

延军平, 李英杰, 李双双, 等. 重大自然灾害时空对称性方法体系综述[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 149–154, 182. [YAN Junping, LI Yingjie, LI Shuangshuang, et al. Review on spatiotemporal symmetry methodology of natural disasters [J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(1): 149–154, 182. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.01.026.]

重大自然灾害时空对称性方法体系综述^{*}

延军平, 李英杰, 李双双, 唐宝琪, 王文静

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘 要: 重大自然灾害趋势判断, 是灾害预测、灾害预报、风险评估研究体系的完善, 也是推动灾害风险管理研究创新的新思路。在已有研究基础上, 对自然灾害时空对称性的理论基础进行再思考, 从对称性原理、元素周期律、逆向创新思维、信息学理论、地理学时空规律等角度, 总结了自然灾害时空对称性的理论基础; 进而从时间对称性、空间对称性和时空对称相关机理 3 个方面, 提出新的自然灾害时空对称性方法体系; 同时, 研究探讨了自然灾害时空对称性研究的发展方向, 即气象灾害空间对称性、自然灾害等级量化、对称性相关机理综合、时空对称性案例丰富, 以期构建统计灾害学, 深化自然灾害趋势研究提供理论和方法借鉴。

关键词: 灾害统计; 时空; 对称性; 方法体系; 自然灾害

中图分类号: X43; P463 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2017)01-0149-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.01.026

1987 年, 联合国通过“国际减灾十年”活动, 不同的国家与地区积极响应, 取得了瞩目的减灾成就^[1]。总结过去半个多世纪灾害的研究和抗灾救灾斗争, 积极的办法不是救灾, 而是灾前的管理和适应^[2]。灾害预测、预报和预警工作是灾害管理研究的重要组成部分, 是衡量灾害管理研究水平高低的主要标志之一^[3]。自然灾害趋势判断, 重点关注未来 2~20 年内灾害发生的可能年份和区域, 是风险评价、灾害预测、灾害预报研究体系的完善, 也是推动灾害风险管理研究创新的新思路^[4]。因此, 重视自然灾害趋势判断研究, 提高趋势判断水平, 是当前灾害学研究的重要课题之一。

已有研究中, 许多学者综合信息学突变理论、统计学相关理论、地理学时空对称性理论等, 通过大量区域灾害事实分析, 提取区域灾害对称性结构的信息, 对重大自然灾害发生趋势进行有效判断^[5]。研究灾种不断丰富和完善, 在重点关注地震、干旱、暴雨、洪涝等经典灾害的同时, 热带气旋、雷暴、雪灾、大风等新的灾种也被纳入研究体系^[6-15]; 研究尺度不仅集中于中国不同地理单元或行政区域, 而且将研究视角拓展到全球, 智利、墨西哥、意大利、菲律宾、缅甸、印度尼西亚、斐济、伊朗、美国阿拉斯加州、所罗门群

岛、西太平洋北部俯冲带等地震多发区, 均被纳入地震时空对称性研究案例^[16-25]。与此同时, 重大自然灾害时空对称性方法体系也不断丰富, 研究方法由前期的单一的“可公度趋势判断”, 发展为“蝴蝶结构图、可公度结构系(立体和平面)、空间对称轴和相关机理分析”综合趋势分析。笔者认为, “只有部分灾害在部分时期和部分空间具有对称性, 这就需要通过不同案例进行甄别, 寻找自然时空对称性的本质规律”^[26]。当前重大自然灾害时空对称性实际案例不断丰富, 同时迫切需要对时空对称性的理论基础和方法体系的进行总结。

基于此, 本研究对自然灾害时空对称性的理论基础进行凝练, 进而从时间对称性、空间对称性、时空对称相关机理等三个方面, 提出新的自然灾害时空对称性方法体系, 并探讨了自然灾害时空对称性的重点研究方向, 以期对自然灾害趋势深入研究提供理论支持和方法借鉴。

1 重大自然灾害时空对称性理论基础

灾害是复杂系统与复杂性科学问题, 简单问题关注因果关系, 复杂问题追求相关关系。数学

^{*} 收稿日期: 2016-06-25 修回日期: 2016-08-18

基金项目: 国家社会科学基金重点项目(14AZD094); 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(15JJD790022); 国家自然科学基金项目(41171090)

第一作者简介: 延军平, (1956-), 男, 陕西榆林人, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为灾害地理与环境变化。

E-mail: yanjp@snnu.edu.cn

在推理,统计在推断,灾害研究需要创新统计推断与信息判断结合的研究方法。在重大自然灾害趋势判断中,从逆向思维的角度出发,综合统计方法来发掘灾害发生的统计规律,暂时放弃“为什么”,先搞清楚“是什么”,做好灾前预警,是当前自然灾害研究值得探索的方向之一。

(1)对称性原理。对称性包括时间对称性和空间对称性。①时间对称性指“某些地理现象的产生和变化存在一定的时间周期或多重时间周期叠加组合,在周期的任意时刻都存在相同或相似的性状或状态”^[27];②空间对称性指“事物结构对称和事物所处的空间位置的联系,多指几何空间配置上的对称性,如数学中的点对称、轴对称等,是观察对象相对于某一事物经过空间位置转换后和变化前相似的性质”^[27]。自然界对称性是普遍存在的,但是不是所有灾害、所有区域、所有时间均具有对称性,只有通过大量实证案例分析,对灾种、区域及时段进行筛选,才能有效地推进自然灾害趋势判断研究。

(2)元素周期律。元素周期律是对称性微观的表现。原子序号与元素性质之间井然有序,反映出稳定的自然现象。化学元素周期中现有元素的相对原子量具有可公度性。对称性是自然界存在着的一种规律,它不仅支配着化学元素渐变性的周期规律,也支配着类似地震等突发性的自然灾害现象。

(3)逆向创新思维。经典的灾害预测方法是正向思维,即先揭示灾害的物理机理,通过机理研究灾害的统计规律。统计灾害学的逆向创新思维是,先探索研究灾害的统计规律,后寻找灾害形成的物理机理,是统计规律走向唯象理论,以期实现机理动力学预报。

(4)信息学理论。纯粹的统计学预测要求数据的连续性,而信息统计方法则提取具有强烈信号的不连续的灾害信息,分析判断突变点时间,实现灾害可能发生时间的判断^[28]。

(5)地理学时空规律。自然灾害作为地理现象之一,具有典型的时空分异特征。从地理学时空规律的视角,打破传统灾害预测单一的时间视角,对于提高灾害的趋势判断具有重要的理论意义。

2 重大自然灾害时空对称性方法体系

重大自然灾害时空对称方法体系主要包括3部分:时间对称性研究方法、空间对称性研究方法和时空对称性相关机理验证(图1)。其中,时间对称性研究方法包括:可公度趋势判断、蝴蝶结构图和时间对称结构系,旨在寻找自然灾害周期变化的时间对称轴;空间对称性研究主要针对于地震灾害,旨在确定地震未来可能发生空间位置,

方法体系包括:震中迁移分析、经纬向震中对称轴、震中多边形对称轴;时空对称性相关机理是对前2种方法的补充和验证,从地球系统多圈层能量、物质交换角度出发,借助灾害表象与触发因子的统计相关或遥相关分析,反推重大自然灾害的潜在物理机理。

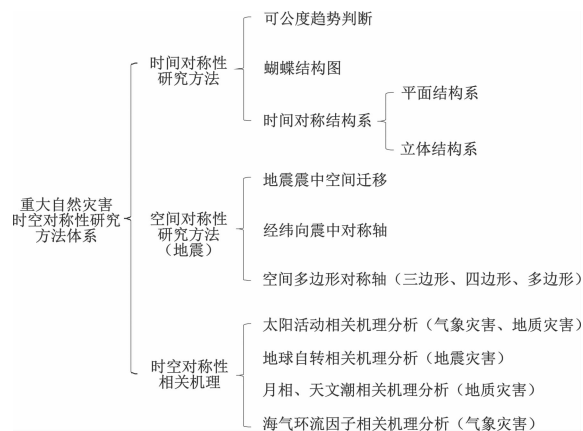


图1 重大自然灾害时空对称性研究方法体系

2.1 重大自然灾害时间对称性方法

2.1.1 可公度趋势判断

“可公度性”最早由天文学家提丢斯-波特提出,后被广泛应用于国内外重大自然灾害趋势预测研究中。常用的方法有三元、四元和五元可公度,在实际灾害事件趋势判断中,优先考虑三元可公度的计算结果^[17]。翁文波院士利用可公度原理,对252次灾害趋势进行判断,实际发生灾害211次,准确率83.7%,其中1991年淮河流域洪水趋势判断的分析,至今成为“可公度”研究的典型案例^[11,29]。

2.1.2 蝴蝶结构图

蝴蝶结构图是自然灾害时间对称性结构的体现,是剖析时间对称性的重要方法。以自然灾害发生年份为横轴,将重复周期的年份用曲线连接,在曲线上标注周期;不同周期的曲线交织,可清晰展现出自然灾害事件的周期变化规律(图2a)。蝴蝶结构图作用可总结为:①识别自然灾害时间对称轴;②解决可公度趋势判断中,存在2个以上强信号年,如何确定最佳灾害发生年份的问题。

2.1.3 时间对称结构系

时间对称结构系是依据时间对称性周期特点,绘制自然灾害事件向量图,用于表征灾害事件的相互次序和时间韵律特征,可以为平面结构系和立体结构系(图2b~图2c)。蝴蝶结构图旨在“线”中寻找时间“点”的对称规律,平面结构系是在“面”中寻找“点”的对称规律,立体结构系则是在“体”中寻找“点”对称规律^[12]。关于时间对称结构系的研究案例,可参考王米雪等《基于可公度方法的香港雷暴活动趋势判断》^[12]和门可佩教授系列研

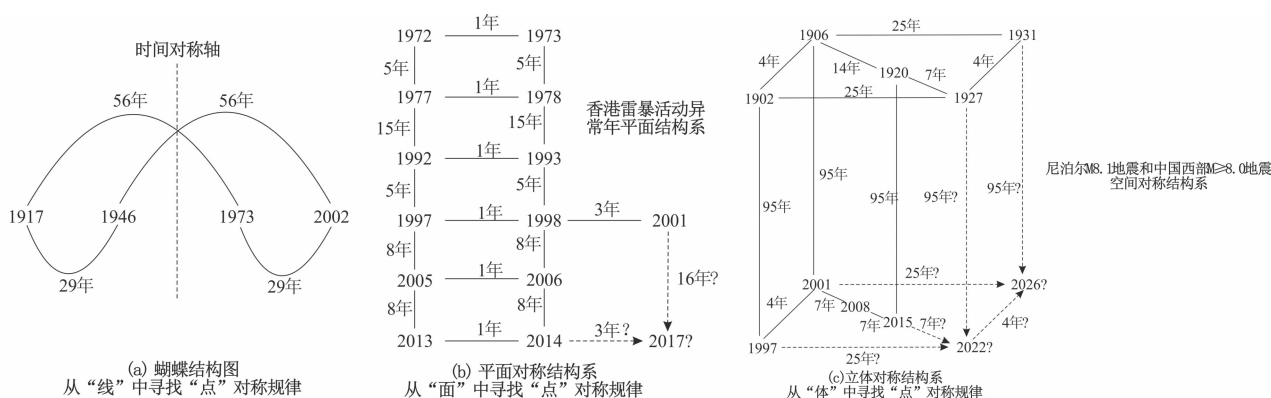


图2 自然灾害时间对称结构方法

注: 图2b依据参考文献[12]改绘, 图2c依据参考文献[30]改绘。

究成果^[30-32]。

2.2 重大自然灾害空间对称性方法

日本学者笠原顺三认为, 地震迁移是理解地震现象本质。郭增建和秦保燕曾对中国地震震中迁移现象做出较全面的讨论, 指出“震中迁移现象可能是迁移带内各地段因位置次序原因, 在构造力作用下的能量积累过程略有差异”^[34]; 美国学者 J. C. Savage 在北美西海岸的大地震迁移研究中, 也发现了震中迁移现象^[35]。

空间对称性结构主要表现为震中多边形结构空间变换, 常以三角形或四边形结构分析, 借此寻找震中迁移空间对称轴。结合已有研究, 我们绘制了震中跨轴迁移的三边形、四边形、螺旋迁移示意图, 更加清晰地说明空间对称轴分析方法。其中, 图中白色圆圈为历史震中, 黑色圆圈为未来趋势判断震中, 圈中数字为地震发生时间次序(图3a~图3c)。

具体分析过程如下: ①震中跨轴对称—三边形结构。在图3a中, 1~8号地震震中以三边形顺次连接, 发现三边形2个顶点位于对称轴左侧, 1个顶点位于对称轴的右侧。假设区域震中三边形对称结构存在, 那么第9次地震很可能发生在对称轴的右侧; ②震中跨轴对称—四边形结构。在图3b中, 1~4号地震震中按照发生时间顺次连接, 四边形2个顶点跨轴分布, 且第5~6号震中位于对称轴左侧, 7号震中位于对称轴右侧。如果区域震中四边形跨轴对称特征存在, 那么可以大胆预测8号地震很有可能在对称轴右侧发生; ③同时, 地震震中还存在螺旋迁移(图3c)、经纬向对称迁移现象(图3d), 识别地震空间对称轴, 可以对区域未来震中空间迁移位置进行有效判断。

空间对称轴研究案例(1): 中国西南地区地震活动南北对称轴。从中国西南地区现代水平活动图可以看出, 在 101.5°E 附近存在南北向的动力来源, 中部块体自北向南运动, 造成了块体间的错

动, 往往引发强震, 而且震中以 101.5°E 对称轴呈现东西震荡分布^[27,33]。地震带断层常常呈现几何对称分布(等间距、带型、菱形等), 能量释放的源点往往符合对称结构, 其可能是震中迁移呈现空间对称性的物理基础。

空间对称轴研究案例(2): 中国新疆及邻近地区地震经纬向迁移对称轴。1900~2013年新疆及邻近地区7.0级以上地震共发生18次, 纬向震中迁移对称轴在 40°N 左右, 经向震中迁移对称轴在 80°E 左右, 震中经向与纬向迁移具有良好的同步性。也就是说, 当震中向东迁移时, 纬向上同步向北迁移; 当地震震中向西迁移时, 纬向上震中向南迁移^[25]。2014年2月12日新疆于田发生7.3级地震, 震中位于 36.1°N , 82.5°E 。相对2008年3月21日于田7.3级地震(35.6°N , 81.6°E), 震中向东北迁移, 震中趋势判断位置符合“当地震震中向东迁移时, 纬向上同步向北迁移”的规律。

空间对称轴研究案例(3): 西太平洋俯冲带北部强震螺旋迁移对称轴。西太平洋俯冲带北部地区近110年 $M \geq 8.0$ 强震呈现南北对称回旋迁移的现象(图2f)。“依据发震时间顺次, 用三角形将震中相连, 发现震中三角形底边集中分布在第一象限, 顶点则分布于第三象限, 呈现西北-东南对称分布”^[15]。在前期研究中, 西太平洋俯冲带北部强震空间分布具有对称性, 结合可公度趋势判断结果, 下次强震很可能发生在2013年或2014年, 震中向东北方向迁移(43.0°N 以北, 146.0°E 以东)。根据中国地震台网监测, 2013年5月24日鄂霍次克海附件(54.7°N , 154.0°E)发生8.2级地震, 与震中趋势判断位置基本相符。

2.3 重大自然灾害时空对称性相关机理

太阳活动、地球自转速度变化、厄尔尼诺现象、月球引潮力、构造应力等触发因子, 与自然灾害时空对称性具有特殊的关系。重大自然灾害内在机制应该多因素共同触发, 受到外力源、面

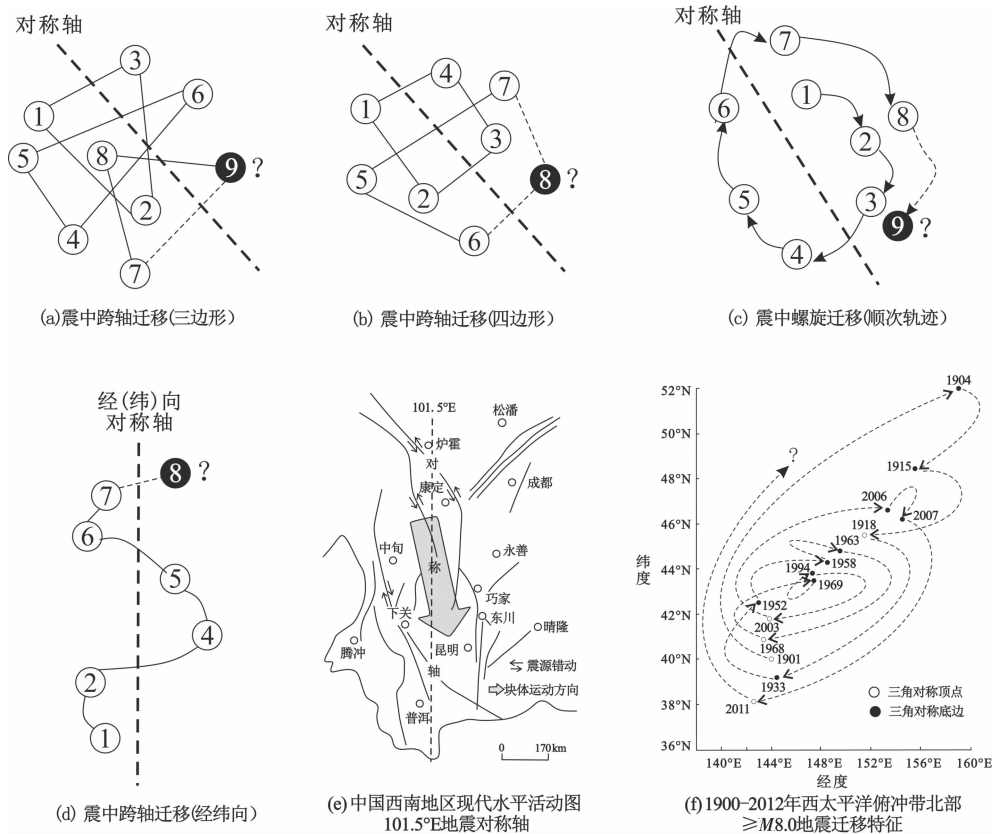


图3 地震灾害空间对称轴分析示意图

注：图3e根据文献[27]改绘，图3f西太平洋俯冲带北部强震迁移规律可以参考文献[16]。

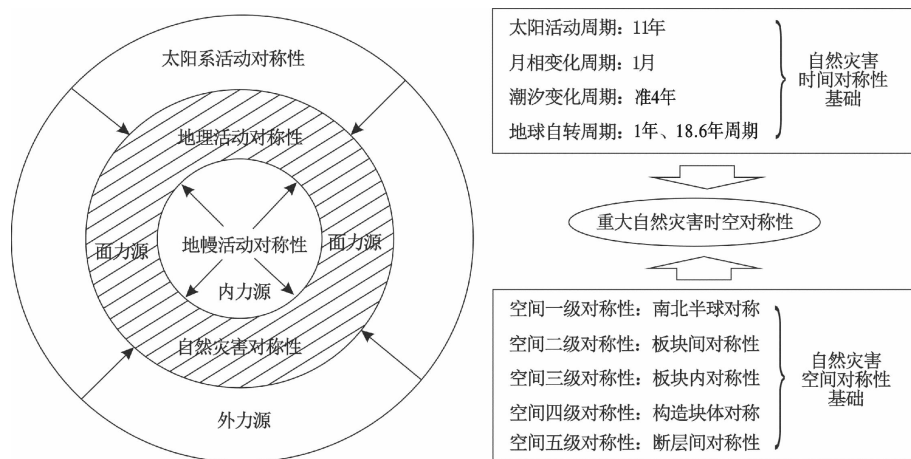


图4 自然灾害时空对称性的内力源、面力源和外力源

力源和内力源共同作用(图4)。因此，在地球系统多圈层能量、物质交换大视野下，借助灾害表象与触发因子的统计相关或遥相关分析，反推重大自然灾害的潜在物理机理，具有重要的探索意义。

2.3.1 太阳活动相关机理

太阳活动具有典型的准11年周期，地震发生与太阳风磁场到达地球的优势聚集方向存在关联性^[36]。太阳风高速高能粒子流，对地壳上脆弱的断层交汇带进行能量加载或卸载，可能触发区域强震^[37]。也有学者提出，地震呈现11年周期活动是受太阳日冕活动影响，日冕抛射物在太阳黑子

磁场弱化1年左右爆发，导致地球自转速率因摄动效应而同步减慢，引起地球地震活动性增强^[38]。在统计层面上，菲律宾^[23]、伊朗^[24]、新疆^[39]、四川^[40]、中国西部^[41-42]等验证结果表明，地震发生时间往往分布在太阳活动的谷区下降段，但是由于不同地区地质结构存在差异，强震活动与太阳活动关系仍存在不确定性。

2.3.2 地球自转相关机理

地球自转速度变化与众多地球物理现象密切相关，一直是学者研究灾害诱发机理的重要切入点^[43]。地球自转速率具有年周期、准4年周期和

18.6 年周期,自转速率变快或正负变化常常诱发地震^[44]。地球自转速率变化会导致地球内部圈层力学耦合状态的改变,引起地震带上应力的重新分布^[38,45];反之,强震也会导致全球自由振荡及局部地形与质量迁移,进而影响地球自转速率变化^[46]。研究发现,全球和中国大地震释放能量的高峰值,多分布在地球自转速度变化的谷段、峰段或中段,而过渡期强震发生则相对较少^[47]。马宗晋等认为地震迁移可能是地球自转速率变化、板块推挤引发的变形波和地幔热流等多因素综合影响的结果^[48]。因此,地球自转周期性的变化,可能是自然灾害时间对称性内在机理之一,特别是地震灾害。

2.3.3 月相天文潮相关机理

潮汐会因月球的引力作用而发生变化,月球的引潮力是太阳的 2.25 倍。当地壳发生异常变化积蓄大量能量时,月球引力变化可能触发地球板块间地震的重要因素^[49]。近百年全球发生 7.0 级以上地震与月球升交点黄经密切相关,月球交点潮变化可能是地震孕育和发生的重要天文影响因素^[50]。实证案例证明,华北地区^[51]、云南地区^[52]、青藏高原东部及邻区^[53]、台湾地区^[54]强震的发生与月相变化有着明显的关系。

笔者通过分析月球引潮力与喜马拉雅地区地震的关系,发现 83.3% 的 7.0 级以上地震发生在朔望日或者其前后 2~3 d,即当月球距离地球近时(朔望日),海潮和固体潮达到最大值,朔望日及前后易触发地震^[26]。月球引力作用促使断层错位时,发生地震的次数较多,当然这仅是一个诱发的外因。如果地壳内部结构不具备发生地震的条件(内因),仅有外因是不会发生地震的。

2.3.4 海气环流因子相关机理

厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)是发生在赤道东太平洋海洋和大气中异常现象,是一种海气相互作用的事件,其周期约为 2~7 年,影响范围涉及到全球^[55]。观测事实表明,多数气象灾害与 ENSO 事件有密切关系。ENSO 事件主要开始于春夏季节,结束于冬春季节,秋末冬初是 ENSO 事件的全盛时期^[56]。中国处于东亚季风区,在秋末冬初 ENSO 全盛时期,往往也是区域旱涝等灾害的频发期。统计华北平原旱涝与厄尔尼诺、拉尼娜事件的关系发现,华北地区旱灾多发生在厄尔尼诺年,而涝灾多发生在拉尼娜年^[26]。ENSO、北大西洋涛动(NAO)、太平洋十年涛动(PDO)等海气环流因子周期性变化,可能是洪涝、雨雪等灾害时间对称性内在机理之一。

3 结论与讨论

近年来,重大自然灾害时空对称性研究案例

不断丰富,方法体系也不断完善,对时空对称性的理论基础和方法体系探讨相对薄弱。在已有研究基础上,本文凝练了时空对称性研究的理论基础,从时间对称性、空间对称性和时空对称相关机理 3 个方面,提出了新的自然灾害时空对称性方法体系。

(1)灾害统计研究通过学科交叉挖掘灾害统计方法,通过时空对称性结构发现灾害统计规律,通过灾害趋势判断实现灾害统计预测。时空对称性是自然灾害趋势判断研究的重要切入点,探讨其理论体系与宏观综合规律,有助于厘清学科的研究范式,优化研究路径与方法,提高学科研究的科学性、应用的价值性。

(2)自然时空对称性方法体系包括 3 个层次:时间对称性方法、空间对称性方法、时空对称性相关机理分析。其中,时间对称性方法包括:可公度趋势判断、蝴蝶图结构、立体和平面对称性结构系;空间对称性方法包括:震中迁移特征、经纬向震中对称轴、空间多边形对称轴;时空对称性相关机理分析包括:太阳活动相关机理、地球自转速度相关机理、月相天文潮周期相关机理、海气环流因子相关机理分析。

(3)自然灾害时空对称性相关机理体系中,地幔活动对称性为内力源,地理活动对称性为面力源,太阳系活动对称性为外力源。在地球系统多圈层能量、物质交换大视野下,借助灾害表象与触发因子的统计相关或遥相关分析,反推重大自然灾害的潜在物理机理,具有重要的探索意义。

重大自然灾害时空对称性理论基础和方法体系研究,还有许多工作值得探索,在此总结为以下 4 个方面:①气象灾害空间对称性问题。现有自然灾害空间对称性方法,主要针对地震灾害空间对称轴以及空间几何结构分析,气象灾害空间对称性的案例和方法尚无实质进展。如何构建全新的气象灾害空间对称性方法体系,需要突破经典地质灾害空间对称性思维的限制;②重大自然灾害等级量化问题。不同区域同种灾害致灾强度和发生频次存在明显差异,不同等级的灾害筛选标准,会产生不同灾害发生时间序列;不同灾害时间序列,对灾害趋势判断结论是否存在不确定性,当前尚无量化评价方法;③时空对称性相关机理体系完善问题。相关研究发现,全球主要地震带地震活动存在 18.6 年周期,此周期不但是地球自转的章动周期,也是月球交点运动的周期。自然灾害受到外力源、面力源和内力源共同作用,如何理解并构建综合的时空对称性相关机理体系,是未来灾害时空对称性机理解释重要探索方向;④不同空间尺度上,重大自然灾害时空对称性趋势判断,仍需大量实证研究,进而评价模型的验

证精度, 为开展精细化研究提供参考, 也为把握区域灾害的时空规律, 提高区域灾害风险管理水平提供理论基础。

参考文献:

- [1] Cutter S L, Gall M. Sendai targets at risk[J]. Nature Climate Change, 2015, 5(8): 707-709.
- [2] 史培军. 仙台框架: 未来 15 年世界减灾指导性文件[J]. 中国减灾, 2015, 15(7): 30-33.
- [3] 唐邦兴, 郑霖. 试论灾害学[J]. 云南地理环境研究, 1992, 4(2): 39-45.
- [4] 延军平, 白晶, 苏坤慧, 等. 对称性与部分重大自然灾害趋势研究[J]. 地理研究, 2011, 30(7): 1159-1168.
- [5] 刘永林, 延军平. 自然灾害趋势判断模型与效果检验[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2015, 43(5): 96-102.
- [6] 龙小霞, 延军平, 孙虎, 等. 基于可公度方法的川滇地区地震趋势研究[J]. 灾害学, 2006, 21(3): 81-84.
- [7] 延军平, 闫娜. 关于地震预测体系构建的可能性及验证[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 2008, 37(5): 19-23.
- [8] 延军平, 闫军辉, 白晶, 等. 基于可公度方法的陕西及邻近地区重大自然灾害发生趋势探讨[J]. 灾害学, 2010, 25(2): 18-20.
- [9] 延军平, 李双双, 刘新颜, 等. 基于对称性的中国台湾地震趋势判断及物理基础[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 11-14.
- [10] 王文静, 延军平, 刘永林, 等. 广西旱灾对称性特征及趋势判断[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2015, 54(6): 163-168.
- [11] 王米雪, 延军平. 1960-2012 年中国东南沿海地区降水变化特征及重涝灾害趋势判断[J]. 地球与环境, 2015, 43(6): 667-674.
- [12] 王米雪, 延军平, 李双双. 基于可公度方法的香港雷暴活动趋势判断[J]. 热带地理, 2015, 35(2): 228-234.
- [13] 刘永林, 延军平. 香港热带气旋趋势判断及相关机理分析[J]. 地球物理学进展, 2015, 30(1): 15-21.
- [14] 张丽花, 延军平, 陈利民. 近 52 年山西暴雨气候变化特征分析[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(4): 142-148.
- [15] 杨蓉, 延军平. 宁夏干旱灾害的时间对称性及趋势判断[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2015, 45(1): 131-134.
- [16] 李双双, 延军平. 西太平洋俯冲带北部地区 MS \geq 8 强震时空对称特征[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(3): 960-966.
- [17] 李双双, 延军平, 刘栎杉, 等. 印度尼西亚 Ms \geq 7.8 强震时空对称特征及其趋势判断[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(1): 190-197.
- [18] 丁彩霞, 延军平, 李敏敏, 等. 意大利 Ms \geq 6 地震时空对称性趋势判断[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(8): 50-54.
- [19] 邢权兴, 延军平. 美国阿拉斯加州 MS \geq 7 地震的时空对称性与趋势判断[J]. 内陆地震, 2014, 28(4): 327-334.
- [20] 韩啸, 董婕, 延军平, 等. 墨西哥 Mw \geq 7.5 地震时空对称性及趋势研究[J]. 内陆地震, 2015, 29(1): 28-36.
- [21] 唐宝琪, 延军平. 斐济地区 MS \geq 7.1 地震活动规律及未来趋势统计研究[J]. 地球物理学进展, 2015, 30(5): 2064-2070.
- [22] 王鹏涛, 延军平, 蒋冲, 等. 所罗门群岛及周边海域 Ms \geq 7.4 级地震时空对称性分析[J]. 高原地震, 2014, 26(3): 1-8.
- [23] 崔徐甲, 延军平, 董治宝, 等. 菲律宾 Ms \geq 7 级地震活动规律及未来趋势[J]. 华南地震, 2013, 33(2): 47-54.
- [24] 刘铮瑶, 延军平, 董治宝. 基于可公度方法的伊朗地区地震活动趋势判断[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(2): 523-528.
- [25] 吴梦初, 延军平. 滇西及缅甸 Ms \geq 6.8 级地震时空对称性研究[J]. 高原地震, 2013, 25(4): 10-16.
- [26] 延军平. 重大自然灾害时空对称性研究[M]. 西安: 陕西师范大学出版总社有限公司, 2013.
- [27] Yan Junping, Li Shuangshuang, Bai Jing, et al. The spatial symmetry axis of earthquake hazard in China[J]. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2013, 1(3): 59-64.
- [28] 翁文波. 预测论基础[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.
- [29] 王志明. 翁文波信息预测科学的哲学基础[J]. 西安石油大学学报(社会科学版), 2011, 20(5): 34-43.
- [30] Men K P, Zhao K. The 2015 Nepal M8.1 earthquake and the prediction for M \geq 8 earthquakes in West China[J]. Natural Hazards, 2016, 82(3): 1767-1776.
- [31] 门可佩. 新疆及其邻区 4 次 M \geq 7 强震预测总结与未来 7 级强震预测研究——基于有序网络结构分析[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2015, 7(6): 567-576.
- [32] 门可佩. 尼泊尔 8.1 级大地震与中国大陆西部 8 级大地震预测研究[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2015, 7(3): 281-288.
- [33] 郭安宁, 陈家超. 中国大震问题[M]. 北京: 地震出版社, 2002.
- [34] 郭增建, 秦保燕. 地震迁移问题[J]. 国际地震动态, 1983, 6(1): 7-10, 31-32.
- [35] 张国民, 傅征祥, 桂燮泰, 等. 地震预报引论[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [36] 赵树贤, 许绍燮, 吴平静, 等. 地震发生与日月运行之关联[J]. 科技导报, 2011, 29(13): 18-23.
- [37] 林云芳, 林泊宁, 陈维升, 等. 太阳活动周与全球大震[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2014, 39(12): 1857-1863.
- [38] 刘双庆, 曹井泉, 张磊, 等. 太阳黑子活动对地球地震活动的影响浅析[J]. 华北地震科学, 2013, 31(1): 1-7.
- [39] 杨马陵, 塔青. 太阳黑子活动与新疆强震活动的关系[J]. 内陆地震, 2012, 26(1): 10-16.
- [40] 吴小平. 太阳活动与四川及邻区强地震时空分布关系[J]. 四川地震, 2005, 24(1): 7-11.
- [41] 韩延本, 郭增建, 吴瑾冰, 等. 太阳活动对中国近东西向断层 8 级大地震的可能触发[J]. 中国科学, 2003, 33(6): 567-573.
- [42] 尹继尧, 朱元清, 宋治平, 等. 中国西部及邻区百年尺度周期的地震活动及其和太阳活动之间的负相关性[J]. 地球物理学报, 2011, 54(9): 2263-2271.
- [43] 马利华, 韩延本, 尹志强. 地球自转速率变化及其与地球物理现象关系研究的进展[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(4): 968-974.
- [44] 陈学忠, 陆小华. 全球不同地区强震与地球自转之间的关系分析[J]. 国际地震动态, 2011, 34(12): 34-40.
- [45] 王连捷, 张利容, 王薇, 等. 地球自转速率变化引起的全球应力场[J]. 地质力学学报, 1997, 3(3): 12-20.
- [46] 陈运泰, 林邦慧, 王新华, 等. 用大地测量资料反演的 1976 年唐山地震的位错模式[J]. 地球物理学报, 1979, 22(3): 201-217.
- [47] 高建国. 地球自转角速度变化触发地震的初步讨论[J]. 科学通报, 1981, 26(5): 293-296.
- [48] 马宗晋, 李献智, 金继宇. 地震迁移的规律、解释和预报——中国大陆四条地震带的地震迁移[J]. 地震地质, 1992, 14(2): 129-139.
- [49] 张晶, 郗钦文, 杨林章, 等. 引潮力与潮汐应力对强震触发的研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(2): 448-454.
- [50] 胡辉, 韩延本, 李语强, 等. 全球大地震与月亮交点潮的相关研究[J]. 天文研究与技术, 2014, 11(3): 317-322.
- [51] 赵娟, 韩延本, 李志安. 日月引潮力与华北地区的地震[J]. 地球物理学报, 1999, 42(S1): 24-29.
- [52] 吴小平, 黄雍, 冒蔚, 等. 云南地震的潮汐应力触发机制及相关天体位置图像[J]. 地球物理学报, 2005, 48(3): 574-583.

(下转第 182 页)

- 调查报告[R]. 西安: 陕西省地质环境监测总站, 2014.
- [13] 赵洲, 薛喜成, 邓念东, 等. 陕西省府谷县地质灾害详细调查报告[R]. 西安: 西安科技大学, 2014.
- [14] 李永红, 范立民, 贺卫中, 等. 对如何做好地质灾害详细调查工作的探讨[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 102-112.
- [15] 刘海南, 李永红, 杜江丽, 等. 陕西省神木县地质灾害群测群防体系现状与对策[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 144-147.
- [16] 雷祥义. 黄土地质灾害的形成机理与防治对策[M]. 北京: 北京大学出版社, 2014.
- [17] 曾磊, 黄玉华. 黄土高原河谷演变与地质灾害发育规律研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(3): 67-71.
- [18] 范立民, 李勇, 宁奎斌, 等. 黄土沟壑区小型滑坡致大灾及其机理[J]. 灾害学, 2015, 30(3): 067-070.
- [19] 王双明, 张玉平. 鄂尔多斯侏罗纪盆地形成演化和聚煤规律[J]. 地学前缘, 1991, 6(S1): 147-155.
- [20] 李帅. 山区部分开采地面变形规律及山坡稳定性分析研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.
- [21] 李海清, 向龙, 贾宏宇. 品字形房柱式采空区开采地表移动规律[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(3): 541-546.

Evolutionary Process of Geological Hazards in Yushenfu Ecological Fragile Mining Area

HAN Jiannan¹, LIU Hainan², HE Weizhong², LI Yonghong²,
JI Yiwei² and ZHAO Zhou³

(1. College of Geology Engineering and Geomatic, Chan'an University, Xi'an 710054, China;
2. Shaanxi Institute of Geo-Environment Monitoring, Xi'an 710054, China; 3. College of Geology and
Environment, Xian University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Because of the effect of natural and human factors interweave, iterative. Ecological environment become fragile sensitive and variable, water resources shortage, land desertification and soil erosion is serious in Yushenfu mining area of Shaanxi. Gestate, occurrence, development and the formation of the geological hazards exacerbated the fragility of eco-environment. In this paper, based on expounding development characteristics and distribution regularity of geological hazards, discuss the evolutionary process of collapse, landslide and ground collapse in yushenfu area. The evolutionary process of landslide, collapse is loess ravine→fragile natural slope→human activity→formation of unstable slope→coupled with water, soil, rock and human function→geological hazards occurrence→exacerbated the fragility of eco-environment. The evolutionary process of ground collapse is lake and river deltaic deposits→gathered coal-bearing strata→balance of soil or rock mass stress in a natural state→human exploit and utilize of mineral resources→the formation of mining empty area→surrounding rock stress redistribution→ground deformation→ground collapse occurrence→exacerbated the fragility of eco-environment.

Key words: ecological environment; fragile mining area; geological hazards; evolutionary process; Yushenfu mining area; Shaanxi Province

(上接第 154 页)

- [53] 孙长青, 阎春恒, 吴小平, 等. 青藏高原东部及邻区地震断层面上的潮汐应力触发效应[J]. 地球物理学报, 2014, 57(7): 2054-2064.
- [54] 赵娟, 韩延本, 李志安. 日月引潮力的变化与台湾地震[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(3): 64-67.
- [55] 黄荣辉. ENSO 及热带海气相互作用动力学研究的新进展[J]. 大气科学, 1990, 14(2): 234-242.
- [56] 孟万忠, 王尚义, 赵景波. ENSO 事件与山西气候的关系[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 258-264.

Review on Spatiotemporal Symmetry Methodology of Natural Disasters

YAN Junping, LI Yingjie, LI Shuangshuang, TANG Baoqi and WANG Wenjing
(College of Tourism and Environmental, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: The trend judgment theory of major natural disaster could be a new starting point to improve the scientific system of disaster forecast, prediction, assessment, and propelled the innovation of risk management research. This article systematically introduced the previous development of research on the spatiotemporal symmetry of natural disaster. The theories of spatiotemporal symmetry in major natural disaster are summarized from the following five aspects, i. e. symmetry theory, chemical periodical law, reversed innovative thinking, informatics theory and spatiotemporal rules in Geography. Moreover, focused on such three key issues as temporal symmetry, spatial symmetry, and relate mechanism analysis of spatiotemporal symmetry, a new framework of spatiotemporal symmetry on natural disaster was proposed. Finally, future research prospects on the spatiotemporal symmetry of natural disaster are discussed, including building the spatial symmetry of meteorological disaster, quantifying the uncertainty of selecting disaster events, incorporating the rationalism mechanisms on spatiotemporal symmetry of natural disaster, enriching the cases and facts of spatiotemporal symmetry of nature disaster, which provided guidance for structuring the new subject of statistical catastrophology, and deepening the academic research on tendency judgment of natural disaster.

Key words: statistical catastrophology; spatiotemporal; symmetry; method; natural disasters