

# 新规范下“路面结构设计”教学大纲 实时改革研究

宋云连,林敏,胡兵

(内蒙古工业大学 土木工程学院,内蒙古 呼和浩特 010051)

**摘要:**文章为了适应新编规范的要求,根据专业建设目的和学校教学大纲文件的规定,修改了路基路面工程课程现有教学大纲:增加了沥青路面结构设计章节中多层体系换算的授课内容;对水泥混凝土路面结构设计章节的内容全部按新规范进行了替换;增加了路面章节中的习题课;重新编写了基于新规范的课程多媒体课件。此次课程的教学改革有利于完善教学大纲,提高教学质量,使学生及时掌握最新知识。

**关键词:**路面结构设计;教学大纲;教学改革

**中图分类号:**G642.0

**文献标志码:**A

**文章编号:**1005-2909(2013)02-0098-05

路基路面工程是土木工程(交通土建)专业和交通工程专业实践性很强的主要专业课之一,对培养道路工程应用型人才起重要作用。课程主要研究路基路面的基本概念、设计原理、计算方法和施工管理技术等内容。由于公路工程技术的不断发展,交通部在1995年后陆续颁布了《公路路基设计规范》(1995年)、《公路路基施工技术规范》(1995年)、《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》(1996年)、《公路排水设计规范》(1996年)、《公路沥青路面设计规范》(2006年)、《公路改性沥青路面施工技术规范》(1998年)、《水泥混凝土路面设计规范》(2011年)等。但是,全国多数高校所用的路基路面工程教材的出版跟不上规范更新的步法,规范中的新内容在教科书中没有及时更新,这就给正常的授课带来较大困难。如果完全依照现有教材讲解,有些内容已经在道路工程实际设计或使用中不再适用,这样的教学会对学生形成一种误导。如果按照新出版规范授课,无论学生还是教师,都没有可作为授课的合适教材,这就给课堂教学带来极大困难。为此也有一些学者对这方面的教学内容进行了探讨和研究<sup>[1-2]</sup>。

基于上述原因,针对新旧规范的不同之处,结合课程对应的不同授课学时要求和教育部关于土木工程专业建设的要求<sup>[3]</sup>,对2009版路基路面工程课程教学大纲<sup>[4]</sup>进行了修改。重点是教学内容的增减、教学方法的改变、作业布置方案的变化、习题课的增加等。根据沥青路面结构设计和水泥路面结构设计的新规

收稿日期:2012-09-26

基金项目:内蒙古自治区精品课程“路基路面工程”建设;路基路面课程体系的教学改革研究(2011031)

作者简介:宋云连(1972-),女,内蒙古工业大学土木工程学院教授,主要从事路基工程和路面工程研究,  
(E-mail) syllsj@imut.edu.cn。

范<sup>[5-6]</sup>,重点介绍新规范中主要的修改内容,包括设计理论和设计方法,讲解现行沥青和水泥路面结构设计分析的详细计算过程。通过对比论述,提醒学生注意新规范的修改之处对实际工程中道路设计结果的影响。根据上述修改内容,基于实际工程结构资料,编写了多个适用的算例,方便学生学习使用。

## 一、基于新规范下教学内容的修改和增补

### (一) 沥青路面设计章节教学内容的修改增补

#### 1. 新规范中修改内容简介

较上一版规范(JTJ 014—97)《公路沥青路面设计规范》,新规范<sup>[5]</sup>中新增内容主要表现在:

(1) 强调按实际情况做好交通荷载分析与预测,按照全寿命周期成本的理念进行路面设计。

(2) 采取防止早期损坏的技术措施,加强材料、混合料和路面结构组合设计的要求,增加柔性基层、贫混凝土基层等设计内容。

(3) 细化半刚性基层混合料级配类型,调整集料级配范围,补充了二灰稳定集料抗冻性设计要求。

(4) 路面厚度计算方法在参数取值和旧路补强公式上有所改进。

(5) 增加了旧水泥混凝土路面加铺沥青层设计内容。

(6) 补充了水泥混凝土桥面沥青铺装设计内容。

#### 2. 多层体系路面结构向三层体系转换

由于最新规范的设计计算是基于配套出版或其他正式出版的路面结构设计软件(如 HPDS2011)而进行设计计算的,如果没有这些软件,路面结构设计就无从下手。换句话说,最新规范中在已知某些路面结构设计参数(如交通量、道路等级、设计年限、各层路面结构材料参数等)的基础上,只介绍了如何基于软件进行道路最终结构的调试和设计,没有介绍这些软件是基于哪些计算公式,如何对路面进行中间的计算和最后结果的选择。况且,最新出版的相关教材,也没有再介绍如何利用手算方法进行多层路面结构的设计和计算。另外,以学校目前的教学条件,在授课过程中,还不能做到所有学生均配备计算机,加上软件计算的中间过程学生不熟悉,无法更深层次地理解多层路面结构的理论设计过程,即使课程学习结束,对沥青路面结构的设计也不会用手

算。针对这些情况,笔者在最近几年的授课中,为使学生会用手算方法进行沥青路面结构的设计计算,加深对沥青路面结构设计理论和具体计算方法的理解,增加了多层体系向三层体系的转换方法讲解,这也是目前沥青路面结构设计软件中采用的中间计算方法。

在进行多层体系向三层体系的转换中,需要查阅一些诺模图,为此,课题组将这些诺模图整理后上传至学校教务处的精品课程网站上,作为结构设计计算的辅助资料供学生自由下载和打印。根据计算目的的不同,三层体系转换的计算公式也不尽相同,大致有以下几类。

(1) 弯沉等效换算法:结合已知的三层体系弯沉诺模图,将多层体系路面结构按照面层顶面弯沉相等的原则换算为三层体系,如图 1 所示。对应的具体换算公式为

$$H = \sum_{i=2}^{n-1} h_i \sqrt[2.4]{\frac{E_i}{E_2}}$$

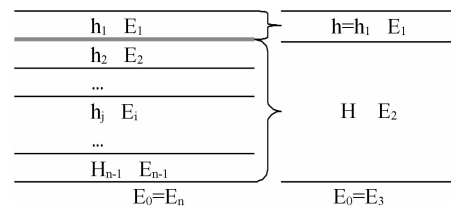


图 1 等效路表弯沉的结构层换算图示

(2) 弯拉应力等效换算法:结合已知的三层体系弯拉应力系列诺模图,将多层体系按照各层弯拉应力相等的原则换算为三层体系。这里所说的上层是指换算为三层体系之后的上层,如图 2 所示。

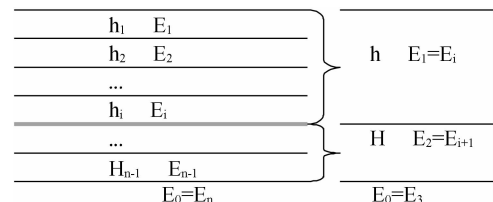


图 2 计算上层底面弯拉应力等效换算图示

即当计算第*i*层底面弯拉应力时,需将该层以上换算为模量 $E_i$ ,厚度 $h$ 的一层即所谓三层体系的上层,对应的具体换算公式为

$$h = \sum_{k=1}^i h_k \sqrt[4]{\frac{E_k}{E_i}}$$

将  $i+1$  层至  $n-1$  层换算为模量  $E_{i+1}$ , 厚度  $H$  的一层即为三层体系的中层, 换算公式为

$$H = \sum_{k=i+1}^{n-1} h_k \sqrt[0.9]{\frac{E_k}{E_{i+1}}}$$

(二) 水泥路面设计章节教学内容的修改增补

### 1. 新规范中修改内容

较前一版规范相比, 新规范<sup>[6]</sup>中新增内容有:

(1) 混凝土板极限断裂的验算标准和贫混凝土及碾压混凝土基层的疲劳断裂设计标准。

(2) 考虑特重车辆和专用道路结构设计, 增加了极重交通荷载等级。

(3) 改进接缝设计及填缝材料的选型。

(4) 完善连续配筋的裂缝间距和裂缝宽度两个设计指标的计算公式。

(5) 提高混凝土板错台量和接缝传荷能力的评级标准。

(6) 完善材料设计参数经验参考值。

由于最新规范在 2011 年 12 月才出版, 较上一版规范改动量非常大, 尤其是在水泥路面结构设计过程中所用公式与前一版规范完全不同, 现有教材水泥路面结构设计章节的计算公式全部不再适用, 而且目前还未见针对最新规范出版相应的教材, 这就造成已有教材的水泥路面结构设计章节与新规范不符, 不能继续讲授。在这种情况下, 作为一线授课教师, 必须提前给学生准备补充讲义, 并且在课堂教学中把最新规范的设计理念和计算公式讲授给学生。另外, 新规范的设计计算是基于规范配套出版或其他正式出版的路面结构设计软件(如 HPDS2011) 而进行设计计算的, 不便于学生熟练掌握和运用。为此, 从 2012 年开始, 针对水泥路面结构设计章节, 笔者重新编写了教案、讲义、课程课件, 以及作业习题等授课资料。

### 2. 新规范下水泥路面结构应力计算

由于规范中规定的水泥混凝土路面结构设计理论是采用设计验算法, 根据已知的交通量、道路等级、地区区划, 以及建筑材料等资料, 初步拟定待设计结构组合, 然后对该结构进行荷载应力和疲劳应力的分析计算, 最后利用可靠度系数对结构进行应力的校核。新规范中突出的一点是除了上述验算之

外, 还增加了道路最大荷载作用下结构的应力校核计算。新规范中对应水泥路面结构设计时的应力计算方法如下<sup>[6]</sup>。

(1) 荷载应力。设计轴载在临界荷位处产生的荷载疲劳应力  $\sigma_{pr} = k_r k_f k_c \sigma_{ps}$ 。

最重轴载在临界荷位处产生的最大荷载应力  $\sigma_{p,max} = k_r k_c \sigma_{pm}$ 。

其中,  $\sigma_{pm}$  为最重荷载在四边自由板临界荷位处产生的混凝土板的最大荷载应力。

$k_r$  为考虑接缝传荷能力应力折减系数, 纵缝为设拉杆平缝时,  $k_r = 0.87 \sim 0.92$  (刚性和半刚性基层取低值, 柔性基层取高值); 纵缝为设拉杆企口缝时,  $k_r = 0.76 \sim 0.84$ ; 纵缝为不设拉杆平缝或自由边时  $k_r = 1.0$ 。

$k_c$  为考虑偏载和动载等因素对路面疲劳损坏影响的综合系数, 按公路等级查表 16-24 确定。

$k_f = N_c^v$  为考虑设计基准期内荷载应力累计疲劳作用的疲劳应力系数。

特别的, 设计轴载  $P_s$  和最重轴载  $P_m$  在四边自由板临界荷位处产生的荷载应力 (MPa) 为:

$$\sigma_{ps} = 1.47 \times 10^{-3} r^{0.70} h_c^{-2} P_s^{0.94},$$

$$\sigma_{pm} = 1.47 \times 10^{-3} r^{0.70} h_c^{-2} P_m^{0.94},$$

$$\text{式中: } r = 1.21 \left( \frac{D_c}{E_t} \right)^{1/3}, \text{ 其中 } D_c = \frac{E_c h_c^3}{12(1 - \nu_c^2)}。$$

$r$  为混凝土板的相对刚度半径 (m);  $D_c$  为混凝土板的截面弯曲刚度 (MN·m);  $E_t$  为板地基当量回弹模量 (MPa);  $E_c, h_c, \nu_c$  分别指混凝土面层板的弯拉弹性模量 (MPa)、厚度 (m) 和泊松比。

(2) 温度应力。在临界荷位处的温度疲劳应力  $\sigma_{tr}$  (MPa) 按下式确定:

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{t,max}$$

$$\text{式中: } k_t = \frac{f_r}{\sigma_{t,max}} \left[ a_t \left( \frac{\sigma_{t,max}}{f_r} \right)^{b_t} - c_t \right]$$

是考虑温度应力累计疲劳作用的疲劳应力系数;  $\sigma_{t,max} = \frac{\alpha_c E_c h T_g}{2} B_L$ , 是最大温度梯度时面层板产生的最大温度应力;  $B_L = 1.77 e^{-4.48 h_c} C_L - 0.131(1 - C_L)$ , 如果

令  $t = \frac{L}{3r}$ , 则  $C_L = 1 - \frac{\sinh t \csc t + \cosh t \sin t}{\csc t \sinh t + \cosh t \sinh t}$ ; 回归系数  $a_t, b_t$  和  $c_t$  按所在地区的公路自然区划查表 1。

表1 回归系数  $a_i, b_i$  和  $c_i$ 

系数	公路自然区划					
	II	III	IV	V	VI	VII
$a_i$	0.828	0.855	0.841	0.871	0.837	0.834
$b_i$	1.323	1.355	1.323	1.287	1.382	1.270
$c_i$	0.041	0.041	0.058	0.071	0.038	0.052

(3) 极限状态的校核。水泥混凝土路面“单层板”结构设计中,根据水泥路面结构设计的一些已知参数,查阅规范中相应的表格,选定待设计路面结构的可靠度系数,以及路面材料的弯拉强度标准值  $f_r$ , 在上面荷载应力和温度应力计算的基础上,最后利用  $\gamma_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r, \gamma_r(\sigma_{p,max} + \sigma_{t,max}) \leq f_r$  进行校核。如果满足,说明前面拟定的水泥路面结构满足荷载和温度对它的综合作用效果;否则对已拟定的水泥路面结构各层进行重新拟定,并重复上述步骤进行计算。

关于水泥混凝土路面弹性地基“双层板”“复合板”“有沥青上面层”的水泥混凝土板的荷载应力和温度应力,以及“加筋”水泥混凝土路面结构设计详见最新规范。

## 二、教材选用和教学大纲的修改

### (一) 教材的选用

土木工程专业和交通工程专业培养方案中,都有路基路面工程这门课,分别为 56 和 42 学时。前几年采用同济大学出版社出版的教材<sup>[7]</sup>,沥青路面结构设计新规范出版后,全国陆续出版了基于新规范编写的教材,故两年前已经更换为人民交通出版社出版的教材<sup>[8]</sup>。但由于 JTG D40—2011《公路水泥混凝土路面设计规范》在 2011 年底才出版,目前使用的教材在水泥路面结构设计章节也还是旧的内容,为此,笔者负责编写了补充讲义,作为这部分教学内容的补充教材使用,使学生在校学习期间便能够学到最新的技术规范、标准和先进的科技知识,实现了教学内容与科技进步、行业技术规范的紧密结合。

### (二) 教学大纲的调整

由于上述教学内容的增加和补充,致使 2009 年补充制定的路基路面工程课程教学大纲<sup>[3]</sup>与目前实际教学要求不符,为此将上述沥青路面结构设计时涉及的多层体系换算教学内容增加到教学大纲中,

约 2 学时。考虑土木工程专业已提前开设弹性力学课程,讲解了多层体系的理论分析内容,因此,在满足沥青路面设计章节总学时不变的前提下,在路基路面工程授课中减少了 2 学时路面结构弹性多层体系理论分析的授课内容。

对水泥混凝土路面结构设计章节,由于新规范中的设计理论基本没变,只是对应的计算公式发生了变化,故将原来的授课内容进行相应的替换即可,授课学时基本不变。

另外,由于新规范出版后路面结构设计内容和计算项目的增加,原来教学大纲中的习题课学时(4 学时)已经不能满足授课需求。为了增加习题课授课学时,针对土木工程专业和交通工程专业的学生,从 2010 年开始另外增开了 32 学时的路基路面检测选修课,其中有一部分试验教学内容和路基路面工程课程类似,经学科组讨论决定,将原来课程中试验部分的授课学时(约 4 学时左右)减少 2 学时,用于增加沥青和水泥路面结构设计的习题课学时。

## 三、结语

根据教育部下发的有关普通高等学校本科专业建设的要求和内蒙古工业大学教学大纲文件中关于课程建设的要求,课题组对最新出版规范进行研究。经过学院教学委员会的同意,对路基路面工程课程的授课内容和教学大纲作了部分修改和调整,涉及的内容有以下 4 点:

(1) 增加了沥青路面结构设计章节中多层体系换算的授课教学计划,对应地减少了路面结构弹性多层体系理论分析的授课学时。

(2) 根据最新规范,对水泥混凝土路面结构设计章节的内容全部进行替换。

(3) 增加路面结构设计章节中的习题课授课内容,同时减少路基路面工程课程中试验方面的授课学时。

(4) 针对上述修改内容,编写了课程的多媒体课件,具体修改、制定了 2009 版教学大纲和对应的教学计划。

另外,还将已经购买的正版 HPDS2006 路面设计软件升级到 HPDS2011,方便按最新规范进行演示教学。在 2009 级学生的实践和调查回访中,学生普

遍反映教学效果良好,说明基于最新出版规范,对路基路面工程课程教学内容的改革有利于提高教学质量。

#### 参考文献:

- [1] 宋高嵩,张春萍,王剑英.路基路面工程课程教学改革探讨[J].哈尔滨学院学报,2002,23(8):152-153.
- [2] 马培建,朱亚光.土木工程专业路基路面课程教学内容及方法探讨[J].高等建筑教育,2003,12(3):41-43.
- [3] 内蒙古工业大学理论课教学大纲(土木工程学院道交系部分)[Z].2009.
- [4] 教育部高等教育司.普通高等学校本科专业目录和业介绍[M].北京:高等教育出版社,1998.
- [5] 中华人民共和国交通部.JTG D5—2006 沥青混凝土路面设计规范[S].北京:人民交通出版社,2006.
- [6] 中华人民共和国交通部.JTG D40—2011 公路水泥混凝土路面设计规范[S].北京:人民交通出版社,2011.
- [7] 陆鼎中,陈家驹.路基路面工程[M].上海:同济大学出版社,2006.
- [8] 邓学均.路基路面工程[M].3版.北京:人民交通出版社,2009.

## Research on the timely innovation of teaching program for pavement structural design based on the new specification

SONG Yunlian, LIN Min, HU Bing

(Civil Engineering Institute, Inner Mongolia University of Technology, Huhhot 010051, P. R. China)

**Abstract:** On the basis of the aim of subject construction and the rule of teaching program file published by university, the teaching program of the curricula subgrade and pavement engineering is modified based on the new specification in this article. The contents modified are as follows: the teaching contents, about the multilayer system of asphalt pavement structure is turned into three layer system, is added into the chapter of asphalt pavement structure design; the teaching contents of the cement pavement structure is replaced with new contents in the new specification of cement pavement structure design; the exercises teaching contents and its class period of pavement structure design is added; the teaching courseware of the pavement engineering curricula based on the new specifications is compiled. This teaching reform about subgrade and pavement engineering can help to perfect the teaching program, improve the teaching quality, and make the students master the newest knowledge in time.

**Keywords:** pavement structure design; teaching program; teaching reform

(编辑 周沫)