

HDS系统汽车称重传感器应变分析与安装方式的研究^{*}

张有忱 伍云舟

(北京化工大学 北京 100029)

修 燕

(交通部公路科学研究所 北京 100088)

提要 推导 HDS系统(涵式动态车辆称重系统)中的汽车称重传感器应变计算公式,分析传感器安装位置与测试灵敏度的关系,并论证胶接传感器联结柱的安装方法的优越性。

关键词 汽车 传感器 应变

Research on the Strain Analysis & Assemblage Mode of Automobile Weighing Sensor for HDS System

Zhang Youchen Wu Yunzhou

(Beijing University of chemical Technology, Beijing)

Xiu Yan

(Research Institute of Highway, Beijing)

Abstract Formulae for calculating the strains of automobile weighing sensor for HDS system are derived, the relationships between assemblage positions and measurement sensitivities are analysed, and the advantages of the gluing assemblage methods for connection bars of sensor are demonstrated in this paper.

Key words Automobile Sensor Strain

0 引言

涵式车辆自动称重传感器主要是采用若干个电阻应变计组成。当汽车从桥涵上驶过时,必然使桥涵顶板产生变形,变形的大小与汽车重量存在一函数关系。为了测量这一变形的大小,实验中采用了电阻应变计。

1 传感器应变计算公式推导

汽车驶过桥涵路面时的情况如图 1所示。为了分析方便,把该问题简化成一个受集中载荷的简支梁,如图 2所示。当路面有汽车驶过时,桥涵顶板产生弯曲,由此引起 1、2杆各偏转一个小角度 θ_1 和 θ_2 ,使得传感器两联结点分别从 C、D 两点移到 C'、D' 两点,即分别产生 W_1 和 W_2 的位移。假定传感器长度为 l ,则根据应变计算公式可知,应变 X 为

* 收稿日期 1996-04-08 第一作者:男,1957年生,工学博士。

$$\varepsilon = \frac{(W_1 - W_2)}{l} \quad (1)$$

由于 θ_1 和 θ_2 都是小角度，故上式中的位移可用下式计算

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= T\theta_1 \\ W_2 &= T\theta_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中： T 为传感器联结点 to 梁的中性面的距离。将式 (2) 代入式 (1) 得

$$\varepsilon = \frac{T(\theta_1 - \theta_2)}{l} \quad (3)$$

由上式可知，欲求得应变 ε 就必须求得杆 1 和杆 2 的偏转角 θ_1 和 θ_2 。下面分别计算 θ_1 与 θ_2 。

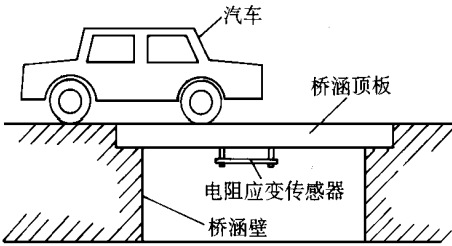


图 1 汽车过桥示意图

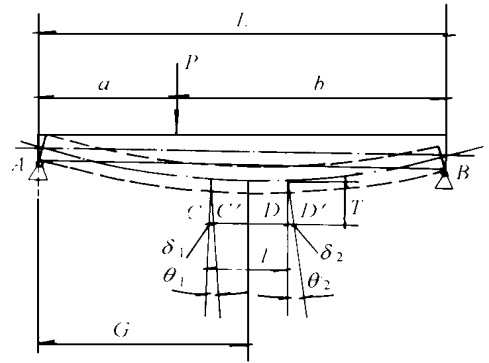


图 2 受载简支梁变形示意图

在图 2 中， G 为 A 端到传感器中心的距离， a 为汽车车轮在桥面上作用点到 A 的距离， L 为桥梁的有效长度。由于车轮在桥面上作用点不同，故需要分 3 种情况进行分析计算。

第 1 种情况： $a \leq G - \frac{l}{2}$ (见图 3)

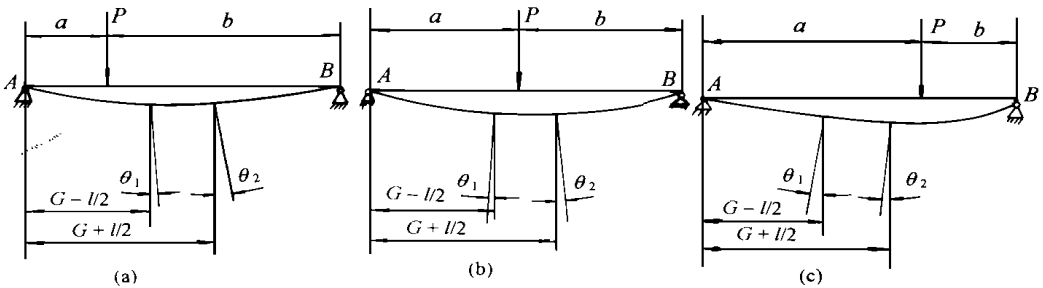


图 3 作用力在不同位置时梁的变形示意图

此时偏转角的计算公式为

$$\theta = \frac{Pb}{6EIL} \left[L^2 - b^2 + \frac{3L}{b} \left(x - a \right)^2 - 3x^2 \right] \quad (4)$$

式中， I 是梁的截面惯性矩； E 是梁的弹性模量； P 是车轮对桥面的作用力； b 为车轮作用点到 B 的距离。将 $x = G - \frac{l}{2}$ 代入式 (4) 得

$$\theta_1 = \frac{Pb}{6EIL} \left[L^2 - b^2 + \frac{3L}{b} \left(G - \frac{l}{2} - a \right)^2 - 3 \left(G - \frac{l}{2} \right)^2 \right] \quad (5)$$

将 $x = G + \frac{l}{2}$ 代入式 (4) 得

$$\theta_2 = \frac{Pb}{6EIL} \left[L^2 - b^2 + \frac{3L}{b} \left(G + \frac{l}{2} - a \right)^2 - 3 \left(G + \frac{l}{2} \right)^2 \right] \quad (6)$$

将式 (5) 和式 (6) 代入式 (3) 得

$$X = \frac{TPb}{EIL} \left[\frac{L}{b} \left(G - a \right) - G \right] \quad (7)$$

将 $b = L - a$ 代入上式得

$$X = \frac{TPb}{EIL} (G - L) \quad (8)$$

由上式可以看出, a 越大, 应变 X 越大, 当 $a = G - \frac{l}{2}$ 时, 为此区间最大值, 即

$$X_{max1} = \frac{TPb}{EIL} (L - G) \left(G - \frac{l}{2} \right) \quad (9)$$

第 2 种情况:

此时偏转角 θ_1 的计算公式为

$$X = \frac{Pb}{6EIL} (L^2 - b^2 - 3x^2) \quad (10)$$

将 $x = G - \frac{l}{2}$ 代入上式得

$$\theta_1 = \frac{Pb}{6EIL} \left[L^2 - b^2 - 3 \left(G - \frac{l}{2} \right)^2 \right] \quad (11)$$

θ_2 的计算公式为

$$\theta_2 = \frac{Pb}{6EIL} \left[L^2 - b^2 + \frac{3L}{b} \left(G + \frac{l}{2} - a \right)^2 - 3 \left(G + \frac{l}{2} \right)^2 \right] \quad (12)$$

将式 (11) 和式 (12) 代入式 (3) 得

$$X = \frac{TPb}{EIL} \left[\frac{L}{2b} \left(G + \frac{l}{2} - a \right)^2 - G \right] \quad (13)$$

将 $b = L - a$ 代入上式得

$$X = \frac{TP}{EIL} \left[\frac{L}{2} \left(G + \frac{l}{2} - a \right)^2 - G(L - a) \right] \quad (14)$$

为了找出 a 等于何值时应变为最大值, 将上式对 a 求导, 并令其等于 0, 得到下式

$$\frac{dX}{da} = \frac{TP}{EIL} \left[G - \frac{L}{l} \left(G + \frac{l}{2} - a \right) \right] = 0 \quad (15)$$

由式 (15) 解得

$$a = G + \frac{l}{2} - \frac{Gl}{L} \quad (16)$$

即当 $a = G + \frac{l}{2} - \frac{Gl}{L}$ 时, 应变为最大值

$$X_{max2} = \frac{TPG}{2EIL} (2L - l) (G - L) \quad (17)$$

第 3 种情况: $a = G + \frac{l}{2}$

此时

$$X = \frac{TPG}{EIL} (L - a) \quad (18)$$

当 $a = G + \frac{l}{2}$ 时达到最大, 其值为

$$X_{\max 3} = \frac{TPG}{2EIL} \left(L - G - \frac{l}{2} \right) \quad (19)$$

2 传感器安装参数的选择

本节根据计算公式,分析联结柱长短、传感器长度及传感器中心位置等参数的选取方法。

从式 (3) 可以看出,传感器联结点到梁中性面的距离 T 越大,则传感器应变值越大。由于联结点到梁中性面的距离等于联结柱的长度与梁底面到中性面距离之和,故联结柱长度越大, T 越大。因此,在联结柱强度和刚度条件允许的情况下,联结柱尽可能长一些。

通过对式 (9)、式 (17) 和式 (19) 的分析,传感器长度 l 越小则最大应变值越大,故传感器长度不宜过长。考虑到传感器的制作与安装,传感器长度也不宜过短。

最后来确定传感器中心位置 G 的选取。在式 (8) 和式 (9) 中, G 分别为 0 和 L 时, X 达到最大值,这与实际情况不符,故只有根据式 (14) 来确定 G 。将式 (14) 对 a 求导,并令其等于 0, 则

$$\frac{dX}{da} = \frac{TP}{EIL} \left[\left(L - a \right) - \frac{4L}{l} \left(G + \frac{l}{2} - a \right) \right] = 0 \quad (20)$$

解上式得

$$G = a + \frac{1}{2} - \frac{al}{L} \quad (21)$$

将式 (16) 代入式 (21) 得

$$G = \frac{L}{2} \quad (22)$$

由此可见,当传感器中心位于梁的中间位置时对测量最为有利,这正与人们的平时经验相吻合。

3 传感器联结的安装方式

由于传感器上的变形与力是通过联结柱传递过来的,所以联结柱安装的好坏及合理与否,直接影响测量的灵敏度与精度。

在最初的实验中,参考了澳大利亚同类传感器的安装方式,采用膨胀螺栓联结,如图 4 所示。这种联结方式在使用中存在一些问题。如在打孔时,所打的安装孔径一般比膨胀螺栓直径稍大些,这样,当拧紧螺栓时,仅有底部锥形部分被膨胀开,仅有几毫米的部分与孔壁相接触,当受到不大的横向力 P 作用时,螺栓就会发生晃动,一边靠到孔壁上。当受力变向时,螺栓还会离开孔壁,这样必然会影响到测试精度。为了解决这一问题,在实验中采用了粘贴法,即用环氧树脂胶,将金属块粘接在梁的下表面,并将传感器固定在金属块上,如图 5 所示。经实际应用,发现这种联结方式效果非常好,具有很高的灵敏度。另外,用胶粘不需要 220V 交流电源,这样也解决了野外作业无 220V 交流电源,冲击钻无法使用的问题。

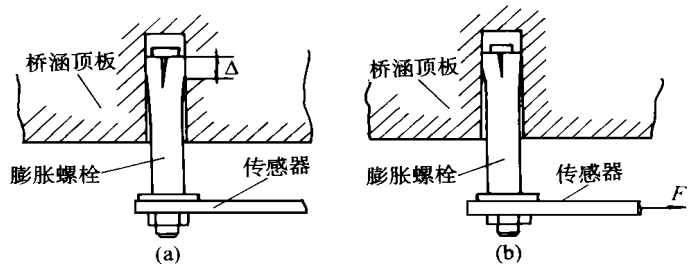


图 4 膨胀螺栓联结示意图

4 计算举例

已知：混凝土的弹性模量 E
= 0.25×10^5 MPa, 传感器中心到梁端点距离 $G= 1.5$ m,
桥长 $L= 3$ m, 桥宽 $B= 4$ m, 水泥板厚度 $H= 0.3$ m, 传
感器长度 $l= 0.3$ m, 传感器联结点到梁中性面距离 $T=$
 0.25 m, 同轴两车轮对桥面的压力 $P= 4000$ N

将以上条件参数代入式 (17)得 $\varepsilon= 24.666 \times 10^{-6}$
也就是说，传感器上将测量到应变值为 24.666×10^{-6} 。实

际测量中测到的数值要比上述值大一些，这是因为汽车车轮的压力没有均匀作用于整个桥宽，而仅在桥宽的中间部分，故桥宽的中间部分的变形要大于两边的变形。传感器一般安装在桥宽中间与汽车车体宽度大体相当的位置，所以实际测量到的应变值比计算得到的平均应变值要大些。

对于实际上有两个车轴即 4 个轮子同在桥面上的情况，要采用分别计算前后车轮作用所产生的应变然后叠加的方法求得。计算中要考虑到前后车轴在桥面上的位置差

5 结束语

本文通过分析，推导出传感器应变的计算式，并找出称重传感器的安装位置及方式与测试灵敏度的关系，最后还提出胶接传感器联结柱的安装方法，实践证明以上的分析及安装方法是行之有效的

参考文献

- 1 孙训方等．材料力学（第二版）．高等教育出版社，1987
- 2 沈观林，马良埏．电阻应变计及其应用．清华大学出版社，1983

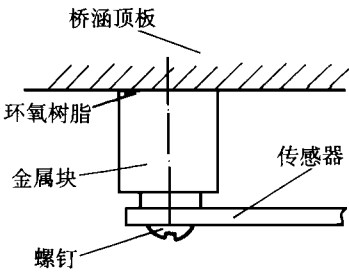


图 5 粘接法固定传感器示意图

短 讯

△葡萄牙国家土木式程试验所和 IASSE 的葡萄牙集团会同国际桥梁和结构工程学会、国际预应力协会共同开的结构工程新工艺国际会议将于 1997 年 7 月 2~ 5 日在里斯本召开。会议将讨论结构材料的最新发展、结构方案创新、新施工工艺、计算机技术应和大型工程中的新工艺应用。会议期间，有世界最长悬索桥之一的 Tagus 新悬索桥（全长 12km）可供参观。联系：New Tech Lisbon 97 A/C LNEC Av. Bragil 101 P1749 Lisbon Portugal Fax 351 1846 3467.

△以《运输在经济发展中的作用—亚洲的公路投资》为主题的国际路联亚太地区会议于 1996 年 11 月在台北召开，其目的是为下一世纪本地区道路基础设施的发展制订一项议程。华盛顿路联主席和其他两位专家作了“国际路联在 21 世纪中的作用”、“作为经济发展的一项国家资产的铺面道路管理”和“未来的道路作用”。有亚洲公路持续发展，公路设计、材料、施工和管理，交通控制系统，道路安全，道路和多方式运输，道路和财政资金和私有化，智能公路和智能车辆等 9 个方面的会议论文。下一次的国际路联于 1997 年 6 月在加拿大多伦多举行。