

风电齿轮箱行星轮定位孔 精加工难点分析

中国人民解放军第3303工厂武汉云鹤齿轮传动有限公司 (湖北 430200) 刘建生 周贤泉



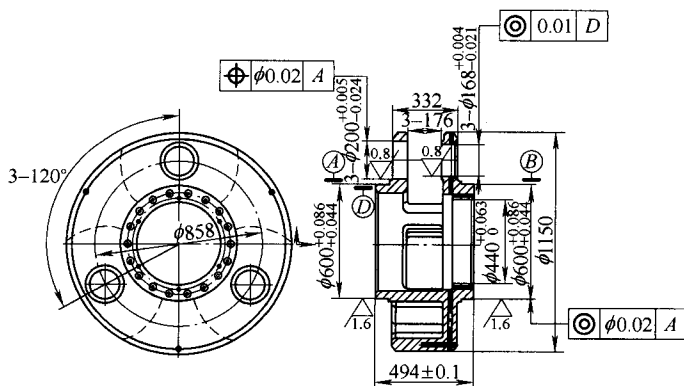
质量总检刘建生

风电齿轮箱是风力发电主机的关键重要部件，其设计与制造的科技含量非常高，而且对生产企业的管理水平、厂房设备、人员技术都提出了相当高的要求。如果没有较强的实力，要想生产出合格的、使用寿命达到20年的风电齿轮箱是难以实现的。

附图是某型3.0MW风电齿轮箱二级行星架简图。它上面有三个行星齿轮定位孔，用来安装二级行星齿轮，二级行星齿轮内部与二级太阳轮相啮合，外部与二级内齿圈相啮合。二级行星架是一个中间环节构件，它的结构设计和制造质量对各行星轮间的载荷分配以及传动装置的承载能力、噪声和振动等，都有非常重大的影响。其中最关键部位就是三个行星齿轮定位孔的位置必须非常精确，否则将会严重影响齿轮啮合侧隙，造成非均载啮合，引起轮齿受力不均、增大振动和噪声，严重时将造成齿轮卡死甚至断齿等恶性故障。

从图中我们知道，3个孔在理论正确值 $\phi 858\text{mm}$ 的直径上 120° 均布，位置度要求为 $\phi 0.02\text{mm}$ ，也就是说被测要素的轴线位置只允许在 $\phi 0.02\text{mm}$ 圆柱

空间内任意偏移。此类的公差要求只能用三坐标测量机来检查，一种是测量孔的极坐标位置，另一种是测量孔的直角坐标位置，这两种方法得出的结果是一样的。为了方便说明，我们采用直角坐标值来分析。



3.0MW风电齿轮箱二级行星架简图

镗一个精孔要想达到 $\phi 0.02\text{mm}$ 的位置度要求只有一种情况是你不用担心超差的，即X轴、Y轴误差偏移量都不大于 0.007mm ，这种判断是基于国家标准位置度的计算公式。我们假设X轴、Y轴实测偏移量同为 0.007mm ，代入位置度计算公式

$$f = 2\sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 2(0.007^2 + 0.007^2)^{1/2} = 0.019798 \text{ (mm)}$$

计算结果已经非常接近 0.02mm ，这就告诉我们误差偏移量不能再大了，否则有可能超差。还有一种情况是：当一个误差值小于 0.007mm ，另一个误差值可以大于 0.007mm ，这时零件有可能合格，但无论如何误差偏移量都不允许大于 0.01mm 。因为

$$f = 2\sqrt{0.01^2 + 0^2} = 0.02 \text{ (mm)}$$

计算结果告诉我们：当某个误差值达到最大 0.01mm 时，另一个误差值只能为0。这种特例只在

理论上成立。

这里应该强调的是：坐标偏移量并不等同于位置度，它只是用来计算位置度的参数。总而言之，在这里轴线长度为332mm，直径为0.02mm的圆柱空间，才是二级行星架行星轮定位孔的极限位置边界。谈到这里，大家对 $\phi 0.02\text{mm}$ 位置度要求应该会有比较清醒的认识了。可以说这是一项非常苛刻的技术要求。

现在我们来分析影响二级行星架位置度超差的主要因素有：①材料与铸造内应力肯定是存在的，只有通过时效处理来消除，尤其是精加工前应做透去应力热处理，将应力变形减少到最小。②合理安排加工工艺，一定要细化粗、精加工工序，工艺上要尽量少留精加工余量。③做准做好定位基准面（两处 $\phi 600_{+0.088}^{+0.044}\text{mm}$ ），形位误差尽量控制在最小。④机床设备必须在恒温恒压车间里。⑤机床设备自身的精度要高。当然，人的因素也异常关键。

以上几个因素中机床设备自身精度是影响位置度误差的最主要因素。二级行星架主要的加工设备是数控立车和立式加工中心。我单位有齐齐哈尔2.5m数控立车端面跳动0.015mm/1 000mm，径向跳动0.015mm/1 000mm；台湾友嘉2m×4m龙门加工中心定位精度0.019mm，重复定位精度0.015mm，循环精度0.015mm。外协单位德国德马吉2.5m立式加工中心定位精度0.015mm，重复定位精度0.006mm。通过对机床的校验分析我们认为，要想达到 $\phi 0.02\text{mm}$ 位置精度，合格概率只有30%。经过试加工，三件产品在三坐标检测（海克斯康桥式三坐标测量机，自身精度0.005mm）结果如下：

1号工件： $f_1=0.018\text{mm}$ ， $f_2=0.026\text{mm}$ ， $f_3=0.07\text{mm}$ 。

2号工件： $f_1=0.011\text{mm}$ ， $f_2=0.033\text{mm}$ ， $f_3=0.048\text{mm}$ 。

3号工件： $f_1=0.011\text{mm}$ ， $f_2=0.020\text{mm}$ ， $f_3=0.035\text{mm}$ 。

实测数据告诉我们，现有机床设备还不能完全满足如此高精度的加工要求，即使是目前世界顶尖级的德马吉机床，其自身定位精度也只能达到0.015mm，加上重复定位精度0.006mm，谁也不敢说有100%的把握保证如此高的位置度要求。

影响二级行星架齿轮定位孔位置精度的因素环

节来自于方方面面，尤其是机床数控系统人为无法控制，坐标移动完全依赖全闭环数控系统，定位误差与重复定位误差往往同时存在，这两项误差累积若大于或等于产品的公差值工件能够保证加工合格吗？显然是不现实的，况且，在校正加工测量全过程中系统误差无时不在。只要有一个偶然因素的存在就有可能造成产品超差，因此，我们千万不能因为二级行星架形状简单而忽视了它的加工难度。

根据以上分析，我们认为，要想加工出精度合格的二级行星架，除了对文中提到的影响二级行星架孔位置精度的五个主要因素进行严格的质量控制之外，关键是要从设计上综合考虑零件的使用性能和加工工艺性，调整整体结构，给定准确合理的孔位置公差值。目前，为了弥补高精加工的不足，国外富有经验的设计公司在风电齿轮箱设计时，大量采用柔性轴等均载机构来改善行星齿轮啮合状况，同时可以放宽行星架上行星轮定位孔的位置精度而降低加工难度和生产成本。最后，在产品试装配检测时我们发现，二级行星架行星轮定位孔位置度若小于0.04mm，齿轮啮合面积均大于90%，啮合侧隙完全合格。

以上分析是我们通过实践总结摸索出的浅显认识，希望业内同行精英多多指教。MW

（收稿日期：20120305）

（上接第15页）

（5）不定期召开国产刀具研发专题交流会，并有针对性地组织技术攻关，探讨解决刀具国产化中出现的问题。

刀具国产化是一项长期的工作，指导方针应是先易后难、先急后一般，并能脚踏实地取得实效，稳步前进。

刀具国产化并不是说以后我们不再需要进口国外刀具，而是说进口刀具时我们要更加慎重，要货比三家，国内优质并能替代国外同类水平的刀具，我们应予以优先考虑，但对于工厂急需的国外高性能、高水平并能取得高效、高质量、高寿命、能解决我们加工难题或有其特色的刀具，我们还应进口。另外用好国外具有时代特色的新刀具，能给予我们启示，为我们今后研制、开发更高水平的刀具创造有利条件。MW （收稿日期：20120612）