

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 7 月 2 日 (02.07.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/135484 A1

(51) 国际专利分类号:
G01N 9/36 (2006.01) *G01N 3/30* (2006.01)
G01N 33/38 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/128227

(22) 国际申请日: 2019 年 12 月 25 日 (25.12.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

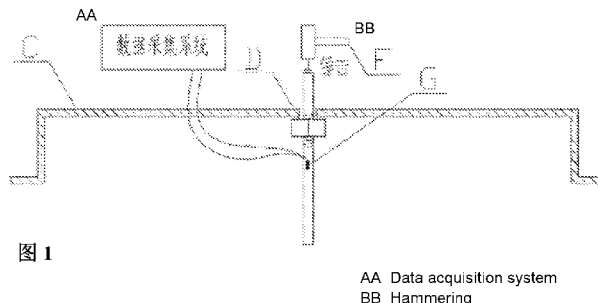
(30) 优先权:
201811592823.2 2018 年 12 月 25 日 (25.12.2018) CN

(71) 申请人: 浙江大学(ZHEJIANG UNIVERSITY) [CN/
CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路
866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(72) 发明人: 王奎华(WANG, Kuihua); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。郑茗旺(TEY, MingWang); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。杨雪枫(YANG, Xuefeng); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。冀俊超(JI, Junchao); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。项驰轩(XIANG, Chixuan); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。刘鑫(LIU, Xin); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。谭婕(TAN, Jie); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。涂园(TU, Yuan); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路 866 号, Zhejiang 310058 (CN)。

(54) **Title:** DEVICE AND METHOD FOR DETECTING DENSITY OF GROUTS IN CONNECTING STRUCTURE OF STEEL SLEEVE

(54) 发明名称: 一种钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置及方法



(57) **Abstract:** The present invention relates to a device and method for detecting the density of grouts in a connecting structure of a steel sleeve, the device comprising a preloading member, a force transmission rod, a telescopic adjustment member, a vibration sensor and a data acquisition system. The force transmission rod is a rigid rod body, which is installed on a rigid preloading member by means of the telescopic adjustment member; the rigid preloading member is used to fix the force transmission rod to the wall where the connecting structure of the steel sleeve is located, and the telescopic adjustment member is fixed to the rigid preloading member and used to control the force transmission rod to move along a vertical wall direction, so that the end of the force transmission rod tightly supports a steel surface in a steel sleeve to be detected; the vibration sensor is fixed to the force transmission rod, and the data acquisition system is used to acquire sensing signals of the vibration sensor. The density of grouts in the connecting structure of the steel sleeve is quantitatively analyzed, and a time-domain signal may be used to obtain a peak-to-width ratio or a frequency corresponding to the maximum amplitude of a frequency-domain signal to serve as a standard for the quantitative analysis.

(57) **摘要:** 本发明涉及一种钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置及方法, 其包括预压构件、传力棒、伸缩调节件、振动传感器和数据采集系统; 所述传力棒为一条刚性棒体, 其通过伸缩调节件安装在刚性预压构件上; 所述的刚性预压构件用于将传力棒固定于钢筋套筒连接结构所在的墙体上, 所述伸缩调节件固定于刚性预压构件上, 用于控制传力棒沿垂直墙体方向移动, 使传力棒端部紧密支顶于待检测的钢筋套筒内的钢筋表面上; 所述的振动传感器固定于传力棒上, 所述数据采集系统用于采集振动传感器的感应信号; 所述的对钢筋套筒连接的灌浆密实度进行定量的分析, 可以使用时域信号得到峰宽比, 或是频域信号的最大幅值对应的频率, 作为定量分析的标准。

310058 (CN)。瑞兹(RIZVI, Faheem); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。吴君涛(WU, Juntao); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。邱欣晨(QIU, Xinchen); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。于喆(YU, Zhe); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。杨学林(YANG, Xuelin); 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: 杭州求是专利事务所有限公司(HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.); 中国浙江省杭州市西湖区玉古路147号黄鸿年科技综合大楼215室/傅朝栋, Zhejiang 310013 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

一种钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置及方法

技术领域

本发明属于测量领域，具体涉及一种建筑工程中钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置及其方法。

背景技术

装配式建筑结构作为一种新兴的绿色环保节能型建筑方式，其优点众多，得到了国内外相关人员的广泛关注，代表了建筑业技术进步的方向。预制构件现场连接的质量控制对于保证装配式建筑能够安全正常使用至关重要，但目前工程中尚缺乏有效的检测手段，因此急需研究开发装配式结构现场连接质量的检测与评估方法来实现对其施工过程中和施工完成后的质量控制和质量检测。

预制构件的现场拼接常采钢筋套筒节点连接，而这些连接结构一旦出现问题，将发生较大的安全事故，后果不堪设想。对于钢筋套筒节点连接来讲，连接质量好坏取决于套筒内的注浆是否饱满和密实。因此需要一种合理可靠的钢筋套筒注浆密实度定量检测方法，对装配式建筑关键节点进行连接质量检测，从而避免发生安全事故。

目前来说，测试钢筋套筒连接的灌浆密实度，从现有的文献和专利来看，主要有电阻测试法、钢丝拉拔法、带阻尼的振动传感器法、冲击回波法、超声波法。

在引述的电阻测试法、钢丝拉拔法和带阻尼的振动传感器法中，都需要进行预埋，不能进行随机检测，况且这种预埋构件有可能在预埋后已经损坏，无法进行测试。其二，因为进行试验需要预埋，出于成本的要求，不可能进行大量的试验，所以可靠性有待考证。

在钢筋套筒连接的灌浆密实度的测试中，动态测试方式是最具有应用潜力的，而其中冲击回波法（Impact Echo-Test, IET）就占了大多数，其次是超声波法。对于 IET，预埋在结构构件里的套筒而言，冲击面和反射面的距离过短，导致入射和反射的 P 波会叠加，最后的结果就是无法直接辨认出来缺陷位置及程度，或

是直接把显示缺陷的时域波段都淹没掉了。

而对超声波法，也是需要在套筒外的墙面施加固定频率的持续振动，然后超声传感器接收，也是基于入射波以及反射波（或透射波）进行分析，由于套筒与钢筋之间空腔尺寸相对于超声波波长较小，也是会出现对缺陷无法分辨的问题。

所以，目前套筒灌浆体密实度的检测，还没有一个能在工程实践中行之有效的方案。本文正是基于这一背景，提出了一种新的方法，即通过专门装置上的传力棒，对钢筋施加一定的预压力，然后在传力棒上的端部，施加一个冲击力（可采用锤击方法）。由于传力棒施加了一定的预压力，所以在钢筋受冲击产生振动后，钢筋振动可传递到传力棒上，借助于传力棒上安装的应变片，可采集到来自钢筋水平振动的振动信息。对采集到的振动信号进行时域信号和频域信号的分析，可以分析得到钢筋套筒连接的灌浆密实程度。

发明内容

本发明的目的在于解决现有技术中存在的问题，并提供一种钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置及其方法。

本发明所采用的具体技术方案如下：

第一方面，本发明提供了一种钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，其包括刚性预压构件、传力棒、伸缩调节件、振动传感器和数据采集系统；

所述传力棒为一条刚性棒体，其通过伸缩调节件安装在刚性预压构件上；所述的刚性预压构件用于将传力棒固定于钢筋套筒连接结构所在的墙体上，所述伸缩调节件固定于刚性预压构件上，用于控制传力棒沿垂直墙体方向移动，使传力棒端部紧密支顶于待检测的钢筋套筒内的钢筋表面上；所述的振动传感器固定于传力棒上，所述数据采集系统用于采集振动传感器的感应信号。

第二方面，本发明提供了一种钢筋套筒连接结构注浆密实度的检测方法，该方法所采用的装置包括外部钢结构预压构件、螺母、传力棒、测力锤、振动传感器；所述的外部钢结构预压构件为一个盖状的中空钢构件，其底部四周固定于待检测的钢筋套筒连接结构所在的墙体上；外部钢结构预压构件的盖体上开设通孔，且通孔位置固定有一个螺母；所述的传力棒为一条刚性棒体，且棒体中部位置外攻螺纹，传力棒穿过所述盖体上的通孔后旋入螺母中，棒体上的螺纹与所述螺母构成驱动传力棒上下移动的螺纹配合；传力棒底部紧密支顶于待检测的钢筋套筒

连接结构的注浆实体上；所述的振动传感器贴合于传力棒上；测力锤用于敲击传力棒端部；

所述检测方法的步骤如下：

步骤 1、在进行钢筋套筒注浆密实度检测时，在套筒外壁上的溢浆孔和注浆孔位置将贴有振动传感器的传力棒伸入墙体内，使其与待检测的注浆实体接触，而后把预压构件底部固定到墙体表面；

步骤 2、通过装置内部固定的螺母，旋转并拧紧传力棒，使得传力棒底部紧密支顶于待检测的钢筋套筒连接结构的注浆实体上，确保测试过程中两者不会分离；

步骤 3、利用测力锤敲击传力棒端部，通过与振动传感器相连的数据采集系统采集动态信号随时间的变化曲线；

步骤 4、进行室内足尺模型试验，并设置若干组不同密实度梯度注浆，进行对比试验；在与步骤 3 相同的锤击力下，使用相同的动态测试装置测定不同注浆密实度的动态信号随时间的变化曲线，并与步骤 3 现场实测的动态信号随时间的变化曲线进行对比，从而确定实际的注浆密实度所在区间，完成对钢筋套筒注浆密实度的定量判断。

第三方面，本发明提供了一种钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其包括如下步骤：

S1：将刚性的传力棒支顶于待检测钢筋套筒连接结构内的钢筋表面，并保持两者之间始终具有预压力；所述传力棒上固定有与传力棒同步振动的振动传感器，所述振动传感器为应变片、位移传感器、加速度传感器和速度传感器中的一种或多种组合；

S2：对套筒结构内的钢筋施加沿传力棒轴向的冲击力，使钢筋和传力棒同步振动，通过所述振动传感器采集该冲击力下传力棒的振动感应信号；

S3：从所述振动感应信号中获取特征指标的参数值，特征指标为时域指标或频域指标中的一个或多个组合；

所述时域指标包括：从所述振动感应信号的时域信号中获取的波形曲线中第 N 个半波的幅值、任意高度处的峰宽和任意高度处的峰宽比，N=1 或 2；

所述频域指标包括：从所述振动感应信号的频域信号曲线中，获取的最大幅值所对应的响应频率；

S4: 根据 S3 中获取的所述参数值, 基于不同灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间, 确定待检测钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度。

第四方面, 本发明提供了一种利用如第一方面所述检测装置的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法, 其步骤如下:

S1: 将刚性预压构件固定于待检测的钢筋套筒连接结构所在的墙体上, 通过所述伸缩调节件将传力棒固定于墙体上, 且使传力棒端部紧密支顶于钢筋套筒内的钢筋表面, 两者之间始终具有预压力;

S2: 对传力棒施加沿传力棒轴向的冲击力, 使钢筋和传力棒同步振动, 并采集该冲击力下所述振动传感器感应到的原始电信号, 原始电信号通过经小信号/低噪声放大器放大和滤波器滤除噪声后, 通过模数转换器采样转化为数字信号并存储于数据采集系统中;

S3: 对数据采集系统中存储的放大后电信号进行维纳滤波以增强目标频率;

S4: 然后将维纳滤波后的电信号输入卡尔曼滤波器中, 按照S41~S46步骤进行平滑滤波, 其中:

S41: 针对放大后电信号中的第 i 个采样点 x_i , 以第 i 个采样点为中心设置大小为 N 的滤波窗口, 得到该滤波窗口中所有采样点构成的向量 $Data_i$; 设定初始电信号预测幅值 $\hat{Amp}^- = D\ddot{a}ta = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Data_i^j$, 其中, $D\ddot{a}ta$ 为当前滤波窗口中所有采样点的平均值, $Data_i^j$ 表示向量 $Data_i$ 中第 j 个采样点的信号值, $j \in [1, N]$;

S42: 观测噪声的协方差矩阵 $R = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N |Data_i^j - D\ddot{a}ta|^2$;

S43: 计算卡尔曼增益 $K = \frac{|\hat{Amp}^-| \cdot H^T}{H \cdot |\hat{Amp}^-| \cdot H^T + R}$, 其中, H 为观测矩阵, 上标 T 表示转置;

S44: 计算第 i 个采样点滤波后输出的电信号幅值:

$$\hat{Amp} = \begin{cases} -\{|\hat{Amp}^-| + K \cdot (|Data_{x_i}| - H \cdot |\hat{Amp}^-|)\}, & \hat{Amp}^- < 0 \text{ 且 } Data_{x_i} < 0 \\ |\hat{Amp}^-| + K \cdot (Data_{x_i} - H \cdot \hat{Amp}^-), & \text{其他} \end{cases}$$

式中: $Data_{x_i}$ 表示第 i 个采样点 x_i 的采样值;

S45: 在进行下一个采样点的滤波前, 更新电信号预测幅值 $\hat{Amp}^- = (1 - K \cdot H) \cdot D\ddot{a}ta + Q$, 其中 Q 为状态转移协方差矩阵; 同时使 $i=i+1$;

S46: 依次针对放大后电信号中的剩余采样点, 不断重复步骤 S42~步骤 S45, 完成卡尔曼滤波;

S5: 将卡尔曼滤波后的信号数据进行数字滤波, 其过程是将信号先输入带阻滤波器, 对工频干扰的频率进行抑制, 然后经过截止频率为3000Hz的低通滤波器滤除高频信号, 得出新的时域信号数据;

S6: 从所述新的时域信号数据中, 获取波形曲线上第N个半波的幅值、任意高度处的峰宽和任意高度处的峰宽比; 其中N=1或2;

S7: 对所述新的时域信号数据进行傅里叶变换(Fast Fourier Transform, FFT), 得到FFT功率谱, 然后在功率谱中截取出频率和幅值的频域图, 从频域图中得到最大响应频率, 所述最大响应频率为频域图中最大振动幅值所对应的频率;

S8: 以所述幅值、所述峰宽、所述峰宽比和所述最大响应频率中的任意一个或多个为特征指标, 根据S6或S7步骤中确定的特征指标的参数值, 基于不同灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间, 确定待检测钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度。

本发明相对于现有技术而言, 具有以下有益效果:

1. 本发明的钢筋套筒连接结构灌浆体密实度的检测装置及方法, 可用于对注浆完成后的钢筋套筒节点的灌浆体进行密实度进行定性及定量的判定, 且可以对不同的套筒连接钢筋质量进行抽样检查以及可重复性试验, 试验做完后都能进行回收, 对于建筑工程的现场连接节点质量检测具有重大的实用价值。

2. 本发明提供了一种新型的可分离式检测装置, 其将刚性预压构件与传力棒进行分离, 刚性预压构件单独进行定位安装, 而传力棒则通过预压力施加板可拆卸式装配于刚性预压构件上, 使用完毕直接拆卸。刚性预压构件可根据需要按照, 可以又多人进行分工, 使整个试验的效率提高。

3. 在新型的可分离式检测装置中, 由于使用预压力施加板和锁扣的结合对传力棒施加预压力, 相比于单纯调节传力棒, 更加容易控制预压力的大小值, 及由于没有扭动所造成的扭矩, 不容易使刚性预压构件脱落。

4. 本发明中针对套筒内灌浆体密实度的定量检测, 优化得到了多个从信号曲线上获取的特征指标, 进而简化了信号曲线的对比, 便于实现方法的自动化。

5. 本发明中可以采用多种振动传感器组合使用, 相比于只采用应变片一个单独的传感器, 本发明可以将不同传感器下得到的判定结果进行相互比较验证。

附图说明

图1为钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置结构示意图;

- 图 2 为钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置的安装状态示意图；
- 图 3 为两种振动信号曲线的示意图；
- 图 4 为改进的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置示意图；
- 图 5 为刚性预压构件的结构示意图；
- 图 6 为预压力施加板的结构示意图；
- 图 7 为应变片的结构示意图；
- 图 8 为传力棒的结构示意图；
- 图 9 为锁扣的结构示意图；
- 图 10 为传感器固定架的结构示意图；
- 图 11 为可抽离部分的组装示意图；
- 图 12 为可抽离部分装入刚性预压构件后的结构示意图；
- 图 13 为可抽离部分与刚性预压构件通过锁扣锁定后的结构示意图；
- 图 14 为改进的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置检测状态示意图；
- 图 15 为三种钢筋套筒连接结构形式；
- 图 16 为手动冲击锤的结构示意图；
- 图 17 为自动冲击锤的结构示意图；
- 图 18 为自动冲击锤的立体图；
- 图 19 为 4 组不同密实度梯度注浆下的钢筋套筒连接结构与检测装置检测状态示意图；
- 图 20 为灌浆后不同时间的试件抗压强度；其中，-----为拟合线，×为同条件养护下的试验结果，◇为蒸汽养护下的试验结果；
- 图 21 为无注浆的套筒模型在各密实度梯度下的信号结果；其中，图 21(a)、图 21(b)、图 21(c) 分别为时域图、FFT 功率谱、频域图；
- 图 22 为 1/3 饱和注浆的套筒模型在各密实度梯度下的信号结果；其中，图 22(a)、图 22(b)、图 22(c) 分别为时域图、FFT 功率谱、频域图；
- 图 23 为 2/3 饱和注浆的套筒模型在各密实度梯度下的信号结果；其中，图 23(a)、图 23(b)、图 23(c) 分别为时域图、FFT 功率谱、频域图；
- 图 24 为完全饱和注浆的套筒模型在各密实度梯度下的信号结果；其中，图

24 (a)、图 24 (b)、图 24 (c) 分别为时域图、FFT 功率谱、频域图；

图 25 为灌浆体固化 24 小时后不同注浆密实度对应的最大响应频率参数值正态分布图；N 代表为样本采集数，下同；

图 26 为灌浆体固化 24 小时后不同注浆密实度对应的幅值参数值正态分布图；

图 27 为灌浆体固化 24 小时后不同注浆密实度对应的半高峰宽参数值正态分布图；

图 28 为灌浆体固化 24 小时后不同注浆密实度对应的半高峰宽比参数值正态分布图；

图 29 为灌浆体固化 48 小时后不同注浆密实度对应的最大响应频率参数值正态分布图；

图 30 为灌浆体固化 48 小时后不同注浆密实度对应的幅值参数值正态分布图；

图 31 为灌浆体固化 48 小时后不同注浆密实度对应的半高峰宽参数值正态分布图；

图 32 为灌浆体固化 48 小时后不同注浆密实度对应的半高峰宽比参数值正态分布图。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施方式对本发明做进一步阐述和说明。本发明中各个实施方式的技术特征在没有相互冲突的前提下，均可进行相应组合。

本发明提出的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，所针对的对象是钢筋套筒连接结构。常见的钢筋套筒连接结构中，一般是在两条钢筋之间通过连接套筒进行连接，而套筒内部进行混凝土灌浆加固。由于套筒连接结构注浆之后，套筒内有可能存在注浆密实度不足的问题，从而使抗拉承载力比设计值偏低，影响套筒连接结构的安全正常使用，因此需要提供一种检测装置对钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度进行定量检测，消除工程施工隐患。灌浆体密实度不足的表现形式为：灌浆量不足或者漏浆导致部分钢筋裸露，或者灌浆过程中出现空腔造成钢筋外的灌浆体固化后出现空洞。

本发明中，提出了一种钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置实现形式，该装置的基本部件包括刚性预压构件、传力棒、伸缩调节件、振动传感器和数据采集系统。

其中，传力棒为一条刚性棒体，传力棒通过伸缩调节件安装在刚性预压构件上。此处的刚性预压构件是一个用于对传力棒施加预压力的刚性构件，传力棒通过刚性预压构件固定于钢筋套筒连接结构所在的墙体上，使传力棒能够插入套筒的内腔并支顶在钢筋表面。本实施例中，为了保证振动传导的准确性，其刚性材料的部件均可以采用钢材材料制成，当然必要时也可以采用其他的刚性材料。

由于在不同的建筑中，套筒埋于墙体深度不同，因此造成传力棒需要具备一定的伸缩调节能力，以便于适应不同的检测场景。本发明中，是通过设置伸缩调节件来实现的。伸缩调节件固定于刚性预压构件上，用于控制传力棒沿垂直墙体方向移动，通过调节使传力棒端部能够紧密支顶于待检测的钢筋套筒内的钢筋表面上，在整个检测过程中两者之间始终保持预压力。伸缩调节件的结构可以采用多种形式，只要能够调节传力棒轴向伸缩即可，后面将给出部分具体实现形式。另外，为了满足检测的需要，还需要在传力棒上固定振动传感器，由于传力棒与套筒内的钢筋是以预压力形式紧密连接的，因此两者能够实现同步振动。传力棒上的振动传感器所感应到的数据，也代表了套筒内的钢筋的振动情况。另外，为了获取振动传感器的数据，需要设置一个数据采集系统来采集振动传感器的感应信号。数据采集系统的具体形式需要根据振动传感器的形式来调整。

本发明中，振动传感器为应变片、位移传感器、加速度传感器和速度传感器中的一种或多种组合。其中，最优的为应变片，应变片可以直接贴合固定于传力棒上。应变片具有感应灵敏、固定方式简单的优点，能够较好地适用于本发明的检测目的。

下面给出本发明的灌浆体密实度检测装置的一个较佳实施例，以便于本领域技术人员更好地理解本发明。

实施例 1

如图 1 和 2 所示，为本发明的一个较佳实施例中提供的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置结构示意图。该钢筋套筒连接结构中，第一钢筋 J 及第二钢筋 M 之间通过连接套筒进行连接，而套筒外壁 K 内部注有注浆混凝土 L。混凝土浆液通过套筒外壁 K 上的注浆孔 H 注入，从溢浆孔 B 溢出。

该灌浆体密实度检测装置包括钢材材料制成的刚性预压构件 C、螺母 D、传力棒 E、测力锤 F、振动传感器 G。其中，外部钢结构预压构件 C 为一个盖状的中

空钢构件，可由钢板压制形成无底的圆筒状或方筒状，且该筒体的底部通过弯折形成一个环形的平面，使其能够贴合墙体 A 表面，通过粘结剂或者其他的固定件与墙体连接固定。外部刚性预压构件 C 的盖体上开设通孔，且通孔位置的盖体内表面固定有一个螺母 D。传力棒 E 为一条刚性棒体，可采用钢材质，且棒体中部位置外攻螺纹。传力棒 E 穿过盖体上的通孔后旋入螺母 D 中，棒体上的螺纹与螺母 D 构成驱动传力棒 E 上下移动的螺纹配合。在实际使用时，可通过旋转传力棒 E 实现其底部位置的上下调整，适应于不同的墙体表面高度，使得传力棒 E 底部紧密支顶于待检测的钢筋套筒连接结构内的第一钢筋 J 上。在不同的注浆密实度下，锤击传力棒 E 所能够检测到的振动信号也会不同，且与注浆密实度具有明显的相关关系，因此可通过振动传感器 G 检测该动态信号，进而用于定量估算钢筋套筒连接结构的注浆密实度。由于传力棒在锤击时会收到内部钢筋的振动反馈，因此其上的振动传感器 G 检测到的动态信号实际上就是套筒内部钢筋的振动信号。在本发明中，振动传感器 G 贴合于传力棒 E 上，通过测力锤 F 敲击传力棒 E 端部。为了保证准确性，传力棒 E 一般与套筒内部的钢筋垂直设置，因此钢筋的径向振动会沿传力棒 E 的轴向传导，进而被振动传感器 G 检测到。

振动传感器 G 可以根据需要进行选择，以该信号能够反映钢筋套筒连接结构的注浆密实度为准，可选的是应变片、位移传感器、加速度传感器和速度传感器中的一种或多种组合。振动传感器 G 同时还需要与数据采集系统进行配套。在本实施例中，振动传感器 G 采用应变片，而应变片需要连接 KD5018 积分电荷放大器和 KD-LP16D 数据采集器，采集能够反映注浆密实度的动态信号随时间的变化曲线。

如图 2 所示，为动态测试装置在一种套筒连接结构上的安装示意图。在该待检测的钢筋套筒连接结构中，套筒外壁 K 上的溢浆孔 B 和注浆孔 H 均外露于墙体 A 表面。因此传力棒 E 底部可以直接穿过溢浆孔 B 或注浆孔 H 后进入套筒内部，刚性预压构件 C 通过螺栓连接或粘贴的方式固定在墙体 A 表面，并使得传力棒 E 紧密接触第一钢筋 J 表面，而后通过固定螺母 D 对置传力棒 E 施加预压力，使传力棒 E 与注浆混凝土 L 表面在测试过程中不会分离。本实施例中，为了保证检测准确性，传力棒 E 通过溢浆孔 B 插入套筒内部。

需要注意的是，上述实施例中，螺母 D 可以直接焊接在刚性预压构件 C 的通孔位置，但也可以以间接方式固定在刚性预压构件 C 上。另外，测力锤 F 可以是成套配置的，也可以由用户自行准备，只要具有刚性即可。

基于上述动态测试装置，还可以提供一种锤击预压式测试套筒连接结构注浆密实度的方法，步骤如下：

步骤 1、在进行钢筋套筒注浆密实度检测时，在套筒外壁 K 上的溢浆孔 B 和注浆孔 H 位置将贴有振动传感器 G 的传力棒 E 伸入墙体 A 内，使其与待检测的注浆实体接触。本实施例中，当溢浆孔 B 和注浆孔 H 外露时，注浆实体选择套筒内的钢筋。而后通过粘结剂把刚性预压构件 C 底部粘结固定到墙体 A 表面。粘结剂可以采用 AB 胶。当然，通过刚性预压构件 C 也可以通过膨胀螺丝固定在墙体 A 上。

步骤 2、通过装置内部固定的螺母 D，旋转并拧紧传力棒 E，使得传力棒 E 底部紧密支顶于待检测的钢筋套筒连接结构的钢筋上，确保测试过程中两者不会分离。

步骤 3、利用测力锤 F 敲击传力棒 E 端部，通过与振动传感器 G 相连的数据采集系统采集振动的动态信号随时间的变化曲线；

步骤 4、进行室内足尺模型试验，足尺模型与待检测的钢筋套筒连接结构完全一致。针对足尺模型设置若干组不同密实度梯度注浆进行对比试验，可以分无注浆、1/3 饱和注浆、2/3 饱和注浆、完全饱和注浆等多个梯度。在与步骤 3 相同的锤击力下，使用相同的动态测试装置测定不同注浆密实度的动态信号随时间的变化曲线，并与步骤 3 现场实测的动态信号随时间的变化曲线进行对比，从而确定实际的注浆密实度所在区间，完成对钢筋套筒注浆密实度的定量判断。一般而言，应变片反应的信号与注浆密实度存在正相关关系，因此可以通过实测的动态信号与不同注浆密度的试验数据进行比对，选择实测数据所在区间，进而确定实际的注浆密实度所在区间。

步骤 5、测试完成后，将装置设备拆卸，并进行整理清洁，以便用于下次使用。

实施例 2

由上述实施例可以看出，该灌浆体密实度检测装置和方法，能够基于锤击振动下信号随时间的变化曲线确定实际的灌浆体密实度所在区间。但在实际的检测

过程中，肉眼对比两条变化曲线的难度是很大的，因此需要进一步对上述检测方法进行完善，使得定量化确定灌浆体密实度更加简单、可行。

因此，本发明在前述的灌浆体密实度检测方法基础上，提供了一种进一步改进的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其主要改进了振动感应信号曲线的特征提取方式，使得能够从曲线中提取处代表套筒内灌浆体密实度的特征指标，以特征指标的检测值来判断灌浆体密实度。需要注意的是，该方法并不需要基于前述实施例所述的检测装置进行，而是可以采用任意满足方法步骤说明的装置。

下面详细说明该改进的检测方法的具体实现。在本发明中，改进的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其步骤如 S1~S4 所示：

S1：将刚性的传力棒支顶于待检测钢筋套筒连接结构内的钢筋表面，并保持两者之间始终具有预压力，检测过程中不会出现脱离。两者之间保持预压力的方式可以是多样的，不做限定。同样的，传力棒上固定有与传力棒同步振动的振动传感器，振动传感器为应变片、位移传感器、加速度传感器和速度传感器中的一种或多种组合。为了保证检测信号的准确性，传力棒最好垂直支顶于套筒结构内的钢筋表面，使钢筋的径向振动会沿传力棒的轴向传导，进而被振动传感器检测到。

S2：对套筒结构内的钢筋施加沿传力棒轴向的冲击力，使钢筋和传力棒同步振动，通过传力棒上固定的振动传感器采集该冲击力下传力棒的振动感应信号。由于套筒结构内的钢筋外围包裹有混凝土灌浆体，因此待灌浆体固化时钢筋与灌浆体是一体的，钢筋会与灌浆体同步振动。灌浆体的密实度会直接影响钢筋的振动特性，因此振动传感器检测到的振动感应信号中实际上会带有灌浆体的密实度信息，从其振动感应信号中可以根据后续方法进一步提取与灌浆体密实度相关的特征指标值。需要注意的是，该冲击力下传力棒的振动感应信号是指以该冲击力对钢筋造成的振动传递到振动传感器为起始点，由振动传感器检测到的时域信号。

在本步骤中，具体的振动感应信号是随着所采用的振动传感器变化而变化的。假如，振动传感器采用应变片，那么振动感应信号为应变片采集的电信号经过放大、滤波去噪后得到的时域信号。另外，假如振动传感器为加速度传感器，那么振动感应信号为将加速度传感器采集到的加速度进行积分后获得的速度信号。假如振动传感器为速度传感器，那么振动感应信号直接采用其感应到的速度信号。

再者，振动传感器也可以是位移传感器，振动感应信号直接采用其感应到的位移信号。

S3：由于钢筋的振动是连续的，因此振动传感器检测到的振动感应信号实际上也是一系列离散点组成的波形曲线，该信号是一种时域信号，振动幅值随时间的变化而变化。从振动感应信号的波形曲线中，可以提取特征指标的参数值。在本发明中，经过研究发现，能够反映灌浆体密实度的特征指标分为时域指标和频域指标两类，下面分别详细叙述。

本发明所说的时域指标包括 3 种，即从振动感应信号的时域信号中获取的波形曲线中第 N 个半波的幅值、任意高度处的峰宽和任意高度处的峰宽比，N=1 或 2。此处，半波是指位于横坐标轴一侧且跨度为半个周期的波。N=1 或 2，表明可以是时域信号中的首个半波或者第二个半波。需要注意的是，由于振动传感器的接线方式不同，其检测到的第 N 个半波可能表现为位于横坐标轴上方的峰波，也可能表现为位于横坐标轴下方的谷波，两者均可视为半波。如图 3a) 所示，展示了波形曲线中首个半波为峰波的情况，此时第二个半波为谷波，这两个半波都可以用于提取特征指标。如图 3b) 所示，展示了波形曲线中首个半波为谷波的情况，此时第二个半波为峰波，这两个半波也都可以用于提取特征指标。本发明中，为了便于描述，谷波的波宽度也称为峰宽，幅值与峰宽的比值也称为峰宽比。本发明中，第 N 个半波的峰宽比(Peak Width Ratio)计算公式如下：

$$\text{第 N 个半波的峰宽比} = \frac{\text{第 N 个半波的幅值}}{\text{第 N 个半波的峰宽}}$$

对于一个半波而言，其幅值也就是最大振幅是固定的，但其峰宽在不同的高度处是不同的。上述所说的任意高度处的峰宽是指半波的任意高度处的半波峰宽。而任意高度处的峰宽比则是指半波的幅值与任意高度处的半波宽度之比，也就是将上述计算公式中的分母改为相应高度处的半波的峰宽。例如，半波峰宽=幅值/半高峰宽。

本发明所说的频域指标指最大响应频率，即从振动感应信号的频域信号曲线中，获取的最大幅值所对应的响应频率。

上述时域指标的获取方法为：

对振动传感器采集到的电信号进行放大后，再通过滤波器去除扰动杂波和噪

音，得到时域信号；从时域信号的波形曲线中，即可获取 3 种时域指标。

上述频域指标的获取方法为：

对振动感应信号的时域信号进行傅里叶变换（Fast Fourier Transform, FFT），得出 FFT 功率谱，然后在功率谱中截取出频率和幅值的频域图，从频域图中得到最大振动幅值所对应的频率，记为最大响应频率，将其作为频域指标。

本发明中，3 种时域指标和 1 种频域指标均可以作为特征指标，用于反应灌浆体密实度。在实际检测过程中，可以选择其中一种或多种组合。

S4：由于上述特征指标的参数值实际上带有套筒结构内灌浆体密实度的信息，因此就可以根据 S3 中从振动感应信号获取的特征指标的参数值，来确定待检测钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度。具体确定时，需要调用预先足尺试验所获得的不同灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间。

由于不同的型号参数的钢筋、套筒、注浆混凝土均会影响特征指标反映出的参数值，因此调用的特征指标参数值阈值区间也是需要基于与待检测的钢筋套筒连接结构相同的钢筋套筒连接结构，通过足尺试验获取的。下面提供一种，不同灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间确定方法，具体如下：

利用型号参数相同的若干待检测的钢筋套筒连接结构，分别注入不同密实度的灌浆体，按照 S1~S3 中所说的方法针对每一种灌浆体密实度获取特征指标的多组参数值。每一种灌浆体密实度中，每个特征指标的参数值所需的样本量应当满足统计学的要求，使其能够准确反映这种灌浆体密实度下特征指标参数值的分布区间。当获取到这些参数值后，即可对特征指标的参数值阈值分布进行统计学分析，得到每种灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间。基于这些阈值区间，即可根据 S3 中从振动感应信号获取的特征指标的参数值，判断该参数值落在哪个阈值区间，进而将该阈值区间对应的灌浆体密实度作为待检测的钢筋套筒连接结构内灌浆体密实度的判断结果，由此实现了灌浆体密实度的定量检测。

在预先足尺试验过程中，具体设置的灌浆体密实度梯度组数可以调整，例如可以设置 4 组不同密实度梯度注浆，分别为无注浆、1/3 饱和注浆、2/3 饱和注浆、完全饱和注浆。当然若对定量检测的精度要求较高，则可以设置更多的梯度。

另外，足尺试验时，在不同灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间确定过程中，每次检测施加于传力棒上的预压力应当尽量保持一致。同时，实际检

测时，其预压力也与前期的足尺试验中所用的预压力一致。

本发明中，特征指标一共具有 4 种，包括 3 种时域指标和 1 种频域指标，其都可以在一定程度上反应钢筋外包裹的灌浆体密实度。假如特征指标同时采用多个，那么需要根据每个特征指标确定待检测钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度判断结果，然后综合所有特征指标的灌浆体密实度判断结果得出最终的灌浆体密实度判断结果。一般来说，可以选择所有特征指标的判断结果中出现次数最多的那个灌浆体密实度作为最终的结果，当然也可以设置各特征指标的权重系数综合确定。

从实际测试结果来看，在本发明中，振动传感器优选采用应变片，而特征指标则优选采用从振动感应信号的时域信号中获取的波形曲线中第 1 个半波的半高峰宽比。此处半高峰宽比是指该半波的一半峰值高度处的半波宽度，即通过峰高的中点作平行于峰底的直线，此直线与半波两侧相交交点之间的距离。由于信号曲线实际上为离散点组成的，因此实际操作时也可以采用最接近两个交点的两个离散采样点的横坐标之差。

本发明中，振动传感器采集到的原始电信号较为微弱，因此一般需要经过放大处理，一般可以采用小信号/低噪声放大器（小信号放大器或低噪声放大器，具体根据需要进行选择）进行放大。采集的原始信号为模拟信号，经小信号/低噪声放大器放大后，需要通过模数转换器采样转化为数字信号存储于数据采集装置中。数据采集装置一般采用与传感器配套的信号检测仪器。另外，可能存在较多的扰动以及噪音，因此需要通过滤波器去除扰动杂波和噪音。滤波去噪包括维纳滤波、卡尔曼滤波、带阻滤波器、低通滤波器中的一种或多种。在本发明的一种较佳滤波方式中，滤波器由维纳滤波、卡尔曼滤波器、带阻滤波器和低通滤波器组成，放大后的电信号先经过维纳滤波，再经过卡尔曼滤波器进行平滑，然后进行数字滤波，其过程是将信号先输入带阻滤波器对工频干扰的频率（本实施例中设为 40Hz~60Hz）进行抑制，然后经过截止频率为 3000Hz 的低通滤波器滤除高频信号。经过该组合滤波器的滤波处理后，应变片采集的电信号中有效信息能够得到最大程度的体现，便于特征指标的提取。当然假如应变片采集的电信号本身基本没有噪声或者扰动，那么滤波过程可以去除，若原始信号值足够大，放大过程也可以省略。或者假如数据采集装置或者应变片配套的下位机中本身带有放大或滤

波，也可以直接采用其输出的电信号作为振动感应信号，无需进行额外的放大或滤波处理。

另外，不同灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间也可以事先通过大量试验，直接形成不同结构参数的阈值查找表。通过查表法，在知道套筒型号、使用的灌浆体强度、钢筋直径及钢筋长度等参数下，查找得到适用的阈值区间。

另外，还可以通过对比试验，在现场模拟出已知灌浆体密实度梯度的对比试验。完成对比试验以后，通过有限元方法（Finite Element Method, FEM）进行计算，把对比试验和 FEM 方法进行拟合，然后改变不同条件的套筒型号、使用的灌浆体强度、钢筋直径及钢筋长度下，通过试验得出新的一组使用 FEM 形成的对比试验的数据，就可以通过现场检测的结果，定性及定量的判定套筒连接钢筋的密实度。

实施例 3

上述实施例 2 中展示了本发明中改进的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法的构思，其所依赖的检测装置形式可以多样。虽然其也可以通过实施例 1 中的检测装置来实现，但是在实际工程中，通常需要批量检测许多钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度，而实施例 1 中检测装置的刚性预压构件是直接固定在墙壁上的，这会导致带有应变片的传力棒在检测完毕后无法快速拆卸。因此，本发明中，设计了一种更适用于工程上批量检测的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，下面详细描述其结构。

如图 4 所示，该灌浆体密实度检测装置包括预压力施加板 4、传感器固定架 10、刚性预压构件 6、应变片 11（Strain Gauge）、锁扣 17、传力棒 16。

如图 5 所示，刚性预压构件 6 为一个盖状的中空钢构件，可由钢板压制成型，底部通过直角向外翻折形成一个固定平面，使其能够贴合待安装的墙体表面。刚性预压构件 6 上开有槽孔 1、小孔 2、中心孔 5 和翼脚 18，槽孔 1 在两端各开设一个；小孔 2 在两端各开设两个；传力棒通孔 3 用于供传力棒 16 穿过。刚性预压构件 6 通过粘结剂或者膨胀螺栓等固定件与墙体连接固定。顶盖上的中心孔 5 是为了让固定在传力棒 16 上的传感器固定架 10 通过。顶盖上的槽孔 1 是为了能使锁扣 17 通过预压力施加板 4 上的槽孔 1，达到对传力棒 16 施加预压力的作用。顶盖上的小孔 2 用于定位或者穿过传感器数据线。刚性预压构件 6 可通过翼

脚 18 上的小孔 2，使用钉子或是螺丝在待测墙面上进行固定，或是使用胶在待测面上进行固定，或是两者兼施。

如图 8 所示，传力棒 16 呈多段式结构，依次划分为外攻螺纹段 12、六角柄 13、变截面过渡段 14、细杆段 15，整条传力棒 16 由钢材料一体成型。其中细杆段 15 的外径应当小于套筒的溢浆孔，以便于插入套筒中。变截面过渡段 14 上有一块平坦的表面，上面贴有应变片 11。其外攻螺纹段 12 用于与刚性预压构件 6 安装配合，同时也用于装配传感器固定架 10，而六角柄 13 用于施拧传力棒 16。

如图 6 所示，预压力施加板 4 为一块刚性板，采用钢材制成。预压力施加板 4 上面开设与刚性预压构件 6 对应的槽孔 1、小孔 2 及传力棒通孔 3。传力棒通孔 3 是为了能通传力棒 16，本发明中，在传力棒通孔 3 上同轴焊接一个限位螺母，传力棒 16 的外攻螺纹段 12 与限位螺母构成螺纹配合，通过旋转六角柄 13，可以调节传力棒 16 沿自身轴向前后伸缩。预压力施加板 4 上的槽孔 1 与刚性预压构件 6 上的槽孔 1 一一对应，用于安装锁扣 17。预压力施加板 4 上的小孔 2 与刚性预压构件 6 上的小孔 2 一一对应，部分用于穿过传感器数据线，部分用于定位。

如图 7 所示，应变片 11 呈平面状，可以直接贴在变截面过渡段 14 的平坦表面。

如图 9 所示，锁扣 17 由一对螺栓和螺母组成，螺栓能够旋入预压力施加板 4 上和刚性预压构件 6 的对应槽孔 1 中，且分别与两个槽孔 1 构成螺纹配合，螺母拧于螺栓的端部。由此，通过螺栓即可在实现预压力施加板 4 上和刚性预压构件 6 锁定的同时，保证其相对间距可调节，且间距调节方向与传力棒轴向一致。

如图 10 所示，传感器固定架 10 是由包括传感器托盘 7、螺母 8 和小孔 2 在内所组成的刚性物体。传感器固定架 10 通过螺母 8 套在传力棒 16 的外攻螺纹段 12 上。通过传感器托盘 7 上左右各有小孔 2，可以安装除加速度传感器 9 (Accelerometer)、速度传感器，或是位移传感器，传感器固定架 10 可以安装或是拆卸附在上面的传感器，可安装单个，或是两个或以上的传感器。应变片 11、加速度传感器 9、速度传感器或位移传感器，输出的是电信号，使用前需要对传感器进行标定，得出需要的物理量。

把预压力施加板 4、传感器固定架 10、应变片 11、传力棒 16 结合在一起，

就形成了如图 11 所示的可抽离部分，此时尚未安装刚性预压构件 6 和锁扣 17。后续可以将该可抽离部分装入刚性预压构件 6 中，如图 12 所示，两端的槽孔 1 利用锁扣 17 进行固定，如图 13 所示。如图 14 所示，以传感器固定架 10 上安装加速度传感器 9 为例，使用相应的配套数据线 32，对传力棒 16 上的应变片 11 及加速度传感器 9 对应的接上小信号/低噪声放大器 28，然后再将其接到信号采集仪 30 上，最后在把上位机 31 也接上，构成信号检测通路。振动传感器的信号采集仪 30 与上位机之间通过有线或者无线方式通信连接，振动感应数据存储在上位机 31 中。上位机 31 一般采用电脑。在待检测的钢筋套筒连接结构所在的墙面上，通过 AB 胶或者膨胀螺栓将刚性预压构件 6 上的翼脚 18 牢固的固定在墙面上。再把图 11 所示的可抽离部分穿过刚性预压构件 6 的中心孔 5 中，然后利用锁扣 17 进行锁定，形成完整的检测装置 27。在实际使用时，可通过旋转传力棒 16 实现其端部位置相对于墙面的进出深度调整，适应于不同的墙体表面高度，同时也配合锁扣 17 的间距调整，使得传力棒 E 底部紧密支顶于待检测的钢筋套筒连接结构内的钢筋表面。

需要注意的是，本实施例中可以适用于该检测装置的钢筋套筒连接结构形式多样。如图 15 所示，其形式一是半灌浆连接钢筋套筒 (a)，包括螺纹钻孔 19、钢筋 20、排浆接头 21、灌浆接头 22；形式二是灌浆结构装置的预留孔浆锚搭接结构 (b)，包括钢筋 20、排浆接头 21、灌浆接头 22、混凝土 23；形式三是全灌浆连接钢筋套筒 (c)，钢筋 20、排浆接头 21、灌浆接头 22、盖子 24。此处，排浆接头、灌浆接头别称就是实施例 1 中的溢浆孔、注浆孔，含义相同。假如套筒外壁上的排浆接头 21 不外露于墙体表面；从墙体表面朝套筒外壁钻设一条接头电钻钻孔 26，钻孔 26 穿透排浆接头 21，传力棒端部穿过钻孔 26 后，支顶于套筒的钢筋 20 上。

上述检测装置 27 中，刚性预压构件 6 可以批量固定在待测连接钢筋套筒的墙面上，做完一个墙面的检测之后，可以通过锁扣 17 解除锁定，然后刚性预压构件 6 留在墙面上，将其余组件从刚性预压构件 6 上抽离，进行下一个测点的试验，以提高检测效率。

上述检测装置 27 安装完毕后，可以对传力棒 16 端部施加一个冲击力 33，进而获取振动感应信号。此处，可以使用锤子 52 对该装置 27 施加冲击力 33。但是，作

为优选，在另一个优选实施例中，使用手动冲击锤49或者自动冲击锤49施加冲击力33，这样就可以施加多次冲击力33，并将同时采集信号。

如图16所示，手动冲击锤49是一个安装在传力棒16顶部的锤击设备，该锤击设备的部件包括连杆41、弹簧43、质量块44和固定架45。固定架45是一个圆柱形的钢块，其中开有底部开口的装配孔，装配孔下部内攻螺纹，传力棒16顶部的外攻螺纹段12和六角柄13伸入装配孔中，外攻螺纹段12与固定架45的装配孔构成螺纹配合。弹簧43和质量块44置于装配孔中。固定架45的顶部卡有一个孔径大于连杆41的光孔，连杆41从固定架45的顶部光孔伸入装配孔中并与质量块44通过铰座46连接固定。弹簧43位于质量块44和装配孔顶部内壁之间，连杆41可以拉动质量块44，质量块44在被连杆41朝固定架45顶部拉动过程中对弹簧43进行压缩，而在连杆41不受外力约束时，将会利用弹簧43的压缩弹力推动质量块44对传力棒16顶部施加沿传力棒轴向的冲击力。

为了保证冲击力33能够沿着传力棒16的轴向，可以进一步在质量块44的侧壁沿周向安装有活塞环34，然后质量块44通过弹簧43与固定架45内的装配孔形成活塞结构，限制质量块44的移动方向仅能够沿装配孔的轴向。

弹簧43通过质量块44产生的冲击力33可以换算为 $F=kx$ ，即F为力，k为刚度，x为压缩距离。根据试验对冲冲击力33不同的要求，改变不同刚度k的弹簧；通过改变弹簧42的拉伸或是压缩距离x，调整不同位移的弹簧43，使得对质量块44施加不同的冲击力33。

上述手动冲击锤49中的连杆41需要依靠操作人员手动拉动，其拉动距离会决定冲击力33的大小。再进一步的，为了便于控制，在该手动冲击锤49基础上进一步设置了自动拉伸装置，进而构成自动冲击锤49。自动拉伸装置中具有位移输出端，位移输出端用于推动连杆41，并在对弹簧43定量压缩后释放连杆41。本发明的一个优选实施例中，如图17和18所示，自动拉伸装置包括马达39、凸轮40和垫块42，垫块42置于垫块42，垫块42上可以安装上马达39，马达39的输出轴上安装凸轮40。连杆41的顶部具有一个弯折部，凸轮40的旋转路径经过该弯折部，因此凸轮40转动过程中会推动连杆41向上，弹簧43压缩及蓄能。当转动至一定角度时，凸轮40脱离连杆41的弯折部，连杆41不受外力作用，进而利用弹簧43的压缩弹力推动质量块44对传力棒16顶部施加沿传力

棒轴向的冲击力。凸轮 40 在马达 39 作用下继续转动时，又会再次重复该过程，由此可以不断施加相同大小的冲击力 33。

自动冲击锤 49 施加的冲击力 33 大小可以通过更换弹簧的刚度 k 、弹簧的压缩距离 x 变化、质量块 44 的重量或凸轮 40 的远轂直径来改变。而自动冲击锤 49 所施加的冲击力 33 频率则可以改变马达 39 的转速来实现。

基于本实施例中的检测装置，本发明可以提供一种优选的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其步骤如下：

步骤 1、使用相应的配套数据线 32，对传力棒 16 上的应变片 11 和加速度传感器 9（如果有的话），分别接上小信号/低噪声放大器 28，然后再将其接到信号采集仪 30 上，最后与上位机 31 构成通信连接，然后打开小信号/低噪声放大器 28 和信号采集仪 30。

步骤 2、把已经带有应变片 11 的传力棒 16、预压力施加板 4 等部件装配呈图 11 所示形态。

步骤 3、在待测连接钢筋套筒的墙面上，进行定位，以匹配翼脚 18 上的两个小孔 2，然后使用冲击钻，把混凝土 23 上已经定位好的记号，进行钻孔工作。从墙体表面朝套筒外壁钻设一条钻孔 26，钻孔 26 穿透排浆接头 21，检查并确定套筒内的钢筋表面已经外露。接下来，通过刚性预压构件 6 上的翼脚 18 涂抹胶，然后通过翼脚 18 上的小孔 2 向墙壁内固定膨胀螺丝，使刚性预压构件 6 能够牢固的固定在待测的连接钢筋套筒所在的墙体上。

步骤 4、将未安装刚性预压构件 6 和锁扣 17 的检测装置，安装到已就位的刚性预压构件 6 上，通过锁扣 17，对预压力施加板 4 与刚性预压构件 6 进行固定，通过锁扣 17 以及传力棒 16 自身的顺时或是逆时针的转动，使传力棒 16 端部以具有预压力的形式紧密支顶在钢筋表面，且可通过调节可控制预压力的幅值。

步骤 5、安装好的检测装置 27 如图 14 所示，对传力棒 16 上的六角柄 13，施加冲击力 33。传力棒 16 上的应变片 11 和加速度传感器 9 感应到来自连接套筒里钢筋的冲击波所反映的电信号，通过小信号/低噪声放大器 28，使本来微弱的瞬间电信号，使之放大之后，再通过信号采集仪 30，将瞬间微小的冲击波所反映的电信号记录下来，然后存储在上位机 31 里。

步骤 6、重复进行多次步骤 5 采集到多组应变片 11 和加速度传感器 9 的振

动感应信号，储存在上位机 31 里。再将上位机 31 中的数据，以 MATLAB 为平台，通过编程的方式，先把加速度传感器 9 所输出的加速度信号，把其积分为速度信号，然后对应变片 11 信号和加速度传感器 9 所得出的速度信号，两者均为带扰动的时域信号，分别进行维纳滤波、卡尔曼滤波、带阻滤波和低通滤波，以尽可能提取有效信号信息。

本实施例中，维纳滤波可采用 Wiener 滤波语音增强方法（Wiener speech enhancement method），以抑制噪声，增强目标频率。

维纳滤波后的电信号输入卡尔曼滤波器中，卡尔曼滤波采用了改进型卡尔曼滤波，已知采集的电信号，通过时间窗形成一个向量，然后 $\hat{Amp}$ 为输出的电信号幅值，而 $\hat{Amp}^-$ 为下一个点的电信号预测幅值，其算法步骤如 S41~S46，其中：

S41：针对放大后电信号中的第 i 个采样点 x_i ，以第 i 个采样点为中心设置大小为 N 的滤波窗口，得到该滤波窗口中所有采样点构成的向量 $Data_i$ ；设定初始电信号预测幅值 $\hat{Amp}^- = D\ddot{a}ta = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Data_i^j$ ，其中， $D\ddot{a}ta$ 为当前滤波窗口中所有采样点的平均值， $Data_i^j$ 表示向量 $Data_i$ 中第 j 个采样点的信号值， $j \in [1, N]$ ；

S42：观测噪声的协方差矩阵 $R = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N |Data_i^j - D\ddot{a}ta|^2$ ；

S43：计算卡尔曼增益 $K = \frac{|\hat{Amp}^-| \cdot H^T}{H \cdot |\hat{Amp}^-| \cdot H^T + R}$ ，其中， H 为观测矩阵，上标 T 表示转置；

S44：计算第 i 个采样点滤波后输出的电信号幅值：

$$\hat{Amp} = \begin{cases} -\{|\hat{Amp}^-| + K \cdot (|Data_{x_i}| - H \cdot |\hat{Amp}^-|)\}, & \hat{Amp}^- < 0 \text{ 且 } Data_{x_i} < 0 \\ |\hat{Amp}^-| + K \cdot (Data_{x_i} - H \cdot \hat{Amp}^-), & \text{其他} \end{cases}$$

式中： $Data_{x_i}$ 表示第 i 个采样点 x_i 的采样值；

S45：在进行下一个采样点的滤波前，更新电信号预测幅值 $\hat{Amp}^- = (1 - K \cdot H) \cdot D\ddot{a}ta + Q$ ，其中 Q 为状态转移协方差矩阵；同时使 $i=i+1$ ；

S46：依次针对放大后电信号中的剩余采样点，不断重复步骤 S42~步骤 S45，完成卡尔曼滤波；

将卡尔曼滤波后的信号数据输入带阻滤波器，对 40Hz~60Hz 波段的工频干扰频率进行抑制；

最后带阻滤波后的信号再经过截止频率为 3000Hz 的低通滤波器，滤除非有效信息的高频信号，得出新的时域信号数据。

步骤7、从新的时域信号数据中，获取波形曲线上第N个半波的幅值、任意高度处的峰宽和任意高度处的峰宽比，其中N=1或2。

步骤8、对新的时域信号数据进行傅里叶变换，得到FFT功率谱，然后在功率谱中截取出频率和幅值的频域图，从频域图中得到最大响应频率，所述最大响应频率为频域图中最大振动幅值所对应的频率；

步骤9、以幅值、所述峰宽、所述峰宽比和所述最大响应频率中的任意一个或多个为特征指标，根据步骤7和8中确定的特征指标的参数值，基于不同灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间，确定待检测钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度。

本实施例中，N优选取1，特征指标优选为波形曲线上第1个半波的半高峰宽比。

为了证明本实施例中的上述检测方法的有效性，以单独的应变片作为振动传感器进行了足尺试验。足尺试验时，利用型号参数相同的若干待检测的钢筋套筒连接结构，分别注入不同密实度的灌浆体，本实施例中设置4组不同密实度梯度注浆，表现形式为其套筒内灌浆体25的灌浆高度不同，分别为无注浆、1/3饱和注浆、2/3饱和注浆、完全饱和注浆，代表灌浆高度为0、1/3套筒内腔高度、2/3套筒内腔高度、灌满，分别如图19中的(a)~(d)所示。钢筋套筒连接结构内的注浆方法如下：

(1) 套筒使用北京思达建茂JM钢筋半灌浆连接套筒，套筒型号为GT14，连接钢筋使用HRB400，直径14的钢筋进行配置；

(2) 使用钢筋套筒连接专用的洋灰，制作灌浆体25，制作过程如下：

a) 计算好需要用到的灌浆体25的体积，称好相应的水和灰，先将所有的水放进去容器；

b) 所有的水放进去容器后，先掺入70%的灰，大约搅拌2分钟；

c) 搅拌后，再将剩下20%的灰掺入，搅拌均匀后，直到观察无聚集颗粒为止，然后大约静止5分钟后排气；

d) 将搅拌好的灌浆体25，放如圆截锥试模并垫上钢化玻璃板，然后测试其流动性，满足300mm的塌落度；

e) 一套试块试模能制作出3个40×40×160mm的矩形试块，在试块试模上涂抹硅油，使用8套试块试模制作出8组试块。每一组抗压和抗折强度都以3

个矩形试块的平均值为准；

f) 为保证灌浆体 25 的流动性，从洋灰和水掺入的时间算起，不能超过 30 分钟完成所有作业，否则将重新制作灌浆体 25；

(3) 使用手动灌浆枪，制作好的灌浆体 25，从灌浆接头 22 开始灌，分别制备无注浆、1/3 饱和注浆、2/3 饱和注浆、完全饱和注浆的钢筋套筒连接结构模型。对于满灌浆的套筒，直到灌浆料从排浆接头 21 冒出后，停止灌浆作业，并且使用橡胶塞，对灌浆接头 22 及、排浆接头 21 进行封堵；而其他的套筒模型，将灌浆体 25 灌到预定高度后，停止灌浆，并且使用橡胶塞，对灌浆接头 22 及、排浆接头 21 进行封堵；

8 组试块的制作，在灌浆后的 24h、32h、48h、72h、8d、14d 及 28d，使用水泥抗压试验机对试件进行破坏性试验，得出相应的抗压强度，如图 20 所示。由此表明，灌浆体 25 注入套筒内 24h 后已达到将近 50%强度，而 48h 后基本达到接近 80%的强度，再往后强化速率降低。因此，考虑到效率和准确性的平衡，本发明各实施例的检测方法中，检测的时间均需要设置在套筒内灌浆体固化后，且固化时间优选为 24h~48h 及以上，本实施例的试验中设置了 24h 和 48h 两组试验。

由铁质的锤子 52 对不同密实度梯度注浆的套筒内钢筋进行冲击，然后由传力棒 16 上的应变片 11 得出的动态电信号结果，然后对其进行前述的维纳滤波、改进 Kalman 滤波、带阻滤波和低通滤波后，得到新的时域信号。之后对新的时域信号进行傅里叶变换得出的 FFT 功率谱 (Wavelet Power Spectrum)，然后截取出频率 (单位：kHz) 和幅值 (单位：mV) 的频域图。其中无注浆、1/3 饱和注浆、2/3 饱和注浆、完全饱和注浆的模型的结果分别如图 21~24 所示，图 21~24 中 (a)、(b)、(c) 分别对应各梯度下新的时域信号经过平移后的动态时域图、FFT 功率谱、频域图。

由此，按照上述检测方法，即可针对每一种灌浆体密实度获取到了特征指标的多组参数值。每一种灌浆体密实度中，每个特征指标的参数值所需的样本量应当满足统计学的要求，使其能够准确反映这种灌浆体密实度下特征指标参数值的分布区间。当获取到这些参数值后，即可对特征指标的参数值阈值分布进行统计学分析，得到每种灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间。

在灌浆体 25 凝结固化 24 小时后，分别对不同注浆密实度的灌浆体 25 对应的套筒模型，共进行了 431 次试验并对其进行统计分析，得到了特征指标的参数值正态分布图。特征指标共具有 4 种，包括 3 种时域指标，以及 1 种频域指标，其中频域指标为频域信号曲线中获取的最大幅值所对应的响应频率，即最大响应频率，结果如图 25 所示；3 种时域指标分别为波形曲线中第 1 个半波的幅值、半高峰宽和半高峰宽比，结果分别如图 26~28 所示。

在灌浆体 25 凝结固化 48 小时后，分别对不同注浆密实度的灌浆体 25 对应的套筒模型，共进行了 554 次试验并对其进行统计分析，得到了特征指标的参数值正态分布图。特征指标共具有 4 种，包括 3 种时域指标，以及 1 种频域指标，其中频域指标为频域信号曲线中获取的最大幅值所对应的响应频率，即最大响应频率，结果如图 29 所示；3 种时域指标分别为波形曲线中第 1 个半波的幅值、半高峰宽和半高峰宽比，结果分别如图 30~32 所示。

基于这些阈值区间，即可根据实际检测过程中，从振动感应信号获取的特征指标的参数值，判断该参数值落在哪个阈值区间，进而将该阈值区间对应的灌浆体密实度作为待检测的钢筋套筒连接结构内灌浆体密实度的判断结果，由此实现了灌浆体密实度的定量检测。

但从上述结果中可以发现，半高峰宽比相对于另外三种特征指标更具有优势，其在不同注浆密实度下的参数值分布区间具有更为显著的差异，因此能够更为准确的反应套筒内的注浆密实度。因此，本发明中特征指标首要推进波形曲线上第 1 个半波的半高峰宽比。当然，为了准确期间，可以组合更多的特征指标，并适当对各自的判定结果分配权重系数，以便于更准确的得到注浆密实度的判定结果。

另外需要注意的是，根据前述内容所述，虽然此处以应变片作为振动传感器进行说明，但事实上，加速度传感器、速度传感器、位移传感器均可以用于实现相同的功能，可以根据需要进行组合。

以上所述的实施例只是本发明的一种较佳的方案，然其并非用以限制本发明。有关技术领域的普通技术人员，在不脱离本发明的精神和范围的情况下，还可以做出各种变化和变型。因此凡采取等同替换或等效变换的方式所获得的技术方案，均落在本发明的保护范围内。

权 利 要 求 书

1. 一种钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，其特征在于，包括刚性预压构件、传力棒、伸缩调节件、振动传感器和数据采集系统；
所述传力棒为一条刚性棒体，其通过伸缩调节件安装在刚性预压构件上；所述的刚性预压构件用于将传力棒固定于钢筋套筒连接结构所在的墙体上，所述伸缩调节件固定于刚性预压构件上，用于控制传力棒沿垂直墙体方向移动，使传力棒端部紧密支顶于待检测的钢筋套筒内的钢筋表面上；所述的振动传感器固定于传力棒上，所述数据采集系统用于采集振动传感器的感应信号。
2. 如权利要求 1 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，其特征在于，所述的刚性预压构件为一个盖状的中空钢构件，其底部四周固定于待检测的钢筋套筒连接结构所在的墙体上。
3. 如权利要求 2 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，其特征在于，所述的刚性预压构件的盖体上开设通孔；所述伸缩调节件为螺母，其固定于所述盖体的通孔位置传力棒的棒体中部位置外攻螺纹，传力棒穿过所述盖体上的通孔后旋入螺母中，棒体上的螺纹与螺母构成驱动传力棒轴向移动的螺纹配合。
4. 如权利要求 1 或 3 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，其特征在于，检测装置中还包括测力锤，用于敲击传力棒端部。
5. 如权利要求 1 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，其特征在于，所述的钢筋套筒连接结构中，套筒外壁上的溢浆孔和注浆孔均外露于墙体表面；所述的传力棒端部穿过溢浆孔后进入套筒内部，支顶于钢筋表面。
6. 如权利要求 1 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，其特征在于，所述的振动传感器为应变片、位移传感器、加速度传感器和速度传感器中的一种或多种组合。
7. 如权利要求 1 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，其特征在于，所述的振动传感器为应变片，应变片贴合固定于传力棒上。
8. 如权利要求 1 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，其特征在于，所述的伸缩调节件包括预压力施加板和锁定件；所述传力棒与预压力施加板刚性连接固定，预压力施加板通过至少一个锁定件与刚性预压构件构成相对间距可调节的锁定，且间距调节方向与所述传力棒轴向一致。

9. 如权利要求 8 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，其特征在于，所述的预压力施加板上开设有一个通孔，通孔位置固定有一个限位螺母，所述传力棒的棒体中部位置外攻螺纹，传力棒穿过所述预压力施加板上的通孔后旋入限位螺母中，棒体上的螺纹与所述限位螺母构成驱动传力棒轴向移动的螺纹配合。

10. 如权利要求 8 所述的架中开有底部开口的装配孔，所述传力棒顶部与所述固定架的装配孔构成螺纹配合；弹簧和质量块置于所述装配孔中，所述连杆从固定架的顶部伸入装配孔中并与质量块连接固定，质量块在被连杆朝固定架顶部拉动过程中对弹簧进行压缩，在连杆不受外力约束时利用弹簧的压缩弹力推动质量块对传力棒顶部施加沿传力棒轴向的冲击力。

11. 如权利要求 10 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，其特征在于，所述的锤击设备中还包括自动拉伸装置，所述自动拉伸装置中具有位移输出端，位移输出端用于推动连杆，并在对弹簧定量压缩后释放连杆。

12. 如权利要求 1 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测装置，其特征在于，所述的数据采集系统包括小信号/低噪声放大器和上位机，所述的振动传感器连接小信号/低噪声放大器、信号采集仪后，与上位机通信连接。

13. 一种钢筋套筒连接结构注浆密实度的检测方法，其特征在于，该方法所采用的装置包括外部钢结构预压构件、螺母、传力棒、测力锤、振动传感器；所述的外部钢结构预压构件为一个盖状的中空钢构件，其底部四周固定于待检测的钢筋套筒连接结构所在的墙体上；外部钢结构预压构件的盖体上开设通孔，且通孔位置固定有一个螺母；所述的传力棒为一条刚性棒体，且棒体中部位置外攻螺纹，传力棒穿过所述盖体上的通孔后旋入螺母中，棒体上的螺纹与所述螺母构成驱动传力棒上下移动的螺纹配合；传力棒底部紧密支顶于待检测的钢筋套筒连接结构的注浆实体上；所述的振动传感器贴合于传力棒上；测力锤用于敲击传力棒端部；所述检测方法的步骤如下：

步骤 1、在进行钢筋套筒注浆密实度检测时，在套筒外壁上的溢浆孔和注浆孔位置将贴有振动传感器的传力棒伸入墙体内，使其与待检测的注浆实体接触，而后把预压构件底部固定到墙体表面；

步骤 2、通过装置内部固定的螺母，旋转并拧紧传力棒，使得传力棒底部紧密支

顶于待检测的钢筋套筒连接结构的注浆实体上，确保测试过程中两者不会分离；
步骤 3、利用测力锤敲击传力棒端部，通过与振动传感器相连的数据采集系统采集动态信号随时间的变化曲线；

步骤 4、进行室内足尺模型试验，并设置若干组不同密实度梯度注浆，进行对比试验；在与步骤 3 相同的锤击力下，使用相同的动态测试装置测定不同注浆密实度的动态信号随时间的变化曲线，并与步骤 3 现场实测的动态信号随时间的变化曲线进行对比，从而确定实际的注浆密实度所在区间，完成对钢筋套筒注浆密实度的定量判断。

14. 如权利要求 13 所述的检测方法，其特征在于，所述的步骤 4 中，进行室内足尺模型试验时，共设置 4 组不同密实度梯度注浆，分别为无注浆、1/3 饱和注浆、2/3 饱和注浆、完全饱和注浆。

15. 一种钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其特征在于，包括如下步骤：

S1：将刚性的传力棒支顶于待检测钢筋套筒连接结构内的钢筋表面，并保持两者之间始终具有预压力；所述传力棒上固定有与传力棒同步振动的振动传感器，所述振动传感器为应变片、位移传感器、加速度传感器和速度传感器中的一种或多种组合；

S2：对套筒结构内的钢筋施加沿传力棒轴向的冲击力，使钢筋和传力棒同步振动，通过所述振动传感器采集该冲击力下传力棒的振动感应信号；

S3：从所述振动感应信号中获取特征指标的参数值，特征指标为时域指标或频域指标中的一个或多个组合；

所述时域指标包括：从所述振动感应信号的时域信号中获取的波形曲线中第 N 个半波的幅值、任意高度处的峰宽和任意高度处的峰宽比，N=1 或 2；

所述频域指标包括：从所述振动感应信号的频域信号曲线中，获取的最大幅值所对应的响应频率；

S4：根据 S3 中获取的所述参数值，基于不同灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间，确定待检测钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度。

16. 如权利要求 15 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其特征在于，所述的半波为峰波或谷波。

17. 如权利要求 15 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其特

征在于,所述的传力棒垂直支顶于套筒结构内的钢筋表面。

18. 如权利要求 15 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法,其特征在于,所述的振动传感器为应变片、位移传感器、速度传感器和加速度传感器。

19. 如权利要求 18 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法,其特征在于,所述的振动感应信号为应变片采集的电信号经过放大、滤波去噪后得到的时域信号。

20. 如权利要求 19 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法,其特征在于,所述的滤波去噪包括维纳滤波、卡尔曼滤波、带阻滤波器、低通滤波器中的一种或多种。

21. 如权利要求 15 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法,其特征在于,所述的振动传感器为加速度传感器,所述的振动感应信号为将加速度传感器采集到的加速度进行积分后获得的速度信号。

22. 如权利要求 15 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法,其特征在于,所述的特征指标为从所述振动感应信号的时域信号中获取的波形曲线中第 1 个半波的半高峰宽比。

23. 如权利要求 15 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法,其特征在于,所述的时域指标的获取方法为:

对所述振动传感器采集到的电信号进行放大后,再通过滤波器去除扰动杂波和噪音,得到时域信号;从时域信号的波形曲线中,获取第 1 个半波的幅值、半高峰宽和半高峰宽比中一个或多个,作为时域指标。

24. 如权利要求 23 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法,其特征在于,所述的滤波器由维纳滤波、卡尔曼滤波器、带阻滤波器和低通滤波器组成,放大后的电信号先经过维纳滤波,再经过卡尔曼滤波器进行平滑,然后经过带阻滤波器对工频干扰的频率进行抑制,最后经过截止频率为 3000Hz 的低通滤波器滤除高频信号。

25. 如权利要求 15 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法,其特征在于,所述的频域指标的获取方法为:

对所述振动感应信号的时域信号进行傅里叶变换,得出 FFT 功率谱,然后在功率谱中截取出频率和幅值的频域图,从频域图中得到最大振动幅值所对应的频率,

作为频域指标。

26. 如权利要求 15 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其特征在于，所述不同灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间确定方法如下：利用型号参数相同的若干待检测的钢筋套筒连接结构，分别注入不同密实度的灌浆体，按照 S1~S3 所述的方法针对每一种灌浆体密实度获取特征指标的多组参数值，对特征指标的参数值阈值分布进行统计学分析，得到每种灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间。

27. 如权利要求 26 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其特征在于，所述不同灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间确定过程中，每次检测施加于传力棒上的预压力保持一致。

28. 如权利要求 15 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其特征在于，所述的特征指标有多个，根据每个特征指标确定待检测钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度判断结果，然后综合所有特征指标的灌浆体密实度判断结果得出最终的灌浆体密实度判断结果。

29. 如权利要求 15 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其特征在于，所述的灌浆体密实度检测方法在套筒内灌浆体固化后进行，固化时间优选为至少为 24~48h。

30. 如权利要求 15 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其特征在于，所述的传力棒从套筒的溢浆孔插入套筒内。

31. 一种利用如权利要求 1 所述的检测装置的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其特征在于，步骤如下：

S1：将刚性预压构件固定于待检测的钢筋套筒连接结构所在的墙体上，通过所述伸缩调节件将传力棒固定于墙体上，且使传力棒端部紧密支顶于钢筋套筒内的钢筋表面，两者之间始终具有预压力；

S2：对传力棒施加沿传力棒轴向的冲击力，使钢筋和传力棒同步振动，并采集该冲击力下所述振动传感器感应到的原始电信号，原始电信号为模拟信号经小信号/低噪声放大器放大后，通过模数转换器采样转化为数字信号并存储于数据采集系统中；

S3：对数据采集系统中存储的数字信号进行维纳滤波以增强目标频率；

S4：然后将维纳滤波后的电信号输入卡尔曼滤波器中，按照S41~S46步骤进行平

滑滤波，其中：

S41：针对放大后电信号中的第 i 个采样点 x_i ，以第 i 个采样点为中心设置大小为 N 的滤波窗口，得到该滤波窗口中所有采样点构成的向量 $Data_i$ ；设定初始电信号预测幅值 $\hat{Amp}^- = D\ddot{a}ta = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Data_i^j$ ，其中， $D\ddot{a}ta$ 为当前滤波窗口中所有采样点的平均值， $Data_i^j$ 表示向量 $Data_i$ 中第 j 个采样点的信号值， $j \in [1, N]$ ；

S42：观测噪声的协方差矩阵 $R = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N |Data_i^j - D\ddot{a}ta|^2$ ；

S43：计算卡尔曼增益 $K = \frac{|\hat{Amp}^-| \cdot H^T}{H \cdot |\hat{Amp}^-| \cdot H^T + R}$ ，其中 H 为观测矩阵，上标 T 表示转置；

S44：计算第 i 个采样点滤波后输出的电信号幅值：

$$\hat{Amp} = \begin{cases} -\{|\hat{Amp}^-| + K \cdot (|Data_{x_i}| - H \cdot |\hat{Amp}^-|)\}, & \hat{Amp}^- < 0 \text{ 且 } Data_{x_i} < 0 \\ |\hat{Amp}^-| + K \cdot (Data_{x_i} - H \cdot \hat{Amp}^-), & \text{其他} \end{cases}$$

式中： $Data_{x_i}$ 表示第 i 个采样点 x_i 的采样值；

S45：在进行下一个采样点的滤波前，更新电信号预测幅值 $\hat{Amp}^- = (1 - K \cdot H) \cdot D\ddot{a}ta + Q$ ，其中 Q 为状态转移协方差矩阵；同时使 $i=i+1$ ；

S46：依次针对放大后电信号中的剩余采样点，不断重复步骤 S42~步骤 S45，完成卡尔曼滤波；

S5：将卡尔曼滤波后的信号数据进行数字滤波，其过程是将信号先输入带阻滤波器，对工频干扰的频率进行抑制，然后经过截止频率为 3000Hz 的低通滤波器滤除高频信号，得出新的时域信号数据；

S6：从所述新的时域信号数据中，获取波形曲线上第 N 个半波的幅值、任意高度处的峰宽和任意高度处的峰宽比；其中 $N=1$ 或 2；

S7：对所述新的时域信号数据进行傅里叶变换，得到 FFT 功率谱，然后在功率谱中截取出频率和幅值的频域图，从频域图中得到最大响应频率，所述最大响应频率为频域图中最大振动幅值所对应的频率；

S8：以所述幅值、所述峰宽、所述峰宽比和所述最大响应频率中的任意一个或多个为特征指标，根据 S6 或 S7 步骤中确定的特征指标的参数值，基于不同灌浆体密实度对应的特征指标参数值阈值区间，确定待检测钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度。

32. 如权利要求 31 所述的钢筋套筒连接结构内的灌浆体密实度检测方法，其特征在于，所述的特征指标优选为波形曲线上第 1 个半波的半高峰宽比。

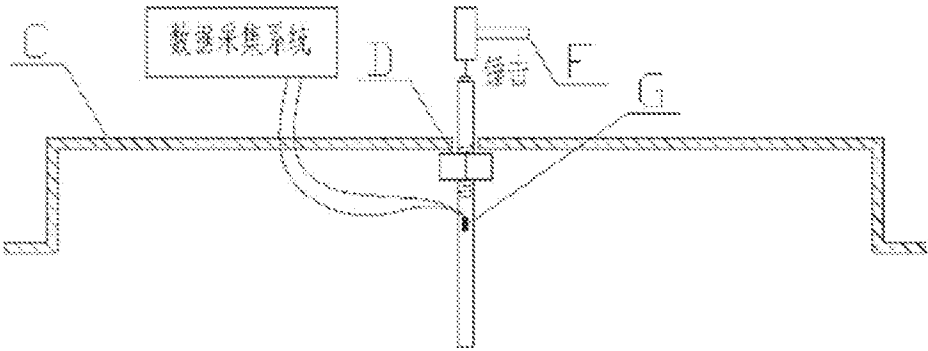


图 1

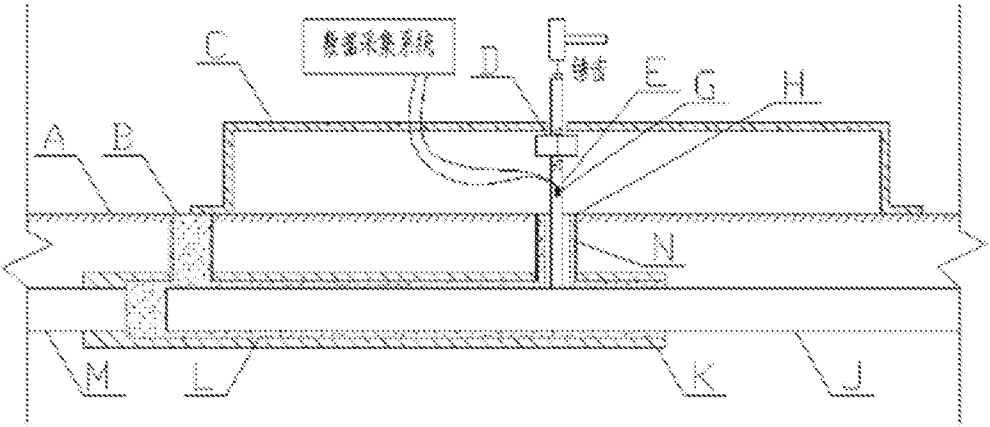


图 2

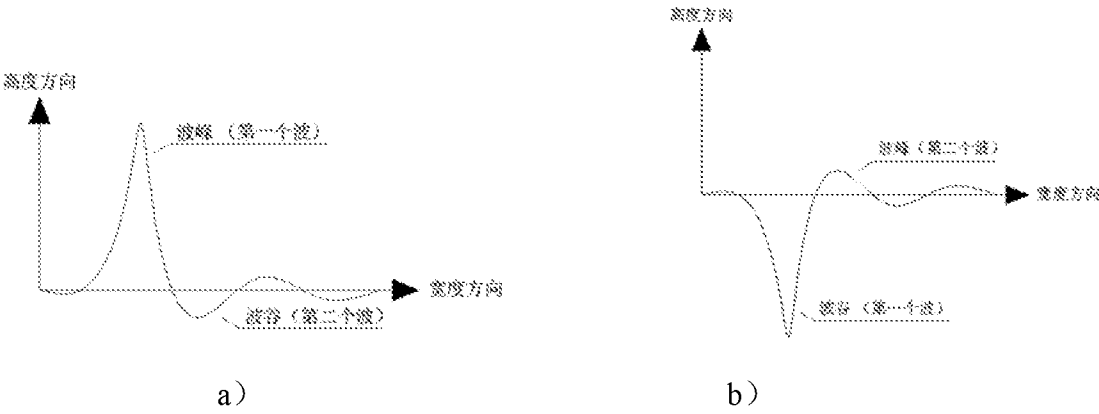


图 3

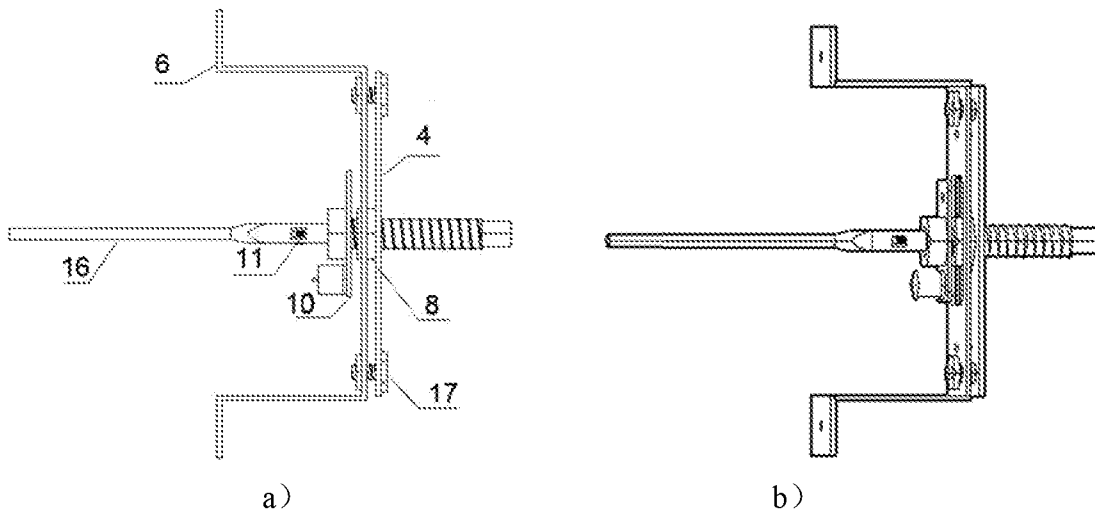


图 4

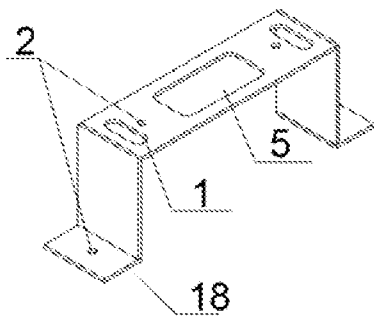


图 5

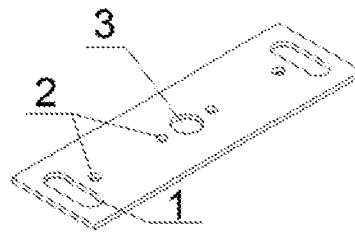


图 6

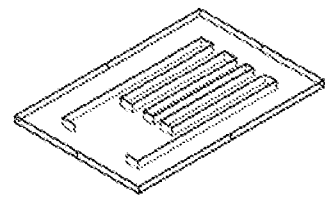


图 7

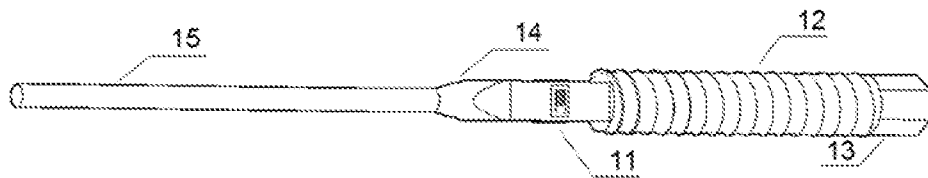


图 8

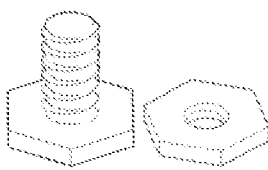


图 9

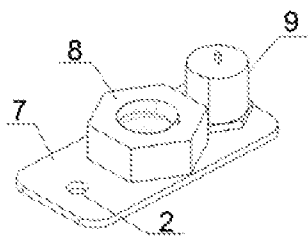


图 10

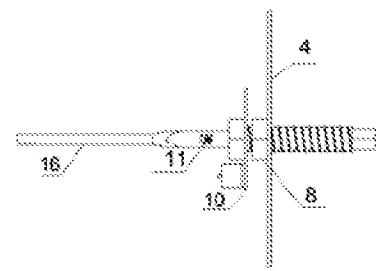


图 11

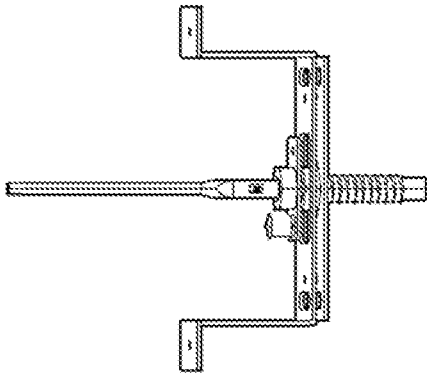


图 12

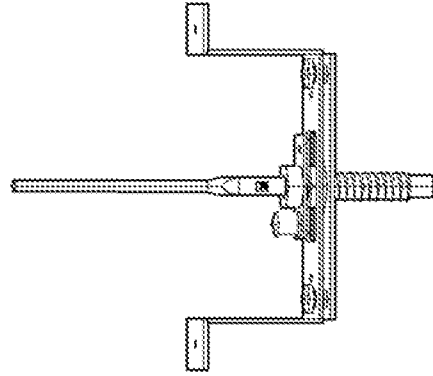


图 13

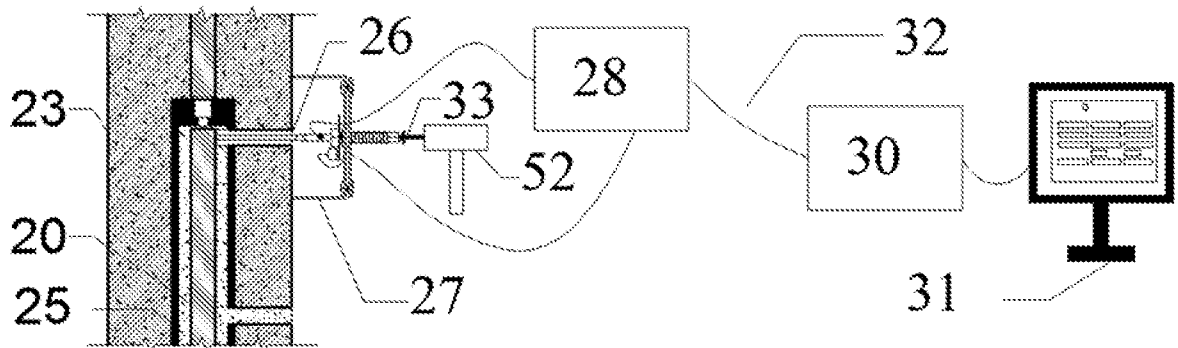
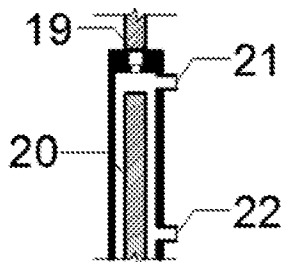
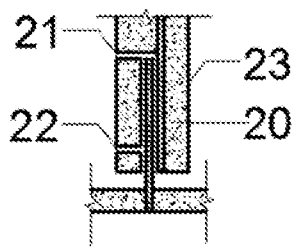


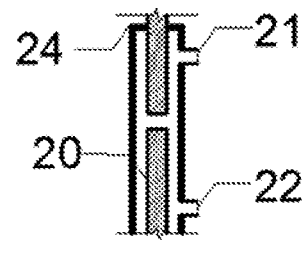
图 14



(a)



(b)



(c)

图 15

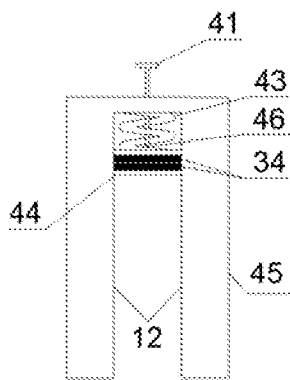


图 16

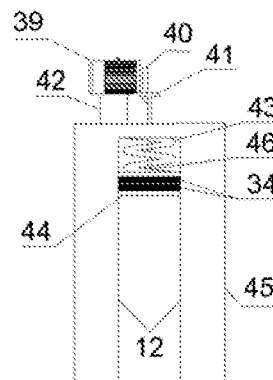


图 17

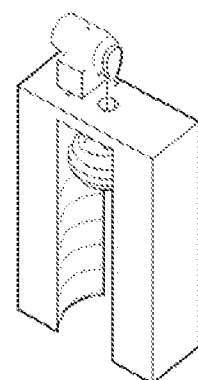


图 18

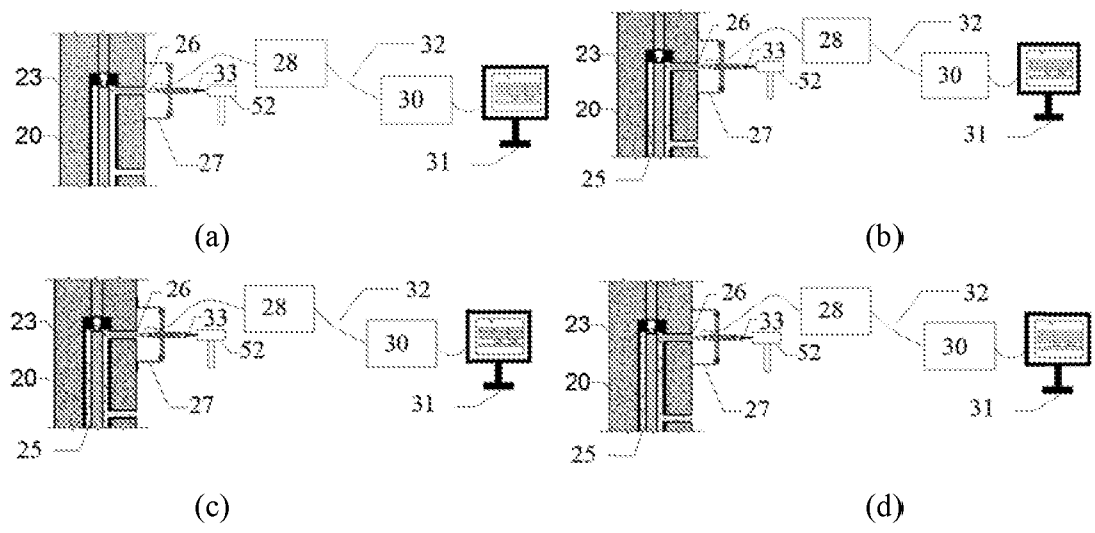


图 19

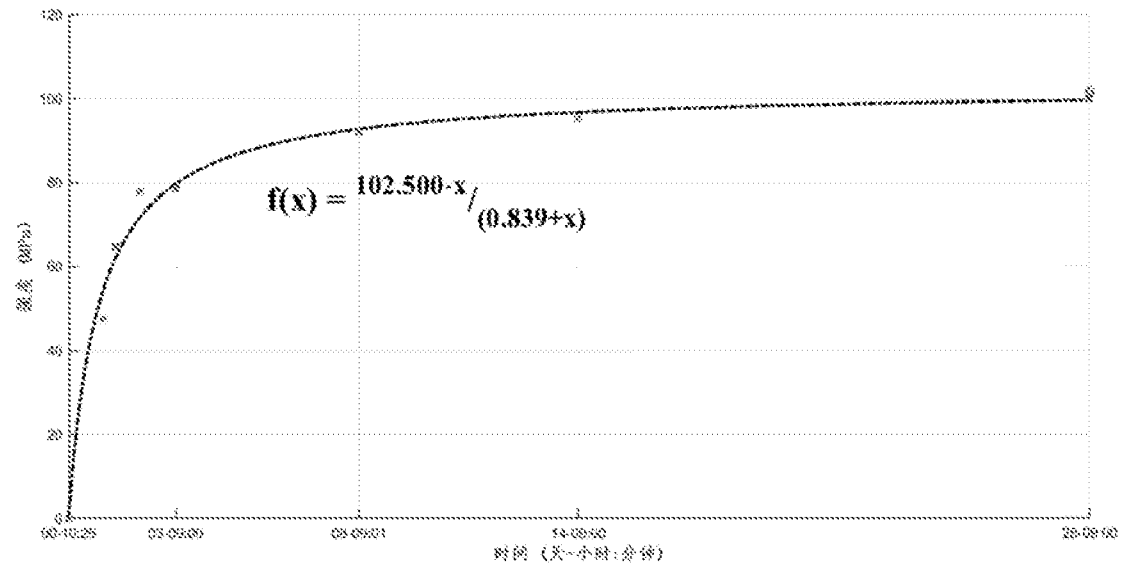
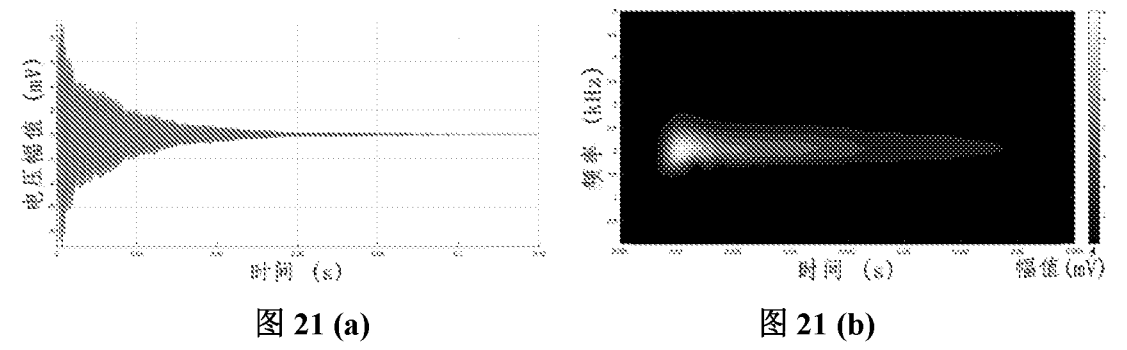


图 20



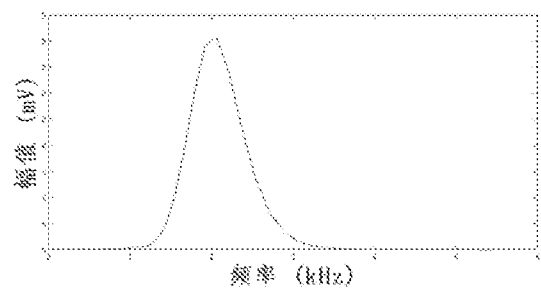


图 21 (c)

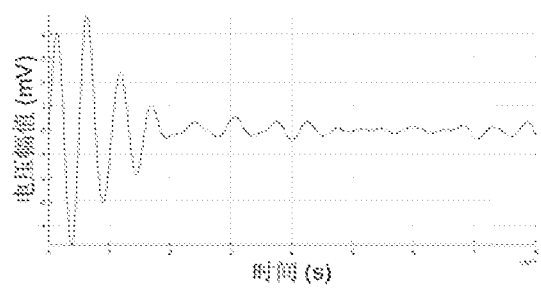


图 22 (a)

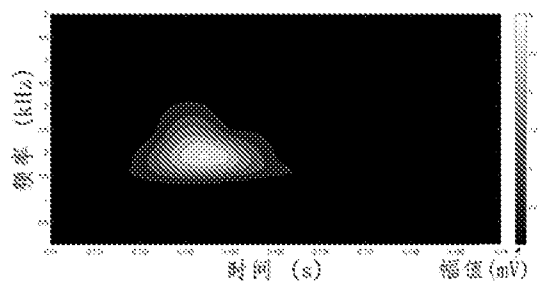


图 22 (b)

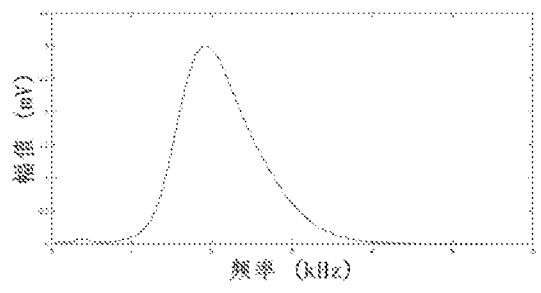


图 22 (c)

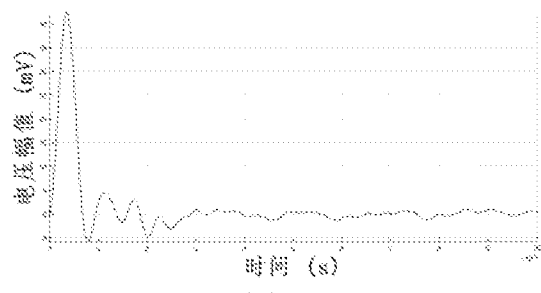


图 23 (a)

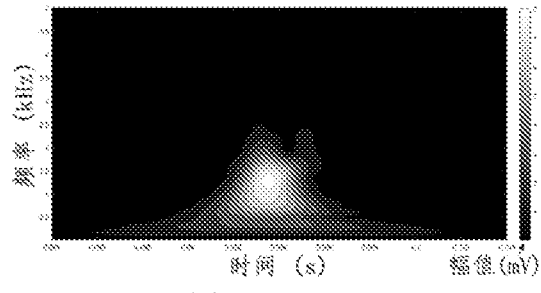


图 23 (b)

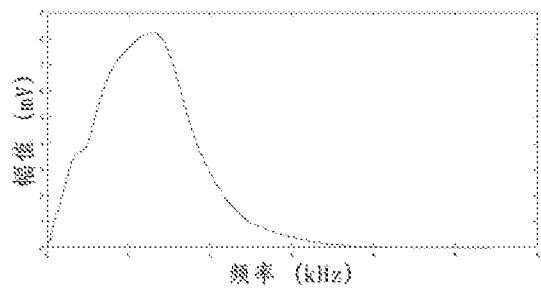


图 23 (c)

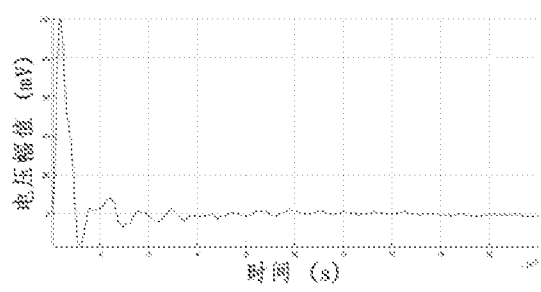


图 24 (a)

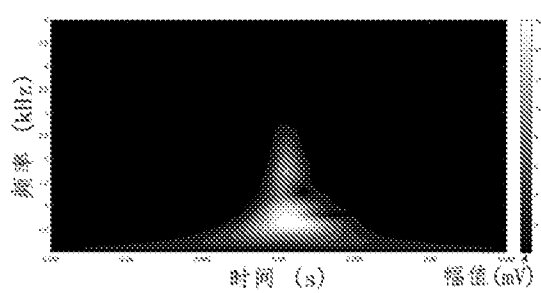


图 24 (b)

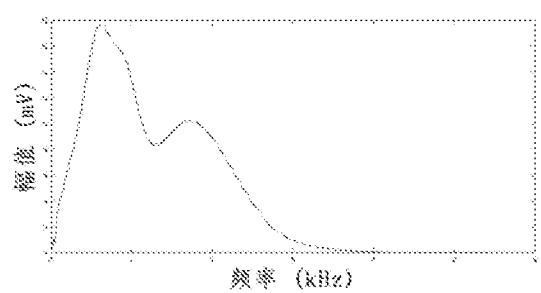


图 24 (c)

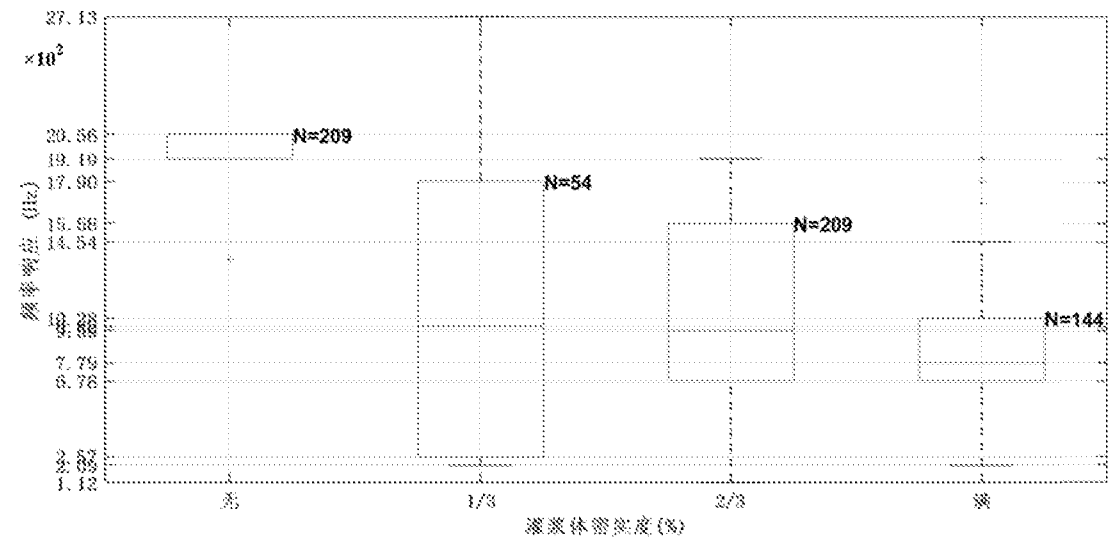


图 25

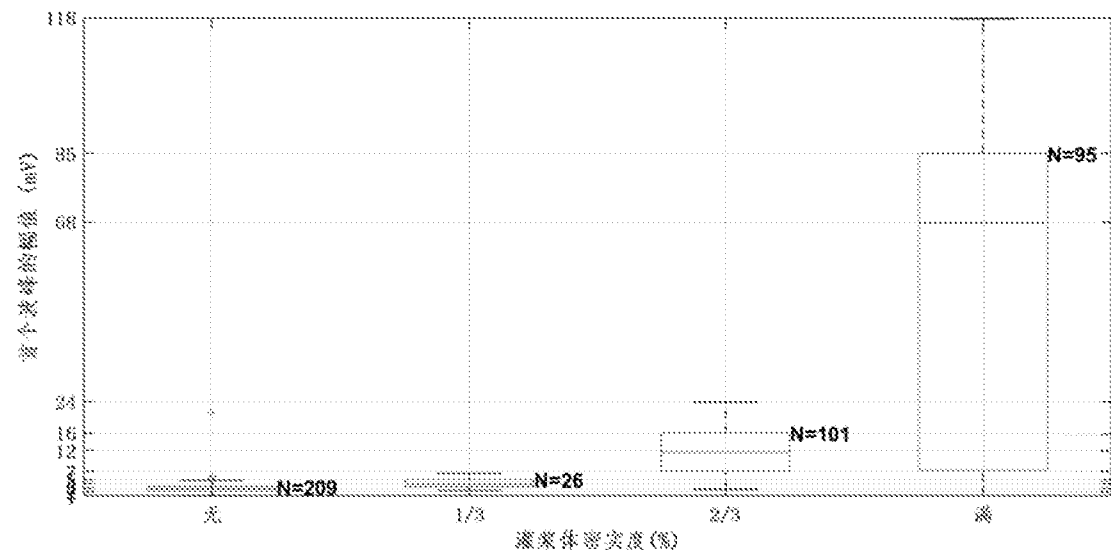


图 26

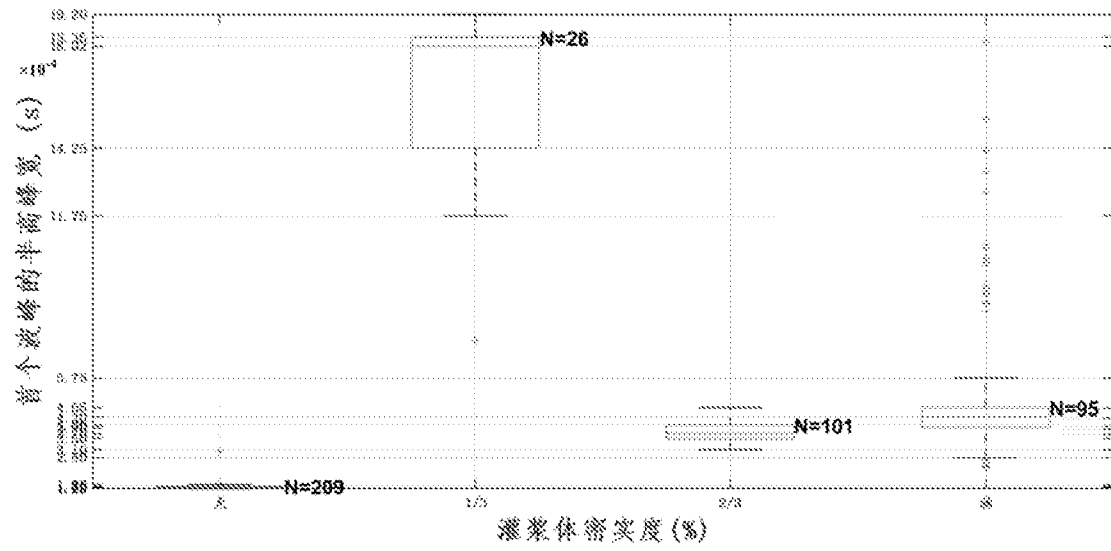


图 27

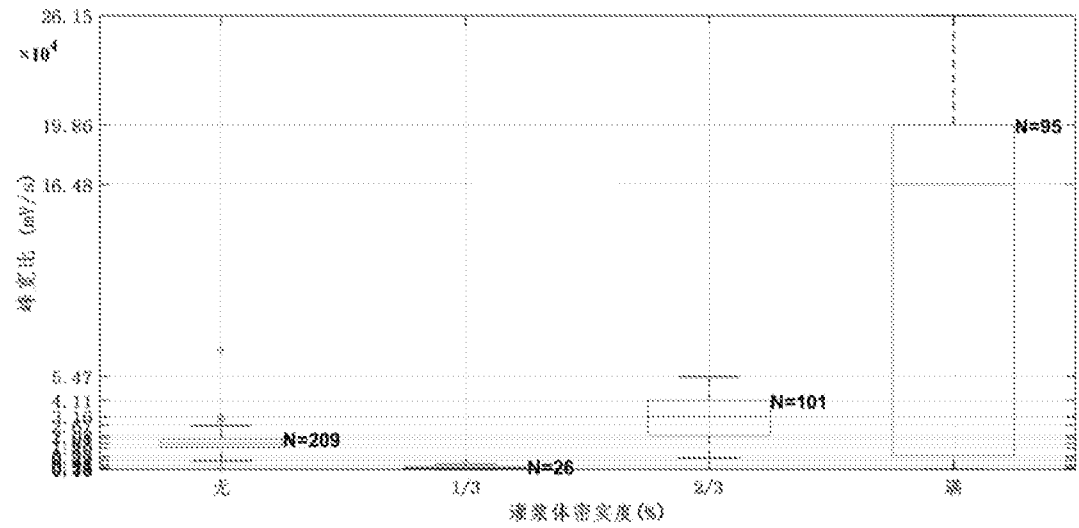


图 28

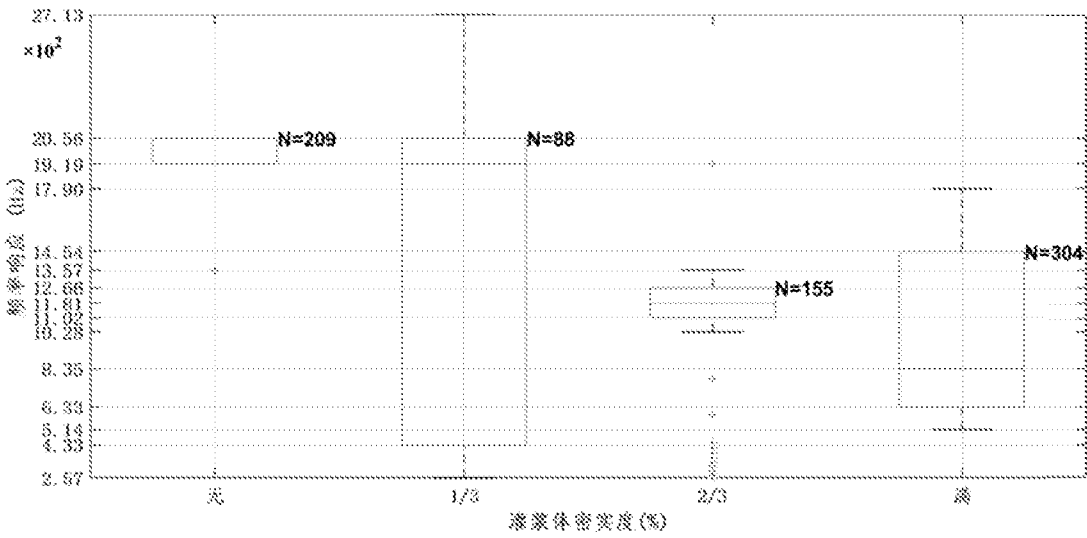


图 29

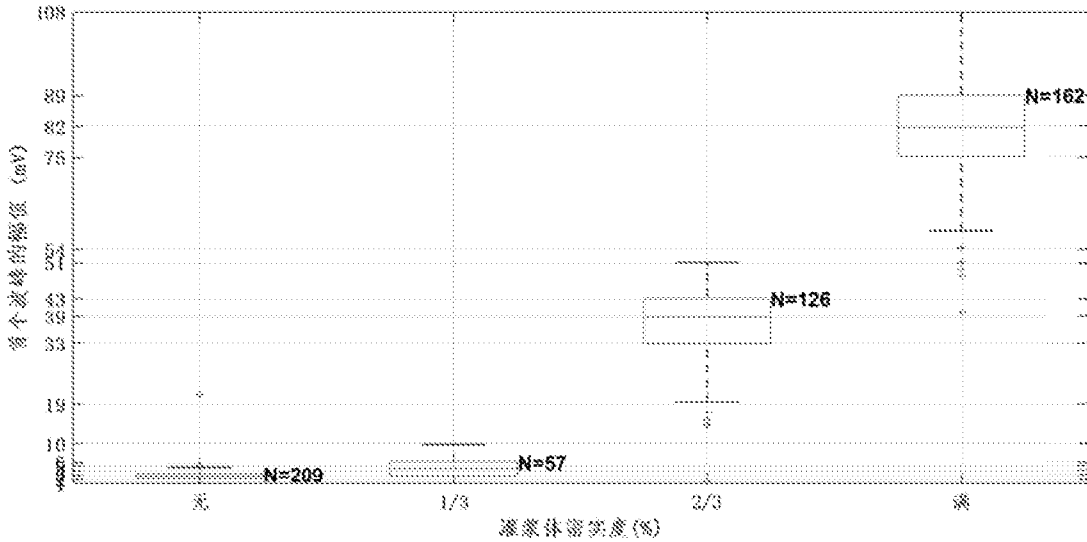


图 30

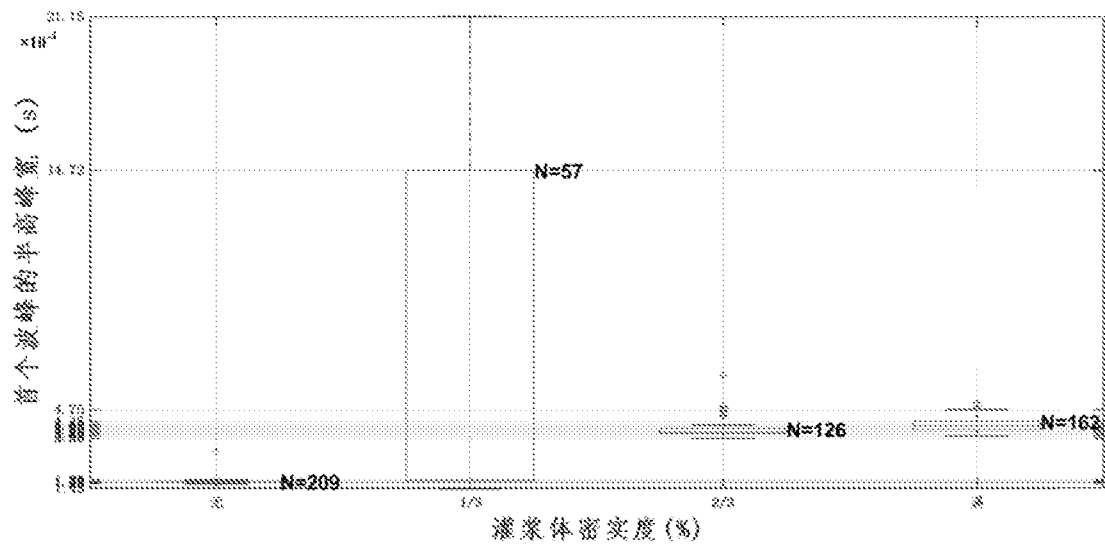


图 31

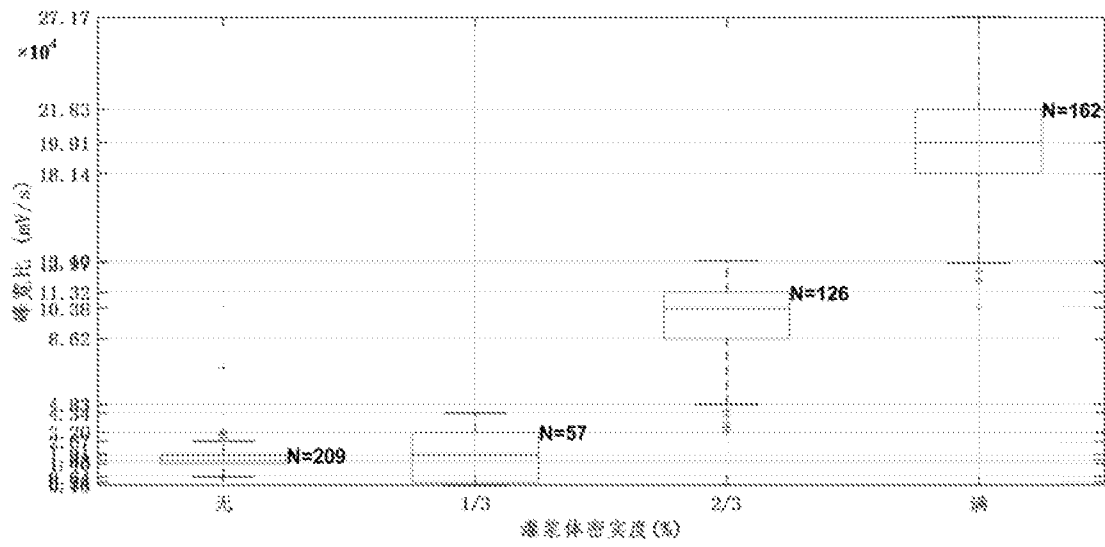


图 32

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/128227

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 9/36(2006.01)i; G01N 33/38(2006.01)i; G01N 3/30(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N9 G01N33 G01N3

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; VEN; WOTXT; USTXT; EPTXT; CNKI: 钢筋, 注浆, 灌浆, 紧实度, 密实度, 饱和度, 王奎华, 浙江大学, grout+, compact+, vibrat+, joint+, connect+, sensor

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109406340 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 01 March 2019 (2019-03-01) claims 1-9, and figures 1 and 2	1-7, 12-14
PA	CN 109406340 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 01 March 2019 (2019-03-01) claims 1-9, and figures 1 and 2	8-11, 15-32
A	CN 107478719 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 15 December 2017 (2017-12-15) description, paragraphs [0024]-[0026], and figure 1	1-32
A	CN 106596298 A (ANHUI JIANZHU UNIVERSITY) 26 April 2017 (2017-04-26) entire document	1-32
A	CN 107328921 A (CHINA STATE CONSTRUCTION ENGINEERING CORPORATION LIMITED et al.) 07 November 2017 (2017-11-07) entire document	1-32
A	US 2015097589 A1 (UNIV FLORIDA) 09 April 2015 (2015-04-09) entire document	1-32



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 February 2020

Date of mailing of the international search report

27 March 2020

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/128227

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109406340	A	01 March 2019	CN	209460091	U	01 October 2019
CN	107478719	A	15 December 2017	CN	206876635	U	12 January 2018
CN	106596298	A	26 April 2017	None			
CN	107328921	A	07 November 2017	CN	107328921	B	19 November 2019
US	2015097589	A1	09 April 2015	US	9829452	B2	28 November 2017

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/128227

A. 主题的分类

G01N 9/36(2006.01)i; G01N 33/38(2006.01)i; G01N 3/30(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G01N9 G01N33 G01N3

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS;CNTXT;VEN;WOTXT;USTXT;EPTXT;CNKI:钢筋, 注浆, 灌浆, 紧实度, 密实度, 饱和度, 王奎华, 浙江大学, grout+, compact+, vibrat+, joint+, connect+, sensor

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 109406340 A (浙江大学) 2019年 3月 1日 (2019 - 03 - 01) 权利要求1-9, 附图1、2	1-7、12-14
PA	CN 109406340 A (浙江大学) 2019年 3月 1日 (2019 - 03 - 01) 权利要求1-9, 附图1、2	8-11、15-32
A	CN 107478719 A (浙江大学) 2017年 12月 15日 (2017 - 12 - 15) 说明书第[0024]-[0026]段, 附图1	1-32
A	CN 106596298 A (安徽建筑大学) 2017年 4月 26日 (2017 - 04 - 26) 全文	1-32
A	CN 107328921 A (中国建筑股份有限公司 等) 2017年 11月 7日 (2017 - 11 - 07) 全文	1-32
A	US 2015097589 A1 (UNIV FLORIDA) 2015年 4月 9日 (2015 - 04 - 09) 全文	1-32

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2020年 2月 19日

国际检索报告邮寄日期

2020年 3月 27日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

高世芝

传真号 (86-10)62019451

电话号码 86-(0512)-88997395

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/128227

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	109406340	A	2019年 3月 1日	CN	209460091	U	2019年 10月 1日
CN	107478719	A	2017年 12月 15日	CN	206876635	U	2018年 1月 12日
CN	106596298	A	2017年 4月 26日	无			
CN	107328921	A	2017年 11月 7日	CN	107328921	B	2019年 11月 19日
US	2015097589	A1	2015年 4月 9日	US	9829452	B2	2017年 11月 28日