

关于

路基控制弯沉值公式研究

尹光瑞¹, 姚辉宁², 梁艳华³

(1.德州市交通工程监理公司, 山东 德州 253005; 2.长安大学, 陕西 西安 710064;

3.新疆维吾尔自治区高等级公路管理局, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 由于公路沥青路面设计规范提供的回弹模量值的公式是建立在弹性半空间理论上, 与实际的情况有一定的出入, 故在考虑标准车后轴两侧车轮荷载对贝克曼梁测定值影响的基础上, 推导出修正的弯沉与回弹模量理论公式, 并以工程实例验证其适用性, 具有一定的现实意义。

关键词: 弯沉; 回弹模量; 贝克曼梁法; 修正理论公式

中图分类号: U416.02

文献标识码: A

文章编号: 1002-4786(2006)12-0092-03

Research on Formula of Controlling Deflection Values for Subgrade

YIN Guang-rui¹, YAO Hui-ning², LIANG Yan-hua³

(1.Dezhou Communications Engineering Supervision Corporation, Dezhou 253005, China; 2.Chang'an University, Xi'an 710064, China; 3.Xinjiang Uighur Autonomous Region Highway Administrations, Urumchi 830000, China)

Abstract: In the specification for design of highway asphalt pavement, putting forward the formula of calculating rebound module for subgrade based on the theory of elastic half space, and there are some dif-

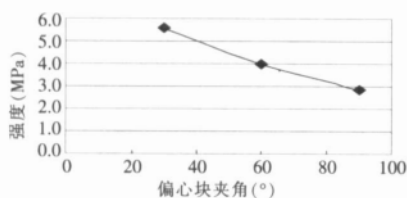


图2 偏心块夹角-强度关系图

频率为28Hz。即最佳振动参数组合是: 上配重块数为3, 下配重块数为6, 偏心块夹角为30°; 振动频率为28Hz。

3 结论

本文报告了进行多种振动参数组合下振动成型试验的情况, 并以密度和抗压强度来评价其压实效果, 最终选出了针对于本研究沥青稳定碎石混合料的最佳振动参数组合, 并得到以下结论:

a) 振动回弹跳起的时间在2min左右比较合适;

b) 最佳振动参数组合是: 上配重块数为3, 下配重块数为6, 偏心块夹角为30°; 振动频率为28Hz;

c) 对振动成型方法用抗压强度来评价压实效果较好。

参考文献

- [1] 杨群. 高速公路沥青稳定基层结构与设计方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2001.
- [2] 袁宏伟. 沥青稳定碎石基层材料设计方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2003.
- [3] 黄晓明, 吴少鹏, 赵永利. 沥青与沥青混合料[M]. 南京: 东南大学出版社, 2002.
- [4] 李冰, 焦生杰. 振动压路机与振动压实技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

收稿日期: 2006-08-16

ferences from practice. The amendatory formula about deflection and rebound module is worked out after considering the force from all the wheels and the formula is tested by practice, which has much practical means.

Key words: deflection; rebound module; benkleman bean; amendatory formula

1 公路路面设计方法简介

公路路面设计的方法是：利用各层路面材料及路基的回弹模量值，按照弹性层状体系理论，计算出标准轴载下道路表面的回弹弯沉值，且此值要小于等于累计轴载作用次数确定的设计容许弯沉值。由此可知，路基的实际核心控制指标是路基的回弹模量E值，但是由于受试验精度及条件限制，一般情况下，通过回弹模量换算出弯沉指标，并由实测弯沉指标来进行衡量。

此方法先要确定回弹模量的不利季节影响系数 K_1 ，再根据《路面基层施工技术规范》(JTJ 034-2000)附录给定的经验推算公式来确定弯沉指标 l_0 ，即 $l_0=9308K_1E^{-0.938}$ ，但是此方法只是全国范围内的一个比较通用的公式。

具体到各地区，因为土质、含水量等状况的不同，按照上述方程回归所得路基回弹模量与弯沉值相关性与实际有一定出入，见表1。

表1 土基现场实测E、 l_0 关系表

序号	资料来源	土组	关系式	测点数n	相关系数	备注
1	广西红粘土	粘质土	$E=3257l_0^{0.746}$	66	0.754	土基压实体标准与参数研究
2	黑龙江	粘质土	$E=3382l_0^{0.806}$	20	0.965	
3	西安试验路	粉质土	$E=3865l_0^{0.738}$	56	0.92	七五国家攻关西安试验路

注：摘自《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014-97)附录

2 理论公式推导

在贝克曼梁法测回弹模量试验(T0944-95)中，一般情况下，标准车采用八成新的轮胎，在充气压力为0.7MPa的情况下，轮胎触地形状接近圆形，且当量圆的半径 $\delta=10.65\text{cm}$ 。此时，以轴对称弹性半空间为模型来计算路基表面的弯沉值与回弹模量的关系，则轴对称弹性半空间一般解的垂直变形即弯沉值 $w(r)$ 的一般解为：

$$w(r) = -\frac{1+u}{E} \int_0^\infty \{ [A + (2-4u+\xi)B]e^{-\xi} + [C + (2-4u-\xi)D]e^{-\xi} J_0(\xi) \} d\xi$$

其边界条件： $r \rightarrow \infty, \alpha, \mu \rightarrow 0$

$$\text{把 } Z=0, \begin{cases} \tau_z=0 \\ \sigma_z = \begin{cases} -p & r \leq \xi \\ 0 & r > \xi \end{cases} \end{cases}$$

代入弹性半空间一般解后，可得系数A、B、C、D的值，且可得 $Z=0$ 时， $w(r)$ 的特解：

$$w(r) = \frac{2(1-u^2)p\delta}{E} \int_0^\infty \frac{J_1(\xi) J_0(\frac{r}{\xi})}{\xi} d\xi$$

$$\text{令 } G = \int_0^\infty \frac{J_1(\xi) J_0(\frac{r}{\xi})}{\xi} d\xi \quad (1)$$

式(1)为weber-schafheitlin积分。当 $r > \delta$ 时，有：

$$G = \frac{\delta}{2r^2} F_1\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}; 2; \frac{\delta}{r^2}\right)$$

因为弯沉测量时，贝克曼梁设置在标准车后轴两车轮轮隙中间，按双圆模型可知 $r=1.5\delta$ 且因为有两个车轮荷载，将参数代入求解超几何函数得：

$$G_1 = 2G = 2 \cdot \frac{\delta}{2r^2} F_1\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}; 2; \frac{\delta}{r^2}\right) = \frac{1}{3^2} F_1\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}; 2; \frac{1}{2.25}\right) = 0.712$$

则弯沉与回弹模量的理论关系式为：

$$w(r) = G_1 \frac{2(1-u^2)p\delta}{E} = 0.712 \times \frac{2(1-u^2)p\delta}{E} \quad (2)$$

方程(2)即为《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014-97)所提供的用于确定土基设计回弹模量的主要公式之一。

3 修正理论公式推导

由于方程(2)中只考虑了单侧弯沉测量时的双圆垂直均布荷载，对另一侧两个车轮荷载对弯沉的影响未予考虑，而实际中，标准车后轴四个车轮形成的弯沉盆对贝克曼梁试验有一定影响，现对其分析如下。

3.1 另一侧两个车轮荷载形成的弯沉盆在弯沉测量处的影响系数 $G_2=2 \cdot \frac{a}{2r^2} F_1\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}; 2; \frac{a^2}{r^2}\right)=0.0584$ （标准车后轮距 $r=1.842\text{m}$ ），由此得到弯沉与回弹模量的修正理论关系式为：

$$w(r) = 0.7704 \times \frac{2(1-u^2)p\delta}{E} \quad (3)$$

3.2 5.4m贝克曼梁的支架处依然受四个车轮荷载形

成的弯沉盆影响，且支架处的垂直变形：

$$w(r)_1 = (G_3 + G_4) \frac{2p\delta(1-\mu^2)}{E}$$

其中，本侧轮荷载的影响系数：

$$G_3 = 2 \cdot \frac{a}{2r^2} F_1 \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}; 2; \frac{a^2}{r^2} \right) = 0.029587$$

此时支架与本侧荷载坐标中心距离 $r = 3.6\text{m}$

另一侧车轮荷载的影响系数为：

$$G_4 = 2 \cdot \frac{a}{2r^2} F_1 \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}; 2; \frac{a^2}{r^2} \right) = 0.026627$$

此时支架与另一侧荷载坐标中心距离 $r = 4.04\text{m}$

3.3 按照以上分析，百分表处的弯沉影响系数为：

$$G_5 + G_6 = 0.038385$$

r 分别为 5.4m 、 5.7m

3.4 前轮荷载因为轴距远，对三处的影响近似相同，所以不予考虑。

令 $M = \frac{2p\delta(1-\mu^2)}{E}$ ，对贝克曼梁在此情况下的几何三角关系（见图1）进行如下分析。

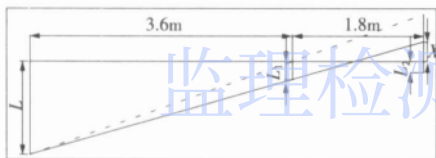


图1 贝克曼梁关系分析图

由图可知： $L = 2 \cdot (X + 1.5L_1)$ ，并将贝克曼梁测头处变形值 $L = 0.7704\text{M}$ ，支架处变形值 $L_1 = 0.0562\text{M}$ ，百分表处变形值 $L_2 = 0.038385\text{M}$ ，代入公式：

$$(G + G_1) \cdot M = 2 \cdot [(G_3 + G_4) \cdot 3 \cdot M / 2 + X] \quad (4)$$

$$X = 0.300879\text{M}$$

又因百分表的实际读数为： $X + L_2 = 0.339264\text{M}$ ，所以贝克曼梁两侧实际弯沉值比值为：

$$K = \frac{L}{L_2 + X} = \frac{0.7704\text{M}}{0.33926\text{M}} = 2.27$$

即实测弯沉值 $L = 2.27 \times$ 百分表读数差。

在方程(2)中，要求代入土材料的泊松比 μ 按照《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014-97) 要求，有 $\mu = 0.35$ ；而在《公路路基路面现场测试规程》(JTJ 059-95) 条文解释中说明 AASHTO 路面设计指南 1986 年版中，土体材料 $\mu = 0.3 \sim 0.5$ ，非粘性土取下限，高粘性土取上限。在 l 不变， μ 取不同值时， E 值的计算结果有一定变化，但是在 μ 值较小时，其影响很小，计算结果见表2。

4 实例分析

表2 不同 μ 值下的 E 值对比情况

μ	0.3	0.32	0.35	0.37	0.4	0.45
E/E_0 (%)	103.7	102.3	100.0	98.4	95.7	90.9

按照经验公式、修正理论公式、理论公式计算不同设计模量下的控制弯沉值见表3。

表3 不同设计模量下的控制弯沉

设计模量 E (MPa)	控制弯沉值 (0.01mm)	备注
35	332	经验公式
	328	修正理论公式
	303	理论公式
40	292	经验公式
	287	修正理论公式
	265	理论公式
45	262	经验公式
	255	修正理论公式
	235	理论公式
50	237	经验公式
	229	修正理论公式
	212	理论公式
55	217	经验公式
	209	修正理论公式
	193	理论公式
60	200	经验公式
	191	修正理论公式
	177	理论公式
65	185	经验公式
	177	修正理论公式
	163	理论公式

将上述结果描述成图2。由图2可知，曲线3-3与曲线1-1、2-2的偏差最大。在模量较低时，曲线1-1与曲线2-2相接近；当模量数值较大时，曲线2-2渐渐偏离曲线1-1，但始终在1-1和曲线3-3之间。

由于理论及其修正公式的推导是建立在弹性力学假设的基础上，即假定物体完全连续、弹性、均匀、各向同性和小变形，但这与实际的路基情况有一定的差异。

而经验公式属于基于很大范围的统计结果，所

汽油中硫含量 对车辆排放影响的 定量化分析

刘翔, 周昱, 傅立新

(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 硫含量会从多个方面影响先进尾气控制系统的作用, 导致车辆排放增加。运用数学统计方法对硫含量的影响进行系统的量化, 并建立基于对数-线性模型的硫含量与排放削减率的统计模型, 对于新标准的制定和机动车排放的控制具有重要的意义。

关键词: 汽油; 硫含量; 汽车排放

中图分类号: U473.11

文献标识码: A

文章编号: 1002-4786(2006)12-0095-04

Quantitative Analysis of the Impact of Sulfur Content in Gasoline on Vehicle Emissions

LIU Xiang, ZHOU Yu, FU Li-xin

(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing, 100084, China)

Abstract: Sulfur content can influence the function of advanced exhaust control system from many ways and increase vehicle emission. It has important meanings for formulating new standards and controlling

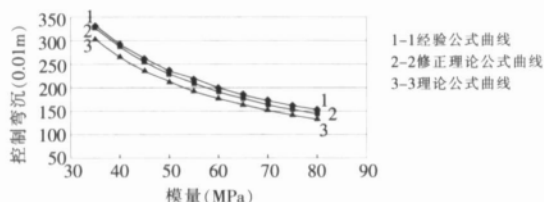


图2 三种关系曲线比较图

以在相同的模量下, 由其计算出的控制弯沉值最大, 这也说明了它的不安全性。

5 结语

根据理论推导, 结合工程实际的控制情况, 笔者提出以下两个方面的建议:

a) 在用贝克曼梁法检测路基弯沉时, 充分考虑

车轮荷载对贝克曼梁的影响, 使用修正的系数, 可以获得更准确的弯沉值, 从而严格控制路基工程质量;

b) 使用修正的理论公式计算设计控制弯沉, 比经验公式法更具理论性及普遍性。

参考文献

- [1] 郑传超, 王秉纲. 道路结构力学计算[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [2] JTJ 014-97, 公路沥青路面设计规范[S].

作者简介: 尹光瑞(1964-), 男, 高级工程师。

收稿日期: 2006-08-10