

静态蠕变试验与其他 车辙试验评价指标之间的相关性研究

段叔瑜

(山东建筑大学, 山东 济南 250101)

摘要: 为了探寻静态蠕变试验中抗车辙性能的评价指标, 采用静态蠕变试验、单轴贯入强度试验、汉堡车辙试验对 11 种沥青混合料的高温性能进行了测试, 分析了不同评价指标之间的相关性。研究结果表明静态蠕变试验的蠕变斜率 m 、流变时间 FT 与其他指标之间的相关性差, 而流变应变与流变次数的比值 s/FT 与其他指标之间的相关性最好, 相比斜率和流变时间而言 s/FT 更适合作为评价沥青混合料抗车辙性能代替指标。

关键词: 车辙; 静态蠕变; 单轴贯入强度; 汉堡车辙试验

中图分类号: U416 文献标识码: A 文章编号: 1008-3383(2020)09-0008-02

DOI:10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2020.09.004

Correlation between static creep test and other rut test evaluation indicators

DUAN Shu-yu

(Shandong Jianzhu University 250101)

Abstract: In order to find the evaluation index of rutting resistance in static creep test, the static creep test, uniaxial penetration strength test and Hamburg rutting test were used to test the high temperature performance of 11 asphalt mixtures. Relevance. The research results show that the creep slope and rheological time of static creep test are poorly correlated with other indicators, and the ratio of rheological strain to the number of rheological parameters is the most relevant with other indicators. In terms of variable time s/FT it is more suitable as a substitute index for evaluating the rutting resistance of asphalt mixtures.

Keywords: Rutting; Static creep test; Uniaxial penetration strength; Hamburg rutting test

1 不同方法沥青混合料抗车辙性能评价

1.1 试验材料选择

试验材料选择了涵盖沥青路面上、中、下面层的 11 种沥青混合料, 分别为选用 SBS 改性沥青制成的 SMA-13、采用 SBS 改性沥青制成的 AC-20、掺加纤维的 SBS 改性沥青 AC-20、70# 沥青制成的 AC-25、50# 沥青制成的 AC-25、70 号沥青制成的 ATB-25(1)、70# 沥青制成的 ATB-25(2)、50# 沥青制成的 ATB-25、30 号沥青制成的 ATB-25、70# 沥青制成的 AC-20(1)、70# 沥青制成的 AC-20(2), 其中标注了(1)或(2)的表示采用的级配不同。

1.2 单轴贯入强度试验及无侧限强度试验

依据 JTG D50-2017《公路沥青路面设计规范》通过一个远小于试件直径的钢制压头在试件上进行加载, 试件的直径为 150 mm, 高度为 100 mm, 每种沥青混合料至少取芯样 4 个。在试验前, 试样需要在 60 °C 下保温 6 h。试验过程中, 使

用 UTM 万能试验机在试件上以 1 mm/min 的恒定变形速率加载一个高 50 mm、直径 42 mm 的圆柱形钢制压头, 试验环境温度控制在 60 °C。同时, 为了求解沥青混合料的粘聚力和内摩擦角, 需要对试件进行无侧限抗压强度试验, 将试件制成高 100 mm、直径 100 mm 的圆柱体试件, 压头的受压面积为 $50 \times 50 \text{ mm}^2$, 在 60 °C 条件下保温 6 h。试件在 60 °C 环境温度下以 1 mm/min 的恒定变形速率加载直至应力-变形曲线出现峰值, 峰值作为计算试件无侧限抗压强度的最大力。

在单轴贯入试验结果曲线上, 取沥青混合料所达到的极限荷载 P 作为实验结果, 在无侧限压缩试验中去峰值作为无侧限抗压强度值。进一步的根据以下公式可以分别计算沥青混合料的粘聚力 C 和内摩擦角 φ 。

$$R_{\tau} = f_{\tau} \sigma_p \quad (1)$$

$$\sigma_p = \frac{P}{A} \quad (2)$$

式中: R_{τ} 为单轴贯入强度 (MPa); f_{τ} 为贯入指数

收稿日期: 2019-11-05

作者简介: 段叔瑜(1995-) 男, 山东济南人, 硕士研究生, 研究方向: 路面结构与材料。

(0.35); σ_p 为单轴贯入压力(MPa); P 为极限荷载(N); A 是加载头的横截面积(mm); 对于现场取芯试件,其计算的贯入强度应再乘以修正系数1.15。

$$\sigma_u = \frac{P'}{A} \quad (3)$$

式中 σ_u 为无侧限抗压试验求得的压应力; P' 为极限荷载(N); A 是加载头的横截面积(mm)。

根据单轴贯入试验和无侧限抗压强度试验的结果,根据以下方程计算出内摩擦角(φ)和粘聚力(C)。

$$\sigma_{p1} = 0.765\sigma_p \quad (4)$$

$$\sigma_{p3} = 0.0872\sigma_p \quad (5)$$

$$\tau_{p1} = 0.3390\sigma_p \quad (6)$$

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{\sigma_{p1} - \sigma_{p3} - \sigma_u}{\sigma_{p1} + \sigma_{p3} - \sigma_u}\right) \quad (7)$$

$$c = \frac{\sigma_u}{2} \left(\frac{1 - \sin\varphi}{\cos\varphi} \right) \quad (8)$$

式中: σ_{p1} 为第一主应力; σ_{p3} 为第三主应力; σ_p 为单轴贯入压力(MPa); σ_u 为无侧限抗压试验求得的压应力; τ 为抗剪强度; c 为粘聚力; φ 为内摩擦角。

测得的单轴贯入及无侧限抗压实验结果如表1所示。

表1 单轴贯入及无侧限抗压实验结果

级配类型	P/KN	P'/KN	σ_p/MPa	σ_u/MPa	σ_{p1}/MPa	σ_{p3}/MPa	τ/MPa	c/MPa	$\tau/^\circ$
SMA-13(SBS)	5 288	11 400	3.816 8	1.451 5	2.919 9	0.332 8	1.293 9	0.345 5	39.08
AC-20(SBS+纤维)	479 8	1087 0	3.463 2	1.384 0	2.649 3	0.302 0	1.174 0	0.338 1	37.93
AC-20(SBS)	4 698	10 630	3.391 0	1.353 5	2.594 1	0.295 7	1.149 5	0.330 4	37.96
AC-20(1)(70#)	4 300	10 100	3.103 7	1.286 0	2.374 3	0.270 6	1.052 2	0.320 6	36.99
AC-20(2)(70#)	3 960	9 600	2.858 3	1.222 3	2.186 6	0.249 2	0.969 0	0.310 7	36.10
AC-25(50#)	3 590	8 810	2.591 2	1.121 7	1.982 3	0.226 0	0.878 4	0.287 4	35.74
AC-25(70#)	3 430	8 310	2.475 7	1.058 1	1.893 9	0.215 9	0.839 3	0.268 9	36.12
ATB-25(30#)	3 680	8 700	2.656 2	1.107 7	2.032 0	0.231 6	0.900 4	0.277 3	36.82
ATB-25(50#)	3 400	8 210	2.454 1	1.045 3	1.877 4	0.214 0	0.831 9	0.265 1	36.22
ATB-25(1)(70#)	2 910	7 950	2.100 4	1.012 2	1.606 8	0.183 1	0.712 0	0.280 9	31.94
ATB-25(2)(70#)	2 420	6 900	1.746 7	0.878 5	1.336 2	0.152 3	0.592 1	0.253 4	30.04

1.3 汉堡车辙试验

汉堡轮辙试验作为检测沥青混合料水稳定性和抗车辙性能试验条件最苛刻的设备之一,能达到试验结果与路面现场测试性能结果的一致性。试验过程为:试件浸在40℃~55℃的控温水浴中,测试轮试件表面上来回碾过规定的遍数,通过试验能测出试件在试验轮作用下的变形行为,并可以自动画出试件的变形深度与碾压遍数之间的关系图。汉堡车辙试验结果见表2。

表2 汉堡车辙试验结果

混合料类型	SMA-13	AC-20(SBS+纤维)	AC-20(SBS)	AC-20(1)(70#)	AC-20(2)(70#)	AC-25(50#)	AC-25(70#)	ATB-25(30#)	ATB-25(50#)	ATB-25(1)(70#)	ATB-25(2)(70#)
汉堡车辙深度(RD)/mm	1.64	2.76	3.33	3.67	3.86	5.22	6.7	6.34	7.25	8.06	10.23

1.4 静态蠕变试验

尚无规范限定其标准的试验条件。本次试验采用美国国家联合公路研究报告(NCHRP)中推荐的静态蠕变试验条件40℃、0.1 MPa,试件尺寸为直径×高度=100 mm×100 mm。对11种混合料提取了截距 α 、斜率 m 、流变时间 FT 、流变点应变 S 、进

一步计算得到 s/FT 。静态蠕变试验结果如表3所示。

表3 静态蠕变试验结果

级配类型	α	m	FT	S	s/FT
SMA-13(SBS)	0.123 2	0.055 0	2 327	3 092	1.33
AC-20(SBS+纤维)	0.122 8	0.078 5	1 690	2 173	1.29
AC-20(SBS)	0.127 0	0.087 6	3 200	4 670	1.46
AC-20(1)(70#)	0.145 9	0.080 2	3 406	5 134	1.51
AC-20(2)(70#)	0.154 6	0.079 0	3 266	4 945	1.51
AC-25(50#)	0.151 0	0.086 8	3 090	4 816	1.56
AC-25(70#)	0.235 1	0.045 0	1 966	4 448	2.26
ATB-25(30#)	0.215 0	0.055 8	1 400	3 570	2.55
ATB-25(50#)	0.327 9	0.046 9	1 608	4 335	2.7
ATB-25(1)(70#)	0.284 7	0.080 6	1 170	3 804	3.25
ATB-25(2)(70#)	0.414 7	0.071 2	976	3 192	3.27

3 相关性分析

对前文所述的11种沥青混合料进行静态蠕变试验、单轴贯入强度试验、汉堡车辙试验,提取了各种试验中的抗车辙性能指标,其相关系数如表4所示。经分析发现,在标准试验条件下,蠕变斜率 m 、流变时间 FT 与单轴贯入和汉堡车辙试验指标之间的相关性差,最大相关系数不足0.5,相比而言,流变应变与流变次数的比值 s/FT 与其他指标之间的相关系数达到了0.7以上。

表4 静态蠕变试验指标与汉堡车辙及单轴贯入试验指标相关系数

指标组合	相关系数	指标组合	相关系数
(τ , FT)	0.291 8	τ , m	0.011
(c , FT)	0.316 6	(c , m)	0.139
(φ , FT)	0.293 5	(φ , m)	0.019 3
(RD , FT)	0.455 2	(RD , m)	0.049 1
(τ , s/FT)	0.771 6		
(c , s/FT)	0.724 7		
(φ , s/FT)	0.739 6		
(RD , s/FT)	0.892 3		

4 结 论

标准条件下,通过分析11种不同类型的沥青混合料抗车辙性能指标之间的相关关系进行了研究,采集了单轴贯入强度试验、汉堡车辙试验、静态蠕变试验三种不同试验之间的试验指标,分析了不同试验指标之间的关系,结果发现蠕变斜率 m 、流变时间 FT 与其他指标之间的相关性差,故不能代替其他试验方法和评价指标来评价沥青混合料的抗车辙性能。而流变应变与流变次数的比值 s/FT 与其他指标之间的相关系数大于斜率 m 和流变时间 FT 与其他指标之间的相关系数,相比蠕变斜率和流变时间而言,更适合作为评价沥青混合料抗车辙性能的代替指标。

参考文献:

- [1] JTJ 014-1997,公路沥青路面设计规范[S].
- [2] 余崇俊,陈飞,孟书涛.贵州高速公路长上坡路段中面层沥青混合料研究[J].公路,2011(04):168-173.
- [3] 毕玉峰,孙立军.沥青混合料抗剪试验方法研究[J].同济大学报:自然科学版,2005,33(08):1036-1040.
- [4] 匡皎皎.沥青混合料抗车辙性能指标相关性研究[D].长沙理工大学,2015.