卧式镗床精密主轴箱体孔系加工

沈机集团昆明机床股份有限公司 （云南 650203） 吕菊芳 王永明 朱宝明 陈正祥

主轴箱是机床的重要部件，是比较典型的箱体零件，它将机器及部件中的轴、轴承和齿轮等零件按一定的相互位置关系装配成一个整体，并按预定传动关系协调其运动。主轴箱采用多级齿轮传动，通过一定的传动系统，经主轴箱内各个位置上的传动齿轮和传动轴，最后把运动传到主轴上，使主轴获得规定的转速和方向。

1. 主轴箱的结构特点及技术要求

主轴箱外部由六个平面组成，内部为空腔形，有些部位有“隔墙”，箱体壁薄且厚薄不均。箱壁上布置有平行孔系或垂直孔系。各孔系之间及孔与面之间的精度要求较高，主要包括：孔系之间平行度，同一孔系各孔的同轴度，孔轴线与端面的垂直度等。

我公司生产的主轴箱外形尺寸较大，孔的尺寸精度及几何精度要求较高。以T6113系列主轴箱为例，外形尺寸为1 050mm×1 000mm×757mm；最大孔径为310mm；主轴孔的尺寸公差为0.01mm，圆柱度为0.006mm、同轴度为0.015mm、孔端面与孔轴线的垂直度为0.006mm；各孔系轴线与导轨面的平行度、垂直度为0.02mm；各孔系轴线之间的平行度为0.015mm；各孔系轴线之间距离尺寸精度为0.02mm。

保证孔系加工精度是主轴箱加工工艺的关键，要保证如此高的精度要求，必须采用特殊的工艺加工手段。以下对主轴箱加工工艺及加工方法进行分析。

2.主轴箱加工工艺的制定

在制定工艺规程时，遵循先粗后精、先面后孔原则，合理安排热处理工序，消除铸造应力和加工应力。主轴箱的生产工艺流程如下：

铸造成型→热时效→划线→粗铣面→粗镗孔→热时效→油漆→精铣面→半精镗孔→精镗孔（两端孔）→精镗孔（中路孔）→钳。

主轴箱加工中，平面加工精度比孔的加工精度容易保证，在龙门铣上进行粗铣和精铣就能保证各面的精度要求。而主轴箱上孔的尺寸精度、形状精度和表面粗糙度直接影响轴承与箱体孔的配合精度和轴的回转精度，也是产生振动和噪声的主要因素。下面重点分析孔系的加工。

3. 典型主轴箱孔系加工方法

根据主轴箱的结构特点及孔的精度要求，材料性质等，确定孔加工方案为粗镗 → 半精镗 → 精镗（铰），其精度等级可达到IT7～8，表面粗糙度值可达到R_a=1.6～0.8 μm。

典型的孔系加工方法如下：

（1）机床保证法（坐标法）：该方法采用卧式加工中心加工，利用其回转工作台，对主轴箱体四周进行多工位多工步的连续加工。 使用该方法加工，只需做个简易定位夹具，将主轴箱体装在夹具上，在一次装夹中，转动回转工作台，就可以全部将主轴箱中各孔系加工出来。这种加工方法完全依赖机床的加工精度来保证孔系的精度。镗孔时，由于机床主轴处于悬臂状态，主轴的挠度偏差将大大降低加工零件的直线度，如图1所示。

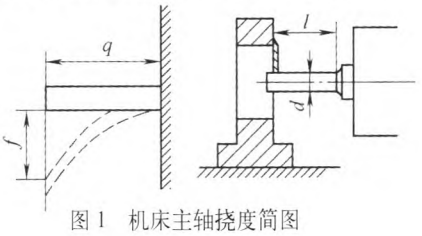


图 1 机床主轴挠度简图

$$f(x)=qx^4/(8EJ) \quad (1)$$

式中，f为镗杆的挠度（cm）；q为镗杆单位工作长度的重量（N/cm）；x为镗刀杆的有效长度（cm）；E为镗刀杆材料的弹性模量（N/cm^2）；J为镗刀杆横截面的惯性矩（cm^4）。

由此可见，机床保证法有如下特点：

第一，加工零件的质量完全取决于机床自身的精度。若加工零件要求很高的加工精度，则相应需要精度更高的机床才能满足，设备成本较高。

第二，该加工方法只能加工孔系跨距较小的箱体类零件，孔系跨距太长将会由于主轴挠度的影响使得孔系的同轴度和直线度大大降低，主轴箱工作时会产生严重的振动和噪声，不利于产品的高速性和低噪性。

第三，很难保证孔系轴线与端面的垂直度要求。主电动机采用法兰联接直接安装在端面上，需要很高的孔系轴线与端面的垂直度。如果这方面精度不能保证，需要在中间加入联轴器，这样便增加了传动环节，不仅影响传动效率，还增加了设计成本。

（2）镗模法：该方法主要通过设计制作专用工装镗模（见图2），将镗模固定在机床工作台上，将工件放入镗模夹具中，镗杆由镗模支承，镗杆与机床之间采用万向节柔性联接。这样，机床误差不会直接影响工件的镗孔精度，孔距精度主要取决于镗模自身的精度和安装质量。镗刀杆采用两端固定式，大大降低了镗刀杆的挠度。其挠度方程为

$$y(x)=qx(l^3-lx^2+x^3)/(24EJ) \quad (2)$$

式中，l为两镗模间的距离固定端的距离；$y(x)$为镗模法的挠度曲线。

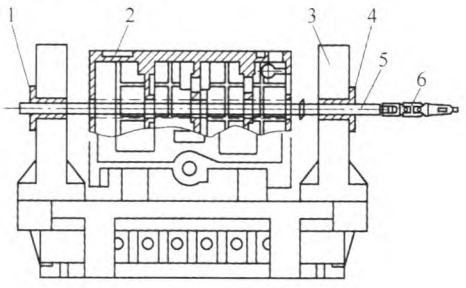


图2 镗模法加工

1、4.钢套 2.主轴箱 3.镗模夹具 5.镗杆 6.万向节

由此可见镗模法较机床保证法具有很大提升，消除了机床保证法不能加工大跨距孔系的局限性。

镗模法有如下几个特点：

第一，在切削过程中，提高了切削工艺系统的刚性和抗振性，适合加工长孔（镗杆长径比$l/d>10$），减小了镗杆的挠度。

第二，镗杆与机床主轴采用万向节柔性联接，消除了机床主轴误差对工件加工精度的影响。

第三，零件是以底面安装在镗模上，以底面为基准加工孔系，只能保证底面与孔系的平行度，而不能直接保证端面与孔系的垂直度；只能通过保证端面与底面的垂直度进而保证孔系与端面的垂直度要求，这样就会将底面与端面的垂直度偏差带入孔系垂直度，使得孔系垂直度很难保证。

第四，镗模使用一段时间后，镗套（铜套）与镗杆之间的磨损会使二者之间产生较大间隙，直接影响加工精度，因此在使用一段时间后就必须更换镗套，成本较高。

第五，在加工中，受镗模的影响，观察和测量困难。

第六，镗模制造周期长，成本高。

第七，镗模各孔系之间的相对位置是固定不变的，一套镗模只能适应一种规格的箱体零件加工，镗模加工柔性很差，只适应于大批量、专用零件的加工。

4. 改进后的孔系加工方法

随着科学技术的飞速发展，社会对机械产品的性能、精度、效率、品种等要求越来越高，单件与中小批量产品的比重越来越大。针对产品品种多样化、需求和生产批量逐渐为单件、小批量的特点，深入研究和分析了常用加工方法存在的问题，采用了一种新的孔系加工方法：在高精度卧式加工中心机床上先加工出箱体最外两端的孔，再在普通卧镗上，在外端的孔里装上镗套，用镗套支承长镗杆（相当于间接用主轴箱自身做镗模），来精镗内部的孔。这是镗模法与机床保证法的结合，它既充分利用了高精度数控机床高精度的特点，又利用了普通机床低成本、高效率的优势。如图3所示。

从图3可以看出，镗套由调整套和法兰组成，法兰主要用来保证中心孔与法兰贴合面的垂直度，通过设计不同外径的调整套用来适应不同的孔系大小。该方法即有镗模法两端固定式减小镗杆挠度的优点，又能保证孔系与端面的垂直度要求，还大大

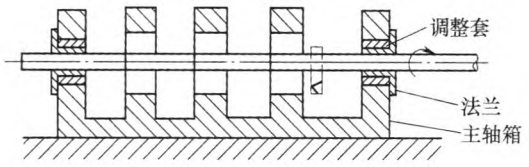


图 3

提升了镗套的加工柔性，适应范围广泛。同时，镗套外形尺寸小，重量轻，安装调试简单，大大减少了夹具安装的辅助时间，提高了生产效率；其制造成本较之镗模低很多，只有镗模成本的10%左右；镗套的维护成本也很低，只需要常规的周期校验就行。

这种改进技术不仅大大降低了设备成本，提高了生产效率，还显著提升了加工零件的各项精度，并且适应范围广泛，具有较高的柔性，较典型的加工方式具有很高的先进性。

为了尽量提高加工效率，可通过刀杆挠度的计算来决定每一孔系在保证精度的前提下用卧式加工中心机床可镗的最大深度，超过此深度的孔，在普通卧镗上用外端已加工孔内装镗套支承镗杆的方法进行精镗。

5. 刀具的选择

在主轴箱孔系的加工过程中，主要使用以下两种镗刀：

（1）定位镗刀，如图4所示，主要用于主轴箱的半精镗。使用时必须与相应直径的镗杆配合使用，一般直径方向留余量0.1mm左右，再用浮动镗刀精镗至图样尺寸要求。

（2）浮动镗刀，如图5所示，主要用于主轴箱孔的最后精加工。该镗刀在镗孔时不完全固定，其在镗杆上的方孔内能够自由滑动，由两对称的切削刃产生的切削力自动平衡其位置，因此可自动补偿因刀具安装误差或由于镗杆的径向跳动和弯曲而引起的加工误差。它是一种操作简单，加工精度高，生产效率高的理想刀具。

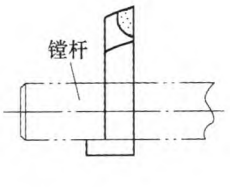


图4 定位镗刀

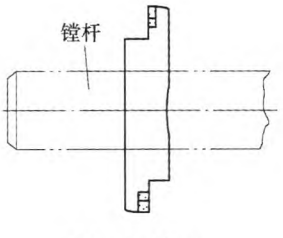


图5 浮动镗刀

6. 结语

公司主要采用两种方法加工主轴箱箱体：

（1）小规格尺寸的主轴箱采用机床保证法（坐标法）在高精度卧式加工中心上加工，孔系最终加工精度取决于机床自身的精度，容易保证加工质量。

（2）大规格尺寸的主轴箱采用改进后的方法加工，即机床保证法（坐标法）与镗模法相结合的方法，这种方法合理利用了粗、精加工设备，大大提升了箱体类零件的加工精度和加工效率。

这种新型的工艺方法特别适合孔系跨距很长的零件加工，解决了长期以来孔系同轴度差，端面垂直度难保证的技术难题；满足了产品多样化，个性化的市场要求；降低了生产成本，提高了生产效率，为企业创造了良好的经济效益。该技术的推广应用，促进了我公司加工工艺水平的发展，对同行的工艺技术人员具有较好的参考价值。**MW**

（收稿日期：20130325）

《金属加工（热加工）》2013年第18期要目

起重机超大型减速机箱体焊接工艺
不锈钢药芯焊丝E309LT1—1在电站锅炉燃烧器上的应用
螺柱焊在核电焊接应用中质量影响因素控制要点分析
P22与P91异种钢焊缝冲击韧性试验研究
固态高频焊接薄壁H形钢试验
客车车体钢机构组装质量控制
后桥壳本体大环面装焊不平的原因分析及解决方法
由靖西三线谈提高长输管道一次焊接合格率
42CrMo锯片支撑环的焊接
钛材罐体侧向加装搅拌装置的改造
中碳钢调质钢30CrNiMo8与S335JR异种钢的焊接
大型齿套内花键加工缺陷补焊
雷达钛合金天线骨架焊接工艺研究
摇臂壳体堆焊耐磨材料的工艺试验
数控滚齿机辅助工作台焊接变形的控制
T91与T22异种钢焊接中存在问题的分析
浅谈A335GrP22钢管道焊缝裂纹原因及焊接施工管理
X80管线钢配套焊条CHE657GX的研制