

沥青混合料疲劳性能影响因素研究

蒋晓尘 吕玉清

浙江交工国际工程有限公司 浙江 杭州 311300

摘要：本文深入剖析沥青混合料疲劳性能影响因素。在阐述沥青混合料疲劳性能基本概念基础上，系统探讨沥青材料特性、集料性质、混合料级配、环境条件以及交通荷载等因素对其疲劳性能的影响机制。研究表明，各因素相互交织，共同作用于沥青混合料的疲劳性能。深入理解这些影响因素，对优化沥青混合料设计、提升路面耐久性意义重大。

关键词：沥青混合料；疲劳性能；影响因素

引言

在现代道路工程建设中，沥青路面凭借其诸多优势成为主流路面结构形式。然而，车辆荷载的反复作用使得沥青路面易出现疲劳开裂等病害，严重影响路面使用寿命和服务质量。沥青混合料的疲劳性能作为决定沥青路面耐久性的关键因素，对其进行深入研究，有助于优化路面设计、提高施工质量，降低后期养护成本，保障道路的安全与畅通。

1 沥青混合料疲劳性能概述

沥青混合料的疲劳性能是指其在重复荷载作用下，抵抗裂缝产生和扩展的能力。当沥青路面受到车辆荷载的反复作用时，混合料内部会产生应力应变循环，随着荷载作用次数的增加，混合料内部的损伤逐渐累积，当损伤达到一定程度时，就会在路面表面或内部出现裂缝，即发生疲劳破坏。疲劳破坏是沥青路面最常见的破坏形式之一，它不仅影响路面的平整度和行车舒适性，还会导致雨水渗入路面结构内部，进一步加剧路面的损坏。因此，准确评价和提高沥青混合料的疲劳性能，对于延长沥青路面的使用寿命至关重要。

2 沥青材料特性对疲劳性能的影响

2.1 沥青的粘度

沥青的粘度是衡量其流动性的关键指标。在沥青混合料中，粘度较高的沥青具有更出色的抗变形能力。在重复荷载作用下，高粘度沥青能够更好地保持混合料的整体性。这是因为高粘度沥青在混合料中形成的沥青膜相对较厚，这层较厚的沥青膜可以更充分地裹覆集料，增强集料之间的粘结力。集料之间的粘结力增强后，混合料在受到荷载作用时，集料之间不易发生相对位移，从而减少了裂缝的产生和扩展的可能性。然而，粘度并非越高越好。当沥青粘度过高时，沥青混合料的施工和易性会显著变差。在混合料的拌和过程中，高粘度沥青

难以均匀地裹覆集料，导致混合料出现离析现象。在摊铺和压实过程中，由于沥青的流动性差，混合料难以达到规定的压实度，影响路面的压实质量。压实质量不佳的路面，其内部空隙率较大，在车辆荷载作用下更容易产生疲劳破坏。

2.2 沥青的针入度

针入度是衡量沥青软硬程度的重要指标。针入度较大的沥青相对较软，在低温环境下，这种较软的沥青表现出较好的柔韧性。当路面受到低温作用时，沥青混合料会收缩，较软的沥青能够适应较大的变形而不易开裂，从而有利于提高沥青混合料的低温疲劳性能。例如，在寒冷的冬季，针入度较大的沥青混合料路面出现低温裂缝的几率相对较低。但在高温条件下，较软的沥青容易发生流动。当车辆荷载作用于路面时，流动的沥青会使混合料的稳定性下降。混合料内部的集料在荷载作用下容易发生相对位移，导致路面出现车辙等病害。车辙的出现不仅影响路面的平整度和行车舒适性，还会使路面内部的应力分布更加不均匀，进一步降低沥青混合料的抗疲劳性能。相反，针入度较小的沥青较硬，在高温条件下具有较好的稳定性，能够抵抗车辆荷载引起的变形。但在低温时，较硬的沥青可能较脆，当路面受到温度应力或车辆荷载作用时，容易产生低温裂缝^[1]。

2.3 沥青的老化性能

沥青在长期使用过程中，不可避免地会受到氧气、光照、温度等多种因素的影响而发生老化。老化是一个复杂的物理化学过程，会使沥青的性能逐渐发生变化。老化后的沥青粘度增大，这意味着沥青的流动性变差，在混合料中难以均匀分布，导致沥青与集料之间的粘结力减弱。同时，针入度减小，沥青变硬变脆，柔韧性降低。沥青与集料之间粘结力的减弱，会使混合料的整体强度下降。在车辆荷载的反复作用下，混合料内部的集

料更容易发生相对滑动和分离,裂缝更容易产生和扩展。特别是在高温和紫外线辐射较强的地区,沥青的老化速度更快。高温会加速沥青的氧化反应,紫外线辐射会破坏沥青的分子结构,进一步加剧沥青的老化程度,对沥青混合料疲劳性能的影响更为显著。

3 集料性质对疲劳性能的影响

3.1 集料的形状和纹理

集料的形状和纹理对沥青混合料的疲劳性能有重要影响。形状规则、表面粗糙的集料能够提供更好的嵌挤作用和摩擦力,增强集料之间的相互咬合,使混合料具有更好的内聚力和抗剪强度,从而提高其疲劳性能。相反,形状不规则、表面光滑的集料在混合料中容易发生相对滑动,导致混合料的内聚力降低,疲劳性能变差。因此,在选择集料时,应优先选用形状良好、纹理粗糙的集料,以提高沥青混合料的疲劳性能。

3.2 集料的强度和硬度

集料的强度和硬度直接影响沥青混合料的承载能力和抗疲劳性能。强度高、硬度大的集料能够更好地抵抗车辆荷载的作用,减少集料的破碎和磨损,保持混合料的结构稳定性,从而提高其疲劳寿命。如果集料的强度和硬度不足,在车辆荷载的反复作用下容易发生破碎,导致混合料的级配发生变化,内部结构松散,疲劳性能急剧下降。因此,在集料的选择和使用过程中,需要严格控制集料的强度和硬度指标,确保其满足沥青混合料的设计要求。

3.3 集料的吸水率

集料的吸水率是指集料在规定条件下吸入水分的能力。吸水率较高的集料在拌和过程中会吸收沥青中的轻质组分,导致沥青与集料之间的粘结力降低,混合料的耐久性和疲劳性能受到影响。此外,吸水率高的集料在冬季容易因水分结冰膨胀而产生冻融破坏,进一步加剧混合料的疲劳损伤。因此,应尽量选用吸水率低的集料,以减少对沥青混合料疲劳性能的不利影响。

4 混合料级配对疲劳性能的影响

4.1 级配类型

沥青混合料的级配类型对其疲劳性能有着显著影响。常见的级配类型有连续级配和间断级配等。连续级配混合料中各级集料比例适当,能够形成良好的骨架密实结构。在这种结构中,粗集料形成骨架,细集料填充骨架间的空隙,使混合料具有较好的内摩擦角和粘聚力。在重复荷载作用下,连续级配混合料能够均匀地分散应力。当车辆荷载作用于路面时,应力通过粗集料的骨架传递,细集料填充空隙起到缓冲和稳定的作用,使

混合料内部的应力分布更加均匀,减少了应力集中现象,从而提高其疲劳性能。间断级配混合料则是通过剔除某一粒径或某几粒径的集料,形成骨架空隙结构或悬浮密实结构。骨架空隙结构中,粗集料形成骨架,但空隙率较大;悬浮密实结构中,细集料较多,粗集料悬浮在细集料中。间断级配混合料的疲劳性能与连续级配混合料有所不同^[2]。一般来说,合理的间断级配混合料在特定条件下也可能具有较好的疲劳性能。例如,在某些对排水性能要求较高的路面结构中,采用骨架空隙结构的间断级配混合料,虽然其空隙率较大,但通过合理的沥青用量和施工工艺控制,也可以保证其具有一定的疲劳性能。然而,间断级配混合料需要精确控制级配组成和沥青用量。如果级配组成不合理或沥青用量不当,很容易导致混合料的性能不稳定,疲劳性能下降。

4.2 细集料含量

细集料在沥青混合料中起着填充空隙、增加密实度的重要作用。适量的细集料能够提高混合料的粘聚力。细集料填充在粗集料之间的空隙中,使混合料更加密实,减少了空隙率。密实的混合料在受到车辆荷载作用时,集料之间的接触更加紧密,粘结力增强,从而改善其疲劳性能。但如果细集料含量过多,会导致混合料的内摩擦角减小,抗剪强度降低。细集料过多会使混合料的颗粒组成变得过于细腻,粗集料形成的骨架作用被削弱。在车辆荷载作用下,混合料容易产生塑性变形,而不是通过骨架的嵌挤作用来抵抗变形。塑性变形的产生会导致裂缝的产生和扩展,从而降低疲劳性能。此外,细集料含量过多还可能使混合料的热稳定性变差。在高温条件下,过多的细集料会使混合料的粘度降低,更容易发生流动,出现车辙等病害,进一步影响疲劳性能^[3]。因此,需要合理控制细集料的含量,通过试验确定最佳的细集料用量,以达到最佳的疲劳性能。

4.3 矿粉用量

矿粉是沥青混合料中的重要组成部分,它能够与沥青形成沥青胶浆,提高沥青的粘度和粘结力。适量的矿粉用量可以增强沥青与集料之间的粘结。矿粉的颗粒非常细小,能够填充在沥青和集料之间的微小空隙中,使沥青胶浆更加均匀地分布在混合料中。沥青胶浆的粘度和粘结力增强后,混合料的整体强度和稳定性提高,从而改善其疲劳性能。然而,矿粉用量过多会使沥青胶浆变稠。变稠的沥青胶浆会导致混合料的和易性变差,在拌和过程中难以均匀混合,容易出现结团现象。在摊铺和压实过程中,由于沥青胶浆的流动性差,混合料难以达到规定的压实度,影响路面的压实质量。同时,过多

的矿粉还会增加混合料的低温脆性。在低温条件下,矿粉的存在会使沥青的柔韧性进一步降低,混合料更容易产生低温裂缝,降低其低温疲劳性能。

5 环境条件对疲劳性能的影响

5.1 温度

温度是影响沥青混合料疲劳性能的关键因素之一。在不同温度条件下,沥青混合料的力学性能和变形特性会发生显著变化,从而影响其疲劳性能。在高温条件下,沥青的粘度降低,混合料的强度和刚度减小,抗变形能力变差。车辆荷载作用于路面时,混合料容易产生较大的塑性变形,出现车辙和永久变形。车辙和永久变形的产生会使路面表面不平整,增加了车辆行驶的阻力,同时也改变了路面内部的应力分布。在后续的车辆荷载作用下,应力集中现象更加明显,容易导致裂缝的产生和扩展,使疲劳性能下降。例如,在夏季高温时段,一些交通繁忙的路段很容易出现车辙病害,进而影响路面的疲劳寿命。而在低温条件下,沥青变脆,混合料的柔韧性降低。当路面受到温度应力或车辆荷载作用时,沥青混合料容易产生低温裂缝。低温裂缝的产生会破坏混合料的整体结构,使水分更容易渗入路面内部。水分的渗入会进一步加剧路面的损坏,降低疲劳性能^[4]。

5.2 湿度

湿度对沥青混合料的疲劳性能也有着不可忽视的影响。当路面处于潮湿状态时,水分会渗入混合料内部。水分会削弱沥青与集料之间的粘结力,因为水分子会在沥青和集料之间形成一层水膜,阻碍了沥青与集料的直接接触。粘结力的降低会使混合料的强度和稳定性下降,在车辆荷载的作用下,混合料更容易发生破坏。同时,水分在混合料内部还会起到润滑作用。当车辆荷载作用于路面时,水分会使集料之间的摩擦力减小,加速集料之间的相对滑动。这种相对滑动会导致混合料内部的应力分布不均匀,产生微裂缝。随着荷载作用次数的增加,微裂缝逐渐扩展和连接,最终导致宏观裂缝的产生,使混合料更容易产生疲劳破坏。此外,在寒冷地区,水分在混合料内部结冰膨胀会产生冻胀力。冻胀力会对混合料内部产生巨大的应力,导致混合料内部产生微裂缝。随着冻融循环次数的增加,微裂缝不断扩展,使混合料的结构逐渐破坏,进一步降低其疲劳性能^[5]。

6 交通荷载对疲劳性能的影响

6.1 荷载大小

车辆荷载的大小直接影响沥青混合料的应力水平。荷载越大,混合料内部产生的应力就越大,当应力超过其疲劳强度时,就会加速疲劳损伤的累积,导致疲劳寿命缩短。特别是在重载交通路段,车辆荷载对沥青路面的疲劳破坏作用更为明显。

6.2 荷载作用次数

荷载作用次数是衡量沥青混合料疲劳损伤累积程度的重要指标。随着荷载作用次数的增加,混合料内部的微裂缝会逐渐扩展和连接,最终导致宏观裂缝的产生和路面的疲劳破坏。因此,疲劳寿命通常用荷载作用次数来表示。在实际道路使用过程中,车辆荷载是不断重复作用的,荷载作用次数越多,沥青混合料的疲劳损伤就越严重。为了提高路面的疲劳性能,需要优化路面结构设计,采用高性能的沥青混合料,以增加其抵抗荷载作用次数的能力。

6.3 荷载频率

荷载频率是指车辆荷载作用的时间间隔。不同的荷载频率会对沥青混合料的疲劳性能产生不同的影响。在低频荷载作用下,混合料有足够的时间进行变形恢复,其疲劳性能相对较好。而在高频荷载作用下,混合料来不及充分恢复变形,内部应力应变循环速度加快,容易导致疲劳损伤的快速累积,降低疲劳性能。此外,荷载频率还与车辆的行驶速度有关,高速行驶的车辆产生的荷载频率较高,对沥青路面的疲劳破坏作用较大。因此,在研究沥青混合料疲劳性能时,需要考虑荷载频率的影响,以更准确地评价路面在实际交通条件下的疲劳寿命。

参考文献

- [1]袁颖.沥青混合料疲劳损伤自愈合性能研究综述[J].南方农机,2020,51(09):251.
- [2]曹文涛,郑俊秋,姜严旭.改性沥青再生混合料疲劳抗裂性能评价[J].低温建筑技术,2020,42(03):29-32.
- [3]孙雅珍,吴昌宇,马作鑫,李林江,郭睿.基于综合稳定碎石土底基层沥青路面结构疲劳寿命分析[J].公路工程,2020,45(01):37-43+73.
- [4]吴志勇.基于多级等幅荷载下的沥青混合料损伤累积和沥青面层疲劳损伤破坏研究[D].华南理工大学,2014.
- [5]蔡燕霞,金生斌,侯芸,赵宾,臧芝树.基于正交试验的沥青路面倒装结构力学响应研究[J].中外公路,2020,40(01):47-52.