

GONGLU GONGCHENG

Jianshe Anquan Baozhang Jishu

公路工程

建设安全保障技术

王琨 赵之仲 主编



中国矿业大学出版社

公路工程建设安全保障技术

主 编 王 琨 赵之仲
副主编 董丽娜 崔 锋
周 博 赵宏魁

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

近年来,我国公路工程项目越来越多,由于设计不当、生命防护工程设置不科学、缺少安全评价而出现的道路交通安全问题也日益增多。为此更应该关注道路设计、施工等各个环节的安全保障技术,切实推广公路项目安全性评价。本书主要包括道路设计中的安全保障技术、生命防护工程的实施技术、施工过程中的危险源辨识及安全评价等内容。

本书可供施工单位管理人员学习使用,同时也可供在校本科生和研究生学习和研究参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程建设安全保障技术 / 王琨,赵之仲主编.

徐州:中国矿业大学出版社,2017.3

ISBN 978 - 7 - 5646 - 3387 - 5

I. ①公… II. ①王… ②赵… III. ①道路工程—工程施工—安全管理 IV. ①U415.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 006351 号

书 名 公路工程建设安全保障技术
主 编 王 琨 赵之仲
责任编辑 吴学兵
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 江苏淮阴新华印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 12 字数 300 千字
版次印次 2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 1 次印刷
定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

近年来,我国公路工程项目越来越多,由于设计不当、生命防护工程设置不科学、缺少安全评价而出现的道路交通安全问题也日益增多。为此更应该关注道路设计、施工等各个环节的安全保障技术,切实推广公路项目安全评价。本书主要包括道路设计中的安全保障技术、生命防护工程的实施技术、施工过程中的危险源辨识及安全评价等内容。

本书在编写过程中参考了大量近几年行业专家的最新研究成果和最新的行业规范,实用性强,第2章施工安全保障与危险源辨识参阅了部分省份的地方标准,在此向相关的专家一并表示感谢!

本书第1章由杜占军编写,第2章由王琨、赵之仲编写,第3章由董丽娜、周博编写,第4章由赵宏魁编写,全书由王琨负责统稿。

本书可供施工单位管理人员学习使用,同时也可供在校本科生和研究生学习和研究参考。

由于作者水平所限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者给予批评指正!

作 者

2016年9月

目 录

第 1 章 道路线形、车速与交通安全	1
1.1 道路线形与交通安全的关系	1
1.2 车速与交通安全的关系	5
1.3 车速与道路线形的关系	9
第 2 章 施工安全保障与危险源辨识	12
2.1 一般规定	12
2.2 通用作业	13
2.3 路基工程	33
2.4 路面工程	44
2.5 桥梁工程	48
2.6 案例	64
第 3 章 生命安全保障技术	82
3.1 方案设计	82
3.2 安全设施设计	123
第 4 章 公路项目安全评价	168
4.1 工程可行性研究阶段	168
4.2 初步设计阶段	169
4.3 施工图设计阶段	173
4.4 交工阶段	177
4.5 后评价	179
参考文献	183

第1章 道路线形、车速与交通安全

1.1 道路线形与交通安全的关系

线形是道路的骨架。它控制着整个道路的路基、桥涵、交叉、沿线设施等构造物的规模和投资,同时,对汽车行驶的安全、舒适、经济和车辆的通行能力起着决定性作用。因此,道路线形设计是道路建设之本。道路建成后,道路线形将是长期存在的,要想改变则经济损失较大。道路线形分为平面线形和纵断面线形。平面线形是道路中心线在平面上的投影,其主要构成要素为直线、平曲线和缓和曲线。纵断面是沿着道路中心线用竖面将其切开,并沿着路线长度方向展开成平整的竖面,它的线形由直线和竖曲线组成。道路线形几何要素的不合理以及各种不良的线形组合,均可导致交通事故的发生。

道路线形必须考虑汽车行驶的运动学、动力学要求,也应考虑线形的宜人性要求。在行车时,驾驶员主要通过视觉(80%)、听觉(14%)和触觉(2%)等感觉器官接受信息。美国一项调查表明,驾驶员每行驶1 km,会遇到约300多种信息,需作出75次决策,驾驶员需要既观察了解前方新路段的情况,又驾驶汽车使之适应新的行车条件。由于驾驶员顺着直线或某种曲线扫视时,习惯于使视线平顺地合乎思维地前进,所以为保证行车安全,道路几何线形应自然流畅。

1.1.1 直线对交通安全的影响

直线由于简单、节省路线长度、便于设计、方便施工,往往被使用较多,特别在平原微丘地区。但直线也有线形呆板,不易与地形地物、周围风景相协调的缺点,不易保证道路线形的连续性。直线对交通安全的影响来自驾驶员的视觉反应和心理承受能力。据国外资料介绍,驾驶员在直线上正常行驶超过70 s后就会感到单调。如果不需要超车,实验表明4~8 km(即在时速97 km/h下行驶3 min的行程)的直线就会使驾驶员感到烦躁,甚至打瞌睡,带来灾难性的后果。因此直线不宜过长,直线一般不长于计算行车速度 v 的20倍(m),否则会带来不利影响。

从道路设计的经验和交通心理学的角度考虑,长直线存在以下弊端:

- ① 线形过分单调,容易引起驾驶员疲劳、打瞌睡,从而造成反应迟钝,判断出错。
- ② 容易使驾驶员放松警惕,一旦遇到突发情况,常常措手不及。
- ③ 由于视距良好,易于操作,驾驶员容易超速行驶,在驶出长直线末端进入曲线时,仍然有较高的车速,容易发生事故。
- ④ 视觉参照物少,对距离估计不足,造成超速和车距不足。
- ⑤ 随着直线长度的增加,可能会破坏道路线形的连续性,同时也会增加与其相连的曲线处的事故率。

⑥ 夜间行车时,易造成对向行车灯耀眼,使驾驶员目眩而造成事故。

此外,直线过短也不利于行车安全。在同向曲线间插入长度不够的直线,驾驶员容易产生把直线和两端曲线看成反向弯曲的错觉,导致驾驶失误;反向曲线之间的直线过短,不利于超高、加宽的设置,不能实现反向变化的连续平稳过渡,对行车也是不利的。以计算行车速度 60 km/h 为例,同向曲线间最小直线长度(m)以不小于行车速度的 2 倍为宜。

根据统计数据分析,直线长度过短时事故率比较高。产生这种情况主要是因为:

① 长度过短在线形组合上不合理,而易造成视线误导在同向曲线间形成“断背曲线”。

② 驾驶员转弯操作频繁、强度大而造成心理紧张,同时因为线形变化较快给驾驶员提供的反应时间比较短而易诱发事故。

③ 受到曲线的安全状况的影响,曲线线形不良而诱发的事故在直线上发生,短直线的事故率增加显著,而长直线受此影响较小。

根据 2015 年 12 月发布的中华人民共和国推荐性行业标准——《公路项目安全性评价规范》(JTJG B05—2015),对于最小直线长度的评价采用运行速度计算值 v_{85} (运行速度是指运行汽车实际行车速度,实际中通常用自由交通流状态下各类小汽车在车速累计分布曲线上第 85 位百分点的车辆行驶速度 v_{85} 作为运行速度的计算值)进行。路段运行速度计算值 v_{85} 与设计速度之差小于或等于 20 km/h 时,直线长度不调整;路段运行速度计算值 v_{85} 与设计速度之差大于 20 km/h 时,反向圆曲线间直线最小长度(以 m 计)应不小于运行速度 v_{85} (以 km/h 计)的 2 倍,同向圆曲线间直线最小长度应不小于运行速度 v_{85} 的 6 倍。因此除应严格遵守《公路工程技术标准》(JTJ B01—2014)的规定外,还应根据实际情况,合理使用直线。

1.1.2 平曲线对交通安全的影响

汽车在平曲线上行驶,将产生离心力(其值与车速的平方成正比,与曲线半径成反比),由于离心力的作用,汽车将产生横向倾覆或侧向滑移,也会造成驾驶员“心慌”,引起操作失误,危及行车安全。离心力的大小与曲线的曲率有关系。在同一车速条件下,曲率越大即曲线半径越小,离心力越大。因此,为保证人身安全,对曲线最小半径有如下规定:

$$R = \frac{v^2}{127(\mu \pm i_h)} \quad (1-1)$$

式中 R ——曲线最小半径,m;

v ——计算车速,km/h;

i_h ——最大超高横坡;

μ ——横向力系数。

横向力系数 μ 的大小,影响到驾驶员和乘客的情绪紧张或舒适(见表 1-1)。如果 μ 值过大,驾驶员为减少离心力往往采用大回转,这样容易离开车道,增大了发生事故的可能性。

美国道路部门的研究指出 $\mu=0.11\sim0.16$ 为舒适界限。综合行车安全、经济、舒适各方面的要求,参考试验数据,可按表 1-2 取 μ 值。

有 10%~20% 的道路交通事故发生的平曲线上,并且在半径愈小的曲线路段上,发生的交通事故也愈多,即曲率越大,事故率越大。尤其曲率在 10 以上时事故率急速增高,曲率与交通事故率的关系见表 1-3。

表 1-1 μ 与驾驶员、乘客的感觉

μ	驶过曲线时的感觉	皮肤电流相应相对值
0.01	感觉不到有曲线,驾驶员不紧张	1.00
0.15	稍感到有曲线,驾驶员不太紧张,没有不舒服感	1.05~1.10
0.20	感到通过曲线,驾驶员明显紧张,稍有不稳定	1.10~1.25
0.25	40%人感到不舒适,驾驶员相当紧张	1.25~1.40
0.30	所有通过曲线的人都感到不舒适	1.50
0.35	非常不舒适,很紧张,有侧滑危险,不稳定	1.70
0.40	站不住,欲倒,车有倾覆之险	>1.70

表 1-2 μ 值建议采用表

计算行车速度/(km/h)	120	100	80	60	40	30
μ	0.10	0.12	0.12	0.14	0.14	0.15

表 1-3 曲率与交通事故率的关系

曲率	每百万千米交通事故率/%
0~1.9	4.2
2~3.9	4.8
4~5.9	5.6
6~9.9	6.1
10~14.9	21.9
>15	24

《公路路线设计规范》(JTG D20—2006)也对各级道路最小曲线半径作出了规定,因此,为了使汽车行驶平稳,在条件允许时应尽可能选用较大的平曲线半径。在不得已的情况下选用较小的(或极限)半径时,要做到以下几点:

- (1) 配置适当的缓和曲线。
- (2) 合理设置超高、横坡及加宽。
- (3) 处理好前后线形搭配。
- (4) 采取限速、分道等标志、标线和防护措施,降低行车速度,避免车辆擦碰或驶出道路。
- (5) 要有足够的视距。
- (6) 减小小于 600 m 半径的出现频率。
- (7) 尽量避免出现大曲率、大转角和陡坡结合的情况。

1.1.3 纵坡对交通安全的影响

国内外的研究一致认为道路纵坡对交通安全的影响非常大,尤其当坡度比较大时,事故率明显增大,往往是造成事故的直接原因。根据调查资料分析,在平原地区统计的事故有

7%发生在上下坡段,在丘陵区为 18%左右,在重丘区为 25%左右。它对交通安全的影响主要表现在以下几方面:

- (1) 车辆的机械性能比较高、坡度比较大时,不仅造成车辆速度差异比较大,还往往造成汽车上坡熄火,或下坡刹车失灵,进而诱发事故。
- (2) 下坡路段,由于受到重力影响,易造成车辆加速行驶。
- (3) 驾驶员经过上坡行驶后,在下坡行驶时,心理比较放松,易造成超速行驶。
- (4) 坡度过大,同时也增加了驾驶员的操作强度,一旦遇有突发情况就可能酿成事故。

鉴于以上弊端,《公路路线设计规范》(JTG D20—2006)对道路的纵坡值作了比较严格的规定。此外,大纵坡的应用还必须考虑以下问题:

- (1) 与纵坡长度联系在一起考虑,有时虽然未取到最大纵坡,但坡长很长也会造成重车爬坡困难,下坡速度过快无法紧急停车,影响行车安全。
- (2) 充分利用缓坡设置,即在长纵坡中插入一个相对小的缓纵坡,改变纵坡结构,便于安全行车。
- (3) 桥梁、隧道纵坡不宜取大值,一般应不大于 4%,也不应把桥梁、隧道设置在长坡的顶部和底部。
- (4) 混合交通及过村镇的路段,纵坡取值一定要考虑人行、非机动车和农用车辆的特点和性能。例如,自行车行驶纵坡宜为 2.5%左右;平板三轮车行驶纵坡宜在 2%以下。此外,在多雨的南方,在路堑及过村镇地段纵坡也不宜太小,否则极易造成路面积水,影响交通安全。在长路堑地段,纵坡应当大于 0.5%,并加深加大边沟,确保道路排水畅通。
- (5) 高海拔地区(超过 3 000 m)由于空气稀薄,汽车爬坡能力降低,影响行车安全,路线最大纵坡度要相应减少 1%~3%。
- (6) 实在无法改变大纵坡状况时,应设置必要的爬坡道和临时停车带,尽量降低大纵坡的不利影响。

同样,通过对统计数据的分析,可以看到事故率随坡度的增大而明显增大。坡度与交通事故的关系见表 1-4。

表 1-4 坡度与交通事故的关系	
坡度/%	事故数/(亿车千米)
0~1.99	27.51
2~3.99	39.61
4~5.99	112.43
6~8	124.26

1.1.4 线形组合对交通安全的影响

平、纵线形的组合对视觉诱导起重要作用,在视觉上违背自然诱导的线形组合是导致事故多发的主要原因。行车安全性的大小,与不同线形之间的组合是否协调有密切关系。《公路路线设计规范》中对道路平、纵线形的配合有如下要求:“计算行车速度=60 km/h 的公路,必须注重平、纵的合理组合。不仅应满足汽车运动学和力学要求,而且应充分考虑驾驶

者的视觉和心理要求。”至于如何满足这种要求,并没有具体的规定,只是提到了以下设计原则:“应在视觉上能自然地诱导驾驶员的视线,并保持视觉的连续性;平纵面线形的指标应大小均衡,使线形在视觉上、心理上保持协调;平曲线与竖曲线应相互重合,且平曲线应稍长于竖曲线。”

下列不良的线形组合往往是导致交通事故发生的重要原因:

(1) 线形的骤变,如长直线的末端设置小半径曲线。

(2) 在连续的高填方路段,如果没有良好的视线引导,驾驶员容易使车辆偏离车道中心线,可能冲出路面,酿成车祸。

(3) 短直线介于两个不同向的曲线之间,形成所谓的断背曲线,这样容易使驾驶员产生错觉,把线形看成反向曲线,在直线过渡段造成翻车事故。

(4) 在直线路段的凹形纵断面路段上,驾驶员位于下坡时看到对面的上坡段容易产生错觉,把上坡的坡度看得比实际的坡度大,这样,驾驶员就有可能加速以便冲上对面的上坡路段;在下坡路段一旦遇上行车,驾驶员未察觉自己是在下坡,因而有可能发生事故。

(5) 在凸形竖曲线与凹形竖曲线的顶部或底部插入急转弯的平曲线,前者因没有视线引导而造成必须突然急打转向盘;后者,要在汽车下坡速度增加的地方仍然要急打转向盘,这些线形都容易引发交通事故。

(6) 在凸形竖曲线与凹形竖曲线的底部设置断背曲线,前者,视线失去诱导的效果,在公路上行驶的车辆好像突入空中状态,也给驾驶员以不安的感觉,车到达顶点后才知道线形开始向相反方向弯曲,故在操纵转向盘时也是非常紧张的;后者会因为道路排水不畅,造成道路看起来是扭曲的,使驾驶员视觉产生偏差。

(7) 在一个平面曲线内,如果有纵断面反复凹凸的情况,经常会产生这样的问题,即形成只能看见脚下和前方,看不见中间凹凸的线形,这样的线形也容易发生事故。

(8) 转弯半径比较小的平曲线与陡坡组合在一起时,则会使事故从数量和恶性程度上剧增。

1.2 车速与交通安全的关系

驾驶速度和安全的关系比较复杂,但也很重要,因为绝大多数驾驶员都会以自认为安全的速度来完成出行任务。据统计,在高速公路上发生的所有事故中,与速度有关的占30%左右,涉及巨额的财产损失和人员伤亡。可以说,速度是所有碰撞事故中最突出的因素之一。当然,这里速度的定义是广义的,但针对碰撞有关的速度,主要是指运行速度、速度差(车速分布)及加速度。

1.2.1 运行速度与交通安全

造成交通事故的原因是多方面的,国内外的统计表明:在所有的交通事故中与车速相关的事约占事故总数的1/3,在所有事故成因中排在第2位,仅次于驾驶员人为因素。很显然,车速越高,发生事故的危险性也就越大。但是危险性与车速并不呈线性关系。澳大利亚RTA(2000)的研究表明:行车速度与事故危险性的关系见表1-5。

表 1-5 车速与事故危险性关系

行车速度/(km/h)	相对事故危险性
60	1.00(基数)
65	2.00
70	4.16
75	10.16
80	31.81
85	56.55

从表中可以看出,速度每增大 5 km/h,发生事故的危险性基本上是原来的 2 倍。因此,微小的速度变化将会对行车安全性带来显著的影响。

Solomon(1964)曾通过对 970 km 路段上与事故相关的 10 000 名驾驶员的调查发现,事故与车速的关系呈 U 形,当车速接近或稍大于平均车速时事故率最低。Harkey(1990)、Fildes(1991)等人的研究也有同样的结论:车辆运行车速与平均速度的差值越大,发生事故的可能性也就越大。

事故的严重程度也与行车速度紧密相关:速度越高,事故发生过程中速度变化就越大,能量转化也就越多,事故后果就越严重,造成伤亡的可能性也就越大。

综上所述,车辆的运行车速不仅直接关系到行车的安全,而且还决定了事故的严重程度。对高速公路上车辆运行车速进行研究对于了解高速公路上车辆的运行特性,促进高速公路的安全性设计有着积极的意义。

1.2.2 速度差、车速分布与交通安全

对于速度差和事故的影响关系前人已进行了大量的研究,认为主要的机理原因有以下两方面:

(1) 驾驶员的信息处理能力。驾驶员在行驶过程中,就相当于一个容量有限的信息处理员,随着速度的增加,驾驶员需要处理的驾驶行为信息和周边环境信息也逐渐增加,但驾驶员单位时间内能够处理的信息量是固定的。随着速度的进一步提高,单位时间内涌现的需要处理的信息和需要采取的驾驶行为若超出了驾驶员的反应能力,这时事故就可能发生。高速公路上,当更多的驾驶员都提高了速度,或在短时间内突然变换速度,那么,信息堵塞的可能就会伴随着碰撞事故的发生,即所谓的“速度杀手”。

(2) 驾驶员对冒险的自我平衡,即从驾驶员的角度看待的冒险度。从这个观点看来,驾驶员既不是一个被动的信息处理员,也不是对潜在事故的反应者。相反地,他们根据自己感觉的危险度来调整自己的速度,主观上保持一种可以接受的安全水平或风险级。但驾驶员认为的风险水平和实际是有差别的,这就导致了错误的提高车速或紧急变换车速行为,从而引起事故的发生。

在速度特征曲线中存在极大值和极小值,二者决定了速度特征曲线的基本形态,决定了相邻过渡区段速度差的剧烈程度,二者的差值越大,说明车辆在区段的行驶状态越不稳定。

同时,道路安全性也与两极值之间的距离有关,同样的差值,经历的距离越长,速度跌落越平缓,安全性也随之提高。因此极大值与极小值之间的平均速度差可以表征过渡区段的速度变化特征。

根据观测,并非是单点的运行速度,而是速度的变化轨迹影响着交通性能。相关研究表明,道路相邻平曲线段的运行速度落差大,则该路段的安全记录就差。研究收集了 1998~2001 年 4 年间的事故数,剔除明显与几何指标无关的事故,如爆胎、雨雪天气造成的事故,并筛选掉没有发生事故的样本路段,具体数据如表 1-6 所示,图 1-1 为按照运行速度差分组的故事率的对比情况。

表 1-6 运行速度变化趋势与交通事故的相关性

运行速度差 /(km/h)	平曲线个数	3 年累计事故数	交通周转量 /(百万车千米)	事故率 /(事故/百万千米)
$\Delta v_{85} \leq 10$	4 518	1 483	3 206.06	0.46
$10 < \Delta v_{85} \leq 20$	622	217	150.46	1.44
$\Delta v_{85} > 20$	147	47	17.05	2.76
合计	5 287	1 747	3 373.57	0.52

注： v_{85} 为道路的运行速度， Δv_{85} 为相邻区段 85% 车速的偏差。

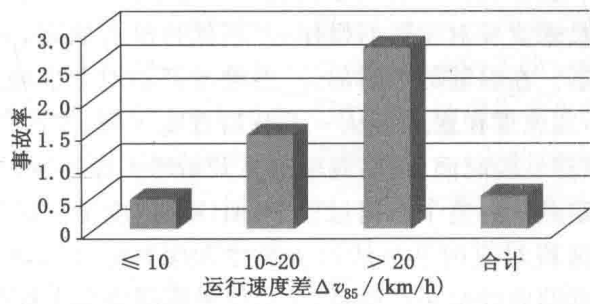


图 1-1 运行速度差与事故率的相关关系图

从表 1-6 可以看出:三组不同运行车速差的道路区段,其事故率水平有显著的差异,表现为速度差越大,则事故率越高的趋势。

目前专家学者建议按照运行速度差的大小等级将道路区段划分成不同的安全水平,如表 1-7 所示。

表 1-7 运行速度差所对应的安全水平

道路安全水平		
好(Good)	合格(Fair)	差(Poor)
$\Delta v_{85} \leq 10$	$10 < \Delta v_{85} \leq 20$	$\Delta v_{85} > 20$

车速的分布特征,影响并决定着道路特定位置的安全性能,车速分布特征包括不同地点车速的样本均值、样本方差、标准差及标准差系数、偏度、峰值。大量的统计研究表明,车速

分布的指标与交通事故存在相关性。泰勒的研究将车速样本的偏差及峰值与事故率进行相关分析,得到的结论是:有偏度的速度分布的区段比无偏度的速度分布的区段有显著偏高的事故率。

卡波研究了速度分布与事故记录之间的关系得到的相关交通安全的结论是:第一,对于所有等级的道路,速度方差增大时,交通事故率上升;第二,当道路区段的平均速度增高时,其事故率并不一定上升。这也充分说明了速度离散程度对交通安全水平有严重影响。

蒙丹转变了研究思路,从驾驶员的角度来分析这个问题。他直接观察在道路上驾车的驾驶员并记录他们的车辆行驶状态数据,然后对比速度数据和驾驶员的事故记录,随后再根据驾驶员的事故记录对他们进行分组,对各个分组再次进行速度与驾驶员事故记录的对比分析。得到的结论是:其车速最接近均值的驾驶员,具有最低的事故记录;所驾驶车辆的速度越偏高的驾驶员,他们涉及的事故次数越多。

汇总以上研究成果,可以认为,不论从交通流、车辆还是从驾驶员的角度分析,车速离散程度与事故率之间都存在正相关的关系,车速方差越大的地点其安全性能越差。

1.2.3 加速度与交通安全

加速度是衡量速度变化快慢的一个最直接的指标,即车辆进入可能的危险路段行驶速度变化的强度。加速度大小是车速变化状态最客观的指标。

总结各样本路段加速度的特征,发现车辆有共同的“颠簸”状态,呈现出近似的加减速规律。在纵坡路段,驾驶员未改变对车辆的操作,车辆保持既有状态,加速度值维持在一定值范围内,基本呈直线形态。在纵坡的下凹部分,驾驶员开始对车辆施加操作,改变加速度状态,迫使车速迅速下降,加速度在宏观上从一点开始直线下降,中间变化幅度不大。加速度(负值)降到最低点并维持一段时间,随后驾驶员又开始增大加速度,根据线形不断地调整加速度,最后速度达到一定点。在整个减速过程中,加(减)速度呈阶梯型变化。

图 1-2 中,ABCD 区段对应的平面线形为纵坡和缓和曲线段,C 点为纵坡上速度最高点,D 点处于缓和曲线和圆曲线衔接点附近,E 点位于圆曲线中点前后。比较加速度特征曲线以及过渡区段上的事故分布情况,可以发现事故的分布与加速度的跳跃程度有关系,事故的聚集段往往也是加速度波动较为剧烈的路段。选取加速度变化值与事故进行相关性分析。

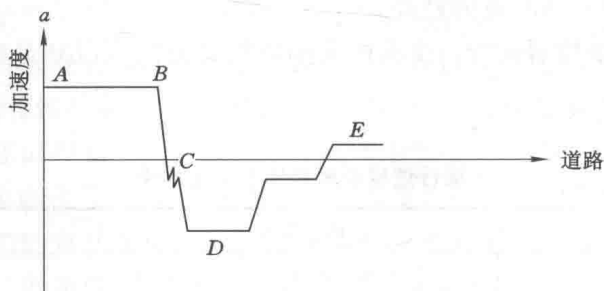


图 1-2 过渡区段车辆加速度特征曲线

加速度变量的选择:取加速度特征曲线上 BD 段加速度的最大差值作为自变量。

从加速度特征曲线可以看出,整个过渡段中 BD 段加速度跳跃幅度最大。C 点为速度

特征曲线的极大值点,位于纵坡的坡凹处,承载着纵坡对速度的作用结果。同时加速度具有滞后效应,该段加速度的变化将波及随后驾驶员对车辆的施力大小,波动段加速度变化差值越大,则驾驶员欲达到期望的行驶速度就需要快速增加加速度,由于道路条件限制,而会不断调整驾驶行为,导致行驶状态波动。由此可见,BD段是弯坡衔接线形中的波动区段,起着“承前启后”的作用。

因变量——事故数据的选取:选取整个过渡段对应的事故数。

图1-3显示,加速度变化与事故数呈正相关性,加速度跳跃幅度越大,发生事故的可能性也越大。

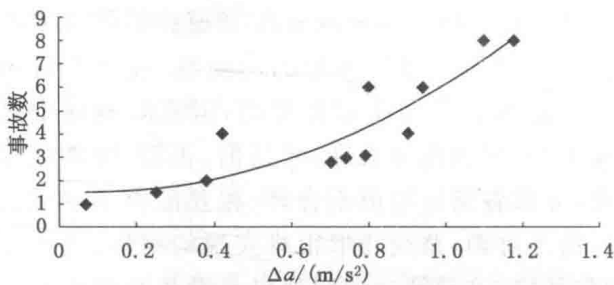


图 1-3 过渡区段加速度变化与事故数

总之,速度曲线反映的是道路供给车速的变化曲线,是道路线形变化的表征因素,而作为速度的核心要素——速度梯度差和加速度,在一定程度上能够反映出道路线形所引起的车辆行驶状态的变化,反映了车辆行驶时突然加速或减速的不稳定状态,这种变化往往是导致事故发生的原因。作为速度实时动态表现的加速度,呈现出和事故之间的正相关关系,因此可以说,加速度是表征道路交通安全的一项客观指标,一定的加速度变化量就对应着一定的道路安全水平。

1.3 车速与道路线形的关系

1.3.1 车速与线形设计的关系

道路设计是以满足汽车的行驶要求为依据的。道路线形设计必须符合汽车的行驶特性,在保证汽车行驶力学要求的基础上,充分考虑驾驶员视觉和心理方面的要求,注重立体线形设计,尽量做到线形连续、指标均衡、视觉良好、景观协调、安全舒适。车速是道路线形设计的核心控制参数,直接影响道路设施的营运安全与效率。道路线形设计的一个重要指标就是把影响汽车运行的各种设计要素通过一条主线联系起来综合考虑,尽量保证汽车在全线均匀地运行,从而作出一个标准一致的设计。

为实现上述目标,国际上一般采用两种不同的方法,即设计车速法和运行车速法。汽车在道路上行驶时,驾驶员按地形和沿线条件选择各自适应道路线形的驾驶速度。当道路本身的平、纵、横几何组成要素超过该等级道路上汽车安全行驶的最低要求,且交通密度、地形、气候等外部条件又适宜时,汽车的实际运行速度常接近或超过设计时采用的速度。设计采用车速越低,出现这种现象的概率就越大。

现行的以设计车速为核心的道路几何线形设计理念就有其内在的固有的缺陷,目前中国道路几何设计仍然采用计算行车速度作为设计的基本依据。计算行车速度(或设计速度)是指在气候正常、交通密度小、汽车运行只受道路本身几何要素、路面、附属设施等条件的影响时,具有中等驾驶技术的驾驶员能保持安全行驶的最大运行速度。如果只从几何要素考虑,也就是一条道路受限路段汽车所能安全行驶的最大车速。一条道路的受限路段一般较少,而大多数路段为非受限路段。其线形指标高于受限路段,可以允许汽车以高于计算行车速度的车速行驶。从设计控制的角度考虑,在这些非受限路段,路线的平、纵、横及其他相关指标就没有依据确定。

中国技术标准规定路线设计的基本要求是根据道路的等级及其使用任务和功能,合理地利用地形,正确选用技术标准,保证线形的均衡性,在条件许可时,应尽量选用较高的技术指标。从原则上讲这种要求是非常必要的,但实际操作中难以掌握,比如与计算行车速度相关的平曲线半径、缓和曲线长度、超高值、视距、竖曲线半径等指标的取值,在非限制路段无依据确定,导致各指标取值不合理、相互配合不协调、高低指标之间无过渡等问题。由于技术指标的不协调,路线线形很难实现均衡性,使行车速度忽高忽低,产生突变,多数路段超速现象严重,这种超速和突变极易发生交通事故。显然,以计算行车速度作为道路线形设计的依据具有不足的一面。表 1-8 为运行车速和设计车速失调所发生的交通事故实例。

表 1-8 事故实例分析

道路名称及等级	事故特点	车辆行驶方向	估计运行车速 /(km/h)	小半径平曲线 允许速度/(km/h)
国道 320 山岭三级	翻出路外	长沙至贵阳	70~80	30
国道 109 平原三级	翻出路外	四宁至格尔木	110~120	80
太旧路山岭高速	冲撞中央分隔	太原至石家庄	80~90	60

线形条件对行驶车辆最直接的影响表现在实际运行车速上,因而应用运行车速来评价线形安全具有一定的可靠性。其特点有以下两点:

- (1) 可以根据实际车速确定设计指标,使线形设计要素能够满足车辆实际行驶的需要,克服了应用单一设计车速所带来的问题,同时解决了设计要素之间的相容性问题。
- (2) 通过采用“设计控制原则(相邻路段的设计运行速度差值控制在一个允许的范围)

1.3.2 车速与线形要素的关系

速度是交通流中的主要因素。道路条件对交通流的影响也主要体现在速度上,而交通流变化复杂的地段也主要是事故多发地段。在人、车、路组成的交通系统中,人作为系统中枢总是不断从道路环境中摄取信息,并根据自己的车辆性能、驾驶经验和个人习性作出分析判断,不断调整车速,从而达到安全、快速行驶的目的,因此,不同的道路条件其行驶车辆的平均速度也不同。

目前,国内外通过大量的实况速度调查,采用 v_{85} 作为运行速度进行线形设计。关于这

方面的研究也已经相当深入,并建立了许多平曲线要素与 v_{85} 的关系模型。例如美国的 Lamm 在对 261 个双向两车道路段的曲线要素与 v_{85} 进行统计分析后,认为具有相似道路平面线形要素特征的连续路段上的行车速度具有相对的稳定性,同时还发现在转角、曲线半径、车道宽度、路肩宽度、日平均交通量等要素中,曲线长度、半径对 v_{85} 的影响最大,并建立了相应的模型。

$$v_{85} = 95.78 - 0.076CCR \quad (1-2)$$

$$CCR = \frac{1}{L} \left(\sum_i \frac{L_i}{R_i} + \sum_j \frac{L_j}{2R_j} \right) \quad (1-3)$$

式中 CCR——角度变化率,定义为单位长度的角度变化;

L ——路段总长度;

L_i ——连续路段内圆曲线的长度;

R_i ——连续路段内圆曲线的半径;

L_j ——连续路段内缓和曲线的长度;

R_j ——连续路段内缓和曲线的半径。

这种模型考虑了相邻曲线间的相互作用,因而比较符合道路上车辆行驶的实际情况。中国的车辆性能以及道路状况与国外存在很大差异,因此其模型不适于预估中国的实际行车速度 v_{85} 。

在中国,同济大学的朱照宏教授等在这方面也做了大量的工作,他们在对实测数据进行统计分析的基础上,得出了不同道路曲线半径和路面宽度所对应的值 v_{85} 。其所得到的平曲线半径与实际行车速 v_{85} 的关系,比较符合我国实际情况,但由于未考虑相邻线形要素间的相互作用,可能与道路行车的实际情况有出入。

第2章 施工安全保障与危险源辨识

2.1 一般规定

2.1.1 辨识原则

(1) 全面性原则

公路工程施工危险源的辨识应完整、多角度、无漏项。

(2) 系统性原则

公路工程施工危险源的辨识要循序、系统、连贯地进行,应考虑到各单位作业之间或单位作业内施工工序的连续性。

(3) 动态性原则

公路工程施工危险源的辨识应考虑到现场环境改变、时间推移等空间和时间变化对施工危险源的影响。

2.1.2 辨识程序

(1) 确定施工组织方案

通过审核设计文件、资料分析和现场实地勘察,结合实际施工能力,编制实施性施工组织方案。

(2) 单位作业分解

依据批准的施工组织方案,以单位工程为单元分解作业。

(3) 危险源辨识

分析单位作业存在的危险因素和可能导致的事故类型,对单位作业进行危险源辨识。

2.1.3 辨识时间

公路工程施工危险源辨识从工程施工准备开始到工程交工结束,贯穿于整个施工过程。

2.1.4 辨识内容

单位工程危险源应以单位作业为单元进行辨识,单位作业危险源应以人、料、机、环境、管理为单元基础进行辨识。

2.1.5 危险源管理

(1) 将危险源划分为一般和重大两类进行管理。

(2) 在工程实施过程中要对一般危险源进行风险预控。