

# 水泥混凝土路面基层顶面当量回弹模量的计算

文杨平

(邵阳学院城市建设学院, 湖南邵阳 422000)

**摘要:**在 94 水泥混凝土路面设计规范中, 基层顶面当量回弹模量  $E_t$  是通过查图确定的, 2002 年的规范对此作了改进, 但计算公式有 6 个, 计算过程更复杂烦琐。为此, 通过 2002 年规范提供的  $E_t$  计算公式, 计算了 1280+175+960 个实例, 根据基层的非线性特征, 用最小二乘法对计算结果进行回归, 得到 1 个  $E_t$  非线性回归方程。通过实例计算验证, 得到的这个  $E_t$  非线性回归方程完全能够满足水泥混凝土路面基层顶面当量回弹模量的计算要求。

**关键词:**水泥混凝土路面; 道路基层; 结构设计; 当量回弹模量; 非线性回归方程; 归一化

**中图分类号:** U416.02 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-7716(2006)02-0016-03

## 0 前言

1994 年水泥混凝土路面设计规范通过土基和基层材料的回弹模量, 查图确定新建路面基层顶面当量回弹模量  $E_t$ <sup>[1]</sup>, 尽管方法简单, 但很不方便。2002 年的规范对此作了改进, 但计算公式有 6 个<sup>[2]</sup>, 计算过程仍略嫌烦琐。

目前, 在公路水泥混凝土路面结构组合设计中, 较多地采用水泥稳定碎石、二灰土碎石等半刚性基层, 或沥青类柔性基层以及级配碎(砾)石等粒料垫层, 因而为水泥混凝土路面基层顶面当量回弹模量的分析计算缩小了范围。

半刚性基层材料、沥青类柔性基层材料具有非线性特征, 其顶面当量回弹模量同样具有非线性特征。这种非线性特征可以用以下类似规范  $E_t$  计算式<sup>[2]</sup>的回归公式形式来描述。

$$E_t = ah_1^b h_2^c E_1^d E_2^e E_0^f \quad (1)$$

式中:  $E_t$ ——基层顶面当量回弹模量

$E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_0$ ——分别为基层、垫层、土基的回弹模量

$h_1$ 、 $h_2$ ——分别为基层、垫层的厚度

$a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $f$ ——回归系数

本文通过把规范<sup>[2]</sup>提供的“新建公路的基层顶面当量回弹模量”6 个计算公式, 计算了 1280+175+960 个实例, 用最小二乘法<sup>[3]</sup>对计算结果进行回归, 分别得到一个半刚性基层、不设垫层的半刚性基层、沥青类柔性基层的回归方程。通过实例计算验证, 结果令人满意, 完全能够满足水泥混凝土路面设

计的工程要求, 从而将 6 个计算公式归化为一个计算公式, 使计算过程大为简化。

## 1 $E_t$ 与 $h_1$ 、 $E_1$ 的回归方程

在研究中, 试图将所有基层  $E_t$  的计算公式归化为一个计算式, 但计算实例检验误差较大, 有极少数误差超出 10%。为了提高回归精度, 将基层按半刚性基层、不设垫层的半刚性基层、沥青类柔性基层, 分别进行回归分析计算, 从而得到  $E_t$  与  $h_1$ 、 $E_1$  的回归方程。

### 1.1 设置垫层的半刚性基层 $E_t$ 与 $h_1$ 、 $E_1$ 的回归方程

#### 1.1.1 基层材料及计算参数取值

基层材料采用水泥稳定碎石、二灰土碎石等半刚性基层, 回弹模量  $E_1 = 1000 \sim 1900$  MPa, 厚度  $h_1 = 14 \sim 20$  cm。回归计算中,  $E_1$ 、 $h_1$  都取 4 个等级, 即 1000、1300、1600、1900 (MPa); 14、16、18、20 (cm)。

#### 1.1.2 垫层材料及计算参数取值

垫层材料采用级配碎(砾)石等粒料垫层, 回弹模量  $E_2 = 100 \sim 400$  MPa, 厚度  $h_2 = 14 \sim 20$  cm。回归计算中,  $E_2$ 、 $h_2$  都取 4 个等级, 即 100、200、300、400 (MPa); 14、16、18、20 (cm)。

#### 1.1.3 土基计算参数取值

土基回弹模量  $E_0 = 20 \sim 60$  MPa。回归计算中, 取 20、30、40、50、60 (MPa) 5 个等级。

#### 1.1.4 回归方程

将上述计算参数进行组合, 得到 1280 个计算实例, 将计算结果进行回归, 得到回归系数如表 1 所示。

于是得到回归方程:

收稿日期: 2005-04-20

作者简介: 文杨平(1965-), 男, 湖南邵阳人, 高级工程师, 副院长, 从事路基路面教学和科研工作。

$$E_r = 4.2353h_1^{0.5673}h_2^{0.1634}E_1^{0.2789}E_2^{0.1559}E_0^{0.5741} \quad (2)$$

表1 半刚性基层计算参数及回归计算结果表

计算参数				回归系数	
$E_1$	$h_1$	$E_2$	$h_2$	$E_0$	$a$
1000	14	100	14	20	$b=0.5675$
1300	16	200	16	30	$c=0.1634$
1600	18	300	18	40	$d=0.2789$
1900	20	400	20	50	$e=0.1559$
			60		$f=0.5741$

$$R=0.993$$

$$F=35464 > F(0.01, 5, 1274)=3.03$$

## 1.2 不设垫层的半刚性基层 $E_r$ 与 $h_1$ 、 $E_1$ 的回归方程

### 1.2.1 基层计算参数

$E_1$  取 5 个等级, 即 700、1000、1300、1600、1900 MPa;  $h_1$  取 7 个等级 10、12、14、16、18、20、22 cm。

### 1.2.2 土基回弹模量

$E_0$  取 20、30、40、50、60 MPa 5 个等级。

### 1.2.3 回归方程

将上述计算参数进行组合, 得到 175 个计算实例, 将计算结果进行回归, 得到回归系数如表 2 所示。

表2 不设垫层的半刚性基层  
计算参数及回归计算结果表

计算参数			回归系数	
$E_1$	$h_1$	$E_0$	$a$	$b$
700	0.10	20	$b=0.7803$	
1000	0.12	30	$c=0.3307$	
1300	0.14	40	$d=0.6729$	
1600	0.16	50		
1900	0.18	60		
	0.20			
	0.22			

$$R=0.998$$

$$F=23951 > F(0.01, 3, 171)=3.9$$

于是得到回归方程:

$$E_r = 4.1708 h_1^{0.7803} E_1^{0.3307} E_0^{0.6729} \quad (3)$$

## 1.2 沥青类柔性基层 $E_r$ 与 $h_1$ 、 $E_1$ 的回归方程

(1) 基层采用沥青碎石或沥青混凝土基层材料, 回弹模量  $E_1=600 \sim 1400$  MPa, 厚度  $h_1=4 \sim 10$  cm。回归计算中,  $E_1$  取 5 个等级, 即 600、800、1000、1200、1400(MPa);  $h_1$  取 4 个等级 4、6、8、10 (cm)。

(2) 底基层材料及计算参数取值:

底基层材料采用水泥稳定碎石、二灰土碎石等, 回弹模量  $E_2=1000 \sim 1900$  (MPa), 厚度  $h_2=14 \sim 20$  (cm)。回归计算中,  $E_2$ 、 $h_2$  都取 4 个等级, 即 1000、1300、1600、1900(MPa); 14、16、18、20(cm)。

(3) 土基计算参数取值:

土基回弹模量  $E_0=30 \sim 50$  MPa。回归计算

中, 取 30、40、50(MPa) 3 个等级。

(4) 回归方程:

将上述计算参数进行组合, 得到 960 个计算实例, 将计算结果进行回归, 得到回归系数如表 3 所示。

表3 柔性基层计算参数及回归计算结果表

计算参数				回归系数	
$E_1$	$h_1$	$E_2$	$h_2$	$E_0$	$a$
600	4	1000	14	30	$b=0.1925$
800	6	1300	16	40	$c=0.5878$
1000	8	1600	18	50	$d=0.1253$
1200	10	1900	20		$e=0.2427$
1400					$f=0.6324$

$$R=0.994$$

$$F=29653 > F(0.01, 5, 954)=3.04$$

于是得到回归方程:

$$E_r = 5.8236 h_1^{0.1925} h_2^{0.5878} E_1^{0.1253} E_2^{0.2427} E_0^{0.6324} \quad (4)$$

## 2 回归结果分析及实例验证

### 2.1 $E_r$ 的精度范围

规范<sup>[2]</sup>中  $E_r$  的精度范围体现在  $\sigma_p$  的计算中。

$$\sigma_p = 0.077 \gamma^{0.60} h^{-2}$$

$$= 0.077 \left[ 0.537 h \left( \frac{E_r}{E_1} \right)^{1/3} \right]^{0.60} h^{-2}$$

$$= 0.053 h^{-1.4} \left( \frac{E_r}{E_1} \right)^{0.2}$$

从上式可以得到, 当  $E_r$  的误差在 1%、2%、3%、4%、5% 时,  $\sigma_p$  的误差分别为 0.002、0.004、0.006、0.008、0.010。因此,  $E_r$  的误差控制在 4% 以内时, 完全能够满足公路水泥混凝土路面工程的设计要求。

### 2.2 回归结果分析<sup>[3]</sup>

(1) 回归方程式(2)、(3)、(4)的相关系数  $R$  分别为 0.993、0.998、0.994。经显著性检验, 分别得到  $F=35464 > F(0.01, 5, 1274)=3.03$ ;  $F=23951 > F(0.01, 3, 171)=3.9$ ;  $F=29653 > F(0.01, 5, 954)=3.04$ , 说明回归特别显著。

(2) 将上述 1280+175+960 个计算实例进行残差检验, 计算结果符合精度要求。

### 2.3 实例验证

计算  $h_1$ 、 $E_1$  不在上述组合中的部分实例, 按回归方程式(2)、(3)、(4)以及规范计算公式<sup>[2]</sup>分别进行计算, 并将计算结果进行比对。用回归方程式(2)、(3)、(4)计算的结果误差范围在 2% 以内, 只有极少数超出 3%, 且不超过 5%。证明用回归方程式计算水泥混凝土路面基层顶面当量回弹模量能够满足工程设计要求, 这样就将一个复杂的计算过程大大简化了。

# 袖阀式劈裂注浆和动力固结法路基补强处理

李家杰, 郑 义

(深圳市西伦土木结构有限公司, 广东 深圳 518034)

**摘 要:**结合工程实例,对道路下雨污水管槽回填密实度不满足设计要求而导致的路面开裂,采取袖阀式劈裂注浆法和动力固结法进行加固,并分析影响加固效果的原因以及总结值得吸取的经验教训。

**关键词:**城市道路;路基加固;管槽回填;袖阀式劈裂注浆;动力固结法;深圳市

**中图分类号:**TU472 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)02-0018-03

## 1 概况

深圳市龙岗区七号路是龙岗中心城南北方向主干道,南起深惠路、北至龙平大道。红线宽 80 m,双向八车道,长约 5.5 km。该工程早在 1993 年已做设计,施工期间有关部门提出修改该路横断面,中间绿化带由原来的 2.0 m 加宽到 13.5 m。而纵断面及管线设计,由于已经施工,未做修改。因此,原来设于非机动车道下的雨、污水管便改在了机动车道下。

在施工期间,主车道混凝土板浇筑完后,不到二个月时间就出现了裂缝,裂缝主要分布在东西两侧机动车道最外缘两块板上。

## 2 裂缝成因

(1)该段路基大部分处于挖方段。板缝出现部位下面是管槽回填土,裂缝出现的原因应与管槽回填土沉降有关。参见图 1。

收稿日期:2006-01-12

作者简介:李家杰(1971-),男,辽宁岫岩人,工程师,从事道桥设计。

## 3 结语

(1)从水泥混凝土路面基层的非线性特性出发,利用规范<sup>[1]</sup>的  $E$  计算公式,通过回归分析计算,分别得到了水泥混凝土路面半刚性基层、不设垫层的半刚性基层以及沥青类柔性基层的顶面当量回弹模量的归一化计算式。将回归方程式、规范计算公式分别对实例进行计算,计算结果比对照表明,回归方程式的计算精度能够满足水泥混凝土路面设计的要求,这样就将规范中的 6 个计算式简化为一个计算式,从而大大简化了计算过程。

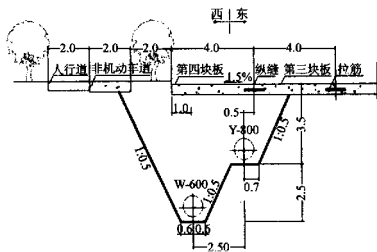


图 1 道路横断面

从图 1 可知,污水管覆土约 5.5 m,雨水管覆土约 3.5 m。道路西侧管沟开挖后,路面的第四块板完全处于回填区内,而第三块板则为半填半挖。第四块板上的裂缝较不规则,并位处出现较多,范围约 450 m 长。第三块板裂缝出现在板中,沿纵向产生,较有规则,主要在两处出现,长度各 25 m。道路东侧由于未埋设雨水管,第三块板未发现裂缝,第四块板裂缝与西侧基本一致,但裂缝较少。从裂缝产生的部位和形状,基本可以判断,原因是管槽回填土沉降所致。从现场的探槽也证明以上分析是正确的。

(2)在实际应用中,作好基层结构的组合设计是关键。只有做到基层结构组合合理,符合规范要求,才能够使归一化公式计算结果具有工程设计实用性。

### 参考文献:

- [1]中华人民共和国行业标准.公路水泥混凝土路面设计规范(JTJ 014-94)[S].北京:人民交通出版社,1994.12.
- [2]中华人民共和国行业标准.公路水泥混凝土路面设计规范(JTG D40-2002)[S].北京:人民交通出版社,2003.5.
- [3]郑少华,姜奉华.试验设计与数据处理[M].北京:中国建材工业出版社,2004.3.