

基于汉堡车辙试验的在役高速公路 沥青路面高温性能研究

卢勇^{1,2}, 刘爱华^{1,2}, 张文浩³, 张永辰³

(1. 新型道路材料国家工程实验室, 江苏 南京 211112; 2. 苏交科集团股份有限公司; 3. 江苏宁沪高速公路股份有限公司)

摘要:车辙是中国路面破坏最严重的形式之一,严重损害了沥青路面的使用性能。该文基于汉堡车辙试验,针对江苏省某通车运营接近设计寿命的高速公路沥青路面的车辙深度、蠕变斜率指标对高温性能进行评价分析,研究交通量、基层结构对中下面层沥青混合料高温性能的影响,以及芯样高温性能与路面车辙指标之间的关系。结果表明:汉堡车辙试验能够显著区分不同类型沥青混合料的高温稳定性;交通量对芯样高温性能具有显著的影响;在特重交通量条件下,运营接近设计寿命沥青路面的中下面层芯样,高温性能仍处于稳定发展阶段。

关键词:车辙;车辙深度;蠕变斜率;高温性能

截至2019年底,江苏省高速公路路网中存在77%的沥青路面路龄超过10年,其中39%的沥青路面路龄超过15年。依据JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》中规定的高速公路15年设计使用年限,“十三五”期间,江苏省高速公路路网中,将有大量路段的路龄接近或超过设计年限,这也是中国高速公路首次全面面临这一问题。车辙病害是目前江苏省高速公路沥青路面最为突出的病害之一,也是“十三五”期间江苏省沥青路面面临的主要问题。对于常规3层沥青面层结构的高速公路,一般认为,中下面层是车辙贡献率最大的层位。然而,江苏省高速公路沥青路面在实际养护设计过程中对于不大于13 mm的车辙病害,一般采用铣刨重铺上面层的处治方案。

总之,江苏省高速公路沥青路面在“十三五”期间面临大量车辙病害处治问题,针对不同程度的车辙病害,如何科学合理地判断处治层位,分析评估中下面层沥青混合料的高温性能非常必要。

传统的规范车辙法对样品试件要求较高,需要在300 mm×300 mm的车辙板上开展试验,在实际操作过程中对于路面结构的损坏较严重,相对而言,汉堡车辙试验通过对现场取回芯样直接开展抗车辙试验,相较传统规范车辙试验更能准确反映路面的实际抗车辙性能。汉堡车辙试验仪是由德国研发,目前已纳入德国规范中,用于一些交通量大的行车道路,以评估抗车

辙和抗剥落性能。国内外研究表明:汉堡车辙仪可以进行不同温度的干式和浸水、板式和圆柱试件的试验,是沥青路面车辙成因分析和沥青混合料高温性能评价的有效工具,通过汉堡车辙试验法获得路面结构车辙深度指标用以评价路面结构抗车辙性能具有较高的可靠性。该文采用汉堡车辙试验对在役某高速公路某段沥青路面的高温性能进行评价,通过研究不同面层的交通等级、交通量和基层结构与车辙深度、蠕变速率的关系,进一步分析路表车辙深度与中下面层沥青混合料高温性能之间的关系。

1 试验方案

1.1 试验条件

使用汉堡车辙试验仪,通过在47 mm宽的胶轮上施加0.7 MPa的力完成对试件的加载,然后胶轮在板块试件上做往复运动。试件加载直至钢轮达到20 000次的往复运动次数或者直到产生20 mm的变形为止。

根据各结构层厚度以及汉堡车辙试验试件厚度,确定试验条件为60℃水浴。

1.2 评价指标

根据沥青路面高温稳定性评价需求,采用车辙深度和蠕变斜率两个指标进行表征。

(1) 车辙深度

采用特定作用次数下的车辙深度表征,一般分别采用 5 000、10 000、15 000 和 20 000 次作用次数下的车辙深度(mm)。其值越大,高温抗车辙性能越差。

(2) 蠕变斜率

以试验数据曲线中直线段相对较长的一段曲线,对车辙深度与加载次数的关系进行直线回归,得到:

$$H=a+bN \tag{1}$$

式中: H 为车辙深度(mm); N 为加载次数(次); b 为蠕变斜率(mm/次)。

蠕变斜率表示蠕变阶段曲线的斜率,反映在水热和荷载组合条件下,沥青混合料在蠕变阶段的变形速率,其值越小表明变形速率越慢,高温稳定性也越好。由于蠕变斜率结果较小,因此,采用蠕变斜率的倒数,即蠕变速率指标(次/mm)表示,该指标与动稳定度在本质上是是一致的。

2 试验条件

为评价通车运营时间超过 10 年的高速公路沥青路面各层沥青混合料高温性能,以及分析不同交通量

与高温性能之间的关系,该文通过对某高速公路沥青路面典型断面进行取芯,该高速不同断面沥青种类和级配设计统一,此次车辙病害取芯芯样根据车辙程度,即车辙病害 10 mm 以上(深车辙)和 10 mm 以下(正常较好路段),考虑不同车道、不同基层类型(A 水泥稳定碎石、B 二灰碎石、C 柔性基层)对车辙深度的影响和不同受力分布条件下对中面层材料性能的影响。

所取芯样分布交通等级为极重、特重、轻等级,中面层芯样为改性沥青 SUP-20,下面层芯样包括通车运营时间 12 年的 SUP-25 和通车运营时间 22 年的 AC-25。

3 试验结果与分析

3.1 中下面层芯样高温性能

表 1、图 1、2 为中、下面层汉堡车辙试验结果。从表 1 可以看出:芯样车辙深度整体均较小,中面层芯样 60 ℃ 条件下汉堡车辙深度为 1~3.5 mm;下面层车辙深度为 3.5~8 mm,整体车辙深度较中面层大。表明汉堡车辙试验能够显著区分不同类型沥青混合料的高温稳定性。

表 1 中、下面层汉堡车辙试验结果

断面编号	交通等级	路面车辙深度/mm	层位	基层结构	结构类型	车辙深度/mm	蠕变速率/(次·mm ⁻¹)
1	特重	7.6	中	A	SUP-20	1.68	19 230.8
			下		SUP-25	4.74	15 625.0
2	极重	7.0	中	A	SUP-20	2.31	17 241.4
			下		SUP-25	3.01	12 345.7
3	轻	6.1	中	B	SUP-20	2.17	23 255.8
			下		AC-25	5.89	8 130.1
4	轻	8.4	中	B	SUP-20	1.42	30 303.0
			下		AC-25	4.81	10 638.3
5	特重	7.7	中	A	SUP-20	1.62	28 571.4
			下		SUP-25	3.29	17 543.9
6	特重	9.2	中	A	SUP-20	0.92	35 714.3
			下		SUP-25	5.15	12 987.0
7	特重	16.3	中	A	SUP-20	1.77	37 037.0
			下		SUP-25	4.86	13 333.3
8	轻	6.8	中	B	SUP-20	2.12	20 649.0
			下		AC-25	5.18	10 147.9
9	轻	10.7	中	B	SUP-20	3.11	15 112.3
			下		SUP-25	2.95	13 894.4

续表 1

断面编号	交通等级	路面车辙深度/mm	层位	基层结构	结构类型	车辙深度/mm	蠕变速率/(次·mm ⁻¹)
10	轻	9.5	中	C	SUP-20	1.80	26 315.8
			下		SUP-25	7.52	5 917.2
11	极重	9	中	C	SUP-20	1.97	15 873.0
			下		SUP-25	4.98	11 764.7
12	极重	15.9	中	C	SUP-20	2.54	16 094.4
			下		SUP-25	6.75	5 605.4
13	轻	5.9	中	C	SUP-20	2.62	19 751.7
			下		SUP-25	4.70	15 901.9
14	极重	9.4	中	C	SUP-20	2.6	19 607.8
			下		SUP-25	4.71	13 513.5
15	轻	10.2	中	C	SUP-20	1.99	22 222.2
			下		SUP-25	8.01	5 586.6
16	极重	7.6	中	A	SUP-20	2.06	23 017.2
			下		SUP-25	4.70	8 362.1

注:A水泥稳定碎石、B二灰碎石、C柔性基层;交通量按照累计交通荷载分为轻、中、重、特重、极重 5 个等级。

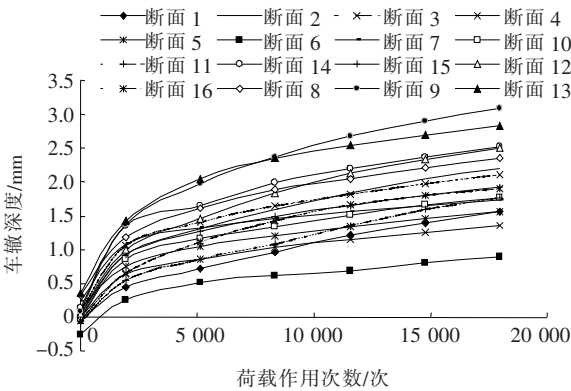


图 1 中面层汉堡车辙试验结果

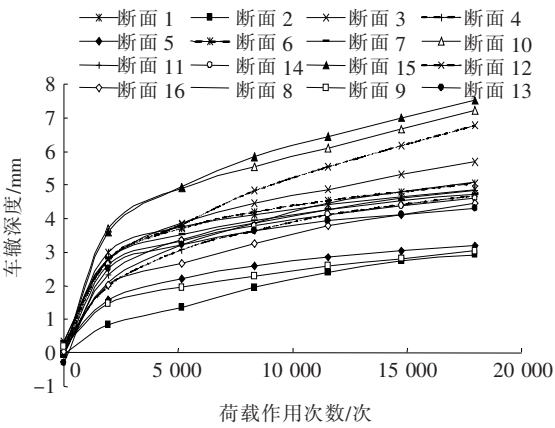


图 2 下面层汉堡车辙试验结果

根据汉堡车辙变形曲线对应的初期压密阶段、稳定发展阶段和最后的破坏阶段 3 阶段分析,由图 2 可知:所测芯样均未出现最后破坏阶段,初步判断该高速公路中面层沥青混合料整体处于稳定发展阶段。

从图 2 可知:所测下面层芯样均未出现最后破坏阶段,整体处于稳定发展阶段;极重交通路段汉堡试验车辙深度超过 6 mm,且其相应断面的路面车辙深度达到 10 mm 左右。

3.2 交通等级对中下面层沥青混合料高温性能的影响

通过路面性能与不同影响因素的敏感性分析可

知:交通量是影响路面车辙性能的敏感因素,因此,对于芯样汉堡车辙性能,进一步考虑不同交通量条件下中面层沥青混合料抗车辙能力的差异,根据交通量状况,将上述不同断面划分为极重、特重、轻 3 种交通等级。选取蠕变速率作为评价指标如表 1 所示。

从表 1 可知:极重交通等级下,平均蠕变速率为 18 366.8 次/mm、特重为 30 138.4 次/mm、轻为 22 515.7 次/mm。结合芯样路段空隙率,初步分析原因为特重交通荷载下路面经历压密阶段整体抗车辙性能较高,极重交通和轻交通分别处于流变和压密阶段高温性能低于特重交通。

进一步分析不同交通量条件下中面层沥青混合料汉堡车辙试验后车辙深度数据。

从表2可知:在同样20000次作用下,轻交通条件下的中面层芯样车辙深度最大,平均达到2.2 mm;其次为极重交通,平均达到2.3 mm;特重交通条件下车辙深度最小,平均达到1.5 mm。

由表2为交通量与下面层芯样汉堡车辙蠕变速率的关系可知:特重交通蠕变速率最高,平均值达到14872.3次/mm;极重和轻交通分别为10318.3、10030.9次/mm,差别不明显。初步表明:对于下面层沥青混合料汉堡车辙的蠕变速度,交通量对其影响不明显。

通过与中面层芯样比较可知:轻交通条件下芯样抗车辙性能要优于极重交通,进一步分析发现,轻交通条件下,取芯芯样中断面3、4和8处下面层为改扩建时期保留的AC-25沥青混合料,其蠕变速度分别为8130.1、10638.3和10147.9次/mm,AC-25车辙蠕变速率平均值为9638.7次/mm,SUP-25车辙蠕变速率平均值为11721.6次/mm,性能降低约17.8%。初步表明:相同交通等级和基层结构条件下SUP-25抗车辙性能优于AC-25。

3.3 基层结构类型对中下面层沥青混合料高温性能的影响

一般认为半刚性基层和柔性基层路段抵抗车辙的能力有区别,因此,在不同交通量条件下进一步考虑不同基层结构,对沥青混合料变温性能的影响,试验结果见图3、4。

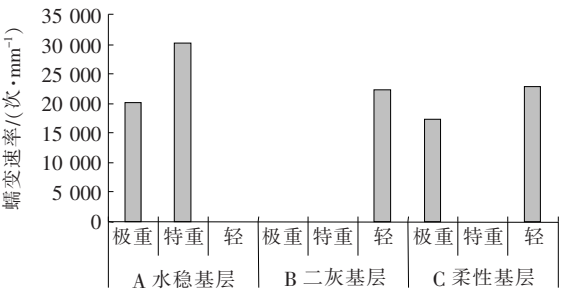


图3 中面层不同基层、不同交通等级汉堡车辙平均蠕变速率

从图3可知:水稳基层路面在特重交通时蠕变速率显著高于极重交通蠕变速率,特重交通时达到30138.4次/mm,极重交通为20129.3次/mm;二灰基层和柔性基层在轻交通时蠕变速率接近,略优于极重交通;水稳基层和柔性基层在极重交通时蠕变速率相差不明显。总之,水稳基层路面在特重交通条件

下中面层汉堡车辙蠕变速率最好,表明抗车辙性能最优;基层类型对中面层高温抗车辙性能影响不大。

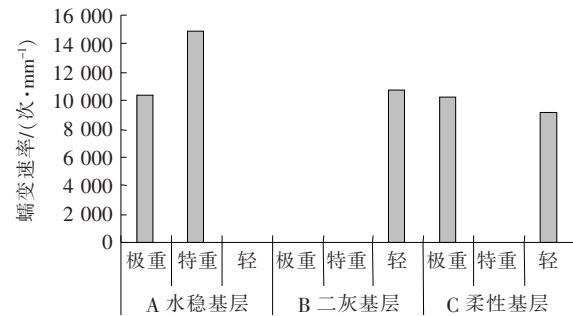


图4 下面层不同基层、不同交通等级汉堡车辙平均蠕变速率对比

从图4可知:极重交通条件下,水稳基层路段与柔性基层路段相比,芯样蠕变速度基本相当,而轻交通条件下,二灰基层下面层芯样蠕变速度显著高于柔性基层路段下面层芯样,可能与上述二灰基层下面层芯样半数为AC-25沥青混合料有关。通过上述分析可知:不同基层类型路段下面层芯样蠕变速度不存在明显相关性。表明基层类型与芯样高温性能无显著关系。

3.4 芯样高温性能与路面车辙指标之间的关系

芯样汉堡车辙深度与路面车辙指标RD之间的关系如图5所示。

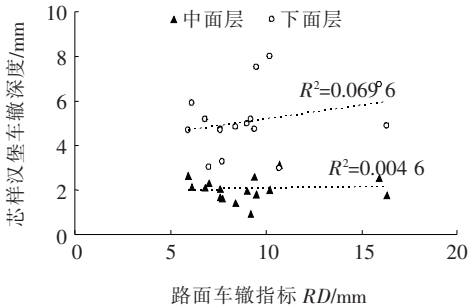


图5 芯样汉堡车辙深度与路面车辙指标RD之间的关系

从图5可知:对于中面层、下面层芯样汉堡车辙深度,材料性能试验结果与路面车辙指标的关系不显著。

进一步分析不同交通等级下,芯样汉堡车辙深度与路面车辙指标RD之间的关系,结果见图6~8。

从图6~8可知:极重交通下芯样汉堡车辙深度与路面车辙深度关系明显,且下面层芯样车辙深度与路面车辙深度相关性更加显著。特重交通、轻交通条件下汉堡车辙深度与路面车辙深度指标相关性不显著。

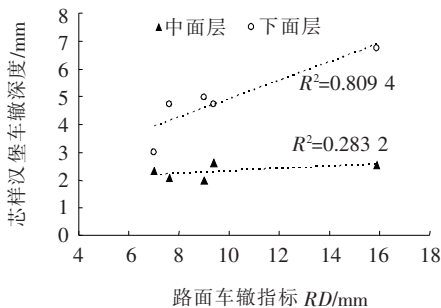


图 6 极重交通条件下芯样汉堡车辙深度与路面车辙指标 RD 之间的关系

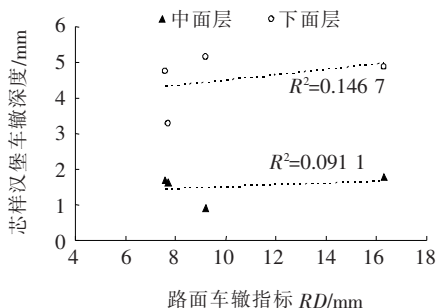


图 7 特重交通条件下芯样汉堡车辙深度与路面车辙指标 RD 之间的关系

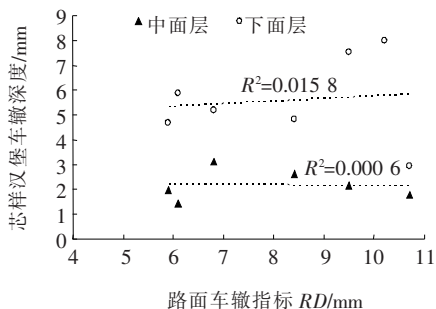


图 8 轻交通条件下芯样汉堡车辙深度与路面车辙指标 RD 之间的关系

4 结论

(1) 基于汉堡车辙试验评价芯样高温性能,研究发现汉堡车辙试验能够显著区分不同类型沥青混合料的高温稳定性,60℃条件下中面层改性沥青 SUP-20

芯样车辙深度为 1~3.5 mm,下面层普通沥青 SUP-25 芯样车辙深度为 3.5~8 mm。

(2) 交通量对芯样汉堡车辙高温性能具有显著的影响。根据汉堡车辙变形曲线、蠕变速率和车辙深度进行分析,对于下面层芯样,不同交通状况下芯样高温性能均处于稳定发展阶段;对于中面层芯样,轻交通和特重交通条件下,芯样高温性能处于稳定发展阶段。

(3) 相同交通等级和基层结构条件下 SUP-25 抗车辙性能优于 AC-25。水稳基层路面特重交通条件下中面层汉堡车辙蠕变速率最好,表明抗车辙性能最优;基层类型对中面层高温抗车辙性能影响不大。

(4) 不同基层类型路段下面层芯样蠕变速度不存在明显相关性。表明基层类型与芯样高温性能无显著关系。极重交通下芯样汉堡车辙深度与路面车辙深度关系明显。特重交通、轻交通条件下汉堡车辙深度与路面车辙深度指标相关性不显著。

参考文献:

- [1] 崔文博,郝培文.基于 Ham-burg 车辙试验的沥青路面车辙损坏分析[J].中外公路,2014(1).
- [2] 李斌.基于汉堡车辙试验的沥青路面车辙成因分析[J].现代商贸工业,2016(17).
- [3] 李洪华.沥青路面车辙成因分析及车辙试验研究[D].长安大学硕士学位论文,2008.
- [4] 陈凯.我国车辙试验与汉堡车辙试验对比研究[D].长安大学硕士学位论文,2008.
- [5] 栗培龙,张争奇,李洪华,等.沥青混合料汉堡车辙试验条件及评价指标研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2011(1).
- [6] 崔文社,陶晶,张争奇,等.高速公路沥青路面车辙成因试验[J].长安大学学报(自然科学版),2009(4).
- [7] 颜佳富.基于汉堡试验的沥青混合料车辙影响因素研究[J].交通建设与管理,2013(8).
- [8] 张争奇,罗要飞,张苛.沥青混合料汉堡车辙试验评价研究综述[J].材料导报,2017(3).
- [9] 阮有力,吕正龙.贵州省 Superpave 沥青路面性能验证及压实度指标适用性分析研究[J].中外公路,2019(4).
- [10] 高晓伟,颜薇,宋琿,等.温度与移动荷载作用下特重交通 RCC 基层沥青路面结构响应分析[J].中外公路,2019(1).