

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

阮有力¹, 吕正龙^{2,3*}

(1.贵州省公路局, 贵州 贵阳 550003; 2.苏交科集团股份有限公司; 3.新型道路材料国家工程实验室)

摘要: 结合贵州省 Superpave 沥青路面推广应用工程数据, 分析了水损害指标、高低温性能指标、压实度指标与贵州省干线公路沥青路面的适应性。结果表明: 不同水损害指标间的相关性较差, AASHTO T283 方法与路面实际服役状况相近, 用于评价沥青路面水损害性能具有一定的质量控制效果; 马歇尔压实度超百现象严重, 不利于压实度控制; 旋转压实仪和马歇尔击实仪成型的试件体积指标相关性较差, 马歇尔击实仪取代旋转压实仪用于质量控制存在风险。建议采用 AASHTO T283 冻融劈裂方法、国标车辙、小梁弯曲作为 Superpave 沥青混合料的性能控制指标, 压实度采用理论压实度控制, 并提出了相应的标准。

关键词: Superpave; 性能验证; 冻融劈裂; 压实度; 理论压实度

贵州省自 2015 年引入 Superpave 技术, 有效支撑了贵州省干线公路沥青路面质量的提升, 但在 Superpave 技术本土化的过程中, 仍有一些问题需要明确, 如采用什么样的方法进行性能验证、压实度采用什么样的指标控制、旋转压实仪缺乏的情况下能否用马歇尔击实仪取代验证等, 只有这些问题得到进一步解答, 才能更好地促进 Superpave 技术本土化的实施, 从而进一步提升贵州省干线公路建设质量。

基于此, 该文主要从性能验证指标、压实度控制指标和质量控制手段等方面展开, 结合贵州省干线公路 Superpave 实施现状进行适用性分析, 提出合理的建议。

1 性能验证指标

1.1 水损害指标

1.1.1 水损害性能评价方法概述

Superpave 配合比设计方法中对体积设计完成的混合料采用 AASHTO T283 方法进行抗水损害性能验证, 而中国主要采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验, 下面对这 3 种方法分别展开评述。

(1) 浸水马歇尔试验

中国现行的浸水马歇尔试验是在规定的马歇尔击实次数下成型试件, 对于不同的沥青混合料, 用于水稳

定性试验的试件空隙率则会不同, 浸水马歇尔试验不能在相同的基准面上进行比较分析。同时在实际施工过程中, 混合料的压实以空隙率为控制指标, 而不是以压实功为控制指标, 均采用相同击实次数的浸水马歇尔试验的试验条件与施工实际情况不符; 另一方面, 采用 75 次马歇尔击实仪双面击实, 试件空隙率已达到设计空隙率 3%~5%, 此时水很难浸入, 也更难浸入沥青膜和集料之间, 没有足够的水, 水损坏也就无从说起, 如果要用残留马歇尔稳定度作为指标, 需使空隙率接近现场空隙率, 也就是说试件空隙率应为 6%~8%。

(2) 冻融劈裂(T0729)试验

中国规范中采用的冻融劈裂试验是采用简化的 Lottman 法, 通过降低击实次数以达到更高的空隙率从而更接近现场空隙率, 但是实际上具体的空隙率和饱水率不得而知。该文统计了 32 组配合比设计数据, 采用该方法性能验证的空隙率(图 1)基本维持在 5%~6%之间, 但数值相对分散, 空隙率仍高于路面服役时的空隙率。

(3) 冻融劈裂(AASHTO T283)试验

AASHTO T283 方法考虑到松散混合料的短期老化, 且要求试件空隙率严格控制在 $(7 \pm 0.5)\%$, 试件饱水率要求为 70%~80%, 此种方法空隙率与刚铺筑完成的沥青路面的实际空隙率相当, 更符合路面实际

收稿日期: 2018-12-02

作者简介: 阮有力, 男, 硕士, 研究员. E-mail: 676627629@qq.com

* 通信作者: 吕正龙, 男, 硕士, 工程师. E-mail: lz131@jsti.com

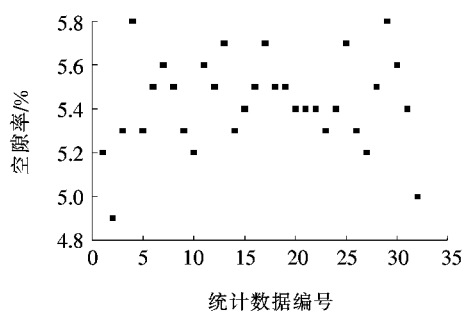


图 1 冻融劈裂(T0729)试件空隙率

情况,且均控制在一个恒定的波动范围内,便于在同一水平上进行比较。

1.1.2 指标适用性分析

(1) 不同试验方法对比

该项目分别采用浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验(T0729)和冻融劈裂试验(AASHTO T283)评价 SBS 改性沥青 Sup-13 和 SBS 改性沥青 Sup-20 混合料的抗水损害性能,如表 1 所示。

表 1 不同沥青混合料水稳定性试验结果

混合料 类型	劈裂强度比 TSR/%		残留稳定 度/%
	AASHTO T283	冻融劈裂试验 T0729	
Sup-20	82.2	87.1	86.0
Sup-13	81.0	83.3	89.4
要求	≥ 80	≥ 80	≥ 85

从表 1 可以看出:对于劈裂强度比指标而言,采用 AASHTO T283 的指标相比 T0729 的指标值要低,这主要是由于 AASHTO T283 增加了混合料的短期老化和一次 60℃水中 24 h 的过程,试验条件更为苛刻。同时,两种试验方法的试件空隙率如表 2 所示。

表 2 AASHTO T283 和冻融劈裂试验 T0729 试件空隙率对比

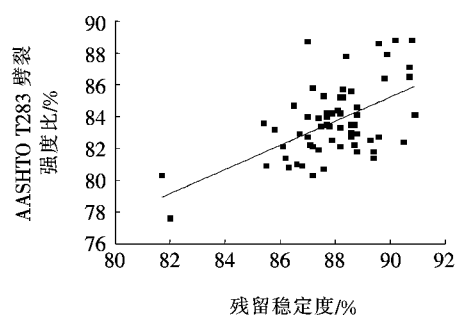
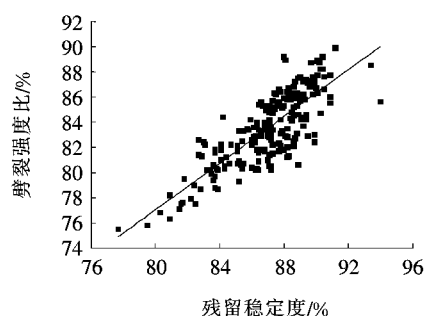
混合料 类型	AASHTO T283 空隙率/%		T0729 空隙率/%	
	非条件	条件	非条件	条件
Sup-20	6.8	6.8	6.2	5.8
Sup-13	6.9	7.0	5.6	5.5

从表 2 可以看出:AASHTO T283 试件的空隙率维持在 7.0%左右,这与现场压实后的路面实际空隙率比较接近,而 T0729 的空隙率相对较为离散,且低于 AASHTO T283 试件,综合比较而言,美国 AASHTO T283 试验方法试件空隙率大、试验条件恶劣,且空隙率与路面初始空隙率相当,更能评价沥青混合料抗水

损害能力;另一方面,20 世纪 90 年代,某高速公路发生了水损害,经检测压实度基本满足中国指标,水稳定性全部满足中国指标,但是采用某种集料的 Superpave 混合料水敏感性经检测不合格(冻融劈裂强度仅为 64.0%),综上建议采用美国 AASHTO T283 方法来评价沥青混合料抗水损害能力,贵州干线公路 Superpave 沥青混合料冻融劈裂指标按照 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》相关要求设置为 $TSR \geq 80\%$ 。

(2) 不同指标的相关性分析

该文调研了新型道路材料国家工程实验室 2014—2015 年沥青混合料配合比相关数据,分析了浸水马歇尔试验与冻融劈裂试验 T0729、浸水马歇尔试验与 AASHTO T283 试验的相关性,结果如图 2、3 所示。

图 2 浸水马歇尔试验与 AASHTO T283 试验相关性($R^2=0.3$)图 3 浸水马歇尔试验与冻融劈裂试验 T0729 相关性($R^2=0.6$)

从图 2、3 可以看出:浸水马歇尔试验与冻融劈裂评价方法相关性均不好,相关系数分别为 0.3 和 0.6,考虑到试件试验条件与路面服役环境的一致性,对于贵州干线公路 Superpave 沥青路面采用 AASHTO T283 试验评价 Superpave 混合料的水损害性能。

1.2 高低温性能评价指标

Superpave 沥青混合料设计在体积设计完成后,目前只进行水敏感性能检验,而没有进行其他混合料性能检测,缺乏对沥青混合料抗高温、低温、疲劳性能

的评估,为避免评价指标单一,有必要对 Superpave 混合料性能进行综合评价,结合贵州干线公路特点,该文主要从高温和低温两个层面进行评估,考虑到目前美国此方面研究尚未推广到施工阶段,该文主要基于中

国规范的指标进行性能验证,即采用劈裂强度比、动稳定度及破坏应变 3 个指标共同控制,从而有效地补充了 Superpave 技术的混合料评价体系,建议贵州干线公路沥青混合料性能指标如表 3 所示。

表 3 贵州干线公路沥青混合料性能指标

混合料类型	动稳定度/(次·mm ⁻¹)		劈裂强度比/%	破坏应变/ μϵ
	黔东地区(铜仁、黔东南)	黔中和黔西地区(贵阳、遵义、黔南、毕节、安顺、六盘水、黔西南)		
普通沥青混合料	≥1 000	≥800	≥75	≥2 000
改性沥青混合料	≥2 800	≥2 400	≥80	≥2 500

试验方法:动稳定度:T0719;劈裂强度比:AASHTO T283;破坏应变:T0715。

由于贵州干线公路 Superpave 沥青路面开始实施不久,缺乏相关统计数据,为验证这些指标的合适性,项目调研了新型道路材料国家工程实验室 2014—2015 年 Superpave 配合比试验数据,如图 4~11 所示。

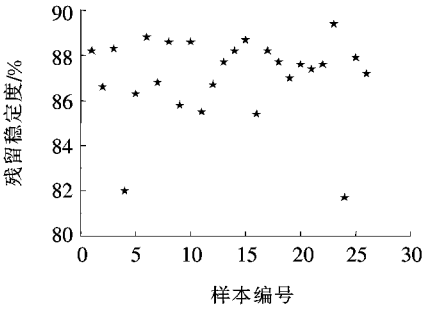


图 4 国家实验室普通沥青 Superpave 混合料浸水马歇尔试验结果

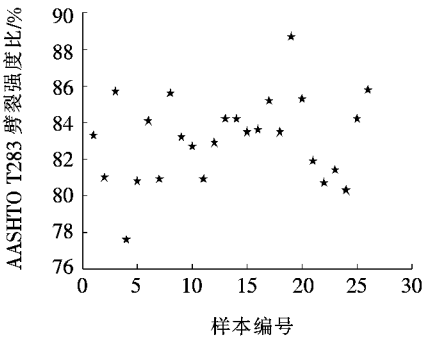


图 5 国家实验室普通沥青 Superpave 混合料 AASHTO T283 试验结果

从图 4~11 可以看出:除了 SBS 改性沥青 Superpave 混合料 5/34 个点破坏应变不满足相应标准 ($\geq 2\,500\,\mu\epsilon$)外,其余指标均能满足要求,因此采用 3 个指标共同控制可以对设计混合料的质量起到较好的控制作用。

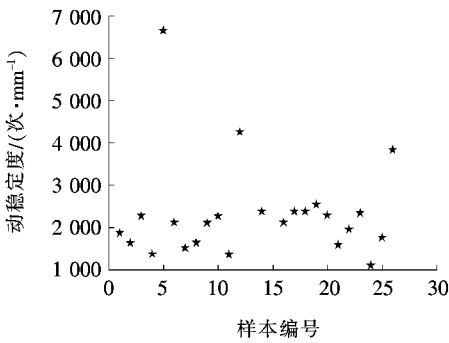


图 6 国家实验室普通沥青 Superpave 混合料车辙试验结果

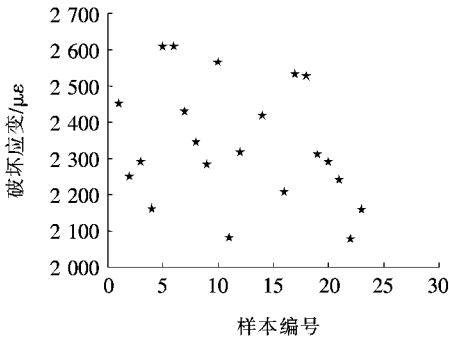


图 7 国家实验室普通沥青 Superpave 混合料低温试验结果

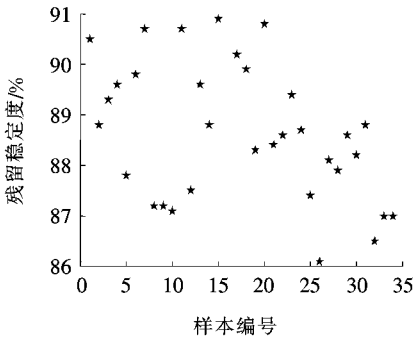


图 8 国家实验室 SBS 改性沥青 Superpave 混合料浸水马歇尔试验结果

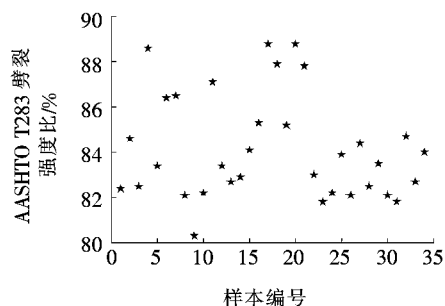


图 9 国家实验室 SBS 改性沥青 Superpave 混合料 AASHTO T283 试验结果

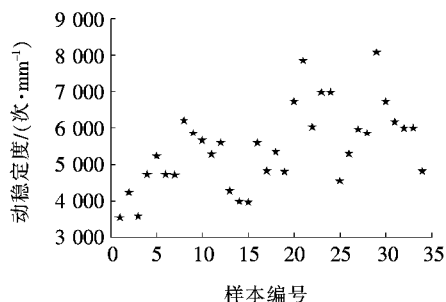


图 10 国家实验室 SBS 改性沥青 Superpave 混合料车辙试验结果

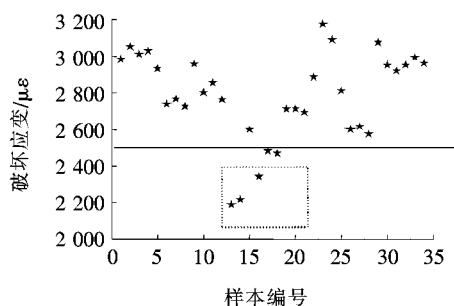


图 11 国家实验室 SBS 改性沥青 Superpave 混合料低温试验结果

2 压实度控制指标

2.1 压实度常用控制指标

JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》中规定:①路面压实度按照马歇尔标准密度 96% 进行控制,但是,马歇尔标准密度影响因素较多,马歇尔击实功与路面实际施工碾压功相差较大,马氏压实度起不到控制路面施工质量的作用;②采用马歇尔标准控制偏低,路面现场空隙率偏大,导致路面过早发生早期破坏,影响路面使用寿命;而采用旋转压实度,虽然压实功和现场碾压较为匹配,但也容易受人为干扰,而导致实际路面的密度仍偏低,空隙率偏大;采用理论最大相

对密度进行压实度控制,最大的优点是直接表征了路面的性能。该文分别对这 3 个指标的适用性进行进一步分析。

2.2 指标适用性分析

该文调研了贵州干线公路 Superpave 沥青路面压实度数据,如图 12~17 所示,从调研结果可以看出:马氏压实度超百现象严重,而旋转压实度仅有少数超百,相对而言,马歇尔击实功与现场压实功匹配度较差,不利于路面压实效果控制,综合统计结果及各评价指标的优劣性,建议贵州省干线公路 Superpave 沥青路面压实度采用理论压实度控制,控制指标为不低于 97%。

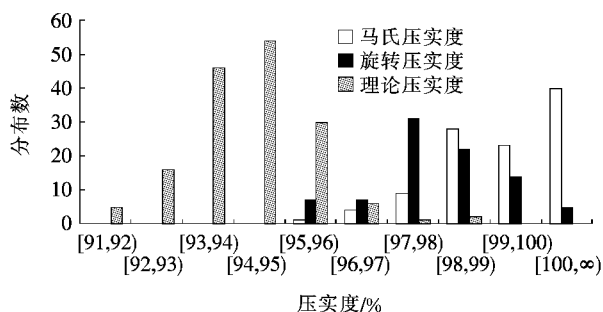


图 12 贵州省 Sup-13 沥青路面压实度分布情况

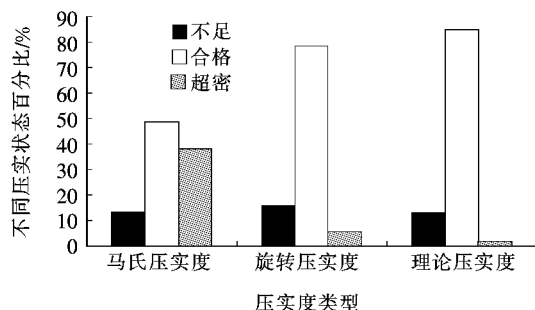


图 13 贵州省 Sup-13 沥青路面压实状态分布情况

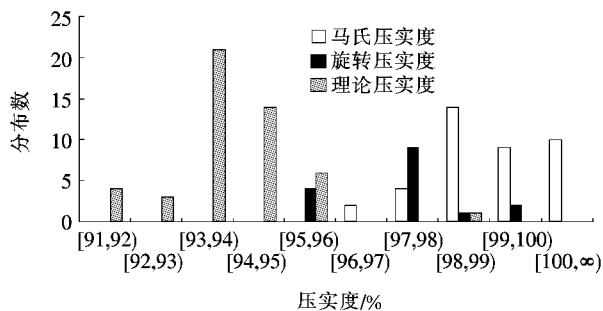


图 14 贵州省 Sup-20 沥青路面压实度分布情况

3 质量控制手段

依托某干线公路沥青路面 Sup-13 配合比设计

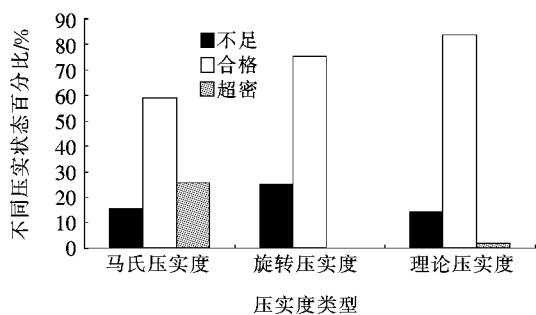


图 15 贵州省 Sup-20 沥青路面压实状态分布情况

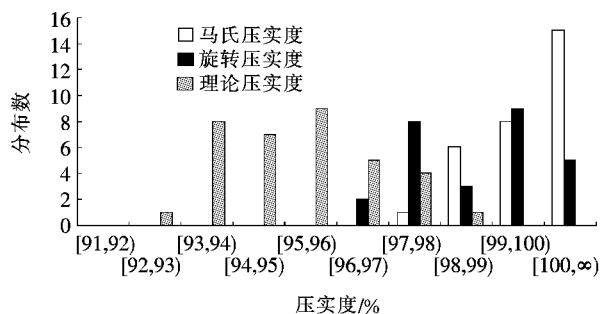


图 16 贵州省 Sup-25 沥青路面压实度分布情况

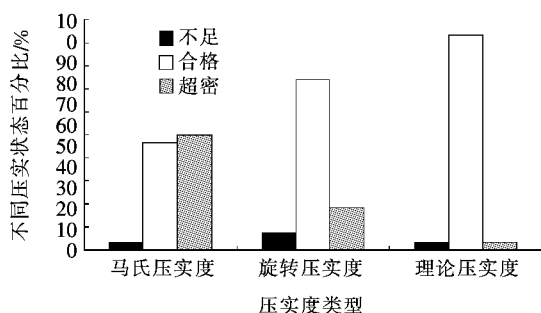


图 17 贵州省 Sup-25 沥青路面压实状态分布情况

结果,按照 Sup-13 级配采用马歇尔击实,击实结果如表 4 所示。

表 4 旋转压实设计级配采用马歇尔击实结果

击实次数/次	VV/%	VMA/%	VFA/%
马歇尔 75	4.7	14.8	68.5
旋转压实 100	4.0	14.2	71.5

从表 4 可以看出:马歇尔击实 75 次的空隙率高于旋转压实 100 次,说明马歇尔设计过程的击实功低于旋转压实,至于两者之间是否有相关性,项目统计了国家实验室部分试验数据,如表 5 所示,从表 5 中可以看出空隙率差值分布在 0.4%~3.1%之间,较为离散,无规律可循。

事实上,从现场检测的马氏压实度和旋转压实度(图 18~20)可以看出:马氏压实度明显高于旋转压实度,这是由于马歇尔击实功低于旋转压实功,导致马氏

表 5 旋转压实设计级配采用马歇尔击实统计结果

混合料类型	设计旋转压实次数/次	马氏空隙率/%	旋转空隙率/%	差值/%
SBS-Sup13	100	4.90	3.80	1.10
SBS-Sup13	100	5.00	4.00	1.00
SBS-Sup13	125	6.60	4.00	2.60
70#-Sup20	100	4.74	4.02	0.70
70#-Sup20	100	4.44	3.86	0.58
90#-Sup20	125	4.40	4.00	0.40
SBS-Sup20	125	7.10	4.00	3.10
SBS-Sup20	100	4.90	4.06	0.84
SBS-Sup20	100	4.76	4.10	0.66
SBS-Sup20	100	5.10	4.00	1.10
70#-Sup25	100	5.30	4.00	1.30
90#-Sup25	125	4.90	4.00	0.90

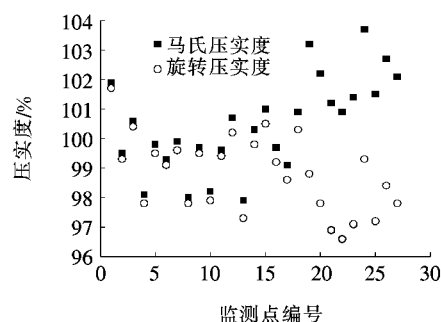


图 18 Sup-13 现场压实度

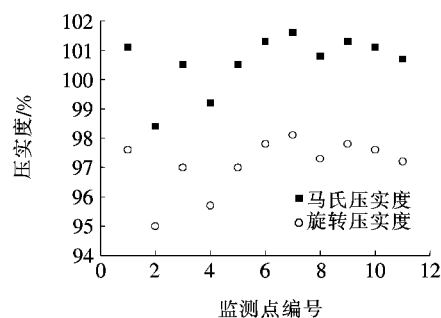


图 19 Sup-20 现场压实度

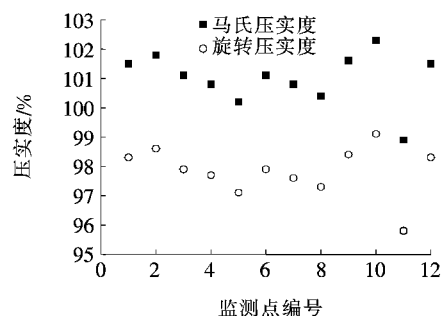


图 20 Sup-25 现场压实度

沥青路面结构力学分析四款典型专业软件评析

蒋鑫^{1,2,3}, 冯文青^{1,2,3}, 吴朝阳^{1,2,3}, 邱延峻^{1,2,3}

(1.西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031; 2.西南交通大学 道路工程四川省重点实验室;
3.西南交通大学 高速铁路线路工程教育部重点实验室)

摘要: 沥青路面结构力学分析多基于弹性层状体系理论或有限单元法、连续有限层法等数值计算方法,业内已涌现诸多专业软件。为进一步明确各款软件的特点,选取 BISAR、MICHPAVE、EverStressFE 和 3D—Move Analysis 共 4 款国外典型沥青路面结构力学分析专业软件,从原理算法、模型建立、计算求解和结果处理等具体实现层面全面开展横向比较,并针对某具体算例,进行了相关讨论。研究结果表明,4 款软件各有所长,在路表弯沉、沥青面层底径向应变、土基顶面垂直应变等方面具有一定的可比性。成果可为分析工具合理选用或计算软件成功开发奠定一定基础。

关键词: 沥青路面; 力学分析; 弹性层状体系; 有限元法; 连续有限层法; 专业软件

沥青路面是高等级公路、城市道路主流路面结构形式之一。运用力学经验法开展沥青路面设计时,必须要获得轮载作用下沥青路面结构某些重点位的应力、应变等关键力学响应,其本质是求取受附加荷载作用、呈水平层状分布体系的附加应力。从早年受垂直集中力的弹性半无限空间体 Boussinesq 解答出发,20 世纪中叶 Burmister 多层弹性力学解答诞生,沥青路

面结构力学分析进入了持续发展的时代。目前沥青路面结构力学分析的主要方法包括弹性层状体系理论、有限单元法(含轴对称有限元法、三维有限元法)、连续有限层法等,同时,为适应上述方法求解复杂、大型问题的需要,并克服大型通用软件过于庞杂、难于使用、针对性欠强等不足,沥青路面结构力学分析专业软件纷纷涌现。比较有代表性的专业软件包括基于弹性层

标准密度偏小,从而使得计算出的压实度偏大,超百现象严重。由于 Superpave 设计方法和马歇尔设计方法之间没有特定的相关性,特别是若多种集料的性状(例如颗粒形状)发生变化,马歇尔法不能及时甄别这种变化对混合料的影响,将对工程造成极大的质量隐患。因此,若采用 Superpave 法设计混合料,建议在质量控制中,也必须采用旋转压实仪进行质量检验。

4 结论

(1) 浸水马歇尔试验与冻融劈裂评价方法(AASHTO T283 和 AASHTO T0729)相关性均不好,相关系数分别为 0.3 和 0.6。

(2) 采用 AASHTO T283 冻融劈裂试验评价 Superpave 沥青混合料抗水损害性能,试验条件与路面

实际服役条件相近,建议劈裂强度比不小于 80%。

(3) 马歇尔压实度超百现象严重,无法真实反映沥青路面的压实状况,建议采用理论压实度评价压实效果。旋转压实仪和马歇尔击实仪成型的试件体积指标不相关,马歇尔击实仪取代旋转压实仪控制施工质量存在风险。

参考文献:

- [1] JTG E20—2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [2] AASHTO T283—14 Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture—Induced Damage[S].
- [3] JTG F40—2004 公路沥青路面施工技术规范[S].
- [4] DB32/T 2798—2015 高性能沥青路面施工技术规范[S].

收稿日期:2018-04-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51378440);四川省教育厅科研项目(编号:16ZB0013)

作者简介:蒋鑫,男,博士,副教授.E-mail:xjiang01@163.com