

自动弯沉仪检测路面弯沉影响因素分析

李 刚

(浙江大学建筑工程学院 浙江 杭州 310027)

摘要: 自动弯沉仪在测试过程中会受到各种因素的影响, 如果没有正确处理这些影响因素对测值的影响, 测试数据的可靠性将大大降低。本文论述了自动弯沉仪的各种影响因素, 着重对测试速度与路面超高对测值的影响进行分析并提出了修正方法。

关键词: 自动弯沉仪; 影响因素; 分析; 修正

中图分类号: U416.3

文献标识码: A

Influencing Factor on Automatic Deflectometer in Examining Road Surface

LI Gang

(The Architecture Engineering Department of Zhejiang University; Zhejiang Hangzhou 310027, China)

Abstract Many factors influence the effect of automatic deflectometer examination. The reliability of the examination would be reduced greatly if the influencing factor is not dealt with correctly. In this paper, the influencing factors on automatic deflectometer have been summarized, the influencing factors of testing speed and superelevation have been analyzed, besides the modified method has been proposed.

Key words: Automatic deflectometer; Influencing factor; Analyze; Modify

弯沉 (Deflection) 是表征公路路基路面整体强度的重要参数, 虽然世界各国测试弯沉的设备和方法有所不同, 但对弯沉基本概念的理解是相同的。弯沉定义一般是指路基或路面表面在规定标准车的荷载作用下轮隙位置产生的总垂直变形值 (总弯沉) 或垂直回弹变形值 (回弹弯沉), 以 0.01mm 为单位。针对落锤式弯沉仪而言, 弯沉是指与落锤重量对应的当量荷载使路面产生的瞬时变形值。

为了降低人的劳动强度, 提高测试效率, 增加采样数据的准确程度, 英法等国在计算机和电子技术发展的基础上于七、八十年代研制出了自动弯沉仪。我国则在上世纪 90 年代初研制成功并逐步推广使用。自动弯沉仪以位移传感器自动测试弯沉信号, 通过工业微机设置程序控制测量机构自动运作, 减轻了操作人员的劳动强度。自动弯沉仪的基本测试原理是模仿贝克曼梁的工作方式, 只是采用位移传感器替换百分表进行自动测量, 同时改变了前后测臂的长度比例,

通过标定程序将所测弯沉值直接自动记录下来。

1 自动弯沉仪影响因素

自动弯沉仪在测试过程中会受到各种因素的影响, 如果没有正确处理这些影响因素对测值的影响, 测试数据的可靠性将大大降低。一般来说, 测试车辆在测试过程中受到 2 种因素的影响, 一个是外界条件的影响, 一个是设备本身的影响。外界条件一般包括温度、季节、地区及路面形态等影响因素, 设备本身的因素包括车辆轴载、测试速度、测试系统偏差等影响因素。

温度、季节和地区变化对测试数据的影响在相应规范中已经有了明确的修正方法, 本文不再对其进行论述。而对于特殊路段的路面形态, 例如较大超高路段的影响在规范中没有加以考虑。典型的 Lacroix 型自动弯沉仪是由承载车、测量机构、控制系统、数据采集与处理系统等 4 部分组成的复杂测量机构, 如果

收稿日期: 2004-06-08

作者简介: 李刚 (1972-), 男, 浙江杭州人, 浙江省交通厅工程质量监督站高级工程师, 在读硕士, 从事道路工程质量监督与检测技术研究工作. (ligang18@msn.com)

在检测前按照正常的操作规程检查测试车辆，车辆轴载和系统偏差问题是可以消除的。但是自动弯沉仪测值受到测试速度的影响，这是因为自动弯沉仪测试速度不同，轴载对路面的作用时间不同，导致测值有一定的偏差，这也是当前急需研究的问题之一。

2 测试速度影响分析

自动弯沉仪在测试过程中承载车是以稳定的车速行驶的，轮载对路面的作用时间随着测试车速的不同而不同。路面在荷载作用下的变形速率随着时间的变化而逐渐变慢，直至为零。因此，不同的测试车速将直接影响设备测值。为了寻找测试速度对测值的影响规律，我们做了相关试验。

2 1 试验目的

本实验是为了探求自动弯沉仪在测试过程中测试车速对测试值的影响程度。通过试验，可以量化速度对测试值的影响程度，总结试验经验，完善测试规程中需要注意的事项及相应的速度影响修正计算方法。

2 2 试验方法

首先，标定自动弯沉仪车辆的后轴载（通过增加或减少砝码调节）和后轴轮胎气压，使之符合规范要求（规范要求：后轴重 10t，轮胎气压 0.7MPa）。其次，选取不同弯沉水平的多个路段，每路段内弯沉变化不大，数值相当。最后，令自动弯沉仪以不同车速：2.0、2.5、3.0、3.5、4.0km/h 测试同一路段，每个速度测试 1 遍后停止 30min，以保证路面有充足的时间恢复原状。测试过程中注意起终点和路线应当一致。

2 3 数据处理和分析

为了减少非目标因素的干扰，我们在选择试验路段时选择了弯沉水平相当的路段。在数据处理上，我们以弯沉的算术平均值作为比较项。以速度做为横坐标，弯沉算术平均值为纵坐标做出散点图，对同一路段下，不同速度的弯沉算术平均值做线性回归分析，得到方程和回归曲线，如图 1 和表 1 所示。

表 1 自动弯沉仪测试速度对测值影响回归公式一览表

路段编号	回归方程	相关系数
1	$Y = -9.5276X + 173.43$	0.80
2	$Y = -10.812X + 174.03$	0.77
3	$Y = -6.636X + 138.87$	0.99
4	$Y = -1.401X + 94.802$	0.63
5	$Y = -3.506X + 79.529$	0.72
6	$Y = -2.654X + 56.326$	0.79
7	$Y = -2.322X + 45.516$	0.95
8	$Y = -0.656X + 28.596$	0.26
9	$Y = -0.018X + 13.698$	0.0061

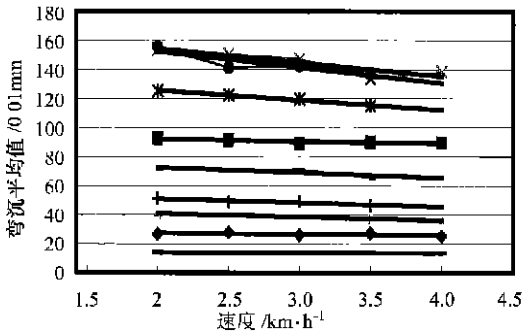


图 1 自动弯沉仪在不同测速下弯沉测值的算术平均值图

这些路段是根据不同弯沉水平选择的，路段 1、2、3 代表了弯沉高水平的路段，路段 4、5、6 代表了弯沉中等水平的路段，路段 7、8、9 代表了弯沉低水平的路段。从回归分析得到的结果可以发现：随着弯沉水平的降低，弯沉测值变化的梯度在减小，路段 8、9 回归分析结果表明，当弯沉水平较低时（小于 30），测值受速度变化的影响非常小，体现二者相关性的相关系数也非常小，这表明自变量和因变量相关关系很差。如果近似认为速度为 0 时的弯沉值是路面的真实值，那么可以计算出速度变化对测值影响的量化数值，如表 2 所示。

表 2 测试速度变化对测值的影响程度计算

路段编号	回归方程	影响度 / %
1	$Y = -9.5276X + 173.43$	5.4
2	$Y = -10.812X + 174.03$	6.2
3	$Y = -6.636X + 138.87$	4.8
4	$Y = -1.401X + 94.802$	—
5	$Y = -3.506X + 79.529$	4.4
6	$Y = -2.654X + 56.326$	4.6
7	$Y = -2.322X + 45.516$	5.1
8	$Y = -0.656X + 28.596$	2.0
9	$Y = -0.012X + 13.773$	0.1

从计算结果看，不论是弯沉高水平路段还是弯沉中、低水平路段，测试速度都影响到测值的准确性。当弯沉值超过 45 时，测试速度每变化 1km/h，测值应该修正约 5%。在弯沉水平较低时，即弯沉值小于 30 时，速度的影响不超过 2%，也就是说速度每变化 1km/h，测值修正不足 1。因此，在实际应用中可以忽略不计测试速度的影响。

英国 TRRL 在各种典型弹性路面上也做过类似的试验，他们的结论与我们所做试验结论是一致的。他们认为：自动弯沉仪的测试速度是影响测值的，影响量化结论为速度每变化 1km/h，测值变化 5%。

3 超高影响分析

为了方便排水，路面都设有横坡。通常情况下，

路面横坡都比较小，对测试车两个后轮荷载影响也比较小，因此对测值的影响也是微小的，这种影响是可以不考虑的。但是随着路面横坡的增加，轮重的变化会逐渐加剧，以致对测值的影响也不能够忽略，此时，这种影响就必须考虑在内。

为了得到路面超高对弯沉测值的影响，我们首先来分析自动弯沉仪在路面上的受力情况，如图 2 所示。

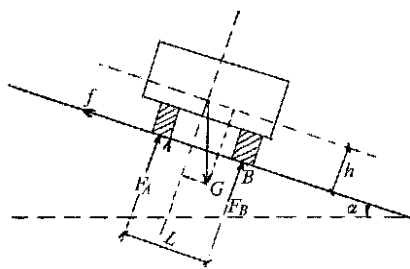


图 2 自动弯沉仪受力分析图

从受力和力矩平衡原理分析，可以得到下面的受力平衡方程式

$$F_A + F_B = G \cos \alpha \tag{1}$$

$$f = G \sin \alpha \tag{2}$$

$$f \cdot h + F_A \cdot \frac{L}{2} = F_B \cdot \frac{L}{2} \tag{3}$$

由力矩平衡公式 (3) 得到

$$F_B = F_A + 2f \frac{h}{L} \tag{4}$$

由 (1)、(2) 和 (4) 得到

$$F_A = G \left[\frac{1}{2} \cos \alpha - \frac{h}{L} \sin \alpha \right] \tag{5}$$

$$F_B = G \left[\frac{1}{2} \cos \alpha + \frac{h}{L} \sin \alpha \right] \tag{6}$$

从目前国内现有自动弯沉仪型号测量，L 近似为 h 的 2 倍。这样可以将公式 (5)、(6) 简化为

$$F_A = \frac{G}{2} (\cos \alpha - \sin \alpha) = \frac{\sqrt{2}}{2} G \sin (45^\circ - \alpha) \tag{7}$$

$$F_B = \frac{G}{2} (\cos \alpha + \sin \alpha) = \frac{\sqrt{2}}{2} G \sin (45^\circ + \alpha) \tag{8}$$

公式 (7) 在 [0, 45°] 上是递减函数，而公式 (8) 在 [0, 45°] 上是递增函数。由此可见随着横坡的增加，自动弯沉仪两个轮子的轮重都是在变化的，其中一个轮重逐渐减少，另外一个逐渐增大。

根据公式 (7)、(8) 计算轮重的变化规律，见表 3。

表 3 轮载随横坡的变化规律

横坡	α	$\cos \alpha - \sin \alpha$	$\cos \alpha + \sin \alpha$
1.5	0.85937	0.9848	1.0148
1.6	0.91665	0.9838	1.0158
1.7	0.97393	0.9828	1.0168
1.8	1.03121	0.9818	1.0178
1.9	1.08848	0.9808	1.0188
2.0	1.14576	0.9798	1.0198
2.1	1.20303	0.9788	1.0208
2.2	1.26030	0.9778	1.0218
2.3	1.31757	0.9767	1.0227
2.4	1.37483	0.9757	1.0237
2.5	1.43209	0.9747	1.0247
2.6	1.48935	0.9737	1.0257
3.0	1.71835	0.9696	1.0295
3.5	2.00453	0.9644	1.0344
4.0	2.29061	0.9592	1.0392
4.5	2.57657	0.9540	1.0440
5.0	2.86240	0.9488	1.0487
6.0	3.43363	0.9383	1.0581
7.0	4.00417	0.9277	1.0673

从表中的计算数据看，基本上是横坡每增加 0.1，轮载变化 0.1%。我们可以用下面公式修正自动弯沉仪测得的数据。

高位修正系数 $\frac{1}{1 - X_{\text{slope}}}$

低位修正系数 $\frac{1}{1 + X_{\text{slope}}}$

式中， X_{slope} 为横坡，%。

当横坡 $\leq 4\%$ 时，修正不超过 5%。为了方便使用和计算，当横坡不超过 4% 时，不进行修正，当横坡大于 4% 时，需要修正。

4 结语

自动弯沉仪在测试过程中会受到各种因素的影响，对这些因素应予以正确处理。温度、季节和地区变化对测值的影响可参照相应规程进行修正，测试系统误差可通过严格执行设备操作规程予以消除，而测试速度和超高影响在一定程度上往往容易忽略，尤其是在弯沉值超过 45 及横坡大于 4% 时应充分考虑其对测试结果的影响并加以修正，以确保测试数据的真实性与可靠性。

参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部. 公路路基路面现场测试规程 (JTJ059-95) [S]. 北京: 人民交通出版社, 1995.
[2] Annual Book of ASTM Standards Volume 04 03: Road and Paving Materials Vehicle-Pavement Systems [S]. 1999.