

# 垂直轴风电增速箱体加工技术分析

施国卫<sup>1</sup>, 谢达<sup>2</sup>

(1. 杭州前进齿轮箱集团股份有限公司, 浙江 杭州 311203;

2. 浙江省全省高端智能装备齿轮传动系统重点实验室, 浙江 杭州 311203)

**摘要** 垂直轴风电增速箱组件形状结构不规则, 加工基准与设计基准不能统一, 给箱体加工带来了难题。为解决该加工问题, 通过考虑设计基准与工艺基准的转换方法, 找出镗孔的工艺基准, 根据粗精加工分配加工余量。合理地安排工艺的加工顺序和工艺尺寸数据的换算, 通过计算箱体旋转的角度和主轴的位移量, 确保在大圆弧面上打孔的精度。箱体需在合适的位置加工装夹缺口, 设计必要的工装及刀具。经以上加工方案的实施, 使箱体的加工过程符合常规零件加工的通用方法, 并且箱体的加工精度能达到图纸的要求。该方法表明, 不规则零件加工可以通过基准转换、数据换算等方法实现通用加工。

**关键词** 大型复杂箱体; 组合加工; 基准转换

中图分类号: TM315; TH136

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.04.002

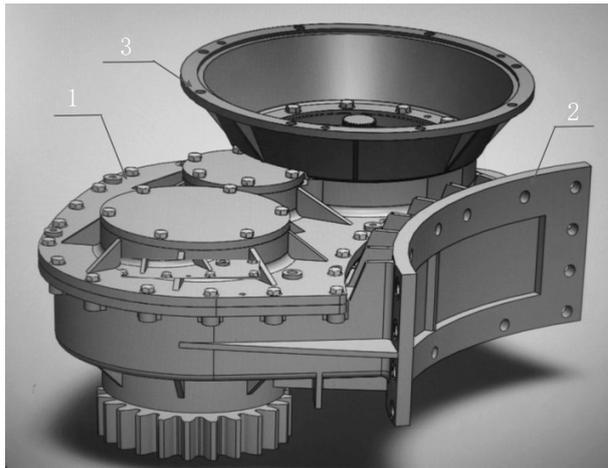
## 0 引言

垂直轴风电增速箱相较目前的水平轴风电增速箱具有安全可靠、低噪声、抗风电能力强、发电效率高等特点, 在风向改变时无需对风是垂直风电增速箱的最大优势<sup>[1]</sup>。该风电增速箱采用模块化设计, 有效降低了风电增速箱的维护成本。虽然垂直轴风电增速箱有诸多优点, 但受限于其安装方式, 其箱体组件结构由于是采用模块化设计, 所以设计成扇形模块进行组装, 该设计造成了箱体的设计基准与加工基准不能达到一致。箱体是增速箱的主要部件, 该箱体采用的基准转换加工工艺方案是一种很好的创新思路, 其工艺方法的有效决定了该项目研制的成功与否。

## 1 箱体结构及尺寸精度工艺分析

垂直轴风电增速箱的主要构成为箱盖、箱体、罩壳(见图1), 该箱体因其结构为扇形, 设计的箱体薄壁、形状不规则, 造成装夹难度提升。特别是扇形圆弧面, 很难找出它的中心位置, 这增加了机械加工的难度。由于箱体的设计基准是一个理论的中心位置, 几乎没有一个平面和中心能去做工艺基准<sup>[2]</sup>, 这就需要转变思路, 把基准 $\Phi 1700H7(^{+0.15}_0)$ 的大圆弧的中心转换到图2 $\Phi 360H7$ 孔的中心, 从该方案着手, 找出最理想的定位孔及起始的基准平面, 利用最简单的芯轴定位和数据处理, 使复杂的箱体加工及装夹<sup>[3]</sup>变得非常方便。

从孔的定位角度来讲, 定位精度获得了提升, 完全能满足箱体设计的要求。



(注: 1- 箱盖; 2- 箱体; 3- 罩壳。)

图1 垂直轴风电增速箱

该箱体部件主要由箱体、箱盖组成, 材料均为QT 350-22AL, 基体厚为12 mm, 未注筋肋厚15 mm, 形状如扇形, 最大圆弧半径为R1790, 最大孔径为 $\Phi 360H7(^{+0.057}_0)$ , 孔距误差最小为 $\pm 0.026$  mm, 箱体、箱盖自由状态下结合后剖分面应密合, 用0.05 mm塞尺检查, 塞入深度不得超过剖分面的三分之一。箱体、箱盖合箱后边缘应平齐, 误差不大于3 mm。箱体的理论中心为 $\Phi 1700H7(^{+0.15}_0)$ 圆弧的圆心, 但此圆弧形状如

作者简介: 施国卫(1976-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 机械加工及工艺装备领域。

一个扇形,找到圆心十分困难,因此需要进行基准转换。按工件的形状分析,设定  $\Phi 230H7\left(\begin{smallmatrix} +0.046 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  孔为原点中心进行数据转换处理对镗加工来讲比较方便,利用计算机绘图软件把工件图形绘制好,设定好坐标系原点后,逐一查询出每个孔的坐标。该箱体的装夹也是一个问题,扇形的结构给装夹及加工带来了难度,需在非重要部位自行作出压装位置。箱体的组合加工难点在于结合面的精度以及如何合理地借准毛坯,使各个螺孔的位置基本在箱体上各搭子的中心。安装孔分布在大圆弧面上,大圆弧的中心要精确找出是很困难的,所以给加工安装孔工艺带来了难题。如果采用划线来找正加工安装孔,产生误差也很大。因此,必须制定合理的加工方案,使其能精确地作出大圆弧面上的安装孔。所以,该箱体的制造加工方案是该增速箱成功的关键。

## 2 箱体加工的步骤及方法

箱体的加工首先要考虑毛坯的准确性。第一步是要求钳工划出箱体高度方向的加工余量线,特别是粗糙度为 Ra6.3 的大圆弧底面,必须与箱体结合面垂直。加工时找划线基准铣出粗糙度为 Ra6.3 的工艺基准面,考虑装夹问题,分别在工艺基准面的大圆弧反面铣出四个搭压板缺口。第二步以粗糙度为 Ra6.3 的工艺基准面为基准,在缺口处搭四块压板,粗铣箱体结合面,并放 2 mm 余量。第三步进行工艺中心基准转换,以  $\Phi 230H7\left(\begin{smallmatrix} +0.046 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  孔为中心,按绘图软件查询的坐标为依据,去找实物  $\Phi 230H7\left(\begin{smallmatrix} +0.046 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  孔的中心,这一步是相当关键,涉及其余两个大孔的余量均匀及各搭子上螺孔是否能作出。而且也要考虑三个大孔凸台外圆是否同心。如果满足以上条件就可以进行大孔的粗加工。在人工时效前,大孔应放 5~6 mm 余量,各螺孔等到时效回来后再加工。人工时效结束后,以粗糙度为 Ra6.3 的工艺基准面为基准,压紧箱体,铣结合面放 0.5 mm 余量,然后校正  $\Phi 230H7\left(\begin{smallmatrix} +0.046 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  孔,镗各大孔均放 3~

4 mm 余量,各凸台面铣到位。接着在结合面上作螺孔,作孔分为四个步骤:中心钻点孔、作底孔、孔口倒角孔、攻丝。待所有孔加工完毕后,再用进口飞刀盘精加工结合面。为了保证高平面度,须用手工进给,铣削顺序是从左到右、从上到下的步骤进行。

## 3 箱本组合加工技术

待箱体、箱盖半精加工结束后,就进入组合镗工序。首先,让箱体和箱盖自由结合,用 0.05 mm 的塞尺进行检查,如果达不到要求时进行修正。其次,设计制作三个工艺螺栓所示,分别装入结合面上的三孔之中,作用与销子类似,使箱体、箱盖能基本对齐,缩小因螺孔间隙产生的错位,然后安装其余螺栓并拧紧。准备工作结束后把箱体组件固定的镗床台面上,找正  $\Phi 230H7\left(\begin{smallmatrix} +0.046 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  孔,并检查  $\Phi 1700H7\left(\begin{smallmatrix} +0.15 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  大圆弧余量是否均匀,按坐标值先镗出三个定位销孔,并配入销子,开始镗各大孔,用可调镗刀杆,主轴转速至 250 r/min,进给量调整至 40 mm/min,中孔一次镗出,保证了箱体、箱盖孔的同心度要求,镗孔结束后刮粗糙度 Ra3.2 凸台面,并作端面上的分布螺孔,用内径千分尺分别对孔径进行测量,尽量保证尺寸在“0”位附近。然后作  $\Phi 500j7\left(\begin{smallmatrix} -0.031 \\ -0.032 \end{smallmatrix}\right)$  凸台外圆,圆环的高度尺寸暂不控制,这样的好处是外径千分尺不会因测量部分太短而无法测量,所以等尺寸到位后再铣到图示高度尺寸即可。等一面加工好后调头 180°,校正已镗孔,作  $\Phi 100M7\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0.035 \end{smallmatrix}\right)$ ,并铣大孔的凸台面及作相应的螺孔完成组合加工。

## 4 大圆弧面上安装孔加工

箱体组合加工好后拆箱并做好配对,标记上专用大型夹具<sup>[4]</sup>,夹具采用常用的一面两销形式定位箱体<sup>[5]</sup>。为了方便测量,须用一组二只箱体同时在 5 m 立车上加工  $\Phi 1700H7\left(\begin{smallmatrix} +0.15 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$  大圆弧,等圆弧加工结束后,再

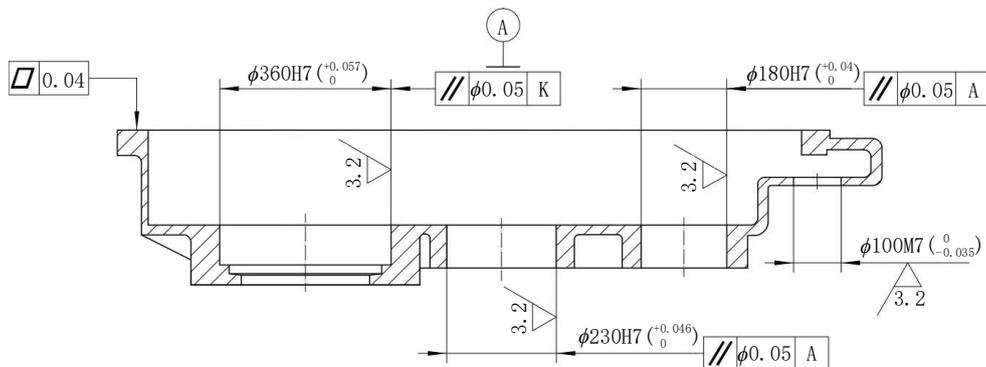


图 2 箱体加工图

进行最后的圆弧面安装孔的加工。采用一般的办法是要找出大圆弧的中心,再分度作孔,该方案在镗床上不可行,最关键的问题是从圆弧的中心到安装孔的距离很长,镗杆达不到要求,且工件也会露出工作台面外。所以必须用中心转移法来解决,换成以 $\Phi 230H7\left(\begin{smallmatrix} +0.046 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$ 孔(基准孔)为中心进行分度,是最快捷的方法。首先设计制造一根芯轴,该芯轴要有大的导向外圆,与定位孔的间隙在 $0.08 \sim 0.10$ ,把芯轴压在镗床台面的中心,找正后压紧,接着把箱体吊平对准芯轴中心后,缓缓地放到工作台面的等高块上。用表找平粗糙度为 $Ra6.3$ 的工艺基准面后压紧,计算出各个安装孔转相应的角度时,主轴与定位中孔(台面中心)的距离,例如:

顺时针回转 $35.16^\circ$ 时,可以计算出镗床主轴向左移动的距离为 $L=1400 \times \sin(35.16^\circ) \approx 806.21$ ,依次类推,即可算出所孔转角时的偏距。安装孔的背面需要背刮,所以需自行设计背刮刀<sup>[6]</sup>。

根据图3所示的角度按基准孔 $\Phi 230H7\left(\begin{smallmatrix} +0.046 \\ 0 \end{smallmatrix}\right)$ 进行基准转换,换算出镗床工作台旋转的角度和镗床主轴与基准孔偏移的距离如表1、表2所示。第一排孔位如表1所示,第二排孔位如表2所示。

## 5 结束语

通过基准转换、数据换算、装夹位置选定、定位工装设计及专用刀具设计等,解决了不规则大型箱体镗加工问题,特别是在工件无法划线、装夹困难的情

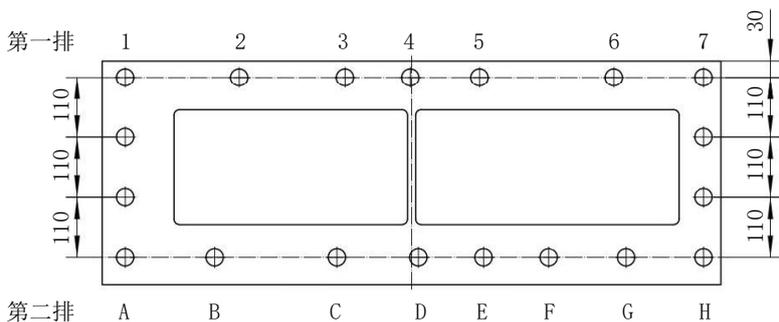


图3 安装孔孔位示意图

表1 第一排孔旋转位移数据表

孔位	1	2	3	4	5	6	7
工作台旋转角度	$35.16^\circ$	$21.16^\circ$	$8.16^\circ$	$0.16^\circ$	$-8.34^\circ$	$-24.84^\circ$	$-35.84^\circ$
与基准孔的偏移量	-806.21	-505.36	-198.71	-3.91	203.07	588.12	819.73

(注:“+”为工作台顺时针旋转,“-”为工作台逆时针旋转。)

表2 第二排孔旋转位移数据表

孔位	A	B	C	D	E	F	G	H
工作台旋转角度	$35.16^\circ$	$24.16^\circ$	$9.16^\circ$	$-0.84^\circ$	$-8.84^\circ$	$-16.84^\circ$	$-26.34^\circ$	$-35.84^\circ$
与基准孔的偏移量	-806.21	-573.00	-222.87	20.52	215.15	405.58	621.18	819.73

(注:“+”为工作台顺时针旋转,“-”为工作台逆时针旋转。)

况下,采用基准转换法、中心转移法,充分利用镗床拉坐标的特点,巧妙地解决了一般在加工中心上都难以做到的大圆弧安装孔加工难题。同时也在此类箱体加工方面积累了宝贵的经验,为以后加工类似箱体提供了参考,也促进了垂直轴风力发电行业的发展。

## 参考文献:

[1] 刘辉,蒋麒麟,李生强,等.H型垂直轴风力发电机设计与数值模拟[J].冶金设备,2024(03):10-17.

[2] 谭健祥,魏森,张观福.一种三维空间角从图纸基准到加工基准的转换方法[J].时代汽车,2021(10):87-88.

[3] 牛森,赵东波,梁宝山.HXD2F型电力机车齿轮箱制造工艺[J].机车车辆工艺,2021(05):14-17.

[4] 谭鹏,童章印,李洪滨.电机壳体工序分析和夹具设计[J].微特电机,2023(10):63-67.

[5] 张博超.减速器箱体加工改进[J].橡塑技术与装备,2025,51(02):28-30.

[6] 章舒,孙星.数控加工刀具参数优化设计及应用研究[J].南方农机,2024,55(23):151-154.