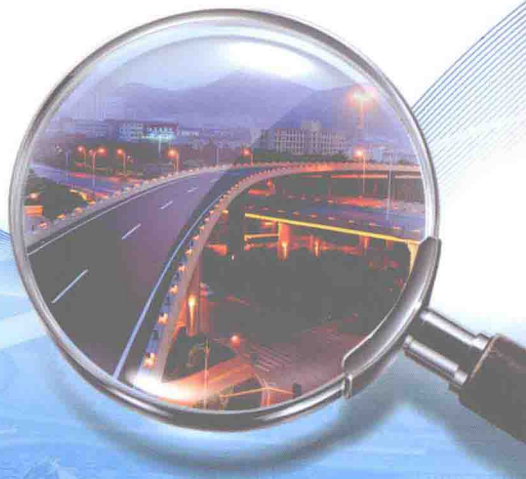


公路运行 安全风险分析

HIGHWAY OPERATIONAL SAFETY RISK ANALYSIS

贺琳 著



大连理工大学出版社

公路运行安全风险分析

贺琳 著

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

公路运行安全风险分析 / 贺琳著. — 大连 : 大连理工大学出版社, 2016. 8

ISBN 978-7-5685-0407-2

I. ①公… II. ①贺… III. ①公路运输—安全风险—风险分析 IV. ①U492.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 133165 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84708943 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:<http://www.dutp.cn>

大连日升彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:140mm×203mm 印张:7.75 字数:190 千字
2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑:邵 婉

责任校对:于 泓

封面设计:李小超

ISBN 978-7-5685-0407-2

定 价:40.00 元

前 言

公路运行安全风险分析是道路交通安全管理的一个较新的研究方向。目前的分析方法,大都从管理制度上进行论述,或者采用基本的统计方法进行宏观层面的规律性分析,缺少先进的、智能化的分析。自2006年8月交通部发布《交通部公路交通阻断信息报送制度》(试行)以来,交通部及各省级路网中心累积了大量的区域路网交通阻断信息,引入“数据挖掘”理论与技术,充分利用历史公路运行数据,梳理和分析干扰公路安全运行的各项原因,发现公路安全运行管理的内在规律,为我国公路安全运行制定科学的安全防范措施提供辅助决策支持,对提高我国公路交通安全管控能力具有十分重要的现实意义。

本书在分析国内外数据挖掘技术、交通安全理论和两者相结合方法的研究及其应用现状的基础上,以国家科技支撑项目“国家高速公路安全和服务技术开发与工程应用示范”(2009BAG13A03),2013年度教育部人文社会科学研究青年基金项目(13YJCZH052),中央高校基本科研业务费专项资金(3132016306)和中央高校基本科研业务费项目(3132016048)实践为背景,应用多学科知识交叉融合来研究基于数据挖掘的公路运行安全风险分析方法。

本书研究了公路运行安全风险相关信息的数据来源、数据特点以及各个组成要素,进而提出了一个基于本体的公路运行安全风险数据仓库建模方法。该方法按照主题—维度—类别的方式,通过扩展和新增的BWW(Bunge Wand Weber)本体系统,将用户需求划分为多个主题,每一个主题由多个维度刻画,每个维度细分为多种类别,并进行维度、类别等对象的特性及其之间关系的形式化定义和可视化描述。通过该方法,建立具有语义信息的概念组

织模型。以概念组织模型为依据,搜集公路运行安全管理领域的相关术语并进行整理和分类,以国家标准为准,建立公路交通安全领域本体的概念,抽取概念之间的继承、约束、实例关系,表达交通安全领域知识,形成一个具有一定通用性的交通安全领域本体,对该领域的相关信息进行有效的整合和表示,从而完成基于数据仓库的多源信息整合任务,为公路运行安全风险和管理提供有效的数据整合技术保障。首先,以“风险因素”分析为重点,在归纳和总结诱发公路交通阻断原因的基础上,提出了采用改进的风险指数评价法来完成公路运行安全风险因素评估,通过对概率和严重性的动态划分获得各因素的相对风险指数,实现了对区域路网各动态因素风险性的量化评估,进而构建了公路运行安全评价指标体系,完成公路运行安全的综合评价。其次,以“风险事件”研究为重点,分析阻断事件的时间和地域等分布情况,提出了基于模糊聚类的公路交通阻断等级划分方法和基于模糊关联规则的公路运行安全成因分析方法。上述方法根据历史实际数据,实现了公路运行安全阻断等级的准确划分,并挖掘出交通事件属性之间的依存关系,为交通阻断的预防和处置提供辅助支持。再次,以“异常状态预测”研究为重点,针对现行公路运行异常状态的获取方式和处理模式效率低的问题,提出了一种公路运行异常状态预测方法,基于组合预测的路段交通量预测分析模型和基于径向基函数(Radial Basis Function, RBF)神经网络断面交通流参数(流量、速度、占有率)的预测偏差分析模型,实现对公路运行的常发性异常状态和偶发性异常状态进行动态预测。

将本书研究成果与工程实际结合,以某道路主管部门的风险分析需求、应用背景和实际数据,来验证本书所述方法的有效性和可行性,可为公路运行安全风险智能化和知识化管理提供一定的参考与借鉴。

贺琳

2016年8月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 公路运行安全风险内涵	1
1.2 公路运行安全风险研究背景	2
1.2.1 实践背景	2
1.2.2 理论背景	3
1.3 公路运行安全风险分析研究意义及应用价值	4
1.3.1 理论意义	4
1.3.2 现实意义	4
1.3.3 应用价值	5
1.4 国内外研究文献综述	5
1.4.1 道路交通安全管理国内外研究与应用现状	5
1.4.2 相关领域研究现状	8
1.4.3 研究综述总结	24
1.5 研究内容及技术路线	26
1.5.1 研究内容	26
1.5.2 技术路线	28
1.6 主要创新点	28
1.7 全书章节安排	30

第 2 章 公路运行安全风险多源信息整合方法	32
2.1 引 言	32
2.2 公路运行安全风险数据来源及特点	33
2.2.1 数据来源	33
2.2.2 数据特点	35
2.3 HOSMDW 的系统架构	37
2.4 HOSMDW 的概念建模	38
2.4.1 数据仓库概念建模	38
2.4.2 BWW 表示模型	40
2.4.3 基于 eBWW 的数据仓库概念建模	42
2.4.4 基于 eBWW 的公路运行安全数据仓库概念建模实例	48
2.5 公路运行安全管理领域本体构建	53
2.5.1 公路运行安全管理领域本体分析与设计	54
2.5.2 公路运行安全管理本体模型的建立	60
2.6 HOSMDW 的逻辑设计	66
2.7 HOSMDW 的物理设计	67
第 3 章 公路运行安全风险因素分析	69
3.1 引 言	69
3.2 公路运行安全风险因素识别	69
3.3 公路运行安全风险因素评价	72
3.3.1 改进的风险指数评价法	73
3.3.2 基于 eRMA 的交通阻断原因指数评价方法	80

3.3.3 实例分析	81
3.4 公路运行安全风险评价	91
3.4.1 评价指标体系的构建原则	91
3.4.2 评价指标体系的建立	92
3.4.3 公路运行安全风险综合评价	95
第4章 公路运行安全风险事件分析	102
4.1 引 言	102
4.2 公路运行阻断事件的特性分析	103
4.2.1 特性分析指标的定义	103
4.2.2 公路交通阻断影响覆盖范围分析	104
4.2.3 公路交通阻断事件时间分布特性分析	106
4.2.4 公路交通阻断事件严重度分析	107
4.3 基于模糊聚类的公路交通阻断等级划分	109
4.3.1 公路交通阻断类型	109
4.3.2 模糊聚类算法	110
4.3.3 基于动态模糊聚类的阻断等级划分方法	111
4.3.4 公路交通阻断事件的等级划分的实例	116
4.4 基于模糊关联规则的阻断事件关联分析	119
4.4.1 关联分析的对象	119
4.4.2 基于FCM模糊关联规则	121
4.4.3 基于FCM模糊关联规则的交通阻断事件关联分析	123
4.4.4 应用实例	126

第 5 章 公路运行安全状态检测与分析方法	137
5.1 引 言	137
5.2 公路运行状态特征分析	138
5.2.1 公路运行状态概述	138
5.2.2 公路运行异常状态特征分析	139
5.2.3 公路运行状态预测的基本流程	140
5.2.4 预测方法概述	141
5.3 常发性异常状态检测方法	144
5.3.1 基于组合预测模型的路段交通流量预测	144
5.3.2 基于路段交通流量组合预测分析的常发性异常状态 检测算法	169
5.4 偶发性异常状态检测方法	170
5.4.1 交通流参数预测算法	174
5.4.2 状态异常判定条件	182
5.4.3 基于 RBF 预测偏差的偶发性异常状态检测算法 	183
5.5 公路运行安全状态检测算法的测试	184
5.5.1 测试数据	184
5.5.2 交通事件监测率常用评价指标	185
5.6 基于聚类的公路运行状态分析方法	186
5.6.1 公路状态属性	186
5.6.2 基于 K-means 聚类算法的交通状态划分方法 	187

5.6.3	基于 FCM 聚类算法的交通状态划分方法	189
5.6.4	数据的预处理	191
5.6.5	初始中心点优化	195
5.6.6	基于聚类的交通状态划分模型的实例	200
第 6 章 基于数据挖掘的公路运行安全风险分析系统的实现		
	204
6.1	开发环境与部署环境	204
6.1.1	开发环境	204
6.1.2	部署环境	205
6.2	系统的功能设计	205
6.3	系统主要功能介绍	206
6.3.1	公路交通阻断成因风险指数评价模块	207
6.3.2	基于模糊聚类的事件等级划分	209
6.3.3	交通阻断事件模糊关联分析	210
6.3.4	公路运行安全评价	212
6.3.5	道路交通运行状态检测与分析	215
第 7 章 结论与展望		219
7.1	结 论	219
7.2	展 望	221
参考文献		223

第1章 绪论

1.1 公路运行安全风险内涵

国内外学者从自身的研究视角和业务领域对风险的定义进行描述和刻画^[1]。我国对于风险比较有影响力的定义是:风险是与某种不利事件有关的一种未来情境^[2]。

不同的研究领域,对风险有不同的定义视角。本书以风险一般定义为基础,融合公路(本书中的道路特指公路)运行安全管理特点,对公路运行安全风险进行定义。

1. 公路运行安全风险的定义原则

(1)体现风险的公共危害性。公路运行安全的风险危害,干扰路网运行这一综合系统的所有参与用户,而不是系统中的某一个个别用户。

(2)突出风险研究的重点。公路运行安全风险研究对象是公路运行系统中多项复杂不利因素及其危害,重点是对未来不确定性的研究,而目前公路交通安全的研究主要围绕交通事故的分析。

(3)体现风险的构成要素。在定义公路运行安全风险的时候,体现三个构成要素,分别是风险因素、风险事件和风险结果。

2. 公路运行安全风险的定义

公路运行安全风险(Highway Operation Safety Risk, HOSR)是指一定范围的公路系统,在一定的时期内,可能出现的由于各种不利因素造成公路正常运行状态被打破的一种未来情境。公路运行安全风险表现为损失的不确定性。

公路运行安全风险的构成要素如下:

(1)公路运行安全风险因素:一切可能干扰公路正常运行状态、造成公路系统内对象的损失或伤亡的因素,可以是天气、地质、道路结构、车辆、交通参与人等。

(2)公路运行安全风险事件:道路系统拥堵、瘫痪事件,交通阻断事件。

(3)公路运行安全风险结果:风险事件发生后造成的损失,即道路状态异常变化后,造成的交通拥堵、瘫痪的程度。

1.2 公路运行安全风险研究背景

1.2.1 实践背景

自 1889 年世界上发生第一起车祸死亡事故至 2009 年,全球死于道路交通事故的人数总计达到 3400 多万人。如今全世界每年死于道路交通事故的人数在 50 万左右,受伤人数约 1000 万。道路交通事故常被称为“现代社会的第一公害”。我国拥有全世界 2%左右的汽车总量,却占了全世界交通事故总量的 22%,道路运输安全已成为我国公共安全的最大威胁之一。与其他国家相比,我国高速公路的安全形势不容乐观,远远高于主要工业国家,高速公路百公里死亡率是日本的 3~6 倍。如果再将交通量等因素考虑进去,我国高速公路的交通安全状况将更加令人担忧,2009 年,全国共发生道路交通事故 238351 起,造成 67759 人死亡、275125 人受伤,直接财产损失 9.1 亿元^[3]。

道路交通系统是一个由人、车、路及管理组成的动态开放系统,系统内外存在着众多的能量交换,影响系统的安全因素很多,且各因素之间关系错综复杂,具有“部分信息已知,部分信息未知”的信息不完全特征,正是由于交通运营主体和交通管理主体对安

全信息的不完全了解,造成诸多交通事故的发生。

随着汽车行业的日益兴起,各个国家公路网络公里数也在逐渐增加,汽车、公路等已经成为人们出行的依赖性需求,也就是说,公路上的车辆多而复杂,路网所处的环境大而复杂,其公路交通安全风险自然也会出现,如人(驾驶员等)的不规范行为、车辆的不安全状态、运输物品的危险性、公路设施设备的损毁、气象变化等人、车、路及环境因素,都会导致公路交通状态的不确定性,甚至导致交通事故。对公路交通安全风险成因进行深入分析,有助于发掘保障交通系统安全的措施,从而降低交通事故发生的程度,达到交通安全防范的目标。

公路运行安全风险分析与评价是从预防交通阻断、降低阻断事件发生的可能性和严重性入手,对公路运行的全过程、多因素进行全方位的分析,从而揭示公路发生交通事件的潜在危险因素及安全性能,是国际上近期兴起的以预防交通事件和提高公路运行安全为目的的一项新技术手段。

1.2.2 理论背景

公路交通系统是一个由人、车、路等构成的复杂动态系统,这些因素必须相互协调运营,才能保证整个系统的安全、迅速、经济和高效率。目前对公路安全分析的方法有很多,但是这些方法主要集中在公路交通安全运输管理、公路交通事故分析及相关的技术上,分析的对象主要是交通事故信息和交通运量,偏重事后宏观分析,并不能对公路实时的具体运行状态进行动态分析与预测。

本书在现有公路安全运行分析方法的基础上,以公路管控需求为指导,以公路安全运行数据为主要研究对象。通过数据挖掘方法以“交通阻断”问题为重点展开扩展性研究,以期提出支撑公路交通阻断风险分析与预测的方法和理论,弥补现有研究的不足,为公路安全运行管理提供借鉴。

1.3 公路运行安全风险分折研究意义及应用价值

1.3.1 理论意义

公路交通系统构成各因素相互间缺乏协调运营的后果是造成“交通阻断”，由于涉及系统中各因素协作，因此造成“交通阻断”的原因多种，等级多样，影响因素多类。本书以“交通阻断”为研究视角，在前期研究基础上，以积累的海量交通阻断数据为研究对象，按照归纳—推理—演绎的研究思路展开扩展性研究。

一是继承、融合已有的公路运行安全信息建模理论和方法并加以创新，以数据仓库和BWW本体建模方法为基础，综合考虑公路运行安全数据来源、数据特点及其维度需求等约束，构建围绕“交通阻断”的公路运行安全数据仓库理论和模型，拓展了公路交通信息数据库建模相关理论和方法的应用。

二是在现有关于“公路交通阻断”研究的相关理论和方法的基础上加以创新，以数据挖掘方法为工具，结合公路交通实际的安全运行管理需求，对公路交通阻断的成因、影响因素以及动态预测的相关理论和方法进行深入扩展性研究，促进公路交通安全风险理论的完善。

1.3.2 现实意义

当前，研究公路安全运行风险分析方法，对于提高路网管控能力具有很强的现实意义，主要表现在以下几个方面：

(1) 从多个维度融合角度进行公路安全运行风险分析，有利于风险管控能力的提高。公路安全运行过程涉及天气、人员、车辆、路况、时间等多维度信息，这些维度相互协作构成了具体的公路运行情境，只有基于多维度信息融合的公路安全运行风险识别、

分析和预测才能真正提高路网管控能力和水平。

(2) 有利于提高公路安全运行决策水平和管理模式。基于数据挖掘的公路安全运行风险分析方法是基于相关部门积累的实际公路交通阻断数据展开研究的,它是面向公路安全具体运行状态的辅助决策支持,突破了传统方法静态的、宏观的、突击式的管理,转向动态的、全局的、系统的管理,有利于降低安全事件发生的可能。

(3) 借鉴本书研究成果,可以为省际层面的路网管控提供理论支撑。通过以省际公路管控需求为指导,以省际公路为主要研究对象,对“公路交通阻断”的成因、影响因素以及动态预测的相关理论和方法的扩展性研究,为省际层面的路网管控提供理论支撑。

1.3.3 应用价值

本书的应用前景十分广阔。其主要应用于公路运行安全的管控,特别是对高速公路安全运行的辅助管理,实现根据自然环境(天气、地质状况)、车流状况、驾驶员状况、公路状况等多因素,对高速公路重点时间段、重点路段、跨省路段等的综合管控提供技术支撑。

1.4 国内外研究文献综述

1.4.1 道路交通安全管理国内外研究与应用现状

根据发达国家的发展规律可以得知:交通与经济发展紧密相关,凡是发达国家,其交通与经济呈现高速、协同发展的趋势。交通发展是一把双刃剑,它不仅能促进经济发展,还可能制造交通危害,危及人员、社会,所以高效的交通安全管理应运而生。发达国家根据本国的交通安全管理需求进行了深入的理论研究和实践应

用,比较有代表性的应用项目如下所述:

(1)美国政府交通主管部门利用信息技术构建全国性的道路基础信息数据库^[4]。该数据库将全国道路使用监控系统、国家驾驶员注册表、联邦交通事故死亡分析报告系统、国家营运汽车分析报告系统、国家公交数据库、国家营运汽车驾驶员信息系统、各州中央交通记录数据系统、各州交通事故监视分析系统等数据库管理系统进行集成管理,达到分析和预测道路交通安全的目的,并可根据结果对相关路段进行改造,取得很好的效果,对我国路网交通安全智能化管理具有重要的启示。

(2)道路交通安全国际组织(the International Road Assessment Programme, IRAP)通过专业设备定期收集交通事故数据^[5]。IRAP根据采集的某路段交通事故数据,参考国情、环境、交通习惯等因素放大成该道路年度数据,对整个地区道路进行安全性评级,改善交通设施,制订交通安全解决方案。

(3)新西兰的公路安全管理系统(State Highway Safety Management System, SMS)^[6]。该系统主要被用于公路的规划、设计、施工、运营和养护等各阶段对公路的安全性进行鉴别、考虑、改善和评估。

(4)欧洲道路评估方案 Euro RAP 系统^[7]。该系统定期跟踪欧洲国家枢纽道路的安全情况,形成的评估方案通过现场检查并根据道路实际特点进行安全等级评定工作。

(5)日本道路安全数据库系统^[8]。该系统研究了道路线形与道路安全之间的关系,并建立了数据库系统,每年对数据进行专项分析整理,为安全运输设计标准、规范的修订收集第一手资料。

另外,发达国家除了拥有网状的高速公路和功能完善的道路安全数据库系统外,还拥有全程运输监控管理系统和相应的基础设施,以保障高速公路上的运输安全;并且为把交通事故减少到最少,还在其道路安全管理系统中增加了风险分析与预警系统;也有

的国家利用所建立的各类相关数据库中的信息对威胁交通安全的关联因素进行挖掘与分析,给安全运输起到了重要的保障作用^[9,10]。

我国高速公路公里数随着经济的增长也在增加,国家非常重视其发展,目前高速公路网在逐渐完善。针对高速公路发展现状,国家“十二五”规划纲要提出了建设思路:“完善区际交通网络,建设城际快速网络,优先发展公共交通,提高运输服务水平。”“十二五”期间,我国将继续推进国家高速公路网、国家区域发展战略确定的高速公路、特大城市圈、大中城市群、疏港高速公路,以及省际连接线高速公路建设,加快重要高速公路通道扩容改造建设,“十二五”期间基本可建成 8.6 万公里的国家高速公路网^[11]。

(6) 为支持国家高速公路网建设,保障道路运行通畅,我国学者和专家已经开展了相关方面的研发工作。①基于交通事故的道路交通安全管理。1999年北京工业大学的柴旭东^[12]提出了一种采用地理信息和多媒体技术的交通事故计算机管理系统。该系统具有统计、黑点分析、区域安全评价和影响因素分析等功能。公安部开发交通事故信息系统(Traffic Accident Information System, TAIS),该系统基于对道路事故发生情况的一般统计分析。②基于GIS的道路交通安全管理。同济大学郭忠印教授研究团队^[8,13,14]建立了基于GIS的道路交通安全管理系统,该系统将GIS、道路信息、交通事故信息及各类处置模型集成为一个有机的整体。北京交通大学的秦利燕、邵春福等在此基础上建立了一个更完善的系统,GIS技术在该系统中的运用主要体现于可视化功能上。③基于高速公路应急救援的道路交通安全管理。西南交通大学的程振华研究了救援机制问题^[15];同济大学杨晓光等提出基于ITS框架的紧急救援系统,对工作程序进行了深入探讨^[16];同济大学陈睿等则提出将应急救援指挥系统构建在高速公路监控系统的基础之上^[17];武汉理工大学的张晓燕等基于危害基础理论对