

文章编号 :1007 - 6492( 2000 )04 - 0051 - 04

# 路面弯沉检测方法相关性的试验研究

宋焕宇<sup>1</sup>,何荣裕<sup>2</sup>,冯建亚<sup>1</sup>

( 1.平顶山市公路管理局,河南 平顶山 467000 ;2.信阳市公路管理局,河南 信阳 454000 )

摘 要 :通过对所选试验路段各结构层进行现场对比试验,研究了静力弯沉检测设备贝克曼梁、承载板和动力弯沉检测设备落锤式弯沉仪( FWD )在弯沉检测结果之间的相关性.试验结果表明 :落锤式弯沉仪与贝克曼梁和承载板在路面各结构层上所测得的弯沉数据之间均存在较好的线性相关关系,在一定的条件下可以相互换算.与贝克曼梁相比,落锤式弯沉仪的弯沉检测结果具有较好的可重复性和适用性.该研究结果为落锤式弯沉仪检测技术的进一步推广应用提供了技术基础.

关键词 :贝克曼梁 ;承载板 ;落锤式弯沉仪 ;弯沉 ;相关性

中图分类号 :U 416.221 文献标识码 :A

## 0 引言

路面弯沉检测与分析是路面承载力评价的基础,是路面使用性能评定的重要组成部分,它不仅对检验和控制工程质量至关重要,而且决定着路网养护决策的科学化水平,直接影响养护资金分配和旧路改造设计的合理性.我国高等级公路建设起步较晚,常用的路面弯沉检测与承载力评价技术仍停留在一个较低的水平上.如我国路面设计弯沉指标测定的标准方法为静载贝克曼梁试验方法,承载板方法作为路面基层和土基的弯沉测试方法也应用较为广泛.随着我国高等级公路的迅速发展,传统的检测方法已越来越不适应大范围路面的质量检测和大量的路面使用性能的数据采集,因此,尽快提高我国道路检测与评价技术水平已成为我国公路建设与管理中迫切需要解决的关键问题之一.

目前,国际上路面弯沉检测技术发展十分迅速,落锤式弯沉仪( 简称为 FWD )是目前世界上公认的比较先进的路面承载能力动载评定设备<sup>[1]</sup>,它具有无损、高效、高精度及采集数据量非常丰富等特点,至今已在世界 50 多个国家和地区得到不同程度的应用,尤其是欧美等发达国家, FWD 应用非常广泛,其应用已步入规范化、标准化阶段.美国联邦公路局经过分析比较,选定 FWD 作为实

施 SHRP 计划中路面强度评定的指定设备.壳牌石油公司已正式将 FWD 纳入壳牌路面设计手册.

我国自 80 年代后期开始从国外引进 FWD,至今已有 10 年的历史,在此期间围绕 FWD 的开发和应用,在大量的理论和试验研究工作中取得了一些成果<sup>[2~4]</sup>.我国的《公路路基路面现场测试规程》( JTJ 059 - 95 )中已将 FWD 列为弯沉检测设备<sup>[5]</sup>,但评定指标只有单点静载最大弯沉值.因此,为了可以直接利用 FWD 的检测数据评价路面承载能力,需要进行 FWD 和贝克曼梁、承载板之间的弯沉检测对比试验研究,建立弯沉数据间的线性相关关系,以充分发挥 FWD 的优点,加速国内 FWD 检测技术的开发与应用.本文结合平顶山至郏县公路施工,进行了大量的对比试验研究,取得了较好的效果.

## 1 试验简介

### 1.1 试验路段工程概况

平郏路是连接平顶山市和郏县的一条二级公路,其中从平顶山新华区焦店乡龙门口( K0 + 000 )至吕寨( K13 + 138 )为一个施工段,除距起点 2 km 处为浅山区外,其余均属平原地带,地表 0 ~ 4 m 为黄色中液限粘土,地下水位在 4 ~ 5 m 之间.路面设计宽度 12 m,路基 15 m,两侧设置 GBM 硬边带,硬边带外侧各设 1.5 m 的绿化平台.行车道路

收稿日期 2000 - 06 - 20 ;修订日期 2000 - 09 - 26

基金项目 河南省自然科学基金资助项目( 994042500 )

作者简介 宋焕宇( 1964 - )男,河南省叶县人,平顶山市公路管理局工程师,主要从事公路桥梁工程技术方面的研究与管理工作.

面面层为 2 cm 细粒式沥青混凝土 4 cm 中粒式沥青混凝土和 0.3 ~ 0.5 cm 乳化沥青下封层;基层为 30 cm 二灰砂砾石,其重量比为石灰:粉煤灰:砂砾石 = 10:20:70;底基层为 8 ~ 20 cm 的石灰砂砾,其重量比为石灰:砂砾 = 12:88;土基为黄粘土,整个路面结构的材料性质为:石灰不得低于三级,砂砾最大粒径不大于 4 cm,土的塑性指数控制在 11 ~ 14 之间。

## 1.2 试验概况

由于 FWD 检测的路面弯沉为动弯沉,而贝克曼梁和承载板检测的弯沉为静弯沉,他们之间存在明显的差异。本次试验的主要目的是通过对试验路段各结构层进行现场对比试验,研究贝克曼梁、承载板和 FWD 3 种设备在弯沉检测结果之间的相关性;根据各自的弯沉数据,比较不同设备、方法的可靠性、稳定性及适用性,从而为 FWD 检测技术的推广应用提供技术基础。

除一般的常规试验设备外,本试验所需的主要试验设备有 Dynatest 8000 型 FWD 一套;直径 30 cm 承载板一套,带千斤顶及压力表;贝克曼梁两台,杠杆长 5.4 m,前后臂比例 2:1;黄河车(JN151)一辆,前后轴距 3.98 m,受力横梁距后轴 0.78 m,后轴重 10.0 t,其内胎接地压强为 0.7 MPa。

由于路面结构是按照结构层的特点进行分层施工,本次试验也按照试验路段的施工顺序进行定点分层检测,即首先进行土基测试,然后进行底基层和基层测试,最后进行面层测试。本次试验共选取了 20 个测点,在每个测点处分别进行贝克曼梁、FWD 和承载板试验,各项试验具体操作均按照《公路路基路面现场测试规程》(JTJ 059-95)之规定进行<sup>[4]</sup>。

## 2 弯沉对比分析

### 2.1 弯沉值对比

土基上 3 种试验的弯沉值见图 1。总体上看,贝克曼梁的数据与承载板的数据非常接近,尤其是前 6 个点,几乎重合;FWD 的数据略大于贝克曼梁的数据,3 种试验数据的基本趋势是一致的。

底基层上 3 种试验的弯沉值见图 2,由此可以看出,3 种试验弯沉数据的走势是很相似的,尤其是 FWD 和贝克曼梁之间,存在良好的相关关系。

基层上 3 种试验所测得的表面弯沉值见图 3。从直观上看,3 种试验所测弯沉具有近似相同

的走势,和在底基层上的结果很相似,在数值上都是 FWD 最大,贝克曼梁最小。

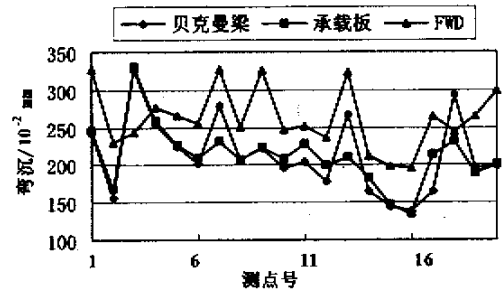


图 1 土基上 3 种试验弯沉值对比

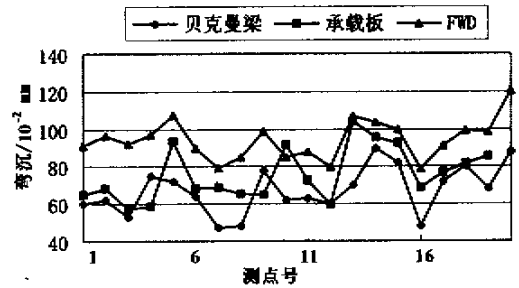


图 2 底基层上 3 种试验弯沉值对比

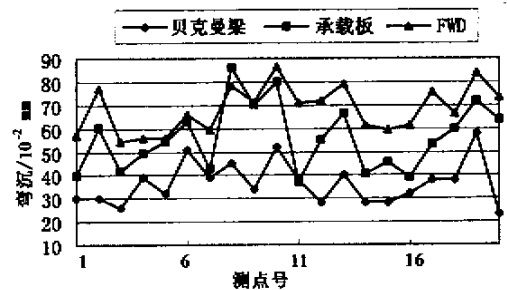


图 3 基层上 3 种试验弯沉值对比

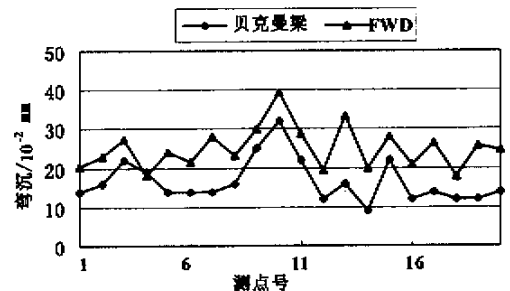


图 4 面层 FWD 和贝克曼梁试验所测表面弯沉对比

在面层的弯沉测试中,考虑到承载板主要用于路面的基层和底基层的弯沉测试,而用于面层的弯沉测试较少,因此,本次试验在路面弯沉测试过程中仅用 FWD 和贝克曼梁两种方法进行了检测,其结果见图 4。由此可以看出,FWD 和贝克曼梁的数据曲线形式较为相似,数值上 FWD 略大。

2.2 相关性分析

通过回归分析,计算贝克曼梁、承载板和 FWD 3 种试验检测数据之间的相关性,采用线性理论进行分析.假设两组变量之间有如下关系:

$$y = a + bx \quad , \quad (1)$$

系数  $a, b$  分别按下式计算:

$$b = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad ; \quad (2)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad , \quad (3)$$

相关系数依据最小二乘法建立:

$$\gamma = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad . \quad (4)$$

根据以上理论对前述 3 种方法的弯沉测试结果在不同的结构层上分别进行相关性分析,其结果列于表 1.

表 1 弯沉检测数据线性相关分析结果

试验层位	试验组	测试数据个数	统计数据个数	$a$	$b$	相关系数
土基	贝克曼梁-承载板	20	17	23.195	0.9393	0.956
	FWD-贝克曼梁	20	17	87.27	0.8623	0.878
	承载板-FWD	20	15	79.18	0.8731	0.830
底基层	贝克曼梁-承载板	19	16	23.932	0.784	0.8166
	贝克曼梁-FWD	20	18	51.499	0.6394	0.8367
	承载板-FWD	19	15	51.385	0.5436	0.8168
基层	贝克曼梁-承载板	20	16	14.029	1.1921	0.746
	贝克曼梁-FWD	20	16	29.707	1.009	0.817
	承载板-FWD	20	17	30.347	0.684	0.866
面层	贝克曼梁-FWD	20	18	12.372	0.7595	0.876

表 1 的数据表明,3 种弯沉检测设备在各结构层上所测的弯沉之间有良好的、稳定的相关性.

3 弯沉检测可重复性研究

为了考察 FWD 和贝克曼梁两种弯沉检测设备的可靠性和适用性,在基层上采用两种设备进行了弯沉可重复性检测试验.首先,在试验现场同时对 20 个测点进行了 FWD 和贝克曼梁弯沉检测,第二天的同一时间重复前一天的工作,检测结果见表 2.

由表 2 可以看出,FWD 试验比贝克曼梁试验的可重复性要好得多,不但数值上差值近似相等,而且是第二次比第一次略小,反映出试验时间差了一天,强度有小幅增加.相比之下贝克曼梁的数据就显得较乱.从变异系数上也可以得到同样的结论.而关于贝克曼梁和 FWD(荷载为 5 t)可重复性试验的相关性分析结果表明,贝克曼梁试验在剔除 4 个点后相关系数是 0.810,而 FWD 保留全部测点,相关系数达到 0.941,充分说明了 FWD 设备具有良好的可重复性.因此,在实际测试过程中,FWD 的测试数据比贝克曼梁的测试数据具有较高的可靠性.采用 FWD 测试路面结构各层的弯沉,有利于控制施工质量和了解路面的使用性能,具有重要的实用价值.

表 2 贝克曼梁和 FWD 可重复性研究

测点号	贝克曼梁/10 <sup>-2</sup> mm		FWD/10 <sup>-2</sup> mm	
	第一次	第二次	第一次	第二次
1	36	30	64.5	57.0
2	30	30	75.6	77.4
3	28	26	60.0	54.3
4	23	39	63.9	56.1
5	38	32	62.2	56.0
6	41	51	68.8	66.0
7	44	39	68.4	59.3
8	36	45	85.5	78.4
9	36	34	79.5	71.5
10	48	52	100.1	86.7
11	40	38	77.4	70.9
12	38	28	74.5	71.7
13	46	40	81.5	79.1
14	37	28	70.3	61.4
15	44	28	63.9	59.6
16	36	32	65.0	61.3
17	49	38	80.3	75.6
18	42	38	65.8	66.5
19	54	58	87.5	84.0
20	51	23	78.1	73.3
平均值	39.85	36.45	73.64	68.31
标准差	7.77	9.34	10.26	9.94
变异系数/%	19.51	25.62	13.93	14.56

4 结 论

通过对试验路段各结构层进行现场对比试验 ,着重研究了静力弯沉检测设备贝克曼梁、承载板和动力弯沉检测设备落锤式弯沉仪( FWD )在弯沉检测结果之间的相关性 ,从中可以得出以下结论 :

( 1 ) 3 种弯沉检测设备在各个结构层上所测的弯沉数据间均存在良好的线性相关关系 ,在一定条件下可以相互换算 .

( 2 ) FWD 弯沉检测设备的测试可重复性很好 ,而贝克曼梁在含有砂砾的结构层上受干扰较大 ,可重复性相对来说要差得多 .

( 3 ) 弯沉对比试验是建立在具体路段基础之上的 ,得出的结论只能适用于同样条件下的路面

结构 .在不同路面结构上需要重新进行大量的弯沉对比试验 ,同时 ,含水量、温度、材料配比等方面的影响也有待于进一步深入研究 .

参考文献 :

[ 1 ] 赵 平 .代表性路面弯沉检测设备技术性能综合分  
析[ J]. 中南公路工程 ,1997 ( 3 ) :12 - 16 .  
[ 2 ] 王复明 ,刘文廷 .高等级公路无损检测与评价——  
工程力学反问题研究[ A ]. 杨 卫 ,郑泉水 ,靳征谟 .  
走向 21 世纪的中国力学[ C ]. 北京 :清华大学出版  
社 ,1996 .  
[ 3 ] 张洪华 .落锤式弯沉仪与贝克曼梁在半刚性路面上  
的弯沉对比试验研究[ J]. 公路交通科技 ,1993 ,10  
( 3 ) :18 - 22 .  
[ 4 ] 熊焕荣 .落锤式弯沉仪在路基和柔性路面性能评定  
中的应用 .公路交通科技 ,1992 ( 1 ) 9 - 12 .  
[ 5 ] JTJ 059 - 95 ,公路路基路面现场测试规程[ S ] .

Testing Study on Relations of Pavement Deflections

SONG Huan - yu<sup>1</sup> , HE Rong - yu<sup>2</sup> , FENG Jian - ya<sup>1</sup>

( 1. Pavement Administration Bureau of Pingdingshan , Pingdingshan 46700 , China ; 2. Pavement Administration Bureau of Xinyang ,  
Xinyang 454000 , China )

**Abstract :** Many comparison experiments of pavement deflection by means of Benkelman Beam , Bearing Plane and  
Falling Weight Deflection ( FWD ) are carried out for each layer of a pavement , and the deflection linear relations  
between the three testing methods are presented for the pavement structures . Compared with Benkelman Beam , the  
testing results of Falling Weight Deflection possess more repetition and applicability . Based on the results , FWD can  
be applied to control the pavement quality during construction and maintenance by referring to the present testing  
standard .

**Key words :** Benkelman beam ; bearing plane ; falling weight deflection ; deflection ; relation