区降雨、重力和库水位波动共同作用下,崩塌滑坡—涌浪灾害链多次发生,如千将坪滑坡激起涌浪高达30 m[39,40];在东南丘陵地带,强降雨引发大范围浅层滑坡—泥石流灾害链[41],同时泥石流沿程的铲刮效应可导致其体积扩大2~3倍。特别是在现代社会,这种级联效应还常常表现为自然灾害触发化工厂泄漏、管网断裂等技术灾难,即国内外高度关注的“自然灾害触发技术灾难(Natural Hazard-triggered Technological Accident, NATECH)”事件,其后果更复杂[42]。可见,多过程叠加不仅扩展了灾害链的时空尺度,也极大提升了其破坏强度。要实现灾害精准预测,亟须解析链内多过程耦合机制,构建可刻画其叠加效应的动力学模型。

2.5 多链条互馈致灾理论

多链条互馈致灾理论的核心思想是,不同灾害链之间、灾害链与工程链之间的相互作用涉及自然过程和人地协调过程,链—链互馈作用控制着致灾放大效应。其主要研究方向包括:(1)多灾种并发多灾链汇聚的群发放大机制;(2)复合灾害链生演化过程与时空变化规律;(3)灾害链—工程链互馈机制与致灾放大效应;(4)灾害链过程智能化推演与致灾风险预测。通过揭示不同灾害链汇聚、灾害链与工程链互馈的动力学机制和动态演化过程,实现多链条汇聚致灾过程的三维实景再现与预测。

从近年来我国多次出现的极端降雨群发地质灾害链事件可以看出,多灾链汇聚时,物质与能量重新分配,其非线性叠加过程导致了复杂的致灾放大效应,如山洪—泥石流的转化可使流量与冲击力翻倍[43],多条山洪—滑坡—泥石流灾害链在主沟口汇聚叠加可显著放大致灾能量和影响范围[44],最典型的案例是2010年舟曲特大泥石流,三眼峪沟和罗家峪沟的泥石流在沟口汇合,形成的洪峰流量叠加后据估算超过2 000 m^3/s[16]。目前对于这种致灾场景的推演,主要是基于灾链体的运动过程,忽视了建筑物损毁之后对灾害运动特征的影响,亟需建立基于三维实景或数字孪生的致灾场景推演模型。

2.6 基础理论体系的防灾减灾救灾支撑作用

基础理论作为自然灾害防治体系的核心,直接支撑着灾害隐患识别、监测预警、风险评估、工程治理、应急救援和调控管理等防治技术体系的创新与发展(图4)。灾害隐患识别方面,可依托基础理论揭示灾害发生的机制与规律,精确定位潜在风险;监测预警方面,通过对灾害过程的分析建模提升监测数据分析的准确性,利用孕灾、触灾和成灾理论为建立预警模型奠定物理基础;风险评估方面,通过理论框架量化灾害的发生概率与潜在影响,增强评估的科学性和精细化程度;工程治理方面,可利用灾害机制分析指导工程设计和防护措施的优化;应急救援方面,通过理论模型初步理解致灾结果,优化



图4 自然灾害基础理论体系对防治技术体系的支撑作用

Fig.4 Linkage between the Fundamental Disaster Theory and the Prevention and Control Technology System

应急响应与资源调度；调控管理方面，基于灾害动力学和社会—生态耦合机制，精细化社会管理策略。与此同时，灾害防治技术体系所提供的多源数据、实时反馈与应用场景，也为基础理论的完善提供新的实践依据和验证平台，从而促进理论与技术互补，推动灾害防治体系同步发展。

3　总结和展望

自然灾害防治体系理论创新是一项系统工程，涉及灾害孕生演化机理、监测预警方法及工程治理策略等多层次的科学问题。本文以地球系统科学为核心，融合系统演化观、人地协同观与工程伦理观，系统梳理了自然灾害基础理论体系及其关键科学问题，主要从多圈层作用孕灾、极端事件触灾、多动力耦合成灾、多过程叠加链灾、多链条互馈致灾等五个方面凝练了其核心思想和主要研究方向，旨在为自然灾害防治奠定系统化、可迭代的理论基座，同时为自然灾害隐患识别、监测预警、风险评估、工程治理、应急救援及调控管理等技术体系提供基础科学支撑。

在全球气候变化加剧、极端事件频发、城镇化快速推进的背景下，自然灾害呈现出更强的突发性、复合性与链生性，全球面临的灾害形势更加严峻，也给我国防灾减灾救灾工作带来前所未有的挑战。当前，以人工智能、大数据和高性能计算为代表的新技术日新月异，为认识自然灾害形成演化规律和孕灾—触灾—成灾—链灾—致灾机制的深入研究提供了重要契机。未来应在传承自然灾害经典理论方法的基础上，着力提升动力学解析、数据赋能与智能预测的水平，将自然灾害非线性演化过程转化为可感知、可计算、可调控的系统行为，进一步构建面向复合巨灾的基础理论支撑体系，不断增强人类对自然灾害的预知和综合抵御能力，促进人与自然和谐共生。

致谢　在成文过程中，得到了彭建兵院士、崔鹏院士、唐辉明院士和刘羽研究员的精心指导，范宣梅教授、程谦恭教授、黄达教授和葛永刚研究员参与了专题讨论并提供相关资料，一并深表谢意！

参　考　文　献

[1] Gill JC，Malamud BD. Reviewing and visualizing the interactions of natural hazards. Reviews of Geophysics，2014，52(4)：680—722.

[2] Cui P，Peng JB，Shi PJ，et al. Scientific challenges of research on natural hazards and disaster risk. Geography and Sustainability，2021，2(3)：216—223.

[3] Dennison PE，Brewer SC，Arnold JD，et al. Large wildfire trends in the western United States，1984–2011. Geophysical Research Letters，2014，41(8)：2928—2933.

[4] Papalexiou SM，Montanari A. Global and regional increase of precipitation extremes under global warming. Water Resources Research，2019，55(6)：4901—4914.

[5] Dykes AP，Bromhead EN. The Vaiont landslide：Re-assessment of the evidence leads to rejection of the consensus. Landslides，2018，15(9)：1815—1832.

[6] Singh S，Singh SK，Prajapat DK，et al. Assessing the impact of the 2004 Indian Ocean tsunami on south Andaman's coastal shoreline：A geospatial analysis of erosion and accretion patterns. Journal of Marine Science and Engineering，2023，11(6)：1134.

[7] Ma H，Wang FW. Inventory of shallow landslides triggered by extreme precipitation in July 2023 in Beijing，China. Scientific Data，2024，11：1083.

[8] Ozturk U，Bozzolan E，Holcombe EA，et al. How climate change and unplanned urban sprawl bring more landslides. Nature，2022，608(7922)：262—265.

[9] Rockström J，Steffen W，Noone K，et al. A safe operating space for humanity. Nature，2009，461(7263)：472—475.

[10] Scheffer M，Bascompte J，Brock WA，et al. Early-warning signals for critical transitions. Nature，2009，461(7260)：53—59.

[11] Pescaroli G，Alexander D. Understanding compound，interconnected，interacting，and cascading risks：A holistic framework. Risk Analysis，2018，38(11)：2245—2257.

[12] Zscheischler J，Westra S，Van Den Hurk BJJM，et al. Future climate risk from compound events. Nature Climate Change，2018，8(6)：469—477.

[13] Liu JG，Dietz T，Carpenter SR，et al. Complexity of coupled human and natural systems. Science，2007，317(5844)：1513—1516.

[14] 应急部—教育部减灾与应急管理研究院，北京师范大学国家安全与应急管理学院，应急管理部国家减灾中心，等. 2023年全球自然灾害评估报告.（2024-10-13)/[2025-07-28]. https://www.gddat.cn/newGlobalWeb/#/riskAssessment.

[15] Shen GQ，Hwang SN. Spatial–temporal snapshots of global natural disaster impacts revealed from EM-DAT for 1900-2015. Geomatics，Natural Hazards and Risk，2019，10(1)：912—934.

[16] Tang C，Rengers N，Van Asch TWJ，et al. Triggering conditions and depositional characteristics of a disastrous debris flow event in Zhouqu city，Gansu Province，northwestern China. Natural Hazards and Earth System Sciences，2011，11(11)：2903—2912.

[17] Duan YB，Gao YG，Zhang YS，et al. "The 20 July 2021 major flood event" in greater Zhengzhou，China：A case study of flooding severity and landscape characteristics. Land，2022，11(11)：1921.

[18] 胡天宇，夏兴生. 中国大陆地震灾害灾情数据集(1990-2020).（2023-03-03)/[2025-07-28]. https://data.tpdc.ac.cn/zh-hans/data/555b3d6a-5a04-4c07-97a3-ddc442328347.

[19] 中国气象局. 中国气象灾害年鉴 2023. 北京：气象出版社，2025.
China Meteorological Administration. China Meteorological Disaster Yearbook 2023. Beijing：China Meteorological Press，2025.（in Chinese）

[20] 中华人民共和国水利部. 中国水旱灾害防御公报2024. 北京：中国水利水电出版社，2025.

Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. China Flood and Drought Disaster Prevention Bulletin 2024. Beijing:China Water & Power Press,2025. (in Chinese)

[21] 王安简,陈运泰. 共轭地震与地壳介质内摩擦系数的测定. 地震学报,2022,44(6):980—997.
Wang AJ,Chen YT. Conjugate earthquake and measurement of friction coefficient in crustal medium. Acta Seismologica Sinica,2022,44(6):980—997. (in Chinese)

[22] Wang C,Yang N,Li XF. Advancing forecasting capabilities:A contrastive learning model for forecasting tropical cyclone rapid intensification. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2025,122(4):e2415501122.

[23] Iverson RM. Landslide triggering by rain infiltration. Water Resources Research,2000,36(7):1897—1910.

[24] 许强,陈国庆,魏涛,等. 突发型滑坡形成过程中应力—滑动力—变形动态变化特征研究. 岩石力学与工程学报,2025,44(1):1—15.
Xu Q,Chen GQ,Wei T,et al. Dynamic characteristics of stress,sliding force and deformation during the evolution of sudden failure landslide. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2025,44(1):1—15. (in Chinese)

[25] National Research Council. Basic Research Opportunities in Earth Science. Washington,D.C.:The National Academies Press,2001.

[26] Zhao B,Su LJ,Xu Q,et al. A review of recent earthquake-induced landslides on the Tibetan Plateau. Earth-Science Reviews,2023,244:104534.

[27] Fan LF,Kuang XX,Ouyang CJ,et al. Climatic controls on hydrological landslide triggering in the northern Himalayas. Water Resources Research,2025,61(2):e2024WR039611.

[28] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Cambridge:Cambridge University Press,2012.

[29] Bazai NA,Cui P,Carling PA,et al. Increasing glacial lake outburst flood hazard in response to surge glaciers in the Karakoram. Earth-Science Reviews,2021,212:103432.

[30] 范宣梅,戴岚欣,钟育瑾,等. 岷江上游叠溪古滑坡坝-堰塞湖研究进展. 地学前缘,2021,28(2):71—84.
Fan XM,Dai LX,Zhong YJ,et al. Recent research on the Diexi Paleo-Landslide:Dam and lacustrine deposits upstream of the Minjiang River,Sichuan,China. Earth Science Frontiers,2021,28(2):71—84. (in Chinese)

[31] 张永双,成余粮,姚鑫,等. 四川汶川地震-滑坡-泥石流灾害链形成演化过程. 地质通报,2013,32(12):1900—1910.
Zhang YS,Cheng YL,Yao X,et al. The evolution process of Wenchuan earthquake-landslide-debris flow geohazard chain. Geological Bulletin of China,2013,32(12):1900—1910. (in Chinese)

[32] 彭建兵,吴迪,段钊,等. 典型人类工程活动诱发黄土滑坡灾害特征与致灾机理. 西南交通大学学报,2016,51(5):971—980.
Peng JB,Wu D,Duan Z,et al. Disaster characteristics and destructive mechanism of typical loess landslide cases triggered by human engineering activities. Journal of Southwest Jiaotong University,2016,51(5):971—980. (in Chinese)

[33] 唐辉明,李长冬,龚文平,等. 滑坡演化的基本属性与研究途径. 地球科学,2022,47(12):4596—4608.
Tang HM,Li CD,Gong WP,et al. Fundamental attribute and research approach of landslide evolution. Earth Science,2022,47(12):4596—4608. (in Chinese)

[34] Shugar DH,Jacquemart M,Shean D,et al. A massive rock and ice avalanche caused the 2021 disaster at Chamoli,Indian Himalaya. Science,2021,373(6552):300—306.

[35] 殷跃平,高少华. 高位远程地质灾害研究:回顾与展望. 中国地质灾害与防治学报,2024,35(1):1—18.
Yin YP,Gao SH. Research on high-altitude and long-runout rock-slides:Review and prospects. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control,2024,35(1):1—18. (in Chinese)

[36] 程谦恭,王玉峰,林棋文,等. 喜马拉雅造山带高速远程滑坡动力学机理研究的思考. 地质学报,2024,98(11):3238—3254.
Cheng QG,Wang YF,Lin QW,et al. Consideration on dynamics of rock avalanches in the Himalayan Orogenic Belt. Acta Geologica Sinica,2024,98(11):3238—3254. (in Chinese)

[37] Shang YJ,Yang ZF,Li LH,et al. A super-large landslide in Tibet in 2000:Background,occurrence,disaster,and origin. Geomorphology,2003,54(3/4):225—243.

[38] 范宣梅,王欣,戴岚欣,等. 2022年M_S 6.8级泸定地震诱发地质灾害特征与空间分布规律研究. 工程地质学报,2022,30(5):1504—1516.
Fan XM,Wang X,Dai LX,et al. Characteristics and spatial distribution pattern of M_S 6.8 Luding Earthquake occurred on September 5,2022. Journal of Engineering Geology,2022,30(5):1504—1516. (in Chinese)

[39] Wang FW,Zhang YM,Huo ZT,et al. The July 14,2003 Qianjiangping landslide,Three Gorges Reservoir,China. Landslides,2004,1(2):157—162.

[40] Li DY,Nian TK,Tiong RLK,et al. River blockage and impulse wave evolution of the Baige landslide in October 2018:Insights from coupled DEM-CFD analyses. Engineering Geology,2023,321:107169.

[41] Zhou WQ,Qiu HJ,Wang LY,et al. Combining rainfall-induced shallow landslides and subsequent debris flows for hazard chain prediction. Catena,2022,213:106199.

[42] Cruz AM,Suarez-Paba MC. Advances in natech research:An overview. Progress in Disaster Science,2019,1:100013.

[43] Li BL,Fang YL,Li YY,et al. Dynamics of debris flow-induced impacting onto rigid barrier with material source erosion-entrainment process. Frontiers in Earth Science,2023,11:1132635.

[44] 朱贺,张永双,任三绍,等. 拒马河上游极端降雨引发的地质灾害特征与链生演化过程. 水文地质工程地质,2025,52(3):186—196.
Zhu H,Zhang YS,Ren SS,et al. Characteristics and chain-generated processes of extreme rainfall-induced geohazards in the upper reaches of the Juma River. Hydrogeology & Engineering Geology,2025,52(3):186—196. (in Chinese)

The Progress and Prospects of the Basic Theoretical System on Natural Disasters

Yongshuang Zhang[1*] Changdong Li[2] Fanyu Zhang[3] Tao Zhang[1]

1. *School of Engineering and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China*
2. *Faculty of Engineering, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China*
3. *School of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*

Abstract Natural disasters are characterized by diverse types and severe impacts, along with pronounced spatiotemporal heterogeneity and cascading effects, which give rise to numerous fundamental theoretical challenges in disaster prevention and mitigation. In China, the hazard formation environment is complex and governed by multiple dynamic factors, leading to substantial variation in the spatiotemporal patterns of different disaster types. The current theoretical system for disaster prevention remains insufficient. Based on reviewing the current state of basic research on natural disasters internationally, the theoretical dimensions of disaster incubation, triggering, formation, cascading, and amplification are systematically analyzed, forming the core of the proposed "five-disaster effect" framework. It is proposed that the core objective of basic theoretical research on natural disasters is to reveal the interaction mechanism between disaster-inducing factors and the formation and evolution of disasters. A deeper understanding of the full-cycle dynamics and spatiotemporal patterns of disaster processes can provide robust theoretical support for key technical domains such as hazard identification, monitoring and early warning, risk assessment, engineering mitigation, emergency response, and governance strategies. Above research work can also provide theoretical foundation for innovation of natural disaster prevention and control.

Keywords natural disasters; spatio-temporal distribution; five-disaster effect; basic theory; innovative system

张永双 中国地质大学(北京)二级教授,博士生导师,国家减灾委专家委员会委员,中国地质学会工程地质专委会副主任委员,IAEG-C24秘书长。研究方向为工程地质与地质灾害,主持国家重点研发计划项目、国家自然科学基金重点项目等30余项科研项目,发表学术论文200余篇,主编技术标准5部。曾获省部级科学技术奖一等奖4项、二等奖4项,获"全国抗震救灾模范"及自然资源部首批科技创新领军人才称号。

(责任编辑 王 磊 张 强)

* Corresponding Author, Email: zhys100@cugb.edu.cn