

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2020.11.045

甘肃国际陆港中心区道路路面结构优化设计研究

张利德

(甘肃(武威)国际陆港, 甘肃 武威 733000)

摘要: 为了确定适用于甘肃国际陆港中心区道路的路面结构,根据当地气候环境、路面类型确定了五种典型路面结构组合。采用路表弯沉、半刚性底基层层底拉应力、沥青层永久变形、低温开裂指数、半刚性基层疲劳寿命、路面造价等参数表征路面性能,通过模糊数学对五种典型路面结构进行综合评价。结果表明:结构三的弯沉值最小,路面整体强度较好;结构一底基层层底拉应力最小,基层抗开裂性能最好;结构一的底基层疲劳寿命最大,具有较高的抗疲劳性能;结构四造价最低,具有较好的经济性。综合评价表明结构五的综合性能最优,综合评价结果为0.95,针对甘肃国际陆港中心区道路所处的气候环境及交通特点,最适用于该区域的路面结构为结构五。

关键词: 沥青路面;路面结构;使用性能;模糊数学

中图分类号: U416.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)11-0164-04

0 引言

甘肃(武威)国际陆港中心区是“丝绸之路经济带”的黄金节点和向西开放的重要交通枢纽,建设陆港中心区道路对于提升区域运输条件、缓解交通压力、完善区域路网、促进区域经济发展具有非常重要的作用。甘肃国际陆港中心区位于武威,该地区属于干旱半干旱区道路气候环境,夏天温度较高,冬天温度较低,紫外线强烈^[1]。在交通荷载及气候环境作用下,该地区道路路面普遍产生车辙、裂缝、坑槽等病害,严重影响道路的行车安全性、舒适性^[2-3]。陆港中心区主要服务区域内物流运输车辆,重载车辆较多,采用当地通常的路面结构容易导致道路承载力不足而被破坏,影响区域内交通运输。针对陆港中心区道路交通特征、气候环境,设计出能够适应区域交通特征及气候环境、耐久性高、投资低的路面结构,对于陆港中心区的道路建设至关重要。本文将通过对陆港中心区交通状况及当地典型路面结构进行调查,对不同路面结构使用性能进行研究,通过对不同路面结构的综合评价推荐适用于陆港中心区道路的最优路面结构。

1 交通状况及典型路面结构调查

1.1 交通状况调查

对甘肃(武威)国际陆港中心区道路及周边道路的交通量进行调查,得到区域内以物流运输为主,

货运车辆占比高达68%。客车以小客车为主,大型车混入率为44%;货车以中型货车、大货车为主,拖挂车混入率为12%。具体交通分布情况见表1。

表1 交通组成调查

车辆类型		所占比例 /%
客车	小客车	17.92
	大客车	14.08
货车	中型货车	33.32
	大型货车	26.52
	拖挂车	8.16

1.2 典型路面结构调查及确定

对当地6条城市主干路及区域周边8条公路路面结构进行调查,结合当地气候条件、交通特点、自然环境、材料供应等因素^[4-5],确定了五种典型路面结构组合,具体结构见表2。

表2 典型路面结构组合

结构	面层	基层	垫层
结构一	4 cm AC-16	15 cm 水稳砂砾	20 cm
	5 cm AC-20	15 cm 水稳砂砾	二灰砂砾
	6 cm AC-25		
结构二	5 cm sup-16	20 cm 水稳砂砾	20 cm
	7 cm sup-25	20 cm 水稳砂砾	二灰砂砾
结构三	5 cm AC-16	20 cm 水稳砂砾	20 cm
	7 cm ATB-25	20 cm 水稳砂砾	二灰砂砾
结构四	4 cm AC-13	20 cm 水稳碎石	20 cm
	6 cm AC-20	20 cm 水稳砂砾	水泥石灰砂砾
结构五	4 cm AC-13	20 cm 水稳碎石	20 cm
	8 cm AC-25	15 cm 水稳砂砾	水泥石灰砂砾

收稿日期: 2020-04-21

作者简介: 张利德(1986—),男,本科,工程师,从事道路交通工程专业工作。

为了对比研究不同路面结构组合的优缺点,需要对五种典型路面结构进行计算分析力学响应及路面性能。路面结构计算采用的材料模量等参数参考目前已有的西北地区路面结构计算参数研究结果^[6],并结合规范《城镇道路路面设计规范》(CJJ 169—2012)及《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)建议的取值范围确定。

2 典型路面结构性能研究

根据《城镇道路路面设计规范》(CJJ 169—2012)及《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)中的沥青路面设计指标,本文采用路表弯沉、半刚性底基层层底拉应力、沥青层永久变形、低温开裂指数、半刚性基层疲劳寿命五个参数表征路面性能。考虑到路面的经济性也是进行路面结构比选的重要因素,因此本文将造价作为路面结构经济性的表征参数。本文以陆港中心区经五路为例进行计算,根据预测初设年交通量为2 800 pcu/d,交通组成采用调查的结果。路面结构力学计算采用HPDS与Bisar软件进行计算,计算理论采用弹性层状连续体系理论,计算轴载按照规范采用BZZ-100标准轴载。

2.1 路表弯沉

图1为不同典型路面结构组合下的路面弯沉值。图1中弯沉大小顺序为结构三<结构二<结构一<结构五<结构四;结构三的弯沉值最小为22.8,结构四的弯沉值最大为23.7,意味着采用结构三组合路面整体强度较好,采用结构四组合路面整体强度较差。与结构三、结构二相比,结构四的路表弯沉分别增大3.1%、2.6%,由此可见当基层相同时,路面层采用粒径较大的混合料对应的弯沉较小。

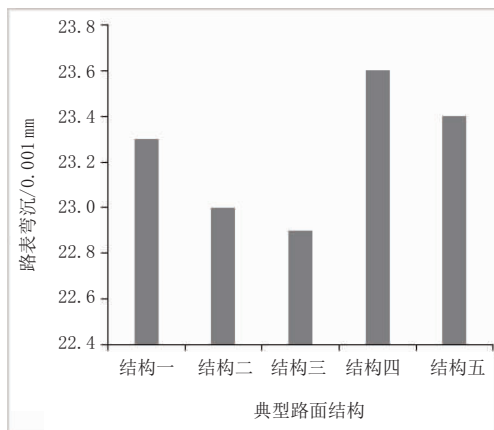


图1 路表弯沉计算结果

2.2 半刚性底基层层底拉应力

图2为不同典型路面结构组合下的底基层

层底拉应力结果,半刚性基层、底基层层底拉应力是控制半刚性基层疲劳开裂的重要参数。从图2中可以看出,底基层层底拉应力大小顺序为结构一<结构五<结构二<结构三<结构四,即薄沥青面层的路面结构层底拉应力较大。五种结构组合中结构一的底基层层底拉应力最小,为0.177 MPa;结构四的层底拉应力最大,为0.197 MPa。与结构一相比,结构五、结构二、结构三的层底拉应力分别高6.2%、6.8%、7.9%;与结构四相比,结构五、结构二、结构三的层底拉应力分别低4.6%、4.1%、3.0%。由此可知,随着面层结构厚度增加,层底拉应力不断减小,半刚性基层抗疲劳开裂性能的改善可以通过增加沥青面层厚度实现。

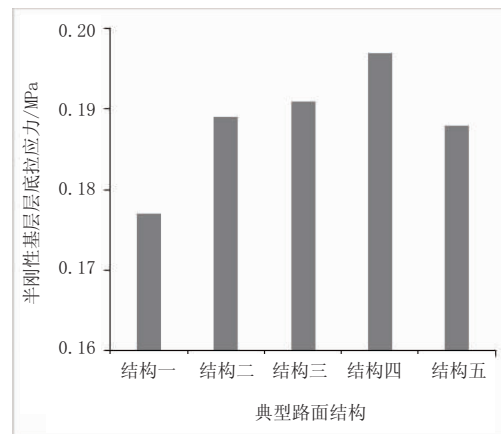


图2 半刚性基层层底拉应力计算结果

2.3 沥青层永久变形

沥青层永久变形可以反映路面车辙深度,本文沥青层永久变形采用《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)中的模型进行计算。参考项目所在地的气候状况结合规范,该地区等效温度采用17℃,沥青混合料永久变形量需通过车辙试验确定,此次设计采用已有的相关研究成果^[7]。图3为不同典型路面结构组合下沥青混合料永久变形计算结果,从中可以得到永久变形大小顺序为结构一>结构四>结构二>结构五>结构三,表明结构三的抗车辙性能最优,结构五、结构四次之,结构一抗车辙性能最差。结构四沥青混合料永久变形为5.46 mm,结构一、结构四永久变形与结构三相比分别大32.8%、10.5%,意味着采用较粗粒径的混合料有利于提高路面抗车辙性能,而沥青面层越厚,集料越细,抗车辙性能越差。

2.4 低温开裂指数

寒冷地区沥青路面容易产生低温开裂,严重影响路面的行车质量及使用寿命。低温开裂指数表征路面结构低温开裂,本文低温开裂指数计算采用《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2017)

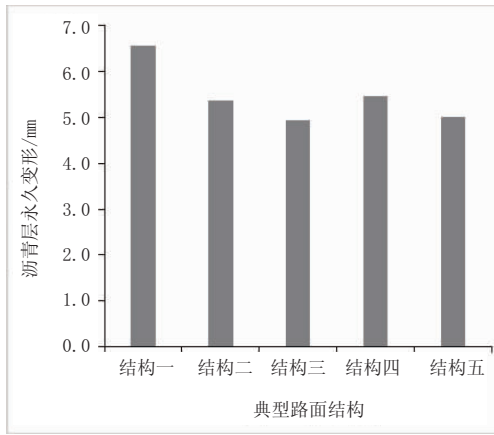


图3 沥青层永久变形计算结果

中的模型进行计算,低温开裂设计温度采用 -30°C ,基层类型系数选用3,表面层沥青蠕变劲度结构二采用85 MPa,其余结构采用50 MPa^[8]。图4为不同典型路面结构组合下低温开裂指数的计算结果,从图4中可以看出,低温开裂指数大小顺序为结构二>结构四>结构三>结构五>结构一。结构一的低温开裂指数最小,抗开裂指数 I 为2.5,说明路面结构抗开裂性能最好;结构二低温开裂指数最大,低温开裂指数 I 为3.2,说明路面结构抗开裂性能最差。与结构一相比,结构二的抗开裂系数大28%,可见增加路面结构厚度有利于提高路面低温抗开裂性能。

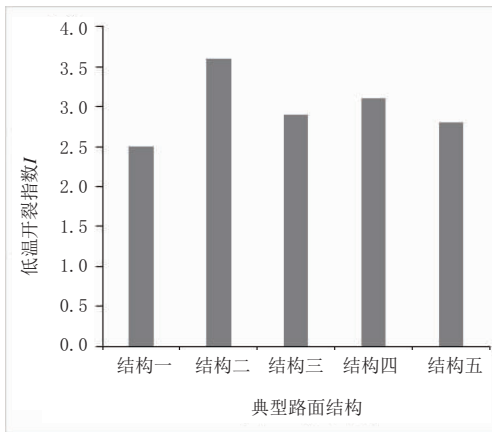


图4 低温开裂指数计算结果

2.5 半刚性基层疲劳寿命

疲劳寿命作为表征路面耐久性的重要指标,已有研究表明沥青路面底基层的疲劳寿命远小于面层和基层,因此本文采用底基层疲劳寿命作为表征路面结构耐久性的参数。疲劳寿命计算采用规范中的计算模型,材料动态模量按照规范选取,沥青混合料沥青饱和度采用70%。图5为不同路面结构组合下底基层疲劳寿命的计算结果,由图5可知,疲劳寿命大小顺序为结构一>结构五>结构二>结构三>结构四。结构一的底基层

疲劳寿命为 2.12×10^9 ,具有较高的抗疲劳性能;结构四的底基层疲劳寿命为 1.79×10^9 ,其抗疲劳性能较差。结构一与结构四的疲劳寿命相差15%,可见路面结构越厚,结构疲劳寿命越高。

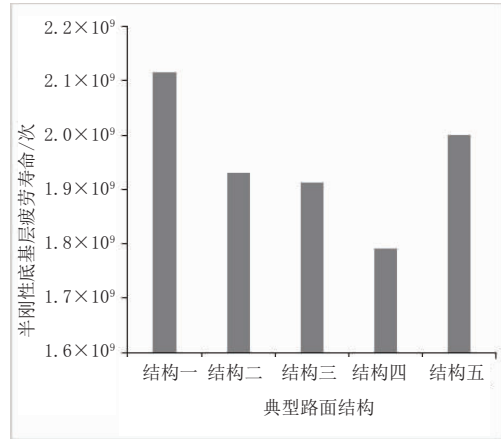


图5 半刚性底基层疲劳寿命计算结果

2.6 经济性分析

根据常用路面结构材料的造价,得到不同典型路面结构组合下路面每平方米的造价,如图6所示。从中可以看到,造价高低依次为结构一>结构五>结构二>结构三>结构四,其中结构二与结构五造价相差不大。结构一每平方米造价为285元,其他结构与结构一相比造价分别降低14.2%(结构二)、19.7%(结构三)、24.8%(结构四)、14.1%(结构五)。

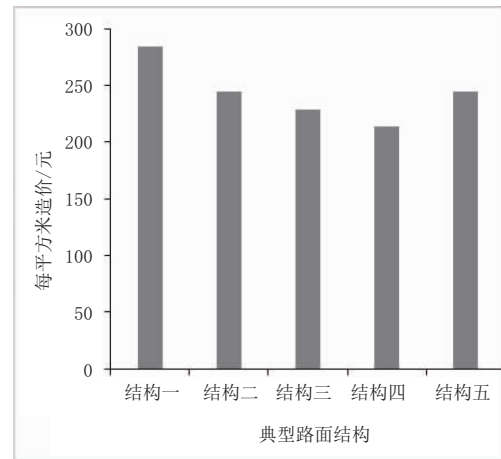


图6 每平方米路面造价

3 基于模糊理论的路面结构综合评价

模糊数学作为一种模糊信息处理和加工的数学方法,是综合全面评判多因素不确定性方案的有效方法,目前模糊数学在路面养护、工程质量控制等方面进行了大量应用^[9]。本文涉及五种路面结构的评价,评价因素主要有路面的高温性能、低温性能、抗疲劳性能、耐久性能、整体强度等,为了综

合全面评价五种路面结构的性能, 本文采用模糊数学法进行路面结构评价。

本文进行模糊分析的对象为路面结构方案优选, 样本为五种典型路面结构, 分别为结构一 v_1 、结构二 v_2 、结构三 v_3 、结构四 v_4 、结构五 v_5 。方案选择中考虑对路面性能有重要影响且具有代表性的指标, 分别为路表弯沉 a_1 、半刚性底基层层底拉应力 a_2 、沥青层永久变形 a_3 、低温开裂指数 a_4 、半刚性基层疲劳寿命 a_5 、路面结构造价 a_6 。对于不同的路面结构对应的各项指标的模糊矩阵见式(1):

$$R = \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \\ R_5 \\ R_6 \end{matrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & r_{45} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & r_{55} \\ r_{61} & r_{62} & r_{63} & r_{64} & r_{65} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: r_{ij} 代表第 i 个指标 a_i 对 j 路面结构 v_j 的隶属度。

各个指标的隶属度对于凭借结果有重要影响, 合理确定不同指标的隶属度是综合评价的关键。参考已有研究成果^[8], 本文采用定量方法确定隶属度, 越大越优指标和越小越优指标的隶属度计算见式(2)、式(3):

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\max [X_{ij}]} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{X_{ij} - \min [X_{ij}]}{\max [X_{ij}]} \quad (3)$$

式中: X_{ij} 为第 j 个路面结构第 i 个指标的值; $\max [X_{ij}]$ 、 $\min [X_{ij}]$ 分别代表第 i 个指标的最大值和最小值。

根据不同路面结构组合下的路面性能计算结果, 按照上述计算公式进行计算得到不同路面结构下的隶属度, 其中路表弯沉、半刚性底基层层底拉应力、沥青层永久变形、低温开裂指数、路面结构造价采用越小越优隶属度计算公式, 半刚性基层疲劳寿命采用越大越优隶属度计算公式, 隶属度计算结果见式(4):

$$R = \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \\ R_5 \\ R_6 \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0.983 & 0.995 & 1.000 & 0.970 & 0.979 \\ 1.000 & 0.939 & 0.929 & 0.898 & 0.944 \\ 0.753 & 0.936 & 1.000 & 0.921 & 0.988 \\ 1.000 & 0.781 & 0.875 & 0.813 & 0.906 \\ 1.000 & 0.992 & 0.904 & 0.847 & 0.946 \\ 0.752 & 0.894 & 0.949 & 1.000 & 0.893 \end{bmatrix} \quad (4)$$

甘肃国际陆港中心区交通主要以货车为重, 重载交通较多, 路面车辙病害严重; 该地区气候寒冷, 路面应具有较好的低温抗裂性避免裂缝病害

产生。根据道路气候环境及交通状况, 结合当地工程技术人员及专家意见, 确定了不同路面性能指标因素的评价权重, 见表3。

表3 路面性能指标的评价权重

路表弯沉	沥青层永久变形	低温开裂指数	底基层疲劳寿命	半刚性拉应力	造价
0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1

根据模糊矩阵及路面性能指标评价权重, 通过计算得到五种路面结构的模糊综合评价结果, 如图7所示。从图7中可以看出, 综合评价结果高低依次为结构五 > 结构三 > 结构一 > 结构二 > 结构四。结构五的综合性能最好, 综合评价结果为0.95; 结构四的综合性能最差, 综合评价结果为0.90。总体而言, 针对甘肃国际陆港中心区道路所处气候环境及交通特点, 最适用于该区域的路面结构为结构五, 因此最终推荐甘肃(武威)国际陆港中心道路建设采用路面结构五。

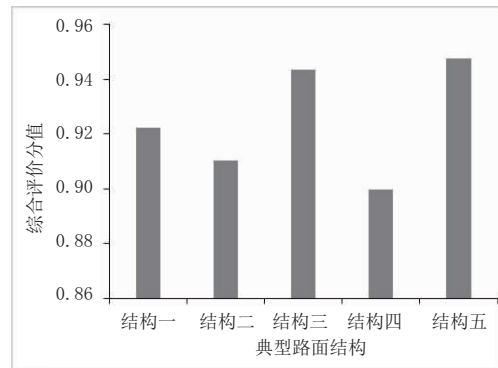


图7 不同路面结构的模糊综合评价结果

4 结 语

本文针对甘肃陆港中心区气候环境及交通状况, 对五种典型路面结构组合下的路面性能进行研究, 主要得到以下结论:

(1) 不同路面结构组合下路表弯沉大小依次为结构三 < 结构二 < 结构一 < 结构五 < 结构四, 结构三的弯沉值最小, 意味着路面整体强度较好。底基层层底拉应力大小依次为结构一 < 结构五 < 结构二 < 结构三 < 结构四, 增加沥青面层厚度可以提高半刚性基层抗疲劳开裂性能。

(2) 沥青层永久变形大小依次为结构一 > 结构四 > 结构二 > 结构五 > 结构三, 结构三的抗车辙性能最优, 结构一的抗车辙性能最差。低温开裂指数大小依次为结构二 > 结构四 > 结构三 > 结构五 > 结构一, 增加路面结构厚度有利于提高路面低温抗开裂性能。疲劳寿命大小依次为结构一 > 结构五 > 结构二 > 结构三 > 结构四, 路面结构越

(下转第200页)

