



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101864845 B

(45) 授权公告日 2012. 06. 06

(21) 申请号 201010205238. X

(22) 申请日 2010. 06. 22

(73) 专利权人 湖南科技大学

地址 411201 湖南省湘潭市雨湖区桃源路湖南科技大学土木工程学院

(72) 发明人 杨滔 钟新谷 沈明燕

(74) 专利代理机构 湘潭市汇智专利事务所
43108

代理人 魏娟

(51) Int. Cl.

E04G 23/02 (2006. 01)

E01D 22/00 (2006. 01)

E04C 5/12 (2006. 01)

G01L 5/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

EP 0429399 A3, 1990. 11. 19,
DE 202006006990 U1, 2006. 08. 17,
EP 1693659 A1, 2006. 08. 23,
CN 201335748 Y, 2009. 10. 28,
CN 101435183 A, 2009. 05. 20,
CN 101419104 A, 2009. 04. 29,
CN 101215822 A, 2008. 07. 09,

审查员 冯淼

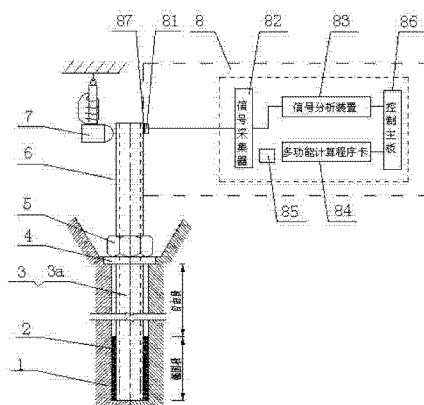
权利要求书 1 页 说明书 7 页 附图 2 页

(54) 发明名称

监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统

(57) 摘要

监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统, 它包括于选定的加固对象内植入钢杆及托板和螺母, 使钢杆预埋段与加固对象结合并经张拉成预应力钢杆, 于预应力钢杆外露段顶端处设一加速度传感器及击振器, 加速度传感器与智能测力仪连接, 并内置信号采集器, 信号分析装置, 多功能计算程序卡, 充电电池和控制主板, 使用击振器, 使外露段产生振动, 操作控制主板, 输入长 L_0 并运行智能测力仪将振动电信号转换成固有频率谱, 从而获取预应力钢杆传给托板的预紧力, 实现加固工程预紧力动态的监测; 它克服了现有检测方法使用成本高, 且不能满足现场对预紧力施工质量进行大面积检测及锚杆失效等缺陷; 它适合需要大面积监测的预应力锚固系统加固工程。



1. 监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统,其特征在于它包括于选定的加固对象(1)内植入钢杆(3)及托板(4)和螺母(5),使钢杆(3)预埋段与加固对象(1)结合并经张拉成预应力钢杆(3a),钢杆(3)预埋段包括锚固段和自由段,钢杆(3)的锚固段与加固对象(1)结合的方式是钻孔灌浆锚固或混凝土现浇锚固;于预应力钢杆(3a)外端设置外露段(6),预应力钢杆(3a)外露段(6)长即螺母(5)顶面至预应力钢杆(3a)顶端面的长 L_2 ,该 L_2 应大于预应力钢杆(3a)直径的4倍;钢杆(3)预埋段是选用刚性材料中的螺纹钢筋制作或选用柔性材料中的钢索制作,当钢杆(3)预埋段选用柔性材料中的钢索制作时,须将钢索与选用刚性材料制作的预应力钢杆(3a)外露段(6),采用焊接方式或者扣锁方式连接固定成整体;在外露段(6)顶端处设一加速度传感器(8)及击振器(7),加速度传感器(8)与智能测力仪(8)连接,该智能测力仪(8)中内置信号采集器(82),信号分析装置(83),多功能计算程序卡(84),充电电池(85)和控制主板(86);多功能计算程序卡(84)内设有供智能测力仪(8)调用的各种螺母(5)与钢杆(3)组合的计算程序;使用击振器(7),使预应力钢杆(3a)外露段(6)产生微幅振动,操作控制主板(86)的主界面,输入预应力钢杆(3a)外露段(6)长 L_2 ,并运行信号采集器(82)执行信号采集命令,信号采集器(82)拾取预应力钢杆(3a)外露段(6)的振动电信号,该振动电信号经信号分析装置(83)转换成预应力钢杆(3a)外露段(6)的固有频率谱且由控制主板(86)的主界面显示,在控制主板(86)的主界面中选中国有频率,并将选中的固有频率传输给多功能计算程序卡(84)中相应计算程序,从而获取预应力钢杆(3a)传给托板(4)的预紧力,实现对加固工程预紧力动态的监测。

2. 根据权利要求1所述的监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统,其特征在于多功能计算程序卡(84)中相应计算程序方程基于阶梯形固端悬臂梁模型建立,采用解析法求解。

监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统。

背景技术

[0002] 现有预应力加固工程技术得到迅速发展并应用于高速公路、城市大中跨径混凝土连续(刚构)箱梁桥结构体系中。它具有结构刚度大、行车平顺、伸缩缝少、养护费用低、适用于多种跨度等优点。为了减少和控制箱腹板主拉应力,防止腹板混凝土开裂,在箱梁腹板设置竖向预应力筋已经成为设计的重要内容之一。用精扎螺纹钢筋作为混凝土箱梁腹板竖向预应力筋,它具有连接不受焊接约束,锚固方便,施工简单,强度高,松弛性能佳等优点,至目前为止我国已建和在建的单跨跨径超过 100m 的预应力混凝土连续(刚构)箱梁桥梁中应用精扎螺纹钢筋竖向预应力体系已达数百座之多。它的不足之处是许多混凝土箱梁桥在施工和运营过程中腹板还是存在不同程度的开裂,尤其是大跨度预应力混凝土箱梁桥的腹板比较明显。为了解决这一难题,人们试图采用施加腹板竖向预应力以防止混凝土箱梁桥腹板的开裂,但效果不很理想。究其原因,造成竖向预应力筋张拉力失效的主要因素是第一次初张拉不到位引起的。由于竖向预应力筋短,张拉过程中延伸量相对纵向预应力筋要小得多,且数量众多(100 米跨,一般在 2000 根以上),在张拉后仅靠人工拧紧锚固螺母难以获得设计张拉力,如果拧紧锚固螺母的紧固力度不够,就会出现几乎失效现象,竖向预应力筋就成了摆设。即使通过计算能确定拧紧螺母的扭矩值,采用扭力扳手拧紧螺母,或采用二次张拉,但人为因素的影响依然很大。

[0003] 现有预应力加固工程技术应用于桁架桥、轨道梁等高频高强活载钢结构中的高强紧固螺栓与螺母结合的结构,其螺母在长期使用过程中容易松动;目前仅能通过室内试验确定扭矩系数以设定初始扭矩的办法保证初始预紧力,而对于使用过程中的预紧力无法确定,并且对刚刚施工完毕的螺栓也无法做出定量评定;承拉铸钢支座是连接 PC 轨道梁与墩台的重要结构部件,承拉铸钢支座的的上端是浇筑在 PC 轨道梁体内的,而下端是靠四根长 950 mm、直径为 36 mm 的锚固螺杆固定在墩台上,锚固螺杆的安装力矩为 800 Nm。由于承拉铸钢支座安装结构的特殊性,一旦支座被固定到墩台上之后,连接混凝土墩台和支座的锚固螺杆就固定在墩台内部的钢制锚箱中。所以,在日常轨道梁线路的运营安全维护过程中就很难掌握它们在墩台锚箱内安全使用的变化情况,这是很难掌握 PC 轨道梁结构系统是否处在安全使用范围内的主要原因之一。再者,一方面轻轨建设所使用的锚固螺杆在锻造和机加工及热处理过程中,在加工的各工艺流程中虽然采取了严格的质量检验措施,但锚固螺杆及其他受力构件中存在的微小加工缺陷仍给检验提出了更高的要求,一旦有微小加工缺陷的锚固螺杆及受力构件未曾检出,安全隐患就不能及时发现和排除。另外,自然条件也对金属结构件的耐久性使用产生相应的影响。因此,如何掌握锚固螺杆在锚箱内的疲劳、断裂、松动或腐蚀变化等情况是确保 PC 轨道梁结构系统安全的关键因素。正是由于锚固螺杆的工作环境处于混凝土和钢制锚箱的屏蔽下,一般的射线检测已不可能,且其受力情况复杂,监测的数量庞大,所以一般的无损监测方法难度大、效率低。依据以前掌握的资

料,锚固螺杆在锚箱内的“健康”状况是未知的,这就是严重的安全隐患。仍然使用传统 PC 轨道梁结构系统运营过程中的定期维护检修技术已满足不了其安全性要求。而目前的检测方法有通过安装传感器、贴应变片、钢杆钻孔声波测距等获得应变来换算预应力及油表控制法和惯用的拉拔试验等。

[0004] 前述传感器检测方法,所用传感器数量较多,对于较大工程则成本过高,仅适用于科研;前述贴应变片检测方法,操作麻烦,干扰施工且不方便,不能重复使用,仅适于小范围科研;前述钢杆钻孔声波测距检测方法,需要在钢杆钻孔,并测量初始长,要求端面平整,操作麻烦,准确性不高;还有油表控制法,对损失判断粗糙,其精度偏低且不能长期监测锚杆预应力的大小;惯用的拉拔试验仅能粗糙的估计锚杆承载力,不能起到动态监测的作用,且属于损坏性检测,适应面窄。另外,砼箱梁桥腹板竖向预应力筋张拉力的检测方法,是针对砼箱梁桥特点而采用波纹套管预埋成孔,应用范围窄,其计算模型是用能量法计算,它影响测试精度;其计算程序中仅有竖向预应力锚固系统的计算方程,不适合锚杆、锚索及螺栓等其它紧固构件的预紧力检测;该检测方法的测试装置庞杂,集成度不高,而且现场要配备较多的辅具才能工作。

发明内容

[0005] 针对上述情况,本发明的目的是提供一种监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统,该智能锚固系统结构简单,操作维护方便,它不仅能适应大面积检测要求,且检测成本低,测试精度高,系统适应面广,功能多,适应性强,使用安全可靠,便于普及推广。

[0006] 为解决上述任务,监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统,它包括于选定的加固对象内植入钢杆及托板和螺母,使钢杆预埋段与加固对象结合并经张拉成预应力钢杆,于预应力钢杆外端设置外露段,在外露段顶端处设一加速度传感器及击振器,加速度传感器与智能测力仪连接,该智能测力仪中内置信号采集器,信号分析装置,多功能计算程序卡,充电电池和控制主板,使用击振器,使预应力钢杆外露段产生微幅振动,操作控制主板的主界面,输入预应力钢杆外露段长 L_2 ,并运行信号采集器执行信号采集命令,信号采集器拾取预应力钢杆外露段的振动电信号,该振动电信号经信号分析装置转换成预应力钢杆外露段的固有频率谱且由控制主板的主界面显示,在控制主板的主界面中选中国有频率,并将选中的固有频率传输给多功能计算程序卡中相应计算程序,从而获取预应力钢杆传给托板的预紧力,实现对加固工程预紧力动态的监测。

[0007] 为了实现结构优化及精度提高,其进一步措施是。

[0008] 钢杆预埋段中的锚固段与加固对象结合的方式是钻孔灌浆锚固。

[0009] 钢杆预埋段中的锚固段与加固对象结合的方式是混凝土现浇锚固。

[0010] 预应力钢杆外露段长即螺母顶面至预应力钢杆顶端处的长 L_2 应大于预应力钢杆直径的 4 倍。

[0011] 预应力钢杆预埋段的材料是选用刚性材料制作。

[0012] 预应力钢杆预埋段的刚性材料为螺纹钢筋。

[0013] 预应力钢杆预埋段的材料是选用柔性材料制作。

[0014] 预应力钢杆预埋段的柔性材料为钢索。

[0015] 多功能计算程序卡内设有供智能测力仪调用的各种螺母与螺纹钢杆组合的计算程序。

[0016] 多功能计算程序卡中相应计算程序方程基于阶梯形固端悬臂梁模型建立,采用解析法求解。

[0017] 本发明采用监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统,它包括于选定的加固对象内植入钢杆及托板和螺母,使钢杆预埋段与加固对象结合并经张拉成预应力钢杆,于预应力钢杆外端设置外露段,在外露段顶端处设一加速度传感器及击振器,加速度传感器与智能测力仪连接,该智能测力仪中内置信号采集器,信号分析装置,多功能计算程序卡,充电电池和控制主板,使用击振器,使预应力钢杆外露段产生微幅振动,操作控制主板的主界面,输入预应力钢杆外露段长 L_2 ,并运行信号采集器执行信号采集命令,信号采集器拾取预应力钢杆外露段的振动电信号,该振动电信号经信号分析装置转换成预应力钢杆外露段的固有频率谱且由控制主板的主界面显示,在控制主板的主界面中选中国有频率,并将选中的固有频率传输给多功能计算程序卡中相应计算程序,从而获取预应力钢杆传给托板的预紧力,实现对加固工程预紧力动态的监测的技术解决方案,克服了现有检测方法使用成本高,操作维护不方便,测试精度低,测试装置庞杂、集成度低,应用范围窄,不能满足现场对预紧力施工质量进行大面积检测及因预应力损失过大或张拉不到位而导致锚杆失效等缺陷。

[0018] 本发明相比现有技术所产生的有益效果:

[0019] (I) 预应力螺纹钢钢筋锚杆张拉力检测仪将信号采集器、信号分析装置、多功能计算程序卡等必要部件集成为一个整体,它简化了设备,能适应大面积检测要求;

[0020] (II) 预应力钢杆外露段长大于预应力钢杆直径的 4 倍,能将剪切效应对计算方程精度的影响降低到 5% 以内;

[0021] (III) 钢杆内端与加固对象固联的方式是根据加固工程的不同特点,大大扩展了应用范围;

[0022] (IV) 选用刚性材料或柔性材料制作预应力钢杆的预埋段,使要求钢杆曲线布置或直线布置的加固工程都能得到有效监测;

[0023] (V) 多功能计算程序卡内存储了多种常用螺母与螺纹钢杆组合的计算程序,增加了使用功能,提高了适应性;

[0024] (VI) 计算程序中的方程基于阶梯形固端悬臂梁模型建立,消除了处于加固对象内的系统边界条件及几何参数对计算精度的影响,采用解析法解算模型,解算结果更精确;

[0025] (VII) 本监测系统是使用测试预紧力的方式监测加固工程动态的,它比使用测试位移的方式更准确,而且使加固工程动态监测不准确的难题得到有效解决;

[0026] (VIII) 它彻底地解决了预紧力损失过大、张拉不到位导致加固失效及预应力加固工程动态无法监测等难题,对防止预应力加固工程失效、提高加固工程的稳定性和可靠性具有重要的技术、经济效果,商业前景十分可观;

[0027] (IX) 结构简单,操作维护快捷、方便、安全,可重复安装,集成度高,便于携带,使用成本低,应用范围扩大,测试范围在 0 ~ 200 吨之间,便于普及推广。

[0028] 本发明适合需要大面积监测的预应力锚固系统加固工程,如不稳定岩土体边坡、深基坑、挡土墙、煤矿巷道、混凝土箱梁桥,高强螺栓联接钢结构等。

[0029] 下面结合附图和具体实施方式对本发明的测试系统和操作流程作进一步详细的说明。

附图说明

[0030] 图 1 为本发明监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统的主视图。

[0031] 图 2 为本发明监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统中预应力钢杆预紧力计算原理图。

[0032] 图 3 为本发明监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统中预应力钢杆内端预埋段采用柔性材料制作的结构图。

[0033] 图 4 为本发明监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统预应力钢杆张力与螺母长内的横截面抗弯刚度关系曲线图。

[0034] 图中：1、加固对象，2、锚固体，3、钢杆，3a、预应力钢杆，4、托板，5、螺母，6、外露段，7、击振器，8、智能测力仪，81、加速度传感器，82、信号采集器，83、信号分析装置，84、多功能计算程序卡，85、充电电池，86、控制主板，87、磁力吸座， L —螺母 5 底面至预应力钢杆 3a 外露段 6 顶端面的长， L_1 —螺母 5 长， L_2 —螺母 5 顶面至预应力钢杆 3a 外露段 6 顶端面的长， L_3 —螺母 5 底面至加速度传感器 81 内边缘的长。

具体实施方式

[0035] 结合附图，监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统，它包括于选定的加固对象 1 内根据监测要求在规定位置植入钢杆 3 及托板 4 和螺母 5，使钢杆 3 预埋段与加固对象 1 结合并经张拉成预应力钢杆 3a，钢杆 3 预埋段包括锚固段和自由段，钢杆 3 的锚固段与加固对象 1 结合的方式是钻孔灌浆锚固或混凝土现浇锚固；于预应力钢杆 3a 外端设置外露段 6，预应力钢杆 3a 外露段 6 长即螺母 5 顶面至预应力钢杆 3a 顶端面的长 L_2 ， L_2 应大于预应力钢杆 3a 直径的 4 倍；钢杆 3 预埋段是选用刚性材料中的螺纹钢筋制作或选用柔性材料中的钢索制作，当钢杆 3 预埋段选用柔性材料中的钢索制作时，须将钢索与选用螺纹钢筋等刚性材料制作的预应力钢杆 3a 外露段 6，采用焊接或者扣锁等方式连接固定成整体；在预应力钢杆 3a 外露段 6 顶端处设一加速度传感器 81 及击振器 7，加速度传感器 81 与智能测力仪 8 连接，该智能测力仪 8 中内置信号采集器 82，信号分析装置 83，多功能计算程序卡 84，充电电池 85 和控制主板 86，多功能计算程序卡 84 内设有供智能测力仪 8 调用的各种螺母 5 与钢杆 3 组合的计算程序。多功能计算程序卡 84 中相应计算程序方程基于阶梯形固端悬臂梁模型建立，采用解析法求解。使用击振器 7，使预应力钢杆 3a 外露段 6 产生微幅振动，操作控制主板 86 的主界面，输入预应力钢杆 3a 外露段 6 长 L_2 ， L_2 即螺母 5 顶面至预应力钢杆 3a 外露段 6 顶端面的长，并运行信号采集器 82 执行信号采集命令，信号采集器 82 拾取预应力钢杆 3a 外露段 6 的振动电信号，该振动电信号经信号分析装置 83 转换成预应力钢杆 3a 外露段 6 的固有频率谱且由控制主板 86 的主界面显示，在控制主板 86 的主界面中选中国有频率，并将选中的固有频率传输给多功能计算程序卡 84 中相应计算程序，从而获取预应力钢杆 3a 传给托板 4 的预紧力，实现对加固工程预紧力动态的监测。

[0036] 本发明的安装、检测原理。

[0037] 实施例 A。

[0038] ①施工人员按照预应力加固工程的设计图纸对锚固系统进行定位预埋,定出安装位置和倾角,当加固工程要求钢杆 3 曲线布置时,预应力钢杆 3a 外露段 6 是选用刚性材料中的螺纹钢筋制作;钢杆 3 预埋段是选用柔性材料中的钢索制作,钢索与预应力钢杆 3a 外露段 6 在钢杆 3 预埋段的自由段距托板 5 的 150mm 处通过焊接或者扣接等方式连接固定;施工工序为:加固对象 1 内钻孔或预留安装位置→安装钢杆 3→钢杆 3 底部锚固→钢索与预应力钢杆 3a 外露段 6 的焊接或扣接→张拉锁定→防腐保护;预应力钢杆 3a 外露段 6 按要求预留 4 倍钢杆 3 直径以上的预应力钢杆 3a 外露段 6 长 L_2 ,即螺母 5 底面至加速度传感器 81 内边缘的长。

[0039] ②监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统,它包括钢杆 3、托板 4 和螺母 5 与加固对象 1 共同的作用,在托板 4 和锚固体 2 之间的自由段受拉,使钢杆 3 成为预应力钢杆 3a;预应力钢杆 3a 外露段 6 的符号定义为: L -螺母 5 底面至预应力钢杆 3a 外露段 6 顶端面的长, L_1 -螺母 5 长, L_2 -螺母 5 顶面至预应力钢杆 3a 外露段 6 顶端面的长, L_3 -螺母 5 底面至加速度传感器 81 内边缘的长。

[0040] ③监测加固工程预紧力动态的预应力钢杆智能锚固系统,配套的智能测力仪 8 由外部联接的加速度传感器 81 及内置的信号采集器 82、信号分析装置 83、多功能计算程序卡 84、充电电池 85 和控制主板 86 组成,在预应力钢杆 3a 外露段 6 顶端处使用磁力吸座 87 将加速度传感器 81 吸附固定,并同时准备击振器 7,加速度传感器 81 与信号采集器 82 连接,信号采集器 82 采集加速度传感器 81 产生的电信号,信号分析装置 83 与信号采集器 82 相连用于分析电信号并获得频谱,多功能计算程序卡 84 中设有预应力钢杆 3a 预紧力与预应力钢杆 3a 外露段 6 的固有频率、物理几何要素有关的方程,这些方程因螺母 5 和钢杆 3 的不同而存在差别,方程种类多,测试人员可以根据加固工程中使用的螺母 5 和钢杆 3 的类别在多功能计算程序卡 84 设置的方程库中选取,控制主板 86 可以启动信号分析装置 83 和信号采集器 82 并调用多功能计算程序卡 84 中的有关方程,操作控制主板 86 的主界面输入预应力钢杆 3a 外露段 6 长 L_2 并运行信号采集器 82 执行信号采集命令,使用击振器 7 使预应力钢杆 3a 外露段 6 振动,信号采集器 82 拾取此预应力钢杆 3a 外露段 6 的振动电信号,该振动电信号经信号分析装置 83 转换成预应力钢杆 3a 外露段 6 的固有频率谱且由控制主板 86 的主界面显示,在控制主板 86 的主界面中选中国有频率,并将选中的固有频率传输给多功能计算程序卡 84,从而获取预应力钢杆 3a 传给托板 4 的预紧力。

[0041] 实施例 B。

[0042] ①经施工操作完成了由钢杆 3 转变为预应力钢杆 3a 的过程,按要求预应力钢杆 3a 外露段 6 的长 L 应大于预应力钢杆 3a 直径的 4 倍,即螺母 5 底面至预应力钢杆 3a 外露段 6 顶端面的长;预应力钢杆 3a 在竖向预应力锚杆挡土墙中普遍使用直径为 $\Phi 25$ 的精轧螺纹钢筋,配套螺母 5 高度 52mm,外形为六角形,对边距为 48mm,预应力钢杆 3a 外露段 6 长 L_2 等于 152mm,即螺母 5 底面至加速度传感器 81 内边缘的长 L_2 等于 152mm。

[0043] ②预应力钢杆 3a 外露段 6 的顶端处通过磁力吸座 87 固联安装加速度传感器 81,加速度传感器 81 的振动方向应垂直于预应力钢杆 3a 外露段 6 轴线,如附图 1 所示,加速度传感器 81 选购 LC0152 型产品,电荷灵敏度为 100mv/g,频率测量范围 0.7 至 10000Hz,谐振频率 30kHz、分辨率 0.0002g,重量 17g、安装螺纹为 M5,并有配套的磁力吸座 87,加速度传感器 81 和磁力吸座 87 的总重量为 32g,加速度传感器 81 直径为 16mm。

[0044] ③本实施例可确定螺母 5 长 L_1 为 52mm ;螺母 5 顶面至预应力钢杆 3a 外露段 6 顶端面的长 L_2 为 152mm ;螺母 5 底面至预应力钢杆 3a 外露段 6 顶端面的长 $L=L_1+L_2$ 为 204mm ;螺母 5 底面至加速度传感器 81 内边缘的长 $L_3=L_1+L_2$ - 传感器直径为 L_3 186mm ;螺母 5 长 L_1 和加速度传感器 81 直径在同一个加固工程中是固定值,对于不同的样本,只要测定螺母 5 顶面至预应力钢杆 3a 外露段 6 顶端面的长 L_2 则整个阶梯形固端悬臂梁模型的几何要素就得到确定,几何要素是求解方程的关键。

[0045] ④加速度传感器 81 通过屏蔽电缆与智能测力仪 8 中的信号采集器 82 相连。

[0046] ⑤数据采集器 82、信号分析装置 83、多功能计算程序卡 84 与控制主板 86 之间通过集成电路连接,点击智能测力仪 8 界面通过控制主板 86 运行信号采集器 82 和信号分析装置 83 及调用多功能计算程序卡 84。

[0047] ⑥连接加速度传感器 81 和数据采集器 82,操作智能测力仪 8 界面通过控制主板 86 运行信号采集器 82 开始信号采集,同时使用击振器 7,该击振器 7 应能使预应力钢杆 3a 外露段 6 产生振动,由人工采用脉冲方式轻微击振预应力钢杆 3a 外露段 6 的顶端处,击振的方向应垂直于预应力钢杆 3a 外露段 6 轴线,3 秒钟后操作智能测力仪 8 界面通过控制主板 86 使信号采集器 82 停止采集并运行信号分析装置 83,对智能测力仪 8 界面显示的固有频谱图进行分析,选取预应力钢杆 3a 外露段 6 的一阶振动频率。

[0048] ⑦调用多功能计算程序卡 84 中的方程式进行预应力钢杆 3a 预紧力计算。

[0049] 参见附图 2。

[0050] 1) 计算原理。

[0051] 视预应力钢杆 3a 外露段 6 即包括螺母 5 的整个钢杆 3 外端,即螺母 5 顶面至预应力钢杆 3a 外露段 6 顶端面的长 L_2 为一阶梯形固端悬臂梁模型,不同的预紧力作用下,外套螺母 5 部分的预应力钢杆 3a 与螺母 5 及螺母 5 与托板 4 之间的接触程度不同,可以推断,不同的预紧力,预应力钢杆 3a 外端外套螺母 5 的部分有不同的抗弯刚度,则悬臂梁相应有不同的固有振动频率,利用固有频率与刚度的关系,通过测试固有频率,识别刚度,从刚度的变化获得张力。使用精确解析法来构建刚度与频率的关系,较能量法更稳定准确。

[0052] 按三段均匀梁列无阻尼动力方程如下:

$$[0053] \quad m_1 \frac{\partial^2 y_1}{\partial t^2} + k_2 EI \frac{\partial^4 y_1}{\partial x^4} = 0 \quad x \in (0, L_1) \quad (1)$$

$$[0054] \quad m_2 \frac{\partial^2 y_2}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y_2}{\partial x^4} = 0 \quad x \in (L_1, L_3) \quad (2)$$

$$[0055] \quad \overline{M} \frac{\partial^2 y_3}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y_3}{\partial x^4} = 0 \quad x \in (L_3, L) \quad (3)$$

[0056] 代入 12 个边界条件,联立 12 个方程,得其矩阵表达式:

$$[0057] \quad [J] [C_1 C_2 C_3 C_4 D_1 D_2 D_3 D_4 B_1 B_2 B_3 B_4]^T = 0 \quad (4)$$

[0058] 利用摄动法令包含频率和刚度的系数矩阵行列式为零

$$[0059] \quad |J| = 0 \quad (5)$$

[0060] 式中: $C_1 \square C_4$ 、 $D_1 \square D_4$ 、 $B_1 \square B_4$ 为不全为零的方程系数, $[A]$ 为仅包括一阶振动圆

频率 ω 和刚度参数 k_2 两个未知数的矩阵, 其中 EI 为预应力钢杆 3a 按要求设置的外露段 6 的抗弯刚度, m_1 为预应力钢杆 3a 外端按要求设置的螺母 5 锚固区的单位长的质量, m_2 为预应力钢杆 3a 外端按要求设置的外露段 6 的单位长的质量, M 为考虑加速度传感器 81 和磁力吸座 87 的质量线度。

[0061] 将(5)式求得的 k 代入经试验标定的 $k-T$ 关系(下图)方程:

[0062]
$$T=14.665k^3-53.234k^2+68.191k-25.2 \quad (2)$$

[0063] k 为阶梯形固端悬臂梁模型螺母 5 长范围内横截面的抗弯刚度。

[0064] T 为预应力钢杆 3a 对托板 4 的预紧力。

[0065] 上述实施例中预应力钢杆 3a 外露段长 L_2 为 152mm, 所测出的一阶振动频率为 540.8Hz, 则张拉力为 32.5 吨。

[0066] 根据本发明基于视包括螺母 5 和预应力钢杆 3a 外露段 6 的整个外端为一阶梯形固端悬臂梁模型的计算原理, 上述实施例中钢杆 3 预埋段是选用刚性材料或柔性材料制作都不影响计算结果, 即只要外露段 6 为刚性材料中的螺纹钢筋制作, 则钢杆 3 预埋段采用螺纹钢筋或钢索制作, 都适应于本发明的计算原理。

[0067] 以上仅仅是本发明的较佳实施例, 根据本发明的上述构思, 本领域的熟练人员还可对此做出各种修改和变换, 然而, 基于相同原理的变换和修改均属于本发明的实质。

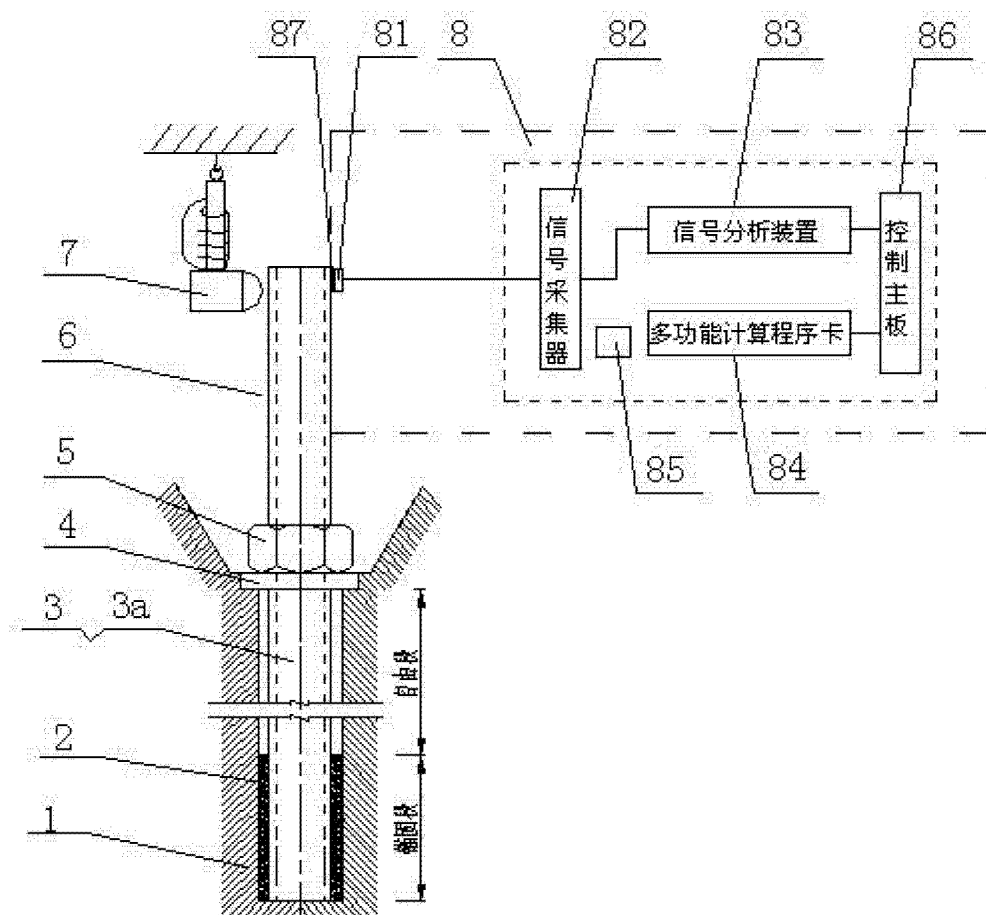


图 1

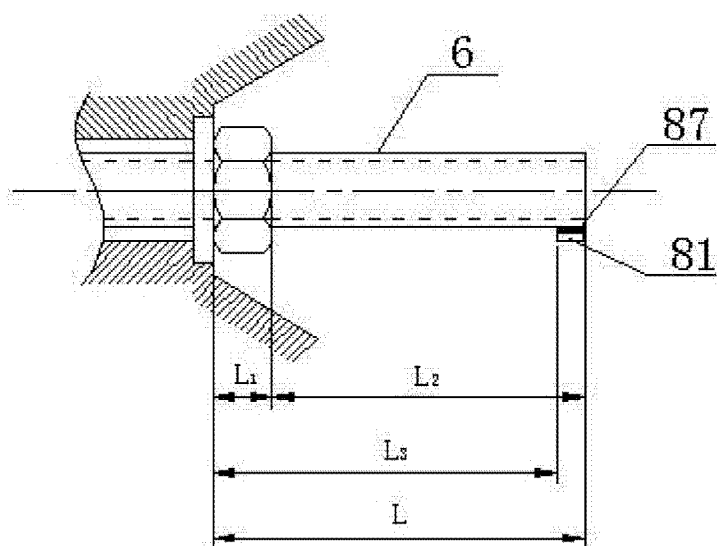


图 2

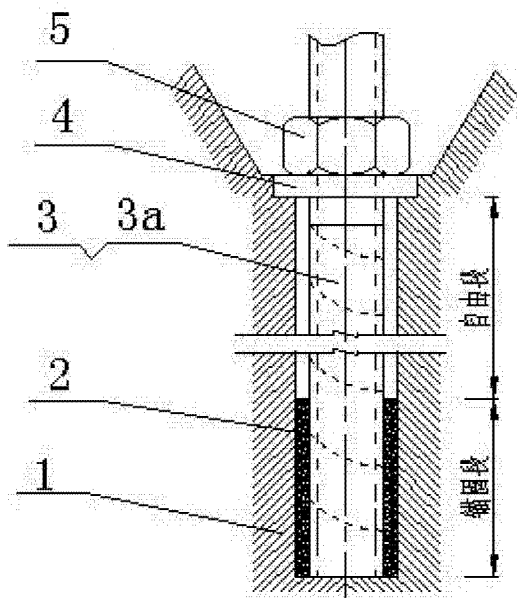


图 3

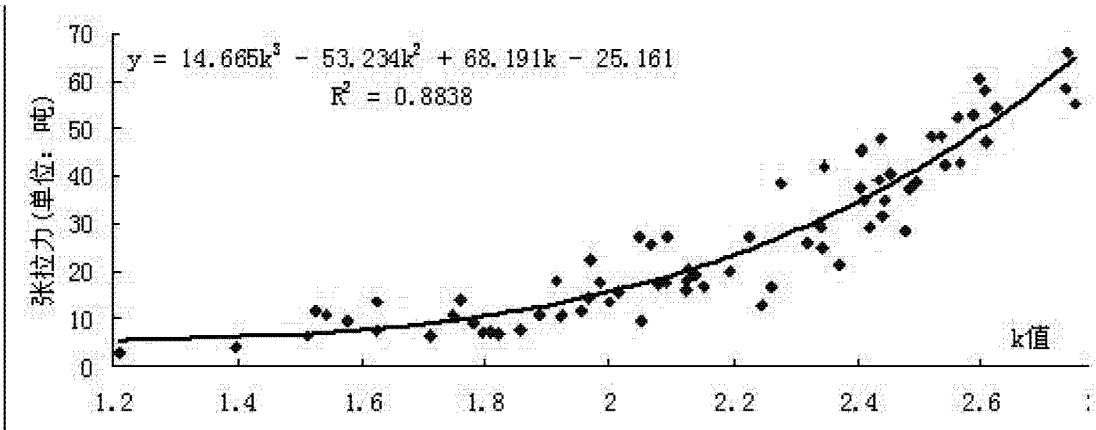


图 4