

快速干线沥青路面结构改造方案比选分析

肖杰

(常德市交通建设监理咨询有限公司, 湖南 常德 415000)

摘要:以某快速干线沥青路面改造工程为背景,借助 ABAQUS 软件建立路面结构有限元计算模型,针对原路面结构与 3 种路面改造结构进行力学性能对比分析,并结合规范预估路面结构的疲劳性能。结果表明,随着轴载的增加,沥青路面结构的各项力学指标均呈增大趋势;水稳碎石底基层沥青路面结构的承载能力比级配碎石底基层沥青路面结构更优;不同沥青路面结构中,结构 B(沥青稳定碎石上基层+水稳碎石下基层和底基层)的综合性能较优,沥青路面结构改造方案建议选用结构 B。

关键词:公路;快速干线;沥青路面结构;力学性能;改造方案比选;疲劳性能

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)01-0059-03

随着城市交通流量的逐年增加及道路设计年限的临近,部分城市主要干道出现较严重的车辙、开裂、沉降、拥包等病害,给行车舒适性及安全带来严重影响,老旧路面结构改造成为当今热点课题。针对沥青路面结构,彭宏图通过将 3 种混合式基层路面结构和半刚性基层结构进行疲劳特性分析,得出混合式基层沥青路面更适合大交通量高速公路的需求;何创等采用 ABAQUS 软件模拟计算重载交通条件下轴重、基层模量及厚度对半刚性基层沥青路面面层力学响应的影响,得到对沥青路面结构力学响应的影响大小为轴载>基层厚度>基层模量;王海燕等研究重载交通作用下两种典型沥青路面结构的力学响应,得到不同轴载作用下路面结构的分布特征及变化规律。上述研究大多分析沥青路面结构的指标影响,对城市道路沥青路面结构比选的研究较为欠缺。基于此,该文以某快速干线沥青路面改造工程为研究背景,运用 ABAQUS 软件建立路面结构有限元计算模型,针对 4 种沥青路面结构展开力学性能对比分析,并结合规范预估路面结构的疲劳性能,为城市道路路面结构提升改造提供参考。

1 工程背景

某快速干线全长约 9.5 km,双向六车道,设计速度为 80 km/h,原路面结构为 4 cm 细粒式沥青砼+6 cm 中粒式沥青砼+8 cm 粗粒式沥青砼+10 cm 沥青稳定碎石+20 cm 级配碎石+20 cm 级配碎石,总厚度为 68 cm。由于该路段交通流量过大,路面产生大量龟裂、车辙、坑槽、沉降等病害,给道路

运营安全带来严重影响,需进行提升改造。考虑到原路面结构破损严重,已无法满足现状交通需求,提出 3 种路面结构改造比选方案:

(1) 结构 A 为 4 cm 细粒式沥青砼+6 cm 中粒式沥青砼+8 cm 粗粒式沥青砼+16 cm 5%水稳碎石+17 cm 5%水稳碎石+17 cm 4%水稳碎石。

(2) 结构 B 为 4 cm 细粒式沥青砼+6 cm 中粒式沥青砼+8 cm 粗粒式沥青砼+10 cm 沥青稳定碎石+20 cm 5%水稳碎石+20 cm 4%水稳碎石。

(3) 结构 C 为 4 cm 细粒式沥青砼+6 cm 中粒式沥青砼+8 cm 粗粒式沥青砼+16 cm 级配碎石+17 cm 5%水稳碎石+17 cm 4%水稳碎石。

2 模型建立

2.1 计算模型及边界条件

运用 ABAQUS 软件建立路面结构三维模型,模型尺寸为 5 m×5 m×6 m(长×宽×深),单元类型为三维六面体八节点单元,各结构层间完全连续。计算模型中假设 X 向为行车方向、Y 向为路幅方向、Z 向为深度方向。边界条件为 X、Y 方向均轴向约束,顶面完全自由,底部固定约束。路面结构计算模型见图 1。

2.2 荷载计算参数

根据 JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》,荷载计算图示分为 4 种,考虑到现代重载车辆行驶时轮胎的接地面积和轮压会随着轴载增加而逐渐增大,但轮中心距不变,选取图 2 所示荷载作用图式。为简化计算,将车轮荷载简化为均布矩形荷载,

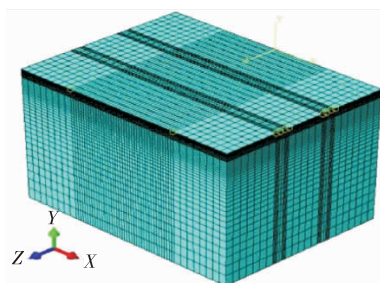


图1 路面结构计算模型

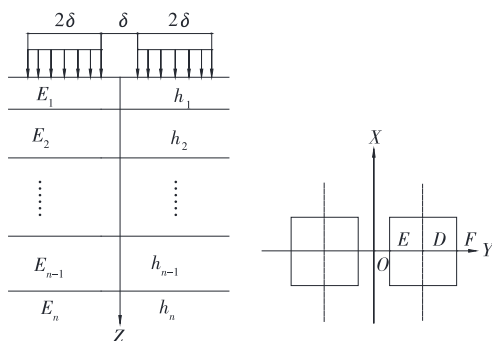


图2 荷载作用图示

拟定4种轴载进行计算,轴载参数见表1。

表1 轴载计算参数

轴载/kN	接地压强/MPa	接地面积/cm ²	当量圆半径/cm
100	0.71	352	10.59
140	0.81	432	11.73
180	0.88	512	12.77
300	1.00	752	15.50

2.3 计算参数

路面结构计算参数见表2。

表2 路面结构计算参数

结构层类型	模量/MPa	泊松比
细粒式沥青砼	1 500	0.30
中粒式沥青砼	1 200	0.30
粗粒式沥青砼	1 000	0.30
沥青稳定碎石	800	0.30
5%水稳碎石	1 500	0.25
4%水稳碎石	1 300	0.25
级配碎石	300	0.30
土基	35	0.35

3 力学性能对比分析

运用 ABAQUS 有限元软件建立4种沥青路面结构计算模型,模拟荷载布置为双轮矩形均布竖向荷载,计算点选取车轮荷载正下方中心,对不同轴载作

用下各沥青路面结构的力学响应展开对比分析。

3.1 路表弯沉

不同轴载作用下4种沥青路面结构的路表弯沉见图3。

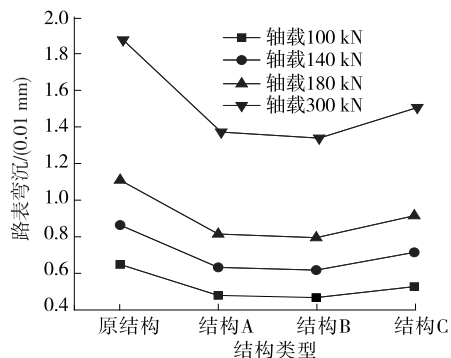


图3 不同轴载作用下各路面结构的路表弯沉

由图3可知:随着轴载的增加,各路面结构的路表弯沉均增大;标准轴载作用下原路面结构和结构A、B、C的最大弯沉分别为0.661、0.492、0.48、0.54 mm,超载300%情况下各路面结构的最大弯沉分别为1.881、1.377、1.345、1.512 mm,结构A、B、C的弯沉增幅均小于原路面结构,超载对原结构路面弯沉的影响较明显;相同轴载作用下,4种沥青路面结构的路表弯沉大小为原结构>结构C>结构A>结构B,原因是原结构底基层采用模量较小的级配碎石,而结构A、B、C底基层均采用模量较大的水稳碎石,故原结构整体承载能力最差。

3.2 沥青层最大拉应力

不同轴载作用下4种路面结构的沥青层底最大拉应力见图4。

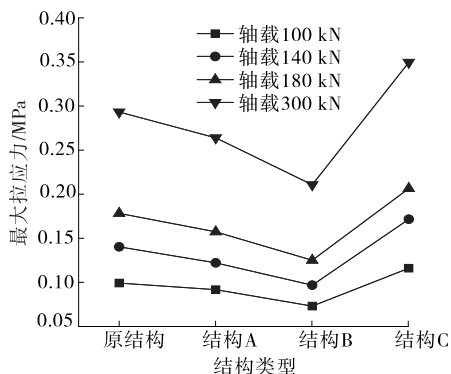


图4 不同轴载作用下各路面结构的沥青层最大拉应力

由图4可知:随着轴载的增加,4种沥青路面结构的沥青层最大拉应力均呈增大趋势;标准轴载作用下原结构和结构A、B、C的最大拉应力分别为0.11、0.102、0.082、0.128 MPa,超载300%情况下各

路面结构的最大拉应力分别为 0.318、0.287、0.230、0.378 MPa,结构 C 的最大拉应力增幅比其他路面结构大,超载情况下结构 C 路面容易产生开裂损坏;相同轴载作用下,4 种沥青路面结构的最大拉应力大小为结构 C>原结构>结构 A>结构 B,结构 B 的抗开裂性能较好。

3.3 沥青层最大拉应变

不同轴载作用下 4 种路面结构的沥青层底最大拉应变见图 5。

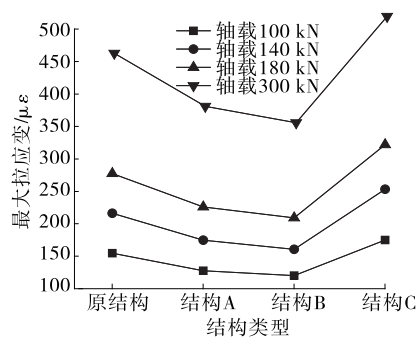


图 5 不同轴载作用下各路面结构的沥青层最大拉应变

由图 5 可知:随着轴载的增加,4 种路面结构的沥青层最大拉应变均呈增大趋势;标准轴载作用下原路面结构和结构 A、B、C 的最大拉应变分别为 159.6、133.6、126.3、179.2 $\mu\epsilon$,超载 300% 情况下各路面结构的最大拉应变分别为 456.9、378.1、353.6、511.8 $\mu\epsilon$,结构 A、B 和原结构的沥青层最大拉应变增幅均小于路面结构 C,超载对结构 C 沥青层最大拉应变的影响明显,其路面抗疲劳损伤性能较差;相同轴载作用下,4 种沥青路面结构的沥青层最大拉应变大小为结构 C>原结构>结构 A>结构 B,结构 B 的抗疲劳损伤性能较好。

3.4 土基顶部压应变

不同轴载作用下 4 种路面结构的土基顶部压应变见图 6。

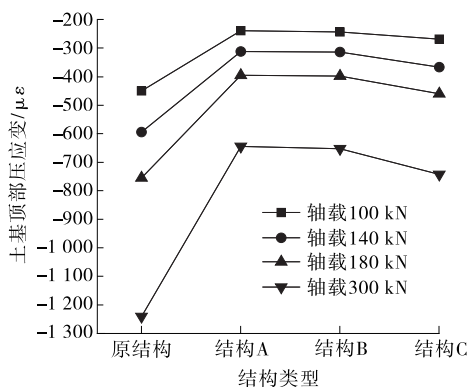


图 6 不同轴载作用下各路面结构的土基顶部压应变

由图 6 可知:随着轴载的增加,4 种沥青路面结构的土基顶部压应变均呈增大趋势;标准轴载作用下原结构和结构 A、B、C 的土基顶部压应变分别为 433.1、222.3、226.9、251.9 $\mu\epsilon$,超载 300% 情况下各路面结构的土基顶部压应变分别为 1 222.9、627.4、635.3、725.3 $\mu\epsilon$,原结构土基顶部压应变增幅比其他路面结构大,原结构路面在超载情况下容易产生永久变形损伤,使路面产生车辙、沉降等病害;相同轴载作用下,4 种沥青路面结构的土基顶部压应变大小为原结构>结构 C>结构 B>结构 A,结构 A、B 路面土基顶部的压应变较小,其永久变形损伤程度较小,永久变形损伤寿命较长。

4 路面结构疲劳寿命对比分析

根据 JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》,弯沉与疲劳寿命的关系如下:

$$l_d = 600 N_e^{-0.2} A_c A_s A_b \tag{1}$$

式中: l_d 为弯沉值; N_e 为车道累计当量轴次; A_c 、 A_s 、 A_b 分别为路面类型系数、面层类型系数和等级系数。

依据《公路沥青路面设计规范》, A_c 、 A_s 、 A_b 的值均为 1,则式(1)转化为 $l_d = 600 N_e^{-0.2}$,即:

$$N_e = (600/l_d)^5 \tag{2}$$

按式(2)计算,4 种沥青路面结构的疲劳寿命见表 3。

表 3 各沥青路面结构的疲劳寿命	
结构类型	疲劳寿命/次
原结构	6.549 23×10 ¹⁴
结构 A	2.616 56×10 ¹⁵
结构 B	3.182 16×10 ¹⁵
结构 C	1.602 48×10 ¹⁵

由表 3 可知:4 种沥青路面结构的疲劳寿命大小为结构 B>结构 A>结构 C>原结构,结构 B 的疲劳寿命远大于其他结构,其疲劳性能较优。

5 结论

以某快速干线沥青路面改造工程为研究背景,借助 ABAQUS 有限元软件对原路面结构和 3 种路面改造结构进行力学性能对比分析,并结合规范预估路面结构的疲劳寿命,得出以下结论:

- (1) 随着轴载的增加,沥青路面结构的路表弯
- (下转第 65 页)

重要指标。通过对车辙板试件进行渗水试验分析不同纤维掺量时温拌再生混合料的密实程度,试验结果见图 6。

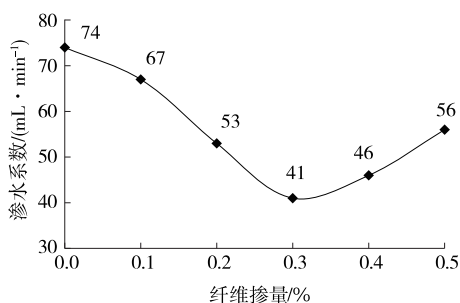


图 6 温拌再生玄武岩纤维沥青混合料渗水试验结果

由图 6 可知:随着玄武岩纤维掺量的增加,温拌再生混合料的抗渗水能力先升高后降低,掺量为 0.3% 时抗渗水能力最强。这主要是因为玄武岩纤维与矿料、沥青具有很好的相容性,能均匀分散到混合料内部填补其中的空隙,增大其密实度,改善温拌再生混合料的抗渗水能力。

3 结论

(1) 随着玄武岩纤维掺量的增大,温拌再生混合料的动稳定度先升高后降低,掺量为 0.4% 时动稳定度改善效果最优,但掺量从 0.3% 增大到 0.4% 时动稳定度增幅不明显。综合考虑,玄武岩纤维最佳掺量为 0.3%。

(2) 随着玄武岩纤维掺量的增大,温拌再生混合料的最大弯拉应变和弯曲劲度模量均先升高后降

低,纤维掺量为 0.4% 时混合料低温抗开裂能力改善效果最优。

(3) 随着玄武岩纤维掺量的增加,温拌再生混合料的浸水马歇尔残留稳定度、冻融劈裂残留强度比均先升高后降低,掺量为 0.3% 时混合料抗水毁能力改善效果最优。

(4) 随着玄武岩纤维掺量的增加,温拌再生混合料的抗渗水能力先升高后降低,掺量为 0.3% 时混合料抗渗水能力改善效果最优。

参考文献:

- [1] 李振.温拌再生沥青混合料性能评价研究[D].北京:北京建筑工程学院,2011.
- [2] 李新阳,黄刚,王俐栋.温拌沥青混合料技术综述[J].石油沥青,2013,27(1).
- [3] 朱月风,张洪亮,宋彬.再生沥青混合料的黏弹性动态响应及疲劳性能[J].北京工业大学学报,2017,43(1).
- [4] 何兆益,陈龙,陈先勇,等.厂拌热再生沥青混合料力学性能及应用研究[J].建筑材料学报,2016,19(5).
- [5] 韩永强,程培峰.RAP 掺量对温拌再生沥青混合料性能的影响[J].公路交通科技,2015,32(12).
- [6] 郭乃胜,谭忆秋,赵颖华.温拌再生沥青混合料路用性能关键因素影响分析[J].公路交通科技,2015,32(2).
- [7] 徐刚,赵丽华,赵晶.玄武岩矿物纤维改善沥青混合料性能研究[J].公路,2011(6).
- [8] 仰建岗,刘燕,林天发.玄武岩纤维沥青混凝土路用性能研究[J].筑路机械与施工机械化,2015,32(1).

收稿日期:2019-05-22

(上接第 61 页)

沉、沥青层最大拉应力、沥青层最大拉应力及土基顶部压应变均呈增大趋势。

(2) 水稳碎石底基层沥青路面结构的承载能力相较于级配碎石底基层更优。

(3) 4 种沥青路面结构中,结构 B(沥青稳定碎石上基层+水稳碎石下基层和底基层)的承载能力、抗开裂能力、抗变形能力及抗疲劳能力均较优,沥青路面结构改造方案建议选用结构 B。

参考文献:

- [1] 陈洪飞,孙娇娜,李西勇.城市道路沥青路面改造结构组合设计实例[J].公路交通科技:应用技术版,2014(4).
- [2] 刘浩.基于全寿命性能的城市道路沥青路面设计与施

工控制技术研究[D].郑州:郑州大学,2018.

- [3] 沈斌斌.厦蓉高速公路改扩建工程(漳州段)沥青路面再生技术方案比选[J].福建交通科技,2017(2).
- [4] 王强,刘运丹,李志勇.移动荷载作用下结构参数对沥青路面的动力响应分析[J].湖南交通科技,2018,44(1).
- [5] 叶成银,陈钟,王增逸,等.非洲典型柔性基层沥青路面结构动力响应研究[J].公路,2019(3).
- [6] 彭宏图.混合式基层沥青路面的疲劳特性分析研究[J].公路工程,2013,38(4).
- [7] 何创,曾静,李建阁,等.重载交通半刚性基层条件下沥青面层的力学响应研究[J].路基工程,2017(3).
- [8] 王海燕,曹海利,王延海.重载条件下沥青路面结构力学响应分析[J].公路工程,2015,40(6).

收稿日期:2019-06-17