

九孔钻削组合机床多轴箱 结构与参数计算

贺文斌

(深圳市博视精密机械有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要 多轴箱作为组合机床的核心动力传递部件,其结构设计合理性与参数计算准确性直接决定工件加工精度、生产效率及设备运行稳定性。本文针对九孔钻削加工需求,以 HT200 箱体类零件为加工对象,开展多轴箱的结构设计与全面参数计算研究。明确多轴箱组成及通用零件选型标准,确定关键零件材料与尺寸;计算多轴箱所需功率与进给力,拟定传动方案并详细计算传动参数,完成润滑系统设计及坐标检查,以期为相关人员提供参考。

关键词 组合机床; 多轴箱; 九孔钻削; 结构设计; 参数计算

中图分类号: TG502

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.23.006

0 引言

多轴箱是组合机床实现多轴同步加工的核心部件,其结构与参数计算直接影响工件加工精度、生产效率及运行稳定性。针对 HT200 箱体类零件九孔钻削传统单轴加工效率低、孔位一致性差的问题,本文开展专用多轴箱的设计与参数核算研究。本文完成多轴箱通用零件选型与结构设计,采用金属去除率法规范核算钻削动力,得出设计计算功率 5.84 kW、总进给力 1 003.5 N;拟定分级分流传动方案,通过 5 根传动轴与 10 组标准齿轮副匹配,保障 9 根主轴同步稳定输出 900 r/min 额定转速;同时完成润滑系统与辅助结构设计,各项指标均符合组合机床设计规范。本方案旨在为同类多轴箱设计提供标准化参考,助力提升批量钻孔加工效能。

1 多轴箱组成及通用零件选型设计

大型通用多轴箱主要包含箱体、传动、润滑防油三大部件,零件选型需结合加工要求、材料特性与工艺规范,确保结构可靠、运行稳定。

1.1 多轴箱整体组成

本次设计的九孔钻削多轴箱属于大型通用结构,动力由通用动力箱提供,与动力箱共同安装在进给滑台上,即可完成九孔同步钻削加工。

箱体类是由箱体、前盖、后盖构成,用于支撑轴系零件,保障主轴与传动轴的位置精度,是多轴箱的基础承载结构。

传动类是包含主轴、传动轴、齿轮,承担动力传递与转速调节功能,为多轴箱核心传动结构。

润滑防油是由叶片泵、分油器、注油标等组成,为内部运动副提供润滑,减少零件磨损,防止漏油,延长设备使用寿命。

1.2 通用零件选型与设计

1.2.1 箱体类零件

箱体整体选用 HT200 灰铸铁,该材料具备优良的铸造、切削加工性能与减震性,可满足结构强度与运行稳定性要求^[1];前盖、后盖选用 HT150 灰铸铁,以保证强度的同时控制成本。多轴箱标准厚度为 180 mm,前盖的厚度 55 mm,后盖厚度 90 mm,为内部轴系与齿轮安装预留充足空间^[2]。

1.2.2 主轴选型

九孔钻削工况下主轴承受单向轴向载荷,选用滚珠轴承主轴,前支承采用推力球轴承,后支承采用向心球轴承,适配钻孔加工需求。主轴外伸尺寸为 30/20 mm (D/d),外伸长度 115 mm,可保证刀具安装空间与主轴刚度,降低加工振动,提升钻孔精度。

1.2.3 传动轴选型

通用传动轴采用了 45 钢调质处理,硬度达 T235,强度与韧性可满足动力传递需求;滚针轴承传动轴采用 20 Cr 钢渗碳淬火来处理,渗碳层深度 0.5 mm,表面硬度 HRC59,提升表面硬度与耐磨性能。传动轴直径参照主轴规格,结合传动参数确定,避免出现弯曲、扭转变形等情况。

作者简介: 贺文斌 (1995-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 数控机床电气设计。

2 主轴、齿轮参数确定及动力计算

主轴、齿轮参数与动力计算是多轴箱设计的核心环节, 计算过程严格遵循《组合机床设计简明手册》规范, 确保数据准确可靠。

2.1 加工对象及切削用量

加工对象为 HT200 箱体类零件, 材料硬度 HB170 ~ 230, 加工工序为钻削 9 个 $\Phi 4.9$ mm 通孔, 采用九轴

同步加工方式。结合生产效率与刀具寿命要求, 确定切削用量: 主轴额定转速 $n=900$ r/min, 切削速度 $v=14$ m/min, 每转进给量 $f=0.05$ mm/r, 具体参数见表 1, 加工孔位分布详见图 1。

2.2 多轴箱所需动力计算

2.2.1 所需功率计算

采用金属去除率法核算钻削功率, 计算公式为:

表 1 轴加工参数表

轴号	主轴外伸尺寸 D/d (mm)	外伸长度 L (mm)	工序内容	转速 n (r/min)	切削速度 v (m/min)	进给量 f (mm/r)	备注
九轴	30/20	115.00	钻 $\Phi 4.9$ mm 孔	900.00	14.00	0.05	九轴同步加工

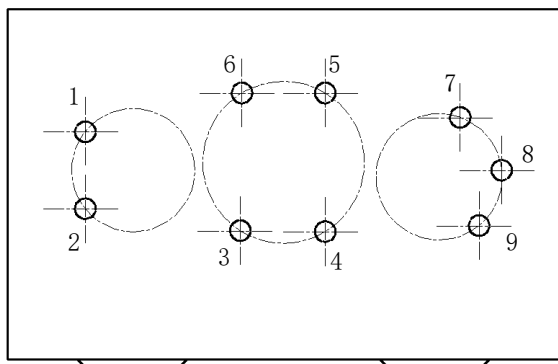


图 1 加工孔的位置分布

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot f \cdot n \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

式 (1) 中: Q 为单轴金属去除率, cm^3/min ; D 为钻头直径, mm; f 为每转进给量, mm/r; n 为主轴转速, r/min。

代入 $D=4.9$ mm、 $f=0.05$ mm/r、 $n=900$ r/min, 计算得:

$$Q = \frac{3.1416 \times 4.9^2}{4} \times 0.05 \times 900 \times 10^{-3} \approx 0.849 \text{ cm}^3/\text{min} \quad (2)$$

单轴净切削功率采用单位功率金属切除率法计算:

$$P_c = \frac{Q}{MR_d} \quad (3)$$

式 (3) 中, MR_d 为单位功率金属切除率, 高速钢麻花钻干式钻削 HT200 灰铸铁时, 行业通用取值范围为 $1.6 \text{ cm}^3/(\text{min} \cdot \text{kW}) \sim 2.0 \text{ cm}^3/(\text{min} \cdot \text{kW})$, 本文取 $MR_d=1.8 \text{ cm}^3/(\text{min} \cdot \text{kW})$, 对应比功率约 $0.556 \text{ kW}/(\text{cm}^3/\text{min})$, 符合切削设计规范, 取值科学。代入得单轴净切削功率 $P_c \approx 0.4717 \text{ kW}$ 。

九轴总净切削功率: $\sum P_c = 9 \times 0.4717 \approx 4.245 \text{ kW}$ 。

取多轴箱传动总效率 $\eta=0.8$ (多级齿轮、滚动轴承综合损耗), 传动输入功率:

$$P_{\text{输入}} = \frac{\sum P_c}{\eta} = \frac{4.245}{0.8} = 5.306 \text{ kW} \quad (4)$$

预留 1.1 倍功率安全储备, 最终设计计算功率: $P=5.306 \times 1.1 \approx 5.84 \text{ kW}$ 。

2.2.2 所需进给力计算

采用《组合机床设计简明手册》中高速钢麻花钻钻削灰铸铁的标准轴向力经验公式:

$$F_f = C_F \cdot D \cdot f^{0.8} \cdot \left(\frac{HB}{HB_0} \right)^{0.6} \quad (5)$$

式 (5) 中: F_f 为单轴钻削进给力, N; $C_F=250 \text{ N/mm}$ 为轴向力系数 (基准硬度 $HB_0=200$); HB 为工件布氏硬度, 取 $HB=200$ 。

代入参数计算得单轴进给力 $F_f \approx 111.5 \text{ N}$, 九轴同步加工总进给力:

$$F_{\text{总}} = 9 \times 111.5 = 1003.5 \text{ N}$$

液压进给滑台额定输出进给力应大于该值, 预留余量以保证进给平稳无冲击^[3]。

3 多轴箱传动系统设计

传动系统核心是将动力箱驱动轴动力通过齿轮传动链匹配至 9 根主轴, 使全部主轴稳定获得 900 r/min 额定转速^[4]。本章传动参数以第二章确定的主轴转速、设计功率为依据, 齿轮模数经强度校核满足承载要求, 参数关联匹配合理。

3.1 传动方案拟定

结合九孔对称分布特征, 布置 I ~ V 共 5 根传动轴, 采用 10 组标准直齿圆柱齿轮副构建分级分流传动链。动力箱驱动轴额定输出转速取通用标准值 $n_{\text{驱}}=720$ r/min, 经各级传动后所有主轴输出转速均达 900 r/min, 转速相对误差控制在 $\pm 1\%$ 以内^[5]。

3.2 传动参数匹配计算

全部齿轮为标准直齿圆柱齿轮, 压力角 $\alpha=20^\circ$, 几何计算遵循中心距公式 $a = \frac{m(z_1+z_2)}{2}$ 、传动比公式 $i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2}$, 匹配整数齿数与标准中心距。

3.2.1 驱动轴—传动轴 I 传动副

模数 $m=2$ mm, 传动比 $i=1$, 标准中心距 $a=66$ mm, 齿数 $z_{\text{驱}}=z_1=33$ 。分度圆直径 $d_{\text{驱}}=d_1=66$ mm, 传动轴 I 转速 $n_1=720$ r/min。

3.2.2 传动轴 I—主轴 3~6 传动副

升速传动,目标传动比 $i=0.8$,模数 $m=3$ mm,主动轮齿数 $z_f=35$,从动轮齿数 $z=28$,齿数和 63,中心距 $a=94.5$ mm。

分度圆直径:主动轮 105 mm,从动轮 84 mm。

主轴转速验证: $n=720 \times \frac{35}{28}=900$ r/min。主轴 3、4、5、6 参数完全一致,由传动轴 I 同步分流驱动。

3.2.3 传动轴 II / III / V—对应主轴传动副

传动轴 II 驱动主轴 1、2,传动轴 III 驱动主轴 7,传动轴 V 驱动主轴 8、9,三组传动副参数完全一致,实现对称分流。升速传动,传动比 $i=0.8$,模数 $m=3$ mm,主动轮齿数 $z=25$,从动轮齿数 $z=20$,齿数和 45,中心距 $a=67.5$ mm。分度圆直径:主动轮 75 mm,从动轮 60 mm,对应主轴转速均为 900 r/min。

3.2.4 传动轴 I—传动轴 IV 传动副

升速传动,模数 $m=3$ mm,主动轮齿数 $z_f=29$,从动轮齿数 $z_{IV}=17$,齿数和 46,中心距 $a=69$ mm。

分度圆直径:主动轮 87 mm,从动轮 51 mm,传动轴 IV 转速:

$$n_{IV}=720 \times \frac{29}{17} \approx 1228.2 \text{ r/min}$$

3.2.5 传动轴 IV—传动轴 II / III / V 传动副

减速传动,主动轮齿数 $z_{IV}=17$,从动轮齿数 $z=29$,参数匹配,中心距 69 mm。

传动轴 II、III、V 转速验证:

$$n=1228.2 \times \frac{17}{29}=720 \text{ r/min}$$

经末端升速齿轮副后,对应主轴转速均为 900 r/min,转速相对误差为 0,完全满足设计精度要求。

4 润滑系统及辅助部件设计

4.1 润滑系统设计

多轴箱内部轴系、齿轮副等运动副需要可靠润滑,减少磨损、提升传动效率、延长使用寿命。本次采用叶片油泵润滑,油泵安装在箱体前壁,泵轴靠近油池便于吸油,油泵供油至分油器,经油管输送至各润滑点^[6]。

油泵轴齿轮齿数 24、模数 2 mm,转速控制在 800 r/min 以内,布置在第 I 排便于维护;多轴箱配备注油标、排油塞与油盘,保证润滑系统正常工作,避免污染加工环境^[7]。

4.2 手柄轴设计

手柄轴用于对刀、调整与检修时校验主轴精度,操作便捷、结构合理。手柄轴与驱动轴通过齿轮副连接,传动比 1,转速与驱动轴相同,周边预留操作空间,避免与其他零件干涉。

5 结论

本文针对 HT200 箱体九孔同步钻削需求,完成多轴箱结构设计与标准化参数计算,主要结论如下:

1. 完成箱体、主轴、传动轴、齿轮等通用零件选型,关键部件材料与尺寸满足强度、抗振及耐磨性能要求。

2. 采用金属去除率法规范核算切削动力,修正后设计计算功率为 5.84 kW、总进给力为 1 003.5 N,为动力箱与进给滑台选型提供可靠力学依据。

3. 优化传动系统齿数与中心距匹配方案,采用 5 根传动轴、10 组标准齿轮副构建传动链,全部主轴稳定输出 900 r/min 额定转速,转速误差符合规范要求。

4. 完成叶片泵润滑系统与对刀手柄轴等辅助结构设计,孔位坐标校验符合行业设计规范,箱体结构紧凑、便于装配检修。

本方案可稳定实现 HT200 箱体批量高精度同步钻孔加工,计算过程均有设计手册依据,可为同类多轴箱设计提供参考。未来可通过齿轮强度校核、箱体刚度仿真进一步优化,提升设备精度与使用寿命。

参考文献:

- [1] 王祥扬,景秀并,郑泽辉,等.基于概率分布与肘部法融合优化 K-means 聚类的弧齿铣齿机热误差建模[J/OL].机械工程学报,1-13[2025-09-22][2026-04-09].https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=AlbbYkNP6XvfpoYl9sDATYHohv2wfAoZcyEWCLAus3SJjx0VusSV7ajHteUDCZ0iwK73Y0sprPxGcOGrzbuIvGYpurggD3vvJnl3AYKqSv73r7msOmRhUtJxcTCJvyIJs-EdiupkIT4Q3mpjVXzC0MlPBrLzjjQ1mna1YRjraQk_gG9QIXoAEg==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [2] 肖捷.数控螺旋锥齿轮磨齿机热误差补偿技术研究[D].长沙:中南林业科技大学,2025.
- [3] 王志远.蜗杆砂轮磨齿机热误差分段建模方法及补偿系统[D].重庆:重庆大学,2023.
- [4] 刘明.数控枪钻组合机床关键部件的优化设计[J].组合机床与自动化加工技术,2019(12):143-144,154.
- [5] 陈孝勇.面向批量零件加工的磨齿机热误差建模与补偿研究[D].重庆:重庆大学,2023.
- [6] 张一铭.面向在线补偿的滚齿机温度测点优化及径向热误差建模[D].重庆:重庆大学,2022.
- [7] 张秀艳.插床变速箱体镗孔机床多轴箱设计[J].湖北农机化,2020(11):145-146.