

(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
2023 年 12 月 7 日 (07.12.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/232011 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06F 30/23 (2020.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/097040
- (22) 国际申请日: 2023 年 5 月 30 日 (30.05.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202210616091.6 2022年5月31日 (31.05.2022) CN
- (71) 申请人:中国第一汽车股份有限公司(CHINA FAW CO., LTD.) [CN/CN]; 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。
- (72) 发明人:张尤龙(ZHANG, Youlong); 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin

130011 (CN)。马明辉(MA, Minghui); 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。康一坡(KANG, Yipo); 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。闫博(YAN, Bo); 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。刘明远(LIU, Mingyuan); 中国吉林省长春市汽车经济技术开发区新红旗大街1号, Jilin 130011 (CN)。

- (74) 代理人:北京远智汇知识产权代理有限公司(BEIJING YZH IP FIRM); 中国北京市海淀区莲花池东路39号6层608室, Beijing 100036 (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,

(54) **Title:** FIT TOLERANCE DETERMINATION METHOD AND APPARATUS, ELECTRONIC DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 配合公差确定方法、装置、电子设备及存储介质

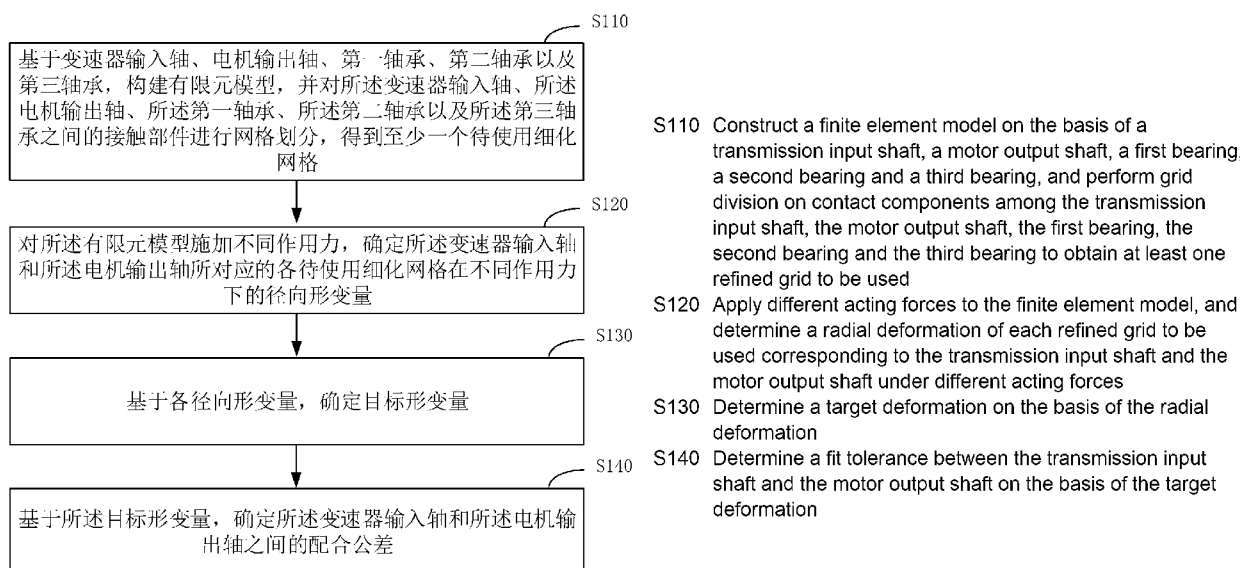


图 1

(57) **Abstract:** The present application discloses a fit tolerance determination method and apparatus, an electronic device, and a storage medium. The method comprises: constructing a finite element model on the basis of a transmission input shaft, a motor output shaft, a first bearing, a second bearing and a third bearing, and performing grid division on contact components among the transmission input shaft, the motor output shaft, the first bearing, the second bearing and the third bearing to obtain at least one refined grid to be used; applying different acting forces to the finite element model, and determining a radial deformation of each refined grid to be used corresponding to the transmission input shaft and the motor output shaft under different acting forces; determining a target deformation on the basis of the radial deformation; and determining a fit tolerance between the transmission input shaft and the motor output shaft on the basis of the target deformation.



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: 本申请公开了一种配合公差确定方法、装置、电子设备及存储介质。该方法包括: 基于变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承, 构建有限元模型, 并对变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承之间的接触部件进行网格划分, 得到至少一个待使用细化网格; 对有限元模型施加不同作用力, 确定变速器输入轴和电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量; 基于所述径向形变量, 确定目标形变量; 基于目标形变量, 确定变速器输入轴和电机输出轴之间的配合公差。

配合公差确定方法、装置、电子设备及存储介质

本申请要求在2022年05月31日提交中国专利局、申请号为202210616091.6的中国专利申请的优先权，该申请的全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及计算机处理技术领域，例如涉及一种配合公差确定方法、装置、电子设备及存储介质。

背景技术

三轴承电机变速器是指以三轴承结构总成的变速器，在三轴承电机变速器产品设计过程中，为了使三轴承电机变速器的性能最优化，通常会为三轴承电机变速器定义好最适宜的轴间配合公差，以使电机输出轴与变速器输入轴基于配合公差进行配合。

相关技术中确定轴间配合公差的方法，通常基于工程师的个人经验确定配合公差，再通过仿真试验技术手段对基于配合公差构成的三轴承电机变速器的性能进行检验，这种基于个人经验确定的配合公差准确性差，从而导致仿真试验精度差、效率低，导致仿真试验周期长，浪费大量生产开发成本的问题。

发明内容

本申请提供了一种配合公差确定方法、装置、电子设备及存储介质，以实现在提高轴间配合公差确定的准确性的同时，达到提高试验精度以及效率的技术效果。

根据本申请的一方面，提供了一种配合公差确定方法，该方法包括：

基于变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承，构建有限元模型，并对所述变速器输入轴、所述电机输出轴、所述第一轴承、所述第二轴承以及所述第三轴承之间的接触部件进行网格划分，得到至少一个待使用细化网格；

对所述有限元模型施加不同作用力，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量；其中，所述径向形变量的方向垂直于相应轴底面；

基于所述径向形变量，确定目标形变量；

基于所述目标形变量，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴之间的配合公差。

根据本申请的另一方面，提供了一种配合公差确定装置，该装置包括：

待使用细化网格确定模块，设置为基于变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承，构建有限元模型，并对所述变速器输入轴、所述电机输出轴、所述第一轴承、所述第二轴承以及所述第三轴承之间的接触部件进行网格划分，得到至少一个待使用细化网格；

径向形变量确定模块，设置为对所述有限元模型施加不同作用力，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量；其中，所述径向形变量的方向垂直于相应轴底面；

目标形变量确定模块，设置为基于所述径向形变量，确定目标形变量；

配合公差确定模块，设置为基于所述目标形变量，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴之间的配合公差。

根据本申请的另一方面，提供了一种电子设备，所述电子设备包括：

至少一个处理器；以及

与所述至少一个处理器通信连接的存储器；其中，

所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的计算机程序，所述计算机程序被所述至少一个处理器执行，以使所述至少一个处理器能够执行本申请任一实施例所述的配合公差确定方法。

根据本申请的另一方面，提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机指令，所述计算机指令用于使处理器执行时实现本申请任一实施例所述的配合公差确定方法。

附图说明

下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 是根据本申请实施例一提供的一种配合公差确定方法的流程图；

图 2 是根据本申请实施例一所提供的三轴承结构示意图；

图 3 是根据本申请实施例一所提供的花键位置网格示意图；

图 4 是根据本申请实施例一所提供的电机输出轴花键轴对称示意图；

图 5 是根据本申请实施例一所提供的单个花键齿面网格分区细化示意图；

图 6 是根据本申请实施例一所提供的轴承几何结构示意图；

图 7 是根据本申请实施例一所提供的轴承外圈几何结构示意图；

图 8 是根据本申请实施例一所提供的轴承外表面建立 RBE3 单元示意图；

图 9 是根据本申请实施例一所提供的电机输出轴几何结构示意图；

图 10 是根据本申请实施例一所提供的电机轴外表面建立 RBE3 单元示意图；

图 11 是根据本申请实施例一所提供的变速器输入轴剖面示意图；

图 12 是根据本申请实施例一所提供的变速器输入轴齿轮啮合点建立 RBE3 单元示意图；

图 13 是根据本申请实施例一所提供的电机输出轴剖面示意图；

图 14 是根据本申请实施例三提供的一种配合公差确定装置的结构示意图；

图 15 是实现本申请实施例的配合公差确定方法的电子设备的结构示意图。

图中，

210、变速器输入轴；2101、变速器输入轴花键；2102、从点（一级主动齿轮啮合节点）；2103、附近齿面；2104、齿面；2105、RBE3 单元；2106、轴内壁；

220、第一轴承；2201、轴承外圈；2202、主点；2203、从点；2204、圆柱坐标系；2205、RBE3 单元；

230、第二轴承；

240、第三轴承；

250、电机输出轴；2501、电机输出轴花键；25011、花键齿面细化网格；25012、花键齿面粗化网格；2502、主点；2503、圆柱坐标系；2504、RBE3 单元；2505、从点；2506、轴外壁；

具体实施方式

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例进行清楚、完整地描

述，所描述的实施例仅仅是本申请一部分的实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都应当属于本申请保护的范围。

需要说明的是，本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、“目标”和“原始”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换，以便这里描述的本申请的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外，术语“包括”、“包含”和“具有”以及他们的任何变形，意图在于覆盖不排除的包含，例如，包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

实施例一

图1是根据本申请实施例一提供的一种配合公差确定方法的流程图，本实施例可适用于确定轴间配合公差的情况，该方法可以由配合公差确定装置来执行，该配合公差确定装置可以采用硬件和/或软件的形式实现，该配合公差确定装置可配置于计算设备中。如图1所示，该方法包括：

S110、基于变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承，构建有限元模型，并对所述变速器输入轴、所述电机输出轴、所述第一轴承、所述第二轴承以及所述第三轴承之间的接触部件进行网格划分，得到至少一个待使用细化网格。

在实际应用中，可以建立三轴承结构装配的有限元模型，例如，三轴承结构包括变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承等，可以参考图2，图2可以表示为三轴承结构示意图，可以由变速器输入轴210、电机输出轴250、第一轴承220、第二轴承230以及第三轴承240共同构成三轴承结构。可以对三轴承结构中所有部件进行网格划分，并将划分后网格装配在一起，构建得到有限元模型。在网格划分时，可以对变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承之间的接触部件进行细化的网格划分，得到至少一个待使用细化网格，可以对剩余的部分结构进行粗的网格划分，得到至少一个粗化网格，可以理解为，待使用细化网格比粗化网格体积更小。示例性的，变速器输入轴和电机输出轴之间依靠花键进行接触，可以参考图3，图3可以表示为花键位置网格示意图，可以将电机输出轴花键2501与变速器输入轴花键2101齿面网格进行分区划分网格，将花键齿面中间粗化两端细化，形成花键齿面细化网格与花键齿面粗化网格。在实际建模的过程中，如图4所示，可以表示为电机轴花键轴对称示意图，那么电机输出轴花键2501与变速器输入

轴花键 2101 均可以基于花键的对称特点使用轴对称建立模型，例如只建立单独一个花键齿面网格，参见图 5，可以将电机输出轴花键 2501 中一个花键齿面划分为花键齿面细化网格 25011(即待使用细化网格)与花键齿面粗化网格 25012，进而可以通过轴对称建立完整的花键网格模型。相应的，可以得到完整的三轴承结构装配的有限元模型。

需要说明的是，为了提高三轴承结构有限元模型构建的准确性，可以为有限元模型添加力学属性参数，如材料属性或应变、形变梯度等，以使基于各网格所对应的力学属性参数表征对应部件的实际力学属性。

可选的，所述方法还包括：确定与有限元模型相对应的力学特性数据；基于力学特性数据更新有限元模型。

其中，力学特性数据包括材料属性数据和结构属性数据。

在实际应用中，可以为有限元模型定义相应的力学特性数据，如，定义有限元模型的弹性模量为 $E=210000MPa$ 、泊松比 $\mu=0.3$ ，全部有限元模型为线弹性材料等力学特性数据，可以基于定义好的力学特性数据更新有限元模型，得到具有力学属性的有限元模型。

需要说明的是，为了防止模型的刚体位移，以及更好满足有限元求解的条件，可以在建立有限元模型时，为有限元模型定义约束条件，例如，在为有限元模型施加载荷时，可以限制三轴承结构中某些部件的转动。

可选的，所述方法还包括：确定与有限元模型相对应的第一模型边界条件和第二模型边界条件；基于第一模型边界条件和第二模型边界条件更新有限元模型。

其中，第一模型边界条件是基于固定第一轴承、第二轴承和第三轴承确定的，例如，固定轴承除轴向转动自由度外的全部自由度。第二模型边界条件是基于固定电机输出轴确定的，例如，固定电机输出轴轴向转动自由度。

在实际应用中，可以为有限元模型施加边界限制条件，可以将模型边界限制条件分两类，一类是第一模型边界条件，二类是第二模型边界条件。例如，在施加第一模型边界条件时，即固定轴承除轴向转动自由度外的全部自由度，可以固定第一轴承、第二轴承以及第三轴承的外圈，以模拟变速器及电机壳体对轴承的支撑作用。以第一轴承为例说明轴承外圈的固定过程，如图 6 所示，可以表示为轴承几何结构示意图，在固定轴承外圈 2201 时，需借助 RBE3 单元施加，如图 7 所示，可以表示为轴承外圈几何结构示意图，RBE3 单元的主点 2202 选择轴承外圈 2201 的外圈表面，从点 2203 选择轴承几何中心，如图 8 所示，可以表示为轴承外表面建立 RBE3 单元示意图，RBE3 单元 2205 的从点 2203

绕圆柱坐标系 2204 的 6 点钟方向自由度不约束，其他自由度全部约束，圆柱坐标系 2204 的 Z 轴沿齿轮轴轴线方向，R 轴沿齿轮轴的径向，t 轴由 Z、R 根据右手准则确定。在施加第二模型边界条件时，即固定电机输出轴轴向转动自由度，示例性的，参见图 9，图 9 可以表示为电机输出轴几何结构示意图，在固定电机输出轴 250 时，需借助 RBE3 单元施加，可以参见图 10，可以表示为电机轴外表面建立 RBE3 单元示意图，RBE3 单元 2504 的主点 2502 选择电机输出轴 250 外表面，从点 2505 选择电机输出轴 250 的几何中心，仅约束 RBE3 单元 2504 的从点 2505 绕圆柱坐标系 2503 的 6 点钟方向自由度。以在有限元模型受力分析的过程中，固定轴承除轴向转动自由度外的全部自由度，以及固定电机输出轴轴向转动自由度，提高模型分析的精度。

S120、对所述有限元模型施加不同作用力，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量。

其中，作用力可以理解为载荷，可选的，作用力包括轴承过盈力、变速器齿轮啮合力和电机偏心载荷，变速器齿轮啮合力是基于变速器输入轴的齿轮节圆直径、齿轮传递扭矩、齿轮法向压力角以及齿轮节圆处螺旋角确定的。轴承过盈力可以理解为变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承的接触区域之间过盈力。电机偏心载荷可以理解为径向电磁力。径向形变量的方向垂直于相应轴底面。

在实际应用中，可以对有限元模型施加轴承过盈力、变速器齿轮啮合力和电机偏心载荷至少一种作用力，这样有限元模型中的各网格可能会产生相应的形变，可以获取变速器输入轴和电机输出轴处每个待使用细化网格在不同种作用力下的径向形变量，以使基于径向形变量确定变速器输入轴和电机输出轴之间的配合公差。

需要说明的是，为了提高配合公差计算的准确性，可以设计不同的试验工况，在不同试验工况下施加不同的作用力，相应的，可以得到不同试验工况下每个待使用细化网格的径向形变量，例如，可以为三个试验工况，分别可以是：预紧工况、齿轮力工况、偏心力工况。三个试验工况所用的边界条件均为第一模型边界条件和第二模型边界条件。其中，在执行预紧工况试验时，可以仅加载轴承内圈的过盈量，即轴承过盈力，不施加变速器齿轮啮合力和电机偏心载荷。在执行齿轮力工况试验时，可以在预紧工况的基础上施加变速器齿轮啮合力。在执行偏心力工况试验时，可以在预紧工况的基础上施加电机偏心载荷。下面对三种试验工况的实现方式进行详细说明：

在执行预紧工况试验时，可选的，对有限元模型施加不同作用力，确定变速器输入轴和电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向

形变量, 包括: 对有限元模型中所述第二轴承施加轴承过盈力, 得到变速器输入轴在第二轴承位置的轴内壁所对应的每个待使用细化网格的径向形变量。

需要说明的是, 考虑到轴间过盈接触的计算精度以及计算收敛性, 在将变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承的接触区域进行切割时, 形成了规则的几何区域, 在接触部分网格处可以建立相对应的过盈接触关系, 即设置相应的轴承过盈力。

在实际应用中, 为了提高计算效率, 可以对有限元模型中第二轴承施加轴承过盈力, 进而可以对三轴承结构进行有限元模型的计算分析, 可以将每一个试验工况的时间周期均设为 1, 时间增量设为 0.1, 采用牛顿-拉普森方法迭代计算输出三轴承有限元模型在预紧工况试验时的分析结果。可选的, 可以对分析结果进行处理, 提取变速器输入轴在第二轴承位置所对应位置的轴内壁 (即轴内表面) 上每个待使用细化网格的径向形变量, 例如, 参见图 11, 图 11 可以表示为变速器输入轴剖面示意图, 可以获取变速器输入轴 210 在第二轴承位置所对应位置的轴内壁 2106 上每个待使用细化网格的径向形变量。

在执行齿轮力工况试验时, 可选的, 对有限元模型施加不同作用力, 确定变速器输入轴和电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量, 包括: 基于有限元模型中变速器输入轴的齿轮节圆直径, 确定齿轮啮合节点; 在对有限元模型中第二轴承施加所述轴承过盈力时, 对齿轮啮合节点施加变速器齿轮啮合力, 得到变速器输入轴在第二轴承位置的轴内壁所对应的径向形变量, 和电机输出轴在第二轴承位置的轴外壁所对应的径向形变量。

在实际应用中, 可以基于有限元模型中变速器输入轴的齿轮节圆直径, 确定齿轮啮合节点, 例如, 可以参见图 12, 图 12 可以表示为变速器输入轴齿轮啮合点建立 RBE3 单元示意图, 可以将 RBE3 单元 2105 的从点 2102 作为一级主动齿轮啮合节点, 附近齿面 2103、齿面 2104 上单元节点为 RBE3 单元 2105 的主点, 可以将一级主动齿轮啮合节点 2102 作为需要将变速器齿轮啮合力施加在的节点, 即齿轮啮合节点, 该齿轮啮合节点在齿轮节圆直径上。在确定齿轮啮合力时, 可以根据变速器输入轴的齿轮传递扭矩 M 、齿轮啮合参数和齿轮载荷等依据公式 (1) 计算得到齿轮啮合力, 公式 (1) 如下所示:

$$\begin{cases} F_t = \frac{2M}{d} \\ F_r = F_t \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} \\ F_a = F_t \tan \beta \end{cases} \quad (1)$$

其中齿轮啮合力包括齿轮的圆周力 F_t 、径向力 F_r 和轴向力 F_a , 可以借助定义在变速器输入轴轴线上的局部圆柱坐标系进行施加。 M 为齿轮传递的扭矩,

即齿轮传递扭矩， d 为齿轮节圆直径， α_n 为齿轮法向压力角， β 为齿轮节圆处螺旋角。可以在对有限元模型中第二轴承施加轴承过盈力时，对齿轮啮合节点施加变速器齿轮啮合力，进而可以对三轴承结构进行有限元模型的计算分析，可以采用牛顿-拉普森方法迭代计算输出三轴承有限元模型在齿轮力工况试验时的分析结果。可选的，可以对分析结果进行处理，提取变速器输入轴在第二轴承位置的轴内壁（即内表面）所对应的径向形变量，和电机输出轴在第二轴承位置的轴外壁（即外表面）所对应的径向形变量，例如，参见图 13，图 13 可以表示为电机输出轴剖面示意图，其中图 13 中标识 2506 可以表示为电机输出轴 250 的在第二轴承位置所对应位置的轴外壁 2506。

在执行偏心力工况试验时，可选的，对有限元模型施加不同作用力，确定变速器输入轴和电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量，包括：确定有限元模型中电机输出轴的电机载荷从点；在对有限元模型中第二轴承施加轴承过盈力时，对电机载荷从点施加电机偏心载荷，得到变速器输入轴在第二轴承位置的轴内壁所对应的径向形变量，和电机输出轴在第二轴承位置的轴外壁所对应的径向形变量。

在实际应用中，可以借助 RBE3 单元确定 RBE3 单元的从点，作为有限元模型中电机输出轴的电机载荷从点。可以在对有限元模型中第二轴承施加轴承过盈力时，对电机载荷从点施加偏心载荷，例如，继续参见图 10，可以将电机输出轴在工作过程中受到的偏心载荷 F (最大单边磁拉力) 以静载方式施加在 RBE3 单元 2504 的从点 2505 上，偏心载荷方向为圆柱坐标系 2503 的 R 轴方向。可选的，可以对三轴承结构进行有限元模型的计算分析，可以采用牛顿-拉普森方法迭代计算输出三轴承有限元模型在偏心力工况试验时的分析结果。可以对分析结果进行处理，提取变速器输入轴在第二轴承位置的轴内壁（即内表面）所对应的径向形变量，和电机输出轴在第二轴承位置的轴外壁（即外表面）所对应的径向形变量。

S130、基于所述径向形变量，确定目标形变量。

在实际应用中，可以对径向形变量进行处理，得到用于确定配合公差的目标形变量，例如，可以在每种试验工况下径向形变量中，确定出相应的待使用径向形变量，进而基于确定出待使用径向形变量，确定目标形变量。

可选的，确定变速器输入轴在第二轴承位置的轴内壁在不同作用力下最小的径向形变量；以及，确定电机输出轴在第二轴承位置的轴外壁在不同作用力下最大的径向形变量；基于最小的径向形变量和最大的径向形变量，确定目标形变量。

在实际应用中，对于预紧工况试验下，可以提取变速器输入轴在第二轴承

位置的轴内壁所对应的径向形变量中最小的径向形变量，记为 u_1 ；对于齿轮力工况试验下，可以提取变速器输入轴在第二轴承位置的轴内壁所对应的径向形变量中最小的径向形变量，记为 u_2 ，和电机输出轴在第二轴承位置的轴外壁所对应的径向形变量中最大的径向形变量，记为 u_3 ；对于偏心力工况试验下，可以提取变速器输入轴在第二轴承位置的轴内壁所对应的径向形变量中最小的径向形变量，记为 u_4 ，和电机输出轴在第二轴承位置的轴外壁所对应的径向形变量中最大的径向形变量，记为 u_5 。可以将三个工况得到的径向形变量按公式(2)计算，得到轴承过盈、齿轮力和偏心力共同作用下的目标形变量，记为，公式(2)如下所示：

$$U = \sum |u_i|, (i = 1, 2, \dots, 5) \quad (2)$$

其中， U 可以表示为目标形变量， $u_i, (i=1,2,\dots,5)$ 为三个试验工况下得到的对应的径向形变量。

S140、基于所述目标形变量，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴之间的配合公差。

在实际应用中，可以依据目标形变量确定三轴承结构下电机输出轴与变速器输入轴在中间轴承所对应位置处的轴间配合公差，可选的，轴间配合公差应大于得到的目标形变量 U 。

本实施例通过基于对有限元模型中变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承之间的接触部件进行网格划分，得到至少一个待使用细化网格，并对有限元模型施加不同种的作用力，确定变速器输入轴和电机输出轴所对应的待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量，基于径向形变量，确定目标形变量，进而基于目标形变量，确定变速器输入轴和所述电机输出轴之间的配合公差，解决了相关技术中基于人工经验确定三轴承结构轴间配合公差，导致配合公差确定准确性低的问题，实现了在对有限元模型施加不同种的作用力时，确定不同种的作用力下变速器输入轴和电机输出轴所对应的径向形变量，结合了不同试验工况，基于各试验工况下的径向形变量，确定目标形变量，并基于目标形变量确定三轴承结构轴间配合公差，在提高轴间配合公差确定的准确性的同时，达到提高试验精度以及效率的技术效果。

实施例二

作为上述实施例的一可选实施例，为了使本领域技术人员清楚本申请实施例的技术方案，给出具体的应用场景实例。具体的，可以参见下述具体内容。

示例性的，继续参见图2，可以建立三轴承结构装配的有限元模型，分别将

三轴承结构中的所有部件进行网格划分，三轴承结构包括变速器输入轴 210、电机输出轴 250、第一轴承 220、第二轴承 230 以及第三轴承 240，并将划分后网格装配在一起，构建得到有限元模型。在网格划分时，可以对变速器输入轴 210、电机输出轴 250、第一轴承 220、第二轴承 230 以及第三轴承 240 之间的接触部件进行细化的网格划分，得到至少一个待使用细化网格，可以对剩余的部分结构进行粗的网格划分，得到至少一个粗化网格。示例性的，变速器输入轴和电机输出轴之间依靠花键进行接触，可以继续参考图 3，考虑到兼顾计算精度以及计算速度，可以将电机输出轴花键 2501 与变速器输入轴花键 2101 齿面网格进行分区划分网格，将花键齿面中间粗化两端细化，形成花键齿面细化网格与花键齿面粗化网格。在实际建模的过程中，可以继续参考图 4，电机输出轴花键 2501 与变速器输入轴花键 2101 均可以基于花键的对称特点使用轴对称建立模型，例如只建立单独一个花键齿面网格，继续参见图 5，可以将电机输出轴花键 2501 中一个花键齿面划分为花键齿面细化网格 25011(即待使用细化网格)与花键齿面粗化网格 25012，进而可以通过轴对称建立完整的花键网格模型，同时考虑到过盈接触的计算精度以及计算收敛性，可以将变速器输入轴 210、电机输出轴 250、第一轴承 220、第二轴承 230 以及第三轴承 240 的接触区域进行切割，形成规则的几何区域，使接触部分网格的单元节点一一对应，并建立与之相对应的过盈接触关系。

在上述方案的基础上，可以定义有限元模型的弹性模量为 $E=210000MPa$ 、泊松比 $\mu=0.3$ ，全部有限元模型为线弹性材料等力学特性数据，还可以施加有限元模型边界条件，即第一模型边界条件和第二模型边界条件，其中，第一模型边界条件是固定轴承除轴向转动自由度外的全部自由度。第二模型边界条件是固定电机输出轴轴向转动自由度。需要说明的是，第一模型边界条件和第二模型边界条件可以分开约束有限元模型。例如，继续参见图 6，在固定图 6 中轴承外圈 2201 时，需借助 RBE3 单元施加，继续参见图 7，RBE3 单元的主点 2202 选择轴承外圈 2201 的外圈表面，从点 2203 选择轴承几何中心，继续参见图 8，在边界约束时，可以 RBE3 单元的从点 2203 绕圆柱坐标系 2204 的 6 点钟方向自由度不约束，其他自由度全部约束，圆柱坐标系 2204 的 Z 轴沿齿轮轴轴线方向，R 轴沿齿轮轴的径向，t 轴由 Z、R 根据右手准则确定。在固定电机输出轴 250 轴向转动自由度时，继续参见图 9，需借助 RBE3 单元施加，继续参见图 10，RBE3 单元 2504 的主点 2502 选择电机输出轴 250 外表面，从点 2505 选择电机输出轴 250 的几何中心，在边界约束时，可以仅约束 RBE3 单元 2504 的从点 2505 绕圆柱坐标系 2503 的 6 点钟方向自由度。以在有限元模型受力分析的过程中，固定轴承除轴向转动自由度外的全部自由度，以及固定电机输出轴轴向转动自由度，提高模型分析的精度。

在上述方案的基础上，可以设计不同的试验工况，在不同试验工况下施加不同的作用力，相应的，可以得到不同试验工况下每个待使用细化网格的径向形变量，例如，试验工况分别可以是：预紧工况、齿轮力工况、偏心力工况。这三个试验工况所用的边界条件均为第一模型边界条件和第二模型边界条件。其中，在执行预紧工况试验时，可以仅加载轴承内圈的过盈量，即轴承过盈力，不施加变速器齿轮啮合力和电机偏心载荷。在执行齿轮力工况试验时，可以在预紧工况的基础上施加变速器齿轮啮合力，例如，继续参见图 12，可以以一级主动齿轮啮合节点 2102 为 RBE3 单元 2105 的从点，附近齿面 2103、齿面 2104 上单元节点为 RBE3 单元 2105 的主点，可以将一级主动齿轮啮合节点 2102 作为需要将变速器齿轮啮合力施加在的节点，即齿轮啮合节点，该齿轮啮合节点在齿轮节圆直径上。在确定变速器齿轮啮合力时，可以根据变速器输入轴的齿轮传递扭矩、齿轮啮合参数和齿轮载荷等依据公式 (1) 计算得到齿轮啮合力，公式 (1) 如下所示：

$$\begin{cases} F_t = \frac{2M}{d} \\ F_r = F_t \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta} \\ F_a = F_t \tan \beta \end{cases} \quad (1)$$

其中齿轮啮合力包括齿轮的圆周力 F_t 、径向力 F_r 和轴向力 F_a ，可以借助定义在变速器输入轴轴线上的局部圆柱坐标系进行施加。 M 为齿轮传递的扭矩，即齿轮传递扭矩， d 为齿轮节圆直径， α_n 为齿轮法向压力角， β 为齿轮节圆处螺旋角。在执行偏心力工况试验时，可以在预紧工况的基础上施加电机偏心载荷，例如，继续参见图 10，可以将电机输出轴在工作过程中受到的偏心载荷 F （最大单边磁拉力）以静载方式施加在 RBE3 单元 2504 的从点 2505 上，偏心载荷方向为圆柱坐标系 2503 的 R 轴方向。可以将每一个试验工况的时间周期均设为 1，时间增量设为 0.1，采用牛顿-拉普森方法迭代计算输出三轴承有限元模型在三个工况试验时的分析结果。可以提取变速器输入轴在第二轴承位置的轴内壁所对应的径向形变量中最小的径向形变量，记为 u_1 ；对于齿轮力工况试验下，可以提取变速器输入轴在第二轴承位置的轴内壁所对应的径向形变量中最小的径向形变量，记为 u_2 ，和电机输出轴在第二轴承位置的轴外壁所对应的径向形变量中最大的径向形变量，记为 u_3 ；对于偏心力工况试验下，可以提取变速器输入轴在第二轴承位置的轴内壁所对应的径向形变量中最小的径向形变量，记为 u_4 ，和电机输出轴在第二轴承位置的轴外壁所对应的径向形变量中最大的径向形变量，记为 u_5 。可以将三个工况得到的径向变形量按公式 (2) 计算，得到轴承过盈、齿轮力和偏心力共同作用下的目标形变量，记为，公式 (2) 如下所示：

$$U = \sum |u_i|, (i = 1, 2, \dots, 5) \quad (2)$$

其中， U 可以表示为目标形变量， $u_i, (i=1,2,\dots,5)$ 为三个试验工况下得到的对应的径向形变量。可选的，可以依据目标形变量确定三轴承结构下电机输出轴与变速器输入轴在中间轴承所对应位置处的轴间配合公差，可选的，轴间配合公差应大于得到的目标形变量 U 。

本实施例通过基于对有限元模型中变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承之间的接触部件进行网格划分，得到至少一个待使用细化网格，并对有限元模型施加不同种的作用力，确定变速器输入轴和电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量，基于径向形变量，确定目标形变量，进而基于目标形变量，确定变速器输入轴和所述电机输出轴之间的配合公差，解决了相关技术中基于人工经验确定三轴承结构轴间配合公差，导致配合公差确定准确性低的问题，实现了在对有限元模型施加不同种的作用力时，确定不同种的作用力下变速器输入轴和电机输出轴所对应的径向形变量，结合了不同试验工况，基于各试验工况下的径向形变量，确定目标形变量，并基于目标形变量确定三轴承结构轴间配合公差，在提高轴间配合公差确定的准确性的同时，达到提高试验精度以及效率的技术效果。

实施例三

图 14 是根据本申请实施例三提供的一种配合公差确定装置的结构示意图。如图 14 所示，该装置包括：待使用细化网格确定模块 410、径向形变量确定模块 420、目标形变量确定模块 430 和配合公差确定模块 440。

其中，待使用细化网格确定模块 410，设置为基于变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承，构建有限元模型，并对所述变速器输入轴、所述电机输出轴、所述第一轴承、所述第二轴承以及所述第三轴承之间的接触部件进行网格划分，得到至少一个待使用细化网格；

径向形变量确定模块 420，设置为对所述有限元模型施加不同作用力，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量；其中，所述径向形变量的方向垂直于相应轴底面；

目标形变量确定模块 430，设置为基于所述径向形变量，确定目标形变量；

配合公差确定模块 440，设置为基于所述目标形变量，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴之间的配合公差。

本实施例通过对有限元模型中变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承之间的接触部件进行网格划分，得到至少一个待使用细化

网格，并对有限元模型施加不同种的作用力，确定变速器输入轴和电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量，基于所述径向形变量，确定目标形变量，进而基于目标形变量，确定变速器输入轴和所述电机输出轴之间的配合公差，解决了相关技术中基于人工经验确定三轴承结构轴间配合公差，导致配合公差确定准确性低的问题，实现了在对有限元模型施加不同种的作用力时，确定不同种的作用力下变速器输入轴和电机输出轴所对应的径向形变量，结合了不同试验工况，基于各试验工况下的径向形变量，确定目标形变量，并基于目标形变量确定三轴承结构轴间配合公差，在提高轴间配合公差确定的准确性的同时，达到提高试验精度以及效率的技术效果。

在上述装置的基础上，可选的，所述装置还包括有限元模型第一更新模块，所述有限元模型第一更新模块包括力学特性数据确定单元和有限元模型第一更新单元。

力学特性数据确定单元，设置为确定与所述有限元模型相对应的力学特性数据；其中，所述力学特性数据包括材料属性数据和结构属性数据；

有限元模型第一更新单元，设置为基于所述力学特性数据更新所述有限元模型。

在上述装置的基础上，可选的，所述装置还包括有限元模型第二更新模块，所述有限元模型第二更新模块包括边界条件确定单元和有限元模型第二更新单元。

边界条件确定单元，设置为确定与所述有限元模型相对应的第一模型边界条件和第二模型边界条件；其中，所述第一模型边界条件是基于固定所述第一轴承、所述第二轴承和所述第三轴承确定的，所述第二模型边界条件是基于固定所述电机输出轴确定的；

有限元模型第二更新单元，设置为基于所述第一模型边界条件和所述第二模型边界条件更新所述有限元模型。

在上述装置的基础上，可选的，所述装置还包括作用力确定模块。

作用力确定模块，设置为确定对所述有限元模型施加的作用力；其中，所述作用力包括轴承过盈力、变速器齿轮啮合力和电机偏心载荷，所述变速器齿轮啮合力是基于所述变速器输入轴的齿轮节圆直径、齿轮传递扭矩、齿轮法向压力角以及齿轮节圆处螺旋角确定的。

在上述装置的基础上，可选的，所述径向形变量确定模块 420，包括径向形变量确定第一单元。

径向形变量确定第一单元，设置为对所述有限元模型中所述第二轴承施加

所述轴承过盈力，得到所述变速器输入轴在所述第二轴承位置的轴内壁所对应的每个待使用细化网格的径向形变量。

在上述装置的基础上，可选的，所述径向形变量确定模块 420，包括径向形变量确定第二单元，所述径向形变量确定第二单元包括齿轮啮合节点确定子单元和径向形变量确定第二子单元。

齿轮啮合节点确定子单元，设置为基于所述有限元模型中所述变速器输入轴的齿轮节圆直径，确定齿轮啮合节点；

径向形变量确定第二确定子单元，设置为在对所述有限元模型中所述第二轴承施加所述轴承过盈力时，对所述齿轮啮合节点施加所述变速器齿轮啮合力，得到所述变速器输入轴在所述第二轴承位置的轴内壁所对应的径向形变量，和所述电机输出轴在所述第二轴承位置的轴外壁所对应的径向形变量。

在上述装置的基础上，可选的，所述径向形变量确定模块 420，包括径向形变量确定第三单元，所述径向形变量确定第三单元包括电机载荷从点确定子单元和径向形变量确定第三子单元。

电机载荷从点确定单元，设置为确定所述有限元模型中所述电机输出轴的电机载荷从点；

径向形变量确定第三子单元，设置为在对所述有限元模型中所述第二轴承施加所述轴承过盈力时，对所述电机载荷从点施加所述电机偏心载荷，得到所述变速器输入轴在所述第二轴承位置的轴内壁所对应的径向形变量，和所述电机输出轴在所述第二轴承位置的轴外壁所对应的径向形变量。

在上述装置的基础上，可选的，所述目标形变量确定模块 430，包括最小径向形变量确定单元、最大径向形变量确定单元和目标形变量确定单元。

最小径向形变量确定单元，设置为确定所述变速器输入轴在所述第二轴承位置的轴内壁在不同作用力下最小的径向形变量；以及

最大径向形变量确定单元，设置为确定所述电机输出轴在所述第二轴承位置的轴外壁在不同作用力下最大的径向形变量；

目标形变量确定单元，设置为基于最小的所述径向形变量和最大的所述径向形变量，确定目标形变量。

本申请实施例所提供的配合公差确定装置可执行本申请任意实施例所提供的配合公差确定方法，具备执行方法相应的功能模块和有益效果。

实施例四

图 15 是实现本申请实施例的配合公差确定方法的电子设备的结构示意图。电子设备旨在表示各种形式的数字计算机，诸如，膝上型计算机、台式计算机、工作台、个人数字助理、服务器、刀片式服务器、大型计算机、和其它适合的计算机。电子设备还可以表示各种形式的移动装置，诸如，个人数字处理、蜂窝电话、智能电话、可穿戴设备（如头盔、眼镜、手表等）和其它类似的计算装置。本文所示的部件、它们的连接和关系、以及它们的功能仅仅作为示例，并且不意在限制本文中描述的和/或者要求的本申请的实现。

如图 15 所示，电子设备 10 包括至少一个处理器 11，以及与至少一个处理器 11 通信连接的存储器，如只读存储器（Read-Only Memory, ROM）12、随机访问存储器（Random Access Memory, RAM）13 等，其中，存储器存储有可被至少一个处理器执行的计算机程序，处理器 11 可以根据存储在 ROM12 中的计算机程序或者从存储单元 18 加载到 RAM13 中的计算机程序，来执行各种适当的动作和处理。在 RAM 13 中，还可存储电子设备 10 操作所需的各种程序和数据。处理器 11、ROM 12 以及 RAM 13 通过总线 14 彼此相连。输入/输出（Input/Output, I/O）接口 15 也连接至总线 14。

电子设备 10 中的多个部件连接至 I/O 接口 15，包括：输入单元 16，例如键盘、鼠标等；输出单元 17，例如各种类型的显示器、扬声器等；存储单元 18，例如磁盘、光盘等；以及通信单元 19，例如网卡、调制解调器、无线通信收发机等。通信单元 19 允许电子设备 10 通过诸如因特网的计算机网络和/或各种电信网络与其他设备交换信息/数据。

处理器 11 可以是各种具有处理和计算能力的通用和/或专用处理组件。处理器 11 的一些示例包括中央处理单元（Central Processing Unit, CPU）、图形处理单元（Graphics Processing Unit, GPU）、各种专用的人工智能（Artificial Intelligence, AI）计算芯片、各种运行机器学习模型算法的处理器、数字信号处理器（Digital Signal Process, DSP）、以及任何适当的处理器、控制器、微控制器等。处理器 11 执行上文所描述的各个方法和处理，例如配合公差确定方法。

在一些实施例中，配合公差确定方法可被实现为计算机程序，其被有形地包含于计算机可读存储介质，例如存储单元 18。在一些实施例中，计算机程序的部分或者全部可以经由 ROM 12 和/或通信单元 19 而被载入和/或安装到电子设备 10 上。当计算机程序加载到 RAM 13 并由处理器 11 执行时，可以执行上文描述的配合公差确定方法的一个或多个步骤。备选地，在其他实施例中，处理器 11 可以通过其他任何适当的方式（例如，借助于固件）而被配置为执行配合公差确定方法。

本文中以上描述的系统和技术各种实施方式可以在数字电子电路系统、

集成电路系统、场可编程门阵列（Field Programmable Gate Array, FPGA）、专用集成电路（Application Specific Integrated Circuit, ASIC）、专用标准产品（Application Specific Standard Parts, ASSP）、芯片上系统的系统（System on Chip, SOC）、负载可编程逻辑设备（Complex Programmable Logic Device, CPLD）、计算机硬件、固件、软件、和/或它们的组合中实现。这些各种实施方式可以包括：实施在一个或者多个计算机程序中，该一个或者多个计算机程序可在包括至少一个可编程处理器的可编程系统上执行和/或解释，该可编程处理器可以是专用或者通用可编程处理器，可以从存储系统、至少一个输入装置、和至少一个输出装置接收数据和指令，并且将数据和指令传输至该存储系统、该至少一个输入装置、和该至少一个输出装置。

用于实施本申请的方法的计算机程序可以采用一个或多个编程语言的任何组合来编写。这些计算机程序可以提供给通用计算机、专用计算机或其他可编程数据处理装置的处理器，使得计算机程序当由处理器执行时使流程图和/或框图中所规定的功能/操作被实施。计算机程序可以完全在机器上执行、部分地在机器上执行，作为独立软件包部分地在机器上执行且部分地在远程机器上执行或完全在远程机器或服务器上执行。

在本申请的上下文中，计算机可读存储介质可以是有形的介质，其可以包含或存储以供指令执行系统、装置或设备使用或与指令执行系统、装置或设备结合地使用的计算机程序。计算机可读存储介质可以包括电子的、磁性的、光学的、电磁的、红外的、或半导体系统、装置或设备，或者上述内容的任何合适组合。备选地，计算机可读存储介质可以是机器可读信号介质。机器可读存储介质可以包括基于一个或多个线的电气连接、便携式计算机盘、硬盘、RAM、ROM、可擦除可编程只读存储器（Erasable Programmable Read-Only Memory, EPROM 或快闪存储器）、光纤、便捷式紧凑盘只读存储器（Compact Disc Read-Only Memory, CD-ROM）、光学储存设备、磁储存设备、或上述内容的任何合适组合。

为了提供与用户的交互，可以在电子设备上实施此处描述的系统和技术，该电子设备具有：用于向用户显示信息的显示装置（例如，阴极射线管（CRT）或者液晶显示器（Liquid Crystal Display, LCD）监视器）；以及键盘和指向装置（例如，鼠标或者轨迹球），用户可以通过该键盘和该指向装置来将输入提供给电子设备。其它种类的装置还可以用于提供与用户的交互；例如，提供给用户的反馈可以是任何形式的传感反馈（例如，视觉反馈、听觉反馈、或者触觉反馈）；并且可以用任何形式（包括声输入、语音输入或者、触觉输入）来接收来自用户的输入。

可以将此处描述的系统和技术实施在包括后台部件的计算系统（例如，作为数据服务器）、或者包括中间件部件的计算系统（例如，应用服务器）、或者包括前端部件的计算系统（例如，具有图形用户界面或者网络浏览器的用户计算机，用户可以通过该图形用户界面或者该网络浏览器来与此处描述的系统和技术实施方式交互）、或者包括这种后台部件、中间件部件、或者前端部件的任何组合的计算系统中。可以通过任何形式或者介质的数字数据通信（例如，通信网络）来将系统的部件相互连接。通信网络的示例包括：局域网（Local Area Network, LAN）、广域网（Wide Area Network, WAN）、区块链网络和互联网。

计算系统可以包括客户端和服务端。客户端和服务端一般远离彼此并且通常通过通信网络进行交互。通过在相应的计算机上运行并且彼此具有客户端-服务器关系的计算机程序来产生客户端和服务端的关系。服务器可以是云服务器，又称为云计算服务器或云主机，是云计算服务体系中的一项主机产品，以解决了传统物理主机与虚拟专用服务器（Virtual Private Server, VPS）服务中，存在的管理难度大，业务扩展性弱的缺陷。

应该理解，可以使用上面所示的各种形式的流程，重新排序、增加或删除步骤。例如，本申请中记载的各步骤可以并行地执行也可以顺序地执行也可以不同的次序执行，只要能够实现本申请的技术方案所期望的结果。

权利要求书

1、一种配合公差确定方法，包括：

基于变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承，构建有限元模型，并对所述变速器输入轴、所述电机输出轴、所述第一轴承、所述第二轴承以及所述第三轴承之间的接触部件进行网格划分，得到至少一个待使用细化网格；

对所述有限元模型施加不同作用力，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量；其中，所述径向形变量的方向垂直于相应轴底面；

基于所述径向形变量，确定目标形变量；

基于所述目标形变量，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴之间的配合公差。

2、根据权利要求1所述的方法，还包括：

确定与所述有限元模型相对应的力学特性数据；其中，所述力学特性数据包括材料属性数据和结构属性数据；

基于所述力学特性数据更新所述有限元模型。

3、根据权利要求1所述的方法，还包括：

确定与所述有限元模型相对应的第一模型边界条件和第二模型边界条件；其中，所述第一模型边界条件是基于固定所述第一轴承、所述第二轴承和所述第三轴承确定的，所述第二模型边界条件是基于固定所述电机输出轴确定的；

基于所述第一模型边界条件和所述第二模型边界条件更新所述有限元模型。

4、根据权利要求1所述的方法，在所述对所述有限元模型施加不同作用力，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量之前，所述方法还包括：

确定对所述有限元模型施加的作用力；其中，所述作用力包括轴承过盈力、变速器齿轮啮合力 and 电机偏心载荷，所述变速器齿轮啮合力是基于所述变速器输入轴的齿轮节圆直径、齿轮传递扭矩、齿轮法向压力角以及齿轮节圆处螺旋角确定的。

5、根据权利要求4所述的方法，其中，所述对所述有限元模型施加不同作用力，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量，包括：

对所述有限元模型中所述第二轴承施加所述轴承过盈力，得到所述变速器

输入轴在所述第二轴承位置的轴内壁所对应的每个待使用细化网格的径向形变量。

6、根据权利要求4所述的方法，其中，所述对所述有限元模型施加不同作用力，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量，包括：

基于所述有限元模型中所述变速器输入轴的齿轮节圆直径，确定齿轮啮合节点；

在对所述有限元模型中所述第二轴承施加所述轴承过盈力时，对所述齿轮啮合节点施加所述变速器齿轮啮合力，得到所述变速器输入轴在所述第二轴承位置的轴内壁所对应的径向形变量，和所述电机输出轴在所述第二轴承位置的轴外壁所对应的径向形变量。

7、根据权利要求4所述的方法，其中，所述对所述有限元模型施加不同作用力，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量，包括：

确定所述有限元模型中所述电机输出轴的电机载荷从点；

在对所述有限元模型中所述第二轴承施加所述轴承过盈力时，对所述电机载荷从点施加所述电机偏心载荷，得到所述变速器输入轴在所述第二轴承位置的轴内壁所对应的径向形变量，和所述电机输出轴在所述第二轴承位置的轴外壁所对应的径向形变量。

8、根据权利要求1所述的方法，其中，所述基于径向形变量，确定目标形变量，包括：

确定所述变速器输入轴在所述第二轴承位置的轴内壁在不同作用力下最小的径向形变量；以及

确定所述电机输出轴在所述第二轴承位置的轴外壁在不同作用力下最大的径向形变量；

基于最小的所述径向形变量和最大的所述径向形变量，确定所述目标形变量。

9、一种配合公差确定装置，包括：

待使用细化网格确定模块，设置为基于变速器输入轴、电机输出轴、第一轴承、第二轴承以及第三轴承，构建有限元模型，并对所述变速器输入轴、所述电机输出轴、所述第一轴承、所述第二轴承以及所述第三轴承之间的接触部件进行网格划分，得到至少一个待使用细化网格；

径向形变量确定模块，设置为对所述有限元模型施加不同作用力，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴所对应的每个待使用细化网格在不同作用力下的径向形变量；其中，所述径向形变量的方向垂直于相应轴底面；

目标形变量确定模块，设置为基于所述径向形变量，确定目标形变量；

配合公差确定模块，设置为基于所述目标形变量，确定所述变速器输入轴和所述电机输出轴之间的配合公差。

10、一种电子设备，所述电子设备包括：

至少一个处理器；以及

与所述至少一个处理器通信连接的存储器；其中，

所述存储器存储有可被所述至少一个处理器执行的计算机程序，所述计算机程序被所述至少一个处理器执行，以使所述至少一个处理器能够执行权利要求 1-8 中任一项所述的配合公差确定方法。

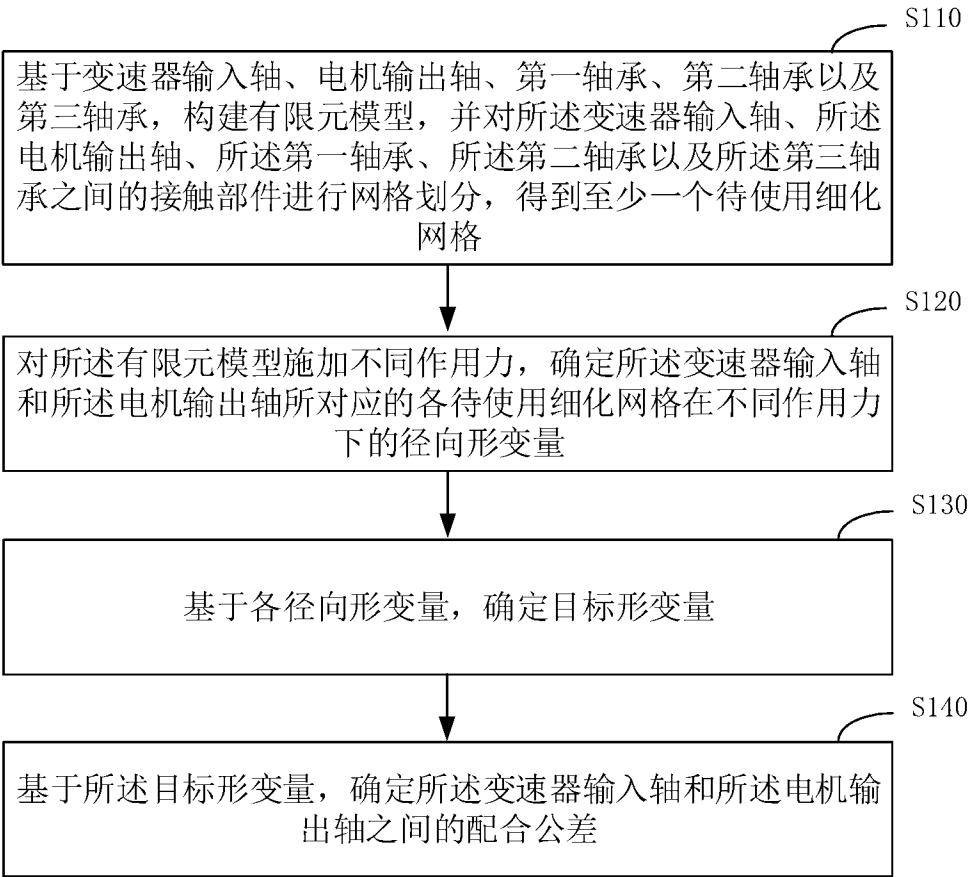


图 1

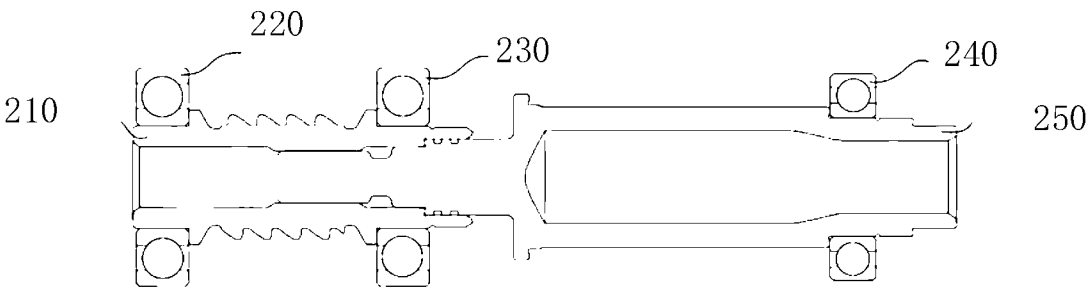


图 2

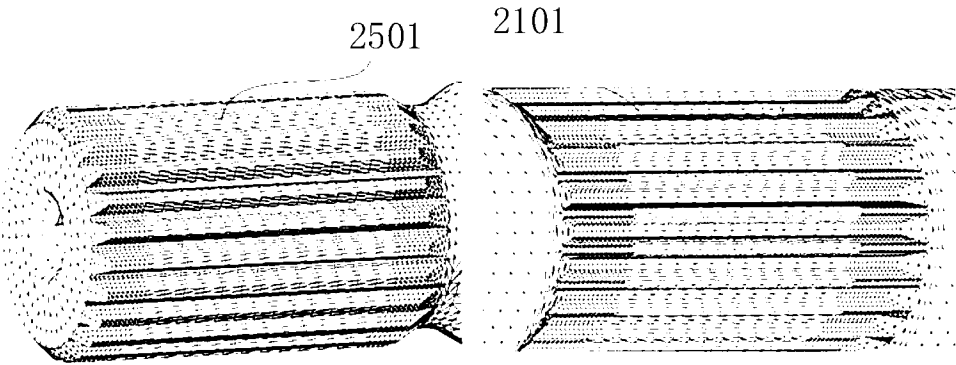


图 3

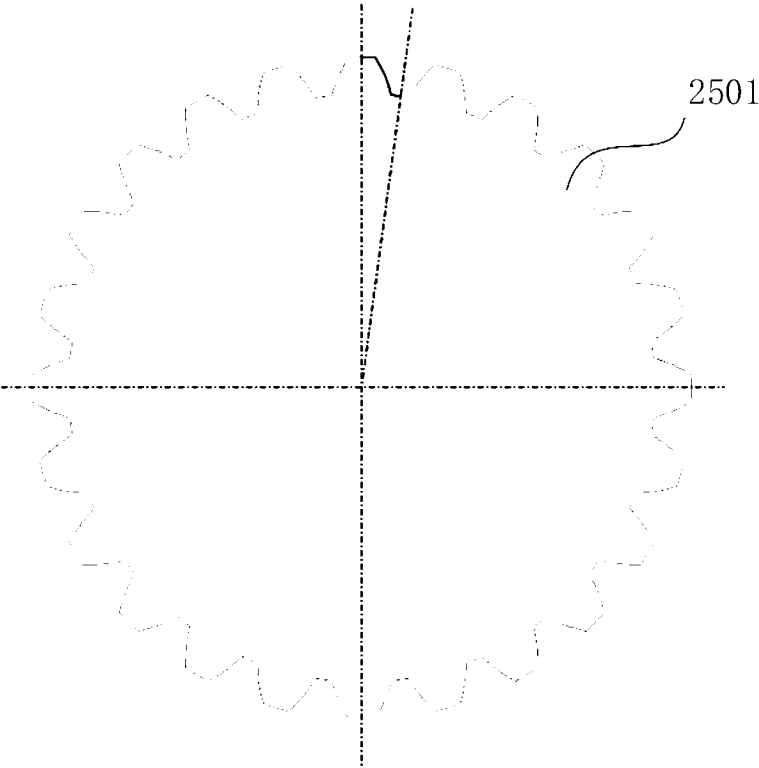


图 4

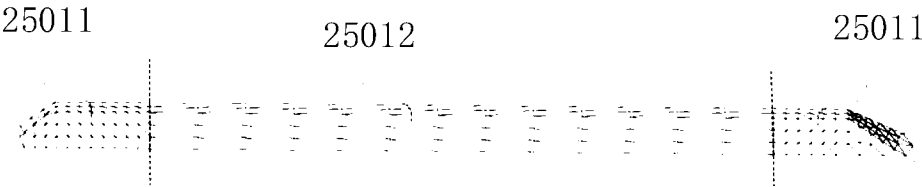


图 5

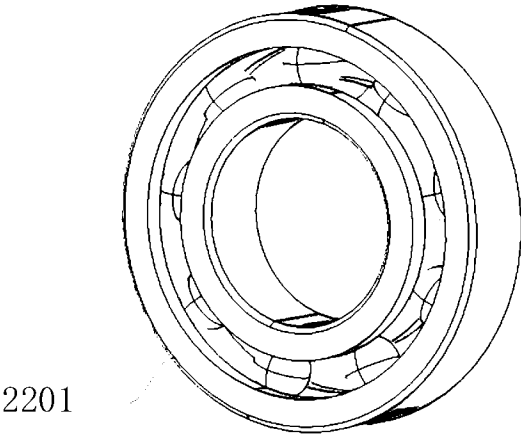


图 6

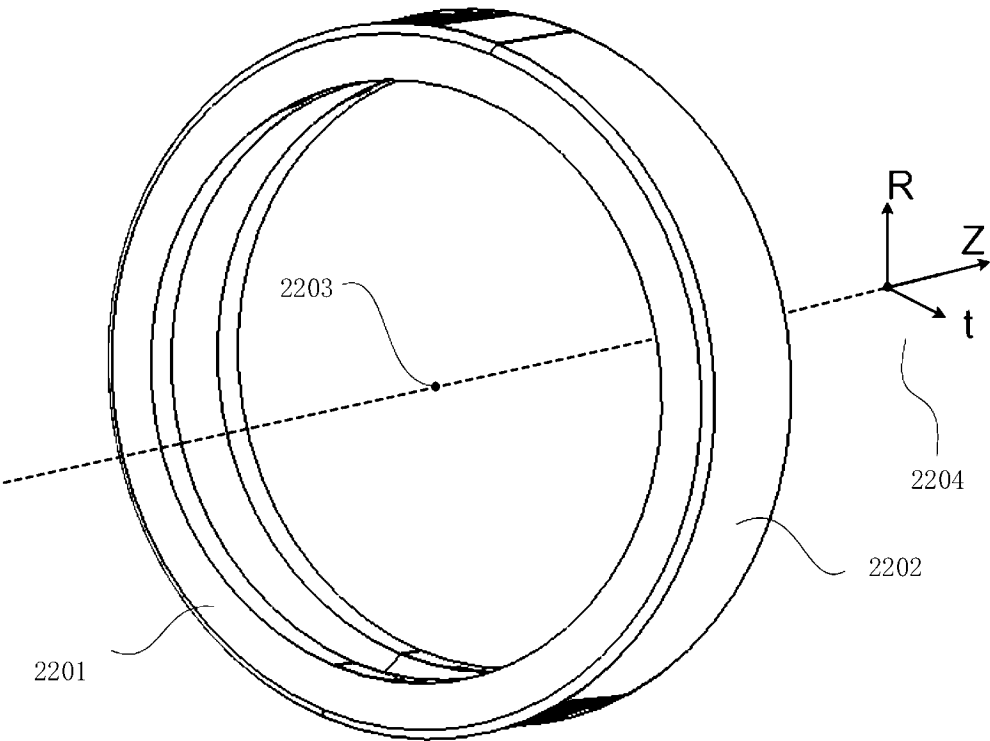


图 7

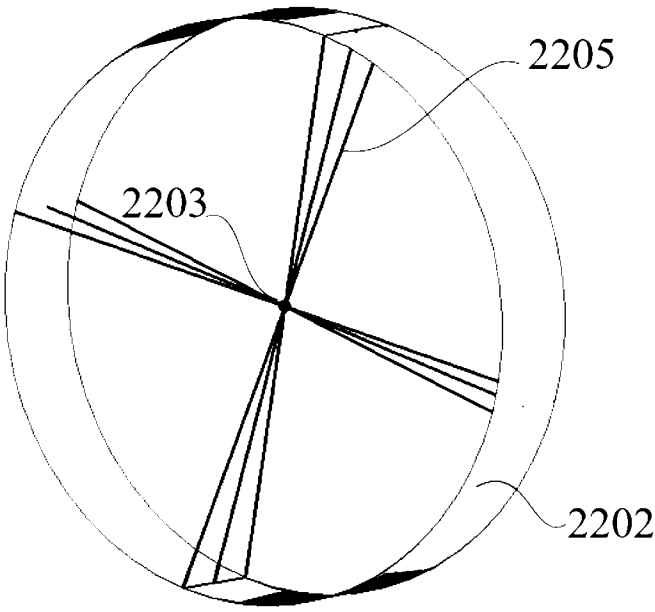


图 8

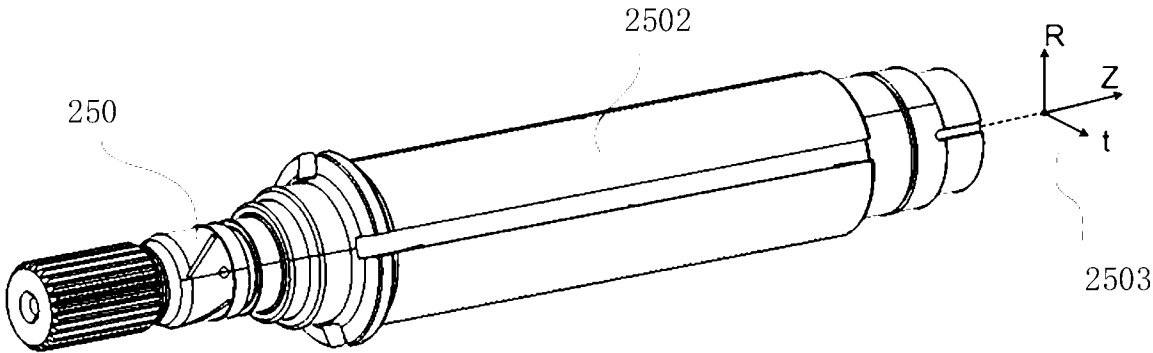


图 9

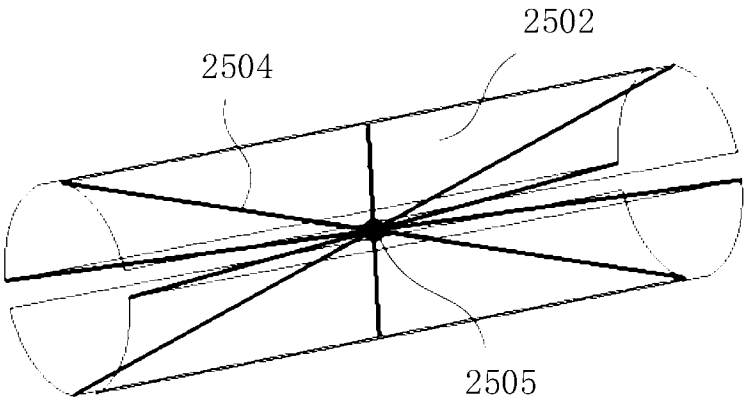


图 10

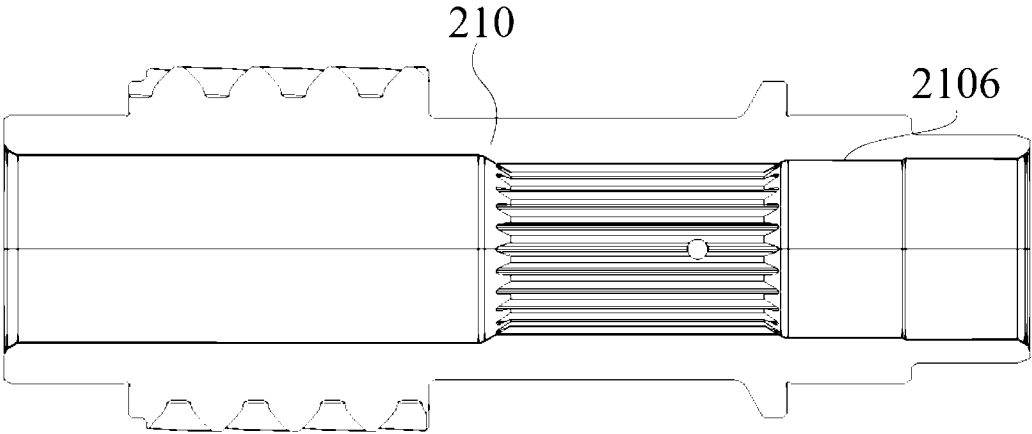


图 11

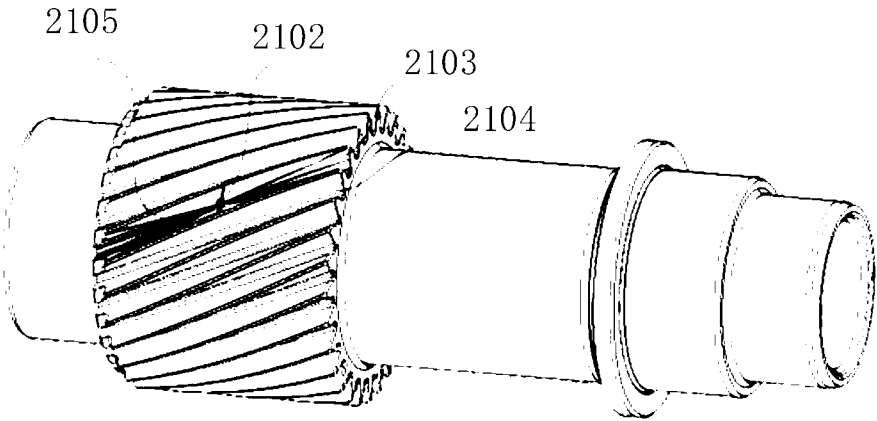


图 12

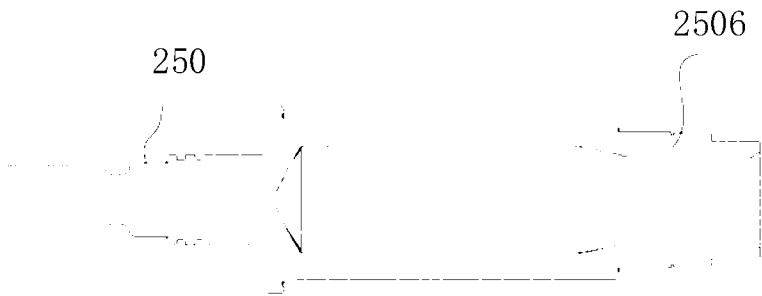


图 13

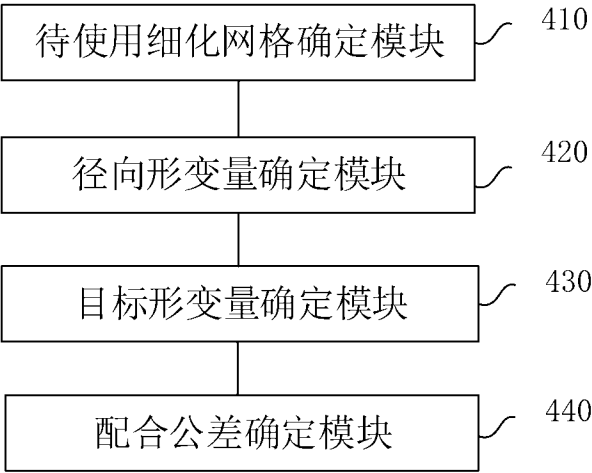


图 14

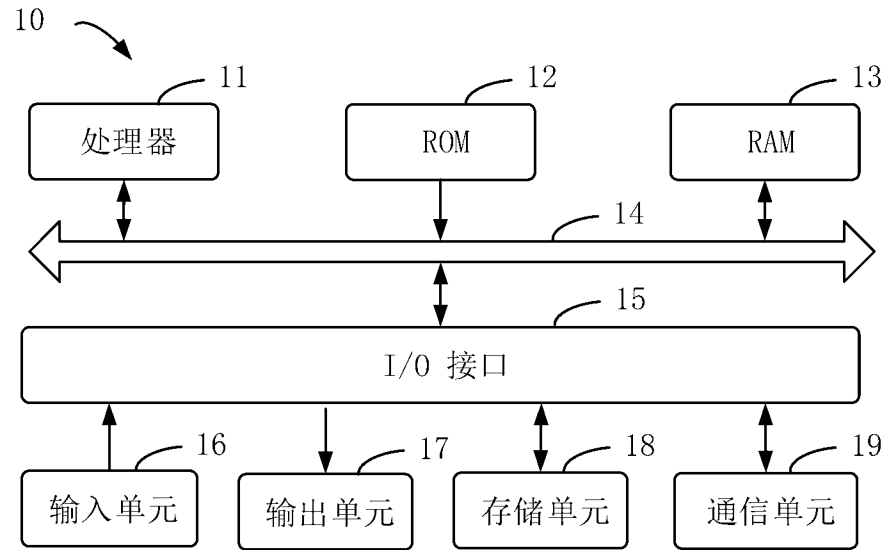


图 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/097040

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06F 30/23(2020.01)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: G06F 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) VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 变速器, 加速器, 公差, 输入轴, 输出轴, 轴承, 网格, 径向, derailleur, accelerator, tolerance, input, output, axes, axletree, gridding, radial																							
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 115034109 A (CHINA FAW GROUP CO., LTD.) 09 September 2022 (2022-09-09) claims 1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 106354920 A (CRRC ZHUZHOU INSTITUTE CO., LTD.) 25 January 2017 (2017-01-25) claims 1-10, and description, paragraphs [0042]-[0074]</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 103927428 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 16 July 2014 (2014-07-16) entire document</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104794257 A (LUOYANG INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 22 July 2015 (2015-07-22) entire document</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 112613217 A (CHINA FAW GROUP CO., LTD.) 06 April 2021 (2021-04-06) entire document</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>DE 102014208795 A1 (ZF FRIEDRICHSHAFEN AG) 12 November 2015 (2015-11-12) entire document</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	PX	CN 115034109 A (CHINA FAW GROUP CO., LTD.) 09 September 2022 (2022-09-09) claims 1-10	1-10	A	CN 106354920 A (CRRC ZHUZHOU INSTITUTE CO., LTD.) 25 January 2017 (2017-01-25) claims 1-10, and description, paragraphs [0042]-[0074]	1-10	A	CN 103927428 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 16 July 2014 (2014-07-16) entire document	1-10	A	CN 104794257 A (LUOYANG INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 22 July 2015 (2015-07-22) entire document	1-10	A	CN 112613217 A (CHINA FAW GROUP CO., LTD.) 06 April 2021 (2021-04-06) entire document	1-10	A	DE 102014208795 A1 (ZF FRIEDRICHSHAFEN AG) 12 November 2015 (2015-11-12) entire document	1-10
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																					
PX	CN 115034109 A (CHINA FAW GROUP CO., LTD.) 09 September 2022 (2022-09-09) claims 1-10	1-10																					
A	CN 106354920 A (CRRC ZHUZHOU INSTITUTE CO., LTD.) 25 January 2017 (2017-01-25) claims 1-10, and description, paragraphs [0042]-[0074]	1-10																					
A	CN 103927428 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 16 July 2014 (2014-07-16) entire document	1-10																					
A	CN 104794257 A (LUOYANG INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 22 July 2015 (2015-07-22) entire document	1-10																					
A	CN 112613217 A (CHINA FAW GROUP CO., LTD.) 06 April 2021 (2021-04-06) entire document	1-10																					
A	DE 102014208795 A1 (ZF FRIEDRICHSHAFEN AG) 12 November 2015 (2015-11-12) entire document	1-10																					
☐ 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 08 September 2023		Date of mailing of the international search report 13 September 2023																					
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
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/097040

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	115034109	A	09 September 2022	None	
CN	106354920	A	25 January 2017	None	
CN	103927428	A	16 July 2014	None	
CN	104794257	A	22 July 2015	None	
CN	112613217	A	06 April 2021	None	
DE	102014208795	A1	12 November 2015	None	

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2023/097040

A. 主题的分类

G06F 30/23 (2020.01) 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: G06F

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))

VEN, CNABS, CNTXT, WOTXT, EPTXT, USTXT, CNKI, IEEE: 变速器, 加速器, 公差, 输入轴, 输出轴, 轴承, 网格, 径向, derailleur, accelerator, tolerance, input, output, axes, axletree, gridding, radial

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 115034109 A (中国第一汽车股份有限公司) 2022年9月9日 (2022 - 09 - 09) 权利要求1-10	1-10
A	CN 106354920 A (中车株洲电力机车研究所有限公司) 2017年1月25日 (2017 - 01 - 25) 权利要求1-10, 说明书第[0042]-[0074]段	1-10
A	CN 103927428 A (清华大学 等) 2014年7月16日 (2014 - 07 - 16) 全文	1-10
A	CN 104794257 A (洛阳理工学院) 2015年7月22日 (2015 - 07 - 22) 全文	1-10
A	CN 112613217 A (中国第一汽车股份有限公司) 2021年4月6日 (2021 - 04 - 06) 全文	1-10
A	DE 102014208795 A1 (ZF FRIEDRICHSHAFEN AG) 2015年11月12日 (2015 - 11 - 12) 全文	1-10

☐ 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

2023年9月8日

国际检索报告邮寄日期

2023年9月13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

胡贝贝

电话号码 (+86) 010-53961415

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/097040

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	115034109	A	2022年9月9日	无	
CN	106354920	A	2017年1月25日	无	
CN	103927428	A	2014年7月16日	无	
CN	104794257	A	2015年7月22日	无	
CN	112613217	A	2021年4月6日	无	
DE	102014208795	A1	2015年11月12日	无	