

文章编号:1671-6833(2007)01-0072-04

长寿命路面结构与裸化技术研究

侯荣国¹, 王选仓¹, 冯治安²

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 郑州杰格瑞华道路工程技术公司, 河南 郑州 450016)

摘要:为改善现有路面设计寿命不足、实际使用寿命短等问题,从长寿命路面研究出发,探讨了长寿命路面定义及设计要求,结合依托工程的PCC+AC长寿命路面结构,采用有限元和路面弹性层状体系理论,分析确定PCC+AC长寿命路面的力学模型,对PCC板板底荷载应力和温度应力进行计算分析,并进行路面使用寿命预估,得出理论使用寿命达到40年以上,其寿命符合长寿命路面的设计思想。最后,为增强水泥混凝土与沥青混凝土层间粘结力,研究给出水泥混凝土板裸化时间与技术要求。

关键词:长寿命路面; PCC+AC路面; 应力分析; 裸化

中图分类号: O 344.3

文献标识码: A

0 引言

目前,许多国内道路都存在早期破坏现象,有些道路通车3~4年即出现严重的早期破坏,这些早期破坏严重影响了路面的使用性能,极大地降低了路面承载能力与服务水平,使道路使用寿命远低于设计年限,致使我国不少道路重复建设,给我国道路事业发展以及交通运输的正常运营造成了很大的影响。作者针对目前道路使用寿命严重不足的现象,探讨了长寿命路面定义及设计要求,并根据河南许昌工程实例,以水泥混凝土路面(PCC)+沥青混凝土路面(AC)的路面结构为主体,提出了“柔+刚+柔”式长寿命路面设计的一种路面类型,分析了这种路面的荷载应力与温度应力,并对实际工程的长寿命路面结构进行了寿命预估,其理论使用年限达到40年以上,符合长寿命路面设计思想。最后,针对水泥混凝土与沥青混凝土层间粘结力不足的问题,作者提出了裸化技术,研究了裸化时间与要求。

1 长寿命路面定义及要求

1.1 长寿命路面定义

近年来,国际道路界对长寿命路面的研究逐渐增多,但还没有一个统一的标准。40年是国际道路界对长寿命路面年限的一个较为适中的年限。因此,作者定义长寿命路面是指路面设计寿命

超过40年的路面结构。其应具备以下特点:①设计年限达到40年;②路面不发生结构性破坏,损坏只发生在表面功能层,因此,不需要进行结构性大修,只对表面功能层进行养护维修;③路面厚度较大,因此,初期费用可能偏高,但维修费用低,在寿命周期内最经济。

1.2 长寿命路面的设计要求

从长寿命路面特点可以看出,较现有的路面结构,长寿命路面更需要遵循严格的设计要求,才能保证路面结构在长达40年以上寿命期内不发生结构性破坏,损坏仅发生在表面层。其应遵循的基本原则为:

(1)高的路基稳定性。长寿命路面结构要求路基具有一定的承载能力,以便消除或降低在环境和荷载作用下产生的不均匀变形,从而为其上结构层提供稳定均匀的支承。

(2)良好的材料性能。长寿命路面结构对主要承重层材料的要求很高,以确保结构层在使用寿命期内不发生疲劳破坏。

(3)合理的路面结构组成设计。合理的路面结构组合可以延缓或者防止路面结构结构性破坏,确保路面结构的长寿命。所以长寿命路面结构设计时就要考虑路面各结构层的功能,充分发挥其整体性能,避免在长的寿命期内发生早期损坏。

(4)足够的结构层厚度。目前国内外所提出的长寿命路面结构,都保证了足够厚度的结构层,

收稿日期:2006-07-10;修订日期:2006-09-16

基金项目:河南省交通厅科技项目(20049213)。

作者简介:侯荣国(1977-),男,河北衡水人,长安大学博士研究生,主要从事路面工程方面的研究。

只有这样才能更有力地确保长寿命路面使用期.

2 长寿命路面结构及力学模型

2.1 长寿命路面结构

根据长寿命路面设计思想,作者结合河南许昌某工程实例,以水泥混凝土路面(PCC)+沥青混凝土路面(AC)的路面结构为主体,结合应力吸收层与防水联接层的设置,提出了“柔+刚+柔”(沥青混凝土+水泥混凝土+沥青防水联接层)式长寿命路面结构.具体结构见图 1.

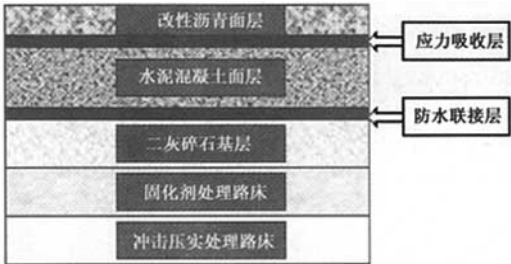


图 1 长寿命路面剖面图
Fig.1 Long-life pavement structure

2.2 计算模型

图 1 中,水泥混凝土面层为主要的承重层,沥青混凝土面层作为表面功能层.对这种路面结构进行荷载应力分析时,应重点分析承重层(PCC板)的应力状况,从而确保承重层的结构承载力.

作者采用有限元软件以及弹性层状体系理论对 PCC+AC 式长寿命路面进行荷载应力分析.采用的路面结构模式见图 2.

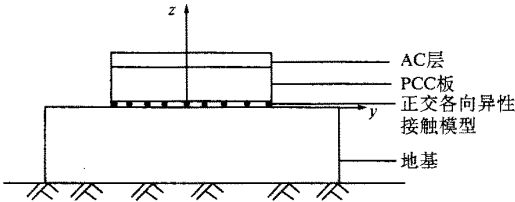


图 2 PCC+AC 路面结构模式
Fig.2 “PCC+AC” pavement structure pattern figure

2.3 边界条件

(1)AC 层、PCC 板为有限尺寸;地基为弹性半空间地基(E 地基),根据计算精度要求,取尺寸为 8 m×10 m×7 m.

(2)AC 层与 PCC 板之间完全连续接触;PCC 板与地基之间用“正交各向异性接触模型”描述.

(3)AC 层、PCC 板及地基的四周面为自由悬空面;地基的底面为固定面.

3 应力分析

结构计算参数采用河南长寿命路面依托工程

的实际道路结构参数,AC 层: $E_a=1\,300\text{ MPa}$;PCC 板: $E_c=31\,000\text{ MPa}$;水泥稳定碎石: $E_2=1\,500\text{ MPa}$, $h_2=18\text{ cm}$;石灰土垫层: $E_1=150\text{ MPa}$, $h_1=20\text{ cm}$;土基: $E_0=40\text{ MPa}$

3.1 荷载应力分析

对不同路面结构组合下的水泥混凝土板进行应力分析,见表 1 和图 3.可以看出:PCC 板底的最大弯拉应力随板厚与沥青层厚的增加都有所减少;在 PCC 板厚度固定时,PCC 板底最大弯拉应力随着 AC 层厚度的增加而减小;AC 层厚度增加幅度相等时,PCC 板底的应力折减程度基本一致.

表 1 PCC 板底最大弯拉应力计算结果
Tab.1 The maximum flexural tensile stress results of PCC layer

h_a/m	h_c/m				
	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30
0	1.006	0.954	0.907	0.863	0.823
0.02	0.974	0.925	0.880	0.837	0.799
0.04	0.943	0.895	0.852	0.812	0.775
0.06	0.911	0.866	0.825	0.786	0.751
0.08	0.880	0.836	0.797	0.761	0.728
0.10	0.848	0.807	0.77	0.735	0.704

说明:表中 h_c 代表水泥混凝土厚度, h_a 代表沥青混凝土厚度,下同.

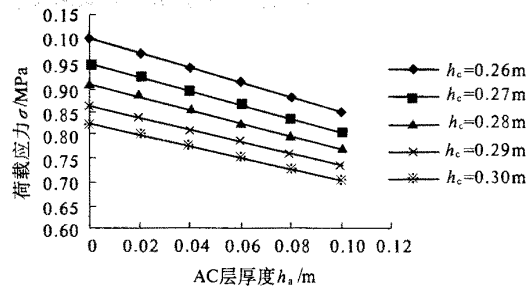


图 3 荷载应力随 PCC 板厚和 AC 层厚变化图
Fig.3 Load stress under different thickness of PCC and AC layer

3.2 温度应力分析

混凝土板内温度应力主要为胀缩应力与翘曲应力,由于胀缩应力数值微小,因此,主要分析混凝土板的翘曲应力,而产生温度翘曲应力的主要因素是温度梯度的存在.一昼夜内混凝土板最大温度梯度出现时刻随着沥青层厚度的增加而逐渐滞后.通常普通水泥混凝土路面的最大温度梯度出现在 13:00~14:00,而对于 PCC+AC 式长寿命路面,最大温度梯度出现时刻约滞后 1~2 h.

3.2.1 最大温度梯度

规范(JTG D40-2002)列出了有沥青上面层的 PCC 板最大温度梯度的推荐值^[1],见表 2.

表 2 有沥青上面层的混凝土板的最大温度梯度值 T_g

Tab.2 The maximum temperature gradient PCC board with AC layer

AC 层厚 /cm	自然区划			
	Ⅱ、Ⅴ	Ⅲ	Ⅳ、Ⅵ	Ⅶ
0	83~88	90~95	86~92	93~98
4	58~62	62~67	60~65	66~70
8	40~43	46~48	43~49	47~50
12	28~30	30~32	29~31	31~33

3.2.2 翘曲应力计算

计算以依托工程具体参数为基础,所得结果见表 3. 温度翘曲应力随 PCC 板和 AC 层厚度变化见图 4.

表 3 温度翘曲应力

Tab.3 Temperarute curling stresse MPa

h_s/m	h_c/m				
	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30
0	1.773	1.731	1.642	1.543	1.432
0.02	1.511	1.475	1.400	1.315	1.221
0.04	1.248	1.22	1.157	1.087	1.009
0.06	1.068	1.042	0.989	0.929	0.863
0.08	0.866	0.846	0.802	0.754	0.700
0.10	0.746	0.728	0.691	0.649	0.602

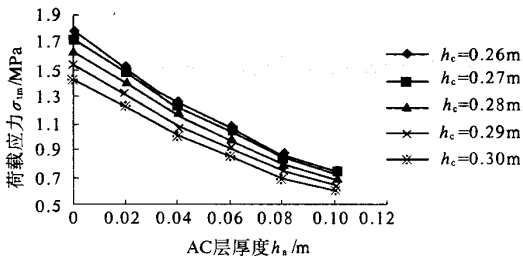


图 4 温度翘曲应力随 PCC 板厚和 AC 层厚度变化图

Fig.4 Temperature curling stress under the different thickness of PCC and AC layer

PCC 板温度翘曲应力随着 PCC 板厚度的增大而减小,且减小幅度逐渐趋缓;固定 PCC 板厚时,PCC 板的温度翘曲应力随着 AC 层厚度的增大而减小,且减小幅度逐渐趋缓.

此外,计算中还发现,温度翘曲应力随板长的增加而减小,因此,适当的增大板长,能够有效地降低板底应力.

4 寿命预估

4.1 结构承载极限(累计当量轴次)

最大累计当量轴次反映了路面结构的承载能力.因此,笔者按照先计算累计当量轴次,而后根据交通参数反推使用年限的思路,对依托工程路面结构中水泥混凝土板(PCC)进行了寿命预估,其累计当量轴次计算结果为: 1.90×10^8 次.

万方数据

4.2 理论寿命计算

依托工程初始日标准轴载为 20 000 次,交通量增长率为 4%,车轮轮迹横向分布系数取为 0.2,按以上条件根据规范公式反推,得到长寿命路面结构的使用寿命为 46 年.

4.3 沥青层寿命

4.1 中计算结果主要考虑了 PCC 板的结构寿命,而对于沥青层的寿命,显然达不到几十年的设计年限.因此,在进行长寿命路面结构设计时,首先要保证主体结构的使用寿命,对于 AC 层,则尽量做好材料设计,延长设计年限,必要时进行表面功能修复.

5 裸化技术

5.1 裸化

在长寿命路面结构中,水泥混凝土刚度与沥青混凝土刚度相差很大,而且水泥混凝土振捣后表面出现的浮浆使混凝土板比较光滑,因此,容易造成水泥混凝土板和沥青混凝土二者之间接触面的粘结力不大,出现“二层皮”现象,导致沥青层过早破坏.为此,笔者提出了混凝土表面裸化技术,使混凝土骨料浮出,从而增强水泥混凝土板和沥青混凝土之间的粘结力.

裸化是一种清除水泥混凝土表面浮浆,从而露出碎石骨料的施工技术.裸化成功的关键在于裸化时间,时间过早,水泥混凝土强度未形成,则容易破坏混凝土结构;时间过晚,混凝土强度已形成,裸化则难以进行(裸化施工见图 5).



图 5 裸化

Fig.5 Baring

因裸化施工工艺是一种新创技术,在国内尚无此方面的技术要求和标准,也无该方面的施工经验.对此课题组积极进行技术攻关,设计了水泥路面裸化机,并进行了多次施工试验,得出裸化时间及技术要求.

5.2 裸化时间

在路面摊铺过后,在切缝前,及时检查混凝土表面以控制好裸化时间.试验表明可在混凝土表

面稍硬化后进行施工,将裸化度时积控制在 $(150 \sim 220)^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ 进行裸化比较合适。

当混凝土表面可以裸化后,启动裸化机进行裸化,裸化时注意在裸化机上安装一水管,在裸化过程中要确保给裸化机连续供水,以便裸化。

5.3 裸化深度及其它要求

裸化深度控制在 $2 \sim 3 \text{ mm}$,以露出碎石面为准。施工时要注意控制裸化机的喷水量和水压力,不能损害混凝土板强度,并减少对平整度的影响。裸化要均匀、连续,整个断面均要裸化完成,不能出现漏裸或不裸化的现象。裸化过后要注意对混凝土表面的冲洗,人工用扫帚边清扫,边冲洗,并注意要冲洗干净,不能有水泥浆残留在混凝土表面,以免造成不必要的二次浮浆清理,否则与沥青路面连接不好。裸化效果对比情况见图6。



图6 裸化效果对比图

Fig.6 Effect of baring

6 结论

作者结合实际工程,选择PCC+AC路面结构进行长寿命路面研究,进行了荷载与温度应力分析。通过具体工程计算,长寿命路面结构承载能力大大提高,设计年限在40年以上,符合长寿命路面设计思想。虽然寿命预估可达40年以上,但只适用于PCC层,而对于AC层,则需要进行特别设计,尽量提高其使用年限,必要时进行养护或加铺。研究了水泥混凝土表面裸化技术,提出了裸化时间及裸化技术要求。

参考文献:

- [1] JTG D40-2002,公路水泥混凝土路面设计规范[S].
- [2] 胡长顺,王秉纲.复合式路面设计原理与施工技术[M].北京:人民交通出版社,1999.
- [3] 长安大学长寿命路面结构研究课题组.高速公路长寿命路面典型结构成套技术研究[R].西安:长安大学,2005.
- [4] 胡长顺,曹东伟.连续配筋混凝土路面结构设计理论与方法研究[J].交通运输工程学报,2001,1(2):57-62.
- [5] 刘文,李清富,胡群芳.水泥混凝土路面结构耐久性设计研究[J].郑州大学学报(工学版),2005,26(4):66-68.

Research on Long-life Pavement Structure and Baring Technolgy

HOU Rong-guo, WANG Xuan-cang, FENG Zhi-an

(1. Key Laboraty for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China;
2. Jegel Ruihua Highway Engineering Co. Ltd., Zhengzhou 450016, China)

Abstract: In order to solve such problems as the shortage of design life and actual life of pavement, considering research of long-life pavement, this paper discusses the definition of long-life pavement and design requirements. Based on PCC+AC long-life pavement of actual highway, through limited element and elastic layer system theory of pavement, this paper determines mechanics pattern of PCC+AC long-life pavement, analyzes load stress and temperature stress of PCC pavement. This paper also gives a structure of PCC+AC pavement, and estimates their life. The ideal result is obtained that expecting structure life can last more 40 years, and come up to design thought of long-life pavement. Lastly, in order to enhance the cementing power between cement concrete and asphalt concrete, the baring time of cement concrete and technology requirements are given according to the research.

Key words: long-life pavement; PCC+AC pavement; stress analysis; baring