

公路平面设计中圆曲线最小半径运用研究

罗金标, 林超伟

(广州公路工程集团有限公司, 广东 广州 510075)

摘要: 公路平面设计是路线设计的基础, 圆曲线最小半径选择是公路平面设计是否合理、经济的关键影响因素。文中对 JTG D20—2017《公路路线设计规范》规定的圆曲线最小半径取值及实际工程设计运用中存在的问题进行分析, 提出初步解决思路及实际工程设计中圆曲线最小半径取值建议, 为公路路线设计及相关规范编制、修订提供参考。

关键词: 公路; 平面设计; 圆曲线; 最小半径

中图分类号: U412.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)02-0053-04

公路设计是一项系统工程, 包含路线、路基、路面、桥梁、隧道、路线交叉、交通工程及沿线设施、环保、景观、线外“三改工程”(改路、改沟、改渠工程)、施工方案等专业设计, 总体设计是上述各专业设计的有机融合, 是公路设计的灵魂。路线设计是总体设计的基础。平面设计是路线设计的基础, 受沿线地形地貌、地质情况、构筑物等因素影响, 路线不可能是一条长直线, 其平面线形一般由直线、圆曲线和回旋线组成, 圆曲线半径选择对线形的协调性、合理性及经济性等起关键作用^[1]。JTG D20—2017《公路路线设计规范》(下称规范)及其条文说明根据公路设计速度、超高等条件对公路平面圆曲线最小与最大半径取值做出了明确规定和解释^[2], 但在实际工程设计运用中, 尤其是在高速公路及曲线隧道平面设计中, 采用规范规定的最小半径值会导致无法满足行车视距要求等问题^[3-5]。本文通过对规范规定的最小半径确定条件及影响因素等进行分析, 提出实际工程设计中圆曲线最小半径取值建议及采用规范规定的圆曲线最小半径进行设计出现问题时的初步解决思路, 为公路路线设计及相关规范编制、修订提供参考。

1 圆曲线特点及影响因素

1.1 圆曲线的特点

(1) 圆曲线上任意一点的曲率半径 R 为常数, 其测设比缓和曲线简单。

(2) 汽车在圆曲线上行驶时受离心力的影响, 所占路面宽度比在平曲线上行驶时大。

(3) 视距条件差, 容易发生交通事故。

1.2 影响因素

汽车在曲线上行驶时, 横向稳定性是考虑的主要因素。横向稳定性包括侧翻、侧滑及乘客舒适度等, 影响汽车横向稳定性的主要指标为运行速度、圆曲线半径和超高横坡度。圆曲线半径计算公式为:

$$R = \frac{v^2}{127(\mu + i)} \quad (1)$$

式中: R 为圆曲线半径(m); v 为汽车运行速度(km/h); μ 为路面与轮胎间的横向力系数; i 为超高横坡度, 为代数值, 正超高为正, 反超高为负。

(1) 乘客舒适程度。从人的承受能力与舒适感考虑, 国内外调查结果均表明, 汽车在曲线上行驶时, 横向力系数 μ 与乘客感觉的关系如下: $\mu < 0.10$ 时, 转弯时感觉不到有曲线存在, 很平稳; $\mu = 0.15$ 时, 转弯时感觉到有曲线存在, 但尚平稳; $\mu = 0.20$ 时, 转弯时感觉到有曲线存在, 并感到不平稳; $\mu = 0.35$ 时, 转弯时感觉到有曲线存在, 并感到不稳定; $\mu > 0.40$ 时, 转弯时非常不稳定, 有倾覆的危险。

(2) 能源消耗。根据国内外研究结果, 与在直线上行车相比, $\mu = 0.10$ 时, 燃料消耗增加 10%, 轮胎磨损增加 1.2 倍; $\mu = 0.15$ 时, 燃料消耗增加 15%, 轮胎磨损增加 2.0 倍; $\mu = 0.20$ 时, 燃料消耗增加 20%, 轮胎磨损增加 2.9 倍。

从行车安全角度考虑, 必须限制横向力系数 μ 的取值。对于高速公路, μ 不应超过 0.15; 对于低等级公路, μ 不应超过 0.20。

2 圆曲线最小半径的确定

规范规定的圆曲线最小半径 R_{\min} 是根据汽车在

曲线部分安全、顺适地行驶所需条件确定的,其实质是汽车行驶在曲线部分时所产生的离心力等横向力不超过轮胎与路面的摩阻力所允许的界限,计算公式为:

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127(\mu_{\max} + i_{\max})} \quad (2)$$

式中: v 为设计速度(km/h); μ_{\max} 为路面与轮胎间的最大横向力系数; i_{\max} 为路面最大超高横坡度。

在 v 确定的情况下, R_{\min} 取决于 μ_{\max} 和 i_{\max} 的取值。规范将圆曲线最小半径分为一般最小半径、极限最小半径和不设超高的最小半径 3 种(见表 1)。

表 1 规范规定的圆曲线最小半径

设计速度/ (km·h ⁻¹)	一般最小 半径/m	极限最小 半径/m	不设超高的最小半径/m	
			路拱≤2.0%	路拱>2.0%
120	1 000	650	5 500	7 500
100	700	400	4 000	5 250
80	400	250	2 500	3 350
60	200	125	1 500	1 900
40	100	55	600	800
30	65	30	350	450
20	30	15	150	200

圆曲线一般最小半径是为保证按设计速度行驶的车辆安全性与舒适性而建议采用的圆曲线半径。参考国内外使用经验,确定圆曲线一般最小半径采用的横向力系数为 0.05~0.06,经计算并取整数,得出圆曲线一般最小半径(见表 2)。

表 2 圆曲线一般最小半径的超高横坡度 i 及横向力系数 μ

设计速度/(km·h ⁻¹)	μ 值	i 值	一般最小半径/m
120	0.05	0.06	1 000
100	0.05	0.06	700
80	0.06	0.07	400
60	0.06	0.08	200
40	0.06	0.07	100
30	0.05	0.06	65
20	0.05	0.06	30

极限最小半径是在最大超高时能以设计容许横向摩阻系数最大值相对应的设计速度行驶的最小半径。极限最小半径确定时采用的 μ_{\min} 值为 0.10~0.17,最大超高值为 8%(见表 3)。

不设超高的最小半径是将路拱横坡度 i 和横向力系数 μ 按设计速度代入式(2)计算所得的圆曲线半径。计算参数取值如下:路拱横坡 $i \leq 2\%$ 时, $\mu =$

表 3 圆曲线极限最小半径的超高横坡度 i 及横向力系数 μ

设计速度/ (km·h ⁻¹)	μ_{\min}	不同 i_{\max} 值下极限最小半径/m		
		10%	8%	6%
120	0.10	570	650	710
100	0.12	360	400	440
80	0.13	220	250	270
60	0.15	115	125	135
40	0.15	50	55	60
30	0.16	30	30	35
20	0.17	15	15	15

0.035~0.040,其中 $i = 1.5\%$ 时 $\mu = 0.035$, $i = 2.0\%$ 时 $\mu = 0.040$;路拱横坡 $> 2\%$ 时, $\mu = 0.040 \sim 0.050$,其中 $i = 2.5\%$ 时 $\mu = 0.040$, $i = 3.0\%$ 时 $\mu = 0.045$, $i = 3.5\%$ 时 $\mu = 0.050$ 。

极限最小半径与一般最小半径的差异主要体现在汽车在曲线上行驶时的舒适性,一般最小半径能保证车辆行驶安全、舒适,极限最小半径能保证车辆行驶安全,可满足舒适性的最低要求。

3 圆曲线最小半径实际运用中存在的问题及解决思路

3.1 最小半径的运用原则

(1) 当地形、地质条件较好,对环境及造价影响不大时,应尽可能选用大于或接近不设超高的最小半径。

(2) 在地形复杂的山岭重丘区,可选择接近并大于圆曲线一般最小半径的圆曲线半径,使线形与环境相协调。

(3) 在地形特别复杂的山区或路线布设严格受限的地区,可选择等于或小于一般最小半径、大于极限最小半径的圆曲线半径。

(4) 极限最小半径不得轻易采用,受条件限制必须采用时,应进行技术经济 and 安全性论证,同时配合设置交通工程设施,保证行车安全。

3.2 一般最小半径在实际运用中存在的问题

规范中圆曲线最小半径的确定主要依据汽车行驶理论,未考虑路域环境及其他设施的影响,实际运用中主要存在如下问题:

(1) 高速公路弯道内侧车道的行车视距不满足规范的相关规定(见表 4)。

(2) 隧道内的行车视距不满足规范的相关规定(见表 5)。

表 4 高速公路弯道内侧车道视距与对应的平曲线最小半径

设计速度/ (km·h ⁻¹)	规范规定的一般 最小半径/m	规范规定的 行车视距/m	规范规定的一般最小半径 所能提供的几何视距/m	满足规范行车视距要求的 平曲线最小半径/m
120	1 000	210	142	2 204
100	700	160	119	1 279
80	400	110	90	604

表 5 曲线隧道内行车视距及对应的平曲线最小半径

设计速度/ (km·h ⁻¹)	规范规定的 停车视距/m	规范规定的一 般最小半径/m	规范规定的一般最小半径 可提供的几何视距/m		满足隧道内行车视距要求的 平曲线最小半径/m	
			正常行车位	不利行车位	正常行车位	不利行车位
120	210	1 000	176	155	1 432	1 838
100	160	700	146	130	831	1 067
80	110	400	110	98	393	504
60	75	200	78	69	183	234

(3) 高速公路的一般最小半径在一般情况下很少采用。

3.3 解决思路

针对实际设计中采用规范规定的平曲线一般最小半径无法满足行车视距要求的问题,结合工程实践经验,提出以下几点解决思路:

(1) 在地形、地质等条件允许的情况下,尽可能选择大于等于不设超高的最小半径或经计算满足行车视距要求的平曲线最小半径。

(2) 条件受到限制,不得已采用接近规范规定的一般最小半径时,若中央分隔带足够宽,可通过压缩中央分隔带宽度来扩大高速公路弯道内侧车道视距;若中央分隔带宽度较窄,不适宜压缩其宽度,则通过将中央分隔带护栏适当往内侧偏移来获得较大的弯道视距;若中央分隔带宽度无法满足将护栏往内侧偏移的要求,可利用外侧硬路肩宽度,将弯道内侧行车道往道路外侧偏移,使内侧车道远离中央分隔带,从而扩大转弯视距。

4 实际工程设计中圆曲线最小半径取值建议

4.1 圆曲线最小半径的选用原则

高速公路圆曲线半径采用 1 500~3 000 m 较理想,应尽量少采用半径在 600 m 以下的圆曲线,只有在不得已的情况下才可采用半径小于 400 m 的圆曲线。大于 3 000 m 的曲线半径可视为较大半径。

4.2 公路一般路段圆曲线最小半径的选用

公路一般路段圆曲线的一般最小半径取值建议

见表 6。

表 6 公路一般路段圆曲线的一般最小半径取值建议

设计速度/ (km·h ⁻¹)	规范规定的 一般最小 半径/m	满足中央分隔 带视距要求的 最小半径/m	一般最小半 径建议值/m
120	1 000	2 204	2 250
100	700	1 279	1 280
80	400	604	650
60	200	—	250
40	100	—	100
30	65	—	65
20	30	—	30

注:表中为公路圆曲线半径拟定时优先考虑的取值,属于公路布设受条件限制不太严格时的理想取值,是当采用表列指标不致过多地增加工程规模时应优先考虑选用的半径值; $v\geq 80$ km/h 的公路兼顾了中央分隔带的视距半径要求; $v< 60$ km/h 时的取值为规范规定值。

4.3 隧道路段圆曲线最小半径的选用

隧道由于其特殊的车辆运行环境,其平曲线半径选取比视野开阔的洞外公路有更高的要求。高速公路的曲线隧道应尽可能采用大半径曲线,条件限制时半径取值也应确保满足行车视距要求和超高值不大于 4%的要求,且隧道断面不加宽,以利于车辆行驶安全和方便施工(见表 7)。

4.4 互通区、服务区、停车区路段主线圆曲线最小半径的选用

高速公路上互通区、服务区、停车区路段是车辆频繁驶出和进入高速公路的路段,若这些路段的路线平面为曲线,应尽量采用较大平曲线半径(见表 8)。

表 7 隧道路段圆曲线半径最小取值建议

设计速度/ (km·h ⁻¹)	隧道内停车视距要求的圆曲线最小半径计算值/m	超高要求的圆曲线最小半径		隧道内圆曲线半径建议值		
		超高值/%	最小半径/m	一般最小值/m	极限最小值	
					超高值/%	圆曲线半径/m
120	1 837.50	2	3 240	3 250	4	1 850
100	1 066.70	3	1 220	1 250	4	1 100
80	504.40	4	620	650	5	550
60	234.40	4	430	450	不加宽	250

表 8 互通式立交范围内主线圆曲线半径规范值

设计速度/ (km·h ⁻¹)	最小圆曲线半径			
	一般值		极限值	
	超高值/ %	圆曲线 半径/m	超高值/ %	圆曲线 半径/m
120	4	2 000	5	1 500
100	3	1 500	4	1 000
80	3	1 100	4	700
60	4	500	5	350

建议:一般情况下,设计速度为 120 km/h 和 100 km/h 的高速公路互通区主线平曲线半径按超高值为 2%控制,极限值按超高值为 3%控制,条件受限时按能满足中央分隔带视距要求的半径控制,特别困难时依规范取值;设计速度为 80 km/h 和 60 km/h 的高速公路互通区地形条件一般较复杂,增大主线指标往往会使工程规模增大较多,宜以规范值控制(见表 9)。

表 9 互通式立交范围内主线圆曲线半径建议值

设计速度/ (km·h ⁻¹)	最小圆曲线半径				满足中央分隔带视距要求的 最小圆曲线半径/m
	一般值		极限值		
	超高值/%	圆曲线半径/m	超高值/%	圆曲线半径/m	
120	2	3 250	3	2 500	2 204
100	2	2 000	3	1 500	1 279
80	3	1 100	4	700	604
60	4	500	5	350	—

5 结论

(1) 规范中圆曲线一般最小半径的确定主要依据汽车行驶理论,未考虑路域环境及其他设施的影响,在实际运用中会出现高速公路弯道内侧车道及隧道内等特殊路段的行车视距不满足规范要求的现象。

(2) 实际公路设计中,应尽可能选择大于等于不设超高的最小半径或经计算满足行车视距要求的平曲线最小半径。

(3) 路线受地形、地质等条件限制,不得已采用接近规范规定的一般最小半径时,可通过压缩中央分隔带宽度、适当将中央护栏内移安装、利用硬路肩宽度将弯道内侧车道向外偏移等方式使其行车视距满足规范要求。

公路设计、施工及运营的安全性事关国民经济的和谐、可持续发展,针对规范在实际运用中遇到的问题,应及时对规范进行动态调整,使其适应社会发

展的要求。

参考文献:

[1] 交通运输部公路局,中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路工程技术标准:JTG B01—2014[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.

[2] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路路线设计规范:JTG D20—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.

[3] 杨崇民.公路平面设计中圆曲线最小半径的运用探讨[J].公路,2009(5):229—235.

[4] 赵永平,杨少伟,吴华金,等.山区高速公路螺旋展线隧道内平曲线最小半径[J].长安大学学报(自然科学版),2007,27(6):72—75.

[5] 文晓媛,戚春华,朱守林.基于驾驶员视觉特性的草原公路平曲线半径研究[J].科学技术与工程,2016,16(35):278—282.

收稿日期:2022—08—08