

高速公路改扩建借道施工作业区中央 分隔带开口长度研究

赵一飞, 万航, 肖珊

(长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要:基于高速公路改扩建施工作业区借道通行时车辆的运行轨迹,分别建立了单车道转换、双车道转换和四车道转换条件下中央分隔带开口长度计算模型,结合高速公路的横断面组成和开口部的限制速度值,给出了不同施工工况下的中央分隔带开口长度计算建议值,为高速公路改扩建施工作业区借道通行中央分隔带开口的设置提供依据。研究成果将纳入《高速公路改扩建交通组织设计规范》中,并且已在浙江省多个高速公路改扩建施工交通组织项目中得到应用。应用结果表明:高速公路改扩建借道通行交通转换利用研究成果设置中央分隔带开口后,开口部行驶畅通,保障了行车安全和通行能力。

关键词:高速公路;施工作业区;中央分隔带开口长度;交通转换

1 前言

近年来,随着高速公路区域路网交通流量的迅速增加,部分高速公路的交通流量已接近或超过高速公路的设计交通量,行车舒适性和自由度都受到了极大限制。为提高高速公路的通行质量和用路者的行车满意度,确保行车安全顺畅,部分高速公路管理者开始着手道路改扩建工程的实施工作。为减小施工对交通的影响,同时保持区域路网的正常运作,高速公路施工作业区交通组织形式多采用边通车边施工方式。JTG D20—2017《公路路线设计规范》第6.3.3条规定:高速公路中央分隔带开口长度宜小于或等于40 m;若高速公路车道数为八车道或八车道以上时,高速公路中央分隔带开口长度可适当增加至50 m。而规范中对于高速公路中央分隔带开口采用值的规定过于笼统,并没有结合改扩建高速公路的实际横断面组成、限制速度以及交通转换条件给出不同施工工况下的中央分隔带开口长度规定值。如采用规范的规定值,易导致开口部长度不能适应较高限制速度下交通转换时行车轨迹的要求,引起开口部通行能力下降和交通事故发生;若开口长度取值过大,一方面,驾驶人在开口处易出现超速行驶或车辆插队现象,存在安全隐患;另一方面,前期中央分隔带开口改造和后期恢复造价升高,浪

费人力、财力。因此,该文拟基于高速公路改扩建施工作业区借道通行时车辆运行轨迹,结合改扩建高速公路横断面组成、限制速度值,提出不同借道施工工况下的中央分隔带开口长度计算建议值,以实现通行能力、交通安全和造价等方面综合效益最大化。

2 中央分隔带开口长度

高速公路改扩建借道施工时中央分隔带开口设置应能满足下列要求:①满足标准规范中设计车辆在实际道路条件下顺利通过时运行轨迹的要求;②汽车列车(总长18.1 m)能以限制速度安全通过;③在保障开口处通行能力和交通安全的情况下,尽可能缩短开口长度,减少造价,实现通行能力、交通安全和造价等方面综合效益的最大化。

开口部所在的平面线形平曲线半径越大,所需开口长度值越小。该文中所有交通转换模型中均以最不利情形下的直线段作为研究对象,得到高速公路借道施工不同工况下的中央分隔带开口长度计算建议值。在不同车道转换条件下,车辆均以限制速度通过S形轨迹实现车道的转换,且该S形曲线为反向相连的圆曲线,半径为 R 。依据此基础,结合车辆在此处行车轨迹的几何关系和受力平衡方程,以及道路横断面组成,分别建立了单车道转换、双车道转换和四车道转换条

件下中央分隔带开口长度计算模型,并提出了计算建议值。

2.1 单车道转换中央分隔带开口长度

(1) 单车道转换开口长度计算模型

结合交通转换时车辆行车轨迹的几何关系和受力平衡方程,高速公路单车道转换条件下中央分隔带开口长度建议值计算模型如图 1 所示。

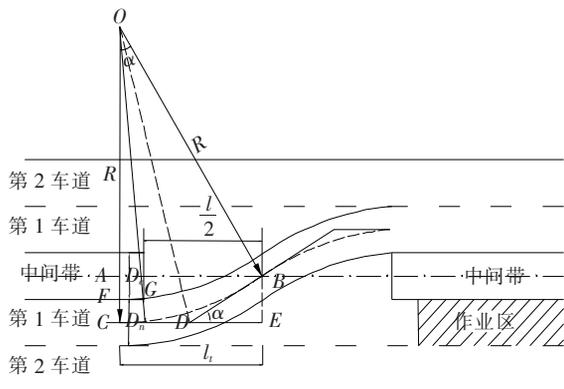


图 1 单车道转换条件下中央分隔带开口长度计算模型

首先,中央分隔带开口部长度应满足标准规范中设计车辆在实际道路条件下顺利通过时运行轨迹的要求。根据开口部车辆实际通行时以 S 形轨迹实现交通转换的特点,将车辆的这种行车轨迹简化为半径为 R 的反向相连的圆曲线,由此行驶轨迹,可保障车辆在开口部顺利通过。由图 1 计算模型中直角三角形 AOB 运用勾股定理,可建立几何方程式(1):

$$R^2 = l_i^2 + \left(R - \frac{D_n}{2} - \frac{D_c}{2} \right)^2 \quad (1)$$

由直角三角形 COD 和直角三角形 BDE 运用三角函数关系,可建立几何方程式(2):

$$l_i = R \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) + R \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \cos \alpha \quad (2)$$

联立式(1)、(2),可得偏角 α 计算公式:

$$\alpha = 2 \arctan \left(\sqrt{\frac{D_n + D_c}{4R - D_n - D_c}} \right) \quad (3)$$

其次,中央分隔带开口部长度除满足车辆通行的要求外,同时还应满足安全需求。车辆在圆曲线上会产生离心力,该力的存在可能会使行驶车辆向外滑移或产生侧翻,为平衡离心力,车辆在开口部交通转换时的力学平衡图示如图 2 所示。

图 2 中,将开口部车辆实现交通转换时所受的离心力 F 和重力 G 分别沿垂直于路面方向(Y 向)和平行于路面方向(X 向)进行分解,可得到力学平衡方程式(4):

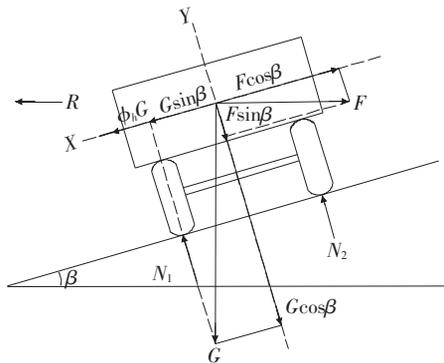


图 2 开口部车辆交通转换力学平衡图示

$$\begin{cases} X \text{ 向: } \phi_h G + G \sin \beta - F \cos \beta = 0 \\ Y \text{ 向: } G \cos \beta + F \sin \beta - N_1 - N_2 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

考虑到 β 角度较小,故 $\sin \beta \approx \tan \beta = i_h, \cos \beta \approx 1$, 则由式(4)X 向受力平衡方程可得出式(5):

$$\phi_h G + G i_h - F = 0 \quad (5)$$

车辆转弯时所受离心力:

$$F = \frac{GV^2}{gR} \quad (6)$$

将式(6)代入式(5),并将式(6)中运行速度 V 的单位由 m/s 转化为 km/h,可得到在已知车辆运行速度、横向摩阻系数、横坡度大小与方向时转弯半径:

$$R = \frac{V^2}{127(\phi_h + i_h)} \quad (7)$$

通过式(7),公式中车辆运行速度采用开口部限制速度值,根据实际道路超高横坡及横向摩阻系数取值,即可得到车辆以限制速度安全通过时行车轨迹的转弯半径。

由图 1 计算模型直角三角形 FOG,还可建立几何方程式(8):

$$\left(l_i - \frac{l}{2} \right)^2 + \left(R - \frac{D_n}{2} \right)^2 = (R - D_a)^2 \quad (8)$$

由式(8),推导可得出高速公路单车道转换条件下开口长度计算见公式(9):

$$l = 2R \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) (1 + \cos \alpha) - 2 \sqrt{\left(2R - \frac{D_n}{2} - D_a \right) \left(\frac{D_n}{2} - D_a \right)} \quad (9)$$

式中:R 为开口部转弯半径(m);V 为施工作业区开口部限制速度值(km/h); ϕ_h 为实际道路情况下车辆轮胎与高速公路接触面所提供的横向摩阻系数; i_h 为横坡度(%); D_a 为单车道转换时转换车道中心线与中间带的间距(m); D_n 为第一车道的宽度(m); D_c 为中间带宽度(m);l 为开口长度计算采用值(m); l_i 为开口处车辆行车运行轨迹沿路线纵断面走向的投影;

N_1 、 N_2 分别为路面对车辆左、右侧轮胎的竖向支撑力(N)。

(2) 单车道转换开口长度建议值

从高速公路单车道交通转换中央分隔带开口长度计算模型可知,在车道转换数确定的情况下,开口部长度的计算建议值与中间带宽度、第一车道行车道宽度和车辆行车轨迹半径大小有关,开口部车辆行车轨迹转弯半径取决于车辆借道行驶时开口处限制速度值、实际道路状况下车辆轮胎与高速公路接触面所能提供的横向摩阻系数、路拱横坡度的大小和方向。

其中,横向摩阻系数 φ_h 的采用值与横向力系数 μ 的取值有关。当横向力系数 μ 值过大时,会增加驾驶人的操作难度,同时还会造成乘客舒适度降低,并增加油耗。通常情况下当横向力系数 $\mu=0.15$ 时,驾驶人和乘客在行车过程中稍感有平曲线存在,且行车相对

较为平稳,故出于安全经济舒适综合考虑,确定文中所有模型横向摩阻系数 φ_h 均取为 0.15。

高速公路改扩建施工作业区车辆借道通行实现交通转换时,该路段限制速度相对较低,该文各计算模型中开口处限制速度依据中国项目实施情况分别取为 60、50 和 40 km/h 共 3 种常见限速值;第 1 车道宽度按照规范标准分别采用 3.75、3.50 和 3.25 m;中间带宽度依据路线规范中相关取值分别采用 4.5、3.5、3.0 和 2.0 m 共 4 种宽度;横坡度分别采用 0、2%、3% 和 4% 共 4 种横坡。后述双车道转换和四车道转换条件下横向摩阻系数取值以及其他各分类情况均与单车道转换条件一致,不再赘述。

当开口车道为单车道转换条件时,将相关参数代入式(9)可计算出高速公路借道施工时中央分隔带开口长度建议值(5 m 取整),如表 1 所示。

表 1 单车道转换条件下中央分隔带开口长度建议值

车道 宽度/ m	横坡/ %	不同限制速度、不同中间带宽度(m)下中分带开口长度/m											
		60 km/h				50 km/h				40 km/h			
		4.5	3.5	3.0	2.0	4.5	3.5	3.0	2.0	4.5	3.5	3.0	2.0
3.75	0	80	75	70	65	65	60	60	55	50	50	45	45
	-2	85	80	75	70	70	65	65	60	55	55	50	45
	-3	90	80	80	75	75	70	65	60	60	55	55	50
	-4	90	85	85	75	75	70	70	65	60	55	55	50
3.50	0	75	70	70	65	65	60	60	55	50	50	45	45
	-2	85	80	75	70	70	65	60	55	55	50	50	45
	-3	85	80	80	70	70	65	65	60	55	55	50	50
	-4	90	85	80	75	75	70	70	65	60	55	55	50
3.25	0	75	70	70	65	65	60	55	50	50	45	45	40
	-2	80	75	75	65	70	65	60	55	55	50	50	45
	-3	85	80	75	70	70	65	65	60	55	55	50	45
	-4	90	85	80	75	75	70	65	60	60	55	55	50

2.2 双车道转换中央分隔带开口长度

(1) 双车道转换开口长度计算模型

高速公路双车道转换条件下中央分隔带开口长度建议值计算模型如图 3 所示。

首先,根据图 3 计算模型,建立几何方程式:

$$\begin{cases} R^2 = l_t^2 + (R - D_n - D_c/2)^2 \\ l_t = R \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + R \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos\alpha \end{cases} \quad (10)$$

由式(10),推导可得出式(11):

$$\alpha = 2 \arctan\left(\sqrt{\frac{2D_n + D_c}{4R - 2D_n - D_c}}\right) \quad (11)$$

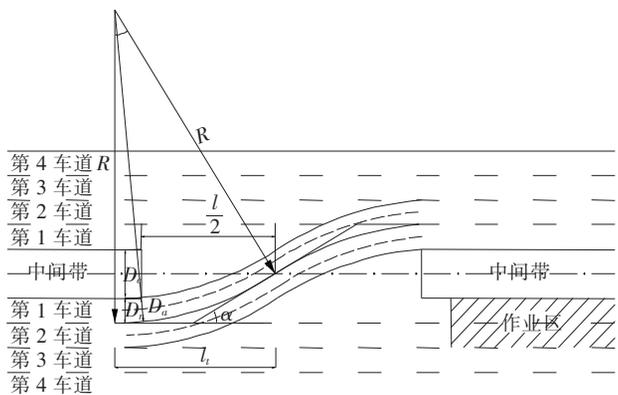


图 3 双车道转换条件下中央分隔带开口长度计算模型

开口处车辆运行轨迹转弯半径的计算公式如式(7)所示。

由图 3 计算模型,可建立几何方程式:

$$\left(l_t - \frac{l}{2}\right)^2 + (R - D_n)^2 = (R - D_a)^2 \quad (12)$$

由式(12),推导可得出高速公路双车道转换条件下开口长度计算公式:

$$l = 2R \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) (1 + \cos\alpha) - 2\sqrt{(2R - D_n - D_a)(D_n - D_a)} \quad (13)$$

式中: D_a 为双车道转换时转换车道中心线与中间带的间距(m);其他符号意义同前文。

(2) 双车道转换开口长度建议值

当开口车道为双车道转换条件下时,将相关参数代入式(13)可计算出高速公路借道施工时中央分隔带开口长度建议值(5 m 取整),如表 2 所示。

2.3 四车道转换中央分隔带开口长度

(1) 四车道转换开口长度计算模型

高速公路四车道转换条件下中央分隔带开口长度采用值计算模型如图 4 所示。

表 2 双车道转换条件下中央分隔带开口长度建议值

车道宽度/m	横坡/%	不同限制速度、不同中间带宽度(m)时中分带开口长度/m											
		60 km/h				50 km/h				40 km/h			
		4.5	3.5	3.0	2.0	4.5	3.5	3.0	2.0	4.5	3.5	3.0	2.0
3.75	0	95	90	90	85	80	75	75	70	65	60	60	55
	-2	100	100	95	90	85	80	80	75	70	65	65	60
	-3	105	100	100	95	90	85	85	80	70	70	65	65
	-4	110	105	105	100	90	90	85	80	75	70	70	65
3.50	0	95	90	85	80	75	75	70	70	60	60	60	55
	-2	100	95	95	90	85	80	80	75	65	65	60	60
	-3	105	100	95	90	85	85	80	75	70	65	65	60
	-4	110	105	100	95	90	85	85	80	70	70	65	65
3.25	0	90	85	85	80	75	70	70	65	60	60	55	55
	-2	100	95	90	85	80	80	75	70	65	60	60	55
	-3	100	95	95	90	85	80	80	75	70	65	65	60
	-4	105	100	100	95	90	85	80	80	70	65	65	60

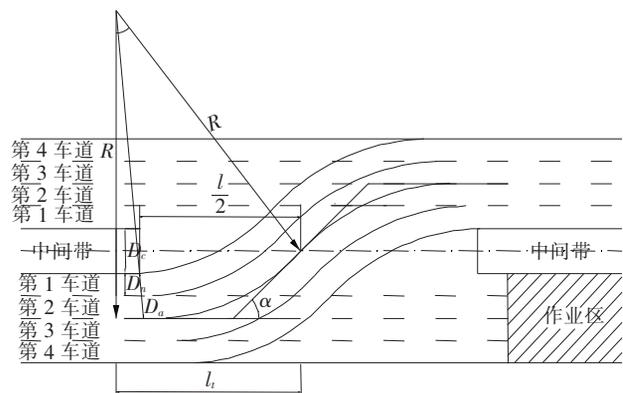


图 4 四车道转换条件下中央分隔带开口长度计算模型

根据图 4 所示计算模型,建立几何方程式:

$$\begin{cases} R^2 = l_t^2 + (R - 2D_n - D_c/2)^2 \\ l_t = R \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) + R \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cos\alpha \end{cases} \quad (14)$$

由式(14),推导可得出式(15):

$$\alpha = 2 \arctan\left(\sqrt{\frac{4D_n + D_c}{4R - 4D_n - D_c}}\right) \quad (15)$$

开口处车辆运行轨迹转弯半径的计算公式如式(7)所示。

由图 4 计算模型,还可建立几何方程式:

$$\left(l_t - \frac{l}{2}\right)^2 + (R - 2D_n)^2 = (R - D_a)^2 \quad (16)$$

由式(16),推导可得出高速公路四车道转换条件下开口长度计算公式:

$$l = 2R \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) (1 + \cos\alpha) - 2\sqrt{(2R - 2D_n - D_a)(2D_n - D_a)} \quad (17)$$

式中: D_a 为四车道转换时转换车道中心线与中间带的间距(m);其他符号意义同前文。

(2) 四车道转换开口长度建议值

入式(17)可计算出高速公路借道施工时中央分隔带开

当开口车道为四车道转换条件时,将相关参数代

口长度建议值(5 m 取整),如表 3 所示。

表 3 四车道转换条件下中央分隔带开口长度建议值

车道 宽度/ m	横坡/ %	不同限制速度、不同中间带宽度(m)时分带开口长度/m											
		60 km/h				50 km/h				40 km/h			
		4.5	3.5	3.0	2.0	4.5	3.5	3.0	2.0	4.5	3.5	3.0	2.0
3.75	0	120	120	115	115	100	100	100	95	80	80	80	75
	-2	130	125	125	120	110	105	105	100	85	85	85	80
	-3	135	130	130	125	115	110	110	105	90	90	85	85
	-4	140	140	135	135	120	115	115	110	95	90	90	90
3.50	0	120	115	115	110	100	95	95	90	80	75	75	75
	-2	125	125	120	120	105	105	100	100	85	85	80	80
	-3	130	130	125	125	110	105	105	105	90	85	85	80
	-4	140	135	135	130	115	110	110	105	90	90	90	85
3.25	0	115	110	110	105	95	95	90	90	75	75	75	70
	-2	125	120	120	115	105	100	100	95	85	80	80	75
	-3	130	125	125	120	105	105	105	100	85	85	80	80
	-4	135	130	130	125	110	110	105	105	90	85	85	85

3 结语

通过分析高速公路改扩建借道施工作业区交通转换车辆的运行轨迹,结合高速公路横断面组成及开口部限制速度值,借助行车轨迹的几何关系和受力平衡方程,分别推导出单车道转换、双车道转换和四车道转换条件下中央分隔带开口长度计算模型,给出了不同道路条件组合下中央分隔带开口长度计算建议值。该文研究最终结果表明:高速公路改扩建交通转换借道施工时中央分隔带开口长度建议值,与车道转换数、开口部限制速度值、第 1 车道宽度、中间带宽度及路拱横坡度的大小和方向有关,其中开口长度受车道转换数的影响最大,其次是限制速度,最后是第 1 车道宽度、中间带宽度及横坡度。因此,中央分隔带开口长度在改扩建施工交通组织等项目中进行具体工程应用时,应综合考虑以上各因素,合理选择,实现通行能力、交通安全和造价方面综合效益的最大化。该文研究成果在 G60 沪昆高速公路(杭金衢高速公路)和 G25 长深高速公路(杭宁高速公路)等改扩建施工交通组织项目中进行了应用。实践结果表明,采用上述研究成果设置中央分隔带开口,借道行驶畅通,保障了行车安全和

通行能力。中央分隔带开口长度研究成果将纳入《高速公路改扩建交通组织设计规范》中。

参考文献:

- [1] 薛志远. 高速公路不中断交通的大修安全保畅方案优化[D]. 长安大学硕士学位论文, 2012.
- [2] JTG D20—2017 公路路线设计规范[S].
- [3] 潘兵宏, 吴明先, 王佐. 高速公路大修期间中央分隔带开口长度研究[J]. 公路, 2012(9).
- [4] 许金良, 等. 道路勘测设计[M]. 5 版. 北京: 人民交通出版社, 2018.
- [5] 王玮. 高速公路养护作业区交通组织方案优化关键技术研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2014.
- [6] 潘兵宏, 吴明先, 王佐. 多车道高速公路出入口附近同向车道分隔带开口长度计算模型研究[J]. 中外公路, 2012(4).
- [7] 张含飞. 高速公路改扩建交通组织方案动态设计研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2015.
- [8] 双晓娟. 公路中央分隔带开口研究[J]. 交通节能与环保, 2018(2).
- [9] 刘巍巍, 李永会, 张百永, 等. 城镇密集区老路改扩建工程交通组织方案研究[J]. 中外公路, 2016(2).
- [10] 高建平, 朱贺贤, 张续光. 高速公路养护作业工作区车道保持行为安全性研究[J]. 中外公路, 2018(5).