

周福川, 李佳坤, 蒋金荣, 等. 公路水毁经济损失估算方法研究——以重庆市永川区公路水毁为例[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 145–151. [ZHOU Fuchuan, LI Jiakun, JIANG Jinrong, et al. Research on economic loss of road flood damage——Put road flood damage in Yong Chuan district of Chong Qing municipality as an example[J]. Journal of catastrophology, 2019, 34(1): 145–151. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.027]

# 公路水毁经济损失估算方法研究

——以重庆市永川区公路水毁为例\*

周福川<sup>1</sup>, 李佳坤<sup>2</sup>, 蒋金荣<sup>3</sup>, 陈远川<sup>2,4</sup>

(1. 重庆市渝西水利电力建筑勘测设计院, 重庆 永川 402160; 2. 重庆文理学院 建筑工程学院, 重庆 永川 402160; 3. 重庆市永川区交通委员会公路管理所, 重庆 永川 402160; 4. 桥梁无损检测与工程计算四川省高校重点实验室, 四川 自贡 643000)

**摘要:** 受降雨时空分布不均和极端降雨频发等因素影响, 公路水毁具有分散性、随机性和灾情差异性, 对交通部门产生的经济损失也存在较大变化, 如何快速有效估算公路水毁损失具有现实意义。根据研究区公路水毁特征概化出四种主要受灾类型, 包括路堑边坡垮塌-积水淹没型、路堤穿堤构筑物淤塞-漫流型、弯道附属设施冲失型和行道植株断道型, 直接经济损失主要由四种水毁类型对公路结构的损伤和破坏形成; 考虑时间价值效应, 将间接经济损失简化为增加的营运成本和旅客时间耗费损失; 通过整合直接和间接经济损失, 构建了公路水毁损失估算模型。以重庆市永川区 S417 永铜路水毁灾害为例, 应用估算模型得出了经济损失, 验证了估算方法具有一定的合理性, 结果表明: ①路堑边坡垮塌-积水淹没型和路堤穿堤构筑物淤塞-漫流型是形成研究区公路直接经济损失的主要部分, 在快速估算经济损失时, 可基于以上两种受灾类型统计结果, 乘以扩大系数, 得出直接经济损失; ②间接经济损失属于隐性损失, 但是体量远大于直接经济损失, 对国民经济造成的影响不容忽视; ③建立的估算新方法, 可快速评估经济损失, 保证灾情发布的时效性; ④可进一步研究基于风险分析的主动经济投入预控措施, 联合保险公司、公路养护部门等研讨公路水毁保险机制与养护维修方案, 建立公路水毁重大灾情应急抢险工作机制, 响应国家应急管理部工作部署, 形成双赢、多赢新局面。研究成果可供公路养护维修、应急抢通工程科学编制预算参考。

**关键词:** 道路工程; 直接经济损失; 间接经济损失; 公路水毁; 受灾类型

**中图分类号:** X43; U4.9; P426.616 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)01-0145-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.027

公路水毁是造成交通断道、车辆行人通行受阻等困境的重要原因。根据灾害学系统论, 任何灾害事件的发生是致灾因子、孕灾环境和承灾体三大子系统异向耦合的结果。为衡量灾害后果的相对严重程度, 有学者将灾害损失货币化, 试图建立评判灾害后果的统一尺度标准。灾害损失除受三大子系统控制外, 还与社会应急救援体制机制、灾害风险管理能力等社会因素相关。公路水毁是众多公路毁损形式中的一种典型频遇灾害现象, 其毁损常导致较大的经济损失, 包括灾前投资建设费用和灾后抢修、应急处置等一系列次生费用, 以及造成的交通营运

成本增加和通勤时间耗费等。

公路水毁灾害损失与致灾因子强度、孕灾环境敏感性、承灾体抗灾能力、路网拓扑结构、设计施工质量和养护水平等因素相关。损失评估是一种多因素非线性决策分析问题, 直接经济损失相对容易获取, 但间接经济损失评估进展相对滞后, 相关评估模型建立和参数优选是关键。1970年代以来, 国内、外学者对各种灾害导致的社会经济损失做了大量工作, 获得了许多有益成果和经验总结<sup>[1-4]</sup>。Wang 建立了经济静态模型和改良的投入-产出模型, 用于评估由台风导致相关

\* 收稿日期: 2018-06-04 修回日期: 2018-08-13

基金项目: 重庆市永川区科技计划项目(ycstc, 2015nc6001); 桥梁无损检测与工程计算四川省高校重点实验室开放基金项目(2015QYJ07); 重庆市科委自然科学基金项目(cstc2014jcyjA30019); 重庆市教委科学技术项目(KJ1501131)

第一作者简介: 周福川(1989-), 男, 重庆北碚人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事水利、交通岩土与地质工程研究。

E-mail: 412115323@qq.com

通讯作者: 陈远川(1984-), 男, 重庆铜梁人, 副教授, 博士研究生, 主要从事山区公路地质安全与岩土减灾研究。

E-mail: Geomechanics@qq.com

工业部门的直接和间接经济损失<sup>[5]</sup>。LI Ning 全面分析了国内和国际对当前灾害经济损失的思考,灾害管理部门对经济损失评估的重要性以及在评估自然灾害导致的直接和间接经济损失中存在的问题<sup>[6]</sup>。E. E. Kok 考虑了从洪水发生至经济完全恢复期间的总经济损失动态模型,提出了一个完善的适用于小规模和大规模洪水事件的直接和间接洪水风险模型<sup>[7]</sup>。

目前对于水毁直接经济损失已有较多研究,如刑冀通过对安全投入与直接经济损失的研究,得出两者具有负相关指数关系,采用最小二乘法拟合出安全投入比例与直接经济损失的计算公式<sup>[8]</sup>;万良君认为洪水承灾体是关于致灾因子和孕灾环境的多元函数,将承灾体划分为工商企业、居民家庭财产和各类工程设施几类进行研究,建立微观承灾体经济损失模型,得出经济损失评估方案<sup>[9]</sup>。传统的直接经济损失计算依赖于实际灾情统计,需要消耗较多的人、财、物资源,且时间成本很大,为解决这一突出问题,人工神经网络等现代方法得到广泛运用,可基于历史统计数据资料,推测现状下的经济损失<sup>[10-13]</sup>。目前,对于间接经济损失的计算还没有一种广泛认同的方法,更多的是定性的给定调整系数,通过与直接经济损失进行匹配,得出相应的间接经济损失。如刘希林对泥石流灾害造成的间接经济损失进行评估,提出了调查分析法和比例系数法两种计算方法<sup>[14]</sup>。

除此,考虑时间因素,对经济损失率模型进行修正,根据经济损失评价结果划分水毁灾害等级,基于灾后计算统计的各指标详细计算方式得到了一些有益的探讨<sup>[15-17]</sup>。

公路水毁是一种典型的道路损伤和破坏形式,其破坏力较大,随着经济社会的发展,造成的直接经济损失不可忽略,导致的间接经济损失呈增长的态势,甚至危及沿线居民的生命财产安全和企业的正常运营,已严重违背安全生产、安全交通的方针,不利于经济社会可持续健康良好发展。目前,对各类型结构物水毁成因和机理分析已有较多成果,对灾害直接经济损失也有较多研究,但针对公路水毁经济损失快速评估的研究相对缺乏,尤其是公路水毁间接经济损失的实用性计算方法更是少有报道。基于此,本文将公路及其附属建(构)筑物作为承灾对象,以水毁灾害作为直接诱因,在重庆永川区公路水毁背景下对公路水毁特征进行分析,建立公路水毁经济损失计算模型,作为公路水毁经济损失估算方法,为永川区

交通部门提出水毁灾害预算方案给出参考依据。同时,可供其他地区参考使用。

## 1 研究区公路水毁概况

### 1.1 重庆市永川区公路建设

重庆市永川区属于低山丘陵地貌,是成渝城市群沿线重要节点城市,是渝西川东地区综合枢纽,区位优势明显,交通建设迅猛发展。2018 年重庆市提出“普通公路建设三年提升行动”,永川区将新建高速公路 22 km,开工 58 km,开展前期工作 35 km,拟实施普通干线公路建设 400 km,拟实施“四好农村路”升级 2 100 km。“十三五”全区规划公路通车总里程达到 3 500 km 以上,公路密度达到每百平方公里 220 km 以上。永川区乡村公路按四级公路标准设计,区内乡村公路设计标准断面技术指标如表 1 所示。

### 1.2 永川区公路水毁灾情

永川区降雨量年内分布不均衡,容易出现集中降雨现象,造成大暴雨至特大暴雨,形成山洪、山体崩塌等地质灾害,冲毁路基路面、挡墙结构、防护栏、交通标志标牌,淹没路面,堵塞桥涵隧洞等。公路受灾范围逐步扩大,受灾毁损程度不断加深。永川区近年公路水毁灾害部分统计数据如表 2 所示。

### 1.3 永川区公路水毁经费现状

永川区经济社会发展较快,但交通行业水毁灾害程度也不断加深,用于抢险救灾、管理养护的人力、机械使用成本上升,而专项资金补助较少,面对公路水毁灾害,一般只能进行被动抢险,缺少必要经费用于预控性整治养护。《中央公路水毁抢修保通补助资金管理暂行办法》中,其补助范围主要针对国省干线公路及其附属设施,对于省级以下公路不予补助。

重庆市所辖区县多,绝大多数属于山地地形,易发生危岩崩塌、山洪、泥石流灾害。由于受灾区县多,每年水毁经费分摊到各个区县的救灾补助较少,且县道、乡村公路线多面广,是主要的公路水毁承灾体,往往由于资金匮乏而不能得到及时、快速完全的修复,留下隐患。永川区交通部门用于公路水毁防治与整治的财政资金有限,同时缺乏公路水毁预算经费编制的计算依据,近年水毁防治专项财政拨款相对较少,导致公路水毁应急抢险、防灾减灾体制机制建设相对滞后。

表 1 永川区硬(油)化乡村公路标准断面技术指标

序号	设计断面要素	检查项目	水泥混凝土路面 沥青混凝土路面	
			厚度/cm	
1	面层	平整度	≥18	≥5
2	水稳层	弯沉值、强度、平整度、宽度	≥16	≥20
3	路基层	弯沉值		

表 2 永川区部分典型水毁灾情统计

序号	时间	地点	公路名称	降雨 历时 /d	最大降 雨强度 /mm	水毁规模和灾情特征	措施	公路水毁 灾害类型	抢险修 复工程 经费/ 万元	抢险修 复工程 工期/d
1	2016 年 6 月 5 – 30 日	茶山 竹海 景区 等地	X429 东 山 公 路、 S108 渝隆 路、S206 荣 合 路、 S417 永铜 路、S205 潼泸路等	>16	>100	多条路段发生滑坡塌方，部 分路段因雨量过大路面积水 而临时断道。沿线许多树木、 竹子因大风或水毁滑坡倒伏 在公路上，部分路段山体滑 坡形成的泥土、岩石掩埋公 路，特别是宝吉寺路段因暴 雨冲刷山体，形成泥石流， 占据公路三分之二路面，严 重威胁公路通行安全。	组织 400 余人次，机械设 备 50 余台次，对水毁坍方及积 水路段进行排危疏通，保障 车辆安全通行。	路 堑 边 坡 垮 塌 – 积 水 淹 没 型、 行 道 植 株断道型	20	14
2	2016 年 9 月 25 日	宝峰 镇、 吉安 镇等 地	永 峰 公 路、永吉 公路	>5	>100	永川部分公路交通基础设施 水毁较重，永峰路马颈子路 段路面开裂变形，路面崩裂 沉陷长达 100 m，危及行车 安全。	调集 2 台挖掘机、组织 50 多 名抢险队员全力投入抢险， 并用彩条布覆盖坡面土体， 做好临时排水措施。新建混 凝土排水沟，新建直径 1 m、 22 m 长涵洞一个，运送路基 石料 1100 m <sup>3</sup> 等，并搭建 100 m 左右的人行便道方便当地 群众出行。	路 堑 边 坡 垮 塌 – 积 水 淹 没 型	80	10
3	2017 年 4 月 30 日晚	永 川 区	S206 荣合 路、S311 永 碁 路、 S207 武永 路、X432 盛朱路等	0.25	150	部分路段路面积水严重，边 坡坍塌，大量行道树被大风 吹倒阻断公路，严重危及公 路通行安全。	投入抢险机械设备 30 辆次， 抢险人员 140 人次，抢通省县 道公路受阻路段 40 余处。	路堑边坡 垮塌–积 水 淹 没 型、行道 植 株 断 道型	15	2
4	2017 年 8 月 16 日夜 间至 17 日 凌晨	永 川 城 区、 三 教 镇等	S417 永 铜路	0.25	200	全区平均降雨量超过 100 mm， 三教镇降雨量达到 200 mm， 沿线 10 余处地段发生水毁塌 方和山体滑坡，堵塞涵洞、 水沟，冲毁护栏，全线交通 受到严重影响，邻近铜梁交 界处 k27 + 750 ~ k28 + 150 段 因泥石流冲击，导致交通 中断。	组织 30 余名抢险人员和 12 台 抢险车辆投入抢险。	边坡垮塌 – 积水淹 没型、穿 堤构筑物 淤塞–漫 流型、弯 道设施冲 失型、植 株断道型	30	5
5	2018 年 5 月 20 日凌 晨至 22 日	永 川 区	G246、 S105、 S544	2	120	边坡垮塌、水沟堵塞、行道 树倒伏，	出动运输车辆 10 余台次，人 工 100 余人次，油锯 10 余台 次，清除坍方 100 m <sup>3</sup> ，清理 行道树 200 余株。	边坡垮塌 – 积水淹 没型、穿 堤构筑物 淤塞–漫 流型、植 株断道型	200	3

2 研究区公路水毁特征与受灾类型损失划分

2.1 公路水毁特征分析

公路水毁类型较多，如郑志明分析了重庆地区干线公路(国道、省道)雨季水毁特征，将重庆

地区公路水毁划分为几种典型形态，各形态所占比例为：路面开裂形式约占 30%，路基沉降与塌方约占 25%，路基整体滑移约占 25%，公路附属设施损坏约占 15%，其他形式损失约占 5%<sup>[18]</sup>。针对路基水毁的研究已有较多资料，如陈洪凯按照水毁路基成因，将其分为河流冲刷切割型、推挤错位变动型、重力剪切破坏型和机械撞击破坏型

表3 山区丘陵地带公路线型特征分析

地形	平面线形	纵断面特征	横断面特征
山区	盘山弯曲; 多小半径曲线; 穿越地层复杂多样。	整体上高程增加或降低; 局部地势起伏交替。	多为半挖半填路基, 也有较多路堑地段; 挖方边坡视地质情况设计边坡支挡构筑物; 填方边坡视地形情况设计路肩支挡构筑物。
丘陵	多沿溪谷蜿蜒展布; 多小半径曲线; 穿越地层复杂多样。	整体上起伏变化不大。	多为路堤填筑断面; 视情况设置穿堤建筑物(涵洞); 沿程遇河面较宽的溪河时, 设计桥梁跨越。

4 种类型<sup>[19]</sup>。关于山区路面水毁发育机制的分析也有一些资料, 如周福川以山区沿河公路混凝土路面为分析对象, 基于断裂力学、弹性力学联合求解路面水毁断裂破坏的发育机制, 以数值模拟的方法考察悬空路面板应力分布形式<sup>[20]</sup>。也有针对公路小桥涵水毁的研究, 如赵欢等提出了公路小桥涵水毁综合稳定性的评价方法, 认为涵洞孔径或净空过小, 设计过流能力远小于实际来流, 是形成压力式过流或翻越路基坡面过流的原因<sup>[21]</sup>。

山区丘陵地带的公路不同于平原、滨海地区公路, 从水毁灾害的角度分析, 其孕灾环境属于山区丘陵地形。为适应地形地貌特征, 公路常常表现出一些独特的线型特点, 如表3所示。

山区丘陵地带公路水毁具有一定的组合规律, 有如下特征: ①路堑地区的水毁类型表现为边坡滑塌, 路面积水深厚; ②路堤水毁类型表现为穿堤涵洞淤塞, 影响行洪断面或者阻断水流; ③沿程弯道外侧路肩以下若为陡坎、悬崖、水田、鱼塘等危险区域, 多设置安全防护栏, 防止车辆通行速度过快, 由于惯性作用而驶离路面; ④公路两侧分布茂密树木, 受雷雨风暴作用, 常倒伏于路面, 成为交通障碍物。

## 2.2 公路水毁受灾类型划分及经济损失分类

根据区域公路水毁特征分析, 可概化出路堑边坡垮塌-积水淹没型、路堤穿堤构筑物淤塞-漫流型、弯道附属设施冲失型、行道植株断道型等四种主要受灾类型, 且不同类型导致的经济损失差异较大。四种主要类型导致的公路及其附属设施的结构性受损或破坏, 是公路直接经济损失的主体部分。

公路基础设施具有盈利性或公益性, 甚至兼而有之。虽然公路水毁的承灾体为公路及其附属设施, 但公路毁损同时伴随着其他间接损失, 比如造成通行车辆营运成本增加、旅客时间浪费等。这些损失均属于公路水毁造成的间接经济损失。基于公路水毁组合形态调研, 给出合理的经济损失评估模型和计算方法, 对于准确合理计算经济损失具有参考价值。

### 2.2.1 公路水毁直接经济损失划分与计算方法

#### (1) 路堑边坡垮塌-积水淹没型

路堑边坡垮塌是路堑地段常见的水毁形式, 主要受降雨历时、降雨强度、汇流条件等因素影响, 导致开挖后的边坡在渗透压力、静水压力、

岩土体浸水软化效应和主控结构面强度等作用下, 出现塌方、滑坡等灾害。此种水毁形式表现为支挡结构破坏和路面冲击破坏(图1), 其经济损失计算公式如式(1)所示。



图1 永峰路马颈子路段(路堑边坡垮塌-积水淹没型)

$$W_1 = W_{11} + W_{12} = l_{11} \times P_{11} + l_{12} \times P_{12} \quad (1)$$

式中:  $W_1$  为支挡结构和路面的经济损失(元);  $W_{11}$  为支挡结构的经济损失(元);  $W_{12}$  为水毁路面的经济损失(元);  $l_{11}$  为支挡结构的长度(m);  $P_{11}$  为支挡结构延米造价(元/m);  $l_{12}$  为水毁路面的长度(m);  $P_{12}$  为水毁路面延米造价(元/m)。

#### (2) 路堤穿堤构筑物淤塞-漫流型

路堤穿堤构筑物淤塞是指路堤一侧遭遇洪水灾害, 通过洪水搬运大块石、泥沙等物质堵塞横穿路堤的涵洞、管道等构筑物, 造成行洪断面淤塞的现象。漫流是指穿堤构筑物被淤塞, 造成行洪断面缩小形成雍水, 进而漫过路堤流向下流, 路堤类似溢流坝段, 在动水压力作用下容易发生冲断水毁灾害。该类型如图2所示。



图2 S206 荣合路等公路水毁(路堤穿堤构筑物淤塞-漫流型)

此种水毁形式表现为路堤毁损和涵(洞)管淤堵, 后期需要安排清淤修复, 此项费用按照淤塞程度、修复所需时间、人工或者机械清除条件等因素确定费用。其经济损失计算公式如式(2)所示。

$$W_2 = W_{21} + W_{22} = l_{21} \times P_{21} + P_{22} \times n \times d \times V_{22} \quad (2)$$

式中:  $W_2$  为路堤毁损和涵(洞)管淤堵的经济损失(元);  $W_{21}$  为路堤毁损的经济损失(元);  $W_{22}$  为穿堤构筑物清淤排堵的经济损失(元);  $l_{21}$  为水毁路堤的长度,根据地区水毁情况调查,涵洞可取其宽度,管道可取 3~5 倍管径范围(m);  $P_{21}$  为水毁路堤延米造价(元/m);  $P_{22}$  为安排劳务清淤的人工单价,按照当地市场价格一般为 60~100 元/(人·天· $m^3$ );  $n$  为安排人工数量(人);  $d$  为清淤历时(天);  $V_{22}$  为清淤方量( $m^3$ )。

### (3) 弯道附属设施冲失型

弯道外侧一般设置防护栏,保护行车驾驶安全。若公路建造于河道凹岸侧,在弯道环流冲刷作用下,路基极易发生滑坡水毁灾害,使得防护栏、凸面转弯镜、标识标牌等附属设施冲失毁损,造成经济损失(图 3)。



图 3 三教镇公路水毁抢险修复(弯道附属设施冲失型)

该项经济损失根据冲失防护栏长度、凸镜和标识标牌个数予以确认,如式(3)所示。

$$W_3 = W_{31} + W_{32} + W_{33} = P_{31} \times l_{31} + P_{32} \times n_{32} + P_{33} \times n_{33} \quad (3)$$

式中:  $W_3$  为弯道附属设施的经济损失(元);  $W_{31}$  为防护栏的经济损失(元);  $W_{32}$  为凸镜的经济损失(元);  $W_{33}$  为标识标牌的经济损失(元);  $P_{31}$  为防护栏的单价(元/m);  $l_{31}$  为防护栏长度(m);  $P_{32}$  为弯道凸镜的单价(元/个);  $n_{32}$  为弯道凸镜数量(个);  $P_{33}$  为标识标牌的单价(元/个);  $n_{33}$  为标识标牌数量(个)。

### (4) 行道植株断道型

公路两旁的行道树难以抵御狂风暴雨拖曳作用,或连根拔起、或拦腰截断,倒伏于公路上,阻断交通,滞留车辆(图 4)。



图 4 茶山竹海景区人力清障(行道植株断道型)

一般由公路交通养护科安排清障车和人力资源予以清除、恢复,此项经济损失可根据清障数

量计算,如式(4)所示。

$$W_4 = W_{41} + W_{42} + W_{43} = P_{41} \times t_{41} \times n_{41} + P_{42} \times N_{42} \times n_{42} + P_{43} \times n_{43} \quad (4)$$

式中:  $W_4$  为行道植株断道的经济损失(元);  $W_{41}$  为清障车运作的经济损失(元);  $W_{42}$  为劳务人员清障的经济损失(元);  $W_{43}$  为行道植株毁损的经济损失(元);  $P_{41}$  为清障车的单价(元/(台班·辆));  $t_{41}$  为清障车工作台班数(台班);  $n_{41}$  为清障车辆数(辆);  $P_{42}$  为劳务人员的单价(元/(人·天));  $N_{42}$  为安排劳务人数(人);  $n_{42}$  为劳务人员工作天数(天);  $P_{43}$  为行道树的单价(元/株);  $n_{43}$  为毁损树木数量(株)。

### 2.2.2 公路水毁间接经济损失分析

路堑属于低洼地形,在大暴雨至特大暴雨期间,两侧山体地表径流向路堑快速汇流,排水沟设计断面偏小或者受落石等杂物阻塞排水通道,同时路面硬(油)化后,形成相对不透水层,使得路堑排水量小于汇水量,进而在一定范围出现深厚集水区域,该水毁形式一般短时间阻断交通,对公路及附属构筑物造成损失较小,仅在一段时间内阻碍交通正常运行,形成一定程度的间接经济损失。路堤毁损后,造成公路功能性障碍,不能正常运行,造成间接经济损失。植株断道,阻断交通,滞留车辆,在一定时间内造成间接经济损失。以上公路水毁形式将不同程度影响公路的运营,阻碍人、车通行,间接经济损失在本质上受控于公路断道时间。通过时间价值分析,可将时间价值货币化,进一步划分为两种时间价值损失  $C$ , 包括增加的营运成本  $C_1$  和旅客时间耗费损失  $C_2$ , 如式(5)所示。

$$C = C_1 + C_2 = (T \times t) \times (v \times t) \times c + (T \times t) \times E \times t \times W = T \times t^2 \times (v \times c + E \times W) \quad (5)$$

式中:  $C$  为两种时间价值损失(元);  $C_1$  为增加的营运成本(元);  $C_2$  为旅客时间耗费损失(元);  $T$  为路段交通量(辆/h);  $t$  为公路水毁断道时间(h);  $v$  为平均车速(km/h);  $c$  为车辆营运成本(元/辆·km);  $E$  为客车平均载运系数(人/辆);  $W$  为旅客单位时间价值(元/人·h)。

## 3 公路水毁经济损失估算方法的案例分析

2015 年 8 月 16 日夜后至 8 月 17 日凌晨,永川区平均降雨量超过 100 mm,三教镇降雨量达到 200 mm, S417 永铜路沿线 10 余处地段发生水毁塌方和山体滑坡,堵塞涵洞、水沟,冲毁护栏,全线交通受到严重影响,邻近铜梁交界处 k27+750~k28+150 段因泥石流冲击,导致交通中断。灾后组织人员应急抢险,组织 30 余名抢险人员和 12 台抢险车辆投入抢险,历时 5 d 完成公路水毁应急

表 4 公路水毁经济损失估算

总经济损失/万元																		
直接经济损失/万元														间接经济损失/万元				总计
W <sub>1</sub>				W <sub>2</sub>			W <sub>3</sub>			W <sub>4</sub>				合计	C		合计	
W <sub>11</sub>	W <sub>12</sub>	小计	W <sub>21</sub>	W <sub>22</sub>	小计	W <sub>31</sub>	W <sub>32</sub>	W <sub>33</sub>	小计	W <sub>41</sub>	W <sub>42</sub>	W <sub>43</sub>	小计		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>		
3.50	14.96	18.45	2.40	7.20	9.60	1.30	0.05	0.03	1.38	0.48	0.30	0.54	1.32	30.75	96.00	240.00	336.00	366.75

抢险任务。此次受灾类型包含路堑边坡垮塌 - 积水淹没型、路堤穿堤构筑物淤塞 - 漫流型、弯道附属设施冲失型和行道植株断道型, 具备公路水毁灾害的几种典型形态。永铜路经过渝西丘陵地貌区, 地形平缓, 路面、路基按照表 1 中沥青混凝土路面的技术指标控制, 支挡结构多为浆砌条石挡墙, 墙高一般 1~6 m, 平均高 3 m, 受灾路段累计总长约 3 km。按照本文计算模型估算公路水毁经济损失, 结果见表 4。

通过表 4 数据分析可知: ①构成直接经济损失的公路水毁类型包括路堑边坡垮塌 - 积水淹没型、路堤穿堤构筑物淤塞 - 漫流型、弯道附属设施冲失型和行道植株断道型, 各类型占直接经济损失的比例分别为 60%、31%、4% 和 4%, 前两种类型造成结构毁损, 占直接经济损失的 90% 以上; ②按照计算模型得出的直接经济损失约为 30.75 万元, 表 2 中相应研究区路段灾后直接经济损失统计值为 30 万, 两数据相差较小, 表明该计算模型具有一定的合理性; ③公路水毁经济损失数据要求在短期内统计汇总, 并经政府及交通管理部门向社会公开发布, 按照本文介绍的估算方法, 可在 Google 地图、遥感分析和 GIS 软件中查看受灾路段<sup>[22-23]</sup>, 快速统计本文列示的路堑边坡垮塌 - 积水淹没型和路堤穿堤构筑物淤塞 - 漫流型指标, 求出直接经济损失, 然后乘以 1.1~1.2 的放大系数, 即可得出 4 种水毁类型造成的直接经济损失, 以满足信息发布的时效性; ④在总经济损失中, 直接经济损失占 8%, 间接经济损失占 92%, 公路水毁造成的间接经济损失非常可观, 约为直接经济损失的 11.5 倍, 对国民经济造成的隐性损失不容忽视。

## 4 结论

受降雨时程分布、地域分配不均的影响, 公路水毁具有分散性和随机性; 受降雨强度影响, 公路水毁致灾程度具有差异性, 对交通部门产生的经济损失也不同。丘陵地貌区域的公路多沿溪分布, 同时受到降雨和河水冲刷影响, 因而公路水毁造成的受灾类型具有一定相似规律, 本文遴选位于川东渝西的永川区作为公路水毁损失估算研究区, 得出如下结论:

(1) 研究区具有丘陵地貌区域公路的代表性, 概化得出的路堑边坡垮塌 - 积水淹没型、路堤穿堤构筑物淤塞 - 漫流型、弯道附属设施冲失型和行道植株断道型等四种受灾类型, 在丘陵地区有

典型性。

(2) 基于四类水毁类型导致的公路结构性损伤和破坏规律构建了水毁直接经济损失计算方法; 基于水毁的人、车时间价值分析, 建立了水毁间接经济损失计算方法。

(3) 提出了以路堑边坡垮塌 - 积水淹没型和路堤穿堤构筑物淤塞 - 漫流型水毁类型为主, 通过放大系数修正的水毁直接经济损失快速估算方法, 利于灾时快速预算抢险经费和配置资源。

(4) 推荐了基于快速估算和地图遥感分析相结合的水毁灾情信息快速发布方法, 可保证时效性。

(5) 研究表明, 公路水毁的隐性间接经济损失往往大于直接经济损失, 应高度重视相关研究。

为减少公路水毁对交通部门在无预算情况下的财务压力, 可进一步研究基于风险分析的经济措施予以解决, 比如采用主动经济投入预控措施。在“政事分开、事企分开、管办分离”的事业单位改革大背景下, 联合保险公司、公路养护公司研究公路水毁保险机制与养护维修方案, 建立公路水毁重大灾情应急抢险工作机制, 响应国家应急管理部工作部署, 利于国家通过合理的人、财、物投入, 获取最大的公路水毁抢险救灾、防灾减灾效益, 形成双赢、多赢新局面。

## 参考文献:

- [1] GILLESPIE N, UNTHANK A, CAMPBELL L, et al. Flood Effects on Road - stream Crossing Infrastructure: Economic and Ecological Benefits of Stream Simulation Designs[J]. Fisheries, 2014, 39(2): 62 - 76.
- [2] 刘春腊, 马丽, 刘卫东. 洪水灾害社会经济损失评估方法研究述评[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 136 - 141.
- [3] 魏本勇, 苏桂武. 基于投入产出分析的汶川地震灾害间接经济损失评估[J]. 地震地质, 2016, 38(4): 1082 - 1094.
- [4] 李宁, 张正涛, 陈曦, 冯介玲. 论自然灾害经济损失评估研究的重要性[J]. 地理科学进展, 2017, 36(2): 256 - 263.
- [5] WANG Guizhi, CHEN Rongrong, CHEN Jibo. Direct and indirect economic loss assessment of typhoon disasters based on EC and IO joint model. Natural Hazards, 2017, 87(3): 1751 - 1764.
- [6] LI Ning, ZHANG Zhengtao, CHEN Xi, etc. Importance of economic loss evaluation in natural hazard and disaster research[J]. 2017, 36(2): 256 - 263.
- [7] E E Koks, M Bočkarjova, H. de Moel. Integrated Direct and Indirect Flood Risk Modeling: Development and Sensitivity Analysis [J]. Risk Analysis, 2015, 35(5): 882 - 900.
- [8] 刑冀, 谢贤平. 安全投入与事故直接经济损失的问题研究 [J]. 工业安全与环保, 2007, 33(8): 54 - 56.
- [9] 万良君, 曾再平, 王改利. 城市洪涝灾害的损失评估研究与防灾减灾对策[J]. 气象水文海洋仪器, 2003(4): 34 - 43.
- [10] 武靖源, 韩文秀, 徐杨. 洪灾经济损失评估模型研究——(I)直接经济损失评估[J]. 系统工程理论与实践, 1998

- (11): 53–56.
- [11] 王宝华, 付强, 谢永刚, 等. 国内外洪水灾害经济损失评估方法综述[J]. 灾害学, 2007, 22(3): 95–99.
- [12] 黄涛珍, 王晓东. BP 神经网络在洪涝灾害快速评估中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2003, 31(4): 457–460.
- [13] 史安娜. BP 神经网络在社会经济非线性时间序列预测中的应用[J]. 水利经济, 2000(6): 19–21.
- [14] 刘希林, 赵源. 地貌灾害间接经济损失评估——以泥石流灾害为例[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 7–12.
- [15] 冯平, 崔广涛, 钟响. 城市洪涝灾害直接经济损失的评估与预测[J]. 水利学报, 2001(8): 64–68.
- [16] 赵源, 刘希林. 泥石流灾害损失评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(3): 42–47, 53.
- [17] 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.
- [18] 郑志明, 刘东燕, 侯龙. 重庆地区干线公路水毁机理及防治对策研究[J]. 工业建筑, 2012, 42(S1): 590–593, 653.
- [19] 陈洪凯, 唐红梅, 白子培. 山区公路水毁路基发育机制研究——以四川境内公路水毁路基为例[J]. 重庆交通学院学报, 1994, 13(4): 34–40.
- [20] 陈洪凯, 周福川, 唐红梅. 沿河公路平行悬空混凝土路面断裂力学模型[J]. 中国公路学报, 2016, 29(3): 25–34.
- [21] 赵欢, 尹超, 张启龙. 公路小桥涵水毁综合稳定性评价方法[J]. 公路, 2015(9): 4–9.
- [22] 赵琛, 唐凝, 曹鸿. 基于遥感与 GIS 技术的公路损毁监测评估系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(4): 45–48.
- [23] YOUSSEF M A, 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]. Environmental Earth Sciences, 2011, 62(3): 611–623.

## Research on Economic Loss of Road Flood Damage ——Put Road Flood Damage in Yong Chuan District of Chong Qing Municipality as An Example

ZHOU Fuchuan<sup>1</sup>, LI Jiakun<sup>2</sup>, JIANG Jinrong<sup>3</sup> and CHEN Yuanchuan<sup>2,4</sup>

(1. Chongqing Yuxi Surveying and Design Institute of Water Conservancy Electric Power and Architecture, Chongqing 402160, China; 2. College of Civil Engineering and Architecture in Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160, China; 3. Road Management Office of Chongqing Yongchuan District Traffic Committee, Chongqing 402160, China; 4. Sichuan Province University Key Laboratory of Bridge Non-destruction Detecting and Engineering Computing, Zigong 643000, China)

**Abstract:** Affected by factors such as the uneven space-time distribution of rainfall and extreme precipitation frequency, it is disperse, random and various in the degree of damage for the road flood damage, while it has significant changes to economic loss for the transport agency. Four main disaster types which consist of direct economic loss have been put forward according to the characteristics of road flood damage in the research region, including the cutting slope collapse induced inundation type, the clogging of embankment culvert induced sheetflood type, the washout of highway curves ancillary facility type and fallen roadside tree induced traffic block type. Consider the value of time effect, the indirect economic loss model is simplified as increased operating cost losses and the waste of passenger time. The economic loss model of roadway flood damage is established by combining the direct economic loss and indirect economic loss together. Put S417 Yongtong road in Yongchuan district Chongqing municipality as an example, the economic loss is obtained according to the estimation model and the result indicate: (1) The cutting slope collapse induced inundation type and the clogging of embankment culvert induced sheetflood type are the main part of direct economic loss in the research region, and the total direct economic loss can be estimated by the sum of the two. (2) the indirect economic loss belongs to recessive loss, but the quantity of which is much larger than the direct economic loss and can not be ignored in the whole national economy. (3) The new estimation method is useful to make a rapid estimation to the economic loss in order to ensure the timeliness of disaster information issues. (4) It is suggested that the proactive economic input control measures based on risk analyses should be further studied, by discussing the insurance mechanism of road water damage and maintenance scheme between insurance company and highway maintenance company, setting up a work mechanism of major disaster emergency rescue for road flood damage in order to answer Ministry of Emergency Management of the People's Republic of China so as to form a new win-win, and multi-win situation. The research achievement can provide a reference to the economic loss estimation as well as to draw up a budget for road maintenance and emergency rescue engineering.

**Key words:** highway engineering; direct economic loss; indirect economic loss; road flood damage; disaster type