

# 沥青路面结构设计和材料设计一体化

宋 兴

(广东水电二局股份有限公司, 增城 511340)

**摘 要** 中针对目前国内外有关沥青路面结构设计方法的不足, 提出一种新的基于路用性能的、结构设计和材料设计一体化的半刚性基层沥青混凝土路面设计方法, 主要技术路线: 路用性能——结构分工——材料类型——材料组成。

**关键词** 沥青路面 结构设计和材料设计 一体化 路用性能

近几年来, 随着道路等级和车速的提高、交通量的增长、轴载的加重, 路面损坏现象不论是在时间上还是在类型或原因上都与以往有所不同。损坏期提前(早期破坏), 损坏类型或原因增多, 如变形(车辙)、开裂(疲劳开裂、低温开裂和反射裂缝)等都是常见的破坏形态, 其产生与现代交通下车辆超载、渠化交通现象密切相关。说明采用传统路面设计方法的低等级、轻交通道路路面已不能满足现代交通下路面使用性能的要求。需寻求一种新的路面设计方法, 该法拟从路用性能指标和力学指标两方面入手, 综合考虑“结构、材料、荷载、环境、经济”几方面因素, 力求达到结构设计与材料设计一体化, 力学指标与路用性能指标的统一, 技术与经济的统一。结构设计与材料设计综合考虑, 材料设计服从结构设计; 路用性能指标指导力学指标, 力学指标进一步指导路面结构和材料设计; 路面结构和材料的设计要考虑现有技术、经济水平和发展。下面我主要针对路面面层设计问题加以讨论。

## 1 半刚性基层沥青混凝土路面的经验厚度

路面设计的任务是以最低的寿命周期费用提供一种路面结构, 它在设计使用期内能按目标可靠度满足预定的使用性能要求, 并且路面结构所需材料、施工技术、设备和资金符合当地所能提供的条件与经验。完整的路面设计包括路面结构分析, 使用性能和寿命评估, 经济分析三大方面。路面面层也如此, 其中路面结构分析具体又包括层次组合设计、材料组成设计、各层次厚度及面层总厚度确定。实践证明, 半刚性基层沥青路面的承载能力可完全由半刚性材料层来满足。沥青面层只起功能性作用。半刚性基层沥青路面的裂缝主要是沥青面层的温度裂缝, 反射裂缝只占少数, 且随着增加面层厚度, 反射裂缝并没有明显减少而高温稳定性及其他路用性能

却迅速降低。统计资料显示: 我国高等级公路路面一般选用三层式, 面层厚常为 12 ~ 18cm, 绝大多数为 15cm 左右, 三层的厚度由上而下一般为 4cm + 5cm + 6cm。双层式层厚为 9 ~ 10cm, 上面层为 4cm, 底面层为 5 ~ 6cm。

## 2 沥青混合料的路用性能及其破坏机理

目前在我国高速公路建设中普遍修筑的是半刚性基层沥青混合料路面, 沥青混合料的路用性能包括高温稳定性、低温抗裂性、抗疲劳、耐老化、防渗抗滑等。沥青混合料的高温稳定性不足, 在高温条件下, 由于车轮的反复作用, 荷载应力就会超过沥青混合料所能承受的稳定性应力极限, 发生流动变形累计而形成流动性车辙, 或失稳性车辙。这种永久性塑性累计变形沥青层占到 80% 左右。沥青面层缩裂多发生在冬季气温较低的地区或温度骤降的情况下。在降温过程中沥青路面的应力松弛能力降低, 温度应力的积聚超过了其在该温度下的抗拉强度时, 沥青路面即发生断裂。这种开裂往往是从面层表面开始, 随面层深度的增加裂缝的宽度逐渐减小。但更多情况则是在温度应力的反复作用下, 裂缝逐渐发展与扩张而形成的温度疲劳裂缝。在沥青路面使用过程中, 由于沥青的老化又使沥青混合料的低温和其他路用性能进一步恶化。

## 3 荷载作用下路面面层内的应力应变分析

下面分析沥青路面在交通荷载和环境共同作用下力学特性, 希望能建立起路用性能指标和力学性能指标间的相关关系, 从而通过控制力学指标使路用性能得到控制。1978 年壳牌柔性路面理论设计法是将路面结构看成均布荷载作用下弹性层状体系, 其中均布荷载考虑了为单圆或多圆, 水平或垂直及共同作用的情况, 来计算路面结构内的应力和应变。通过路面结构层内的应力应变分析, 我们可以

得到以下结论:

(1)路面表面的弯沉,主要影响因素是路基的强度,故对新建路面当路基得到充分压实或采取适当措施使路基获得足够的模量值,且根据实践经验或规范选取适当的基层模量和厚度,路表的弯沉就可得到有效控制。

(2)厚度取9~10cm的双层式半刚性基层沥青混凝土路面,圆形均布垂直荷载作用下路面层内的最大拉应变出现在面层的下半部,在圆形均布单向水平荷载和垂直荷载综合作用下,面层表面会出现较大的径向的拉应力,其值有可能大于层底的最大拉应力。

在具体进行路面结构设计时,除了对路面层内最大拉应力和拉应变出现部位进行抗拉强度验算外,对于特殊路段,尚应进行路表抗拉强度验算,并考虑疲劳影响,确定出路面面层的合理厚度以保证面层部分在垂直荷载及水平荷载和垂直荷载在综合作用下都具有足够的强度。另外,结构层内应力的分布和分布受层间接触条件的影响也必较大,层间接触良好的连续式路面结构可保证路面在外力作用下整体工作性,对路面整体强度的提高是一有利因素。

#### 4 路面面层的结构分工及三大矛盾

通过以上对路面面层结构受均布荷载作用,在常温条件下的疲劳破坏模式的应力应变分析,及在环境(高、低温)影响下路面面层发生流行的早期破坏:车辙、开裂机理的初步分析,我们从结构上综合考虑将路面面层按层位分工,则各层所承担的任务(以三层式为例):①上面层:抗滑、抗低温开裂、抗高温车辙;②中面层:抗高温车辙;③下面层:抗疲劳和抗高温车辙。而在实际工作中要使各层真正承担起自己的任务尚需解决好三大矛盾:高温稳定性和低温抗裂性之间的矛盾、表面抗滑性和耐久性之间的矛盾、抗疲劳开裂和收缩裂缝之间的矛盾。

#### 5 考虑路用性能的材料类型选择

下面我们就从各层的层厚和材料组成方面加以考虑,力争做到权衡利弊,兼顾全局,重点突出。

##### 5.1 抗滑性

路表的抗滑性与其表面的构造深度及石料的性质有关,为提高路表的抗滑性应选择磨光值高、压碎值和磨耗值低的石料并选择合适的级配,适当增加粗骨料的含量,一般来说粗粒式沥青混凝土的抗滑性能要优于中粒式和细粒式的。

##### 5.2 高温稳定性

沥青混合料的高温稳定性,分析其影响因素可

知,在通常情况下,合理的密级配混合料的高温稳定性要优于间断级配的(SMA除外),中粒式沥青混凝土的高温稳定性要优于其他,沥青的品质和含量对混合料的高温性能也有显著影响,一般来说可选择针入度较大的沥青并在不影响混合料的低温性能的基础上将由马歇尔实验确定的最佳油石比减小0.2%~0.3%,石料应首选碱性集料以提高与沥青的粘附性从而进一步使混合料的路用性能得以提高。

##### 5.3 低温抗裂性

沥青混合料的低温性能主要取决于它的低温劲度,而混合料的低温劲度与沥青的低温劲度密切相关,采用含蜡量低、针入度大、温度敏感性低、低温劲度小、抗老化性能好的沥青是提高混合料低温抗裂性能的有效措施。沥青面层的开裂时间随面层厚度的增加而有所推迟但开裂程度并没有明显降低,尤其是当沥青面层总厚度超过15cm后,面层的开裂几乎不再受其厚度变化影响。混合料的级配组成与其低温性能关系不是很密切,一般认为密集配的抗裂性好些。沥青用量在不显著影响其他路用性能的基础上可将按马歇尔实验确定的最佳油石比增加0.2~0.3%。

##### 5.4 水温性和耐久性

沥青混凝土的空隙率是影响沥青面层水稳定性和耐久性的关键因素,一般要求上面层的空隙率控制在4%左右,各层的空隙率最大不能超过8%(透水性路面除外),为保证混合料达到要求空隙率就应选择合理的矿料级配,同时为保证施工压实度尚应处理好各层厚度与级料最大粒径的比例关系。沥青和矿料的选择旨在使二者具有较高的粘结力,且要求沥青具有一定的抗老化性能。

##### 5.5 疲劳特性

沥青混合料的疲劳寿命主要取决于混合料的劲度模量,一切影响混合料劲度模量的因素都会影响其疲劳特性。疲劳寿命随空隙率的减小而显著增长,适当增加沥青用量也可使混合料的疲劳寿命增加。

混合料组成中矿料含量与沥青用量的比例对沥青路面的各种路用性能都有着或大或小的影响,且随级配的不同而有所异,在具体取值时要根据实际情况慎重考虑。另外也要考虑地区特点,如在南方高温地区车辙便为主要控制因素,疲劳次之;在北方低温地区主要防止疲劳和低温开裂。实践表明:高等级公路选用4cm中粒式密级配沥青混凝土+6cm粗粒式密级配沥青混凝土+3cm细粒式密级配沥青混凝土的面层结构可以获得良好的路用性能和较长

的使用寿命。

## 6 各层材料的组成设计

各层的材料组成设计对沥青混合料来说主要包括矿料的级配组成设计和沥青最佳用量的确定。设计目标是得到一种具有良好路用性能的骨架密实的混合料结构形态。目前规范中规定且被公路工作者广泛使用的混合料设计方法是马歇尔试验法。是依据马歇尔试件体积指标来验证矿料的级配组成并确定沥青的最佳用量。

### 6.1 矿料级配组成设计

矿料组成的级配设计理论常用的有最大密度曲线理论和粒子干涉理论。粒子干涉理论认为:为达到最大密度,前一级颗粒之间的空隙应由次一级颗粒所填充,其余空隙又由再次小颗粒所填充,但填充的颗粒粒径不得大于间隙之距离,否则大小颗粒粒子之间势必发生干涉现象。粒子干涉理论不仅适合连续级配设计而且也适合间断级配设计,证明是一种比较合理的级配设计理论。贝雷法就是在该理论的指导下提出的一种行之有效的矿料级配设计方法。同济大学的林绣贤教授提出的变 I 法,经贝雷法检验并初步由实践证明对于矿料组成设计具有重要的指导意义。

### 6.2 沥青用量的确定

在确定沥青最佳用量或最佳油石比,林老先生借助体积分析方法,将混合料中沥青占据的总体积分为有效沥青体积和被集料吸入沥青体积两部分,从理论上讲,更合理更确切些,但具体计算时涉及参数较多,过程相对复杂一些。故目前用的较多的还是规范中的马氏法。

## 7 结束语

以上是针对现阶段半刚性基层沥青混凝土路面普遍出现的早期破坏:车辙、开裂、和水损坏,而提出的以高温车辙、低温开裂和疲劳寿命为控制指标,根

据路面层层位分工,选择各层满足相应要求的材料类型(粗粒式、中粒式或细粒式沥青混凝土)和厚度,进一步进行混合料配和比设计的结构材料设计一体化的新的设计方法。该设计方法有别于传统的路面设计方法而以路面的路用性能为最终的目标,初步体现了以路面的使用性能(结构性使用性能)控制路面设计的思想。不足之处或进一步需要研究的是如何在路面结构设计中体现路面的功能性使用性能。这里所说的路面的结构性使用性能是指路面结构的高、低温稳定性、疲劳、耐久性等;路面的功能性使用性能是指路面的平整、抗滑、低噪音等性能。道路使用者直接感受到的是一条道路的功能性使用性能的高低,它在很大程度上影响到乘客的舒适度、行驶速度和对周围环境的影响。是评价一条公路使用性能高低不可缺少的一部分。所以今后一段时间内,以路面的使用性能为控制指标的路面结构设计方法将是公路工作者研究的内容。

### 参考文献

- 1 林绣贤. 沥青混凝土合理集料组成的计算公式. 华东公路 2003 年第一期
- 2 林绣贤. HMA 和 SMA 最佳油石比快速确定法. 华东公路 2003 年第二期
- 3 林绣贤. 论 Superpave 组成配比的特色. 华东公路 2002 年第一期
- 4 沙庆林主编. 沥青及沥青混合料的路用性能. 人民交通出版社 2003.5
- 5 朱照宏, 许志鸿编著. 柔性路面设计理论和方法. 同济大学出版社 1987.9
- 6 张登良编著. 沥青路面. 人民交通出版社 1999.6
- 7 辛德刚, 王哲人, 周晓龙编著. 高速公路沥青路面材料与结构. 人民交通出版社 2002.1
- 8 中国公路学会道路工程学会安徽省公路学会主编. 2002 年道路工程学会学术交流会议论文集 2002.6
- 9 同济大学道路与交通工程研究所主编. 半刚性基层沥青路面 1991.11
- 10 韩风华, 许志鸿, 何光编著. 公路沥青路面典型结构 1998.5

## Integralization of Asphalt Pavement Structure Design with Material Design

**Abstract** Aiming at inadequate methods for asphalt pavement structure design at home and abroad present, the paper raises the new design method for asphalt concrete pavement of semi-rigid base, based on road usage performance-integralization of structure design with material one. The main technique line of present method is: road usage performance-structure deviation of work-material category-material composition.

**Key words** Asphalt pavement Structure and material designs Integralization Road usage performance