

国内外沥青路面设计方法研究

包惠明, 张吉刚

(广西岩土力学与工程重点实验室, 桂林理工大学土木与建筑工程学院, 广西桂林 541004)

摘 要: 传统的单一经验法和力学法乃至简单组合的力学—经验法, 已越来越不适应重载和特重交通沥青路面的发展。如何满足材料与结构设计的统一, 建立结构、材料、环境、荷载和经济的统一体系, 最大限度地增强特重交通下路面使用性能, 是一大难题。对国内外沥青路面的一些经典设计方法进行论述评价, 简单介绍基于性能的全寿命沥青路面设计法和永久性沥青路面设计法, 并提出沥青路面设计的一些建议。

关键词: 沥青路面; 全寿命; 性能; GTM

中图分类号: U416 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-3152(2015)01-0028-03

1 国外沥青路面设计方法概述及评价

沥青路面是以沥青混合料为面层的路面结构。其基层可以为柔性基层、刚性基层或者半刚性基层。从路面设计的三大基本要求——平整性、耐久性和抗滑性来看, 目前国际上沥青路面设计方法大致可分三种: ①基于工程实际经验或试验的经验法, 代表方法有 CBR 设计法和 AASHTO 设计法; ②基于力学分析, 综合考虑材料、交通和环境的力学—经验法, 代表方法有 SHELL 设计法、AI 设计法和 AASHTO2002 设计法; ③基于路面使用性能, 来确定沥青混合料特性的基于性能的设计方法, 代表方法有 SUPERPAVE 设计法和 OPAC2000 设计法。如表 1 所示。

2 国内沥青路面设计方法研究现状

我国的沥青路面设计在借鉴国外方法的基础上, 有着自己独特的设计理念和方法。长期以来我国沥青路面设计以路面回弹弯沉为设计指标, 以整体性材料层底面的弯拉应力为验算指标。基于国情, 本着节约造价的目的, 我国在路面设计工程实践中普遍采用“强基薄面”的指导思想。近年来随着我国社会经济的发展, 道路交通量越来越重, 传统的以半刚性基层路面为主的设计方法已经越来越不适用, 如何研究出适合我国道路未来发展的沥青路面设计方法, 已是迫在眉睫。近年来, 永久性沥青路

面、基于性能的全寿命沥青路面等一些新的设计思维和方法开始出现。

2.1 现行沥青路面设计方法

我国沥青路面设计采用的是力学—经验法, 其路面模型把路面看做一种多层弹性体系。采用双圆垂直均布荷载, 以路面回弹弯沉为设计指标, 沥青混凝土面层层底弯拉应力和半刚性基层层底弯拉应力为控制指标进行验算, 进行路面结构厚度设计^[6]。

2.2 现行方法存在的问题及改进

我国现行沥青路面设计存在以下诸多问题:

(1) 设计指标的问题: 首先, 作为设计控制指标之一的路面弯沉, 它反映的是材料与结构的弹性部分, 其前提是将路面层看成多层弹性体系。但实际上路面层只是在尚未遭到结构塑性破坏的情况下可以近似地看成弹性体, 而随着现代交通量的持续增大, 路面早期损坏乃至初期损坏中车辙的频繁出现, 已不再是纯弹性的范畴。并且实际检测发现, 在不少出现初期损坏的半刚性路面中, 实测弯沉也远小于设计弯沉。由此说明, 弯沉难以确切反映所控制的层次和损坏类型。其次, 同样作为设计控制指标的面层和基层的底面弯拉应力在进行验算时, 沥青底面的应力一般多处于受压状态, 使得这两个控制指标根本不起作用。这样看来, 路面弯沉成了唯一的设计控制指标。实际上, 弯沉作为一种设计指标, 其数值过于表观、综合, 大部分发达国家均未将弯沉作为一种指标来进行路面设计。我国也应放弃这一不合实际的设计指标。

(2) 材料性能与结构性能不统一的问题: 我国不

收稿日期: 2014-10-31

基金项目: 国家自然科学基金(51368015)

作者简介: 包惠明(1963—), 男, 教授, 博士, 研究方向为道路工程、岩土工程、边坡工程、地质灾害。

表 1 国外沥青路面设计方法介绍及优缺点对比

方法类型	设计方法	主要设计思想	优点	缺点	使用范围
经验法	CBR 设计法	路面应具有足够的厚度和稳定性,以防止重复剪切变形在任何路面层内的产生;应尽力减小冰冻程度[1]	设计过程简明,概念清晰,已被作为路面材料的一种经典参数指标[2]	各国影响条件选取不一,导致 CBR 设计法结果有偏差,须设置修正系数	适用于重载、低等级路面
	AASHTO 设计法	首次提出了反映路面服务质量的现时服务能力指数 PSI [3],由主观评定后得到的指标与路面实际状况建立经验关系式	第一次引入耐用性指数,建立了不同轴载之间的等效关系,提出了加权轴载通过次数 N 与路面结构数 SN 之间关系的方程[4]	该设计法依据短期试验结果得出,试验选用的路面材料很有限,环境因素相对单一,而选用的 SN 在确定路面厚度时,需要依靠大量的实践经验,造成结果不唯一	适用于各种路面
	SHELL 设计法	通过控制空隙率来调节路面结构层的劲度模量,基于力学进行分析,并进行轴载换算,得出设计年限内的累计轴载次数即为设计寿命,同时严格考虑车辙(通过计算压应变和拉应变得出),最终计算出路面厚度	采用的标准荷载换算方法因设计指标不同而变换,并提出了加权年平均温度概念[2],提出了明确的路面破坏标准和结构破坏与材料特性荷载的量化关系[4]	设计中对实际情况的简化和假设必然会带来误差,其车辙预估模型难以解释新建路面采用改性沥青时可减少车辙的机理,该设计法还没有考虑水的影响	适用于各种路面
	力学-经验法	与 SHELL 法类似,把路面看成多层弹性体系,沥青层设计温度为面层厚 1/3 深处的温度,控制拉应变和压应变	充分运用多层弹性体理论,并考虑粒料的非线性和混合料的粘弹性	不适用于交通量较小沥青层较薄时	适用于交通量较大且沥青混凝土较厚的路面
基于性能的设计方法	AASHTO 2002 设计	在一套完整的设计软件运用下,从力学-经验出发,设计中引入各种模型,采用多级输入主要设计参数,同时考虑了路面使用性能	目前力学-经验模型的集大成者,采用 Miner 定律和增量法来代替轴载换算进行路面分析,根据力学分析结果预估路面开裂,用分层总和法进行车辙预估	整个过程过于复杂,增量法的实际运用比较困难,没有考虑不同损坏类型的叠加效应,结构和材料的设计依然难以相匹配	适用于各种路面
	SUPERPAVE 设计法	基于路面使用性能,以达到路面抗车辙、抗低温、抗疲劳为目标,设计路面和材料,同时考虑水损坏及沥青老化和粘附性损失[2,5]	建立了路面设计的四个基本模型,比较系统且详尽地分析了多种因素对路面性能的影响	该法基于流变学理论所建立起来的主要指标,未知能否反映路面的使用性能,与传统指标比,亦不知孰面更好	适用于各种路面
	OPAC2000 设计法	分别考虑交通荷载和环境因素对路面性能的影响,采用 $P = P_0 - P_T - P_E$ 路面性能方程,并建立经济分析模型	考虑并建立了路面可靠度模型,经济分析模型的建立使道路建设更趋于实际可行	所提出的路面性能方程过于概括,实际操作人为因素较高,没有定量地分析路面性能衰变的具体路径	适用于各种路面

少发生初期破坏的沥青路面中,往往都是路面整体结构并未破坏,但却出现车辙、坑洞等功能性破坏,导致道路无法继续正常使用。这种材料的功能性能与结构的力学性能无法匹配从宏观上表明我国现行沥青路面设计方法存在致命缺陷。

(3)模型建立的问题:长期以来,我国沥青路面设计中一直将路面视为层间连续的弹性层状体系,但由于经济、材料、环境、施工等因素的复杂作用,实际中的路面结构要达到可以理想化的弹性且层间连续状态几乎是不可能的,细微的塑性变化就会轻易毁掉路面的弹性体系,路面结构层间也往往处于半连续状态。

2.3 基于性能的全寿命沥青路面设计法

长久以来,对沥青路面设计的基本要求无非是结构稳定和性能优良,但要想让这两点达到一个动态的统一,在复杂的道路条件下充分发挥各自的功效,却很难控制。国内外的诸多沥青路面设计方法往往在模型建立中顾此失彼,对路面的内在因素和外在因素的联系与平衡很少考虑,无法更全面更实际地模拟分析路面结构。因此,要使路面达到结构

稳定和性能优良的完美统一,必须从结构组合、材料组成两个大方面综合考虑,并寻找结构与性能的最佳平衡点,而不是单纯的厚度设计。建立结构设计与材料设计的性能统一:材料组成设计的结果要能体现结构厚度组合所能达到的性能水平,而结构厚度设计也要能在满足结构稳定的同时考虑到对材料性能发挥的支撑。结构设计主要突出结构损坏和结构承载力,而材料设计则主要表现耐久、平整、抗滑、美观等功能性能[2]。

全寿命沥青路面设计方法是一种基于性能的沥青路面设计方法,由同济大学孙立军教授等提出。其最大特点是设计基于使用性能及寿命周期费用综合分析。全寿命沥青路面设计方法从两大方面入手——使用性能指标和力学指标,综合考虑“结构、材料、荷载、环境、经济”等几方面因素,力求达到三个统一:力学性能和使用性能的统一,结构设计和材料设计的统一,技术指标与经济指标的统一;通过控制经济指标,进行寿命周期费用综合分析来选择一种最优路面设计方案。要求此方案能同时满足使用性能、力学性能、最经济的路面结构组合和最优罩面

设计^[2]。

全寿命设计跟其他设计方法一个很大的不同之处在于:在设计之初即要考虑包括路面在罩面或改建后的性能和费用,而一般路面设计只考虑路面的初始性能和费用。

2.4 永久性沥青路面设计法

永久性路面是一种设计使用期在 50 年以上,路面结构层具有高强性能而不必修复和重建,只需定期更换路面表层的沥青路面。因此其核心理论也放在如何增加道路的抗车辙能力和耐久性方面。其中,结构层的抗车辙和耐久性尤为重要。

永久性路面的设计理念:上面层的抗车辙、抗磨损、不透水;中间层的抗车辙、耐久稳定性;基层的抗疲劳。因此要求各层的材料选择、混合料级配设计和性能试验方法选择方面,必须严格进行专门的针对性设计,并要考虑到各种材料及结构组合的耐久性。永久性路面要求必须定期检测路面性能,防止其出现病害。当病害延伸到上面层底部时,必须及时更换上面层,防止其危害路面结构层。

永久性路面的设计理念鲜明、针对性强,如果有既定的设计参数和设计标准,并保证施工及后期养护维修质量,其实用性就会大大增强,甚至成为未来道路发展的一个主要方向。目前世界多国都强化于这方面的研究和实践,而我国尚处初级发展期。

3 小 结

从目前来看,基于性能的全寿命沥青路面设计方法能基本满足路面的性能要求,也具有长期使用寿命的特点,但这种方法的实际使用效果还不得而知。AASHTO2002 是一个集大成者,考虑到了很多问题,虽然不健全,但发展下去将会出现新的契机。这些方法都从理论上解决了诸多问题,但仍然缺少实践的检验。

对于面前的沥青路面设计现状,提出以下一些问题和看法:

(1)从一定程度上讲,沥青路面的设计方法要与路基地基处理、沥青混合料级配设计、沥青路面新材料发展、施工技术相辅相成,不能单一方面的冒进发

展,不然在实际操作中就难以实施,而且这几个方面也存在着相互促进的关系。

(2)通过研究发现,路面材料总是在其组成路面结构后,新形成的结构整体性能并非材料原有的单个性能之和,而且结构整体性能要远小于材料原有的单个性能之和。全寿命沥青路面设计法虽然提出了这个问题,但它并没有提出解决这个问题的具体有效措施。

(3)环境影响、材料性能、路面综合性能这三者如何能有一个有机的统一,或者说达到一种最佳路面综合性能下的平衡,是一个要解决的关键,特别是环境影响模型的建立。

(4)如何提高路面层间的相关性也是一个要研究的方向。一般看来,沥青混凝土路面的沥青层与混凝土层由于模量相差较大,故其层间相关性必然要低,而全厚式沥青路面由于全部使用沥青层,故层间相关性较高。

(5)根据美国工程兵旋转压实剪切试验技术(简称 GTM)的描述来看,其四大原则虽然是沥青混合料设计的层面,但实际上已经解决了路面使用性能的很多问题,只是这种诞生于上世纪五十年代的设计方法,至今仍未在我国推广。

(6)如何确保施工质量,将是我国道路未来发展的重中之重。

参 考 文 献

- [1] Yoder E J, Witczak M W. 陈炳麟等译. Principles of Pavement Design(1975)[M]. 北京:人民交通出版社,1983.
- [2] 孙立军. 沥青路面结构行为理论[M]. 北京:人民交通出版社,2005.
- [3] AASHTO. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures [J]. Washington: AASHTO, 1993.
- [4] 贾理杰. 沥青路面结构设计方法综述[J]. 北京:道路工程, 2012.
- [5] SHRP. SHRP Product Catalog, National Research Council[J]. 1992.
- [6] 邓学钧. 路基路面工程[M]. 北京:人民交通出版社,2002.

(下转第 101 页)

- [9] 唐业清. 建筑物改造与病害处理[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [10] J. B. Burland, J. R. Standing, et al. Building response to tunneling, case studies from construction of the Jubilee Line Extension[M]. London, Thomas tenfold publishing, 2001, pp509-545.
- [11] 杨丽明. 浅埋暗挖隧道施工对超近距房屋的安全影响研究[D]. 北京:北京交通大学,2008(5).
- [12] 王剑晨,张顶立,张成平,房倩,苏洁,陈立平. 浅埋暗挖隧道近距施工引起的上覆地铁结构变形分析[J]. 岩石力学与工程学报,2014(1).
- [13] 王浩,覃卫民,焦玉勇. 浅埋大跨隧道下穿建筑物群的施工期安全风险管控[J]. 岩土力学,2010(S1).
- [14] 覃卫民,逢铁铮,王浩,孔文涛. 深基坑附近房屋出现裂缝的施工监测分析[J]. 岩石力学与工程学报,2009(3).
- [15] 杨平,覃卫民,杨育,王涛. 密集建筑群下大断面隧道施工反馈分析及安全性控制研究[J]. 岩石力学与工程学报,2010(4).

The Impact of Tunnel Undercrossing on the Existing Buildings

HUANG Baolong

(Xiamen Road and Bridge Construction Group Co., Ltd., Xiamen 361000)

Abstract When a tunnel is crossing under a group of existing buildings, it is necessary to predict its potential impact on the buildings and to control the possible hazard induced by the tunnel. The conventional prediction methods include: theoretical approach, numerical analysis and empirical solution. This paper reviews both advantages and disadvantages of these methods. Their practical applications and their reliabilities have also been presented in the paper.

Key words Tunnel Undercrossing; Existing Buildings; Control Criteria; Analytical Methods; Monitoring and Measurement; Destruction

(上接第 96 页)

Review of Asphalt Pavement Design Methods

BAO Huiming, ZHANG Jigang

(Guangxi Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering;
College of Civil Engineering and Architecture, Guilin University of Technology, Guilin 541004)

Abstract The conventional pavement design methods, such as, empirical, mechanical as well as mechanical-empirical methods, cannot meet the requirements of the development of heavily, extra heavily loaded asphalt pavements. It is both a research and a practical challenge for meeting the requirements of both the material and the structural design. It is also difficult to develop a design method that considering the aspects of pavement structure, material, environment; load and cost and maximize the performance of the pavement structure under the extra heavy loading conditions. The nationally and internationally existing typical pavement design methods are reviewed in this paper. The performance based full life cycle asphalt pavement and perpetual asphalt pavement design methods are introduced and suggestions for the design improvements are provided.

Key words Asphalt Pavement; Full Life Cycle; Pavement Performance; Gyrotory Testing Machine