



DOCUMENT MADE AVAILABLE UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

International application number:	PCT/CN2022/142721
International filing date:	28 December 2022 (28.12.2022)
Document type:	Certified copy of priority document
Document details:	Country/Office: CN
	Number: 202111647922.8
	Filing date: 29 December 2021 (29.12.2021)
Date of receipt at the International Bureau:	31 January 2024 (31.01.2024)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a),(b) or (b-bis)

证 明

本证明之附件是向本局提交的下列专利申请文件副本。

申 请 号： 202111647922.8

申 请 类 型： 发明专利

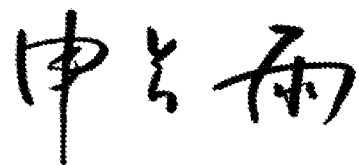
发明 创造 名称： 一种干式变压器

申 请 日： 2021.12.29

申 请 人： 江苏神马电力股份有限公司

发明人或设计人： 马斌、张鑫鑫、马婷婷、刘超、张小容

局长
申长雨



2024 年 01 月 30 日

权 利 要 求 书

1. 一种干式变压器，其特征在于，包括铁芯、低压绕组和高压绕组，所述低压绕组套设在所述铁芯外，所述高压绕组套设在所述低压绕组外；所述高压绕组包括绕线体、高压线圈、高压绝缘层，导线绕制在所述绕线体上形成所述高压线圈，所述高压绝缘层填充所述高压线圈和所述绕线体之间的间隙以及所述绕线体的两端，所述高压绝缘层为高温硫化硅橡胶。
2. 如权利要求 1 所述的干式变压器，其特征在于，所述绕线体包括绕线部，所述绕线部包括周向设置的若干绕线板，所述绕线板上设置若干绕线槽使所述绕线板形成若干梳齿。
3. 如权利要求 2 所述的干式变压器，其特征在于，将所述梳齿沿所述高压绕组轴向的高度定义为齿高，所述绕线板中部的所述梳齿的齿高和所述绕线板两端的所述梳齿的齿高均大于所述绕线板其他部分的所述梳齿的齿高，使得所述绕线板在沿所述高压绕组的轴向上自一端朝向另一端，依次形成第一高梳齿区、第一低梳齿区、第二高梳齿区、第二低梳齿区、第三高梳齿区。
4. 如权利要求 3 所述的干式变压器，其特征在于，所述第一高梳齿区、所述第三高梳齿区关于所述第二高梳齿区对称设置，所述第一低梳齿区、所述第二低梳齿区关于所述第二高梳齿区对称设置。
5. 如权利要求 2 所述的干式变压器，其特征在于，所述绕线体还包括辅助件，所述辅助件与若干所述绕线板卡设连接。
6. 如权利要求 2 所述的干式变压器，其特征在于，所述绕线体还包括支撑筒，所述支撑筒为空心柱体，若干所述绕线板周向均布在所述支撑筒的外周面上，每个所述绕线板的长度方向沿所述支撑筒的轴向设置。
7. 如权利要求 5 所述的干式变压器，其特征在于，所述辅助件包括中部辅助件和端部辅助件，所述中部辅助件设置于所述绕线板的内壁，所述端部辅助件设置于所述绕线板的端部外侧。
8. 如权利要求 2 所述的干式变压器，其特征在于，所述高压线圈包括若干段线圈，所述导线绕制在所述绕线槽中使得若干段所述线圈沿所述高压绕组的轴向间隔设置，所述绕线板上的相邻两个所述梳齿间至少设置一段所述线圈。

9. 如权利要求 8 所述的干式变压器,其特征在于,每段所述线圈沿所述高压绕组的轴向层式往复绕制并在所述绕线体的外周面呈紧密排布的螺旋状。
10. 如权利要求 9 所述的干式变压器,其特征在于,所述线圈沿所述高压绕组的轴向设有至少一个层间绝缘层,所述层间绝缘层为边缘呈波浪形的绝缘长条。
11. 如权利要求 1 所述的干式变压器,其特征在于,所述铁芯外侧设有四个铁芯夹件,所述铁芯夹件采用纤维增强复合材料制成。
12. 如权利要求 11 所述的干式变压器,其特征在于,所述铁芯夹件由纤维材料浸渍环氧树脂模压成型或者拉挤成型。
13. 如权利要求 1 所述的干式变压器,其特征在于,所述低压绕组包括铜箔和低压绝缘层,所述铜箔和所述低压绝缘层交替设置。
14. 如权利要求 13 所述的干式变压器,其特征在于,所述低压绝缘层为 SHS-P 二苯醚预浸材料或者硅橡胶薄膜。
15. 如权利要求 13 所述的干式变压器,其特征在于,所述低压绕组中设有至少一条散热气道,所述散热气道位于所述铜箔和所述低压绝缘层之间。
16. 如权利要求 2 所述的干式变压器,其特征在于,所述导线包括第一导线和第二导线,所述第一导线从所述绕线部的第一端沿所述高压绕组的轴向绕制至所述绕线部的中部,所述第二导线从所述绕线部的所述中部沿所述高压绕组的轴向绕制至所述绕线部的第二端。

说明书

一种干式变压器

技术领域

本申请涉及电力变压器技术领域，特别是涉及一种干式变压器。

背景技术

目前变压器可分为：油浸式变压器、干式变压器、气体变压器。干式变压器具有无油、防火、寿命长、节能低噪、维护简单、安全可靠等优点。当前市场上干式变压器大多数为树脂浇注高压绕组的干式变压器和敞开干式变压器。虽然干式变压器在近 10 年来有了很大的发展，但在运行中仍存在绝缘开裂、导热差、运行环境严苛等问题。

发明内容

针对现有技术的不足，本申请的目的在于提供一种干式变压器，具备较好的防火性能、耐老化性能、抗短路试验能力；线圈可回收，能耗低，节能环保；绝缘层稳固，机械性能好，使用寿命长。

为实现上述目的，本申请所采用的技术方案是：一种干式变压器，包括铁芯、低压绕组和高压绕组，低压绕组套设在铁芯外，高压绕组套设在低压绕组外；高压绕组包括绕线体、高压线圈、高压绝缘层，导线绕制在绕线体上形成高压线圈，高压绝缘层填充高压线圈和绕线体之间的间隙以及绕线体的两端，高压绝缘层为高温硫化硅橡胶。该干式变压器采用纤维增强复合材料作为绕线体，以及采用高温硫化硅橡胶浇注形成高压绕组，使干式变压器具备较好的防火性能、耐老化性能、抗短路试验能力，且该干式变压器整体机械性能好，使用寿命长。

优选地，绕线体包括绕线部，绕线部包括周向设置的若干绕线板，绕线板上设置若干绕线槽使绕线板形成若干梳齿。绕线板的周向均布设置使得导线在绕线板上的绕制更加牢靠，能够均衡支撑导线。

优选地，将梳齿沿高压绕组轴向的高度定义为齿高，绕线板中部的梳齿的齿高和绕线板两端的梳齿的齿高均大于绕线板其他部分的梳齿的齿高，使得绕线板在沿高压绕组的轴向上自一端朝向另一端，依次形成第一高梳齿区、第一低梳齿区、第二高梳齿区、第二低梳齿区、第三高梳齿区。绕线板中部需要引出分接线的分接头，将绕线板中部的齿高设置大一点，使得对应的相邻两个绕线槽之间的距离更大，可以为分接头留出放置空间。以及，由于高

压线圈的端部场强不均，将绕线板两端的齿高设置大一点可均匀电场。

优选地，第一高梳齿区、第三高梳齿区关于第二高梳齿区对称设置，第一低梳齿区、第二低梳齿区关于第二高梳齿区对称设置。使高压线圈在高压绕组的轴向上对称设置，此时高压绕组的重心位于高压绕组的中心位置，便于高压绕组的吊装、运输。

优选地，绕线体还包括辅助件，辅助件与若干绕线板卡设连接，使绕线板的结构稳固，能够承受导线绕制的支撑力。

优选地，绕线体还包括支撑筒，支撑筒为空心柱体，若干绕线板周向均布在支撑筒的外周面上，每个绕线板的长度方向沿支撑筒的轴向设置。绕线板的周向均布设置使得导线在支撑筒外周面的绕制更加牢靠，能够均衡支撑导线。

优选地，辅助件包括中部辅助件和端部辅助件，中部辅助件设置于绕线板的内壁，端部辅助件设置于绕线板的端部外侧，既能保持绕线板的稳固设置，又不会对导线的绕制产生影响。

优选地，高压线圈包括若干段线圈，导线绕制在绕线槽中使得若干段线圈沿高压绕组的轴向间隔设置，绕线板上的相邻两个梳齿间至少设置一段线圈，线圈在梳齿状的绕线板上绕制，能够更加稳固，防止线圈窜位。

优选地，每段线圈沿高压绕组的轴向层式往复绕制并在绕线体的外周面呈紧密排布的螺旋状，形成层式的高压线圈。

优选地，线圈沿高压绕组的轴向设有至少一个层间绝缘层，层间绝缘层为边缘呈波浪形的绝缘长条，使层间绝缘层的机械强度更高，当高压绝缘层为高温硫化硅橡胶时，层间绝缘层可抵抗硅橡胶高温注射时的冲击力。

优选地，铁芯外侧设有四个铁芯夹件，铁芯夹件采用纤维增强复合材料制成，铁芯夹件用于夹紧固定铁芯的上端和下端，配合干式变压器整体的安装。

优选地，铁芯夹件由纤维材料浸渍环氧树脂模压成型或者拉挤成型，相比传统的槽钢结构，具备更优异的经济性能，可以取消在铁芯外表面固定的绝缘垫，且纤维增强复合材料的成本更低，总体成本可降低60%左右。

优选地，低压绕组包括铜箔和低压绝缘层，铜箔和低压绝缘层交替设置，能够保证低压绕组的绝缘性能。

优选地，低压绝缘层为SHS-P二苯醚预浸材料或者硅橡胶薄膜，能够进一步保证低压绕组的绝缘，满足干式变压器不同的温升等级要求。

优选地，低压绕组中设有至少一条散热气道，散热气道位于铜箔和低压绝缘层之间，能够使干式变压器在运行过程中，低压绕组产生的热量得到释放，避免干式变压器过热失效。

优选地，导线包括第一导线和第二导线，第一导线从绕线部的第一端沿

高压绕组的轴向绕制至绕线部的中部，第二导线从绕线部的中部沿高压绕组的轴向绕制至绕线部的第二端，导线绕制过程中形成分接头，可用于干式变压器根据不同运行工况调节电压。

附图说明

- 图 1 是本申请一实施方式的干式变压器 10 的主视图；
图 2 是本申请一实施方式的干式变压器 10 的俯视图；
图 3 是本申请一实施方式的装配后的铁芯 110 的主视图；
图 4 是图 2 中 G 处的放大图；
图 5 是本申请一实施方式的铁芯夹件 140 的主视图；
图 6 是本申请一实施方式的铁芯夹件 140 的侧视图；
图 7 是本申请另一实施方式的干式变压器 20 的主视图；
图 8 是本申请另一实施方式的干式变压器 20 的侧视图；
图 9 是本申请另一实施方式的下夹件 250 的侧视图；
图 10 是本申请一实施方式的绕线体 1310 的立体示意图；
图 11 是本申请一实施方式的支撑筒 1311 的剖面图；
图 12 是本申请一实施方式的高压线圈 1320 绕制在绕线体 1310 上的立体示意图；
图 13 是本申请一实施方式的高压绕组 130 的立体示意图；
图 14 是本申请一实施方式的工装连接件 101 的立体示意图；
图 15 是本申请一实施方式的高压线圈 1320 的线路简图；
图 16 是本申请一实施方式的高压绕组 130 的局部截面图；
图 17 是本申请另一实施方式的高压绕组 230 的局部截面图；
图 18 是本申请又一实施方式的高压绕组 330 的局部截面图；
图 19 是本申请又一实施方式的高压绕组 430 的局部截面图；
图 20 是本申请另一实施方式的绕线体 5310 的立体示意图；
图 21 是图 20 中 H 处的放大图；
图 22 是本申请另一实施方式的支撑筒 6311 的立体示意图；
图 23 是图 22 中 J 处的放大图。

具体实施方式

根据要求，这里将披露本申请的具体实施方式。然而，应当理解的是，这里所披露的实施方式仅仅是本申请的典型例子而已，其可体现为各种形式。因此，这里披露的具体细节不被认为是限制性的，而仅仅是作为权利要求的基础以及作为用于教导本领域技术人员以实际中任何恰当的方式不同地应用本申请的代表性的基础，包括采用这里所披露的各种特征并结合这里可能没

有明确披露的特征。

本申请中所述的“连接”，除非另有明确的规定或限定，应作广义理解，可以是直接相连，也可以是通过中间媒介相连。在本申请的描述中，需要理解的是，“上”、“下”、“端部”、“一端”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本申请和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本申请的限制。

如图 1-图 3 所示，干式变压器 10 为三相变压器，分别为 A 相、B 相和 C 相，即干式变压器 10 包括三个单相变压器 100。根据铁芯 110 的结构不同，三个变压器 100 可以排列形成直线型或三角结构，且三个变压器 100 呈对称结构。此外，该干式变压器 10 也可以为隔离变压器、变频变压器、试验变压器等。

在一实施例中，继续参阅图 1-图 3，三个变压器 100 排列形成直线型结构，干式变压器 10 包括铁芯 110、三个低压绕组 120 和三个高压绕组 130。铁芯 110、低压绕组 120、高压绕组 130 从内到外依次设置。铁芯 110 包括三个柱状铁芯体 111、位于三个柱状铁芯体 111 上端的上铁轭 112 和位于三个柱状铁芯体 111 下端的下铁轭 113，三个低压绕组 120 分别套设在三个柱状铁芯体 111 的外周，三个高压绕组 130 分别套设在三个低压绕组 120 的外周，即三个柱状铁芯体 111、三个低压绕组 120 和三个高压绕组 130 从内向外依次一一对应套设。铁芯 110、低压绕组 120、高压绕组 130 同轴设置，即三者的轴向为同一方向。柱状铁芯体 111 由多层硅钢片叠加而成，在多层硅钢片外用扎带进行绑扎固定，柱状铁芯体 111 的径向截面大致呈椭圆形或者圆形或者其他形状，只要能被容纳在低压绕组 120 的空心腔中即可，在此不作限制。上铁轭 112 和下铁轭 113 也是通过多层硅钢片叠加而成，使三个柱状铁芯体 111 固定连接，从而形成铁芯 110。

示意性的，本申请提供了一种简便的铁芯 110、低压绕组 120 和高压绕组 130 的装配方法。铁芯 110 的下铁轭 113 首先通过多层硅钢片叠加而成并设置在干式变压器 10 的底部，然后在下铁轭 113 的两端和中间部位分别插设多层硅钢片形成三个柱状铁芯体 111，再在柱状铁芯体 111 外依次套设低压绕组 120、高压绕组 130，最后在三个柱状铁芯体 111 的上端再通过水平插设多层硅钢片形成上铁轭 112，从而完成铁芯 110、低压绕组 120 和高压绕组 130 的装配。

结合图 1-图 2、图 5-图 6，铁芯 110 的外侧设置有铁芯夹件 140，铁芯夹件 140 用于夹持铁芯 110。铁芯夹件 140 由三个夹件相互连接形成，三个夹件均为板件，将位于中间位置的夹件定义为第一夹件 142，其余的两个夹件定义为第二夹件 143，两个第二夹件 143 在第一夹件 142 与两个第二夹件 143

连接的两侧同向延伸,使铁芯夹件 140 呈类似于槽钢的结构,即可以形成“匚”字型结构。优选地,第二夹件 143 与第一夹件 142 垂直设置。第一夹件 142 用于紧贴铁芯 110,第二夹件 143 朝向远离铁芯 110 的方向。铁芯夹件 140 安装后,第一夹件 142 的板面沿铁芯 110 的轴向设置,第二夹件 143 的板面沿铁芯 110 的径向设置。具体的,一应用场景中,铁芯 110 的轴向沿竖直方向,铁芯 110 的径向沿水平方向。当然,在其他实施方式中,铁芯夹件也可以为矩形的空心管件,即铁芯夹件由四个板件结构的夹件相互连接并包围形成封闭的结构,该结构使铁芯夹件的结构更稳定;或者铁芯夹件由五个、六个或者更多个板件结构的夹件相互连接并包围形成封闭的结构,在此不作限制。

铁芯夹件 140 设置为四个,其中两个铁芯夹件 140 对称位于铁芯 110 上端的两侧,夹紧铁芯 110 的上端(即上铁轭 112)后通过第一紧固件固定连接;另外两个铁芯夹件 140 对称位于铁芯 110 下端的两侧,夹紧铁芯 110 的下端(即下铁轭 113)后通过第二紧固件固定连接。第一紧固件、第二紧固件均采用相互配合使用的若干螺杆及螺栓以分别通过两个铁芯夹件 140 夹紧铁芯 110 的两端。铁芯夹件 140 的两端均开设有第一通孔 141,具体地,两个第一通孔 141 开设在第一夹件 142 的两端。将两个铁芯夹件 140 对应放置在铁芯 110 上端的两侧,并在两个铁芯夹件 140 同一端的两个第一通孔 141 内同时穿设螺杆(图未示)后用螺栓拧紧固定,两个铁芯夹件 140 的两端均如此固定,使两个铁芯夹件 140 夹紧铁芯 110 的上端。铁芯 110 下端的两个铁芯夹件 140 也采用同样方式固定并夹紧铁芯 110 的下端,具体不再赘述。此外为进一步可靠夹紧铁芯 110,铁芯夹件 140 的中间部位也采用相互配合使用的若干螺杆和螺栓以夹紧铁芯 110 的中部。第二夹件 143 上还设有第二通孔(图中未示出),用于与低压绕组 120 连接。

同时,上端的两个铁芯夹件 140 位于铁芯 110 外设置的高压绕组 130 的上方,且高压绕组 130 的顶部设有若干绝缘垫块 1001 用于支撑上端的两个铁芯夹件 140,以及使低压绕组 120 和高压绕组 130 与上铁轭 112 保持安全的电气距离。同样地,下端的两个铁芯夹件 140 位于铁芯 110 外的高压绕组 130 的下方,且下端的两个铁芯夹件 140 的顶部也设有若干绝缘垫块 1001 用于支撑低压绕组 120 和高压绕组 130,以及使低压绕组 120 和高压绕组 130 与下铁轭 113 之间保持安全的电气距离。绝缘垫块 1001 由绝缘材料制成,如团状模塑料(DMC:Dough Molding Compound)、片状模塑料(SMC:Sheet Molding Compound)等低收缩不饱和聚酯玻璃纤维增强模塑料,或者由环氧树脂浇注成型。

铁芯夹件 140 由纤维增强复合材料制成,具体可由玻璃纤维浸渍环氧树脂模压成型,或者由芳纶纤维浸渍环氧树脂模压成型,也可以采用其他复合

材料制成，此时第一夹件 142 和第二夹件 143 一体成型，在此不作限制。

纤维增强复合材料指由增强纤维材料，如玻璃纤维、芳纶纤维等，与基体材料经过缠绕、模压或拉挤等成型工艺而形成的复合材料。

在其他实施方式中，铁芯夹件也可以由金属材料制成，例如第一夹件和第二夹件可以是一体成型的槽钢的不同侧壁，也可以是分体成型后通过焊接方式连接固定。此时，铁芯夹件外需要连接小支柱绝缘子之类的绝缘部件使高低压接线处与金属槽钢之间绝缘。同时，在铁芯外也应设置绝缘垫，一方面使铁芯与铁芯夹件之间绝缘，另一方面避免铁芯夹件上产生涡流而造成铁芯的电磁损耗。

本实施方式中采用纤维增强复合材料制成的铁芯夹件 140，相比传统的槽钢结构的铁芯夹件，具备更优异的经济性能，可以取消在铁芯 110 外表面固定的绝缘垫，且纤维增强复合材料的成本更低，总体成本可降低 60% 左右。同时，由于传统的槽钢结构是金属导电材料，需要在铁芯夹件上连接额外的绝缘部件进行绝缘，比如小支柱绝缘子，如此，一方面增加了成本，另一方面增加了整个设备的重量，设备运行中噪声大，且铁制品生产过程中碳排放量大，污染严重，纤维增强复合材料制成的铁芯夹件 140 解决了这些问题；此外，采用纤维增强复合材料制成的铁芯夹件 140 不会在复合体内产生涡流损耗，由此将降低干式变压器 10 的空载损耗。综上，纤维增强复合材料制成的铁芯夹件 140，成本低、重量轻、机械性能好，且纤维增强复合材料生产过程排碳量低，更绿色、更环保。

结合图 2 和图 4 所示，低压绕组 120 包括铜箔 121、低压绝缘层 122 和支撑条 123，铜箔 121 和低压绝缘层 122 交替设置。铜箔 121 通过整张铜箔纸卷绕成型，低压绝缘层 122 与铜箔 121 重叠设置后共同卷绕，如此实现铜箔 121 和低压绝缘层 122 的交替设置。低压绕组 120 中设有至少一条散热气道，该散热气道位于相邻的铜箔 121 和低压绝缘层 122 之间，以及支撑条 123 位于该散热气道内，用于支撑隔离相邻的铜箔 121 和低压绝缘层 122。具体地，支撑条 123 为绝缘支撑条 123，当铜箔 121 和低压绝缘层 122 重叠卷绕至固定厚度时用绝缘支撑条 123 固定在低压绝缘层 122 或铜箔 121 的外表面，继续重叠卷绕以使铜箔 121 或低压绝缘层 122 贴紧绝缘支撑条 123，绝缘支撑条 123 可以采用胶粘方式固定在相邻铜箔 121 和低压绝缘层 122 之间，也可以通过卷绕时产生的挤压力或者其他方式固定。每层散热气道内设有多个绝缘支撑条 123，多个绝缘支撑条 123 沿铜箔 121 外周面的周向间隔设置，同时起到支撑相邻铜箔 121 和低压绝缘层 122 的作用。每层散热气道内设置的绝缘支撑条 123 至少为两个，可以是两个、三个、四个或者更多个。优选地，同一层的多个绝缘支撑条 123 沿铜箔 121 外周面的周向均匀间隔设置。设置绝缘支撑条 123 之后继续重叠卷绕铜箔 121 和低压绝缘层 122 至预定厚

度形成低压绕组 120。散热气道的设置,能够使干式变压器 10 在运行过程中,低压绕组 120 产生的热量得到释放,避免干式变压器 10 过热失效。其中,散热气道可以设置一层,也可以设置两层或更多层,在此不作限制。

低压绝缘层 122 采用聚酰亚胺浸渍纸,具体可以为 SHS-P 二苯醚预浸材料,选用聚酰亚胺薄膜与聚矾纤维非织布柔软复合材料浸渍二苯醚树脂后烘烤而成,当然低压绝缘层也可以采用 DMD 绝缘纸或硅橡胶薄膜,或者其他绝缘材料,根据干式变压器不同的温升等级选取即可。

绝缘支撑条 123 由玻璃纤维浸渍环氧树脂制成,或者由芳纶纤维浸渍环氧树脂制成,在此不作限制。并且,绝缘支撑条 123 为截面呈工字型的长条,机械强度更稳定。当然,绝缘支撑条也可以为截面呈方形或者其他形状的长条,只要能够起到支撑隔离的作用即可。

低压绕组 120 的内圈层还设有内引线铜排,低压绕组 120 的外圈层还设有外引线铜排,内引线铜排和外引线铜排的自由端上设置连接孔,该连接孔与铁芯夹件 140 上的第二通孔对应匹配后紧固连接。

在另一实施例中,结合图 7-图 9 所示,干式变压器 20 的铁芯夹件包括两个上夹件 240 和两个下夹件 250,上夹件 240 与前述铁芯夹件 140 的结构一致,且采用纤维增强复合材料制成,具体不再赘述。两个下夹件 250 通过相互配合使用的若干螺杆及螺栓连接安装在铁芯 210 的两侧,具体为下铁轭 213 的两侧,下夹件 250 的底部与地脚 202 通过螺栓连接在一起,这样形成一个框架结构,然后将低压绕组、高压绕组从上向下套在铁芯 210 上,低压绕组、高压绕组的底部均直接坐落在下夹件 250 上,最后再进行其他部件的安装。

其中,与上夹件 240 的不同之处在于,下夹件 250 设计为矩形的空心管件,即下夹件 250 由四个板件结构的夹件相互连接并包围形成封闭的结构,下夹件 250 需要承受低压绕组、高压绕组等部件的重力,该结构能够使下夹件 250 承受更高的机械强度,结构更稳定。

结合图 8 和图 9,下夹件 250 的四个夹件中,将沿竖直方向设置的两个夹件定义为第一夹件 252,将沿水平方向设置的两个夹件定义为第二夹件 253,四个夹件相互连接并包围形成封闭的矩形结构。其中一个第一夹件 252 紧贴下铁轭 213 设置,其中一个第二夹件 253 紧贴低压绕组和高压绕组设置,另一个第二夹件 253 与地脚 202 通过螺栓连接在一起。并且,将第一夹件 252 沿铁芯 210 轴向的高度设置更大,使低压绕组、高压绕组的底部直接坐落在第二夹件 253 上,同时也使得下铁轭 213 与低压绕组和高压绕组之间留有一定的间隙 M,该间隙 M 能够使低压绕组的下端和高压线绕组的下端分别与下铁轭 213 之间保持安全的电气距离,从而可避免在下夹件 250 与低压绕组和高压线绕组之间设置绝缘垫块,节省成本。

下夹件 250 由纤维增强复合材料制成, 具体可由玻璃纤维浸渍环氧树脂制成, 重量轻, 绝缘性能好, 机械强度高, 所以低压绕组和高压绕组可以直接放置在下夹件 250 上, 无需其他支撑垫块结构, 节约了一定成本, 降低了产品重量, 更省去了调整垫块位置和方向的步骤, 能够节约时间, 提升产品的装配效率, 以及使得干式变压器整体结构稳定性强, 避免了产品运输过程中垫块移位等缺陷造成的低压绕组和高压绕组移位和电气距离变化的风险。

如图 10-图 15 所示, 高压绕组 130 包括绕线体 1310、高压线圈 1320 和高压绝缘层 1330, 导线绕制在绕线体 1310 上形成高压线圈 1320。绕线体 1310 包括支撑筒 1311 和绕线部 1312, 其中支撑筒 1311 为空心柱体, 可以是空心圆柱体, 也可以是空心椭圆柱体, 或者是其他空心柱状体; 绕线部 1312 位于支撑筒 1311 的外周面上, 导线绕制在绕线部 1312 中形成高压线圈 1320, 且高压线圈 1320 包括若干段线圈, 若干段线圈沿支撑筒 1311 的轴向间隔布置。绕线体 1310 的轴向与高压绕组 130 的轴向为同一方向。

绕线部 1312 包括若干绕线板 1313, 若干绕线板 1313 周向均布在支撑筒 1311 的外周面上, 每个绕线板 1313 沿支撑筒 1311 轴向设置, 绕线板 1313 沿支撑筒 1311 的轴向长度小于支撑筒 1311 沿其轴向的长度。其中, 绕线板 1313 的数量至少为两个, 即可以为两个、三个、四个或者更多, 在此不作限制。为了使导线绕制牢靠, 且尽量节约材料, 10kV/1000kVA 干式变压器的绕线板 1313 的数量设置为十二个。在其他实施方式中, 绕线板沿支撑筒的轴向长度也可以等于支撑筒沿其轴向的长度。

绕线板 1313 为矩形板件, 绕线板 1313 较长的侧边沿支撑筒 1311 的轴向设置, 绕线板 1313 上还设有若干绕线槽 1314, 若干绕线槽 1314 沿支撑筒 1311 的径向设置且沿支撑筒 1311 的轴向间隔分布, 使绕线板 1313 呈梳齿状, 也即绕线板 1313 上形成有若干梳齿。将绕线板 1313 上的梳齿沿支撑筒 1311 轴向的高度定义为齿高, 绕线板 1313 两端的梳齿的齿高及绕线板 1313 中部的梳齿的齿高均大于其他部分的梳齿的齿高, 这是由于高压线圈 1320 的端部场强不均, 将绕线板 1313 两端的齿高设置大一点可均匀电场, 而绕线板 1313 中部需要引出分接线的分接头, 将绕线板 1313 中部的齿高设置大一点, 则对应的相邻两个绕线槽 1314 之间的距离更大, 可以为从绕线板 1313 中部引出的分接头留出放置空间。同时, 将齿高稍大的梳齿区域定义为高梳齿区, 将齿高稍小的梳齿区域定义为低梳齿区。继而通过上述设置, 使得绕线板 1313 在沿支撑筒 1311 的轴向上自一端朝向另一端, 依次形成第一高梳齿区、第一低梳齿区、第二高梳齿区、第二低梳齿区、第三高梳齿区。进一步地, 第一高梳齿区、第二高梳齿区和第三高梳齿区的齿高具体不限制, 例如可以彼此相同, 也可以各不同。以及第一高梳齿区、第三高梳齿区可以关于第二高梳齿区对称设置, 第一低梳齿区、第二低梳齿区也可以关于第二高梳齿区对称

设置,使高压线圈 1320 在高压绕组 130 的轴向上对称设置,此时高压绕组 130 的重心位于高压绕组 130 的中心位置,便于高压绕组 130 的吊装、运输。当然也可以不对称设置,在此不作限制。

绕线板 1313 上的相邻两个梳齿间至少设置一段线圈,使得每个绕线槽 1314 中均缠绕有导线,合理分布设置高压线圈 1320,且各段线圈实现间隔设置。

若干绕线板 1313 周向均布在支撑筒 1311 的外周面上,所有绕线板 1313 的两端平齐设置,并且所有绕线板 1313 上的绕线槽 1314 在支撑筒 1311 的周向上一一对应匹配,每段线圈由导线沿支撑筒 1311 周向绕制在所有绕线板 1313 上对应的一圈绕线槽 1314 中,受力均衡,机械强度好。

在其他实施方式中,为了让开分接头的设置位置,若干绕线板也可以用不均匀设置的方式固定在支撑筒的外周面,即相邻两个绕线板之间的距离不相等,比如某相邻两个绕线板之间的距离大于其他任意相邻两个绕线板之间的距离,此时各个分接头从该相邻两个绕线板之间引出,如此绕线板中部的梳齿的齿高无需设置更大,也能够留出各个分接头的设置位置。

在其他实施方式中,绕线板也可以是环绕支撑筒周向设置的环形盘件。若干绕线板沿支撑筒的轴向间隔设置,导线绕制在相邻的两个绕线板形成的凹槽中。

支撑筒 1311 为玻璃纤维浸渍环氧树脂缠绕固化成型或者拉挤成型的空心管,也可以是玻璃纤维或者芳纶纤维浸渍环氧树脂拉挤缠绕成型的空心管,还可以是芳纶纤维浸渍环氧树脂缠绕固化成型或者拉挤成型的空心管,或者采用其他复合材料制成,在此不作限制。

在一应用场景中,支撑筒 1311 与绕线板 1313 分体成型后粘接固定。绕线板 1313 也由玻璃纤维浸渍环氧树脂制成,通过多层玻璃纤维布浸渍环氧树脂后叠加成一定厚度,并模压固化形成矩形玻璃钢板件,在玻璃钢板件上开设绕线槽 1314,具体可车削形成绕线槽 1314,从而形成绕线板 1313,绕线板 1313 通过粘接剂固定连接在支撑筒 1311 的外周面上,用料最省,能够节约成本。粘接剂为双组分耐高温的环氧胶,当然也可以是其他粘接胶,但是需保证该粘接胶能够使支撑筒 1311 与绕线板 1313 粘接牢靠,且耐高温,以适应在绕线体 1310 外高温注射高压绝缘层 1330。

在本实施方式中,绕线板 1313 经过模压、固化成型,在其他实施方式中,也可以整体浇注、固化直接成型梳齿状的绕线板,简化工艺,且绕线板的材质与前述一致,不再赘述。

在另一应用场景中,支撑筒 1311 与绕线板 1313 一体成型。通过玻璃纤维或者芳纶纤维浸渍环氧树脂拉挤或缠绕成一个厚度较大的空心管,然后对该空心管进行车削,从而形成支撑筒 1311 和绕线板 1313,此方式用料浪费,

但是能够保证支撑筒 1311 与绕线板 1313 之间的强度，防止由于粘接不牢靠或者在后续注射高压绝缘层 1330 的过程中损坏支撑筒 1311 与绕线板 1313 之间的连接。

在又一应用场景中，结合图 10 和图 11 所示，绕线体 1310 还包括两个翻边 1315，翻边 1315 位于支撑筒 1311 的两个端部，且沿支撑筒 1311 的径向向外延伸形成环状盘面，两端的翻边 1315 相对设置，当绕线板 1313 置于绕线体 1310 的外周面时，绕线板 1313 两个端部的外端面抵接两个翻边 1315 相互朝向的盘面，防止在注射高压绝缘层 1330 的过程中由于较大的注射压力将绕线板 1313 损坏。当然，绕线板 1313 两个端部的外端面也可以不抵接两个翻边 1315 相互朝向的盘面，即绕线板 1313 两个端部的外端面与翻边 1315 朝向绕线板 1313 的盘面之间留有空隙，在此不作限制。翻边 1315 由玻璃纤维浸渍环氧树脂制成，与支撑筒 1311 一体成型，即通过玻璃纤维或者芳纶纤维浸渍环氧树脂拉挤或缠绕成型，然后加工打磨成带有一定厚度的圆盘件。

在其他实施例中，绕线体也可以仅包括绕线部，不设置刚性绝缘内衬筒即不设置支撑筒，绕线部在高压绕组的内侧呈周向设置，导线绕制在绕线部的外侧形成高压线圈，高压绝缘层包裹高压线圈和绕线部。高压绕组省去了刚性绝缘内衬筒的结构，使得导热效果更好，消除了高压绝缘层与刚性绝缘内衬筒之间的界面，从而抑制了刚性绝缘内衬筒表面放电，且节约了材料，降低了成本。

绕线体 1310 采用上述的纤维增强复合材料制成，具有轻质高强的特性，使绕线体 1310 具有较好的机械强度，能够有效支撑导线的绕制，不易损坏，避免高温硫化硅橡胶在绕线体 1310 外注射时产生的注射冲击力将导线冲散移位；且纤维增强复合材料耐热性能好，避免干式变压器 10 运行过程中因高压线圈 1320 产生过高的热量而使绕线体 1310 发生变形。

结合图 10、图 12 和图 13，以 A 相变压器 100 为例，导线周向绕制在绕线体 1310 的外周面上形成高压线圈 1320。具体地，导线绕制在绕线部 1312 的绕线槽 1314 中，使高压线圈 1320 在支撑筒 1311 的轴向上呈间隔分布，并且导线在绕制完成后首尾端形成两个外接，分别为第一外接 D 和第二外接 X，第一外接 D 用于连接电缆，第二外接 X 用于连接其他外接线，比如在三相变压器中，用于与各相变压器之间的相互连接。导线在绕线体 1310 沿其轴向的中部共引出六个分接头，分别为分接头 2、分接头 3、分接头 4、分接头 5、分接头 6 和分接头 7，六个分接头形成分接开关，为便于描述，将分接头 2、分接头 4 和分接头 6 定义为第一分接开关，将分接头 3、分接头 5 和分接头 7 定义为第二分接开关。

在一应用场景中，结合图 10、图 12 和图 15 所示，导线包括第一导线和第二导线，第一导线和第二导线均为连续导线，且第一导线外和第二导线外

均包覆有绝缘层,该绝缘层可以为聚酰亚胺膜或者玻纤膜,亦或者该绝缘层为聚酯漆等其他绝缘材料,或者也可以多种绝缘材料组合使用,在此不作限制。第一导线从绕线部 1312 的一端沿支撑筒 1311 的轴向绕制至绕线部 1312 的中部,并引出三个分接头。参见图 12,为方便表述,将绕线部 1312 的上端定义为第一端,绕线部 1312 的下端定义为第二端,第一导线从绕线部 1312 的第一端向绕线部 1312 的第二端开始绕制,第一导线在所有绕线板 1313 上对应的一圈第一个绕线槽 1314 中缠绕所设计的匝数线圈,形成第一段线圈 1321,第一段线圈 1321 为饼式绕法,每个绕线槽 1314 中仅设置一饼线圈,此时每一段线圈均仅有一饼线圈。第一导线位于绕线部 1312 的第一端的内匝导线端形成暴露于高压绝缘层 1330 外的第一外接 D,也就是在第一段线圈 1321 的内匝导线端(即第一导线的首端)引出第一外接 D,第一段线圈 1321 的外匝导线端延伸至所有绕线板 1313 上对应的一圈第二个绕线槽 1314 内继续绕制形成第二段线圈 1322,依次类推,直至第一导线绕至绕线体 1310 的中部,并通过其中三段线圈的外匝导线端分别引出三个分接头,即如图 15 所示的分接头 6、分接头 4 和分接头 2,至此第一导线完成绕制。

第二导线从绕线部 1312 的中部沿支撑筒 1311 的轴向绕制至绕线部 1312 的第二端,并引出另外三个分接头。具体地,第二导线在与分接头 2 相邻的下一圈绕线槽 1314 中开始绕制,形成第三段线圈 1323,第二导线以与第一导线同样的绕制方式向绕线部 1312 的第二端继续绕制,从第三段线圈 1323 开始的三段线圈中分别引出另外三个分接头,即分接头 3、分接头 5 和分接头 7,直至第二导线绕至绕线部 1312 的第二端的每个绕线板 1313 上对应的一圈最后一个绕线槽 1314 并形成终端段线圈 1324。第二导线位于绕线部 1312 的第二端的外匝导线端形成暴露于高压绝缘层 1330 外的第二外接 X,也就是在终端段线圈 1324 的外匝导线端(即第二导线的末端)引出第二外接 X,至此第二导线完成绕制。

导线绕制时,在所有绕线板 1313 上对应的一圈绕线槽 1314 中进行绕制,使得导线绕制形成的每段线圈均与支撑筒 1311 的轴向垂直,绕制方便且导线布置整齐,绕线板 1313 及支撑筒 1311 受力均匀,机械强度好。

如此,形成了饼式高压线圈 1320,该线圈结构具有较好的机械强度,对于短路电流产生的电动力的承受能力强,相比于层式线圈而言,其饼数较多,散热能力也较好。并且,在支撑筒 1311 的轴向上,结合图 13 和图 15 所示,分接头 6、分接头 4 和分接头 2 依次分布形成第一分接开关,分接头 3、分接头 5 和分接头 7 依次分布形成第二分接开关,且第一分接开关与第二分接开关平行设置,六个分接头形成高压线圈 1320 的分接装置,用于干式变压器 10 根据不同运行工况调节电压。

其中,导线绕制在绕线体 1310 上形成高压线圈 1320,由此高压线圈 1320

呈环状，将高压线圈 1320 的环宽定义为高压线圈 1320 的宽度，则高压线圈 1320 在其各径向截面上的宽度均一致，即高压线圈 1320 的外侧面与支撑筒 1311 的外周面等间距，使高压线圈 1320 整体受力平衡。当然考虑到实际操作情况，各线圈在其径向截面上的宽度也可以不完全相同，只要大致相同即可。

本实施方式中，第二导线从与分接头 2 相邻的下一圈绕线槽 1314 中开始绕制至绕线部 1312 的第二端的最后一圈绕线槽 1314，在其他实施方式中，第二导线也可以从绕线部的第二端的最后一圈绕线槽中开始向上绕制至与分接头 2 相邻的下一圈绕线槽中，只不过先形成第二外接 X，再依次形成分接头 7、分接头 5 和分接头 3。当然，高压线圈 1320 的绕制方式也不限于以上的方式，也可以采用其他方式形成饼式线圈或者层式线圈，只要能够最终形成高压绕组 130 即可。

本实施方式中，分接开关包括六个分接头，此时干式变压器 10 有五个档位可调节电压，在其他实施方式中，分接开关也可以包括四个分接头，即第一分接开关和第二分接开关分别包括两个分接头，此时干式变压器包括三个档位可调节电压，只要符合干式变压器的实际使用需求即可，在此不作限制。

如图 12-图 14 所示，高压绝缘层 1330 包裹高压线圈 1320 和绕线体 1310 后形成高压绕组 130。其中，高压绝缘层 1330 为高温硫化硅橡胶，先将导线绕制在绕线体 1310 上形成高压线圈 1320，将绕线体 1310 和高压线圈 1320 作为待注射体，将待注射体放入注射机的模具中，通过添加硅橡胶原料，在待注射体的外周整体注射高温硫化硅橡胶，得到高压绕组 130。高压绝缘层 1330 采用高温硫化硅橡胶，整体提高了高压绕组 130 的绝缘性能和机械性能。

通过整体真空注射高温硫化硅橡胶包覆高压线圈 1320 和绕线体 1310 后，高温硫化硅橡胶填充高压线圈 1320 和绕线体 1310 之间的缝隙并包裹绕线体 1310 的两端，且高温硫化硅橡胶不包覆支撑筒 1311 的内壁，使高压绕组 130 整体呈空心柱状，可以是空心圆柱体，也可以是空心椭圆柱体，或者是其他空心柱状体。

在整体注射高温硫化硅橡胶之前，通过设置工装连接件 101，连接六个分接头，避免六个分接头在注射过程中也被硅橡胶包覆而无法用于接线。如图 14 所示，工装连接件 101 为铝合金板件，工装连接件 101 的板面上设有保护腔，分接头连接固定于该保护腔内。在本申请中，该保护腔为六个相同的台阶孔 1011，且台阶孔 1011 的内壁还设有螺纹。六个分接头分别连接至六个台阶孔 1011，可以通过焊接方式连接，也可以通过其他方式固定连接，在此不作限制。并且，工装连接件 101 上的六个台阶孔 1011 平行设置成两列，每列设置三个台阶孔 1011 使第一分接开关与第二分接开关也平行设置。同

时,在整体注射之前,六个分接头分别连接至六个台阶孔 1011 之后,六个台阶孔 1011 内均连接螺栓,如此,螺栓可直接填充台阶孔 1011 剩余空间,防止硅橡胶填充六个台阶孔 1011,从而避免六个分接头被硅橡胶包覆后无法用于接线。

工装连接件 101 的两个相对的侧面还设有两个对称的连接槽 1012,注射模具中对应设有两个连接块,工装连接件 101 置于注射模具中时,通过工装连接件上的两个连接槽 1012 分别与注射模具上的两个连接块卡设连接,使工装连接件 101 在注射模具中固定,防止在注射硅橡胶的过程中由于较大的注射压力使工装连接件 101 的位置发生偏移。

在其他实施方式中,还可以是工装连接件的两个相对的侧面设有两个对称的连接块,注射模具中对应设有两个连接槽,工装连接件置于注射模具中时,通过工装连接件上的两个连接块分别与注射模具上的两个连接槽卡设连接,使工装连接件在注射模具中固定,防止在注射硅橡胶的过程中由于较大的注射压力使工装连接件的位置发生偏移。当通过整体注射形成高压绝缘层 1330 后,工装连接件 101 的侧面被包覆少量硅橡胶,由于包覆在工装连接件 101 上的硅橡胶比较少量,可直接通过工具拆除工装连接件 101,露出第一分接开关和第二分接开关,最终形成如图 13 所示的高压绕组 130。

在本实施方式中,工装连接件 101 设置为一个,在其他实施方式中,工装连接件也可以设置为两个,此时的工装连接件尺寸设置更小,每个工装连接件上开设三个台阶孔,六个分接头分别与该六个台阶孔连接即可,在此不作限制。

在本实施方式中,如图 16 所示,为包覆有高压绝缘层 1330 的高压绕组 130 沿其轴向剖切的局部截面图,导线采用前述绕制方法,绕制在梳齿状的绕线板 1313 中,形成饼式高压线圈 1320,在沿高压绕组 130 的轴向上,饼式高压线圈 1320 与绕线板 1313 的梳齿间隔设置,即相邻两个梳齿之间设有一饼线圈。

在另一实施方式中,如图 17 所示,为包覆有高压绝缘层 2330 的高压绕组 230 沿其轴向剖切的局部截面图,导线通过双绕组连续式绕法绕制在梳齿状的绕线板 2313 上,形成高压线圈 2320。采用两根相同的连续导线相邻设置后同时从所有绕线板 2313 上端对应的一圈绕线槽 2314 中开始绕制,形成第一段线圈 2321,第一段线圈 2321 包括沿支撑筒 2311 轴向紧邻排列的两饼线圈,具体绕制的方法与前述高压线圈 1320 一致,依次类推向下绕制,继续形成第二段线圈 2322 等其他线圈,直至形成沿高压绕组 230 的轴向间隔设置的高压线圈 2320,每段线圈均包括紧邻排列的两饼线圈,每段线圈沿绕线板 2313 轴向的长度等于两根并列导线沿支撑筒 2311 轴向的宽度之和,也即绕线板 2313 上的相邻两个梳齿间设置两饼线圈。此处相同的两根导线指该两根

导线的尺寸、材质均一致。相比单根导线的连续式绕组结构（即前述高压线圈 1320 的结构），在同样尺寸规格的高压绕组中，能够减少绕线槽 2314 的个数，由此减少了每段线圈的间隔段之间的导线过渡段，从而减少了导线的用量，达到降低成本的目的。在其他实施方式中，绕线板上的相邻两个梳齿间也可以设置三饼线圈或者更多饼线圈。

在又一实施方式中，如图 18 所示，为包覆有高压绝缘层 3330 的高压绕组 330 沿其轴向剖切的局部截面图，绕线板 3313 上的绕线槽 3314 沿支撑筒 3311 轴向的宽度大于上述绕线板 2313 上绕线槽 2314 沿支撑筒 2311 轴向的宽度。导线先通过层式绕法形成第一段线圈 3321，具体地，采用一根连续导线，在所有绕线板 3313 上端对应的一圈第一个绕线槽 3314 中，沿支撑筒 3311 的轴向在第一个绕线槽 3314 内的上端向下进行连续绕制，直至导线绕至第一个绕线槽 3314 的下端，形成第一层线圈，第一层线圈的导线在支撑筒 3311 的外周面呈紧密排布的螺旋状，当导线完成第一层线圈的绕制后，反向沿支撑筒 3311 的轴向由第一个绕线槽 3314 的下端向上继续绕制第二层线圈，依次类推往复绕制，直至第一段线圈 3321 达到高压线圈 3320 在支撑筒 3311 径向上的预设宽度，最终第一段线圈 3321 在支撑筒 3311 的外周面呈紧密排布的螺旋状。然后，导线通过绕线板 3313 的梳齿过渡到第二个绕线槽 3314 中，继续按层式绕法绕制形成第二段线圈 3322，依次类推继续绕制，直至完成所有绕线槽 3314 内导线的绕制，从而最终形成高压线圈 3320。

由于绕线槽 3314 沿支撑筒 3311 轴向的宽度较大，每段线圈沿绕线板 3313 轴向呈螺旋状排列，且每段线圈沿绕线板 3313 轴向的长度大于两根并列导线的宽度之和，从而形成多段圆筒式的高压线圈 3320，相比采用双绕组连续式绕法绕制的饼式结构（即前述高压线圈 2320 的结构），在同样规格的高压绕组中，高压线圈 3320 更紧凑，绕线槽 3314 的个数更少，从而导线的用量也更少，进一步达到降低成本的目的。

在本实施方式中，通过设置绕线板 3313，使第一段线圈 3321 与第二段线圈 3322 之间间隔了梳齿，在其他实施方式中，也可以不设置绕线板，第一段线圈与第二段线圈之间留有空隙，最终通过填充高压绝缘层使高压线圈固定，同样可以达到高压线圈段间绝缘的目的。

在另一实施方式中，如图 19 所示，为包覆有高压绝缘层 4330 的高压绕组 430 沿其轴向剖切的局部截面图，高压线圈 4320 的形成方式与前述的高压线圈 3320 的形成方式一致，不再赘述。但是高压线圈 4320 的每段线圈沿支撑筒 4311 轴向的长度大于高压线圈 3320 的每段线圈沿支撑筒 3311 轴向的长度，相同电压等级的干式变压器 10，分段圆筒式的高压线圈 4320 的段数更少。由于高压线圈 4320 的每段线圈沿支撑筒 4311 轴向的长度更大，每段线圈之间的电压差就更大，由此每段线圈的层与层之间需要添加绝缘层来降低

电压差，此时，每段线圈沿高压绕组 430 的轴向上设置层间绝缘层 4301，防止层间电场强度高于绝缘导线包覆绝缘薄膜的耐受临界值。并且，每段线圈中的层式结构具有很好的抗雷电冲击能力，经济优势也更加明显。具体地，在通过层式绕法绕制导线至一定厚度时，在相应位置上放置层间绝缘层 4301 后再继续绕制导线，即可将层间绝缘层 4301 设置在每段线圈中。

其中，层间绝缘层 4301 可以是网格布，也可以是周向间隔排布的绝缘撑条，或者其他硬质绝缘材料。且该绝缘撑条为边缘呈波浪形的绝缘长条，可防止在注射高温硫化硅橡胶以形成高压绝缘层时，由于极高的注射压力，使绝缘支撑条损坏。以及绝缘支撑条采用硬质绝缘材料制成，可抵抗硅橡胶高温注射时的冲击力。同时，层间绝缘层 4301 可以设置为一层，也可以设置为两层或者三层，根据不同设计情况而定，在此不作限制。

在一应用场景中，结合图 20-图 21 所示，绕线体 5310 与前述绕线体 1310 结构相似，不同之处在于，支撑筒 5311 与绕线部 5312 卡设连接。具体地，绕线体 5310 还包括辅助件 5316，辅助件 5316 位于支撑筒 5311 的外周面的中部位置上，且沿支撑筒 5311 的径向向外延伸，使辅助件 5316 环绕支撑筒 5311 一周而呈环状盘面。绕线板 5313 或辅助件 5316 上设置卡槽，绕线板 5313 与辅助件 5316 通过卡槽卡设连接。在本实施例中，每个绕线板 5313 上均设有第一卡槽 53131，且第一卡槽 53131 与辅助件 5316 的位置对应匹配设置，使辅助件 5316 卡设在各第一卡槽 53131 内。

绕线板 5313 较长的侧边沿支撑筒 5311 的轴向设置，若干绕线槽 5314 沿支撑筒 5311 的径向设置且沿支撑筒 5311 的轴向间隔分布，使绕线板 5313 形成若干梳齿。第一卡槽 53131 位于绕线板 5313 上，且与绕线槽 5314 相背设置，即第一卡槽 53131 沿支撑筒 5311 的径向设置，且第一卡槽 53131 位于绕线板 5313 靠近支撑筒 5311 的侧面，使凸出支撑筒 5311 外周面的辅助件 5316 能够卡设在第一卡槽 53131 内。辅助件 5316 可以保持绕线板 5313 的稳固设置，避免了导线绕制过程中以及高压绝缘层注射过程中绕线板 5313 的移动错位。

第一卡槽 53131 位于绕线板 5313 的中间位置，且在支撑筒 5311 的径向上，第一卡槽 53131 从绕线板 5313 靠近支撑筒 5311 的侧边延伸至绕线板 5313 中间位置的一个梳齿上；或者在支撑筒 5311 的径向上，第一卡槽 53131 与绕线板 5313 中间位置的一个梳齿平齐设置但不延伸至梳齿上。一方面，避免第一卡槽 53131 与绕线槽 5314 平齐设置影响绕线板 5313 的机械强度，甚至造成绕线板 5313 受力断裂；另一方面，由于绕线板 5313 中间位置的梳齿的齿高较大，能够进一步避免第一卡槽 53131 设置后影响绕线板 5313 的机械强度。同时，第一卡槽 53131 在支撑筒 5311 径向上的槽深与辅助件 5316 凸出支撑筒 5311 的宽度相匹配，使得辅助件 5316 与绕线板 5313 装配好后，辅助件

5316 的外侧面与第一卡槽 53131 的内侧面紧贴，机械强度高，坚固可靠。若第一卡槽 53131 的槽深小于辅助件 5316 凸出支撑筒 5311 的宽度，则绕线板 5313 与支撑筒 5311 之间留有空隙，导线绕制过程中以及高压绝缘层注射过程中存在绕线板 5313 以辅助件 5316 为中心发生弯折的风险；若第一卡槽 53131 的槽深大于辅助件 5316 凸出支撑筒 5311 的宽度，第一卡槽 53131 与辅助件 5316 之间留有空隙，则辅助件 5316 起不到紧固作用。

辅助件 5316 由玻璃纤维浸渍环氧树脂制成，先通过模压形成带有一定厚度的圆盘件，然后通过粘接剂将辅助件 5316 固定连接在支撑筒 5311 的外周面上，用料最省，能够节约成本。当然，辅助件也可以与支撑筒一体成型，即先制成一个厚度较大的空心管，然后车削从而同时形成绕线板 5313 和辅助件 5316。

在本实施方式中，辅助件 5316 和第一卡槽 53131 对应设置一组，在其他实施方式中，辅助件和第一卡槽也可以沿支撑筒的轴向间隔对应设置两组或者三组，此时，各组辅助件和第一卡槽沿支撑筒的轴向间隔分布，有效均布绕线板的承受强度，使绕线板结构更稳定。例如在一实施方式中，在支撑筒外周面的中部和两端位置各设置一个辅助件，每个绕线板上均对应设有三个第一卡槽。

在另一应用场景中，结合图 22-图 23 所示，与支撑筒 5311 不同的是，支撑筒 6311 外周面的辅助件 6316 上开设若干第二卡槽 63161，且若干第二卡槽 63161 在辅助件 6316 的周向上均布，即若干第二卡槽 63161 与若干绕线板匹配对应。此时，绕线板上无需开设卡槽，绕线板可直接卡设在第二卡槽 63161 内，可以保持绕线板的稳固设置，避免了导线绕制过程中以及高压绝缘层注射过程中绕线板的移动错位，并且能够避免在绕线板上开设卡槽，从而避免影响绕线板的机械强度。辅助件 6316 与前述辅助件 5316 的材质、成型方式一致，在此不再赘述。

在其他实施方式中，绕线体也可以仅包括绕线部，绕线部包括若干梳齿状的绕线板及辅助件，若干绕线板在高压绕组的内侧呈周向设置，即该绕线体不设置支撑筒，也即该绕线体省去了刚性绝缘内衬筒的结构，使得高压绕组的导热效果更好，消除了高压绝缘层与刚性绝缘内衬筒之间的界面，从而抑制了刚性绝缘内衬筒表面放电，且节约了材料，降低了成本。

辅助件包括至少一个端部辅助件，端部辅助件设置于若干绕线板沿绕线体轴向的端部外侧，绕线板的端部外侧设置凹槽，端部辅助件嵌入凹槽中，保证了端部辅助件与绕线板的有效连接。凹槽位于绕线板的梳齿侧，即位于绕线板远离高压绕组轴心的一侧，使得端部辅助件对绕线板所起的固定作用更佳。

凹槽的槽深大于或者等于端部辅助件的厚度，便于注胶时胶液包覆绕线

板的端部及端部辅助件，且不易受外部的力影响导致绕线板与端部辅助件的连接失效。端部辅助件通过粘接剂固定连接在凹槽中，粘接剂为双组分耐高温的环氧胶，当然也可以是其他粘接胶，但是需要保证该粘接剂能够使端部辅助件与绕线板粘接牢靠，且耐高温，以适应高压绝缘层采用高温注射的方式包覆在绕线板与端部辅助件的外周。当然，端部辅助件也可以与凹槽尺寸完全匹配，使得端部辅助件卡固在凹槽中而无需粘接剂固定。

在本实施方式中，绕线板的两个端部外侧均设置有端部辅助件，使得绕线板的两端均被辅助件固定，可以有效保持绕线板的稳固设置。在其他实施方式中，也可以仅在绕线板的其中一个端部外侧设置端部辅助件。

辅助件还包括中部辅助件，将绕线板围成空腔时，用于形成空腔的内壁的一侧表面定义为绕线板的内壁，中部辅助件设置于绕线板的内壁，不会影响绕线板梳齿侧导线的绕制。中部辅助件的设置方式与前述辅助件 5316 相同，在此不再赘述。

本申请的有益效果是：区别于现有技术的情况，本申请的干式变压器的高压绕组包括绕线体、高压线圈和高温硫化硅橡胶的高压绝缘层，相比现有技术中的环氧树脂高压绝缘层，本申请高温硫化硅橡胶的高压绝缘层具备如下优势：1) 具备较好的防火性能、抗低温性能、耐老化性能及抗短路试验能力，可有效延长干式变压器的使用寿命；2) 铜线圈易从硅橡胶上剥离，材料可回收率大于 99%，更为绿色环保；3) 硅橡胶弹性体可减弱机械振动带来的局放诱因，对设备放电具有抑制效果，且硅橡胶在放电作用下产物为非导电的二氧化硅，可有效抑制绝缘继续劣化；4) 能够降低变压器的运行损耗，更节能；5) 耐恶劣环境的能力较好，能够安装在户内和户外。同时，本申请的硅橡胶是通过整体高温硫化注射成型，此工艺方法使高压绝缘层更稳固，机械性能更高，且与高压线圈、绕线体的粘接性能更好，能有效延长高压绝缘层的使用寿命。并且相较于液态硅橡胶而言，本申请的高温硫化硅橡胶填料分散均匀，不会因填料团聚而使干式变压器产生局部放电，使干式变压器的整体性能更优。

本申请的技术内容及技术特点已揭示如上，然而可以理解，在本申请的创作思想下，本领域的技术人员可以对上述结构和材料作各种变化和改进，包括这里单独披露或要求保护的技术特征的组合，明显地包括这些特征的其他组合。这些变形和/或组合均落入本申请所涉及的技术领域内，并落入本申请权利要求的保护范围。



说明书附图

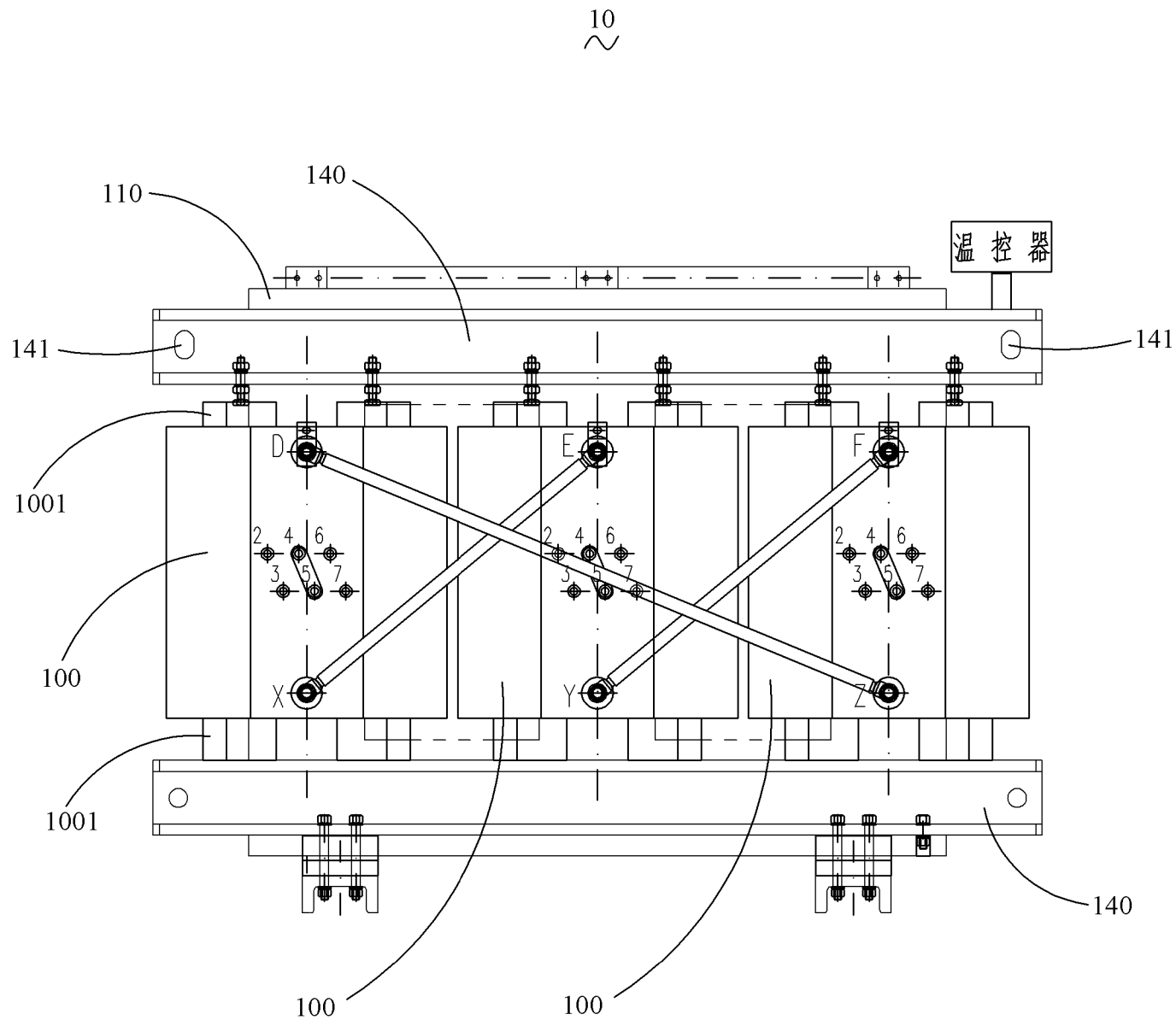


图1

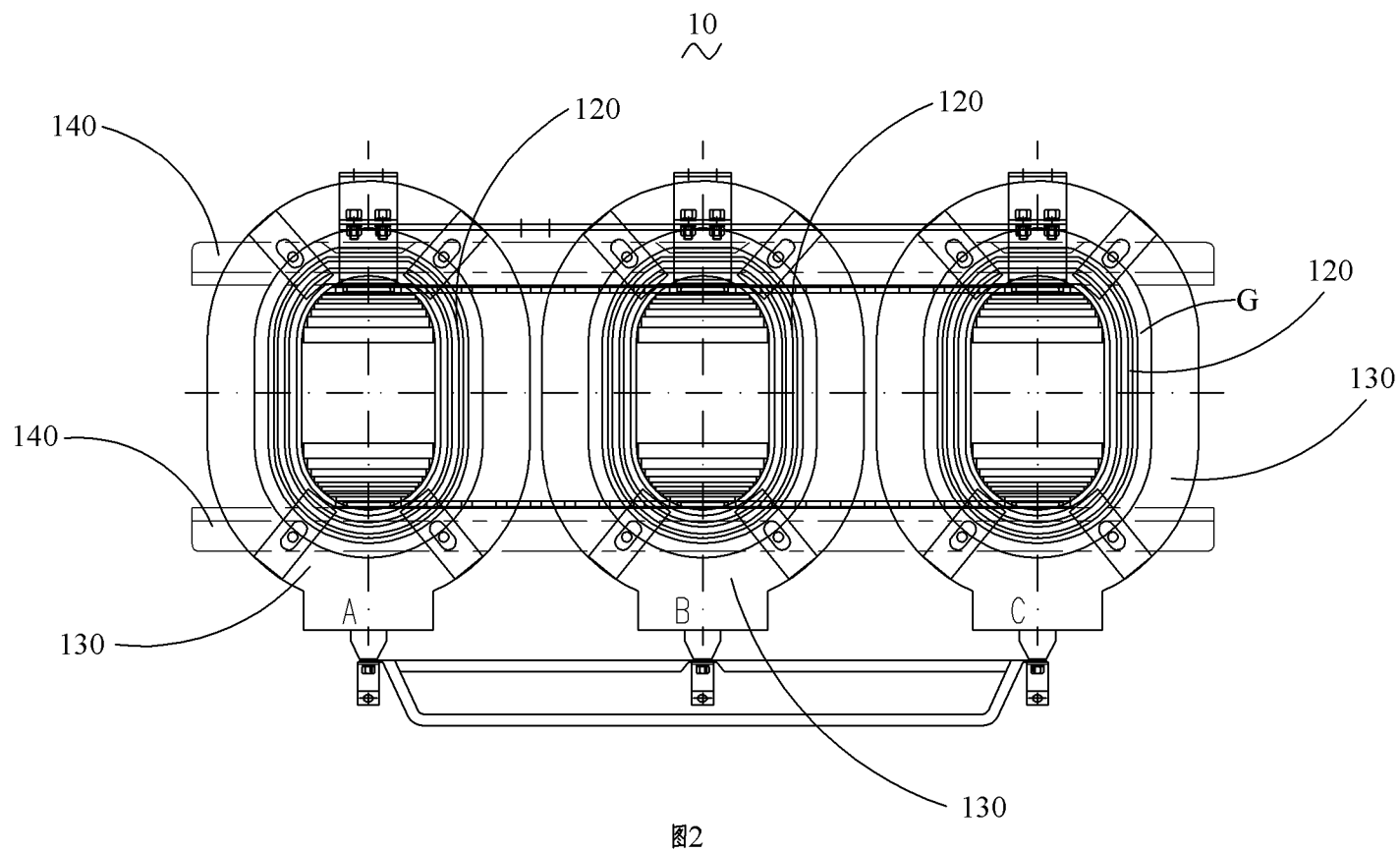


图2

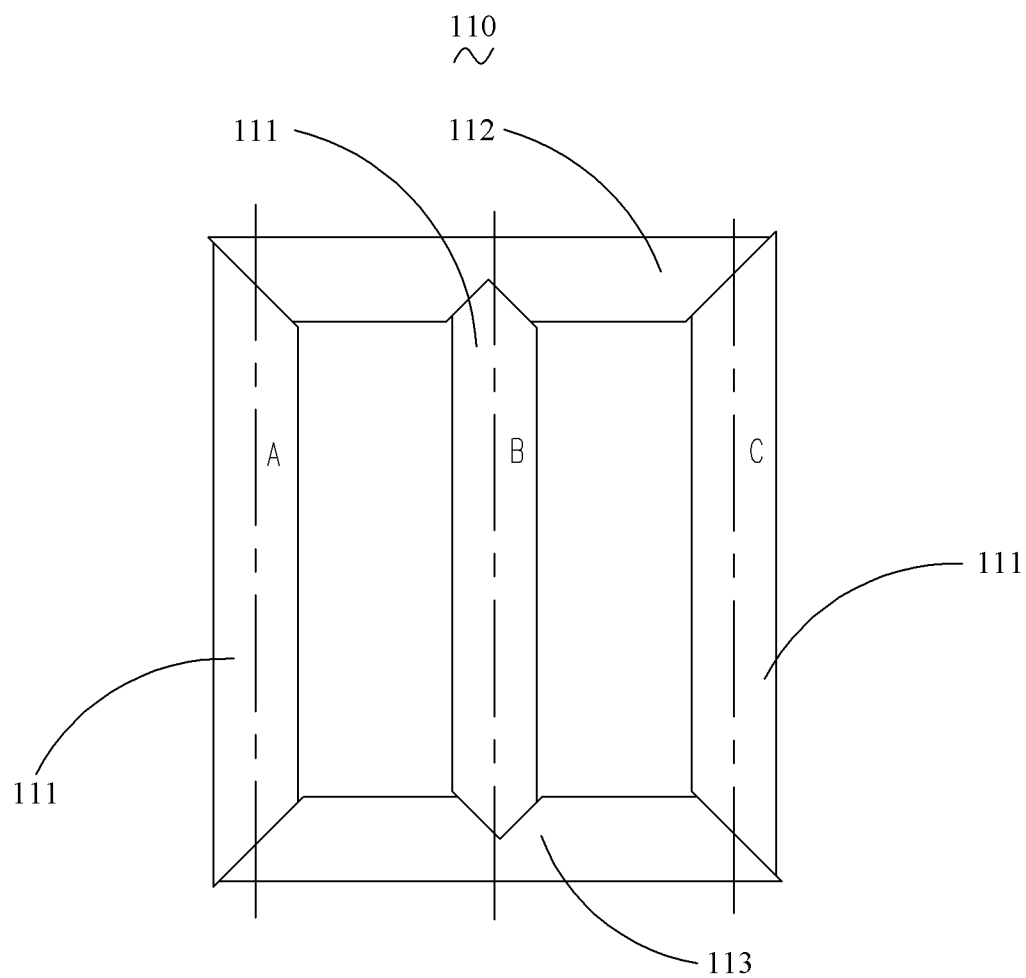


图3

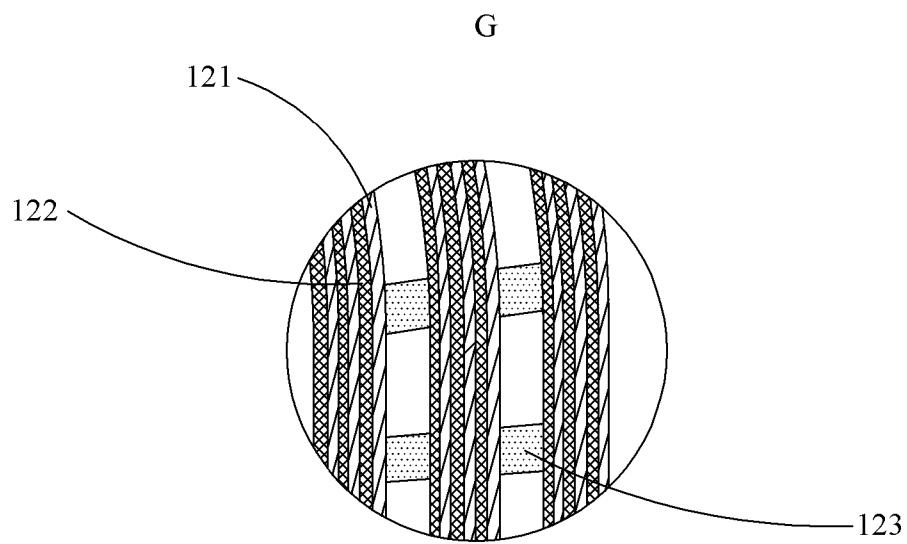


图4

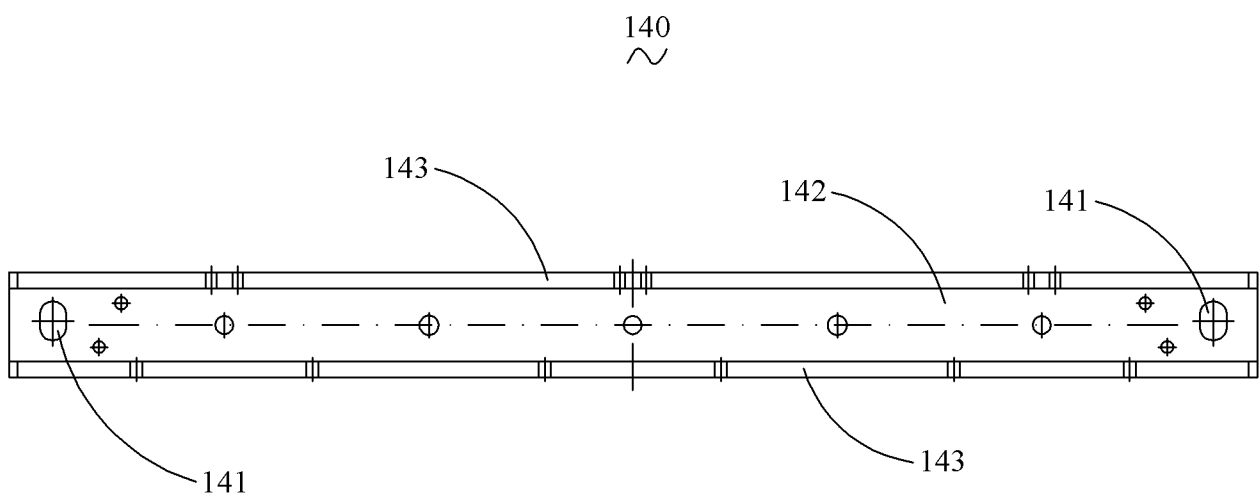


图5

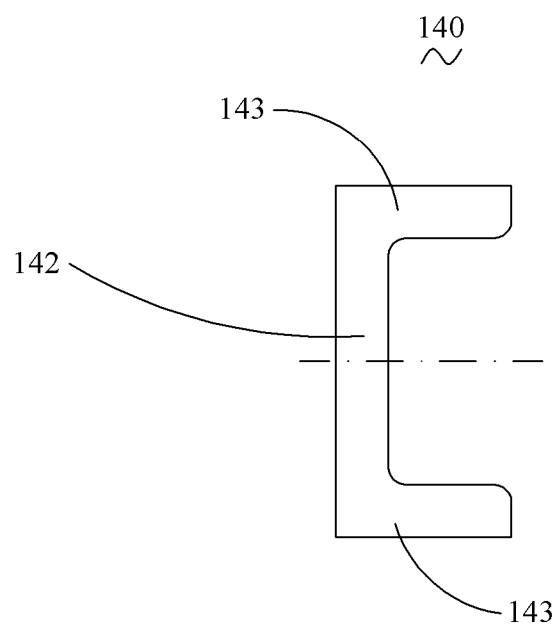


图6

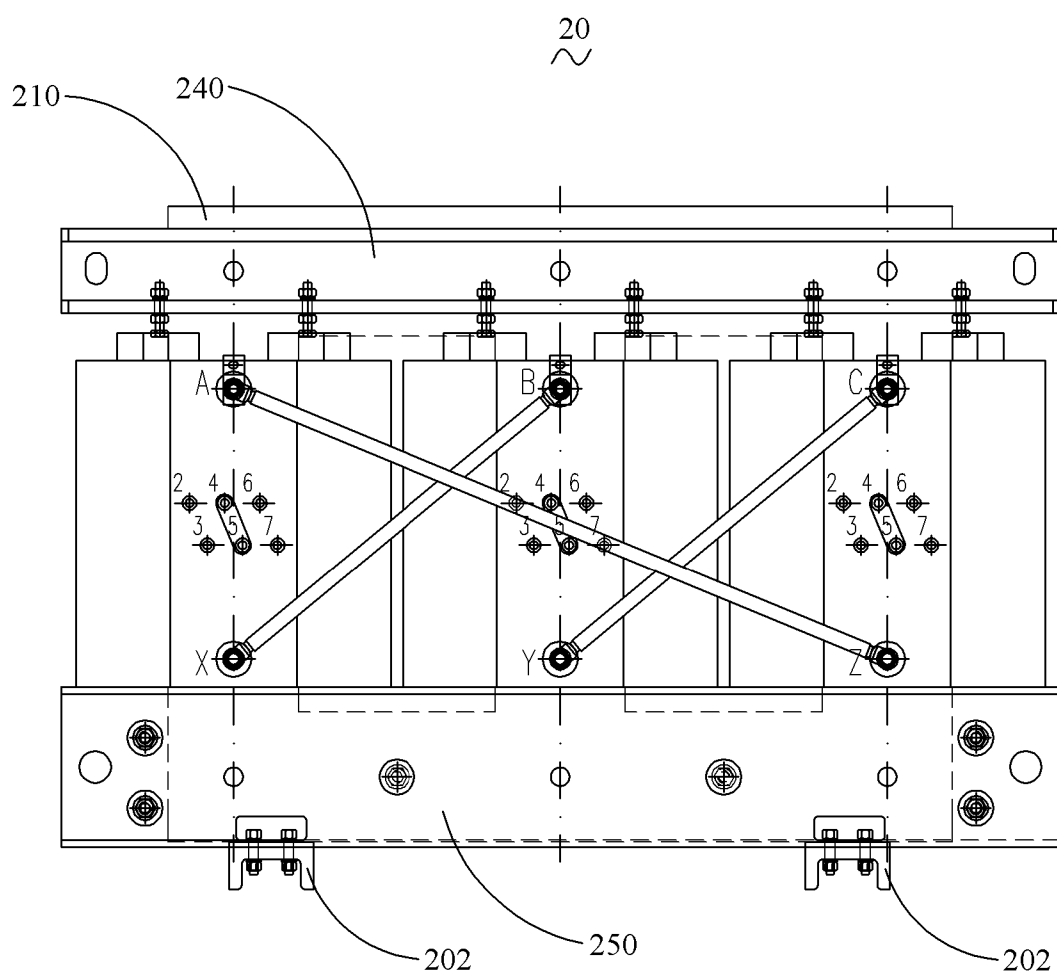


图7

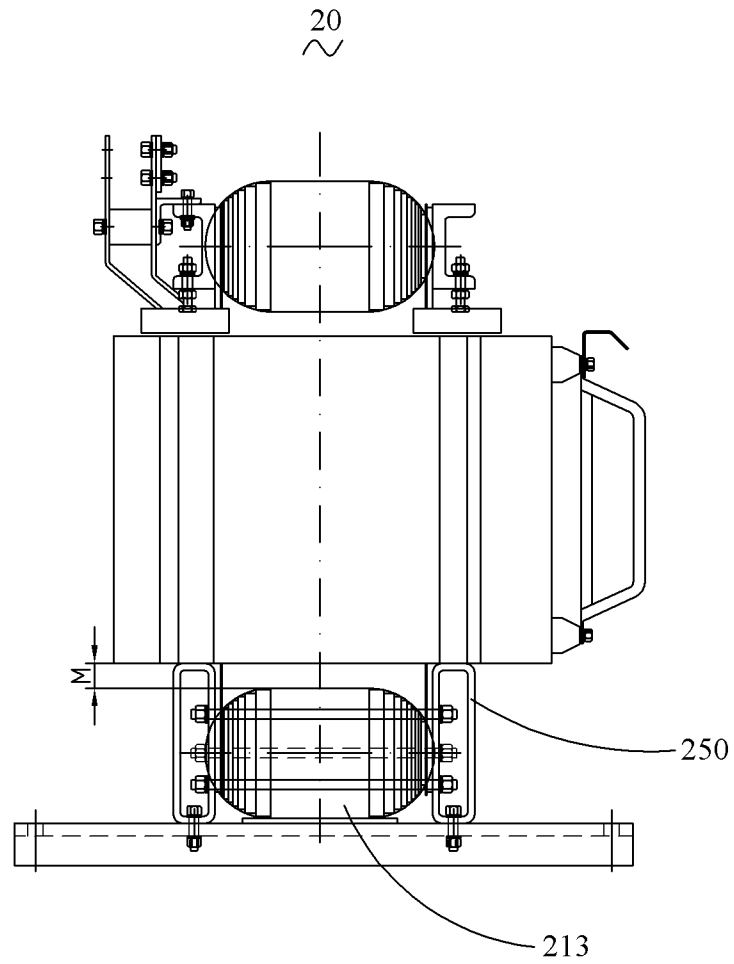


图8

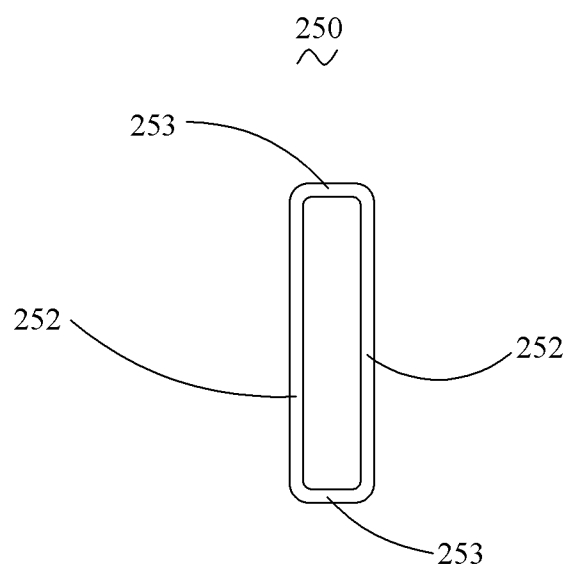


图9

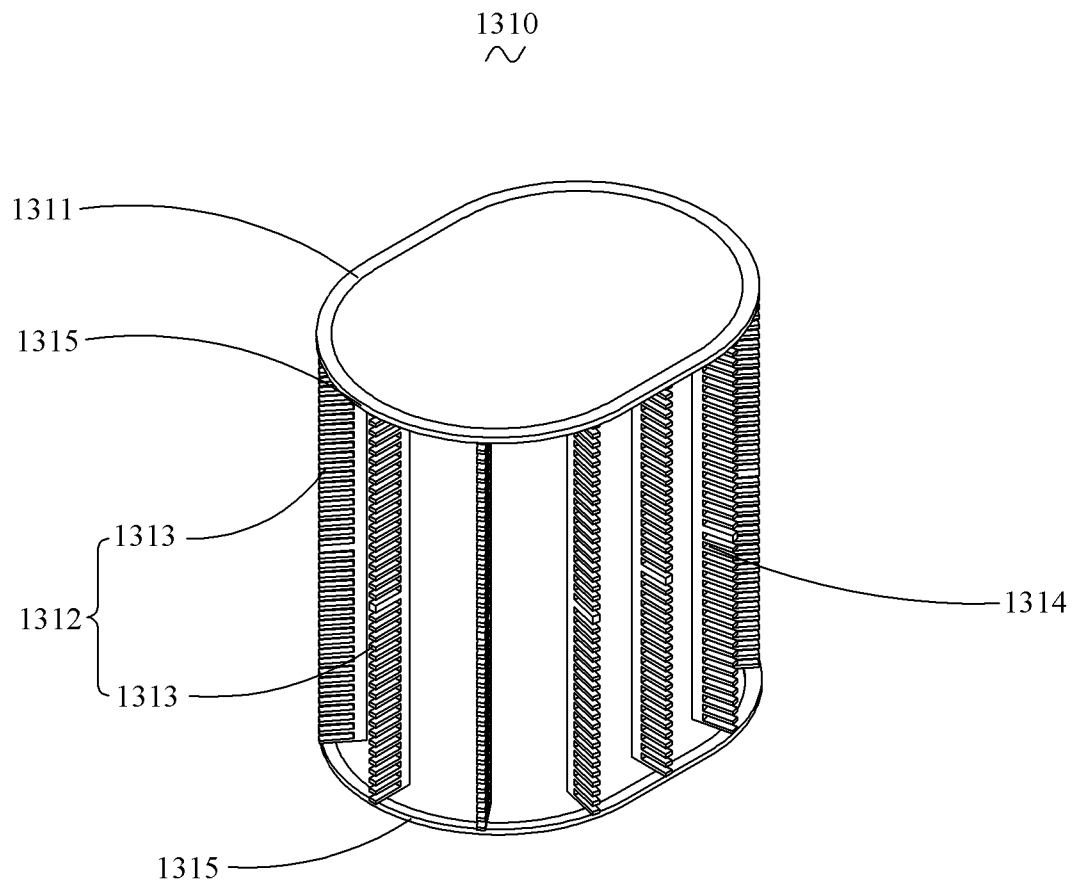


图10

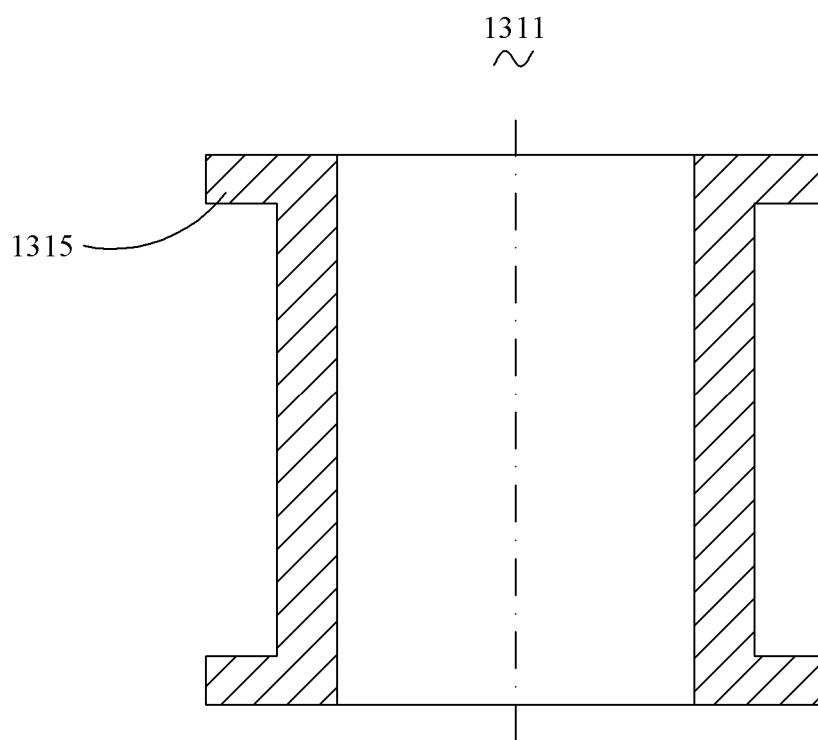


图11

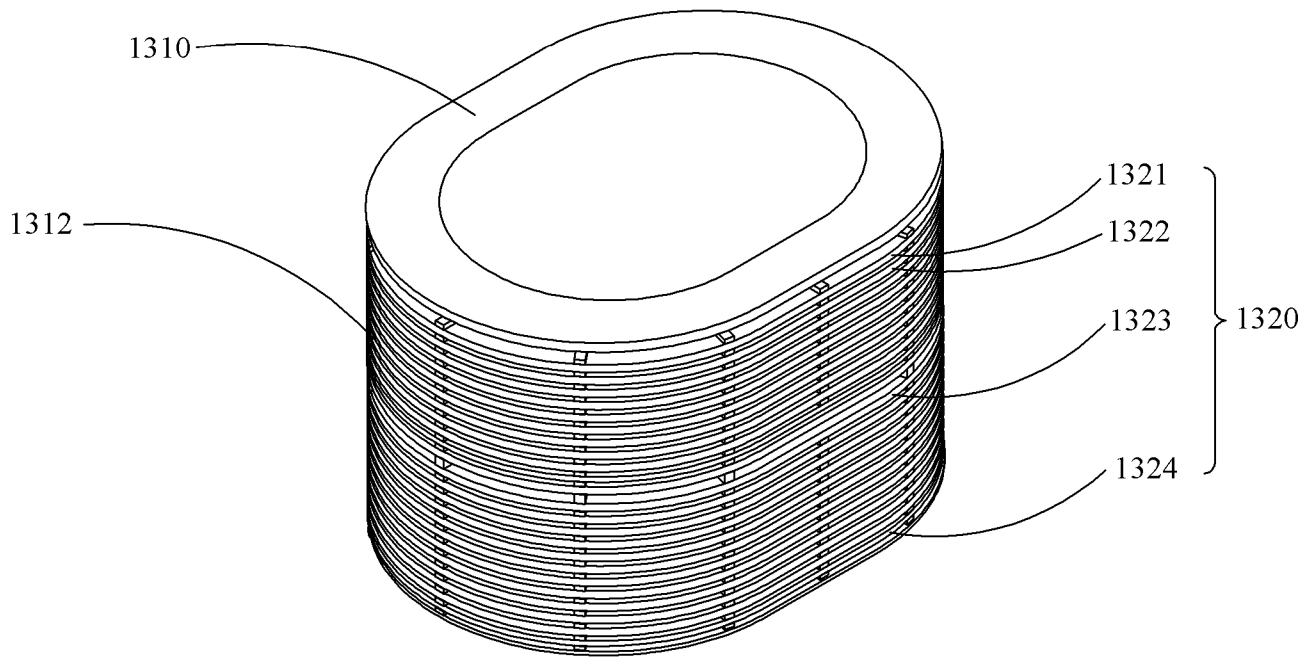


图12

130
~

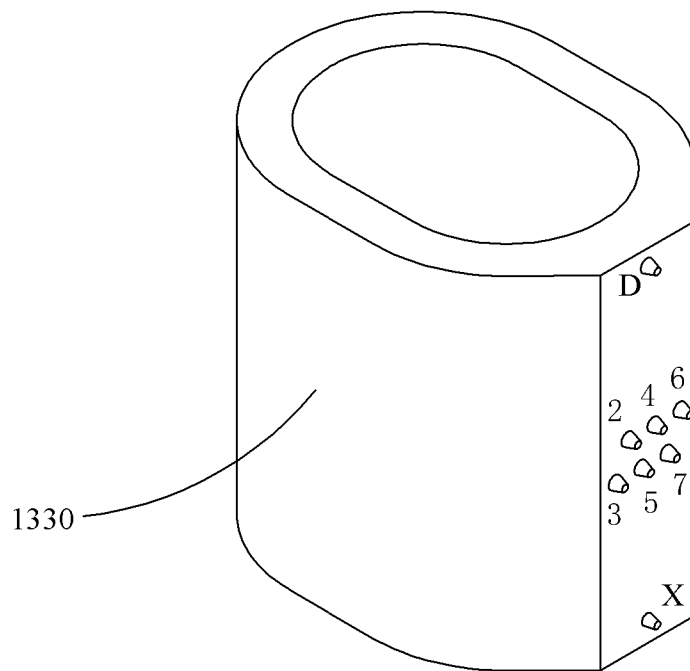


图13

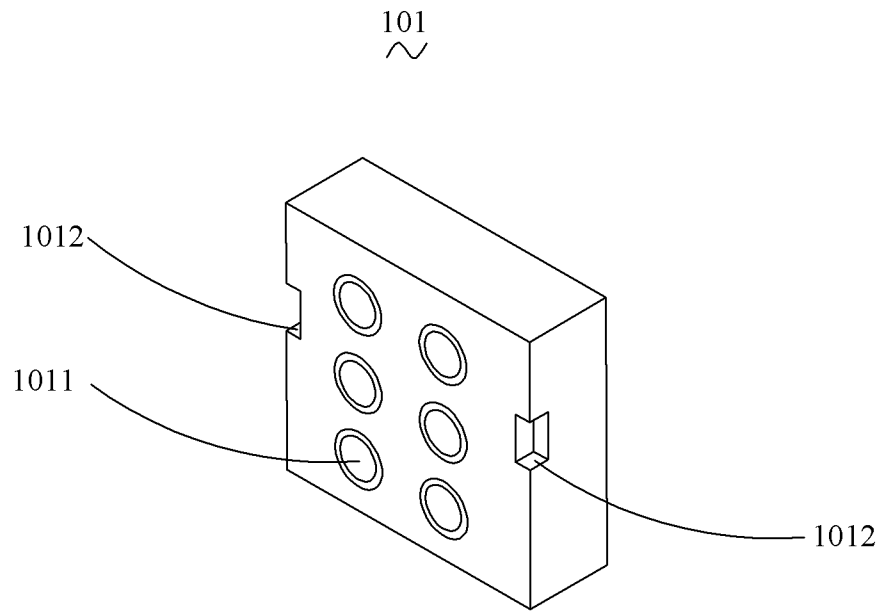


图14

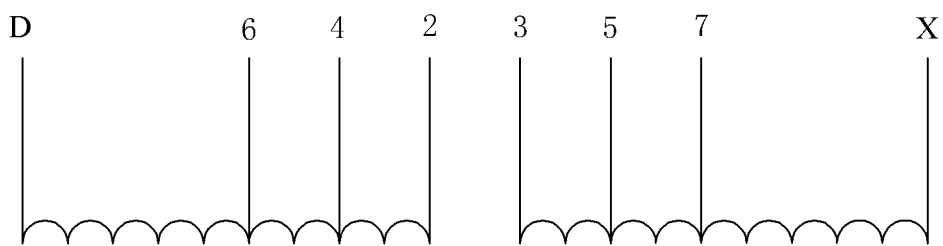


图15

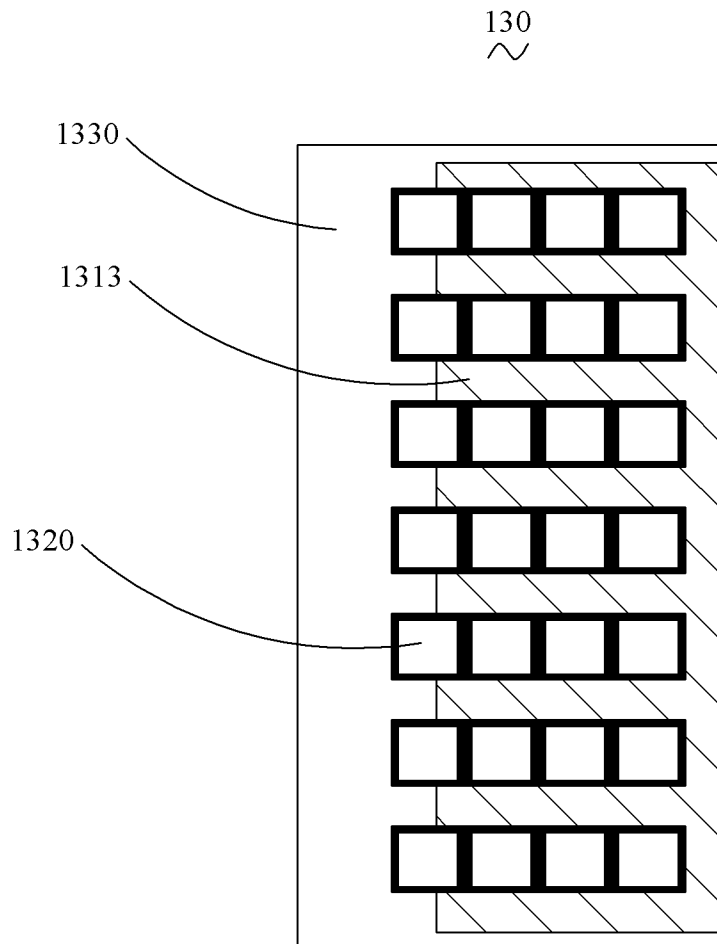


图16

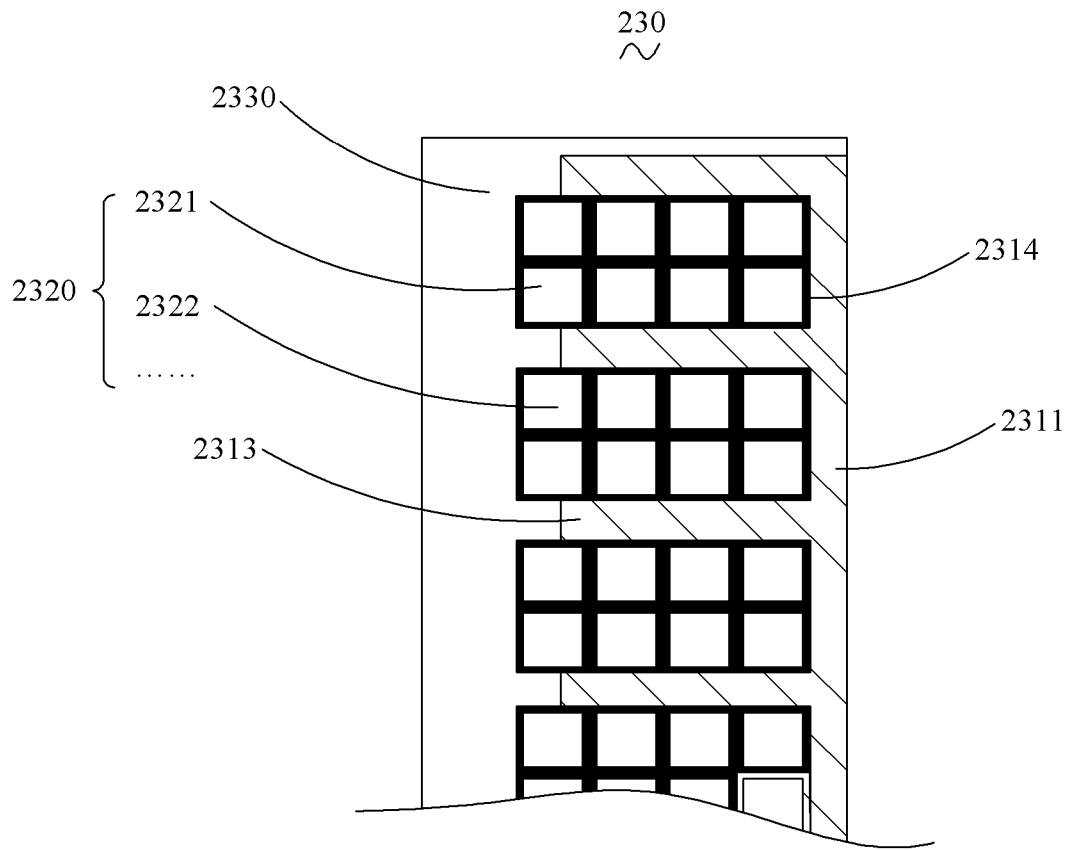


图17

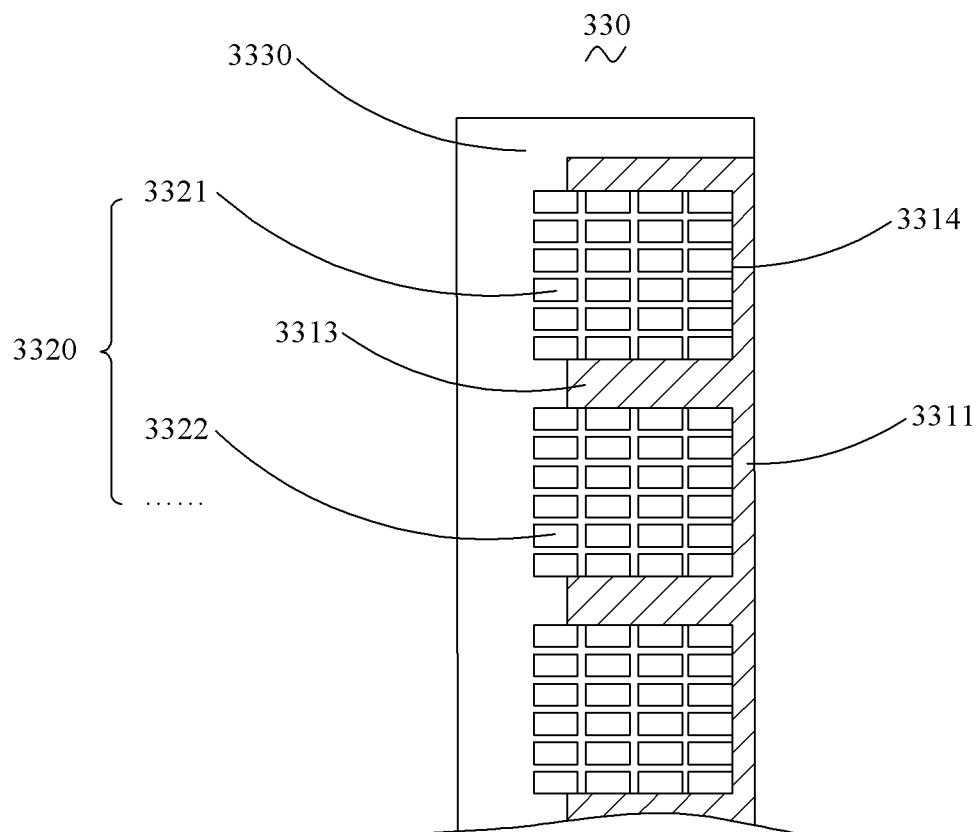


图18

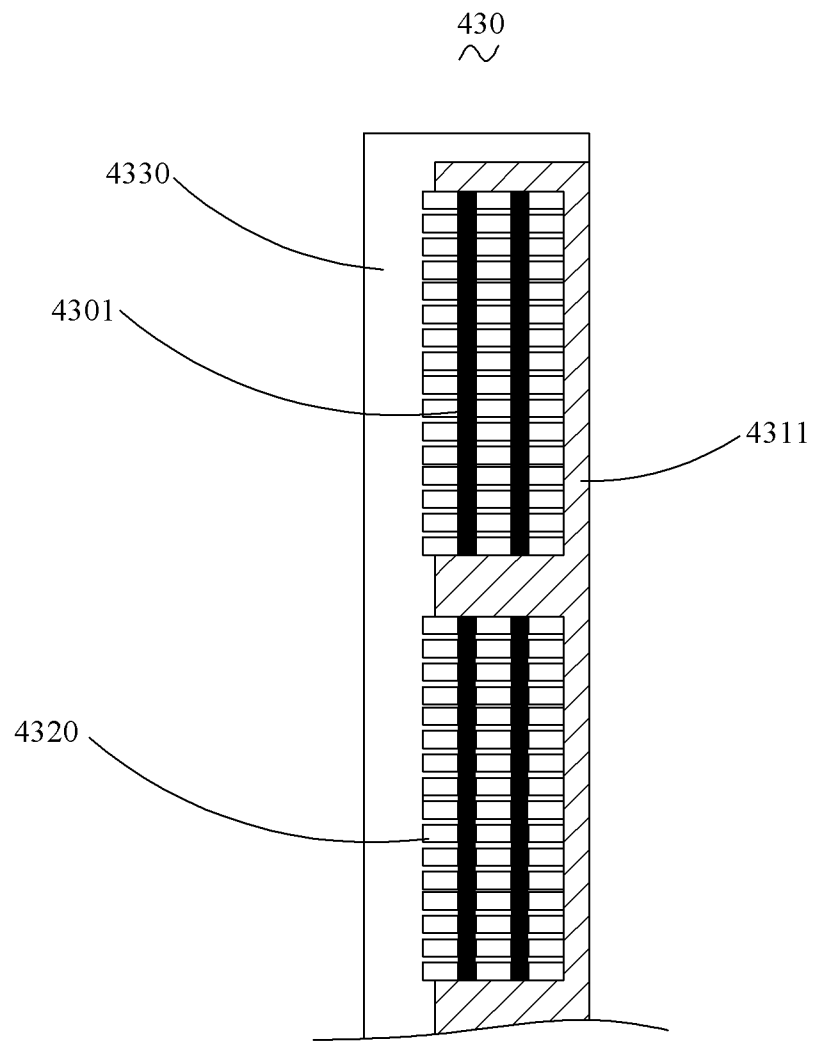


图19

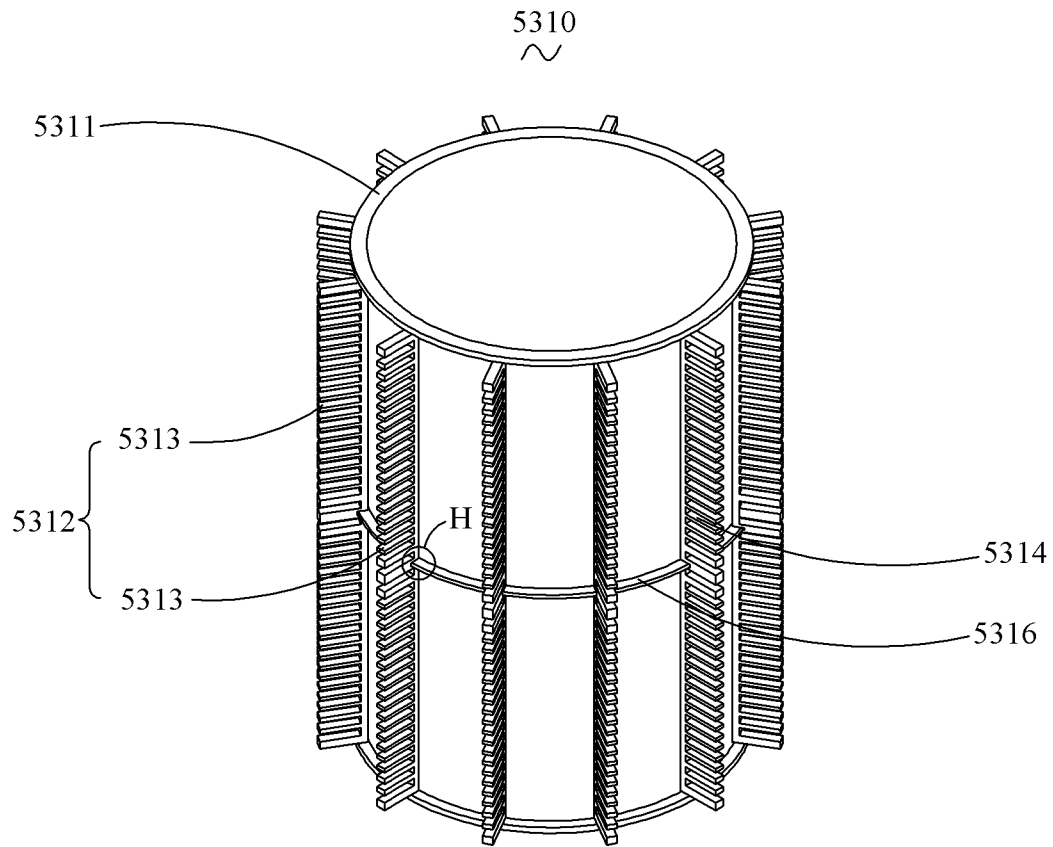


图20

H

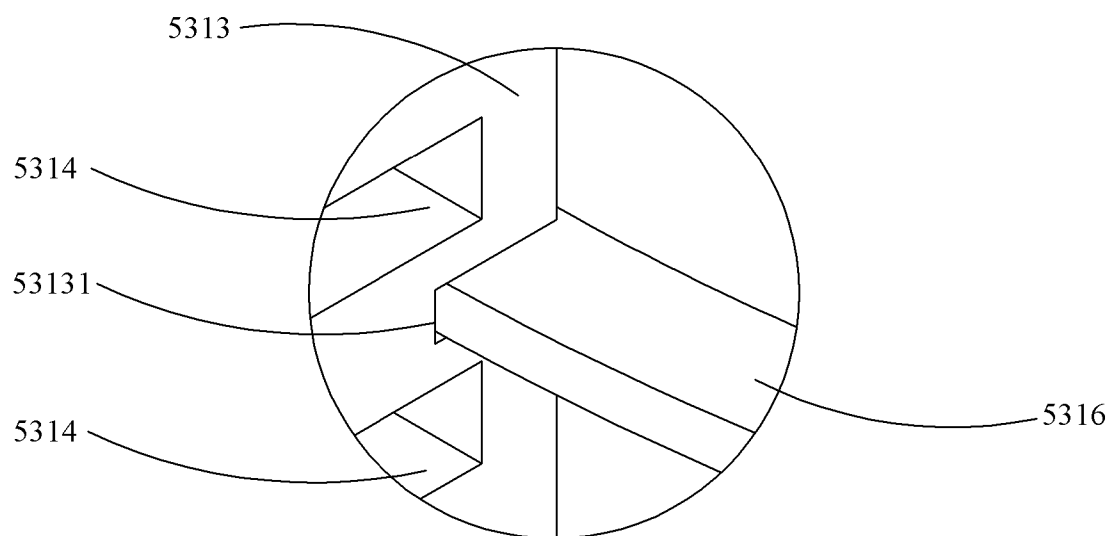


图21



6311
~

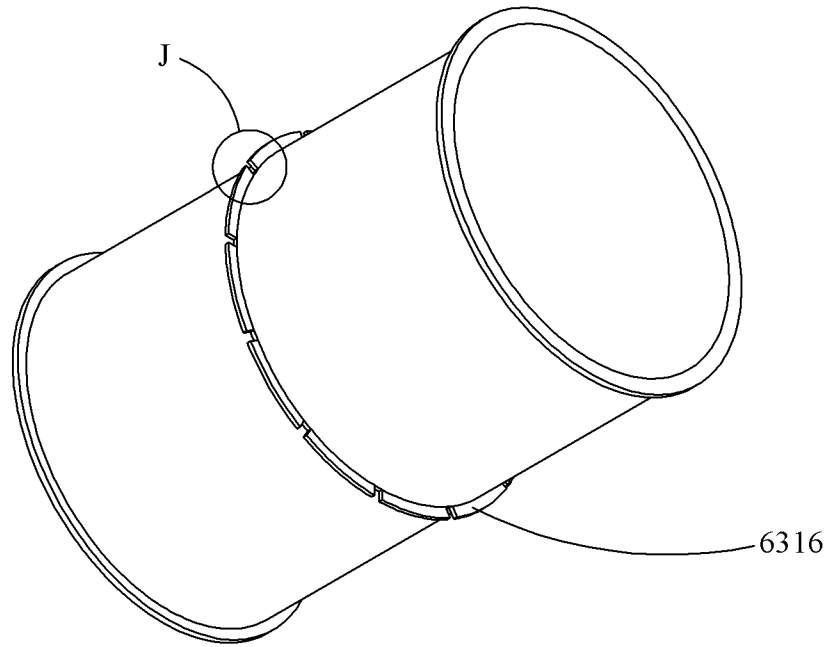


图22

J

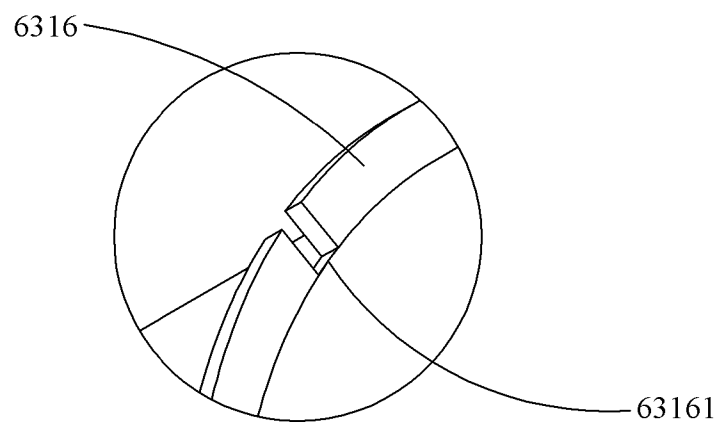


图23