

文章编号: 0451-0712(2005)12-0086-03

中图分类号: U416.217

文献标识码: B

土工格栅加筋沥青混凝土路面结构的优化设计模型

金 江, 隋允康

(北京工业大学 北京市 100022)

摘 要: 土工格栅已在我国道路工程中得到一定的应用, 但是其理论方面的研究还很不充分, 有必要在土工格栅加筋路面结构数值分析的基础上进行优化设计。本文利用优化设计理论建立了土工格栅加筋沥青混凝土路面结构优化模型, 为进一步研究该类路面结构优化做了准备。

关键词: 土工格栅; 沥青混凝土路面; 优化

沥青混凝土路面具有表面平整、无接缝、行车舒适、振动小、噪音低的优点, 在各国的公路建设中作为主要选择形式。随着沥青混凝土路面的应用和研究的发展, 基层结构由早期的优质级配碎石和优质级配砾石, 发展到近年来的半刚性材料, 即石灰土、水泥土、石灰粉煤灰土、石灰粉煤灰碎石、水泥结碎石等各类无机结合料。现在越来越多的国家采用此种基层, 我国目前绝大多数高等级公路为此类路面结构。基层为半刚性材料的沥青混凝土路面具有力学性能好, 工程造价低的优点, 其不足之处在于脆性大, 抗变形能力差, 在温度或湿度变化及荷载作用下易产生开裂, 当沥青混凝土面层较薄时, 裂缝会反射到面层, 形成所谓的“反射裂缝”。

反射裂缝是目前半刚性基层沥青混凝土路面主要病害之一, 其分布十分普遍。国内外研究人员对路面的开裂采取过许多方法进行防治^[1], 主要的措施: 如增加沥青混凝土面层的厚度、进行半刚性材料的合理组成设计、在面层与基层之间增加级配碎石层或加铺土工合成材料等。在这些措施中, 用土工合成材料防止反射裂缝是一种新的有效的方法。将土工合成材料加入路面结构中, 铺设在基层顶面或旧沥青混凝土路面、旧水泥混凝土路面的沥青加铺层底部, 起到加筋作用, 同时减少了基层对面层产生的附加应力, 降低了面层底部的拉应力, 限制面层变形, 从而可延缓和防止反射裂缝。

土工合成材料(Geosynthetics)是以人工合成

的聚合物(主要有聚丙烯 PP, 聚酯 PET, 聚乙烯 PE, 聚氯乙烯 PVC, 聚酰胺 PA 等)为原料制成的各种类型产品的总称。其中, 土工格栅(Geogrid)是目前公路上应用较多的一种土工合成材料, 它是高分子聚合物拉伸后形成的具有方形格栅的板材。根据材质的不同主要分为塑料土工格栅和玻璃纤维格栅两类, 由加工方法的不同又分为单向土工格栅和双向土工格栅两类。土工格栅可用于路堤、挡墙、软基等结构中以提高其稳定性和承载力。

土工格栅已在我国道路工程中得到一定的应用^[2], 但是其理论方面的研究还很不充分, 有必要对土工格栅加筋路面结构进行力学分析, 从机理上探讨土工格栅对路面所起的加筋作用, 如土工格栅位置对加筋效果的影响, 尤其是加筋路面结构强度及刚度与土工格栅模量的关系, 以便建立合理的选材体系, 从而达到优化设计的目的。

目前, 各国虽然都有较为成熟的沥青混凝土路面结构设计规范, 但是都没有把优化的概念真正引入规范设计中。众所周知, 公路建设费用较高, 寻求经济合理的最优路面结构很有必要, 尤其是随着土工合成材料在公路建设中应用的开展, 研究合理的土工合成材料加筋沥青混凝土路面的优化结构具有重要的实际意义。

1 土工格栅加筋沥青混凝土路面结构优化设计现状

沥青混凝土路面作为层状结构, 设计人员的经

验设计源于长期的积累,其结果不能保证设计的最优,达到最优是一个长期的无穷尽的探索过程。随着结构分析理论与方法的日益成熟、数学理论的发展及计算机的发展,工程结构进行优化设计成为必然^[3]。各国学者对沥青混凝土路面结构优化设计进行了研究,但相关报道并不多见。Mamlouk M S^[4]从全寿命管理角度对沥青混凝土路面进行优化设计,该设计可以选择最优路面厚度、最优加铺层厚度、最优加铺时机。该优化系统包括美国 AASHTO 方法的方程、多层弹性体系的计算程序及非线性动态优化技术。目标函数为最小费用,包括初始建设费用、加铺层费用、公路使用者费用等,约束有平整度指标(或路面耐久性指标)PSI、开裂指标、车辙指标,一旦 3 个约束中任一个指标到达极限,即进行路面加铺。全寿命优化设计不但可以优化路面结构,而且可以优化整个路面寿命中,最佳的初建使用期的长度、最佳的维修加铺时间和次数。此外 Khaled A^[5]也对沥青混凝土路面进行全寿命优化设计。Hadi M N S^[6]则用遗传算法优化刚性路面结构,目标函数为初期建设费用最小,约束条件为面层厚度、疲劳因子和腐蚀因子。

国内也有研究者致力于路面结构优化设计研究,取得一定的成就,但总体上研究还很不充分。张起森、查旭东^[7]建立了考虑可靠度和初始造价的优化模型。赵延庆^[8]以路面造价最小为目标函数,以系统的可靠度为约束条件,采用变尺度法求解非线性规划。孙治军^[9]采用路面造价优化、使用性能预测及评价和模糊综合评判进行优化。在模型的求解方面,目前有 2 类求解方法,一类是网格法,即将结构层的厚度按一定的增量在一定区间内等分,然后按设计程序计算出设计厚度,进而计算出造价最低的路面结构方案。这类方法计算简单,涉及的数学知识不深。网格法如果采用完全组合,加之路面层数较多,其厚度组合量将会惊人的大,虽然叶国铮^[10]应用增量搜索法,但仍然是比较低级的优化方法。另一类是非线性规划法,如黄卫的可变容差法等。此外,胡霞光^[11]等采用遗传算法进行优化,王后裕^[12]采用人工神经网络法进行重载路面结构优化。

2 土工格栅加筋沥青混凝土路面结构优化设计模型

目前在沥青混凝土路面结构优化方面研究很少,且优化方法尚处于较低层次。有必要改进优化模型、探索较好的优化策略,将有限元分析与优化设计

结合起来,在数值分析基础上进行优化。尤其随着土工格栅在沥青混凝土路面中应用的推广,迫切需要分析土工格栅加筋沥青混凝土路面并进行优化设计。

土工格栅加筋沥青混凝土路面结构,如图 1 所示,载荷为均布标准车载,单圆直径 21.3 cm,均布压强 0.7 MPa,土工格栅铺设于第一层与第二层之间。

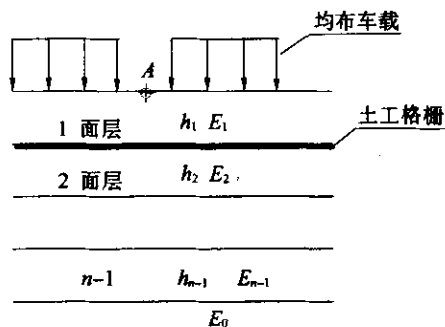


图 1 土工格栅加筋沥青混凝土路面结构

对于土工格栅加筋沥青混凝土路面结构进行结构优化,首先应建立合理的优化模型,有了合理优化模型,才能进行结构优化设计。在此,根据优化设计原理建立优化设计模型,其三要素即设计变量、约束条件和目标函数可描述如下。

2.1 设计变量

以路面结构各层的厚度 h_i 及代表格栅类型的模量 E 为设计变量。

2.2 约束条件

在结构优化设计中约束条件反映了有关规范、设计规程、构造和施工等方面的要求。一般路面结构优化都是以路面设计基本原理为基础,即在多层弹性体系的基础上,通过建立路面厚度、材料参数与路面结构的应力、变形之间的函数关系,再根据有关规范建立设计变量与约束之间的关系,然后对问题进行求解。根据现行路面设计规范有关规定,可以确定沥青混凝土路面结构优化的约束条件。

第一、双轮组轮隙中心处 A 的路表设计弯沉为路面结构整体刚度的设计指标,则相应的约束为:

$$l_A \leq [l]$$

式中: l_A 为 A 点的弯沉; $[l]$ 为路表设计弯沉。

第二、对沥青混凝土层和半刚性基层应符合层底拉应力要求,则相应的约束为:

$$\sigma_{i\max} \leq [\sigma_i]$$

式中: $\sigma_{i\max}$ 、 $[\sigma_i]$ 分别为沥青混凝土层或半刚性

基层的最大拉应力和容许应力。

第三、各层厚度 h_i 应考虑等级、气候、材料、施工难易的要求,满足各类材料的最小施工厚度,则相应的约束为: $h_{i\min} \leq h_i \leq h_{i\max}$ 。

第四、对于季节性冰冻地区还应考虑最小防冻厚度的要求,则相应的约束为:

$$H \geq H_{\min}$$

式中: H 为路面结构的总厚度; H_{\min} 为最小防冻厚度。

此外,格栅不应被拉断,其所受的拉应力作为强度约束: $\sigma \leq [\sigma]$ 。

同时应选择合适的格栅类型,故应限制格栅的模量: $E_{\min} \leq E \leq E_{\max}$ 。

2.3 目标函数

目标函数一般考虑初期建设投资,则目标函数只与路面结构层的厚度和其单位面积单位厚度的造价有关,即:

$$\min f = \sum_{i=1}^{n-1} c_i h_i$$

式中: h_i 为路面结构层的厚度; c_i 为路面结构各层的造价。

当然公路建设是一个长期的投资,所有费用除初期建设费用外,还应考虑养护费用、改建费用、运营费用等后期投资甚至交通安全费用、社会经济效应等。但在考虑后期费用时,有关路面使用性能的预估和评价、用路者费用的计算等问题,目前很难可靠计算,故把初期的建设费用作为目标函数。

3 土工格栅加筋沥青混凝土路面结构优化问题的求解

由于弯沉、最大拉应力等是设计变量的隐函数,对于这样的非线性规划问题,现有的研究大都利用多层弹性体系计算程序的结果拟合简化公式,然后采用网络法进行搜索,或采用遗传算法等非数值优化算法进行,优化效率较低。上述优化的隐函数问题的关键是约束的显式化,可采用响应面方法得到逼近程度较好的近似显式。响应面法是试验设计与数理统计相结合的优化方法。首先给定初始试验设计点,分别对这些点进行仿真运行,产生与各设计试验点的仿真输出响应,利用最小二乘法将这些响应拟

合成响应面,在响应面的最大梯度方向上寻优,对回归函数进行优化,得到该响应面上的最优解。然后以该点为中心再做试验设计,得到新的试验点。重复进行,直到满足终止条件。

4 结语

目前,土工格栅在道路工程中还处于应用研究阶段,缺乏足够的理论分析,尤其是路面结构优化还处于低层次阶段。加筋沥青混凝土路面的力学分析并进行路面结构优化有着重要的现实意义,针对本文提出的土工格栅加筋沥青混凝土路面的优化模型可进行深入研究,寻求合理有效的求解方法以进行路面结构的优化设计。

参考文献:

- [1] 郑健龙,周志刚,张起森. 沥青路面抗裂设计理论与方法[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 周志刚,郑健龙. 公路土工合成材料设计原理及工程应用[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 隋允康. 建模、变换、优化—结构综合方法新进展[M]. 大连:大连理工大学出版社,1996.
- [4] Mamlouk M S, Zaniewski J P, He W. Analysis and Design Optimization of Flexible Pavement[J]. Journal of Transportation Engineering, 2000, 126(2).
- [5] Khaled A, Abaza P E. Optimum Flexible Pavement Life-Cycle Analysis Model [J]. Journal of Transportation Engineering, 2002, 128(6).
- [6] Hadi M N S, Arfiadi Y. Optimum Rigid Pavement Design By Genetic Algorithms [J]. Computers and Structures, 2001, 79.
- [7] 张起森,查旭东. 沥青路面结构的可靠度优化设计[J]. 中国公路学报, 1996, 9(4).
- [8] 赵延庆. 沥青路面系统可靠性优化设计方法研究[J]. 中国公路学报, 1997, 10(3).
- [9] 孙治军,戴经梁. 沥青路面结构优化设计方法研究[J]. 西安公路交通大学学报, 1997, 17(2).
- [10] 叶国铮. 柔性路面疲劳与优化设计[M]. 北京:人民交通出版社, 1989.
- [11] 胡霞光,田莉,王秉刚. 沥青路面结构遗传算法研究[J]. 重庆交通学院学报, 2002, 21(3).
- [12] 王后裕. 重载沥青路面结构三维非线性数值分析及工程优化研究[D]. 重庆:重庆大学, 2001.