

基于道路线形的平原区高速公路事故分布及致因分析

杨洋, 李莉莉

(山东省交通规划设计院, 山东 济南 250031)

摘要: 关于公路线形对交通安全影响的研究由来已久,《公路路线设计规范》也对部分指标提出了限值,但大多集中在下限值的研究及限制上,对指标多优于规范一般值的平原区高速公路的研究较少,对其指标上限的取值依据不足。文中以某高速公路改扩建项目为依托,对其 2009—2014 年事故分布进行分析,通过对事故集中路段的鉴别,发现平原区高速公路影响交通安全的线形指标主要为小偏角、大半径、长直线、长曲线等,并从这些方面建立了线形指标与事故率间的关系,为平原区高速公路设计提供参考。

关键词: 交通安全;平原区高速公路;事故分布;线形指标

中图分类号: U491.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)04-0044-04

道路作为车辆载体,如何为车辆行驶提供安全、舒适、经济、高效的行车环境是需持续关注的问题。道路几何线形作为车辆行驶环境的骨架,必然与交通事故存在一定联系。JTG D20—2006《公路路线设计规范》从行驶动力、驾驶负荷及心理、视觉等方面对半径、坡度、偏角、长度等提出了极限值或一般值的要求,众多学者也对几何线形与事故率的关系进行了研究。而平原区高速公路线形指标较优,事故率偏低,两者间的关系相对不明显而较少得到关注。吴萌等认为平原区高速公路的主要事故原因为互通区路段的车流交织及长直线路段的车辆超速、车距不足;张晓明等认为直线长度、平曲线转角均与事故率呈抛物线关系、平曲线半径与事故率呈幂指数关系;唐登科等认为事故主要集中在长直线路段、互通区路段、大半径路段,但对于长直线及大半径缺少定量研究;程文等的研究表明直线长度在 $20v$ (v 为设计速度)范围内时事故率随直线长度的增加而增加,在 $>2\ 500\text{ m}$ 的范围内时事故率随平曲线半径的减小而增加。该文收集某高速公路 2009—2014 年的 961 起事故资料,分析平原区高速公路线形与事故率间的关系。

1 工程概况

该高速公路属典型平原区高速公路,设计速度 120 km/h ,双向四车道,路基宽度 27 m ,以平、纵为骨架的几何设计指标均较高(见表 1)。路线全长约 287 km ,2009—2014 年共发生 961 起交通事故,平均每公里事故 3.35 起。

表 1 某高速公路的主要指标分布情况

平曲线半径		纵坡度	
平曲线半径/m	单元个数/处	纵坡度/%	单元个数/处
2 000+	1	<-2	2
3 000+	4	-2	21
4 000+	7	-1	151
5 000+	26	0	26
6 000+	18	1	163
7 000+	8	2	16
8 000+	19	>2	2

2 事故相对集中路段鉴别与分析

该高速公路交通事故率较低且分布较均匀,为有针对性地分析道路线形对事故分布的影响,对事故相对集中路段进行鉴别。根据调查所得事故资料,将 5 年间的事按按照发生地点桩号进行排序,采用移动步长法以固定路段长 1 km 、移动步长 100 m 对各路段的事故进行统计,根据统计出的事故率采取质量控制法,取 95% 置信水平,得出事故多发路段限值:

$$R^+ = \lambda + 1.96 \sqrt{\frac{\lambda}{m} + \frac{1}{2m}}$$

式中: R^+ 为鉴别事故多发路段下限值; λ 为相似区间平均事故率[次/($\text{km} \cdot \text{亿车}$)]; m 为路段累计车辆数(亿车)。

事故率大于 R^+ 时,认为该路段为事故相对集中路段。经鉴别,全线共筛选出事故相对集中路段 25 处,其中事故率最高的 11 段见表 2。

表 2 部分事故相对集中路段

路段 编号	事故率/[次· (km·亿车) ⁻¹]	平面指标/m	纵断面指标	识别结果
1	10.58	$L993.039\ 4+R5\ 500$ (右 $27^{\circ}10'15.8''$)	$i0.156+R120\ 000+i-0.14+R100\ 000+i0.144$	一般路段
2	10.10	$L582.180\ 1+R5\ 591$ (右 $23^{\circ}23'25.5''$)	$i3(L1\ 100)$	大纵坡段
3	8.37	$R3\ 000$ (左 $19^{\circ}2'45.3''$)+ $L1\ 202.386\ 0$	$i0.166$	一般路段
4	10.47	$R5\ 600$ (左 $15^{\circ}42'49.3''$)+ $L2\ 044.688\ 8$	$i-0.081$	互通区
5	9.52	$L1\ 844.679\ 5+R10\ 000$ (左 $4^{\circ}5'52.5''$) + $L2\ 489.712\ 4$	$i0.000+R18\ 000+i1.250+R18\ 000+i0.246$ + $R228\ 000+i0.500+R6\ 800+i-1.270$	一般路段
6	9.52	$R10\ 000$ (左 $6^{\circ}49'40.0''$)+ $L479.238\ 5+$ $R5\ 500$ (右 $11^{\circ}15'36.1''$)	$i0.500+R18\ 400+i-0.500$	一般路段
7	9.52	$R10\ 000$ (左 $4^{\circ}22'24''$)+ $L2\ 783.227\ 1$	$i0.460+R50\ 000+i0.000+R20\ 000+i0.735$	一般路段
8	13.22	$L2\ 104.737\ 5+R7\ 600$ (右 $16^{\circ}10'40.8''$)	$i0.300$	一般路段
9	9.52	$R5\ 500(L4\ 636.836\ 8)$	$i0.716+R90\ 000+i0.100$	一般路段
10	9.52	$R5\ 500(21^{\circ}00'06.8'')+L1\ 082.629\ 8$	$i0.500+i-0.900$	互通区
11	8.37	$R7\ 000$ (左 $9^{\circ}36'14.7''$)	$i0.649+R50\ 000+i0.177$	互通区

注:平面指标中, R 为圆曲线半径(m), L 为直线长度(m);纵断面指标中, i 为纵坡度(%), R 为竖曲线半径(m), L 为坡长(m)。

由表 2 可知:1) 事故相对集中路段与道路几何指标无明显的规律性,这也体现了事故多因素成因的特性。一般路段的特征指标主要体现在大半径、小偏角、长曲线等方面。2) 路线全长 287 km,其中互通及服务区等存在分合流的路段长 27 km,占全路段的 9.4%。经鉴别,共区分出事故相对集中路段 47.3 km,其中分合流路段长 11 km,占 23.2%,交通组织相对复杂路段呈现较高的事故率。3) 事故集中路段的纵断面指标均较优,基本在 1%以内,大部分纵坡在 0.5%以下,且竖曲线指标值远优于视觉要求的指标值,从行车视觉及行驶动力等方面均可忽略纵断面的影响。该高速公路全线采用分散排水,纵断面平坡并不会影响路面水的排出,且事故相对集中路段的事故中只有极个别为雨天事故,纵坡较小不能作为其事故诱因,道路线形对事故分布的影响仅体现在平面线形方面。4) 该项目纵断面相对平缓,坡度绝对值大于 2%的只有 4 处,其中 2.3%(坡长 900 m)、3.0%(坡长 1 100 m)两路段上坡方向均表现出事故相对集中的特征,可能存在单幅双车道上坡方向超车频繁引发事故的可能性,但由于样本量较少,这里不作进一步分析。5) 在平纵组合方面,一般要求平纵一一对应,这主要是从视觉效果的角度考虑,使空间曲率一致、连续,以免线形频繁起伏造成驾驶员视觉上的不连续。该项目平曲线 83 个,变坡点 381 处,平均每个平曲线单元对应 3~

4 条竖曲线,但整体事故率较低,且全线 37 个事故集中路段中不存在“一平包多纵”的情况。此外,平纵线形组合往往与受力及空间曲率相联系,从该项目全线组合线形所对应的事故率(见表 3)来看,线形构成最复杂的回旋线+竖曲线的组合并不是事故率最高的,且规律性较差。因此,平原区高速公路的平纵组合应视具体指标值及其影响机理而定,《公路路线设计规范》的教条及山区高速公路经验的不合理采用对道路安全性及舒适性的提升甚微,还会带来经济上的浪费。

表 3 不同几何线形的事故率统计

平面线形	纵断面 线形	事故数/ 次	路段 长度/m	事故率/[次· (km·亿车) ⁻¹]
直线	直坡段	216	58 800	4.043
直线	竖曲线	209	63 640	3.892
回旋线	直坡段	33	6 270	5.388
回旋线	竖曲线	8	2 410	4.084
圆曲线	直坡段	236	73 250	3.416
圆曲线	竖曲线	259	82 810	3.797

3 事故率与道路线形指标的关系

3.1 小偏角

小偏角容易产生视错觉,使驾驶员在行驶过程中产生比实际曲线大的错觉,从而产生错误判断。《公路路线设计规范》要求对小偏角设置足够长的平

曲线,使转角小于 7° 的外矢距与 7° 时曲线的外矢距一致以减少视错觉。

为尽可能减少事故偶然性的影响,先对某一区间的转角值所对应的事故率进行平均,再分析事故率与转角的关系。该项目全线共布设平曲线 83 处,平曲线转角为 $3^\circ\sim 48^\circ$ 。虽然小偏角所对应的平曲线长度均满足规范要求,但如图 1 所示,当平曲线转角小于 7° 时,其事故率仍显著高出其他转角值所对应的事故率,同时事故率整体呈现随转角值的减小而增大的趋势,当偏角小于 10° 时其事故率显著增加,并没有体现出最佳偏角的存在。

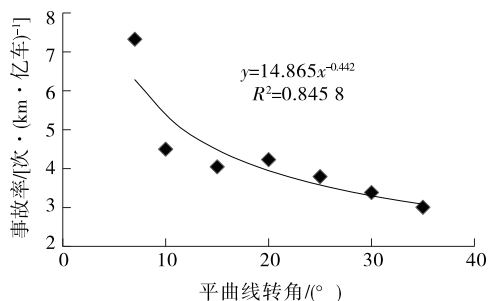


图 1 平曲线转角与事故率的关系

3.2 大半径

对于平曲线半径的研究,目前多集中于小半径曲线、与超高结合考虑的受力问题、转弯轨迹与道路线形的符合性及长直线与小半径的不利组合等方面,对大半径平曲线的研究相对较少。《公路路线设计规范》要求圆曲线最大半径不宜超过 10 000 m。当圆曲线半径大于 9 000 m 时,视线集中的 300~600 m 范围内的视觉效果同直线没有区别。大半径平曲线虽与直线有着相近的视觉效果,但其影响机理与直线并不相同,其相近的视觉效果会使驾驶员在视觉上获得的信息(直线)与实际行驶轨迹(曲线)不符。由图 2 可知:当平曲线半径大于 7 000 m 时,事故率呈上升趋势;平曲线半径大于 9 000 m 时,事故率已远高于其他半径值。

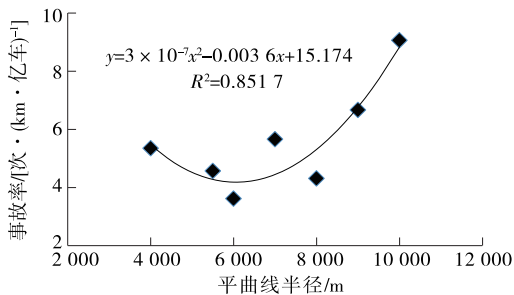


图 2 平曲线半径与事故率的关系

3.3 长直线

长直线对行车安全不利影响体现在直线上公路环境无变化使驾驶员注意力涣散,有时会因急于加速行驶造成对车距失去判断而导致恶性交通事故。因此,各国对最大长度作出了限制:中国、日本与德国规定最大直线长度不宜超过 $20v$;西班牙规定不宜超过 80%设计速度的 90 s 行程,即 72 s 行程;法国规定长直线宜采用半径 5 000 m 以上的圆曲线代替;美国要求线形尽可能顺捷,与地形相一致。

平原区高速公路受村落布局、水利资源、矿产资源等控制因素的限制,一般情况下很难存在过长直线,近几年的工程实践也证明了这一点,但直线长度大于 $20v$ 的情况较常见。若为减短直线长度而增加交点,往往会导致小偏角及运营里程增加,可通过分析直线长度与事故率的关系对这种情况进行处理。该项目全线共存在直线段 62 处,长度为 272~3 770 m,直线段事故率统计见表 4。从中可见,直线长度大于 $20v$ 的长直线路段的事故率并未显著高于直线长度较短路段的事故率。

表 4 直线段事故率统计

直线长度/m	事故率/[次·(km·亿车) ⁻¹]	相对事故率
$\geq 20v$	4.473	1.47
$(20\sim 10)v$	5.189	1.57
$(10\sim 6)v$	6.021	1.31
$< 6v$	6.254	1.00

为进一步分析长直线对行车安全的影响,对直线段事故分布进行统计。若某直线长度过长对行车安全造成影响,则其事故主要分布在大于某一长度(如 $20v$)之后的路段或该段长直线的后半段。该项目最大直线长度为 3 770 m, $20v$ 之后的路段与靠后路段重合,采取如下方法统计直线段事故分布:按行车方向,直线段起点为 ZH1、终点为 ZH2,事故桩号为 ZH,直线段长度为 L ,根据长直线对交通安全的影响机理,直线终点后停车视距 S 以内均作为直线段研究范围,以 α 为事故的位置系数, $\alpha = (ZH - ZH1)/(L + S)$ 。根据事故服从泊松分布的假设,若直线长度对事故分布有影响,则 α 位于 $(0.5, 1)$;反之, α 趋近于 0.5。直线段事故统计结果见图 3。

由图 3 可知:随直线长度增加,特别是直线长度大于 3 000 m 时,事故分布仍未体现出集中在后半段的迹象,这与长直线的作用机理不相符。根据目前的基础数据,可认为在平原区,在无横向干扰及交织分合流等干扰时,4 km 的直线段是可以接受的,

这与郭显惠对高速公路直线段的分析结论一致。

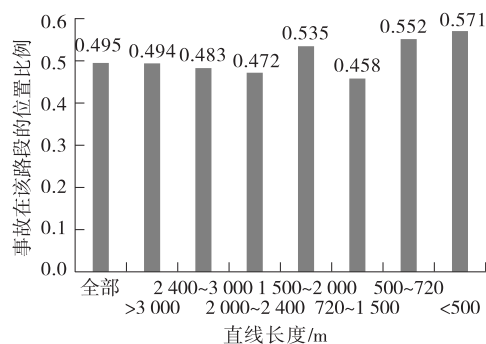


图3 直线段事故位置分布

3.4 长曲线

长曲线对交通安全的影响机理与长直线基本一致。平曲线长度与事故率关系的分析方法与长直线相同,分析结果见图4。

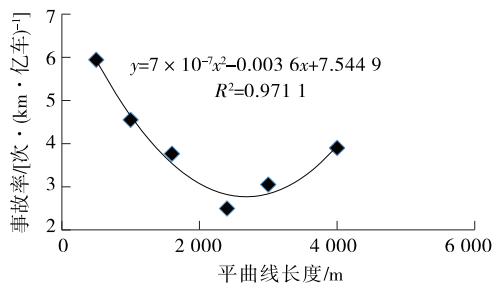


图4 平曲线长度与事故率的关系

由图4可知:当平曲线长度为3 000 m左右时,事故率最低;随着平曲线长度的增加或减少,事故率有所增加。但这并不代表平曲线长度与事故率之间存在图中所示的关系,因为平曲线长度较小时往往伴随着大半径、小偏角等。根据长直线的作用机理,对较长平曲线的事故分布进行分析,结果见图5。

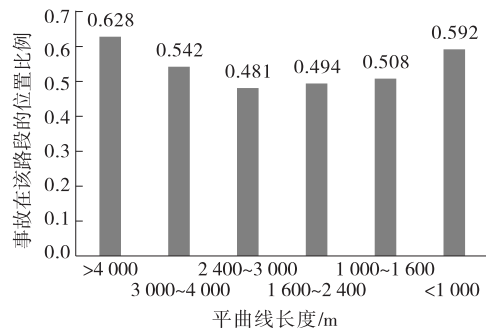


图5 平曲线事故位置分布

由图5可知:当平曲线长度大于3 000 m时,事故逐渐倾向于平曲线后半段分布,长度大于4 000 m时该趋势更明显,且事故率呈上升趋势。可见,

大于4 000 m的长曲线对事故的发生存在一定影响,平曲线最大长度建议控制在3 000 m以内。

4 结论与建议

(1) 平原区高速公路线形指标值一般优于规范一般值,其对交通安全的影响规律性较差。应视其影响机理,根据指标值的大小分别加以分析,不应将指标较小时所需满足的要求及经验无差别地应用于指标较优的平原区高速公路。

(2) 当平曲线偏角小于 7° 时,虽然对应的平曲线长度满足规范要求,但其事故率明显偏高,设计中应尽量避免小于 10° 的偏角。

(3) 大半径平曲线容易造成线形的不易识别,使驾驶员的视认线形与实际行驶线形不符,增加操作难度,不宜采用半径大于7 000 m的平曲线,尽量避免使用半径大于9 000 m的平曲线。

(4) 4 km以内的直线不存在长直线对交通安全的影响特性。若刻意扭曲线形减短直线长度,反而会造成路线走向的不顺直或大半径+小偏角组合的出现,更不利于行车安全。

(5) 长曲线对事故分布存在一定影响,曲线长度宜控制在3 km以内。

参考文献:

- [1] JTJGD20—2006,公路路线设计规范[S].
- [2] 吴萌,吴超仲,付萍,等.事故成因分析下平原高速公路改扩建措施研究[J].交通信息与安全,2011,29(6).
- [3] 张晓明,孟祥海,郑来.山区及平原区高速公路几何线形指标与事故率间关系对比研究[J].公路工程,2014,39(1).
- [4] 唐登科,方仁印.高速公路运营期交通事故特性分析及改善措施[J].中外公路,2012,32(2).
- [5] 程文,郭忠印,孔令旗.路线线形与道路安全关系的研究[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2002,25(5).
- [6] 唐铮,张铁军,何勇,等.道路交通安全评价[M].北京:人民交通出版社,2008.
- [7] 裴玉龙.道路交通安全[M].北京:人民交通出版社,2007.
- [8] 徐耀赐.公路几何设计[M].台湾:五南图书出版公司,2012.
- [9] 郭显惠.高速公路交通安全设计与评价研究[D].西安:长安大学,2011.