

文章编号 1002-0268(2006)08-0014-04

基于行车安全的沥青路面车辙测量与评价指标的研究

侯相深, 马松林, 王彩霞

(哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:车辙是我国高速公路的主要病害之一。国内外采用单一的车辙深度评价指标不能反映车辙危害的全部信息。采用自主开发的车辙仪对几条高速公路的车辙进行了测量,指出了车辙形状的差异性。从车辆行驶安全性的角度出发,采用车辙最大深度、车辙宽度、车辙最大可能积水面积、车辙辙槽的平均曲率半径等多个指标描述车辙的特征,揭示了车辙与行车安全性之间的关系,为今后确定更加合理的车辙评价指标打下基础。

关键词:沥青路面;车辙;评价指标;行车安全

中图分类号:U416.217

文献标识码:A

Research on Measurement and Evaluation of Asphalt Pavement Rutting Based-on Traffic Safety

HOU Xiang-shen, MA Song-lin, WANG Cai-xia

(School of Science and Engineering on Communication, Harbin Institute of Technology, Heilongjiang Harbin 150090, China)

Abstract: Rutting is one of the major distresses of the expressway pavements in China. At present, rut depth is the only evaluation index for rutting at home and abroad. It cannot show the whole information of rut. A rut-meter was developed independently, which was used for inspecting rut of several expressway pavements. The results showed that the shapes of rut were different, and the shape of rut affects traffic safety. Multi-indexes were adopted, such as rut depth, rut width, maximum possible water catching area and average rut curvature radius, to describe the characteristics of rut and the relation between rut and traffic safety. The study laid a foundation for more rational new rut index.

Key words: asphalt pavement; rutting; evaluation index; traffic safety

0 前言

20世纪70年代末美国各州公路局曾经做过调查统计,在被调查的44条主要公路中有13条公路的破坏是由车辙引起的,占调查总数的29.5%;日本的高速公路路面维修、罩面的原因,80%以上是由车辙引起的。我国已建成的高速公路中,沥青路面的车辙是主要病害之一,已经引起道路建设与管理部門的高度重视。

在我国,由于绝大多数路面是半刚性基层沥青

路面,车辙的形成过程可以简单分为投入运营初期的压密过程、高温下沥青混合料的蠕变变形、沥青混合料剪切破坏等3个阶段。一般认为,路面上车辙的危害包括以下几个方面:

- (1) 路面表面过量的变形影响路面的平整度;
- (2) 轮迹处沥青层厚度减薄,削弱了面层及其路面结构的整体强度,易于诱发其他病害;
- (3) 雨天车辙内积水导致车辆出现飘滑,影响高速行驶的安全性;
- (4) 冬季车辙槽内聚冰,降低路面的抗滑能力,

收稿日期:2005-04-15

作者简介:侯相深(1964-),男,吉林德惠人,副教授,研究方向为路面管理系统、路面养护维修技术、路面综合检测车技术。
(houxiangshen@126.com)

行车产生冰滑现象；

(f) 车辆在超车或变换车道时方向失控，影响车辆的操纵稳定性。

以往的单一指标即车辙的最大深度，只考虑了车辙内积水对高速行车产生水漂而影响行车安全这一因素，无法全面地反映车辙的上述危害性，因此，研究车辙的二维评价指标对于交通安全具有十分重要的意义。

1 车辙仪的研发

由于严格的渠化交通以及大量超载车辆的客观存在，即使是新建的高速公路在很短的时间内也会出现严重的车辙。虽然国内外已经有各种各样的车

辙检测仪器，然而不菲的价格，以及车辙评价指标的局限性，仍然是仪器推广应用的主要障碍。

国外的车辙仪多以 3、5、7 个测点为主，主要目的还是在测量并计算车辙的深度。一般采用激光传感器，再加上水平参照平台和处理软件，价格在几十万以上。根据专利检索结果，国内尚未见车辙仪及其检测方法的专利。为了适应我国高速公路发展的需要，开发了采用电脑自动化检测技术、以测距传感器和定位传感器为工具的多点车辙测量仪。测量车辙的深度，可通过 USB 接口的传输线将采集的数据存入在检测车上的便携式处理器，进行数据处理（图 1）。经室内标定，该仪器的测量相对误差均在 1% 以下，完全可以满足工程要求，如表 1 所示。

表 1 标定的相对误差 /%
Tab.1 Relative Error of qualification test

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0.13	0.12	0.19	0.12	0.13	0.05	0.13	0.22	0.08	0.27	0.18	0.21	0	0.04	0.02	0.11
2	0.1	0.53	0.74	0.38	0.52	0.41	0.02	0.34	0.06	0.24	0.27	0.36	0	0.01	0.09	0.26
3	0.55	0.34	0.41	0.14	0.31	0.45	0.42	0.23	0.38	0.54	0.22	0.18	0.01	0.17	0.21	0.01
4	0.33	0.07	0.14	0.12	0.08	0.09	0.31	0.35	0.24	0.51	0.31	0.33	0.01	0.12	0.1	0.14

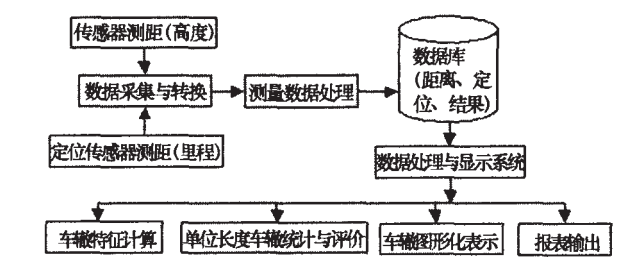


图 1 路面车辙检测仪系统流程

Fig.1 Flow chart of pavement rut measure-meter

2 测量数据的处理方法

如图 2 所示坐标系，对于车辙曲线 $y=f(x)$ 而言，虽然由坐标系 yx 旋转至 y_1x_1 或 y_2x_2 ，曲线方程发生了变化，任意点的 (x,y) 坐标也不同，但曲线上点与点之间的关系并未改变。要通过离散点描述该连续曲线，只要测试点足够多，并且能够控制其拐点，就可以准确地反映曲线的形状。

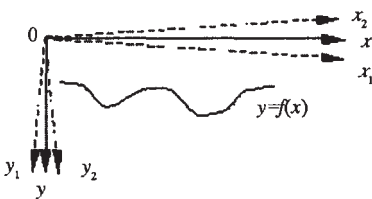


图 2 测量原理

Fig.2 Principle of rut measurement

3 车辙形态分析

国内外车辙的形状不尽相同。图 3 为国外车辙的一种形态，主要是由压密变形、轮胎磨损等原因引起，每个轮迹带有 2~4 个辙槽，成 W 字形；图 4 是我国高速公路车辙的典型形态，多为沥青混合料的高温蠕变流动引起，每个轮迹带只有 1 个辙槽，成 U 字形。图 5~图 7 为几条高速公路的实测车辙图，车辙形态各异。其中图 5 是一个车道宽度 3.75 m 内的实测车辙断面，车辙变形分布在 3.0~3.2 m 的宽度内，单侧辙槽的宽度在 1.0~1.2 m 左右。图 6、图 7 为多点车辙测量仪的实测 3.0 m 宽车辙断面。从 3 个车辙断面特征可以发现：长春—四平高速公路右侧轮迹带车辙比左侧的深，一方面由于路面横坡，另一方面左右辙槽深度差造成的坡度，使得车辆行驶在此路段中，出现偏载和侧倾的可能，对行车安

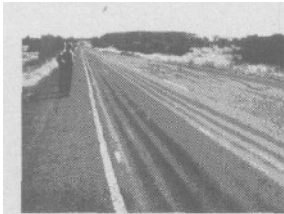


图 3 国外车辙形态之一



图 4 国内车辙的主要形态

Fig.3 One of rut type in freemdness Fig.4 Main rut type in China

全极为不利；哈尔滨—双城高速公路车辙左右辙槽深度基本一致，而哈尔滨—绥化高速公路部分路段的车辙形态则与长春—四平高速公路的相反。车辙的形态与很多因素有关，如与沥青混合料的类型、车辆组成与轴载谱、路面横坡的大小、施工时材料的离析、压实的不均匀等都有密切的关系。目前，还没有足够的数据来证明车辙的形态主要由哪个因素决定，因为还没有可靠的手段来准确评价施工质量的均匀性以及沥青面层的真实的工作性能。

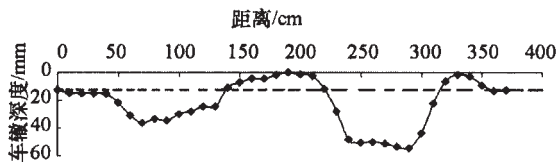


图 5 长春—四平高速公路车辙实测图
Fig.5 Rut shape in Changchun-Siping expressway

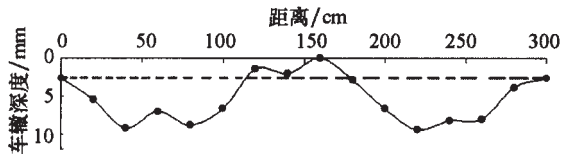


图 6 哈尔滨—双城高速公路车辙实测图
Fig.6 Rut shape in Harbin-Shuangcheng freeway

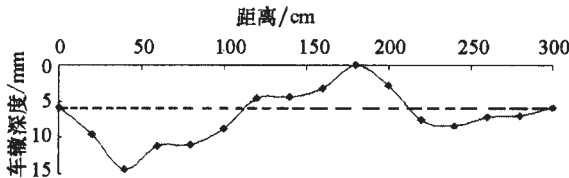


图 7 哈尔滨—绥化高速公路车辙实测图
Fig.7 Rut shape in Harbin-Suihua freeway

由图 5~图 7 可知（图中的虚线为路面线），车辙的深度由低于路面的凹谷和高于路面的凸峰两部分构成，仅从表象上看，两部分的面积并不相等，说明沥青混合料的高温蠕变移动只是车辙产生的部分原因。表 2 给出了凸凹两部分的面积比例，说明大部分车辙是由塑性变形累计产生的。3 条路的凸凹两部分比例差别较大，说明 3 条路产生车辙的原因各异。

4 车辙的评价指标

车辙深度作为普遍使用的车辙评价指标已为人们所熟悉，但不能反映车辙对行车的全部影响。有驾驶经验的人都知道，不管哪一种车辙形态，其对驾驶平稳性的影响程度不仅与辙槽深度有关，也

表 2 车辙各组成部分面积及所占比例

Tab.2 Area of rut-section and proportion

路线	凸部/m ²			凹部/m ²		面积合 计/m ²	凸部比 例/%	凹部比 例/%
	左	中	右	左	右			
长平	0.00	56.68	28.22	161.43	289.824	536.15	15.84	84.16
哈双	0.00	7.69	0.00	47.08	46.29	101.78	7.56	92.44
哈绥	0.00	26.02	0.00	51.14	12.88	90.04	28.90	71.10

辙槽的侧壁坡度、辙槽的宽度有关。因此，为全面评价车辙的危害性，在保留现有意义上的车辙深度评价指标的同时，应增加车辙评价的其他指标。

(1) 车辙辙槽深度 RD_1 和 RD_2

国外采用辙槽的平均深度作为评价指标，其计算方法是计算辙槽两侧最高点连线中点到辙槽底部的深度。该指标的计算结果可能对应若干不同车辙断面形态，不能反映辙槽的最大高差给行车带来的影响。因此，从车辆操控稳定性的角度，应采用辙槽最大深度 RD_1 来评价车辙的严重程度，而采用辙槽的第二大深度 RD_2 来作为积水深度的评价指标。辙槽深度越大，车辆转向受到的阻力越大，车辆行使变线时所施加扭矩就越大。同时，辙槽深度 RD_1 和 RD_2 也是维修车辙时铣刨深度的主要依据。

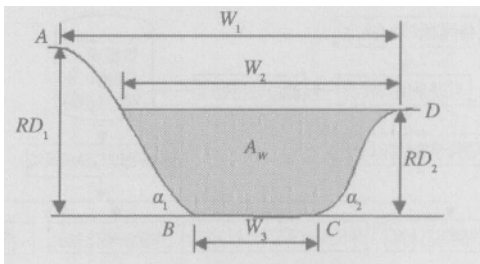


图 8 车辙评价指标概念图

Fig.8 Conception figure of rut evaluation index

(2) 车辙辙槽宽度 W_1 、 W_2 和 W_3

有 3 个反映辙槽倒梯形特征的车辙宽度值，即辙槽顶部水平最大宽度 W_1 、最大可能积水宽度 W_2 和辙槽底部宽度 W_3 ，它们在一定程度上制约了轮胎行走轨迹。辙槽越窄，对行车操控稳定性影响越大，主要是车辙的边缘距行车标志线的距离具有随机性质，如图 9 所示，车辆的行使方向受辙槽轨迹的影响明显；反之，辙槽越宽，对车辆的行使方向的影响越小，驾驶者就越容易操控汽车。

(3) 车辙辙槽侧壁倾角 α 和 α_2

以辙槽侧壁倾角 α 和 α_2 衡量，以辙槽侧壁直线与水平线的锐角计算。角度越大，越接近 90 时，车辆变线时所需克服的阻力越大。辙槽的侧壁越陡，车辆转向受到的阻力也越大；当辙槽的侧壁坡度达到 90 时，车辆转向受到的阻力最大。

(4) 车辙侧壁的平整度 σ

影响车辆运行的横向平稳性指标,以 5 mm 深车辙对应的点到左侧行车标志线范围内的横向平整度标准差表示 σ ,其物理意义与平整度指标相近。当辙槽较宽时,驾驶者自由选择轮迹可能性增大,轮胎可以远离辙槽的边缘,因此,辙槽侧壁的平整度 σ 对车辆行使的横向平稳性的影响减弱。图 9 的标准差 $\sigma=6.07 \text{ mm}$ 。

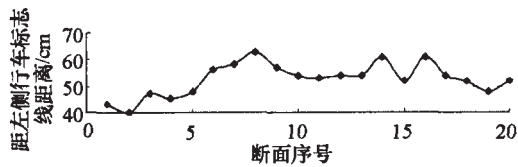


图 9 长平公路内侧辙槽深度 5 mm 的点距左侧行车标志线的距离

Fig.9 Distance between the position of 5 mm rut depth and left lane line in Changchun-Siping expressway

(5) 车辙辙槽内最大可能积水断面面积 A_w

积水是影响车辆雨天行使安全性的主要因素之一。辙槽内最大可能积水断面面积越大,车辆雨天行使时的安全性越差;积水深度越深,驾驶员对车辙形态的判断准确性越差,越容易引起错误的判断或操作,也导致危险性增大。由于大多数辙槽断面边缘都不是规则、光滑的,因此采用最近似倒梯形面积替代,则 $A_w = (W_2 + W) \times RD_2 / 2$ 。由于辙槽内积水状况还同时取决于纵断面状况,所以 A_w 并不一定是真实的积水面积。

(6) 车辙辙槽的平均曲率半径 ρ

以上各指标都可以从不同侧面反映出车辙辙槽的特征问题,但如何描述辙槽的综合特性是解决问题的关键。选择辙槽的平均曲率半径作为指标是解决这一问题的有效途径之一,其定义公式如式 (1)。显然,辙槽越平缓,深度越小, ρ 越大,反之越小。

$$\rho = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{AD}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad (1)$$

式中, ρ 为辙槽的平均曲率半径, m; α_1 、 α_2 为辙槽左右侧壁的转向角, (°); AD 为辙槽左侧最高点至右侧最高点的弧长, m。

根据以上各评价指标的分析与计算方法,得到了图 5~图 7 所示实测车辙各指标的计算值,如表 3、表 4 所示。

分析以上数据得出:除车辙宽度的规律性略差外,图 5 中车辙的各指标值明显高于图 6、图 7 的,说明各指标确实反映了辙槽的实际特征;而图 6、图 7 的各指标值比较接近,也比较符合主观性评价结果。

表 3 左侧实测车辙各指标计算值

Tab.3 Evaluation indexes of left rut

断面	RD_1/ RD_2 /cm	$W_1/W_2/W_3$ /cm	α_1/α_2 /(°)	A_w /cm ²	ρ /m
图 5	3.5/2.1	149.9/98.8/20.1	1.6/4.5	156.8	14.3
图 6	0.9/0.7	161.3/136.4/40.1	0.6/1.0	74.5	57.3
图 7	1.2/0.9	180.0/114.3/40.0	0.1/1.7	89.0	57.3

表 4 右侧实测车辙各指标计算值

Tab.4 Evaluation indexes of right rut

断面	RD_1/ RD_2 /cm	$W_1/W_2/W_3$ /cm	α_1/α_2 /(°)	A_w /cm ²	ρ /m
图 5	5.3/4.9	140.2/138.6/50.1	8.3/4.8	479.3	6.2
图 6	0.9/0.5	165.6/135.5/40.1	1.1/0.6	75.4	57.3
图 7	0.8/0.3	120.0/87.5/20.0	0.9/0.5	39.0	52.1

5 结语

从行车安全的角度,对现有车辙各评价指标进行了讨论,并提出了新的评价指标设想,在评述了 3 个典型的车辙断面的基础上,对新指标进行了初步探讨,验证了各评价指标的确可以描述车辙的不同特点。今后,将对各个评价指标的重要性与敏感性进行研究,逐步建立与各项指标相适应的评价标准。

参考文献:

- [1] 赵济海,王哲人,关朝力.路面不平度的测量分析与应用[M].北京:北京理工大学出版社,2000.
- [2] 沙庆林.高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 徐世法.沥青路面的车辙深度与行车安全性[J].北京建筑工程学院学报,1994,10(1).
- [4] DAR-HAO CHEN. Study of Rut-depth Measurements [A]. Washington D C: Transportation Research Board 80th Annual Meeting, 2001.
- [5] YUSUF MEHTA. Evaluation of the Road Surface Profiler and the Transverse Profile graph for Determination of Rut Depth Measurements [R]. Washington D C: Submitted for presentation and subsequent publication to the Transportation Research Board, National Research Council, 2001.
- [6] PRITHVI S KANDHAL,STEVE A CROSS, E RAY BROWN. Heavy Duty Asphalt Pavements in Pennsylvania: an Evaluation for Rutting [R]. 1993.
- [7] A REGGIN, A SHALABY, P ENG. Evaluation of Rutting Trends in the Blg Quill Saskatchewan Reduced Tire Pressure Experiment[A]. 4th Transportation Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering[C]. 2002: 5- 8.
- [8] OMAR EL-HAGGAN. Evaluation of Rutting Behavior or Density Deficient Asphalt Mixtures[R].2003.