

# 中国地质灾害生命可接受风险标准研究

赵洲, 侯恩科

西安科技大学地质与环境学院, 西安 710054

**摘要** 以探讨和确定中国地质灾害生命可接受风险标准为目的。在分析地质灾害可接受风险标准内涵及地质灾害风险估计方法的基础上,运用统计分析的方法对中国陕西、四川等12个地质灾害高发省(市)及10多年来全国地质灾害造成的人口伤亡数据进行分析,得出中国自然地质灾害个人风险可接受水平的上限为 $10^{-6}/a$ ,可容忍水平的上限为 $10^{-4}/a$ ;新建工程边坡诱发灾害个人风险可接受水平的上限为 $10^{-7}/a$ ,可容忍水平的上限为 $10^{-5}/a$ 的结论,并在此基础上提出了可供参考的地质灾害社会风险评价标准。研究成果对中国地质灾害可接受风险标准的制定及地质灾害风险管理实施具有较大的理论和实际意义。

**关键词** 地质灾害;个人风险;社会风险;可接受标准

**中图分类号** P642

**文献标识码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.36.002

## The Life Risk Acceptability Criteria for the Geo-hazards in China

ZHAO Zhou, HOU Enke

School of Geology and Environment, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China

**Abstract** The acceptable risk criteria are an important part in connection with geo-hazards risk assessment and management; china's geo-hazards criteria are in the early stages of research. For the targets of the life risk acceptability criteria definition of geo-hazards occurred china, firstly the connotation of criterion is analyzed, and then the Individual Risk (IR) criteria and the Social Risk (SR) criteria are achieved through a consequence based approach. The IR criteria are discussed and defined by using statistical and comparative analysis method based on the casualty data of geo-hazards occurred in recent years in the entire country of china and other twelve Chinese provinces frequently-occurring geo-hazards. The research results of IR are summarized as follows: For the natural geo-hazards, the upper limit of the acceptable individual risk is  $10^{-6}$  per annum and the maximum tolerance for the individual risk is  $10^{-4}$  per annum; for the geo-hazard IR caused by new built-up slopes, the upper limit of the acceptable individual risk is  $10^{-7}$  per annum and the maximum tolerance for the individual risk is  $10^{-5}$  per annum. The SR criteria are recommended based on the IR criteria and the international experiences composed by acceptable, unacceptable, ALARP, and intense scrutiny regions. It is suggested that all of the research conclusions are only for the discussion. The result has both theoretical and practical significance to the formulation of risk acceptability criteria and the risk management implementation for geo-hazards in china.

**Keywords** geo-hazards; individual risk; social risk; acceptability criteria

### 0 引言

对地质灾害进行风险管理是近年来灾害地质领域研究的一个热点,并已成为世界各国防灾减灾战略体系的重要组成部分<sup>[1-2]</sup>。在整个地质灾害风险管理研究体系中,可接受风险的研究和确定是连接地质灾害风险评价与风险管理的重要一环<sup>[3]</sup>。当前国际上只有澳大利亚、加拿大、中国香港等少数国家和地区研究确定了各自国家(地区)或行业暂行的滑坡灾害(landslide)生命风险(包括个人风险和社会风险)可接

受标准<sup>[4-6]</sup>,尚未形成国际统一或公认的地质灾害可接受风险标准<sup>[7]</sup>。中国地质灾害风险管理研究起步较晚(香港地区除外),还没有形成规范的技术流程、方法准则和评价标准,地质灾害可接受风险研究还不够成熟,系统深入的研究甚至处于空白<sup>[8-9]</sup>。因此,研究和探讨中国地质灾害可接受风险标准,对中国地质灾害风险分析、风险评价、风险控制等理论研究和地质灾害风险管理的实施意义重大。本文通过对地质灾害可接受风险内涵的分析,结合当前流行的风险定性分级和定

收稿日期:2011-11-25;修回日期:2011-12-20

基金项目:陕西省社会发展公共计划项目(2011K17-02-01)

作者简介:赵洲,讲师,研究方向为地质环境与灾害评估,电子信箱:xa5583003@163.com

量计算的方法,通过对相关灾害、人口数据的统计分析,研究和探讨了中国地质灾害生命可接受风险建议标准。研究成果对中国地质灾害可接受风险标准的制定及地质灾害风险管理具有较大的理论和实际意义。

## 1 地质灾害可接受风险标准的内涵

对于地质灾害可接受风险,国际地科联(IUGS)滑坡工作组下的风险评价委员会在1997年将其定义为:社会为了保障一定利益而愿意接受的风险,这种风险能够被合理控制、监督,并在可能的情况下进一步降低<sup>[1]</sup>。国际滑坡与工程边坡联合技术委员会(JTC)在2008年将滑坡灾害的可接受风险定义为:为了生活或工作,社会准备接受的一种风险,任其存在且不考虑对其管理,社会一般不认为进一步减轻这种风险的费用是合理的<sup>[2]</sup>。联合国减灾战略中心(UNISDR)2009年对可接受风险的定义为:一个社会或一个社区在现有社会、经济、政治和环境条件下认为可以接受的潜在损失<sup>[10]</sup>,这是对灾害可接受风险的最新定义,其考虑的因素更加全面,并且体现了风险的实质是一种潜在损失,可以作为可接受风险的代表性定义<sup>[9]</sup>。将这一定义引用到地质灾害领域,这里定义地质灾害可接受风险标准的内涵为:对一个由地质灾害可能造成的生命危险(伤亡的概率)或经济风险(潜在的经济损失)的容许程度进行分级、评价的依据或准则,一般由可接受风险(Acceptable Risk, AR)、可容忍风险(Tolerable Risk, TR)和不可接受风险(Unacceptable Risk, UR)3个风险容许区间构成。引用英国健康与安全委员会(Health and Safety Executive, HSE)对可容忍风险框架的界定加以说明<sup>[11]</sup>,如图1所示,图中可容忍风险的ALARP(As Low As Reasonably Practicable)原则,即这一区域的风险应保持在合理可行尽量低的水平上,这一原则被许多国家所采用,也是国际地质科学联合会风险评价委员会提出的可接受风险原则之一。因此,地质灾害可接受风险标准研究,就是要确定由地质灾害造成的生命、财产可接受风险、可容忍风险的上限。地质灾害生命危险包括个人风险和社会风险。个人风险(Individual Risk, IR)指未来一定时期内,一个人遭受某地质灾害而伤亡的概率,社会风险(Societal Risk, SR)指未来一定时期内,地质灾害造成的超过一定数量人员伤亡的累积概率。

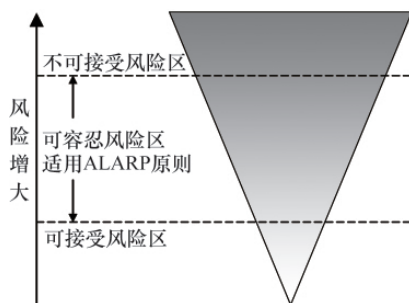


图1 HSE的可容忍风险框架

Fig. 1 HSE framework for the risk tolerability

地质灾害可接受风险的研究是一项科学的工作,涉及到人口、社会、经济、地质环境、风险意识等许多因素。因此,世界不同地区或同一地区的不同研究人员给出的结论不尽相同。澳大利亚地质力学学会(Australia Geomechanics Society, AGS)在其2007年出版的滑坡风险管理实施指南中<sup>[2]</sup>,提出了个人生命可接受风险和可容忍风险的建议标准:即新建边坡的可接受风险和可容忍风险分别为 $10^{-6}/a$ 和 $10^{-5}/a$ ,而现有边坡的可接受风险和可容忍风险分别为 $10^{-5}/a$ 和 $10^{-4}/a$ 。中国香港地区土力工程处(Geotechnical Engineering Office, GEO)在1998年的报告《Landslides and Boulder Falls from Natural Terrain: Interim Risk Guidelines》中<sup>[4]</sup>,对个人生命风险和社会生命风险都给出了建议性标准:新建住宅区个人风险的最大容许值为 $10^{-5}/a$ ,现有住宅区的最大容许值为 $10^{-4}/a$ ;社会风险容许标准用 $F(\text{死亡人数} \geq N \text{的累积频率})-N$ 曲线表示,如图2所示。目前,国内可接受风险标准研究多集中在工程安全领域,包括核电工程<sup>[13]</sup>、海洋工程<sup>[14]</sup>、大坝工程<sup>[15-17]</sup>、建筑工程<sup>[18-19]</sup>、油气管道工程<sup>[20-21]</sup>、化工化学工程<sup>[22]</sup>及社会公共安全<sup>[23-26]</sup>等领域。研究人员主要是在分析国外可接受风险的基础上,针对具体研究领域的可接受风险进行的介绍与探讨。如高建明等<sup>[23-24]</sup>利用层次分析法对中国安全生产领域的风险影响因素进行了分析,提出了中国安全生产领域风险影响因素评价指标的计算方法、个人风险标准和社会风险标准的计算方法;杜效鸽等<sup>[17]</sup>从中国水电工程可靠度指标考虑,提出了中国水电大坝溃坝的个人可容忍风险不低于 $10^{-4}/a$ ,可接受风险不低于 $10^{-5}/a$ ,社会可容忍风险起点为 $10^{-3}/a$ ,可容忍风险的水平极限值为 $10^{-5}/a$ ,可接受社会风险的水平极限值为 $10^{-6}/a$ 等结论。在地质灾害可接受风险方面,张茂省<sup>[27]</sup>、吴树仁等<sup>[28]</sup>结合澳大利亚AGS的经验,提出了基于地质灾害特征调查的定性风险分级方法。张桂荣<sup>[29]</sup>根据一些国内外学者的研究成果,对比国内外研究资料,初步给出天然斜坡所造成的生命损失可接受的风险水平为 $10^{-3}-10^{-2}/a$ ,人造边坡(大坝、路堤、建筑物基础等)所造成的生命损失可接受的风险水平为 $10^{-5}-10^{-3}/a$ 的结论。

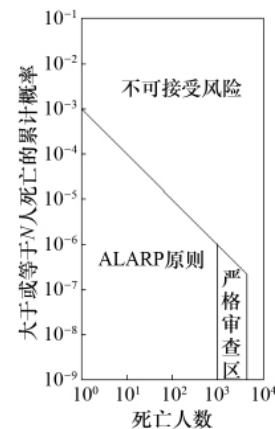


图2 香港地区建议的滑坡社会风险标准(优先)

Fig. 2 Societal risk criteria for landslides in Hong Kong (preferred)

## 2 地质灾害风险估计方法概述

可接受风险的评价以风险估计结果为对象,本文简要概述目前比较流行的地质灾害风险估计方法。

地质灾害的风险估计是在地质灾害危险性、承灾体易损性分析研究的基础上,对地质灾害风险大小进行分级或估算的过程。对地质灾害危险性的研究,主要包括灾害发生的时间概率和空间概率分析;对承灾体易损性的研究,主要包括承灾体暴露在灾害面前的时空概率分析及其遭受的损伤程度大小评价等。目前地质灾害风险估计方法主要为定性分析和定量计算。

### 2.1 定性分析方法

地质灾害风险估计的定性分析方法,是为了对某个地区内的地质灾害采取监测、治理、搬迁避让等管理措施进行优先排序时,采用的一种风险相对分级的方法<sup>[26]</sup>。澳大利亚 AGS 应用定性风险分析矩阵的方法,在对灾害发生的可能性和后果分析的基础上,建立了滑坡灾害财产风险定性分级矩阵,如表 1 所示<sup>[12]</sup>。张茂省等<sup>[27]</sup>结合中国地质灾害调查实际,给出了一个定性的地质灾害风险分级方案(表 2),吴树仁等<sup>[28]</sup>也给出了类似的风险定性估计方案。

地质灾害风险估计的定性分析方法,优点在于当获取的数据有限,定量分析可能有误时,使用定性方法更准确并便于风险交流<sup>[28]</sup>。该风险估计方法适于中小比例尺(<1:25000)的区域风险估计与风险区划研究或调查和研究程度不高的地质灾害风险估计与风险评价研究,尤其对灾害发生概率难以准确估计的地裂缝、地面塌陷等灾害,采用定性评价的方式进行风险估计,在目前是一种比较适宜和可行的方法。

表 1 财产风险定性分析矩阵  
Table 1 Matrix for qualitatively analyzing the risk of property

危害可能性(年概率)	财产损失后果				
	灾难	重	中	轻	微小
几乎一定( $\geq 10^{-1}$ )	VH	VH	VH	H	M
很可能( $\approx 10^{-2}$ )	VH	VH	H	M	L
可能( $\approx 10^{-3}$ )	VH	H	M	L	VL
不一定( $\approx 10^{-4}$ )	H	M	L	L	VL
很少( $\approx 10^{-5}$ )	M	L	L	VL	VL
几乎不可能( $< 10^{-6}$ )	L	VL	VL	VL	VL

注:VH,风险很高;H,风险高;M,风险中等;L,风险低;VL,风险很低。  
Notes: VH represents very high risk; H represents high risk; M represents moderate risk; L represents low risk; VL represents very low risk respectively.

### 2.2 定量计算方法

地质灾害风险定量计算方法方面,国内外尚无统一的标准和规范。现阶段对于滑坡灾害的风险计算,大都根据 Fell 等<sup>[29]</sup>的建议进行,式(1)为财产风险定量计算方法,式(2)为个人生命风险计算方法。

表 2 地质灾害风险分级

Table 2 Grades of geo-hazards risks

危害可能性 (年概率)	危害程度			
	特大级	重大级	较大级	一般级
几乎一定( $\geq 10^{-1}$ )	VH	VH	H	H
很可能( $10^{-2}$ — $10^{-1}$ )	VH	H	H	M
可能( $10^{-3}$ — $10^{-2}$ )	H	H	M	L
不一定( $10^{-4}$ — $10^{-3}$ )	H	M	L	L
很少( $10^{-5}$ — $10^{-4}$ )	M	L	L	VL
几乎不可能( $< 10^{-5}$ )	L	L	VL	VL

$$R_{prop} = P_L \cdot P_{TL} \cdot P_{ST} \cdot V_{prop} \cdot E \quad (1)$$

$$P_{LOL} = P_L \cdot P_{TL} \cdot P_{ST} \cdot V_{DT} \quad (2)$$

其中, $R_{prop}$ 为财产年损失; $P_L$ 为滑坡年发生概率; $P_{TL}$ 为滑坡到达承灾体概率; $P_{ST}$ 为承灾体时空概率; $V_{prop}$ 为承灾体易损性; $E$ 为承灾体价值; $P_{LOL}$ 为个人年死亡概率; $V_{DT}$ 为人的易损性。

式(1)和式(2)是滑坡风险分析的理论基础,在风险分析的基础上,结合可接受风险标准,再进行风险评价,进而决定采取相应的风险减缓措施等,就构成了滑坡灾害风险管理的总体框架。对于地裂缝、地面塌陷等灾害的定量风险分析,目前还没有一种行之有效的办法,但可以在调整和修改相关分析要素的基础上,按照以上滑坡风险分析方法进行。

## 3 地质灾害生命可接受风险标准

### 3.1 可接受风险确定的原则

地质灾害可接受风险标准的确定是一项复杂而困难的工作。中国各省市地质灾害发育程度、社会经济发展水平、防灾减灾管理体系、人员风险意识等均有较大差异,因而确定全国统一的地质灾害生命可接受风险标准难度极大。本文在研究和确定中国地质灾害生命可接受风险标准时,采用基于后果分析的思路,本着尽量科学、可行的原则,期望能够得出较为合理的、可接受的生命风险评价标准。对于定性风险估计结果,目前比较通用的评价方法是极高风险、高风险归为不可接受风险,中等风险归为可容忍风险,低风险和极低风险归为可接受风险。本文重点对风险定量计算结果的评价标准,即生命可接受风险的定量评价标准进行探讨。

### 3.2 生命可接受风险标准确定

当前国内外在研究和制定生命风险可接受标准时,大多是建立在基于风险分析或基于后果分析之上的<sup>[4,7]</sup>。利用灾害造成的人员年均死亡率确定生命可接受风险标准,是目前研究生命风险可接受标准的一个主要思路,但以往研究对受伤人数的风险度量较少。因此,本文基于后果分析的思路,利用地质灾害造成的死亡、失踪、受伤等伤亡人员的总数分析确定生命可接受风险标准。具体的思路:利用中国陕西、甘肃、四川、云南等 12 个地质灾害高发省及近年来全国地质灾害威胁人口的伤亡率确定地质灾害年生命风险可容忍水平上限,因为不期望地质灾害威胁人口的伤亡比例超出多年平均

值,这个数值可确定为最大的可容忍限度。用总人口伤亡率确定年生命风险可接受水平的上限,因为灾害的发生在很多情况下人们是无能为力的,但不期望其造成的人口伤亡率超出多年平均水平,这个数值确定为最大的可接受限度。这种分析方法从目前来看是一种比较可行且较为合理的分析方法,多数研究人员、公众和政府管理部门都有这种认识倾向。

中国陕西、四川等 12 个地质灾害高发省市近年来地质灾害造成的人员伤亡(含失踪)数量、实际威胁人口数量(部分)、各省市人口总量情况如表 3 所示,表中人口总量数据来源于各省市统计局公布的年度统计报告,人口伤亡数据、受灾人口数据来源于同期全国地质灾害通报及相关省市发布的年度地质灾害防治方案(或预案)。分析得出各省市地质灾

表 3 相关省市人口及地质灾害造成人口伤亡情况统计表

Table 3 Casualties caused by geo-hazards with some provinces in the recent years

地区	年份	死亡人数	受伤人数	常住人口总数	受灾人数	地区	年份	死亡人数	受伤人数	常住人口总数	受灾人数
陕西	2004	29	8	37052000	488000	四川	2004	162	100	87246000	640000
	2005	58	23	37200000			2005	82		87500000	
	2006	22	5	37350500			2006	61	6	81690000	
	2007	86	24	37480000			2007	143	3	81270000	
	2008	29	13	37620000			2008	150	7	81380000	
	2009	10	4	37720000			2009	159	25	81850000	
	2010	270	50	37870880	2010		119	3	82324730	800000	
甘肃	2006	18	0	26062500	1750000	湖南	2006	145	11	63420000	450100
	2007	10	4	26171600			2007	20	16	63550000	
	2008	8	0	26281200			2008	18	12	63800000	
	2009	19	6	26354600			2009	22	40	64060000	
	2010	1801	2062	26528800			2010	46	0	64322646	
重庆	2005	18		27980000	28790000	广东	2005	78		91940000	97324524
	2006	3		28080000			2006	171		93040000	
	2007	53	58	28160000			2007	18	4	94490000	
	2008	10	19	28390000			2008	37		95440000	
	2009	87	8	28590000			2009	19	4	96380000	
	2010	37		28790000			2010	44	6	97324524	
云南	2004	200	112	44152000	1530000	广西	2004	41	34	48890000	51352820
	2005	60		44504000			2005	50		49250000	
	2006	60		44830000			2006	83		49610000	
	2007	125	8	45140000			2007	28		50020000	
	2008	158		45430000			2008	82		50490000	
	2009	55	2	45710000			2009	18	100	50920000	
	2010	190	47	45993400			2010	85	35	51352820	
福建	2005	94		35350000	36502128	贵州	2006	29		39553000	38030065
	2007	25		35810000			2007	37		39754800	
	2008	3		36040000			2008	38		37930000	
	2009	3		36270000			2009	22		37980000	
	2010	79		36502128			2010	100		38030065	
湖北	2005	50		57100000	57290142	江西	2005	36		43112400	43684100
	2006	4		56930000			2006	14		43391300	
	2007	17		56990000			2007	18		43684100	
	2008	10		57110000							
	2009	8		57200000							
	2010	41		57290142							

注:数据来源于各省市年度统计报告、地质灾害防治方案(或防灾预案)以及同期全国地质灾害通报。2010年各省人口总数根据2009年人口总数的增长率得出。

Notes: The data is based on provincial annual statistical report, geo-hazards prevention program and the china geo-hazards bulletin on the same period. The resident population in 2010 were calculated on the basis of the growth rate of provincial population in 2009.

害威胁人口伤亡率的年均统计图(图3)和总人口伤亡率年均统计图(图4)。综合计算得出,这几个省市受灾人口平均伤亡率为  $2.21 \times 10^{-4}$ ,总人口平均伤亡率为  $1.35 \times 10^{-6}$ 。

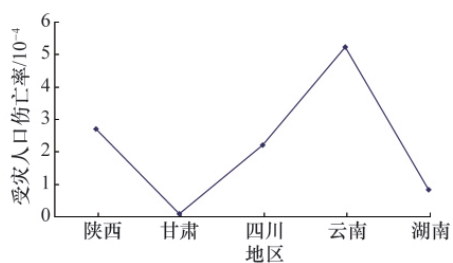


图3 相关省市地质灾害威胁人口年均伤亡率统计图

Fig. 3 Casualty rate of population threatened by geo-hazards for some provinces in recent years

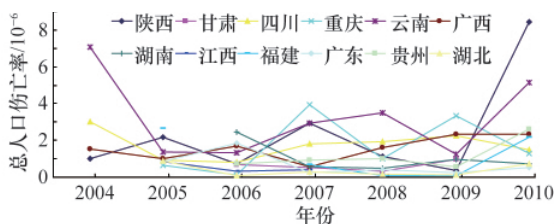


图4 相关省市地质灾害总人口年均伤亡率统计图

Fig. 4 Total population casualty rate caused by geo-hazards for some provinces in recent years

从全国范围来看,近年来地质灾害造成的人口伤亡数量(含失踪数量)与同期人口总量数据如表4所示。总人口伤亡率分析结果如图5所示,多年平均值为  $1.27 \times 10^{-6}$ 。全国每年受地质灾害威胁人口的数量尚无法统计,但据相关报道<sup>[30]</sup>,中国受地质灾害威胁的人口在2006年达3500多万人,则根据2007—2010年间中国地质灾害伤亡人口数据,可大约得出在此期间全国受灾人口的伤亡比在  $4.5 \times 10^{-5}$  左右。

综上所述,12个地质灾害高发省受灾人口年均伤亡率为  $2.21 \times 10^{-4}$ ,中国2007—2010年间估计的受灾人口年均伤亡率的平均值为  $1.3 \times 10^{-4}$ 。12个地质灾害高发省总人口年均伤亡率为  $1.35 \times 10^{-6}$ ,全国地质灾害总人口年均伤亡率为  $1.27 \times 10^{-6}$ ,二者平均值为  $1.3 \times 10^{-6}$ 。因此,本着预防和风险控制之目的,建议中国地质灾害个人生命最大可接受风险为  $10^{-6}/a$ ,最大可容忍风险为  $10^{-4}/a$ 。

对于新建工程边坡诱发灾害的生命风险可接受标准,本着严格预防之目的,参考国际上其他国家以及中国香港地区的经验,在已有地质灾害个人生命风险标准基础上降低一个数量级,即新建工程边坡诱发灾害的个人生命最大可接受风险和最大可容忍风险分别为  $10^{-7}/a$  和  $10^{-5}/a$ 。对于地质灾害造成的生命社会风险评价,在个人生命风险可接受标准研究的基础上,提出中国地质灾害社会风险评价的建议标准(供探讨),如图6所示。

表4 全国近年来地质灾害人口伤亡情况表

Table 4 Casualties caused by geo-hazards of china in recent years

年份	死亡人数	受伤人数	人口总数	总人口伤亡率	年份	死亡人数	受伤人数	人口总数	总人口伤亡率
1998	1573		124810000	0.00000126	2005	682	339	1307560000	0.00000078
1999	864		1259090000	0.00000069	2006	774	453	1307560000	0.00000094
2000	1080		1264780000	0.00000085	2007	679	446	1307560000	0.00000086
2001	1049	936	1276270000	0.00000156	2008	757	841	1307560000	0.00000122
2002	907	470	1284530000	0.00000107	2009	486	315	1307560000	0.00000061
2003	868	3355	1292270000	0.00000327	2010	2915	534	1341000000	0.00000257
2004	860	280	1299880000	0.00000088					

注:数据来源于国家统计局年度统计公报及全国同期地质灾害通报。

Notes: The data is based on both the annual statistical bulletin of the National Bureau of Statistics of China, and the annual geo-hazards bulletins of The Ministry of Land and Resources of P. R. China.

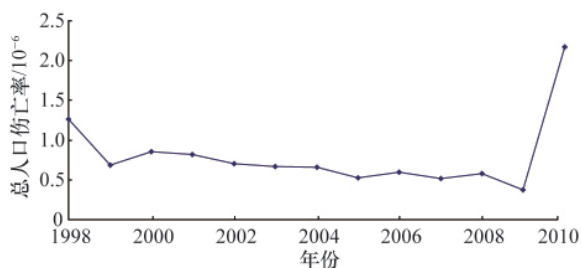


图5 全国多年地质灾害总人口伤亡率统计图

Fig. 5 Total population casualty rate caused by geo-hazards of china in recent years

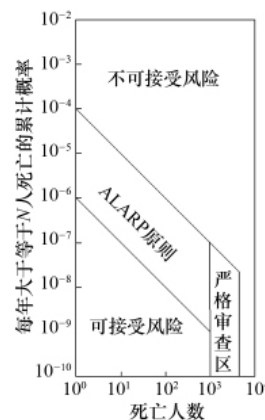


图6 中国地质灾害社会风险标准

Fig. 6 Societal risk criteria in China

#### 4 结论

本文在对地质灾害可接受风险标准内涵分析和地质灾害风险估算方法概述的基础上, 结合全国及 12 个地质灾害高发省市近年来地质灾害造成的人员伤亡数据, 利用统计分析的方法, 研究确定了自然地质灾害及新建工程边坡诱发灾害的个人生命风险可接受标准, 并分析给出了供参考的地质灾害社会风险评价的标准。研究方法和成果期望能够对中国地质灾害可接受风险标准的制定及地质灾害风险管理的实施起到一定的推动作用。

#### 参考文献 (References)

- [1] Dai F C, Lee C F, Ngai Y Y. Landslide risk assessment and management: An over view [J]. *Engineering Geology*, 2002, 64(1): 65-87.
- [2] Fell R, Ho K K S, Lacasse S, et al. A framework for landslide risk assessment and management [C]//Hung O, Fell R, Couture R. *Landslide Risk Management*. London: Taylor and Francis, 2005: 3-26.
- [3] Fell R, Corominas J, Bonnard C, et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk-zoning for land use planning [J]. *Engineering Geology*, 2008, 102(3-4): 85-98.
- [4] ERM-Hong Kong. Landslides and boulder falls from natural terrain: interim risk guide lines[R]. HK: Geotechnical Engineering Office, 1998.
- [5] ANCOLD. Guidelines on risk assessment [R]. Tatura: Australian National Committee on Large Dams, 2003, 24-30.
- [6] AGS. Landslide risk management concepts and guidelines [R]. Australian Geomechanics, 2002.
- [7] 尚志海, 刘希林. 国外可接受风险标准研究综述 [J]. *世界地理研究*, 2010, 19(3): 72-80.  
Shang Zhihai, Liu Xilin. *World Regional Studies*, 2010, 19(3): 72-80.
- [8] 汪敏, 刘东燕. 滑坡灾害风险分析研究 [J]. *工程勘察*, 2001(2): 1-6.  
Wang Ming, Liu Dongyan. *Geotechnical Investigation & Surveying*, 2001 (2): 1-6.
- [9] 尚志海, 刘希林. 可接受风险与灾害研究 [J]. *地理科学进展*, 2010, 29 (1): 23-30.  
Shang Zhihai, Liu Xilin. *Progress In Geography*, 2010, 29(1): 23-30.
- [10] United Nations. International strategy for disaster reduction: 2009 UNISDR terminology on disaster risk reduction [R/OL]. [2009-06-01]. <http://www.unisdr.org/publications>.
- [11] HSE. Reducing risks: Protecting people-HSE's decision making process [R]. London: Her Majesty's Stationery Office, 2001: 21-52.
- [12] AGS. Practice note guidelines for landslide risk management 2007[R]. Australian Geomechanics, 2007, 42(1): 64-114.
- [13] 时振刚, 张作义, 薛澜. 核能风险接受性研究 [J]. *核科学与工程*, 2002, 22(3): 193-198.  
Shi Zhengang, Zhang Zuoyi, Xue lan. *Chinese Journal of Nuclear Science and Engineering*, 2002, 22(3): 193-198.
- [14] 李典庆, 唐文勇, 张圣坤. 海洋工程风险接受准则研究进展 [J]. *海洋工程*, 2003, 21(2): 96-102.  
Li Dianqing, Tang Wenyong, Zhang Shenkun. *The Ocean Engineering*, 2003, 21(2): 96-102.
- [15] 肖义, 郭生练, 熊立华, 等. 大坝安全评价的可接受风险研究与评述 [J]. *安全与环境学报*, 2005, 5(3): 90-94.  
Xiao Yi, Guo Shenglian, Xiong Lihua, et al. *Journal of Safety and Environment*, 2005, 5(3): 90-94.
- [16] 肖义, 郭生练, 刘攀, 等. 大坝防洪安全风险评估框架及其应用 [J]. *武汉大学学报: 工学版*, 2006, 39(4): 18-24.  
Xiao Yi, Guo Shenglian, Liu Pan, et al. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2006, 39(4): 18-24.
- [17] 杜效鹤, 杨建. 我国水电站大坝溃坝生命风险标准讨论[J]. *水力发电*, 2010, 36(5): 68-70.  
Du Xiaohu, Yang Jian. *Water Power*, 2010, 36(5): 68-70.
- [18] 胡群芳, 黄宏伟. 隧道及地下工程风险接受准则计算模型研究 [J]. *地下空间与工程学报*, 2006, 2(1): 60-64.  
Hu Qunfang, Huang Hongwei. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2006, 2(1): 60-64.
- [19] 郭章林, 贾增科, 李晓慧. 建筑工程施工风险接受准则研究 [J]. *西安建筑科技大学学报: 自然科学版*, 2008, 40(1): 76-79.  
Guo Zhanglin, Jia Zengke, Li Xiaohui. *J Xi' Univ of Arch & Tech: Natural Science Edition*, 2008, 40(1): 76-79.
- [20] 赵忠刚, 姚安林, 赵学芬. 油气管道可接受性风险评估的研究进展[J]. *石油工业技术监督*, 2005(5): 94-98.  
Zhao Zhonggang, Yao Anlin, Zhao Xuafen. *Technology Supervision in Petroleum Industry*, 2005(5): 94-98.
- [21] 赵忠刚, 姚安林, 李又绿, 等. 油气管道可接受风险标准值的界定研究[J]. *西南石油大学学报: 自然科学版*, 2008, 30(2): 147-150.  
Zhao Zhonggang, Yao Anlin, Li Youlu, et al. *Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition*, 2008, 30(2): 147-150.
- [22] 国家安全生产监督管理总局. AQ/T xxx-xxxx 化工企业定量风险评估评价导则: 征求意见稿[S]. 北京: 国家安全生产监督管理总局, 2009.  
State Administration of Work Safety. AQ/T xxx-xxxx Guideline for quantitative risk assessment of chemical enterprises [S]. Beijing: State Administration of Work Safety, 2009.
- [23] 高建明, 王喜奎, 曾明荣. 个人风险和社会风险可接受标准研究进展及启示[J]. *中国安全生产科学技术*, 2007, 3(3): 29-34.  
Gao Jianming, Wang Xikui, Zeng Mingrong. *Journal of Safety Science and Technology*, 2007, 3(3): 29-34.
- [24] 高建明, 刘骥, 曾明荣, 等. 我国生产安全领域个人风险和社会风险标准界定方法研究[J]. *中国安全科学学报*, 2007, 17(10): 91-95.  
Gao Jianming, Liu Ji, Zeng Mingrong, et al. *China Safety Science Journal*, 2007, 17(10): 91-95.
- [25] 李剑锋, 刘茂, 冉丽君. 公共场所人群聚集个人风险的研究 [J]. *安全与环境学报*, 2006, 6(5):112-115.  
Li Jianfeng, Liu Mao, Ran Lijun. *Journal of safety and environment*, 2006, 6(5):112-115.
- [26] 李剑锋, 刘茂, 王东东. 公共场所泄漏、中毒事故的个人风险水平的估计[J]. *中国安全科学学报*, 2007, 17(1): 14-18.  
Li Jianfeng, Liu Mao, Wang Dongdong. *China safety science journal*, 2007, 17(1): 14-18.
- [27] 张茂省, 唐亚明. 地质灾害风险调查的方法与实践 [J]. *地质通报*, 2008, 27(8): 1205-1216.  
Zhang Maosheng, Tang Yaming. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27 (8): 1205-1216.
- [28] 吴树仁, 石菊松, 张春山, 等. 地质灾害风险评估技术指南初论[J]. *地质通报*, 2009, 28(8):995-1005.  
Wu Shuren, Shi Jusong, Zhang Chunshan, et al. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(8): 995-1005.
- [29] 张桂荣. 基于 webGIS 的滑坡灾害预测预报与风险管理 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2006.  
Zhang Guirong. Spatial prediction and real-time warning of landslides and its risk management based on webGIS [D]. Wuhan: China University of Geoscience, 2006.
- [30] 中国新闻网. 调查显示中国受地质灾害威胁人口达三千五百多万 [EB/OL]. 2006-12-09. <http://www.chinanews.com/gn/news/2006/12-09/834725.shtml>.  
WWW.China News. Survey shows that the population threatened by geo-hazards over thirty-five million [EB/OL]. 2006-12-09. <http://www.chinanews.com/gn/news/2006/12-09/834725.shtml>.

(责任编辑 郑伟, 刘志远)