

WIPO | PCT

号, Hubei 430074 (CN)。赵军(ZHAO, Jun); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。张业茂(ZHANG, Yemao); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。王延召(WANG, Yanzhao); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。徐吉来(XU, Jilai); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。谢辉春(XIE, Huichun); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。李妮(LI, Ni); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。路遥(LU, Yao); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。刘兴发(LIU, Xingfa); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。倪园(NI, Yuan); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。周兵(ZHOU, Bing); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。胡静竹(HU, Jingzhu); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。贺伟(HE, Wei); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。刘

(57) Abstract: A suspension field mill, and a method for measuring a space electric field. The suspension field mill comprises: a suspension electric field differential induction module (1), a signal processing module (2), a suspension electric field isolation module (3) and an upper computer, wherein the suspension electric field differential induction module (1) is provided with a first induction probe (12) and a second induction probe (13); the first induction probe (12) and the second induction probe (13) are both provided with several electrode pairs; the suspension electric field differential sensing module (1) is further provided with a first driving mechanism (11) and a second driving mechanism (14); the first driving mechanism (11) drives the first induction probe (12) to rotate in a space electric field to generate a first induced current; the second driving mechanism (14) drives the second induction probe (13) to rotate in the space electric field to generate a second induced current; and the signal processing module (2) converts two induction current signals into two direct-current voltage signals, and determines a measurement value of the space electric field according to a difference value between the two direct-current voltage signals. In the present suspension field mill, a first induction probe (12) and a second induction probe (13) having a plurality of pairs of electrodes are provided, thereby greatly improving the frequency of an output signal of the field mill.



震寰 (LIU, Zhenhuan); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路143号, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: 北京派特恩知识产权代理有限公司 (CHINA PAT INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE); 中国北京市海淀区苏州街3号大恒科技大厦南座五层503, Beijing 100080 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))。

(57) 摘要: 一种悬浮场磨仪及空间电场的测量方法, 悬浮场磨仪包括: 悬浮电场差分感应模块(1)、信号处理模块(2)、悬浮电场隔离模块(3)和上位机; 悬浮电场差分感应模块(1)中具有第一感应探头(12)和第二感应探头(13), 第一感应探头(12)和第二感应探头(13)均具有若干电极对; 悬浮电场差分感应模块(1)中还具有第一驱动机构(11)和第二驱动机构(14); 第一驱动机构(11)驱动第一感应探头(12)在空间电场中旋转产生第一感应电流; 第二驱动机构(14)驱动第二感应探头(13)在空间电场中旋转产生第二感应电流; 信号处理模块(2)将两种感应电流信号转换成两种直流电压信号, 并根据两种直流电压信号的差异值确定空间电场的测量值。本悬浮场磨仪, 通过设置具有多对电极的第一感应探头(12)和第二感应探头(13), 大大提升了场磨仪输出信号的频率。

一种悬浮场磨仪及空间电场的测量方法

相关申请的交叉引用

本公开实施例基于申请号为 2023107282582、申请日为 2023 年 06 月 20 日、申请名称为“一种悬浮场磨仪及空间电场的测量方法”的中国专利申请提出,并要求该中国专利申请的
5 优先权,该中国专利申请的全部内容在此以引入方式并入本公开。

技术领域

本公开实施例涉及电力设备技术领域,尤其涉及一种悬浮场磨仪及空间电场的测量方法。

背景技术

- 10 合成电场是直流输电线路电磁环境的重要表征参数,也是引起居民对直流输电工程健康风险焦虑的主要因素之一。为了测量直流输电线路下方的合成电场,目前使用的技术有快门型、振动式和圆柱形三种具有不同结构的场磨仪。其中,快门型和振动式场磨仪需要进行适当的接地处理,才能避免出现由于空间电荷在场磨仪探头上累积而造成的测量偏差现象,因此,其通常被用在测量直流输电线路下方的地面合成电场。
- 15 圆柱形场磨仪则是一种基于变电容测量原理的电场测量装置,已被证实可以用于直流输电线路下方空间合成电场测量,主要采用直流驱动机构驱动传感探头在直流输电线路产生的电场中旋转,再利用外围电路分析传感探头上各感应导体的电通量,来实现空间电场强度的反演。对于传统的圆柱形场磨仪,理论上,直流驱动机构的旋转速度越大,传感探头输出的交变电压信号的频率越高,场磨仪的测量范围越大,测量精度也越高。然而,高
20 转速直流驱动机构的设置,显著增加了场磨仪的制造成本和维护难度,并且加快了仪器的磨损,使得场磨仪的使用寿命大大缩短;另一方面,圆柱形的结构在使用时很难被固定,而且极易因为支撑处理不当而发生晃动,甚至跌落,而造成场磨仪被损坏。

发明内容

- 本公开实施例提出了一种悬浮场磨仪及空间电场的测量方法,旨在解决现有悬浮场磨
25 仪中由于电机转速过高导致的仪器磨损概率较高,以及整个装置结构不稳定的问题。

本公开实施例提出了一种悬浮场磨仪,包括:悬浮电场差分感应模块、信号处理模块、

悬浮电场隔离模块和上位机；其中，

所述悬浮电场差分感应模块中具有第一感应探头和第二感应探头，所述第一感应探头和所述第二感应探头均具有若干电极对；

所述悬浮电场差分感应模块中还具有第一驱动机构和第二驱动机构；所述第一驱动机构与
5 所述第一感应探头相连，用于以第一预设转速驱动所述第一感应探头在空间电场中旋转，以产生第一感应电流；所述第二驱动机构与所述第二感应探头相连，用于以不同于所述第一预设转速的第二预设转速驱动所述第二感应探头在空间电场中旋转，以产生第二感应电流；

所述信号处理模块设置在所述悬浮电场差分感应模块底部，用以为所述悬浮电场差分
10 感应模块提供底部支撑，并将所述悬浮电场差分感应模块产生的所述第一感应电流信号和第二感应电流信号分别转换成预设幅值范围的第一直流电压信号和第二直流电压信号；所述上位机与所述信号处理模块连接，用以接收所述信号处理模块发送的第一直流电压信号和第二直流电压信号，并根据所述第一直流电压信号和所述第二直流电压信号的差异值确定空间电场的测量值；

15 所述悬浮电场隔离模块设置在所述信号处理模块上方，并盖设于所述悬浮电场差分感应模块的顶部，用以密封所述信号处理模块及所述悬浮电场差分感应模块。

在一些实施例中，上述悬浮场磨仪中，所述悬浮电场差分感应模块包括：绝缘支撑架、第一驱动机构、第二驱动机构、第一感应探头和第二感应探头；其中，

所述第一驱动机构和所述第二驱动机构间隔设置在所述绝缘支撑架的底壁上，所述第
20 一驱动机构的第一输出轴和所述第二驱动机构的第二输出轴分别穿过所述绝缘支撑架中相对设置的两侧壁并向外延伸；

所述第一感应探头和所述第二感应探头分别同轴套接在所述第一输出轴和所述第二输出轴位于所述绝缘支撑架外侧的部分；

所述第一输出轴上远离所述绝缘支撑架的一端设置有第一汇流环，所述第一汇流环位
25 于所述第一感应探头的内部，并与所述第一感应探头电连接，用以将所述第一感应探头产生的感应电流传输至所述信号处理模块中；所述第二输出轴上远离所述绝缘支撑架的一端设置有第二汇流环；所述第二汇流环位于所述第二感应探头内部，并与所述第二感应探头电连接，用以将所述第二感应探头产生的感应电流传输至所述信号处理模块中。

在一些实施例中，上述悬浮场磨仪中，所述悬浮电场差分感应模块还包括：第一参考
30 信号发生单元和第二参考信号发生单元；其中，

所述第一参考信号发生单元设置在所述第一汇流环的一侧，且与所述绝缘支撑架的第

一侧壁的外表面相连接，用以产生与所述第一感应探头产生的感应电流同频率的方波信号；

所述第二参考信号发生单元设置在所述第二汇流环的一侧，且与所述绝缘支撑架的第二侧壁的外表面相连接，用以产生与所述第二感应探头产生的感应电流同频率的方波信号。

5 在一些实施例中，上述悬浮场磨仪中，所述第一参考信号发生单元包括：第一光电传感器和第一同步光栅；其中，

所述第一光电传感器设置在所述绝缘支撑架的第一侧壁外部，且所述第一光电传感器的光电槽开口方向朝向所述第一输出轴；所述第一同步光栅垂直设置在所述第一输出轴上，且所述第一同步光栅正对所述第一光电传感器的光电槽口设置。

10 在一些实施例中，上述悬浮场磨仪中，所述第二参考信号发生单元包括：第二光电传感器和第二同步光栅；其中，

所述第二光电传感器设置在所述绝缘支撑架的第二侧壁外部，且所述第二光电传感器的光电槽开口方向朝向所述第二输出轴；所述第二同步光栅垂直设置在所述第二输出轴上，且所述第二同步光栅正对所述第二光电传感器的光电槽口设置。

15 在一些实施例中，上述悬浮场磨仪中，所述第一感应探头和所述第二感应探头均包括：支撑体、成对设置的第一指型电极和第二指型电极；其中，

所述支撑体呈中空柱状结构，其一端开口，该开口端朝向所述悬浮电场差分感应模块的绝缘支撑架的侧壁设置；所述支撑体的另一端设置有封盖；

各所述第一指型电极和各所述第二指型电极相间设置在所述支撑体的外壁上；

各所述第一指型电极的一端设置有第一连接部，用以将各所述第一指型电极串联起来；

20 各所述第二指型电极上与所述第一连接部相对的一端设置有第二连接部，用以将各所述第二指型电极串联起来。

在一些实施例中，上述悬浮场磨仪中，所述第一指型电极和所述第二指型电极均呈矩形、三角形、椭圆形或梯形。

25 在一些实施例中，上述悬浮场磨仪中，所述第一指型电极与所述第二指型电极之间、所述第一连接部与所述第一指型电极、所述第二连接部与所述第一指型电极之间均具有预设间隙。

在一些实施例中，上述悬浮场磨仪中，每个所述第一指型电极和每个所述第二指型电极形成的各个电极对的两端分别套设有第一绝缘护层和第二绝缘护层。

30 在一些实施例中，上述悬浮场磨仪中，所述信号处理模块包括：绝缘外壳及置于所述绝缘外壳内的信号处理电路、电源转换电路、可充电电池和无线通信电路；其中，

所述绝缘外壳为一端开口的箱体结构，其上开设有若干连接孔，用以与所述悬浮电场

差分感应模块相连接；

电源转换电路的输入端与所述可充电电池连接，以将其中输出的电压信号转换成预设幅值的电压信号；

所述电源转换电路的输出端分别与所述信号处理电路、所述无线通信电路、所述第一
5 驱动机构和所述第二驱动机构电气连接，用于向各部件传输电能；

所述信号处理电路的输入端与所述悬浮电场差分感应模块连接，所述信号处理电路的输出端与所述无线通信电路连接，用于将所述悬浮电场差分感应模块感应的感应电流信号转换预设幅值范围的直流电压信号，并将该直流电压信号传输至所述无线通信电路；

所述无线通信电路与上位机相连，用以将所述直流电压信号传输至所述上位机。

10 本公开实施例中的悬浮场磨仪，通过设置具有多个电极对的第一感应探头和第二感应探头对空间电场进行切割，从而产生较高频率的感应电流信号，大大提升了场磨仪输出信号的频率，在提高测量精度的同时降低了场磨仪的制造与维护成本；有利于减少仪器损耗，延长仪器的使用寿命；将信号处理模块设置在悬浮电场差分感应模块的底部作为整个装置的支撑，提高了场磨仪的结构稳定性；此外，设置悬浮电场隔离模块，对信号处理模块和
15 悬浮电场差分感应模块进行隔离密封，可以降低电场对悬浮场磨仪内部部件造成的干扰，有利于进一步提高测量精度。

本公开实施例还提出了一种利用上述悬浮场磨仪对空间电场进行测量的方法，包括以下步骤：

利用悬浮电场差分感应模块中的第一驱动机构以第一预设转速驱动具有若干电极对的第一感应探头在空间电场中旋转，以产生第一感应电流；利用悬浮电场差分感应模块中的
20 第二驱动机构以不同于第一预设转速的第二预设转速驱动具有若干电极对的第二感应探头在空间电场中旋转，以产生第二感应电流；

利用信号处理模块将所述第一感应电流和所述第二感应电流分别转化为预设幅值范围的第一直流电压信号和第二直流电压信号；

25 基于所述第一直流电压信号和所述第二直流电压信号之间的差异值计算所述空间电场的测量值。

在一些实施例中，上述空间电场的测量方法中，所述空间电场的测量值根据下式确定：

$$E = \frac{U_1 - U_2}{4 \cdot k_a \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \delta(N) \cdot (\omega_2 - \omega_1)};$$

$$\delta(N) = \left\{ \left| \sin \frac{(N+1)\pi}{4} \right| \cdot \left[1 + 2 \cdot \sum_{k=0}^{\frac{N-1}{4}} \sin \frac{(4k-3)\pi}{2N} + 2 \cdot \sin \frac{3\pi}{2N} \right] + \left| \sin \frac{(N-1)\pi}{4} \right| \cdot \sum_{k=1}^{\frac{N+1}{4}} \left[2 \cdot \sin \left(\frac{(4k-3)\pi}{2N} \right) \right] \right\};$$

其中, E 为空间电场的电场强度; k_a 为电流-电压转换系数; U_1 和 U_2 分别为第一感应探头和第二感应探头输出电压信号的幅值; a 为多第一感应探头或第二感应探头的半径; L 为第一感应探头或第二感应探头中电极的长度; ε_0 为真空介电常数; ω_1 和 ω_2 分别为第一
5 感应探头和第二感应探头的转速; N 为第一感应探头或第二感应探头中电极对的个数, 且 N 为大于等于 1 的正整数; k 为与电极对个数 N 相关的无量纲自增量。

在一些实施例中, 上述空间电场的测量方法中, 所述第一感应电流或所述第二感应电流与所述空间电场的电场强度之间的关系如下:

$$i_c = \frac{dQ}{dt} = \begin{cases} -4 \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \omega \cdot \sin(N\omega t), N=1 \\ -4 \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \omega \cdot \left\{ 1 + \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{4}} \left[2 \cdot \cos \left(\frac{(N-4k+3)\pi}{2N} \right) \right] \right\} \cdot \sin(N\omega t), \frac{N-1}{4} \text{ 为正整数} \\ -4 \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \omega \cdot \sum_{k=1}^{\frac{N+1}{4}} \left[2 \cdot \cos \left(\frac{(N-4k+3)\pi}{2N} \right) \right] \cdot \sin(N\omega t), \frac{N+1}{4} \text{ 为正整数} \end{cases}$$

10

其中, i_c 为第一感应电流或第二感应电流; a 为多第一感应探头或第二感应探头的半径; L 为第一感应探头或第二感应探头中电极的长度; ε_0 为真空介电常数; ω 为第一感应探头或第二感应探头的转速; E 为空间电场的电场强度; Q 为第一感应探头或第二感应探头的感应电荷量; t 为时间; N 为第一感应探头或第二感应探头中电极对的个数, 且 N 为大于等于 1 的正整数, k 为与电极对个数 N 相关的无量纲自增量。

15

本公开实施例提供的空间电场的测量方法, 通过悬浮电场差分感应模块中的第一驱动机构和第二驱动机构分别以不同转速驱动具有若干电极对的第一感应探头和第二感应探头, 以通过电极对切割电场, 产生不同的第一感应电流和第二感应电流, 利用信号处理模块将第一感应电流和第二感应电流分别转化为预设幅值范围的直流电压信号和第二直流电压信号, 基于第一直流电压信号和第二直流电压信号之间的差异值计算空间电场的测量值,
20 为浮场磨仪测量空间电场值提供了理论依据, 有利于提高空间电场值的测量精度。

附图说明

通过阅读下文优选实施方式的详细描述, 各种其他的优点和益处对于本领域普通技术

人员将变得清楚明了。附图仅用于示出优选实施方式的目的，而并不认为是对本公开实施例的限制。而且在整个附图中，用相同的参考符号表示相同的部件。在附图中：

图 1 为本公开实施例提供的一种悬浮场磨仪的结构示意图；

图 2 为本公开实施例提供的一种悬浮场磨仪的剖面图；

5 图 3 为本公开实施例提供的一种悬浮场磨仪中信号处理模块的结构示意图；

图 4 为本公开实施例提供的一种悬浮场磨仪中信号处理模块的俯视图；

图 5 为本公开实施例提供的一种悬浮场磨仪中悬浮电场差分感应模块的剖面示意图；

图 6 为本公开实施例提供的一种悬浮场磨仪中第一感应探头或第二感应探头的结构示意图；

10 图 7 为图 6 中的 A-A'处的展开图；

图 8 为本公开实施例提供的一种悬浮场磨仪的中第一感应探头或第二感应探头的又一结构示意图；

图 9 为图 8 中的 B-B'处的展开图；

图 10 为本公开实施例提供的一种悬浮场磨仪的中悬浮电场隔离模块的结构示意图。

15 具体实施方式

下面将参照附图更详细地描述本公开的示例性实施例。虽然附图中显示了本公开的示例性实施例，然而应当理解，可以以各种形式实现本公开而不应被这里阐述的实施例所限制。相反，提供这些实施例是为了能够更透彻地理解本公开，并且能够将本公开的范围完整的传达给本领域的技术人员。需要说明的是，在不冲突的情况下，本公开实施例中的实
20 施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本公开实施例。

参阅图 1（悬浮场磨仪的结构示意图）和图 2（悬浮场磨仪的剖面示意图），本公开实施例的悬浮场磨仪包括：悬浮电场差分感应模块 1、信号处理模块 2、悬浮电场隔离模块 3 和上位机（图中未示出）；其中，所述悬浮电场差分感应模块 1 中具有第一感应探头 12 和
25 第二感应探头 13，所述第一感应探头 12 和所述第二感应探头 13 均具有若干电极对；所述悬浮电场差分感应模块 1 中还具有第一驱动机构 11 和第二驱动机构 14；所述第一驱动机构 11 与所述第一感应探头 12 相连，用于以第一预设转速驱动所述第一感应探头 12 在空间电场中旋转，以产生第一感应电流；所述第二驱动机构 14 与所述第二感应探头 13 相连，用于以不同于所述第一预设转速的第二预设转速驱动所述第二感应探头 13 在空间电场中旋
30 转，以产生第二感应电流；所述信号处理模块 2 设置在所述悬浮电场差分感应模块 1 底部，

用以作为所述悬浮电场差分感应模块 1 提供底部支撑，并将所述悬浮电场差分感应模块 1 产生的所述第一感应电流信号和第二感应电流信号分别转换成预设幅值范围的第一直流电压信号和第二直流电压信号；上位机与所述信号处理模块 2 连接，用以接收所述信号处理模块 2 发送的第一直流电压信号和第二直流电压信号，并根据所述第一直流电压信号和所述
5 第二直流电压信号的差异值确定空间电场的测量值；所述悬浮电场隔离模块 3 设置在所述信号处理模块 2 上方，并盖设于所述悬浮电场差分感应模块 1 的顶部，用以密封所述信号处理模块 2 及所述悬浮电场差分感应模块 1。

在一些实施例中，信号处理模块 2 可以为一端开口的矩形或方形腔体，便于将悬浮电场差分感应模块 1 和悬浮电场隔离模块 3 稳定可靠的安装在其上，也就是说上半部分为悬
10 浮电场差分感应模块 1，下半部分为方形结构的信号处理模块 2，从而利用信号处理模块 2 的自重降低场磨仪的重心，相较于底部为弧面的场磨仪而言，提高了场磨仪的结构稳定性。

在一些实施例中，信号处理模块 2 开口端的壁面上可以开设有若干螺孔，用于配合固定悬浮电场差分感应模块 1 和悬浮电场隔离模块 3。悬浮电场差分感应模块 1 中，第一驱动机构 11 可以为电机，第二驱动机构 14 也可以为电机。第一驱动机构 11 和第二驱动机构 14
15 分别驱动第一感应探头 12 和第二感应探头 13 同时旋转，且二者的转速不同。

由于驱动机构的转速很难保持持续稳定，且大气中的粒子流容易产生干扰电荷，本实施例中的悬浮电场差分感应模块 1 中选用第一感应探头 12 和第二感应探头 13 两个探头。第一感应探头 12 和第二感应探头 13 均具有至少一个电极对，每个电极对中具有两种电极，以形成正、负电极。在一些实施例中，第一感应探头 12 和第二感应探头 13 均具有的电极
20 对个数大于等于 2。在一些实施例中，第一感应探头 12 和第二感应探头 13 均为圆柱形结构。

信号处理模块 2 与第一感应探头 12 和第二感应探头 13 电气连接，用于采集第一感应探头 12 和第二感应探头 13 产生的感应电流信号，并将获取的信号进行转化成对应的第一直流电压信号和第二直流电压信号。

信号处理模块 2 接收第一感应探头 12 和第二感应探头 13 产生的感应电流，并将各自
25 产生的感应电流信号转化为第一直流电压信号和第二直流电压信号。上位机接收信号处理模块发送的第一直流电压信号和第二直流电压信号，利用计算模块中存储的第一直流电压信号和第二直流电压信号的差异值与空间电场的场强的关系式确定空间电场的场强测量值。第一感应探头 12 和第二感应探头 13 可以为圆柱形结构。

本实施例中，第一驱动机构 11 和第二驱动机构 14 的转速不同，当转速不同的第一感
30 应探头 12 和第二感应探头 13 在同一个电场中工作时，两个探头的输出电压信号经减法电

路进行相减处理 ($U_1 - U_2$), 即可消除掉空间中自由带电粒子吸附在感应探头上产生的干扰。相减处理的信号即为整个悬浮场磨仪中探头的输出信号, 该输出信号与空间电场的电场强度 E 成正比, 关系式如下:

$$E = \frac{U_1 - U_2}{4 \cdot k_a \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \delta(N) \cdot (\omega_2 - \omega_1)};$$

$$\delta(N) = \left\{ \left| \sin \frac{(N+1)\pi}{4} \right| \cdot \left[1 + 2 \cdot \sum_{k=0}^{N-1} \sin \frac{(4k-3)\pi}{2N} + 2 \cdot \sin \frac{3\pi}{2N} \right] + \left| \sin \frac{(N-1)\pi}{4} \right| \cdot \sum_{k=1}^{N+1} \left[2 \cdot \sin \left(\frac{(4k-3)\pi}{2N} \right) \right] \right\};$$

其中, E 为空间电场的电场强度; k_a 为电流-电压转换系数; U_1 和 U_2 分别为第一感应探头 12 和第二感应探头 13 输出电压信号的幅值; a 为多第一感应探头 12 或第二感应探头 13 的半径; L 为第一感应探头 12 或第二感应探头 13 中电极的长度; ε_0 为真空介电常数; ω_1 和 ω_2 分别为第一感应探头 12 和第二感应探头 13 的转速; N 为第一感应探头或第二感应探头中电极对的个数, 且 N 为大于等于 1 的正整数, k 为与电极对个数 N 相关的无量纲自增量。经过上式计算处理, 即可得到相应的电场测量值。在一些实施例中, 为了便于计算, 通过信号处理电路 22 将感应电流信号转化为电压信号进行输出并计算。

由于感应电流 i_c 与空间电场的电场强度 E 的关系为: 为正整数

$$i_c = \frac{dQ}{dt} = \begin{cases} -4 \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \omega \cdot \sin(N\omega t), N=1 \\ -4 \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \omega \cdot \left\{ 1 + \sum_{k=1}^{N-1} \left[2 \cdot \cos \left(\frac{(N-4k+3)\pi}{2N} \right) \right] \right\} \cdot \sin(N\omega t), \frac{N-1}{4} \text{ 为正整数} \\ -4 \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \omega \cdot \sum_{k=1}^{N+1} \left[2 \cdot \cos \left(\frac{(N-4k+3)\pi}{2N} \right) \right] \cdot \sin(N\omega t), \frac{N+1}{4} \text{ 为正整数} \end{cases}$$

上面三式中, a 为多第一感应探头 12 或第二感应探头 13 的半径; L 为第一感应探头 12 或第二感应探头 13 中电极的长度; ε_0 为真空介电常数; ω 为第一感应探头 12 或第二感应探头 13 的转速; E 为空间电场的电场强度; Q 为第一感应探头或第二感应探头的感应电荷量; t 为时间; N 为第一感应探头 12 或第二感应探头 13 中电极对的个数, N 为大于等于 1 的正整数, 那么每对电极中就至少有两个电极; k 为与电极对个数 N 相关的无量纲自增量。

因此, 采用分别具有 N 个电极对组成的第一感应探头 12 和第二感应探头 13, 即使驱

动机构转速只有传统悬浮场磨仪的驱动机构转速的 $1/N$ ，也能获得与传统悬浮场磨仪频率相当的输出信号。在一些实施例中，当驱动机构转速与传统悬浮场磨仪驱动机构转速相当时，本实施例中，感应探头获得的输出信号频率是传统悬浮场磨仪输出信号频率的 N 倍，从而达到提高悬浮场磨仪测量范围和精度的效果。

5 在一些实施例中，参阅图 3（信号处理模块的结构示意图）和图 4（信号处理模块的俯视图），所述信号处理模块 2 包括：绝缘外壳 21 及置于所述绝缘外壳 21 内的信号处理电路 22、电源转换电路 23、可充电电池 24 和无线通信电路 25；其中，所述绝缘外壳 21 为一端开口的箱体结构，其上开设有若干连接孔 211，用以与所述悬浮电场差分感应模块 1 相连接；电源转换电路 23 的输入端与所述可充电电池 24 连接，以将其中输出的电压信号转换成预
10 设幅值的电压信号；所述电源转换电路 23 的输出端分别与所述信号处理电路 22、所述无线通信电路 25、所述第一驱动机构 11 和所述第二驱动机构 14 电气连接，用于向各部件传输电能；所述信号处理电路 22 的输入端与所述悬浮电场差分感应模块 1 连接，所述信号处理电路 22 的输出端与所述无线通信电路 25 连接，用于将所述悬浮电场差分感应模块 1 感应的电场信号转换成预设幅值范围的直流电压信号，并将该直流电压信号传输至所述无线通
15 信电路 25；所述无线通信电路 25 与上位机相连，用以将所述直流电压信号传输至上位机。

在一些实施例中，箱体可以为矩形或方形，其开口端的各壁面上开设有若干螺纹孔，可以与悬浮电场差分感应模块 1 和悬浮电场隔离模块 3 相连接，从而能有效保障场磨仪工作时不晃动，减少了场磨仪工作时，由于晃动导致的测量结果不准的现象，以及有效降低了因晃动而发生跌落，造成场磨仪被损坏的概率。信号处理模块 2 的绝缘外壳 21 的侧壁上
20 开设有电源充电接口 212 和电源开关按钮窗口 213，分别用于接充电电池充电端子和开关按钮端子。

继续参阅图 4 和图 3，可充电电池 24 放置于信号处理模块 2 的绝缘外壳 21 内，其左侧紧贴绝缘外壳 21 的内壁，右侧紧靠信号处理电路 22，前侧为电源转换电路 23，后侧为无线通信电路 25。

25 其中，可充电电池 24 为容量不低于 3Ah，输出电压为 24V，且可通过外接市电进行充电的能量模块。本实施例中，采用可充电电池 24 供电，以便测量空域电场，减少接线供电对测量空间高度的影响，也可以很好的降低在场磨仪置于电场中时引入地线形成的电场，导致原来电场的改变，而影响测量结果的准确性。

信号处理电路 22 可以将悬浮电场差分感应模块 1 感应的感应电流信号转换成幅值范围
30 为 0 至 +3.3V 的直流电压信号，并通过导线将该信号传输至无线通信电路 25。在一些实施例中，信号处理电路 22 可以包括：I-V 转换子电路、放大与滤波子电路、相敏检波子电路

等。

无线通信电路 25 用于将信号处理电路 22 的输出信号无损传输至上位机。

所述电源转换电路 23 与位于电源充电接口 212 的充电电池充电端子和位于电源开关按钮窗口 213 的开关按钮端子通过导线进行电气连接, 开启开关按钮, 电源转换电路 23 接通, 由可充电电池 24 开始向电源转换电路 23 供电。电源转换电路 23 与可充电电池 24 连接, 将可充电电池 24 输出的 24V 转换成+21V、+14V、+5V、+3.3V 和-5V 等不同幅值电压, 用于驱动无线通信电路 25 和信号处理电路 22 中的电子元器件正常工作。

电源转换电路 23 还通过导线与悬浮电场差分感应模块 1 中的第一驱动机构 11 和第二驱动机构 14 进行电气连接, 用于驱动第一驱动机构 11 和第二驱动机构 14 以不同速度旋转。

参阅图 10 (悬浮电场隔离模块的结构示意图) 和图 1, 本实施例中, 悬浮电场隔离模块 3 可以为圆弧形结构, 例如为 U 型结构, 其盖设在悬浮电场差分感应模块 1 的绝缘支撑架 10 的两侧壁之间, 且悬浮电场隔离模块 3 的两端通过螺栓与信号处理模块 2 连接, 以与信号处理模块 2 和悬浮电场差分感应模块 1 形成 T 型封闭结构, 降低电场对悬浮场磨仪内部的各部件造成的干扰。悬浮电场隔离模块 3 的两侧分别开设有若干螺孔 31, 用以通过螺栓与信号处理模块 2 和悬浮电场差分感应模块 1 连接。在一些实施例中, 悬浮电场隔离模块 3 可以采用聚四氟乙烯、聚丙烯等非极性材料制成。在一些实施例中, 悬浮电场隔离模块 3 顶部最高处与悬浮电场差分感应模块 1 的最高处重合。

上述可以得出, 本实施例中提供的悬浮场磨仪, 通过设置具有多个电极对的第一感应探头和第二感应探头对空间电场进行切割, 从而产生较高频率的感应电流信号, 大大提升了场磨仪输出信号的频率, 在提高测量精度的同时降低了场磨仪的制造与维护成本; 有利于减少仪器损耗, 延长仪器的使用寿命; 将信号处理模块设置在悬浮电场差分感应模块的底部作为整个装置的支撑, 提高了场磨仪的结构稳定性; 此外, 设置悬浮电场隔离模块, 对信号处理模块和悬浮电场差分感应模块进行隔离密封, 可以降低电场对悬浮场磨仪内部部件造成的干扰, 有利于进一步提高测量精度。

结合图 2 和图 5 (悬浮电场差分感应模块的剖面示意图), 上述实施例中, 所述悬浮电场差分感应模块 1 包括: 绝缘支撑架 10、第一驱动机构 11、第二驱动机构 14、第一感应探头 12 和第二感应探头 13; 其中, 所述第一驱动机构 11 和所述第二驱动机构 14 间隔设置在所述绝缘支撑架 10 的底壁上, 所述第一驱动机构 11 的第一输出轴和所述第二驱动机构 14 的第二输出轴分别穿过所述绝缘支撑架 10 中相对设置的两侧壁并向外延伸; 所述第一感应探头 12 和所述第二感应探头 13 分别同轴套接在所述第一输出轴和所述第二输出轴位于所述绝缘支撑架 10 外侧的部分; 所述第一输出轴上远离所述绝缘支撑架 10 的一端设置有第

一汇流环 15, 且所述第一汇流环 15 位于所述第一感应探头 12 的内部并与所述第一感应探头 12 电连接, 用以将所述第一感应探头 12 产生的感应电流传输至所述信号处理模块 2 中; 所述第二输出轴上远离所述绝缘支撑架 10 的一端设置有第二汇流环 16; 且所述第二汇流环 16 位于所述第二感应探头 13 内部并与所述第二感应探头 13 电连接, 用以将所述第二感应探头 13 产生的感应电流传输至所述信号处理模块 2 中。

在一些实施例中, 绝缘支撑架 10 可以为“凹”字型结构, 绝缘支撑架 10 通过螺栓与信号处理模块 2 上的螺孔配合, 固定在信号处理模块 2 上, 使信号处理模块 2 的腔体密封。

第一驱动机构 11 和第二驱动机构 14 的本体分别通过螺栓同轴固定在悬浮电场差分感应模块 1 的绝缘支撑架 10 的底壁上。

10 第一驱动机构 11 和第二驱动机构 14 均为电机, 绝缘支撑架 10 的两个相对设置的侧壁上分别开设有通道, 以安装第一驱动机构 11 的第一输出轴和第二驱动机构 14 的第二输出轴。第一感应探头 12 和第二感应探头 13 沿轴向分别套接于第一输出轴和第二输出轴位于绝缘支撑架 10 外侧的部分, 第一感应探头 12 和第二感应探头 13 的轴向长度分别小于第一输出轴和第二输出轴的长度。

15 第一输出轴和第二输出轴上分别套接有竖直设置的第一汇流环 15 和第二汇流环 16; 第一汇流环 15 位于第一感应探头 12 内部且与第一感应探头 12 同轴设置, 第二汇流环 16 位于第二感应探头 13 内部且与第二感应探头 13 同轴设置。第一汇流环 15 的定子端与第一感应探头 12 随第一输出轴一起旋转, 第一汇流环 15 的定子端与第一感应探头 12 的电极对通过导线连接, 以传输第一感应探头 12 产生的感应电流; 第二汇流环 16 的定子端与第二感应探头 13 随第二输出轴一起旋转, 第二汇流环 16 的定子端与第二感应探头 13 的电极对通过导线连接, 以传输第二感应探头 13 产生的感应电流。

25 参阅图 6 (第一感应探头或第二感应探头的结构示意图) 和图 7 (图 6 中的 A-A' 处的展开图), 上述实施例中, 所述第一感应探头 12 和所述第二感应探头 13 均包括: 支撑体 100、成对设置的第一指型电极 101 和第二指型电极 102; 其中, 所述支撑体 100 呈中空柱状结构, 其一端开口, 该开口端朝向所述悬浮电场差分感应模块 1 的绝缘支撑架 10 的侧壁设置; 所述支撑体 100 的另一端设置有图 2 所示的封盖 103; 各所述第一指型电极 101 和各所述第二指型电极 102 相间设置在所述支撑体 100 的外壁上; 如图 8 所示, 各所述第一指型电极 101 的一端设置有第一连接部 104, 用以将各所述第一指型电极 101 串联起来; 各所述第二指型电极 102 上与所述第一连接部 104 相对的一端设置有第二连接部 105, 用以将各所述第二指型电极 102 串联起来。

在一些实施例中, 如图 6 所示, 支撑体 100 可以为一侧开口的中空圆柱或方形柱状结

构,用来支撑第一指型电极 101 和第二指型电极 102,使第一指型电极 101 和第二指型电极 102 能够分别在第一驱动机构 11 和第二驱动机构 14 的驱动下转动。支撑体 100 的壁厚可以为 1 毫米 (mm)。支撑体 100 可以由聚四氟乙烯、聚丙烯等非极性材料制成。

参阅图 8 (第一感应探头或第二感应探头的又一结构示意图) 和图 9 (图 8 中的 B-B' 5 处的展开图),各第一指型电极 101 和第二指型电极 102 成对设置,沿着支撑体 100 周向相间设置,围设成中空柱状结构,用于感应空间悬浮电场的有效感知区域。在一些实施例中,各第一指型电极 101 和各第二指型电极 102 可以通过螺栓或胶粘剂分别紧固在第一感应探头 12 和第二感应探头 13 的支撑体 100 上。

第一指型电极 101 和第二指型电极 102 可以均由不锈钢或黄铜等金属导电材料制成。
10 相邻两个第一指型电极 101 与第一连接部 104 之间围设成一“凹”形结构,每个第二指型电极 102 与其端部两侧的第二连接部 105 形成“凸”形结构,对应的“凸”形结构插设在对应的“凹”形结构中。

第一感应探头 12 的第一指型电极 101 及第二指型电极 102 的数量与第二感应探头 13 的相同。两个相对的第一指型电极 101 与第二指型电极 102 形成电容,以便测量电场信号。

15 所述第一指型电极 101 和所述第二指型电极 102 均呈矩形、三角形、椭圆形或梯形。在一些实施例中,所述第一指型电极 101 和所述第二指型电极 102 均为矩形,有利于增加第一指型电极 101 和第二指型电极 102 在支撑体 100 上所占的面积,进而有利于增加对空间电场的有效感应面积。所述第一指型电极 101 与所述第二指型电极 102 之间、所述第一连接部 104 与所述第一指型电极 101、所述第二连接部 105 与所述第一指型电极 101 之间均
20 具有预设间隙。在一些实施例中,该预设间隙不小于等于 1mm。在一些实施例中,该预设间隙为 1mm。

本实施例中,所述第一连接部 104 和所述第二连接部 105 均呈环状结构。第一连接部 104 可以控制各第一指型电极 101 保持等电位;第二连接部 105 可以控制各第二指型电极 102 保持等电位。在一些实施例中,第一连接部 104 可以与各第一指型电极 101 一体成型;
25 第二连接部 105 可以与各第二指型电极 102 一体成型。

实施时,第一感应探头 12 和第二感应探头 13 的支撑体 100 的开口端与悬浮电场差分感应模块 1 的绝缘支撑架 10 的第一侧壁外表面之间的间隙可以不大于 1mm,第二感应探头 13 和第二感应探头 13 的支撑体 100 的开口端与悬浮电场差分感应模块 1 的绝缘支撑架 10 的第二侧壁外表面之间的间隙可以不大于 1mm,一方面减少第一感应探头 12 和第二感应探头 13 旋转时与绝缘支撑架 10 产生摩擦,另一方面降低第一感应探头 12 和第二感应探头 13
30 与绝缘支撑架 10 之间的间隙过大而造成第一驱动机构 11 和第二驱动机构 14 的输出轴上的

部件外露的问题。

第一感应探头 12 的封盖 103 和第二感应探头 13 的封盖 103 分别设置在第一驱动机构 11 的第一输出轴和第二驱动机构 14 的第二输出轴上。在一些实施例中，第一感应探头 12 的封盖 103 和第二感应探头 13 的封盖 103 分别同轴固定在第一驱动机构 11 的第一输出轴
5 和第二驱动机构 14 的第二输出轴上。

第一感应探头 12 的封盖 103 和第二感应探头 13 的封盖 103 可以为一端开口的圆柱体空腔结构，其可以由聚四氟乙烯或聚丙烯等非极性材料制成的。在一些实施例中，第一感应探头 12 的封盖 103 和第二感应探头 13 的封盖 103 的壁厚均为 1mm。

如图 5 所示，第一感应探头 12 的封盖 103 的开口端与第一感应探头 12 的第一端（图中指的第一感应探头 12 的左端）连通，并且，第一感应探头 12 的封盖 103 的开口端与第一感应探头 12 的第一端之间的间隙可以不大于 1mm；第二感应探头 13 的封盖 103 的开口端与第二感应探头 13 的第一端连通，并且，第二感应探头 13 的封盖 103 的开口端与第二感应探头 13 的第一端（图中指的第二感应探头 13 的左端）之间的间隙可以不大于 1mm，一方面减少封盖 103 与感应探头产生摩擦，另一方面降低封盖 103 与感应探头之间的间隙
15 过大造成第一驱动机构 11 和第二驱动机构 14 的输出轴裸露在外的问题。

在一些实施例中，如图 6 所示，上述实施例中，每个所述第一指型电极 101 和每个所述第二指型电极 102 形成的各个电极对的两端分别套设有第一绝缘护层 1011 和第二绝缘护层 1012。

在一些实施例中，第一绝缘护层 1011 和第二绝缘护层 1021 可以均为空心圆柱状结构。
20 在一些实施例中，第一绝缘护层 1011 和第二绝缘护层 1021 的壁厚可以为 1mm，第一绝缘护层 1011 和第二绝缘护层 1021 的高均可以不小于第一指型电极 101 的第一连接部 104 或第二指型电极 102 的第二连接部 105 的高度，一方面将第一连接部 104 和第二连接部 105 紧固在支撑体 100 上，另一方面用来隔离第一指型电极 101 和第二指型电极 102，避免第一指型电极 101 的第一连接部 104 和第二指型电极 102 的第二连接部 105 同时出现在同一电
25 场中。在一些实施例中，将各第一指型电极 101 和各第二指型电极 102 以交叉方式装配成空心圆柱，随后，将支撑体 100 同轴塞入该空心圆柱内，形成一端开口的圆柱体空腔结构，并用螺栓或胶水将其紧固，然后，将两个电极绝缘护层分别套在该圆柱体空腔结构的首尾两端。

继续参阅图 5，上述实施例中，所述悬浮电场差分感应模块 1 还包括：第一参考信号发生单元 17 和第二参考信号发生单元 18；其中，所述第一参考信号发生单元 17 设置在所述
30 第一汇流环 15 的一侧，且与所述绝缘支撑架 10 的第一侧壁 a 的外表面相连接，用以产生与

所述第一感应探头 12 产生的感应电流同频率的方波信号；所述第二参考信号发生单元 18 设置在所述第二汇流环 16 的一侧，且与所述绝缘支撑架 10 的第二侧壁 b 的外表面相连接，用以产生与所述第二感应探头 13 产生的感应电流同频率的方波信号。

实施时，第一参考信号发生单元 17 可以固定在绝缘支撑架 10 的第一侧壁的外部；第二参考信号发生单元 18 可以固定在绝缘支撑架 10 的第二侧壁的外部。

其中：所述第一参考信号发生单元 17 包括：第一光电传感器 171 和第一同步光栅 172；其中，所述第一光电传感器 171 设置在所述绝缘支撑架 10 的第一侧壁外部，且所述第一光电传感器 171 的光电槽开口方向朝向所述第一输出轴；所述第一同步光栅 172 垂直设置在所述第一输出轴上，且所述第一同步光栅 172 正对所述第一光电传感器 171 的光电槽口设置。

在一些实施例中，第一光电传感器 171 连接在绝缘支撑架 10 的第一侧壁外部，其光电槽开口朝向第一输出轴，第一同步光栅 172 垂直设置在第一输出轴上，且对准第一光电传感器 171 的电槽口中心设置。第一同步光栅 172 同轴设置在第一输出轴上。也就是说，第一输出轴上沿输出轴的出口方向依次同轴设置有第一同步光栅 172、第一汇流环 15 和第一感应探头 12 的封盖 103。

所述第二参考信号发生单元 18 包括：第二光电传感器 181 和第二同步光栅 182；其中，所述第二光电传感器 181 设置在所述绝缘支撑架 10 的第二侧壁外部，且所述第二光电传感器 181 的光电槽开口方向朝向所述第二输出轴；所述第二同步光栅 182 垂直设置在所述第二输出轴上，且所述第二同步光栅 182 正对所述第二光电传感器 181 的光电槽口设置。

在一些实施例中，第二光电传感器 181 连接在绝缘支撑架 10 的第二侧壁外部，其光电槽开口朝向第二输出轴，第二同步光栅 182 垂直设置在第二输出轴上，且对准第二光电传感器 181 的电槽口中心设置。第二同步光栅 182 同轴设置在第二输出轴上。也就是说，第二输出轴上沿输出轴的出口方向依次同轴设置有第二同步光栅 182、第二汇流环 16 和第二感应探头 13 的封盖 103。

本实施例的工作原理为：第一驱动机构 11 驱动第一感应探头 12 在电场中以第一预设转速旋转，第二驱动机构 14 驱动第二感应探头 13 在电场中以第二预设转速旋转，第一感应探头 12 和第二感应探头 13 上的多个电极对电场线进行切割，在其表面产生随时间变化的感应电荷，在导线中产生电流，该电流经汇流环进入信号处理电路 22；信号处理电路 22 的 I-V 转换子电路将电流转换成电压，随后经放大与滤波子电路，将电压信号进行处理，获得正弦波电压信号，该信号频率与第一感应探头 12 或第二感应探头 13 的角速度相关。同时，在第一驱动机构 11 或第二驱动机构 14 的驱动下，第一同步光栅 172 或第二同步光栅

182 旋转产生与前述正弦波电压信号同频率的方波信号。正弦波电压信号与方波信号经相敏检波子电路处理后，产生全波整流电压信号。如果该全波整流电压信号是幅值大于等于零的正半周信号，则说明测量电场为正电场；如果该全波整流电压信号是负半周信号，则说明测量电场为负电场。全波整流电压信号经低通滤波子电路处理后，输出直流电压信号，

5 该信号即为第一感应探头 12 或第二感应探头 13 的输出信号。

综上，本公开实施例提供的悬浮场磨仪，通过设置具有多个电极对的第一感应探头和第二感应探头对空间电场进行切割，从而产生较高频率的感应电流信号，大大提升了场磨仪输出信号的频率，在提高测量精度的同时降低了场磨仪的制造与维护成本；有利于减少仪器损耗，延长仪器的使用寿命；将信号处理模块设置在悬浮电场差分感应模块的底部作为整个装置的支撑，提高了场磨仪的结构稳定性；此外，设置悬浮电场隔离模块，对信号处理模块和悬浮电场差分感应模块进行隔离密封，可以降低电场对悬浮场磨仪内部部件造成的干扰，有利于进一步提高测量精度。

另一方面，本公开实施例还提供了一种利用上述各实施例中的悬浮场磨仪对空间电场进行测量的方法，包括以下步骤：

15 步骤 S1，利用悬浮电场差分感应模块中的第一驱动机构以第一预设转速驱动具有若干电极对的第一感应探头在空间电场中旋转，以产生第一感应电流；利用悬浮电场差分感应模块中的第二驱动机构以不同于第一预设转速的第二预设转速驱动具有若干电极对的第二感应探头在空间电场中旋转，以产生第二感应电流。

20 在一些实施例中，所述第一感应电流或所述第二感应电流与所述空间电场的强度之间的关系如下：

$$i_c = \frac{dQ}{dt} = \begin{cases} -4 \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \omega \cdot \sin(N\omega t), N=1 \\ -4 \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \omega \cdot \left\{ 1 + \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{4}} \left[2 \cdot \cos \left(\frac{(N-4k+3)\pi}{2N} \right) \right] \right\} \cdot \sin(N\omega t), \frac{N-1}{4} \text{ 为正整数} \\ -4 \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \omega \cdot \sum_{k=1}^{\frac{N+1}{4}} \left[2 \cdot \cos \left(\frac{(N-4k+3)\pi}{2N} \right) \right] \cdot \sin(N\omega t), \frac{N+1}{4} \text{ 为正整数} \end{cases}$$

其中， i_c 为第一感应电流或第二感应电流； a 为多第一感应探头或第二感应探头的半径；

25 L 为第一感应探头或第二感应探头中电极的长度； ε_0 为真空介电常数； ω 为第一感应探头或第二感应探头的转速； E 为空间电场的电场强度； Q 为第一感应探头或第二感应探头的感应电荷量； t 为时间； k 为与电极对个数 N 相关的无量纲自增量； N 为第一感应探头或第二

感应探头中电极对的个数，且 N 大于等于 1；当 N 大于等于 2 时，感应探头获得的输出信号频率是传统悬浮场磨仪输出信号频率的 2 倍以上，从而有利于提高悬浮场磨仪的测量范围和精度。

5 由于 N 为偶数时，在空间电场下，会出现第一感应探头和第二感应探头上相邻两个电极为同一极性的情况，这样会导致输出信号为非正弦波形，难以从感应探头输出提取出有效的感应信号，因此，本实施例中的 N 为奇数。

上述三式，针对 N 分别取 1、5、9、13……；3、7、11，……的情况进行分类计算，有效排除了 N 为偶数的情况，使得计算的结果更加精确，为场磨仪测量电场参数提供了理论指导与依据。

10 步骤 S2，利用信号处理模块将所述第一感应电流和所述第二感应电流分别转化为预设幅值范围的第一直流电压信号和第二直流电压信号。

在一些实施例中，为了计算方便，将感应电流经过相应的电流-电压转换子电路转化为电压信号。

15 步骤 S3，基于所述第一直流电压信号和所述第二直流电压信号之间的差异值计算所述空间电场的测量值。

在一些实施例中，所述空间电场的测量值根据下式确定：

$$E = \frac{U_1 - U_2}{4 \cdot k_a \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \delta(N) \cdot (\omega_2 - \omega_1)};$$

$$\delta(N) = \left\{ \left| \sin \frac{(N+1)\pi}{4} \right| \cdot \left[1 + 2 \cdot \sum_{k=0}^{\frac{N-1}{4}} \sin \frac{(4k-3)\pi}{2N} + 2 \cdot \sin \frac{3\pi}{2N} \right] + \left| \sin \frac{(N-1)\pi}{4} \right| \cdot \sum_{k=1}^{\frac{N+1}{4}} \left[2 \cdot \sin \left(\frac{(4k-3)\pi}{2N} \right) \right] \right\};$$

20 其中， E 为空间电场的电场强度； k_a 为电流-电压转换系数； U_1 和 U_2 分别为第一感应探头和第二感应探头输出电压信号的幅值； a 为多第一感应探头或第二感应探头的半径； L 为第一感应探头或第二感应探头中电极的长度； ε_0 为真空介电常数； ω_1 和 ω_2 分别为第一感应探头和第二感应探头的转速； N 为第一感应探头或第二感应探头中电极对的个数，且 N 为大于等于 1 的正整数； k 为与电极对个数 N 相关的无量纲自增量。

方法实施例与上述装置实施例中的相关之处可互相参照。

25 综上，本公开实施例提供的空间电场的测量方法，通过悬浮电场差分感应模块中的第一驱动机构和第二驱动机构分别以不同转速驱动具有若干电极对的第一感应探头和第二感应探头，以通过电极对切割电场，产生不同的第一感应电流和第二感应电流，利用信号处

理模块将第一感应电流和第二感应电流分别转化为预设幅值范围的直流电压信号和第二直流电压信号，基于第一直流电压信号和第二直流电压信号之间的差异值计算空间电场的测量值，为浮场磨仪测量空间电场值提供了理论依据，有利于提高空间电场值的测量精度。

显然，本领域的技术人员可以对本公开实施例进行各种改动和变型而不脱离本公开实
5 施例的精神和范围。这样，倘若本公开实施例的这些修改和变型属于本公开实施例权利要
求及其等同技术的范围之内，则本公开实施例也意图包含这些改动和变型在内。

权利要求书

1、一种悬浮场磨仪，包括：悬浮电场差分感应模块、信号处理模块、悬浮电场隔离模块和上位机；其中，

所述悬浮电场差分感应模块中具有第一感应探头和第二感应探头，所述第一感应探头和所述第二感应探头均具有若干电极对；

所述悬浮电场差分感应模块中还具有第一驱动机构和第二驱动机构；所述第一驱动机构与所述第一感应探头相连，用于以第一预设转速驱动所述第一感应探头在空间电场中旋转，以产生第一感应电流；所述第二驱动机构与所述第二感应探头相连，用于以不同于所述第一预设转速的第二预设转速驱动所述第二感应探头在空间电场中旋转，以产生第二感应电流；

所述信号处理模块设置在所述悬浮电场差分感应模块底部，用以为所述悬浮电场差分感应模块提供底部支撑，并将所述悬浮电场差分感应模块产生的所述第一感应电流信号和第二感应电流信号分别转换成预设幅值范围的第一直流电压信号和第二直流电压信号；

所述上位机与所述信号处理模块连接，用以接收所述信号处理模块发送的第一直流电压信号和第二直流电压信号，并根据所述第一直流电压信号和所述第二直流电压信号的差异值确定空间电场的测量值；

所述悬浮电场隔离模块设置在所述信号处理模块上方，并盖设于所述悬浮电场差分感应模块的顶部，用以密封所述信号处理模块及所述悬浮电场差分感应模块。

2、根据权利要求1所述的悬浮场磨仪，其中，所述悬浮电场差分感应模块包括：绝缘支撑架、第一驱动机构、第二驱动机构、第一感应探头和第二感应探头；其中，

所述第一驱动机构和所述第二驱动机构间隔设置在所述绝缘支撑架的底壁上，所述第一驱动机构的第一输出轴和所述第二驱动机构的第二输出轴分别穿过所述绝缘支撑架中相对设置的两侧壁并向外延伸；

所述第一感应探头和所述第二感应探头分别同轴套接在所述第一输出轴和所述第二输出轴位于所述绝缘支撑架外侧的部分；

所述第一输出轴上远离所述绝缘支撑架的一端设置有第一汇流环，所述第一汇流环位于所述第一感应探头的内部，并与所述第一感应探头电连接，用以将所述第一感应探头产生的感应电流传输至所述信号处理模块中；所述第二输出轴上远离所述绝缘支撑架的一端设置有第二汇流环；所述第二汇流环位于所述第二感应探头内部，并与所述第二感应探头电连接，用以将所述第二感应探头产生的感应电流传输至所述信号处理模块中。

3、根据权利要求2所述的悬浮场磨仪，其中，所述悬浮电场差分感应模块还包括：第一参考信号发生单元和第二参考信号发生单元；其中，

所述第一参考信号发生单元设置在所述第一汇流环的一侧，且与所述绝缘支撑架的第一侧壁的外表面相连接，用以产生与所述第一感应探头产生的感应电流同频率的方波信号；

所述第二参考信号发生单元设置在所述第二汇流环的一侧，且与所述绝缘支撑架的第二侧壁的外表面相连接，用以产生与所述第二感应探头产生的感应电流同频率的方波信号。

4、根据权利要求3所述的悬浮场磨仪，其中，所述第一参考信号发生单元包括：第一光电传感器和第一同步光栅；其中，

所述第一光电传感器设置在所述绝缘支撑架的第一侧壁外部，且所述第一光电传感器的光电槽开口方向朝向所述第一输出轴；所述第一同步光栅垂直设置在所述第一输出轴上，且所述第一同步光栅正对所述第一光电传感器的光电槽口设置。

5、根据权利要求3所述的悬浮场磨仪，其中，所述第二参考信号发生单元包括：第二光电传感器和第二同步光栅；其中，

所述第二光电传感器设置在所述绝缘支撑架的第二侧壁外部，且所述第二光电传感器的光电槽开口方向朝向所述第二输出轴；所述第二同步光栅垂直设置在所述第二输出轴上，且所述第二同步光栅正对所述第二光电传感器的光电槽口设置。

6、根据权利要求1至5任一项所述的悬浮场磨仪，其中，所述第一感应探头和所述第二感应探头均包括：支撑体、成对设置的第一指型电极和第二指型电极；其中，

所述支撑体呈中空柱状结构，其一端开口，该开口端朝向所述悬浮电场差分感应模块的绝缘支撑架的侧壁设置；所述支撑体的另一端设置有封盖；

各所述第一指型电极和各所述第二指型电极相间设置在所述支撑体的外壁上；

各所述第一指型电极的一端设置有第一连接部，用以将各所述第一指型电极串联起来；

各所述第二指型电极上与所述第一连接部相对的一端设置有第二连接部，用以将各所述第二指型电极串联起来。

7、根据权利要求6所述的悬浮场磨仪，其中，所述第一指型电极和所述第二指型电极均呈矩形、三角形、椭圆形或梯形。

8、根据权利要求6或7所述的悬浮场磨仪，其中，所述第一指型电极与所述第二指型电极之间、所述第一连接部与所述第一指型电极、所述第二连接部与所述第一指型电极之间均具有预设间隙。

9、根据权利要求6至8任一项所述的悬浮场磨仪，其中，每个所述第一指型电极和每个所述第二指型电极形成的各个电极对的两端分别套设有第一绝缘护层和第二绝缘护层。

10、根据权利要求1至9任一项所述的悬浮场磨仪，其中，所述信号处理模块包括：绝缘外壳及置于所述绝缘外壳内的信号处理电路、电源转换电路、可充电电池和无线通信电路；其中，

所述绝缘外壳为一端开口的箱体结构，其上开设有若干连接孔，用以与所述悬浮电场差分感应模块相连接；

电源转换电路的输入端与所述可充电电池连接，以将其中输出的电压信号转换成预设幅值的电压信号；

所述电源转换电路的输出端分别与所述信号处理电路、所述无线通信电路、所述第一驱动机构和所述第二驱动机构电气连接，用于向各部件传输电能；

所述信号处理电路的输入端与所述悬浮电场差分感应模块连接，所述信号处理电路的输出端与所述无线通信电路连接，用于将所述悬浮电场差分感应模块产生的感应电流信号转换预设幅值范围的直流电压信号，并将该直流电压信号传输至所述无线通信电路；

所述无线通信电路与所述上位机相连，用以将所述直流电压信号传输至所述上位机。

11、一种利用如权利要求1至10中任一项所述的悬浮场磨仪对空间电场进行测量的方法，包括以下步骤：

利用悬浮电场差分感应模块中的第一驱动机构以第一预设转速驱动具有若干电极对的第一感应探头在空间电场中旋转，以产生第一感应电流；利用悬浮电场差分感应模块中的第二驱动机构以不同于第一预设转速的第二预设转速驱动具有若干电极对的第二感应探头在空间电场中旋转，以产生第二感应电流；

利用信号处理模块将所述第一感应电流和所述第二感应电流分别转化为预设幅值范围的第一直流电压信号和第二直流电压信号；

基于所述第一直流电压信号和所述第二直流电压信号之间的差异值计算所述空间电场的测量值。

12、根据权利要求11所述的悬浮场磨仪对空间电场进行测量的方法，其中，所述空间电场的测量值根据下式确定：

$$E = \frac{U_1 - U_2}{4 \cdot k_a \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \delta(N) \cdot (\omega_2 - \omega_1)}$$

$$\delta(N) = \left\{ \left| \sin \frac{(N+1)\pi}{4} \right| \cdot \left[1 + 2 \cdot \sum_{k=0}^{\frac{N-1}{4}} \sin \frac{(4k-3)\pi}{2N} + 2 \cdot \sin \frac{3\pi}{2N} \right] + \left| \sin \frac{(N-1)\pi}{4} \right| \cdot \sum_{k=1}^{\frac{N+1}{4}} \left[2 \cdot \sin \left(\frac{(4k-3)\pi}{2N} \right) \right] \right\};$$

其中， E 为空间电场的电场强度； k_a 为电流-电压转换系数； U_1 和 U_2 分别为第一感应

探头和第二感应探头输出电压信号的幅值； a 为多第一感应探头或第二感应探头的半径； L 为第一感应探头或第二感应探头中电极的长度； ε_0 为真空介电常数； ω_1 和 ω_2 分别为第一感应探头和第二感应探头的转速； N 为第一感应探头或第二感应探头中电极对的个数，且 N 为大于等于1的正整数； k 为与电极对个数 N 相关的无量纲自增量。

13、根据权利要求11所述的悬浮场磨仪对空间电场进行测量的方法，其中，所述第一感应电流或所述第二感应电流与所述空间电场的电场强度之间的关系如下：

$$i_c = \frac{dQ}{dt} = \begin{cases} -4 \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \omega \cdot \sin(N\omega t), N=1 \\ -4 \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \omega \cdot \left\{ 1 + \sum_{k=1}^{\frac{N-1}{4}} \left[2 \cdot \cos \left(\frac{(N-4k+3)\pi}{2N} \right) \right] \right\} \cdot \sin(N\omega t), \frac{N-1}{4} \text{ 为正整数} \\ -4 \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon_0 \cdot E \cdot \sin \frac{\pi}{2N} \cdot N \cdot \omega \cdot \sum_{k=1}^{\frac{N+1}{4}} \left[2 \cdot \cos \left(\frac{(N-4k+3)\pi}{2N} \right) \right] \cdot \sin(N\omega t), \frac{N+1}{4} \text{ 为正整数} \end{cases}$$

其中， i_c 为第一感应电流或第二感应电流； a 为第一感应探头或第二感应探头的半径； L 为第一感应探头或第二感应探头中电极的长度； ε_0 为真空介电常数； ω 为第一感应探头或第二感应探头的转速； E 为空间电场的电场强度； Q 为第一感应探头或第二感应探头的感应电荷量； t 为时间； N 为第一感应探头或第二感应探头中电极对的个数， N 为大于等于1的正整数； k 为与电极对个数 N 相关的无量纲自增量。

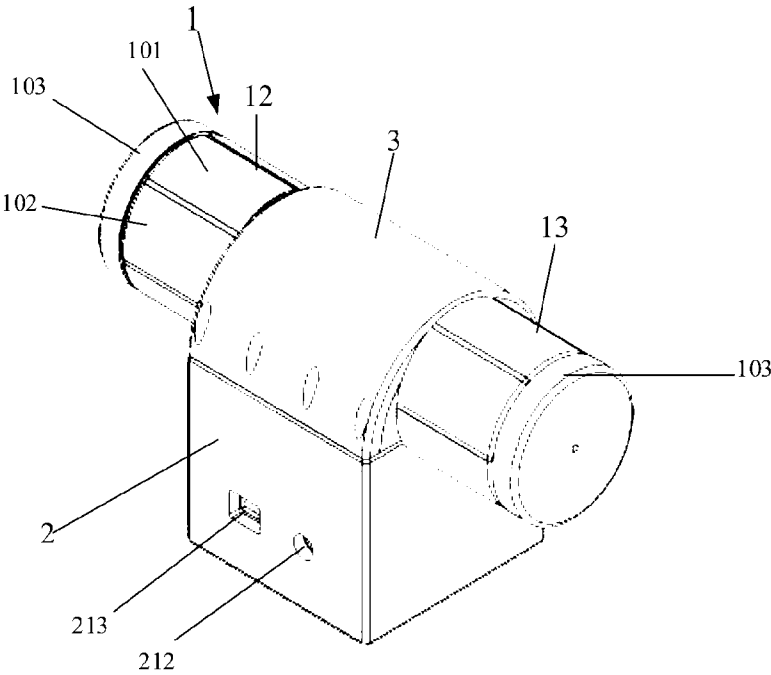


图 1

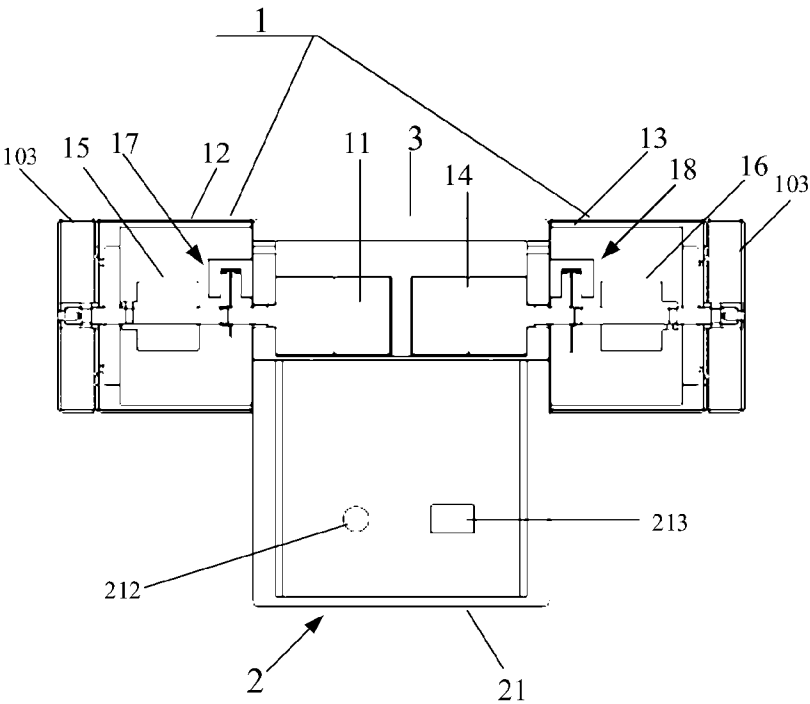


图 2

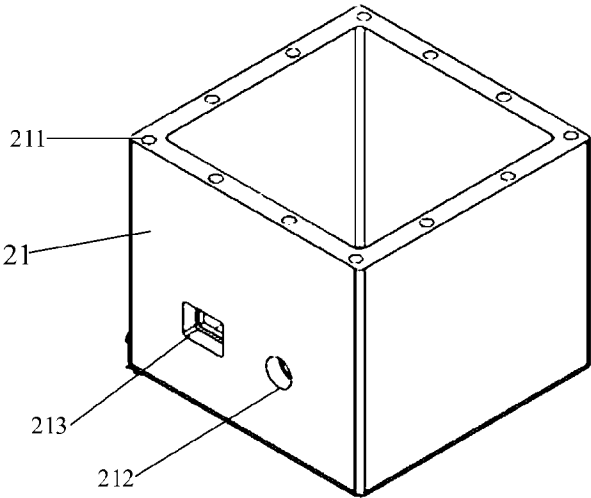


图 3

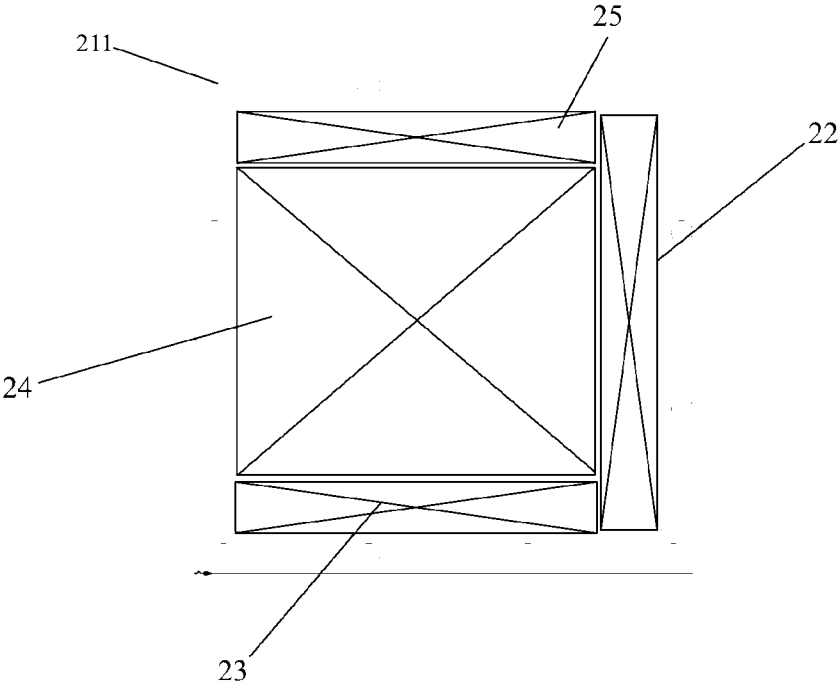


图 4

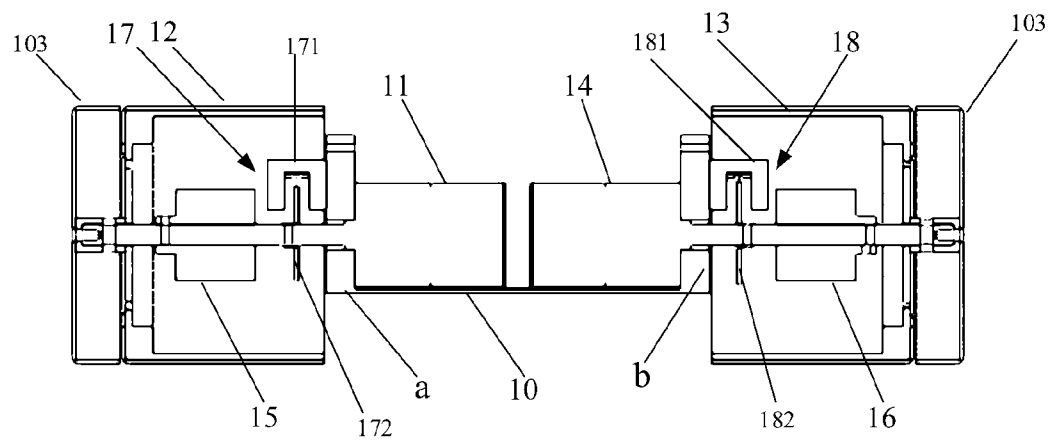


图 5

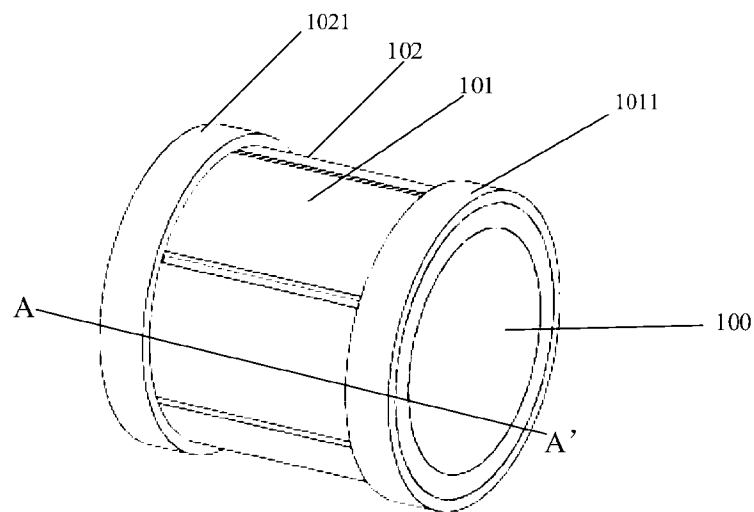


图 6

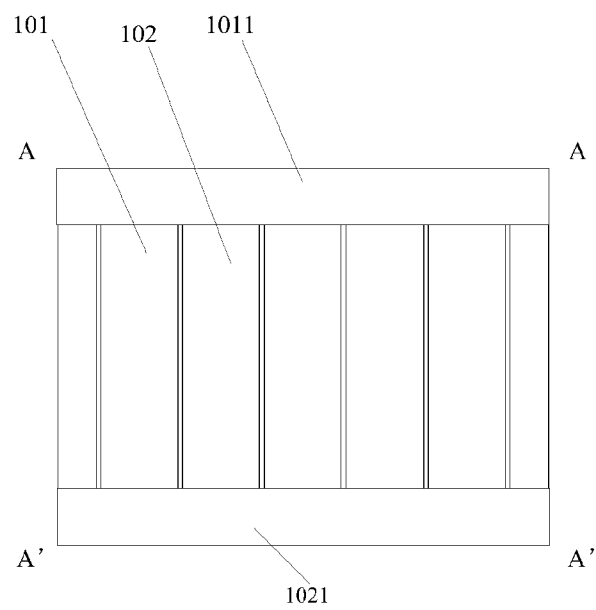


图 7

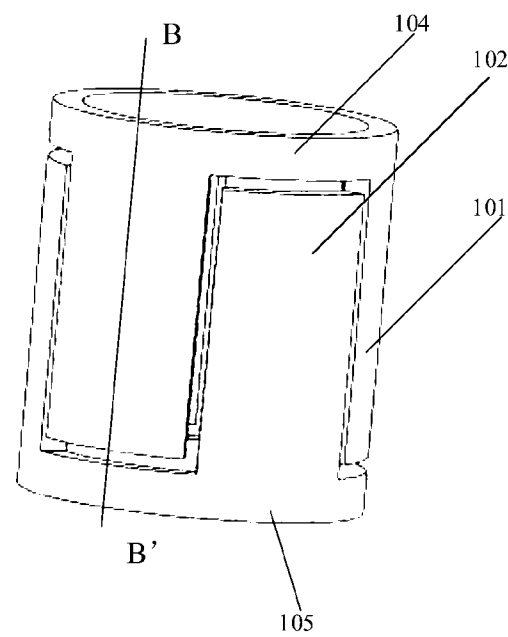


图 8

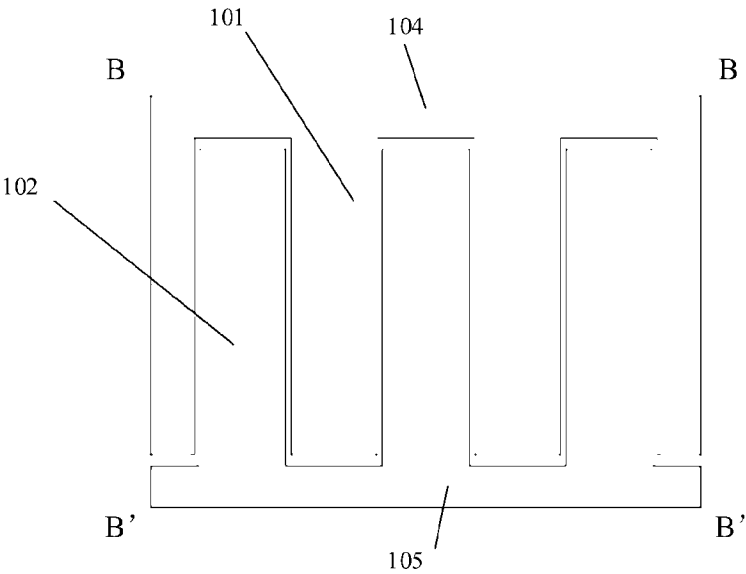


图 9

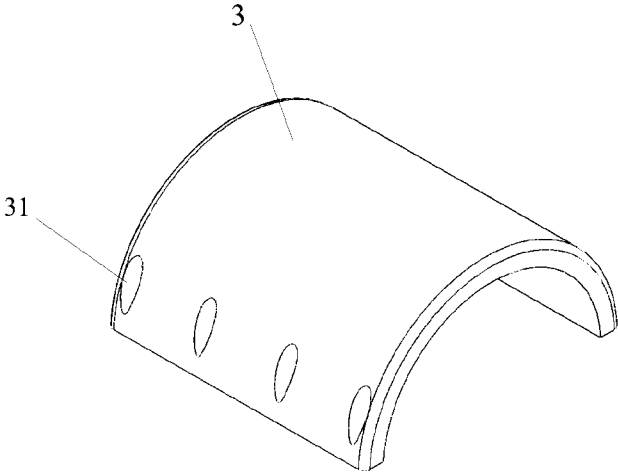


图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/106555

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R 29/12(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)

IPC: G01R

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)

CNTXT; CNKI; ENTXTC; VEN; ENTXT: 电场, 电磁场, 磨, 圆筒, 圆柱, 旋转, 转速, 不同, 电极对, 电极, 差分, 参考, 光电传感器, 光栅, 指型, 叉指, electric field, sensor, cylinder, differential, rotate, rotation rate, speed, different, electrode, photoelectric sensor, grating, fingerlike

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 112067910 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD. et al.) 11 December 2020 (2020-12-11) description, paragraphs 48-141, and figures 1-5	1-11
Y	US 2011062968 A1 (RENNO NILTON O et al.) 17 March 2011 (2011-03-17) description, paragraphs 32-78, and figures 3A, 3B and 4-5	1-11
A	CN 101576590 A (PLA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 11 November 2009 (2009-11-11) entire document	1-13
A	CN 102879654 A (SHANGHAI ELECTRIC POWER CO., LTD. et al.) 16 January 2013 (2013-01-16) entire document	1-13
A	CN 112067909 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD. et al.) 11 December 2020 (2020-12-11) entire document	1-13



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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

14 March 2024

Date of mailing of the international search report

15 March 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/106555**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 114200199 A (UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 18 March 2022 (2022-03-18) entire document	1-13
A	CN 115993467 A (WUHAN BRANCH OF CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD. et al.) 21 April 2023 (2023-04-21) entire document	1-13
A	CN 116106645 A (WUHAN BRANCH OF CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD. et al.) 12 May 2023 (2023-05-12) entire document	1-13
A	US 5315232 A (STEWART MICHAEL F) 24 May 1994 (1994-05-24) entire document	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/106555

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	112067910	A	11 December 2020	None			
US	2011062968	A1	17 March 2011	WO	2009148572	A2	10 December 2009
				US	8536879	B2	17 September 2013
CN	101576590	A	11 November 2009	None			
CN	102879654	A	16 January 2013	None			
CN	112067909	A	11 December 2020	None			
CN	114200199	A	18 March 2022	None			
CN	115993467	A	21 April 2023	None			
CN	116106645	A	12 May 2023	None			
US	5315232	A	24 May 1994	None			

国际检索报告		国际申请号 PCT/CN2023/106555
A. 主题的分类 G01R 29/12(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) IPC: G01R 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)) CNTXT; CNKI; ENTXTC; VEN; ENTXT: 电场, 电磁场, 磨, 圆筒, 圆柱, 旋转, 转速, 不同, 电极对, 电极, 差分, 参考, 光电传感器, 光栅, 指型, 叉指, electric field, sensor, cylinder, differential, rotate, rotation rate, speed, different, electrode, photoelectric sensor, grating, fingerlike		
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
Y	CN 112067910 A (中国电力科学研究院有限公司 等) 2020年12月11日 (2020 - 12 - 11) 说明书第48-141段, 附图1-5	1-11
Y	US 2011062968 A1 (RENNO NILTON O 等) 2011年3月17日 (2011 - 03 - 17) 说明书第32-78段, 附图3A, 3B, 4-5	1-11
A	CN 101576590 A (中国人民解放军理工大学) 2009年11月11日 (2009 - 11 - 11) 全文	1-13
A	CN 102879654 A (上海市电力公司 等) 2013年1月16日 (2013 - 01 - 16) 全文	1-13
A	CN 112067909 A (中国电力科学研究院有限公司 等) 2020年12月11日 (2020 - 12 - 11) 全文	1-13
A	CN 114200199 A (电子科技大学) 2022年3月18日 (2022 - 03 - 18) 全文	1-13
☒ 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 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “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 2024年3月14日		国际检索报告邮寄日期 2024年3月15日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		授权官员 苗文 电话号码 (+86) 62085340

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
A	CN 115993467 A (中国电力科学研究院有限公司武汉分院 等) 2023年4月21日 (2023 - 04 - 21) 全文	1-13
A	CN 116106645 A (中国电力科学研究院有限公司武汉分院 等) 2023年5月12日 (2023 - 05 - 12) 全文	1-13
A	US 5315232 A (STEWART MICHAEL F) 1994年5月24日 (1994 - 05 - 24) 全文	1-13

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/106555

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	112067910	A	2020年12月11日	无			
US	2011062968	A1	2011年3月17日	WO	2009148572	A2	2009年12月10日
				US	8536879	B2	2013年9月17日
CN	101576590	A	2009年11月11日	无			
CN	102879654	A	2013年1月16日	无			
CN	112067909	A	2020年12月11日	无			
CN	114200199	A	2022年3月18日	无			
CN	115993467	A	2023年4月21日	无			
CN	116106645	A	2023年5月12日	无			
US	5315232	A	1994年5月24日	无			