

R12V260柴油机水套机械加工变形控制研究

姚 刚

江苏常州市中车戚墅堰机车有限公司 江苏 常州 213011

摘 要：本文针对R12V260柴油机水套（以下简称水套）在机械加工后气缸盖配合孔、气缸套配合孔孔径、圆度以及孔与面垂直度等CTQ项点因变形超差，进行了一系列工艺攻关和工艺试验，采取了一些切实有效的工艺措施，解决了水套加工变形难题，满足了质量要求，确保了水套的成功试制并形成批量。

关键词：R12V260柴油机；水套；变形控制

引言

随着大功率柴油机高强度、轻量化设计需求的不断提升，薄壁箱体类零件（如水套）已成为动力组结构创新的重要方向。作为柴油机冷却系统的核心部件，水套通过环形流道设计实现气缸套、活塞等高温部件的有效散热，其加工精度直接决定冷却效率与整机可靠性。针对加工变形控制难题，本研究旨在提出系统性解决方案，为同类型零件加工瓶颈提供了理论支撑与工程实践参考。

1 问题的提出

R12V260柴油机水套是石墨铸铁的一体式铸件，属多

孔、薄壁、箱体类零件（图1）。它与气缸盖、气缸套以及一些组件构成柴油机动力组部分，其保持气缸套在机体中的位置并为润滑油和冷却水进入气缸盖提供通道。作为大功率柴油机冷却系统的核心部件，其加工质量直接影响柴油机散热效率及动力组整体性能。因其典型的薄壁结构特征（厚径比达1:50，显著低于1:20），水套在加工过程中面临严峻挑战：薄壁结构在切削力、装夹应力和热应力耦合作用下极易产生形变，严重制约产品合格率。

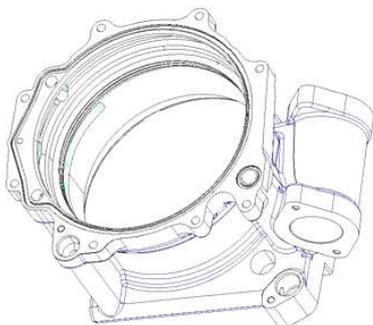


图1 R12V260柴油机水套（1）

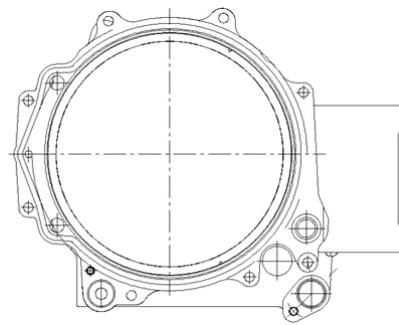


图2 R12V260柴油机水套（2）

2 解决方案

2.1 加工工艺流程优化

水套机械加工工艺流程：毛坯划线→粗车→加工中心一→钳一→精车→钳二→加工中心二→钳三→三坐标检测→中检→清洗→泵水→钳四→成品检查→涂防锈油→入库。

首先，气缸盖配合孔、圆度以及同轴度图纸要求非常高，卧式加工中心粗镗、半精镗后由立式加工中心精镗完成，这样既可以减少加工累计误差，又能消除零件自重引起的不平衡变形。

然后，重视、控制粗加工质量。粗加工余量控制在2.5mm以内，且对所有精加工部位进行粗加工。尽可能消

除铸件残余应力、粗加工应力对后续加工精度的影响。

2.2 装夹方法创新

为有效控制工件在加工过程中的变形问题，专门研究并设计了一种水套一工位定位装夹方法。这一方法的提出，是针对工件的一个关键质量特性（CTQ）项点——气缸套配合孔与机体配合面的垂直度。该项点的公差要求极为严格，仅为0.08mm。

然而，在实际加工过程中，发现薄壁气缸套配合孔在卸下后容易发生变形。这种径向变形直接影响了孔与面的垂直度，导致三坐标测量时采集的元素经拟合得出的轴线与实际加工轴线产生偏离，进而造成产品不合格，甚至报废。图2直观展示了这种变形情况，其中细线轮廓表示水

套在装夹状态下的气缸套配合孔，粗线轮廓则表示其卸下后的气缸套配合孔，箭头则指明了孔的变形方向。



图3 气缸套配合孔变形图

为了解决这个问题，经过反复试验与摸索，总结设计出了一套特定的装夹方法。具体步骤如下：

2.2.1 工件定位与初步夹紧

首先，将工件吊至专用夹具上，并在工件下支承面垫上铜皮，以确保工件紧靠定位面。然后，使用矩扭力扳手均匀地将3块勾形压板（三点支承）拧紧，扳手设定扭矩为90N.m。

2.2.2 应力释放

接着，用开口压板将3块勾形压板松开，使零件处于自由状态。然后，用铜棒轻轻敲击工件，以释放压紧过程中产生的应力。

2.2.3 二次夹紧

之后，使用扭力扳手按照顺序逐渐将3块勾形压板重新拧紧，扳手设定扭矩此次调整为70N.m，以确保夹紧力适中。

2.2.4 浮动支承调整

接下来，将千分表固定在夹具上方，并使表针指在工件第四块压板附近部位（归零）。然后，用扳手拧紧浮动支承背面的调节螺钉，使浮动支承顶紧工件。当千分表指针指示在0.1mm左右时，用扳手将第四块压板均匀带紧，使千分表指针归零。

2.2.5 最终夹紧

最后，再次使用扭力扳手将3块勾形压板分别拧紧，并确保拧紧力度均匀。同时，将纵向紧定螺钉拧紧，以完成整个装夹过程。

2.3 切削刀具轨迹与参数优化

图4为优化前铣削气缸套配合孔时刀具轨迹，从孔中心直接向右移动，达到铣削深度后走螺旋插补进行铣削，刀具对工件径向冲击力大，易产生切削应力导致加工后工件变形^[1]。图4为优化后铣削气缸套配合孔时刀具轨迹，从孔中心圆弧插补移动，沿工件孔壁切向梯级达到铣削深度后走螺旋插补进行铣削，减少刀具对工件径向冲击力，进而减少切削应力导致加工后的工件变形。

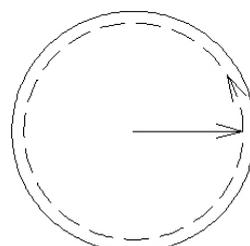


图4 优化前刀具轨迹图

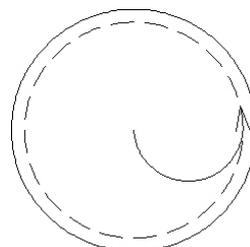


图5 优化后刀具轨迹图

表1为经过反复试验与摸索，优化后的切削参数，包括切深、进给以及转速。精铣阶段采用高转速+低进给，切入方向选择圆弧切入。加工后变形抑制效果明显。

表1 切削参数对比表

| 工艺阶段 | 传统参数 | 优化后参数 | 变形抑制效果 |
|------|---------------------------|--------------------------|----------|
| 粗铣 | 切深1.5mm, 进给0.3, 转速1500rpm | 切深1mm, 进给0.2, 转速2000rpm | 圆度误差↓20% |
| 精铣 | 切深0.2mm, 进给0.1, 转速2400rpm | 切深0.1, 进给0.05, 转速3000rpm | 圆度误差↓10% |

2.4 CMM在线测量与数据统计分析

2.4.1 水套CMM测量基准设定

以气缸套配合孔 $\phi 347$ 圆心为原点，与气缸盖配合孔 $\phi 338$ 共同轴线为X轴，气缸套配合孔指向气缸盖配合孔方向为X+，以对称的左右 $\phi 20$ 冷却水孔连线为Y轴，由左指向右方向为Y+，建立测量坐标系。测量基准与设计基准、加工基准保持一致，这样可以减少多个过程中的累计误差，大大提高了水套成品精度^[2]。CMM程序段如下：

```
DMISMN/'Start Template',04.0
```

```
FILNAM/'Start Template',04.0
```

```
DV(0)=DMESWV/'62,1,1,434'
```

```
UNITS/MM,ANGDEC
```

```
DECPL/ALL,DEFAULT
```

```
V(0)=VFORM/ALL,PLOT
```

```
DISPLY/TERM,V(0),STOR,DMIS,V(0)
```

```
TECOMP/OFF
```

```
SNSSET/APPRCH,5
```

```
SNSSET/CLRSRF,15
```

```

SNSET/DEPTH,0
D(0)=DATSET/MCS
MODE/MAN
T(CORTOL_X1)=TOL/CORTOL,XAXIS,-0.1,0.1
T(CORTOL_Y1)=TOL/CORTOL,YAXIS,-0.1,0.1
T(CORTOL_Z1)=TOL/CORTOL,ZAXIS,-0.1,0.1
T(DIAM_1)=TOL/DIAM,-0.1,0.1
$$Comment
GOTO/CART,1196.896,379.469,-49.954
$$<MEAS_PLANE name = "PLN001">
MODE/MAN
F(PLN001)=FEAT/PLANE,CART,762.209,347.168,
-493.886,1,0.001,0.002
MEAS/PLANE,F(PLN001),4
PTMEAS/CART,762.057,534.187,-472.77,1,0,0
PTMEAS/CART,762.647,351.94,-685.103,1,-0,0.001
PTMEAS/CART,762.344,160.24,-510.804,1,0,0.003
PTMEAS/CART,761.79,342.307,-306.861,1,0,0.002
ENDMES
$$<MEAS_PLANE = PLN001>
$$<MEAS_CIRCLE name = "CIR001">
MODE/MAN
F(CIR001)=FEAT/CIRCLE,INNER,CART,752.77,349.
583,-503.061,1,0,0,340.112
MEAS/CIRCLE,F(CIR001),4
PTMEAS/CART,753.106,374.007,-334.802,-0.001,-
0.002,-1
PTMEAS/CART,753.024,517.063,-473.663,-0.001,-1,-
0.002
ENDMES
$$<MEAS_CIRCLE = CIR001>
PAUSE
RECALL/SA(L189.65D4A90B90)
SNSLCT/SA(L189.65D4A90B90)
$$<MEAS_PLANE name = "PLN002">
MODE/MAN
F(PLN002)=FEAT/PLANE,CART,644.196,274.407,
-241.129,0,-1,-0.025
MEAS/PLANE,F(PLN002),4
PTMEAS/CART,690.991,275.451,-281.872,-0.004,-1,0
PTMEAS/CART,690.994,273.611,-208.53,-0.003,-1,-0
PTMEAS/CART,598.059,273.563,-208.49,-0.002,-
1,0.001

```

```

PTMEAS/CART,596.757,275.007,-265.817,0.001,-1,-
0.003
ENDMES
$$<MEAS_PLANE = PLN002>
DATDEF/FA(PLN001), DAT(A)
DATDEF/FA(PLN002), DAT(B)
DATDEF/FA(CIR001), DAT(C)
D(1)=DATSET/DAT(A),XDIR,XORIG,DAT(B),-YDIR,
DAT(C),YORIG,ZORIG
RECALL/DA(1)

```

2.4.2 误差测量方法

关键孔圆度检测，沿孔轴向等间距取3个截面，每个截面采集12个点云数据，通过最小二乘法拟合实际圆轮廓，计算圆度误差。垂直度检测，以相邻端面为基准平面，沿孔轴线方向测量孔壁的倾斜角度偏差。将测量数据及时反馈至加工环节，根据测量数据针对性的对加工变形进行补偿处理^[3]。

2.4.3 测量数据统计分析

水套CMM检测率为100%，而每只水套有近130个检测项点，按每天检测10个计算，每天统计分析的数据多达1300个，效率极其低下。经反复研究，摸索出了一套报告转换方法，具体操作如下：先把PDF的测量报告格式转换为TXT格式，然后将TXT数据导入Excel报告转换表格，再将数据选择性粘贴（选择数据）到对应数据栏，最后将通过Excel表格统计分析出加工状况。

3 结语

本文对R12V260柴油机水套的机械加工变形控制进行了一系列工艺试验与验证，取得了显著的成果。通过优化加工工艺、装夹方法以及切削参数等措施，有效控制了工件的变形，提高了加工质量和效率。使得水套在卧式加工中心上被成功加工制造，并形成批量生产；水套加工合格率由最初的不到60%提升至现在的97%以上。为同类型零件加工瓶颈提供了理论支撑与工程实践参考。未来，将继续深入研究R12V260柴油机水套的机械加工技术，进一步完善加工工艺和装夹方法。同时，还将探索更多先进的加工技术和设备，以提高加工精度和效率。

参考文献

- [1] 江海滨. 某型柴油机薄壁冷却水套加工工艺研究[J]. 柴油机, 2018, 40(1): 38-39.
- [2] 李峰, 周建荣, 王春草. 薄壁箱体零件加工变形分析与夹具优化设计[J]. 中国机械工程, 2021, 32(14): 1693-1699.
- [3] 刘献礼, 杨建国, 李洪. 高速切削加工技术在箱体类零件加工中的应用研究[J]. 机械工程师, 2013, (5): 45-48.