

第十四届中国智能交通年会学术委员会 编

*Papers Collection of the 14th
Annual Conference on Intelligent
Transportation in China*



● ● ● ●

第十四届 中国智能交通年会 论|文|集



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

内容简介

第十四届中国智能交通年会学术委员会编
本论文集收录了第十四届中国智能交通年会学术委员会编委会成员在会期间提交的高质量学术论文，涵盖了智能交通领域的多个研究方向，包括智能交通系统、智能交通控制、智能交通规划、智能交通管理、智能交通服务、智能交通应用等。本论文集是智能交通领域的重要学术成果，也是智能交通领域的重要参考资料。

李树斌
本论文集收录了第十四届中国智能交通年会学术委员会编委会成员在会期间提交的高质量学术论文，涵盖了智能交通领域的多个研究方向，包括智能交通系统、智能交通控制、智能交通规划、智能交通管理、智能交通服务、智能交通应用等。本论文集是智能交通领域的重要学术成果，也是智能交通领域的重要参考资料。

第十四届中国智能交通

论文集

年会论文集

第十四届中国智能交通年会学术委员会编

第十四届中国智能交通年会学术委员会 编

主任委员

副主任委员

委员 (排名不分先后)

李树斌

李树斌

李树斌

李树斌

李树斌

李树斌

李树斌

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

《第十四届中国智能交通年会论文集》汇集了国内外城市交通、公路、铁路、车辆、水运、航空等不同智能交通领域的精选论文 67 篇，主要包含智能交通的发展与政策、智能交通技术、智能交通应用、智能交通的成果及转化，以及智能交通领域最近的热点研究。本书适合于智能交通相关领域的科研、技术和管理人员等阅读。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

第十四届中国智能交通年会论文集 / 第十四届中国智能交通年会学术委员会编. —北京: 电子工业出版社, 2019.10

ISBN 978-7-121-37585-9

I. ①第… II. ①第… III. ①交通运输管理—智能系统—中国—学术会议—文集 IV. ①U-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 219780 号

责任编辑: 刘志红

印 刷: 山东华立印务有限公司

装 订: 山东华立印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 47 字数: 1203.2 千字

版 次: 2019 年 10 月第 1 版

印 次: 2019 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 198.00 元 (含光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254799, lzhmails@phei.com.cn。

编委会名单

主 编

李朝晨

副主编

武 平 金茂菁 关积珍 杨 颖

编 委

郭丽君 李晓雨 贺 松 宋 琪

学术委员会名单

主任委员

黄 卫

副主任委员

马 林 关积珍 王军利

委员（排名不分先后）

秦 勇 鲁光泉 张 可 刘春煌 王 力 夏井新

杨 琪 刘好德 魏 运 杨 颖 孙帮成 何兆成

李 萌 初秀民 殷惠广 董宏辉 刘 浩 田大新

魏秀琨 吕能超



目 录

三维可视图谱库构建及交通拥堵持续时间研究	1
基于人类学习优化算法的列车速度曲线优化	14
基于出行需求大数据的共享单车总量控制测算方法研究——以杭州为例	23
面向网联自动驾驶汽车的平视显示系统综述	31
定制客运固定乘降点规划模型	43
船用 HUD 系统的设计与仿真	53
基于加权灰色关联的交通事故致因分析	62
高速磁浮线路平曲线最小半径优化分析	71
CBTC 和 CTCS 系统差异性分析及兼容性方案探讨	82
基于云计算技术的新一代公安交管信息系统架构研究	96
车辆轨迹融合电警数据的干道路径流量估计	105
信号控制交叉口右转区域机非冲突消除方法	118
数据驱动的城市快速路交通需求估计与推演方法	129
航标漂移特征分析与防碰撞策略研究	140
铁路局安全风险管理信息系统研究与应用	150
自适应交通信号控制评价方法研究及应用	160
大中型客车侧翻重大事故特征及伤亡影响研究	174
基于 AnyLogic 地铁车站自动售检票系统布局调整优化研究	182
RSU 布局优化模型及仿真优化方法研究	192
基于公交车辆运用的充电桩增设数量估算方法	205
基于 CBTC 的大数据智能软件测试技术研究	219
基于 MT 发生器的船舶交通流仿真研究	233
基于 NMEA2000 标准的无人艇运动控制系统网络研究	245
基于大数据和仿真的高速交通指挥技术研究	254

基于多源数据融合的信控交叉口交通波重构	265
基于航道云 GIS 平台的信息资源管理与应用研究	277
基于卷积神经网络的高速出口换道识别研究	288
基于深度卷积神经网络的行程速度短时预测	304
基于深度学习的无人艇转向点行为预测	319
基于收费数据的高速公路短时客货运输量短时预测研究	329
基于无人机的桥梁三维重构及检测系统	338
基于优化 PSO-BP 神经网络的船舶航向预测	351
面向自动驾驶汽车的声学环境感知研究	359
无人艇变论域模糊自整定 PID 航向控制	369
基于光纤传感的快速路交通安全监测研究	379
汽车分时租赁差异化定价方法研究	389
基于手机数据的医疗设施可达性研究——以昆山市为例	402
基于手机信令数据的人群类型识别研究	417
山地城市干道交织区通行能力模型研究	429
基于号牌识别和 GPS 数据的实时排队长度估计方法	447
基于深度学习的路面裂缝自动识别方法	458
基于 CNN+LSTM 的城市路网动态 OD 估计方法研究	469
面向城市路网级联失效的限流防控模型研究	478
典型 T 型交叉口渠化与信号配时协调优化	490
单点交叉口信号控制方案时段划分方法	504
基于号牌识别数据的控制子区承载力估计	514
基于交叉口间车流关联性的信号控制子区划分	528
考虑车头时距不确定性的交叉口饱和车流识别	541
信号交叉口饱和车头时距估计方法	553
一种基于模拟退火的交通数据补偿方法	561
基于大数据的城市功能区交通模式分析	572
基于荟萃分析的智能网联车技术避碰效益分析	584
动车组运用检修一体化作业过程管理系统的设计与实现	600
货车管理信息系统整合关键技术研究	611

三维可视图谱库构建及交通 拥堵持续时间研究

蔡晓禹^{1*} 杜蕊¹ 刘秀彩² 高志刚³ 唐小勇³

- (1. 重庆交通大学山地城市交通系统与安全重庆市重点实验室, 重庆 400074;
2. 中设设计集团股份有限公司, 南京 210014;
3. 重庆市城市交通大数据工程技术研究中心, 重庆 400020)

【摘要】 本文基于重庆市 GPS 浮动车数据和可视化技术构建基于时间、空间、交通参数的三维可视图谱库, 从中提取交通拥堵持续时间参数。基于生存分析方法构建交通拥堵持续时间模型, 定量分析天气状况、时间因素、道路条件对拥堵持续时间的影响分布特性, 结果表明: 龙腾大道—海峡路(交通流方向由东向西), 70%的拥堵在15分钟内可以消散, 2.3%拥堵持续时间超过1小时, 0.7%拥堵持续时间超过90分钟。除公交站点外, 其他影响因素下的拥堵持续时间存在显著性差异。

【关键词】 三维可视化技术; 生存分析; 非参数回归; 拥堵持续时间

Construction of City Road 3D Visible Map Library and Research on Congestion Duration

Cai Xiaoyu^{1*}, Du Rui¹, Liu Xiucui², Gao Zhigang³, Tang Xiaoyong³

- (1. Chongqing Key Lab of Traffic System & Safety in Mountain Cities, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074;
2. China Design Group Co.,LTD., Nanjing 210014;
3. Chongqing Urban Transportation Big Data Engineering Technology Research Center, Chongqing 400020)

基金项目: 重庆市社会民生类重点研发项目/ Key Social R&D Projects on Social Livelihood in Chongqing (cstc2018jscx-mszd0554)。

***通信作者简介:** 蔡晓禹(1979-), 男, 四川达州人, 工学博士, 教授, 研究方向: 交通数据挖掘与应用、交通网络评价与管控。手机号码: 13708329902, E-mail: caixiaoyu@cqjtu.edu.cn。

Abstract: This paper builds a three-dimensional visible map library based on time-space, traffic parameters based on Chongqing floating GPS data and visualization technology, and extracts the parameters of traffic jam duration. Based on the survival analysis method, a traffic congestion duration model was constructed to quantitatively analyze the distribution of weather conditions, time factors and road conditions on the duration of congestion. The results show that: Longtong Avenue - Strait Road (traffic flow direction from east to west), 70% of the congestion can dissipate in 15 minutes, 2.3% of the congestion duration of more than 1 hour, 0.7% of the congestion duration of more than 90 minutes. In addition to the bus stop, there were significant differences in the duration of congestion under other influencing factors.

Keywords: Three-dimensional visualization technology; Graph datab; Survival analysis; Nonparametric regression; Congestion duration.

1 引言

随着城市化进程的加快和机动车的普及,交通需求的快速增长远超过路网提供的交通供给,交通拥堵、交通安全、环境污染已成为交通领域的三大难题。据公安部交通管理局统计^[1],截至2016年底,全国机动车保有量已高达2.9亿辆,包括重庆市在内的49座城市机动车保有量都已经超过百万辆。

面对日益严重的交通供需矛盾,许多学者针对交通拥堵的形成原因、拥堵种类及拥堵控制策略进行深入研究,提出很多交通拥堵理论、治理方法和模型。Lighthill和Whitham提出了著名的交通波动理论,用来探究拥堵的时空变化规律^[2]。Wright和Roberg等认为产生交通拥堵的根本原因是交通瓶颈,拥堵往往从瓶颈处开始向其他方向传播,最终形成区域性交通拥堵^[3]。Bauza和Gozalvez基于车辆网技术分析和预测交通拥堵^[4];Wibisono等利用快速增量树漂移检验模型对数据进行可视化^[5];Andrea等运用GPS浮动车数据和手机信令数据识别交通拥堵和事故^[6]。目前的研究中相关模型较少结合大数据,更多的是在交通流理论上,从流量、速度、占有率、排队长度等角度解析交通拥堵问题,对交通拥堵持续时间的研究也相对较少。

面对愈发突出的交通供需矛盾,突破传统的理论与策略,寻求新方法来更加有效地解决当前社会广泛存在的交通问题显得尤为重要。大数据时代的到来和可视化技术的发展,为交通拥堵数据化与智能化管理提供新思路,为高效便捷获取交通参数并深入探究交通问题提供新技术。本文通过构建三维可视图谱库获取交通拥堵持续时间,并引入生存分析方法构建交通拥堵持续时间模型,分析不同影响因素下拥堵持续时间的分布特性,以期提升城市交通管理水平、辅助管控决策的制定,为出行者提供完善的交通信息服务。

2 三维可视图谱库构建方法

(1) 对 GPS 数据进行预处理：数据清洗、数据校准、数据简化。

① 轨迹数据清洗。GPS 原始数据的异常数据主要包括数据缺失、经纬度错误、日期时刻错误等^[7]。除此之外，过大的速度、过长的距离、长时间速度为 0 的数据等也需要剔除。

② 轨迹数据校准。GPS 系统和地图服务商采用的坐标系不同，直接在地图上绘制的 GPS 轨迹数据，不能准确定位在路网的实际位置，需要对原始 GPS 数据进行校准，实现地图匹配。

③ 轨迹数据化简。GPS 数据传输频率较高，数据量大，具有冗余性。用路段代替轨迹点，并保存交通参数统计信息（平均速度）的方法，将轨迹点表示成路段信息的序列，这样可以提高轨迹数据可视化的绘制效率^[8]。

(2) 可视化信息表达。

三维可视图谱库采用二维坐标轴显示世界中的平面路网地理空间位置，用表示实际时刻的一维时间轴展示地理空间位置随时间的变化。这样，由二维的平面空间和一维的时间轴就组成了一个三维时空图。任意选定某个时刻，都可以从三维时空图中得到相应的截面，表现现实世界的平面几何状态。通过运用时间维的几何特性对交通状态时空数据进行可视化表达，形象地表达了交通运行状态随时间的变化过程。

构建三维可视图谱库的具体流程及表达效果，如图 1、图 2 所示。

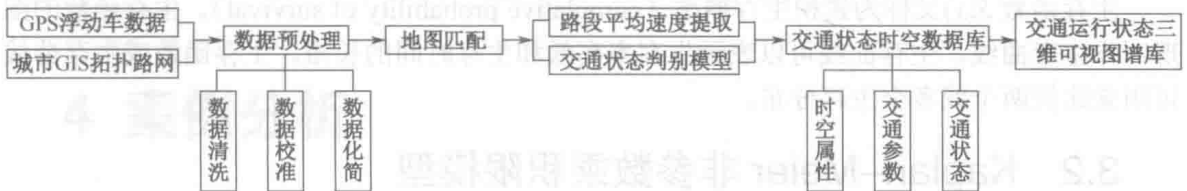


图 1 图谱库构建流程

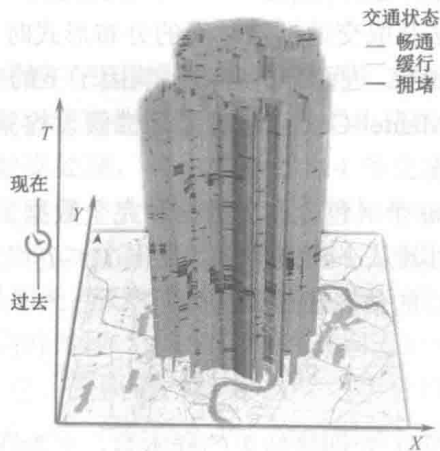


图 2 交通运行状态的三维可视图谱库

3 基于生存分析的交通拥堵持续时间建模

3.1 交通拥堵生存分析的定义

(1) 拥堵生存时间

广义的生存时间指从某个起始事件开始,到某个终点事件的发生所经历的时间,也称为“失效时间”^[9]。交通拥堵从发生、传播到消散所经历的拥堵持续时间定义为拥堵的生存时间。

交通拥堵的生存时间可以分为两种类型:1)完全数据:交通拥堵在研究的时间内,可以准确记录拥堵发生到结束的完整时间信息,这种生存数据称为完全数据。2)截尾数据:拥堵往往受多种影响因素的控制,检测数据的缺失或调查受限等客观原因,无法确定拥堵的开始或结束时间,这类数据称为不完全数据。

(2) 交通拥堵的生存函数

描述生存时间统计特征的基本函数就是生存函数 $S(x)$,它反映交通拥堵发生至时间 t (在时刻 t 之后交通拥堵仍未结束)的概率,生存函数在某时刻的函数值就是生存率。其定义为:

$$S(x) = P(T > t) = \int_t^{\infty} f(x)dx = 1 - F(x) \quad (3-1)$$

式(3-1)中: T 为拥堵持续时间, $f(x)$ 为概率密度函数; $F(x)$ 为概率函数

生存函数 $S(x)$ 又称为累积生存概率(cumulative probability of survival)。生存函数的图形叫作生存曲线。生存曲线可以表示生存率高低和生存时间的长短。生存函数或生存曲线可用来比较两个或多个生存分布。

3.2 Kaplan-Meier 非参数乘积限模型

Kaplan-Meier (K-M) 函数是由 Kaplan 和 Meier 提出的一种非参数模型,又称为乘积限估计值的回归模型。在无法获取交通拥堵时间的分布形式时,应用 K-M 模型可以直接估计交通拥堵持续时间的生存函数,进而分析各类影响因子下的交通拥堵持续时间分布特性。为确保结果的准确性,采用 Mantel-Cox 法进行显著性假设检验。当显著性检验特征值 P 小于 0.05 时,显著性假设成立。

假设时间样本数据中有 m 个(包含删失数据和完全数据)拥堵持续时间,拥堵持续时间的取值有 n ($n \leq m$) 个,对其从小到大排序,记作 $T_1 \leq T_2 \leq T_3 \cdots \leq T_m$,则基于 K-M 模型的拥堵持续时间生存函数 $S(t)$ 的估计函数 $\hat{S}(t)$ 为:

$$\hat{S}(t) = \prod_{t_i \leq t} \left[1 - \frac{d_i}{Y_i} \right] \quad (3-2)$$

式(3-2)中: d_i 为在时间 t_i 处拥堵结束的样本数, Y_i 为在时间 t_i 之前拥堵未结束的样

本数。 $1 - \frac{d_i}{Y_i}$ 为拥堵在时间 t_i 的生存概率。

基于 Kaplan-Meier 非参数乘积限模型分析影响因素与拥堵持续时间关系的流程, 如图 3 所示。借助图谱库提取路段的交通拥堵持续时间, 选取天气状况、时间因素、道路条件三类可能影响拥堵持续时间分布的因素, 运用 Kaplan-Meier 非参数回归模型进行拥堵持续时间生存函数的计算, 采用 Mantel-Cox 方法检验不同影响因素下拥堵持续时间生存函数分布的差异性。

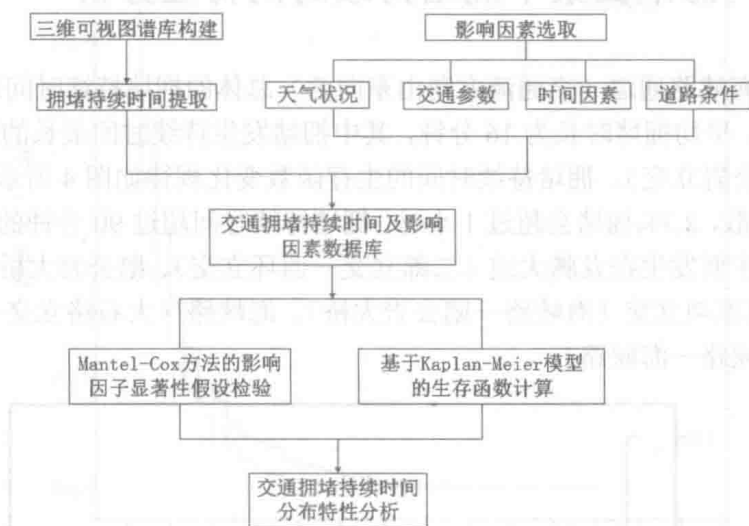


图3 基于 Kaplan-Meier 模型的拥堵持续时间特性分析流程

4 案例分析

4.1 数据描述

选取龙腾大道—海峡路通道(交通流方向由东向西)2016年10月31日—2016年11月26日, 共计27天, 交通拥堵状态数据作为样本数据构建图谱库。研究以“3—拥堵”状态表征路段拥堵事件, 经过数据处理, 共计得到1 524条交通拥堵持续时间样本, 并借助网络抓取获得重庆市天气、道路条件数据, 搭建交通拥堵持续时间及影响因素数据库。

对每个样本记录按天气状况、时间因素、道路条件三类影响因素进行标志划分: 星期数1~7分别表示星期一至星期天; 天气“0”“1”分别表示雨天、非雨天; 车道数“3”“4”分别表示三车道、四车道; 高峰时段“0”“1”“2”分别表示早高峰、晚高峰、平峰时段; 匝道“0”“1”分别表示有匝道、无匝道; 桥梁“0”“1”分别代表有桥梁、无桥梁; 公交车站“0”“1”分别代表无公交车站、有公交车站。交通拥堵持续时间数据库中, 时间样本信息如表1所示。

表 1 交通拥堵持续时间样本信息

路段编码	路段名称	路段长度/米	拥堵开始时刻	拥堵结束时刻	拥堵持续时间/min	平均速度/ $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	运行状态	星期数	天气	车道数	高峰时段	匝道	桥梁	公交车
0240	鹅公岩大桥	1504	07:45	08:15	30	13.1	3	1	1	4	0	0	1	0

4.2 不同影响因素下拥堵持续时间特征分析

龙腾大道—海峡路通道（交通流方向由东向西）总体的拥堵持续时间最短为 5 分钟，最长是 165 分钟，平均拥堵时长为 16 分钟，其中拥堵发生持续时间最长的路段在赵家坝立交（海峡路—鹅公岩立交）。拥堵持续时间的生存函数变化规律如图 4 所示。70%的拥堵在 15 分钟内可以消散，2.3%拥堵会超过 1 小时，拥堵持续时间超过 90 分钟的生存率为 0.7%。长时间拥堵路段主要发生在龙腾大道（二郎立交—西环立交）、鹅公岩大桥（赵家坝立交—鹅公岩立交）、赵家坝立交（海峡路—鹅公岩大桥）、海峡路（大石路立交—赵家坝立交），大石路立交（海峡路—海峡路）。

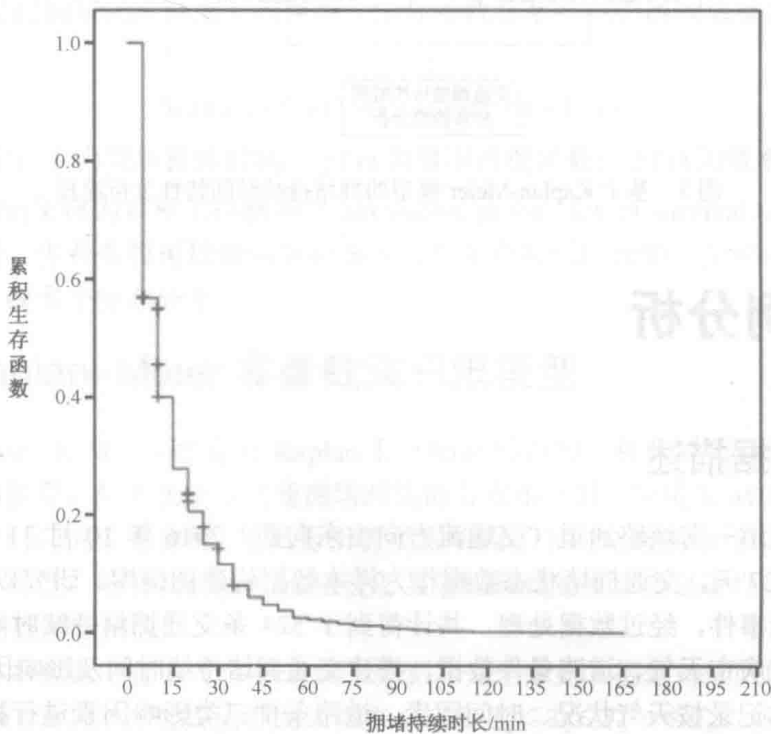


图 4 拥堵持续时间的生存函数

4.2.1 不同天气影响下的拥堵持续时间分布特性

根据交通拥堵发生时间的天气状况，将交通环境分为雨天和非雨天两类。图 5 为不同天气下拥堵持续时间的生存函数变化规律。总体上，生存函数随拥堵持续时间的增大而呈

现下降趋势。雨天生存曲线高于非雨天，表明雨天更容易产生长时间交通拥堵，拥堵状况比非雨天更加严重。拥堵在 75 分钟内的雨天和非雨天对交通拥堵差异性比较明显，75 分钟后天气对拥堵的分布不存在显著性差异。雨天产生的交通拥堵 78% 可以在 75 分钟内消散，非雨天 90% 的拥堵可以在 75 分钟内消散。在相同的拥堵持续时间下，雨天产生拥堵生存率比非雨天大，雨天拥堵结束的概率小，拥堵消散速度慢。

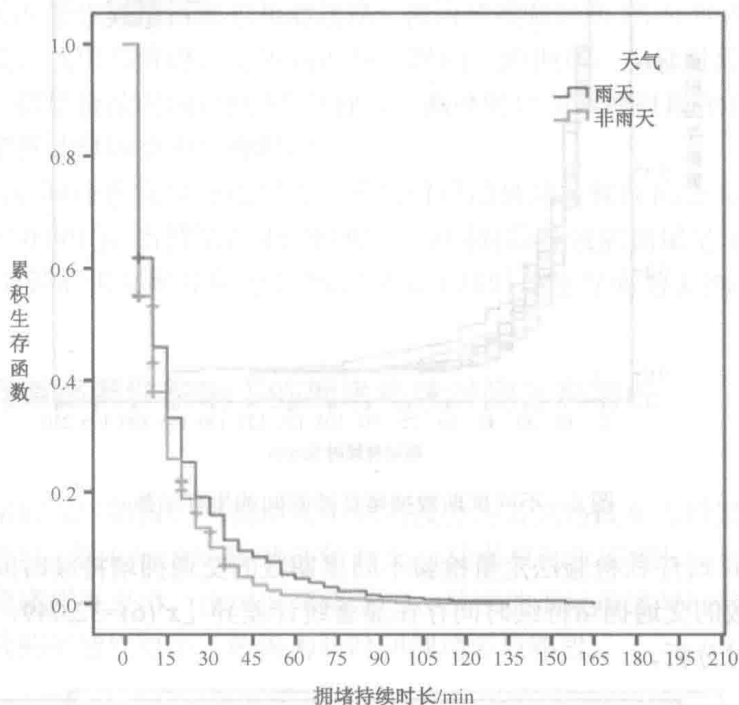


图 5 不同天气拥堵持续时间的生存函数

采用 Mantel-Cox 时序秩检验计算雨天与非雨天情况下交通拥堵持续时间的分布差异，可以得到不同天气条件下的交通拥堵持续时间存在显著统计差异 [$\chi^2(1)=15.989, P<0.001$]，检验结果表明雨天与非雨天对交通拥堵持续时间具有显著性差异。结合 Kaplan-Meier 拥堵持续时间函数求得的生存率可知，当拥堵在 45 分钟时，天气条件导致的拥堵呈现出最大差异，雨天在 45 分钟的生存率为 8.4%，非雨天生存率为 3.3%，两者相差 5.1%。

4.2.2 时间因素影响下的交通拥堵持续时长分布特性

(1) 星期数。

图 6 为从星期一至星期天每个星期数的生存函数。从生存函数图可以看出，随拥堵持续时间的增加，拥堵大于某个时间点的生存率逐渐降低，生存曲线在 [0,30] 分钟下降比较明显，[30,75] 分钟内变化比较缓慢，75 分钟后趋于平缓。总体来说，拥堵持续 30 分钟时，91.2% 拥堵已经消散，拥堵持续时间大于 30 分钟的生存率为 8.8%。在工作日中，星期五发生 [0,20] 时间区间内的概率最大，星期一拥堵超过 20 分钟的生存率均大于其他星期数，表明星期一拥堵一旦形成，就很难快速消散。星期六和星期天生存率均低于其他星期数，而且拥堵在 1 小时内基本上完全消散。周末居民出行主要以娱乐、休闲为主，出行相对分散；与周末不同，工作日居民出行相对集中，出行目的比较单一，主要以上下班为主，拥堵结

束的概率比较小，更容易产生长时间交通拥堵。

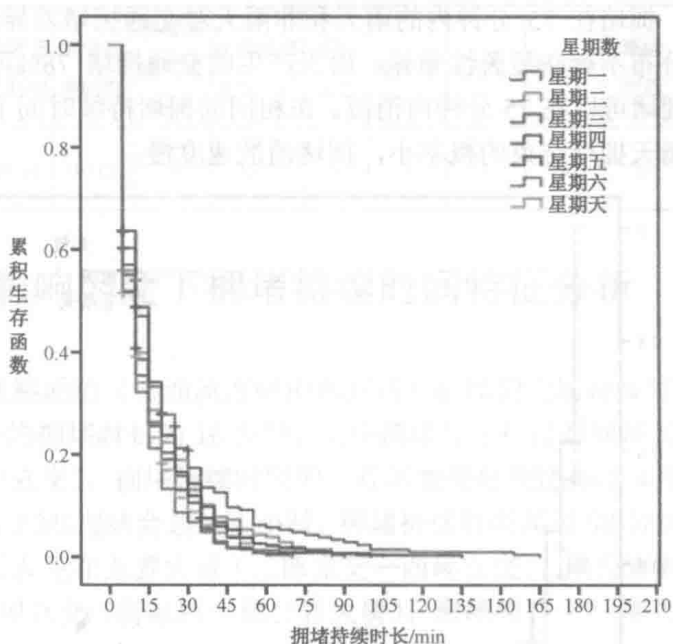


图6 不同星期数拥堵持续时间的生存函数

用 Mantel-Cox 时序秩检验法定量检验不同星期数的交通拥堵持续时间分布差异性，可以得到不同星期数的交通拥堵持续时间存在显著统计差异 [$\chi^2(6)=32.049, P<0.001$]。

(2) 高峰小时分析。

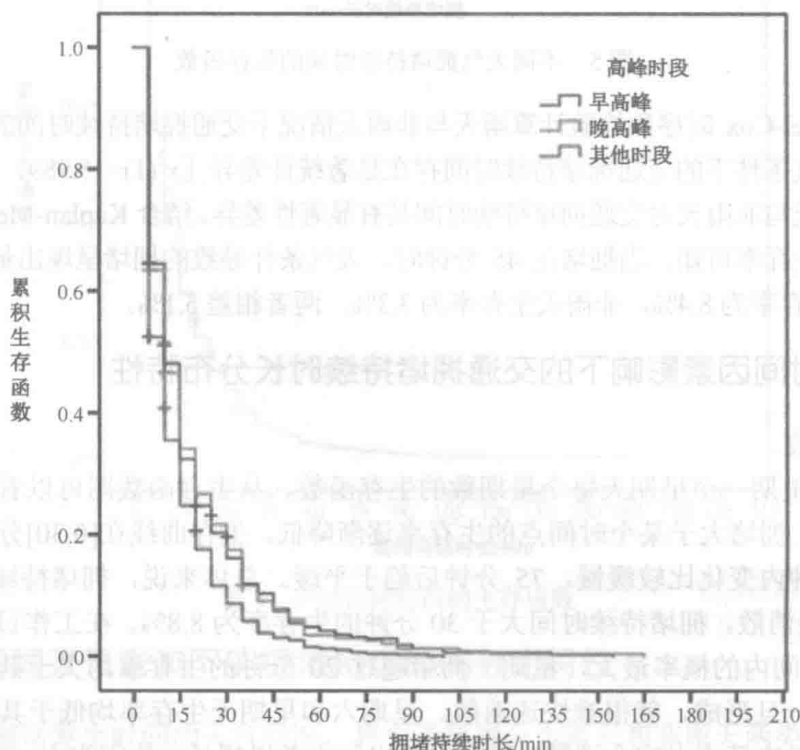


图7 不同高峰时段拥堵持续时间的生存函数

根据交通拥堵的发生时段,将拥堵持续时间划分为早高峰、晚高峰、其他时段三类。根据重庆市交通特性对高峰小时的划分规定,工作日早晚高峰分别为 7:00—9:00、17:00—19:00;双休日的早晚高峰分别为 10:00—12:00、16:00—19:00。

图 7 为早高峰、晚高峰、其他时段拥堵持续时间的生存函数随时间的变化规律:总体上,早高峰和晚高峰的生存曲线几乎重合,对交通拥堵持续时间分布无明显差异,产生的超过 2 小时的长时间恶性拥堵概率也相对较高。拥堵持续时间在 85 分钟内,高峰时段生存曲线高于平峰时段,说明高峰时,更容易产生长时间交通拥堵,高峰时段拥堵结束的可能性较平峰时段小;拥堵持续时间超过 85 分钟后,高峰时段与平峰时段生存曲线相差不大,但是平峰最大拥堵持续时间小于高峰时段。

由 Mantel-Cox 时序秩检验方法可得,不同时段拥堵持续时间分布存在显著性差异 [$\chi^2(2)=30.339, P<0.001$]。当拥堵在 45 分钟时,不同时段导致的拥堵呈现出最大差异,早晚高峰时段在 45 分钟的生存率分别为 7.7%、7.3%,平峰时段生存率为 3.1%,分别相差 4.6%、4.2%。

4.2.3 不同道路条件影响下的拥堵持续时间分布特性

(1) 桥梁。

根据交通拥堵的发生路段,将拥堵发生的路段分为桥梁路段和非桥梁路段两类。重庆市地理条件的特殊性,核心区跨江桥梁已有 16 座,随着机动车的增长,桥梁的拥堵持续时间进一步拉长,拥堵严重突出。由图 8 可以看出,桥梁的拥堵持续时间的生存率更大,拥堵在下一个时刻消散的可能性更小,桥梁为长时间拥堵多发路段。

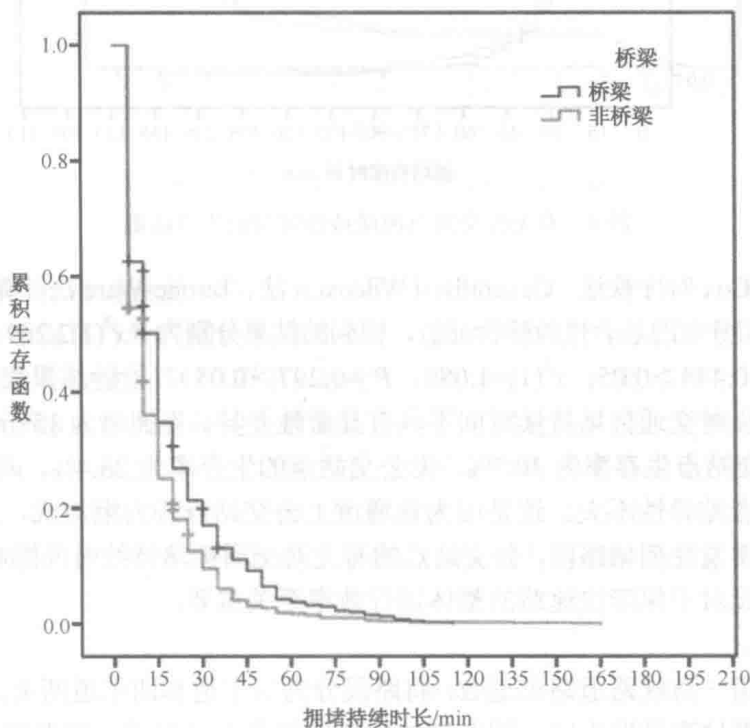


图 8 桥梁路段拥堵持续时间的生存函数

由 Mantel-Cox 时序秩检验得到的桥梁与非桥梁路段的拥堵持续时间分布存在显著性差异 ($\chi^2(1)=22.849, P<0.001$)。拥堵在 45 分钟时, 桥梁与其他路段拥堵持续时间分布的差异性最大, 桥梁的拥堵持续时间生存率为 11.1%, 其他路段生存率为 4.1%, 两者相差 7%。

(2) 公交站点。

根据路段是否设有公交站点, 将路段分为有公交站点和无公交站点两类。交通拥堵发生时, 拥堵持续时间小于 10 分钟时, 有公交站点与无公交站点生存率曲线基本重合; 拥堵超过 10 分钟后, 有公交站点的路段生存率略大于无公交站点的路段。有无公交站点拥堵持续时间的生存函数如图 9 所示。

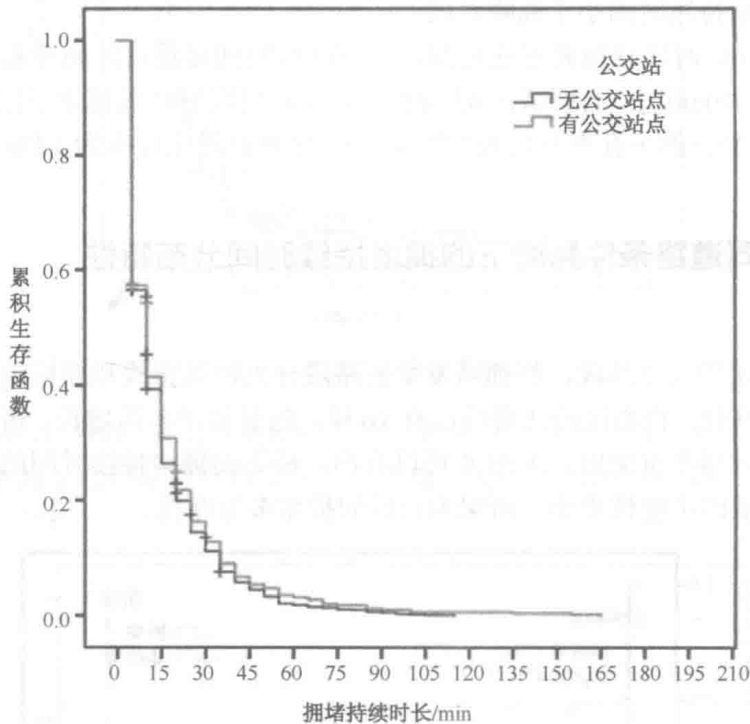


图 9 有无公交站点拥堵持续时间的生存函数

采用 Mantel-Cox 时序秩法、Generalized Wilcoxon 法、Tarone-Ware 法计算有无公交站点对交通拥堵持续时间分布的显著性检验特征值, 得到的结果分别为 ($\chi^2(1)2.289, P=0.13>0.05$; $\chi^2(1)=0.587, P=0.444>0.05$; $\chi^2(1)=1.089, P=0.297>0.05$)。检验结果表明研究路段上有无公交站点的布设对交通拥堵持续时间不具有显著性差异。当拥堵为 15 分钟时, 拥堵差异最大, 此时, 公交站点生存率为 30.7%, 无公交站点的生存率为 28.4%, 两者仅相差 2.3%, 但也可以看出二者差异性不大。这是因为该通道上公交站点皆为港湾式, 主要分布在道路条件比较好的非常发性拥堵路段, 公交站点的有无对交通拥堵持续时间影响不显著。因此, 公交站的合理布设对于保障快速路的整体运行效率至关重要。

(3) 车道数。

根据龙腾大道—海峡路道路车道数, 将路段分为三车道和四车道两类。由图 10 中的生存函数可以看出拥堵事件发生时, 四车道的生存曲线高于三车道, 四车道更容易发生长时间交通拥堵, 问题更严峻。在拥堵发生前提下, 桥梁与其他路段相比, 拥堵持续的时间更