

灾变链式 理论及应用

肖盛燮 等著

国家科技攻关计划重大项目资助

 科学出版社
www.sciencep.com

灾变链式理论及应用

肖盛燮 等 著

国家科技攻关计划重大项目资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以生态环境格局形成灾害的共性为探索背景,揭示并抽象出灾变具有链式效应的共性规律;首次提出灾变以物质、能量与信息为载体反映和载体演化的规律;在归纳灾变类型特征基础上,构建了链式系统理论模型;按灾变形态特征划分链式发育阶段;提出从源头上遏制灾害蔓延的孕源断链减灾模式与机制;构成了完整的灾变链式理论及应用新学科体系。

本书将灾变链式系统学科理论与应用融为一体,可供相关学科及工程领域广大科学工作者、工程技术人员和大专院校师生参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

灾变链式理论及应用/肖盛燮等著. —北京:科学出版社, 2006

ISBN 7-03-017531-X

I. 灾… II. 肖… III. 自然灾害-研究 IV. X43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 070817 号

责任编辑: 鄢德平 张 静 于宏丽 / 责任校对: 赵桂芬

责任印制: 安春生 / 封面设计: 王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年2月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2006年2月第一次印刷 印张: 23 3/4

印数: 1—1 000 字数: 445 000

定价: 65.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<新欣>)

序

科学创新，构建创新型国家是我国当代领导在国家发展宏伟蓝图中的重大科学导向，是促成科技进步，建设文明社会的无穷力量源泉。该书在前人研究的基础上提出“灾变链式理论”，以生态环境格局形成灾害共性为探索背景，揭示灾变的链式效应规律。首次提出灾害以载体反映和载体演化为依托，按灾害特征归纳出 8 种链式类型，按灾害形成破坏力度和机理划分链式发育阶段，提出从源头上遏制灾害蔓延的孕源断链减灾模式，并通过山地崩滑体及高寒地区冻融等示范工程应用研究，形成了灾变链式理论及应用新学科体系。

灾变链式理论的研究，是对各类灾害共性的抽象和提炼，将会加速灾害协同一体的研究进程，可提高控制灾害发育和蔓延的有效性，是促进人与自然和谐的重要举措，具有广阔的研究前景。

灾变理论的创新思维反映了该书主要作者肖盛燮教授的科学创新风貌与可贵的研究精神，这种精神值得发扬和倡导。为此，本人乐于为该书作序，希望该书作者再接再厉，将灾变链式理论继续拓展和深化，使之在应用中产生更大的科学价值。

中国工程院院士

王思敬

前 言

本书以生态环境形成灾害的共性为探索背景,在统观灾害全局的基础上提升到构建灾变链式理论,通过灾害共性抽象与提炼来揭示灾害链式规律.不管构成各类灾害的因素怎样复杂,灾害的形成总有一个逐渐演化的过程,其过程表明灾害形成必有延续性.其演化过程总是以一定的物质、能量等信息形式予以表征,这就是灾害的载体反映和载体演化,这种载体反映与演化体现了由量变到质变的内涵和外延关系的演绎.这种演化过程的表现形式可以用“链式关系”或“链式效应”予以概化.因此,灾变的形态过程就可以用链式关系或效应进行描绘.不同的灾害类型可用统一的链式效应关系来表征,只不过其链式效应的内涵各有不同.因此,可以用灾害链式效应来反映不同性质灾害的类型特征和不同程度灾变的阶段特性.链式形态与灾害类型构成了一一对应的关系,链式形态是对灾害的抽象,灾害是链式形态的依托.根据阶段特性,在灾变初期尚未形成破坏作用的孕育阶段,从源头上致力于孕源断链减灾,将最大限度地遏制灾害的蔓延和扩展,使灾害消逝在萌发阶段,从而减少灾害的发生,即所谓“孕源断链减灾”.再将灾变链式理论结合不同类型灾害分支的应用.这就是本书的总体思路和框架结构.

参与本书撰写的人员有第1~4章:肖盛燮、范海军、刘文方、冯玉涛、王肇慧、隋严春等;第5章:陈洪凯、王昌贤、唐红梅、李明、石晋旭、祝辉;第6章:周小平、肖盛燮、陈山林、王家林;第7章:钟佑明、肖盛燮;第8章:凌天清、何兆益、周辉、郑义;第9章:欧阳祖熙;第10章:张学富.全书由肖盛燮构思、编排与审定.

本书是对“生态环境灾变链式理论及孕源断链减灾机制”研究项目成果的总结和提炼,该项目又是在国家科技攻关计划“西部开发科技行动”重大项目“西南公路交通环境生态灾损可视化监控演绎研究”、中英国际合作项目“公路水运环境灾害远程智能预警研究”基点上的拓展与深化.

该项目先后获得科学技术部、重庆市科学技术委员会、重庆市交通委员会、重庆市教育委员会及项目承担单位重庆交通大学领导和有关部门领导的热情关心与支持;项目合作单位重庆大学、国家地震局地壳应力研究所给予了大力支持并通力合作;项目及专著成果的形成受到中国工程院王思敬、郑颖人、鲜学福等院士的高度关注与支持;本书出版得到科学出版社的热忱关注与悉心合作.一并致以诚挚的谢意!

肖盛燮

项 目 名 称 生态环境灾变链式理论及孕源断链减灾机制

项 目 来 源 自选项目(国家科技攻关计划“西部开发科技行动”重大项目及中
英国际合作项目的拓展与深化)

组织鉴定单位 重庆市科学技术委员会

承 担 单 位 重庆交通大学

合 作 单 位 重庆大学
中国地震局地壳应力研究所

项 目 负 责 人 肖盛燮

研 究 人 员	肖盛燮	周小平	张学富	陈洪凯	欧阳祖熙
	钟佑明	凌天清	范海军	何兆益	王昌贤
	冯玉涛	陈山林	杨锡武	王家林	李 明
	彭 凯	唐红梅	石晋旭	刘建勋	刘文方
	王肇慧	周 辉	郝艳广	郑 义	隋严春
	祝 辉	国祥明	曹 芳	周菊芳	周 丹
	贺丽丽	高海伟	于志军	张显坤	

目 录

序

前言

第 1 章 灾害链式规律性探索与揭示	1
1.1 灾害链的内涵与外延	1
1.1.1 灾害链的内涵定义	1
1.1.2 链式形态与灾害的外延关系	1
1.2 灾害链式规律性表征	2
1.2.1 灾害链式规律的载体反映	2
1.2.2 灾害链式规律的载体演化	3
1.2.3 灾害链的类型特征及其理论框架	4
1.2.4 灾害链式阶段划分及其特性	10
1.3 从链式关系探索灾害的防御途径	11
1.3.1 孕源断链减灾是遏制灾害发育的最佳途径	11
1.3.2 灾害链潜在期的识别与防御	11
1.3.3 灾害过程的可视化浓缩与追溯演绎	13
1.3.4 有效防灾的理论导向	13
1.4 灾害链式理论的研究价值	13
1.4.1 对各类灾害共性的抽象与提炼	14
1.4.2 加速灾害一体化的研究进程	14
1.4.3 实施对灾变机理的规律调控	15
1.4.4 促进人与自然和谐的重大举措	15
1.5 灾害链的研究进展	15
1.5.1 国内外相关的研究状况	15
1.5.2 灾变链式理论的研究进展	16
参考文献	16
第 2 章 灾害链式效应类型特征及理论模型构建	18
2.1 灾害链式效应类型特征	18
2.1.1 链式效应类型特征简析	18

2.1.2 链式类型相应的灾害形态与特征	19
2.2 链式形态与灾害效应的相关性	20
2.2.1 链式形态的内涵及其表征	20
2.2.2 灾害效应的内涵及其表征	21
2.2.3 链式形态与灾害效应的相关性	23
2.3 反映灾害链式效应本质的特征参数	24
2.3.1 外部环境作用影响特征参数	24
2.3.2 灾害链式响应行为特征参数	28
2.4 链式类型特征的理论模型构建	29
2.4.1 灾害链式基本原理	29
2.4.2 灾害链式效应基本概念	30
2.4.3 灾害链式效应结构关系理论	34
2.4.4 灾害链式效应关系模型构建原理	39
2.4.5 灾害链结构关系基本原理	43
2.4.6 几种主要灾害链式类型的理论模型	51
2.4.7 理论模型的应用示例-循环软化作用下边坡力学变形行为分析	55
参考文献	62
第3章 灾变链式形态的阶段划分及其特性	64
3.1 灾变链式形态阶段及其特性	64
3.1.1 灾变形态及过程特征	64
3.1.2 链式阶段的划分原则及其阶段特征	67
3.1.3 灾变形态过程与链式阶段的关系	70
3.2 链式阶段的演化形态特征	71
3.2.1 链式阶段演化的外因影响特征	71
3.2.2 链式阶段演化的指标变态反应	72
3.2.3 链式阶段演化的载体信息转化特征	73
3.2.4 链式阶段演化的作用力破坏效应	73
3.2.5 结语	77
3.3 灾变阶段链式发育机理跟踪	77
3.3.1 灾变阶段链式机理的演变特性	77
3.3.2 灾变阶段和链式机理的发育规律	78

3.3.3 按链式机理发育规律跟踪的对策	81
参考文献	83
第4章 早期孕源断链减灾机制与途径	85
4.1 孕源断链减灾与成灾影响因素的关系	85
4.1.1 孕源断链减灾及潜在作用	85
4.1.2 孕源断链减灾与成灾影响因素的联系	86
4.1.3 重大灾害防御技术的孕源断链体现	87
4.2 按灾害链类型特征遏制灾害链的形成途径	91
4.2.1 灾害类型特征与灾害链的关系	91
4.2.2 通过灾害链遏制灾害发育的机理	93
4.3 从源头上构建断链的模式与机制	94
4.3.1 源头断链减灾模式与机制的形成	94
4.3.2 对灾害链源头特性的识别	99
4.3.3 预警向灾变阶段追踪的途径及效果	101
4.4 区域性综合防灾体系的构建	106
4.4.1 区域性灾害共性特征及其综合防灾	106
4.4.2 区域性综合防灾体系构建框架	109
4.4.3 区域性综合防灾体系的多功能作用	110
4.4.4 结语	112
参考文献	113
第5章 灾害链式关联条件及耦合形态参数	115
5.1 灾害起因的关联条件及因素度量	115
5.1.1 灾害关联条件定义及表现	115
5.1.2 关联条件的理论体系及模型构建	117
5.1.3 关联条件因素度量方法及实例	123
5.2 灾害形成的链式关系及发育机理	129
5.2.1 灾害形成的链式关系特征	129
5.2.2 灾害发育机理的链式关系形态	133
5.2.3 山地滑坡灾变演绎	135
5.3 不同尺度环境因素对灾变的过程耦合	139
5.3.1 不同尺度灾害环境因素的类型特征及其度量	139

5.3.2	灾变过程耦合的机理及方法	141
5.3.3	不同尺度灾害环境因素对灾变过程的耦合效应	146
5.4	灾害耦合参数类型特征及其量化指标	147
5.4.1	灾害耦合参数的实际意义和作用	147
5.4.2	滑坡灾害耦合参数的类型及其特征	147
5.4.3	滑坡灾害耦合参数指标的量化	147
	参考文献	148
第 6 章	山地高速滑坡灾变链式物理力学模型	149
6.1	概述	149
6.1.1	山地高速滑坡灾变链式物理力学模型研究意义	149
6.1.2	国内外研究现状	150
6.1.3	山地高速滑坡灾变链式物理力学模型研究内容	151
6.2	山地高速滑坡二维灾变链式物理力学模型	151
6.2.1	二维高速滑坡灾变链式尖点突变力学模型 ^[10]	151
6.2.2	二维高速滑坡灾变链式失稳状态	153
6.2.3	二维高速滑坡灾变链式突滑条件	153
6.2.4	二维高速滑坡灾变链的能量转化	154
6.3	二维高速滑坡灾变链式裂隙间相互作用对滑坡的影响	158
6.3.1	没有裂隙的岩石受远场压应力作用的问题	159
6.3.2	二维高速滑坡裂隙之间的相互作用问题	159
6.4	山地高速滑坡三维灾变链式物理力学模型	165
6.4.1	山地高速滑坡三维灾变链式尖点突变力学模型	165
6.4.2	山地高速滑坡三维灾变链式失稳状态	168
6.4.3	山地高速滑坡三维灾变链式突滑条件	168
6.4.4	山地高速滑坡三维灾变链式能量转化	168
6.5	算例与分析	173
6.5.1	高速滑坡二维灾变链式算例	173
6.5.2	高速滑坡二维灾变链式参数分析	173
6.5.3	高速滑坡二维灾变链式裂隙相互作用算例	176
6.5.4	三维高速滑坡灾变链式算例	178
6.5.5	三维高速滑坡灾变链式参数分析	179

6.6 结论	182
参考文献	182
第7章 灾变可视化链式动态演绎	184
7.1 灾变可视化链式动态演绎的意义	184
7.1.1 灾害可视化及其意义	184
7.1.2 灾变可视化动态演绎及其意义	185
7.1.3 灾变可视化链式动态演绎的研究内容	186
7.2 灾变可视化链式动态演绎的时空模型	186
7.2.1 灾变时空模型的两种研究思路	186
7.2.2 灾变时空模型的综合建模	187
7.2.3 非匀速塑性滑坡体的一种综合模型	187
7.3 灾变可视化链式动态演绎的参数分类	194
7.4 灾变链式动态演绎的可视化技术	195
7.4.1 灾害几何建模技术	195
7.4.2 灾害物理建模技术	199
7.4.3 灾变的其他可视化技术	201
7.5 灾变可视化链式动态演绎系统的设计与功能实现	202
7.5.1 滑坡灾变动态演绎系统的研究内容	202
7.5.2 滑坡灾变可视化动态演绎系统的结构设计	204
7.5.3 滑坡可视化演绎系统的功能实现	205
7.5.4 灾变可视化链式动态演绎系统的界面	208
参考文献	208
第8章 生态环境与交通设施对灾害的断链与防范	210
8.1 生态环境与交通设施受边坡灾害破坏的制约关系	210
8.1.1 交通设施对生态平衡状态改变的危害分析	210
8.1.2 生态环境改变对交通设施的影响	210
8.1.3 边坡灾害对生态环境与交通设施的双重破坏	211
8.2 边坡灾害链式破坏类型机理及破坏力估算	212
8.2.1 简述	212
8.2.2 常见边坡灾害链的产生机理及其危害特征	213
8.2.3 边坡灾害破坏力的估算	219

8.2.4 边坡灾害对生态环境的影响分析计算	228
8.3 边坡灾害链预警与早期防范	229
8.3.1 边坡灾害链预警理论与方法	229
8.3.2 边坡灾害的早期防范	235
8.4 灾变防范的跟踪机制与实施策略	248
8.4.1 灾变形成不同阶段影响分析	249
8.4.2 不同链式阶段灾变的跟踪与防范	256
8.4.3 灾变防范措施与实施策略	260
8.5 交通设施灾变演绎规律与防治工程	264
8.5.1 交通设施灾变影响因素分析	265
8.5.2 交通设施灾变演绎规律	267
8.5.3 交通设施灾变防治工程	273
参考文献	277
第9章 灾害链预警的无线遥测台网监控与验证	279
9.1 地质灾害监测预警系统	279
9.1.1 地质灾害监测预警研究现状	279
9.1.2 地质灾害监测常用的技术方法	281
9.1.3 地质灾害监测预警系统	285
9.1.4 三峡库区地质灾害监测预警系统	287
9.2 GPS 在三峡库区滑坡灾变监测中的运用	288
9.2.1 GPS 相对定位原理	288
9.2.2 GPS 区域大地变形监测网	290
9.2.3 提高 GPS 相对观测精度的措施	290
9.2.4 监测工作的实施	291
9.3 遥感技术用于滑坡变形监测	292
9.3.1 遥感技术的应用研究	292
9.3.2 InSAR 基本原理	293
9.3.3 永久散射体-角反射器的应用	296
9.4 滑坡变形地面监测网	296
9.4.1 地表倾斜监测网	297
9.4.2 激光测距监测网	298

9.4.3 滑坡深部位移监测网	298
9.4.4 地下水动态监测网	299
9.4.5 岩石声发射信号监测网	299
9.4.6 抗滑构筑物应力监测	300
9.5 RDA 型地质灾害无线遥测台网	301
9.5.1 无线遥测台网的构成	301
9.5.2 功能强大的遥测子站	301
9.5.3 采用先进的 GSM/GPRS 通信技术	303
9.5.4 无线遥测台网的工作方式	304
9.5.5 滑坡变形的应急监测	305
9.6 基于 GIS 的滑坡监测预警系统	306
9.6.1 用于地质灾害监测预警的 GIS 系统	306
9.6.2 系统的总体设计	307
9.6.3 系统的功能	308
9.6.4 监测数据分析研究流程	310
9.7 地质灾变监测预报方法研究	310
9.7.1 地质灾变监测预报方法研究现状	310
9.7.2 遥测台网用于灾变过程监测	311
9.7.3 地质灾害跟踪预报的科学思路	314
9.8 结论	315
参考文献	316
第 10 章 寒区冻融灾变链式理论分析及应用示范	317
10.1 寒区冻融灾变链式特征研究	317
10.1.1 寒区冻融灾害的研究现状	317
10.1.2 寒区路基工程冻融灾变链式特征	320
10.1.3 寒区工程冻融灾变链式模型	322
10.2 空气与固体对流换热和固体热传导链式耦合模型	322
10.2.1 基本假设	322
10.2.2 数学模型	323
10.2.3 有限元分析	324
10.2.4 求解过程	328

10.2.5 算例分析	328
10.3 寒区冻融灾变的水分场与温度场链式耦合模型	333
10.3.1 链式耦合模型及其有限元分析	333
10.3.2 算例分析	336
10.4 寒区冻融灾变的渗流场与温度场链式耦合模型	339
10.4.1 链式耦合模型及其数值分析	339
10.4.2 算例分析	342
10.5 寒区工程断链减灾应用示范	346
10.5.1 风火山隧道的地质状况及其设计概况	346
10.5.2 昆仑山隧道的地质状况及其设计概况	350
10.5.3 寒区工程防冻融断链减灾的方法及施工技术	352
10.5.4 昆仑山隧道漏水断链减灾新措施研究	354
参考文献	361

第1章 灾害链式规律性探索与揭示

1.1 灾害链的内涵与外延

什么是灾害链, 它们的内在含义是什么, 灾害链与相关的灾害有什么对应关系, 这是我们在探索灾变规律中必须首先明确的. 形成灾害链的总体理念和纲要, 是深化灾害链认识和研究所必须遵循的途径, 为此我们首先定义灾害链.

1.1.1 灾害链的内涵定义

1. 灾害链的定义

灾害链是将宇宙间自然或人为等因素导致的各类灾害, 抽象为具有载体共性反映特征, 以描绘单一或多灾种的形成、渗透、干涉、转化、分解、合成、耦合等相关的物化流信息过程, 直至灾害发生给人类社会造成损失和破坏等各种链锁关系的总称.

2. 灾害链内涵的分析

根据灾害链的定义可将其内涵分解如下:

- (1) 灾害链是将各种灾害抽象为物质、能量及信息流的载体反映;
- (2) 灾害链可反映单一或多灾种的形成过程及其渗透、干涉、转化、分解、合成、耦合等物化关系;
- (3) 通过对灾害链形成的机理分析、理论模型构建以及参数的定性、定量描述, 可得到对灾害破坏性能的度量;
- (4) 灾害链可反映各种灾害对人类社会造成的破坏关系和破坏作用;
- (5) 通过对灾害链式关系的规律剖析, 为断链减灾提供了可行途径.

1.1.2 链式形态与灾害的外延关系

灾害链定义下的外延, 就是相对应的各种灾害、灾害链或其形态必须客观地反映灾害实质, 并且通过对灾变链式关系的研究使防灾减灾落到实处. 灾害的形成具有链式规律性, 构成各类灾害的因素不管怎样复杂, 不同灾害受到不同地域、环境、气候的变迁而呈现千差万别的格局和千变万化的态势, 但灾害的形成总有一个逐渐演化的过程, 其演化过程暴露了自然环境状态朝着不利于人类社会的偏移方向演绎, 这个过程机理表明灾害形成必有延续性, 其延续性的演化过程总是以一定的物质或能量形式予以表征, 这就是灾害链的载体反映, 这种载体反映体现了由量变到质变的内涵与外延关系的演化. 我们将这种演化过程的表

现形式用“链式关系”或“链式效应”来概化。因此,灾害的形成过程就可以用链式关系或效应进行描绘。不同的灾害类型可用统一的链式效应关系来表征,只不过它们的链式效应的内涵各有所别。正如,用音符 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 可谱写出各种各样表达不同喜、怒、哀、乐的乐曲一样,这些基本音符虽未改变,但由它们组合成的不同音调显现的情景各不相同。按同样的道理,我们可以用灾害链式效应来反映不同性质灾害的类型特征和不同程度灾害的阶段特性。因此定义的链式形态与灾害类型就可以构成一一对应的外延关系,链式形态是对灾害的抽象,灾害是链式形态的依托。它们从不同侧面构成了灾害研究的技术路线,即

(1) 贯穿一条以链式效应为特征的主线;

(2) 潜存一条以灾害机理为核心的辅线。

对主线与辅线的研究将在后面给予深入的探讨。

1.2 灾害链式规律性表征

1.2.1 灾害链式规律的载体反映

灾害链式关系的载体反映,是对灾害链式规律的客观认识,将灾害链的研究落实到物质的第一性,是进一步认识灾害的基础。以物质作为灾害链的载体,物质的主要表现形式有固态、液态与气态等不同体态之分,相应灾害链式形成过程也同样具有不同物质体态的单体演绎或多体态聚集、耦合与叠加的特征,见图 1-1。载体反映的另一伴生特征是能量的聚集、传输与转换关系,能量转换对灾害破坏力构成了耦合与嵌套关系,在灾害形成过程中,表现出的不同程度灾害破坏作用的力度大小,又为破坏力的度量提供了基础条件。

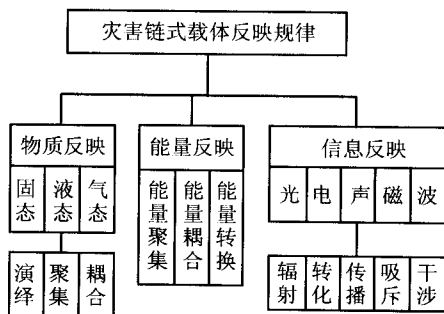


图 1-1 灾害链式载体反映框图

以物质为基础的信息反映也是灾害链常见的载体反映。它们通过信息物质的基本形式光、电、声、磁、波伴随着链式载体起辐射、传播、转化、吸斥与干涉作用,通过这些作用媒介使灾害的破坏作用更加严峻,灾害表现形态更加惊险。如地震灾害伴生着声与波的同时作用,雷雨伴随着声、光、电的作用进行,

电、磁场链式反映也对灾害起重要的伴生作用等。

1.2.2 灾害链式规律的载体演化

灾害链式载体除了以物质、能量、信息方面作为基础条件外，在灾害链的演化过程中还存在性态、量级和时空等演化规律，如图 1-2 所示。

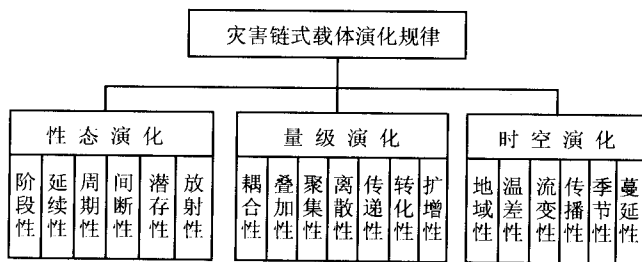


图 1-2 灾害链式载体演化框图

1. 性态演化

性态演化反映了灾害链式载体的性质和状态演化规律，主要包括灾害链式阶段性、延续性、周期性、间断性、潜存性和放射性等。阶段性反映了灾害链发育不同阶段的特征，不同链式阶段构成的灾害破坏作用将产生量级性的差异，抓住这个特性，对根治灾害具有特别重大的意义，这将在后面进一步讨论；延续性是链式关系的主要规律，体现了链式关系的客观存在性，也反映了链的本性；链的关系中也存在周期性、间断性等反映特征，这种周期性、间断性取决于客观因素具有明暗起伏的特征或具有潜存性规律，将灾害表现形式隐蔽或潜存起来，使之不易显露出来，但这种隐蔽或潜存关系是暂时的，一旦环境条件改变必将显露出来。这些规律性反映与灾害链的物质存在性反映并不冲突，只是随主客体条件不同而表现形态各异罢了；此外，放射性也是灾害链式载体性态演化之一，它们以放射性元素进行链的载体传播，是具有强烈杀伤作用的灾害类型。

2. 量级演化

量级演化反映了灾害链式载体的数量变化特征，主要包括耦合性、叠加性、聚集性、离散性、传递性、转化性与扩增性等。耦合性反映了多种灾害之间的耦合作用形成的量化关系，这种耦合作用显示了灾种之间相互作用演绎的复杂性，它们不但会加剧灾害量的变化，而且由耦合作用将引起灾害性能的变化；叠加性是在线性关系或相同性状下数量的叠加，其反映较为单一；聚集性是灾害载体—物质、能量、信息等同一类性质数量的逐渐增加和积累，具有演绎过程数量储备等隐蔽特性；离散性反映了灾害的分离状态或不连续性，在一定程度上具有分支和扩散作用；传递性、转化性具有相近似的传递和转化作用，由一种链式关系传递或转化为另一种链式关系，转化性还将涉及链式性态的改变和灾害作用的变化；扩增性反映了灾害作