

拖拉机前驱动桥关键零部件数控加工工艺研究

张 强 牛乐飞

一拖（洛阳）车桥有限公司 河南 洛阳 471000

摘 要：本文聚焦于拖拉机前驱动桥关键零部件的数控加工工艺展开深入研究。首先介绍了拖拉机前驱动桥的关键零部件的构成，接着详细探讨了前驱动桥关键零部件（如主减速器壳体、差速器壳体、半轴等）的数控加工工艺流程，包括工艺路线规划、刀具选择、切削参数设定等方面，并提供了具体的技术细节与数据支持。同时，针对数控加工过程中可能出现的误差进行了深入分析，并提出了相应的误差控制措施。

关键词：拖拉机前驱动桥；关键零部件；数控加工工艺；误差控制

1 引言

拖拉机作为农业机械化的重要组成部分，其前驱动桥的关键零部件制造质量直接影响拖拉机性能及使用寿命。高质量的数控加工工艺对于提升这些关键部件的制造质量、降低成本和缩短生产周期至关重要。国外在拖拉机前驱动桥关键零部件的数控加工工艺方面已经相当成熟，拥有高精度和高效加工能力，如德国某企业的数控加工中心能够实现主轴转速15000r/min以上，进给速度30m/min，加工精度稳定在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内。相比之下，尽管国内在数控加工技术上有所进步，但在设备精度、稳定性、工艺规划和刀具使用等方面仍落后于国际先进水平，显示出加强相关研究对推动我国农业机械化的重大现实意义。

2 拖拉机前驱动桥关键零部件的介绍

拖拉机前驱动桥的关键零部件包括主减速器壳体、差速器壳体和半轴。主减速器壳体作为主减速器的安装基础，结构复杂，需承受大载荷和扭矩，其轴承孔精度要求高（IT7-IT8级），圆柱度误差不超过0.015mm，表面粗糙度 $Ra \leq 1.6\mu\text{m}$ ；差速器壳体用于安装行星齿轮与半轴齿轮，需保证行星齿轮轴孔距误差 $\pm 0.02\text{mm}$ 以内及安装面平面度误差不超0.02mm；半轴作为动力传递关键件，须具备高强度与疲劳寿命，直径公差控制在 $\pm 0.015\text{mm}$ ， $Ra \leq 0.8\mu\text{m}$ ，弯曲度误差 $\leq 0.03\text{mm/m}$ 。

3 拖拉机前驱动桥关键零部件的数控加工工艺流程

3.1 主减速器壳体的数控加工工艺流程

3.1.1 工艺路线规划

粗加工：采用立式加工中心，对主减速器壳体进行粗铣，去除大部分余量，为后续精加工做准备。粗加工时，铣削深度一般为3-5mm，进给速度为500-800mm/min，切削速度为80-120m/min。通过粗加工，可将主减速器壳体的外形轮廓和主要孔的余量控制在2-3mm以内。

半精加工：进行半精铣和半精镗，进一步提高加工精度，为精加工留出合适的余量。半精加工时，铣削深度为1-2mm，进给速度为300-500mm/min，切削速度为100-150m/min；镗孔时，进给速度为100-200mm/min，切削速度为60-100m/min。经过半精加工，主减速器壳体的尺寸精度可达到IT9-IT10级，表面粗糙度 Ra 值不大于 $3.2\mu\text{m}$ 。精加工：使用高精度数控铣床和镗床，对主减速器壳体的各个面和孔进行精加工，保证尺寸精度和表面质量。精加工时，铣削深度为0.1-0.3mm，进给速度为100-200mm/min，切削速度为150-200m/min；镗孔时，进给速度为50-100mm/min，切削速度为80-120m/min。通过精加工，主减速器壳体的尺寸精度可稳定在IT7-IT8级，表面粗糙度 Ra 值不大于 $1.6\mu\text{m}$ 。去毛刺和清洗：加工完成后，去除毛刺并进行清洗，防止毛刺影响装配和零部件的性能。可采用手工或机械去毛刺的方法，清洗时使用专用的清洗剂，确保零部件表面清洁。

3.1.2 刀具选择

粗加工时，选择大直径的立铣刀和镗刀，以提高加工效率。例如，粗铣外形轮廓时，可选择直径为20-30mm的立铣刀；粗镗孔时，可选择直径为30-40mm的镗刀。刀具材料一般选用硬质合金，以提高刀具的耐磨性和抗冲击性^[1]。半精加工和精加工时，选择小直径、高精度的刀具，以保证加工精度和表面质量。例如，精铣面时，可选择直径为8-12mm的立铣刀；精镗孔时，可选择直径为15-25mm的硬质合金镗刀。同时，为了提高孔的加工精度，精镗孔时还可以选择浮动镗刀。

3.2 差速器壳体的数控加工工艺流程

3.2.1 工艺路线规划

定位与装夹：首先确定差速器壳体的定位基准，一般采用一面两销的定位方式，然后进行装夹。一面两销的定位方式可以保证差速器壳体在加工过程中的位置

精度,定位误差可控制在 $\pm 0.02\text{mm}$ 以内。粗加工:对差速器壳体的外轮廓和主要孔进行粗加工,去除余量。粗加工时,铣削深度为 $2\sim 4\text{mm}$,进给速度为 $400\sim 600\text{mm/min}$,切削速度为 $70\sim 110\text{m/min}$;镗孔时,进给速度为 $80\sim 150\text{mm/min}$,切削速度为 $50\sim 90\text{m/min}$ 。半精加工:进行半精铣和半精镗,提高加工精度。半精加工时,铣削深度为 $1\sim 1.5\text{mm}$,进给速度为 $250\sim 400\text{mm/min}$,切削速度为 $90\sim 130\text{m/min}$;镗孔时,进给速度为 $60\sim 120\text{mm/min}$,切削速度为 $60\sim 100\text{m/min}$ 。精加工:重点加工行星齿轮轴孔和半轴齿轮安装面,保证其位置精度和尺寸精度。精加工时,铣削深度为 $0.05\sim 0.2\text{mm}$,进给速度为 $80\sim 150\text{mm/min}$,切削速度为 $120\sim 160\text{m/min}$;镗孔时,进给速度为 $30\sim 80\text{mm/min}$,切削速度为 $80\sim 120\text{m/min}$ 。通过精加工,行星齿轮轴孔的孔距误差可控制在 $\pm 0.015\text{mm}$ 以内,半轴齿轮安装面的平面度误差不超过 0.015mm 。检验与修整:加工完成后,进行检验,对不合格的部位进行修整。检验时可使用三坐标测量仪等高精度检测设备,确保差速器壳体的各项尺寸和形位公差符合要求。

3.2.2 刀具选择

加工外轮廓时,选择合适的立铣刀。根据差速器壳体的材料和加工要求,可选择直径为 $10\sim 20\text{mm}$ 的立铣刀,刀具材料可选用硬质合金或涂层刀具。加工孔时,根据孔的直径和精度要求选择镗刀或铰刀^[2]。例如,加工行星齿轮轴孔时,可选择直径为 $8\sim 12\text{mm}$ 的硬质合金镗刀;对于高精度孔,可选择浮动铰刀进行精加工,浮动铰刀的直径公差一般控制在 $\pm 0.005\text{mm}$ 以内。

3.3 半轴的数控加工工艺流程

3.3.1 工艺路线规划

车削加工:采用数控车床对半轴的外圆、端面和螺纹进行车削加工。车削加工时,先进行粗车,去除大部分余量,粗车进给速度为 $0.2\sim 0.3\text{mm/r}$,切削深度为 $2\sim 3\text{mm}$;然后进行半精车,提高加工精度,半精车进给速度为 $0.1\sim 0.15\text{mm/r}$,切削深度为 $1\sim 1.5\text{mm}$;最后进行精车,保证尺寸精度和表面质量,精车进给速度为 $0.05\sim 0.1\text{mm/r}$,切削深度为 $0.1\sim 0.3\text{mm}$ 。磨削加工:对于高精度的半轴,需要进行磨削加工,以提高表面粗糙度和尺寸精度。磨削加工时,砂轮转速为 $3000\sim 5000\text{r/min}$,进给速度为 $0.01\sim 0.02\text{mm/r}$,磨削深度为 $0.005\sim 0.01\text{mm}$ 。通过磨削加工,半轴的表面粗糙度 R_a 值可不大于 $0.8\mu\text{m}$,尺寸公差可控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内。表面处理:根据需要,对半轴进行表面处理,如镀铬等,以提高其耐磨性和耐腐蚀性。镀铬层的厚度一般控制在 $0.02\sim 0.05\text{mm}$ 之间。

3.3.2 刀具选择

车削加工时,选择合适的车刀,如外圆车刀、端面车刀和螺纹车刀。车刀材料一般选用硬质合金或涂层刀具,以提高刀具的耐磨性和切削性能。例如,粗车外圆时,可选择刀片宽度为 $4\sim 6\text{mm}$ 的外圆车刀;精车螺纹时,可选择螺纹车刀,其螺纹牙型精度应符合相关标准。磨削加工时,选择合适的砂轮。砂轮的粒度、硬度和结合剂应根据半轴的材料和加工要求进行选择。例如,磨削钢制半轴时,可选择粒度为 $60\sim 80$ 的白刚玉砂轮。

3.3.3 切削参数设定

车削加工时,要根据半轴的材料和尺寸选择合适的切削速度、进给速度和切削深度。例如,车削45钢半轴时,粗车切削速度可设定为 $80\sim 120\text{m/min}$,进给速度可设定为 $0.2\sim 0.3\text{mm/r}$,切削深度为 $2\sim 3\text{mm}$;精车切削速度可设定为 $120\sim 160\text{m/min}$,进给速度可设定为 $0.05\sim 0.1\text{mm/r}$,切削深度为 $0.1\sim 0.3\text{mm}$ ^[3]。磨削加工时,要控制砂轮的转速和进给速度,以保证磨削质量。砂轮转速过高可能导致砂轮磨损加快,转速过低则会影响磨削效率;进给速度过快会导致表面粗糙度增大,进给速度过慢则会降低生产效率。

4 数控加工过程中的误差分析与控制措施

4.1 误差来源分析

4.1.1 数控系统误差

数控系统的插补误差、定位误差等会影响加工精度。例如,插补算法的不完善可能导致加工轮廓的偏差,定位误差会使工件的实际位置与理论位置不一致。在加工主减速器壳体的复杂曲面时,插补误差可能导致曲面形状不准确,影响齿轮的啮合性能。

4.1.2 机床误差

机床的几何误差(如主轴回转误差、导轨直线度误差等)、热变形误差和力变形误差等都会对加工精度产生影响。机床在长时间运行过程中,由于发热会导致零部件热变形,从而影响加工精度。例如,主轴回转误差会使加工的孔出现圆度误差,导轨直线度误差会导致工件的直线度误差。

4.1.3 刀具误差

刀具的制造误差、磨损和安装误差等会导致加工尺寸和形状的偏差。刀具磨损后,切削刃的形状和尺寸会发生变化,从而影响加工精度。例如,铣刀磨损后,铣削面的平面度会变差,孔的尺寸会变大。

4.1.4 工件装夹误差

工件的定位误差和夹紧误差会影响工件在机床上的位置精度,进而影响加工精度。定位基准选择不当或夹紧力过大都可能导致工件变形。例如,在装夹差速器

壳体时,如果夹紧力分布不均匀,可能会使壳体产生变形,导致行星齿轮轴孔的位置精度下降。

4.2 误差控制措施

4.2.1 数控系统误差控制

采用高精度的数控系统,并定期对数控系统进行校准和维护,确保插补算法的准确性和定位精度。例如,定期对数控系统的位置传感器进行校准,保证其测量精度。利用误差补偿技术,对数控系统的误差进行实时补偿。通过在数控程序中设置误差补偿量,当机床运行到相应位置时,自动调整刀具的运动轨迹,以消除误差。

4.2.2 机床误差控制

定期对机床进行精度检测和调整,保证机床的几何精度。例如,使用激光干涉仪等高精度检测设备对机床的主轴回转精度和导轨直线度进行检测,并根据检测结果进行调整。采用热变形补偿技术,通过在机床关键部位安装温度传感器,实时监测机床的温度变化,并根据温度变化对加工参数进行补偿^[4]。例如,当机床主轴温度升高时,自动调整主轴的转速和进给速度,以减少热变形对加工精度的影响。优化机床结构,提高机床的刚性和抗变形能力。例如,采用高强度的机床床身材料,增加机床的支撑和加固结构。

4.2.3 刀具误差控制

选择高质量的刀具,并定期对刀具进行检测和更换。例如,使用刀具测量仪对刀具的尺寸和形状进行检测,当刀具磨损量超过规定值时,及时更换刀具。采用刀具磨损补偿技术,通过在数控程序中设置刀具磨损补偿量,保证加工尺寸的准确性。例如,在加工半轴时,根据刀具的实际磨损情况,在程序中调整刀具的进给

量,以补偿刀具磨损带来的尺寸误差。

4.2.4 工件装夹误差控制

合理选择定位基准和夹紧方式,减少定位误差和夹紧误差。例如,在装夹主减速器壳体时,选择其加工精度较高的面作为定位基准,采用弹性夹具或液压夹具,避免夹紧力过大导致工件变形。对工件进行预处理,如去应力退火等,减少工件在装夹过程中的变形。

结语

本文系统研究了拖拉机前驱动桥关键零部件的数控加工工艺,明确了其结构特点与加工要求,深入分析了主减速器壳体、差速器壳体和半轴的工艺流程、刀具选择及切削参数,并提出误差控制措施。实际应用表明,该工艺能显著提升加工精度与生产效率,降低废品率,具有良好的可行性。展望未来,应进一步引入先进数控设备与智能软件,提升加工自动化水平;研发高性能刀具,延长使用寿命;加强误差实时监测,提升质量稳定性;同时推进数字化设计与制造一体化,实现全流程优化,为我国农业机械化发展提供更强有力的技术支撑。

参考文献

- [1]刘庆超,王浩,张少国,等.一种拖拉机壳体加工工艺的改进[J].南方农机,2020,51(11):52-53.
- [2]魏文强,刘婷,程国飞.基于UG的拖拉机关键部件数控加工应用分析[J].农机化研究,2022,44(08):248-251+257.
- [3]邵鑫,熊毅,王娜.基于UG建模和仿真的拖拉机箱体零件数控加工研究[J].农机化研究,2021,43(03):249-253.
- [4]刘芹.拖拉机零部件数控多加工路线优化——基于蚁群算法集成求解[J].农机化研究,2021,43(01):196-200.