



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103569871 A

(43) 申请公布日 2014. 02. 12

(21) 申请号 201210277663. 9

(22) 申请日 2012. 08. 06

(71) 申请人 山推工程机械股份有限公司

地址 272000 山东省济宁市高新区 327 国道  
58 号

(72) 发明人 赵建军 李超 金轲 余丽艳

(51) Int. Cl.

B66C 15/00 (2006. 01)

权利要求书2页 说明书11页 附图2页

(54) 发明名称

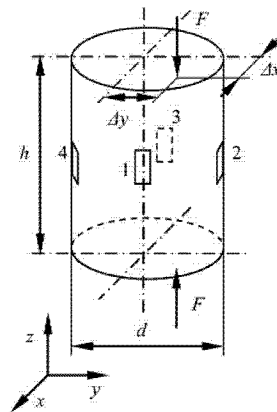
进行起重设备力矩限制的方法、装置和起重设备

(57) 摘要

本发明公开了一种采用单纯应变测量进行起重设备力矩限制的方法,包括:(1)获取起重设备转台或基础上四点的应变(2)根据公式(1)和(2)分别计算 x 轴方向和 y 轴方向上偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$ ,根据  $\Delta x$ 、 $\Delta y$ 实现对载荷的精确控制;

$$\Delta x = -\frac{2I_x}{Ay} \frac{\epsilon_3 - \epsilon_1}{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 + \epsilon_4} \quad (1), (2)$$

还提供一种用于起重设备力矩限制的测量系统,包括:应变片;传输系统;处理系统。以及提供一种含有测量系统的起重设备。本发明有益效果是:(1)便于考虑风载、动载等因素的影响;(2)传感器布置相对集中,便于数据的传输和处理;(3)只需一种传感器;(4)便于获得载荷相对位置。



1. 一种采用单纯应变测量进行起重设备力矩限制的方法,其特征在于,包括:

(1) 获取起重设备转台或基础上四点的应变,所述四点指的是以起重设备转台或基础截面形心作相互垂直的 x 轴和 y 轴,x 轴和 y 轴与截面边界交点的四点,其中 x 轴正方向的应变为  $\varepsilon_1$ 、y 轴正方向的应变为  $\varepsilon_2$ 、x 轴负方向的应变为  $\varepsilon_3$ 、y 轴负方向的应变为  $\varepsilon_4$ ;

(2) 根据公式(1)和(2)分别计算 x 轴方向和 y 轴方向上偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$ ,根据  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  实现对载荷的精确控制;

$$\Delta x = -\frac{2I_x}{Ay} \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (1)$$

$$\Delta y = -\frac{2I_y}{Ay} \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (2)$$

其中, $I_x$  为截面对其形心轴的 x 轴方向上的惯性矩, $I_y$  为截面对其形心轴在 y 轴方向上的惯性矩, $A$  为转台或基础截面的横截面积, $y$  为应力点到中性轴的距离。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述转台或基础截面为圆形,直径为  $d$ ,根据公式(3)和(4)分别计算 x 轴方向和 y 轴方向上偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$ ;

$$\Delta x = -\frac{d}{4} \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (3)$$

$$\Delta y = -\frac{d}{4} \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (4)。$$

3. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述转台或基础截面为环形,外直径  $D$ ,内直径为  $d$ ,则根据公式(5)和(6)分别计算 x 轴方向和 y 轴方向上偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$ ;

$$\Delta x = -\frac{(D^2 + d^2)}{4D} \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (5)$$

$$\Delta y = -\frac{(D^2 + d^2)}{4D} \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (6)。$$

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述转台或基础截面为矩形,长为  $a$ ,在 y 方向上,宽为  $b$ ,在 x 方向上,则根据公式(7)和(8)分别计算 x 轴方向和 y 轴方向上偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$ ;

$$\Delta x = -\frac{4a}{3} \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (7)$$

$$\Delta y = -\frac{4b}{3} \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (8)。$$

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,它还包括利用公式(9)计算载荷的大小,进而判断起重设备的安全性的步骤;

$$F_0 = -\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4E} A \quad (9)$$

所述  $F_0$  为载荷, $E$  为转台或基础的弹性模量。

6. 根据权利要求 1-5 任一项所述的方法,其特征在于,它还包括利用偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  获得载荷相对车体在俯视投影平面的位置,从而更精确地对设备负载进行力矩限制。

7. 一种用于起重设备力矩限制的测量系统,其特征在于,包括:

应变片,安装在起重设备转台或基础上四点上,所述四点指的是以起重设备转台或基础截面形心作相互垂直的 x 轴和 y 轴,x 轴和 y 轴与截面边界交点的四点,用于获取该四点的应变;

传输系统;

处理系统,对传输系统传来的数据进行处理,得出结果。

8. 根据权利要求 7 所述的用于起重设备力矩限制的测量系统,其特征在于,每一点的应变片为多个。

9. 一种起重设备,其特征在于,包括权利要求 7 或 8 所述的测量系统。

10. 根据权利要求 9 所述的起重设备,其特征在于,所述起重设备为汽车吊、履带吊、塔吊、船用克令吊、港口用旋转吊。

## 进行起重设备力矩限制的方法、装置和起重设备

[0001]

### 技术领域

[0002] 本发明涉及一种采用单纯应变测量进行起重设备力矩限制的方法、装置和起重设备。

### 背景技术

[0003] 传统的起重设备通过对重量、力臂(吊臂长度和仰角、跑车位置等)的测量,载荷与力臂进行乘积后与处理器中存储的安全载荷进行对比,而后判断是否过载。传感器种类较多,布置位置较零散,不便于信号传输处理。

[0004] 随着设备的重型化大型化,风载对设备的影响不容忽视。虽然可以用风速传感器检测风的速度和方向,然后通过与载荷的叠加和经验来评估风载对设备的影响。但是这种方式难以准确地评估风载对设备的影响,并且难以对吊物、吊臂等颤动引起的动载进行检测评估。

[0005] 载荷(工作载荷、风载、动载等)最终都是要反映到转台、塔吊基础上,本发明通过检测转台、塔吊基础等的应变获得整机所受力矩(包括风载、动载等),这样所测量的应变综合地反映了设备的实际工况,从而更精确地对设备负载进行力矩限制,保障作业安全。

[0006] 相关术语解释

#### (1) 起重机械风速传感器

风速传感器由高耐候性、高强度、防腐蚀和防水的精钢和高塑合金铝制造,主要适用于履带式起重机、汽车吊及抖动颠簸、起伏变化较大的露天设备。用它可以在实时采集外界环境的实际风速并输出相应的信号。

[0007] (2) 力矩限制器

独立的完全由计算机控制的安全操作系统,能自动检测出起重机所吊载的质量及起重臂所处的角度,并能显示出其额定载重量和实际载荷、工作半径、起重臂所处的角度。实时监控检测起重机工况,自带诊断功能,快速危险状况报警及安全控制。具有黑匣子功能,自动记录作业时的危险工况,为事故分析处理提供依据。

[0008] 构成:显示器、单片机计算控制箱、角度传感器、长度传感器、压(拉)力传感器。

[0009] 应用范围:汽车起重机、轮胎起重机、铁路轨道起重机、履带起重机、塔式起重机、门座起重机和高空作业车等机械设备。

[0010] (3) 应变片工作原理

将电阻应变片粘贴在弹性元件特定表面上,当力、扭矩、速度、加速度及流量等物理量作用于弹性元件时,会导致元件应力和应变的变化,进而引起电阻应变片电阻的变化。电阻的变化经电路处理后的以电信号的方式输出,这就是电阻应变式传感器的工作原理。

[0011] 金属导体的电阻值可用下式表示:

$$R=\rho *L/S$$

其中： $\rho$  ——金属导体的电阻率（ $\Omega \cdot \text{cm}^2/\text{m}$ ）

$S$  ——导体的截面积（ $\text{cm}^2$ ）

$L$  ——导体的长度（ $\text{m}$ ）

我们以金属丝应变电阻为例，当金属丝受外力作用时，其长度和截面积都会发生变化，从上式中可很容易看出，其电阻值即会发生改变，假如金属丝受外力作用而伸长时，其长度增加，而截面积减少，电阻值便会增大。当金属丝受外力作用而压缩时，长度减小而截面增加，电阻值则会减小。只要测出加在电阻的变化（通常是测量电阻两端的电压），即可获得应变金属丝的应变情况。

[0012] 将应变片贴在被测定物上，使其随着被测定物的应变一起伸缩，这样里面的金属箔材就随着应变伸长或缩短。很多金属在机械性地伸长或缩短时其电阻会随之变化。应变片就是应用这个原理，通过测量电阻的变化而对应变进行测定。一般应变片的敏感栅使用的是铜铬合金，其电阻变化率为常数，与应变成正比例关系。即：

$$\frac{\Delta R}{R} = K \times \varepsilon$$

其中， $R$ ：应变片原电阻值  $\Omega$ （欧姆）

$\Delta R$ ：伸长或压缩所引起的电阻变化  $\Omega$ （欧姆）

$K$ ：比例常数（应变片常数）

$\varepsilon$ ：应变

不同的金属材料有不同的比例常数  $K$ 。铜铬合金的  $K$  值约为 2。这样，应变的测量就通过应变片转换为对电阻变化的测量。

[0013] （4）电桥测量应变的基本方法

在图 1 所示电路中，AB 桥臂接入一个粘贴在测点上的应变计，AD 桥臂接入一可变电阻。在测点无应变时，调整可变电阻  $R_4$ ，使电桥满足平衡条件，则检流计  $G$  指针指零。

[0014] 当测点产生应变后，应变片的电阻发生变化，电桥的平衡条件被破坏，将有电流通过检流计  $G$ ，检流计指针偏转。

[0015] 在常温应变测量中，常利用电桥原理，采用温度补偿法消除温度变化的影响，通常  $R_1$  为工作应变片， $R_2$  为补偿应变片。

[0016] （3）力矩限制试验的基本方法

履带吊的基础可以简化为一个矩形，如图 2 所示，对于汽车吊则可简化为 A、B、C、D 四个点。一般情况下  $AB > BC$ ，按照力矩原理分析可知载荷的俯视投影处于 AB、CD 外侧是最危险的工况。载荷试验按照危险工况进行，这样载荷的俯视投影处于 AD、BC 外侧时，系统就有较多的富余，即安全系数较大。也就是说同样的载荷在不同的位置，其安全系数不同。这在一定程度上限制了系统能力的发挥。如果能够获得载荷的准确位置，即可对载荷进行精确控制。

[0017] 几种常见起重设备的处理方法

（1）汽车吊

为检测吊车载荷，传统的方法是采用拉力传感器（滑轮式重量传感器）、角度传感器（仰角、转角），大臂长度传感器等。

[0018] 各传感器采集的数据经过处理、放大，通过显示器显示，并与处理器中存储的额定

数值进行比较。当对比测量超出额定数值时,系统发出警告或者自动停车。

[0019] 其原理是基于对重量、力臂(大臂长度和仰角)的测量,而后与经试验确定的安全载荷进行比较,难于评估风载、动载等因素对力矩的影响。

[0020] (2)履带吊

履带吊的力矩监视与汽车吊较为类似,不过其臂长不是使用传感器检测而需提前手动输入。

[0021] 其原理是基于对重量、力臂(仰角)的测量,而后与安全载荷进行比较,难于考虑风载、动载等因素对力矩的影响。

[0022] (3)塔吊

塔吊的力矩监视需要检测的量包括:物料重量、跑车位置等。专利 ZL99206351.5 和专利 ZL200420030955.3 分别给出了塔吊的安全保护器和起重监视器。

[0023] 其原理是基于对重量、力臂(跑车位置)的测量,而后与安全载荷进行比较,难于评估风载、动载等因素对力矩的影响。

[0024] 现有技术存在的不足是:

(1)难以考虑风载、动载等因素的影响

由于起重吨位的增加,大型起重设备的外形尺寸较大,风力对其产生的影响不可忽略。现有技术是采用风速传感器,这样可以检测风的速度和方向,然后通过与载荷的叠加和经验来评估风载对设备的影响。这种方式难以准确地评估风载对设备的影响,并且很大程度上依赖操作者的经验。

[0025] 受吊臂长度、吊绳长度以及风载等的影响,吊物、吊臂等颤动引起的动载同样不容忽视。传统的力矩检测方式难以对颤动引起的动载进行评估。

[0026] (2)传感器布置零散,不便于数据的传输和处理

传统的力矩检测方式传感器布置零散,对于汽车吊、履带吊和塔吊,其重量传感器距离驾驶室的距离较远,不便于数据的传输和处理。尤其对于大型了履带吊其臂长可能有上百米长,这样数据传输较为困难。汽车吊和塔吊其臂长伸缩(跑车移动)也为数据的传输带来了困难。

[0027] 如果采用有线的方式传输数据,传输线越长其衰减和干扰越严重,并且臂长伸缩(跑车移动)时,传输线容易缠绕。

[0028] 如果采用无线传输,则传感器需集成数据的采集、处理、无线发射等功能,增加了成本。

[0029] (3)所需传感器的数量种类较多

现有技术所需的传感器数量和种类较多,包括:测量载荷重量的拉力传感器,测量吊臂仰角的角度传感器,测量吊臂长度的臂长传感器等。虽然目前传感器的价格较低,但是较多的传感器不仅仅是成本的问题,其维护也不容易进行。

## 发明内容

[0030] 为了克服上述现有技术的不足,本发明提供了一种进行起重设备力矩限制的方法、装置和起重设备。

[0031] 为实现上述目的,本发明采用下述技术方案:

一种采用单纯应变测量进行起重设备力矩限制的方法,包括:

(1) 获取起重设备转台或基础上四点的应变,所述四点指的是以起重设备转台或基础截面形心作相互垂直的 x 轴和 y 轴,x 轴和 y 轴与截面边界交点的四点,其中 x 轴正方向的应变为  $\varepsilon_1$ 、y 轴正方向的应变为  $\varepsilon_2$ 、x 轴负方向的应变为  $\varepsilon_3$ 、y 轴负方向的应变为  $\varepsilon_4$ ;

(2) 根据公式(1)和(2)分别计算 x 轴方向和 y 轴方向上偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$ ,根据  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  实现对载荷的精确控制;

$$\Delta x = -\frac{2I_x}{Ay} \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (1)$$

$$\Delta y = -\frac{2I_y}{Ay} \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (2)$$

其中,  $I_x$  为截面对其形心轴的 x 轴方向上的惯性矩,  $I_y$  为截面对其形心轴在 y 轴方向上的惯性矩,  $A$  为转台或基础截面的横截面积,  $y$  为应力点到中性轴的距离。

[0032] 所述转台指起重设备的转台,所述基础指的起得设备底部承重的部位并承受力矩,是如塔吊的水泥基础;对于不规则或或者不便于检测的起重设备,基础还可以指制作一个圆形或者方形的过渡装置安装在转台下方或者立柱的中间位置、使得该过渡装置成为塔吊转台或者立柱的一部分,并承受力矩。

[0033] 所述起重设备转台或基础的截面可以规则的也可以是不规则的。

[0034] 进一步地,所述转台或基础截面为圆形,直径为  $d$ ,根据公式(3)和(4)分别计算 x 轴方向和 y 轴方向上偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$ ;

$$\Delta x = -\frac{d}{4} \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (3)$$

$$\Delta y = -\frac{d}{4} \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (4)。$$

[0035] 进一步地,所述转台或基础截面为环形,外直径  $D$ ,内直径为  $d$ ,则根据公式(5)和(6)分别计算 x 轴方向和 y 轴方向上偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$ ;

$$\Delta x = -\frac{(D^2 + d^2)}{4D} \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (5)$$

$$\Delta y = -\frac{(D^2 + d^2)}{4D} \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (6)。$$

[0036] 进一步地,所述转台或基础截面为矩形,长为  $a$ ,在 y 方向上,宽为  $b$ ,在 x 方向上,则根据公式(7)和(8)分别计算 x 轴方向和 y 轴方向上偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$ ;

$$\Delta x = -\frac{4a}{3} \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (7)$$

$$\Delta y = -\frac{4b}{3} \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4} \quad (8)。$$

[0037] 进一步地,它还包括利用公式(9)计算载荷的大小,进而判断起重设备的安全性的步骤;

$$F_0 = -\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4E} A \quad (9)$$

所述  $F_0$  为载荷,  $E$  为转台或基础的弹性模量。

[0038] 进一步地, 它还包括利用偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  获得载荷相对车体在俯视投影平面的位置, 从而更精确地对设备负载进行力矩限制。

[0039] 根据本发明的另一方面, 提供一种用于起重设备力矩限制的测量系统, 包括:

应变片, 安装在起重设备转台或基础上四点上, 所述四点指的是以起重设备转台或基础截面形心作相互垂直的  $x$  轴和  $y$  轴,  $x$  轴和  $y$  轴与截面边界交点的四点, 用于获取该四点的应变;

传输系统;

处理系统, 对传输系统传来的数据进行处理, 得出结果。

[0040] 优选的, 每一点的应变片为多个。在同一位置的应变片为多个, 取平均值可以减少测量误差。

[0041] 起重设备的转台一般为桶形, 其横截面为环形。这样传感器可以贴装在转台的外表面, 也可以贴装在转台的内表面。

[0042] 贴装在外表面, 便于维护, 但传感器本身需进行保护, 避免直接裸露。

[0043] 贴装在内表面, 比较利于传感器的保护, 但不便于维护。

[0044] 测量应变时, 本专利中的应变片在应变电桥上可以采用各种接桥法, 半桥单片接桥法、串联应变片接桥法、全桥接法均可。另外, 至于应变测量方法, 目前有较为成熟的技术和产品可供采用。例如电子称上广泛使用的传感器就是基于应变测量的方法。

[0045] 根据本发明的又一方面, 提供一种起重设备, 上述的任一测量系统。

[0046] 所述起重设备为汽车吊、履带吊、塔吊、船用克令吊、港口用旋转吊。

[0047] 本发明构思的关键点是:

传统的起重设备通过对重量、力臂(吊臂长度和仰角、跑车位置等)的测量, 载荷与力臂进行乘积后获得力矩来判断是否过载。随着设备的重型化大型化, 风载对设备的影响不容忽视。虽然可以用风速传感器检测风的速度和方向, 但难以准确地评估风载对设备的影响。另外, 难以对吊物、吊臂等颤动引起的动载进行检测评估。

[0048] 本发明通过检测转台、塔吊基础等的应变获得整机所受力矩(包括风载、动载等), 这样所测量的应变综合地反映了设备的实际工况, 从而更精确地对设备负载进行力矩限制, 保障作业安全。

[0049] 目前各种旋转式起重设备均采用测量载荷重量和力臂的方式获得转台力矩, 或者测量液压压力获得挖掘载荷。本技术目前在旋转式起重设备载荷检测方面还未见到应用, 适合在汽车吊、履带吊、塔吊、船用克令吊、港口用旋转吊等旋转式起重设备上应用。

[0050] 本发明的有益效果是:

(1) 便于考虑风载、动载等因素的影响

风载最终是要反映到转台(塔吊基础)上, 而本发明正是测量转台(塔吊基础)上的应变, 这样所测量的应变就反映了风载的影响。

[0051] 其实, 载荷(工作载荷、风载、动载等)最终都是要反映到转台、塔吊基础上, 本发明通过检测转台、塔吊基础等的应变获得整机所受力矩(包括风载、动载等), 这样所测量的应



变综合地反映了设备的实际工况,从而更精确地对设备负载进行力矩限制,保障作业安全。

[0052] (2) 传感器布置相对集中,便于数据的传输和处理

传感器在布置相对较为集中,对于汽车吊、履带吊、塔吊、挖掘机等设备转台所受力矩的检测,传感器位于转台距离驾驶室较近,便于数据的传输和处理。对于塔吊基础的检测,其传感器位于地面便于安装维护。

[0053] 避免了较长距离有线传输存在的衰减、干扰、缠绕等问题,同时避免了无线传输所带来的高成本。

[0054] (3) 只需一种传感器(指应变片)

本发明只需检测转台(塔吊基础)的应变,所以最少只需四个检测应变的传感器。这样减少了传感器的种类和数量,从而降低了成本,且便于维护。

[0055] (4) 便于获得载荷相对位置

本发明可以方便的获得载荷相对车体在俯视投影平面的位置,即本文第六部分推导的偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$ 。这样有利于对载荷的精确控制,并且节省了测量回转角度的角度传感器。

[0056] 本发明的附加方面和优点将在下面的描述中部分给出,部分将从下面的描述中变得明显,或通过本发明的实践了解到。

[0057]

#### 附图说明

[0058] 本发明的上述和 / 或附加的方面和优点从结合下面附图对实施例的描述中将变得明显和容易理解,其中:

图 1 是电桥测量应变的基本方法电路图;

图 2 是力矩限制试验的基本方法示意图;

图 3a 是汽车起重机负载对转台的作用力示意图;

图 3b 是汽车起重机负载对转台作用作等效载荷和弯矩示意图;

图 4a 是塔吊负载对基础的作用力示意图;

图 4b 是塔吊负载对基础作用作等效载荷和弯矩示意图。

[0059]

#### 具体实施方式

[0060] 下面详细描述本发明的实施例,所述实施例的示例在附图中示出,其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的元件或具有相同或类似功能的元件。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的,仅用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

[0061] 此技术适合在汽车吊、履带吊、塔吊、船用克令吊、港口用旋转吊等旋转式起重设备上应用。

[0062] 以下论述以汽车起重机和塔吊为例。

[0063] (1) 汽车起重机

汽车起重机的载荷  $F$  施加在吊钩处。

[0064] 负载对转台的作用为一个力  $F$ ,如下左图所示,该力可以等效为一个力  $F_0$  和两个弯矩  $M_x$ 、 $M_y$ 。起重机的转台可以简化为一个桶形受压短杆,为便于推理本文先以圆柱进行推理,

而后直接给出桶形的结论。

[0065] 将起重机的转台简化为一个圆柱受压短杆,其直径为 $d$ ,高度为 $h$ ,如图3a、图3b所示。

[0066] 问题可以简化为已知四片应变片1、2、3、4的应变分别为 $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 、 $\varepsilon_3$ 、 $\varepsilon_4$ 求载荷 $F$ 及其偏心距 $\Delta x$ 、 $\Delta y$ 。

[0067] 四片应变片的应变为：

$$\varepsilon_1 = -\varepsilon_F - \varepsilon_{Mx}$$

$$\varepsilon_2 = -\varepsilon_F - \varepsilon_{My}$$

$$\varepsilon_3 = -\varepsilon_F + \varepsilon_{Mx}$$

$$\varepsilon_4 = -\varepsilon_F + \varepsilon_{My}$$

其中： $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 、 $\varepsilon_3$ 、 $\varepsilon_4$ 分别为应变片1、2、3、4的应变， $\varepsilon_F$ 为压力产生的应变， $\varepsilon_{Mx}$ 为弯矩 $M_x$ 产生的应变， $\varepsilon_{My}$ 为弯矩 $M_y$ 产生的应变。

[0068]

整理上式得：

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4 = -\varepsilon_F - \varepsilon_{Mx} - \varepsilon_F - \varepsilon_{My} - \varepsilon_F + \varepsilon_{Mx} - \varepsilon_F + \varepsilon_{My} = -4\varepsilon_F$$

即

$$\varepsilon_F = -\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4}$$

继续整理得：

$$\varepsilon_3 - \varepsilon_1 = -\varepsilon_F + \varepsilon_{Mx} - (-\varepsilon_F - \varepsilon_{Mx}) = 2\varepsilon_{Mx}$$

即

$$\varepsilon_{Mx} = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{2}$$

同理得：

$$\varepsilon_4 - \varepsilon_2 = -\varepsilon_F + \varepsilon_{My} - (-\varepsilon_F - \varepsilon_{My}) = 2\varepsilon_{My}$$

即

$$\varepsilon_{My} = \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{2}$$

这样就可以由应变片的应变 $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 、 $\varepsilon_3$ 、 $\varepsilon_4$ 得到压力 $F$ 和两个弯矩 $M_x$ 、 $M_y$ 分别对应的应变 $\varepsilon_F$ 、 $\varepsilon_{Mx}$ 、 $\varepsilon_{My}$ 。

[0069] 由胡克定律

$$\sigma = E\varepsilon$$

可得压力 $F$ 和两个弯矩 $M_x$ 、 $M_y$ 分别对应的应力 $\sigma_F$ 、 $\sigma_{Mx}$ 、 $\sigma_{My}$ 。

$$\sigma_{Mx} = E \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{2}$$

$$\sigma_M = E \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{2}$$

[0070] 其中,弹性模量  $E$  为材料的固有特性。

[0071]

对于压力  $F_0$  由

$$F = \sigma A$$

得:

$$F_0 = -E \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = -\frac{E \pi d^2 (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4)}{16}$$

其中,  $A$  为转台的横截面积,  $A = \frac{\pi d^2}{4}$ 。

[0072] 对于弯矩  $M_x$ 、 $M_y$  由弯曲正应力计算公式

$$\sigma = \frac{My}{I_x}$$

其中:  $\sigma$  为弯曲正应力,  $M$  为弯矩,  $y$  为应力点到中性轴的距离,  $I_x$  为受压短杆截面对其形心轴的惯性矩。

$$y = \frac{d}{2}, I_x = \frac{\pi d^4}{64}$$

[0073] 得弯矩  $M_x$ 、 $M_y$

$$M_x = \frac{\sigma_M I_x}{\frac{d}{2}} = \frac{E \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{2} \cdot \frac{\pi d^4}{64}}{\frac{d}{2}} = \frac{E \pi d^3 (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)}{64}$$

$$M_y = \frac{\sigma_M I_y}{\frac{d}{2}} = \frac{E \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{2} \cdot \frac{\pi d^4}{64}}{\frac{d}{2}} = \frac{E \pi d^3 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{64}$$

所以,偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$

$$\Delta x = \frac{M_x}{F_0} = \frac{\frac{E \pi d^3 (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)}{64}}{-E \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4} \cdot \frac{\pi d^2}{4}} = -\frac{d}{4} \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}$$

$$\Delta y = \frac{M_y}{F_0} = \frac{\frac{E \pi d^3 (\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{64}}{-E \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4} \cdot \frac{\pi d^2}{4}} = -\frac{d}{4} \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}$$

实际上,汽车起重机转台多为环形截面,外径  $D$  内径  $d$ ,则横截面积

$$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

应力点到中性轴的距离

$$y = \frac{D}{2}$$

受压短杆截面对其形心轴的惯性矩

$$I_x = I_y = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$$

载荷

$$F_0 = E \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4} \cdot \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{E\pi(D^2 - d^2)(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4)}{16}$$

弯矩  $M_x$ 、 $M_y$

$$M_x = \frac{\sigma_M I_x}{\frac{D}{2}} = \frac{E \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{2} \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}}{\frac{D}{2}} = \frac{E\pi(D^4 - d^4)(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)}{64D}$$

$$M_y = \frac{\sigma_M I_y}{\frac{D}{2}} = \frac{E \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{2} \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}}{\frac{D}{2}} = \frac{E\pi(D^4 - d^4)(\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{64D}$$

偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$

$$\Delta x = \frac{M_x}{F_0} = \frac{\frac{E\pi(D^4 - d^4)(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)}{64D}}{\frac{E\pi(D^2 - d^2)(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4)}{16}} = -\frac{D^2 + d^2}{4D} \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}$$

$$\Delta y = \frac{M_y}{F_0} = \frac{\frac{E\pi(D^4 - d^4)(\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{64D}}{\frac{E\pi(D^2 - d^2)(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4)}{16}} = -\frac{D^2 + d^2}{4D} \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}$$

根据  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  获得载荷相对车体在俯视投影平面的位置, 根据  $F_0$  获得负载对起重机的载荷, 这样有利于对起重机电矩的判断和精确控制, 并且节省了测量回转角度的角度传感器。

[0074] 本发明通过检测转台、塔吊基础等的应变获得整机所受力矩(包括风载、动载等), 这样所测量的应变综合地反映了设备的实际工况, 从而更精确地对设备负载进行力矩限制, 保障作业安全。

[0075]

(2) 塔吊

对于塔吊, 有三种检测方式可供选择。

[0076] (1) 直接检测塔吊转台的应变。

[0077] (2) 对于基础较为规则的塔吊,可以检测其基础的应变。

[0078] (3) 对于基础不规则,或者不便于检测的塔吊,可以制作一个圆形或者方形的过渡装置安装在转台下方或者立柱的某一中间位置,使得该过渡装置成为塔吊转台或者立柱的一部分,并承受力矩。这样检测该过渡装置上的应变即可获得塔吊所受力矩。

[0079] 以下论述以塔吊基础为例。

[0080] 某些旋转式起重设备其基础截面为矩形,例如塔吊的立柱为桁架机构,但其水泥基础可以简化为矩形受压短杆,其长、宽、高分别为  $a$ 、 $b$ 、 $h$ ,如图 4a、4b 所示。

[0081] 横截面积

$$A = \frac{ab}{4}$$

应力点到中性轴的距离

$$y_{1,3} = \frac{b}{2}, y_{2,4} = \frac{a}{2}$$

受压短杆截面对其形心轴的惯性矩

$$I_x = \frac{ba^3}{12}, I_y = \frac{ab^3}{12}$$

载荷

$$F_0 = -E \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4} \frac{ab}{4} = -\frac{Eab(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4)}{16}$$

弯矩  $M_x$ 、 $M_y$

$$M_x = \frac{\sigma_M I_x}{\frac{a}{2}} = \frac{E \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{2} \frac{ba^3}{12}}{\frac{a}{2}} = \frac{Eba^2(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)}{12}$$

$$M_y = \frac{\sigma_M I_y}{\frac{b}{2}} = \frac{E \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{2} \frac{ab^3}{12}}{\frac{b}{2}} = \frac{Eab^2(\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{12}$$

偏心距  $\Delta x$ 、 $\Delta y$

$$\Delta x = \frac{M_x}{F_0} = \frac{E \frac{ba^2(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)}{12}}{-E \frac{ab(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4)}{16}} = -\frac{4a}{3} \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}$$

$$\Delta y = \frac{M_y}{F_0} = \frac{E \frac{ab^2(\varepsilon_4 - \varepsilon_2)}{12}}{-E \frac{ab(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4)}{16}} = -\frac{4b}{3} \frac{\varepsilon_4 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}$$

根据  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  获得载荷相对车体在俯视投影平面的位置,根据  $F_0$  获得负载对基础的载荷,有利于对起重量力矩的判断和精确控制。

[0082] 本发明通过检测转台、塔吊基础等的应变获得整机所受力矩(包括风载、动载等),

这样所测量的应变综合地反映了设备的实际工况,从而更精确地对设备负载进行力矩限制,保障作业安全。

[0083]

尽管已经示出和描述了本发明的实施例,本领域的普通技术人员可以理解:在不脱离本发明的原理和宗旨的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由权利要求及其等同物限定。

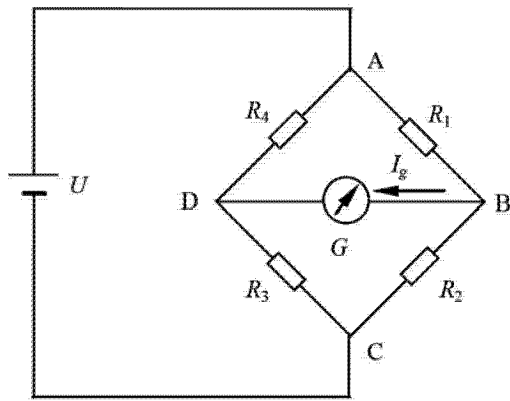


图 1

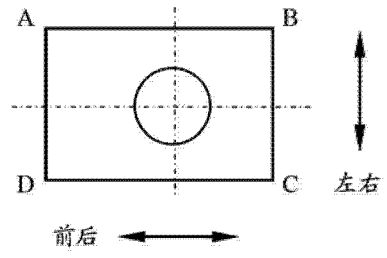


图 2

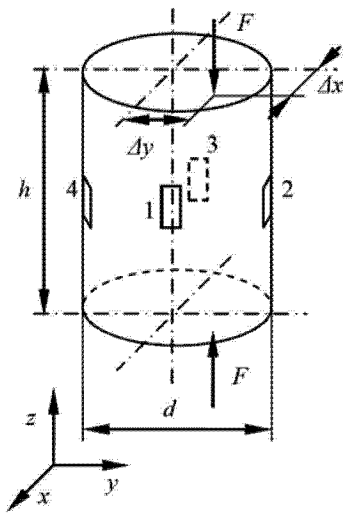


图 3a

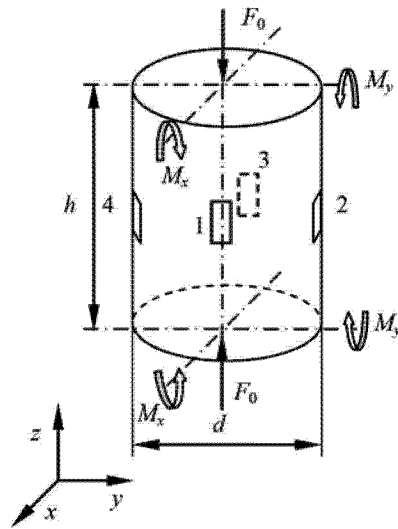


图 3b

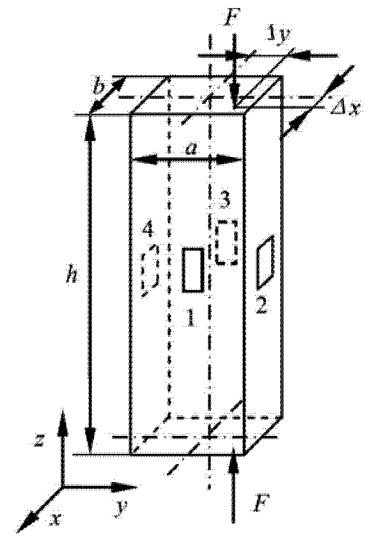


图 4a

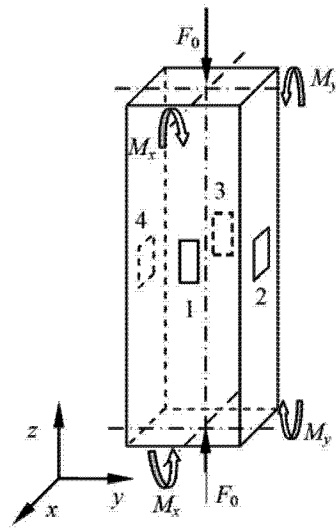


图 4b