

Proceeding of the PIARC International Seminar on Risk and Emergency Management for Roads



公路应急和风险管理 国际研讨会论文集

交通运输部公路局 编
交通运输部公路科学研究院

53



人民交通出版社
China Communications Press

公路应急和风险管理国际研讨会论文集

Proceeding of the PIARC International Seminar on
Risk and Emergency Management for Roads

交 通 运 输 部 公 路 局 编
交通运输部公路科学研究院

人 民 交 通 出 版 社

1446866

内 容 提 要

本书为中华人民共和国交通运输部、交通运输部公路科学研究院主编的公路应急和风险管理国际研讨会论文集。全书共分四个部分:公路风险和应急管理理论和技术;与自然灾害、人为灾难及气候变化有关的公路风险管理实践;应急预案与紧急救援和风险防范与紧急处置的实践;社会公众对公路相关风险的认知和接受。

全书收录了近百篇论文,从不同角度对公路应急和风险管理进行了广泛和深入地研讨,是一本内容全面、新颖、具有较高学术水平的专业论文集。本书可供交通行业的科研人员、管理人员、工程技术人员等学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路应急和风险管理国际研讨会论文集/交通运输部公路局,交通运输部公路科学研究院编. —北京:人民交通出版社,2010. 11

ISBN 978-7-114-08740-0

I. ①公… II. ①交…②交… III. ①公路运输—交通运输管理:安全管理—国际学术会议—文集②公路运输—交通运输管理:风险管理—国际学术会议—文集 IV. ①U491-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 207724 号

书 名:公路应急和风险管理国际研讨会论文集

著 作 者:交通运输部公路局 交通运输部公路科学研究院

责任编辑:沈鸿雁 周 宇

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010) 59757969, 59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:31.75

字 数:981 千

版 次:2010 年 11 月 第 1 版

印 次:2010 年 11 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08740-0

定 价:90.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《公路应急和风险管理国际研讨会论文集》

编委会

主任委员:戴东昌

副主任委员:周海涛 刘功臣 Michio OKAHARA

成平 张德华 周伟 郭大进

李春风 吴春耕 牛开民

委员:燕科 张高强 王佳强 杨江笪

李长城 郭艳 白如月 冯晗

赵娜乐 胡晗 张帆 汤筠筠

李伟 邬洪波

序

伴随着我国经济的持续高速健康发展,公路交通事业实现了可持续发展。截至2009年年底,我国公路通车总里程逾380万公里,其中高速公路突破6.5万公里,以高速公路为骨架、国省干线公路为主体、县乡村公路为基础的公路交通网络加快形成,为经济社会又好又快发展和人民群众安全便捷出行提供了重要的支撑。然而,中国是个灾害多发的国家,灾害种类多,波及面广,影响严重,各种自然、地质灾害,以及人为事故严重影响了公路网的可靠运行和服务质量,直接威胁人民群众生命安全与公路基础设施安全。

近年来,中国公路交通应急管理先后经历了多次严峻考验,包括2008年南方冰冻雨雪灾害、汶川及玉树大地震、舟曲泥石流和今年汛期南方水灾。在政府的高度重视和科学领导下,我们攻坚克难,成功渡过了难关。公路交通在历次抢险救灾和恢复重建过程中发挥了重大作用。这些特大灾害事件考验了我国的公路应急管理体系与能力,同时也使我们积累了经验,促进了我国公路应急管理工作支撑条件与保障体系的建设。近些年,我国公路应急管理工作取得了可喜的成绩,以《公路交通突发事件应急预案》为总体预案的应急预案体系基本形成;多层级、跨部门的应急会商与协调联动机制基本建立,形成较为完整的快速反应体系;部省两级路网管理与应急处置平台体系建设取得积极进展,为应急保障提供有力的技术支撑;广大交通管理和科研工作者也在公路应急与风险管理方面进行了积极的探索和实践,取得了丰硕的管理与技术成果。

公路应急和风险管理是一项长期工作,任重而道远。要在加强公路应急管理和风险管理问题上取得突破,就要以世界眼光、战略思维来深化认识,就要通过先进的技术手段破解制约公路交通应急工作的突出问题。公路应急和风险管理也是一个全球性的话题,分享经验、交流成果是提高公路应急管理水平的的重要途径,也是各国政府和交通从业者的广泛共识。

此次中华人民共和国交通运输部与PIARC联合主办“公路应急和风险管理国际研讨会”,旨在搭建一个学习、交流的平台,促进公路应急和风险管理方面好经验、好方法的共享。研讨会内容十分丰富,涉及风险管理理论与技术,风险和应急管理政策与体系,风险管理和应急处置的实践经验,应急预案和紧急救援,社会公众对风险的认知等方面。这本论文集收录了我国公路交通行业的专家学者和从业人员的近百篇会议论文,集中反映了大家多年的研究成果和实践经验,理论和实用价值较高,对于总结和提升我国公路交通风险管理的经验和水平具有重要的现实意义。

中华人民共和国交通运输部总规划师



2010年11月2日

前 言

为了进一步提高我国交通行业风险管理意识,交流和借鉴国内外公路应急和风险管理的经验,加强与世界各国在风险管理领域的科技交流与合作,中华人民共和国交通运输部与世界道路协会(PIARC)于2010年11月11~13日在北京联合召开“公路应急和风险管理国际研讨会”。此次会议诚邀有关国际组织、政府机构、企业界和学术界等相关人员参会,为我国公路应急和风险管理创造了一个良好的交流、合作和发展的机会。作为此次会议的承办单位,交通运输部公路科学研究院积极准备、精心组织,确保了会议圆满成功。

为适应并满足我国交通行业对风险管理意识的逐步提高和各地日益增长的广泛需求,本次研讨会融合了PIARC TCC3技术委员会在公路交通领域对风险管理的相关研究,内容涉及风险管理理论与技术,风险和应急管理政策和体系的建立,如何对由于自然原因、人为因素或气候变化引起的灾害、事故或事件等进行风险管理和应急处置的实践和经验,应急预案和紧急救援以及社会公众对风险的认知等方面。本次会议提供了各国先进的经验和丰富案例供学习和交流,对全面提升我国公路交通的风险管理能力具有一定的现实意义。为开好大会,交通运输部在全国范围内展开了与会议议题相关的论文征集与出版工作。

围绕会议的四个议题,本论文集也相应分为以下四个部分:

- (1)公路风险和应急管理理论与技术;
- (2)与自然灾害、人为灾难及气候变化有关的公路风险管理实践;
- (3)应急预案与紧急救援和风险防范与紧急处置的实践;
- (4)社会公众对公路相关风险的认知和接受。

论文征集工作得到了行业相关人员的广泛关注与大力支持,有关政府部门、大专院校、科研机构、企业及相关单位的专家学者和从业人员积极投稿,共征集到来自各方面的论文近百篇。

本论文集的出版将有助于此次国际会议的深入研讨,在认识层面上,全面提升我国各级交通主管部门对应急管理的理念、体系建立等的总体水平;在技术层面上,各国专家就在应急管理的实践中积累的先进经验和技术进行交流,并对未来的发展趋势进行探讨。通过研讨和交流,加强各国尤其是发展中国家在面对各种自然灾害、气候变化、人为灾难以及威胁安全的风险时运用风险管理先进技术及处理手段的能力,提高应急管理的水平;从政策上、决策上、机制上分析,从方法上、内容上、手段上研究,吸收先进经验,推广最佳实践,最大限度地调动社会力量,减少灾害风险对公路运输产生的负面影响,从而实现以人为本、公路建设运营的可持续发展。

中国作为发展中国家,虽然在这方面起步较晚,但是经过不断的摸索研究与实践,尤其是在2008年冰冻灾害、汶川地震、北京奥运会等重大实践活动中,积累了一定的经验。这次研讨会的召开,一方面有利于我们进一步了解国外应急管理、风险管理的经验和实践;另一方面也给我们自身创造了一个走向世界的机会,可以藉此展示我们相关领域的研究成果。

论文集在筹备出版的过程中,得到了各级领导的大力支持,在此表示衷心感谢。同时,对所有应征投稿的各界朋友们表示由衷的谢意。书中内容参阅了大量的国内外参考文献,引述文献已尽量予以标注,但难免存在疏漏,在此对各文献作者表示感谢!因编写时间仓促,书中疏漏、不足之处在所难免,恳请专家、同仁和广大读者批评指正。

本书编委会

2010年9月于北京

目 录

公路风险和应急管理理论和技术

基于粗糙集的三峡库岸公路路基安全风险因素权重研究	牛衍亮	黄如宝	(3)					
路面湿滑指数开发及其在交通运行管理中的应用	李长城	刘小明	荣 建(8)					
基于离散元模拟的避险车道制动床长度确定方法研究								
	张高强	程晓辉	孙传夏	刘海涛	张建军	(15)		
减低交通荷载引起地面振动的三维数值分析				廖雪娇	王建国	(22)		
突发交通事件后高速公路有效通行能力估算				杜 璇	陆 建	(29)		
区域高速公路网络交通事件传感器布设方法研究	陈雨人	郑仕文	童世鑫	张 翔		(35)		
隧道施工岩爆安全评价量化指标体系研究				刘学增	苏云帆	(41)		
公路桥隧工程风险评估	张喜刚	徐国平	刘 高	赵君黎	张 杰	冯 芑(49)		
公路隧道穿越断层塌方预测多级模糊综合评判				刘学增	米东阳	(55)		
基于案例推理的区域公路网应急预案快速生成方法			赵 勇	陆 建	马永峰	(60)		
山区双车道公路运行速度特征研究					邬洪波	(67)		
公路交通安全评价及研究平台研究			廖军洪	张高强	邬洪波	(74)		
公路桥梁设计阶段风险评估实施指南解读								
	赵君黎	冯 芑	张 杰	翟慧娜	刘晓娣	李 雪	李会驰	李文杰(80)
公路桥梁风险事件与设计规范改进建议								
	赵君黎	冯 芑	翟慧娜	张 杰	刘晓娣	李 雪		(88)
公路浅层隐蔽缺陷分类与检测技术研究				常成利	刘恒柏	毛利建		(98)
风暴潮极值预测的计算研究						宋炳强		(105)
高速公路 ETC 系统运营风险管理研究						何培舟		(110)
公路工程风险管理控制				杜亚娜	李 军			(114)
高速公路应急指挥预案快速生成技术研究				周成彦	陆 建			(117)
基于 AHP 的高速公路养护安全管理经济效益测评研究	谭金龙	彭清波	龙燕琳	张彩江				(123)

基于灰色系统理论的高速公路养护安全管理综合能力研究·····	李建春 谭金龙 张彩江 区春材(131)
我国高速公路养护施工安全管理的现状和存在问题分析 ——以广东省为例·····	袁煜云 吴新建 张彩江(137)
公路沥青路面病害处理方法及质量控制·····	王耀伟 曹光辉(143)
浅谈沥青类路面的养护与维修·····	万安平(147)
高速公路灾害预警系统研究·····	王 炜 陈恭洋 靳国新 白 凯(150)
浅析施工项目重大危险源辨识与防治对策·····	吴风文(155)
浅谈公路收费站风险管理·····	郭江峰(158)
我国公路应急和风险管理·····	刘一新 牛 广(162)
浅谈公路工程项目风险管理·····	虞 婧(167)
浅析全面风险管理在高速公路运营管理中的应用·····	虞 婧(172)
公路运营风险识别·····	马延锁 何宪登(176)
桥梁监控与风险管理·····	杨东升(180)

与自然灾害、人为灾难及气候变化 有关的公路风险管理实践

大跨连续刚构桥施工期间地震风险分析·····	乔美丽 杜进生(185)
公路交通应对地震灾害应急管理与处置对策建议·····	廖文洲(192)
云南山区桥梁、隧道地震灾害风险分析及管理探讨·····	李志中 刘庆华 陈 跃(196)
基于模糊评价方法的隧道岩溶突水地质灾害综合预警方法·····	匡 星 白明洲 王成亮(203)
高速公路隧道灾害事件检测新方法及应用研究·····	孙庆翔 秦 刚 丁国锋(208)
长大公路隧道火灾安全疏散研究·····	王华牢 刘学增 马小君(214)
惠河高速公路节假日大交通流量需求分析及控制对策·····	刘兴旺 罗胜坚 李超亮(219)
节假日高速公路交通出行特征及管理措施分析·····	李 琳 罗胜坚 朱海鹰 王 琰(225)
节假日高速公路突发事件特性分析·····	钟连德 曾洪岸 李文贵 李爱民(231)
高速公路节假日大交通流量分流方案对比分析·····	王 琰 许泽亮 李超亮 刘小峰(237)
我国公路桥梁工程施工重大危险源管理清单·····	姜 峰 何 勇(243)
基于灰色聚类 and 层次分析法的汛期公路交通气象灾害后评估方法·····	汤筠筠 李长城(248)
高速公路在自然灾害下的风险防范与救援·····	李东涛 王书平 尉泽辉(256)
基于公路冰雪灾害防抗的环境友好型融雪材料应急储备技术研究·····	陈宗伟 赫恩龙 刘 涛(262)
恶劣天气对高速公路安全运营的影响及应急处置对策·····	车春江(269)
恶劣天气条件下高速公路交通事故预防与应对措施·····	王文德(274)
恶劣气象条件下对高速公路运营安全的影响与防治对策研究·····	姚光南 徐晓霞 谈 勇(278)
公路网气象灾害信息管理系统·····	吴 兵 杨金顺 李林波(281)
浅谈山岭重丘区高速公路冬季冰冻灾害防治对策·····	袁兆雄 王焕斌(286)
山区公路防抗雨雪冰冻天气灾害的对策探讨·····	张成富 商 磊(290)
干线公路恶劣天气情况下的风险防范·····	张继刚 杨振玲(293)
自然灾害下公路交通风险防范与救援·····	张世明(298)

公路应急与自然灾害浅议·····	耿振云	尤荣军(302)
我国公路工程建设安全生产管理现状与控制措施·····	周 伟	赵 峰(305)
城市道路铲冰除雪的实践与思考		
——以北京市 2010 年元旦期间降雪应对工作为例 ·····	李海义	季学伟(309)
江西高速公路应对雨雪冰冻恶劣天气防治对策研究		
·····	胡 琳 熊华武 徐晓霞 刘 晔	陈大久(313)
路桥工程施工项目风险分析方法与控制措施·····		江志超(316)

应急预案与紧急救援和风险防范 与紧急处置的实践

山区农村公路低成本安全保障技术研究·····	张高强 张建军 康云霞	李春水(323)
高速公路紧急事件管理系统实施效果评价·····	支晓伶	李绪龙(330)
高速公路突发交通事件疏导措施决策·····	李文华 陆 建	胡晓健(341)
北京市公路交通应急处置系统的建设·····	孙荣山 徐华峰	张 伟(346)
区域性公路隧道应急管理平台研究与设计 ·····	刘 震 郭 彦 刘彦飞	黄 丹(353)
农村公路安全保障工程需求分析·····	张建军 张高强 康云霞	李春水(358)
关于我国公路交通应急能力建设的思考·····		张 勇(365)
我国道路交通安全面临的机遇与挑战·····	张建军 张高强	吕进中(370)
我国宏观交通安全影响因素分析·····	张铁军 王 洋	米晓艺(378)
公路交通事故紧急救援·····		孔令明(384)
道路交通事故紧急救援体系研究·····		李洪福(388)
论高速公路交通事故的紧急救援·····	王 勇	张宪木(394)
交通事故紧急救援·····		余治虎(402)
遥感技术在公路灾害应急管理中的应用		
·····	刘亚岚 张 勇 任玉环 李 丽 刘向龙 郭 力	王国锋(406)
基于高速公路应急信息发布系统 AMS 解决方案 ·····	张丙干	余群星(410)
公路应急处置与紧急救援支持系统的设计与应用·····		江玉龙(414)
浅谈应急资源优化管理·····	许 蓓 李 冰 焦麒麟	沈 志(421)
云南六曼公路建设保通及应急管理措施探析·····		杨华勇(424)
昆明市交通应急平台建设与应用·····		刘代昆(428)
基于青海省救灾应急物流体系即时响应能力的研究·····		张 璐(435)
西藏道路交通应急处置体系及模演实例·····	林子廉	田金昌(439)
浅谈高速公路服务区危化品车辆安全管理·····		宋瑞全(444)
浅谈危险品运输管理与事故应急系统·····		周 宏(449)
特大型桥梁危化品运输风险分析及预防措施研究		
——以崇启大桥为例·····	赵慕华 胡晓健 陆 建	(454)
杭州市公路网抗击自然灾害应急机制研究·····		陆永林(459)
浅谈如何健全高速公路突发事件快速反应机制·····	王文敏	连 欢(465)

试论如何健全公路行业安全管理长效机制·····	连 欢 刘丽梅(469)
论保险机制在高速公路运营管理中的作用·····	韦增鸿(473)
浅谈高速公路施工作业的安全管理·····	钟洪涛(479)
筑路机械使用中的应急管理·····	安伟刚(484)

社会公众对公路相关风险的 认知和接受

提高儿童道路交通安全认知技能的方法与对策·····	朱立荣(489)
浅谈我国公众对风险的认知·····	虞 婧(493)

公路风险和应急管理理论和技术

基于粗糙集的三峡库岸公路路基安全风险因素权重研究^①

牛衍亮 黄如宝

(同济大学经济与管理学院 上海 200092)

摘要:从风险分析角度,论文展开了对库岸公路路基各安全风险因素权重的研究,构建了基于粗糙集理论的库岸路基安全风险因素定权模型;且以渝巴路云阳白水滩至南溪段库岸公路为背景,根据该段公路的实际工程情况,对库岸路基安全风险因素进行分析研究,得出适合该路段的各安全风险因素权重。

关键词:库岸路基安全风险 粗糙集模型 安全风险因素 定权

Study on the Weighting of Risk Factors of Bank Roadbed Security along the Three Gorges Based on the Rough Set

Yanliang Niu Rubao Huang

(School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract: In this study, a research conducts upon the weighting of risk factors of bank roadbed security along the Three Gorges. Based on the rough set theory, a weighting model of risk factors is established. Based on the resources and information of the Yuba bank road, this study provides a method to make sure the weight of the factors though the analysis of the actual bank road instances, and provides a strong support to the following process of risk management.

Keywords: risk assessment of bank roadbed security Rough Set Model security risk factors weighting for the factors

0 引言

随着三峡大坝蓄水位达到设计水位,三峡库区公路库岸路基稳定安全风险问题不仅对公路设计、施工有重要的影响,而且对已建公路的安全运营也有重大的影响。但由于导致库区岸坡安全风险的影响因素多,且影响关系复杂,至今尚未形成考虑多因素影响下的库岸公路路基安全风险管理体系。本文针对三峡库区蓄水完成后,库区岸坡安全风险时有发生,库岸路基安全问题存在的风险不仅潜在威胁大,且后果严重。本文从风险分析角度,展开对库岸公路路基安全风险因素权重的研究。

1 三峡库岸路基安全风险因素识别

影响库岸路基安全的风险因素众多,其中包括:社会因素,如社会时局的动荡对三峡库岸公路路基安全可能带来的恶意政治性人为破坏;经济因素,如经济萧条长期不景气致使政府或相关公路管理部门无暇或无能力进行适时合理的修缮养护;军事因素,如突发的战争对三峡库岸公路安全带来的潜在的毁灭性打击。这些风险因素都是有可能对渝巴公路白南段带来安全风险的,然而并不属于本文研究的范畴。本文从工程风险的角度研究库岸公路路基安全性问题。

^①本文结合《渝巴公路云阳境内白南段沿线库岸稳定研究》课题完成。

由于各种安全风险因素对两类库岸的影响差异较大,因此需分类研究。通过大量的文献调查与理论研究分析表明影响库岸路基安全风险因素大体可分为两类:内部因素和外部因素。内部因素主要包括:库岸岩、土体结构特性类型和库岸岩、土体坡形。外部因素主要包括:库水影响、降雨影响、不利的人类活动和地震活动性作用。库岸路基安全风险因素可见图 1 所示。

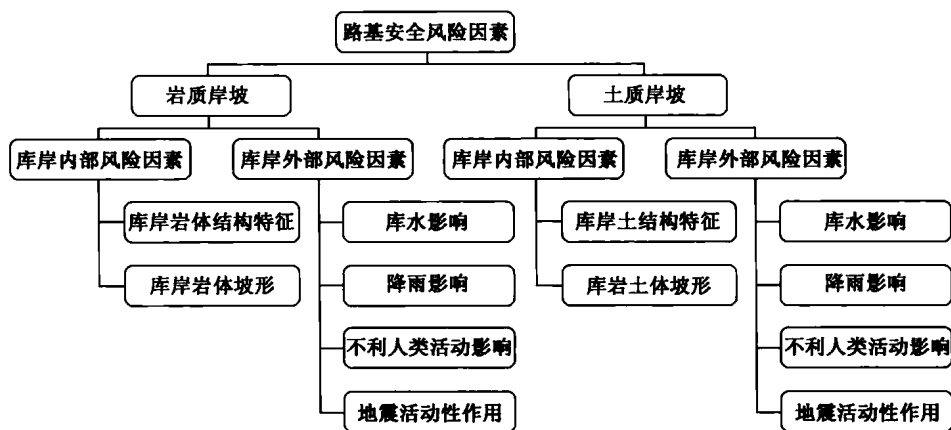


图 1 库岸路基安全风险因素

2 基于粗糙集的库岸路基安全风险因素定权方法分析

本文基于粗糙集理论确定权重有如下两个原因。

(1) 粗糙集本身的特点

粗糙集理论是一种新的研究不完整数据、模糊的和不确定性知识的表达、学习及归纳的数学工具,为研究不精确数据的分析、推理,挖掘数据间的关系,发现隐含的知识,揭示潜在的规律提供了行之有效的方法。该理论的主要特点是:它无需提供除问题所需处理的数据集合之外的任何先验信息,可以只根据观测数据,比较不完整知识的程度——粗糙度,删除冗余信息,分析属性间的依赖性与重要性,生成分类规则等,因而对问题的不确定性描述或处理是比较客观的。在原始数据主要由专家判断得出的情况下,使用粗糙集理论的定权方法确定指标权重时,在保持解释性较强的优点的同时,还可增加评估的客观性。

(2) 适应于特定路段的权重

基于粗糙集理论的库岸路基安全风险模型是针对特定路段的具体数字信息进行的数字挖掘,因此可以得出适应于该路段的各风险因素的相应权重。对评估对象性质的刻画会更有针对性,更客观。

3 渝巴公路云阳境内白南段库岸路基安全风险因素定权

3.1 库岸岩、土体结构特征与坡形特征

由于岩质库岸和土质库岸的性能差别较大,对渝巴路云阳境内白水滩至南溪段库岸路基安全风险的分析依然分为岩质岸坡和土质岸坡两种情况分别讨论。根据渝巴公路白南段坡型特征,结合《长江三峡工程库岸稳定性研究》、《库区公路边坡稳定性分析》、《库岸公路边坡稳定性风险分析》等研究,岩土体结构与坡形特征汇总如下(见表 1)。

3.2 基于粗糙集理论的渝巴路白南段库岸路基安全风险因素定权

进行安全风险因素定权有以下几个步骤:

(1) 确定知识表达体系

首先以风险因素评估指标体系中的指标组成属性集 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_6\}$, 即库岸路基安全风险的六个主要因素:岸坡结构特征、坡形、库水因素、降雨因素、地震因素及人类活动因素;分别以 10 段岩质库岸和 10 段

土质库岸组成论域 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{10}\}$ 分别评价各影响因素的重要性, 构建关系表。关系表中的行对应于对象 $x_i (i=1, 2, \dots, 10)$, 列对应于 x_i 的属性 a_j 。数值 π_{ij} 表示对应行所指要素 x_i 的属性 a_j 的取值, 各因素的影响程度按影响低、影响较低、影响较高和影响高, 以分值 1 到 4 赋值给 π_{ij} 。

表 1 库岸岩土体坡形与结构特征分类汇总

公路里程	土质岸坡结构特征	坡高(m)	坡度(度)	公路里程	岩质岸坡结构特征	坡高(m)	坡度(度)
K39+960- K40+770	残坡积土	60~80	35~50	K40+770- K40+980	层状砂岩、黏土岩	70~75	25~40
.....							
K49+930- K50+060	人工堆积土	55~70	25~35	K50+990- K53+330	层状碳酸盐岩	55~75	25~35

(2) 确定等价集

以岩性岸坡为例, 将知识体系中的因素分为两组 $A_1 = \{a_1, a_2\}$; $A_2 = \{a_3, a_4, a_5, a_6\}$, 分别求其等价类:

$$U/\text{ind}(A_1) = \{(x_1), (x_2), (x_3, x_5), (x_4), (x_6, x_7), (x_8), (x_9), (x_{10})\}$$

$$U/\text{ind}(A_1 - \{a_1\}) = \{(x_1, x_6, x_7, x_9), (x_2, x_3, x_5), (x_4), (x_8, x_{10})\}$$

$$U/\text{ind}(A_1 - \{a_2\}) = \{(x_1), (x_2, x_6, x_7), (x_3, x_4, x_5, x_9, x_{10}), (x_8)\}$$

$$U/\text{ind}(A_2) = \{(x_1), (x_2), (x_3), (x_4), (x_5), (x_6, x_7), (x_8), (x_9, x_{10})\}$$

$$U/\text{ind}(A_2 - \{a_3\}) = \{(x_1), (x_2, x_9, x_{10}), (x_3), (x_4), (x_5), (x_6, x_7), (x_8)\}$$

$$U/\text{ind}(A_2 - \{a_4\}) = \{(x_1), (x_2, x_6, x_7), (x_3), (x_4, x_5), (x_8), (x_9, x_{10})\}$$

$$U/\text{ind}(A_2 - \{a_5\}) = \{(x_1, x_6, x_7), (x_2), (x_3), (x_4), (x_5), (x_8), (x_9, x_{10})\}$$

$$U/\text{ind}(A_2 - \{a_6\}) = \{(x_1), (x_2), (x_3, x_4), (x_5), (x_6, x_7), (x_8), (x_9, x_{10})\}$$

(3) 定权模型及其改进

给定信息系统 $S = (U, A, V, F)$, $P \in A$, $U/\text{ind}(P) = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, 则知识 P 的信息量定义为:

$$I(P) = \sum_{i=1}^n \frac{|X_i|}{|U|} \left(1 - \frac{|X_i|}{|U|}\right) = 1 - \frac{1}{|U|^2} \sum_{i=1}^n |X_i|^2 \quad (1)$$

其中, $|X|$ 表示集合 X 的基数, $|X_i|/|U|$ 表示等价类 X_i 在 U 中的概率。

给定信息系统 $S = (U, A, V, F)$, 属性 $a \in A$ 在 A 中的重要性定义为:

$$\text{Sig}_{A-\{a\}}(a) = I(A) - I(A - \{a\}) \quad (2)$$

当 $A = \{a\}$ 时, 用 $\text{Sig}(a)$ 表示 $\text{Sig}_{\{a\}}(a)$:

$$\text{Sig}(a) = \text{Sig}_{\{a\}}(a) = I(A) - I(\{a\}) \quad (3)$$

其中, $U/\text{ND}(\phi) = \{U\}$, $I(\phi) = 0$ 。

然而在本案例的计算过程中, 当 $A = \{a\}$, 若依然按照式(3)计算, 则会将该子因素的信息量与母因素信息量比较从而得出其属性重要性; 然而当因素数量较少时, 根据此式计算则会夸大该因素的重要性。因此, 笔者认为在本模型中应作出相应改进, 以适合库岸公路安全风险因素定权的研究。当 $A = \{a\}$ 时, 其数学含义实际为: 通过粗糙度分析, 该影响因素对实际结果的影响基本为零, 则此时可考虑从风险因素中剔除此项, 并根据新的因素集重新计算各因素的信息量。

由以上等价类集合, 利用式(1)、式(2)可分别求出 A_1 、 $(A_1 - \{a_1\})$ 、 $(A_1 - \{a_2\})$ 、 $(A_2 - \{a_3\})$ 、 $(A_2 - \{a_4\})$ 等知识的信息量, 属性 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 的重要性, 以及各属性对应指标的影响性, 如表 2 所示。

表 2 岩质岸坡因素所属评估指标计算结果

评估指标	指标影响性	对应属性	属性重要性	知识	知识的信息量
内部因素				A_1	0.86
结构特征	0.41	a_1	0.16	$(A_1 - \{a_1\})$	0.70
坡形因素	0.59	a_2	0.22	$(A_1 - \{a_2\})$	0.64
外部因素				A_2	0.86
库水因素	0.25	a_3	0.04	$(A_2 - \{a_3\})$	0.82
降雨因素	0.375	a_4	0.06	$(A_2 - \{a_4\})$	0.80
地震因素	0.25	a_5	0.04	$(A_2 - \{a_5\})$	0.82
人类活动因素	0.125	a_6	0.02	$(A_2 - \{a_6\})$	0.84

同理可得出土质岸坡各属性对应指标的影响性,如表 3 所示。

表 3 土质岸坡因素所属评估指标计算结果

评估指标	指标影响性	对应属性	属性重要性	知识	知识的信息量
内部因素				A_1	0.82
结构特征	0.39	a_1	0.18	$(A - \{a_1\})$	0.64
坡形因素	0.61	a_2	0.28	$(A - \{a_2\})$	0.54
外部因素				A_2	0.88
库水因素	0.42	a_3	0.3	$(A - \{a_3\})$	0.88
降雨因素	0.28	a_4	0.2	$(A - \{a_4\})$	0.68
地震因素	0.14	a_5	0.1	$(A - \{a_5\})$	0.78
人类活动因素	0.16	a_6	0.12	$(A - \{a_6\})$	0.76

因此,根据渝巴公路实际情况的分析数据结合粗糙集因素重要性数学计算,可以得知:渝巴公路云阳境内白南段岩质库岸和土质库岸的内部因素重要性比例大致为:结构特征比坡形因素为四比六;而对岩质岸坡影响较大的外部因素为降雨因素,对土质岸坡影响较大的因素为库水因素。

4 结论与展望

4.1 结论

本文为库岸路基安全风险研究中各因素权重的确定,提供了可针对特定路段的具体情况得出适合于本路段的各风险因素重要程度的可行方法;为渝巴公路白南段库岸公路安全风险管理中进一步进行危险路段重点微观评价及其风险防范措施研究提供了有力支持。

4.2 展望

本文无时间轴坐标,没有考虑不同月份季节同一库岸路基安全风险因素的不同影响性,而动态的风险评价更加客观真实;也没有考虑植被因素对库岸安全风险的影响,而对植被因素的研究可能是一项很好的问题分析解决途径和方法。

由于篇幅原因,本文仅涉及库岸路基安全风险第一、二阶段的研究,而未涉及风险管理第三、四阶段风险综合评价和风险防范策略与经济性评价的研究,因此,对于危险路段重点微观评价及其风险防范措施的选择有待于进一步分析研究。