

# 缓和曲线在城市道路平面设计中的应用

全 勇

(湛江市规划勘测设计院,广东湛江 524002)

**摘 要:**该文阐述了缓和曲线在城市道路平面设计中应用的重要性,分析了缓和曲线的应用原理和设置作用,同时对缓和曲线长度的计算依据和确定方法进行探讨,并以工程实例说明在道路平面设计中如何科学、合理地应用缓和曲线。

**关键词:**道路平面设计;缓和曲线;最小长度;计算依据;视觉要求

**中图分类号:**U412.34 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)05-0049-03

## 1 概述

城市道路平面设计应以城市总体规划道路网为依据。道路线形对交通安全和顺适具有重要的作用,不适合的线形将会造成事故、增加维护运行费用、破坏环境,因此设计时应处理好直线与平曲线(或不同曲线)的衔接。缓和曲线作为直线与圆曲线(或不同圆曲线)之间的过渡段,在道路平面设计中科学、合理的应用可以在一定程度上解决以上问题。

## 2 缓和曲线应用存在的问题

受道路规划的限制,及设计人员对缓和曲线的认识不足,道路设计中对缓和曲线的应用存在一些问题,主要表现在以下方面:

(1)设计人员机械地应用规划线形,或认为城市道路受建筑物密集、平交路口多的影响,汽车行驶中时有停顿、转向缓慢,没必要设置缓和曲线,直接采用直线与圆曲线(或不同圆曲线)连接方式。由于深度要求的不同以及诸多条件的限制,路网规划的线形存在不少问题,须在工程实施阶段进行深化;缓和曲线的设置应同时考虑线形顺畅、配合道路超高加宽过渡等因素。

(2)设计人员不知如何根据所选用的圆曲线半径采用缓和曲线长度值,机械地应用《城市道路设计规范》(简称《规范》),简单地选用《规范》中所列的最小缓和曲线长度值。其实缓和曲线的长度取值应和圆曲线结合在一起、多加比较,更好地利用实际地形,以提高道路线形的流畅性和行车的舒适性。

(3)设计人员在确定圆曲线半径时,为了避免采用缓和曲线的烦琐,不是根据实际地形采用适当的半径值,而是按《规范》中所列的不设缓和曲

线的最小半径值采用大半径,导致一些不必要的征地拆迁,增加了工程投资。

正是由于设计人员对缓和曲线的应用缺乏了解和工作责任心不强,致使缓和曲线得不到合理应用,导致道路平面线形不够顺畅、直线与圆曲线(或不同圆曲线)的衔接生硬,不能确保行车的安全和舒适。因此,提高对缓和曲线认识,在设计中合理地应用缓和曲线愈显重要。

## 3 缓和曲线应用的原理和作用

### 3.1 缓和曲线定义

为了缓和行车方向的突变和离心力的突然产生与消失,确保高速行驶的安全和舒适,需要在平曲线两端,按照汽车进出平曲线的轨迹,设置弧形曲线与直线连接,此曲线称为缓和曲线。

### 3.2 应用原理

汽车在平曲线上行驶时会产生离心力,不同半径的曲线产生离心力的大小不一样,在直线上行驶时离心力为0,当汽车从直线路段(曲率半径无穷大)驶入圆曲线(曲率半径有限值),或由大半径曲线进入小半径曲线时,会突然产生离心力,同时驾驶者需迅速改变行车方向,操纵困难,进而造成行车不安全、驾乘者不舒适。因而须采取措施使离心力缓慢地增减,汽车能安全、顺适地进出小半径弯道,驾驶者能逐渐改变汽车前轮的转向角,使其适应相应半径的圆曲线,在进入圆曲线前的某一路段内完成汽车前轮的逐渐转向。

目前缓和曲线的主要形式为回旋线(即辐射螺旋线)。理论研究表明,如果汽车以等速前进,同时汽车前轮以均匀的角速率转动,则这条曲线的曲率大体是随着距离而均匀增加的,它的形状与回旋线(即辐射螺旋线)十分相近。因此,采用回旋线(即辐射螺旋线)作为缓和曲线形式,能够实现平曲线的平顺渐变,提高汽车在弯道上行驶的稳定性,从而保证行车的安全、舒适。

### 3.3 设置作用

收稿日期:2006-06-21

作者简介:全勇(1971-),男,广东廉江人,副总工,从事规划勘测设计工作。



设置缓和曲线具有以下三个方面的作用:

(1)汽车从直线过渡到圆曲线(或从一圆曲线过渡到另一圆曲线)的行驶过程中,通过缓和曲线段使汽车离心加速度逐渐变化,驾驶者操作平顺过渡,从而保证行车平稳、安全,乘客舒适。

(2)缓和曲线可作为道路超高、加宽变化的过渡段。道路在超高、加宽过程中,要由直线段的正常路拱断面逐渐变化到圆曲线上的超高断面,以及由直线段的正常路幅宽度逐渐变化到圆曲线上的加宽路幅宽度,都需要有一个过渡段,缓和曲线就可作为这个过渡段。

(3)缓和曲线通过其曲率的逐渐变化,可适应汽车顺畅的行驶轨迹,在视觉上能自然地诱导驾驶者的视线,保持其视觉的连续协调性,从容地完成汽车转向操作,并构成优美流畅的平面线形,从而能使驾乘者在行车过程中得到身心上的舒适。

#### 4 缓和曲线长度计算的依据

汽车通过缓和曲线从直线进入圆曲线(或从一圆曲线进入另一圆曲线),为了使驾驶者能够从容地转动方向盘,以便比较准确地把车辆保持在它应占有的车道之内,并且能够让驾乘者在汽车转向过程中保持连续协调、舒适的视觉感受,缓和曲线长度应不小于某个限度,这个限度(即缓和曲线长度的最小值)主要依据汽车离心加速度变化率、驾驶者操作反应时间、道路超高渐变率以及驾驶者视觉条件等进行计算。

##### 4.1 依据汽车离心加速度变化率计算

通过缓和曲线段,汽车的离心加速度从直线上的0,逐渐增加到进入圆曲线时的最大值,为了保证车辆行驶稳定,其离心加速度的变化率应限制在一定的范围内。缓和曲线所需长度可根据上述条件确定。

汽车离心加速度变化率为:

$$I=v^3/(L_s \cdot R)$$

在安全行车情况下,一般要求汽车离心加速度变化率不大于  $0.6 \text{ m/s}^2$ ,即

$$I=(V/3.6)^3/(L_s \cdot R)=V^3/(46.7 L_s \cdot R) \leq 0.6$$

所以得到:

$$L_s \geq 0.036 V^3/R \quad (1)$$

式中: $I$ ——离心加速度变化率( $\text{m/s}^3$ );

$v$ ——行车速度( $\text{m/s}$ );

$V$ ——行车速度( $\text{km/h}$ );

$L_s$ ——缓和曲线长度( $\text{m}$ );

$R$ ——圆曲线半径( $\text{m}$ )。

##### 4.2 依据驾驶者操作反应时间计算

$$L_s=v \cdot t=(V/3.6) \cdot t$$

驾驶者操作反应时间一般不短于  $3\text{s}$ , 所以得到:

$$L_s \geq (V/3.6) \times 3=0.833 V \quad (2)$$

式中: $L_s$ ——缓和曲线长度( $\text{m}$ );

$v$ ——行车速度( $\text{m/s}$ );

$V$ ——行车速度( $\text{km/h}$ );

$t$ ——司机操作反应时间( $\text{s}$ )。

##### 4.3 依据道路超高渐变率计算

道路由直线上的正常路拱断面过渡到圆曲线上的超高断面时,必须在其间设置超高缓和段,其长度计算公式为:

$$L_e=b \cdot \Delta i / \varepsilon$$

缓和曲线长度  $L_s$  应不短于超高缓和段长度  $L_e$ , 即  $L_s \geq L_e$ 。

所以得到:

$$L_s \geq b \cdot \Delta i / \varepsilon \quad (3)$$

式中: $L_e$ ——超高缓和段长度( $\text{m}$ );

$b$ ——超高旋转轴至路面边缘的宽度( $\text{m}$ );

$\Delta i$ ——超高横坡度与正常路拱坡度的代数差(%);

$\varepsilon$ ——超高渐变率( $\text{m/m}$ );

$L_s$ ——缓和曲线长度( $\text{m}$ )。

##### 4.4 根据驾驶者视觉要求计算

实践经验认为:当  $A=R/3 \sim R$  时,回旋线缓和曲线能满足平面视觉的要求,使线形协调。这是由于当  $A < R/3$  时,缓和曲线仅为接近回旋线原点附近的一小段,曲线过短,不容易看出,不能满足视觉上的圆顺;当  $A > R$  时,则曲线过长,在缓和曲线终点处曲率增加极快,行车须时常刹车而导致不圆顺的感觉。从回旋线特性可以知道:

$$R \cdot L_s=A^2$$

将  $A=R/3 \sim R$  代入上式,可以得到缓和曲线的取值范围为:

$$L_s=R/9 \sim R \quad (4)$$

式中: $L_s$ ——缓和曲线长度( $\text{m}$ );

$R$ ——缓和曲线上某点的曲线半径( $\text{m}$ );

$A$ ——缓和曲线的参数。

此表达式的来源是根据长期实践研究的结果,认为缓和曲线的转向角  $\theta$  的合理取值范围应该为:  $0.0556 \text{ rad} \leq \theta \leq 0.5 \text{ rad}$ , 即:  $3^\circ 10' 59'' \leq \theta \leq 28^\circ 38' 52''$ 。

由表达式

$$\theta = L_s/2R \quad \text{和} \quad R \cdot L_s=A^2$$



可以得到:

$$A=(2\theta)^{1/2}\cdot R \quad (5)$$

式中:  $\theta$  ——缓和曲线转向角(rad, 即弧度);

$L_s$  ——缓和曲线长度(m);

$R$  ——缓和曲线上某点的曲线半径(m);

$A$  ——回旋曲线的参数。

将缓和曲线最小转向角  $\theta=0.0556$  rad 代入式(5)中,可以得到:

$$A=(2\times 0.0556)^{1/2}\cdot R\approx R/3$$

$$L_s=A^2/R=R/9$$

同样, 将缓和曲线最大转向角  $\theta=0.5$  rad 代入式(5)中,也可以推算出:

$$L_s=R$$

综上所述,缓和曲线长度  $L_s$  合理的取值范围应介于  $R/9\sim R$  之间。

## 5 分析与应用

我国《规范》所规定的缓和曲线最小长度,主要是从汽车离心加速度变化率、驾驶者操作反应时间和道路超高渐变率等方面来考虑。根据驾驶者视觉要求来确定缓和曲线长度,则需要设计人员结合实际情况灵活掌握使用。

湛江市湖港路为连接港口码头的一条城市次干道,路宽 36 m,为一块板形式,机动车道宽 24 m。矿石码头在建设皮带机时,为了节省投资,按规划要求布置 24 m 跨度的皮带机,基础刚好落在平面曲线段,但由于规划线形不合理,为了避免拆迁,减少投资,施工图设计中采用缓和曲线和圆曲线结合,局部调整折点位置,由于偏移量(最大处只有 50 cm)对规划影响不大,报批后实施,结果在改善线形和避免拆迁方面取得较好效果。

湛江市站前路为火车北站进出的一条城市主干道,路宽 46 m,设计行车速度 40 km/h,规划线路为了避免屋山小学的搬迁,设置了两个反向折点。设计中根据地形条件和保证两反向曲线间的直线段满足最小直线长度,设置圆曲线半径  $R=350$  m,缓和曲线长度采用 35 m,符合《规范》规定。但其缓和曲线转向角  $\theta=L_s/2R=0.05\text{rad}=2^\circ 51' 53''$ ,小于最小转向经验值  $3^\circ 10' 59''$ 。保持其圆曲线半径不变,将缓和曲线长度增至 50 m,缓和曲线转向角  $\theta=L_s/2R=0.071\text{rad}=4^\circ 05' 33''$ ,大于最小转向经验值  $3^\circ 10' 59''$ ,但设置缓和曲线后,两反向曲线间的直线段满足不了最小直线长度的要求。为了保证直线段长度并改善视觉条件,设计中同时调整缓和曲线长度和圆曲线半径,采用缓和曲线  $L_s=40$  m,圆曲线半径  $R=343.070$  m,缓和曲线转向角  $\theta=L_s/2R=0.058\text{rad}=3^\circ 20' 25''$ ,这样既保证了道路平面设计的技术标准,又获得了视觉上连续协调且优美流畅的平面线形。

## 6 结语

城市道路平面设计中,不仅要考虑汽车运动学和力学的要求,同时也要考虑驾乘者在视觉和心理方面的要求,科学、合理地应用缓和曲线,处理好直线与圆曲线(或不同圆曲线)之间的过渡。设计人员应精心设计、反复比较,在满足《规范》规定的同时,获得更优美顺畅的平面线形。

### 参考文献

- [1]北京市政设计院主编.城市道路设计手册[M].中国建筑工程出版社,1987.
- [2]中国建筑工程出版社主编.城市道路设计规范[S].中国建筑工程出版社,1997.

# “十一五”山西欲投千亿元为崛起“铺路”

“十一五”时期,山西省的公路建设将迎来更大规模的建设浪潮。日前,省交通厅将原定的 800 亿元公路建设投资调整为 900 亿元,并力争突破 1000 亿元,在国家促进中部崛起的战略中让山西省起飞得更快、更高。

“十一五”时期,山西省公路建设投资包括:高速公路 600 亿元;干线公路 100 亿元,力争 150 亿元;农村公路 200 亿元,力争 250 亿元。五年内建设高速公路 1900 余 km,其中建成 1300 余 km;新改建国省干线公路 5000 余 km、农村公路 8 万余 km。到 2010 年,全省高速公路达到 3 000 km,“九横九环”建成“五横五环”;国省干线二级以上公路比重由目前的 72% 提高到 85%,其中国道达到 100%;县乡公路油路化率由 51% 提高到 70%,所有建制村通公路,具备条件的建制村通水泥(油)路。