

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2017.02.18

基于概率方法的区域地质灾害风险防御工程效益评估

乔建平^{1,2}, 王萌^{1,2}, 吴彩燕³

(1. 中国科学院地表过程与山地灾害重点实验室, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 西南科技大学, 四川 绵阳 621000)

摘要: 在区域地质灾害(滑坡、泥石流)风险区划的基础上, 可以采用概率分析方法对区内风险防御工程治理的效益进行评价。该方法首先是对区内防御工程按等级分类, 建立工程类型等级标准; 然后可根据区内工程类型等级分别评价防御工程的抗风险能力和风险损失折减概率; 最后按3级标准划分风险损失折减的效益。作者应用该方法对汶川大地震极震灾区的都江堰白沙河小流域地质灾害风险防御工程, 进行了风险损失折减概率效益评价, 并得到了有推广价值的结果。

关键词: 地质灾害; 风险防御; 效益评估

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2017)02-0131-06

Preventing engineering benefit evaluation of regional geological disaster risk based on probability method

QIAO Jianping^{1,2}, WANG Meng^{1,2}, WU Caiyan³

(1. Key Laboratory of Geo-Surface Process and Mountain Hazards, CAS, Chengdu, Sichuan 610041 China;
2. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, Sichuan 610041, China;
3. Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621000, China)

Abstract: The probability method was adopted to evaluate disaster preventing engineering benefit based on the regional hazards risk assessment. The method classified engineering grades firstly and determined the standard of classification. And then, according to the grade of different engineering type, the ability to resist risks of engineering and risk reduction loss probability were evaluated separately. Finally, the benefit of risk reduction loss was classified into 3 grades. The method has been used to evaluate the risk reduction loss probability of preventing engineering in Baishahe watershed of Dujiangyan city of Wenchuan Earthquake disturbance area and the result was good and worth to be popularized.

Keywords: geological disaster; risk prevention; benefit evaluation

0 引言

区域地质灾害(滑坡、泥石流)风险管理中, 对区划范围内的重点地质灾害一般需要采取有效的工程措施进行防御。防御措施中因灾害类型不同, 危害程度不同, 可以选择多种有针对性的工程措施或非工程措施。工程措施的类型包括: 滑坡抗滑挡墙、抗

滑桩等, 泥石流包括拦砂坝、排导槽等。非工程措施类型包括: 监测预警, 群测群防等。但以往的风险管理中, 极少有关于区域地质灾害防御工程效益的评价研究。多以单体地质灾害风险防御工程的效益评估为主^[1-6]。到目前为止, 虽然国家还没有专门的地质灾害防御工程效益评估标准^[7-8], 作者认为区域地质灾害风险防御工程效益难以如同单体地质灾

收稿日期: 2016-12-13; 修订日期: 2016-12-30

基金项目: 科技部重点国际合作项目(2013DFA21720); 国家电网公司科技项目(521999150031); 成兰铁路泥石流监测预警项目。

第一作者: 乔建平(1953-), 男, 四川成都人, 研究员, 博士生导师, 研究方向为滑坡规律、滑坡机理与滑坡危险度区划、地震滑坡。

E-mail: jpqiao@imde.ac.cn

害防御工程那样具体到对经济效益的评估,但可以采用风险损失折减率方法,评估防御工程在区域范围内减灾防灾的贡献。该方法的基本原理是,评价防御工程措施与抗风险的能力,防御工程措施折减风险损失的程度,综合评估防御工程减灾的效益。

1 防御工程类型等级

地质灾害风险防御工程大致可划分为两类:①工程

治理措施(土木工程);②非工程治理措施(监测预警、群测群防)。两类工程的用途有一定差别,一般直接危害对象的滑坡泥石流通常采用工程治理措施。间接危害对象的滑坡泥石流通常采用非工程治理措施。各种类型工程的造价差别较大,尤其是土木工程可以从 10 万元至 1 000 万元不等。制定防御工程方案时,需要根据保护对象的价值,分析投资效益比,然后再确定采用工程治理的类型。工程治理类型大致包括表 1 内容。

表 1 滑坡泥石流防御工程措施类型

Table 1 Types of preventing engineering of landslide and debris flow

类型等级划分	工程投入级别系数 λ ₁	工程措施		工程投入级别系数 λ ₂	非工程措施	
		滑坡(崩塌)	泥石流		滑坡	泥石流
I _λ	1	抗滑桩、桩板墙	50 年一遇设防标准的拦砂坝、排导槽、谷坊坝、防护提等工程措施	1	钻孔倾斜仪、GPS、全站仪、雨量计、伸缩仪、地表测斜仪	次声报警仪、雷达泥位计、雨量计
II _λ	0.8	挡土墙、格构护坡、主动网、被动网、拦石墙	20 年一遇设防标准的拦砂坝、排导槽、谷坊坝、防护提等工程措施	0.8	GPS、全站仪、伸缩仪、地表测斜仪	雷达泥位计、雨量计
III _λ	0.6	排水沟	单边防护提	0.6	地表测斜仪、地表位移计	孔压计、雨量计、水位计
IV _λ	0.4	回填反压	潜槛、防冲肋	0.4	群测群防	群测群防

表 1 中的防御工程类型是按工程的复杂程度和工程投资价值划分的。投入系数 λ 是评价防御工程投资的参考赋值标准。但不代表实际工程投入量,仅仅作为防御工程投资效益分析的参数使用。滑坡泥石流防治工程采用什么投入标准,应该根据保护对象的重要性确定。通常需要参考国家有关规范确定防治等级。如:滑坡泥石流防治工程等级标准 I、II、III 级^[1-2]。

2 抗风险能力

区域地质灾害风险处理中,一般只对有直接危害对象的滑坡泥石流进行工程防御。区域内防御工程数量比例越高,证明区域内整体抗风险的能力应该越强。反之亦然,防御工程比例越小,流域内整体抗风险的能力越低。根据此概念,可以建立区域地质灾害抗风险能力统计模型,即:

$$EC_i(100\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [\lambda_1(CE_i) + \lambda_2(EW_i)](100\%)$$

(i = 1⋯n , 风险等级区)

(1)

式中:EC_i——为防御工程实施率(抗风险能力);
λ——为工程级别系数(表 1);
CE_i——为实施工程措施数;
EW_i——为实施非工程措施数;
N——为灾害总数。

区域整体抗击风险的能力既要体现区内防御工程的实施率和类型,还应体现工程投资量。有效防御工程可以按各风险等级区的实施率进行统计。

3 风险折减率

针对区域地质灾害的特点,防御工程主要目的是减轻区域范围内风险损失,提高抗风险的能力。评价区域性抗风险能力,应该具有两个基本因素:一是区域内投入防御工程的数量比,亦即防御工程的实施率;二是防御工程降低风险损失率。地质灾害防御工程是增强抗风险能力的主要措施。其中工程治理措施效果需要在滑坡泥石流防治工程完成工后,再经过一个水文年的工程效益监测,才能综合评估是否达到抗风险的效果。而滑坡泥石流监测预警是一项长期的补充性抗风险非工程措施,时间可长可短,应据灾害的发育特征而定。通常凡是实施了防御工程措施和非工程措施的区域,地质灾害风险损失都应该小于之前的风险损失,或者称为风险损失折减。风险损失折减可能性有多大,可以采用防御工程实施率(抗风险能力)与防御工程风险受损率的概率关系表达,即:

$$P \rightarrow f(\overline{P} \cap \overline{P} \cap EC)$$

(2)

式中:P——为防御工程后风险折减率;
 $\overline{P}$ ——为防御工程前不产生风险损失概率;
 $\overline{P}$ ——为防御工程前风险损失概率;
EC——为有效防御工程措施实施率(抗风险能力)。

风险折减率代表风险损失降低的可能性,是一个概率问题。针对实施防御工程后的区域滑坡泥石流风险,可以建立风险折减概率统计模型。假设防御工程实施后

的风险损失概率事件 A 是防御工程前风险损失概率和防御工程实施率事件 B 已经发生条件下的概率 P 问题^[9-13],这个条件概率可以表示为 $P(A/B)$,即“在 B 条件下 A 的概率”。因为有两个独立事件 A 和 B 。则有:

$$P(A/B) = P(AB)/P(B) \quad (P(B) > 0) \quad (3)$$

根据概率乘法定律

$$C = A \cap B \text{ 则 } P(C) = P(A) \cdot P(B) \quad (4)$$

式中:事件 $A = \bar{P}$, $B = EC$, 两项结果的乘积,可获得实施防御工程后不发生风险损失折减的概率。根据式(1)的原理,将防御工程前风险损失概率 $P(\bar{P})$ 及防御工程实施率 $P(EC)$ 代入式(3),可得:

$$P(C) = P(A) \cdot P(B) = P(\bar{P}) \cdot P(EC) = P(1 - \bar{P}) \cdot P(EC)$$

或

$$P_{i-j} = \bar{P} \cdot EC = (1 - \bar{P}) \cdot EC \quad (5)$$

式中: P_{i-j} ——为防御工程后风险损失折减概率($i = 1 \cdots 5$ 级风险区, $j = 1 \cdots 3$ 级降雨类型);

$\bar{P}$ ——为防御工程前不产生风险损失的概
率($\bar{P} = (1 - P)$);

P ——为防御工程实施前产生风险损失概
率($P = P_p \cdot P_h$)。

式(5)表明当防御工程实施前的不产生风险损失概率 $\bar{P}$ 与防御工程实施率 EC 相乘,不产生风险损失可能性将提高,同理风险损失概率相对实施防御工程前将获得折减。

将式(1)代入式(5),得到式(6):

$$P_{i-j} = \bar{P} \cdot EC = (1 - \bar{P}) \cdot EC = (1 - P_p \cdot P_h) \cdot \left(\frac{1}{N} [\lambda_1 (CE) + \lambda_2 (EW)] \right) \quad (6)$$

式中: P_p ——为地质灾害发生概率(根据具体滑坡泥石流的活动特点确定)^[14];

P_h 为地质灾害受损概率($P_h = \nu_i/V$, $i = 1 \cdots 5$, 其中 1 为高风险区、2 为较高风险区 $\cdots$ 5 为低风险区; ν 为各级别风险区固定资产价值; V 为全区域固定资产总价值)。

利用式(6)可以计算防御工程实施后,区域地质灾害风险损失折减率,即相比原风险损失率将存在进一步减小的可能性。

4 风险折减效益评价

当统计完各级风险区损失折减概率结果后,还应该对折减的效果评价,以此评价防御工程的效益。根据概率乘法定律,当折减概率 P 与防御工程实施前产

生风险损失概率 $\bar{P}$ 相乘时,可以得到防御工程实施后的风险损失概率,即:

$$P_0 = \bar{P} \cdot P_{i-j} \quad (7)$$

式中: P_0 ——为风险防御工程实施后的风险损失概率。

因此风险折减概率效益可以采用防御工程实施前风险损失概率 $\bar{P}$ 与防御工程实施后风险损失概率 P_0 差值进行评价,即:

$$\Delta P = (\bar{P} - P_0) \quad (8)$$

将式(7)代入式(8)可变为:

$$\Delta P = (\bar{P} - P_0) = (\bar{P} - \bar{P} \cdot P_{i-j}) = \bar{P}(1 - P_{i-j}) \quad (9)$$

式中: ΔP ——为风险折减概率效益评价模型。

该模型仅针对区域内已经实施了风险防御工程前后的风险损失折减概率。根据式(9)计算结果,还可以建立防御工程后风险损失概率效益 A (效益好)、 B (效益较好)、 C (效益一般)三级评价标准(表 2),如:

$$\tau_1 = \min \chi_i, \tau_2 = \min \chi_i + \zeta, \tau_3 = \max \chi_i - \zeta, \tau_4 = \max \chi_i$$
$$\zeta = \frac{\max \chi_i - \min \chi_i}{3} A = \tau_1 \cdots \tau_2; B = \tau_2 \cdots \tau_3; C = \tau_3 \cdots \tau_4 \quad (10)$$

式中: χ_i ——为效益评价 ΔP 的实际差值。当 χ_i 值越大时,说明防御工程折减风险损失的概率越大,效益越好;当 χ_i 差值越小时,说明防御工程折减风险损失的概率越小,效益也越差。

表 2 风险损失折减概率效益评价标准

Table 2 The evaluation standard of risk reduction loss probability

雨降类型	高风险区 ΔP_1	较高风险区 ΔP_2	中等风险区 ΔP_3	较低风险区 ΔP_4
特大暴雨(Q_1)	χ_1	χ_2	χ_3	χ_4
大暴雨(Q_2)	χ_5	χ_6	χ_7	χ_8
暴雨(Q_3)	χ_9	χ_{10}	χ_{11}	χ_{12}

5 实例分析

5.1 风险区划

研究区位于“5·12”汶川大地震的都江堰市白沙河流域,属长江流域岷江水系,系岷江一级支流。全流域面积 364 km²,微流域共 16 条,其中无人区面积占 310 km²,灾后重建的集中安置区位于下游,面积仅 51.57 km²。该区位于汶川“5·12”地震极震区,距震中汶川映秀仅 8.6 km,地震烈度为 XI 度。地震及后期降雨诱发共滑坡泥石流 6 119 处,分布密度达到了 16.8 处/km²(图 1)。风险区划结果见图 2、表 3^[15]。该区防御工程仅仅针对下游 51.57 km² 灾后重建集中安置区有直接危害对象的范围实施。

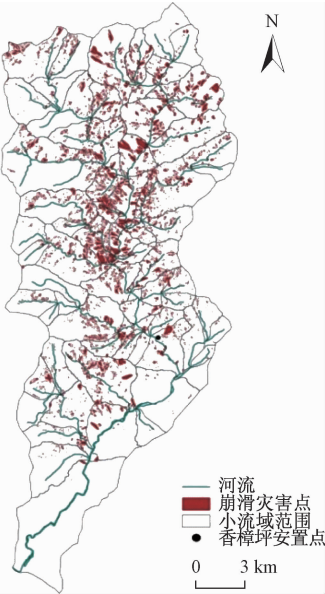


图 1 白沙河流域滑坡泥石流分布图

Fig.1 Geological hazards distribution map

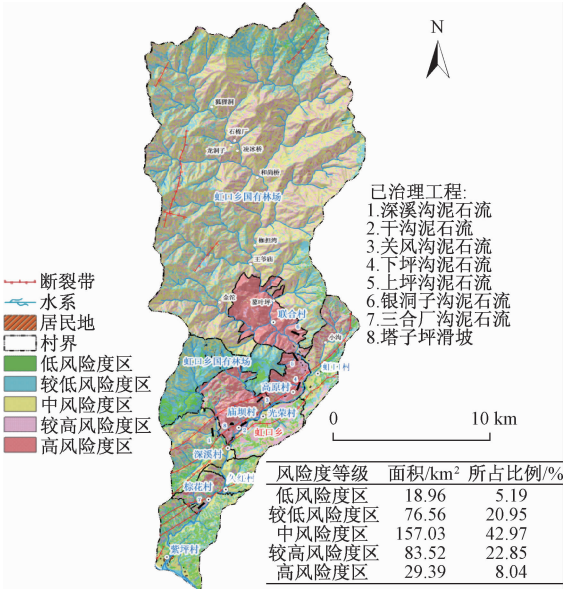


图 2 白沙河流域滑坡泥石流风险区划图

Fig.2 Geological hazards risk zonation map

表 3 白沙河全流域风险区划及防御工程统计

Table 3 The statistic of preventing engineering and risk zonation of Baishahe watershed

风险等级	风险类型	面积/km ²	比例/%	防御工程情况
I _R	低风险区	18.96	5.19	无
II _R	较低风险区	76.56	20.95	灾害 9 处,工程措施 2 处、非工程措施 5 处
III _R	中等风险区	157.07	42.97	灾害 23 处,工程措施 4 处、非工程措施 11 处
IV _R	较高风险区	83.52	22.85	灾害 15 处,工程措施 6 处、非工程措施 4 处
V _R	高风险区	29.39	8.04	灾害 30 处,工程措施 10 处、非工程措施 10 处
总 计	5 级划分	365.5	100	/

5.2 抗风险能力

以表 3 中的高风险区为例,统计抗风险能力。高风险区内滑坡、泥石流共计 30 处,其中实施工程治理措施 11 处,非工程措施 10 处。根据式(1)有效防御工程实施率为:

$$EC_1(100\%) = \frac{1}{N}[\lambda_1(CE_1) + \lambda_2(EW_1)](100\%) = \frac{1}{30}[0.8 \times 11 + 1 \times 10] = 0.62(100\%)$$

式中,高风险区中的泥石流防治工程措施均按 20 年一遇设防标准修建防治拦砂坝、排导槽、防护堤等工程;滑坡(崩塌)防治工程措施大部分采用挡土墙、拦石墙、被动拦石网,仅 1 处滑坡采用抗滑桩工程,工程措施采用表 1 中 II_A 级类型标准,工程措施类型投入系数取:λ₁ = 0.8。高风险区中主要滑坡泥石流灾害点实施的非工程措施均采用表 1 中 I_A 级类型标准,工程措施投入系数取:λ₂ = 1。计算结果高风险区有效防御工程实施率达到:EC₁ = 0.62(%)。

5.3 风险折减率

根据式(6)模型,以参考文献[14]高风险区的降雨型滑坡泥石流发生空间分布概率为风险概率 P_p,以参考文献[15]高风险区的受损率做为风险损失概率 P_h。因为该区的滑坡泥石流主要受降雨条件控制,所以将两者代入式(6)计算高风险区不同降雨类型条件下的风险折减概率,即:

①特大暴雨(Q₁)

当特大暴雨时高风险区滑坡泥石流发生概率为 P_p = 0.93,财产损失概率为 P_h = 0.47,代入式(6),可得:

$$P_{1-1} = P_{1-1} = \bar{P}_{1-1} \cdot EC_{1-1} = (1 - \bar{P}_{1-1}) \cdot EC_{1-1} = [1 - P_p \cdot P_h]_{1-1} \cdot \left\{ \frac{1}{N}[\lambda_1(CE) + \lambda_2(EW)] \right\}_{1-1} = [1 - 0.93 \times 0.47] \times 0.62 = 0.34$$

实施防御工程措施后在特大暴雨条件下,高风险区风险折减概率为 0.32。

②大暴雨(Q₂)

当大暴雨时高风险区滑坡泥石流发生概率为 P_p

= 0.91, 财产损失概率为 $P_h = 0.47$, 代入式 (6), 可得:

$$P_{1-2} = P_{1-2} = \bar{P}_{1-2} \cdot EC_{1-2} = (1 - \bar{P}_{1-2}) \cdot EC_{1-2} = [1 - P_p \cdot P_h]_{1-2} \cdot \left\{ \frac{1}{N} [\lambda_1(CE) + \lambda_2(EW)] \right\}_{1-2} = [1 - 0.91 \times 0.47] \times 0.62 = 0.35$$

实施防御工程措施后在大暴雨条件下, 高风险区的风险损失率将折减 0.34%。

③暴雨 (Q_3)

表 4 白沙河流域各风险类型区风险折减概率统计

Table 4 The statistic of risk reduction loss probability of different risk grade in Baishahe watershed

雨型 (Q_i)	高风险区				较高风险区				中等风险区				较低风险区			
	P_{p1}	P_h	EC_1	P_{1-j}	P_{p2}	P_h	EC_2	P_{2-j}	P_{p3}	P_h	EC_3	P_{3-j}	P_{p4}	P_h	EC_4	P_{4-j}
Q_1	0.93	0.47	0.62	0.34	0.90	0.18	0.42	0.35	0.80	0.26	0.33	0.25	0.67	0.07	0.35	0.33
Q_2	0.91	0.47	0.62	0.35	0.86	0.18	0.42	0.35	0.66	0.26	0.33	0.27	0.47	0.07	0.35	0.33
Q_3	0.61	0.47	0.62	0.44	0.52	0.18	0.42	0.38	0.38	0.26	0.33	0.29	0.26	0.07	0.35	0.34

5.4 风险折减效益

采用式(9)对表 4 数据进行效益评价价值计算, 获

当暴雨时高风险区滑坡泥石流发生概率为 $P_p = 0.61$, 财产损失概率为 $P_h = 0.47$, 代入式(6), 可得:

$$P_{1-3} = P_{1-3} = \bar{P}_{1-3} \cdot EC_{1-3} = (1 - \bar{P}_{1-3}) \cdot EC_{1-3} = [1 - P_p \cdot P_h]_{1-3} \cdot \left\{ \frac{1}{N} [\lambda_1(CE) + \lambda_2(EW)] \right\}_{1-3} = [1 - 0.61 \times 0.47] \times 0.62 = 0.44$$

实施防御工程措施后在暴雨条件下, 高风险区的风险损失率将折减 0.44%。采用相同方法还可以获得各类风险区的风险折减概率结果(表 4)。

得表 5 结果。

表 5 白沙河流域各风险类型区风险折减概率效益统计

Table 5 The benefit statistic of risk reduction probability in different risk grades of Baishahe watershed

雨型	高风险区			较高风险区			中等风险区			较低风险区		
	$\bar{P}_1$	P_{01}	ΔP_1	$\bar{P}_2$	P_{02}	ΔP_2	$\bar{P}_3$	P_{03}	ΔP_3	$\bar{P}_4$	P_{04}	ΔP_4
Q_1	0.43	0.146	0.284	0.16	0.056	0.104	0.20	0.05	0.15	0.04	0.013	0.027
Q_2	0.42	0.149	0.271	0.15	0.054	0.096	0.17	0.04	0.13	0.03	0.009	0.021
Q_3	0.28	0.126	0.154	0.09	0.035	0.055	0.09	0.02	0.07	0.01	0.003	0.007

从表 5 中可以看出, 研究区实施防御工程治理后, 各类风险区的损失概率都将得到不同程度降低。其中高风险区在特大暴雨、大暴雨条件下, 风险损失概率差值最大, 风险损失降低的效益最好。由于高风险区防御工程治理的数量最多, 工程投资量最大, 因此得到的风险折减率也越高(图 3)。

$$\tau_2 = \tau_1 - \zeta = 0.284 - 0.09 = 0.194$$
$$\tau_3 = \tau_4 + \zeta = 0.007 + 0.09 = 0.097, \tau_4 = 0.007$$

由上结果可得白沙河流域风险防御工程三级效益评价标准: 效益好 ($A = \tau_1 \cdots \tau_2$)、效益较好 ($B = \tau_2 \cdots \tau_3$)、效益一般 ($C = \tau_3 \cdots \tau_4$)。统计结果见表 6。

表 6 白沙河流域各风险类型区风险折减概率效益评价表
Table 6 Risk reduction probability benefit evaluation of different risk grades of Baishahe watershed

雨型	高风险区 ΔP_1	较高风险区 ΔP_2	中等风险区 ΔP_3	较低风险区 ΔP_4
Q_1	A	B	B	C
Q_2	A	B	B	C
Q_3	B	C	C	C

高风险区的地质灾害数量占全区总数的 38%, 威胁的人数及财产数量最多, 承担的风险损失概率最大, 通过对 10 处直接危害人民生命财产安全的地灾进行工程治理, 明显折减了原有的风险损失可能性。所以高风险区风险损失折减率最大, 防御工程效益为 A 级最多。因其它风险类型区的防御工程的类型和投入量相对较低, 承担的风险损失概率也相对较低, 因此防御

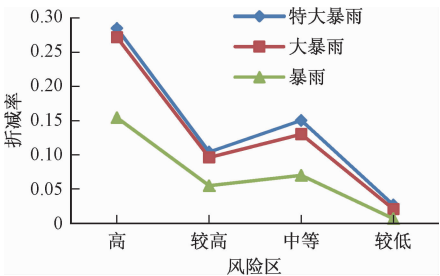


图 3 风险损失概率效益评价图

Fig.3 Risk loss probability benefit evaluation

为了对表 5 统计结果进一步划分效益评价等级, 采用式(10)将表中风险损失概率差值 ΔP_i 数据建立三级效果评价标准, 即:

$$\zeta = (0.284 - 0.007) / 3 = 0.09, \tau_1 = 0.284,$$

工程效益相对较差,评价结果分别为 B 和 C 级。

6 结语

(1)进行空间区域地质灾害风险区划后,应该进一步对区内的风险防御工程效益评价。但到目前为止,还没有地质灾害防治工程投资效益评价的标准。传统的效益评价仅仅考虑防御工程的投资效益比,即保护对象的固定资产和工程投入的比例关系,而没有考虑降低风险损失的可能性问题。实际上地质灾害风险防御工程效益除了社会效益难以量化评估外,其它都可以采用防御工程的综合效益降低灾害损失可能性(概率)来量化评价。

(2)区域地质灾害防御工程包括了全部的工程措施(土木工程)和非工程措施(监测预警、群测群防)内容,这些措施代表了区域范围内整体抗风险损失能力提升的效果。与单项工程效益评估的方法不同,仅仅采用投资效益比等单项指标进行评估,是得不到客观科学的分析效果的。

(3)采用防御工程的抗风险能力、防御工程风险损失折减概率、防御工程效益评价 3 项指标,可以建立综合评价区域地质灾害风险防御工程效益的模型。其中,抗风险能力代表全区范围内实施防御工程的类型和数量,体现了提升整体抗风险损失的能力。风险损失折减概率代表防御工程实施后,风险损失的变化情况。防御工程效益评价将前 2 项统计结果划分为 3 级标准。

(4)论文介绍的风险防御工程效益评价方法必须是在完成风险区划之后工作,该方法可以成为区域地质灾害风险区划的内容之一。

参考文献:

- [1] 喻生波. 地质灾害防治工程效益分析评价[J]. 甘肃地质, 2009, 18(2): 75 - 77.
YU Shengbo. Geological disaster prevention project benefit analysis and evaluation[J], Geology in Gansu Province, 2009, 18(2): 75 - 77.
- [2] 刘友, 王联军, 余振国. 地质灾害防治工程减灾经济效益评估理论探讨-以三峡库区地质灾害防治工程为例[J]. 中国国土资源经济, 2007, 10: 39 - 41.
LIU You, WANG Lianjun, YU Zhenguo. Geological disaster prevention engineering for disaster reduction economic evaluation theory to explore in the three gorges reservoir geological disaster prevention engineering for example [J]. The Economy of Land and Resources, 2007, 10: 39 - 41.
- [3] 李彬, 李丽华, 王盼. 地质灾害防治工程效益分析[J]. 资源环境与工程, 2014(6): 1211 - 1671.
LI Bin, LI Lihua, WANG Pan. Geological disaster prevention project benefit analysis [J]. Journal of Resources, Environment and Engineering Practices, 2014(6): 1211 - 1671.
- [4] 侯俊东, 侯甦予, 吕军, 等. 三峡库区地质灾害监测预警工程经济效益评估分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(2): 64 - 69.
HOU Jundong, HOU Genyu, LYU Jun, et al. The three gorges reservoir geologic hazard monitoring and early warning project economic evaluation analysis [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(2): 64 - 69.
- [5] 王念秦, 周志强, 王红兵. 滑坡整治工程经济效益评估模式研究[J]. 甘肃科学学报, 2002, 14(3): 78 - 84.
WANG Nianqin, ZHOU Zhiqiang, WANG Honbing. Landslide renovation engineering economic benefit evaluation model research [J]. Journal of Gansu Science, 2002, 14(3): 78 - 84.
- [6] 张梁, 梁凯. 泥石流防治工程经济效益评价研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(3): 48 - 53.
ZHANG Liang, LIANG Kai. Economic evaluation of prevention projects of debris flow [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(3): 48 - 53.
- [7] 《地质灾害防治条例》中华人民共和国国务院令(第 394 号), 2003.
The geological disaster prevention and control regulations of the state council of the People's Republic of China (No. 394), 2003.
- [8] DB50/143 - 2003, 地质灾害防治工程勘察规范[S].
DB50/143 - 2003, The investigation of geological disaster prevention engineering[S].
- [9] 孟涛. 比较几种综合评价方法[J]. 淮北煤炭师范学院学报, 2004, 25(3): 80 - 83.
MENG Tao. Comparing several kinds of comprehensive evaluation method [J]. Journal of Huaibei Coal Teachers College, 2004, 25(3): 80 - 83.
- [10] 牛秀敏, 郑少智. 几种常规综合评价方法的比较[J]. 知识丛林, 2006(3): 140 - 143.
NIU Xiuomin, ZHENG Shaozhi. Several conventional comprehensive evaluation method of the comparison [J]. Knowledge of the jungle, 2006(3): 140 - 143.