

基于新版沥青路面设计规范的路面结构设计分析

余四新¹, 徐飞萍², 刘甲荣², 郭建民², 韦金城¹

(1.高速公路养护技术交通行业重点实验室, 山东 济南 250031; 2.山东高速股份有限公司)

摘要: 在2017版沥青路面设计规范颁布后,为了分析路面结构原设计方案的可行性,根据新规范的规定,对道路轴载谱进行了实测并对路面材料参数进行了室内试验,对路面结构进行了重新设计,并对沥青面层厚度、路床顶面回弹模量等参数对基层疲劳寿命的影响进行了分析。结果表明:根据实测轴载谱,原设计方案半刚性基层疲劳寿命不满足要求,通过增大路床处理深度提高路床顶面回弹模量可显著提高半刚性基层疲劳寿命。轴载谱实测及路面结构分析结果可为半刚性基层沥青路面结构性损坏原因调查提供依据。

关键词: 道路工程; 沥青路面设计规范; 路面结构; 轴载谱; 疲劳寿命

2017版沥青路面设计规范采用力学一经验法,根据弹性层状体系理论解分析力学响应,采用多个单项设计指标分别控制相应的路面损坏。路面结构损坏由单一指标控制向多指标控制转变。增加了沥青混合料层永久变形量、路基顶面压应变和路面低温开裂指数设计指标,沥青混合料层设计指标由层底拉应力改变为拉应变,保留无机结合料稳定层层底拉应力设计指标。路表弯沉由设计指标改为检验指标。该版沥青路面设计规范还规定了交通荷载轴载谱检测分析方法,反映了实际交通荷载,路面结构设计更精确。为了对按照2006版沥青路面设计规范设计的山东省省道S222路面结构方案的适应性进行分析,并对原路面结

构设计方案提出优化建议,依据新版沥青路面设计规范的要求对轴载谱进行实测,对路面结构进行设计分析,并对路床顶面回弹模量、沥青层厚度等因素对路面结构性能的影响进行分析研究,提出针对原路面结构方案的指标要求,为新版沥青路面设计规范的使用提供参考。

1 项目概况

省道S222(潍坊北—岚山线)是位于山东省胶东半岛中西部的一条省级干线公路,是连接潍坊、日照两市的重要通道。该项目位于山东省日照市岚山区,属

式,并严控切割界面黏结缝的施工质量。

参考文献:

- [1] 程惠蕾. 沥青路面坑槽的修补工艺[J]. 中国新技术新产品, 2016(19).
- [2] Roman Gnatenko, Kateryna Tsykunova, Valeriy Zh-danyuk. Technological Sides of Crack Sealing in Asphalt Pavements[J]. Transportation Research Procedia, 2016, 14:804-810.
- [3] 黄允江, 吴少鹏, 刘杰胜, 等. 沥青路面裂缝成因及修补技术研究[J]. 建材世界, 2009(6).
- [4] 吴宁, 张璠. 沥青路面裂缝修补材料的技术性能及控制指标试验研究[J]. 中外公路, 2011(1).
- [5] 唐鹰飞, 顾兴宇, 王文达. 灌缝材料在沥青路面修补中的应用[J]. 现代交通技术, 2010(4).
- [6] 李强, 倪富健, 王文达, 等. 沥青路面裂缝修补材料技术性能对比研究[J]. 公路工程, 2013(6).
- [7] 李峰, 石小培, 徐剑. 沥青路面裂缝贴缝带的性能评价及技术要求[J]. 北京工业大学学报, 2013(12).
- [8] 童立. 沥青路面坑槽快速修补材料研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2014.
- [9] 何波. 沥青路面裂缝和坑槽破损机理与修补技术研究[D]. 长安大学硕士学位论文, 2006.
- [10] 王旭东, 沙爱民, 许志鸿. 沥青路面材料动力特性和动态参数[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [11] 李本亮, 黄卫东, 孟会林, 等. 沥青混合料二点梯形梁与四点小梁疲劳试验方法对比[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2017(1).

收稿日期: 2018-07-29

作者简介: 余四新, 男, 硕士, 高级工程师. E-mail: chd008@126.com

于一级公路,设计速度 80 km/h,双向四车道,路基宽 24.5 m,设计使用年限为 15 年。原路面结构为 4 cm SMA-13+6 cm 中粒式沥青混凝土 AC-20C(70-A 道路石油沥青)+下封层+透层+2×18 cm 二灰稳定碎石基层+18 cm 水泥稳定碎石底基层。

2 轴载谱检测

轴载是车辆荷载对路面造成损坏的关键因素,新版沥青路面设计规范还规定了交通荷载轴载谱检测分析方法,该方法用实际轴载进行分析。在此类荷载表示方法中,不用进行标准轴载换算,每一个实际的轴载水平都参与力学响应计算,可以有效避免当量轴载换算带来的误差。用轴载谱的方法描述交通荷载比以往采用交通量数据和代表车型额定轴载更全面、精确。主线行车道动态称重系统(Weight-In-Motion, WIM)不对车辆通行产生任何影响。

2.1 一般交通参数

根据 2017 版沥青路面设计规范对道路通行车辆进行分类。根据交通量 OD 调查分析,断面大型客车和货车交通量为 6 364 pcu/d,交通量年增长率取 5.0%,方向系数取 50.0%,车道系数取 65.0%。根据交通观测资料分析 2~11 类车型所占的百分比,得到

车辆类型分布系数如图 1 所示。其中,车型 2 包括 12 型和 15 型客车;车型 3 为 12 型货车;车型 4 为 15 型货车;车型 5 为 17 型货车;车型 6 包括 112 型、115 型及 117 型货车;车型 7 包括 125 型和 122 型货车;车型 8 包括 127 型和 155 型货车;车型 9 为 157 型货车;车型 10 包括 1127 型、1122 型、1125 型、1155 型,和 1157 型货车;车型 11 包括 1522 型和 1222 型货车。

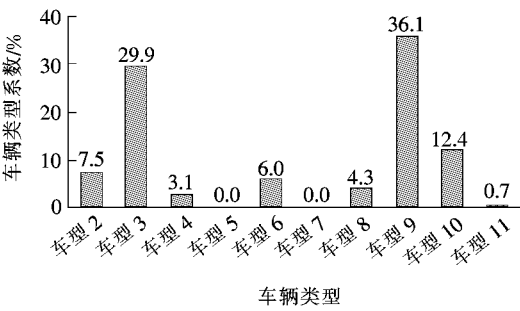


图 1 车辆类型分布系数

由图 1 可知:该道路通行车辆数量中车型 3 和车型 9 即该道路两轴六轮整体式货车和六轴半挂车分布系数分别达到 29.9%和 36.1%。

车辆总重统计结果如表 1 所示,由表 1 可知:所有车型均存在超载现象,其中六轴车超限比例高达 43.72%,四轴车超限比例高达 38.17%。

表 1 车辆总重统计表

车辆类型	最大荷载/kN	平均荷载/kN	限载标准/kN	实测车辆数/辆	超限车辆数/辆	超限比例/%
两轴车(客、货车)	227.34	98.751 72	180	1 188	104	8.75
三轴车	357.25	179.959 2	270	161	37	22.98
四轴车	800.37	354.175 9	360	131	50	38.17
五轴车	618.65	331.000 7	430	158	16	10.13
六轴车	829.17	476.255 9	490	1 544	675	43.72

2.2 轴载谱检测结果

单轴双轮组、双轴双轮组、三轴双轮组轴载谱调查结果如图 2~10 所示。

由图 2 可知:单轴双轮组中轴重为 90~94.5 kN 所占比例约为 13%,约 1.4%的轴重达到 126~130.5 kN。由图 3~7 可知:车型 4 中,双联轴双轮组轴组总重≥180 kN 的比例达到 27.6%;车型 6 中,双联轴双轮组轴组总重 198~207 kN 的比例达到 13%,双联轴双轮组轴组总重≥180 kN 的比例达到 53.4%;车型 8 中,双联轴双轮组轴组总重≥180 kN 的比例达到

33.3%;车型 9 中,双联轴双轮组轴组总重≥180 kN 的比例达到 39.9%;车型 10 中,双联轴双轮组轴组总重≥180 kN 的比例达到 31.8%。由图 8~10 可知:车型 8 中,三联轴双轮组轴组总重≥270 kN 的比例达到 19.4%;车型 9 中,三联轴双轮组轴组总重≥270 kN 的比例达到 33.7%;车型 10 中,三联轴双轮组轴组总重≥270 kN 的比例达到 45.8%。由以上结果可知:该道路通行车辆中超载比例较高。

该设计路面对应的设计指标为沥青混合料层永久变形与无机结合料层疲劳开裂。按 2017 版沥青路面

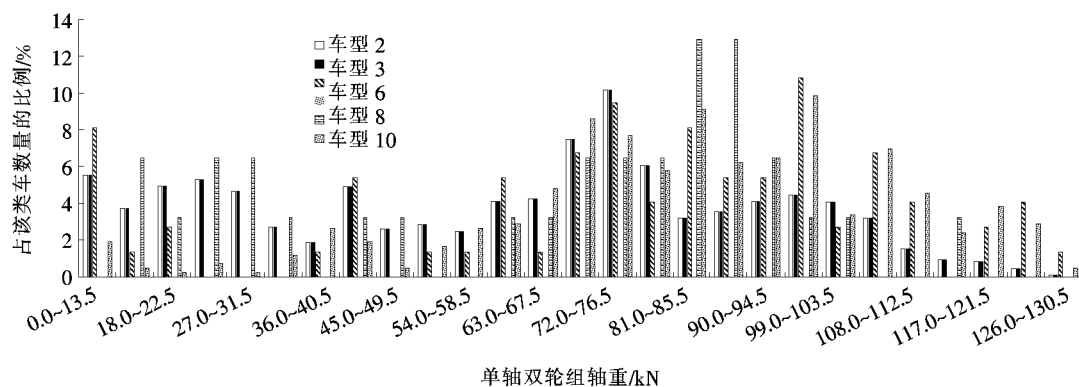


图2 单轴双轮组轴载谱

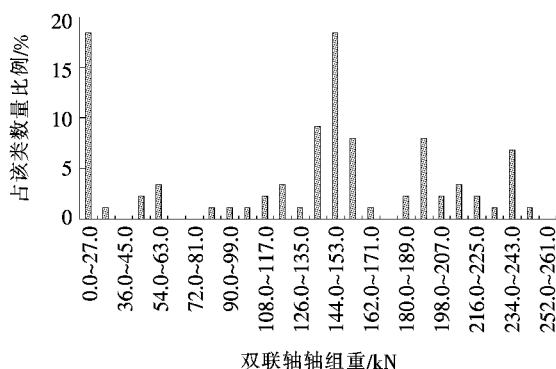


图3 双轴双轮组轴载谱(车型4)

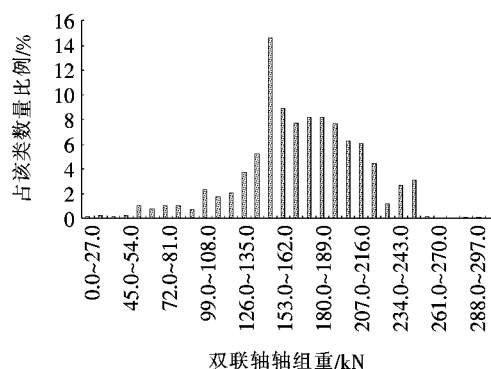


图6 双轴双轮组轴载谱(车型9)

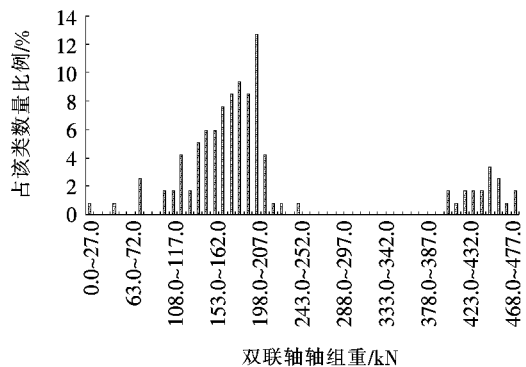


图4 双轴双轮组轴载谱(车型6)

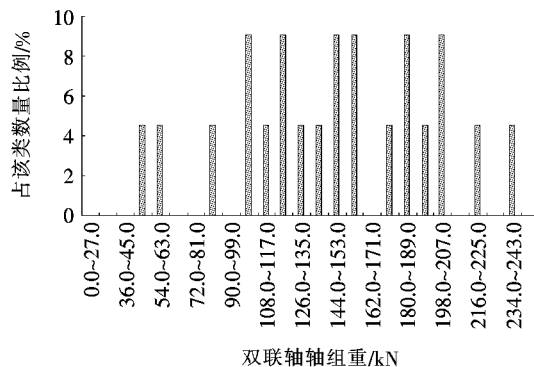


图7 双轴双轮组轴载谱(车型10)

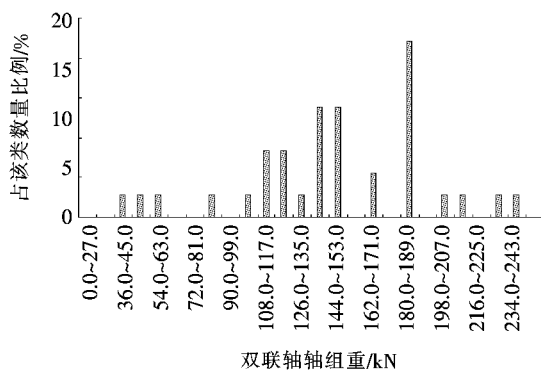


图5 双轴双轮组轴载谱(车型8)

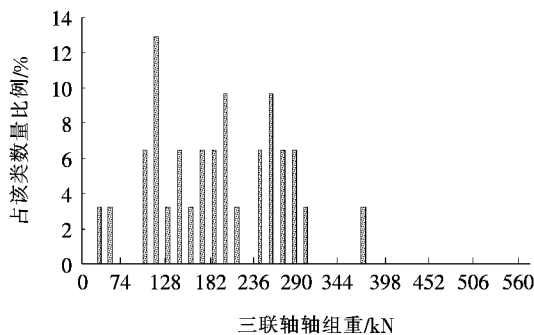


图8 三轴双轮组轴载谱(车型8)

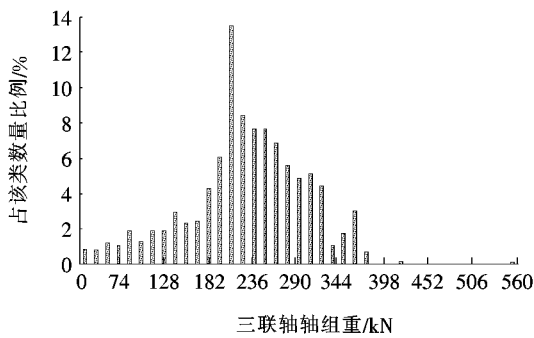


图 9 三轴双轮组轴载谱(车型 9)

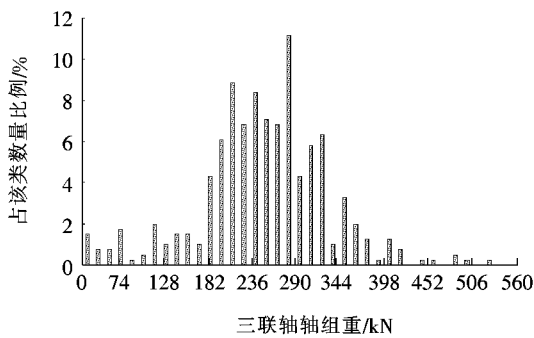


图 10 三轴双轮组轴载谱(车型 10)

设计规范中公式 A.3.1—4 计算得到各类车辆在不同设计指标下的当量轴载换算系数如表 2 所示。

由表 2 可知:6 类车沥青混合料层永久变形及无机结合料层疲劳开裂当量轴载换算系数最高,分别为 14.9 和 13 319.4,6 类车(双前轴整体式货车,主要为料车和渣土车)的重载对沥青层的永久变形和无机结合料稳定类材料的疲劳损伤作用最大。

表 2 各类车辆当量轴载换算系数

车辆类型	沥青混合料层永久变形	无机结合料层疲劳开裂
2 类	0.7	0.6
3 类	0.7	0.6
4 类	2.1	3.9
5 类	0.0	0.0
6 类	14.9	13 319.4
7 类	0.0	0.0
8 类	2.8	5.0
9 类	5.1	22.1
10 类	5.7	54.9
11 类	0.0	0.0

根据 2017 版沥青路面设计规范中公式 A.4.2 计算得到对应于沥青混合料层永久变形的当量设计轴载累计作用次数为 64 386 185 次,对应于无机结合料层疲劳开裂的当量设计轴载累计作用次数为 13 348 794 679 次。该公路设计使用年限内设计车道累计大型客车和货车交通量为 16 290 294 次,交通等级属于重交通。

3 路面结构设计分析

3.1 初拟路面结构方案

根据省道 S222 路面结构原设计方案,进行路面结构分析时,初拟路面结构及材料参数试验结果如表 3 所示。

表 3 初拟路面结构

结构层编号	层位	材料类型	厚度/mm	模量/MPa	泊松比
1	上面层	沥青混合料	40.0	12 000	0.25
2	下面层	沥青混合料	60.0	11 000	0.25
3	上基层	二灰碎石	180.0	8 000	0.25
4	下基层	二灰碎石	180.0	8 000	0.25
5	底基层	水泥稳定碎石	180.0	11 000	0.25
6		土基		57	0.40

3.2 路面结构验算

根据 2017 版沥青路面设计规范的要求,基于弹性层状体系理论对路面结构分别进行了沥青混合料层永久变形验算、无机结合料层疲劳开裂验算、路基顶面和路表验收弯沉值计算,结果汇总于表 4。其中,路基顶面和路表验收弯沉分别为 327.6(0.01 mm)和 24.6(0.01 mm)。由表 4 可知:所选路面结构和材料不满

表 4 分析结果汇总

项目	沥青层车辙/mm	水泥稳定碎石层疲劳开裂对应的累积当量轴次/次
计算值	14.3	9 266 345 196
对比值	15.0	13 348 794 679
是否满足	是	否

足水泥稳定碎石底基层的疲劳验算要求,需进行调整。

3.3 路面结构设计影响因素分析

根据前文分析结果可知:水泥稳定碎石底基层疲劳开裂验算不满足设计要求,该节将对沥青层厚度和路床顶面回弹模量两个因素对路面结构设计的影响进行分析,以期满足2017版沥青路面设计规范的要求。

3.3.1 路床顶面回弹模量

与原设计方案相比,改变路床顶面回弹模量,其他参数保持不变,分析其对水稳碎石底基层疲劳开裂的影响,分析结果如图11所示。

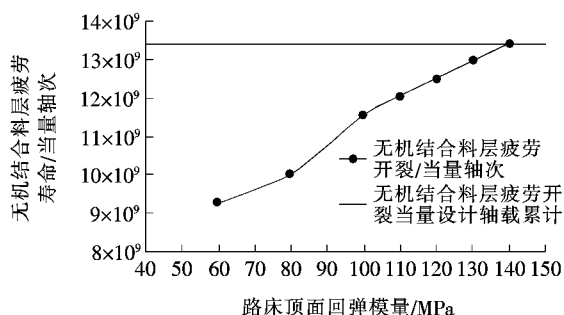


图11 路床顶面回弹模量对无机结合料层疲劳寿命的影响

由图11可知:路床顶面回弹模量对无机结合料层疲劳开裂当量轴次的影响较大,路床顶面回弹模量每增大10 MPa,无机结合料层疲劳开裂当量轴次增大约4.5亿次。因此,通过提高路床顶面当量回弹模量对于提高无机结合料层疲劳寿命效果明显并且较为经济。

3.3.2 沥青层厚度

与原设计方案相比,改变沥青面层厚度,其他参数保持不变,分析其对水稳碎石底基层疲劳开裂的影响,分析结果如图12所示。

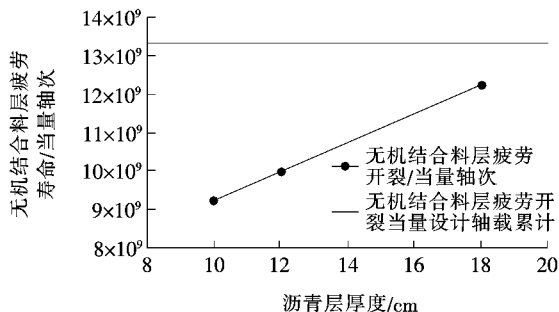


图12 沥青层厚度对无机结合料层疲劳寿命的影响

由图12可知:沥青层厚度每增大2 cm,无机结合料层疲劳开裂当量轴次增大约0.74亿次。当沥青层厚度达到18 cm(4 cm + 6 cm + 8 cm)时,无机结合料层疲劳开裂当量轴次仍然不满足要求,预计沥青层厚度达到21 cm时,无机结合料层疲劳开裂当量轴次方可满足要求。显然,通过增加沥青层厚度来提高无机结合料层疲劳寿命效果不明显且不经济。

4 结语

通过采用JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》的设计要求对省道S222轴载谱进行了实测并对路面材料参数进行了室内试验,对路面结构进行了重新设计,并对沥青面层厚度、路床顶面回弹模量等参数对基层疲劳寿命的影响进行了分析,得出以下结论:

(1) 该道路交通等级属于重交通,并且各种轴型均存在超载现象,四轴车和六轴车超限比例分别达到38.17%和43.72%。

(2) 沥青路面设计新规范对无机结合料层的疲劳寿命进行了更准确的分析,在该道路的实际交通荷载作用下,路面结构原设计方案不满足无机结合料层的疲劳寿命的验算要求。

(3) 为了满足沥青路面设计新规范的要求,在原设计方案的基础上提高路基改善层厚度较为经济合理,建议路床顶面回弹模量不低于140 MPa。

参考文献:

- [1] JTG D50—2017 公路沥青路面设计规范[S].
- [2] JTG D50—2006 公路沥青路面设计规范[S].
- [3] 杨永顺,等.高等级公路典型路面结构路用性能和寿命周期费用研究[R],2015.
- [4] 韦金城,辛星.基于动态称重系统的轴载谱数据采集及处理[J].交通标准化,2009(5).
- [5] ASTM Designation: E1318—02 Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods[S].
- [6] 赵鸿铎.轴载测定与轴载谱分析[J].公路,2002(12).
- [7] American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures[S].