

便携式汽车超重监测系统

刘健荣 孔力 叶林

(华中理工大学自控系 武汉 430074)

提要 本文介绍了一种便携式液压称重系统。由于其液压变换器对动载荷具有较好的承受能力,且对于地基无任何特殊要求,特别适合于用作高等级公路的汽车超重监测。

关键词 汽车超重监测 液压称重原理 单片机 数据处理

A Portable Checking System of the Truck Overbalance

Liu Jianrong Kong Li Ye Lin

(HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, WUHAN)

Abstract The paper presents a portable hydraulic weighing system. Since the hydraulic converter has a good capacity of dynamic load and has no any special demand on foundation, it particularly suits for overbalance checking of trucks in high-type road.

Key words Truck overbalance checking Principle of hydraulic weighing
Single-chip processor Data process

0 前言

由于高速公路、桥梁的建造和维修费用昂贵及其运输负荷的迅猛增加,如何确保公路及桥梁的安全与维护,已成为一个日益引起重视的问题。重型车辆的轴荷载是道路损坏的主要因素,因而,监视和检查车辆的载重情况,对于高等级公路系统的监护和技术管理十分重要,这种客观需要促进了汽车动态称量设备的研究与发展。

目前已得到广泛应用的无基坑电子汽车衡,采用了悬臂梁式称重传感器,其高度尺寸有了明显的减低,用一个不长的引导斜坡就能使汽车从上面顺利通过,与带基坑的汽车衡相比,无疑是前进了一大步。但是,作为公路监护之用仍不理想。因为其整体结构大,不能由公路管理人员随意挪动;它仍然需要建造专门的基础平台,4个称重传感器的底座平板需装地基螺栓,还有等高偏差、中心距对角线偏差等安装要求,否则无法发挥其精度较高的优势,因而也就不能随处移动。研究一种能由公路管理人员随车携带、就地使用的汽车动态称重系统实有必要。

1 工作原理及系统结构特征

液压式称重系统的主体为一具有弹性表面的密封容器,待称重量加在弹性表面上,弹性

表面产生微量变形,从而改变了容器内液体的压力。此压力与待称重量成正比,通过压力传感器测出液体压力的变化,即可获得待称重量的信息。本称重系统的信息流程如图1。

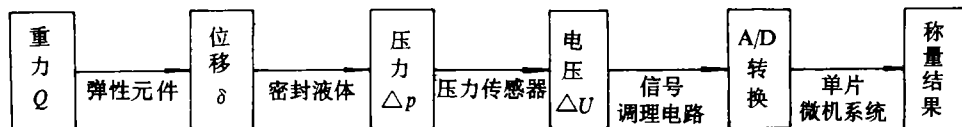


图1 称重系统工作原理

由上述工作原理可以看出,实现液压原理称重的关键是液压式变换器的设计。要求其可变形的弹性表面既要在垂直方向上有很高的灵敏度,又要在水平方向上有较大的刚度,而且有足够的耐压强度和疲劳寿命。综上考虑,有两种弹性元件可供选择:一种是盘绕状的弹性软管,一种是大硬芯膜片或单圈波纹管。本方案采用了后者。每个液压式变换器由两个单圈波纹管并联组成,两波纹管顶部用一块承载板相连,底部有液路相通,使两管内的液体压力相等,因而每个液压式变换器仅需一只压力传感器。由于液体传递压力的各向同性,此压力传感器的安装部位和方向不受任何限制。其结构示意图见图2。图中限位板的作用是承受汽车车轮行走过程中产生的水平分力和侧倾力矩。

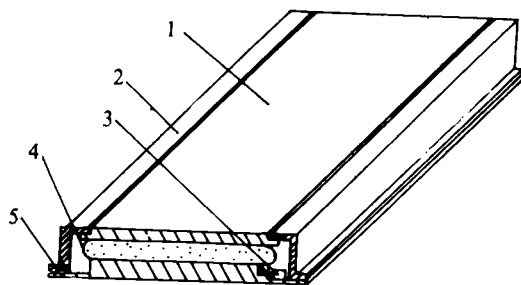


图2 液压式变换器结构

1. 承载板 2. 限位板 3. 压力传感器 4. 内部充满液体的单圈波纹管 5. 变换器底座

设两波纹管的有效面积为 $2S$, 汽车轮重为 Q 。在 Q 的作用下,密封的液体压力变化为 Δp , 达到平衡状态时,由于液体的不可压缩性,承载板的位移极小,因而可将波纹管的有效面积视为常量,于是有:

$$\Delta p \cdot 2S = Q = K \cdot \Delta p \quad (1)$$

即压力增量 Δp 与 Q 成正比。此压力变化量由压力传感器测得,作为汽车轮重的一组采样值。利用微机系统采集动态压力变化过程,经数据处理得到对应轮重。

图3为称重系统示意图。1、2为两个相互独立的液压式变换器,它们之间

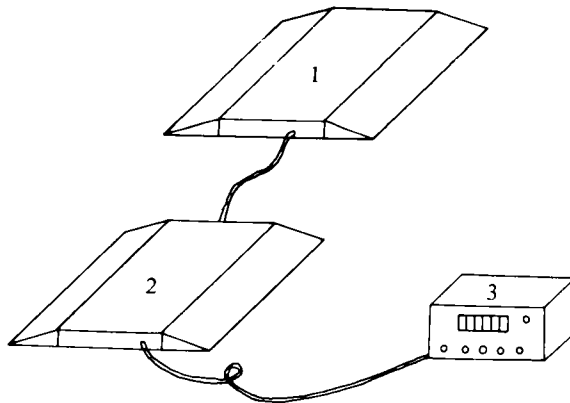


图3 称重系统示意图

只有电气上的联系,3为以8098单片机为核心的测量仪。使用时,1和2平放在所选定的路段,其间距与汽车的左、右轮间的距离相适应,分别对汽车左、右轮的重力进行检测,其数据由测量仪采集、处理,待汽车驶离称重系统时,即可获得整车总重。整车重量用数字显示,

2 测量仪的组成

测量仪的工作过程是：系统上电后，首先进行自检，然后进入查询等待。当车轮压上液压变换器时，液体压力开始上升，压力传感器的输出电压值亦开始上升，当此电压超过某一个预先设置的门限电压后，认为是车轮已经压上，立即开始动态采样过程。取 1 毫秒为一个数据的采样周期，可以多次采样取均值得到一个有效数据。对左、右两变换器轮流采样，直至车轮离开，信号电压降至门限值以下时结束采样过程，紧接着进入数据处理运算，并在第二根轮轴开始称重以前完成运算过程，将运算结果送至指定的数据缓冲区暂存，每根轮轴对应一组运算结果。车轴数和超载报警值已预先通过键盘设置，当达到预置的车轴数后，即将几组运算结果相加，得到车辆的整体总重，送数码管显示，超载时有声、光警示。如有需要可增加打印输出。

3 加载特性曲线的分析及实测

图 5 (a) 为车轮行驶过程中液压变换器的受力状况。车轮对承载板的作用力有重力 Q 和水平摩擦力 F , F 由限位板的支反力所平衡, Q 则引起液体压力 p 的变化, 压力 p 通过波纹管的有效面积, 产生液压支反力 $p \cdot S$ 与 Q 相平衡。但是, 液压力 $p \cdot S = Q$ 只适用于 Q 作用在变换器中心位置时的情况, 当重力 Q 偏离变换器中心时, 由于 Q 和 $p \cdot S$ 不在同一直线上,

还会形成侧倾力矩 M ，造成称重过程中液体压力的波动。

当车轮位于变换器的左半部分时， M 为逆时针方向，承载板将在 B 点与限位板接触，形成以 B 为支点的

平衡力系。由 $\sum M_B = 0$ ，得到：

$$(2l - x) \cdot Q = p \cdot S \cdot l \quad (2)$$

于是有：当 $x = 0$ 时， $p = \frac{2Q}{S}$

当 $x = l$ 时， $p = \frac{Q}{S}$

当车轮运动到变换器的右半部分时， M 为顺时针方向，承载板将在 A 点与限位板接触，形成以 A 为支点的

平衡力系。由 $\sum M_A = 0$ ，得到：

$$x \cdot Q = p \cdot S \cdot l \quad (3)$$

于是有：当 $x = l$ 时， $p = \frac{Q}{S}$

当 $x = 2l$ 时， $p = \frac{2Q}{S}$

综上所述，液体压力在整个称重过程中的变化规律

是 $\frac{2Q}{S} \rightarrow \frac{Q}{S} \rightarrow \frac{2Q}{S}$ ，相当于一个恒力 Q 和一个按直线规律变化的力矩 M 的共同作用，见图 6

(a) (b)。 Q 力的加载、卸载过程为典型的阶跃作用力，其表达式为

$$q(t) = \begin{cases} 0 & t < 0, t > t_0 \\ Q & t \geq 0, t < t_0 \end{cases} \quad (4)$$

设汽车在通过液压变换器时为等速运动， $v = 2l/t_0$ ，则有：

$$m(t) = Q \cdot l - Q \cdot v \cdot t = Q \cdot l - \frac{2Ql}{t_0} \cdot t \quad (5)$$

由式 (5) 可知，力矩 M 具有斜坡函数输入特性。

图 5 (b) 和 (c) 分别为在 Q 和 M 作用下变换器的系统模型。 K_Q 和 K_M 分别为系统的垂直位移刚度和转动位移刚度， C_Q 和 C_M 分别为运动阻尼， m 和 J 分别为等效质量和等效转动惯量， $y(t)$ 和 $\varphi(t)$ 分别为垂直位移和转动角度。由于液压系统通常具有弱阻尼特性，其阻尼比 $\zeta < 1$ ，因而，液压变换器在阶跃力 Q 和斜坡函数力矩 M 的作用下，其动态响应为：

$$y(t) = \frac{Q}{K_Q} \left[1 - \frac{e^{-\zeta \omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cos(\omega_d t - \psi) \right] \quad (5)$$

$$\text{式中：} \omega_n = \sqrt{\frac{K_Q}{m}}; \omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}; \zeta = \frac{C_Q}{2\sqrt{mK_Q}}; \psi = \text{tg}^{-1} \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

$$\varphi(t) = Q \left(t - \frac{2\zeta}{\omega_n} + \frac{e^{-\zeta \omega_n t}}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\omega_d t + \text{tg}^{-1} \frac{2\zeta \sqrt{1-\zeta^2}}{2\zeta^2 - 1}) \right) \quad (6)$$

$$\text{式中：} \omega_n = \sqrt{\frac{K_M}{J}}; \omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}; \zeta = \frac{C_M}{2\sqrt{JK_M}}$$

根据式 (5) 和式 (6) 得的系统响应曲线示于图 6 (c)。两曲线叠加，得到系统的理论响应曲线。该理论曲线有两个特征：一个特征是呈马鞍形，有明显的中部下凹区；另一个特征

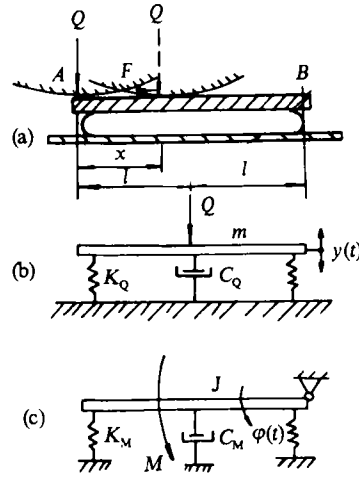


图 5 受力与模型分析

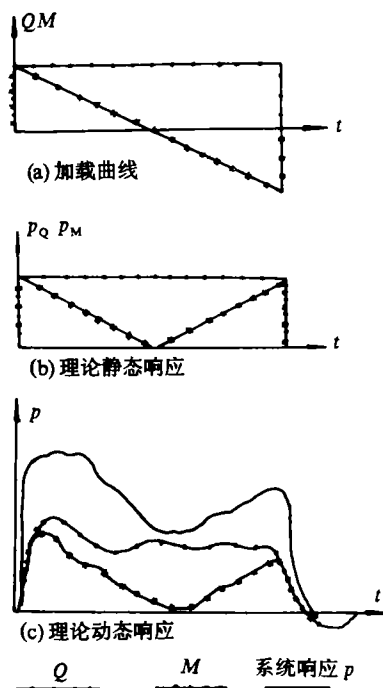


图 6

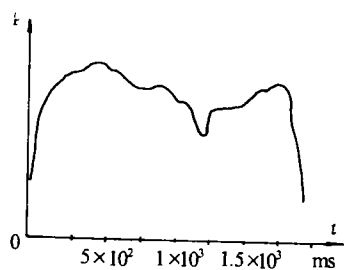


图 7 实测响应曲线

是右侧低于左侧，亦即加载过程的超调量较卸载过程的超调量大。

为探求液压式变换器的实际响应特性，将测量仪中 8098 单片机的串行口通过开发装置与 PC 机进行联机通讯，进行数据的实时采集与处理，通过 PC 机的 CRT 绘出的实测曲线示于图 7。在合理的运动速度下，曲线有很好的一致性。将实测曲线和理论分析曲线相比较，其马鞍形不如理论曲线明显，但仍然清晰地具有上述两个特征。说明了理论分析比较切合实际，给数据处理提供了依据。

4 结论

(1) 由于液体传递压力的各向同性，使液压式称重系统结构简单，对地基无特殊要求，特别适合于便携式称重场合。

(2) 由于系统中不存在任何运动部件以及液体的缓冲吸收作用，使液压式称重系统能较好地适应动态称重的环境。

(3) 受膜片式压力传感器精度 (0.2%~0.5%) 和 8098 单片机 10 位 A/D 转换精度的限制，以及动态称重过程中各种干扰的影响，液压式称重系统不易达到较高的准确度等级。

(4) 作为道路管理中对车辆的超载监视，液压称重系统具有足够的可信性。在动态称量过程中发现某车辆超载后，为对其超载情况作准确判断，可以适当降低车速再进行一次准静态称量，其精度可达 1% 以内。

参考文献

- 1 应变式传感器在汽车行业中的应用. 传感器技术, 1990 年 4 期.
- 2 坚实而轻巧的车辆称重系统. 传感器应用技术, 1986 年第 1 期.
- 3 施汉谦, 宋文敏. 电子秤技术. 中国计量出版社, 1989.
- 4 刘庆普, 沈允春译. 信号分析与处理. 宇航出版社, 1991.