

# 山区沿河公路地质风险形成机制\*

陈远川, 陈洪凯

(重庆交通大学 岩土工程研究所, 重庆 400074)

**摘要:** 根据山区沿河公路灾害的特点, 将以岩土介质为主的传统地质灾害类型和水沙介质灾害类型整合, 提出了“广义地质灾害体”的概念, 并以介质组成为标准进行了广义地质灾害体分类。在孕灾环境评价和致灾因子评价的基础上, 提出了广义地质灾害体的孕灾环境与致灾因子异相耦合发育机理。基于公路承灾体健康的理念, 认为公路承灾体易损性主要受控于公路结构本身的健康性态, 采取技术可行、经济合理的技术措施使结构健康复原是工程性减灾措施的目的。将公路承灾体类型分为结构性承灾体和功能性承灾体两类。提出了公路地质风险的耦合对抗形成机制, 即公路地质风险是广义地质灾害体危险性与公路承灾体易损性之间时空耦合对抗的结果。认为地质风险评估是关于多因素非线性灾害风险系统的预测评价问题。根据地质风险形成的耦合机制, 提出了采用解耦措施来逆向控制公路地质风险形成演化过程的减灾思路。针对山区沿河公路, 给出了从孕灾环境、致灾因子、广义地质灾害体危险性、承灾体易损性评价到地质风险评估的思路与一般函数表达式。

**关键词:** 沿河公路; 地质风险; 广义地质灾害体; 承灾体易损性; 耦合对抗机制; 解耦措施; 承灾体健康复原  
**中图分类号:** U418.5+4; P642.2   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1000-811X(2012)03-0006-06

## 0 引言

地质灾害风险是联合国国际减灾十年之后国际社会灾害风险研究学界的重点课题之一。在公路工程领域, 开展山区沿河公路地质风险评估与减灾研究对公路灾害风险管理学界和山区公路管理、养护部门都具有重要的理论参考和工程实用价值。山区沿河公路地质风险具有自然属性和社会属性的双重特性<sup>[1]</sup>。自然属性体现为山区沿河公路地质灾害的危险性, 社会属性体现为山区沿河公路毁损、断道等造成的经济损失和人员伤亡等不利后果, 二者相互叠加、综合后最终形成山区沿河公路地质风险。山区沿河公路地质灾害危险性由孕灾环境和致灾因子二者之间的合成、综合作用决定, 山区沿河公路承灾体的毁损及断道等造成的经济损失和人员伤亡等不利后果受控于山区沿河公路结构的健康性态。

地质风险形成机制是开展公路地质风险评估与减灾研究的基础。通过公路地质风险评估达到贯彻山区沿河公路“防治结合, 以防为主, 深化主

动防御”的防治原则的目的。将工程性“硬”措施与非工程性“软”措施相结合, 强调灾前以防为主, 而不是等灾害发生以后再治, 可有效降低公路养护、维修和应急抢通等对资源的消耗量, 为建设节约型社会贡献力量。

迄今, 国内外许多学者都进行了公路地质灾害风险相关的研究, 可概括为: 公路水毁灾害机理和灾害系统研究<sup>[2-4]</sup>、公路灾害环境评价研究<sup>[5-14]</sup>、公路崩滑流灾害和路基沉陷评价研究<sup>[15-22]</sup>、公路边坡和高切坡评价研究<sup>[23-24]</sup>、公路易损性和抗灾能力研究<sup>[25-26]</sup>等5个方面。从文献分析可知, 目前公路地质灾害风险研究对单灾种的评价研究较多, 对多灾种综合风险研究较少; 决定评价指标分级量化取值和权重分配合理性的公路灾害物理力学机制研究不够深入, 未根本搞清楚灾害毁损公路的力学机制, 导致评价标准、评价指标量化中存在较多人为主观因素; 评价方法多是借用单一灾害点评价和区域评价的方法, 未建立适用于公路这种线形结构物的评价方法; 对公路地质灾害危险性评价研究较多, 而对公路地质灾害损失、公路承灾体健康状况的评估研究

\* 收稿日期: 2011-11-24    修回日期: 2012-01-10

基金项目: 西部交通建设科技项目(2009318221035)

作者简介: 陈远川(1984-), 男, 重庆铜梁人, 博士研究生, 主要从事公路地质安全理论与减灾研究。

E-mail: Geomechanics2011@gmail.com

通讯作者: 陈洪凯(1964-), 男, 重庆江津人, 博士生导师, 教授, 主要从事动力地貌学、山地灾害演变、安全警报与减灾技术研究。E-mail: chenhongkairht@sina.com

较少。因此以公路地质风险形成机制研究为基础, 系统开展公路地质风险评估研究, 构建公路地质风险评估理论体系有重要意义。

本文针对山区沿河公路地质风险形成机制, 从孕灾环境、致灾因子、承灾体组成的灾害系统中多因素非线性相互作用的角度, 基于山区沿河公路可能遭受灾害类型的实际情况, 提出了“广义地质灾害体”的概念和广义地质灾害体发育的孕灾环境与致灾因子异相耦合机理; 基于公路承灾体结构健康的理念, 对公路承灾体易损性评价进行研究, 提出了结构健康复原的减灾思想; 最后, 提出了公路地质风险的耦合对抗形成机制和“解耦”的减灾思路。

### 1 山区沿河公路地质灾害体研究

在公路工程中, 通常意义的地质灾害只包含崩塌、滑坡、泥石流、路基沉陷等不良地质条件, 未涉及山洪和河道洪水灾害。但是, 由于山区沿河公路所处的特殊地形地貌位置、沿河水力特征和公路两侧小流域对极端降雨条件的高敏感性, 使得公路沿线小流域出口处的山洪和平行公路走向的河道洪水都是导致山区沿河公路路基、小桥、涵洞、公路支挡防护结构、路面等承灾体毁损的重要灾害类型。因此本文将山洪灾害和河道洪水灾害一起纳入影响山区沿河公路地质安全的地质灾害体范畴, 并界定“广义地质灾害体”的概念, 以便于开展山区沿河公路地质风险形成机制研究。

本文这样界定“广义地质灾害体”: 在与公路工程结构地质安全和岩土减灾相关的研究过程和工程实践中, 在传统的以崩、滑、流等岩土介质为主的地质灾害类型基础上, 增加山洪灾害、河道洪水灾害等以水这种流体介质为主的水沙灾害类型, 将所有会对公路工程结构产生毁损致灾作用的灾害类型统称为“广义地质灾害体”。山区沿河公路地质风险形成机制研究中, 广义地质灾害体主要包括: 传统的以岩土介质为主的地质灾害类型, 如崩、滑、流、路基沉陷等; 以水沙介质为主的山洪灾害和河道洪水灾害。

#### 1.1 广义地质灾害体类型

不同的地质灾害体对公路承灾体有不同的致灾作用, 因此对广义地质灾害体类型进行合理划分, 有利于山区沿河公路地质灾害危险性和致灾机理的研究。

分类方案一: 按灾害种类划分为以危岩、崩塌、滚(落)石、表层滑坡、深部滑坡、坡面泥石流、沟谷泥石流、路基沉陷等为代表的传统地质

灾害类型和以小流域山洪、河道洪水等为代表的水沙灾害类型(图 1)。

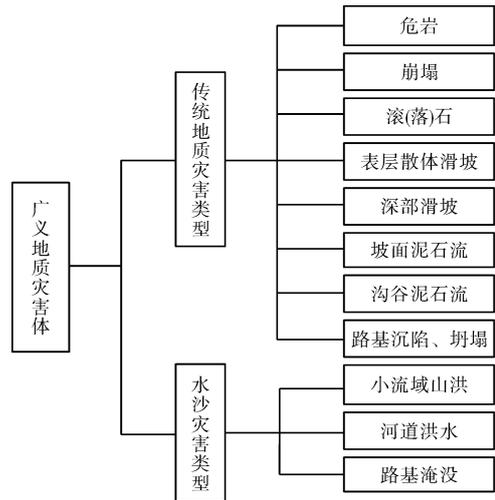


图 1 广义地质灾害体分类方案一

分类方案二: 按致灾体介质类型和复杂程度划分为土体介质灾害体、岩体介质灾害体、水体介质灾害体、岩土复合介质灾害体、水沙混合介质灾害体和水土石混合介质灾害体等类型(图 2)。方案二从地质灾害体介质组成的角度出发, 采用介质类型和介质复杂程度进行广义地质灾害体的类型划分, 可供固液气三相介质耦合及相变研究、多孔介质、裂隙介质和复杂介质灾变力学研究参考。

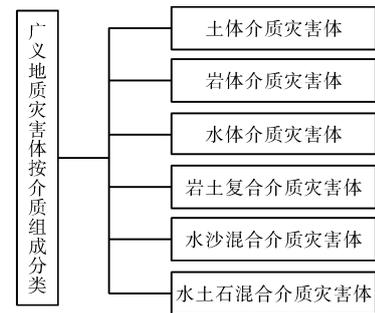


图 2 广义地质灾害体分类方案二

#### 1.2 山区沿河公路地质灾害孕灾环境评价

孕灾环境是形成广义地质灾害体的重要方面。在实地调研、文献分析和专家咨询的基础上, 综合考虑山区沿河公路沿线地质灾害发育现状( $x_1$ )、河流水力特征( $x_2$ )、河段地形( $x_3$ )、公路沿线小流域产汇流和产沙特征( $x_4$ )、工程岩土性质( $x_5$ )、斜坡结构( $x_6$ )、斜坡水文地质条件( $x_7$ )、年均降雨量( $x_8$ )、植被覆盖度( $x_9$ )、气温起伏度( $x_{10}$ )和地质构造条件( $x_{11}$ )等因素对山区沿河公路孕灾环境的影响。

在指标体系优化的基础上, 对各指标进行分

级量化、确定权重,采用合理的评价方法,得出研究区域山区沿河公路孕灾环境的评价结果。山区沿河公路地质灾害孕灾环境条件按评价结果可分为危险区、高易发区、中易发区和低易发区。孕灾环境评价可用式(1)所示的一般函数表达式表示,评价过程为一个多因素非线性的数学决策计算问题。

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots), \quad (1)$$

式中:  $Z$  为孕灾环境综合评价;  $x_i$  为孕灾环境评价指标,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ;  $f$  为构建的孕灾环境指标和孕灾环境综合评价结果之间的非线性函数映射关系。

当山区沿河公路孕灾环境评价采用多因素综合指数法时,计算得到的综合指数是公路地质灾害孕灾环境的综合量化值,孕灾环境评价公式(1)具体化为式(2)的形式,其计算公式为:

$$Z = \sum_{i=1}^n W_i F_i. \quad (2)$$

式中:  $Z$  为孕灾环境综合指数;  $W_i$  为指标权重值;  $F_i$  为孕灾环境指标量化值;  $n$  为指标个数。

山区沿河公路地质灾害孕灾环境强调相对静态的公路地质灾害体易发条件,是进行广义地质灾害体发育机理研究和危险性评价的基础。

### 1.3 山区沿河公路地质灾害致灾因子强度评价

致灾因子从广义地质灾害体形成的诱发、激发条件的角度出发,考虑极端降雨特征( $t_1$ )、洪水特征( $t_2$ )、地震条件( $t_3$ )和人类活动( $t_4$ )等因素进行致灾因子对广义地质灾害体成因的贡献率分析。山区沿河公路地质灾害致灾因子强调动态的降雨、地震、人类活动等对广义地质灾害体形成演化的影响。区别于孕灾环境的历年平均降雨因素,致灾因子中的降雨因素侧重于考虑长历时、高强度、大雨量的极端降雨条件。人类活动可用人口密度等指标进行量化。致灾因子强度评价可用式(3)所示的一般函数表达式表示,评价过程同样为一个多因素非线性的数学决策计算问题。

$$I = g(t_1, t_2, \dots, t_j), \quad (3)$$

式中:  $I$  为致灾因子综合强度评价;  $t_j$  为致灾因子指标,  $j = 1, 2, 3, \dots$ ;  $g$  为构建的致灾因子指标和致灾因子综合强度评价之间的非线性函数映射关系。

### 1.4 广义地质灾害体的发育机理——孕灾环境与致灾因子异相耦合

广义地质灾害体灾害的发生受孕灾环境和致灾因子两方面的控制,孕灾环境是广义地质灾害体形成的宏观背景,致灾因子是灾害发生的诱发或激发因素,因此广义地质灾害体的发育机理包

括形成机理和诱发机理两个方面。形成机理从孕灾环境角度研究广义地质灾害体的宏观孕发条件,以便于从地质环境、生态环境、气象气候条件等大的背景下开展减灾工作,比如孕源减灾、控源减灾等减灾理念的提出。诱发机理从致灾因子角度研究直接导致灾害发生的致灾关键要素,以便于研发具体的工程性减灾技术手段来切断灾害链,阻断广义地质灾害体的形成演化过程,提高公路工程结构的地质安全,减少公路地质风险。

广义地质灾害体的发育是孕灾环境系统和致灾因子集合中多因素非线性异变耦合的结果,要有效抗御其对公路承灾体的毁损致灾作用、保证公路工程结构的地质安全、合理有效规避公路地质风险,必须以各种地质灾害体毁损相应公路承灾体的机理研究和形成各类广义地质灾害体的耦合效应研究为依据。

在广义地质灾害体的发育过程中,孕灾环境起内因的作用,而致灾因子则起外因的作用,地震、暴雨、人类活动等致灾因子“外荷载”对孕灾环境中的潜在灾变地质体起扰动的作用。

### 1.5 广义地质灾害体的危险性评价

山区沿河公路广义地质灾害体危险性由公路地质灾害的孕灾环境综合评价结果  $Z$  和致灾因子综合强度评价结果  $I$  之间的合成、综合作用决定。要量化广义地质灾害体危险性等级,需要构建孕灾环境综合评价结果、致灾因子综合强度评价结果二者和广义地质灾害体危险性等级之间的函数映射关系。广义地质灾害体的危险性评价可用式(4)所示的一般函数表达式表示。

$$H = u(Z, I), \quad (4)$$

式中:  $H$  为广义地质灾害体危险性等级;  $Z$  为孕灾环境综合指数;  $I$  为致灾因子综合强度评价结果;  $u$  为构建的孕灾环境综合评价结果、致灾因子综合强度评价结果二者和广义地质灾害体危险性等级之间的非线性函数映射关系。

广义地质灾害体危险性评价的过程见图3。

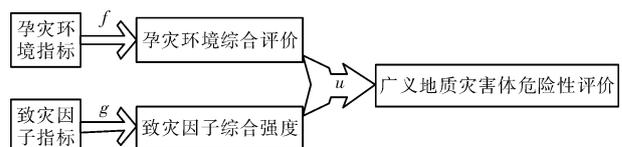


图3 广义地质灾害体危险性评价过程

## 2 山区沿河公路承灾体研究

山区沿河公路地质风险是山区沿河公路沿线的广义地质灾害体危险性与山区沿河公路承灾体

易损性耦合对抗的综合表现。因此, 山区沿河公路不同路段的不同类型承灾体及其抗灾能力(易损性)是核算山区沿河公路水毁灾害损失的基础, 是构建山区沿河公路地质风险评估方法的重要方面。

### 2.1 山区沿河公路承灾体类型

不同的公路承灾体类型对可能的地质灾害体的致灾毁损作用有不同的响应, 故对公路承灾体类型进行合理划分, 有助于公路承灾体的易损性(脆弱性)和健康性态研究。将山区沿河公路承灾体分为结构性承灾体和功能性承灾体两大类, 其中结构性承灾体主要包括路基、小桥涵、边坡加固及防护结构, 功能性承灾体主要包括路线和路网(图 4)。

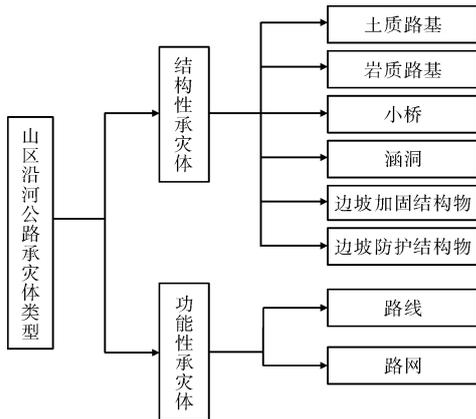


图 4 山区沿河公路承灾体

### 2.2 山区沿河公路承灾体易损性评价

公路承灾体易损性主要取决于公路承灾体的健康状态, 在孕灾环境和致灾因子相互作用形成的广义地质灾害体危险性一定的条件下, 公路承灾体抗毁能力越高, 越有利于抗御各种灾害, 越有助于提高公路结构的地质安全和规避公路地质风险。

广义地质灾害体与公路承灾体的相互作用关系见图 5。将广义地质灾害体对公路承灾体的致灾毁损作用概化为推挤、牵拉、“冲”、“淤”、“渗”五类力学模式。公路承灾体的抗灾能力用结构的健康性态来体现。山区沿河公路承灾体易损性评价是一个受多因素影响的非线性决策问题, 易损性主要决定于公路承灾体结构自身的强度、刚度及稳定性, 优选不同类型承灾体的易损性评价指标, 选择合理、适用、先进的公路易损性评价方法(数学模型)进行山区沿河公路承灾体的抗灾能力研究。

公路承灾体易损性评价可用式(5)所示的一般函数表达式表示, 评价过程同样为一个多因素非线性的数学决策计算问题。

$$V = k(u_1, u_2, \dots, u_j, \dots), \quad (5)$$

式中:  $V$  为承灾体易损性评价价值;  $u_j$  为易损性评价指标,  $j=1, 2, 3, \dots$ ;  $k$  为构建的易损性评价指标和承灾体易损性评价价值之间的非线性函数映射关系。

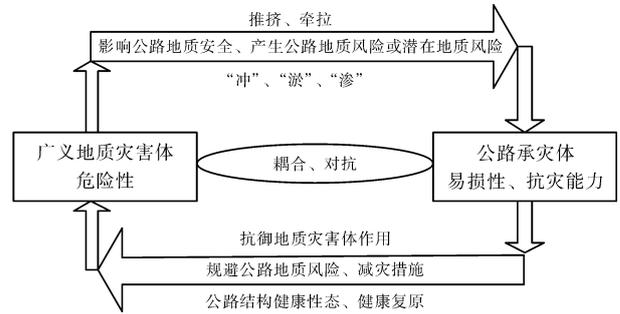


图 5 广义地质灾害体与公路承灾体的相互作用

(1)山区沿河路基易损性评价指标: 路基填料类型( $u_1$ ), 路基拔河高度( $u_2$ ), 路基边坡承冲面坡度( $u_3$ ), 路基层养措施( $u_4$ ), 路基使用年限( $u_5$ ), 路基防护措施( $u_6$ ), 路基处河段类型( $u_7$ )。

(2)山区沿河公路小桥涵易损性评价指标: 冲刷深度( $u_1$ ), 桥涵位置( $u_2$ ), 迎冲部位的消能防冲措施( $u_3$ ), 过流能力( $u_4$ ), 进出口形式( $u_5$ ), 输沙抗淤能力( $u_6$ ), 桥涵的管养措施( $u_7$ )。

(3)山区沿河公路边坡易损性评价指标: 边坡坡度( $u_1$ ), 断面形式( $u_2$ ), 养护措施( $u_3$ ), 使用年限( $u_4$ ), 路基填料类型( $u_5$ ), 山区沿河公路路面宽度( $u_6$ )。路基填料类型和路面宽度影响公路边坡失稳导致公路断道后的抢通速度和恢复能力。

## 3 山区沿河公路地质风险形成机制

公路地质风险具有自然属性和社会属性的双重性质。自然属性体现为孕灾环境和致灾因子异相耦合形成的广义地质灾害体的危险性; 社会属性体现为灾害体可能导致的公路毁损、人员伤亡和经济损失等不利后果。地质风险的社会属性很大程度上受公路工程结构健康性态的影响, 即公路承灾体抗御广义地质灾害体毁损作用的能力(易损性)是决定不利地质风险后果的关键。广义地质灾害体的危险性决定致灾“荷载”的强度大小, 公路承灾体的易损性决定公路结构对不利“荷载”作用的响应特征。因此, 公路地质风险形成是广义地质灾害体危险性和公路承灾体易损性二者之间耦合对抗作用的结果(图 6)。

山区沿河公路地质风险形成机制可用式(6)所示的一般函数表达式表示, 即公路地质风险形成是孕灾环境、致灾因子和承灾体三大灾害风险子

系统中多因素非线性相互作用的耦合对抗过程。

$$R = c(H, V), \quad (6)$$

式中： $R$  为公路地质风险； $H$  为广义地质灾害体危险性； $V$  为公路承灾体易损性； $c$  为广义地质灾害体危险性与公路承灾体易损性之间时空耦合对抗的非线性耦合映射。

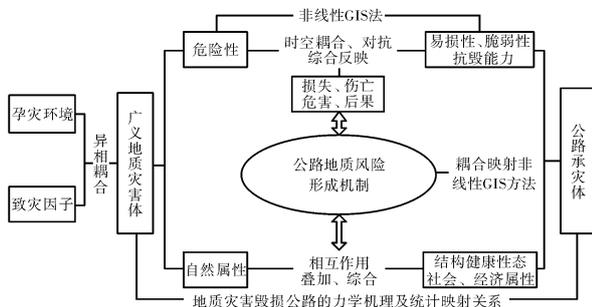


图6 公路地质风险形成机制

公路地质风险研究的目的是保证公路工程结构的地质安全，提高公路抗御灾害的能力，并合理规避公路地质风险，为公路减灾决策提供依据，要实现以上目标需要以地质灾害毁损公路的力学机理研究和公路灾害的统计规律研究为基础，采用非线性GIS方法为手段实现地质风险自然属性和社会属性的叠加、综合，合理预测并量化潜在的灾害不利后果，并以评估预测结果为依据进行合理的减灾决策(图6)。因此，地质风险评估问题是一个多因素非线性的灾害风险系统预测评价问题。

公路地质风险是广义地质灾害体危险性和公路承灾体易损性之间时空耦合对抗、相互作用的结果，根据地质风险形成的耦合机制，提出技术可行、经济合理的解耦措施来反向控制公路地质风险的形成演化过程是公路减灾的一个思路。通过解耦措施尽力防止公路灾害发育环境的构成，有效而适时地改造公路灾害发育环境及全过程监测公路地质灾害是公路减灾的有效方法。具体的解耦措施可以是宏观地改善生态气候、植树造林、孕源减灾、合理引导人类活动等降低广义地质灾害体的危险性、阻断广义地质灾害体形成的政策，也可以是具体地研发工程性技术措施来提高公路承灾体的健康性态和抗灾能力、使劣化的公路结构健康复原。

## 4 结论

(1)山区沿河公路路线两侧各个小流域出口处的山洪和平行公路走向的河道洪水是危及山区沿河公路地质安全的重要灾害类型。在传统的以崩、滑、流等岩土介质为主的地质灾害类型基础上，

增加山洪灾害、河道洪水灾害等以水这种流体介质为主的水沙灾害类型，将所有会对公路工程结构产生毁损致灾作用的灾害类型统称为“广义地质灾害体”。以介质类型为标准提出广义地质灾害体分类便于开展山区沿河公路减灾理论研究。

(2)广义地质灾害体的发育是相对静态的孕灾环境系统和动态的致灾因子集合中多因素非线性异相耦合的结果。广义地质灾害体的发育机理包括形成机理和诱发机理两个方面。形成机理从孕灾环境角度研究广义地质灾害体的宏观孕发条件，诱发机理从致灾因子角度研究直接激发灾害发生的致灾关键要素。

(3)从公路承灾体健康的理念出发，认为公路承灾体易损性评价即为公路承灾体抗御灾害的能力和结构健康性态评价，提出了公路工程结构健康复原的公路维修养护理念和观点。公路承灾体类型可分为结构性承灾体和功能性承灾体两类，对山区沿河公路的路基、小桥涵和边坡3类结构性承灾体初步给出了可供参考的易损性评价指标。

(4)公路地质风险是广义地质灾害体危险性与公路承灾体易损性之间时空耦合对抗的结果，根据地质风险形成的耦合对抗机制，提出了采用解耦措施来逆向控制公路地质风险形成演化过程的减灾思路。通过解耦措施尽力防止公路灾害发育环境的构成，有效而适时地改造公路灾害发育环境及全过程监测公路地质灾害是公路减灾的有效方法。

(5)孕灾环境、致灾因子和承灾体三者构成灾害风险系统，认为地质风险评估过程是关于多因素非线性灾害风险系统的预测、评价和数学决策计算过程，提出了孕灾环境评价、致灾因子强度评价、广义地质灾害体危险性评价、承灾体易损性评价和地质风险评估的思路和一般函数表达式，可为进一步深入开展山区沿河公路地质风险评估提供依据。

## 参考文献:

- [1] 余承君, 刘希林. 自然灾害风险管理中社会因素的探讨[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 120-126.
- [2] 张家明, 王志奇, 张勇, 等. 云南省公路水毁时空分布宏观约束机制[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 35-40.
- [3] 沈水进, 孙红月, 孙新民. 山区公路坡面冲刷引起的路基水毁机理[J]. 江南大学学报: 自然科学版, 2011, 10(3): 293-297.
- [4] William Rasdorf, Hubo Cai, Chris Tilley. Approach to determine extent and depth of highway flooding [J]. Journal of Infrastructure Systems, 2007, 13(2): 157-167.
- [5] 苏永华, 李翔, 李志勇, 等. 山区公路建造环境级别的模糊

- 粗糙评价方法[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2010, 37(5): 1-7.
- [6] 向延念, 徐志胜, 王薇. 沿海高速公路风险评价体系构建[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 142-147.
- [7] 崔伯恩, 凌建明, 赵鸿铎, 等. 公路水毁毁损等级划分体系研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2006, 34(9): 1180-1184.
- [8] Youssef A M, Pradhan B, Hassan A M. Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery[J]. Environ Earth Sci, 2011, 62(3): 611-623.
- [9] 覃庆梅, 林孝松, 唐红梅, 等. 重庆市万州区公路洪灾孕灾环境分区[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2011, 30(1): 89-94.
- [10] 曾蓉, 陈洪凯, 李俊业. 嫡权模糊综合评价法在公路洪灾危险性评价中的应用[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29(4): 587-591.
- [11] D'andrea A, Cafiso S, Condorelli A. Methodological considerations for the evaluation of seismic risk on road network [J]. Pure and Applied Geophysics, 2005(162): 767-782.
- [12] 甘建军, 黄润秋, 李前银, 等. 都江堰-汶川公路汶川地震次生地质灾害主要特征和形成机理[J]. 地质力学学报, 2010, 16(2): 146-158.
- [13] 庄建琦, 崔鹏, 葛永刚, 等. “5·12”汶川地震崩塌滑坡危险性评价——以都汶公路沿线为例[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(S2): 3735-3742.
- [14] Tung Y K. On the optimal risk based design of highway drainage structures[J]. Stochastic Hydrology and Hydraulics, 1990, 4(4): 295-308.
- [15] 袁素凤. 模糊综合评价高速公路建设工程地质灾害危险性[J]. 灾害学, 2009, 24(2): 57-60.
- [16] 程尊兰, 耿学勇, 党超, 等. 川藏公路 G317 线路基水毁危险度分段研究[J]. 灾害学, 2006, 21(4): 18-23.
- [17] 阳岳龙, 何文勇, 林剑. 贵州三贵高速公路地质灾害危险度分段评价[J]. 公路, 2009(3): 52-57.
- [18] Wastl M, Stotter J, Kleindienst H. Avalanche risk assessment for mountain roads: a case study from Iceland [J]. Nat Hazards, 2011, 56(2): 465-480.
- [19] 崔鹏, 林勇明. 自然因素与工程作用对山区道路泥石流、滑坡形成的影响[J]. 灾害学, 2007, 22(3): 11-16.
- [20] 马保成, 王亮, 牟顺. 公路滑坡灾害链式反应阶段性识别方法研究[J]. 灾害学, 2011, 26(2): 54-58.
- [21] 牟顺, 王亮, 马保成. 山区公路路基沉降风险识别方法研究[J]. 路基工程, 2011, (1): 54-56.
- [22] Zhou W F, Beck B F, Adams A L. Application of matrix analysis in delineating sinkhole risk areas along highway (I-70 near Frederick, Maryland) [J]. Environmental Geology, 2003, 44(7): 834-842.
- [23] Pantelidis L. A critical review of highway slope instability risk assessment systems [J]. Bull Eng Geol Environ, 2011, 70(3): 395-400.
- [24] 林孝松, 陈洪凯, 许江, 等. 山区公路高切坡岩土安全评价分析[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(3): 66-71.
- [25] 兰日清, 丰彪, 王自法. 震后公路桥梁通行能力快速评估技术研究[J]. 世界地震工程, 2009, 25(2): 81-87.
- [26] 崔伯恩, 凌建明, 赵鸿铎, 等. 沿河公路抗水毁能力评价方法研究[J]. 公路交通科技, 2006, 23(9): 6-9, 19.

## Formation Mechanism of Geological Risk of Mountainous Highway along River

Chen Yuanchuan and Chen Hongkai

(Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** According to the characteristics of mountainous riverside highway disasters, combined traditional geotechnical medium geological disasters and flood and sediment disasters, the authors put forward the “generalized geological disasters body” concept, and classified the generalized geological disasters body using medium composition for standard. Based on the evaluation of disaster-breeding environment and disaster-causing factor, the catastrophe-coupling development mechanism of the generalized geological disasters body by interaction between disaster-breeding environment and disaster-causing factor is given. Based on the health concept of highway hazard-affected body, it is thought that vulnerability of hazard-bearing body is mainly controlled by the healthy condition of highway structure. The purpose of engineering disaster alleviation measures is making structure health recovery by taking technically feasible and economy reasonable measures. The highway hazard-affected bodies are divided into two types as structural and functional ones. The coupling and confrontation mechanism of highway geological risk is put forward, which indicates that highway geological risk is the result of coupling and confrontation between hazard of generalized geological disasters body and vulnerability of highway hazard-bearing body. It is thought that geological risk assessment is about the prediction and evaluation study on the multi-factors and nonlinear disaster risk system. According to the coupling formation mechanism of geological risk, the idea for reverse control of the formation processes of highway geological risk by decoupling measures is proposed. For mountainous riverside highway, the work ideas and general function expressions for disaster-breeding environment, disaster-causing factors, hazard of generalized geological disasters body, vulnerability assessment of hazard-bearing body and geological risk assessment are given.

**Key words:** riverside highway; geological risk; generalized geological disasters body; hazard-bearing body vulnerability; coupling and confrontation mechanism; decoupling measures; health recovery of hazard-bearing body