自然灾害风险损失等级评估的初步研究*

陈报章，仲崇庆

（中国科学院地理科学与资源研究所，北京 100101）

摘 要：在综述国内外自然灾害风险损失评估研究成果的基础上，运用归一化原理，对灾害风险度和灾害损失度的相对等级进行了划分，提出了单一灾种和复合灾种灾害风险损失度相对等级的划分方案和划分方法，然后依据不同灾种在时间上和空间上的叠加性以及机理上的关联性，对区域自然灾害风险损失等级评估方法和评估体系进行了初步探讨。

关键词：自然灾害；风险评估；损失评估；风险损失等级

中图分类号：X43 **文献标识码**：A **文章编号**：1000－811X(2010)03－0001－05

0 引言

全球范围内，各类自然灾害给人类造成了巨大的损失。随着人口、资源、环境矛盾的不断加深，在过去20年间，全球灾害发生频率呈上升趋势[1]，由此而造成的经济损失、人口伤亡以及对生态系统的破坏也明显增加[2]。换言之，在一定程度上，人类正面临着前所未有的各种灾害的威胁。中国作为一个灾害频发的国家，伴随着社会经济的迅速发展，未来面临的灾害风险更高，由此可能造成的损失更大。因此通过自然灾害风险损失的评估研究，可以为综合自然灾害的风险管理提供科学依据，对提高应对各种灾害风险的能力以及防灾减灾能力等具有非常重要的实际意义。

目前，国内外学者都非常关注自然灾害风险损失评估，尤其是在灾害风险评估和灾害损失评估方面取得了较大的研究进展。

灾害风险评估研究主要体现在评估内容、方法、指标及技术等方面。首先，在评估内容上，Petak & Atkisson[3]对灾害风险进行评估的内容包含自然灾害本身及社会经济影响两方面；周寅康[4]将评估的内容划分为灾害种类的确认、风险区的确定、风险区特性评估、风险区承受能力评估、可能性损失及风险等级等6个方面；黄崇福[5]认为灾害风险分析涉及到致灾因子、承载体易损性及灾情损失3个主要环节的评估。其次，在评估方法上，孙绍聘[6]通过灾害模型、抗灾性能模型、灾害风险区价值模型与风险损失估算及风险等级划分来评估灾害风险；黄崇福等[7-9]用模糊集方法定义了城市自然灾害的可能性风险，并构建了城市自然灾害风险评价的数学模型；苏桂武和高庆华[10]运用系统学的理念从灾害风险的成因性要素、影响性要素、描述性要素和评判性要素4个方面进行分析。再次，在评估指标方面，UNDP[11]提出了风险指数系统(DDI)，通过致灾因子、物理暴露和脆弱性等指标来评估灾害风险；Dilley等[12]建立了风险评估框架，即全球风险热点地区研究计划(The Hotspots Projects)，其指标包括灾害发生的可能性、承险体暴露度及承险体脆弱性等；国立哥伦比亚大学和美洲发展银行以Cardona等[13]开发的灾害风险评估与管理系统的框架为基础，构建了灾害风险管理指标系统，这一指标系统包括灾害赤字指数(DDI)、地方灾害指数(LDI)、通用脆弱性指数(PVI)和风险管理指数(RMI)4个指标；Mosquera－Machado and Dilley[14]比较了DDI和Hotspots的指标体系，黄蕙等[15-16]比较了风险指标计划(DRI)、Hotspots及美洲计划的指标体系和评估方法，并通过具体案例的研究，对两者的指标体系进行了补充和完善。另外，随着科技的发展，计算机技术和遥感技术水平的提高，一些新的技术与手段(如RS、GIS等)开始应用于灾害风

* 收稿日期：2009－12－31
基金项目：国家科技支撑计划专题项目(2008BAK50B06－02)；中国科学院“百人计划”项目
作者简介：陈报章(1963－)，江苏邳州人，研究员，博士生导师，中科院“百人计划”入选者，主要从事基于定量遥感和空间分析技术的陆面过程和陆地生态系统过程模型模拟和自然灾害风险评估方面的研究．E-mail：Baozhang. Chen@ igsnrr. ac. cn

险评估[17-22]。

灾害损失评估研究方面，高庆华[23]提出了要建立自然灾害评估系统的构想，首次提出灾害损失评估的指标体系；马宗晋等[24-25]对自然灾害损失评估指标体系的研究做了更为深入的探索，然后在评估灾害损失的过程中，提出了灾度和灾损率的概念，并对其进行了等级的划分，基本上建立了较为完整的自然灾害损失评估指标体系；在此基础上，灾害损失等级的划分得到进一步的研究[26-29]，灾害损失评估的新方法和新技术大量出现[30-38]，同时，在灾害损失评估的过程中开始关注生态系统损失的评估[34,39]。

综上所述，在灾害评估研究方面，大多数学者的关注点主要集中在灾害风险评估和灾害损失评估，而对于单一灾种、复合灾种及区域灾害风险损失评估的研究并不多见，另外，自然灾害风险损失的评估体系还不完善，对自然灾害风险损失等级评估的研究还很薄弱。本文试图通过对自然灾害风险损失评估的探讨，寻找单一灾种和复合灾种风险损失等级评估的划分方法，建立区域自然灾害风险损失等级的评估体系，为区域灾害风险损失等级评估模型的构建奠定基础。

1 单一灾种风险损失等级评估

1.1 单一灾种风险度等级的划分

1.1.1 灾害危险度等级的划分

单一灾种灾害危险度的评估可以用该灾害各强度的发生频率来计算。

$$H = \sum_{i=1}^{5} F_i \cdot I_i / \sum_{i=1}^{5} I_i, \tag{1}$$

式中：H 表示灾害危险度；F_i 表示某灾害第 i 等级发生频率；I_i 表示某灾害第 i 等级发生次数。

首先将灾害危险度按由高到低划分为5个等级（高、较高、中等、较低、低），然后根据归一化原理，按照等间距原则，在0~1之间对灾害的危险度进行赋值（表1），划分出该灾害危险度的相对等级。

表1 灾害危险度相对等级的划分

危险度等级	5（高）	4（较高）	3（中等）	2（较低）	1（低）
危险度赋值	0.9 (0.8~1.0)	0.7 (0.6~0.8)	0.5 (0.4~0.6)	0.3 (0.2~0.4)	0.1 (0~0.2)

1.1.2 灾害易损度等级的划分

灾害易损度的评估可以通过承险体物理暴露度、承险体固有灾损敏感性和区域应灾能力的评估来完成[12,40]。同样参照危险度划分的原则，划分出易损度的相对等级（表2）。

表2 灾害易损度相对等级的划分

易损度等级	5（高）	4（较高）	3（中等）	2（较低）	1（低）
易损度指数	0.9 (0.8~1.0)	0.7 (0.6~0.8)	0.5 (0.4~0.6)	0.3 (0.2~0.4)	0.1 (0~0.2)

1.1.3 灾害风险度等级的划分

根据风险度（Risk）＝危险度（Hazard）×易损度（Vulnerability）[41]，对计算结果进行归一化处理，划分出风险度的相对等级（表3）。

表3 灾害风险度相对等级的划分

风险度等级	5（高）	4（较高）	3（中等）	2（较低）	1（低）
风险度计算值	0.81	0.49	0.25	0.09	0.01
归一化值	0.9 (0.8~1.0)	0.7 (0.6~0.8)	0.5 (0.4~0.6)	0.3 (0.2~0.4)	0.1 (0~0.2)

1.2 单一灾种损失度等级的划分

自然灾害的损失评估指标主要采用人口损失、经济财产损失及生态系统损失3个指标。台风与洪涝灾害、地震灾害及地质灾害（滑坡和泥石流）等灾害损失评估参照国家科委全国重大自然灾害组[42]提出的统计标准进行划分，国家统计标准中的损失评估主要是针对人口损失和经济财产损失的评估，没有包括生态系统损失的评估，并且在以往的文献中也鲜有对生态系统损失评估较为成熟的个案研究。但为了实现灾害损失等级的划分，本文对生态系统损失的估算采用定性描述的方法。

1.2.1 台风、洪涝及地震灾害损失等级的划分

将台风、洪涝及地震等的灾害损失同样划分为5级，并对灾损指数进行赋值。其中人口损失以死亡人数为划分依据，经济损失主要指直接经济损失，生态系统损失以从高到低的定性描述作为划分依据，划分出台风、洪涝及地震等灾害损失的相对等级（表4）。

表4 台风灾害、洪涝灾害及地震灾害损失相对等级的划分

损失等级	灾损指数	死亡人数/人	经济损失/元	生态系统损失
5	0.9	>10 000	>10亿	高
4	0.7	1 000~10 000	1亿~10亿	较高
3	0.5	100~1 000	1 000万~1亿	中等
2	0.3	10~100	100万~1 000万	较低
1	0.1	<10	<100万	低

1.2.2　地质灾害损失等级的划分

按照国家统计标准进行划分，划分的方法可参照地震灾害损失划分的原则和依据，从而划分出地质灾害损失的相对等级(表5)。

表5　地质灾害损失相对等级的划分

损失等级	灾损指数	死亡人数/人	经济损失/元	生态系统损失
5	0.9	>100	>1 000 万	高
4	0.7	30~100	500 万~1 000 万	较高
3	0.5	10~30	100 万~500 万	中等
2	0.3	0~10	10 万~100 万	较低
1	0.1	0	<10 万	低

1.2.3　单一灾种损失度的计算

根据式(2)，计算出单一灾种影响下的总损失，参照风险度等级划分的原则及表3的划分方法，划分出单一灾种损失度的相对等级。

$$D = \sum_{i=1}^{3} d_i/3, \tag{2}$$

式中：D 表示灾害损失度；d_i 表示人口损失或经济财产损失或生态系统损失。

1.3　单一灾种风险损失等级的划分

在单一灾种风险度等级和损失度等级划分的基础上，根据风险损失等于风险度与损失度的乘积，构建单一灾种风险损失等级矩阵(表6)。

表6　单一灾种风险损失相对等级矩阵

风险损失度		风险度				
		5	4	3	2	1
损失度	5	0.81	0.63	0.45	0.27	0.09
	4	0.63	0.49	0.35	0.21	0.07
	3	0.45	0.35	0.25	0.15	0.05
	2	0.27	0.21	0.15	0.09	0.03
	1	0.09	0.07	0.05	0.03	0.01

将表6中风险度与损失度的乘积进行归一化处理，同样按照5个等级进行划分，并在0~1之间赋值，通过单一灾种风险损失等级的划分，实现对单一灾种风险损失等级的评估(表7)。

表7　单一灾种风险损失相对等级的划分

风险损失等级		风险度等级				
		5	4	3	2	1
损失度等级	5	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1
	4	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1
	3	0.5	0.5	0.3	0.3	0.1
	2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1
	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
归一化值		0.9	0.7	0.5	0.3	0.1

2　复合灾种风险损失等级评估

2.1　复合灾种风险度等级的划分

$$R = \sum_{i=1}^{n} r_i/n, \tag{3}$$

式中：R 表示复合灾种风险度；r_i 表示第 i 种灾害的风险度；n 表示灾害的种类。根据计算结果可以参照表3进行风险度等级划分。

2.2　复合灾种损失度等级的划分

$$D = \sum_{i=1}^{n} d_i/n, \tag{4}$$

式中：D 表示复合灾种损失度；d_i 表示第 i 种灾害的损失度；n 表示灾害的种类。根据计算结果可以参照表3进行损失等级的划分。

2.3　复合灾种风险损失等级评估

$$M = R \times D, \tag{5}$$

式中：M 表示风险损失。根据复合灾种风险损失度的不同，参照表7的划分方法进行复合灾种风险损失等级的划分，实现对复合灾种风险损失等级的评估。

3　区域灾害风险损失等级评估

在单一灾种和复合灾种风险损失等级划分的基础上，依据多灾种致灾因子在空间上和时间上的叠加性以及机理上的关联性，确定区域内不同灾种的风险损失度的权重，完成对区域灾害风险损失等级的评估。而要想实现区域灾害风险损失等级的评估，首先必须构建区域灾害风险损失等级评估体系，具体评估指标有确定评估区域、辨识灾种、确定承险体、区域灾害风险等级评估、区域灾害损失等级评估等，评估体系见图1。

4　讨论

美国国家建筑科学院(NIBS)和联邦应急管理委员会(FEMA)开发了针对地震、飓风及洪水等灾害的美国灾害风险评估系统(HAZUS)[43]，构建了多种灾害的损失评估模型，并已经应用到区域灾害的损失评估中，为不同地区制定有效的灾害风险管理措施提供科学依据，并取得了良好的效果。欧洲、澳大利亚、日本等国家和地区也相继建立了比较完善的灾害风险评估系统。我国作为一个未来面临更高灾害风险的国家，尤其是2008年汶

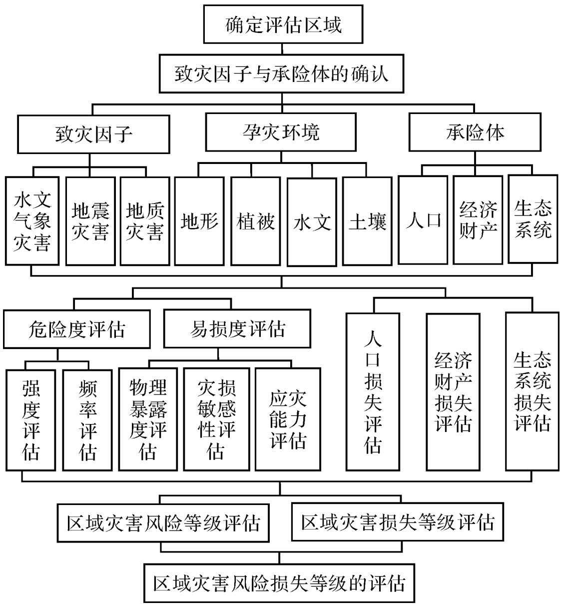

图 1 区域灾害风险损失等级评估体系

川 8.0 级地震灾害的发生，使我们进一步认识到构建符合我国国情的灾害风险损失评估系统的迫切性。本文通过对单一灾种和复合灾种风险损失相对等级的划分及区域自然灾害风险损失等级的评估体系的建立，试图为自然灾害风险损失等级评估模型的构建提供一种新思路。

为了实现自然灾害风险损失等级的评估，先要评估灾害的风险度和损失度，目前，对于灾害风险评估方法和灾害损失评估方法有较成熟的案例可以借鉴，但其中有两个方面的问题需要突破，一是在经济财产的损失估算方面关注较多的是直接经济损失，对间接经济损失的估算还需要进一步明确；二是对于灾后生态系统的损失如何实现定量化或者货币化，也有待于深入研究。

在基于不同灾害损失国家分级标准的基础上，按照归一化原理的方法，对灾害损失进行了等级的界定，实现单一灾种和复合灾种灾害损失等级的划分，在此基础上，划分出了单一灾种和复合灾种灾害风险损失的 5 个相对等级。然而，这种灾害风险度等级和损失度等级的划分并不能表现出风险损失的绝对量，是一种风险损失的相对等级划分。就目前对于风险度的估算（危险度与易损度）与损失度的估算（人口损失、经济财产损失及生态系统损失）而言，运用归一化的原理进行赋值，可以量化估算的结果，在灾害风险损失评估过程中增强可操作性。尤其是在复合灾种和区域灾害风险损失等级评估中，通过建立灾害风险损失的相对等级矩阵可以简化评估过程。

5 小结

我国对于自然灾害风险评估的研究起步较晚，为了应对目前灾害频发的现状，在借鉴国际上一些发达国家自然灾害风险损失评估方法的基础上，结合我国的实际情况，制定符合我国国情的灾害评估体系和评估模型成为当前应对各种灾害的重要手段。

（1）针对目前我国自然灾害风险损失等级评估指标体系研究的不足，在参考前人研究的基础上，建立了灾害风险损失等级评估指标体系，为进一步的研究提供一种思路。

（2）运用归一化原理，对灾害风险度和损失度的计算结果进行了量化处理，在此基础上对灾害风险损失等级进行了划分，虽然只是一种风险损失相对等级的划分，但可以简化计算结果，提高在灾害风险损失评估中的可操作性，同时为灾害风险损失等级评估模型的构建提供借鉴。

参考文献：

[1] Scheuren J M, le Polain de Waroux O, Below R, et al. Annual disaster statistical review: the numbers and trends 2007 [R]. Brussels, Belgium: Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), 2008.

[2] 史培军，李宁，叶谦，等. 全球环境变化与综合灾害风险防范研究[J]. 地球科学进展，2009，24(4)：428-434.

[3] Petak W J, Atkisson A. Natural hazard risk assessment and public policy: anticipating the unexpected [M]. New York: Springer-Verlag, 1982.

[4] 周寅康. 自然灾害风险评价初步研究[J]. 自然灾害学报，1995，4(1)：6-11.

[5] 黄崇福. 自然灾害风险分析的基本原理[J]. 自然灾害学报，1999，8(2)：21-29.

[6] 孙绍骋. 灾害评估研究内容与方法探讨[J]. 地理科学进展，2001，20(2)：122-127.

[7] 黄崇福，史培军，张远明. 城市自然灾害风险评价的一级模型[J]. 自然灾害学报，1994，3(1)：1-8.

[8] 黄崇福，史培军. 城市自然灾害风险评价的二级模型[J]. 自然灾害学报，1994，3(2)：22-27.

[9] 黄崇福，史培军. 城市地震灾害风险评价的数学模型[J]. 自然灾害学报，1995，4(2)：30-37.

[10] 苏桂武，高庆华. 自然灾害风险的分析要素[J]. 地学前缘，2003，10(S0)：272-278.

[11] UNDP. Reducing disaster risk: a challenge for development [R]. John S. Swift Co., USA. 2004.

[12] Dilley M, Chen R S, Deichmann U, et al. Natural disaster hotspots: a global risk analysis [C]//International Bank for Re-

construction and Development/The World Bank and Columbia University. Washington, D C, 2005.
[13] Cardona O D, Hurtado J E, Chardon A C, et al. Indicators of disaster risk and risk management Summary report for WCDR [R]. Program for Latin America and the Caribbean IADB - UNC/IDEA, 2005.
[14] Mosquera - Machado S, Dilley M. A comparison of selected global disaster risk assessment results [J]. Natural Hazards, 2009, 48: 439 - 456.
[15] 黄蕙，温家洪，司瑞洁，等. 自然灾害风险评估国际计划述评Ⅰ——指标体系 [J]. 灾害学，2008，23(2)：112 - 116.
[16] 黄蕙，温家洪，司瑞洁，等. 自然灾害风险评估国际计划述评Ⅱ——评估方法 [J]. 灾害学，2008，23(3)：96 - 101.
[17] 周成虎，万庆，黄诗峰，等. 基于 GIS 的洪水灾害风险区划研究[J]. 地理学报，2000，55(1)：15 - 24.
[18] 唐川，朱大奎. 基于 GIS 技术的泥石流风险评价研究[J]. 地理科学. 2002，22(3)：200 - 204.
[19] 朱良峰，殷坤龙，张梁，等. 基于 GIS 技术的地质灾害风险分析系统研究[J]. 工程地质学报. 2002，4(1)：6 - 11.
[20] 赵雪莲，陈华丽. 基于 GIS 的洪灾遥感监测与损失风险评价系统[J]. 地质与资源，2003，12(1)：54 - 59.
[21] 周冠华，庄伟，陈云浩，等. 基于遥感与 GIS 的滑坡灾害风险区域评估方法——以江西省广昌县为例[J]. 自然灾害学报，2008，17(6)：68 - 72.
[22] Phong T, Rajib S, Guillaume C, et al. GIS and local knowledge in disaster management: a case study of flood risk mapping in Viet Nam [J]. Disasters, 2009, 33(1): 152 - 169.
[23] 高庆华. 关于建立自然灾害评估系统的总体构思[J]. 灾害学，1991，6(3)：14 - 18.
[24] 马宗晋，李闵峰. 自然灾害评估、灾度和对策，中国减轻自然灾害研究[C]//全国减轻自然灾害研究讨论会论文集. 北京：中国科学技术出版社，1990.
[25] 赵阿兴，马宗晋. 自然灾害损失评估指标体系研究[J]. 自然灾害学报，1993，2(3)：1 - 6.
[26] 于庆东. 灾度等级判别方法的局限性及其改进[J]. 灾害学，1993，2(2)：8 - 9.
[27] 任鲁川. 灾害损失等级划分的模糊灾度判别法[J]. 自然灾害学报，1996，5(3)：13 - 17.
[28] Shi P J, Du J, Ji M X, et al. Urban risk assessment research of major natural disasters in China [J]. Advanced in Earth Science, 2006, 21(2): 170 - 177.
[29] 代博洋，李志强，李晓丽. 基于物元理论的自然灾害损失等级划分方法[J]. 灾害学，2009，24(1)：1 - 5.
[30] 都吉夔，张勤，宋立军，等. 四川汶川 8.0 级地震间接经济损失评估方法[J]. 灾害学，2008，23(4)：130 - 133.
[31] 周红波，高文杰，刘成清. 上海虹桥综合交通枢纽灾害链及其在灾害评估中的应用[J]. 灾害学，2009，24(1)：6 - 11.
[32] 于庆东，沈荣芳. 灾害经济损失评估理论与方法探讨[J]. 灾害学，1996，11(2)：10 - 14.
[33] Committee on Assessing the Costs of Natural Disasters, National Research Council(U. S.). The Impacts of Natural Disasters: A Framework for Loss Estimation [R]. Washington, D. C: National Academy Press, 1999.
[34] 傅湘，纪昌明. 洪灾损失评估指标的研究[J]. 水科学进展，2000，11(4)：432 - 435.
[35] Emergency Management Australia. Emergency Risk Management Applications Guide [R]. EMA, 2004.
[36] 康相武，吴绍洪，戴尔阜，等. 大尺度洪水灾害损失与影响预评估[J]. 科学通报，2006，51(S0)：155 - 164.
[37] 王龙，王晓青，丁香，等. 基于遥感和 GIS 的建筑物震害损失评估方法研究与实现[J]. 地震，2007，27(4)：77 - 83.
[38] Robin S, Emily S, Sarah J, et al. The Global Earthquake Vulnerability Estimation System (GEVES): an approach for earthquake risk assessment for insurance applications [J]. Bulletin of Earthquake Engineering, 2008, 6: 463 - 483.
[39] Rivas V, Rix K, Frances E, et al. Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non - consumable geomorphological resources [J]. Geomorphology, 1997, 18: 169 - 182.
[40] 葛全胜，邹铭，郑景云，等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究[M]. 北京：科学出版社. 2008.
[41] Gary Shook. An assessment of disaster risk and its management in Thailand [J]. Disasters, 1997, 21(1): 77 - 88.
[42] 国家科委全国重大自然灾害综合研究组. 中国重大自然灾害及减灾对策[M]. 北京：科学出版社. 1994.
[43] FEMA. Using HAZUS - MH for risk assessment [R]. FEMA, 2004.

A Preliminary Study on Risk Loss Degree Assessment of Natural Hazards

Chen Baozhang and Zhong Chongqing
(*Insititute of Geographic Sciences and Natural Resources Reasearch*, *CAS*, *Beijing* 100101, *China*)

Abstract: By summarizing researches on assessment of risk loss of natural hazards at home and abroad, the relative degrees of hazard risk are given by using normalization principle. A program and method for dividing the relative levels of risk loss of single and compound hazards are put forward. Then, methods and a system for assessment of degrees of regional natural hazard risk loss are discussed in the light of spatial-temporal superposition and mechanism correlation of different hazards.

Key words: natural hazard; risk assessment; loss evaluation; degree of risk loss