

# 新旧规范中普通混凝土面板厚度设计方法对比

陈小兵,丁建明,黄晓明

(东南大学交通学院,江苏南京 210096)

**摘 要:**首先叙述了新旧《公路水泥混凝土路面设计规范》中普通混凝土面板厚度设计的基本原理,在此基础上分别介绍了该两种版本规范中关于普通混凝土面板厚度设计的计算方法。通过实例对两种规范计算方法进行对比分析,初步得出其异同点。

**关键词:**新旧规范;普通混凝土面板;厚度;设计;对比

**中图分类号:**U416.02 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2005)01-0032-04

## 1 前言

进入 20 世纪 80 年代中期,以京津塘高速公路建设为契机,我国开始进入高速公路建设的新时期,由于沥青路面上行车舒适、噪音小、沥青路面的养护和使用性能的恢复较容易等优点,沥青混凝土路面得到大面积的使用。但是,水泥混凝土路面在中国具有得天独厚的资源优势 and 拉动当地经济可持续发展的优势,特别是在即将大规模展开的县乡公路建设中,同时面临着高速发展的机遇。与沥青相比,我国水泥的资源及供应状况非常充裕,无需进口。按中国建筑材料科学研究院的统计,我国目前拥有 11000 多家水泥厂,2002 年生产水泥的总产量为 6.5 亿吨,连续十多年产量居世界第一。近年来,我国水泥价格不仅没有涨价,而且略有降低,水泥混凝土路面的发展前景十分广阔。因此,我们有必要重视与加强水泥混凝土路面的建设。

我国于 2003 年 6 月 1 日起已实施新的《公路水泥混凝土路面设计规范》(以下简称“新规范”),与 1994 年 12 月 1 日实施的规范(以下简称“旧规范”)相比,在很多方面有了很大的改进。其中,关于普通混凝土面板厚度的设计方法便是其中的一个。本文分别对新老水泥混凝土设计规范中普通混凝土面板厚度计算方法进行研究,分析了两种设计方法的计算过程和异同点,便于工程技术人员更好地了解新规范中的设计方法。

## 2 基本原理

普通水泥混凝土面板厚度设计方法选用板边缘

中点作为临界荷位,以弹性半空间地基上的薄板理论为基础,在此基础上运用有限元法计算标准轴载在该处产生的最大荷载应力,并将荷载疲劳应力与温度疲劳应力结合后与混凝土的设计弯拉强度进行比较,从而判断面板厚度是否合理。

## 3 旧规范中的经验设计法

### 3.1 设计原理

旧规范中检验疲劳断裂的结构设计方法,是建立在弹性地基板理论和疲劳方程的基础上。借助于有限元分析方法,可以对各种荷载、温度和结构条件下的结构反应进行分析。

### 3.2 混凝土路面结构设计

结构设计标准为控制由荷载应力和温度应力综合疲劳作用所产生的疲劳断裂。此标准可表述为:

$$\sigma_p + \sigma_t = (0.95 \sim 1.03) f_{cm} \quad (1)$$

式中: $\sigma_p$  为标准荷载  $P_s$  在临界荷位处产生的荷载疲劳应力,MPa; $\sigma_t$  为温度梯度作用在板边缘中点处产生的温度疲劳应力,MPa; $f_{cm}$  为混凝土设计弯拉强度,MPa。

#### 3.2.1 荷载疲劳应力计算

标准荷载  $P_s$  在临界荷位处产生的荷载疲劳应力计算式为:

$$\sigma_p = k_r k_f k_c \sigma_{ps} \quad (2)$$

式中: $\sigma_{ps}$  为标准轴载  $P_s$  在临界荷位处产生的未考虑接缝传荷能力的荷载应力,MPa; $k_r$  为考虑接缝传荷能力的应力折减系数; $k_f$  为考虑设计使用年限内荷载应力累计疲劳作用的疲劳应力系数; $k_c$  为考虑超载和动载等因素对路面疲劳损坏的综合影响系数。

#### 3.2.2 温度疲劳应力计算

(1) 温度梯度作用在板边缘中点处产生的温度

收稿日期:2004-02-19

作者简介:陈小兵(1973—),男,江苏南通人,工程师,从事路基路面教学、科研、设计工作。



疲劳应力按下式计算:

$$\sigma_t = k_t \sigma_{tm} \quad (3)$$

式中:  $\sigma_t$  为温度梯度作用在板边缘中点处产生的温度疲劳应力, MPa;  $\sigma_{tm}$  为最大温度梯度时混凝土板的温度应力, MPa;  $k_t$  为考虑温度应力累计疲劳作用的疲劳应力系数。

(2) 最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力按下式计算:

$$\sigma_{tm} = \frac{\alpha_c E_c h T_g}{2} k_x \quad (4)$$

式中:  $\sigma_{tm}$  为最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力, MPa;  $\alpha_c$  为混凝土的线膨胀系数 ( $1/^\circ\text{C}$ ), 通常可取为  $1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ;  $T_g$  为最大温度梯度,  $^\circ\text{C}/\text{cm}$ ;  $k_x$  为考虑温度沿板厚非线性分布的温度应力系数。

### 3.2.3 混凝土板厚度计算流程

(1) 首先, 根据相关的设计依据, 参照水泥混凝土面层厚度建议范围, 依据交通等级等初选混凝土面板厚度;

(2) 确定混凝土弹性模量  $E_c$  和基层顶面计算回弹模量  $E_{tc}$ ;

(3) 分别求出荷载疲劳应力  $\sigma_p$  和温度疲劳应力  $\sigma_t$ ;

(4) 当两者之和介于混凝土设计弯拉强度  $f_{cm}$  的 95% 与 103% 之间时, 则初估板厚可以作为设计板厚;

(5) 否则, 改选混凝土板初估厚度, 或改变板的平面尺寸, 重新计算, 直到满足上述要求为止。

### 3.3 计算方法分析

由于实际结构状况及影响因素的复杂性, 旧规范在力学图式和计算参数方面仍需作简化的近似假设, 从而使分析结果在一定程度上偏离事实。疲劳方程是以室内疲劳试验结果为基础建立的, 其疲劳断裂的机理同混凝土面板断裂的实际演变过程也有相当大的差别。因而在这两项设计方法的基本依托方面还有待进一步探讨和改进。

## 4 新规范中的可靠度设计法

### 4.1 设计原理

#### 4.1.1 可靠度

路面结构在规定的时间内和规定的条件下完成预定功能的概率。

#### 4.1.2 路面结构可靠度

在规定的时间内, 在规定的条件下, 路面使用性能满足预定水平要求的概率。

#### 4.1.3 混凝土路面结构可靠度

在规定的基准期内, 在规定的交通和环境条件下, 行车荷载疲劳应力和温度梯度疲劳应力的总和不超过混凝土弯拉强度的概率。

### 4.2 混凝土路面结构设计

结构设计以行车荷载和温度梯度综合作用产生的疲劳断裂作为设计的极限状态, 其表达式为:

$$\gamma_r (\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r \quad (5)$$

式中:  $\gamma_r$  为可靠度系数;  $\sigma_{pr}$  为行车荷载疲劳应力, MPa;  $\sigma_{tr}$  为温度梯度疲劳应力, MPa;  $f_r$  为水泥混凝土弯拉强度标准值, MPa。

#### 4.2.1 荷载疲劳应力计算

标准荷载  $P_s$  在临界荷位处产生的荷载疲劳应力计算式为:

$$\sigma_{pr} = k_r k_t k_c \sigma_{ps} \quad (6)$$

式中:  $\sigma_{pr}$  为标准轴载  $P_s$  在临界荷位处产生的荷载疲劳应力, MPa;  $\sigma_{ps}$  为标准轴载  $P_s$  在四边自由板的临界荷位处产生的荷载应力, MPa;  $k_r$  为考虑接缝传荷能力的应力折减系数;  $k_t$  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;  $k_c$  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。

#### 4.2.2 温度疲劳应力计算

(1) 在临界荷位处的温度疲劳应力分析由下式确定:

$$\sigma_{tr} = k_t \sigma_{tm} \quad (7)$$

式中:  $\sigma_{tr}$  为临界荷位处的温度疲劳应力, MPa;  $\sigma_{tm}$  为最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力, MPa;  $k_t$  为考虑温度应力累计作用次数的疲劳应力系数。

(2) 最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力按下式计算:

$$\sigma_{tm} = \frac{\alpha_c E_c h T_g}{2} B_x \quad (8)$$

式中:  $\sigma_{tm}$  为最大温度梯度时混凝土板的温度翘曲应力, MPa;  $\alpha_c$  为混凝土的线膨胀系数 ( $1/^\circ\text{C}$ ), 通常可取为  $1 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ;  $T_g$  为最大温度梯度,  $^\circ\text{C}/\text{m}$ ;  $B_x$  为综合温度翘曲应力和内应力作用的温度应力系数。

(3) 温度疲劳应力系数计算如下:

$$k_t = \frac{f_r}{\sigma_{tm}} \left[ \alpha \left( \frac{\sigma_{tm}}{f_r} \right)^c - b \right] \quad (9)$$

式中:  $a$ 、 $b$  和  $c$  为回归系数, 按所在地区的公路自然区划查表确定。



4.3 混凝土板厚度计算流程

- (1)首先,根据相关的设计依据,参照水泥混凝土面层厚度建议范围,依据交通等级、公路等级和所选变异水平等级初选混凝土板厚度。
- (2)分别计算荷载疲劳应力和温度疲劳应力。
- (3)当荷载疲劳应力同温度疲劳应力之和与可靠度系数的乘积小于且接近于混凝土弯拉强度标准值时,则初选厚度可作为混凝土板的计算厚度。
- (4)否则,改选混凝土板厚度,重新计算,直到满足为止。

5 计算示例与结果分析

下面以新规范附录 B.3 的计算示例为例,分别采用旧规范、新规范的方法计算普通混凝土面板厚度。题目为:公路自然区划Ⅱ区拟新建一条二级公路,路基为粘质土,采用普通混凝土路面,路面宽 9 m。经交通调查得知,设计车道使用初期标准轴载日作用次数为 2 100。设计基准期为 20 年,临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数取 0.39,交通量年平均增长率为 5%,设计基准期内设计车道标准轴载累计作用次数为  $9.885 \times 10^6$  次。

初拟路面结构为普通混凝土面层 0.22 m;基层选用水泥稳定粒料(水泥用量 5%),厚 0.18 m;垫层为 0.15 m 低剂量无机结合料稳定土。普通混凝土板的平面尺寸为宽 4.5 m;长 5.0 m;纵缝为设拉杆平缝,横缝为设传力杆的假缝。普通水泥混凝土面层弯拉强度为 5.0 MPa。

5.1 旧规范方法厚度设计

采用旧规范方法计算时,路面各结构层材料参数根据规范要求取值见表 1。

表 1 各结构层材料参数

结构层号	结构类型	厚度(cm)	回弹模量(MPa)	备注
1	水泥混凝土板	20、22、24	30 000	
2	水泥稳定粒料	18	600	
3	低剂量无机结合料稳定土	15	400	
4	路基		30	

分别对不同厚度混凝土板进行计算,计算结果见表 2。

表 2 不同厚度混凝土板计算结果

混凝土面板厚度(cm)	荷载疲劳应力(MPa)	温度疲劳应力(MPa)	应力组合(MPa)	规范要求范围(MPa)	结果判断
20	4.410	1.462	5.872	4.75~5.15	不满足要求
22	3.883	1.425	5.308	4.75~5.15	不满足要求
24	3.500	1.283	4.783	4.75~5.15	满足要求

从表中计算结果可以看出,混凝土板需要 24

cm,才能满足规范要求。

5.2 新规范方法厚度设计

采用新规范方法计算时,路面各结构层材料参数根据规范要求取值见表 3。

表 3 各结构层材料参数

结构层号	结构类型	厚度(cm)	回弹模量(MPa)	备注
1	水泥混凝土板	22	31 000	比旧规范取值大
2	水泥稳定粒料	18	1 300	比旧规范取值大
3	低剂量无机结合料稳定土	15	600	比旧规范取值大
4	路基		30	

对 22 cm 厚混凝土板进行计算,计算结果见表 4。

表 4 22 cm 厚混凝土板计算结果

混凝土面板厚度(cm)	荷载疲劳应力(MPa)	温度疲劳应力(MPa)	可靠度系数	荷载组合(MPa)	规范要求(MPa)	结果判断
22	3.290	1.130	1.130	4.990	≤5.000	满足要求

从表 4 计算结果可以看出,当混凝土板厚度取 22 cm,即可满足规范要求。

5.3 两种方法的对比分析

(1)新规范以“概率极限状态设计法”取代原规范的“定值设计法”,即在度量路面结构可靠性上由经验方法转变为运用统计数学的方法。

(2)新规范与旧规范面板尺寸所采用的设计标准均为以行车荷载和温度梯度综合作用产生的疲劳断裂。

(3)新旧规范中都选取混凝土板的纵向边缘中部作为产生最大荷载和温度梯度综合疲劳损坏的临界荷位。

(4)旧规范中的疲劳方程是以室内梁试件疲劳试验结果为基础建立的,其疲劳断裂的机理同混凝土面板断裂的实际演变过程有很大的差别。

(5)新旧规范中疲劳标准的表示方法不同。

(6)旧规范中按使用初期设计车道每日通过的标准轴载作用次数  $N_s$  分为四级。新规范中按设计基准期内设计车道所承受的标准轴载累计作用次数  $N_e$  分为 4 级。更能反映设计基准期内交通量的整体情况,使设计面板的厚度更符合工程实际。

(7)荷载疲劳应力计算中,旧规范的基层顶面当量回弹模量计算方法,是依据双层弹性体系公式和图表提出的。新规范直接采用三层弹性体系程序进行计算,并对路床上的基层和底基层或垫层结构,依据等弯曲刚度的原则换算为回弹模量和厚度当量的单层结构后,按双层体系进行计算。

(8)新旧规范中荷载疲劳应力系数  $K_f$  计算方法不同,新规范中计算值大于旧规范计算结果。



(9)温度疲劳应力计算中,旧规范对基层顶面当量回弹模量乘以 0.35 倍的模量修正系数作为基层顶面计算回弹模量。新规范中分别对面层混凝土的模量乘以 0.85 的系数,对基层顶面回弹模量乘以 0.70 的系数,以考虑材料在温度应力作用下的蠕变效应,并将它们计入温度应力系数计算式和计算曲线中。

(10)旧规范中温度疲劳应力系数 K,采用列表的形式,查表时需插值。新规范改为列出计算公式,可以得到较为准确的系数值。

(11)新规范中增加了垫层和基层的类型、修改了垫层和基层回弹模量参考值,不再按照自然区划提供参考值。

(12)新规范中混凝土弯拉弹性模量值比旧规范中有所提高。

6 结论及建议

(1)新规范采用的“概率极限状态设计法”取代旧规范的“定值设计法”,从而使路面结构设计更为符合实际情况。

(2)新规范提高了混凝土的抗折强度,在工程实际中要重视混凝土配合比设计及原材料的选择。

(3)新规范中修改了垫层和基层材料的回弹模量,在具体工程中要结合实际情况确定垫层和基层的回弹模量取值。

《城市道桥与防洪》投稿须知

为进一步提高期刊的质量与水平,并使其编排标准化、规范化,特对投稿者提出如下要求:

- 1. 来稿请署作者真实姓名、性别、出生年月、民族、籍贯、学位、工作单位、职务、职称、从事何项工作及详细通讯地址、邮编、电话。
- 2. 文章须写出摘要(200 字左右)、关键词(3~8 个),正文一般控制在 3000~4500 字左右。文章题目、摘要、关键词、作者单位,最好有英文译文。
- 3. 插图清晰,数量尽量少,写出图名,一般只要简单示意图,大小适当(少占版面);表中各种量及计量单位一定要填满。
- 4. 计量单位及表示符号一律按《中华人民共和国法定计量单位》规定,专业术语、各种物理量及参数等,使用现行的国家标准、行业标准和规范,且忌用多个字母构成一个量的符号。
- 5. 文章内容涉及到国家标准、行业标准、规范规程时,请注意:一定要用新标准、新规范、新规程。
- 6. 凡撰写工程技术总结的文章,望能提供 1~3 幅彩色工程照片。
- 7. 稿件文责由作者(第一作者)自负;对刊用稿件,本刊有权作文字性修改和删节,如不同意,请首先声明。不刊用的稿件,不退稿,请作者自行留底。
- 8. 本刊对具有专利证书或经成果鉴定确认为具有创新性成果(新材料、新设计、新工艺、新设备等)的文章,将予以优先发表并付给加倍稿酬。请作者在来稿中附上相关证书的复印件。
- 9. 本刊编辑部对在本刊登载后获得国家级或省部级奖项的或被国内外著名的数据库或检索期刊收录的文章给予一定的奖励。请作者在得到获奖或收录通知后,将有关证书复印件寄给本刊编辑部。
- 10. 因本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者若不同意将文章编入该数据库,请投稿时声明。

京沪高速铁路将采用轮轨技术方案

京沪高速铁路,究竟应采用磁悬浮还是高速轮轨技术,各方对此的争论已有数年。规划中的京沪高铁全长 1300 km,如果采用轮轨技术,行车速度可达 250~300 km/h,全程约需 4~5 h,总投资约 1300 亿元人民币;如果采用磁悬浮技术,行车速度能达 450~500 km/h,全程不到 3 h,耗资将高达 4000 亿元人民币。磁悬浮方案在技术上虽很先进,在上海运行情况也很好,但京沪铁路线路长,还要跨越很多河流,存在一定的技术风险。综上分析,最终采用轮轨技术方案。