

电机端盖加工工艺及夹具设计

沈会艾

宁夏西北骏马电机制造股份有限公司 宁夏 石嘴山 753000

摘要: 电机端盖作为电机的关键结构件,其加工精度和质量直接关系到电机整机的装配性能、运行平稳性及使用寿命。本文系统阐述了电机端盖的功能、常用材料及典型结构特征,深入分析了其在机械加工过程中面临的主要技术难点。在此基础上,详细论述了针对不同批量生产需求所制定的合理加工工艺路线,并对车削、钻孔、攻丝等关键工序进行了重点剖析。文章的核心部分聚焦于专用夹具的设计,通过一个具体的实例,从定位方案、夹紧机构、对刀引导装置到夹具体结构,完整展示了专用夹具的设计流程与要点。最后,结合智能制造的发展趋势,探讨了柔性夹具、在线检测等先进技术在电机端盖加工中的应用前景,旨在为相关领域的工程技术人员提供理论参考与实践指导。

关键词: 电机端盖;加工工艺;专用夹具;定位基准;夹紧力;柔性制造

引言

电机是现代工业体系中不可或缺的动力源,广泛应用于家电、汽车、航空航天、数控机床及各类自动化设备中。作为电机的重要组成部分,端盖(通常包括前端盖和后端盖)不仅起到封闭电机内部、保护定转子免受外部环境(如灰尘、水分)侵蚀的作用,更重要的是,它与机座共同构成了电机的支撑骨架,为轴承提供精确的安装基准,确保转子在高速旋转时具有良好的同轴度和动态平衡。因此,端盖上轴承室、止口以及安装孔等关键部位的尺寸精度、形位公差(如同轴度、垂直度、位置度)要求极为严格。随着制造业向高效率、高质量、低成本方向发展,如何科学地制定电机端盖的加工工艺,并设计出高效、精准、可靠的专用夹具,已成为提升电机制造水平的关键环节^[1]。传统的通用夹具虽能满足小批量、多品种的生产需求,但在大批量生产中,其装夹效率低、定位精度不稳定、工人劳动强度大等弊端日益凸显。而专用夹具则能针对性地解决这些问题,实现“快、准、稳”的装夹目标,从而显著提升生产线的整体效能。本文将围绕电机端盖的加工工艺及专用夹具设计展开系统性研究。

1 电机端盖概述

1.1 功能与作用

电机端盖在整机结构中扮演着多重角色。首先,它与机座紧密配合,形成一个相对密闭的腔体,有效隔绝外部灰尘、湿气等污染物侵入电机内部,从而保障定子绕组和转子铁心等核心部件的清洁与绝缘性能。其次,端盖作为电机外壳的组成部分,承担着一定的结构支撑功能,在电机运行或搬运过程中维持整体刚性,防止因外力导致的形变。更为关键的是,端盖内孔即轴承室,是滚动轴承外圈的精密安装面,其几何精度和表面质量

直接决定了轴承的预紧状态、运转平稳性乃至整个电机的振动与噪声水平。此外,端盖端面上设置的止口结构,与机座上的对应止口形成精密配合,是确保定转子之间气隙均匀性的核心要素;而分布在端盖边缘的安装孔,则用于将电机牢固地固定于工作平台上,其位置精度同样不可忽视^[2]。

1.2 材料选择

电机端盖的材料选择需在力学性能、工艺性能、成本控制与使用环境之间取得平衡。对于矿用隔爆电机而言,其工作环境具有高粉尘、高湿度、易燃易爆等特殊要求,对端盖的强度、刚度及隔爆性能提出了更高标准。灰铸铁(如HT200、HT250)因其良好的铸造性能、优异的减震吸能特性以及较低的成本,仍是当前多数通用电机端盖的常用材料。其内部片状石墨结构有助于切削断屑,并在一定程度上起到自润滑作用,降低刀具磨损。然而,在我厂生产的矿用隔爆电机中,部分端盖采用钢板焊接或冲压成形工艺制造。钢板件(如Q235B、Q345B)具有较高的强度和韧性,便于实现复杂结构的一体化成形,同时焊接性能良好,有利于满足隔爆接合面的加工与装配精度要求。此外,钢板端盖在抗冲击和抗变形能力方面优于铸铁,更适应井下恶劣工况。考虑到矿用隔爆电机对结构强度、安全性和可靠性的严苛要求,以及现有制造工艺体系,钢板和灰铸铁仍是主要选材方向。当对强度和韧性有更高需求时,也可考虑采用球墨铸铁(如QT400-15、QT500-7),但需权衡其成本与加工难度。

1.3 典型结构特征

典型的电机端盖(以后端盖为例)通常具有以下结构特征:(1)外轮廓:多为圆形或方形,边缘带有用于

与机座连接的螺栓孔(安装孔)。(2)中心孔:即轴承室,是核心加工面,要求高尺寸精度(IT6~IT7级)和表面粗糙度($Ra1.6\sim Ra3.2\mu m$)。(3)止口:位于端盖与机座配合的端面上,是一个环形凸台或凹槽,用于精确定位,要求与轴承室保持严格的同轴度(通常 $\leq 0.02mm$)。(4)通风孔/观察窗:部分电机端盖上会设计有散热用的通风孔或用于观察电刷磨损情况的观察窗。(5)加强筋:为了提高端盖的刚度,防止在使用过程中变形,常在非配合面上设置放射状或网格状的加强筋。

2 电机端盖加工工艺分析

2.1 加工技术难点

电机端盖的加工存在以下几个主要技术难点:(1)多基准转换问题:加工过程中,需要在不同的工序间转换定位基准。例如,粗加工可能以毛坯外圆或端面为基准,而精加工轴承室和止口时,则必须以彼此互为基准,以保证二者之间的同轴度。基准转换不当极易导致累积误差超标。(2)薄壁结构易变形:其壁厚相对较薄,在夹紧力和切削力的作用下容易发生弹性或塑性变形,影响最终的加工精度。(3)位置精度要求高:安装孔相对于轴承室中心的位置度要求较高,若采用逐一钻孔的方式,效率低下且精度难以保证。(4)表面质量要求:轴承室表面粗糙度直接影响轴承的使用寿命和电机的运行噪音,需要精细的车削或磨削工艺来保证。

2.2 加工工艺路线的制定

合理的工艺路线是保证产品质量和生产效率的前提。根据生产批量的不同,可采用不同的工艺策略。

2.2.1 单件小批量生产

对于单件或小批量生产,通常采用通用机床(如普通车床、立式钻床)配以通用夹具(如三爪卡盘、压板)进行加工。其典型工艺路线如下:(1)粗车:以外圆或端面为粗基准,粗车另一端面及外圆。(2)精车:调头装夹,以已加工端面和外圆为精基准,精车轴承室、止口及另一端面,保证各要素间的相互位置精度。(3)划线:在端面上划出安装孔的位置。(4)钻孔攻丝:按划线位置钻安装孔并攻丝^[3]。此方案灵活性高,但效率低,对操作者技能依赖性强,产品质量一致性差。

2.2.2 中大批量生产

对于中大批量生产,应采用专用或高效的通用设备(如数控车床、加工中心)配以专用夹具,以实现高效率、高精度、自动化的生产。其优化后的典型工艺路线如下:(1)粗车:在数控车床上,使用简易夹具(如反爪卡盘)粗车两端面、外圆及轴承室内孔,留足精加工余量。(2)去应力处理(可选):对于精度要求极高的产品,可在粗

加工后进行时效处理,以消除铸造和粗加工产生的内应力。(3)精车:这是最关键的工序。在高精度数控车床上,使用专用夹具,以精基准(通常是止口端面和外圆)定位,一次性精车完成轴承室、止口、端面等所有关联要素,从根本上保证同轴度和垂直度。(4)钻攻中心孔:在数控加工中心上,使用专用钻模夹具,一次性完成所有安装孔的钻孔、倒角和攻丝,保证孔的位置度和一致性。(5)清洗与检验:对成品进行清洗,并进行关键尺寸和形位公差的终检。该方案通过减少装夹次数、采用专用夹具和数控设备,有效解决了基准转换和位置精度问题,大幅提升了生产效率和产品质量稳定性。

2.3 关键工序分析——精车工序

在整个加工工艺链中,精车工序无疑是决定电机端盖最终品质的核心环节。该工序的成功与否,直接取决于能否有效贯彻“基准统一”和“基准重合”的工艺原则。理想的定位策略是将工件的止口端面作为主要的轴向定位基准,因为它既是设计基准,也是装配基准。同时,以外圆作为径向定位基准,共同构成一个稳定、精确的定位体系。在此基础上,通过数控车床的高精度主轴和刀具系统,在一次连续的装夹过程中,同步精车完成轴承室内孔、止口外圆(或内孔)以及与之相连的端面。这种“一刀落”的集成化加工方式,使得所有关键要素都在同一个回转坐标系下被加工出来,最大限度地消除了因多次装夹或基准转换而产生的累积误差,从而可靠地保证了轴承室与止口之间严格的同轴度要求,以及端面与轴承室轴线之间的垂直度要求,为电机的高性能运行奠定了坚实的机械基础。

3 专用夹具设计

3.1 专用夹具设计的基本原则

一是有效约束自由度原则:所选夹具必须能有效限制影响加工精度的关键自由度。例如,三爪卡盘通过自动定心限制工件的径向移动和转动自由度,适用于外形规则、同轴度要求较高的回转类端盖;而四爪单动卡盘则可分别调节各爪位置,适用于非对称或偏心结构的端盖装夹,灵活性更高。二是基准重合原则:夹具的定位元件所形成的定位基准,应尽可能与工件的设计基准、工序基准重合。三是精度匹配原则:夹具自身的制造精度必须高于工件的加工精度要求,通常取工件相应公差 $的1/3\sim 1/5$ 。四是高效便捷原则:夹紧机构应操作简便、快速,且夹紧力适中,既能可靠固定工件,又不会引起工件变形。

3.2 精车专用夹具设计实例

3.2.1 设计任务

为某型号电机后端盖（材料HT250）的精车工序设计一套车床专用夹具。

3.2.2 工件分析

主要加工面为 $\Phi 80H7$ 轴承室、 $\Phi 120h8$ 止口外圆、A端面。关键技术要求为轴承室与止口的同轴度 $\leq \Phi 0.02\text{mm}$ ；A端面与轴承室轴线的垂直度 $\leq 0.02\text{mm}$ 。

3.2.3 夹具设计方案

（1）定位方案：采用一面两销的组合定位方式。主定位面设计一个高精度的平面（夹具体底面），与工件的止口端面（B面）贴合，限制Z轴移动、X轴转动、Y轴转动三个自由度。径向定位在主定位面上设置一个短圆柱销（或菱形销），插入工件的一个安装孔中，限制X、Y轴移动两个自由度。由于工件是回转体，另一个安装孔用菱形销（削边销）定位，只限制绕Z轴的转动自由度，避免过定位。此方案完全符合六点定位原理，且定位基准（B面和两孔中心连线）与设计基准（止口和轴承室公共轴线）高度重合^[4]。（2）夹紧机构：采用螺旋夹紧机构。在夹具体上对称布置两个M12的螺纹孔，通过压板和螺栓从上方将工件压紧在主定位面上。夹紧力方向垂直于主定位面，指向定位元件，符合夹紧力原则。压板下方加装铜垫片，防止损伤工件表面。（3）对刀与引导装置：车床夹具通常不需要复杂的对刀装置。通过调整车床刀架的位置，利用寻边器或试切法即可完成对刀。夹具本身通过车床主轴法兰盘与机床主轴连接，其回转精度由机床主轴保证。（4）夹具体设计：夹具体采用45号钢制造，调质处理，保证足够的强度和刚度。结构设计紧凑，重心靠近主轴，以减少高速旋转时的不平衡力矩。在非工作区域开设减重孔，减轻整体重量。

3.2.4 夹具工作过程

将工件放置于夹具体上，使其B面与夹具体定位面贴合，两定位销分别插入对应的安装孔。然后放下压板，拧紧螺栓，即可完成装夹。加工完毕后，松开螺栓，取下压板，即可卸下工件。整个过程简单、快速、可靠。

3.3 钻攻专用夹具（钻模）设计要点

与精车工序类似，用于加工中心上钻攻安装孔的工序同样需要专用夹具，通常称为钻模。其设计核心在于

确保多个孔系相对于中心轴承室的精确位置度。在定位方面，依然采用与精车夹具一致的“一面两销”方案，以保证工件在不同工序间定位的一致性，从而将位置度误差控制在最小范围内。钻模的关键特征在于其引导装置——钻套。在钻模板上，每一个待加工孔的正上方都精确安装有一个快换钻套，其内孔直径略大于所用钻头的直径。在加工时，钻头首先穿过钻套，由钻套对其运动轨迹进行强制引导，有效防止了钻头在切入瞬间因受力不均而产生的偏斜，确保了孔的位置精度和垂直度。此外，为适应自动化生产线的需求，钻模的夹紧机构可升级为气动或液压驱动，通过按钮或信号控制实现工件的自动夹紧与松开，与机器人上下料系统协同工作，构成一个高效的无人化加工单元。

4 结语

本文围绕电机端盖加工工艺及专用夹具设计展开探讨。研究发现，依据其结构特点与精度要求制定合理工艺路线，将关键精车工序一次装夹完成，并采用基于“一面两销”原理的专用夹具，是保障加工质量、提高生产效率的有效方法，该夹具成功攻克了基准转换等技术难题。展望未来，工业4.0与智能制造推进下，电机端盖加工工艺与夹具设计将呈现新趋势：一是向柔性化与智能化发展，开发快速重构的柔性夹具系统，集成传感器实现参数实时监控；二是与自动化系统深度融合，成为智能加工单元核心，与物流装备无缝衔接，实现全流程自动化；三是引入在线检测与闭环控制技术，构建集加工、测量等一体的闭环质量控制系统。

参考文献

- [1]罗云丽,罗颖飞,林松.电机端盖生产流程的自动化加工方法研究[J].科技创新与应用,2023,13(33):124-127.
- [2]杨振中,石江,段宗玉.基于豪克能加工技术的电机端盖可靠性研究[J].电力机车与城轨车辆,2023,46(06):88-92.
- [3]孙浩棋,王永伟,栗旺龙,等.电机端盖冲压工艺与模具结构设计[J].移动电源与车辆,2023,54(03):45-47.
- [4]卢蔚红.电机端盖自动化生产线工装及总控系统研发分析[J].大众标准化,2023,(17):49-50+53.