

沙漠公路倒装式沥青路面力学性能研究

王学志¹,王进宏³,李成刚¹,范松山³,罗延赤⁴

(1.宁夏交投工程建设管理有限公司,宁夏 银川 750002; 2.宁夏交通建设股份有限公司,宁夏 银川 750002;
3.宁夏交建交通科技研究院有限公司,宁夏 银川 750000; 4.宁夏公路管理中心,宁夏 银川 750002)

摘 要: 沙漠地区昼夜温差大,年最热月、最冷月极端气温均较为明显,公路产生温缩、干缩开裂病害难以避免,造成路面结构强度下降。基于此,提出沙漠公路倒装式沥青路面结构试验段方案,利用粒料类柔性基层防止或延缓沥青路面反射裂缝。根据《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)中路面结构验算方法,采用 HPDS 计算软件,分析研究倒装式沥青路面级配碎石层厚度、模量对路面结构力学性能影响以及路面结构的疲劳衰减性能。结果显示:级配碎石层过厚,容易造成沥青层的弯拉疲劳开裂,且路表弯沉值小幅减小,而厚度过小,不宜压实,容易产生离析,应以 15~18 cm 为宜;级配碎石层回弹模量越大,半刚性层疲劳开裂和沥青混合料层疲劳开裂对应的累计当量轴次以及沥青混合料层永久变形量均增大,半刚性层层底拉应力明显减小。

关键词: 倒装式路面;级配碎石;反射裂缝;厚度;模量

中图分类号: U416

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)05-0204-03

0 引 言

据统计,国内超过 90% 的高等级沥青路面为半刚性路面,而半刚性基层开裂是先天顽疾,且普遍存在,尤其在昼夜温差大,年最热月、最冷月极端气温均较为明显地区。一方面,由于温缩、干缩开裂难以避免,造成路面结构强度下降;另一方面,半刚性基层一旦开裂,沥青路面等效为柔性结构,剩余疲劳强度大大减小^[1-2]。而该结构层修复难度大、周期长,且费用相对较高,若采用表面维修方式路面维持不久又将产生破坏,最终不得不提前开始结构性重建。

研究依托工程乌玛高速沙漠段气候干旱、降水稀少、蒸发强烈、温差大、光照充足、风大沙多,年平均气温 8.8℃,环境最高气温 37.6℃,最低气温 -29.2℃,沙漠表面最高气温 74℃,年降雨量 179.6 mm,年蒸发量 1 829.6 mm,为降雨量的 10.2 倍。在该环境下,半刚性基层开裂并产生反射裂缝的防治尤为重要。基于此,提出沙漠公路倒装式路面结构试验段方案,该方案采用级配碎石做基层,以增强沥青面层与基层的层间黏结,并与沥青碎石层协同消散应力、消解应变,起到减少反射裂缝和缓解表面裂缝的作用。

收稿日期: 2022-08-23

基金项目: 宁夏回族自治区科学技术厅重点研发计划项目(2021BEG02017-02); 宁夏回族自治区交通运输厅科技项目(202000175)

作者简介: 王学志(1987—),男,本科,工程师,从事公路工程项目管理工作

本文根据《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)路面结构验算方法,采用 HPDS 计算软件,分析倒装式沥青路面级配碎石层厚度、模量对路面结构力学性能的影响以及该类型路面结构疲劳衰减性能,以期形成合理的试验段路面结构方案。

1 路面结构力学响应分析

以乌玛高速公路沙漠段交通荷载为模型参考,初始年大型客车和货车双向年平均日交通量 3 599 辆/d,方向系数 0.55,车道系数 0.8,交通量年平均增长率 8%,初始年设计车道大型客车和货车年平均日交通量 1 583 辆/d,设计车道累计大型客车和货车交通量 $1.568\ 836 \times 10^7$ 辆,路面设计为重交通荷载等级。

不同方案路面结构层模量均设置为 10 000 MPa,泊松比 0.25,无机结合料稳定类弯拉强度及弹性模量根据《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)取值,结构模量调整系数取 0.5^[3]。

1.1 倒装式路面与半刚性路面力学性能对比分析

经研究,倒装式路面结构设置为:4 cm AC-13C+6 cm AC-20C+10 cm ATB-25+16 cm 级配碎石基层+36 cm 水泥稳定碎石底基层;常规半刚性路面结构设置为:4 cm AC-13C+6 cm AC-20C+10 cm ATB-25+36 cm 水泥稳定碎石基层+16 cm 水泥稳定碎石底基层。对比两种路面结构可知,倒装式路面是采用级配碎石代替部分厚度半刚性层,作为半刚性层与沥青层的柔性过渡层。两种路面结构力学性能分析结果见表1。

表 1 倒装式路面与半刚性路面性能对比

验算内容	路面结构形式	
	倒装式	半刚性
半刚性层疲劳开裂对应的累计当量轴次	$3.251\ 741 \times 10^9$	$5.327\ 257 \times 10^9$
沥青混合料层永久变形量/mm	10.8	11.59
半刚性层层底拉应力/MPa	0.174	0.119

分析结果表明,从路面结构力学性能指标上来看,半刚性沥青路面结构力学性能更优,层底拉应力较小,对应结构层疲劳开裂性能更好。但倒装式路面结构采用级配碎石作为柔性过渡层,因其不受拉的

特性,使其具有无温度疲劳及应力疲劳破坏,能消散反射裂缝处的应力集中,消解应变,防止反射裂缝向上延伸的优点。另外,在干旱少雨地区,级配碎石层顶可设置透层和封层,能有效防止半刚性基层开裂后的水损害^[4-6]。

1.2 级配碎石层厚度对倒装式路面力学性能的影响

控制倒装式路面各结构层其他计算参数不变,改变级配碎石基层厚度分别为 8 cm、16 cm、24 cm、32 cm、40 cm,分析沥青路面半刚性层疲劳开裂对应的累计当量轴次、沥青混合料层疲劳开裂对应的累计当量轴次、沥青混合料层永久变形量以及半刚性层层底拉应力变化趋势。分析结果如表 2、图 1 所示。

表 2 厚度对路面结构力学性能的影响

验算内容	级配碎石基层厚度					设计值
	8 cm	16 cm	24 cm	32 cm	40 cm	
半刚性层疲劳开裂对应的累计当量轴次 $\times 10^9$		3.251 741	4.831 941	6.757 222	9.003 93	3.121 73
沥青混合料层疲劳开裂对应的累计当量轴次 $\times 10^7$	半刚性层疲劳开裂对应的累计当量轴次小于设计值,不满足路面结构设计要求	11.602 34	8.719 475	7.465 121	6.887 017	4.231 691
沥青混合料层永久变形量/mm		10.8	10.77	10.75	10.72	15
半刚性层层底拉应力/MPa		0.174	0.152	0.134	0.119	1.6
路表验收弯沉值/0.01 mm		18.9	18.8	18.7	18.4	—

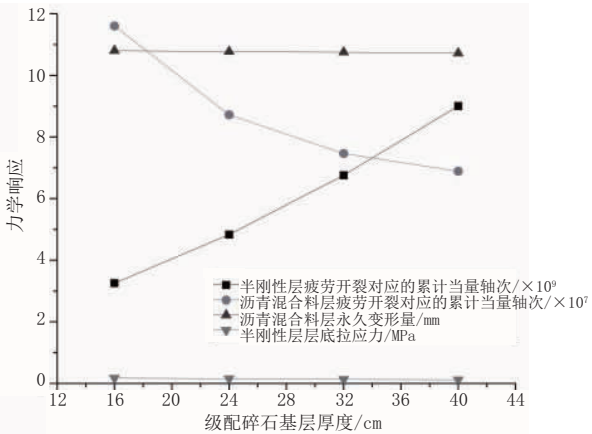


图 1 不同厚度力学响应变化规律

由表 2 可得,在倒装式沥青路面其他结构层厚度及力学性能指标不变,级配碎石层回弹模量一致的情况下(回弹模量取 500 MPa),随着级配碎石层厚度增大,半刚性层层底拉应力逐渐减小,使半刚性层疲劳开裂对应的累计当量轴次增加;同时,碎石层厚度增加也会使沥青层层底拉应变增大,导致沥青混合料层疲劳开裂对应的累计当量轴次逐渐减小。综上,碎石层的厚度显著影响沥青层层底拉应变和半刚性基层层底拉应力,进而影响沥青层和半刚性层的疲劳开裂。另外,随着碎石层厚度增加,沥青混合料层永久变形量和路表弯沉值均减小,但减小幅度

不大,当级配碎石厚度由 16 cm 增至 40 cm,沥青混合料层永久变形量减少了 1.74%,路表弯沉值减少了 2.65%。

结合倒装式沥青路面试验段的研究结论,认为级配碎石层厚度小于 15 cm 不易压实,从而产生离析;而当级配碎石层过厚,容易造成沥青层的弯拉疲劳开裂。故在工程应用中需根据路面结构设计指标,综合考虑路面总厚度及其他结构层力学性能指标等因素,确定级配碎石层的适宜厚度^[7-8],本文建议级配碎石厚度应以 15~18 cm 为宜。

1.3 级配碎石层回弹模量对倒装式路面力学性能的影响

控制倒装式路面各结构层其他计算参数不变,改变级配碎石基层模量分别为 300 MPa、400 MPa、500 MPa、600 MPa、700 MPa,分析沥青路面半刚性层疲劳开裂对应的累计当量轴次、沥青混合料层疲劳开裂对应的累计当量轴次、沥青混合料层永久变形量以及半刚性层层底拉应力。分析结果如表 3、图 2 所示。

由表 3 可得,在倒装式沥青路面其他结构层厚度及力学性能指标不变,级配碎石层厚度一致的情况下(厚度取 18 cm),随着级配碎石层回弹模量增

表3 模量对路面结构力学性能的影响

验算内容	级配碎石基层回弹模量 /MPa					设计值
	300	400	500	600	700	
半刚性层疲劳开裂对应的累计当量轴次 $\times 10^9$	3.277 995	3.447 346	3.618 186	3.791 409	4.039 89	3.121 73
沥青混合料层疲劳开裂对应的累计当量轴次 $\times 10^7$	5.371 732	7.788 95	10.594 31	13.997 25	17.822 0	4.231 691
沥青混合料层永久变形量 /mm	10.69	10.75	10.8	10.84	10.89	15
半刚性层层底拉应力 /MPa	0.172	0.17	0.168	0.166	0.163	1.6
路表验收弯沉值 /0.01mm	20.8	19.7	18.9	18.3	17.9	-

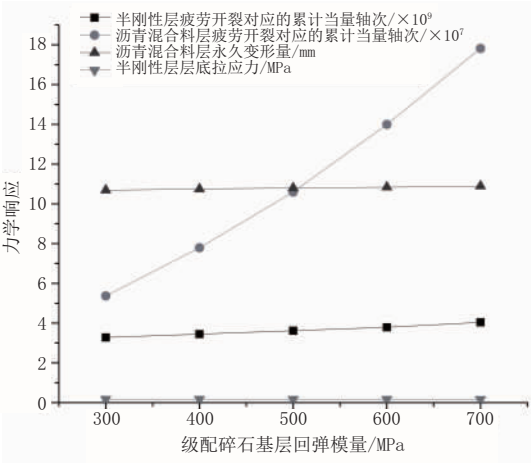


图2 不同模量力学响应变化规律

大,沥青层层底拉应变和半刚性层层底拉应力均减小,导致半刚性层疲劳开裂、沥青混合料层疲劳开裂对应的累计当量轴次以及沥青混合料层永久变形量均增大,沥青混合料路表弯沉值小幅降低。该结果表明,提高级配碎石的回弹模量能有效延缓沥青路面反射裂缝的产生。

另外,不论影响因素是模量还是厚度,沥青混合料层永久变形量与沥青层疲劳开裂对应的累计当量轴次变化趋势一致,该结果与级配碎石层变形密切相关,结构层变形越大,沥青层层底弯拉应力随之增大,疲劳性能降低,下承层约束性减小,进而使沥青层永久变形量减小。

3 结 论

(1)从路面结构力学性能指标上来看,虽然半刚性沥青路面结构在路面结构力学性能上更优,但级配碎石作为柔性过渡层,材料本身的性能衰减较小,能够防止反射裂缝向上延伸,也可防止半刚性基层开裂后的水损害。

(2)级配碎石层厚度和模量对半刚性层层底拉应力影响较大,这也是决定沥青路面疲劳性能的主要因素。当级配碎石层厚度越大,半刚性层疲劳开裂对应的累计当量轴次增加,沥青混合料层疲劳开裂对应的累计当量轴次减小;级配碎石层回弹模量越大,半刚性层疲劳开裂和沥青混合料层疲劳开裂对应的累计当量轴次均增加。

(3)沥青混合料层永久变形量与沥青层疲劳开裂对应的累计当量轴次变化趋势相关,这与级配碎石层的变形密切相关,结构层变形越大,沥青层层底弯拉应力随之增大,疲劳性能降低,下承层约束性减小,进而使沥青层永久变形量减小。

(4)关于沙漠公路倒装式沥青路面力学性能研究,下阶段还需紧密结合现场试验段长期观测数据,分析其在交通荷载、自然环境耦合作用下的变化规律以及该类型路面结构在沙漠环境下的适用性。

参考文献:

[1] 曹明明.刚柔复合式基层沥青路面结构特征与荷载响应分析[D].成都:西南交通大学,2018.

[2] 刘斌.沥青路面高强度级配碎石基层研究[D].重庆:重庆交通大学,2017.

[3] JTG D50—2017,公路沥青路面设计规范[S].

[4] 李岷.级配碎石材料力学特性和设计方法研究[D].西安:长安大学,2013.

[5] 龚璐.级配碎石基层级配设计及应用研究[D].长沙:长沙理工大学,2008.

[6] 柳音.级配碎石柔性基层性能试验研究[D].重庆:重庆交通大学,2008.

[7] 曹建新,王哲人,孙耀东.按紧排骨架—密实原则设计级配碎石基层[J].中外公路,2004(2):77–80.

[8] 王继林.碎石过渡层在半刚性路面裂缝预防方面作用研究[D].合肥:合肥工业大学,2004.