

Difference of Radius between Inner Wheels for Vehicles on Urban Road and Safety Countermeasures

Ruinu Wang*, Hongbo Qian, Xuefei Tan, Xiaoyan Tan

College of Transport & Communications, Shanghai Maritime University, Shanghai
Email: 272795496@qq.com

Received: Mar. 20th, 2014; revised: Apr. 26th, 2014; accepted: May 2nd, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Difference of Radius between Inner Wheels is a potential safety hazard for road traffic. According to the traveling track of vehicles, this paper analyzes the causation and characteristics of the Difference of Radius between Inner Wheels, gives methods of the calculation for the difference based on turning radius of urban road, and then puts forward some corresponding safety countermeasures. The research results show that some specific countermeasures from the traffic management and education, the vehicle design and the traffic design can be taken to reduce the potential safety hazard from Difference of Radius between Inner Wheels.

Keywords

Large Truck, Turning Radius, Difference of Radius between Inner Wheels, Urban Road, Intersection

基于道路转弯半径的内轮差计算及安全对策

王睿弩*, 钱红波, 谭学飞, 谭晓艳

上海海事大学交通运输学院, 上海
Email: 272795496@qq.com

收稿日期: 2014年3月20日; 修回日期: 2014年4月26日; 录用日期: 2014年5月2日

*通讯作者。

摘要

大型车辆内轮差是城市道路交叉口的重要安全隐患之一，本文通过车辆行驶轨迹软件对半挂汽车列车转弯时的行驶轨迹进行可视化模拟，并对内轮差产生机理及特征进行分析，试图从内轮差对交通安全的影响入手，提出非拖挂车辆与半挂汽车列车在不同道路转弯半径下的内轮差计算公式，并进一步从交通设计、信号控制、监管与教育等方面提出相应的与内轮差相关的事故预防对策，以降低内轮差给城市道路造成的安全隐患。

关键词

大货车，转弯半径，内轮差，城市道路，交叉口

1. 引言

近年来大量资金投向国内基础设施的建设，大货车作为工程施工和货物运输的主力，在城市建设中发挥着不可替代的作用，与此同时大货车对城市道路交通安全的威胁也引起了市民的广泛关注。

大货车由于车身重、外形长大等特点，在城市道路内与大货车相关的事故发生率高、致死率高。在导致人员伤亡的交通事故中，约有 1/2 的道路交通事故发生在平叉路口及其附近，大货车由于存在较大的内轮差和视觉盲区，成为城市道路交叉口的重大安全威胁之一[1]。

在以往的研究中，李宗烜[2]基于车辆最小转弯半径推导了最大内轮差的计算方法[2]，孙国君对车辆轮差面积进行了估算[3]。但基于车辆最小半径而得出的内轮差值与以面积表示的内轮差并不能对交通设计和驾驶行为提供直接的参考。本文尝试将道路特性与内轮差关联起来，计算基于道路中心线转弯半径的内轮差计算方法。

2. 内轮差产生机理与特征

内轮差(Difference of Radius between Inner Wheels)是车辆转弯时内前轮转弯半径与内后轮转弯半径之差[4] [5]。对于汽车挂车，则是牵引车的内前轮与挂车的内后轮转弯半径之差。由于内轮差的存在，车辆转弯时，前、后车轮的运动轨迹不重合[6]。

图 1 为半挂汽车列车向右做 90°转弯产生的内轮差的示意图。图中扇形区域 1 说明，车辆进入交叉口时内轮差迅速增大至最大值，产生巨大的安全隐患；由扇形区域 2 可以看出，在大货车车头完成转弯后较长一段距离内，内轮差仍然存在。可见半挂车转弯内轮差具有距离大、产生快、消失慢等特点，这是大货车内轮差成为道路交通安全隐患的主要原因。

车辆保持某一特定的转弯半径行驶时，在不同的行驶速度下需要产生的前轮转角不同，所以在前轮转角一定的情况下，车速的快慢会对内轮差的大小产生影响。以下计算只针对沿着特定的转弯半径行驶的车辆，不针对特定的前轮转角，所以所求得的内轮差与车速无关。

以下我们推导车辆沿特定半径做 180°和 360°低速稳定转弯所产生的内轮差值。如图 2 所示，所得结果可视为大货车在交叉口转弯时理论上所能产生的最大内轮差值。

3. 内轮差的计算与仿真

3.1. 非拖挂车辆内轮差的计算

非拖挂车辆沿着特定转弯半径的道路行驶时，其内轮差 m 与车辆的轴距 L 和轮距 d 直接相关，对于

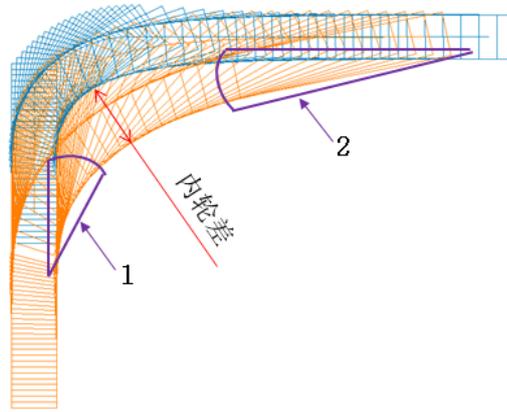


Figure 1. Difference of Radius between Inner Wheels of semi-trailer
图 1. 半挂汽车列车的内轮差

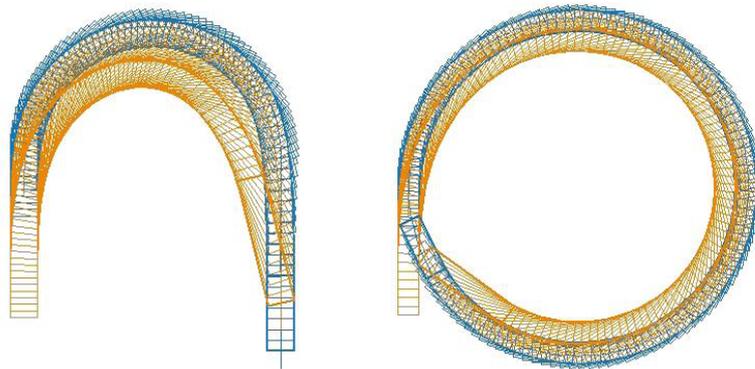


Figure 2. Difference of Radius between Inner Wheels of semi-trailer turning 180° and 360°
图 2. 半挂车做 180° 和 360° 转弯时的内轮差

三轴或四轴重型非拖挂货车，轴距 L 为最前轴与最后轴之间的轴距。内轮差产生原理与各参数的定义如图 3 所示。

整理后的内轮差 m 的计算公式如下：

$$a = \sqrt{R^2 - L^2} - \frac{d_2}{2} \quad (1)$$

$$\cos \alpha = \frac{a + \frac{d_2}{2}}{R} \quad (2)$$

$$b = \sqrt{R^2 + \left(\frac{d_1}{2}\right)^2} - d_1 R \cos \alpha \quad (3)$$

$$m = b - a \quad (4)$$

R 车辆所在车道的转弯半径， L 轴距， d_1 前轮距， d_2 后轮距， α 牵引车前轴与后轴中点与转弯圆心所夹角度， a 内侧后轮中心线的运动半径， b 内侧前轮中心线的运动半径， m 非拖挂车辆的内轮差(单位均为 m)。

3.2. 半挂车内轮差的计算

由于内轮差的大小与车辆的轴距与轮距相关，所以其在大型车辆的转弯过程中体现尤为突出，半挂汽车列车由于其自身尺寸和结构特点，在转弯时会产生很大的内轮差，因此会在转弯时产生很大的安全隐患。在城市道路中，大货车右转车流与行人和非机动车相冲突，由于巨大的内轮差的存在，大货车后轮碾压行人和非机动车的事故屡见不鲜。大货车内轮差的产生原理与参数的定义如图4所示。

$$r = \sqrt{\left(a + \frac{d_2}{2}\right)^2 + k^2} \tag{5}$$

$$c = \sqrt{r^2 - L^2} \tag{6}$$

$$m' = b - c \tag{7}$$

其中 R 、 a 、 α 、 b 的定义与计算与前文非拖挂车辆相同。 L 牵引车轴距轴距； L' 挂车牵引销至中间轴的轴距； d_1 牵引车前轮距； d_2 牵引车左右外侧后轮中心线间距； d' 挂车后轮距； k 牵引销与牵引车后轴的

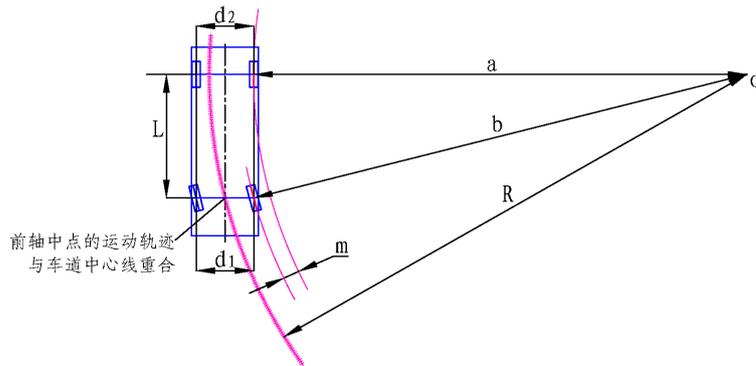


Figure 3. Calculation of Difference of Radius between Inner Wheels for non-trailer
图3. 非拖挂车辆的内轮差计算

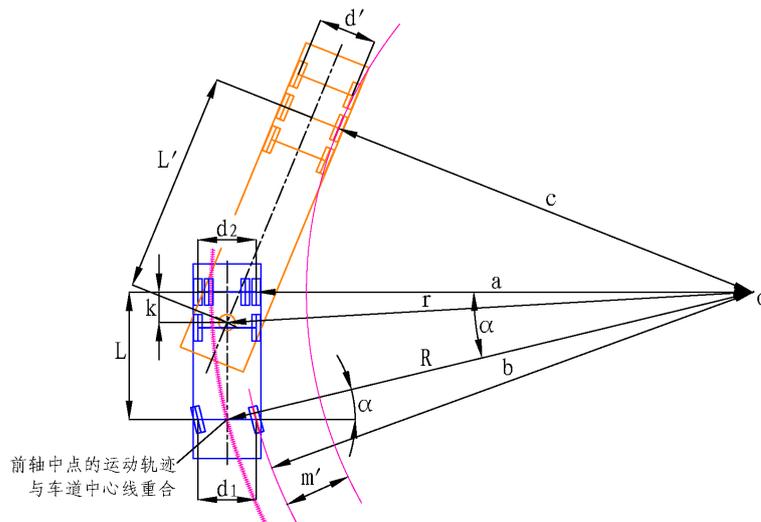


Figure 4. Calculation of Difference of Radius between Inner Wheels for semi-trailer
图4. 半挂汽车列车内轮差计算

距离； r 牵引销的运动半径； c 挂车内侧后轮中心线的运动半径； m' 半挂车辆的内轮差(单位均为 m)。

3.3. 计算结果

我们分别对中型轿车、重型货车、公交车和半挂汽车列车为例，分别计算沿特定半径道路中心线转弯是产生的内轮差。其中四种车型分别选取奥迪 A6L、一汽平头柴油自卸汽车 CA3071P9K2AE、宇通公交车 ZK6891HG 和一汽半挂牵引车 CA4260P66K2T1A、普通三轴装箱运输半挂车作为代表。各自的固有尺寸如表 1 所示，计算结果见表 2。

通过计算结果可以看到，转弯半径在 30 m 以下时，半挂汽车列车的内轮差是小型车的 4~8 倍，公交车的内轮差约为小型车的 3~5 倍。如果其他交通参与者通过常识去臆断车辆的内轮差，将很容易产生严重的判断错误和极大的安全隐患。

在 1997 年版《机动车运行安全技术条件》第 5.10 节中规定：当转弯直径为 24 m 时前转向轴和末轴的内轮差(以两内轮轨迹中心线计)不得大于 3.5 m[7]。2004 和 2012 版的《机动车运行安全技术条件》中取消了此项规定，因为我们可以从计算结果中看出，大型车辆根据其本身的性质，转弯半径在 12 m 时内轮差通常在 2.5 m 以下。

虽然规定中取消了对机动车运行产生的内轮差的控制，但内轮差所带来的巨大安全隐患却不容忽视。如果以城市道路为例，道路宽度为 3.5 米，半挂车的宽度为 2.5 米，那么半挂车辆在沿着 25 米半径圆弧转弯时，其内轮差区域极有可能会侵入内侧的车道，对其内侧的车辆和行人产生极大的安全威胁。

3.4. 基于 FORUM8 的仿真

图 5，图 6 为基于 FORUM8 软件的仿真，图中可以看出大型车辆在转弯过程中所产生的内轮差，使其明显的侵入到了相邻车道，给道路交通带来了安全隐患，与计算结果相一致。

4. 考虑车辆内轮差的安全对策

城市道路交叉口车辆构成比较复杂，机动车、非机动车以及行人混行，并且各自的交通流之间有很

Table 1. Dimensions of vehicles (mm)

表 1. 车型的尺寸规格(mm)

参数 \ 车型	L	L'	d_1	d_2	d'	k
中型轿车	3021		1627	1618		
平头自卸车	3750		1914	1847		
公交车	4300		1950	2740		
半挂汽车列车	4800	8460	2055	2145	1840	1150

Table 2. Difference of Radius between Inner Wheels on different turning radius (m)

表 2. 四种车型在特定转弯半径下的内轮差(m)

内轮差 \ 车型	10	15	20	25	30	35	40
中型轿车	0.5	0.32	0.23	0.18	0.15	0.13	0.11
平头自卸车	0.77	0.48	0.34	0.26	0.21	0.17	0.15
公交车	1.47	1.07	0.89	0.78	0.72	0.67	0.63
半挂汽车列车	---	2.55	1.49	0.93	0.58	0.34	0.16

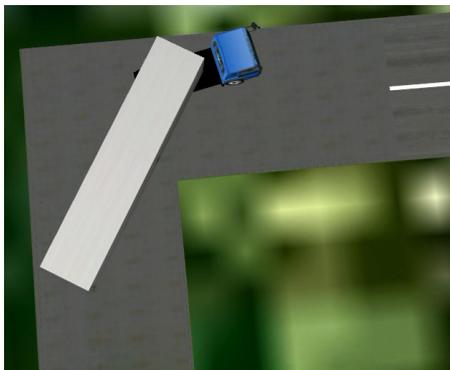


Figure 5. Right-turning Simulation for semi-trailer

图 5. 半挂汽车列车右转弯仿真



Figure 6. Right-turning Simulation for large bus

图 6. 大型客车右转弯仿真

多冲突点。其中机动车的右转与行人和非机动车的直行交通流相互冲突，是交叉口的巨大安全隐患之一。由于大型车辆内轮差的存在，其右转交通流同样会侵占其内侧车道机动车、非机动车或行人的路权。而大货车驾驶员为了避免内轮差的影响，在右转弯之前通常靠向左侧车道借道行驶，如此便侵占了其左侧车辆的路权，再加上视觉盲区的存在，将会产生大货车与左侧车辆碰撞的安全隐患。笔者建议在城市道路经常发生大货车右转的交叉口进行道路拓宽并设置右转专用车道或渠化设计，并设置合理的机非隔离与信号控制等。

4.1. 右转专用车道与机非隔离

在城市道路中，大货车右转交通流与其右侧的机动车、非机动车和行人的直行交通流相冲突。同时大货车车身高而且长，在平面交叉口处很容易阻挡其他车辆对交通状况和信号灯的观察和判断。因此，笔者认为在较多大货车右转的城市道路交叉口应设置右转专用车道，从而可以通过信号控制彻底消除右转交通流和其他直行交通流的冲突。

由于内轮差的存在，右转大货车有很大的可能会侵占其内侧行人或其他右转车辆的路权，因此应在右转进口道和出口道设置机非隔离带。机非隔离带自身的宽度使机动车道与非机动车道之间产生一定的间隙，从而为大货车右转的内轮差预留了一定的安全空间，避免非机动车和行人进入内轮差区域内甚至

发生碰撞。

4.2. 右转交通流的渠化设计

在城市道路中存在大货车行驶的交叉口，若设置右转专用道并加设转角交通岛，即将大货车的右转交通流进行渠化，应符合《城市道路交叉口规划规范》第4.1.6节第5、6条的规定：转弯半径应大于25m；转弯半径为25~30m时，车道加宽为5m；转弯半径大于30m时，车道加宽为4.5m[8]。利用前文介绍的公式计算，车辆的转弯轨迹半径 R 应为道路红线转弯半径 R_0 加道路宽度 W_0 的一半。经计算，半挂集装箱运输车在道路红线转弯半径 R_0 为25~30m时， R 为27.5~32.5m，求得其内轮差约为0.74~0.45m； R_0 大于30m时 R 大于32.25m，则内轮差小于0.46m。从而《城市道路交叉口规划规范》中所规定的转弯半径与道路宽度可以保证大货车的安全转弯。

该规范中同时规定经渠化的右转专用车道必须设置信号控制。由于大货车体积大，车身重，在交叉口遇到红灯信号时其减速停车与启动加速相对困难，而且大货车在城市道路中过多的停车次数将会较其他车辆产生更多的空气与噪声污染，增大其周边车辆的视觉盲区。所以城市道路有货车通行的交叉口有必要采用货车优先的信号控制。由于大货车更倾向于产生较少停车次数的驾驶方式，在定时信号控制系统下，大货车在黄灯或既可以通过又可以停车的进退两难的状况[9]下的驾驶行为通常较激进，于是便增加了大货车闯红灯的危险。笔者建议在大货车通行的城市道路交叉口采用感应信号控制，以实现大货车优先通行，减少大货车停车次数，从而间接的改善交通安全。

此外，因为经渠化的右转专用通道只有单车道，一旦道路上发生行人闯红灯等突发状况，右转车辆很难躲闪或急停。右转车道紧邻行人和非机动车道，后者仍然有可能忽视车辆内轮差的存在而距离右转车辆过近而产生危险。因此，为减少行人违规闯入和避免右转非机动车过于靠近右转机动车乃至大货车，对于经渠化设计的右转专用道，应适当设置其与非机动车道或行人通道的物理隔离。

4.3. 交叉口限速

由于车辆的车速越快，车辆转弯时的横向稳定性越差，由此带来的行驶轨迹的不稳定可能增大内轮差。所以应当对于进口道右转车道进行限速，其具体限速规定应符合《城市道路交叉口规划规范》第3.5.6节所规定，即无转角岛式渠化设计速度不大于20km/h，转角岛式渠化不大于30km/h[8]。右转的大型车辆在交叉口内较其他车辆具有更大的安全隐患，对于右转大型车辆的限速应执行的尤为严格。

4.4. 转弯提示音

如前文的分析，大货车在城市道路交叉口转弯的过程中，其内轮差区域很有可能会侵入其内侧的车道，有时甚至由于借道行驶而侵占其外侧车道，所以在半挂车内侧车道驾驶的车辆或行人不能单纯通过减速来规避内轮差。如果车辆和半挂车共同进入交叉口，并在半挂车内侧行驶，那么其车辆的一部分很可能已经在半挂车的内轮差区域之内，该车必须通过主动提前减速避免与大货车同时进入交叉口，或主动向右侧躲避。而后者必定向右侵占更内侧的车道或非机动车道，进一步产生交通流的冲突和安全隐患。

所以内侧车辆避让半挂车的最佳时刻应为转弯车辆进入交叉口之前，通过减速让大货车先进入交叉口。大货车内侧的车辆减速避让，必须提前意识到外侧右转大货车的存在。车辆通常以转向灯闪烁来表达自身转弯的意图。而内侧车辆转弯前，通常只关注右侧的后视镜，即很有可能无法从左侧后视镜观察到货车转向灯闪烁。从而笔者建议：为城市道路行驶的大货车设置强制性转弯提示音。大货车的转弯提示音可以在转向灯的视觉提醒之外提供听觉的弥补，对其内侧的转弯车辆、非机动车和行人提供进一步的安全保障。因为大货车内侧的交通参与者有主动避让的义务，所以“右(左)转弯，请避让”或“右

(左)转弯, 请注意”的提示音能够直接提示其他交通参与者的义务与行为, 减小安全隐患。

4.5. 加强相关安全教育

在优化交通规划设计与交通控制的同时, 应当加强对全社会所有交通参与者的安全教育。大货车在城市道路对交通安全的威胁毋庸置疑, 而其具体原因涉及到许多交通和车辆方面的专业知识, 其他车辆和行人在不了解这些知识的情况下很难产生牢固的安全意识。所以笔者建议相关交管部门加强对大货车内轮差等相关知识的宣传教育工作, 使社会车辆和行人在有大货车行驶的道路上能够主动避让、规避风险, 同时也使城市道路大货车的驾驶行为收到更广泛的监督。

5. 结论与建议

城市道路内与大货车相关的事故屡见不鲜而且死亡率高。据公安部交通管理局统计, 2012年全国货车交通事故造成18621人死亡, 平均每小时就有2人因为货车事故而死亡。货车, 俨然已经成为道路交通安全第一杀手[10]。这其中—个重要的原因是大货车转弯内轮差的存在。本文提出车辆沿特定车道中心线转弯半径下的内轮差计算公式, 并对城市道路内具有代表性的四种车型在不同转弯半径下的内轮差进行计算, 指出大货车转弯时的侵入内侧车道的可能性很大, 其他车辆应采用提前减速等方式主动让行。

本文针对城市道路大货车内轮差的存在, 提出如下设计与控制的改善建议:

1) 在较大货车右转的交叉口设置右转专用通道, 并在右转进口道和出口道设置机非隔离带, 从而为大货车转弯产生的内轮差预留出部分安全空间。

2) 在对大货车右转交通流进行渠化设计的交叉口, 应按规定进行车道加宽, 并设置基于大货车优先的感应信号控制, 以及采用机动车道与非机动车和行人通道的物理隔离。

3) 按交叉口设计形式实行大货车交叉口限速, 对超速行为进行处罚。

4) 为大货车转弯设置“右(左)转弯, 请避让(请注意)”的提示音, 为其他交通参与者提供听觉的警告语避让提示。

5) 加强对其他驾驶员和行人的安全教育, 增强其规避大货车风险的意识, 也让城市道路大货车收到更广泛的社会监督。

基金项目

国家自然科学基金资助项目(61304203)上海市教委科研创新项目(11YZ134); 上海海事大学校基金(20120078)。

参考文献 (References)

- [1] 钱红波, 王睿弩, 谭晓艳 (2013) 大货车交通事故特征分析与预防对策研究. 交通信息与安全, 25, 98-103.
- [2] 李宗烜 (2012) 大型商用车右侧碰撞预警系统. 硕士学位论文, 武汉理工大学, 武汉.
- [3] 孙国君 (2011) 轮差的估算与安全. 产业与科技论坛, 118-122.
- [4] 百度百科 (2013) 内轮差. <http://baike.baidu.com/view/292160.htm>
- [5] 一卫 (2008) 转弯的“陷阱”——再谈内轮差. 当代汽车, 3, 99
- [6] 万禄义 (2012) 公交车“内轮差”, 不容忽视. 人民公交, 1, 71
- [7] GB 7258-1997, 机动车运行安全技术条件.
- [8] GB 50647-2011, 城市道路交叉口规划规范.
- [9] 钱红波, 李克平 (2008) 绿灯间隔时间对交叉口交通安全的影响研究. 中国安全科学学报, 6, 166-170.
- [10] 本刊编辑部 (2013) 让货车更安全——记“大排查、大教育、大整治”货车违法行为专项行动. 道路交通管理, 11, 12.