



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102829990 B

(45) 授权公告日 2014. 08. 27

(21) 申请号 201210322121. 9

(22) 申请日 2012. 09. 03

(73) 专利权人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路 92 号

(72) 发明人 朱劲松 王俊杰 孙雅丹

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代理  
事务所 12201

代理人 琪琛

(51) Int. Cl.

G01M 99/00 (2011. 01)

(56) 对比文件

CN 201926464 U, 2011. 08. 10, 全文.

CN 102052935 A, 2011. 05. 11, 全文.

CN 201317908 Y, 2009. 09. 30, 全文.

CN 102296525 A, 2011. 12. 28, 全文.

JP 3788310 B2, 2006. 06. 21, 全文.

朱劲松等. 基于定期检测与遗传算法的大跨度斜拉桥损伤识别. 《土木工程学报》. 2006, 第 39 卷 (第 05 期), 85-89.

王金国等. 长输管道悬索跨越结构损伤的试验模拟与识别. 《天津大学学报》. 2010, 第 43 卷 (第 03 期), 229-233.

审查员 李蓓

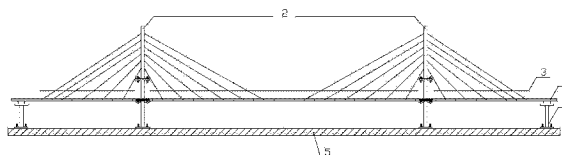
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

一种装配式双塔斜拉桥损伤识别试验模型系统

(57) 摘要

本发明公开了一种装配式双塔斜拉桥损伤识别试验模型系统,该系统由双塔斜拉桥试验模型、移动荷载系统、数据采集系统组成;双塔斜拉桥试验模型由主梁、索塔,斜拉索、支座和基座组成,其中主梁由不同长度规格的节段拼装而成;移动荷载系统为由无线遥控装置控制的车辆模型并固定有砝码;数据采集系统包括索力测试系统、位移测试系统和加速度测试系统。本发明既可以完成斜拉桥结构动力和静力性能模型试验,同时可以方便地模拟斜拉桥结构在实际状况下的各种损伤状态;可以根据试验要求调整配重配置;可模拟桥面车辆行驶中不平顺状况;实现了移动荷载加载;数据采集系统全面、简便、经济、实时、精度可靠。



1. 一种装配式双塔斜拉桥损伤识别试验模型系统,其特征在于,该系统由双塔斜拉桥试验模型、移动荷载系统、数据采集系统组成;

所述双塔斜拉桥试验模型由主梁、索塔、斜拉索、第一支座和基座组成,所述主梁与所述索塔采用挤压连接,所述主梁与所述索塔交接处设置橡胶支座;所述主梁两端通过第一支座与所述基座相连,所述索塔通过索塔连接板与所述基座连接;所述斜拉索两端分别连接于所述索塔和所述主梁;

所述索塔为花瓶形,每根塔柱由对称设置的第一索塔节段、第二索塔节段和第三索塔节段组成;所述第一索塔节段与所述第二索塔节段之间通过第一索塔连接板连接,所述第二索塔节段与所述第三索塔节段之间通过第二索塔连接板连接,所述第一索塔节段之间的上部连接有索塔横向连接螺栓,两个所述第一索塔连接板之间连接有第一索塔横向连接板,两个所述第二索塔连接板之间连接有第二索塔横向连接板;

所述主梁截面为Π形,由分节设置的桥面板、角板和侧板拼装而成,所述桥面板和所述角板用螺栓连接,所述角板和所述侧板用螺栓连接;在两个所述侧板之间还设置有连接螺栓,连接螺栓位于所述主梁上安装所述斜拉索的位置;

所述斜拉索顶端与所述索塔采用压制索节相连接;所述斜拉索底端与所述主梁通过角度调节片、调节螺母和锚固螺栓连接,所述角度调节片通过连接螺栓固定于所述主梁的一侧,所述角度调节片上固定连接所述调节螺母,所述调节螺母内安装所述锚固螺栓,所述锚固螺栓上部连接于所述斜拉索底端;

第一支座包括与所述基座连接的支座下连接板,所述支座下连接板上焊接支座节段,所述支座节段顶部焊接支座上连接板,支座上连接板两端分别焊接一块支座侧板,两块所述支座侧板上部穿接有销钉,所述销钉两端连接于所述主梁;

所述移动荷载系统包括由无线遥控装置控制的车辆模型,所述车辆模型上固定有砝码;

所述数据采集系统包括索力测试系统、位移测试系统和加速度测试系统;

所述索力测试系统包括设置在斜拉索上的钢片,所述钢片表面粘贴应变片,所述应变片连接于动态应变仪,所述动态应变仪连接于电脑;

所述位移测试系统包括安装在所述主梁和所述索塔上的电子位移计;

所述加速度测试系统包括安装在所述主梁和所述索塔上的无线传感器,所述无线传感器连接于无线接收存储设备。

2. 根据权利要求1所述的一种装配式双塔斜拉桥损伤识别试验模型系统,其特征在于,所述桥面板的每一节段大小相同,所述角板分为设置于两端的第一角板和设置于中间的第二角板,所述第一角板的长度为所述桥面板单个节段长度的1.5倍,所述第二角板与所述桥面板单个节段的长度相同;所述侧板分为设置于两端的第一侧板和设置于中间的第二侧板,所述第一侧板的长度为所述桥面板单个节段长度的2倍,所述第二侧板与所述桥面板单个节段的长度相同。

3. 根据权利要求1所述的一种装配式双塔斜拉桥损伤识别试验模型系统,其特征在于,所述桥面板上表面粘结有橡胶铺装层。

4. 根据权利要求1所述的一种装配式双塔斜拉桥损伤识别试验模型系统,其特征在于,所述主梁下部通过螺栓连接有配重。

5. 根据权利要求 1 所述的一种装配式双塔斜拉桥损伤识别试验模型系统,其特征在于,所述支座侧板上用于穿接销钉的安装连接孔采用圆孔或长孔。

## 一种装配式双塔斜拉桥损伤识别试验模型系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及桥梁试验领域,具体的说,是涉及一种用于损伤识别算法验证的斜拉桥试验模型系统。

### 背景技术

[0002] 斜拉桥结构具有自重小、刚度大、受力明确、经济性优势明显等优点,以其较大的跨越能力、良好的技术经济指标和美学价值在现代桥梁结构中占据重要的地位。

[0003] 斜拉桥建成后,就会不断受到正常荷载、环境荷载、材料老化、腐蚀效应以及其他因素的作用,长期会导致结构系统损伤积累和抗力衰减,极端情况下可能引发灾难性的突发事故。因此为了保障结构的完整性和安全性,对已建成的斜拉桥进行损伤识别具有非常重要的意义。然而在实际桥梁上进行破坏和研究并不现实,因此通过试验模型进行损伤识别验证具有重要意义。下面就现有技术中用于损伤识别的斜拉桥试验模型系统研究现状介绍如下:

[0004] 2005年,赵翔、汪永兰分析了斜拉索损伤对斜拉桥结构静力和动力性能影响的特征,在缩尺比为1:60的润扬大桥斜拉桥试验模型上进行了试验,实测了斜拉索在各种损伤工况下的索力、主梁线形、动力特性及其变化规律,通过与理论研究结果的对比分析,得到拉索损伤对斜拉桥结构静力和动力性能的影响规律,提出了拉索损伤的静力和动力监测策略。

[0005] 2010年,Ge Jiping和Li Husheng通过一座斜拉桥模型对基于小波包能量积聚变化指数的损伤识别方法进行了研究,制作了独塔两跨对称连续斜拉桥模型,全长5.2m;主梁截面为Π形,宽471mm,高30mm,采用角钢和钢板拼接而成;斜拉索总共12根,桥墩高0.58m,采用槽型钢;通过在主梁不同位置设置切口来模拟不同的损伤工况。

[0006] 2010年,石家庄铁道大学研究设计了基于损伤识别的独塔斜拉桥试验模型系统。模型主要由独塔斜拉桥试验模型、杠杆加载系统和索力测试系统组成,其中独塔斜拉桥试验模型模型主梁截面为箱型,每个节段由螺栓连接;索塔为H型,通过型钢焊接;斜拉索和主梁通过螺栓套杆连接;基座由型钢焊接而成;主梁损伤通过更换厚度不同的节段来模拟。

[0007] 2011年,胡健以黄河胜利大桥为原型,设计了缩尺比为1/150的斜拉桥模型。由于以斜拉索损伤对索力的影响为主要研究目的,对该桥除斜拉索外的其他结构构造方面进行了较大的简化,但基本满足抗弯刚度和抗扭刚度相似。斜拉索和主梁的连接采用了微调螺丝的支座,可以方便模拟索力变化。

[0008] 2011年,S. D. Frassois等人提出了基于Random Coefficient Pooled (RCP-ARX)的损伤识别方法,并在一座斜拉桥试验模型上进行了试验验证。该模型为独塔双跨斜拉桥,全长1470mm,宽190mm,两侧一共20根斜拉索,主梁为铝合金材质,索塔为钢材,全桥主要通过螺栓连接。桥面上设置了配重铁块,并安装了相应的测试仪器。试验中主要通过放松锚固斜拉索的螺栓,放松锚固主梁纵向边缘的螺栓和放松锚固索塔底部的螺栓来模拟不同的

损伤。

[0009] 以上介绍的用于损伤识别方法验证的斜拉桥模型大多针对独塔双跨斜拉桥,而对最常见的双塔三跨斜拉桥少有涉及;所能模拟的损伤工况单一,不能进行多损伤验证;大部分模型主梁未配重,涉及配重的模型其配重与主梁没有可靠连接,动力反应滞后,因此合理性有待商榷;同时针对移动荷载下的损伤识别方法验证未有涉及。

## 发明内容

[0010] 本发明要解决的是现有技术中的上述技术问题,提供一种装配式双塔斜拉桥损伤识别试验模型系统,结构形式简单,拆卸组建方便,可以有效模拟斜拉桥的各种损伤形式,针对桥梁损伤识别方法的进行有效验证。

[0011] 为了解决上述技术问题,本发明通过以下的技术方案予以实现:

[0012] 一种装配式双塔斜拉桥损伤识别试验模型系统,该系统由双塔斜拉桥试验模型、移动荷载系统、数据采集系统组成;

[0013] 所述双塔斜拉桥试验模型由主梁、索塔、斜拉索、支座和基座组成,所述主梁与所述索塔采用挤压连接,所述主梁与所述索塔交接处设置橡胶支座;所述主梁两端通过所述支座与所述基座相连,所述索塔通过所述索塔连接板与所述基座连接;所述斜拉索两端分别连接于所述索塔和所述主梁;

[0014] 所述索塔为花瓶形,每根塔柱由对称设置的第一索塔节段、第二索塔节段和第三索塔节段组成;所述第一索塔节段与所述第二索塔节段之间通过第一索塔连接板连接,所述第二索塔节段与所述第三索塔节段之间通过第二索塔连接板连接,所述第一索塔节段之间的上部连接有索塔横向连接螺栓,两个所述第一索塔连接板之间连接有第一索塔横向连接板,两个所述第二索塔连接板之间连接有第二索塔横向连接板;

[0015] 所述主梁截面为Π形,由分节设置的桥面板、角板和侧板拼装而成,所述桥面板和所述角板用螺栓连接,所述角板和所述侧板用螺栓连接;在两个所述侧板之间还设置有连接螺栓,所述连接螺栓位于所述主梁上安装所述斜拉索的位置;

[0016] 所述斜拉索顶端与所述索塔采用压制索节相连接;所述斜拉索底端与所述主梁通过角度调节片、调节螺母和锚固螺栓连接,所述角度调节片通过所述连接螺栓固定于所述主梁的一侧,所述角度调节片上固定连接所述调节螺母,所述调节螺母内安装所述锚固螺栓,所述锚固螺栓上部连接于所述斜拉索底端;

[0017] 所述支座包括与所述基座连接的支座下连接板,所述支座下连接板上焊接支座节段,所述支座节段顶部焊接支座上连接板,支座上连接板两端分别焊接一块支座侧板,两块所述支座侧板上部穿接有销钉,所述销钉两端连接于所述主梁;

[0018] 所述移动荷载系统包括由无线遥控装置控制的车辆模型,所述车辆模型上固定有砝码;

[0019] 所述数据采集系统包括索力测试系统、位移测试系统和加速度测试系统;

[0020] 所述索力测试系统包括设置在斜拉索上的钢片,所述钢片表面粘贴应变片,所述应变片连接于动态应变仪,所述动态应变仪连接于电脑;

[0021] 所述位移测试系统包括安装在所述主梁和所述索塔上的电子位移计;

[0022] 所述加速度测试系统包括安装在所述主梁和所述索塔上的无线传感器,所述无线

传感器连接于无线接收存储设备。

[0023] 所述桥面板的每一节段大小相同,所述角板分为设置于两端的第一角板和设置于中间的第二角板,所述第一角板的长度为所述桥面板单个节段长度的 1.5 倍,所述第二角板与所述桥面板单个节段的长度相同;所述侧板分为设置于两端的第一侧板和设置于中间的第二侧板,所述第一侧板的长度为所述桥面板单个节段长度的 2 倍,所述第二侧板与所述桥面板单个节段的长度相同。

[0024] 所述桥面板上表面粘结有橡胶铺装层。

[0025] 所述主梁下部通过螺栓连接有配重。

[0026] 所述支座侧板上用于穿接销钉的安装连接孔采用圆孔或长孔。

[0027] 本发明的有益效果是:

[0028] (一) 本发明的试验模型系统既可以完成斜拉桥结构动力和静力性能的模式试验,同时也可以方便地模拟斜拉桥结构在实际状况下的各种损伤状态,对斜拉桥结构的损伤识别方法进行验证;

[0029] (二) 本发明的试验模型系统拆卸组装简单方便,结构部件尺寸均匀,可以使用根据不同要求进行调整,因此能够方便地模拟不同位置不同程度的单一或是多种损伤状态;

[0030] (三) 本发明的试验模型系统对场地要求不高,能适应大部分场地;

[0031] (四) 本发明的试验模型系统针对于双塔三跨斜拉桥,双塔三跨斜拉桥是最常见的斜拉桥形式,因此测试结果具有普适性;

[0032] (五) 本发明的试验模型系统在未改变主梁刚度的前提下,对主梁进行了配重,配重配置均匀,接近实际情况,且配重重量可以根据试验要求调整,能够更准确的反应结构的动力特性;

[0033] (六) 本发明的试验模型系统设计了一种简便的索力测试方法,同其他索力测量方法相比较,具有连接构造简便经济、数据采集具有实时性、数据精度可靠等特点;

[0034] (七) 本发明的数据采集系统能够实时地采集试验过程中所需各种数据,为损伤识别方法验证或是其他方面研究提供试验数据,数据采集过程为全自动,有效降低人为因素对数据准确性的干扰;

[0035] (八) 本发明的试验模型系统设计了车辆模型来模拟桥面移动荷载(车辆),能够根据要求改变模型质量和移动速度,实现了移动荷载加载;

[0036] (九) 本发明的试验模型系统在桥面采用了橡胶铺装层,可模拟桥面车辆行驶中的不平顺状况。

#### 附图说明

[0037] 图 1 是本发明所提供的双塔斜拉桥试验模型系统总体布置示意图;

[0038] 图 2 是本发明所提供的索塔的结构示意图;

[0039] 图 3 是图 2 的 A-A 剖面图;

[0040] 图 4 是图 2 的 B-B 剖面图;

[0041] 图 5 是本发明所提供的斜拉索的结构示意图;

[0042] 图 6 是本发明所提供的主梁节段平面布置图;

[0043] 图 7 是本发明所提供的主梁截面示意图;

- [0044] 图 8 是图 7 的 C-C 剖面图；
- [0045] 图 9 是本发明所提供的支座的结构示意图；
- [0046] 图 10 为图 9 的 D-D 剖面图，(a) 为圆孔型，(b) 为长孔型；
- [0047] 图 11 是本发明所提供的移动载荷系统的结构示意图；
- [0048] 图 12 是本发明所提供的索力测试系统的结构示意图。
- [0049] 图中：1. 主梁，2. 索塔，3. 斜拉索，4. 支座，5. 基座，6. 第一索塔节段，7. 第一索塔连接板，8. 第二索塔节段，9. 第二索塔连接板，10. 第三索塔节段，11. 第三索塔连接板，12. 索塔横向连接螺栓，13. 第一索塔横向连接板，14. 第二索塔横向连接板，15. 橡胶支座，16. 连接螺栓，17. 第一侧板，18. 第二侧板，19. 第一角板，20. 第二角板，21. 桥面板，22. 橡胶铺装层，23. 配重，24. 角板，25. 侧板，26. 角度调节片，27. 调节螺母，28. 锚固螺栓，29. 钢片，30. 压制索节，31. 支座上连接板，32. 支座节段，33. 支座侧板，34. 销钉，35 圆孔，36. 长孔，37. 支座下连接板，38. 动态应变仪，39. 电脑，40. 砝码，41. 车辆模型，42. 无线遥控装置，43. 应变片。

### 具体实施方式

[0050] 为能进一步了解本发明的内容、特点及效果，兹列举以下实施例，并配合附图详细说明如下：

[0051] 本实施例披露了一种装配式双塔斜拉桥损伤识别试验模型系统，主要由双塔斜拉桥试验模型、移动荷载系统、数据采集系统组成。

[0052] 如图 1 所示，双塔斜拉桥试验模型由主梁 1、索塔 2，斜拉索 3、支座 4 和基座 5 组成。主梁 1 与索塔 2 采用挤压连接，主梁 1 与索塔 2 交接处设有橡胶支座 15；主梁 1 两端通过支座 4 与基座 5 相连，索塔 2 与基座 5 连接，基座 5 采用混凝土浇筑而成。斜拉索 3 与索塔 2 采用压制索节 30 连接，斜拉索 3 与主梁 1 通过角度调节片 26 连接。

[0053] 如图 2 至图 4 所示，索塔 2 为花瓶形，采用 H 型钢焊接和螺栓连接而成。每根塔柱由对称设置的三组节段组成，分别为第一索塔节段 6、第二索塔节段 8、第三索塔节段 10；第一索塔节段 6 与第二索塔节段 8 之间通过第一索塔连接板 7 连接，由安装在第一索塔连接板 7 上的螺栓固定；第二索塔节段 8 与第三索塔节段 10 之间通过第二索塔连接板 9 连接，由安装在第二索塔连接板 9 上的螺栓固定。横向连接由索塔横向连接螺栓 12、第一索塔横向连接板 13 和第二索塔横向连接板 14 组成，索塔横向连接螺栓 12 连接于第一索塔节段 6 之间的上部，第一索塔横向连接板 13 通过螺栓连接于两个第一索塔连接板 7 之间，第二索塔横向连接板 14 通过螺栓连接于两个第二索塔连接板 9 之间。上述索塔 2 形式在实际中采用较多，具有普适性，并且该索塔 2 的结构组装拆卸简便。

[0054] 索塔 2 底部通过索塔连接板 11 与基座 5 相连接，以螺栓进行固定。

[0055] 主梁 1 与索塔 2 采用挤压连接，主梁 1 与索塔 2 交接处，具体是主梁 1 两侧分别与第二索塔连接板 9 之间设置橡胶支座 15。主梁 1 与索塔 2 的挤压连接能够模拟实际中索塔 2 对主梁 1 的横向位移限制和竖向位移限制。

[0056] 如图 5 所示，斜拉索 3 顶端与索塔 2 采用压制索节 30 和螺栓相连接，压制索节 30 能够保证斜拉索 3 和索塔 2 可靠连接，且方便调节压制索节 30 的倾角，以保证斜拉索 3 呈直线形状。斜拉索 3 底端与主梁 1 通过角度调节片 26、调节螺母 27 和锚固螺栓 28 连接，

角度调节片 26 通过连接螺栓 16 固定于主梁 1 的一侧,角度调节片 26 上固定连接调节螺母 27,调节螺母 27 内安装锚固螺栓 28,锚固螺栓 28 上部连接于斜拉索 3 底端。由此,调节螺母 27 和锚固螺栓 28 能够调节斜拉索 3 的长度,通过旋转调节螺母 27 可以使调节螺母 27 沿着调节螺栓 28 向上或向下移动,进而调节斜拉索 3 的缩短或伸长;角度调节片 26 能够通过调整调节螺栓 28 倾角,保证斜拉索 3 呈直线形状。斜拉索 3 采用钢丝绳,在不同位置更换截面直径不同的钢丝绳可以模拟斜拉索 3 不同程度的损伤。

[0057] 如图 6 所示,主梁 1 采用铝合金材料,截面形式为  $\Pi$  形,由分节设置的桥面板 21、角板 24 和侧板 25 通过螺栓拼装而成,桥面板 21 和角板 24 用螺栓连接,角板 24 和侧板 25 用螺栓连接,各节段的规格长度和厚度根据试验要求设置。由于插缝连接的需要,桥面板 21 的每一节段大小相同,角板 24 按照长度的不同分为第一角板 19 和第二角板 20 两种。主梁 1 两端设置第一角板 19,第一角板 19 的长度为桥面板 21 单个节段长度的 1.5 倍;主梁 1 中间全部设置第二角板 20,第二角板 20 与桥面板 21 单个节段的长度相同。侧板 25 按照长度的不同分为第一侧板 17 和第二侧板 18 两种,主梁 1 两端设置第一侧板 17,第一侧板 17 的长度为桥面板 21 单个节段长度的 2 倍;主梁 1 中间全部设置第二侧板 18,第二侧板 18 与第二角板 20、桥面板 21 单个节段的长度相同。

[0058] 由此,损伤模拟通过更换节段配件实现,更换不同位置的节段可以方便模拟不同位置损伤;采用不同板厚或是具有不同孔洞大小的节段可以模拟损伤的各种程度;根据实际试验要求在不同位置模拟不同程度损伤,实现从单一损伤到多损伤模拟的试验要求。

[0059] 结合图 7 和图 8 所示,在两个侧板 25 之间还设置有连接螺栓 16,连接螺栓 16 位于主梁 1 上安装斜拉索 3 的位置。连接螺栓 16 不仅用于安装角度调节片 26,还能够作为主梁 1 的加劲肋,以提高主梁 1 在与角度调节片 26 连接处的横向强度。

[0060] 桥面板 21 上表面粘结橡胶铺装层 22,用于模拟桥面车辆行驶不平顺状况。

[0061] 主梁 1 下部通过螺栓连接有配重 26,配重 26 重量可以根据试验实际需要调整。在未改变主梁 1 刚度的前提下将配重 26 与主梁 1 可靠连接,同时对主梁 1 进行配重使试验结果更接近真实状况。

[0062] 如图 9 所示,支座 4 由支座侧板 33、销钉 34、支座上连接板 31、支座节段 32 和支座下连接板 37 组成。支座下连接板 37 通过螺栓连接于基座 5,支座下连接板 37 上面焊接支座节段 32,支座节段 32 顶部焊接支座上连接板 31,支座上连接板 31 两端分别焊接一块支座侧板 33,两块支座侧板 33 上部穿接有销钉 34,销钉 34 两端分别穿过支座上连接板 31 两侧的支座侧板 33,并连接于主梁 1,从而将主梁 1 和支座 4 可靠连接。

[0063] 如图 10 所示,支座侧板 33 可分为两种类型,其差别仅在于销钉 34 的安装连接孔采用圆孔 35 或长孔 36,分别用以模拟铰接支座和滑动支座。因此,主梁 1 两端的支座 4 可以均使用带有圆孔 35 的支座侧板 33,也可以一端采用带有圆孔 35 的支座侧板 33,另一端采用带有长孔 36 的支座侧板 33。

[0064] 如图 11 所示,移动荷载系统包括砝码 40、车辆模型 41 和无线遥控装置 42。砝码 40 固定在车辆模型 41 上,砝码 40 的质量可以根据实际需要增减。车辆模型 41 的行驶速度通过无线遥控装置 42 控制。车辆模型 41 可以用来模拟桥面移动荷载(车辆),并根据要求改变模型质量和移动速度。当车辆模型 41 按试验要求设定好,在橡胶铺装层 22 上移动时,可以通过数据采集系统采集所需要的实验数据,为损伤识别方法验证或是其他方面研究提



供试验数据。

[0065] 数据采集系统包括索力测试系统、位移测试系统和加速度测试系统。

[0066] 如图 12 所示,索力测试系统包括钢片 29、应变片 43、动态应变仪 38 和电脑 39。钢片 29 设置在斜拉索 3 上,其两端分别与斜拉索 3 连接,钢片 29 表面粘贴应变片 43,应变片 43 和动态应变仪 38 通过导线连接,动态应变仪 38 又同电脑 39 相连接,将数据传递到电脑 39 中。

[0067] 位移测试系统包括安装在主梁 1 和索塔 2 上的电子位移计,具体位置根据试验需要布置。

[0068] 加速度测试系统包括无线传感器和无线接收存储设备,无线传感器安置在主梁 1 和索塔 2 的测点处,通过电池驱动;无线接收存储设备将测得数据通过无线接收并存储,将数据传递到电脑 39 中。

[0069] 尽管上面结合附图对本发明的优选实施例进行了描述,但是本发明并不局限于上述的具体实施方式,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,并不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可以作出很多形式的具体变换,这些均属于本发明的保护范围之内。

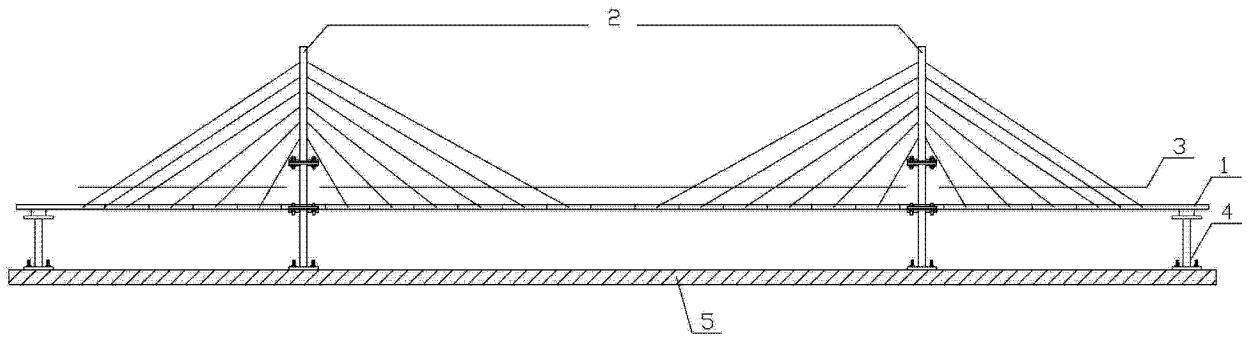


图 1

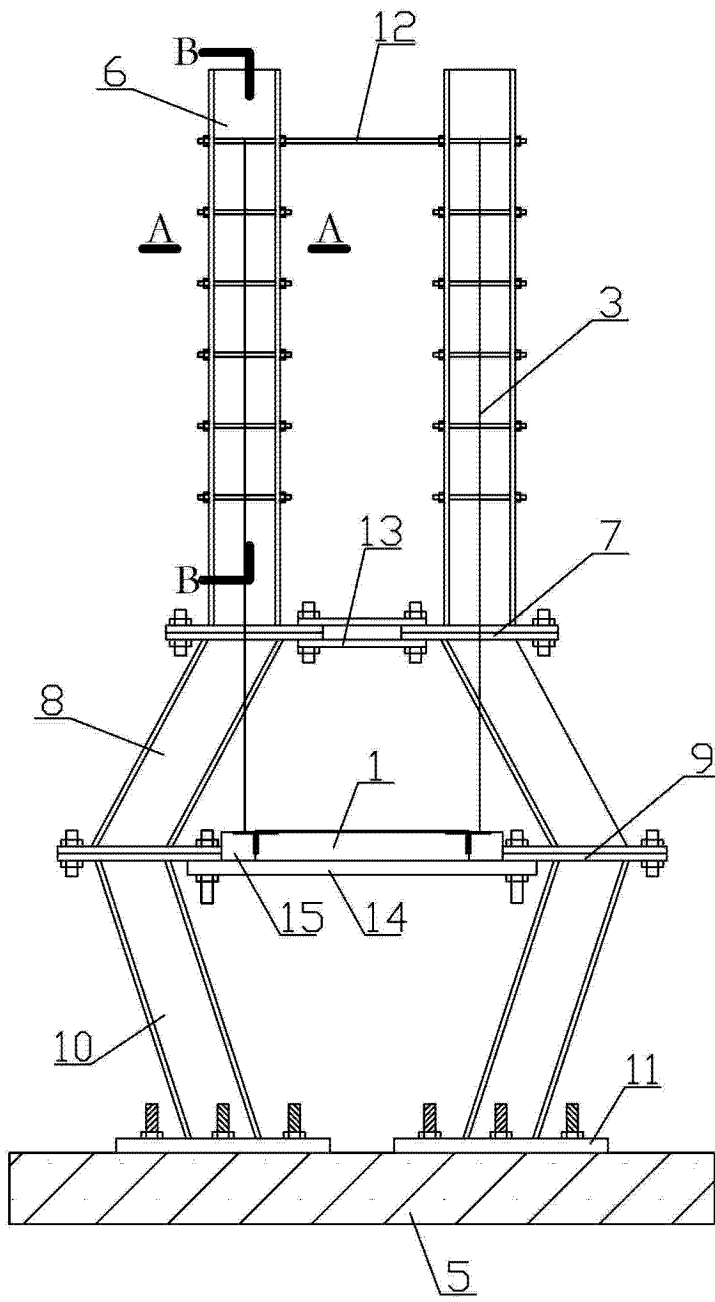


图 2

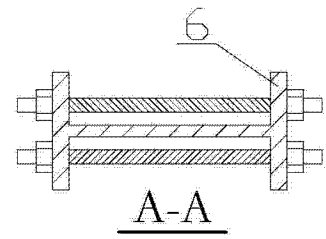


图 3

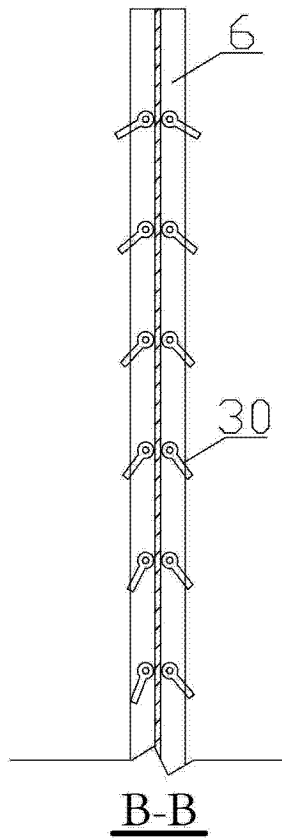


图 4

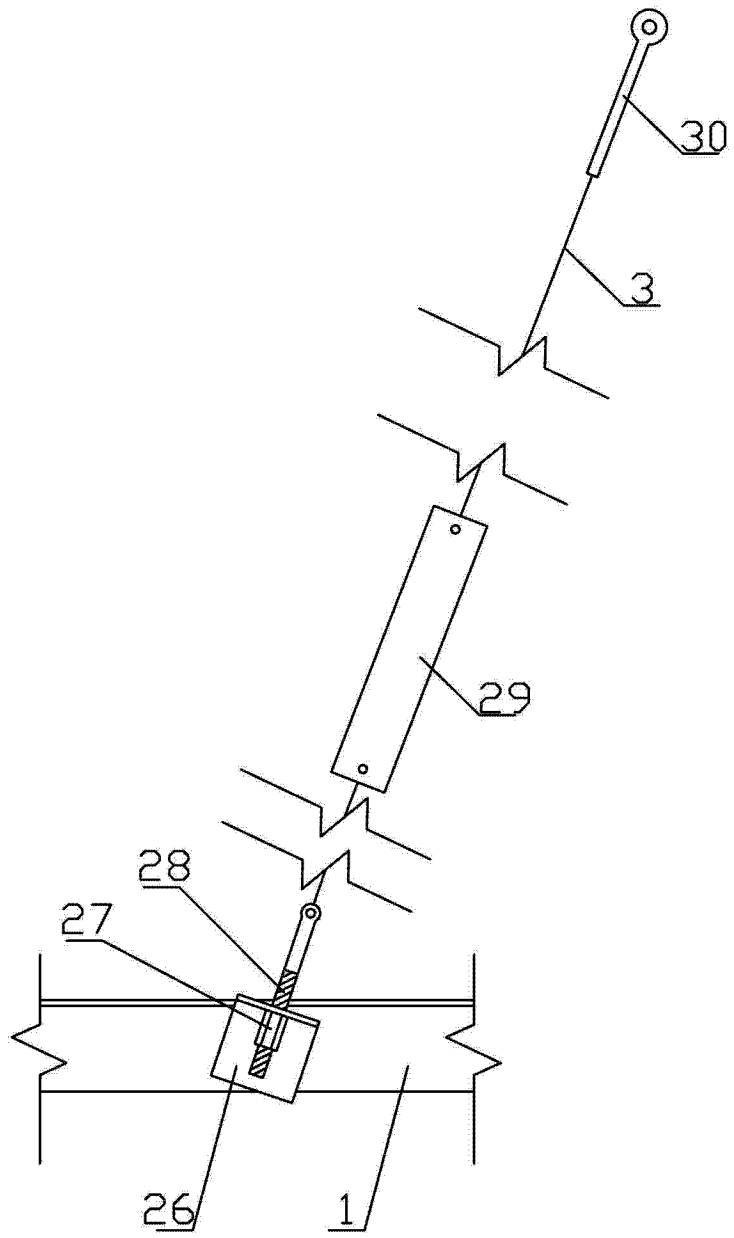


图 5

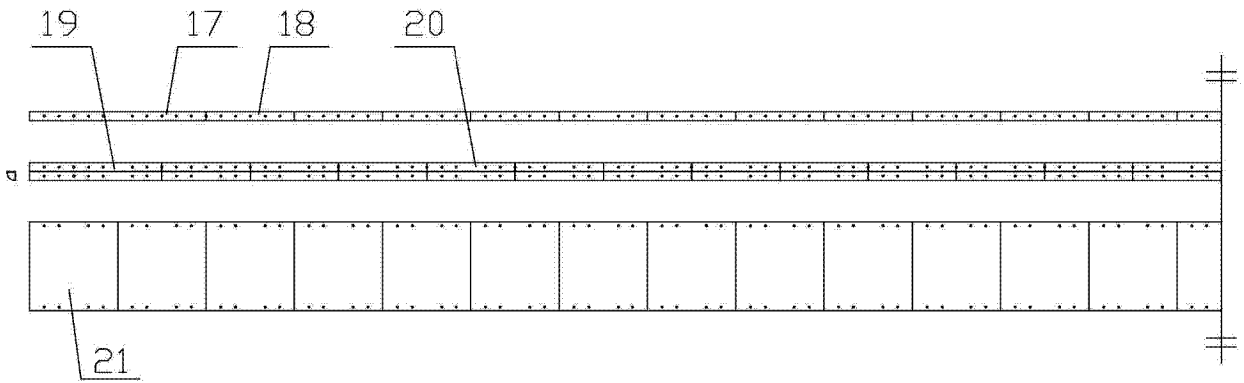


图 6

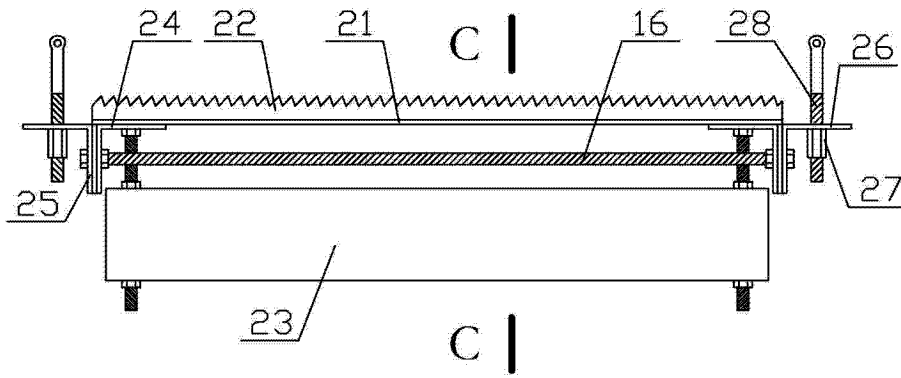


图 7

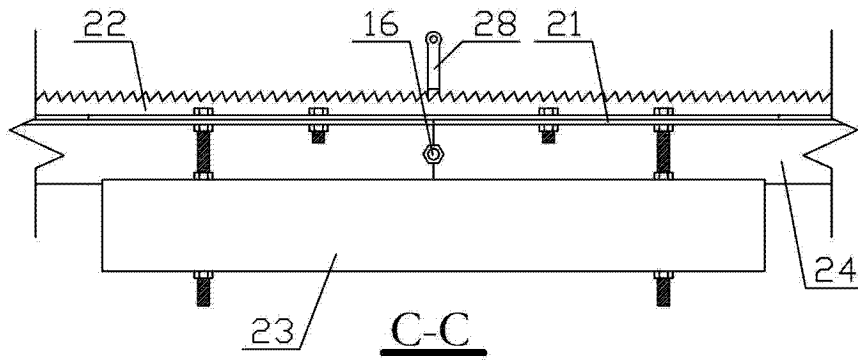


图 8

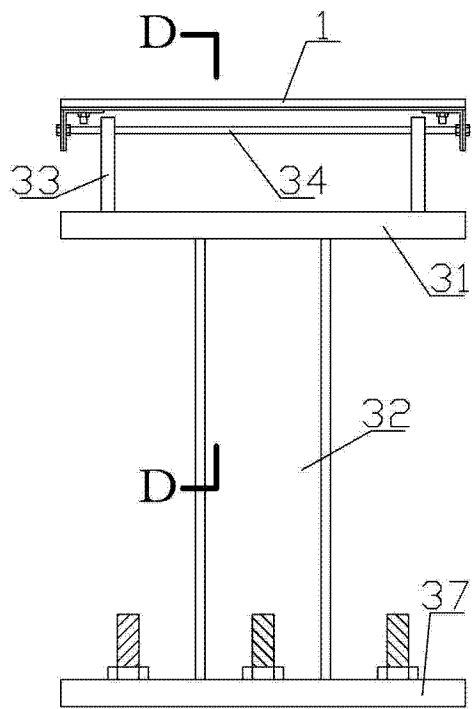


图 9

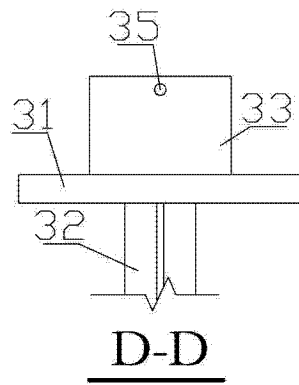


图 10(a)

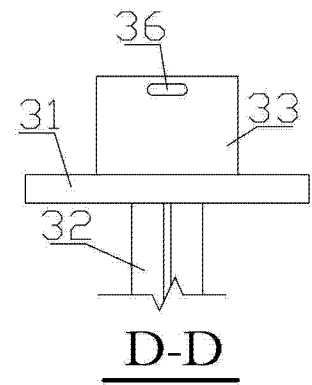


图 10(b)

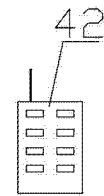
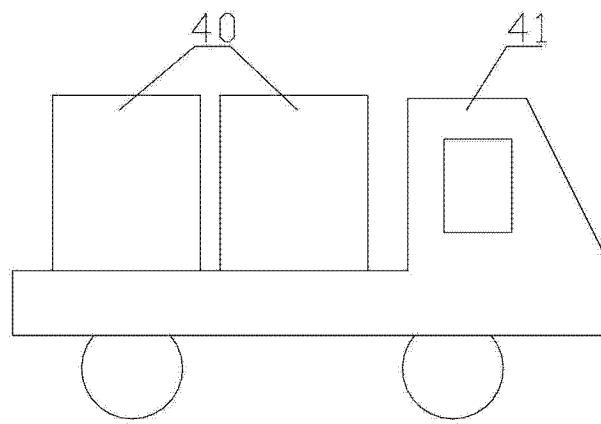


图 11

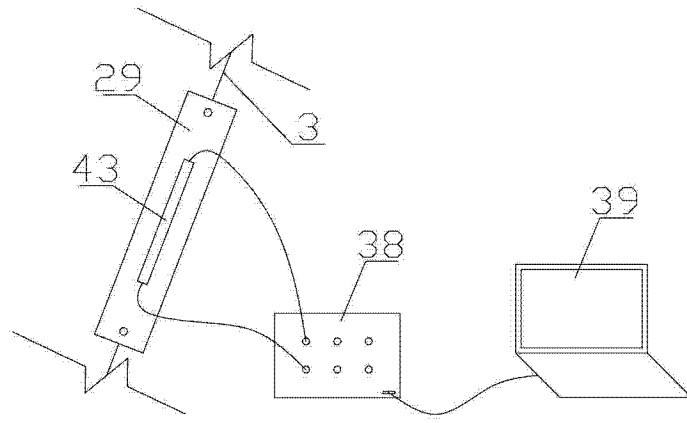


图 12