

大型柴油机机体曲轴孔下母线加工精度控制

彭祝强^{1, 2}, 黄鹏^{1, 2}, 汪朝志^{1, 2}, 陈杨^{1, 2}

1. 宜宾普什联动科技有限公司 四川宜宾 645152

2. 四川省动力零部件制造工程技术研究中心 四川宜宾 644000

摘要: 结合柴油机机体曲轴孔的接触应力分析以及柴油机实际使用数据, 确定曲轴孔几何精度要求需要检测下母线和侧母线的坐标偏差或直线度。通过分析影响曲轴孔加工精度的因素, 进行工艺试验并整理分析数据, 确定控制下母线加工质量的工艺方法。

关键词: 大型柴油机; 曲轴孔; 下母线; 精度; 质量控制

1 序言

曲轴孔是大型柴油机机体的关键部位, 其加工精度影响柴油机的寿命和性能^[1]。大多数厂家对曲轴孔的几何精度要求是测量曲轴孔中心线的同轴度或直线度^[2]。然而国外多家著名柴油机主机厂通过曲轴对轴瓦和曲轴孔的接触应力分析以及柴油机实际使用数据, 对曲轴孔质量要求不是检测曲轴孔中心同轴度或直线度, 而是要求检测曲轴孔下母线和侧母线的坐标偏差或直线度。机体的曲轴孔精度要求很高, 往往需要专业厂家加工。如果在加工柴油机机体时, 既要考虑每档曲轴孔中心的变化, 又要考虑孔径对下母线和侧母线的影响, 无疑是增加了加工风险。本研究通过分析影响曲轴孔加工精度的因素, 进行工艺试验并整理分析数据, 确定控制下母线加工质量的工艺方法。

2 柴油机机体结构及技术要求

某大型柴油机机体外形尺寸为4760mm (长) × 1680mm (宽) × 1600mm (高), 质量为13500kg, 缸数为20, 材质为GGG50。柴油机机体结构如图1所示, 曲轴孔尺寸为 $\phi 296H7$, 表面粗糙度值 $Ra=1.6\mu m$ 。图样要求在柴油机的工作状态即油底壳面向下位置, 设置曲轴孔的前后两档下母线坐标为0, 其余各档下母线的坐标变化范围 $\leq 0.05mm$ 。连续3档, 前后两档下母线坐标设置为0, 中间档的下母线坐标变化范围 $\leq 0.02mm$ 。各档侧母线的坐标变

化范围 $\leq 0.04mm$, 连续3档, 中间档的侧母线坐标变化范围 $\leq 0.02mm$ 。因为精加工曲轴孔时, 龙门机床只运行X轴和Z轴, 水平方向即Y轴方向的侧母线容易受控, 所以只对曲轴孔的下母线进行研究。分析影响曲轴孔下母线加工精度的因素, 进行工艺方法和控制手段改进, 确保下母线加工质量达到图样要求并可控。

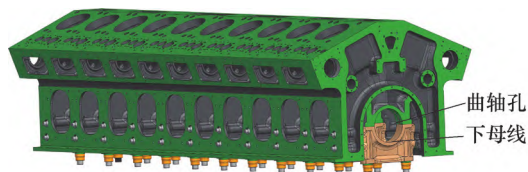


图1 大型柴油机机体结构

3 影响曲轴孔下母线加工精度的因素

中小型柴油机机体曲轴孔批量精加工设备一般采用定制的镗孔专机^[3]。专机的优点是精度稳定性和一致性好, 缺点是精度可调性差, 加工出现质量问题后难以返修。考虑到专机制造成本和现有大型柴油机的产能, 曲轴孔加工一般选用带附件头的龙门五面体加工中心 (见图2)。

影响曲轴孔下母线加工精度的因素分析如下。

(1) 机床精度 机床Z轴重复定位精度、X轴直线度是影响曲轴孔中心位置坐标是否准确的关键因素, 而机床X、Y、Z各轴间相互的垂直度也会三坐标评价每档曲轴孔中心造成间接影响。机床检测精度一般都是检测静态精度, 机床工作状态各

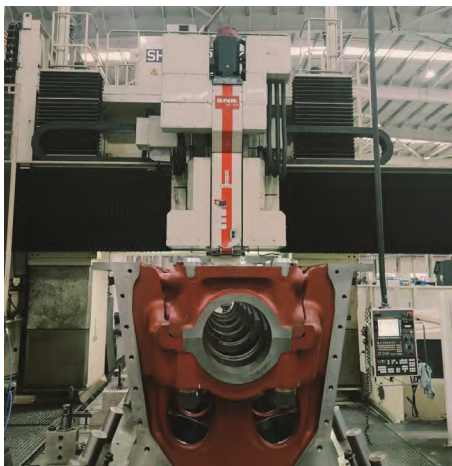


图2 龙门五面体加工中心

部位温度不一致、传动间隙、各部件配合及受力状态的变化会影响其动态精度，静态精度和动态精度的差异会对曲轴孔中心坐标产生重要影响。

(2) 环境温度 环境温度对大型龙门机床精度影响很大，动态的温度场会造成机床定位精度、几何精度发生动态变化。

(3) 刀具及附件头 刀具及附件头的刚性会影响曲轴孔的表面粗糙度和圆柱度，也会影响曲轴孔中心坐标。

(4) 刀具的耐磨性和耐冲击性 刀具的耐磨性会影响曲轴孔的直径、表面粗糙度、圆柱度和加工效率。曲轴孔圆弧面上一般都会有油沟，轴承盖和机体的硬度可能不一致，加工时有断续切削和因硬度不一致而造成的冲击，如刀片耐冲击性差，则会造成刀片破损，产生质量问题。刀片不耐磨还会造成曲轴孔每档直径差异过大，将会对曲轴孔下母线坐标产生重要影响。

4 加工验证

4.1 调整机床精度

在机床加工机体的区域，先用2.5m大理石桥尺检测机床直线度，要求在X移动方向上水平和竖直的直线度 $<0.01\text{mm}$ ；其次可使用 $1000\text{mm}\times 1000\text{mm}\times 1000\text{mm}$ 的大理石方块检测X、Y、Z各轴间的垂直度，要求各轴垂直度 $<0.015\text{mm}$ 。机床精度检测如图3所示。在机体加工时只允许X、Z轴进行移动，中心只受机床Z轴的重复定位精度影响，要求Z轴的重复定位精度 $<0.01\text{mm}$ 。如机床状态达不到上述要求，则需要调整

机床精度^[4]。



图3 机床精度检测

4.2 刀具选用

为改善附件头的受力状态，刀体应满足强度高、平衡性好和轻量化的要求。考虑到刀片的耐冲击和加工表面粗糙度要求，选用刀尖 $R=0.8\text{mm}$ 。按照生产经验，选用某品牌的常规车削刀片，推荐加工参数：吃刀量 $0.2\sim 2\text{mm}$ ，进给量 $0.05\sim 0.2\text{mm/r}$ ，切削速度 $165\sim 205\text{m/min}$ 。

4.3 试加工和正式加工

在加工前，确定工装定位面与机体定位面的平面度是否在 0.02mm 内，将机体放置在工装上后，用 0.02mm 塞尺检查定位面间的间隙，确定是否贴合。使用扭矩扳手固定扭矩进行夹紧，保证每一个夹紧点力矩一致。机体曲轴孔加工先使用精镗刀进行2次留量预镗，并进行加工数据调整，最后1次为到位尺寸精镗。孔的基本尺寸分别为 $\phi 294\text{mm}$ 、 $\phi 295\text{mm}$ 和 $\phi 296\text{mm}$ ，精度H7公差为 $^{+0.052}_{+0.010}\text{mm}$ 。为保证下母线的精度，减小孔径精度对下母线的影响，将孔的加工公差评判标准修改为 $^{+0.035}_{+0.010}\text{mm}$ 。

3次加工的切削参数和加工后的表面粗糙度见表1，3次加工后的孔径尺寸（不含基础孔径）变化对比见表2，3次加工下母线高度坐标变化对比见表3。

表1 3次加工的切削参数和加工后的表面粗糙度

加工顺序	切削速度 $v_c/(\text{m/min})$	转速 $n/(\text{r/min})$	吃刀量 $a/(\text{mm})$	进给量 $f/(\text{mm/r})$	表面粗糙度值 $Ra/\mu\text{m}$
1	200	216	0.15	0.10	1.6~2.2
2	180	194	0.12	0.10	0.7~1.5
3	160	172	0.10	0.12	0.8~1.3

表2 3次加工后孔径尺寸变化对比 (单位: mm)

加工顺序	孔1	孔2	孔3	孔4	孔5	孔6	孔7	孔8	孔9	孔10	孔11
1	0.023	0.022	0.035	0.025	0.018	0.016	0.018	0.016	0.015	0.013	0.010
2	0.024	0.025	0.032	0.020	0.018	0.020	0.019	0.017	0.015	0.013	0.013
3	0.023	0.025	0.022	0.020	0.021	0.019	0.020	0.019	0.016	0.014	0.012

由表1~表3可知,第1次预镗,切削速度200m/min,吃刀量0.15mm,进给量0.10mm/r。

1) 表面粗糙度值 Ra 为1.6~2.2 μm ,图样要求1.6 μm ,不合格。

2) 三坐标检测孔径尺寸,孔径变化区间为

表3 3次加工下母线高度坐标变化对比

(单位: mm)

加工顺序	孔1	孔2	孔3	孔4	孔5	孔6	孔7	孔8	孔9	孔10	孔11
1	0	0.020	0.011	-0.005	-0.023	-0.012	-0.023	0.013	0.005	-0.012	0
2	0	0.012	0.018	0.012	-0.015	0.014	-0.013	0.015	0.004	-0.005	0
3	0	-0.005	-0.011	0.002	0.012	0.005	0.012	0.005	0.006	0.005	0

(0.010, 0.035) mm,合格,但尺寸在公差设定值极限,有超差风险。

3) 三坐标检测,设定曲轴孔中心前后两档在竖直方向坐标为0,检测出其余各档坐标值最大差值为0.025mm。使用坐标值减去曲轴孔半径,差值即为下母线坐标。以前后档下母线坐标设置为0,计算出其余档坐标变化最大范围为0.043mm,图样要求 $\leq 0.05\text{mm}$,合格。连续3档,以前后档下母线坐标设置为0,计算出中间档坐标最大值为0.024mm,图样要求 $\leq 0.02\text{mm}$,不合格。

第2次预镗,调整切削参数,切削速度180m/min,吃刀量0.12mm,进给量0.10mm/r。根据三坐标检测数据进行机床程序局部坐标微调。

1) 表面粗糙度值 Ra 为0.7~1.5 μm ,图样要求1.6 μm ,合格,但后期加工存在超差风险。

2) 三坐标检测孔径尺寸,孔径变化区间为(0.013, 0.032) mm,合格。

3) 经计算,下母线坐标变化范围为0.033mm,图样要求 $\leq 0.05\text{mm}$,合格。连续3档,中间档下母线坐标最大值为0.028mm,图样要求 $\leq 0.02\text{mm}$,不合格。

第3次加工,调整切削参数,切削速度160m/min,吃刀量0.10mm,进给量0.12mm/r。根据三坐标检测数据进行机床程序局部坐标微调。

1) 表面粗糙度值 Ra 为0.8~1.3 μm ,符合图样要求。

2) 三坐标检测孔径尺寸,孔径变化区间为(0.012, 0.025) mm,合格。

3) 各档曲轴孔中心坐标最大变化值为0.01mm,经计算,下母线坐标变化值为0.023mm,图样要求 $\leq 0.05\text{mm}$,合格。连续3档,中间档下母线坐标最大值为0.013mm,图样要求 $\leq 0.02\text{mm}$,合格。

从以上分析来看,在调整机床精度和掌握机床动态精度特性后,选用合理的切削速度、吃刀量及进给量等加工参数,曲轴孔表面粗糙度、孔径公差及下母线公差逐渐得到有效的控制。

5 结束语

通过分析影响机体曲轴孔下母线加工精度的因素,先进行机床精度调整和切削刀具的选择,然后通过调整切削参数,逐渐将下母线公差控制在图样要求范围内,最后总结出提升下母线加工质量的控制方法,对加工大型柴油机曲轴孔有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 蒋涛,景旭文,黛米格.基于有限元的柴油机机体孔系镗削工艺参数优化[J].江苏科技大学学报(自然科学版),2018(4):509-513.
- [2] 徐帅,李瑞杰,马新道.某新型柴油机机体高精度主轴承孔加工技术[J].柴油机,2023(5):57-60.
- [3] 吴国君,王华侨,张文明,等.发动机缸体试制曲轴孔加工工艺创新[J].金属加工(冷加工),2020(S1):232-233.
- [4] 张鹏飞.数控机床精度检测与误差补偿技术研究[J].自动化应用,2024(9):184-189.

MW 20250208