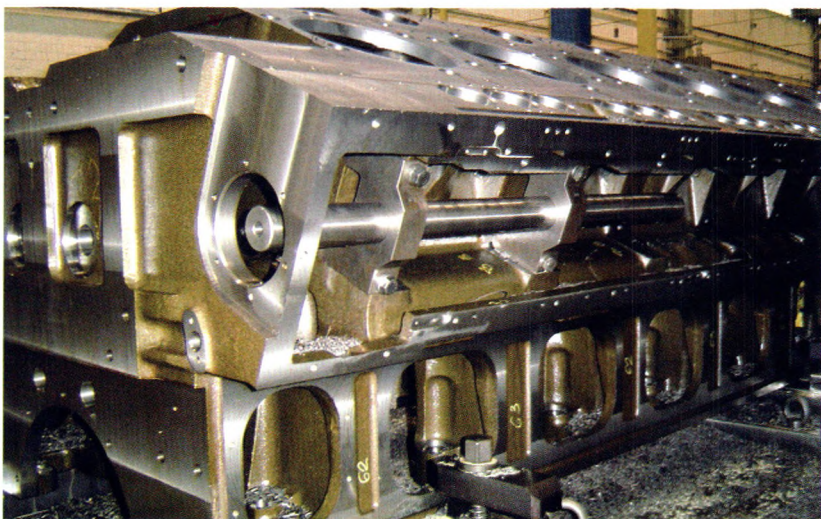


# 270型柴油机曲轴箱国产化工艺研究

■ 中车大连机车车辆有限公司（辽宁 116022） 孙文新

**摘要：**本文介绍引进的MAN B&W公司270型大功率柴油机曲轴箱的技术性能和结构特点，重点论述了关键大部件曲轴箱的国产化研制过程。采用防变形新工艺解决曲轴箱国产化的技术难点，提升了大功率柴油机制造水平。



270型柴油机为引进英国MAN B&W公司设计研发的大功率柴油机，其装机功率超过了4 410kW，具有成熟的使用经验。引进项目逐步完成由整机引进、散件组装到完全自主生产的过程，最终达到柴油机国产化的目标。

## 1. 柴油机及曲轴箱结构

270型柴油机采用机座式机体结构（见图1），机体由曲轴箱和机座组成，采用上下结构。曲轴箱和机座毛坯采用球墨铸铁QT500铸造，曲轴箱上加工有气缸孔和凸轮轴安装座孔，机座上

加工有主轴承孔和主油道孔，还包含有油底壳。曲轴箱、机座分别加工有安装结合面，通过紧固螺栓联接为一体。曲轴箱结构复杂，外形尺寸为3 640mm×1 500mm×1 000mm，壁厚差异较大，最厚处132mm，最薄处12mm。机加工尺寸和几何精度

很高。

270型曲轴箱为V形结构（见图2），是一个满足最大强度和刚度设计的整体铸造件，用来安装曲轴、凸轮轴、动力组和其他安装在柴油机上的附件，是柴油机国产化的关键大部件。

## 2. 曲轴箱国产化加工难点

曲轴箱如图3所示，其主要加工难点为：①左右缸孔夹角 $45^{\circ} \pm 20'$ 。②各凸轮轴安装座尺寸 $209.55^{+0.038}_{-0.038}$ mm。③各凸轮轴安装基准面的中心线对曲轴箱中心线的平行度0.051mm。④曲轴箱安装基面对称度 $0.102\text{ mm}/406\text{ mm}$ 、 $0.025\text{ mm}/406\text{ mm}$ 。底面平面度0.102mm。

## 3. 原加工工艺

按照箱体类工件的传统加工工艺，曲轴箱主要加工工序都安

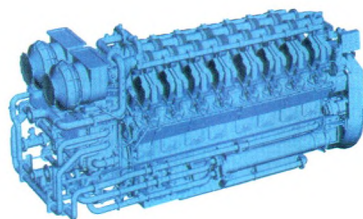


图1 270型柴油机结构

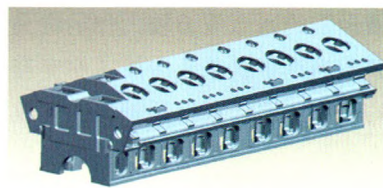


图2 270型柴油机曲轴箱

排在龙门加工中心上进行,共有3个加工工序。

(1) 工序一:曲轴箱基准面的加工(见图4)。采用6个平垫块均布支撑毛坯底平面,并用6个普通压板夹紧,粗、精加工A、B两侧共16个基准面,为工序二定位使用。

(2) 工序二:曲轴箱底平面C、D及各孔面的加工(见图5)。翻转曲轴箱采用16个平垫块均布支撑A、B两侧共16个基准面,并用16个普通压板夹紧,粗、精加工底面B、C,粗、精加工侧面E、F,粗、精加工侧面G、H及两端面各孔。

(3) 工序三:粗、精加工顶面及各面(见图6)。将曲轴箱翻转底面向下,粗、精加工顶面K、L,粗、精加工各凸轮轴安装基准面,粗、精加工侧面R、P及两端面各加工尺寸。采用6个平垫块均布支撑底平面,并用6个普通压板夹紧。

#### 4. 原工艺验证

由于曲轴箱为开放式结构,利用上述传统工艺加工完成后变形较大(见表1)。

曲轴箱安装面平面度超差,凸轮轴安装基准面的中心线对曲轴箱中心线的平行度超差,产品不合格。

#### 5. 防变形新工艺方案

通过分析认为,经过加工后曲轴箱的残余应力较大和定位夹紧不当产生误差是造成工件变形的主要原因。根据曲轴箱的开放式结构,为解决加工后工件变形较大和形位公差超差的问题,主要采取以下方案:

(1) 粗加工后由于切削量较大,曲轴箱的残余应力水平较高,通过振动时效降低残余应力水平。

(2) 采用斜楔定位消除定位产生的误差,定位面改16个小平面基准面为L、K基准面,该基准面对中心对称并有135°夹角,由于斜楔定位块有良好自锁性和对中性,所以能保证定位精度。

(3) 增加辅助夹紧工装以防止夹紧变形。由于曲轴箱开放式结构刚性不足,增加辅助夹紧工装(螺旋支撑机构Y和辅助螺旋夹紧机构W)来消除夹紧误差。

曲轴箱防变形新工艺共包括

五个工序,安排在龙门加工中心上进行,具体如下。

工序一:曲轴箱L、K基准面的加工。新工艺改用L、K面为基准面,采用角度面斜楔定位,如图7所示,采用6个平垫块均布支撑毛坯底平面,并用6个普通压板夹紧,加工L、K基准面,为工序二定位使用。

工序二:采用基准面L、K定位粗加工各面孔(见图8)。两侧面夹角135°的L面和K面为定位面,采用角度面斜楔定位提高定位精度,角度面斜楔定位R。六点定位夹紧,将该工位能加工到的各侧面进行粗加工,留量2mm。

工序三:振动时效均化曲

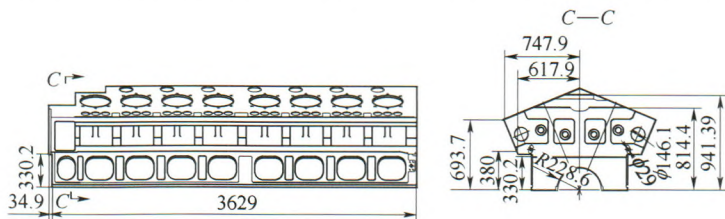


图3 曲轴箱尺寸

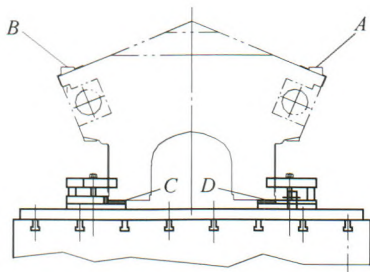


图4 工序一加工图

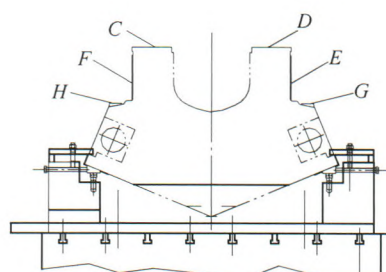


图5 工序二加工图

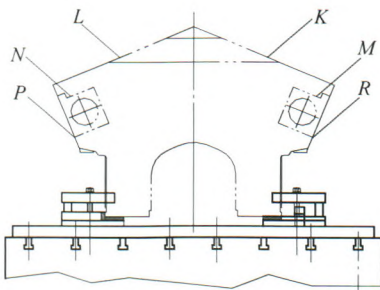


图6 工序三加工图

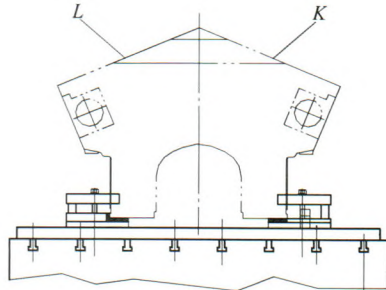


图7 新工艺工序一加工图

表1 曲轴箱成品不合格项表

| 序号 | 曲轴箱安装面平面度<br>(底面平面度要求为0.102mm) /mm | 凸轮轴安装基准面的中心线<br>对曲轴箱中心线的平行度<br>(要求为0.051mm) /mm |
|----|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1  | 0.28                               | 0.13                                            |
| 2  | 0.29                               | 0.14                                            |
| 3  | 0.21                               | 0.12                                            |

轴箱残余应力。具体实施方式如下。

①振动时效处理前的残余应力检测。为了准确得知振动时效对残余应力降低的实际效果，需要对曲轴箱振动处理以后的残余应力分布状态进行检测。采用的是盲孔法，该方法现场操作方便、准确，即在构件的检测处粘贴应变片，从中测得该处的应变数据，经过计算得到该构件的原始应力。为了更加准确地得到数据，按标准要求共计选择9点进行检测（见图9）。粗加工后曲轴箱做了应力检测，其结果如表2所示，其中 $\sigma_{\perp}$ 为垂直于机体长度方向的应力， $\sigma_{\parallel}$ 为平行于机体长度方向的应力。粗加工后曲轴箱内应力水平不算太高，但是有个明显的特点，就是应力分布不均，如垂直于曲轴箱长度方向的应力 $\sigma_{\perp}$ 中，第4点为-300MPa，而绝对值最小的为第7点，只有-119MPa。这种不均匀分布是造成结构易变形的根源，需要粗加工后做处理以降低残余应力。

②振动时效处理。将曲轴箱在地面倒放侧支，可以降低其刚度，减少噪声效果会好一些，故将机

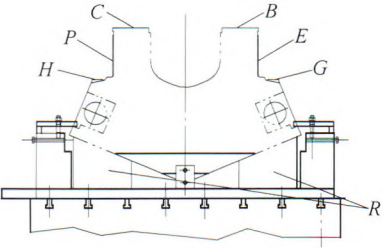


图8 新工艺工序二加工图

体侧放于地面，在距两侧边距1/3处进行四点支撑。扫描确定振动频率5 800r/min左右，确定振动时间及振动曲线的评定，经过

25min的振动处理，采用同样的方法在振前测试的选点附近再进行一次振动时效后的应力检测。经过振动处理后的机体残余应力降低了20%以上，并且振后的各点应力处于明显的均化状态，具体数据如表3所示，完全符合JB/T 10375—2002标准要求。

工序四：采用基准面L、K定位精加工各面孔（见图10）。

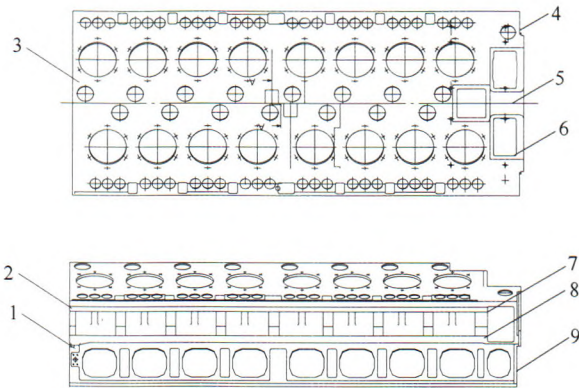


图9 机体应力测点分布图

表2 曲轴箱应力检测结果

| 点号   | $\varepsilon_0$ | $\varepsilon_{45}$ | $\varepsilon_{90}$ | $\sigma_{\perp}$ /MPa | $\sigma_{\parallel}$ /MPa |
|------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1    | 195             | 103                | 75                 | -167                  | -157                      |
| 2    | 171             | 168                | 76                 | -171                  | -124                      |
| 3    | 247             | 128                | 75                 | -236                  | -150                      |
| 4    | 147             | 98                 | 158                | -180                  | -185                      |
| 5    | 70              | 122                | 183                | -123                  | -179                      |
| 6    | 108             | 43                 | 79                 | -119                  | -105                      |
| 7    | 158             | 131                | 151                | -187                  | -183                      |
| 8    | 189             | 157                | 159                | -216                  | -201                      |
| 9    | 298             | 177                | 135                | -300                  | -219                      |
| 应力水平 | —               | —                  | —                  | -188.7                | -167                      |

表3 曲轴箱振动时效处理后应力检测结果

| 点号   | 振动时效后           |                    |                    | $\sigma_{\perp}$ /MPa |        | 消除率<br>(%) | $\sigma_{\parallel}$ /MPa |       | 消除率<br>(%) |
|------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------|------------|---------------------------|-------|------------|
|      | $\varepsilon_0$ | $\varepsilon_{45}$ | $\varepsilon_{90}$ | 振动时效前                 | 振动时效后  |            | 振动时效前                     | 振动时效后 |            |
| 1    | 145             | 2                  | 105                | -167                  | -160   | —          | -157                      | -140  | —          |
| 2    | 177             | 120                | 135                | -171                  | -137   | —          | -124                      | -116  | —          |
| 3    | 202             | 139                | 82                 | -236                  | -200   | —          | -150                      | -140  | —          |
| 4    | 168             | 142                | 79                 | -180                  | -170   | —          | -185                      | -126  | —          |
| 5    | 77              | 36                 | 58                 | -123                  | -85    | —          | -179                      | -76   | —          |
| 6    | 114             | 104                | 57                 | -119                  | -116   | —          | -105                      | -88   | —          |
| 7    | 123             | 113                | 104                | -187                  | -140   | —          | -183                      | -131  | —          |
| 8    | 69              | 135                | 159                | -216                  | -159   | —          | -201                      | -114  | —          |
| 9    | 186             | 159                | 78                 | -300                  | -186   | —          | -219                      | -132  | —          |
| 应力水平 | —               | —                  | —                  | -188.7                | -150.3 | -20        | -167                      | -129  | -22.6      |

精加工时为避免曲轴箱开放式结构刚性不足,增加辅助夹紧工装(螺旋支撑机构Y和辅助螺旋夹紧机构W),消除夹紧误差,避免刀具切削时振动的产生。

采用螺旋夹紧机构W辅助夹紧系统刚性较差的端部,如图11所示。

工序五:曲轴箱翻转底面精加工顶面K、L。粗、精加工气缸孔及各凸轮轴安装座,粗、精加工侧面及两端面各加工尺寸,如图12所示。曲轴箱底面两端开口处增加螺旋支撑机构Y,以增加加工系统刚性,减少刀具切削时工件的振动产生的夹紧误差。

## 6. 结语

柴油机曲轴箱防变形新工艺增加了振动时效工序,显著降低了曲轴箱较高的残余应力水平,采用新的定位夹紧方法,消除了定位夹紧误差,增加辅助夹紧工装防止夹紧变形,不仅保证了曲轴箱关键部位的加工尺寸,而且加工形位公差完全符合图样要求,实现了曲轴箱的国产化,达到替代进口件的要求,满足了柴油机国产化的要求,达到了国际先进水平。

## 参考文献:

[1] 赵如福. 金属机械加工工艺人员

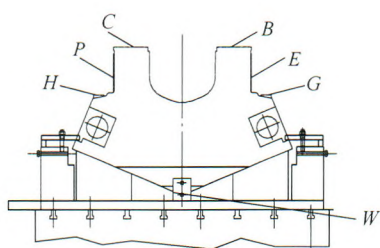


图10 新工艺工序四加工图

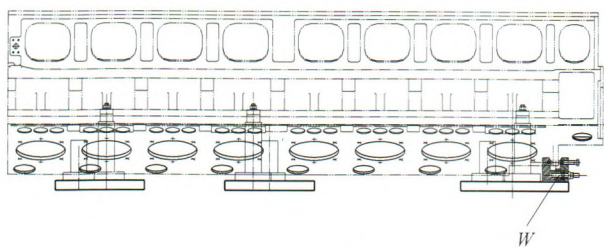


图11 夹具

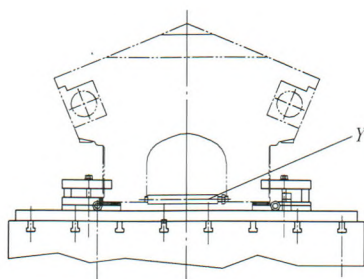


图12 新工艺工序五加工图

手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.

[2] 相瑜才, 孙维连. 工程材料及机械制造基础(I) [M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.

[3] 王启平. 机械制造工艺学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990.

[4] 陆修涵. 柴油机[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1986.

MW (收稿日期: 20160902)

## 专家点评



该文以大功率柴油机曲轴箱为例,从其技术性能和结构特点出发,针对加工后变形较大和形位公差超差的问题,采用防变形新工艺,解决了曲轴箱国产化的技术难点,完全达到了替代进口件的要求,为提升国内大功率柴油机的制造水平做出了成绩。

## 我国将推进绿色制造标准体系建设

工信部节能与综合利用司表示,我国将推进绿色制造标准体系建设。到2020年制定一批基础通用和关键核心标准,形成基本健全的绿色制造标准体系,到2025年,绿色制造标准在各行业普遍应用,同时加快绿色产品、绿色工厂、绿色企业、绿色园区、绿色供应链等重点领域标准制定。工信部提出,以开发绿色产品、建设绿色工厂、壮大绿色企业、发展绿色园区、打造绿色供应链为重点,加快标准制定工作,成套成体系地推进绿色制造标准化工作,推动加快建立绿色制造体系。此外,工信部还将推进绿色设计示范和绿色设计产品评价试点,通过示范试点在全社会范围推广绿色制造理念,提升绿色产品市场竞争力。