

文章编号:1671-1637(2014)06-0083-09

基于事故数据与安全服务水平的高速公路 路段安全性评价方法

孟祥海, 李 昕, 郑 来

(哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:分析了高速公路路段的基本划分方法,提出了基于事故点集疏程度的动态聚类路段不定长划分方法,依据负二项分布标定了事故预测模型,提出了基于负二项分布的路段安全性评价方法。引入交通安全服务的水平概念,确定了分级标准,提出了基于安全服务水平的高速公路路段安全性评价方法,并进行了实例验证。验证结果表明:分别利用2种方法对京珠高速公路109个路段进行安全性评价时,57.8%的路段评价结果相同;利用基于负二项分布的安全性评价方法评价的安全状况良好、较好、较差、差的路段分别为5、63、36、5个,利用基于安全服务水平的安全性评价方法评价的结果分别为1、64、26、18个,基于负二项分布的安全性评价方法评价的安全等级更符合实际高速公路安全状况。基于负二项分布的安全性评价方法考虑了交通量与线形条件,适用于线形条件复杂的高速公路,基于安全服务水平的安全性评价方法考虑了交通量与事故次数,更适用于线形条件较好的高速公路。

关键词:交通安全;高速公路;安全性评价;路段划分;动态聚类分析;负二项分布;安全服务水平
中图分类号:U491 **文献标志码:**A

Safety evaluation method of freeway segment based on accident data and safety service level

MENG Xiang-hai, LI Xin, ZHENG Lai

(School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, Heilongjiang, China)

Abstract: The basic division method of freeway segment was analyzed, the unequal-length division method of dynamic clustering segment based on the concentration and dispersion degrees of accident point was put forward. The accident prediction model was calibrated based on negative binomial distribution, the safety evaluation method of freeway segment based on negative binomial distribution was proposed. The concept of safety service level was introduced, the classification standard was determined, the safety evaluation method of freeway segment based on safety service level was proposed, and the example verification was carried out. Verification result indicates that when the 109 segments of Jingzhu Freeway are evaluated by using the two methods respectively, the 57.8% of segments have the same results, the segment amounts of safety conditions in great, good, normal, poor are 5, 63, 36 and 5 respectively by using the safety evaluation method based on negative binomial distribution, while the segment amounts of safety conditions in great, good, normal, poor are 1, 64, 26 and 18 respectively by using the safety evaluation method based on safety service level. The evaluation result of safety evaluation

收稿日期:2014-07-07

基金项目:国家自然科学基金项目(51329801);辽宁省交通科技项目(201306)

作者简介:孟祥海(1969-),男,黑龙江海伦人,哈尔滨工业大学教授,工学博士,从事道路交通安全研究。

method based on negative binomial distribution is more in line with freeway actual safety situation. The safety evaluation method based on negative binomial distribution considers traffic volume and geometric alignment, and is more suitable for the freeway with complex geometric alignment conditions. The safety evaluation method based on safety service level considers traffic volume and accident frequency, and is more suitable for the freeway with better geometric alignment conditions. 8 tabs, 5 figs, 20 refs.

Key words: traffic safety; freeway; safety evaluation; segment division; dynamic cluster analysis; negative binomial distribution; safety service level

Author resume: MENG Xiang-hai(1969-), male, professor, PhD, +86-451-86282116, mengxianghai-100@126.com.

0 引 言

高速公路路段安全性评价一直是高速公路交通安全管理的重要工作内容之一,而如何科学、准确地评定高速公路的交通安全状况也一直是一个需要不断研究的科学问题。高速公路路段划分是进行路段安全性评价的首要工作^[1-2],胡江碧等研究不同线形组合的高速公路路段划分方法,提出基于驾驶人驾驶负荷的路段划分方法^[3];Ahmed等提出基于几何线形条件的路段划分方法,将具有同一属性的路段划为一段^[4-7]。这些方法均侧重于路段的某一特征实现路段划分,并未重视事故分布对路段划分的影响。

张驰等引入空间有效视野的概念,建立了高速公路安全性评价方法^[8];孟祥海等以统计分布原理为基础,提出综合事故率系数法,用以评定高速公路的安全性^[9-10];刘建蓓等提出将运行速度协调性指标、几何线形连续性指标、驾驶人心理生理负荷等指标作为高速公路安全性综合评价的指标^[11];董城等探讨了设计速度、运行速度的协调性评价与高速公路安全性评价的相关性^[12];符铎等运用模糊综合评价方法评价了高速公路线形安全性^[13-14];Berhanu等建立基于交通量、道路环境与交通安全的评价模型,评价了道路主干道的交通安全性^[15-16];Qin等指出交通事故与交通量之间是非线性相关的,并用方差分析方法评价了道路交通安全性^[17];Kononov等提出安全服务水平的概念^[18-20]。

目前的安全性评价方法研究大都以事故指标为出发点,较少考虑不同地形条件下评价方法的适用性,因此,本文提出2种高速公路路段安全性评价方法,探讨2种评价方法在不同地形条件下的适用性。首先,基于地理信息系统开发了高速公路几何线形与交通事故管理系统,用以存储和调用数据,然后,进行路段划分方法选择,提出基于事故点分布的动

态聚类不定长路段划分方法;在路段划分的基础上,分析路段上事故次数的统计分布特征,标定基于负二项分布的路段事故次数预测模型,建立了路段安全性评价方法;其次,给出交通安全服务水平概念,选择安全服务水平评价指标并确定安全服务水平分级标准,建立基于安全服务水平路段安全性评价方法;最后,分别应用基于负二项分布的和基于安全服务水平路段安全性评价方法进行案例分析,并对2种评价方法的适用条件进行比较分析。

1 数据来源与处理

本文对粤赣高速公路广东省境内段(简称为粤赣高速公路)、京珠高速公路粤北段(简称为京珠高速公路)开展了资料收集和交通调查工作,获得了高速公路几何线形、交通事故与交通流参数等基础数据。粤赣高速公路长度为136 km,双向四车道,设计速度为 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,是典型的重丘区高速公路;京珠高速公路长度为109 km,双向四车道,设计速度为 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,是典型的山岭区高速公路。

基于地理信息系统开发了高速公路几何线形与交通事故数据管理系统,用以存储和调用数据。几何线形数据管理系统可依据平纵线形指标将路段划分至几何上不可再分的最小路段单元,以粤赣高速公路为例,路段划分结果见图1。交通事故数据管理系统通过每起事故发生时的里程桩号实现与几何线形数据管理系统的相互调用,并可用于事故数据的统计分析和事故率计算。2条高速公路的几何线形数据和交通事故数据分别见表1、2。

2 基于事故点分布的路段划分

2.1 路段划分的目的

在评定交通安全状况时,进行路段划分是首先要完成的工作之一,然后才能对各个路段进行交通

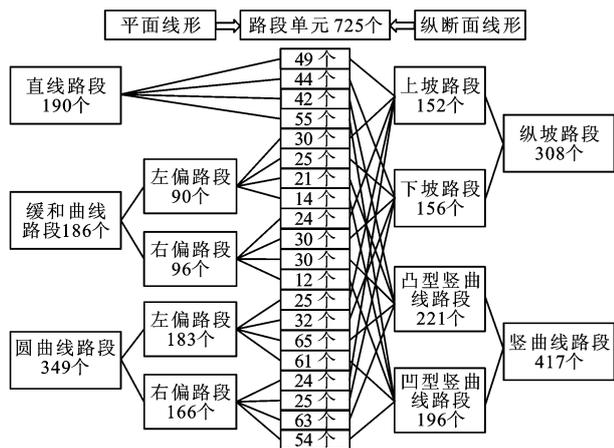


图 1 基本路段划分结果

Fig. 1 Division result of basic segments

表 1 几何线形指标

Tab. 1 Geometric alignment indexes

高速公路	粤赣高速公路	京珠高速公路
最小直线段长度/m	200	145
最小平曲线半径/m	712	500
最大偏角/(°)	70	100
最大纵坡坡度/%	4	5
最小凸型竖曲线半径/m	10 000	8 000
最小凹型竖曲线半径/m	8 000	7 000

表 2 交通事故数据

Tab. 2 Traffic accident data

高速公路	粤赣高速公路						京珠高速公路		
	年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2010	2011
事故次数	533	253	151	356	263	191	488	571	505
死亡人数	24	23	11	14	12	4	53	49	25
受伤人数	131	21	21	19	10	4	96	104	28

安全状况评定。显然,如何结合事故点分布的集疏程度或几何线形特征来合理划分路段显著非常重要。

2.2 路段划分方法选择

路段划分方法主要有定长法和不定长法 2 类。定长法是指按 0.5 km 或者 1.0 km 将路线划分为均匀、等长的若干个路段,一般不考虑或较少考虑事故点的分布状态。不定长法是指按事故点的集疏程度或道路特征对路段进行划分,路段长度不尽相同。本文提出了一种基于事故点分布并应用动态聚类算法的不定长路段划分方法。

2.3 动态聚类路段划分方法的原理与应用

首先,以路段长度(以 km 计)的取整值作为初始分类数,并取每 1 km 上的中点桩号作为初始聚

类中心;然后,以各事故点的里程桩号为属性变量,分别计算其与各初始聚类中心的距离(本文采用欧式距离),并以最短距离为依据确定各事故点所属的类别,从而形成新的分类;对于新分类,加权计算各类的聚类中心,并重新计算各事故点到各新中心的距离,进而形成新的分类;上述过程重复进行,直至各事故点的归属与聚类中心均已收敛,此时即可得到最终确定的路段划分结果。应用上述方法,对粤赣高速公路和京珠高速公路进行路段划分,结果分别见表 3、4,粤赣高速公路共划分出 136 个不等长路段,最短的路段长度为 325 m,最长的路段长度为 2 140 m,平均长度为 1 000 m;京珠高速公路共划分出 109 个不等长路段,最短的路段长度为 384 m,最长的路段长度为 3 270 m,平均长度为 1 002 m。

3 基于负二项分布的路段安全性评价方法

3.1 路段事故次数的统计分布特征

基于动态聚类路段划分结果,分别对各路段上的事故次数进行统计分析,计算各路段事故次数均值、方差,计算结果见表 5,从中可以看出各路段上事故次数的均值远小于方差,即路段上的事故次数符合负二项分布。

3.2 基于负二项分布的路段安全状况评价原理

首先,依据路段年平均日交通量与其几何线形指标,建立基于负二项分布的路段事故次数(路段上最可能出现事故次数,可理解为均值)预测模型。依据 95%置信水平,同样应用负二项分布建立路段事故次数上下限预测模型。通过对比路段实际发生的事故次数与预测事故次数进行路段安全状况评定,具体评定准则是:若实际事故次数小于预测事故次数下限值,则该路段安全状况良好;若实际事故次数介于下限值与预测均值之间,则该路段安全状况较好;若实际事故次数介于预测均值与上限值之间,则该路段安全状况较差;若实际事故次数大于预测事故次数上限值,则该路段安全状况差。

3.3 基于负二项分布的路段事故次数预测模型

当预测事故次数时,负二项分布函数与预测模型分别为

$$P(u_j) = \frac{\Gamma(u_j + \alpha^{-1})}{u_j! \Gamma(\alpha^{-1})} \left(\frac{\alpha^{-1}}{\alpha^{-1} + \lambda_j} \right)^{\alpha^{-1}} \left(\frac{\lambda_j}{\alpha^{-1} + \lambda_j} \right)^{u_j} \quad (1)$$

$$\lambda = \exp \left(\sum_{k=1}^{10} \beta_k x_k + \beta_0 \right) \quad (2)$$

式中: $\Gamma(\cdot)$ 为伽马函数; $P(u_j)$ 为路段 j 上发生 u 次

表3 粤赣高速公路路段划分结果

Tab. 3 Segment division result of Yuegan Freeway

编号	聚类中心桩号	路段长度/m	事故次数	编号	聚类中心桩号	路段长度/m	事故次数	编号	聚类中心桩号	路段长度/m	事故次数
1	K0+730	910	4	47	K33+768	1 020	5	93	K84+950	975	7
2	K1+197	565	9	48	K34+866	830	12	94	K85+957	865	7
3	K1+900	675	22	49	K35+371	825	13	95	K86+856	1 010	9
4	K2+410	775	20	50	K36+354	850	5	96	K87+764	875	7
5	K3+383	1 025	6	51	K37+248	835	12	97	K88+650	825	4
6	K4+376	825	11	52	K38+017	865	13	98	K89+393	600	3
7	K5+186	750	7	53	K39+065	840	20	99	K89+985	825	13
8	K5+771	460	7	54	K39+583	535	9	100	K90+896	875	7
9	K6+294	615	5	55	K40+304	900	39	101	K91+550	375	1
10	K6+910	1 075	5	56	K41+258	1 025	22	102	K91+963	500	4
11	K8+075	1 055	2	57	K42+240	825	19	103	K92+550	850	6
12	K9+340	820	4	58	K42+983	810	35	104	K93+410	610	2
13	K9+800	500	3	59	K43+894	965	12	105	K94+100	765	2
14	K10+250	450	4	60	K44+752	800	16	106	K94+638	850	4
15	K10+807	600	7	61	K45+659	885	13	107	K95+700	575	1
16	K11+356	738	4	62	K46+471	815	16	108	K96+202	1 115	6
17	K12+342	737	6	63	K47+447	950	23	109	K97+978	1 865	19
18	K12+781	475	8	64	K48+158	725	22	110	K99+743	1 910	35
19	K13+238	500	8	65	K49+008	885	11	111	K101+624	2 060	28
20	K13+816	605	10	66	K49+892	1 105	5	112	K104+023	2 050	18
21	K14+501	595	23	67	K51+120	760	4	113	K105+608	1 450	37
22	K15+036	600	35	68	K51+489	650	7	114	K106+918	1 350	13
23	K15+633	1 075	15	69	K52+433	675	3	115	K108+536	1 750	16
24	K16+800	1 075	1	70	K52+900	450	2	116	K109+825	850	2
25	K18+275	1 130	2	71	K53+392	563	6	117	K111+121	1 600	12
26	K19+005	620	2	72	K54+013	592	6	118	K112+589	1 300	10
27	K19+450	600	2	73	K54+576	745	8	119	K113+681	1 200	8
28	K20+381	775	7	74	K55+346	975	25	120	K114+810	1 075	3
29	K20+810	325	5	75	K56+808	2 000	23	121	K115+800	750	1
30	K21+137	590	7	76	K59+320	2 075	47	122	K116+878	1 450	5
31	K21+987	860	6	77	K60+761	1 265	28	123	K118+325	1 100	2
32	K22+710	550	5	78	K61+839	1 545	19	124	K119+000	675	1
33	K23+243	600	13	79	K63+773	1 920	29	125	K119+933	1 150	3
34	K23+839	800	12	80	K65+822	1 975	36	126	K121+360	1 210	2
35	K24+768	630	5	81	K67+717	1 845	29	127	K122+094	1 215	13
36	K25+140	420	2	82	K69+623	2 110	32	128	K123+620	1 025	5
37	K25+600	420	2	83	K71+881	2 140	35	129	K124+200	450	1
38	K26+205	580	4	84	K73+783	1 840	43	130	K124+830	1 050	5
39	K26+600	425	2	85	K75+497	1 625	24	131	K126+490	1 800	18
40	K27+135	610	11	86	K77+013	1 635	26	132	K128+232	1 965	13
41	K27+617	615	3	87	K78+912	1 750	26	133	K130+606	1 860	16
42	K29+019	1 575	17	88	K80+339	1 150	7	134	K131+519	990	7
43	K30+205	1 125	32	89	K81+284	1 050	5	135	K133+061	1 935	15
44	K31+205	975	20	90	K82+650	1 100	6	136	K134+836	2 052	7
45	K32+140	925	5	91	K83+420	750	5				
46	K32+900	625	2	92	K84+088	725	4				

表 4 京珠高速公路路段划分结果

Tab. 4 Segment division result of Jingzhu Freeway

编号	聚类中心桩号	路段长度/m	事故次数	编号	聚类中心桩号	路段长度/m	事故次数	编号	聚类中心桩号	路段长度/m	事故次数
1	K0+205	420	2	38	K27+956	600	6	75	K60+070	970	15
2	K0+725	740	9	39	K28+794	730	4	76	K60+754	930	10
3	K1+579	1 132	5	40	K29+340	520	8	77	K62+008	716	8
4	K3+082	1 106	9	41	K30+012	700	7	78	K62+679	940	16
5	K4+220	852	6	42	K30+966	1 300	10	79	K63+413	644	9
6	K4+864	1 110	9	43	K32+216	1 000	13	80	K64+382	845	5
7	K5+583	490	7	44	K32+924	850	14	81	K65+337	855	11
8	K6+259	705	6	45	K33+734	950	18	82	K65+850	384	5
9	K6+778	445	4	46	K34+733	825	20	83	K66+332	618	7
10	K7+494	1 000	9	47	K35+661	998	17	84	K67+265	1 018	5
11	K8+355	553	4	48	K36+363	807	20	85	K68+794	1 097	10
12	K8+732	737	9	49	K37+087	497	12	86	K69+405	901	28
13	K9+221	760	6	50	K38+054	940	9	87	K70+327	1 166	6
14	K10+022	563	12	51	K38+712	533	2	88	K71+509	1 316	5
15	K10+638	468	7	52	K39+227	435	4	89	K72+937	1 361	13
16	K11+596	626	7	53	K39+747	774	3	90	K74+115	1 310	12
17	K12+445	768	5	54	K40+707	791	2	91	K75+149	829	12
18	K12+906	875	11	55	K41+325	685	3	92	K76+291	884	8
19	K13+750	495	4	56	K41+872	427	2	93	K77+890	1 596	24
20	K14+209	530	5	57	K42+274	755	8	94	K79+163	1 480	48
21	K14+558	625	12	58	K42+944	733	8	95	K80+562	2 040	35
22	K15+333	12	41	59	K43+912	791	13	96	K82+458	2 200	51
23	K15+987	710	27	60	K45+721	1 284	4	97	K84+635	2 100	36
24	K16+644	499	15	61	K47+055	2 004	21	98	K85+733	1 316	14
25	K17+044	681	29	62	K48+409	1 546	41	99	K87+282	684	11
26	K17+756	1 015	11	63	K49+887	1 225	61	100	K88+394	1 000	18
27	K18+642	975	11	64	K50+902	972	98	101	K89+598	2 000	17
28	K19+800	1 050	24	65	K51+913	978	11	102	K91+759	2 000	31
29	K20+877	1 057	34	66	K52+848	845	9	103	K94+527	3 270	23
30	K21+709	761	21	67	K53+720	755	24	104	K97+971	2 890	38
31	K22+709	877	4	68	K54+396	1 000	19	105	K100+893	2 937	42
32	K23+685	725	8	69	K55+186	510	8	106	K103+165	2 307	20
33	K24+385	840	11	70	K55+957	1 030	8	107	K104+936	2 396	22
34	K25+299	760	8	71	K57+042	948	5	108	K106+181	1 610	8
35	K25+840	400	11	72	K57+922	1 030	5	109	K108+399	882	8
36	K26+329	647	13	73	K58+943	600	2				
37	K27+003	1 103	19	74	K59+356	682	8				

表 5 统计分析指标

Tab. 5 Statistic analysis indexes

高速公路	最大事故次数	最小事故次数	事故次数均值	事故次数方差
粤赣高速公路	47.00	1.00	11.74	107.79
京珠高速公路	98.00	2.00	14.35	188.65

事故的概率; λ_j 为路段 j 上事故次数的均值; α 为独立变量,表示负二项分布的离散程度; λ 为标定事故次数预测值; x_k 为第 k 个路段参数; β_k 为第 k 个路段参数的系数; β_0 为待定常数。

初选的自变量有 10 个: x_1 为平曲线半径(km); x_2 为平曲线长度(km); x_3 为偏角($^\circ$); x_4 为平曲线转

角变化和($^{\circ}$); x_5 为竖曲线半径(10^4 m); x_6 为竖曲线长度(km); x_7 为纵坡坡度($\%$); x_8 为竖曲线转角变化和($\%$); x_9 为日平均交通量($\text{pcu} \cdot \text{d}^{-1}$); x_{10} 为动态聚类路段划分的路段长度(km)。 $x_1 \sim x_8$ 分别为

$$x_1 = \min \{ x_{11}, \dots, x_{1i}, \dots, x_{1n} \} \quad (3)$$

$$x_2 = \sum_{i=1}^n x_{2i} \quad (4)$$

$$x_3 = \max \{ |x_{31}|, \dots, |x_{3i}|, \dots, |x_{3n}| \} \quad (5)$$

$$x_4 = \sum_{i=1}^{n-1} \left| |x_{3(i+1)}| - |x_{3i}| \right| \quad (6)$$

$$x_5 = \min \{ x_{51}, \dots, x_{5i}, \dots, x_{5n} \} \quad (7)$$

$$x_6 = \sum_{i=1}^n x_{6i} \quad (8)$$

$$x_7 = \max \{ |x_{71}|, \dots, |x_{7i}|, \dots, |x_{7n}| \} \quad (9)$$

$$x_8 = \sum_{i=1}^{n-1} \left| |x_{7(i+1)}| - |x_{7i}| \right| \quad (10)$$

式中: x_{1i} 为第*i*个平曲线的半径; x_{2i} 为第*i*个平曲线的长度; x_{3i} 为第*i*个偏角,右偏为正,左偏为负; x_{5i} 为第*i*个竖曲线的半径; x_{6i} 为第*i*个竖曲线的长度; x_{7i} 为第*i*个坡度,上坡为正,下坡为负。

2条高速公路的模型标定结果分别见表6、7, z 为统计检验值, P 为显著性水平。

表6 粤赣高速公路模型标定结果

Tab. 6 Model calibration result of Yuegan Freeway

分类	系数	标准差	z	$P > z$	95%置信区间	
坡度	0.115 9	0.052 8	2.19	0.028	0.012 4	0.219 4
交通量	-0.765 8	0.132 2	-5.79	0.000	-1.024 9	-0.506 7
路段长度	1.354 8	0.141 6	9.57	0.000	1.077 3	1.632 3
待定常数	2.773 1	0.342 8	8.09	0.000	2.101 2	3.445 0
独立变量	0.319 5	0.050 9	0.00	0.000	0.233 8	0.436 6

表7 京珠高速公路模型标定结果

Tab. 7 Model calibration result of Jingzhu Freeway

分类	系数	标准差	z	$P > z$	95%置信区间	
偏角	0.008 5	0.003 1	2.73	0.006	0.002 4	0.014 5
竖曲线半径	-0.111 8	0.043 4	2.58	0.010	-0.196 8	-0.026 8
坡度	0.243 9	0.051 0	4.78	0.000	0.143 9	0.343 8
交通量	0.202 6	0.198 6	1.02	0.308	-0.186 7	0.591 9
路段长度	0.761 9	0.113 3	6.72	0.000	0.539 8	0.984 1
待定常数	0.058 0	0.656 5	0.09	0.030	-1.228 8	1.344 8
独立变量	0.277 0	0.046 3	0.00	0.000	0.199 6	0.384 4

经过标定,分别得到2条高速公路的事故预测

模型,结果为

$$\lambda_{11} = \exp(0.219 4x_7 - 0.506 7x_9 + 1.632 3x_{10} + 3.445 0) \quad (11)$$

$$\lambda_{21} = \exp(0.115 9x_7 - 0.765 8x_9 + 1.354 8x_{10} + 2.773 1) \quad (12)$$

$$\lambda_{31} = \exp(0.012 4x_7 - 1.024 9x_9 + 1.077 3x_{10} + 2.101 2) \quad (13)$$

$$\lambda_{12} = \exp(0.014 5x_3 - 0.026 8x_5 + 0.343 8x_7 + 0.591 9x_9 + 0.984 1x_{10} + 1.344 8) \quad (14)$$

$$\lambda_{22} = \exp(0.008 5x_3 - 0.111 8x_5 + 0.243 9x_7 + 0.202 6x_9 + 0.761 9x_{10} + 0.058 0) \quad (15)$$

$$\lambda_{32} = \exp(0.002 4x_3 - 0.196 8x_5 + 0.143 9x_7 - 0.186 7x_9 + 0.539 8x_{10} - 1.228 8) \quad (16)$$

式中: λ_{11} 、 λ_{21} 、 λ_{31} 分别为粤赣高速公路事故预测上限值、均值与下限值; λ_{12} 、 λ_{22} 、 λ_{32} 分别为京珠高速公路事故预测上限值、均值与下限值。

4 基于安全服务水平的路段安全性评价方法

4.1 交通安全服务水平的概念与评价指标

借鉴高速公路交通服务水平概念,提出交通安全服务水平概念,用来评价路段的交通安全状况。交通安全服务水平可选取某一交通量范围下路段上的事故次数、伤亡人数作为评价指标,为了与基于负二项分布的路段安全性评价相一致,仍然选择事故次数作为评价指标。

4.2 交通安全服务水平分级

将交通安全服务水平分为4级,一级服务水平代表路段安全状况良好,事故次数明显低于平均值,事故次数再降低的可能性不大;二级服务水平代表安全状况较好,事故次数低于平均值;三级服务水平代表安全状况较差,事故次数高于平均值,需要采取措施改善其安全状况;四级服务水平代表安全状况差,事故次数明显高于平均值,该类路段可认为是传统意义上的事故多发路段,急需采取措施改善其交通安全状况。

4.3 安全服务水平分级标准的确定

依据路段上的最大与最小交通量的取值情况,将交通量分成 n_1 个区间,统计隶属于各交通量区间上的路段及其事故次数,并计算第*a*个交通量区间事故次数的均值 E_a ,标准差 σ_a 以及交通量区间上的 $E_a + 1.5\sigma_a$ 和 $E_a - 1.5\sigma_a$,从而得到3组统计样本数据,即 $E_a + 1.5\sigma_a$ 、 E_a 、 $E_a - 1.5\sigma_a$ 。应用3组统计样本数据分别标定3条回归曲线,分别为事故次数

的上限值曲线、均值曲线和下限值曲线;3 条回归曲线依据交通量的大小可将路段事故次数划分为 4 个区间,即 4 个安全服务水平区间,对任意路段,依据交通量的大小和事故次数,对照安全评价标准即可判定其交通安全状况(交通安全服务水平)。依据上述方法确定的粤赣和京珠高速公路安全服务水平分级标准,分别见图 2、3。粤赣高速公路与京珠高速

式中: y_{11} 、 y_{21} 、 y_{31} 分别为粤赣高速公路安全服务水平上限值、均值、下限值; y_{12} 、 y_{22} 、 y_{32} 分别为京珠高速公路安全服务水平上限值、均值、下限值; x 为路段交通量; R_{11}^2 、 R_{21}^2 、 R_{31}^2 、 R_{12}^2 、 R_{22}^2 、 R_{32}^2 分别为与安全服务水平 y_{11} 、 y_{21} 、 y_{31} 、 y_{12} 、 y_{22} 、 y_{32} 对应的判定系数。

5 计算结果分析

以京珠高速公路为例,分别应用基于负二项分布的安全性评价方法(方法 1)、基于安全服务水平的安全性评价方法(方法 2)进行路段安全性评价,评价结果见图 4、5 与表 8,表 8 中数字 1~4 分别代表 4 种安全等级,依次为良好、较好、较差和差。

由图 4、5 及表 8 可知,在 109 个评价路段中,2 种评价方法评价结果完全相同的有 63 个路段,占路段总数的 57.8%,有 42 个路段的评价结果相差一个级别,有 4 个路段的评价结果相差 2 个级别。方法 1 评定出的安全状况良好、较好、较差和差的路段数量分别为 5、63、36 和 5 个,而方法 2 的分别为 1、64、26 和 18 个。方法 1 从几何线形单元层面对每个评价路段建立分级标准,需获得各路段线形要素,计算过程复杂,方法 2 依据路段平均交通量建立 6 个宏观分级标准,算法简单。影响方法 1 评价结果的主要因素有线形指标与交通量,其中线形指标的影响更为重要,影响方法 2 的主要因素为交通量。对于案例中处于山岭重丘区、线形条件复杂的京珠高速公路,使用方法 1 评价路段安全状况更为合适。

6 结 语

基于事故点分布的动态聚类路段划分方法能够依据事故分布的集疏程度对路线进行不定长划分,从而克服了定长法主观性过强的缺点。基于负二项分布的路段安全性评价方法不仅考虑了路段交通量更重要的是考虑了线形条件对交通安全的影响,特别适用山岭区与重丘区等线形复杂地区的高速公路,该方法主要缺点是算法复杂与可移植性不强。基于安全服务水平路段安全性评价方法在确定评价标准后,可快速地依据交通量及事故次数对路段进行安全性评价,比较适合于平原区等线形条件较高的高速公路(此类高速公路交通量往往是事故发生的最主要影响因素),其缺点是没有明确考虑路段的线形条件。如何在路段级别的安全性评价中考虑驾驶人等主观因素一直是一个值得研究的问题;交通安全问题涉及量和质 2 个层面,量即事故次数,质

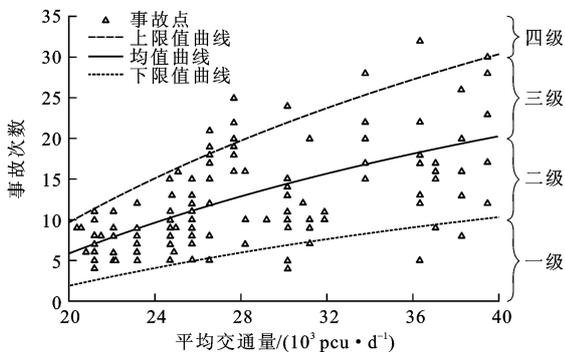


图 2 粤赣高速公路安全服务水平分级标准

Fig. 2 Classification standard of safety service level for Yuegan Freeway

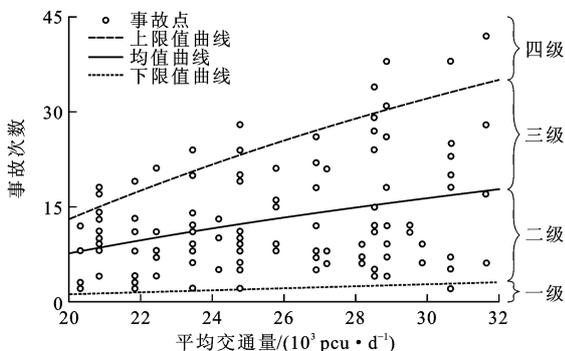


图 3 京珠高速公路安全服务水平分级标准

Fig. 3 Classification standard of safety service level for Jingzhu Freeway

公路服务水平分级标准分别为

$$\begin{cases} y_{11} = 29.67\ln(x) - 284.0 \\ R_{11}^2 = 0.766 \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} y_{21} = 20.84\ln(x) - 200.6 \\ R_{21}^2 = 0.754 \end{cases} \quad (18)$$

$$\begin{cases} y_{31} = 12.02\ln(x) - 117.1 \\ R_{31}^2 = 0.582 \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} y_{12} = 47.28\ln(x) - 455.2 \\ R_{12}^2 = 0.870 \end{cases} \quad (20)$$

$$\begin{cases} y_{22} = 21.77\ln(x) - 208.0 \\ R_{22}^2 = 0.849 \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} y_{32} = 3.874\ln(x) - 37.18 \\ R_{32}^2 = 0.760 \end{cases} \quad (22)$$

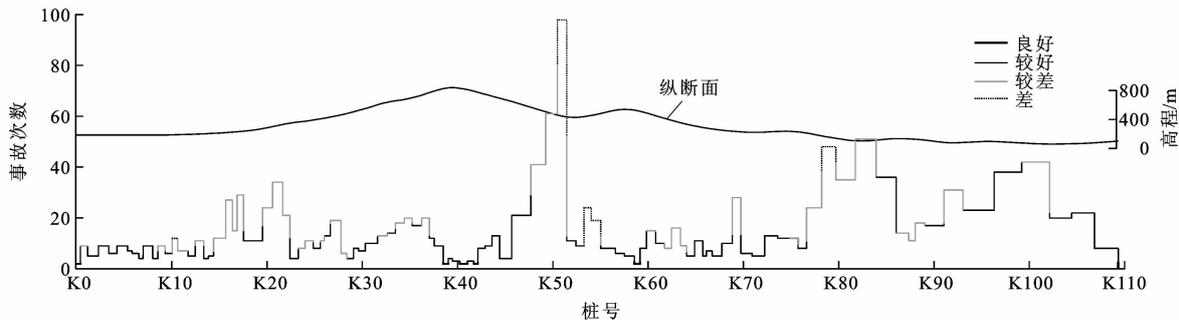


图4 利用方法1得到的评价结果

Fig. 4 Evaluation result by using method 1

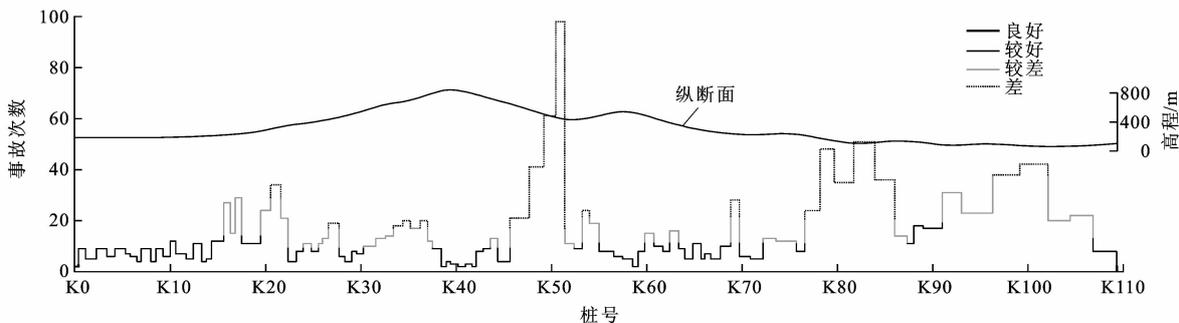


图5 利用方法2得到的评价结果

Fig. 5 Evaluation result by using method 2

表8 两种方法评价结果的比较

Tab. 8 Comparison of evaluation results for two methods

路段编号	方法1	方法2												
1	1	1	23	3	3	45	3	4	67	4	4	89	2	3
2	3	2	24	3	3	46	3	4	68	4	3	90	2	3
3	2	4	25	3	3	47	2	3	69	2	2	91	3	3
4	2	2	26	2	2	48	3	4	70	2	2	92	2	2
5	2	2	27	2	2	49	2	3	71	2	2	93	3	4
6	2	2	28	3	3	50	2	2	72	2	2	94	4	4
7	2	2	29	3	4	51	1	2	73	1	2	95	3	4
8	2	2	30	3	3	52	2	2	74	2	2	96	3	4
9	2	2	31	2	2	53	2	2	75	3	3	97	2	4
10	2	2	32	3	2	54	1	2	76	2	2	98	3	3
11	2	2	33	2	3	55	2	2	77	3	2	99	3	2
12	3	2	34	2	2	56	1	2	78	3	3	100	3	2
13	2	2	35	3	3	57	2	2	79	2	2	101	2	2
14	4	2	36	2	3	58	2	2	80	2	2	102	3	3
15	3	2	37	3	4	59	2	3	81	2	2	103	2	3
16	3	2	38	3	2	60	2	2	82	2	2	104	2	4
17	2	2	39	2	2	61	2	4	83	2	2	105	3	4
18	3	2	40	2	2	62	3	4	84	2	2	106	2	3
19	2	2	41	2	2	63	3	4	85	2	2	107	2	3
20	2	2	42	2	3	64	4	4	86	3	4	108	2	2
21	3	2	43	3	3	65	2	3	87	2	2	109	2	2
22	3	2	44	2	3	66	2	2	88	2	2			

即事故严重程度,本文仅从量的层面探讨了路段安全性评价问题,还应进一步引入交通安全中质的特征,提出的2个路段安全性评价方法还有待进一步检验、验证和完善。

参考文献:

References:

- [1] HAUER E, KONONOV J, ALLERY B, et al. Screening the road network for sites with promise [J]. *Transportation Research Record*, 2002(1784): 27-32.
- [2] 孟祥海,李梅,麦强,等.高速公路事故多发点鉴别及诱发因素识别[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2011, 11(1): 114-120. MENG Xiang-hai, LI Mei, MAI Qiang, et al. Research on identification of black spot and accident inducing factor for freeway[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2011, 11(1): 114-120. (in Chinese)
- [3] 胡江碧,王维利,王健.高速公路不同线形组合路段划分研究[J]. *中国公路学报*, 2010, 23(增): 53-57. HU Jiang-bi, WANG Wei-li, WANG Jian. Research on classification of various combined alignment section on expressway[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2010, 23(S): 53-57. (in Chinese)
- [4] AHMED M, HUANG H, ABDEL-ATY M, et al. Exploring a Bayesian hierarchical approach for developing safety performance functions for a mountainous freeway[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2011, 43(4): 1581-1589.
- [5] 陈毕伍,石宝林,雷茂锦.基于物元模型的高速公路交通安全评价体系[J]. *长安大学学报:社会科学版*, 2008, 10(4): 20-24. CHEN Bi-wu, SHI Bao-lin, LEI Mao-jin. Traffic safety assessment for expressway based on matter element model[J]. *Journal of Chang'an University: Social Science Edition*, 2008, 10(4): 20-24. (in Chinese)
- [6] 孟祥海,盛洪飞,陈天恩.事故多发点鉴别本质及基于BP神经网络的鉴别方法研究[J]. *公路交通科技*, 2008, 25(3): 124-129. MENG Xiang-hai, SHENG Hong-fei, CHEN Tian-en. Essence and an approach to identify the hazardous locations of urban arterial link based on BP artificial neural network[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2008, 25(3): 124-129. (in Chinese)
- [7] 孟祥海,黄宝安,宋春花.事故多发点鉴别及其成因分析[J]. *交通信息与安全*, 2009, 27(3): 108-111, 128. MENG Xiang-hai, HUANG Bao-an, SONG Chun-hua. Hazardous locations identification and causes analysis[J]. *Journal of Transport Information and Safety*, 2009, 27(3): 108-111, 128. (in Chinese)
- [8] 张驰,杨少伟,潘兵宏,等.基于空间有效视野的高速公路线形安全性评价[J]. *公路交通科技*, 2010, 27(9): 132-137. ZHANG Chi, YANG Shao-wei, PAN Bing-hong, et al. Safety evaluation of expressway alignment based on spatial
- valid vision [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2010, 27(9): 132-137. (in Chinese)
- [9] 孟祥海,关志强,郑来.基于几何线形指标的山区高速公路安全性评价[J]. *中国公路学报*, 2011, 24(2): 103-108. MENG Xiang-hai, GUAN Zhi-qiang, ZHENG Lai. Safety evaluation of mountainous expressway based on geometric alignment indexes[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2011, 24(2): 103-108. (in Chinese)
- [10] 吴焱,钱振邦,王建军,等.高速公路交通安全风险评价与敏感性分析[J]. *长安大学学报:自然科学版*, 2014, 34(4): 134-141. WU Yan, QIAN Zhen-bang, WANG Jian-jun, et al. Traffic safety risk assessment and sensitivity analysis on expressway[J]. *Journal of Chang'an University: Natural Science Edition*, 2014, 34(4): 134-141. (in Chinese)
- [11] 刘建蓓,郭忠印,胡江碧,等.公路路线设计安全性评价方法与标准[J]. *中国公路学报*, 2010, 23(增): 28-35. LIU Jian-bei, GUO Zhong-yin, HU Jiang-bi, et al. Safety evaluation method and standard of highway alignment design[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2010, 23(S): 28-35. (in Chinese)
- [12] 董城,邹静蓉,高琼,等.基于运行速度的高速公路安全性评价探讨[J]. *公路工程*, 2009, 34(4): 64-67. DONG Cheng, ZOU Jing-rong, GAO Qiong, et al. Study on the highway alignment audit based on operating speed[J]. *Highway Engineering*, 2009, 34(4): 64-67. (in Chinese)
- [13] 符铎砂,龙显.公路线形安全性模糊综合评价[J]. *公路*, 2009(6): 88-92. FU Xin-sha, LONG Yu. Fuzzy synthetic evaluation of highway alignment safety[J]. *Highway*, 2009(6): 88-92. (in Chinese)
- [14] IVAN J N, WANG C, BERNARDO N R. Explaining two-lane highway crash rates using land use and hourly exposure[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2000, 32(6): 787-795.
- [15] BERHANU G. Models relating traffic safety with road environment and traffic flows on arterial roads in Addis Ababa [J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2004, 36(5): 697-704.
- [16] PARK E S, PARK J, LOMAX T J. A fully Bayesian multivariate approach to before-after safety evaluation[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2010, 42(4): 1118-1127.
- [17] QIN Xiao, IVAN J N, RAVISHANKER N, et al. Hierarchical Bayesian estimation of safety performance functions for two-lane highways using Markov chain Monte Carlo modeling[J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2005, 131(5): 345-351.
- [18] KONONOV J, ALLERY B K. Explicit consideration of safety in transportation planning and project scoping[J]. *Transportation Research Record*, 2004(1897): 116-125.
- [19] ZHANG Lin, PREVEDOUROS P D. Signalized intersection level of service incorporating safety risk[J]. *Transportation Research Record*, 2003(1852): 77-86.
- [20] LU Jian, PAN Fu-quan, XIANG Qiao-jun. Level-of-safety service for safety performance evaluation of highway intersections[J]. *Transportation Research Record*, 2008(2075): 24-33.