

文章编号: 0451—0712(2006)07—0331—06

中图分类号: U416.03

文献标识码: A

# RLWT 与 APA 车辙试验加载模式比较分析

张俊标<sup>1</sup>, 徐科<sup>2</sup>, 张肖宁<sup>2</sup>

(1. 广东省高速公路有限公司 广州市 510010; 2. 华南理工大学道路工程研究所 广州市 510640)

**摘 要:** 旋转车辙仪(RLWT-Rotary Loaded Wheel Tester or Rutmeter)于 20 世纪 90 年代末开始在美国出现,因其轻便、易用,迅速受到关注。研究表明,RLWT 与沥青路面分析仪(APA)、国际车辙仪的相关性都不理想。本文利用数字图像处理技术对 RLWT 与 APA 车辙试验的加载模式进行了分析,通过量测 RLWT 试件、APA 试件与原样试件中粗集料颗粒长轴与 X 轴夹角的差异,得出结论:RLWT 与 APA 车辙试验的加载模式存在较大差异。

**关键词:** 旋转车辙仪(RLWT); 沥青路面分析仪(APA); 车辙试验; 数字图像处理

车辙是沥青路面的一种流动变形,是国际上最常见的沥青路面损坏现象。据国际资料统计,在沥青路面的维修养护中,有约 80% 是因为车辙变形。与开裂、水损坏相比,车辙的危害性直接威胁交通安全。同时,车辙损坏的维修最为困难,因为车辙不仅发生在表面,也经常危及中下面层,这就是世界各国在防治沥青路面的损坏中,历来把防治车辙放在第一位的原因<sup>[1]</sup>。

为防治车辙,需评价沥青混合料的抗车辙变形

能力,一般可使用国际车辙仪、沥青路面分析仪(APA)、汉堡车辙仪等。旋转车辙仪(RLWT-Rotary Loaded Wheel Tester or Rutmeter)是 20 世纪 90 年代末开始在美国出现的,因其轻便、易用,迅速受到关注。该车辙仪可以对直径 100 mm 及 150 mm 的混合料试件及芯样进行车辙试验评价。2002 年在美国沥青技术国家中心(NCAT)环道试验路中对其应用进行了研究<sup>[2]</sup>。试验过程中,RLWT

收稿日期:2006—05—10

表 8 胀缩总率结果汇总

掺灰量/%	含水量和胀缩总率的变化				
	含水量/%	18.2	19.7	21.9	25
0	胀缩总率/%	2.76	2.32	1.47	1.01
	含水量/%	17.5	17.4	20.9	21.8
4	胀缩总率/%	0.96	0.86	0.76	0.7
	含水量/%	16	18.9	21.8	22
6	胀缩总率/%	1.16	0.76	0.51	0.6
	含水量/%	20	22	23.6	25.6
8	胀缩总率/%	0.86	0.71	0.71	0.66

## 5 结论

通过对石灰改良膨胀土进行了对比试验研究,表明掺加一定量的石灰后能明显改善膨胀土的胀缩性能,从而论证了石灰改良膨胀土的工程可行性,但在施工时要找出最适合的掺灰量和控制好含水量。

(1) 浸水 CBR 试验表明,掺灰为 4% 时, CBR 的强度已经能满足高速公路路用填料的指标要求。

(2) 不浸水 CBR 试验表明,浸水的 CBR 和不浸水的 CBR 相差很大,说明填料的水稳性不好。

(3) 掺灰处理以后,其 CBR 线膨胀率和 50 kPa 膨胀量变化明显,说明掺灰对膨胀土的膨胀性有明显的改善效果。

(4) 收缩试验表明,掺灰有利于收缩系数的减小。

(5) 胀缩总率试验表明,若掺灰为 6%,还需对碾压含水量进行控制,其土的潜在膨胀势基本上已属非膨胀。

## 参考文献:

[1] 陈新民,等.生石灰改良膨胀土的试验研究[J].工程勘察,1997,24(6).

[2] 孔令伟,郭爱国,赵颖文,陈善雄.荆门膨胀土的水稳性及其力学效应[J].岩土工程学报,2004,(6).

[3] 彭波,原健安,等.固化剂加固土的研究[J].西安公路交通大学学报.1998,18(3).

[4] JTJ 051—93,公路土工试验规程[S].

表现出了相当好的区分度。徐伟等<sup>[3]</sup>(2005)利用 RLWT 对某高速公路车辙进行了试验分析,评价不同车辙深度路段路面各层沥青混凝土抗车辙性能。研究表明 RLWT 车辙仪可以对沥青路面抗车辙性能进行评价及控制施工质量。

然而,由于 RLWT 车辙试验加载模式与常规车辙仪有所不同,导致无论采用相同加载次数的车辙深度还是动稳定度  $DS$  作为指标,RLWT 与 APA、国际车辙仪的相关性都不理想。贾娟等<sup>[4]</sup>(2004)进行了沥青混合料车辙试验方法比对分析,得出结论:国标车辙与 RLWT 的相关性一般,加载 2 000 次,其车辙深度相关性  $R^2=0.62$ ;APA 与 RLWT 的相关性偏差,都以最终的车辙深度来评价抗车辙能力,它们之间的相关性  $R^2=0.51$ 。

为了给推广 RLWT 提供参考依据,本文尝试利用数字图像处理方法,针对 RLWT 与 APA 车辙试验的加载模式,进行对比分析,为合理使用和改进车辙试验提供一定的指导。

## 1 RLWT 与 APA 的加载模式

旋转车辙仪(RLWT)使用的是单向旋转加载轮,即在驱动旋转大轮边缘设置 10 个橡胶小轮,每个从动小轮的轴载为 125 N,接触压强为 0.70 MPa,最大车辙测试深度为 6.35 mm。可使用计算机或打印机采集车辙数据。RLWT 外观如图 1 所示,试件在 RLWT 中的受力模式如图 2 所示。

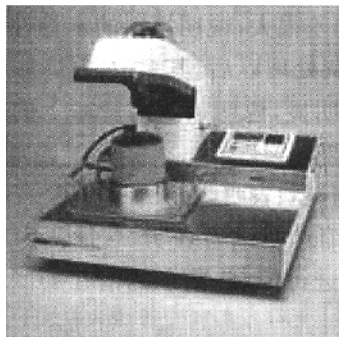


图1 RLWT 外观

沥青路面分析仪(APA)具有精确的加载、温度控制和数据采集系统,3 个加载凹形轮沿充气的橡胶管在试件上往复运动,轮载为 445 N,橡胶管气压为 700 kPa,即为施加于试件的接触压力,行走距离为 285 mm,运动频率为 60 次/min,使用计算机采集数据。APA 外观如图 3 所示,试件在 APA 中的受力模式如图 4 所示。

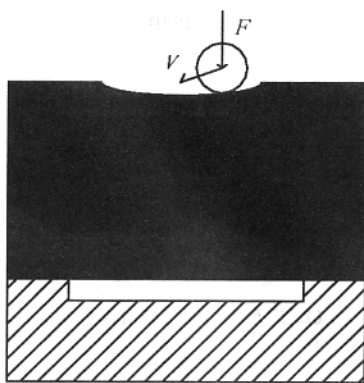


图2 试件受力模式(RLWT)

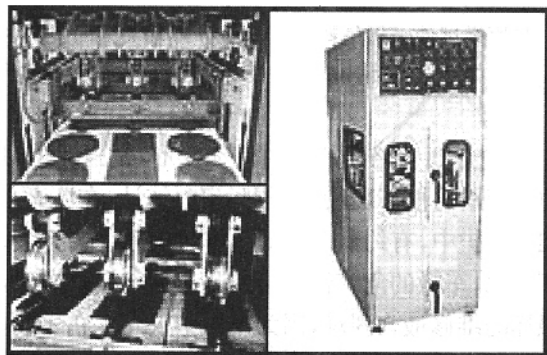


图3 APA 外观

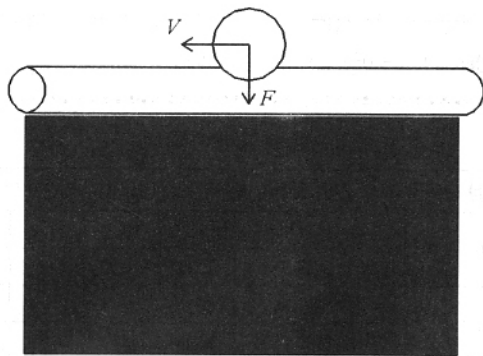


图4 试件受力模式(APA)

## 2 研究方法

沥青混合料产生车辙破坏主要经历压密与流变两个阶段,是集料在压力作用下紧密排列和位移的过程。按照填充理论,几何形状不规则的粗集料多为长形颗粒,存在一个最大“长轴”,集料颗粒只有在长轴取向排列状态下才有可能获得最大填充率,集料排列才能够进入“稳定状态”。车辙的产生就是交通量不断对沥青路面压密,再由于集料表面沥青膜受切力而发生蠕变位移产生流变破坏的过程。其中,集

料颗粒的长轴排列取向程度将直接影响材料密实度和稳定性。研究表明,粗集料构成混合料的骨架结构,其排列取向是沥青混合料变形的重要指标<sup>[5]</sup>。因此,本文选择粗集料颗粒长轴排列取向特性为指标,用来比较评价不同车辙试验加载模式差异;分析在不同压实次数时,RLWT 试件、APA 试件及原样试件粗集料颗粒长轴的取向特性。菅原照雄等<sup>[6]</sup>对使用轮胎碾压 4 000 次后的车辙板试件的颗粒长轴排列角度进行了分析,发现碾压后颗粒向水平方向排列的比例提高了。然而,由于其采用手工方法,工作量大且准确性无法得到保证。

长轴定义对问题的分析十分重要。统计分析发现:对于粗集料颗粒边界上任意两点的连线(弦),存在唯一最长弦,并确保其上每一点都在边界内部,即与边界只相交于两个端点,称该弦为粗集料颗粒主轴,利用其对应的方向表示颗粒状态方向较为合适。

粗集料颗粒主轴方向物理意义如图 3 所示。粗集料主轴是指颗粒的凸边界上任意两点间距离(2a)的最大值,与水平 X 轴所夹的锐角表示主轴方向,用  $\alpha(0 \leq \alpha \leq 90)$  表示,如图 5 所示。

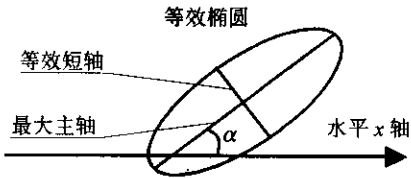


图 5 混合料颗粒主轴及主轴方向

3 试验方案

利用旋转压实仪(SGC)成形级配为 AK-16 的沥青混合料试件。集料采用广东珠海宏达石场出产的花岗岩,矿粉采用广东云浮出产的石灰岩矿粉,沥青为 ESSO 70 号基质沥青。级配如表 1 所示。

表 1 AK-16 级配各筛孔通过率

级配类型	通过以下筛孔(mm)的质量百分率%										矿粉%	沥青%	
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15			0.075
AK—16	100	95.0	77.0	57.5	37.0	25.0	17.5	13.0	9.5	7.0	5.0	5.0	4.7

设定压实次数为 115 次,成形 3 组试件,每组各 6 个。组 1 试件进行 RLWT 车辙试验,水浴温度为 60℃,控制车辙深度为 6 mm;组 2 试件取其上部 7.5 mm 进行 APA 车辙试验,温度为 60℃,控制车辙深度为 6 mm;组 3 作为对比,不进行任何性能试验。车辙试验完成后,将组 1、组 2 试件沿车辙轮迹带将试件垂直切开;沿任意直径将组 3 试件垂直切开;其剖面如图 6~图 8 所示。

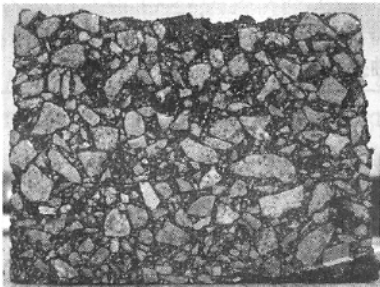


图 6 RLWT 试件剖面

利用数字图像处理技术对试件剖面图进行处理。数字图像处理(Digital Image Processing)技术是指通过扫描仪或数码相机将一幅连续的图像离散化为计算机可以处理的信息,并对此信息进行各种

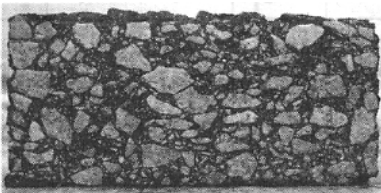


图 7 APA 试件剖面

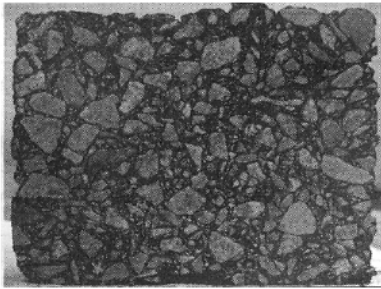


图 8 原样试件剖面

操作处理,以达到某一效果的过程<sup>[7]</sup>。由于数字图像处理技术的方便性、经济性、可利用信息量大和形象化存储等方面的优点,其工程应用已成为国际道路领域的热门课题。

由于 RLWT 试件与 APA 试件车辙影响范围不同,为统一研究条件,取试件剖面图顶部 6 cm 范围

进行分析。对剖面图进行图像增强、噪声消除等操作后,利用双峰法提取集料颗粒信息。使用FeretDiameter 等效直径作为粗、细集料区分指标,其计算方法如式 1 所示<sup>[8]</sup>:

等效直径=2 √颗粒截面面积/π (1)

对应于图 6~图 8 图像的数字图像处理结果如图 9~图 11 所示。

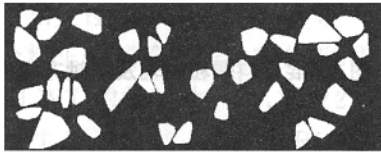


图 9 RLWT 试件剖面图处理结果



图 10 APA 试件剖面图处理结果

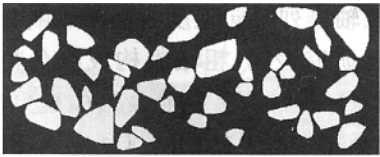


图 11 原样试件剖面处理结果

统计各图中颗粒长轴的平均值。分别在 115 次与 160 次压实次数下,各成形 3 组试件进行分析。

4 数据分析

压实 115 次时,进行车辙试验的各组试件及原样试件的长轴与 X 轴夹角如表 2 所示。

压实 160 次时,进行车辙试验的各组试件及原样试件的长轴与 X 轴夹角如表 3 所示。

分析表 2 和表 3 数据,可知以下几点。

(1)相对于原样试件,RLWT 试件的长轴夹角较大,压实 115 次后进行车辙试验, $\alpha_{RLWT}43.7>\alpha_{原样}=35.6^{\circ}$ ;压实 160 次后进行车辙试验, $\alpha_{RLWT}=36.8>\alpha_{原样}=35.0^{\circ}$ ;分析原因:RLWT 试件在进行车辙试验

表 2 压实 115 次时试件长轴与 X 轴夹角

图像 编号	RLWT —1	RLWT —2	RLWT —3	RLWT —4	RLWT —5	RLWT —6	RLWT —7	RLWT —8	RLWT —9	RLWT —10	RLWT —11	RLWT —12	平均
夹角/(°)	42.7	41.2	37.8	38.6	42.7	57.1	47.1	42.5	—	—	—	—	43.7
图像 编号	APA —1	APA —2	APA —3	APA —4	APA —5	APA —6	APA —7	APA —8	APA —9	APA —10			平均
夹角/(°)	35.0	37.8	37.1	30.1	28.4	18.6	41.4	28.5	22.2	28.4			30.7
图像 编号	原样 —1	原样 —2	原样 —3	原样 —4	原样 —5	原样 —6	原样 —7	原样 —8	原样 —9	原样 —10	原样 —11	原样 —12	平均
夹角/(°)	34.1	32.3	33.5	33.8	35.0	37.3	40.0	35.8	32.7	34.8	35.6	42.7	35.6

注:车辙试验完成后,获得完整的 RLWT 试件 4 个,APA 试件 5 个。

表 3 压实 160 次时试件长轴与 X 轴夹角

图像 编号	RLWT —1	RLWT —2	RLWT —3	RLWT —4	RLWT —5	RLWT —6	RLWT —7	RLWT —8	RLWT —9	RLWT —10	RLWT —11	RLWT —12	平均
夹角/(°)	34.0	51.1	40.0	35.3	43.4	29.6	45.0	30.8	29.5	30.6	31.8	40.7	36.8
图像 编号	APA —1	APA —2	APA —3	APA —4	APA —5	APA —6	APA —7	APA —8	APA —9	APA —10	APA —11	APA —12	平均
夹角/(°)	35.4	36.4	29.3	33.9	40.4	29.4	29.7	21.8	36.0	37.9	33.0	27.4	32.6
图像 编号	原样 —1	原样 —2	原样 —3	原样 —4	原样 —5	原样 —6	原样 —7	原样 —8	原样 —9	原样 —10	原样 —11	原样 —12	平均
夹角/(°)	37.6	36.5	32.1	31.9	32.5	35.6	36.7	35.1	35.4	35.4	35.3	36.0	35.0

时,橡胶小轮仅作用于试件顶面长约 6 cm 范围;且因其轨迹为圆弧,引起荷载施加位置的变化,使集料

受力不均衡,造成试件对称轴两侧粗集料颗粒长轴夹角增大,其作用机理分析如图 12 所示。

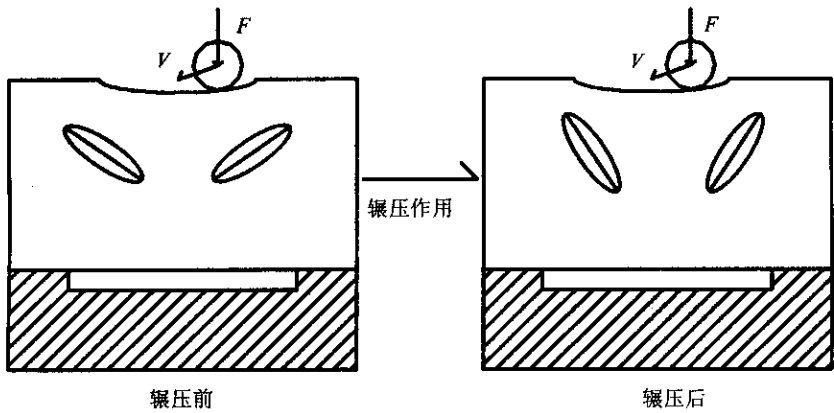


图 12 RLWT 试件颗粒长轴夹角变化作用机理示意

(2)相对原样试件,APA 试件的长轴夹角较小,压实 115 次后进行车辙试验, $\alpha_{\text{APA}} = 30.7^{\circ} < \alpha_{\text{原样}} = 35.6^{\circ}$ ;压实 160 次后进行车辙试验, $\alpha_{\text{APA}} = 32.6^{\circ} < \alpha_{\text{原样}} = 35.0^{\circ}$ 。分析原因:APA 试件在进行车辙试验

时,加载凹形轮通过充气橡胶管运行于整个试件范围,碾压作用使混合料粗集料颗粒长轴夹角减小,趋于水平方向,其作用机理分析如图 13 所示。

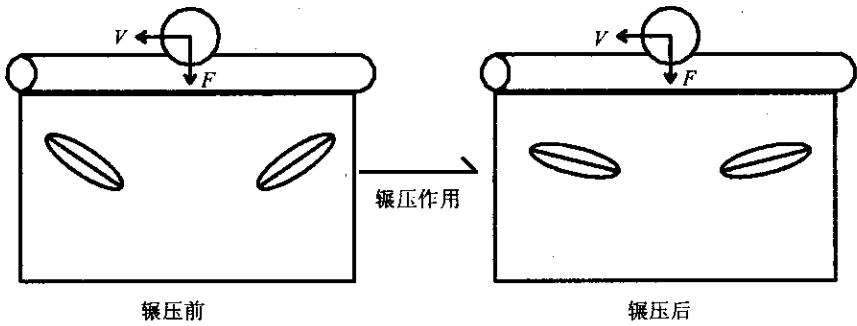


图 13 APA 试件颗粒长轴夹角变化作用机理示意

(3)从压实 115 次到压实 160 次,车辙试验后 RLWT 与 APA 试件的长轴夹角变化趋势减弱。压实 115 次后进行车辙试验, $\alpha_{\text{RLWT}}$  相对于  $\alpha_{\text{原样}}$  增加了  $8.1^{\circ}$ ;  $\alpha_{\text{APA}}$  相对于  $\alpha_{\text{原样}}$  减少了  $4.9^{\circ}$ 。压实 160 次后进行车辙试验, $\alpha_{\text{RLWT}}$  相对于  $\alpha_{\text{原样}}$  增加了  $1.8^{\circ}$ ;  $\alpha_{\text{APA}}$  相对于  $\alpha_{\text{原样}}$  减少了  $2.5^{\circ}$ 。分析原因:随着碾压次数的增加,沥青混合料进一步密实,粗集料之间产生了较强的嵌挤作用。在车辙试验的碾压作用下,APA 与 RLWT 试件的长轴取向重新排布,同时受到粗集料嵌挤作用的约束。嵌挤作用越强,则受到的约束越大,使长轴的变化趋势减弱。

(4)随着压实次数的增加,原样试件的长轴夹角减小。压实次数增加,实为成形时碾压作用增强,使

长轴趋于水平方向排列的颗粒比例增加。

5 结语

本文利用数字图像处理技术对 RLWT 与 APA 车辙试验的加载模式进行了分析,通过量测车辙试验后 RLWT 试件、APA 试件与原样试件中粗集料颗粒长轴与 X 轴夹角的差异,得出结论:RLWT 与 APA 车辙试验的加载模式存在较大差异。研究表明<sup>[5]</sup>,通车一年左右的路面芯样粗集料颗粒长轴夹角有减小趋势,与 APA 车辙试验结论一致,与 RLWT 车辙试验结论相反。因此,为了准确反映 RLWT 的车辙评价能力,在推广旋转车辙仪(RLWT)前,还需要进行大量的研究工作。在碾压

作用下,混合料中粗集料颗粒长轴夹角变化的力学机理,将是本文作者下一步研究的重点。

#### 参考文献:

- [1] 沈金安,李福普,陈景. 高速公路沥青路面早期损坏分析与防治对策 [M]. 人民交通出版社, 2004.
- [2] Powell R B. Laboratory Performance Testing for The NCAT Pavement Test Track [J]. Washington, D. C. : In Transportation Research Record 2003 — 002331, TRB, National Research Council, 2003 (10).
- [3] 徐伟,韩大建,张肖宁. 应用 RLWT 车辙仪评价沥青路面抗车辙性能[J]. 公路交通科技, 2005,22(1).

- [4] 贾娟,张肖宁. 沥青混合料车辙试验方法的比较分析[J]. 公路, 2004,(11).
- [5] 李智. 基于数字图像处理技术的沥青混合料体积组成特性分析[D]. 哈尔滨工业大学博士学位论文. 2002.
- [6] 菅原照雄,等. 沥青路面搓揉作用. 沥青混合料力学性能研究论文集[M]. 哈尔滨建筑工程学院出版社, 1982.
- [7] Castleman K R 著,朱志刚,等译. 数字图像处理[M], 北京: 电子工业出版社, 1998.
- [8] Masad E, Muhunthan B., Shashidhar N, etc. Internal Structure Characterization Asphalt Concrete Using Image Analysis [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 1999,13(2).

## Comparative Analysis of Loading Mode Between RLWT and APA Rutting Test

*ZHANG Jun-biao<sup>1</sup>, XU Ke<sup>2</sup>, ZHANG Xiao-ning<sup>2</sup>*

(1. Guangdong Provincial Expressway Co. Ltd, Guangzhou 510010, China; 2. Road Research Institute SCUT, Guangzhou 510641, China)

**Abstract:** RLWT (Rotary Loaded Wheel Tester or Rutmeter) firstly appeared in America in the end of 1990s, which quickly got attention for its conveniences. But some researches show that the result of RLWT doesn't correlate with other rutting test equipments well, such as asphalt pavement analyzer (APA) and international loaded wheel tester. In this paper, the loading mode of RLWT and APA rutting test are analyzed using digital image processing technique. Through comparing the angle between long axis and  $X$  axis of coarse aggregates in RLWT testing specimens, APA testing specimens and untested specimens, the conclusion can be researched, the loading modes of RLWT and APA rutting test are rather different.

**Key words:** rotary loaded wheel tester (RLWT); asphalt pavement analyzer (APA); rutting test; digital image processing