

自然灾害损失、恢复力、风险评估理论与实践丛书

主 编 李 宁

副主编 李春华

基于 Copula 理论的多维致灾因子风险评估技术研究

刘雪琴 李 宁 李春华 冯介玲 陈 曦 袁 帅 著



科学出版社

自然灾害损失、恢复力、风险评估理论与实践丛书

主 编 李 宁

副主编 李春华

基于 Copula 理论的多维致灾因子风险评估技术研究

刘雪琴 李 宁 李春华 冯介玲 陈 曦 袁 帅 著

本书研究获

· 国家重大科学研究计划 ·

“全球变化人口与经济系统风险评估模型与模式研究”

(2016YFA0602403)

· 国家重大科学研究计划 (973) ·

“全球变化与环境风险演变过程与综合评估模型”

(2012CB955402)

· 国家自然科学基金项目 ·

“基于多维联合分布理论的尘暴风险评估 Copula 模型研究”

(41171401)

· 北京市自然科学基金项目 ·

“北京市特大地震灾害管理中损失及其空间波及效应评估的研究”

(9172010)

· 中央高校基本科研业务专项资金项目 ·

“中国社会脆弱性与生态脆弱性评估”

(310421101)

支持

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以多维致灾因子风险评估技术为主题,重点阐述了自然灾害风险评估中多维风险评估方法的研究进展和 Copula 理论在多致灾因子风险评估中的应用。主要内容分为两大部分,“第1部分:基本理论和方法”系统介绍了自然灾害风险评估的发展历程, Copula 联结函数的构建方法、参数估计和检验方法等;“第2部分:实例研究”针对多个灾害案例,建立了基于成灾机理的主要致灾要素序列,构建相应的多维联合概率模型,进行了多维联合分布理论和方法在不同灾种风险评估中的应用研究。

本书适用于灾害风险管理、灾害经济、水利工程、海洋工程等相关专业的科研人员和工程技术人员使用,也可作为高等院校和科研院所相关领域广大师生的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

基于 Copula 理论的多维致灾因子风险评估技术研究 / 刘雪琴等著.
—北京:科学出版社, 2017.9

(自然灾害损失、恢复力、风险评估理论与实践丛书)

ISBN 978-7-03-054344-8

I. ①基… II. ①刘… III. ①时间序列分析—应用—气象灾害—风险评价
IV. ①F830.9 ②P429

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 215811 号

责任编辑:林 剑 / 责任校对:彭 涛

责任印制:张 伟 / 封面设计:盛世图阁

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017 年 9 月第一次印刷 印张:10

字数:240 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



近年来,我国自然灾害发生频率、相应损失均明显增加,成为制约区域经济可持续发展的一个重要因素。作为随机事件,自然灾害的发生机理非常复杂,主要的致灾因子往往不止一个,并且具有多方面的特征属性。在自然灾害防范中,多个致灾因子联合、叠加出现的概率,是各类工程在风险防范中正确选定设防标准的关键问题。

如何准确、客观、高效地评估多致灾因子协同作用下的自然灾害发生概率和风险大小,是减缓或扭转灾害风险持续增长趋势的前提基础。目前的单变量分析方法无法全面客观地反映灾害的真实特征,常用的多维联合分布的研究方法又受诸多不足的限制,尚不能很好解决这一问题。

本书结合国家重大科学计划、自然科学基金、海洋公益性行业科研专项等项目,系统地介绍基于致灾因子的风险评估研究进展、多变量联合概率方法研究现状和金融保险领域常用的 Copula 联合分布理论方法,探讨自然灾害风险评估中多维计量方法的改进和 Copula 联合分布理论方法在多维致灾因子风险评估中的应用。本书的主要研究成果如下:

(1) 综述了自然灾害风险评估研究进展、单变量致灾因子分析方法、多维致灾因子联合概率分析方法研究的进展。概述了多维风险评估方法的发展历程和 Copula 联合函数理论在自然灾害风险评估中的应用。

(2) 系统介绍了 Copula 联结函数的构建方法、参数估计和检验方法;阐述了 Copula 函数方法在多维致灾因子风险评估中的优势和局限性。

(3) 进行了 Copula 联结函数在自然灾害风险分析中的多维构建。

(4) 进行了多要素变量的观测及协同致灾机理分析;建立了不同灾种基于成灾机理的主要致灾要素序列。

(5) 构建了不同灾种下小样本离散型分布和多要素连续型联合分布特征的多维联合概率分布模型。基于灾害出现频次和强度的分布特征,首先构建致灾要素的边缘分布,然后结合多维致灾要素的联合概率分布特征和灾害要素间非线性非对称性的相关结构研究,通过敏感性分析,综合灾害事件发生频次,建立能够描述灾害变

量间不同相关结构的多维复合联合分布模型。

(6) 基于多个实际灾害案例,进行了多维联合分布理论和方法在自然灾害风险评估中的应用研究。

本书的创新性表现在以下几个方面:

(1) 基于自然灾害发生机理,将金融领域应用成熟的联合函数理论和方法引入自然灾害风险评估中。

(2) 通过致灾因子影响机理和 Copula 函数模型联合分布相结合的研究,有效减少了灾害风险评估中的假设和主观性,提高定量化程度,使风险评估结果更加精确。

(3) 拓展了 Copula 联结函数理论和方法在多维自然灾害风险分析中的应用。

在本书撰写过程中,作者力求科学、系统地阐述基于 Copula 理论的多致灾因子风险评估技术,但受作者的时间、能力等诸多因素的限制,本书难免存在缺失,乃至错误之处,敬请广大读者不吝批评和指正。

作者

2017年4月30日

第1部分 基本理论和方法

■ 1 绪论	003
1.1 研究背景与意义	003
1.2 自然灾害风险分析及发展历程	007
1.3 致灾因子的危险性分析	018
1.4 本书的研究内容	019
■ 2 单变量的概率风险分析方法	023
2.1 概率风险	023
2.2 风险分析中常用的单变量分布	025
2.3 单变量分布的拟合优度检验	028
■ 3 多维的概率风险分析方法	030
3.1 多维分析方法及评述	030
3.2 联合分布理论及联结函数	034
3.3 Copula 联结函数的分类	039
3.4 变量间相关性度量指标	040
3.5 最优联结函数的识别和模型检验	042
3.6 联合概率分布和重现期	045
3.7 本章小结	048

第2部分 实例研究

■ 4 沙尘暴致灾因子选择及二维变量分析法的比较	053
4.1 沙尘暴的定义和分级标准	053
4.2 沙尘暴灾害发生机理分析	054
4.3 基于致灾机理的致灾因子分析	064

4.4	二维致灾变量的选取	074
4.5	基于线性回归的二维变量分析方法	077
4.6	基于 Copula 函数的二维联合分布	080
4.7	两种二维变量分析法计算结果的比较	091
4.8	本章小结	092
■ 5	基于预警指标的强沙尘暴二维联合重现期研究	094
5.1	变量选取	095
5.2	构建联合分布	096
5.3	联合重现期	099
5.4	基于联合重现期的风险分析	104
5.5	本章小结	106
■ 6	基于发生机理的强沙尘暴三维联合重现期研究	108
6.1	三维 Archimedean Copula 函数	108
6.2	因子选取与资料来源	110
6.3	边缘分布模型的确定	112
6.4	联合分布和重现期	114
6.5	本章小结	118
■ 7	基于联合重现期的洪水遭遇风险分析	120
7.1	洪水遭遇风险分析	121
7.2	研究区域与资料来源	121
7.3	模型构建和计算	122
7.4	本章小结	125
■ 8	基于预警指标的海冰灾害联合重现期研究	126
8.1	海冰灾害致灾要素分析	127
8.2	研究区域与资料来源	128
8.3	模型构建和计算	129
8.4	结论与讨论	135
■ 9	总结与展望	137
9.1	主要研究成果总结	137
9.2	讨论与展望	139
■	参考文献	142

第 1 部分

基本理论和方法

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

随着人与自然之间的关系越来越密切,人类改造自然的强度越来越大。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告(AR4)——综合报告指出,全球气候系统的变暖已经是不争的事实,来自所有的大陆和多数的海洋观测证据表明,许多自然系统正在或已经受到区域气候变化的影响。根据联合国国际减灾战略(UNISDR)的统计,在此背景下,气象水文灾害、地质灾害等几乎所有类型的自然灾害的发生频次都出现增多趋势。据联合国统计,在20世纪70年代,每年平均发生自然灾害78次,但是在21世纪前8年,每年平均发生的自然灾害次数增加到了351次,其中以气象水文灾害发生的频次增加更快。同时自然灾害也呈现出极端灾害事件频率增高,同一时期多灾并发等许多新的特点。自然灾害的致灾因子和发生规律也更加复杂化和多样化。

随着自然环境演变和社会经济的快速发展,生态环境和社会经济面临自然灾害的脆弱性日益增大,自然灾害造成的损失也越来越大。灾害及其内部各因子之间总是存在着千丝万缕的联系,小灾如果不加以重视,很容易发展变化成大灾。面对超出当前应对能力的大规模灾难持续不断的增加,目前最重要的挑战之一就是寻找一种能够准确描述多项致灾因子共同影响下的灾害发生发展特征,并准确评估重大自然灾害风险的方法,以便及早采取预防措施,减轻自然灾害带来的损失,为改变自然灾害风险持续增长的趋势提供可能性。自然灾害因为其对人类的危害性,成灾机理和灾害过程的复杂性,成为世界性的研究难题和关注热点。

1.1.2 研究意义

随着全球气候变化和社会经济的快速发展,人口和财产高度密集分布,新的安全隐患和风险在加速扩张。近年来极端天气气候事件发生频率明显增加,由此导致的超出当前应对能力的重大自然灾害也在持续不断地增加(罗亚丽,2012)。2007年联合国政府间气候变化专门委员会发布的第四次评估报告《气候变化2007》(AR4)显示,过去50年中,极端天气气候事件(如强降水、高温热浪等)呈现不断增多增强的趋势,预计今后将更加频繁。2011年年底发布的《管理极端气候事件和灾害风险,推进气候变化适应特别报告》(SREX)的决策者摘要指出,由极端气候事件导致的经济损失总体将呈逐渐增加趋势,未来极端事件将对与气候有密切相关的行业,如水利、农业、林业和旅游业等有更大的影响。发达国家因灾害造成的经济损失总量大,而发展中国家与灾害有关的经济损失占国内生产总值的比重高。据统计,目前由于各类自然灾害导致的经济损失占年平均GDP的3%~5%,而因极端天气气候事件导致的灾害损失约占其中的65%(史培军等,2009)。有关研究表明,随着经济的发展,重大灾害事件造成的损失将会呈指数上升趋势,并将成为制约社会经济可持续发展的一个重要因素。因此,当前的挑战之一就是扭转或减缓重大灾害风险持续增长的趋势。而如何明确重大灾害事件多维致灾因子综合作用的致灾机理,准确描述多因子间不同相关结构下的概率特征,从而更加准确地评估重大灾害事件的发生概率和风险大小,是解决这一重要挑战的前提基础。

极端天气气候事件是指天气(气候)的状态严重偏离其平均态,可能导致某种灾害事件的发生,如暴雨、洪水、干旱等。从单个观测点来看,极端气候事件可用该站某种气象要素或变量(如气温、降水量等)的异常记录或超过特定界限值的天数等指数来表述(任国玉,2010)。风险研究的基本理论表明,极端天气气候事件并不必然导致灾害,极端天气要素(致灾因子)与承灾体的脆弱性和暴露程度叠加决定着灾害风险的大小(IPCC第五次评估报告)。重大自然灾害是指以自然要素异常为诱因造成的人员伤亡多、财产损失大、影响范围广的灾害。定量的衡量为死亡人口在1000~9999人、成灾面积在10000~99999km²、直接经济损失在100亿~999亿元三项指标满足其中任意两项就可以定义为重大自然灾害。其中,极端天气气候要素为重大自然灾害发生的主要

诱因(史培军, 2011)。近年来, 极端天气气候事件诱发的重大自然灾害逐渐呈现出不均匀性、多样性、差异性、随机性、突发性、动态性及无序性等复杂的特点, 使“简单”的理论和手段已不适应日趋复杂化的灾害风险研究(任振球, 2003; 吴绍宏等, 2011)。多致灾因子的危险性评估是灾害风险评估中非常关键的一步, 它的准确性较大地影响着灾害风险评估的精度。当前, 在提高多致灾因子危险性分析和灾害风险评估精度上, 仍存在一些问题亟待考虑和解决。

1) 灾害中多变量综合作用的问题

作为随机事件, 自然灾害的发生机理非常复杂, 主要的致灾因子往往不止一个, 并且具有多方面的特征属性。为了全面了解其统计规律, 需要从多个角度对其进行定义和描述。但是由于全面分析灾害事件需要大量的数据资料和复杂的数学计算, 在实践中很难实行, 往往只能挑选某个最重要的特征属性进行分析。例如, 在干旱等灾害的频率分析中, 干旱的特征属性变量往往包括干旱历时、发生次数、干旱烈度、干旱强度等, 但在实际应用中, 常见的却是对各个特征要素单独进行发生频率分析, 很少甚至没有考虑这些特征变量之间的内部联系。

多维联合分布的研究将成为自然灾害风险分析的必然选择。风险是指损失的不确定性(Rosenbloom, 1972), 这个不确定性的研究与灾害事件的概率分布形态有密切关系。引发灾害事件的多个随机变量之间往往存在各种相依关系, 事件属性越多就越复杂, 需要从多方面进行描述及分析。以前的风险评估多考虑单一风险源, 即使后来增加到多个风险源, 也是在对多个要素进行加权综合的基础上, 计算成一个指标进行评估。其中需要专家根据经验判断各项因素的影响大小来打分, 这样就难免会随带一些主观因素, 并且经过中间对数据的多次处理和变换, 难免会使数据信息偏离真实情况。如何寻找多个变量之间的相互联系及对灾害的作用机制, 如何从变量本身真实分布形态出发, 更加精确地描述其边缘分布及它们之间的联合分布, 如何拓展重大自然灾害的外延预测能力, 直接影响着灾害风险评估的精确度和深度。

2) 灾害多要素间的非线性非对称相关结构

自20世纪90年代中期以来, 多位学者曾指出自然灾害, 尤其是重大自然灾害, 都具有一些鲜明的共同特点, 其中一个便是两个或两个以上的作用源和其间的非线性关系(王顺义和罗祖德, 1992; 魏一鸣, 1998; 任振球, 2003; 刘文

方等, 2006; Grzegorz, 2008; Liu et al., 2011)。自然灾害的极端复杂及多要素的随机性、突变性, 必然表现为典型而复杂的非线性问题, 为数学处理带来巨大困难。灾害的发生是由多个要素共同作用的, 这多个要素之间的相关关系并不是一成不变的。当某个变量趋向于极端值并导致灾害发生的过程中, 各要素之间的共同作用会增强, 它们之间的相关性也会增强, 这种相关性通常是非线性、非对称的, 这就导致了相关结构描述的复杂性(崔妍等, 2010)。Boyer 等(2000)认为, 在建立风险管理模型时, 仅仅考虑变量间的相关度(degree of dependence)是不够的, 还必须考虑变量间的相关结构(dependence structure)。长期以来人们普遍注重自然灾害要素间的线性、连续、均匀、平均与距平、平滑、数量分析等科学问题, 对非线性、不连续、非均匀、奇异、相关结构等信息的提取和分析注意不够。近来非线性理论研究有了重要进展, 但有的研究仍主要停留在数学处理上, 至于特大自然灾害的非线性科学问题尚待开展。为了使多维联合概率更加准确, 变量间的非线性及非对称相关结构研究是不可回避的问题。

3) 目前多维联合分布研究方法存在诸多不足

目前常用的多维联合分布方法主要有多元线性回归法、正态变换的 Moran 法、将多维转化成一维的费永法(FEI)法、经验频率法和非参数法。对非正态分布的变量, Moran 法运用起来比较复杂, 需要对数据进行转换处理, 且在数据转换过程中难免会造成一些信息失真; FEI 法要求联合分布模型中各变量的边缘分布属于同一种类型; 经验频率法仅能根据实测资料进行统计, 不具备外延预测能力; 非参数法构造的联合分布能够很好地拟合实测数据, 但预测能力相对不足, 且构造的联合分布的边缘分布类型未知。Copula 函数模型在金融学中的应用已有十几年, 其能够灵活方便地构造多维联合分布, 使得 Copula 函数模型在其他领域中具有非常大的应用潜力, 必将成为未来多变量研究的选择。

4) Copula 函数模型的优势与自然灾害风险研究的需求吻合

Copula 函数模型在金融、保险等领域的相关分析、投资组合分析、保险定价等方面的应用已经十分成熟, 由于它具有多项传统多维分析方法不具备的优良特性, 20 世纪 90 年代后得到了迅猛的发展。第一, 它不限制边缘分布的选择, 不需要对边缘分布作任何假设和变换。在实际应用中, 可以根据实际情况选择各种边缘分布和 Copula 函数构造灵活的多元分布, 并且变量间的相关性能

被完整地描述。影响灾害的各变量有可能服从不同的分布类型,并且各致灾因子间存在千丝万缕的联系,可能存在正相关或负相关关系,或者非线性相关。传统的多维分析方法无法解决这一问题,而 Copula 函数理论正是描述这种相关结构的一种有效途径。第二,如果对变量作严格单调增变换,相应的由 Copula 函数导出的一致性和相关性测度的值不变。第三,随机变量的边缘分布和它们之间的相关结构可以分开来研究。因此,在运用 Copula 函数构建多维风险模型时,形式可以灵活多样,模型的估计求解也会更加简单方便。第四, Copula 函数容易扩展到多元联合概率分布,同时可以描述变量间非线性、非对称性以及尾部相关关系。Copula 模型是一种基于非线性相关的模型,不仅可以用于研究一般情况下变量之间的相关关系,还可用于研究极值相关关系,这正是自然灾害特征分析所需求的。

自然灾害风险分析管理和投资组合的风险分析、风险管理有很多相通之处, Copula 函数模型的诸多优势与现今自然灾害风险研究的需求非常吻合,因此发展 Copula 函数模型在自然灾害中的应用具有广阔的前景和十分重大的意义。

1.2 自然灾害风险分析及发展历程

风险是一个古老的问题,但风险学科的形成则是近 30 年的事情。对于风险的概念,不同的领域针对不同的研究目标,对风险的定义有所不同。一般来说,风险是指发生不幸事件的概率,或一个事件产生不希望发生的后果的可能性(蒋维,1992)。Tiedemann (1992) 认为,风险是由于特定自然事件引发的损失的期望程度,是致灾因子和承灾体脆弱性的函数。黄崇福(2001)认为,地球是一个自组织的系统,系统内的任何变动,包括人类活动,只要超过一定的程度,都会产生一系列的正面效应与负面效应,其结果既有有利的,也有不利的,所有负面影响出现的可能性即为风险。国际减灾战略(United Nations International Strategy for Disaster Reduction, UNISDR)(2004)将风险定义为由自然或人为导致的致灾因子和脆弱性情况之间的关系,所导致的损害结果的可能性或人口伤亡、财产损失和经济活动波动的期望损失,可以用致灾因子与脆弱性的乘积表示。基于对风险形成机制的理解,Fleischhauer (2004)从致灾因子强度、概率的评价、潜在危险性的诊断和评估、脆弱性的理解预评估和灾害风

险的形成等方面提出了风险定义框架。尽管对灾害风险的定义莫衷一是，但归根结底是认识“由自然事件或力量为主因导致的未来不利结果可能性”的问题，也就是损失的不确定性（Rosenbloom，1972），这个不确定性的研究与灾害风险源的概率分布有密切关系。国外学术界和许多重要组织对风险已有长久的研究，提出了各种各样的风险定义，较有影响的有如表 1-1 所列的 20 个定义（黄崇福，2012）。

表 1-1 国内外较有影响的 20 个风险定义

序号	出处	定义	评述	提出年份
1	日本亚洲减灾中心	通常，风险被定义为由某种危险因素导致的损失（死亡、受伤、财产等）的期望值。灾害风险（disaster risk）是由危险性（hazard）、暴露性（exposure）和脆弱性（vulnerability）构成的函数： $disaster\ risk = function(hazard, exposure, vulnerability)$ (1-1)	这里实际涉及两个定义：“损失期望值定义”和式（1-1）中的“概念化公式定义”。前者是对一般的风险，后者是对灾害风险。概念化公式定义有悖于“定义是用陈述句进行逻辑判断”的基本要求。如果用这种定义，甚至“风险”外延中的元素是什么样子都无法解释	2005
2	亚历山大	风险可以被定义为可能性，或较正式地定义为概率。这里的概率，是指由于一系列因素而产生的特定损失的概率，损失是由于某种危险源的存在而产生的。在一个特定地区受到灾害威胁的风险因素包括人口、社区、建筑环境、自然环境、经济活动和服务等	该定义的核心是用“损失的概率”这一概念来描述风险。其内涵是某种概率，其外延也可列举。例如，假定计算出建筑物 A 在 50 年内被震毁的概率值是 0.001，根据该定义，这一计算结果和相应的条件就是风险外延中的一个元素，可以记为一个五元有序组： $r = \langle A, 50\text{ 年}, \text{地震}, \text{毁坏}, 0.001 \rangle$ 。风险的内涵仅仅是损失的概率吗？显然不是。因为具有该定义内涵的所有对象构成的外延过于褊狭。例如，全球变暖并没有概率意义，这并不意味着相关的损失事件不是风险问题。概率反映的是多次试验中频率的稳定性。对常见建筑物，可以用以往的震害资料估计出地震毁坏概率；对特殊建筑物，可以通过地震实验台的相关实验结果来推算毁坏概率。尽管估计和推算出的概率可能很粗糙，但它们都与“多次试验”有关。然而，“全球变暖”与“多次试验”之间并没有什么关系。所以，“损失的概率”并不能定义“风险”	2000

续表

序号	出处	定义	评述	提出年份
3	阿尔王、西格尔和约根森	风险由已知或未知的事件概率分布来刻画,而这些事件是由它们的规模(包括尺寸和范围)、频率、持续时间和历史来刻画	一方面,将概率扩充为概率分布,并且可以是未知的分布,但该定义仍然用概率不适当地限定了风险;另一方面,该定义不限定事件是否为不利事件。这样一来,任何事件的概率分布都可以用来刻画风险。例如,假定投资某项目一定可以赚取利润,并且假定人们可以估计出赚取不同利润的概率分布,那么,按该定义,这个概率分布就是投资风险。这显然与常识相抵触	2001
4	卡多纳	预期出现的伤亡人数、财产损失和对经济活动的破坏,这种预期归因于特定的自然现象和因此产生的风险要素	由于预期是一个含混模糊的概念,将“某些不好的预期”定义为风险,不满足下定义要求“清楚确切”的规则。事实上,经济学中的预期可分为三种,即静态预期、适应性预期、理性预期。那么,是否经济活动中的风险就有静态风险、适应性风险、理性风险之分?显然难以解释。预期与人的主观愿望关系密切,不宜放入风险定义中。该定义的另一个问题是“循环定义”,因为定义概念中用到了“风险要素”,而“风险”是被定义概念	2003
5	克拉克	风险就是由于某种选择导致可能发生的事件的可能范围。不确定性就是不知道。风险的一般形式是事件发生的可能性,具体形式是不良后果发生的概率	本质上,克拉克定义与亚历山大的定义是一样的,只不过用“可能性”作为风险的一般形式,并增加了“风险”是与人们的“某种选择”有关的内容。虽然人们用概率论、Dempster-Shafer 理论和模糊集理论等对“可能性”展开了大量的研究,但事实上“可能性”是相对于“现实性”的一个哲学概念,反映的是存在于现实事物中的、预示着事物发展前途的种种趋势。可能性着眼于事物发展的未来,是潜在的、尚未实现的东西。这种可能性一旦条件具备了,就会由可能转化为现实。也就是说,无论“可能性风险定义”的形态如何,它们都是用一个哲学概念来定义风险。作者认为,某些可能性测度,如概率可以被用来描述部分风险,但这种测度背后的哲学概念,只有在特别的场合,针对特别的风险,才能替代风险定义中应该指明的相关内涵。就像我们可以用尺子来量人的“身高”,但不能用尺子来定	1999

续表

序号	出处	定义	评述	提出年份
5	克拉克	风险就是由于某种选择导致可能发生的事件的可能范围。不确定性就是不知道。风险的一般形式是事件发生的可能性，具体形式是不良后果发生的概率	义“身高”，我们可以用可能性来研究风险，但不能用可能性定义风险。只有当我们确定某类风险能用可能性描述时，才可以简单地把风险与可能性联系起来。更一般地讲，如果不是用哲学术语表述“可能性”，也不是用数学测度讨论可能性，要定义什么是“可能性”，就像要定义什么是“灵魂”一样困难，在这种情况下，克拉克定义不满足“清楚确切”的规则	1999
6	美国《灾后恢复》季刊	风险是潜在的暴露损失。人为或自然的风险比比皆是。通常用概率来测量这种潜在性	这里用到3个概念“潜在”、“暴露”和“损失”来定义风险概念。“暴露”这个概念是从化学品安全管理领域引入的，原意是指可能被伤害的对象与有害化学品的接触。暴露评估是鉴别导致暴露的化学品的来源，计算被暴露的有机体的接触剂量或评估化学品向某一特定的环境区域的释放量。后来，这一概念被引申到一般的风险评估程序中，泛指危险源影响场的评估。事实上，“暴露”并不是风险的本质属性之一。例如，金融风险很难与“暴露”挂起钩来，计算机网络安全风险也与“暴露”无缘	—
7	赫伯特·爱因斯坦	风险是事件发生的概率乘以事件的后果	这是用有乘法运算的概念化公式来定义风险，不符合下定义的基本要求，无法指明风险概念的内涵。这种概念化公式，只能作为量化某种风险的选项之一，并不能说明什么是风险	1988
8	欧洲空间规划观察网络	风险是危险发生的概率或频率和产生后果的严重性的组合。更具体地讲，风险定义为由自然或人为诱发危险因素相互作用而造成的有害后果或预期损失发生的概率，损失包括人的生命、人员受伤、财产损失、生计无着、经济活动受干扰和环境破坏等	这里，概率和频率仍然被视为风险的有机部分，只不过用“组合”替代常用的“相乘”，拓展了概念的外延。由于概率和频率只能作为某些风险的描述工具，并不具有一般性意义，该定义不能作为风险定义使用	—