

(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 12 月 24 日 (24.12.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/253449 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 3/06 (2006.01) *G01N 3/08* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/091011
- (22) 国际申请日: 2020 年 5 月 19 日 (19.05.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201910520396.5 2019年6月17日 (17.06.2019) CN
- (71) 申请人: 大连理工大学 (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市凌工路 2 号, Liaoning 116024 (CN)。
- (72) 发明人: 丁 一 宁 (DING, Yining); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。 柳根金 (LIU, Genjin); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。

李东升 (LI, Dongsheng); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。 曾伟 (ZENG, Wei); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。 王庆轩 (WANG, Qingxuan); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。 于有川 (YU, Youchuan); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。 刘倩文 (LIU, Qianwen); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (CN)。 晏楚 (YAN, Chu); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学, Liaoning 116024 (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,

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR WIDTH MONITORING AND REGIONAL SELF-POSITIONING OF TENSILE FRACTURE OF CONCRETE

(54) 发明名称: 混凝土受拉裂缝宽度监测和区域自定位装置及方法

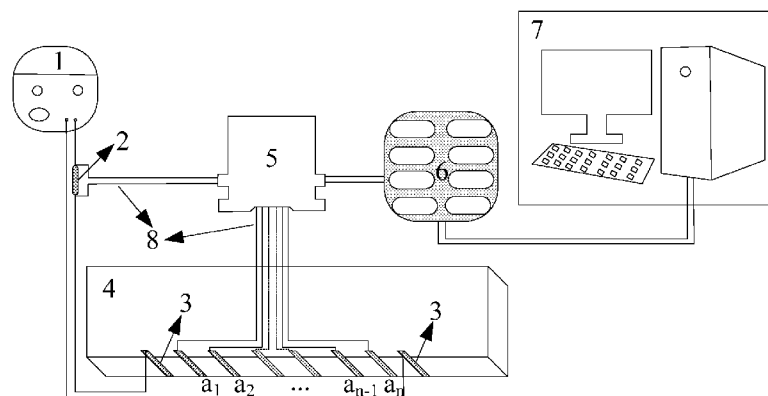


图1

(57) Abstract: A device and method for self-positioning of a tensile cracking zone of concrete and self-monitoring of a change in fracture width. The self-monitoring device comprises a direct-current voltage-stabilized power supply (1), a fixed-value resistor (2), external conductive electrodes (3), internal conductive electrodes $a_1, a_2, \dots, a_{n-1},$ and a_n , a concrete component (4), a voltage conversion module (5), a data acquisition system (6), and a computer (7). Two external conductive electrodes (3) and n internal conductive electrodes a_1-a_n provided inside the external conductive electrodes (3) are arranged at a tensile area at the bottom of the concrete component (4), wherein n is greater than or equal to 2. One of the external conductive electrodes (3) is connected to the positive electrode or negative electrode of the direct-current voltage-stabilized power supply (1), and the other external conductive electrode (3) is connected in series to one end of the fixed-value resistor (2); the other end of the fixed-value resistor (2) is connected to the negative electrode or positive electrode of the direct-current voltage-stabilized power supply (1); moreover, two ends of the fixed-value resistor (2) are

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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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))。

connected in parallel to lead out a wire (8) and are connected to the voltage conversion module (5) to measure the voltage of the fixed-value resistor (2); two adjacent internal conductive electrodes a_i and a_{i+1} are connected to the voltage conversion module (5) by means of the wire (8) to measure the voltages of areas a_i and a_{i+1} ; the voltage conversion module (5) is connected to the computer (7) by means of a data acquisition device (6). The resistance change rate of a concrete target area under a load effect is monitored in real time to realize self-monitoring of the width of a concrete fracture and positioning of a fracture occurrence area. No fracture sensor needs to be arranged at the component additionally and adding of a large quantity of conductive materials in a concrete base is avoided; the real-time monitoring of the fracture of the important concrete structural component is guaranteed.

(57) 摘要: 一种混凝土受拉开裂区自定位与裂缝宽度变化自监测装置及方法, 自监测装置包括直流稳压电源(1), 定值电阻(2), 外导电电极(3), 内导电电极 a_1 、 a_2 、...、 a_{n-1} 、 a_n , 混凝土构件(4), 电压转换模块(5), 数据采集系统(6), 电脑(7); 混凝土构件(4)底部受拉区域布置两个外导电电极(3)和设于外导电电极(3)内部的 n 个内导电电极 $a_1 \sim a_n$, $n \geq 2$; 其中一个外导电电极(3)接直流稳压电源(1)的正极或负极, 另一个外导电电极(3)与定值电阻(2)的一端串联连接; 定值电阻(2)的另一端连接直流稳压电源(1)中的负极或正极; 同时定值电阻(2)两端并联引出导线(8)接入电压转换模块(5), 测量定值电阻(2)的电压; 相邻两个内导电电极 a_i 、 a_{i+1} 通过导线(8)与电压转换模块(5)连接, 测量对应区域 $a_i \sim a_{i+1}$ 的电压; 电压转换模块(5)通过数据采集设备(6)与电脑(7)连接。通过实时监测混凝土目标区域在荷载作用下电阻变化率, 实现混凝土裂缝宽度的自监测和裂缝出现区域定位的目标。无需在构件上额外布置裂缝传感器, 无需在混凝土基体中添加大量的导电材料, 为重要混凝土结构构件的裂缝实时监测提供保障。

混凝土受拉裂缝宽度监测和区域自定位装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于土木工程技术领域，涉及一种混凝土构件开裂区域自定位与裂缝宽度变化自监测的装置和技术。

背景技术

[0002] 混凝土具有良好的抗压强度，在结构中主要承受压应力，但混凝土的抗拉性能较低，其抗拉强度仅为抗压强度的约十分之一。混凝土结构构件的受拉区在正常使用阶段是带裂缝工作的，而裂缝在荷载作用下的不断扩展将削弱构件的有效截面，直接影响到结构的变形、耐久性与承载力；所以对混凝土进行裂缝实时跟踪意义重大。目前混凝土结构工程上应用较为广泛的裂缝检测、监测技术主要有：人工检测、超声波、声发射以及光纤传感器监测等。这些技术的应用或受限于人工检测的精度和频次、或依赖于复杂且昂贵的传感器和信号解调设备。

[0003] 一种成本较低、更方便的方法获得了人们的重视，即通过在水泥基复合材料中掺加导电纤维、导电颗粒以实现应变和损伤的自感知：利用电阻的变化规律对水泥基试件及水泥砂浆等材料受压或受拉时的应变进行监测。但目前国内外针对水泥基复合材料应变自感应技术无法实现对混凝土裂缝的开裂位置、裂缝宽度进行判断与实时监测，这就存在不能及时发现结构物安全隐患的弊端，无法实现对混凝土结构的耐久性和安全性进行科学的评估，影响对受损结构的维修与加固。

[0004] 混凝土属于电的不良导体，已有水泥基材料应变自监测技术借助碳纤维、碳黑、镍粉等导电材料降低混凝土的电阻率，通常要达到导电渗滤阈值需要的导电材料掺量较高（碳纤维 $>0.5\%$ 体积掺量，碳纳米管 $>1\%$ 水泥质量掺量），主要集中在受压时的应变，且成本昂贵。实际上，混凝土并不是严格意义上的绝缘体，且混凝土受拉开裂后基体电阻变化比较明显。本发明基于对混凝土自身电阻变化率的实时监测，实现对荷载作用下的混凝土构件受拉区的裂缝定位和裂缝

扩展宽度的自监测。

发明概述

技术问题

[0005] 本发明要解决的技术问题是提供一种用于混凝土裂缝宽度监测和裂缝区域定位的装置和技术，它可实时精确地监测混凝土构件在荷载作用下的裂缝宽度变化，具有较高的准确性和灵敏度、低成本；同时还可实现开裂区域定位的装置。尤其适用于包括隧道、城市地下管廊、海底沉管等地下结构在内的不同混凝土结构的裂缝监测。

问题的解决方案

技术解决方案

[0006] 为了达到上述目的，本发明采用的技术方案为：

[0007] 一种混凝土受拉开裂区自定位与裂缝宽度变化自监测装置，所述装置包括：直流稳压电源1，定值电阻2，外导电电极3，内导电电极 a_1 、 a_2 、...、 a_{n-1} 、 a_n ，混凝土构件4，电压转换模块5，数据采集系统6，电脑7，导线8。

[0008] 所述的混凝土构件4底部受拉区域布置导电电极，包括两个外导电电极3和设于外导电电极3内部的n个内导电电极 $a_1 \sim a_n$ ($n \geq 2$)。其中一个外导电电极3接直流稳压电源1的正极或负极，另一个外导电电极3与定值电阻2的一端串联连接。定值电阻2的另一端连接直流稳压电源1中的负极或正极。同时定值电阻2两端并联引出两条导线8接入电压转化模块5，测量定值电阻2的电压。所述的相邻两个内导电电极 a_i 、 a_{i+1} 通过外接两根导线8与电压转化模块5连接，测量对应区域 $a_i - a_{i+1}$ 的电压。所述的电压转化模块5与数据采集设备6连接，数据采集设备6通过导线与电脑7连接；电压转化模块5将接收到的电压信号线性转换成0-5v的电压，输入数据采集设备6，数据采集设备6将电压信号传输给电脑7并实现信号可视化。

[0009] 所述的直流稳压电源1，可提供稳定的直流电压，电压可调节的范围为0 - 60V。

[0010] 所述的定值电阻2为水泥电阻，电阻的阻值大小范围为5k Ω - 10k Ω 。

[0011] 所述的外导电电极3以及内导电电极 $a_1 \sim a_n$ ，其电极可选择铜、不锈钢、导电

胶带等导电性能良好的材料，形式可为网格状或片状，与混凝土的结合方式可以选择内埋式或采用外贴式；当采用内埋式时，保护层厚度不超过5mm；当采用外贴式时，可用石墨胶等固定。

[0012] 所述的内导电电极相互间距40-1000mm，外导电电极3与相邻内导电电极之间距离30-50mm。且导电电极宽度不超过20mm，长度需要大于所测混凝土部位的宽度，厚度一般不超过0.5mm。

[0013] 所述的混凝土构件4，可为钢筋混凝土、纤维混凝土、纤维筋增强混凝土等构件。

[0014] 所述的电压转换模块5为S1105H 高频差分隔离变送器，最大输入范围0-60V，可以根据输入电压的大小线性输出范围为0-5v的电压。具体技术参数为：精度：0.2%，响应频率：1KHz，工作温度：-20℃~70℃。

[0015] 所述的数据采集系统6为可接收0-5V电压信号的数据采集设备，采集频率不小于5HZ。

[0016] 一种混凝土裂缝宽度变化自监测和开裂区域定位方法，包括以下步骤：

[0017] 第一步，连接线路，将各个元件：直流稳压电源1，定值电阻2，外导电电极3和内导电电极 $a_1 \sim a_n$ ，电压转换模块5，数据采集系统6，电脑7，采用导线8与待测混凝土构件4连接成闭合回路。

[0018] 第二步，打开直流稳压电源1，调节电压至12-60V，混凝土构件4开始极化。电脑7记录输出电压前，等待20-30分钟直至内导电电极 a_i 与 a_{i+1} 间以及定值电阻2两端的输出电压稳定，此时混凝土构件4内极化趋于稳定。

[0019] 第三步，对混凝土构件4进行加载，电脑7开始记录内导电电极 a_i 与 a_{i+1} 间和定值电阻2两端的输出电压，得出电阻变化率曲线-时间曲线，进行目标混凝土构件4的裂缝监测。具体为通过直接测量混凝土目标区域电阻变化率，判断混凝土受拉区是否出现裂缝、裂缝出现的区域以及裂缝的扩展宽度：

[0020] 当实现混凝土裂缝宽度的自监测时， $n=2$ ，通过获取电阻变化率与裂缝扩展宽度关系，进行数据拟合得到上述二者关系，即通过电阻变化率换算裂缝扩展宽度，即可实现对混凝土构件4进行裂缝的自监测；

[0021] 当判断开裂区域或监测裂缝区域时， $n>2$ ，判断目标区域混凝土电阻变化率的

关系，电阻上升明显的区段为开裂区段；即可实现对混凝土构件4裂缝区段的自定位。

发明的有益效果

有益效果

[0022] 本发明的有益效果是：

[0023] 本发明可通过直接测量混凝土目标区域电阻变化率，判断混凝土受拉区是否出现裂缝、裂缝出现的区域以及裂缝的扩展宽度，主要优势在于下列各点：1) 实现了开裂区域位置和扩展宽度的自监测，可对纤维混凝土构件、钢筋混凝土构件、纤维筋混凝土构件等的初裂点的判断提供一种准确的判断方法；2) 该混凝土裂缝监测技术无需在构件上额外布置裂缝传感器，免去布置传感器的繁琐工作；3) 无需在混凝土基体中添加大量的导电材料，对混凝土结构的施工没有负面影响，且能够节约成本；4) 电极可根据内力图在结构的受拉区方便、灵活地布置，同时还可节约成本；5) 避免了大量导电相在混凝土中难以分散的问题。以上各点可为重要混凝土结构构件的裂缝实时监测提供保障。

对附图的简要说明

附图说明

[0024] 图1为一种混凝土受拉区开裂区域自定位与裂缝宽度变化自监测的装置示意图；

[0025] 图2为实施例1，内电极数量等于2时，实现混凝土裂缝宽度监测装置示意图；

[0026] 图3为实施例1中钢纤维混凝土梁荷载-时间-电阻变化率曲线；

[0027] 图4为实施例1中钢纤维混凝土梁荷载-裂缝扩展宽度-电阻变化率关系曲线；

[0028] 图5为实施例2，内电极数量等于3时，可实现混凝土开裂区域定位的装置示意图；

[0029] 图6为实施例2中混凝土梁的荷载-时间-电阻变化率关系曲线。

[0030] 图中：1直流稳压电源，2定值电阻，3外导电电极，内导电电极 $a_1 \sim a_n$ ，4混凝土构件，5电压转换模块，6数据采集系统，7电脑，8导线。

发明实施例

本发明的实施方式

[0031] 为利于理解本发明的技术方案，以下结合附图及两个实施例进行说明。

[0032] 实施例1

[0033] 当本发明涉及的装置中内电极的数量为2时 ($n=2$)，可实现混凝土受拉侧裂缝宽度的自监测。参照附图2，本实施例所述为一种混凝土裂缝扩展宽度自监测技术，具体实施方式如下：

[0034] 第一步，连接线路，将各个元件：直流稳压电源1，定值电阻2（阻值=5 k Ω ），外导电电极3（内埋置式，黄铜网12目0.38mm丝径，宽度为15mm），外电极与内电极间距30mm，内导电电极 a_1 、 a_2 （内埋置式，黄铜网12目0.38mm丝径，宽度为15mm，间距100mm），钢纤维混凝土构件4（40kg/m³钢纤维），电压转换模块5，数据采集系统6，电脑7，按照说明书附图2用导线8连接成闭合回路。

[0035] 第二步，打开直流稳压电源1，调节电压至12V，混凝土构件4开始极化。电脑7记录输出电压前，先等待20分钟直至内导电电极 a_1 与 a_2 之间以及定值电阻2两端的输出电压稳定，此时混凝土构件4内极化趋于稳定。

[0036] 第三步，对混凝土构件4进行加载，电脑7开始记录定值电阻2两端和内导电电极 a_1 与 a_2 之间的电压信号并转换成对应区域 a_1 - a_2 段的电阻变化率-时间实时曲线，同时测量混凝土构件4受拉侧裂缝宽度扩展。

[0037] 第四步，获取电阻变化率与裂缝扩展宽度关系，拟合二者关系。如图3、图4所示，分别为荷载-时间-电阻变化率、荷载-裂缝扩展宽度-电阻变化率关系曲线。从图3中可知混凝土开裂前，电阻变化率保持在零附近，无明显变化，当混凝土开裂时，电阻变化率迅速增加。随着裂缝宽度的继续扩展，电阻变化率一直增加，但增速减缓，进行数据拟合可以获得电阻变化率 (y)与裂缝扩展宽度 (x)之间的定量关系（图4中虚线）为 $y=48.75896(1-e^{(-0.38795/x)})$ ，拟合效果良好。

[0038] 第五步，实现混凝土裂缝的自监测，即通过电阻变化率换算裂缝扩展宽度。

[0039] 实施例2：

[0040] 当需要判断混凝土构件4受拉侧开裂区域或监测裂缝区域时，本发明涉及的装置可通过增加内电极的方式，实现目标。例如，当内电极的数量为3时 ($n=3$)

，可实现混凝土两个裂缝区域的裂缝定位，参照附图5，本实施例所述为一种混凝土裂缝区域定位技术，具体实施方式如下：

- [0041] 第一步，在纤维混凝土构件4的受拉区布置两个外电极3（内埋置式，黄铜网12目0.38mm丝径，宽度为15mm），布置三个内电极 a_1 、 a_2 、 a_3 （内埋置式，黄铜网12目0.38mm丝径，宽度为15mm），相邻内电极间距为42.5mm，外电极与邻近内电极间距30mm。连接线路，将各个元件：直流稳压电源1，定值电阻2（阻值=5 k Ω ），外导电电极3、内电极 a_1 、 a_2 、 a_3 ，电压转换模块5，数据采集系统6，电脑7，按照说明书附图5用导线8连接成闭合回路。其中相邻两内电极 a_1 、 a_2 与 a_2 、 a_3 分别接入转换模块5，可以测出对应区域 a_1 - a_2 和 a_2 - a_3 的实时电压。
- [0042] 第二步，打开直流稳压电源1，调节电压至12V，混凝土构件4开始极化。电脑7记录输出电压前，先等待20分钟直至内导电电极 a_1 与 a_2 ， a_2 与 a_3 间以及定值电阻2两端的输出电压稳定，此时混凝土构件4内极化趋于稳定。
- [0043] 第三步，对混凝土构件4进行加载，记录定值电阻2两端和内电极 a_1 与 a_2 、 a_2 与 a_3 间的电压信号并转化获取对应区域 a_1 - a_2 和 a_2 - a_3 的电阻变化率-时间曲线。
- [0044] 第四步，通过观察混凝土梁受拉区待测的各区域的实时电阻变化率-时间曲线，判断混凝土梁开裂的区域，实现开裂区域的定位。判断依据：当某一区域混凝土开裂时，该区域对应的电阻变化率将急剧增加，其它区域的电阻变化率在小幅变化后保持稳定。
- [0045] 本实施例裂缝区域定位判别过程：内电极 a_1 、 a_2 、 a_3 将监测区域划分为2部分，即 a_1 - a_2 段和 a_2 - a_3 段，如附图5所示。附图6为本实施例混凝土梁的荷载-时间-电阻变化率关系曲线，可得出：1)显著上升的电阻变化率-时间关系曲线所代表的区域（ a_1 - a_2 ）内有裂缝出现，且可以判定开裂的时刻为426s；而经历小幅下降（10%以内）后维持稳定的电阻变化率-时间曲线表示区域（ a_2 - a_3 ）内无裂缝出现。
- [0046] 以上所述实施例仅表达本发明的实施方式，但并不能因此而理解为对本发明专利的范围的限制，应当指出，对于本领域的技术人员来说，在不脱离本发明构

思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些均属于本发明的保护范围。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种混凝土受拉开裂区自定位与裂缝宽度变化自监测装置，其特征在于，所述的自监测装置包括直流稳压电源(1)，定值电阻(2)，外导电电极(3)，内导电电极 a_1 、 a_2 、...、 a_{n-1} 、 a_n ，混凝土构件(4)，电压转换模块(5)，数据采集系统(6)，电脑(7)；
- 所述的混凝土构件(4)底部受拉区域布置两个外导电电极(3)和设于外导电电极(3)内部的n个内导电电极 $a_1 \sim a_n$ ， $n \geq 2$ ；其中一个外导电电极(3)接直流稳压电源(1)的正极或负极，另一个外导电电极(3)与定值电阻(2)的一端串联连接；定值电阻(2)的另一端连接直流稳压电源(1)中的负极或正极；同时定值电阻(2)两端并联引出导线(8)接入电压转换模块(5)，测量定值电阻(2)的电压；所述的相邻两个内导电电极 a_i 、 a_{i+1} 通过导线(8)与电压转换模块(5)连接，测量对应区域 $a_i - a_{i+1}$ 的电压；所述的电压转换模块(5)通过数据采集设备6与电脑(7)连接；
- 所述的内导电电极相互间距40-1000mm，外导电电极(3)与相邻内导电电极之间距离30-50mm。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的一种混凝土受拉开裂区自定位与裂缝宽度变化自监测装置，其特征在于，所述的定值电阻(2)为水泥电阻，电阻的阻值大小范围为 $5k\Omega - 10k\Omega$ 。
- [权利要求 3] 根据权利要求1所述的一种混凝土受拉开裂区自定位与裂缝宽度变化自监测装置，其特征在于，所述的外导电电极(3)以及内导电电极 $a_1 \sim a_n$ ，其电极形式为网格状或片状，与混凝土的结合方式选择内埋式或采用外贴式；当采用内埋式时，保护层厚度不超过5mm；当采用外贴式时，进行胶接。
- [权利要求 4] 根据权利要求1所述的一种混凝土受拉开裂区自定位与裂缝宽度变化自监测装置，其特征在于，所述的内外导电电极宽度不超过20mm，长度大于所测混凝土部位的宽度，厚度不超过0.5mm。

- [权利要求 5] 根据权利要求1所述的一种混凝土受拉开裂区自定位与裂缝宽度变化自监测装置，其特征在于，所述的电压转换模块(5)为S1105H 高频差分离变送器，最大输入范围0-60V，根据输入电压的大小线性输出0-5v的电压；具体技术参数为：精度：0.2%，响应频率：1KHz，工作温度：-20℃~70℃。
- [权利要求 6] 一种采用权利要求1-5任一所述的自监测装置进行混凝土裂缝宽度变化自监测和开裂区域定位方法，其特征在于，包括以下步骤：
- 第一步，连接线路，将各个元件：直流稳压电源(1)，定值电阻(2)，外导电电极(3)和内导电电极 $a_1 \sim a_n$ ，电压转换模块(5)，数据采集系统(6)，电脑(7)，采用导线(8)与待测混凝土构件(4)连接成闭合回路；
- 第二步，打开直流稳压电源(1)，调节电压至12-60V，混凝土构件(4)开始极化；电脑(7)记录输出电压前，等待20-30分钟直至内导电电极 a_i 与 a_{i+1} 间以及定值电阻(2)两端的输出电压稳定，此时混凝土构件(4)内极化趋于稳定；
- 第三步，对混凝土构件(4)进行加载，电脑(7)开始记录内导电电极 a_i 与 a_{i+1} 间和定值电阻(2)两端的输出电压，得出电阻变化率曲线-时间曲线，进行目标混凝土构件(4)的裂缝监测；具体为通过直接测量混凝土目标区域电阻变化率，判断混凝土受拉区是否出现裂缝、裂缝出现的区域以及裂缝的扩展宽度：
- 当实现混凝土裂缝宽度的自监测时， $n=2$ ，通过获取电阻变化率与裂缝扩展宽度关系，进行数据拟合得到上述二者关系，即通过电阻变化率换算裂缝扩展宽度，即可实现对混凝土构件(4)进行裂缝的自监测；
- 当判断开裂区域或监测裂缝区域时， $n>2$ ，判断目标区域混凝土电阻变化率的关系，电阻上升明显的区段为开裂区段；即可实现对混凝土构件(4)裂缝区段的自定位。

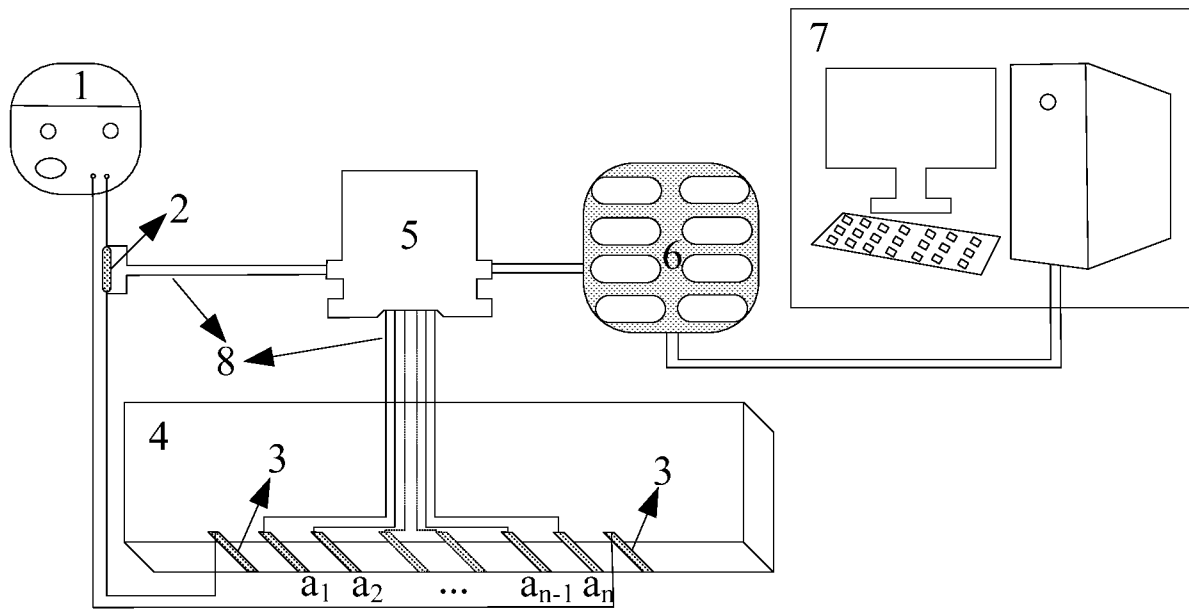


图1

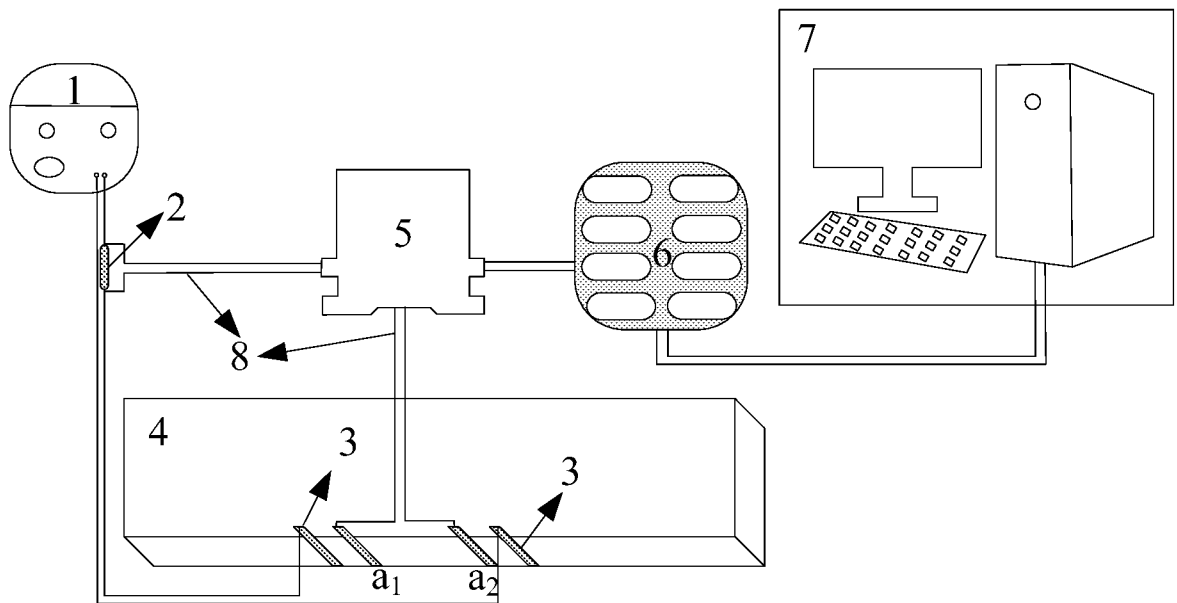


图2

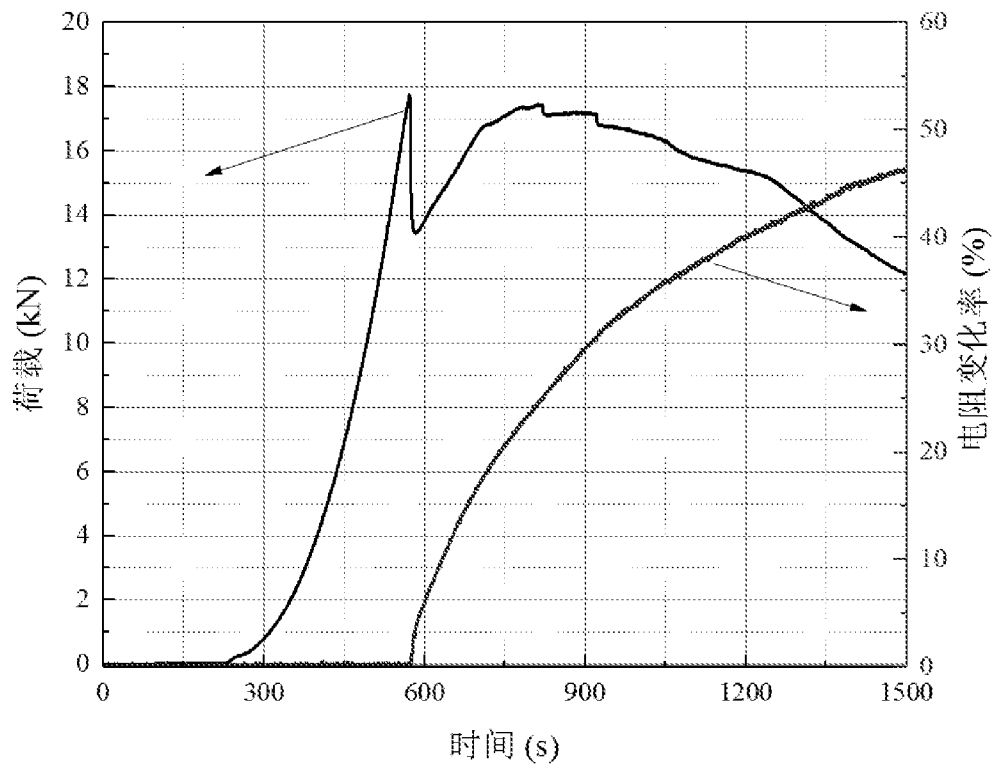


图3

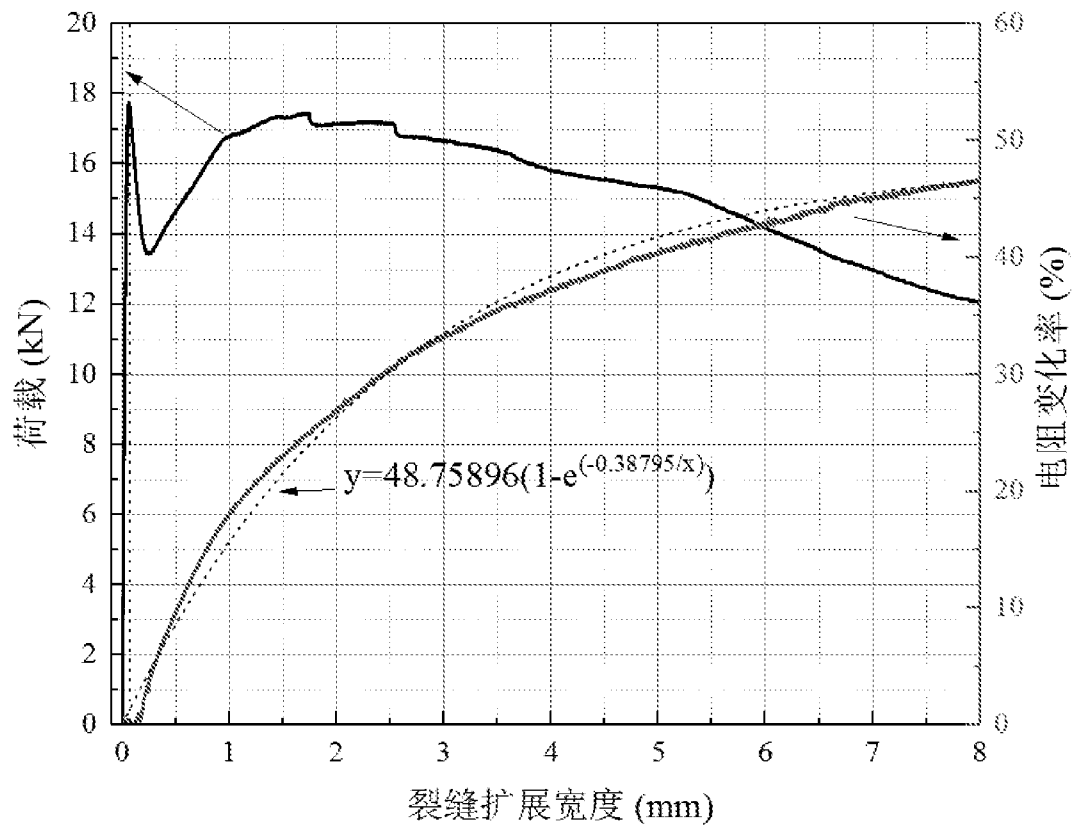


图4

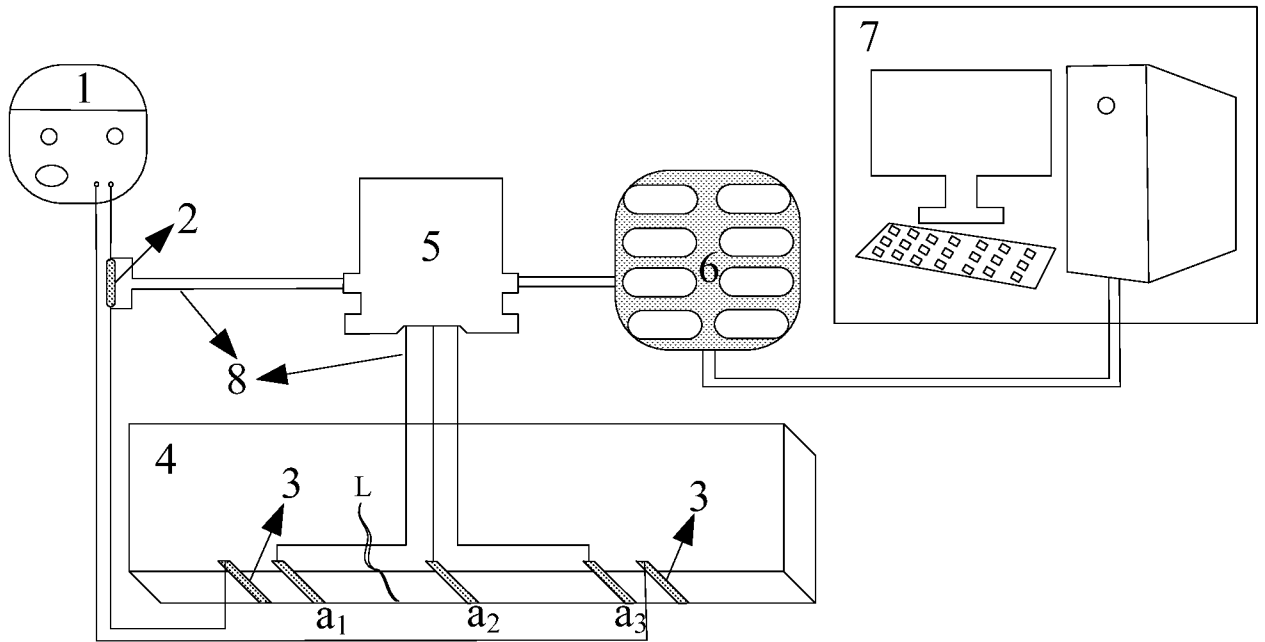


图5

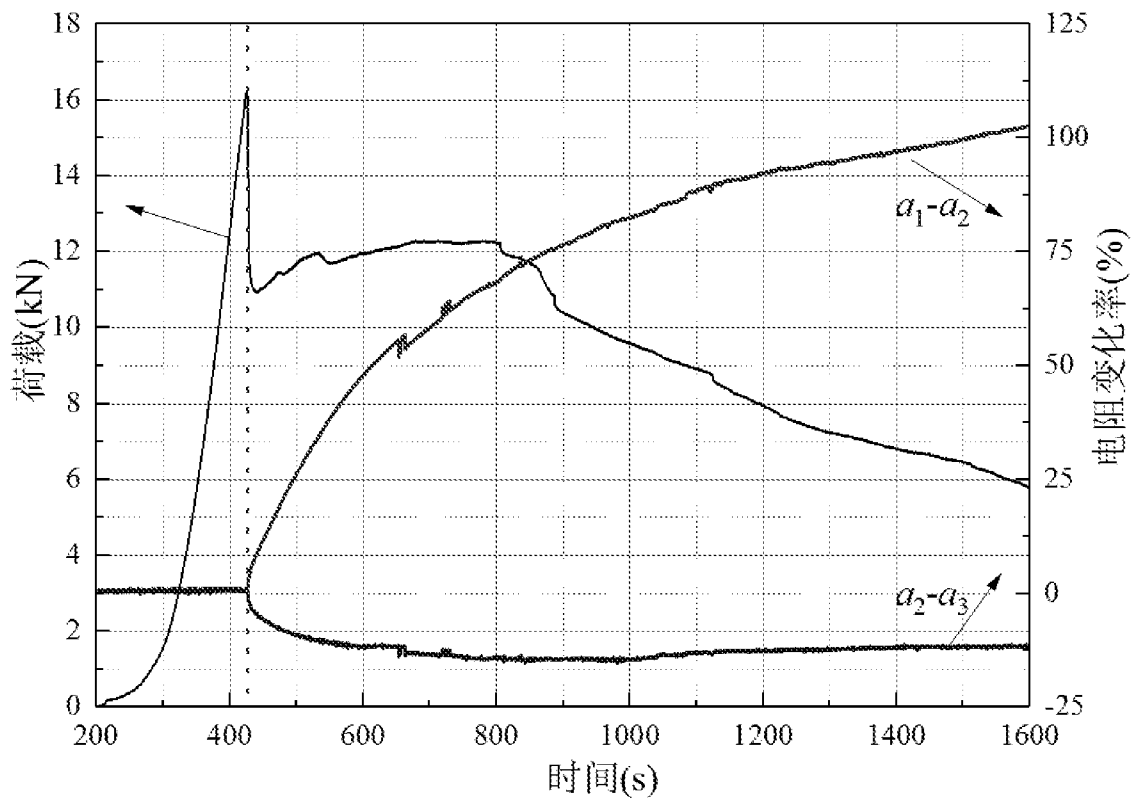


图6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/091011

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 3/06(2006.01)i; G01N 3/08(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)

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)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 裂, 定位, 裂缝, 宽度变化, 监测, 宽度, 电阻, 自定位, 电压, 电流, concrete, tension, cracking, width, monitoring, conversion, electrodes, resistor, voltage

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 110208084 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 06 September 2019 (2019-09-06) description, paragraphs [0002]-[0045], and figures 1-6	1-6
X	CN 203849425 U (CHINA SHENHUA ENERGY COMPANY LIMITED et al.) 24 September 2014 (2014-09-24) description, paragraphs [0001]-[0025], and figures 1-2	1-6
A	CN 206096020 U (ZHEJIANG GUANGCHUAN ENG CONSULTING CO., LTD.) 12 April 2017 (2017-04-12) entire document	1-6
A	CN 109813210 A (CHANG'AN UNIVERSITY) 28 May 2019 (2019-05-28) entire document	1-6
A	CN 106839958 A (SOUTHEAST UNIVERSITY) 13 June 2017 (2017-06-13) entire document	1-6
A	CN 101963591 A (SHANGHAI RESEARCH INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES CO., LTD.) 02 February 2011 (2011-02-02) entire document	1-6



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

22 July 2020

Date of mailing of the international search report

19 August 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

International application No.

PCT/CN2020/091011

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004010338 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 15 January 2004 (2004-01-15) entire document	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2020/091011

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
CN	110208084	A	06 September 2019	CN	210487468 U	08 May 2020
CN	203849425	U	24 September 2014	None		
CN	206096020	U	12 April 2017	None		
CN	109813210	A	28 May 2019	None		
CN	106839958	A	13 June 2017	None		
CN	101963591	A	02 February 2011	CN	101963591 B	16 January 2013
JP	2004010338	A	15 January 2004	None		

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/091011

A. 主题的分类 G01N 3/06(2006.01)i; G01N 3/08(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) 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)) CNPAT, CNKI, WPI, EPDOC: 裂, 定位, 裂缝, 宽度变化, 监测, 宽度, 电阻, 自定位, 电压, 电流, concrete, tension, cracking, width, monitoring, conversion, electrodes, resistor, voltage		
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 110208084 A (大连理工大学) 2019年 9月 6日 (2019 - 09 - 06) 说明书第[0002]-[0045]段、附图1-6	1-6
X	CN 203849425 U (中国神华能源股份有限公司 等) 2014年 9月 24日 (2014 - 09 - 24) 说明书第[0001]-[0025]段、附图1-2	1-6
A	CN 206096020 U (浙江广川工程咨询有限公司) 2017年 4月 12日 (2017 - 04 - 12) 全文	1-6
A	CN 109813210 A (长安大学) 2019年 5月 28日 (2019 - 05 - 28) 全文	1-6
A	CN 106839958 A (东南大学) 2017年 6月 13日 (2017 - 06 - 13) 全文	1-6
A	CN 101963591 A (上海市建筑科学研究院集团有限公司) 2011年 2月 2日 (2011 - 02 - 02) 全文	1-6
A	JP 2004010338 A (MITSUBISHI HEAVY IND. LTD.) 2004年 1月 15日 (2004 - 01 - 15) 全文	1-6
☐ 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 7月 22日		国际检索报告邮寄日期 2020年 8月 19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 传真号 (86-10)62019451		受权官员 刘博 电话号码 86-(10)-53962619

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/091011

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	110208084	A	2019年 9月 6日	CN 210487468 U	2020年 5月 8日
CN	203849425	U	2014年 9月 24日	无	
CN	206096020	U	2017年 4月 12日	无	
CN	109813210	A	2019年 5月 28日	无	
CN	106839958	A	2017年 6月 13日	无	
CN	101963591	A	2011年 2月 2日	CN 101963591 B	2013年 1月 16日
JP	2004010338	A	2004年 1月 15日	无	