

电动机壳体定子孔位置度及倒角深度测量装置

邹丰恒¹, 薛飞², 王康辉², 艾庆中¹, 刘明建¹, 谢丰泽²

1. 龙工(上海)机械制造有限公司 上海 201612

2. 上汽大众汽车有限公司 上海 201805

摘要: 新能源汽车电动机壳体定子孔的位置度和倒角深度直接影响电动机装配质量。针对传统三坐标测量机成本高、效率低,以及机械检具功能单一的问题,开发了一种新型机械式测量装置。该装置采用旋转气缸驱动的三向圆柱凸轮夹紧机构实现快速定位,通过球面连杆与弹簧平衡系统组成的浮动测量机构完成位置度和倒角深度的同步检测。测试结果表明,该装置位置度测量精度达 $\pm 0.02\text{mm}$,倒角深度误差控制在 $\pm 0.05\text{mm}$ 内,单次测量时间仅30s,效率提升90%,成本仅为三坐标测量机的20%。该技术为电动机壳体精密检测提供了高效解决方案。

关键词: 电动机;壳体;定子孔;位置度;倒角深度;测量

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.08.001

新能源汽车电动机壳体作为动力总成的核心部件,其定子孔的加工精度直接影响电动机转子的装配质量与运行性能。定子孔不仅需要满足高位置度要求,还需保证倒角深度的准确性。当前,电动机壳体的制造趋向高精度、高效率,而测量技术作为质量控制的关键环节,其发展水平直接影响生产效率和产品一致性。

在现有技术中,三坐标测量机、光学影像测量仪等高精度设备虽能实现复杂几何特征的检测,但普遍存在成本高、测量周期长的问题,无法同时满足位置度和倒角深度的测量要求,难以适应大批量生产需求。因此,开发一种兼顾高精度、高效率及低成本的位置度与倒角深度测量装置,对提升新能源汽车电动

机制造水平具有重要意义。

定子孔精度要求

新能源汽车电动机壳体的定子孔是安装定子的关键部位,其加工精度直接影响电动机性能。功能上需确保定子铁芯精确定位和绕组稳定安装。精度要求严格:位置度 $\leq 0.05\text{mm}$ (高端产品达 0.03mm)以保证气隙均匀;倒角深度公差 $\pm 0.1\text{mm}$ 确保绝缘和装配;圆柱度 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$,表面粗糙度值 $Ra \leq 1.6\mu\text{m}$ 。这些指标关系电动机的电磁性能、振动噪声和使用寿命。随着高功率密度电动机发展,精度要求持续提升,对测量技术提出更高挑战。

在电动机壳体的加工过程中,定子孔的位置度及

倒角深度是影响电动机装配质量的关键指标。传统生产工艺中，定子孔通常采用阶梯式镗孔与倒角复合刀具加工，但由于加工误差的存在，需对孔位和倒角进行精确检测。

若定子孔位置度或倒角深度超差未被及时发现，将导致电动机转子装配困难，运行时产生振动或异响，严重时可能引发电动机失效。因此，开发一种能够快速、准确测量定子孔位置度及倒角深度的专用检具，是提升电动机壳体加工质量与生产效率的迫切需求。

现有测量技术弊端

在新能源汽车电动机壳体检测领域，现有测量技术各具特点但均存在明显不足。

1) 三坐标测量机（CMM）作为高精度测量设备，采用精密导轨和接触式测头实现三维尺寸测量，但其设备体积大、成本高，单次测量周期长，且对环境温湿度敏感，难以满足批量生产需求。

2) 气动量仪通过气压变化测量孔径，具有测量速度快的特点，但仅适用于通孔检测，无法测量倒角深度，且测量结果易受气压稳定性影响。

3) 激光扫描测量技术虽适用于自由曲面测量，但对深孔结构检测存在光学遮挡问题，设备投资成本高，对表面粗糙度要求严格。

4) 机械式位置度检具结构简单、成本低，但仅能针对特定规格工件检测，且无法实现多参数同步测量，测量结果依赖人工读数。

5) 电子塞规虽实现数字化输出，但仍局限于孔径检测，不同规格需更换测头。

6) 接触式探针系统测量精度高，但效率低下，探针易磨损需频繁维护。

7) 多测头联动装置理论上可提高效率，但系统复杂，调试困难，成本高昂。

现有技术普遍存在高精度设备成本高效率低，低成本工具功能单一的矛盾。针对新能源汽车电动机壳体对位置度（≤0.05mm）和倒角深度的严格要求，开发兼具高精度、高效率及低成本的专用测量装置具有重要工程价值。该装置需满足：实现位置度和倒角深度同步测量；测量周期控制在30s以内；设备成本控制在三坐标测量机的20%以下；适应生产线环境要求。

创新方案

1.新装置结构

在新装置中，百分表架下部有滑块（见图1），与百分表架导轨相配合，并能沿着百分表架导轨滑动。

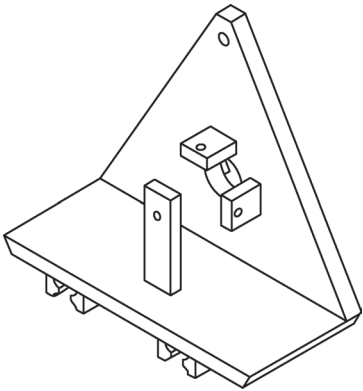


图1 百分表架下部有滑块

百分表架上有三个固定百分表杆的长方体，百分表杆穿过长方体的孔并固定。三个百分表分别对应X、Y、Z三个方向。手柄的头部是圆柱过盈配合插入在百分表架上的孔内，并固定，两条百分表架导轨固定在底座上。

工件（电动机壳）的定位孔内插入锥面定位销，并用工件锁紧螺栓紧固。支撑钉过盈配合固定在底座上起到支撑工件底面的作用。底座上有两个锥孔与锥面定位销相互配合。杠杆浮动支撑通过杠杆浮动支撑转轴与底座连接，并且杠杆浮动支撑可以绕着杠杆浮动支撑转轴旋转。杠杆浮动支撑与支撑钉形成一个平面与电动机壳的底面接触，由于锥面定位销和电动机壳的定位孔加工精度都很高，因此可以采用过定位的定位方式。

测量头内部是空心以减轻质量。测量头前部有圆柱面可以与定子孔的倒角完全贴合。测量头靠近锥面一侧有均布的三组吊耳，测量头后部有一孔可以插入限位销（见图2）。

球头轴穿过测量头的吊耳固定连接。测量头穿过百分表架的中间孔，测量头弹簧一端支撑在百分表架中间孔周围的端面，一端支撑在测量头的台阶面上。连杆孔与球头轴并呈现球面配合，连杆的另一端球面内孔与连杆滑块上的球轴的球面相配合（见图3）。

连杆滑块能沿着连杆导轨滑动，三根连杆导轨围

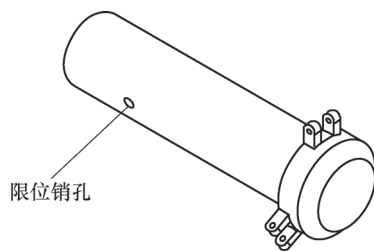


图2 测量头示意

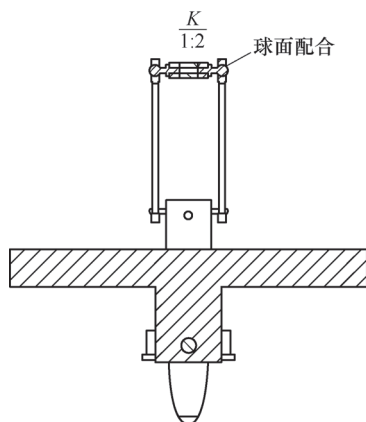


图3 连杆的球面配合

绕百分表架的中间孔轴向均布。在导轨的一端有弹簧固定块，弹簧固定块上有轴插入在弹簧的孔内起到固定弹簧的作用。此处的弹簧分竖直方向上的Z向弹簧和两根水平弹簧，弹簧的一端支撑在弹簧固定块上，一端支撑在滑块上。其中Z向弹簧因为要平衡重力的缘故弹力比水平弹簧要大。最终在Z向弹簧和水平弹簧的力平衡下，测量头在定子孔的中间位置处达到平衡（见图4），在与定子孔倒角贴合后并能够沿着任意方向移动。从而三个方向的百分表可以显示出读数（见图5）。百分表架限位块固定在底座上。

在底座圆锥孔的周围均布有三个圆柱凸轮安装孔。圆柱凸轮上开有缺口空间，当三个圆柱凸轮转动到缺口同心的位置方便圆锥销装入（见图6）。

圆柱凸轮的下部是螺旋面，旋转后可以从三个方向对锥面定位销的下部台阶面锁紧。圆柱凸轮的尾部台阶轴固定连接周边齿轮（见图7）。

同步带轮与轴固定连接，轴穿过底座上的孔与中心齿轮固定连接（间隙配合）。旋转气缸固定在底座

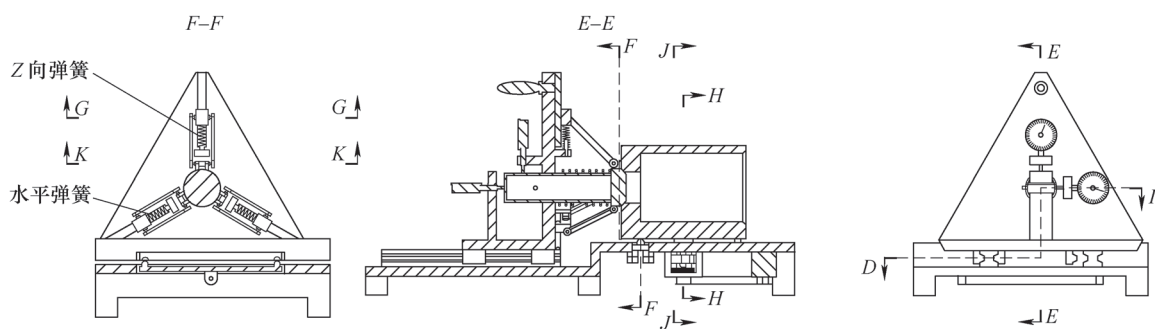


图4 测量头在在定子孔的中间位置处达到平衡

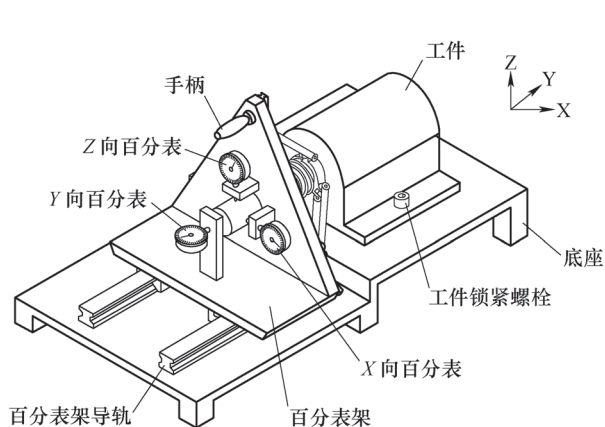


图5 三个方向的百分表显示出读数

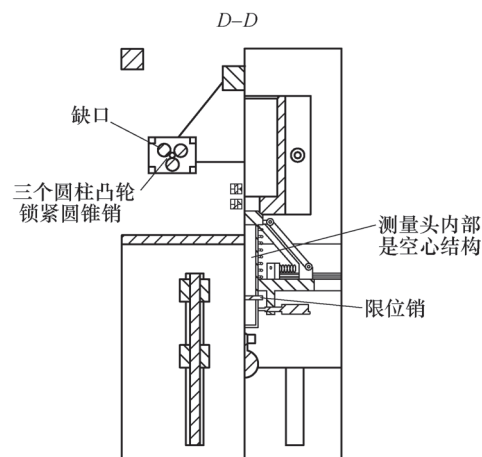


图6 三个圆柱凸轮缺口

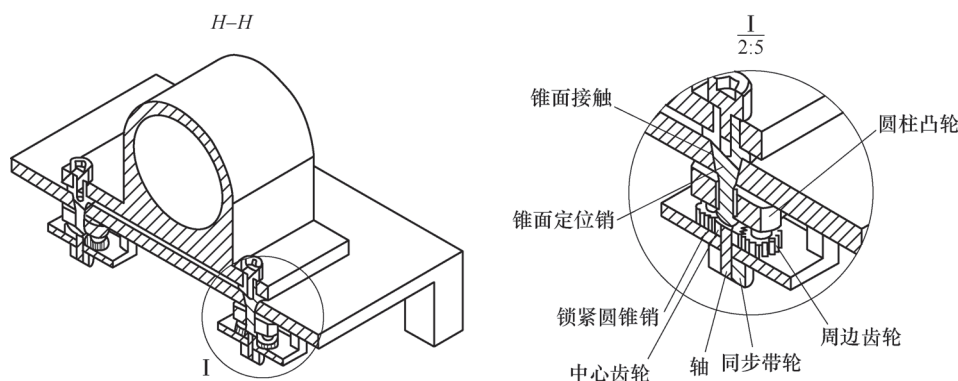


图7 圆柱凸轮的尾部台阶轴固定连接周边齿轮

上并通过皮带轮与旋转气缸输出轴固定连接，通过皮带连接三个皮带轮传递动力（见图8）。

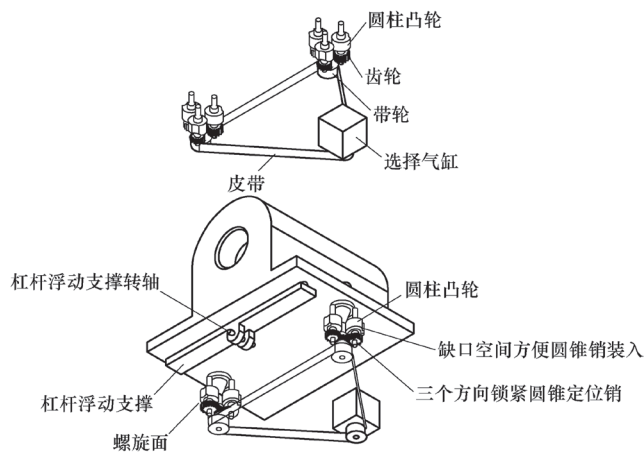


图8 皮带轮与底座连接

2.新装置测量原理

将百分表架沿着百分表架导轨移动到远离凸轮的一侧，旋转气缸开到圆柱凸轮的缺口与底座上的圆柱孔同轴。将工件的锥面定位销放入锥孔，开动旋转气缸，通过皮带驱动皮带轮、中间齿轮、周边齿轮使得圆柱凸轮旋转，圆柱凸轮下部的螺旋面锁紧圆锥定位销下部的台阶面。通过手柄推动百分表架沿着百分表架导轨移动到靠近凸轮的一侧与百分表架限位块贴合，测量头的锥面与定子孔的倒角接触贴合。三个百分表上读数就是X、Y、Z三个方向的读数差。

3.新装置创新点

测量机构采用多自由度浮动设计，通过球面连杆与弹簧平衡系统的协同作用，使测量头能够自适应定

子孔倒角表面。该设计有效保证了测量头与工件表面的稳定接触，显著提高了位置度和倒角深度的测量精度，实测数据表明位置度测量误差可控制在 $\pm 0.02\text{mm}$ 内。

在装夹机构方面，创新性地采用圆柱凸轮螺旋面结构，通过旋转气缸驱动实现三向同步锁紧。这种设计大幅缩短了工件装夹时间，实测装夹周期可控制在3s以内，相比传统装夹方式效率提升显著。

装置采用模块化结构设计，百分表架沿精密导轨移动，操作人员只需推动手柄即可完成测量位置切换。这种设计不仅简化了操作流程，还提高了设备对不同规格工件的适应性，为产线快速换型提供了便利。

实施效果

该测量装置在实际生产应用中展现出显著的技术优势。

1) 在测量效率方面，通过优化装夹机构和测量流程，单次测量周期从传统方法的5min大幅缩短至30s，生产效率提升达90%，完全满足现代化生产线对检测节拍的要求。

2) 经济性方面，该装置采用模块化机械结构设计，制造成本仅为三坐标测量机的20%，且由于减少了精密电子元件使用，日常维护成本降低50%以上。

测量精度指标显示，位置度测量误差控制在 $\pm 0.02\text{mm}$ 范围内，倒角深度测量误差不超过 $\pm 0.05\text{mm}$ ，完全符合新能源电动机壳体对定子孔的高精度检测要求。该装置的成功应用为电动机壳体制造提供了可靠的质量控制手段。

(下转第46页)

度过快导致胶型倒塌，需要合理配置在不同位置时涂胶的速度；第二，胶嘴和风挡玻璃的距离过大，导致在涂胶过程中，胶型倒塌，一般胶枪嘴和玻璃的距离控制在3mm左右；第三，涂胶机的温度设定过高导致胶温偏高，这时胶材料黏度会降低，在同样的涂胶速度下，材料挤出过多，导致倒胶。这时需要检查设备的加热系统，控制在规定的要求范围内；第四，由于玻璃胶为高分子材料，黏度和温度强相关，温度越高其黏度越稀，则其流动性越好，这时胶表面的张力也越小，在玻璃安装后在压力的作用下会出现溢胶的情况，所以合适且稳定的温度设定不仅可以保证材料有良好的施工流动性，同时还能够保证材料施工过程中有良好的形状保持。

6.拉丝问题

(1) 问题描述 当涂胶结束时，胶型会出现一条很长的“尾巴”，容易导致胶涂在规定区域之外，出现脏污以及胶型不良的现象

(2) 原因分析 第一，胶温过低导致拉丝的现象发生，可以适当提高加热温度；第二，胶的黏度过高，需要检查其黏度是否符合要求，如果不符合要求则需停止使用；第三，如果遇到节假日长时间不施工，需要避免长时间加热，这样会改变材料的性质，在间断施工后需要进行更换胶嘴以及进行排胶的操作。

施工工艺

结合聚氨酯胶的工作原理以及失效模式，制定出适合胶本身性能的工艺流程。

(1) 车身侧 由于表面清洁度与最终的粘性正相关，所以需要对车身进行除蜡和除尘的操作

(2) 玻璃侧 包括清洁，触媒剂，底涂以及玻璃的安装

1.清洁

- 1) 将酒精湿润在清洁布上。
- 2) 使用湿润了酒精的清洁布清洁风挡框，清洁时需要在—个方向进行擦拭。
- 3) 上下风挡框需要由中心向外进行清洁，左右外边缘风挡框需要从上至下进行清洁。

- 4) 为了合理使用清洁布，需要定期更换清洁布。

2.触媒剂

在玻璃陶瓷层的表面用毛毡或者纱布均匀的涂抹—薄层触媒剂，自然表干或用干净的纱布擦干即可。

3.底涂

- 1) 底涂使用前应进行充分的震荡摇匀，且底涂需要均匀的涂刷在被粘物的表面。
- 2) 在表干时间内进行安装操作。

4.玻璃安装

玻璃在涂胶后应该立即装配，最迟不得超过5min内安装到车辆上，通过固定工装以及检查量具调整好间隙，不要串动位置并用胶带固定防止出现下滑。

结语

通过对聚氨酯胶的工作原理的探究，以及其在实际应用中的失效模式的分析研究，制定出符合其性能要求的工艺，为今后类似问题的出现的快速解决提供了可参考依据，具有较高的工程应用价值。 **AUTO1950**

(上接第42页)

结语

本项目开发的新能源汽车电动机壳体定子孔测量装置通过创新的机械结构设计，有效解决了传统测量方法在成本、效率和功能集成方面的技术瓶颈。该技术的成功应用为电动机壳体制造过程提供了高效可靠的质量控制解决方案。未来研究可着重于测量机构的智能化升级和更复杂型面的适应性改进，以进一步拓展其在新能源汽车动力总成精密加工领域的应用价值。

参考文献:

- [1] 王冬，薛飞，周世楠，等. 孔口双倒角深度检具的设计[J]. 机械制造，2023 (8) : 90-92.
- [2] 薛飞，王其龙，江豪，等. 曲轴斜油孔漏加工检测装置的设计[J]. 汽车工艺师，2023 (3) : 55-57.

AUTO1950