



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104848930 B

(45) 授权公告日 2016.06.08

(21) 申请号 201510235674.4

US 3816777 A, 1974.06.11,

(22) 申请日 2015.05.08

US 2005155437 A1, 2005.07.21,

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学

CN 103487224 A, 2014.01.01,

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大
直街 92 号

审查员 潘景良

(72) 发明人 崔俊宁 谭久彬 何张强

(51) Int. Cl.

G01H 17/00(2006.01)

(56) 对比文件

CN 101069884 A, 2007.11.14,

CN 101342528 A, 2009.01.14,

CN 103487224 A, 2014.01.01,

CN 1900660 A, 2007.01.24,

CN 1900661 A, 2007.01.24,

CN 201055840 Y, 2008.05.07,

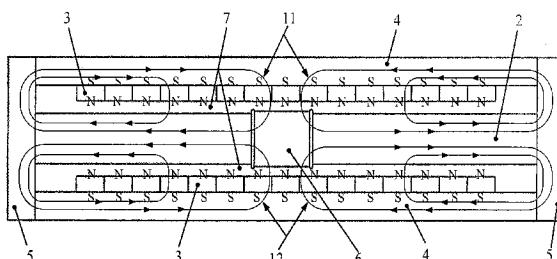
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁
场式电磁振动台磁路结构

(57) 摘要

涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁
场式电磁振动台磁路结构属于振动计量技术领
域；提出一种矩形开放式磁场结构设计，双排永
磁体对称安装在长磁轭内侧且同磁极相向布置，
通过磁轭构成对称闭合磁路，在气隙中产生高均
匀度的磁感应强度分布，工作线圈通电后在磁场
中受洛伦兹力作用，产生精密可控的电磁驱动力，
在与气隙相邻的中心磁轭表面设有深沟槽形式的
阵列式微结构，可有效抑制涡流损耗；本发明可
兼顾大行程、高磁场均匀性、大推力及线性电磁驱
动力特性，可有效解决现有技术方案存在的不足，
为低频 / 超低频振动校准提供一种高精度、大行
程的电磁振动台磁路结构技术方案。



1. 一种涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构,由中心磁轭(2)、永磁体(3)、外磁轭(4)、端磁轭(5)、线圈骨架(6)和工作线圈(8)构成,整体成轴对称结构,其特征在于:中心磁轭(2)、永磁体(3)、外磁轭(4)和端磁轭(5)的截面均为矩形,线圈骨架(6)的截面为口字形,两个外磁轭(4)的两端分别与两个端磁轭(5)刚性连接、构成口字形磁轭结构,中心磁轭(2)安装在口字形磁轭结构的长轴线上、两端分别与两个端磁轭(5)刚性连接,永磁体(3)的长度小于外磁轭(4)的长度,两个长条形永磁体(3)对称粘接装配在两个外磁轭(4)和中心磁轭(2)之间、两个外磁轭(4)相对的两个表面上,两个永磁体(3)的同磁极相对布置,两个永磁体(3)与中心磁轭(2)之间通过两条等宽度的气隙(7)分隔开,线圈骨架(6)可滑动地套装在中心磁轭(2)上,线圈骨架(6)上绕有工作线圈(8),工作线圈(8)中通以精密可控的驱动电流,与气隙(7)相邻的中心磁轭(2)的两个表面上设有深沟槽(13)形式的阵列式微结构,深沟槽(13)沿气隙(7)的长度方向周期性布置,深沟槽(13)沿中心磁轭(2)的高度方向加工。

2. 根据权利要求1所述的涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构,其特征在于:所述中心磁轭(2)的安装方式是采用两个口字形截面、不导磁材料的磁轭安装框(10),将两个磁轭安装框(10)套装在中心磁轭(2)的两端且与中心磁轭(2)刚性连接,通过固定两个磁轭安装框(10)将中心磁轭(2)以两端支撑的方式固定。

3. 根据权利要求1或2所述的涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构,其特征在于:所述永磁体(3)是采用多个小块永磁体,以粘接的方式拼接构成。

4. 根据权利要求1或2所述的涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构,其特征在于:所述永磁体(3)的材料为NdFeB。

5. 根据权利要求1或2所述的涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构,其特征在于:所述中心磁轭(2)、外磁轭(4)和端磁轭(5)的材料为高磁导率电工纯铁。

6. 根据权利要求1或2所述的涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构,其特征在于:所述线圈骨架(6)的材料为陶瓷、花岗岩、玻璃钢或硬质塑料。

7. 根据权利要求1或2所述的涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构,其特征在于:所述气隙(7)的宽度为10mm~40mm。

8. 根据权利要求2所述的涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构,其特征在于:所述磁轭安装框(10)的材料为陶瓷、花岗岩、玻璃钢或硬质塑料。

涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台 磁路结构

技术领域

[0001] 本发明属于振动计量技术领域,主要涉及一种涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构。

背景技术

[0002] 产生标准振动信号的电磁振动台是进行高精度振动校准的关键设备,也是国家振动计量技术体系的重要组成部分。磁路结构是电磁振动台中的核心关键部件,一般由永磁体、磁轭、线圈骨架和工作线圈等构成,永磁体和磁轭构成磁路,在气隙中产生高均匀度的磁场分布,工作线圈通电后在磁场中受洛伦兹力作用,从而产生精密可控的电磁驱动力。近年来,航空航天、建筑桥梁、防震减灾等领域均提出了低频/超低频振动校准的需求。为提高标准振动信号的信噪比,保证低频/超低频振动的校准精度,要求电磁振动台在保证推力和精度的前提下,具有尽可能大的行程。在大行程电磁振动台磁路结构的设计过程中,存在着振幅、磁场均匀性、电磁驱动力大小、线性电磁驱动力特性、加工与装配精度之间的矛盾,其中的关键和难点是如何通过合理的磁路结构设计,并通过保证加工与装配精度,在长气隙内实现高均匀度的强磁感应强度分布,并在线圈通电后获得理想的线性电磁驱动力特性,即在全行程内输出的电磁驱动力大小与工作线圈中的电流成正比,而与工作线圈所处的位置无关。

[0003] 浙江大学的何闻等提出了一种大行程电磁振动台磁路结构技术方案(1.浙江大学,“大行程电磁振动台的双磁路结构”,中国专利号:ZL200710069095.2;2.浙江大学,“一种电磁振动台”,中国专利号:ZL200820087256.0;3.浙江大学,“具有基于直线光栅尺反馈控制装置的振动台”,中国专利号:ZL201110115072.7;4.Wen He, et al. “Closed-Double-Magnetic Circuit for a Long-stroke Horizontal Electromagnetic Vibration Exciter”, IEEE Transactions on Magnetics, 2011, 49(8): 4865-4872)。该技术方案中,磁体(圆柱形)、中心磁极(磁轭)和筒状外磁极同轴线装配,两磁体的同磁极相对布置、安装在中心磁极两端,磁体中心设有通孔,采用非导磁螺栓进行固定,中心磁极同轴装配在筒状外磁极内部,筒状线圈套装在中心磁极上而位于气隙中。该技术方案采用双磁体互补,漏磁较小,磁体利用率高,能够实现较大的推力、较大的行程和较低的波形失真度指标,是国内公开报道的具有自主知识产权和较高实用化程度的电磁振动台磁路结构技术方案之一。

[0004] 德国联邦物理技术研究院(PTB)的Hans-J.von Martens等也提出了一种大行程电磁振动台磁路结构技术方案(1.Hans-J.von Martens, et al, “Traceability of Vibration and Shock Measurements by Laser Interferometry”, Measurement, 2000, 28:3-20)。该技术方案采用圆柱形软磁芯、圆筒形永磁体和圆筒形软磁管,两永磁体的同磁极相对布置、安装在圆筒形软磁管的两端,软磁芯同轴装配在软磁管的内部,通过两端的软磁部件形成闭合磁路,线圈骨架和工作线圈均为圆筒形,线圈骨架可滑动地套装在中心磁轭上。采用该技术方案的大行程电磁振动台的振幅可达1m,配合高性能永磁体和磁轭材料,

可实现较高水平的横向振动比、波形失真度等主要技术指标。

[0005] 上述两种技术方案存在的不足之处在于：1)圆筒形外磁轭需进行长内尺寸加工，加工困难，精度难以保证；2)采用圆柱形永磁体时，永磁体上需加工通孔并通过非导磁螺栓固定在磁轭上，装配复杂且会对磁路产生影响；采用圆筒形永磁体时，大尺寸圆筒形永磁体的烧结、加工、充磁和装配均较为困难；3)圆筒形外磁轭需套装在中心磁轭上，如永磁体采用先充磁后装配的方式，装配十分困难，装配精度难以保证；AlNiCo材料的永磁体可采用先装配后充磁的方式，但由于AlNiCo材料的永磁体矫顽力较低，充磁效果受到限制，性能欠佳，严重制约磁路结构的力学性能与指标。

[0006] 美国APS公司的Kenneth Joseph Metzgar等提出了一种大行程电磁振动台磁路结构技术方案(Kenneth Joseph Metzgar et al, "Electrodynamic Force Generator", 美国专利号:US3816777)。该技术方案的磁路结构是由4组相同的子装配体构成，每个子装配体由两个楔形磁极片、一个衔接块(软磁材料)、一个磁体组成，衔接块分隔并连接两个楔形磁极片的厚端，形成一个具有长气隙的钳形结构，磁体安装在气隙中并固定在一个楔形磁极片上，磁体可采用先装配后充磁的方式。4组子装配体两两层叠后，采用螺栓将两个层叠的子装配体固定形成层叠的钳形结构，再将两个层叠的钳形结构的钳口端对接，并采用卧在楔形磁极片中的螺栓将对接结构连接紧固，形成完整的磁路结构。对接后的磁路结构具有两条长气隙，动圈(工作线圈)位于气隙中。该技术方案易在气隙中实现高磁感应强度，且进行了较成熟的产品化和推广。

[0007] 该技术方案存在的不足之处在于：1)整个磁路结构由多个结构组合、拼接构成，结构复杂；小块永磁体需采用胶粘或其它方式安装在楔形磁极片上，装配复杂，难以保证装配精度；2)气隙中某一位置的静态磁感应强度与该处永磁体的工作点直接相关，整个气隙内磁场的均匀性难以保证，对小块永磁体的材料和工艺的一致性要求较高；3)永磁体直接面对气隙，工作线圈通电后产生的附加磁场会对其强制充磁或去磁，当工作线圈中通以较大电流时，容易使永磁体产生不可逆退磁；4)工作线圈通电时，线圈一侧的磁通增大、另一侧磁通减少，由于永磁体直接面对气隙，磁通增大一侧的磁路容易饱和，此时线圈一侧增加的磁通比另一侧减少的磁通要少，导致线圈所在位置的平均磁感应强度降低，进而使产生的标准振动信号产生失真。

[0008] 如前所述，在大行程电磁振动台磁路结构的设计过程中，存在着振幅、磁场均匀性、电磁驱动力大小、线性电磁驱动力特性、加工与装配精度之间的矛盾，设计的难点和关键是通过合理的磁路结构设计，在长气隙内实现高均匀度的强磁感应强度分布，并使工作线圈通电后在全行程内输出的电磁驱动力与电流大小成正比，而与工作线圈所处位置无关，即获得理想的线性电磁驱动力特性。而现有技术均存在各种问题与不足之处，气隙内静态磁感应强度分布的均匀性和线圈通电后输出电磁驱动力的线性度指标很难有进一步提升。

[0009] 其中的关键问题有三点：(1)长气隙内主磁路磁感应强度分布的均匀性难以保证。线圈通电前，永磁体励磁形成主磁路的磁感应强度分布，随着电磁振动台行程的增大，长气隙内磁场的非均匀性问题变得十分突出，严重制约线圈通电后输出电磁驱动力的线性度；有研究人员尝试通过调整电流波形进行补偿，但效果难以保证，尤其是对高阶磁场非均匀性误差补偿效果较差，目前国内外尚未提出真正有效且具有较高实用性的补偿方法。(2)工

作线圈通电后产生电枢反应的影响。工作线圈通电后产生附加磁场,与主磁场叠加耦合,对主磁场产生增磁或去磁作用,使气隙内不同位置、尤其工作线圈所在位置的磁感应强度分布变得不均匀,该现象称为电枢反应。受电枢反应影响,在行程内不同位置处当线圈所加载的电流密度相同时,输出的电磁驱动力不一致;而在气隙的同一位置处电磁驱动力的大小与电流密度不成正比,存在一定的非线性。电枢反应是电磁振动台产生波形失真度的关键因素之一,它的影响随驱动电流的增大而增大,是电磁振动台磁路结构设计中的难题。(3)长磁轭与大尺寸永磁体加工与装配困难、精度难以保证。大行程电磁振动台的磁路结构中,长中心磁轭需采用合理的方式以两端支撑方式固定,为保证磁路结构的连续性和完整性,磁通密集的关键部位应尽量避免加工通孔/螺纹孔等安装结构;大尺寸永磁体的烧结、加工与装配均十分困难,成品率低,永磁体为脆性材料且价格昂贵,装配方法及结构不合理容易损坏,一般不宜在永磁体上加工通孔等形式的安装结构;同时要获得较大的电磁驱动力,一般采用NdFeB等材料的强磁永磁体,强磁永磁体零件装配过程中需要克服巨大的磁吸力,是该技术领域的一个难题。

[0010] 此外,在大行程电磁振动台的工作过程中,工作线圈中通入的是交变驱动电流,电流幅值最大可达几十安培,线圈在长气隙中沿轴线方向以正弦规律往复运动。根据电磁场理论,交变电流及线圈运动产生的交变磁场会在磁轭表面,尤其是与气隙相邻的磁轭表面会产生电涡流,引起涡流损耗。涡流损耗一方面会产生功率最高可达几百瓦的热损耗,发热量惊人,进而带来一系列的热扰动与热变形问题;另一方面交变磁场及电涡流引起的瞬态场问题,会使实际的性能指标与按传统设计理论和分析方法得到的结果产生较大偏差,严重影响设计精度与效果。涡流损耗是电磁振动台磁路结构设计中的一个难题,目前国内外尚未找到有效的解决办法。

[0011] 综上,受上述问题制约,采用现有技术方案产生的标准低频振动在波形失真度等指标上很难再有突破,难以满足低频/超低频振动的高精度校准,尤其是下一代具有甚低频和超精密特征的振动校准的需求。因此,如何通过方法、结构、材料和优化设计等环节的创新,提出具有超大行程、超低工作频率和超高精度的电磁振动台磁路结构技术方案,对于振动计量技术的发展意义重大。上述问题中的一项或几项获得解决,均会使大行程电磁振动台的性能获得显著提升,使低频/超低频振动校准技术获得实质性突破。

发明内容

[0012] 本发明的目的是针对现有技术方案存在的上述问题,提供一种涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构技术方案,本发明具有结构简单,精度高,可兼顾大行程、高磁场均匀性、大推力和线性电磁驱动力特性,可有效解决现有技术方案存在的问题与不足,从而为低频/超低频振动校准提供一种高精度、大行程电磁振动台磁路结构。

[0013] 本发明的技术解决方案是:

[0014] 一种涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构,由中心磁轭、永磁体、外磁轭、端磁轭、线圈骨架和工作线圈构成,整体成轴对称结构,中心磁轭、永磁体、外磁轭和端磁轭的截面均为矩形,线圈骨架的截面为口字形,两个外磁轭的两端分别与两个端磁轭刚性连接、构成口字形磁轭结构,中心磁轭安装在口字形磁轭结构的长轴

线上、两端分别与两个端磁轭刚性连接，永磁体的长度小于外磁轭的长度，两个长条形永磁体对称粘接装配在两个外磁轭和中心磁轭之间、两个外磁轭相对的两个表面上，两个永磁体的同磁极相对布置，两个永磁体与中心磁轭之间通过两条等宽度的气隙分隔开，线圈骨架可滑动地套装在中心磁轭上，线圈骨架上绕有工作线圈，工作线圈中通以精密可控的驱动电流，与气隙相邻的中心磁轭的两个表面上设有深沟槽形式的阵列式微结构，深沟槽沿气隙的长度方向周期性布置。

[0015] 所述中心磁轭的安装方式是采用两个口字形截面、不导磁材料的磁轭安装框，将两个磁轭安装框套装在中心磁轭的两端且与中心磁轭刚性连接，通过固定两个磁轭安装框将中心磁轭以两端支撑的方式固定。

[0016] 所述永磁体是采用多个小块永磁体，以粘接的方式拼接构成。

[0017] 所述永磁体的材料为NdFeB。

[0018] 所述中心磁轭、外磁轭和端磁轭的材料为高磁导率电工纯铁。

[0019] 所述线圈骨架的材料为陶瓷、花岗岩、玻璃钢或硬质塑料。

[0020] 所述气隙的宽度为10mm～40mm。

[0021] 所述磁轭安装框的材料为陶瓷、花岗岩、玻璃钢或硬质塑料。

[0022] 本发明的技术创新性及产生的良好效果在于：

[0023] (1)本发明提出一种矩形开放式磁场的磁路结构设计，永磁体和磁轭零件的截面均为矩形，磁路结构简单可靠，零部件容易保证加工与装配精度；由于永磁体可采用先充磁、后装配的方式，因此可采用NdFeB等材料的高性能永磁体，从而可获得高气隙磁感应强度与大电磁驱动力；解决了现有技术方案中长尺寸圆筒形磁轭难以加工，零件加工与装配精度难以保证，强磁永磁体装配困难等问题；可使长气隙内主磁路的磁感应强度分布实现较高的均匀性指标。这是本发明区别于现有技术的创新点之一。

[0024] (2)本发明采用磁轭安装框可将长中心磁轭以两端支撑方式可靠安装固定，装配过程简单可靠，大大降低了装配难度；解决了长中心磁轭可靠安装固定的问题。这是本发明区别于现有技术的创新点之二。

[0025] (3)本发明在与气隙相邻的中心磁轭表面，沿气隙长度方向周期性布置深沟槽形式的阵列式微结构，理论与仿真分析及实验均表明，该方法可有效抑制电涡流的产生，大大降低涡流损耗的影响，既有效解决了涡流损耗带来的热扰动和热变形问题，又使磁路结构的实际性能指标与理论设计结果具有较高的一致性，实现较高设计精度；解决了涡流损耗这一电磁振动台磁路结构设计的难题。这是本发明区别于现有技术的创新点之三。

[0026] (4)本发明中长条形大尺寸永磁体可采用小块永磁体以先拼接后充磁的方式获得，可大大降低大尺寸永磁体的烧结、加工与充磁的难度；解决了现有技术方案中大尺寸圆柱形、圆筒形永磁体烧结、加工和充磁困难等问题。这是本发明区别于现有技术的创新点之四。

附图说明

[0027] 图1为涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放式电磁振动台磁路结构的示意图；

[0028] 图2为图1的俯视图；

- [0029] 图3为永磁体磁极布置方式和主磁路的示意图；
- [0030] 图4为与气隙相邻的中心磁轭表面的深沟槽一个实施例的示意图；
- [0031] 图5为与气隙相邻的中心磁轭表面的深沟槽另一个实施例的示意图；
- [0032] 图6为中心磁轭上深沟槽形式的阵列式微结构示意图；
- [0033] 图7为采用磁轭安装框对中心磁轭进行安装固定的示意图；
- [0034] 图8为磁轭安装框的结构示意图；
- [0035] 图9为线圈骨架一个实施例的结构示意图；
- [0036] 图10为线圈骨架另一个实施例的结构示意图。
- [0037] 图中件号说明：2中心磁轭、3永磁体、4外磁轭、5端磁轭、6线圈骨架、7气隙、8工作线圈、10磁轭安装框、11第一磁路、12第二磁路、13深沟槽。

具体实施方式

- [0038] 下面结合附图对本发明的具体实施方式进行详细说明，并给出实施例。
- [0039] 一种涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构，由中心磁轭2、永磁体3、外磁轭4、端磁轭5、线圈骨架6和工作线圈8构成，整体成轴对称结构，中心磁轭2、永磁体3、外磁轭4和端磁轭5的截面均为矩形，线圈骨架6的截面为口字形，两个外磁轭4的两端分别与两个端磁轭5刚性连接、构成口字形磁轭结构，中心磁轭2安装在口字形磁轭结构的长轴线上、两端分别与两个端磁轭5刚性连接，永磁体3的长度小于外磁轭4的长度，两个长条形永磁体3对称粘接装配在两个外磁轭4和中心磁轭2之间、两个外磁轭4相对的两个表面上，两个永磁体3的同磁极相对布置，两个永磁体3与中心磁轭2之间通过两条等宽度的气隙7分隔开，线圈骨架6可滑动地套装在中心磁轭2上，线圈骨架6上绕有工作线圈8，工作线圈8中通以精密可控的驱动电流，与气隙7相邻的中心磁轭2的两个表面上设有深沟槽13形式的阵列式微结构，深沟槽13沿气隙7的长度方向周期性布置。
- [0040] 所述中心磁轭2的安装方式是采用两个口字形截面、不导磁材料的磁轭安装框10，将两个磁轭安装框10套装在中心磁轭2的两端且与中心磁轭2刚性连接，通过固定两个磁轭安装框10将中心磁轭2以两端支撑的方式固定。
- [0041] 所述永磁体3是采用多个小块永磁体，以粘接的方式拼接构成。
- [0042] 所述永磁体3的材料为NdFeB。
- [0043] 所述中心磁轭2、外磁轭4和端磁轭5的材料为高磁导率电工纯铁。
- [0044] 所述线圈骨架6的材料为陶瓷、花岗岩、玻璃钢或硬质塑料。
- [0045] 所述气隙7的宽度为10mm～40mm。
- [0046] 所述磁轭安装框10的材料为陶瓷、花岗岩、玻璃钢或硬质塑料。
- [0047] 下面结合图1～图3给出本发明的一个实施例。本实施例中，涡流补偿的双排永磁体向心励磁矩形开放磁场式电磁振动台磁路结构用于产生水平方向的标准低频振动。永磁体3是NdFeB材料的强磁永磁体，所采用的NdFeB材料剩磁强度为1.17T，矫顽力为890kA/m，两个永磁体3的N极相对布置，对称安装在两个外磁轭4和中心磁轭2之间、两个外磁轭4相对的两个表面上，采用粘接方式装配固定。中心磁轭2、两个外磁轭4、两个端磁轭5采用高磁导率电工纯铁材料DT4C制成，最大相对磁导率可达到12000，饱和磁通量约为2.5T。中心磁轭2、两个永磁体3、两个外磁轭4、两个端磁轭5的截面均为矩形，中心磁轭2和两个端磁轭5同

轴装配。中心磁轭2和两个永磁体3之间通过两条长气隙7分隔开，气隙7的宽度为15mm，其中形成高均匀度的磁感应强度分布。中心磁轭2、两个外磁轭4的两端与两个端磁轭5均采用螺钉刚性连接。

[0048] 本实施例中，永磁体励磁所形成主磁路的磁力线所经过的路径如图3所示。以第一磁路11为例，磁力线从永磁体3的N极出发，依次经过中心磁轭2、端磁轭5、外磁轭4，然后回到永磁体的S极形成闭合磁路。图中第一磁路11和第二磁路12呈上下对称形式。

[0049] 线圈骨架6采用99氧化铝陶瓷制成，截面为口字形，中心的方形开口使线圈骨架6能够可滑动地套装在中心磁轭2上。工作线圈8是采用绝缘铜漆包线在线圈骨架6外表面缠绕形成，截面也是口字形，厚度为5mm，所通最大电流密度为 $5A/mm^2$ 。电磁振动台磁路结构装配完成后，线圈骨架6和工作线圈8有两个边位于气隙7中。电磁振动台工作时，控制信号经功率放大器放大后，输出有效值最高达几十A的功率电流加载到工作线圈8中，根据电磁场理论，磁场中通电的工作线圈8受到水平方向洛伦兹力作用，从而输出精密可控的电磁驱动力。通过控制所通电流的大小和方向可以精密控制电磁驱动力的大小和方向。控制信号如果采用标准正弦电信号，工作线圈8与线圈骨架6将在电磁驱动力的作用下沿轴向产生标准低频正弦振动。

[0050] 下面结合图4和图6给出与气隙相邻的中心磁轭表面的深沟槽的一个实施例。图4是图2的局部放大图。深沟槽13设置在中心磁轭2与气隙7相邻的两个表面，图中深沟槽13沿中心磁轭2的高度方向加工，并沿气隙7的长度方向周期性排列。本实施例中，深沟槽13的截面为矩形，其宽度为1mm，深入中心磁轭2表面的深度为10mm，相邻的两个深沟槽13之间的距离为10mm。理论与仿真分析及实验研究结果表明，本发明中深沟槽形式的阵列式微结构可有效抑制电涡流的产生，显著降低涡流损耗。

[0051] 下面结合图5给出与气隙相邻的中心磁轭表面的深沟槽的另一个实施例。图5也是图2的局部放大图。本实施例中，深沟槽13的截面为齿形，其齿根宽度为1mm，齿尖深入中心磁轭2表面的深度为10mm，相邻的两个深沟槽13之间的距离为10mm。

[0052] 下面结合图7、图8给出磁轭安装框的一个实施例。要使线圈骨架6和工作线圈8套装在中心磁轭2上且具有较长的行程，长尺寸中心磁轭2必须以两端支撑的方式进行安装固定。本实施例中，磁轭安装框10采用陶瓷材料制成，截面为口字形，两个磁轭安装框10套装在中心磁轭2的两端并通过螺钉与中心磁轭2刚性连接，两个磁轭安装框10上有螺纹孔，通过螺钉固定在电磁振动台的基座部件或其它部件上。

[0053] 图9给出了线圈骨架的一个实施例。本实施例中，线圈骨架6采用99氧化铝陶瓷材料，截面为口字形，壁厚为5mm，其中心的方形开口使线圈骨架6能够可滑动地套装在中心磁轭2上。工作线圈8均匀密绕在线圈骨架6上，线圈骨架6的两端加工有小凸台，用于防止工作线圈8脱落。

[0054] 图10给出了线圈骨架的另一个实施例。本实施例中，线圈骨架6的薄壁上设有减重孔，用于减轻线圈骨架6的重量，减重孔为长方孔，沿薄壁四周均匀分布。实际实施过程中也可采用密布圆孔、小方孔等其它形式的减重孔。

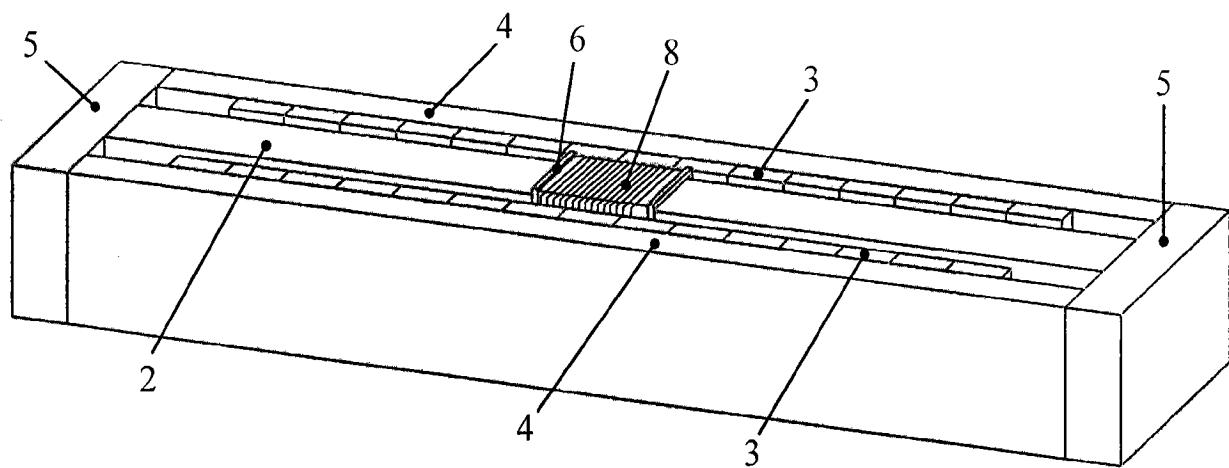


图1

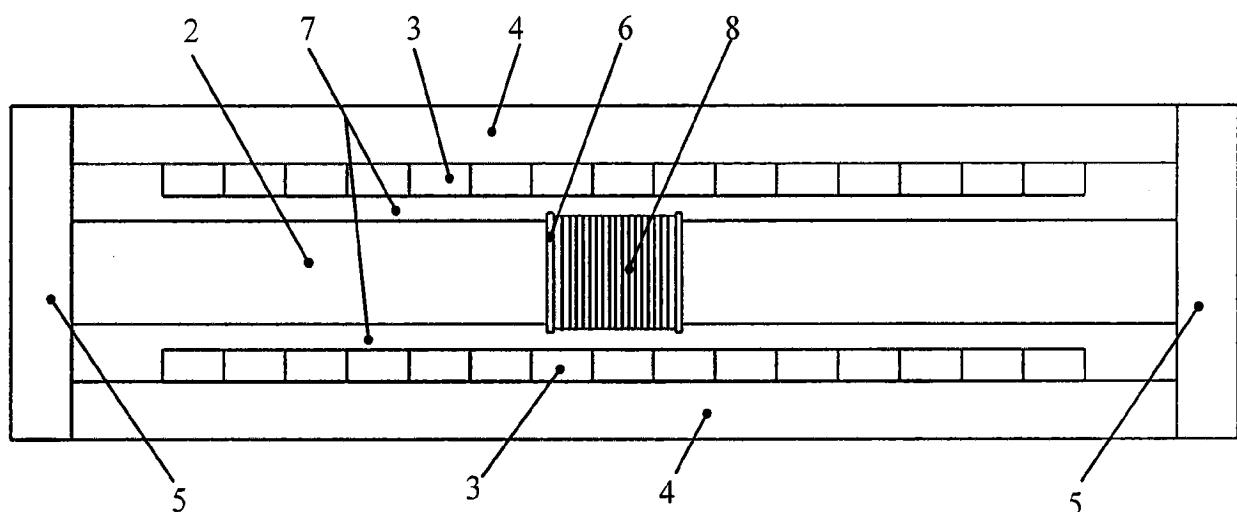


图2

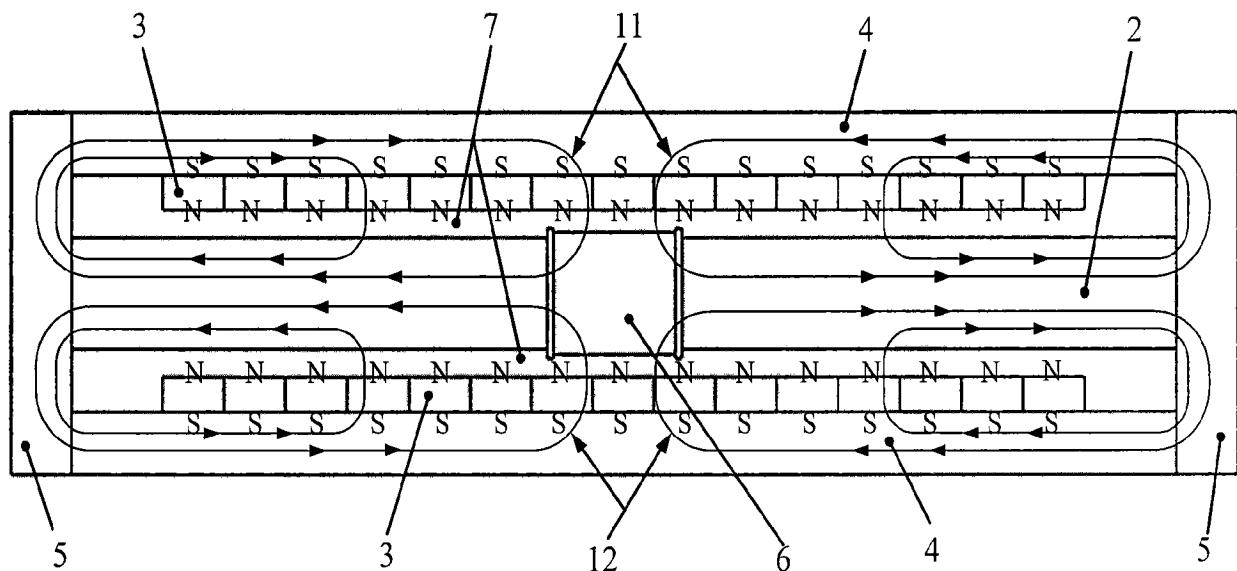


图3

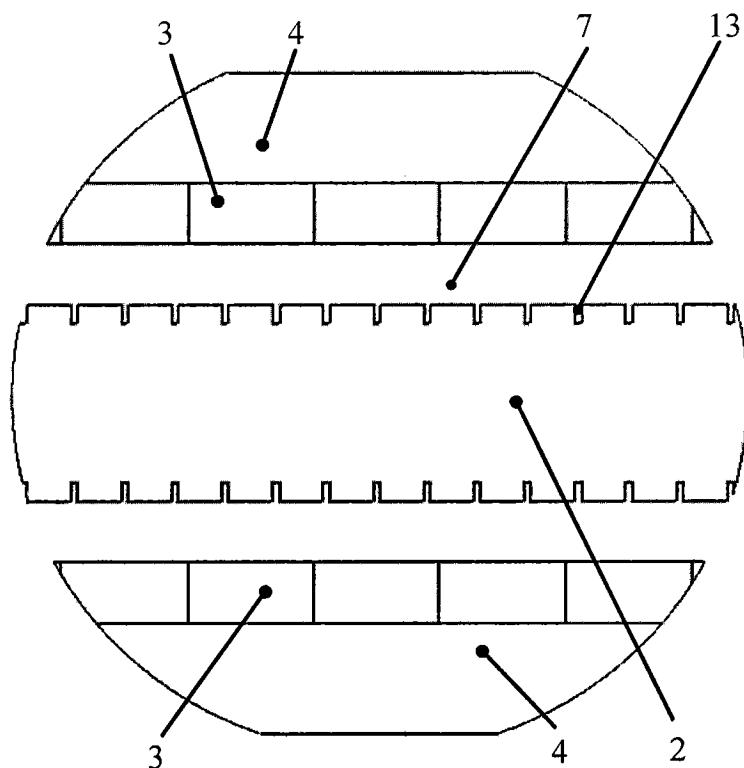


图4

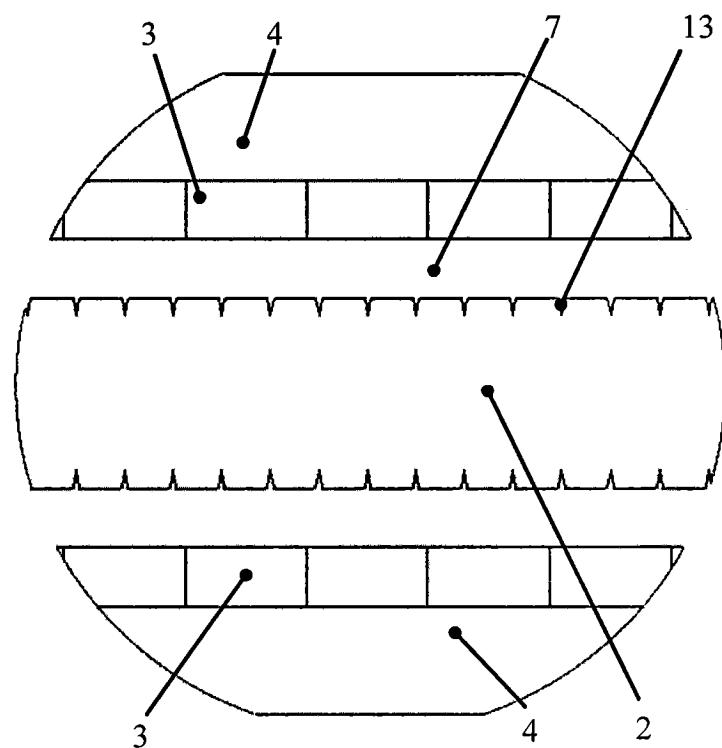


图5

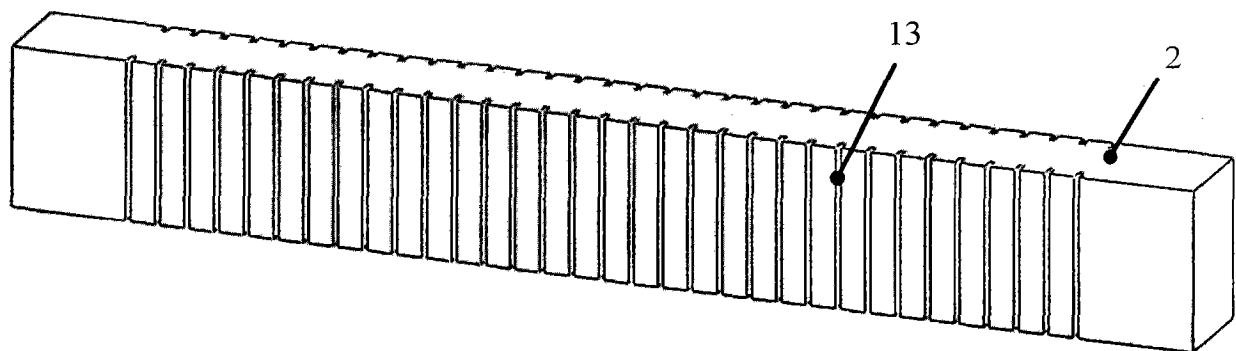


图6

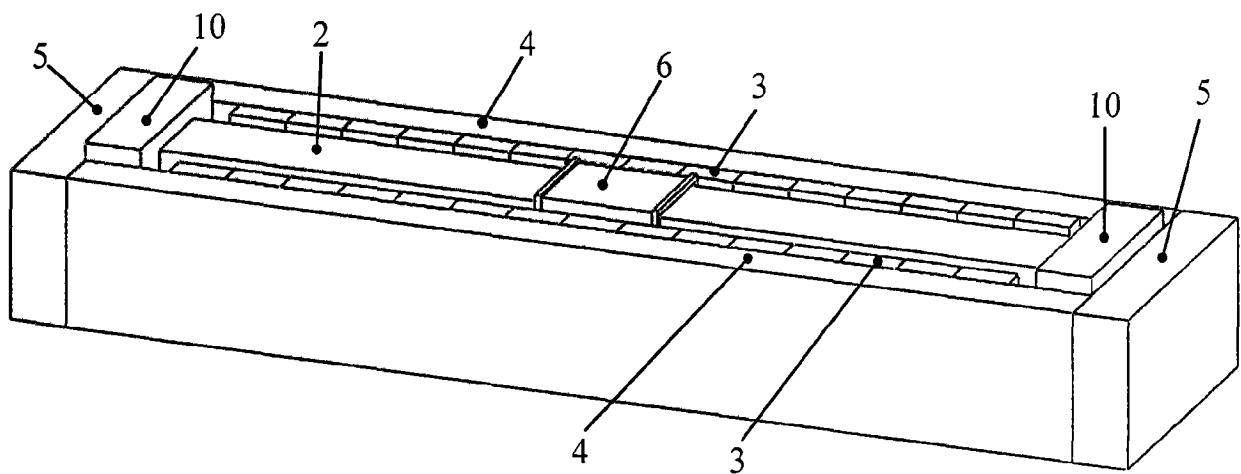


图7

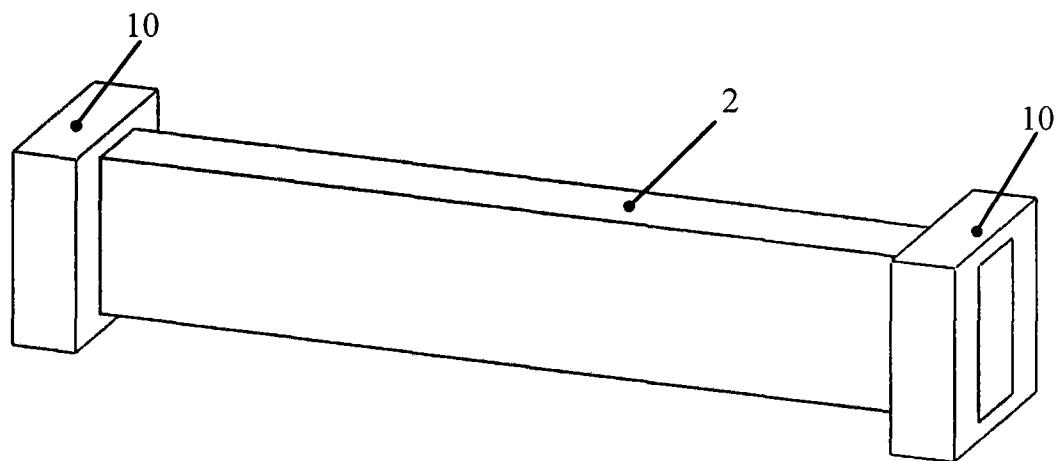


图8

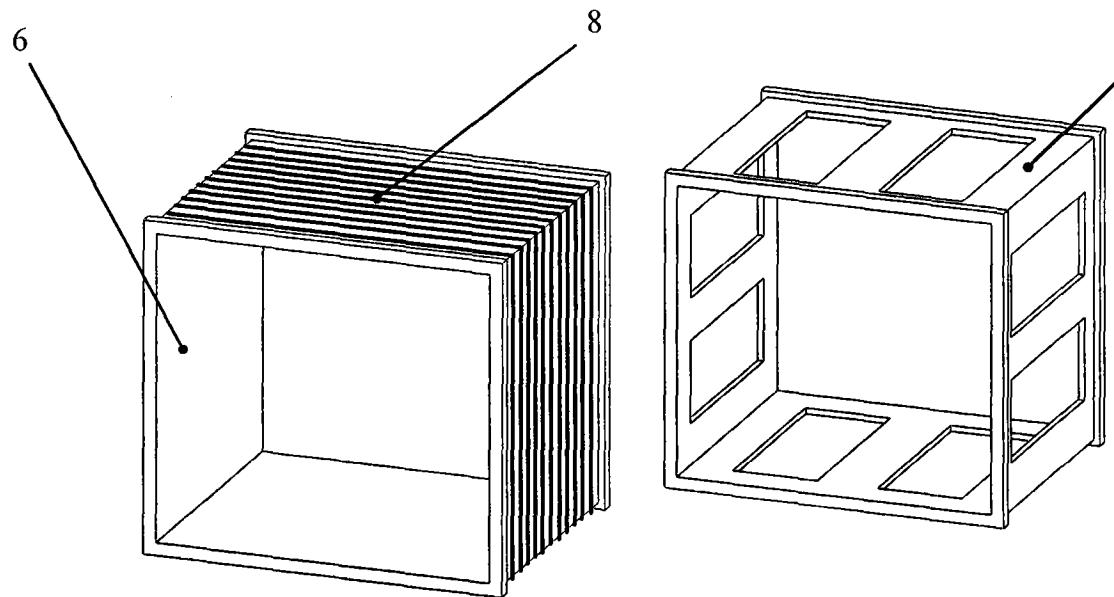


图9

图10