

文章编号:1674-2869(2011)06-0068-04

基于正交理论的复合式长效路面力学指标分析

孔令伟¹,李 杰^{1,2},李 静²

(1. 武汉工程大学交通研究中心,湖北 武汉 430074;
2. 华中科技大学土木工程与力学学院,湖北 武汉 430074)

摘 要:针对我国公路沥青路面早期破坏现象普遍、实际使用寿命短的问题,从优化路面结构和材料性能的角度出发,采用复合式长效路面结构.为了合理拟定复合式长效路面结构,基于正交理论分析路面结构参数变化对复合式长效路面设计指标的影响,并归纳其变化规律.

关键词:复合式长效路面;正交理论;设计指标;Bisar;力学反应量

中图分类号:U416.217 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2011.06.015

0 引 言

我国公路建设事业发展迅猛、成就巨大,然而路面早期破坏现象十分普遍,实际使用年限远低于设计寿命,严重影响了路面的使用性能,给国家造成巨大经济损失.因此,有必要寻求一种既经济又长效的路面结构.长效路面,又称长寿命路面或永久性路面,是一种在当今国际上受到高度重视的新路面设计理念,其路面结构形式有全厚式沥青路面、半刚性基层沥青路面、复合式路面等^[1].

王选仓教授、侯荣国学者提出了在水泥混凝土板上铺设优质沥青面层的复合式长效路面结构,这种路面结构刚柔并济,充分发挥了沥青路面和水泥混凝土路面的优点,是一种结构合理、有良好发展前景的路面结构组合^[2-3].为了丰富和发展长效路面结构型式,笔者根据“刚基优面”的设计思想推荐复合式长效路面组合结构至上而下为:优质沥青面层(AC)+应力吸收层+水泥混凝土板(PCC)+防水联接层+水泥稳定碎石基层,路面结构示意图见图 1.优质沥青面层作为主要功能层,提供防水、降噪和防滑等作用;水泥混凝土板是主要的承载层;应力吸收层能有效吸收层间反射应力,防止沥青面层与水泥混凝土板出现“两层皮”的现象,同时与防水联接层共同作用防止自由水进入路面结构内部.为了合理拟定复合式长效路面结构,运用正交理论分析了在不同厚度和材料组合下的路面力学响应情况,并归纳其

变化规律,为复合式长效路面结构设计提供参考.

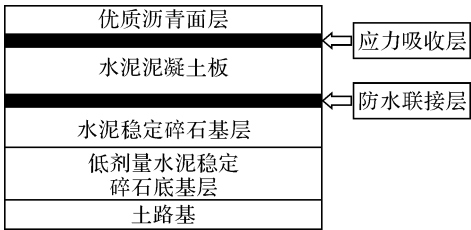


图 1 AC+PCC 复合式长效路面结构示意图
Fig. 1 Schematic plot of AC+PCC long-life pavement

1 正交试验

1.1 力学指标的选取

复合式长效路面兼具有沥青路面和水泥混凝土路面的特点,在选择相应的力学反应量时,应根据“规范”综合考虑沥青路面设计和水泥混凝土路面设计的控制指标.我国沥青路面结构设计采用弯沉值做为主要的控制指标^[4],一般认为当沥青层厚度比较小时(一般为 4~12 cm),沥青面层处于受压或较小拉应力状态,能够满足力学性能指标^[5];在暂不考虑混凝土板接缝、传荷能力和温度翘曲应力影响的情况下,水泥混凝土板设计以板底弯拉应力为主要指标^[6].据此提出复合式长效路面正交试验的力学指标为:路表弯沉、水泥混凝土板底弯拉应力,相应的力学指标采用弹性层状体系理论计算程序 Bisar 软件计算,路面结构计算的参数见表 1.

收稿日期:2011-04-09
基金项目:湖北省自然科学基金项目(2010CDA021)
作者简介:孔令伟(1988-),男,湖北监利人,硕士.研究方向:路面结构.
指导老师:李 杰,男,教授,博士.研究方向:道路工程.

表 1 AC+PCC 复合式长效路面结构参数

Table 1 Mechanics parameter of AC + PCC long - life pavement

路面结构	厚度/cm	模量/MPa	泊松比
优质沥青面层	4~8	1 400	0.35
水泥混凝土板	26~30	31 000	0.25
水泥稳定碎石基层	30~40	1 500	0.35
土基		30 - 40	0.40

1.2 正交试验设计

a. 影响因素和因素水平的确定. 从路面结构和材料组合的角度出发,提出沥青面层厚度、水泥混凝土板厚度、水泥稳定碎石层厚度和地基模量 4 个因素,相应的因素水平根据“规范”和工程经验

表 3 正交试验方案及设计指标计算结果表

Table 3 Orthogonal design table of the specifications and results

所在列	1	2	3	4	实验结果	
因素	沥青面层 厚度/cm	水泥砼板 厚度/cm	水稳层厚 度/cm	地基模量 /MPa	弯沉 /0.01mm	PCC 板底 弯拉应力/MPa
试验 1	4	26	30	30	47.68	0.453
试验 2	4	28	35	35	39.80	0.382
试验 3	4	30	40	40	34.22	0.350
试验 4	6	26	35	40	38.24	0.409
试验 5	6	28	40	30	41.65	0.370
试验 6	6	30	30	35	39.88	0.369
试验 7	8	26	40	35	39.25	0.381
试验 8	8	28	30	40	38.15	0.381
试验 9	8	30	35	30	41.65	0.345

1.3 试验结果分析

运用正交理论的极差分析法对计算结果进行分析,根据均值和极差的大小排列得到影响因素对设计指标的影响程度顺序、优水平和各个指标下的最优水平组合,分析结果见表 4 和表 5.

表 4 正交试验弯沉指标极差分析

Table 4 Orthogonal design range analysis of the surface deflection

所在列	A	B	C	D
均值 1	40.567	41.723	41.903	43.660
均值 2	39.923	39.867	39.897	39.643
均值 3	39.683	38.583	38.373	36.870
极差	0.884	3.140	3.530	6.790
主次顺序	D>C>B>A			
优水平	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃
最优水平组合	A ₃ B ₃ C ₃ D ₃			

a. 弯沉试验结果分析.

运用极差分析法分析各个影响因素和因素水平对路表弯沉设计指标的影响规律时,考虑的影响因素和因素水平分别为:沥青面层厚度 4~8 cm,水泥混凝土板厚度 26~30 cm,水泥稳定碎石

初步确定,见表 2^[7].

表 2 正交试验影响因素和因素水平表

Table 2 Main influential factors and levels of orthogonal design

	A	B	C	D
各项	沥青面层 厚度/cm	水泥混凝土 板厚度/cm	水泥稳定碎石 层厚度/cm	土基模量 /MPa
1	4	26	30	30
2	6	28	35	35
3	8	30	40	40

b. 正交试验表格的选取. 根据确定的影响因素和因素水平,选择 $L_9(3^4)$ 的正交试验表,试验组合方案和设计指标计算结果见表 3.

层厚度 30~40 cm,土基模量 30~40 MPa. 具体计算值和分析数据见表 4.

由表 4 可见,对于路表弯沉指标,各个影响因素的主次顺序为:土基模量>水泥稳定碎石层厚度>水泥混凝土板厚度>沥青面层厚度. 土基模量是影响路表弯沉的最主要因素,其次是水泥稳定碎石层厚度和水泥混凝土板厚度,沥青面层厚度对路表弯沉影响程度不大.

b. 水泥混凝土板底弯拉应力试验结果分析.

运用极差分析法分析各个影响因素和因素水平对水泥混凝土板底弯拉应力设计指标的影响规律时,考虑的影响因素和因素水平分别为:沥青面层厚度 4~8 cm;水泥混凝土板厚度 26~30 cm;水泥稳定碎石层厚度为 30~40 cm;土基模量 30~40 MPa,具体计算值和分析数据见表 5.

由表 5 可见,对于水泥混凝土板底弯拉应力指标,各个影响因素的的主次顺序为:水泥混凝土板厚度>水泥稳定碎石层厚度>沥青面层厚度>土基模量. 水泥混凝土板底弯拉应力随其自身厚度的变化比较显著,其它影响因素的影响程度相差不大. 但水泥混凝土板厚度越大,其温度翘曲应

力越大,选择适宜的厚度即可。

表 5 正交试验 PCC 板底弯拉应力指标极差分析
Table 5 Orthogonal design range analysis of the surface deflection flexural stress of cement concrete

所在列	A	B	C	D
均值 1	0.395	0.414	0.401	0.389
均值 2	0.383	0.378	0.379	0.377
均值 3	0.369	0.355	0.367	0.380
极差	0.002 6	0.059	0.034	0.012
主次顺序	B>C>A>D			
优水平	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃
最优水平组合	A ₃ B ₃ C ₃ D ₂			

c. 综合分析各因素对路表弯沉和水泥混凝土板底弯拉应力指标

单独分析各个指标得到的影响因素主次顺序和优水平组合并不一致,必须综合考虑各因素对路表弯沉和水泥混凝土板底弯拉应力两个指标的影响情况,确定合理经济的 PCC+AC 复合式长效路面结构。

沥青面层厚度对弯沉和水泥混凝土板底弯拉应力指标影响大小分别排在第 4 位和第 3 位,均为次要因素,其对路面结构力学性能指标影响不大,考虑经济性,取 4 cm。

水泥混凝土板厚度对水泥混凝土板底弯拉应力指标影响排第一位,对弯沉指标影响排第三位。由表 5 可知,当水泥混凝土板厚度由 26 cm 增加到 28 cm 时,其板底弯拉应力由 0.414 MPa 降低到 0.378 MPa,约降低了 8.87%;当水泥混凝土板厚度由 28 cm 增加到 30 cm 时,板底弯拉应力由 0.378 MPa 降低到 0.355 MPa,约降低了 6.05%。可见板底弯拉应力随自身厚度增加而降低的趋势变缓,取 28 cm 即可。

水泥稳定碎石层厚度对路表弯沉和水泥混凝土板底弯拉应力的影响均排第二位,为主要因素,取 40 cm。

土基模量对路表弯沉指标影响排第一位,对水泥混凝土板底弯拉应力影响排第四位。土基模量的大小直接关系到路表弯沉值的大小,是一个关键因素,取 40 MPa。

2 结 语

通过正交试验分析 PCC+AC 复合式长效路

面结构不同组合情况下的力学指标的变化,可得出以下规律:

a. 土基模量的变化对路表弯沉的影响最大,排第一位。路表弯沉随地基模量的减小而迅速增大,因此,在道路设计、施工和维修养护过程中,需要充分考虑对地基的处理。

b. 沥青面层厚度对路表弯沉和 PCC 板底弯拉应力均有影响,但效果均不显著。沥青面层主要起功能性作用,对路面结构力学性能指标影响不大,采用薄优质沥青面层是可行的。

c. 水泥混凝土板底弯拉应力随板厚度的变化比较显著,随着水泥混凝土板厚度增加,板底弯拉应力逐渐减小,但当板厚达到 28 cm 时,板底弯拉应力减小的趋势变缓。而随着水泥混凝土板厚增加,不仅工程造价大幅上升,而且水泥混凝土板温度翘曲应力也大幅增大,因此要选择适当的水泥混凝土板厚。

d. 水泥稳定碎石层厚度对路表弯沉和水泥混凝土板底弯拉应力的影响均比较显著。水泥稳定碎石基层底部承受较大的弯拉应力,容易产生疲劳破坏。因此,采用厚度较大的水稳层能降低底部弯拉应力、延长使用寿命。

根据上述规律,推荐复合式长效路面的最优路面结构组合为:优质沥青面层 4 cm+应力吸收层+水泥混凝土板 28 cm+防水联接层+水泥稳定碎石基层 40 cm+低剂量水泥稳定碎石底基层。

参考文献:

[1] 赵晓晴. 高速公路长寿命路面典型结构技术研究[D]. 长安大学公路学院,2005,5.

[2] 王选仓,侯荣国. 长寿命路面结构设计[J]. 交通运输工程学报,2007(6):46-49.

[3] 马庆雷. 基于刚性基层的耐久性沥青路面结构研究[D]. 长安大学公路学院,2006,6.

[4] 中华人民共和国交通部. JTGD50-2006 公路沥青路面设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2006.

[5] 崔鹏,邵敏华,孙立军. 长寿命沥青路面设计指标研究[J]. 交通运输工程学报,2008,8(3):37-42.

[6] 中华人民共和国交通部. JTGD40-2002 公路水泥混凝土路面设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2002.

[7] 许迪,许志鸿,张东升. 基于正交理论的长寿命沥青路面力学指标分析[J]. 上海大学学报,2008,14(6):624-628.

Mechanical analysis of composite long – time pavement
based on orthogonal theory

KONG Ling – wei¹, LI Jie^{1,2}, LI Jing²

(1. Transportation Research Center, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. School of Civil Engineering & Mechanics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To solve the problem of the universal premature failure and short life-time of asphalt pavement in our country, a composite long-time pavement structure which come from optimizing the structure and the material performance is recommended. In order to reasonably protocol the composite long-time pavement structure, mutative structural parameters impacting on mechanical response index are calculated by Bisar, based on the orthogonal theory. The changed laws have been concluded by that calculated results.

Key words: composite long-time pavement; orthogonal theory; mechanical index; Bisar; mechanical response

本文编辑:龚晓宁



(上接第 67 页)

Numerical analysis of the influence of geotechnical temperature field
on heat transfer of GSHP buried tube

WAN Zhao¹, GUAN Chang – sheng¹, HU Ping – fang²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. School of Environmental Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology,
Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper simulate ground source heat pump which was implanted tube with geotechnical layer unsteady in heat transfer process under summer cooling condition. The authors analyze the heat action characteristics and influencing factors of the geotechnical temperature field. By using multilayer geotechnical heat transfer model the authors study in a certain distance from drilling geotechnical temperature field distribution with the change of operation time. Analysis of the influence of backfilled material thermal conductivity on heat exchanger performance and temperature field of the surrounding rock was made. Simulation results provide the ground source heat pump implanted heat exchanger design and the dynamic simulation of the reference.

Key words: GSHP; unsteady heat transfer; multi – layer geotechnical model; soil temperature field

本文编辑:龚晓宁