

风电齿轮箱齿轮智能生产线设计

王鑫

(中车北京南口机械有限公司 北京 102202)

摘要:为探讨风电齿轮自动化生产方案,本文针对齿轮智能生产线设计展开分析,介绍风能发电以及风电齿轮箱设备,了解齿轮在该装置中的重要作用;总结齿轮智能生产线设计方案,从自动化运输工具、零件定位夹紧工艺、确定基准、自动断屑与排屑设计四个维度着手,分别阐述齿轮智能化生产的过程,以及实现智能化生产在技术方面的注意要点。齿轮智能生产线不仅提高了生产效率,还可以保证齿轮制造精度,为今后风电齿轮箱自动化、智能化制造夯实基础。

关键词:风电齿轮箱;齿轮;智能生产线;自动化

0 引言

《中国制造 2025》是我国制造业实现转型与升级的纲领性文件。在工业 4.0 时代下开始大力应用工业机器人、智能化等先进技术手段,使得当前工业产业中的零部件加工全面实现自动化。利用自动化技术进行加工,不仅加工质量可保证一致性,而且加工生产效率也随之提升,有效缩短产品制造周期。现阶段自动化生产线多以小型零件为主,而且在实践中积累了丰富经验,构建了成熟的制造体系。在自动化水平不断提高的当下,人力资源成本随之增加,同时受到工业 4.0 的影响,工业领域大力建设智能化项目成为行业发展的趋势。

风电齿轮箱是风能发电非常重要的设备,在生产加工中存在诸多要点。其中,齿轮加工为了满足当前行业发展需求,开始设计并应用智能生产线,以此来提高齿轮生产的效率和精度。基于目前我国风电齿轮箱齿轮智能化生产的现状,智能生产线的设计还需要进一步完善。为此,本文针对风电齿轮箱中齿轮的智能生产线设计展开分析,总结设计方案,提高齿轮制造的生产质量。

1 风电齿轮箱

风能是一种可再生能源,在我国乃至全世界都得到了非常广泛的关注与应用,特别是在绿色环保的背景下,我国更是非常关注风能的转化。2016 年以来,我国新增装机量、总装机量逐年增

加。国家能源局统计数据显示,截至 2021 年,我国可再生能源发电量已经达到了 2.48 亿 kW·h,在全国用电量总量中占比为 29.8%。可再生能源电力中的风力发电为 6536 亿 kW·h,太阳能发电 3259 亿 kW·h。风电飞速发展的当下,早期安装的风电机组存在质保期临近的问题,而且设备长时间运转容易受到温度、恶劣天气的影响,导致机组部件性能下降,频繁出现故障。

风电齿轮箱(见图)是风力发电机组的重要机械部件,可以在风力作用下实现风轮动力向发电机的传递,并达到理想转速。在风电齿轮箱的运转过程中,齿轮占据重要作用。一般风轮转速相对较低,可能与发电机发

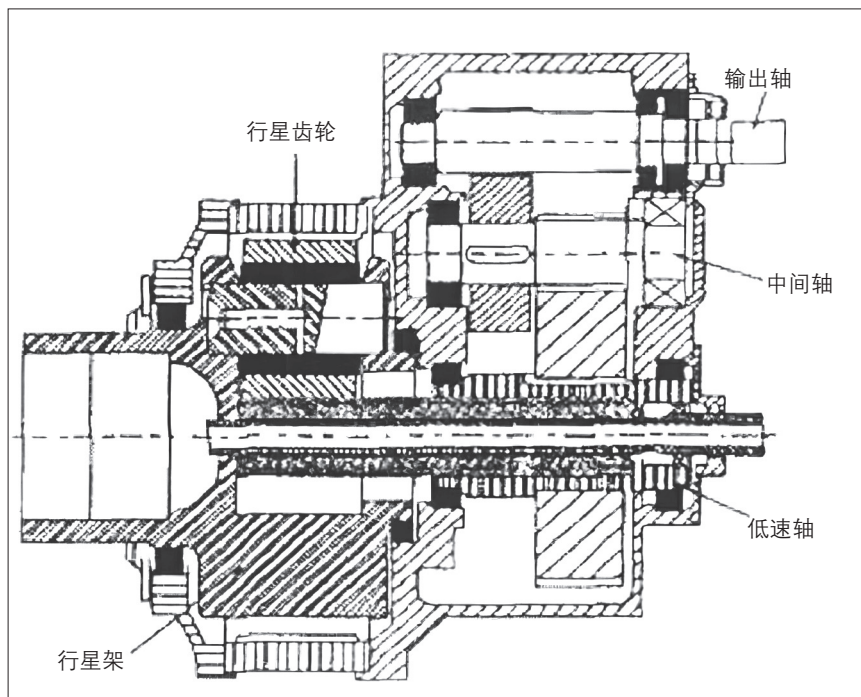


图 1 风电齿轮箱结构图

电额定转速不符，务必利用齿轮箱齿轮副增速提升转速，所以齿轮箱也被称作增速箱。按照机组布置与相关要求，风轮轮毂直接连接的传动轴、齿轮箱组合连接，或是传动轴、齿轮箱独立布置，通过胀紧套装置、联轴节连接。要提高机组的制动性，齿轮箱输入端、输出端需要安装刹车装置，搭配叶尖制动、变桨距制动装置共同运行，达到机组传动系统的联合制动效果。在大数据、人工智能以及信息化的背景下，工业行业对于自动化、智能化的要求越来越高。基于此，提出了风电齿轮箱的齿轮生产智能生产线的设计方案。

2 齿轮智能生产线设计方案

齿轮智能生产线的设计，以智能化生产为根本目标，在齿轮传统加工工艺基础上，分析自动化加工工艺特征，科学选择自动化运输工具和零件定位夹紧工艺，并从其他流程与工序着手，制定齿轮智能生产线设计方案，提高齿轮生产全过程的效率与精度，满足风电齿轮箱参数要求。

2.1 自动化运输工具

工业制造领域对于自动化水平不断提出高要求，在国内外大环境下，为了能够快速满足工业自动化发展的需求，行业领域内开始应用自动化运输工具，例如垛机、关节臂机器人、物料运输小车等，为工业制造全过程工作效率的提升提供了技术方面的支持。虽然齿轮的外形有很高的相似度，但是每种齿轮的规格、尺寸、质量却有比较明显的差别，例如最大齿轮零件质量可达 1285 kg。现阶段在风电齿轮箱的智能化设计中，移动式关节臂机器人是载质量最大的自动化运输工具，最大承载质量是 1700kg，在汽车整机展览吊装中应用。已有数据显示，关节臂机器人在生产线中的承载质量只有 1200 kg，且占地面积较大。

除了移动式关节臂机器人外，桁架机械手也属于自动化运输工具，最大承载质量是 3125 kg，搬运物料可以在 3 个自由度方向进行。垛机、运输小车作为生产线中比较常见的自动化运输工具，承载质量可以满足载质量要求。其中，垛机可满足高度方向运动要求，如果厂房面积有限，建议搭配立体货架应用，但是垛机的成本造价较高。对于垛机，运输小车务必要与交换工作台和零点定位系统共同应用，成本较高。按照上述自动化运输工具的对比，同时分析齿轮零件特征与经济性等因素，齿轮零件智能加工线设计中，运输设备建议选择桁架机械手。

2.2 零件定位夹紧工艺

齿轮作为主要零件，在机床中进行上 / 下料操作，必须被自动定位夹紧。技术人员确定定位夹紧工艺，必须对零件加工精度、零件定位夹紧的稳定性予以考虑，

分析定位夹紧方式、自动化运输工具、机床之间协同运行的契合度。齿轮上 / 下料自动定位夹紧比较常见的工艺，是利用液压夹具，直接在机床中定位夹紧；或者操作人员在生产线旋转平台上，采用人工的方式在交换工作台、零点定位系统对齿轮进行定位夹紧，再使用物料运输工具，运输齿轮和交换工作台或者零点定位系统，到机床中实施定位夹紧处理。这里用到的交换工作台、零点定位系统，一般情况下安装于线外，并且必须要有专用装夹站，操作人员采取手动装夹的方法，可以有效提高机床中非切削加工的效率。

除了上述方法外，还可以选择液压自动定心夹紧系统，此系统主要应用工装自动化达到定位夹紧的目的，优势在于定位精度非常高，不需要过多的人工干预，减轻了操作人员劳动强度。因为风电齿轮箱的齿轮结构比较简单，液压自定心夹具定位夹紧操作相对简捷，按照物料运输工具，即桁架机械手和机床之间的良好配合，可以达到最优智能化生产的效果。液压自定心夹紧工装的设计，自定心与夹紧工装是智能化生产线设计的关键。针对风电齿轮箱的齿轮自动化加工，可以通过自定心和夹紧工装，提高装夹与找正效率，以免在装夹和找正阶段受到人为因素干扰，无法保证零件加工质量。

自定心工装定位精度有严格要求，而且各个加工工序之间要求也有比较明显的区别，尤其是磨齿这种精加工工序，定位精度通常要求更高。对于磨齿这道工序，自动定心夹紧工装智能生产线设计时，工件主要利用锥形芯轴、锥形胀套之间的协同运行，达到零件自动定心夹紧的目的，并且满足模块化设计要求，可保证重复夹紧精度为 0.003 ~ 0.008mm，其他参数要求见表。各个零件之间可以直接更换夹紧胀套，无需更加繁琐的步骤便可与加工工艺规范相符。

2.3 确定基准

基准在装夹和找正环节是判断的关键依据，确定好基准选择，可以保证自动定心与夹紧两道工序的质量，而且基准精度也决定了自动定心成效，操作人员务必要注意自定心工装和机床设计之间的连接。要提高齿轮加工的稳定性，自动定心夹紧相关零件进行加工之前，建议使用机床对零件校准，齿轮零件磨齿工序外圆在磨齿前加工至成品尺寸，成形磨齿机的齿形测头不能检测内孔，主要与传统工艺有关，通常采用内孔找正的方法，

表 磨齿工序参数要求

内孔找正误差 /mm	≤ 0.01
自动夹紧行程 /mm	2.5
最大夹紧力 /kN	180
最大转速 /r/min	500
内径夹持范围 /mm	250 ~ 480

夹紧环节齿外圆打表,确保夹紧作业过程中零件未发生相对移动,外圆间断持续进行,经过热处理之后可能会有变形产生。要使自动化加工效果符合预期,齿轮零件齿根圆的以下位置,建议设置工艺凸台,保证齿轮智能化加工效果。

2.4 自动断屑与排屑设计

风电齿轮箱中的齿轮零件,加工制造环节比较常用硬齿面技术,进行到精加工阶段,可能面临缠屑问题,而且缠屑问题也是齿轮智能生产线设计的要点。刀具具有高压内冷的性质,高压冷却可以使冷却液直接达到刀片、切削瘤中间部位,起到控制铁屑的效果,解决切削断屑问题。

除了自动断屑外,专用卡盘也是齿轮智能生产线设计的关键。冷却液喷嘴清理工作台集屑,可能会对自动化加工造成干扰,建议在智能生产线设计时采用专用卡盘,设计冷却液喷嘴,快速排出机床切削加工产生的铁屑,确保齿轮智能加工过程的连续性。

3 风电齿轮箱齿轮智能生产线设计成效

风电齿轮箱中齿轮智能生产线的零件检测更加智能,可建立设备的作业信息档案实时显示所有参数,使齿轮零件生产过程更加透明。

风电齿轮箱生产过程中,针对零件的检测在智能生产线设计时专门进行了防错化改造,有利于避免人为操作导致的失误,使检测数据更加真实准确,而且可以实时上传到系统中录入、储存。智能生产线自动检测不符合规格的齿轮零件,并停止其流转、加工。齿轮零件智能生产建立的电子档案,覆盖了组装过程、关键控制与检测项点等。如果发现齿轮零件存在质量问题,可以快速查询档案进行产品追溯。

齿轮加工制造过程中,所有装置和零件产生数据均具有实时性,智能生产线可以自动读取数据进行判断、跟踪,做出智能化判断,确保设备可以正常运行;自动完成齿轮产品信息的检测、对比,确定符合规格参数的齿轮零件予以放行。此外,智能生产线可以控制齿轮零件组装的所有环节、工序,实时显示工位加工状态,便于管理人员观察齿轮制造全过程,了解生产进度和实际数量等。智能生产线支持所有物料自动化流转。生产现场所有工位上物料自动化流转不仅提高了工作效率,还有效减轻了工作强度,避免物料流转引发齿轮组装失误。

以往风电齿轮箱中齿轮的生产,难免会在组装环节出现错误。但是,通过齿轮智能生产线,所有组装

异常都可以实现目视化。将齿轮组装线的所有异常现象全部汇总整理,自动生成报表上报给生产管理人员。智能生产线具有自动预警功能,一旦发现工位异常会及时发出预警,通知管理人员及时到达异常工位。齿轮装配所产生的数据信息,根据制造流程可以目视化显示全过程,并且通过视频的方式对生产现场操作人员提供专业指导。

4 结语

综上所述,风电齿轮箱作为风力发电机组不可忽略的设备,在当前自动化行业背景下,所有零件与元件的生产设计与制造均朝着智能化、自动化的方向转型。齿轮是风电齿轮箱中的重要零部件之一,设计智能生产线,针对齿轮制造生产全过程进行智能化管理,利用大数据技术以及机器人等先进设备,提升齿轮生产效率,缩短生产周期,还可以保证零件精度,满足风电齿轮箱参数要求。在不断生产实践中探索齿轮智能制造的经验,设计更加完善、系统且成熟的智能生产线,有利于推动工业制造智能升级进一步提速。

参考文献:

- [1] 黄志伟. 变风载下风电齿轮箱内部激励规律研究及动态特性优化[J]. 中国机械, 2020(4): 93+95.
- [2] 伍源, 朱才朝, 谭建军, 等. 环境参数对风电齿轮箱传动系统疲劳损伤的影响[J/OL]. 重庆大学学报: 1-16[2022-09-24]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1044.N.20220506.1443.004.html>.
- [3] 肖利辉, 丰冬军, 赵乐川, 等. 风电齿轮箱花键轴激光熔覆表面修复工艺[J]. 机械制造, 2022, 60(04): 46-49.
- [4] 向东, 韦尧中, 沈银华, 等. 面向风电齿轮箱油温超限故障的热网络模型及其节点温度计算方法研究[J]. 机械工程学报, 2022, 58(09): 119-135.
- [5] 刁修慧. 基于云雾协同的风电齿轮箱运行状态监测系统[J]. 机床与液压, 2022, 50(05): 119-122.
- [6] 孙兆锋, 张海军. 风电齿轮箱内螺纹圆柱销工艺优化[J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(02): 91-92.
- [7] 汤婷, 张岩, 安宗文. 基于孤立森林算法的风电齿轮箱轴承故障检测方法[J]. 轴承, 2022(02): 68-74.

作者简介: 王鑫(1981.08-), 男, 汉族, 北京人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 机械加工。