



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111692985 A
(43)申请公布日 2020.09.22

(21)申请号 202010564550.1

(22)申请日 2020.06.19

(71)申请人 交通运输部公路科学研究所
地址 100088 北京市海淀区西土城路8号

(72)发明人 张劲泉 李萍 王磊

(74)专利代理机构 北京康盛知识产权代理有限公司 11331

代理人 董娣

(51)Int.Cl.
G01B 11/16(2006.01)

权利要求书3页 说明书13页 附图5页

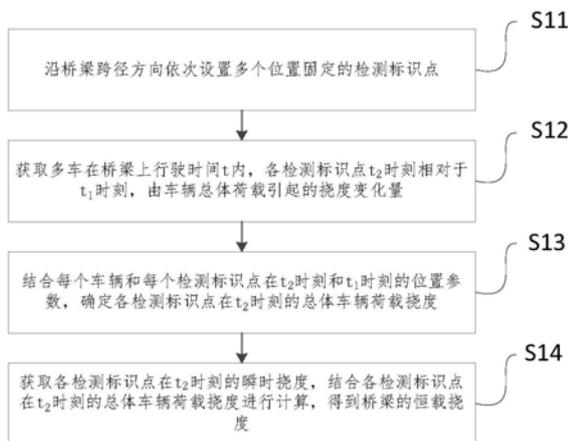
(54)发明名称

一种单跨简支梁桥在通车情况下的恒载挠度分析方法

(57)摘要

本发明公开了一种单跨简支梁桥在通车情况下的恒载挠度分析方法,涉及桥梁状态检测技术领域;该方法包括:设置多个位置固定的检测标识点;获取多车在桥梁上行驶时间t内,各点t₂时刻相对于t₁时刻,由车辆总体荷载引起的挠度变化量;结合每个车辆和每个点的位置参数,确定各点在t₂时刻的总体车辆荷载挠度;获取各点在t₂时刻的瞬时挠度,结合各点在t₂时刻的总体车辆荷载挠度进行计算,得到桥梁的恒载挠度。本发明的桥梁恒载线形测绘方法中采用桥梁动态挠度测量技术,可以在多车通过桥梁的条件下,实现桥梁恒载线形的测绘,相比现有技术中的传统/新式的静态挠度测量方法而言,本发明不必封闭交通,检测更加灵活、简便、高效,并且极大的降低了检测成本。

CN 111692985 A



1. 一种单跨简支梁桥在通车情况下的恒载挠度分析方法,其特征在于,包括:

沿桥梁跨径方向依次设置多个位置固定的检测标识点;

获取多车在桥梁上行驶时间 t 内,各检测标识点 t_2 时刻相对于 t_1 时刻,由车辆总体荷载引起的挠度变化量;

结合每个车辆和每个检测标识点在 t_2 时刻和 t_1 时刻的位置参数,确定各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度;

获取各检测标识点在 t_2 时刻的瞬时挠度,结合各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度进行计算,得到桥梁的恒载挠度。

2. 根据权利要求1所述恒载挠度分析方法,其特征在于,所述沿桥梁跨径方向依次设置多个检测标识点,具体包括:

设置跨中测点,并以所述跨中测点为中心向两侧分别设置多个等距的其它测点。

3. 根据权利要求1所述的恒载挠度分析方法,其特征在于,所述获取多车在桥梁上行驶时间 t 内,各检测标识点 t_2 时刻相对于 t_1 时刻,由于车辆总体荷载引起的挠度变化量,具体包括:

获取多车在桥梁上行驶时间 t 内的每个所述检测标识点的竖向动态位移时程曲线;

通过对每个所述检测标识点的竖向动态位移时程曲线中的低频数据进行多尺度的小波分解,筛除其中的高频噪音,得到该竖向动态位移时程曲线中由于多车荷载引起的准静态分量;

自所述时间 t 内选取 t_1 时刻和 t_2 时刻,计算每个所述检测标识点的竖向动态位移时程曲线的准静态分量在 t_1 时刻和 t_2 时刻的差值,获得各检测标识点 t_2 时刻相对于 t_1 时刻,由于车辆总体荷载引起的挠度变化量。

4. 根据权利要求3所述的恒载挠度分析方法,其特征在于,所述多尺度的小波分解选用sym7小波基函数。

5. 根据权利要求1所述的恒载挠度分析方法,其特征在于,所述结合每个车辆和每个检测标识点在 t_2 时刻和 t_1 时刻的位置参数,确定各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度,具体包括:

根据 t_1 时刻和 t_2 时刻的每个车辆的位置参数和各检测标识点的位置参数,确定各检测标识点 t_1 时刻的总体车辆荷载挠度效应与 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度效应比 N_i ;

通过如下公式计算确定各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度:

$$w_{t_2}(b, x_i) = \frac{\Delta w_{t_2}(b, x_i)}{1 - N_i}$$

其中, $w_{t_2}(b, x_i)$ 为 t_2 时刻第 i 个检测标识点的总体车辆荷载挠度, $\Delta w_{t_2}(b, x_i)$ 为 t_2 时刻第 i 个检测标识点相对于 t_1 时刻的总体车辆荷载挠度变化量。

6. 根据权利要求5所述的恒载挠度分析方法,其特征在于,所述根据 t_1 时刻和 t_2 时刻的每个车辆的位置参数和各检测标识点的位置参数,确定各检测标识点 t_1 时刻的总体车辆荷载挠度效应与 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度效应比 N_i ,具体包括:

分别确定 t_1 时刻的每个车辆 c_j 距离桥梁第一端的水平距离 $a^{c_j}_{t_1}$ 和距离桥梁第二端的水

平距离 $b^{c_j}_{t_1}$ 、 t_2 时刻的每个车辆 c_j 距离桥梁第一端的水平距离 $a^{c_j}_{t_2}$ 和距离桥梁第二端的水平距离 $b^{c_j}_{t_2}$ 、以及各检测标识点 i 距离桥梁第一端的水平距离 x_i ;

其中, $a^{c_j}_{t_1} + b^{c_j}_{t_1} = a^{c_j}_{t_2} + b^{c_j}_{t_2} = l$; l 为桥梁跨径;

通过如下公式计算确定各检测标识点 t_1 时刻的总体车辆荷载挠度效应与 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度效应比 N_i :

$$N_i = \frac{w_{t_1}(b, x_i)}{w_{t_2}(b, x_i)} = \frac{\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i)}{\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i)}$$

其中, $w_{t_1}(b, x_i)$ 为 t_1 时刻第 i 个检测标识点的总体车辆荷载挠度, $\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$ 表示 t_1 时刻第 i 个检测标识点在 m 个车辆作用下的车辆荷载挠度之和; $w_{t_2}(b, x_i)$ 为 t_2 时刻第 i 个检测标识点的总体车辆荷载挠度, $\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i)$ 表示 t_2 时刻第 i 个检测标识点在 m 个车辆作用下的车辆荷载挠度之和;

当 $0 \leq x_i \leq a^{c_j}_{t_1}$ 时, $w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$;

当 $a^{c_j}_{t_1} \leq x_i \leq l$ 时, $w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_1}, x_i) + M \cdot B(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$;

当 $0 \leq x_i \leq a^{c_j}_{t_2}$ 时, $w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_2}, x_i)$;

当 $a^{c_j}_{t_2} \leq x_i \leq l$ 时, $w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_2}, x_i) + M \cdot B(b^{c_j}_{t_2}, x_i)$;

$$A(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = \frac{b^{c_j}_{t_1} x_i}{l} (l^2 - b^{c_j}_{t_1}{}^2 - x_i^2);$$

$$B(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = (x_i + b^{c_j}_{t_1} - l)^3;$$

$$A(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = \frac{b^{c_j}_{t_2} x_i}{l} (l^2 - b^{c_j}_{t_2}{}^2 - x_i^2);$$

$$B(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = (x_i + b^{c_j}_{t_2} - l)^3;$$

其中, $w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$ 为 t_1 时刻第 i 个检测标识点的第 j 个车辆引起的车辆荷载挠度; $w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i)$ 为 t_2 时刻第 i 个检测标识点的第 j 个车辆引起的车辆荷载挠度; M 为无量纲转换系数。

7. 根据权利要求6所述的恒载挠度分析方法, 其特征在于, 确定所述每个车辆在 t_2 时刻和 t_1 时刻的位置参数, 具体包括:

获取与所述竖向动态位移时程曲线同步的、多车在桥梁上行驶的视频数据;

基于所述视频数据, 分别提取 t_1 时刻的第一图像数据和 t_2 时刻的第二图像数据;

分别对所述第一图像数据和第二图像数据内的每个车辆进行几何特征识别, 确定所述第一图像数据和第二图像数据中的每个车辆的形心;

根据确定的每个所述车辆的形心与桥梁的相对位置, 确定所述第一图像数据和第二图像数据中的每个所述车辆的位置参数。

8. 根据权利要求7所述的恒载线形测绘方法, 其特征在于, 所述获取各检测标识点在 t_2

时刻的瞬时挠度,具体包括:

对 t_2 时刻的所述第二图像数据内的各检测标识点进行几何特征识别,确定每个所述检测标识点的形心;

根据确定的所述检测标识点的形心与桥梁的相对位置,确定 t_2 时刻的各检测标识点的瞬时挠度。

9. 根据权利要求6所述的恒载线形测绘方法,其特征在于,所述结合各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度进行计算,得到桥梁的恒载挠度,具体包括:

将 t_2 时刻的各检测标识点的所述瞬时挠度和 t_2 时刻的各检测标识点的总体车辆荷载挠度求差,确定各检测标识点的恒载挠度。

10. 根据权利要求1所述的恒载线形测绘方法,其特征在于,所述 t_1 时刻为测量初始时刻;所述 t_2 时刻为车辆总体荷载在跨中测点产生最大挠度的时刻。

一种单跨筒支梁桥在通车情况下的恒载挠度分析方法

技术领域

[0001] 本发明属于桥梁状态检测技术领域,具体涉及一种单跨筒支梁桥在通车情况下的恒载挠度分析方法。

背景技术

[0002] 本行业中需要定期测量桥梁的线形,以此检测桥梁的稳定性和安全性,该类测量主要是静态挠度测量,为了检测人员的安全和避免活载扰动影响,需要在桥梁无车辆荷载的情况下,利用一些测量仪器采集桥梁不同位置的高程数据,辅助以相应的挠度算法得出桥梁的挠度。目前常用的静态挠度测量传统方法有悬锤法、电子式位移计法、水准仪测量法、GPS定位法、全站仪观测法、连通管传感技术、倾斜仪测量、静力水准仪系统等方法;随着技术的不断发展,近几年也发展出现了一批新式静态挠度测量技术,这类技术主要有雷达干涉测量技术、三维激光扫描技术、光纤线形快速测量系统、近景摄影测量技术。

[0003] 以水准仪测量法为例,简要说明传统方法测量线形的实现方案(参考《桥梁线形检测实施细则》TNJC/SSXZ/01-02/07):步骤1:在桥面上用粉笔标记出桥台、桥墩的具体位置。梁式桥跨结构、拱式和索塔结构的桥面结构的纵向线形测绘,宜沿桥纵向分断面布设测点,分桥轴线和车行道上下游边缘线三条侧线,按照二等工程水准测量要求进行闭合水准测量。测点应布置在桥跨或桥面结构的跨径等分点截面上。步骤2:将精密水准仪架设在路面平顺处调平,将塔尺竖立在测定位置上,以路线附近的水准点高程作为基准。测记测定点的高程读数,以m表示。水准仪测量原理如图1所示。步骤3:连续测定全部测点,并与水准点闭合。步骤4:计算出桥面各点的高程,将各点的位置及高程绘制出桥面结构纵向线形图。

[0004] 虽然针对桥梁挠度测量发展出了以上许多种方法,但上述无一例外均属于桥梁静态挠度测量,无法在桥梁通车情况下进行应用,因此需要封闭交通,这个过程涉及到审批、登报和交通广播,以及路政人员、交警、养护部门等多方人员配合,由此会产生较高时间成本、人员成本和经济成本,不利于测量的灵活、高效和低成本的需求。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明的一个目的是提出一种单跨筒支梁桥在通车情况下的恒载挠度分析方法,以解决现有技术中桥梁静态挠度测量需要封闭交通,不利于测量的灵活、高效和低成本的需求。

[0006] 在一些说明性实施例中,所述单跨筒支梁桥在通车情况下的恒载挠度分析方法,包括:沿桥梁跨径方向依次设置多个位置固定的检测标识点;获取多车在桥梁上行驶时间 t 内,各检测标识点 t_2 时刻相对于 t_1 时刻,由于车辆总体荷载引起的挠度变化量;结合每个车辆和每个检测标识点在 t_2 时刻和 t_1 时刻的位置参数,确定各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度;获取各检测标识点在 t_2 时刻的瞬时挠度,结合各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度进行计算,得到桥梁的恒载挠度。

[0007] 在一些可选地实施例中,所述沿桥梁跨径方向依次设置多个检测标识点,具体包

括:设置跨中测点,并以所述跨中测点为中心向两侧分别设置多个等距的其它测点。

[0008] 在一些可选地实施例中,所述获取多车在桥梁上行驶时间 t 内,各检测标识点 t_2 时刻相对于 t_1 时刻,由于车辆总体荷载引起的挠度变化量,具体包括:获取多车在桥梁上行驶时间 t 内的每个所述检测标识点的竖向动态位移时程曲线;通过对每个所述检测标识点的竖向动态位移时程曲线中的低频数据进行多尺度的小波分解,筛除其中的高频噪音,得到该竖向动态位移时程曲线中由于多车荷载引起的准静态分量;自所述时间 t 内选取 t_1 时刻和 t_2 时刻,计算每个所述检测标识点的竖向动态位移时程曲线的准静态分量在 t_1 时刻和 t_2 时刻的差值,获得各检测标识点 t_2 时刻相对于 t_1 时刻,由于车辆总体荷载引起的挠度变化量。

[0009] 在一些可选地实施例中,所述多尺度的小波分解选用sym7小波基函数。

[0010] 在一些可选地实施例中,所述结合每个车辆和每个检测标识点在 t_2 时刻和 t_1 时刻的位置参数,确定各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度,具体包括:根据 t_1 时刻和 t_2 时刻的每个车辆的位置参数和各检测标识点的位置参数,确定各检测标识点 t_1 时刻的总体车辆荷载挠度效应与 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度效应比 N_i ;

[0011] 通过如下公式计算确定各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度:

$$[0012] \quad w_{t_2}(b, x_i) = \frac{\Delta w_{t_2}(b, x_i)}{1 - N_i}$$

[0013] 其中, $w_{t_2}(b, x_i)$ 为 t_2 时刻第 i 个检测标识点的总体车辆荷载挠度, $\Delta w_{t_2}(b, x_i)$ 为 t_2 时刻第 i 个检测标识点相对于 t_1 时刻的总体车辆荷载挠度变化量。

[0014] 在一些可选地实施例中,所述根据 t_1 时刻和 t_2 时刻的每个车辆的位置参数和各检测标识点的位置参数,确定各检测标识点 t_1 时刻的总体车辆荷载挠度效应与 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度效应比 N_i ,具体包括:

[0015] 分别确定 t_1 时刻的每个车辆 c_j 距离桥梁第一端的水平距离 $a^{c_j}_{t_1}$ 和距离桥梁第二端的水平距离 $b^{c_j}_{t_1}$ 、 t_2 时刻的每个车辆 c_j 距离桥梁第一端的水平距离 $a^{c_j}_{t_2}$ 和距离桥梁第二端的水平距离 $b^{c_j}_{t_2}$ 、以及各检测标识点 i 距离桥梁第一端的水平距离 x_i ;

[0016] 其中, $a^{c_j}_{t_1} + b^{c_j}_{t_1} = a^{c_j}_{t_2} + b^{c_j}_{t_2} = l$; l 为桥梁跨径;

[0017] 通过如下公式计算确定各检测标识点 t_1 时刻的总体车辆荷载挠度效应与 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度效应比 N_i :

$$[0018] \quad N_i = \frac{w_{t_1}(b, x_i)}{w_{t_2}(b, x_i)} = \frac{\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i)}{\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i)}$$

[0019] 其中, $w_{t_1}(b, x_i)$ 为 t_1 时刻第 i 个检测标识点的总体车辆荷载挠度, $\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$ 表示 t_1 时刻第 i 个检测标识点在 m 个车辆作用下的车辆荷载挠度之和; $w_{t_2}(b, x_i)$ 为 t_2 时刻第 i 个检测标识点的总体车辆荷载挠度, $\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i)$ 表示 t_2 时刻第 i 个检测标识点在 m 个车辆作用下的车辆荷载挠度之和;

[0020] 当 $0 \leq x_i \leq a^{c_j}_{t_1}$ 时, $w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$;

[0021] 当 $a^{c_j}_{t_1} \leq x_i \leq l$ 时, $w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_1}, x_i) + M \cdot B(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$;

[0022] 当 $0 \leq x_i \leq a^{c_j}_{t_2}$ 时, $w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_2}, x_i)$;

[0023] 当 $a^{c_j}_{t_2} \leq x_i \leq l$ 时, $w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_2}, x_i) + M \cdot B(b^{c_j}_{t_2}, x_i)$;

[0024] $A(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = \frac{b^{c_j}_{t_1} x_i}{l} (l^2 - b^{c_j}_{t_1}{}^2 - x_i^2)$;

[0025] $B(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = (x_i + b^{c_j}_{t_1} - l)^3$;

[0026] $A(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = \frac{b^{c_j}_{t_2} x_i}{l} (l^2 - b^{c_j}_{t_2}{}^2 - x_i^2)$;

[0027] $B(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = (x_i + b^{c_j}_{t_2} - l)^3$;

[0028] 其中, $w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$ 为 t_1 时刻第 i 个检测标识点的第 j 个车辆引起的车辆荷载挠度; $w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i)$ 为 t_2 时刻第 i 个检测标识点的第 j 个车辆引起的车辆荷载挠度; M 为无量纲转换系数。

[0029] 在一些可选地实施例中, 确定所述每个车辆在 t_2 时刻和 t_1 时刻的位置参数, 具体包括: 获取与所述竖向动态位移时程曲线同步的、多车在桥梁上行驶的视频数据; 基于所述视频数据, 分别提取 t_1 时刻的第一图像数据和 t_2 时刻的第二图像数据; 分别对所述第一图像数据和第二图像数据内的每个车辆进行几何特征识别, 确定所述第一图像数据和第二图像数据中的每个车辆的形心; 根据确定的每个所述车辆的形心与桥梁的相对位置, 确定所述第一图像数据和第二图像数据中的每个所述车辆的位置参数。

[0030] 在一些可选地实施例中, 所述获取各检测标识点在 t_2 时刻的瞬时挠度, 具体包括: 对 t_2 时刻的所述第二图像数据内的各检测标识点进行几何特征识别, 确定每个所述检测标识点的形心; 根据确定的所述检测标识点的形心与桥梁的相对位置, 确定 t_2 时刻的各检测标识点的瞬时挠度。

[0031] 在一些可选地实施例中, 所述结合各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度进行计算, 得到桥梁的恒载挠度, 具体包括: 将 t_2 时刻的各检测标识点的所述瞬时挠度和 t_2 时刻的各检测标识点的总体车辆荷载挠度求差, 确定各检测标识点的恒载挠度。

[0032] 在一些可选地实施例中, 所述 t_1 时刻为测量初始时刻; 所述 t_2 时刻为车辆总体荷载在跨中测点产生最大挠度的时刻。

[0033] 与现有技术相比, 本发明具有如下技术优势:

[0034] 本发明中的桥梁恒载线形测绘方法中采用桥梁动态挠度测量技术, 可以在多车通过桥梁的条件下, 实现桥梁恒载线形的测绘, 相比于现有技术中的传统/新式的静态挠度测量方法而言, 本发明不必封闭交通, 检测更加灵活、简便、高效, 并且极大的降低了检测成本。

附图说明

[0035] 图1是现有技术中水准仪测量原理示意图;

[0036] 图2是本发明实施例中的恒载线形测绘方法的流程图;

- [0037] 图3是本发明实施例中车辆在时段 t 内任意时刻的车辆与桥梁关系状态示意图；
- [0038] 图4是本发明实施例中桥梁在没有车辆的情况下理论的挠度曲线示意图；
- [0039] 图5是本发明实施例中车辆在 t_1 时刻的车辆与桥梁关系状态示意图；
- [0040] 图6是本发明实施例中车辆在 t_2 时刻的车辆与桥梁关系状态示意图；
- [0041] 图7是本发明实施例中验证示例中的桥梁自重状态下的挠度曲线；
- [0042] 图8是本发明实施例中验证示例中的5#测点的原始位移时程曲线；
- [0043] 图9是本发明实施例中验证示例中的5#测点的原始位移时程曲线的动态分量；
- [0044] 图10是本发明实施例中验证示例中的5#测点的原始位移时程曲线的准静态分量；
- [0045] 图11是本发明实施例中验证示例中 t_1 时刻的关键帧图像；
- [0046] 图12是本发明实施例中验证示例中 t_2 时刻的关键帧图像；
- [0047] 图13是本发明实施例中验证示例中得到的桥梁恒载线形。

具体实施方式

[0048] 以下描述和附图充分地展示出本发明的具体实施方案，以使本领域的技术人员能够实践它们。其他实施方案可以包括结构的、逻辑的、电气的、过程的以及其他的改变。实施例仅代表可能的变化。除非明确要求，否则单独的部件和功能是可选的，并且操作的顺序可以变化。一些实施方案的部分和特征可以被包括在或替换其他实施方案的部分和特征。本发明的实施方案的范围包括权利要求书的整个范围，以及权利要求书的所有可获得的等同物。在本文中，本发明的这些实施方案可以被单独地或总地用术语“发明”来表示，这仅仅是为了方便，并且如果事实上公开了超过一个的发明，不是要自动地限制该应用的范围为任何单个发明或发明构思。

[0049] 术语“桥梁线形”：桥梁纵断面高程的连线，一般用图表示。通常首先定义坐标系，以桥梁一端支座为坐标原点，以该支座和桥梁走向为X轴，以竖直向上为Y轴，桥梁各截面竖向位移的连线为桥梁线形。

[0050] 术语“恒载”：桥梁结构自重。

[0051] 术语“恒载线形”：结构自重引起的几何形态变化。

[0052] 术语“活载挠度效应”：车辆、温度、风等荷载引起的挠度效应，对于本申请而言，由于检查时间短，温度和风等环境条件基本处于无变化状态，因此对于挠度变化量影响极低，可忽略不计，因此本申请中的活载挠度效应主要考虑车辆荷载挠度效应。

[0053] 需要说明的是，在不冲突的情况下本发明实施例中的各技术特征均可以相互结合。

[0054] 本发明实施例中公开了一种单跨简支梁在通车情况下的恒载挠度分析方法，具体地，如图2所示，图2为本发明实施例中恒载挠度分析方法的流程图；该恒载挠度分析方法，包括：

[0055] 步骤S11、沿桥梁跨径方向依次设置多个位置固定的检测标识点；

[0056] 步骤S12、获取多车在桥梁上行驶时间 t 内，各检测标识点 t_2 时刻相对于 t_1 时刻，由于车辆总体荷载引起的挠度变化量；其中，多车是指两个及两个以上的车辆的情况下；

[0057] 步骤S13、结合每个车辆和每个检测标识点在 t_2 时刻和 t_1 时刻的位置参数，确定各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度；

[0058] 步骤S14、获取各检测标识点在 t_2 时刻的瞬时挠度,结合各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度进行计算,得到桥梁的恒载挠度。

[0059] 本发明中的桥梁恒载线形测绘方法中采用桥梁动态挠度测量技术,可以在多车通过桥梁的条件下,实现桥梁恒载线形的测绘,相比于现有技术中的传统/新式的静态挠度测量方法而言,本发明不必封闭交通,检测更加灵活、简便、高效,并且极大的降低了检测成本。

[0060] 具体地,本发明实施例中的检测标识点可以选用检测用标识牌,或待测桥梁上纹理特征明显的自然标识点;在夜间检测时,可通过布设发光标识作为检测标识点。其中,对于待测桥梁而言,检测标识点的设置数量可以根据桥梁跨径长短选择合适的布设数量,布设数量越多,所得到的恒载线形的精确度越高,但对于测量仪器和计算设备的要求也就越高。再有,在设置检测标识点时可以等距进行布设,有利于得到变化平缓精确的恒载线形,避免某段出现非正常的突变问题。

[0061] 优选地,检测标识点的设置可以沿桥梁的纵向等距设置多个检测标识点;其中,检测标识点中包含位于桥梁起始位置的标识点和桥梁末尾位置的标识点,检测标识点的数量至多不超过33个。

[0062] 进一步地,检测标识点可以首先设置桥梁的跨中测点,然后以所述跨中测点为中心向两侧设置等距的多个其它测点,其它测点覆盖桥梁的起始位置和末尾位置,以8分点、10分点、16分点进行布设。

[0063] 具体地,本发明实施例中步骤S12中获取多车在桥梁上行驶时间 t 内,各检测标识点 t_2 时刻相对于 t_1 时刻,由于车辆总体荷载引起的挠度变化量,具体包括:获取多车在桥梁上行驶时间 t 内的每个所述检测标识点的竖向动态位移时程曲线;通过对每个所述检测标识点的竖向动态位移时程曲线中的低频数据进行多尺度的小波分解,筛除其中的高频噪音,得到该竖向动态位移时程曲线中由于多车荷载引起的准静态分量;自所述时间 t 内选取 t_1 时刻和 t_2 时刻,计算每个所述检测标识点的竖向动态位移时程曲线的准静态分量在 t_1 时刻和 t_2 时刻的差值,获得各检测标识点 t_2 时刻相对于 t_1 时刻,由于车辆总体荷载引起的挠度变化量。

[0064] 其中,各检测标识点的竖向动态位移时程曲线是指时间 t 内各检测标识点随着车辆在桥梁上的位移所产生的竖向位移的变化量。

[0065] 进一步地,申请人发现检测标识点的竖向动态位移时程曲线是一个与时间相关的序列,可以通过离散小波变换分解到不同的频带上。其中,由于车辆通过桥梁所需要的时间非常短,温度在该时间段内基本无变化,因此可忽略温度对本申请的影响,另外,高频主要由车辆动态行驶所引起的振动效应,可以作为噪音去除,以此消除车辆运动对桥梁挠度变化的次要影响,重点考虑车辆荷载对于桥梁挠度变化的主要影响。因此可以基于多尺度分析的方法,对实测的每个检测标识点的竖向动态位移时程曲线进行分解和重构表达信号的特征。

[0066] 本发明实施例中对每个检测标识点的所述竖向动态位移时程曲线中的低频数据进行多尺度的小波分解,得到每个检测标识点的竖向动态位移时程曲线的准静态分量,该步骤中通过不断分解每个检测标识点的所述竖向动态位移时程曲线的低频数据,筛除其中的高频数据,以此来提高获取到的车辆荷载引起的桥梁挠度效应的变化量的精确度。

[0067] 具体地,本申请的小波基函数可选用Symlet小波函数,其是IngridDaubechies提出的近似对称的小波函数,通常表示为symN(N=2,3,⋯,8)。symN小波函数具备较好的正则性和对称性,在一定程度上能够减少对信号进行分析和重构时的相位失真。在一些其它的实施例中,本申请亦可选用其它的小波函数。

[0068] 优选地,本申请选用小波基函数为sym7,分解到7层后分别重组得到荷载挠度效应的准静态分量 $\Delta w(t, x_i)$;其中t为采集时间,i为检测标识点的序号, $i=1,2\cdots n$,n为检测标识点个数。

[0069] 本发明实施例中的 t_2 时刻和 t_1 时刻是采集时间t内的两个时刻,其中, t_2 时刻一般位于 t_1 时刻之后。

[0070] 优选地,本发明实施例中确定所述每个车辆在 t_2 时刻和 t_1 时刻的位置参数,具体包括:获取与所述竖向动态位移时程曲线同步的、多车在桥梁上行驶的视频数据;基于所述视频数据,分别提取 t_1 时刻的第一图像数据和 t_2 时刻的第二图像数据;分别对所述第一图像数据和第二图像数据内的每个车辆进行几何特征识别,确定所述第一图像数据和第二图像数据中的每个车辆的形心;根据确定的每个所述车辆的形心与桥梁的相对位置,确定所述第一图像数据和第二图像数据中的每个所述车辆的位置参数。具体地,车辆的形心识别可以通过采用opencv中的开源代码,使用背景差的原理来识别车辆的形心。在一些其他实施例中,可以用其他数字图像处理的方法识别车辆的形心,例如特征提取、SVM分类法、深度学习法等均可实现。

[0071] 在一些实施例中,各检测标识点的位置参数亦可以采用与上述车辆的位置参数相同的方式进行检测获得,亦或者在设置检测标识点时人工测量或人工定点设计即检测标识点的位置参数为已知量,无需测量。

[0072] 本发明实施例中所述结合每个车辆和每个检测标识点在 t_2 时刻和 t_1 时刻的位置参数,确定各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度,具体包括:根据 t_1 时刻和 t_2 时刻的每个车辆的位置参数和各检测标识点的位置参数,确定各检测标识点 t_1 时刻的总体车辆荷载挠度效应与 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度效应比 N_i ;

[0073] 通过如下公式计算确定各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度:

$$[0074] \quad w_{t_2}(b, x_i) = \frac{\Delta w_{t_2}(b, x_i)}{1 - N_i}$$

[0075] 其中, $w_{t_2}(b, x_i)$ 为 t_2 时刻第i个检测标识点的总体车辆荷载挠度, $\Delta w_{t_2}(b, x_i)$ 为 t_2 时刻第i个检测标识点相对于 t_1 时刻的总体车辆荷载挠度变化量。

[0076] 本发明实施例中的“ x_i ”表示第i个检测标识点相对于桥梁的水平位置,在一些实施例中,可以采用以桥梁相对的具体坐标表示,以 $w_{t_2}(b, x_i)$ 为例,具体表示 t_2 时刻第i个检测标识点的位置 x_i 上的由车载总体荷载所引起的挠度值,即 t_2 时刻第i个检测标识点的位置 x_i 上的由第j个车辆荷载所引起的挠度,即 t_2 时刻第i个检测标识点的位置 x_i 上的由第j个车辆的车辆荷载挠度。其它与与“ x_i ”相关参数,与上述理解相同,在此不再赘述。

[0077] 具体地,所述根据 t_1 时刻和 t_2 时刻的每个车辆的位置参数和各检测标识点的位置参数,确定各检测标识点 t_1 时刻的总体车辆荷载挠度效应与 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度效

应比 N_i ,具体包括:

[0078] 分别确定 t_1 时刻的每个车辆 c_j 距离桥梁第一端的水平距离 $a^{c_j}_{t_1}$ 和距离桥梁第二端的水平距离 $b^{c_j}_{t_1}$ 、 t_2 时刻的每个车辆 c_j 距离桥梁第一端的水平距离 $a^{c_j}_{t_2}$ 和距离桥梁第二端的水平距离 $b^{c_j}_{t_2}$ 、以及各检测标识点 i 距离桥梁第一端的水平距离 x_i ;

[0079] 其中, $a^{c_j}_{t_1} + b^{c_j}_{t_1} = a^{c_j}_{t_2} + b^{c_j}_{t_2} = l$; l 为桥梁跨径;

[0080] 通过如下公式计算确定各检测标识点 t_1 时刻的总体车辆荷载挠度效应与 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度效应比 N_i :

$$[0081] \quad N_i = \frac{w_{t_1}(b, x_i)}{w_{t_2}(b, x_i)} = \frac{\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i)}{\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i)}$$

[0082] 其中, $w_{t_1}(b, x_i)$ 为 t_1 时刻第 i 个检测标识点的总体车辆荷载挠度, $\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$ 表示 t_1 时刻第 i 个检测标识点在 m 个车辆作用下的车辆荷载挠度之和 (求和); $w_{t_2}(b, x_i)$ 为 t_2 时刻第 i 个检测标识点的总体车辆荷载挠度, $\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i)$ 表示 t_2 时刻第 i 个检测标识点在 m 个车辆作用下的车辆荷载挠度之和;

[0083] 当 $0 \leq x_i \leq a^{c_j}_{t_1}$ 时, $w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$;

[0084] 当 $a^{c_j}_{t_1} \leq x_i \leq l$ 时, $w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_1}, x_i) + M \cdot B(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$;

[0085] 当 $0 \leq x_i \leq a^{c_j}_{t_2}$ 时, $w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_2}, x_i)$;

[0086] 当 $a^{c_j}_{t_2} \leq x_i \leq l$ 时, $w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_2}, x_i) + M \cdot B(b^{c_j}_{t_2}, x_i)$;

$$[0087] \quad A(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = \frac{b^{c_j}_{t_1} x_i}{l} (l^2 - b^{c_j}_{t_1}{}^2 - x_i^2);$$

$$[0088] \quad B(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = (x_i + b^{c_j}_{t_1} - l)^3;$$

$$[0089] \quad A(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = \frac{b^{c_j}_{t_2} x_i}{l} (l^2 - b^{c_j}_{t_2}{}^2 - x_i^2);$$

$$[0090] \quad B(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = (x_i + b^{c_j}_{t_2} - l)^3;$$

[0091] 其中, $w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$ 为 t_1 时刻第 i 个检测标识点的第 j 个车辆引起的车辆荷载挠度; $w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i)$ 为 t_2 时刻第 i 个检测标识点的第 j 个车辆引起的车辆荷载挠度; M 为无量纲转换系数。

[0092] 本发明实施例中的 c_m 用以指代车辆总数, 其中 c 用以代表车辆, m 具体表示车辆的总数; 再有, c_j 用以具体指代特定车辆, 其中 j 表示车辆的序号, 例如 c_1 则表示 m 个车辆中第 1 个车辆, c_j 和 c_m 的符号选择, 仅用于与其他参数进行区别。

[0093] 本发明实施例中的所述获取各检测标识点在 t_2 时刻的瞬时挠度, 具体包括: 对 t_2 时刻的所述第二图像数据内的各检测标识点进行几何特征识别, 确定每个所述检测标识点的形心; 根据确定的所述检测标识点的形心与桥梁的相对位置, 确定 t_2 时刻的各检测标识点的瞬时挠度。

[0094] 本发明实施例中所述结合各检测标识点在 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度进行计算,得到桥梁的恒载挠度,具体包括:将 t_2 时刻的各检测标识点的所述瞬时挠度和 t_2 时刻的各检测标识的总体车辆荷载挠度求差,确定各检测标识点的恒载挠度。

[0095] 其中,通过恒载挠度的连线后得到桥梁的恒载线形;优选地,在本申请采集数据之初,先以桥梁的结构建立坐标系,得到的各检测标识点的恒载挠度后,直接在该坐标系中标记,连线后即可形成桥梁的恒载线形。

[0096] 本发明实施例中所述 t_1 时刻为测量初始时刻;所述 t_2 时刻为车辆总体荷载在跨中测点产生最大挠度的时刻。 t_2 时刻选用车辆荷载在跨中测点产生最大挠度的时刻,此时桥梁的挠度同样也最大,所得到的桥梁的恒载线形更为精确,也更为直观,更易获取。

[0097] 为了便于本领域技术人员可以快速的理本申请的技术方案,在此详细阐述本申请的详细步骤及推导过程。

[0098] 步骤(1):以桥梁建立坐标系,并布设等距检测标识点;

[0099] 步骤(2)数据采集;采用BJQN-X型桥梁挠度检测仪同步采集车辆通行情况下的主梁振动视频数据、车辆通行视频和多点竖向动态位移时程曲线。

[0100] 步骤(3):获取各检测标识点在时间 t 内的由于总体车辆荷载作用下的挠度变化曲线(即各点的竖向动态位移时程曲线的准静态分量);

[0101] 利用sym7小波基函数得到各点的竖向动态位移时程曲线的准静态分量。

[0102] 步骤(4):选取 t_1 时刻和 t_2 时刻,确定各检测标识点 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度相对于 t_1 时刻的挠度变化量;

[0103] 其中, t_1 时刻优选零时(即 $t=0$), t_2 时刻优选桥梁在车载作用下,产生最大变形的时刻。通过将“零”时作为 t_1 ,可降低 t_1 时刻的选取难度,有利于在确定 t_2 时刻后直接确定各检测标识点 t_2 时刻的总体车辆荷载挠度相对于 t_1 时刻的挠度变化量。

[0104] 步骤(5):基于视频数据提取分析 t_1 时刻和 t_2 时刻的关键帧图像,确定 t_1 时刻和 t_2 时刻每个车辆的位置参数;

[0105] 根据车辆的图像特征,采用图像处理软件来实现车辆识别。可以使用背景差的原理来识别车辆,主要用到的步骤为:

[0106] 1) 读取 t_1 和 t_2 时刻的关键帧图像;

[0107] 1) ROI选定:根据车辆特征进行感兴趣区域(ROI)划分;

[0108] 2) 图像灰度处理:将原帧图像色彩变换,转换为灰度图像;

[0109] 3) 背景差运算:将处理好的灰度图与背景帧做帧差运算。

[0110] 4) 二值化:设定阈值,将车辆部分调整为白色,其他部分为黑色;

[0111] 5) 膨胀:对图像做膨胀处理,将碎片化的识别结果拼合为完整个体;

[0112] 6) 腐蚀:对图像做腐蚀运算,区分膨胀所导致的区域黏合、非关键点和区域;

[0113] 7) 绘制运动车辆:通过轮廓识别描绘出车辆的外围轮廓;

[0114] 8) 求解纵桥向车辆重心:根据纵桥向车辆边缘坐标,计算中心坐标。计算一阶几何矩得到轮廓的中心坐标。

[0115] 步骤(6):求解 t_2 时刻的各检测标识点的总体车辆荷载挠度效应

[0116] 在测量初始的时候(t_1 时刻)车辆 c_j 已经使桥梁各标识点产生了初始下挠 $w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i)$ 。 $i=1\cdots n$, n 代表检测标识点的个数, $j=1\cdots m$, m 代表车辆个数。

[0117] 根据材料力学理论可知,在线弹性范围内,可用叠加法计算梁的变形:梁在多个荷载作用下产生的变形(转角或挠度)等于各个荷载单独作用所产生的变形的代数和。因此,桥梁在 t_1 时刻和 t_2 时刻的第 i 个检测标识点的总体车辆荷载挠度 $w_{t_1}(b, x_i)$ 、 $w_{t_2}(b, x_i)$ 符合如下公式:

$$[0118] \quad w_{t_1}(b, x_i) = w_{t_1}(b^{c_1}_{t_1}, x_i) + w_{t_1}(b^{c_2}_{t_1}, x_i) + \dots + w_{t_1}(b^{c_m}_{t_1}, x_i) \quad \text{式(1)}$$

$$[0119] \quad w_{t_2}(b, x_i) = w_{t_2}(b^{c_1}_{t_2}, x_i) + w_{t_2}(b^{c_2}_{t_2}, x_i) + \dots + w_{t_2}(b^{c_m}_{t_2}, x_i) \quad \text{式(2)}$$

[0120] 跨中测点产生最大位移的时刻 t_2 ,仪器检测到的竖向动态位移时程曲线的准静态分量 $\Delta w_{t_2}(b, x_i)$ 是各测点挠度的变化量,应该等于实际车辆荷载挠度效应与初始挠度效应的差值,即:

$$[0121] \quad \Delta w_{t_2}(b, x_i) = w_{t_2}(b, x_i) - w_{t_1}(b, x_i) \quad \text{式(3)}$$

[0122] 如图3所示,根据材料力学理论,可以求解单跨简支梁在集中荷载作用下的挠度曲线方程为:

[0123] 对AD段,挠度曲线方程为:

$$[0124] \quad w_{AD} = \frac{Fb(l^2 - b^2)}{6EI}x - \frac{Fb}{6EI}x^3 = \frac{Fbx}{6EI}(l^2 - b^2 - x^2) \quad \text{式(4)}$$

[0125] 对DB段,挠度曲线方程为:

$$[0126] \quad w_{DB} = \frac{Fb(l^2 - b^2)}{6EI}x - \frac{Fb}{6EI}x^3 + \frac{F}{6EI}(x-a)^3 = \frac{Fbx}{6EI}(l^2 - b^2 - x^2) + \frac{F}{6EI}(x+b-l)^3 \quad \text{式(5)}$$

$$[0127] \quad \text{令 } \frac{F}{6EI} = M, \quad A(b, x) = \frac{bx}{l}(l^2 - b^2 - x^2), \quad B(b, x) = (x+b-l)^3, \text{ 则公式可以简化为}$$

$$[0128] \quad w_{AD} = M \cdot A(b, x) \quad \text{式(6)}$$

$$[0129] \quad w_{DB} = M \cdot A(b, x) + M \cdot B(b, x) \quad \text{式(7)}$$

[0130] 其中 F 代表车辆荷载, a 、 b 如图3所示代表车辆荷载作用位置, $a+b=1$, E 为弹性模量, I 为主梁截面惯性矩, l 为跨径。因此,如图4、图5和图6所示。图4为本发明实施例中桥梁在没有车辆的情况下的挠度曲线示意图;图5为本发明实施例中车辆在 t_1 时刻的车辆与桥梁关系状态示意图;图6为本发明实施例中车辆在 t_2 时刻的车辆与桥梁关系状态示意图。其中,Def1为桥梁恒载挠度线形,Def2为 t_1 时刻下桥梁瞬时挠度线形,Def3为 t_2 时刻下桥梁瞬时挠度线形;其中,图4的桥梁恒载挠度示意图用于配合图5和图6,便于本领域技术人员理解桥梁在没有车辆时、 t_1 时刻和 t_2 时刻的状态,从而更快的理解本申请。

[0131] 对于 m 辆车的情况, t_1 时刻的每个车辆 c_j 距离桥梁第一端的水平距离 $a^{c_j}_{t_1}$ 和距离桥梁第二端的水平距离 $b^{c_j}_{t_1}$ 、 t_2 时刻的每个车辆 c_j 距离桥梁第一端的水平距离 $a^{c_j}_{t_2}$ 和距离桥梁第二端的水平距离 $b^{c_j}_{t_2}$ 、以及各检测标识点 i 距离桥梁第一端的水平距离 x_i ;
 $a^{c_j}_{t_1} + b^{c_j}_{t_1} = a^{c_j}_{t_2} + b^{c_j}_{t_2} = l$,由于本专利的方法采用了无量纲处理,车辆的重量不影响结果,因此本方法不需要准确追踪区分车辆排序。

[0132] 其中,图5和图6示例为2个车辆(即车辆 c_1 和车辆 c_2)通过桥梁的示例,即 t_1 时刻车辆 c_1 距离桥梁第一端的水平距离为 $a^{c_1}_{t_1}$,距离桥梁第二端的水平距离为 $b^{c_1}_{t_1}$;即 t_1 时刻车辆 c_2 距离桥梁第一端的水平距离为 $a^{c_2}_{t_1}$,距离桥梁第二端的水平距离为 $b^{c_2}_{t_1}$; t_2 时刻车辆 c_1 距离桥梁第一端的水平距离为 $a^{c_1}_{t_2}$,距离桥梁第二端的水平距离为 $b^{c_1}_{t_2}$; t_2 时刻车辆 c_2 距离桥梁第一端的水平距离为 $a^{c_2}_{t_2}$,距离桥梁第二端的水平距离为 $b^{c_2}_{t_2}$ 。

[0133] $w_{t_1}(b, x_i)$ 和 $w_{t_2}(b, x_i)$ 可以由以下公式表达,令二者的比值为比例系数 N_i ,经过公式推导得到:

$$[0134] \quad N_i = \frac{w_{t_1}(b, x_i)}{w_{t_2}(b, x_i)} = \frac{\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i)}{\sum_{j=1}^{c_m} w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i)} \quad \text{式(8)}$$

$$[0135] \quad \text{当 } 0 \leq x_i \leq a^{c_j}_{t_1} \text{ 时, } w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_1}, x_i) \quad \text{式(9)}$$

$$[0136] \quad \text{当 } a^{c_j}_{t_1} \leq x_i \leq l \text{ 时, } w_{t_1}(b^{c_j}_{t_1}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_1}, x_i) + M \cdot B(b^{c_j}_{t_1}, x_i) \quad \text{式(10)}$$

[0137] 同理:

$$[0138] \quad \text{当 } 0 \leq x_i \leq a^{c_j}_{t_2} \text{ 时, } w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_2}, x_i) \quad \text{式(11)}$$

$$[0139] \quad \text{当 } a^{c_j}_{t_2} \leq x_i \leq l \text{ 时, } w_{t_2}(b^{c_j}_{t_2}, x_i) = M \cdot A(b^{c_j}_{t_2}, x_i) + M \cdot B(b^{c_j}_{t_2}, x_i) \quad \text{式(12)}$$

[0140] 由公式推导,可得到

$$[0141] \quad w_{t_1}(b, x_i) = w_{t_2}(b, x_i) N_i \quad \text{式(13)}$$

[0142] 再经过换算可以得到

$$[0143] \quad w_{t_2}(b, x_i) = \frac{\Delta w_{t_2}(b, x_i)}{1 - N_i} \quad \text{式(14)}$$

[0144] 经过上述论述,在已知 $\Delta w_{t_2}(b, x_i)$ 和 N_i 的情况下求解 $w_{t_2}(b, x_i)$ 。

[0145] 步骤(7):由视频数据提取桥梁瞬时线形。对视频数据提取 t_2 时刻单帧图像,对该帧图像做数字图像处理,提取标识点并换算,得到桥梁的瞬时线形 $y_{t_2}(x_i)$

[0146] 标识点可以采用规则的黑白色圆环,具备灰度特征和形状特征,采用数字图像处理的方式识别标识点形心,主要用到的步骤为:

[0147] 1) 读取 t_1 和 t_2 时刻的关键帧图像;

[0148] 2) 根据灰度直方图确定标识点的阈值,将图像二值化;使用滤波函数做图像增强;

[0149] 3) 采用边缘检测算法检测标识点的边缘;

[0150] 4) 查找标识点的轮廓线;

[0151] 5) 分析几何形状,计算角的数量,如果角大于10个,视为圆形;

[0152] 6) 计算轮廓距,计算一阶几何矩得到轮廓的中心坐标。

[0153] 对于圆形标识点而言,在matlab等软件中,可以直接使用圆识别的函数来实现,方法很多,不在此处列举。

[0154] 通过上述方法识别标识点形心坐标,得到各个标识牌中心点的像素坐标,根据比例因子,换算为实际坐标值。取支座A点、B点连线为X轴(由A点指向B点为正方向),竖直向上为Y轴正方向,各点y值即为 t_2 时刻的瞬时挠度 $y_{t_2}(x_i)$ ($i=1, 2 \cdots n$, n 为标识点的个数)。

[0155] 步骤(8):瞬时挠度减去挠度变化量得到恒载挠度 $y_0(x_i)$

[0156] 瞬时挠度包含了恒载挠度效应、温度挠度效应、徐变挠度效应、车辆荷载效应,其中温度和徐变引起的挠度效应是长周期效应,在本专利采用的短时测量中可以忽略不计,则瞬时挠度 $y_0(x_i)$ 仅考虑恒载挠度效应 $y_{t_2}(x_i)$ 和车辆总体荷载效应 $w_{t_2}(b, x_i)$,因此可以近似的认为恒载挠度可以通过下式求得:

$$[0157] \quad y_0(x_i) = y_{t_2}(x_i) - w_{t_2}(b, x_i)$$

[0158] 步骤(9):多点恒载挠度连线,得到恒载线形。

[0159] 将各个标识点的 $y_0(x_i)$ 连线,配以X、Y坐标轴,即得到恒载线形。

[0160] 下面给出本申请方法的计算实例:

[0161] 由于实桥的恒载挠度不易获取,而室内试验因素可控,理论计算和试验方法都相对容易实施,因此本方法在一单跨试验梁上进行了验证。采用钢尺模拟简易梁,在简易梁八分点标识牌,采用2个砝码模拟2辆小车,演示本专利方法的实施过程。

[0162] 1) 初始线形的获取。为了验证算法的准确性,在试验之初,先测量初始线形。

[0163] 自重状态下的挠度曲线,具体如图7所示,各点参数如下表所示:

	0	$\frac{L}{8}$	$\frac{L}{4}$	$\frac{3L}{8}$	$\frac{L}{2}$	$\frac{5L}{8}$	$\frac{3L}{4}$	$\frac{7L}{8}$	L
[0164] 下挠像素	0	-7.8438	-15.1805	-19.7832	-20.8701	-19.2247	-14.5599	-7.6647	0
比例因子 1/y	0.574477	0.574463	0.574016	0.573796	0.573714	0.573611	0.573290	0.573452	0.573561
$y_0^0(x_i)$ (mm)	0.00	-13.65	-26.45	-34.48	-36.38	-33.52	-25.40	-13.37	0.00

[0165] 2) 步骤1:车辆通过时的数据采集

[0166] 用两个砝码模拟两辆小车,在简易梁上通行,采集多点动挠度数据和视频。

[0167] 3) 步骤2:荷载挠度效应分解

[0168] 本次选择小波基函数为sym7,分解到7层后分别重组得到荷载挠度效应的准静态分量 $\Delta w(t, x_i)$ 和动态分量,其中t为采集时间, $i=1,2\cdots 9$ 为标识点个数。

[0169] 以跨中测点(5#点)为例,图8为5#测点的原始位移时程曲线,图9为分解重构后的荷载动态分量;图10为分解重构后的准静态分量时程曲线 $\Delta w(t, x_i)$ 。

[0170] 4) 步骤3:找到跨中测点 $x_i, i = \frac{n+1}{2}$ 挠度变化量 Δw_{\max} 对应的时刻 t_2

[0171] 对5#测点的准静态分量位移时程曲线进行分析可知,位移最大值为-19.4633mm,为跨中5#测点在 $t=25.6868s$ 时引起的最大变形(两辆小车(均为100g砝码)作用在跨中附近)。由此可知,跨中测点的挠度变化量 Δw_{\max} 对应的时刻 t_2 为25.686s。

[0172] 5) 步骤4:由视频数据获得关键帧车辆位置信息

[0173] 初始时刻 t_1 和跨中最大变形时刻 t_2 的关键帧图像如图11、图12所示,通过数字图像处理的方法,对 t_1 和 t_2 关键帧图像做车辆识别,以车辆形心位置表征车辆位置,分别得到 t_1 和 t_2 时刻的两辆车辆位置顺桥向相对于支座的像素坐标 $a^{c_1}_{t_1}$ 、 $a^{c_2}_{t_1}$ 和 $a^{c_1}_{t_2}$ 、 $a^{c_2}_{t_2}$ 。由于步骤5中用到的是比值,所以不需要换算实际坐标。

	时刻	车辆位置	像素坐标
[0174]	t_1 时刻	$a^{c1}_{t_1}$	188.9129
		$a^{c2}_{t_1}$	87.3139
	t_2 时刻	$a^{c1}_{t_2}$	378.7594
		$a^{c2}_{t_2}$	319.2014

[0175] 6) 步骤5:求解车辆荷载引起的挠度效应 $w_{t_2}(x_i)$

[0176] $a^{c1}_{t_1}$ 、 $a^{c2}_{t_1}$ 和 $a^{c1}_{t_2}$ 、 $a^{c2}_{t_2}$ 和 x_i 已知,根据公式得到 n_1, n_2, m_i ,带入公式,依次得到 N_i ,再通过计算得到 $w_{t_2}(x_i)$,计算结果如下表所示:

	x_i	0	$\frac{L}{8}$	$\frac{L}{4}$	$\frac{3L}{8}$	$\frac{L}{2}$	$\frac{5L}{8}$	$\frac{3L}{4}$	$\frac{7L}{8}$	L
[0177]	N_i	0.7586	0.7402	0.6900	0.6265	0.5724	0.5391	0.5222	0.5137	0
	$w_{t_2}(x_i)$	-0.073	-4.265	-8.936	-13.740	-15.897	-15.097	-11.913	-6.605	-0.197
		4	8	9	2	5	7	3	1	1

[0178] 备注:从理论上来说,当 x_i 为0、L时, N_i 为0,但是在试验中贴在0、L位置的标识牌坐标会随着简易梁的变形而变化,并不能准确的等于0、L,因此试验中 N_i 对应值不为0。

[0179] 7) 步骤6:由视频数据提取桥梁瞬时线形 $y_{t_2}(x_i)$

[0180] 对视频数据提取 t_2 时刻单帧图像,对该帧图像做数字图像处理,提取标识点并换算,得到桥梁的瞬时线形 $y_{t_2}(x_i)$ 。

[0181] t_2 时刻的瞬时挠度值 (mm)

	x_i	0	$\frac{L}{8}$	$\frac{L}{4}$	$\frac{3L}{8}$	$\frac{L}{2}$	$\frac{5L}{8}$	$\frac{3L}{4}$	$\frac{7L}{8}$	L
[0182]	$y_{t_2}(x_i)$	0.00	-20.54	-38.04	-50.60	-54.65	-50.61	-38.36	-19.84	0.00

[0183] 8) 步骤7:瞬时挠度减去挠度变化量得到恒载挠度 $y_0(x_i)$

[0184] 根据公式 (8) 得到恒载挠度

[0185] 各点的恒载挠度值 (mm)

	x_i	0	$\frac{L}{8}$	$\frac{L}{4}$	$\frac{3L}{8}$	$\frac{L}{2}$	$\frac{5L}{8}$	$\frac{3L}{4}$	$\frac{7L}{8}$	L
[0186]	$y_0(x_i)$	0.07	-16.28	-29.11	-36.86	-38.76	-35.51	-26.45	-13.23	0.20

[0187] 9) 步骤8:恒载线形;恒载线形如图13所示。

[0188] 10) 验证:

[0189] 比较 $y_0(x_i)$ 与 $y^0_0(x_i)$ 如下表所示,结果表明,本专利给出的方法可以有效的测绘车辆通行情况下的恒载线形,准确率较高。

[0190] 验证各点的恒载挠度值 (mm)

	x_i	0	$\frac{L}{8}$	$\frac{L}{4}$	$\frac{3L}{8}$	$\frac{L}{2}$	$\frac{5L}{8}$	$\frac{3L}{4}$	$\frac{7L}{8}$	L
[0191]	$y_0(x_i)$	0.07	-16.28	-29.11	-36.86	-38.76	-35.51	-26.45	-13.23	0.20
	$y^0_0(x_i)$	0	-13.7	-26.4	-34.5	-36.4	-33.5	-25.4	-13.4	0

[0192] 本领域技术人员还应当理解,结合本文的实施例描述的各种说明性的逻辑框、模块、电路和算法步骤均可以实现成电子硬件、计算机软件或其组合。为了清楚地说明硬件和

软件之间的可交换性,上面对各种说明性的部件、框、模块、电路和步骤均围绕其功能进行了一般地描述。至于这种功能是实现成硬件还是实现成软件,取决于特定的应用和对整个系统所施加的设计约束条件。熟练的技术人员可以针对每个特定应用,以变通的方式实现所描述的功能,但是,这种实现决策不应解释为背离本公开的保护范围。

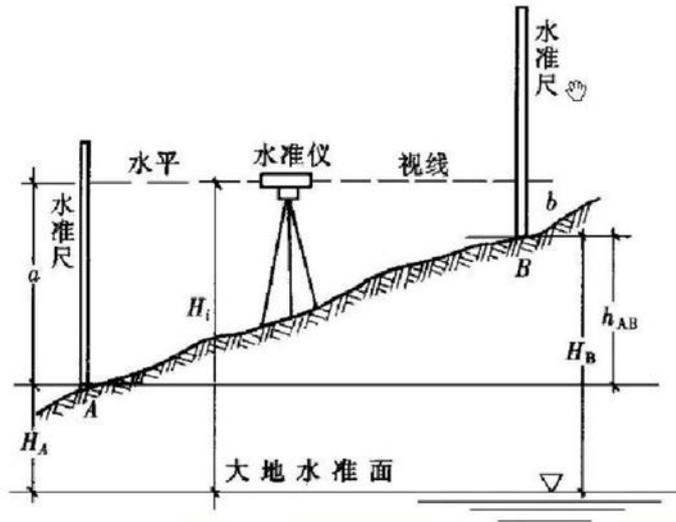


图1

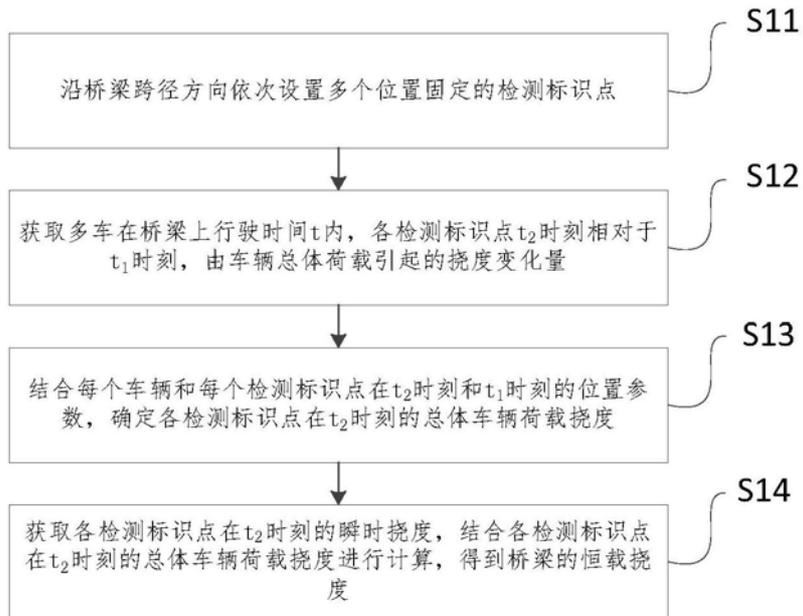


图2

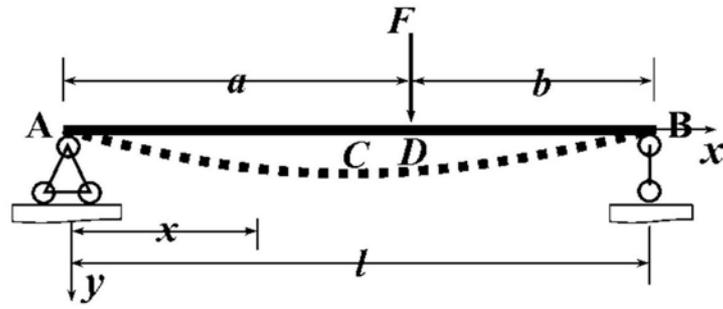


图3

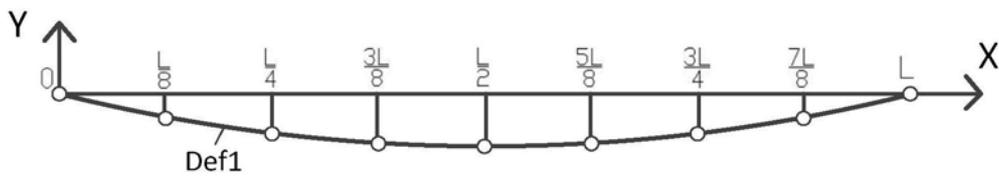


图4

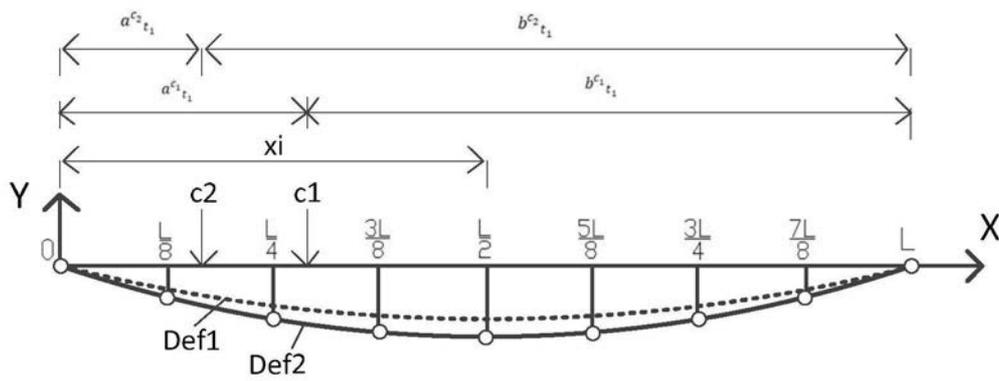


图5

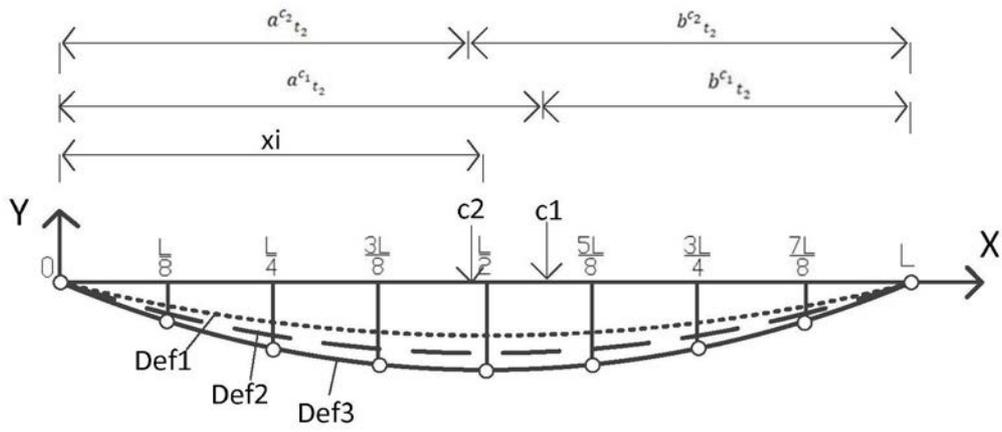


图6

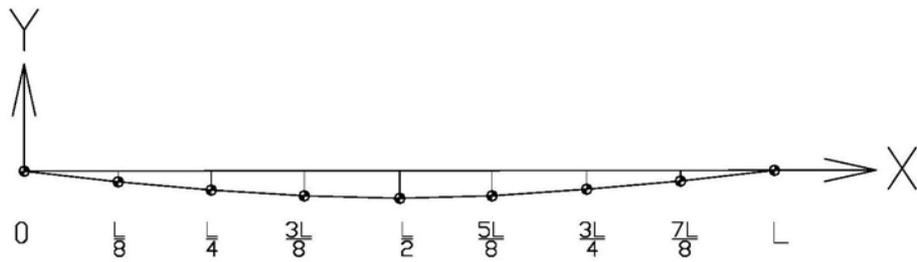


图7

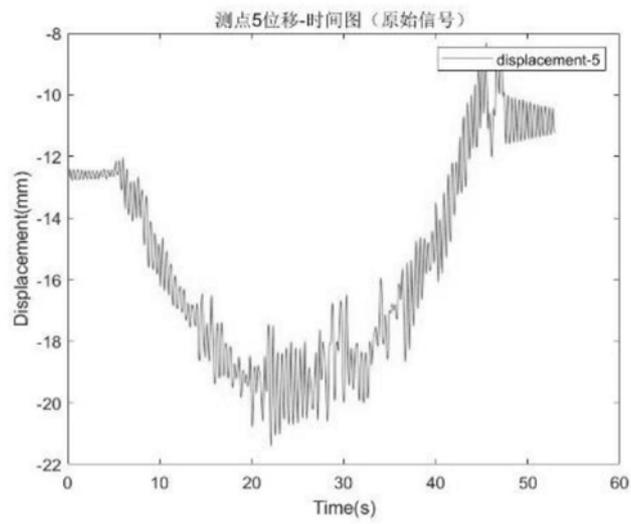


图8

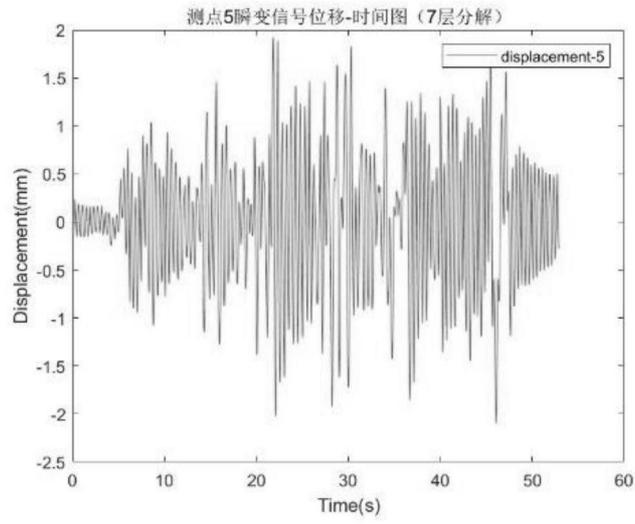


图9

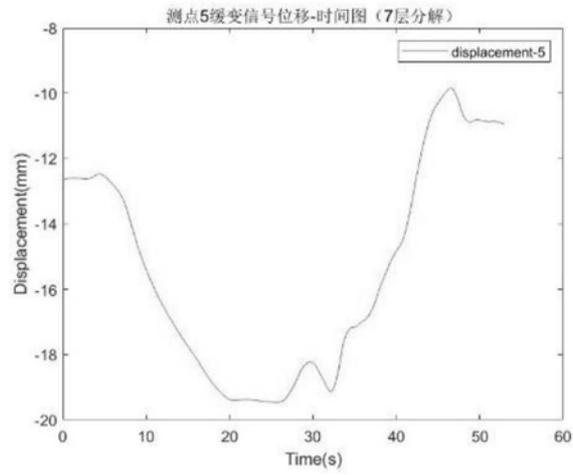


图10

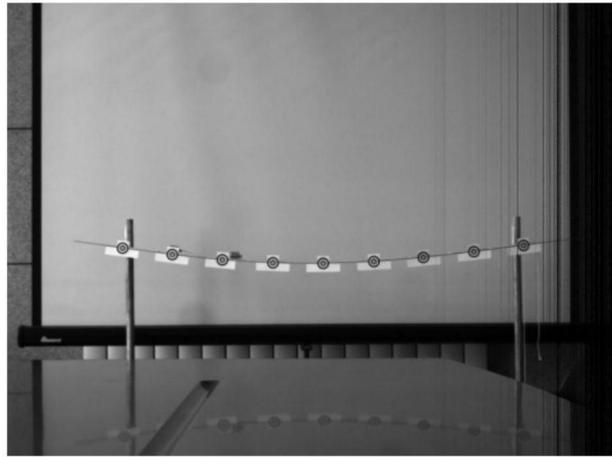


图11

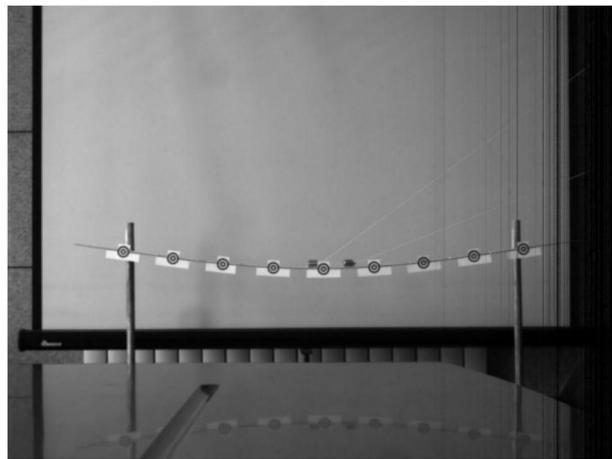


图12

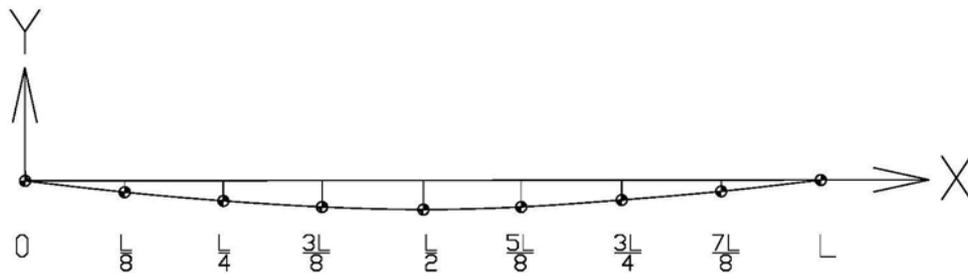


图13