

# 沥青混凝土路面结构设计与抗车辙性能优化研究

习欢欢

湖北德诚永晟公路勘察设计有限公司 湖北 荆门 448000

**摘要:** 本文聚焦于沥青混凝土路面结构设计与抗车辙性能优化这一关键议题。首先剖析了沥青混凝土路面结构设计的基本原理和关键要素,包括路面结构层次划分、各层材料选择与厚度设计等。随后详细探讨了车辙产生的机理和主要影响因素,如沥青混合料性质、交通荷载、环境温度等。在此基础上,提出了一系列针对性的抗车辙性能优化策略,涵盖材料优化、结构设计优化以及施工工艺优化等方面。旨在为沥青混凝土路面的设计与施工提供科学依据和有益参考,提升路面的抗车辙能力和整体性能,保障道路的安全与舒适运营。

**关键词:** 沥青混凝土路面; 结构设计; 抗车辙性能; 优化策略

## 1 引言

随着我国交通事业的飞速发展,公路运输量急剧增加,车辆轴载不断增大。据统计,近年来我国高速公路重载车辆的比例逐年上升,部分路段重载车辆占比超过40%,且车辆轴载普遍超过标准轴载(BZZ-100)的1.3倍。这对沥青混凝土路面的性能提出了更高的要求。沥青混凝土路面以其表面平整、行车舒适、施工便捷等优点,成为我国高等级公路的主要路面形式。然而,在长期的使用过程中,车辙问题逐渐成为影响沥青混凝土路面使用性能和使用寿命的关键因素之一。车辙不仅会降低路面的平整度,影响行车的舒适性和安全性,还可能导致路面结构破坏,增加养护维修成本,甚至影响道路的正常运营。因此,深入研究沥青混凝土路面结构设计,并对其抗车辙性能进行优化,具有重要的现实意义。

## 2 沥青混凝土路面结构设计概述

### 2.1 路面结构层次划分

沥青混凝土路面通常由面层、基层和底基层等层次组成。面层直接承受车辆荷载和自然环境的作用,要求具有平整、抗滑、耐磨、高温稳定性、低温抗裂性等性能。基层主要承受由面层传来的车辆荷载的垂直力,并将其扩散到垫层和土基中,应具有足够的强度、刚度和水稳定性。底基层的作用与基层类似,进一步分散荷载,减少基层的应力,其材料性能要求可略低于基层。

### 2.2 各层材料选择与厚度设计

#### 2.2.1 面层材料选择与厚度设计

面层一般采用沥青混凝土材料,根据交通量、气候条件等因素,可选择不同类型的沥青混合料。例如,在重交通路段,常采用改性沥青混凝土,以提高路面的高温稳定性和抗车辙能力。常用的改性沥青有SBS改性沥青、SBR改性沥青等<sup>[1]</sup>。以SBS改性沥青为例,其针入度(25℃,

100g, 5s)一般在40-80(0.1mm),软化点不低于60℃,相比普通沥青(针入度60-80(0.1mm),软化点45-55℃),高温性能得到显著提升。面层厚度应根据交通荷载、基层类型和公路等级等因素综合确定。一般来说,高速公路的面层厚度不宜小于15cm,其中上面层厚度宜为4-6cm,中面层和下面层厚度可根据实际情况确定。

#### 2.2.2 基层材料选择与厚度设计

基层材料常用的有水泥稳定碎石、二灰稳定碎石等半刚性材料,以及级配碎石等柔性材料。半刚性基层具有较高的强度和刚度,但抗裂性能相对较差;柔性基层具有良好的抗裂性能和变形协调能力,但强度相对较低。水泥稳定碎石基层的7d无侧限抗压强度一般要求不低于3-5MPa。其厚度应根据交通荷载、土基强度和公路等级等因素确定,通常水泥稳定碎石基层厚度不宜小于18cm。有实验数据显示,当水泥稳定碎石基层厚度从18cm增加到22cm时,路面结构的整体刚度提高约15%,能有效减少面层的应力水平,从而降低车辙的产生。二灰稳定碎石基层的7d无侧限抗压强度一般要求不低于0.8-1.1MPa,其厚度不宜小于20cm。

#### 2.2.3 底基层材料选择与厚度设计

底基层材料一般采用级配碎石、水泥稳定土等。级配碎石底基层的CBR值(加州承载比)一般要求不低于80%。其厚度应根据基层类型、土基强度和公路等级等因素确定,一般不宜小于15cm。当土基回弹模量较低时,适当增加底基层厚度可有效提高路面的整体承载能力,减少车辙变形。例如,当土基回弹模量从30MPa降低到20MPa时,底基层厚度从15cm增加到20cm,可使路面的累计变形量减少约25%。

## 3 车辙产生的影响因素分析

### 3.1 车辙影响因素

### 3.1.1 沥青混合料性质

沥青的针入度、软化点、粘度等性能指标对车辙有重要影响。一般来说,针入度小、软化点高、粘度大的沥青具有较好的高温稳定性,能有效抵抗车辙的产生。例如,采用针入度为50(0.1mm)、软化点为65℃的沥青制备的沥青混合料,在60℃、0.7MPa轮压条件下的车辙试验动稳定度可达5000次/mm以上;而采用针入度为80(0.1mm)、软化点为50℃的沥青制备的沥青混合料,动稳定度仅为2000次/mm左右。矿料的级配、形状、表面纹理等也会影响沥青混合料的性能。粗集料含量多、级配良好的沥青混合料具有较高的内摩擦力和抗剪强度,抗车辙能力较强。

### 3.1.2 交通荷载

交通量、车辆轴载和轮胎压力是影响车辙的重要因素。随着交通量的增加和车辆轴载的增大,路面承受的荷载作用次数和应力水平显著提高,车辙产生的速度也会加快。重载车辆对路面的破坏作用更为明显,其产生的车辙深度往往比较轻载车辆大得多<sup>[2]</sup>。根据实际观测数据,一辆轴载为130kN的重载车辆对路面产生的车辙深度约是一辆轴载为100kN的标准车辆产生车辙深度的2.5倍。

### 3.1.3 环境温度

温度对沥青混合料的性能有显著影响。在高温条件下,沥青的粘度降低,沥青混合料的强度和刚度下降,更容易产生车辙。一般来说,当气温超过30℃时,沥青混凝土路面的车辙发展速度会明显加快。有实验对沥青混合料在不同温度下的车辙发展情况进行监测,当温度从40℃升高到60℃时,车辙深度在相同荷载作用次数下的增长幅度超过200%。

### 3.1.4 路面结构与厚度

路面结构的组合和各层厚度对车辙的分布和大小有影响。合理的路面结构能够有效地分散车辆荷载,减少各层的应力水平,从而降低车辙的产生。例如,增加基层和底基层的厚度可以提高路面的整体强度和刚度,减轻面层的负担,减少面层车辙。

### 3.1.5 施工质量

施工质量对沥青混凝土路面的抗车辙性能也有重要影响。施工过程中,沥青混合料的拌和温度、摊铺温度、压实度等参数控制不当,会导致沥青混合料的性能下降,从而影响路面的抗车辙能力。例如,压实度不足会使沥青混合料的孔隙率增大,在车辆荷载的作用下,容易产生压实变形,形成车辙。

## 4 沥青混凝土路面抗车辙性能优化策略

### 4.1 材料优化

#### 4.1.1 选用优质沥青

采用高性能的改性沥青,如SBS改性沥青、SBR改性沥青等,可以提高沥青的高温稳定性和粘弹性,增强沥青与矿料之间的粘附性,从而有效提高沥青混合料的抗车辙能力。例如,SBS改性沥青通过在沥青中加入苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物,改善了沥青的流变性能,使其在高温下具有较高的粘度和弹性恢复能力。有实验表明,SBS改性沥青混合料在60℃、0.7MPa轮压条件下的动稳定度可达8000次/mm以上,相比普通沥青混合料的动稳定度(2000-3000次/mm)有显著提高。

#### 4.1.2 优化矿料级配

采用骨架密实型矿料级配,增加粗集料的含量,形成良好的矿料骨架结构,提高沥青混合料的内摩擦力和抗剪强度。同时,合理控制细集料的含量和粉胶比,保证沥青混合料具有足够的密实度和稳定性<sup>[3]</sup>。例如,采用SMA(沥青玛蹄脂碎石混合料)结构,其粗集料含量高达70%-80%,形成了坚实的骨架,矿粉用量较多,沥青玛蹄脂填充在骨架间隙中,使混合料具有较好的高温稳定性和抗车辙能力。SMA混合料的动稳定度一般可达6000次/mm以上,远高于普通沥青混合料。

#### 4.1.3 添加抗车辙剂

在沥青混合料中添加抗车辙剂是一种有效的提高抗车辙性能的方法。抗车辙剂可以在沥青混合料中形成纤维状或网状结构,增强矿料之间的连接,提高沥青混合料的强度和刚度。同时,抗车辙剂还可以改善沥青的高温性能,降低沥青的感温性,减少车辙的产生。常用的抗车辙剂有PRModule、路孚8000等。有实验对添加PRModule抗车辙剂的沥青混合料进行测试,当抗车辙剂掺量为0.3%-0.5%时,混合料的动稳定度可提高100%-150%,车辙深度减少50%-60%。

## 4.2 结构设计优化

### 4.2.1 合理确定路面结构厚度

根据交通荷载、土基强度和气候条件等因素,合理确定各层结构的厚度。适当增加基层和底基层的厚度,可以提高路面的整体强度和刚度,减轻面层的负担,减少面层车辙。同时,要保证面层具有足够的厚度,以提供良好的行车表面和抗滑性能。例如,对于重交通路段,基层厚度可增加至22-25cm,底基层厚度可增加至20-25cm,面层厚度可适当增加至18-20cm。

### 4.2.2 采用复合式路面结构

复合式路面结构结合了不同材料的优点,能够提高路面的整体性能和抗车辙能力。例如,在沥青面层下设置水泥混凝土基层,形成半刚性基层与柔性面层的复合

结构。水泥混凝土基层具有较高的强度和刚度，能够有效分散车辆荷载，减少沥青面层的应力水平；而沥青面层则提供了良好的行车舒适性和抗滑性能。有实际工程案例表明，采用复合式路面结构的路段，在使用5年后，车辙深度仅为5-8mm，而相同交通条件下普通沥青混凝土路面的车辙深度可达15-20mm。

#### 4.2.3 设置应力吸收层

在半刚性基层与沥青面层之间设置应力吸收层，可以缓解基层裂缝对面层的影响，减少反射裂缝的产生。同时，应力吸收层还可以吸收车辆荷载产生的应力，降低面层的应力水平，从而提高路面的抗车辙能力。常用的应力吸收层材料有橡胶沥青应力吸收层、应变硬化沥青应力吸收层等。橡胶沥青应力吸收层具有良好的弹性和变形协调能力，能够有效吸收应力。

### 4.3 施工工艺优化

#### 4.3.1 严格控制施工温度

沥青混合料的施工温度对路面的质量有重要影响。在拌和、摊铺和压实过程中，要严格控制沥青混合料的温度，确保其在适宜的温度范围内施工<sup>[4]</sup>。一般来说，普通沥青混合料的拌和温度应控制在150-170℃，摊铺温度不低于130℃，压实温度不低于120℃；改性沥青混合料的施工温度应适当提高，拌和温度可控制在170-190℃，摊铺温度不低于150℃，压实温度不低于140℃。

#### 4.3.2 提高压实质量

压实是保证沥青混凝土路面质量的关键环节。采用合适的压实设备和压实工艺，确保沥青混合料达到规定的压实度。在压实过程中，要注意压实的顺序、速度和遍数，避免出现压实不足或过度压实的情况。一般来说，初压采用钢轮压路机静压1-2遍，速度控制在1.5-2km/h；复压采用轮胎压路机或振动压路机碾压4-6遍，速度控制在2.5-3.5km/h；终压采用钢轮压路机静压1-2遍，速度控制在2-3km/h，消除轮迹。通过压实度检测，要求高速公路

面层的压实度不低于96%，基层的压实度不低于97%。提高压实度可以有效减少沥青混合料的孔隙率，增强混合料的密实度和强度，从而提高路面的抗车辙能力。

#### 4.3.3 加强施工过程的质量控制

建立健全施工质量控制体系，加强对原材料、沥青混合料配合比、施工工艺等各个环节的质量控制。定期对施工质量进行检测和评估，及时发现和解决问题，确保施工质量符合设计要求。例如，在施工过程中，要定期检测沥青混合料的马歇尔稳定度、流值、空隙率等指标，以及路面的平整度、压实度等指标。马歇尔稳定度应符合设计要求，一般高速公路面层沥青混合料的马歇尔稳定度不小于8kN；流值应在2-4mm之间；空隙率应控制在3%-6%之间。

### 结语

本文研究沥青混凝土路面结构设计抗车辙性能优化得出：合理路面结构设计是提高抗车辙性能的基础，需综合交通荷载等因素确定结构层次与厚度、形式；材料优化是关键，选用优质沥青等措施可提升混合料高温稳定性与抗车辙能力；施工工艺优化至关重要，严格把控施工各环节能确保施工质量，提高抗车辙性能。展望未来，需深入研究车辙微观机理，开发新型材料与添加剂，加强智能监测技术应用，开展全寿命周期成本分析，以实现路面可持续发展。

### 参考文献

- [1]曾林威.沥青—混凝土复合式路面结构设计研究[J].江西建材,2021,(08):71-72.
- [2]黄志君.混凝土路面加铺沥青面层路面结构设计分析[J].江西建材,2023,(06):235-236.
- [3]林震峰.公路沥青混凝土路面车辙病害检测认定及其原因分析与防治[J].四川水泥,2024,(09):189-191.
- [4]贾肖肖,周佳仪,袁月明.沥青混凝土路面抗车辙性能影响因素研究[J].工程机械与维修,2023,(04):102-104.