

文章编号 :1003 - 651X(2001)01 - 0001 - 05

沥青路面在美国的应用与发展

张起森¹, 陈 强² 编译

(1.长沙交通学院,湖南 长沙 410076;2.广西交通规划勘察设计院)

摘 要:文中阐述美国沥青路面在材料选取、设计组成及维护方面的发展特点,并介绍其试验设备、测试方法及研究成果,为我国应用研究沥青路面提供了有益的参考。

关键词:沥青混合料;设计方法;试验*

在过去的 75 年里,美国在沥青路面的材料选取、设计组成、路面管理方面取得了长足进步。特别是在 1993 年 3 月胜利完成的 SHRP 计划后,其在沥青混合料的应用研究上已处于世界领先地位。

1 沥青混合料

因在典型的热拌沥青混合料(HMA)中,集料约占 94%,所以它对某些参数的影响是显著的。普遍认为,集料属性影响永久变形、疲劳开裂及松散,但对温度裂缝影响较小。集料以下属性可影响 HMA 的性能:颗粒形状、棱角与表面纹理、塑性细料、硬度、抗磨损、耐久性及 < 0.075 mm 的数量与材料特性。表 1 为美国最新研究出的集料与 HMA 性能的关系。

表 1 集料属性与 HMA 性能的关系

集料属性或试验	相关性能
级配和尺寸	永久变形和疲劳开裂
粗集料的堆积空隙率	永久变形和疲劳开裂
粗集料的扁平状、针片状	永久变形和疲劳开裂
细集料的堆积空隙率	永久变形
细集料和矿粉的甲基兰试验	剥落
矿粉的粒径、级配	荷载和环境导致的永久变形
狄摩尔值、硫酸镁的安定性	剥落、孔洞、坑槽

SHRP 中沥青方面的研究重在沥青 - 集料的相互作用,包括化学和物理方面,探讨的关键点为粘结性和吸附性,粘结性研究的重点是水损害、化学氧化及老化的影响。研究人员认为集料的组成及表面结构大大影响沥青与集料的相互作用,例如在沥青及集料的相互作用、特别是抗剥落性能上,沥青性能的影响远不及集料性能的影响。SHRP 研究成果之一的净吸附试验(NAT)用于测定沥青与石料的粘附性及水敏感性。NAT 具有快速可靠的优点,可直接测定不同沥青 - 集料的粘附性能。

1.1 早期沥青混合料设计方法(1920 - 1940)

a) 采用 Richardson 归纳法设计砂质地沥青混合料。通过对砂质地沥青路面性能的广泛调查与分类研究,针对重、轻交通,提出其沥青混合料中砂的级配。

b) Warren 法。利用粒径较大的集料级配,使混合料具有一种固有的稳定性且空隙率最小,可使用较软的结合料。

c) 芝加哥实验中心的 Hugh·Skidmore 提出一种类似 Warren 的以石料为基础的沥青混合料。它用矿物填料填充细料空隙,增加沥青胶结料填充粗集料空隙以获取极小的空

隙率,且混合料具有一定的抗剪强度。

d) 哈 - 费氏沥青混合料设计。细料居多,该混合料在推挤方面存在一最小哈费氏稳定度值。

1.2 当代设计方法的发展(1940 - 1960)

到 50 年代末,马歇尔和维姆设计得到广泛应用。其间一些地方应用哈 - 费氏设计法、Smith 三轴法和得克萨斯旋转法。

马歇尔等对 VMA(矿料间隙率)有着不同的观点。集料级配的最终目的是减小 VMA 并使其达到最小,与此同时也减少沥青用量。因沥青材料及级配类型是多样的,对于一般的应用 VMA 没有限制。马歇尔认为,试验压实须达到实际交通量下的压实度,并强调选择合适的沥青用量使混合料密度达到最大的同时满足稳定性和流值的要求。

维姆法没有马歇尔法流行,其主要应用于西部。该法为:密实、统一级配、无多余的粉尘,在稳定度允许的前提下,加足够多的沥青,并针对一系列问题如稳定度、抗水损害、抗磨损、抗滑、老化及离析。

1.3 现代混合料设计方法的改进

主要利用新的试验设备和试验结果分析进行改进。

1.3.1 实验室压实成型

找到更好的试件成型方法一直是设计中亟待解决的问题。早期马歇尔法的击实成型到现在还在广泛使用。维姆法开始也用于击实成型,后改用搓揉成型。目前较流行的成型法为旋转压实和板式压实。

1990 年,美国的“欧洲沥青技术考察团”赴欧洲考察材料及当地的混合料设计方法。考察的成果之一:在美国建立两个“欧洲式的实验室”——FHWA 研究中心、科罗拉多州材料实验室。这两个实验室都采用板式压实成型,并取得一定成果。

在 SHRP 计划中,加州大学伯克利分校和 Oregon 州立大学进行板式压实成型研究,其成果包括:新的梁弯曲试验,针对永久变形

的剪切试验、低温开裂和水损害试验。另外,还制定了板式压实成型的规范。该法较旋转法和搓揉法而言,更接近路面实际,且试件形状不像其他方法那样受到严格约束。

1.3.2 水敏感性评估

美国第一个水损害测试方法——浸水压缩试验是于 1940 年由 PAULS 和 REX 研制的,它采用力学性能测试湿度条件下沥青与集料的水敏感性。

SHRP 研究水敏感性有两个重要目的:①提出 HMA 的测试方法及标准,以此进行混合料设计和使用性能的预估;②评价结合料对沥青混合料在水敏感性方面的影响。而且更多的化学和物理反应过程决定沥青与集料的相互作用,特别是粘结和吸附。

通过研究,得出集料特性在决定吸附和剥落方面比沥青更易受影响,且集料的存在有助于减轻沥青的老化。研制出净吸附试验和石灰活性试验。石灰活性试验用于测定钙元素存在的数量,从而测定石灰的反应特性。

1.4 目前混合料设计的改进

Superpave 混合料设计与分析体系包括三种混合料设计等级:I 级设计为混合料体积设计,集料特性和混合料体积性质,如空隙率、矿料间隙率是选择沥青等级和用量的基础;II 级设计是中等路面性能水平的混合料设计,是在体积设计基础上进行一套混合料性能试验,从而可预测路面随时间而产生的永久变形、疲劳开裂和低温开裂的程度;III 级设计是高级路面性能水平的混合料设计,是在体积设计后进行一系列温度范围内的混合料性能试验,而不像 II 级设计中仅用单一有效温度进行试验,从而使预测更为严格。

在以上集料级配设计中,均采用控制点和禁区来指定必须通过和避开的区域。使用更先进的测试方法和装备:Superpave 剪切设备和间接拉伸设备。

SMA 是由德国设计出的主要是用来防止车辙的一种间断级配混合料,它通过调整

粗集料的含量来形成石-石嵌挤结构。美国于 1990 年成功地引进该技术, Brown 和 Haddock 提出美国 SMA 的设计方法。

如同 SMA, 沥青碎石混合料也用于抵抗车辙破坏。NCHRP 项目 4-18 评定了它抵抗车辙破坏的有效性, 同时也提出其设计和控制指标。开级配混合料应用广泛, 也许最好是应用在多孔磨耗层上, 所以也称开级配磨耗层或厂拌封层。

多孔磨耗层经常作表层上的磨耗层。它的原理是, 雨水经过多孔磨耗层表面, 最后排出到路面边缘, 提高路面抗滑性能。其沥青混合料中常使用改性剂。

开级配基层被用作排水层和结构层。开级配基层由于沥青混合料含量为 2%~3% 相对来说较低, 所以十分经济, 且能从路面结构中排出可观数量的水, 每天可渗透 3 000~4 000 m³。

在 1997 年 AAPT 大会上, Kandhal 发表了自 1979 年 AAPT 大会以来第一本有关沥青路面回收利用的论文集。他提出五种沥青路面回收方法: 冷处理、热回收、现场加热、现场冷处理、全部回收。

改性剂应用已十分广泛, 它主要用于抗永久变形, 也可用于抵抗低温开裂、潮湿破坏、疲劳开裂和老化。

2 沥青路面结构设计与维护的发展

在 1960 年前, 设计方法主要集中在如何选择一种路面结构, 使它在一定的使用年限内, 或承受了全部实际交通量的情况下, 保证其预期使用寿命。在设计过程中, 必须建立厚度设计关系式, 用以表征路面性能与交通、材料及环境影响的相互联系。尤其是当交通情况变化时、路用材料, 设计关系式以及施工所需都要随之发生改变。

随着 1961 年 AASHTO 试验路结果的产

生, 人们开始使用路用性能的概念, 它是用现时服务性能指数与随时间、交通量变化的规律来表征的。

2.1 以分析法为基础的路面设计方法

以分析法为基础进行路面设计和分析, 也称力学-经验法, 在 1962 年开始推广应用。该过程包括判断由于交通或环境等原因导致的不同类型的潜在破坏。它能够判断路面损坏的类型, 并帮助设计人员选择合适的结构设计以将损坏降低到最低限度。这样, 在设计过程中, 人们便随时可以对路面结构进行检查或修改, 以避免多种形式的病害发生。于是, 病害可得到有效的预防或在设计期内使损坏保持在规定范围内。

与经验法相比, 此方法在初始设计及养护改建方面具有以下优点: ① 迅速提供可变荷载; ② 更好利用现有材料及新材料; ③ 提高使用性能预估的可靠度; ④ 更好地完成施工任务(比如不同路面结构的压实); ⑤ 确保在较低成本下提高路面性能。

在现今以分析法为基础的路面设计方法中, 层状弹性分析是确定路面对荷载反应的首要方法。有限元法的应用因受时间的限制, 所以它只用在一些较特殊的设计中, 但随着计算机与有限元技术的发展, 此方法会成为未来路面设计中不可缺少的一部分。

2.2 材料特性

材料特性的选择非常重要。表征材料特性时需要定义其应力与应变的关系式, 以计算路面结构的刚度或弹性模量。这些模型的应用有助于确定结构内部的应力、应变与弯沉。破坏标准的确定也是表征材料特殊性的一个重要的环节。对于沥青混凝土路面, 包括对已处治的永久变形、疲劳及裂缝的检测, 以及对未处治粒状材料的永久变形的计算。

在定义材料的力学特征时, 必须正确考虑其服务条件。包括: ① 应力状态与荷载有关; ② 环境状况(湿度和温度); ③ 施工条件、处治材料。

很久以来,人们孜孜以求地研究材料对荷载和形变反应特性的基本测试方法。历史上,沥青混合料由静态试验或在相对低变形条件下来测定其特性。而力学分析则要求进行动态荷载试验。因沥青混合料要在多种环境条件下工作,受力复杂,具有弹性、粘弹性和弹塑性的性质。材料完整的定性应知道荷载形变反应和强度特性。

NCHRP 项目 9-6 就是确认和选择现存的能测量沥青混凝土有关最不利条件下的工程特性的测试方法。SHRP 沥青方法则是确认和选择与研制能用于合成混合设计和分析体系的实验室测试。因此,后者不仅包括研制适合的材料特性的测试方法,也容许人们预测一个以时间和交通量为函数的性能模型。

2.3 路面病害

在以分析为基础的设计方法中,要考虑的病害主要有疲劳开裂、永久变形及温度开裂。现在,人们已研究出应力、应变及弯沉与使用性能之间的关系。

2.3.1 温度开裂

由于剧冷而造成的开裂称为低温开裂,同时由于温度循环导致的开裂称为温度疲劳开裂。在温度下降时路面内部产生拉应力,当拉应力超过混合料在给定温度下的抗拉强度时,路表层产生微裂缝,如果路面受约束于附加温度循环将最终通过结构层传播。

低温开裂可用短期徐变和间接抗拉强度测试,测试主要包括:①各种温度下的短期徐变决定混合料的粘弹特性;②间接抗拉强度试验决定断裂特性。最近的许多工作由现象分析转向基于力学的方法来解释裂纹传播和预测随时间推移的裂缝大小。

在 SHRP 设计方法中,提出了一种温度开裂的直接测试方法——温度应力约束试件试验(TSRST)。它可模拟路面在一定的温度及荷载应力的作用下,路面开裂的情况。在 TSRST 中,随着温度以一定速率下降,温度应

力相应增加。当温度应力超过混合料的断裂强度时,试件就会断裂。

2.3.2 疲劳开裂

路面使用期间,在气温环境影响下经受荷载的反复作用,长期处于应力应变交迭变化状态,致使路面强度逐渐下降。当荷载重复作用超过一定次数后,在荷载作用下路面内产生的应力就会超过强度下降后的结构抵抗力,使路面出现裂纹,产生疲劳开裂破坏。实验室测试方法主要按以下分类:纯弯曲、有支承弯曲、正轴向、径向、三轴和断裂试验。断裂力学和能量耗散理论对研究疲劳开裂是很有用的。

2.3.3 永久形变

永久形变或车辙的形成原因包括混合料压实(如体积变化)和剪切流动,但后者被认为更明显。通常用于对沥青混凝土永久形变反应特性的室内试验常分为单轴、三轴、径向,在这三类中荷载可能是静载、动载或重复荷载。常用到是纯剪切或扭转剪切试验。为发展该项技术,SHRP 研究者们集中于以下四方面的研究:流体力学中压力对劲度的影响、卸载后的残余形变、依赖温度和加载速度、重复静载。针对沥青混凝土的非线弹性、粘弹性和弹塑性,研制了纯剪切试验装置,可进行如下试验:单轴应变、体积应变(流体静力学)、恒高度简单剪切和频率扫描。

2.3.4 罩面设计

罩面是路面修复的一种类型。大约在 1960 年以前,其传统设计方法是根据工程经验或部分结合力学分析进行的。从那以后,由于非破损评价方法的发展(起初是弯沉测量)结合与弯沉测量相关的经验,以及采用类似新路设计的力学-经验法,罩面设计发展了两种方法:一种是以弯沉为基础;另一种是以分析为基础。但就罩面设计而言,旧路评定是一个共同的问题。目前,落锤式弯沉仪(FWD)已逐步代替了原来的贝克曼梁,被广泛应用于现有道路特性的评价上。另外,

对旧路面的处理及在厚度设计时,如何防止反射裂缝也是一个关键。下面介绍防止反射裂缝发生的措施和方法:

1) 对于现存的已有裂缝的沥青混凝土路面

① 在沥青混凝土中采用低粘度沥青混凝土(200~300 针入度)作为罩面层或者联结层;

② 加热翻松旧路面,覆盖一层新的沥青层;

③ 橡胶沥青联结层(SAMI 应力吸收膜);

④ 能防止反射裂缝,而不是温度裂缝的特定的纤维联结层。

在一段时期内,厚的罩面层通常要比薄的罩面层(50 mm 或更小)产生反射裂缝的可能性小。

2) 对于普通水泥混凝土路面

厚的沥青罩面(150 mm)要比薄的沥青罩面(50~100 mm)较有用,因这样的竖向移动不会过大。

① 预制纤维薄膜带;

② 采用 90 mm 厚的开级配沥青混凝土基层,上铺大约 90 mm 厚的密级配沥青混凝土面层。

此外,对于普通水泥混凝土罩面层,铺筑至少 50 mm 厚的沥青混凝土加 SAMI 据说是很有有效的。

沥青混凝土中的反射裂缝是由以下原因造成 ① 罩面的应变是由于在接头处受载荷作用产生垂直微运动而产生;② 罩面的拉应变是由于在联结处的水平运动而产生,此运动是因温度急剧下降所致。影响反射裂缝的因素 ① 沥青混凝土罩面层的蠕变模量及动载模量;② 现有普通水泥混凝土面层的厚度;③ 道路材料的温度变化、体积膨胀、冷缩系数和它们间的相互应力作用;④ 在裂缝或连接处的微小破坏、水平运动或扩张运动;⑤

在连接处传力杆断裂的宽度或者破坏。

在已有罩面层的路面结构中运用有限元思想来分析各种特定材料的功效以及厚度对缓和反射裂缝的影响程度,被认为是行之有效的方法。

2.3.5 路面加速加载试验

目前,可利用加速加载路面试验观测试验路的使用性能,以便在服务水平内进行路面评定、检测及修复,并得出新路面设计和修复旧路面的设计方案。

3 结论

美国的道路界认为:道路设计在定义材料成分比例方法和选择路面厚度上应简单化。在发展的早期,该方法合理的。随后,出色的工程技术被 USACE - WES 和 HVEEM 分别应用于 CBR 方法和加州方法中。自应用后,两种设计程序均被认为是合理的且认为选择厚度可消除剪切应变。随着交通荷载的增加,路面的疲劳开裂就变得严重。HVEEM 提出的基于 SHELL 调查并以分析为基础的设计方法,目前为世界许多机构采用。可预见,将于 2002 年校订出版的 AASHTO 指南至少会提到此法。

路面是由多种材料构成的复杂体,简单的试验方法不能恰如其分地确定其特性。所以应该利用更先进的技术和设备进行探讨及研究。此外,通过加深对材料表现性能的理解,提高测量材料特性的能力且利用加速加载路面试验来研究路用性能,这会使得我们能更快地引进新材料和创造新的设计理念。

参考文献:

- [1] Rita B. Leahy, Robert B. McGennis. Asphalt Mixes: Materials, Design and Characterization, AAPT, 1997.
- [2] C. L. Monismith, S. F. Brown. Developments in the Structural Design and Rehabilitation of Asphalt Pavements over Three Quarters of a Century, AAPT, 1997.