新能源汽车ZN型蜗杆蜗轮加工工艺分析

周巍
上海汽车变速器有限公司　上海　201807

摘要：通过分析新能源汽车蜗杆蜗轮的特点及设计参数，编排相应的加工工艺，落实相关刀具、辅具以及检测方式，实际加工后经检测证明，全部参数符合工艺要求。

关键词：蜗杆；蜗轮；蜗杆传动；加工工艺

1　序言

新能源纯电动汽车变速器与传统汽车变速器相比，选挡电动机通过蜗杆蜗轮减速器进行减速增扭，再通过齿轮齿条系统将旋转运动变为直线运动，拉动换挡操纵轴实现选挡动作；换挡电动机通过蜗杆蜗轮减速器进行减速增扭，再通过一级齿轮机构将动力传递到换挡轴上实现换挡动作。换挡执行机构换挡时间快，离合器控制电动机通过带动一套蜗杆蜗轮减速器进行减速增扭，再合理设计蜗杆蜗轮减速系统自锁功能，使离合器较长时间处于分离状态。

新能源EP21变速器的轴承箱内采用一对交错的蜗杆蜗轮进行力的传递，是一种空间交错轴间传递运动的机构，属于普通圆柱蜗杆传动，一般轴交角互为90°，这种传动具有结构紧凑、传动比大的特点，此外蜗杆和蜗轮间啮合的齿对数多，重合度大，传动平稳，噪声小。但是蜗杆和蜗轮加工复杂，工艺要求高，本文通过对其特点的研究编排加工工艺。

2　蜗杆蜗轮结构

蜗杆蜗轮机构是机械设备中重要的传动部件，具有减速比大、结构紧凑等特点。蜗杆机构中最常用的是圆柱蜗杆传动，其齿面为螺旋面，便于加工。普通圆柱蜗杆的齿面一般是在车床上用直线切削刃的车刀加工而成，车刀安装位置不同，加工出的蜗杆齿面的齿廓形状也不同。根据加工方式，圆柱蜗杆可分为4种，分别为阿基米德蜗杆（ZA型）、法向直廓蜗杆（ZN型）、渐开线蜗杆（ZI型）及锥面包络蜗杆（ZK型）。

本文主要介绍ZN型蜗杆（见图1），又称齿槽法向直廓蜗杆。其齿面为直纹面，该直纹面由一条位于法平面的直线相对于蜗杆轴线作螺旋运动而产生。端面齿形为延伸渐开线，轴向剖面上的齿形为凸形曲线，齿槽在法向剖面的齿形为直线。

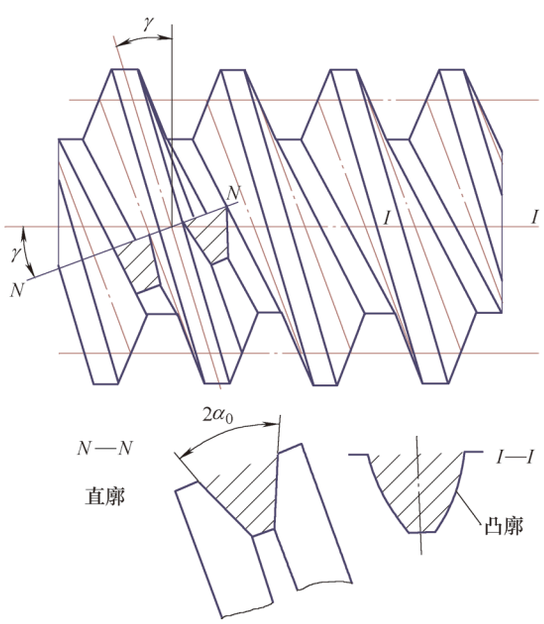


图1　ZN型蜗杆外形

3　蜗杆蜗轮的设计

根据成品的技术要求加工出零件，蜗杆、蜗轮图样如图2、图3所示，需要编排相应工艺，落实相关刀具、辅具以及检测方式。

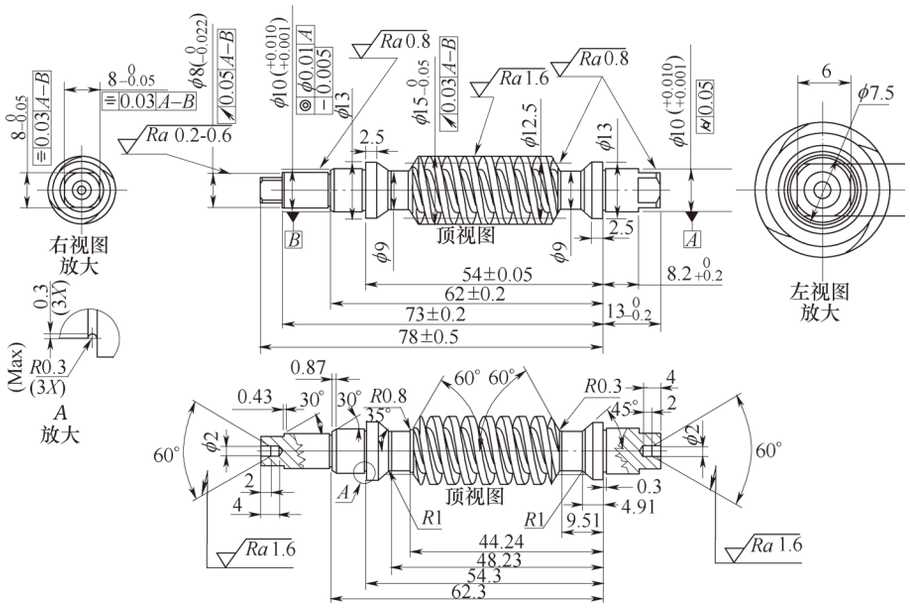


图2　蜗杆图样

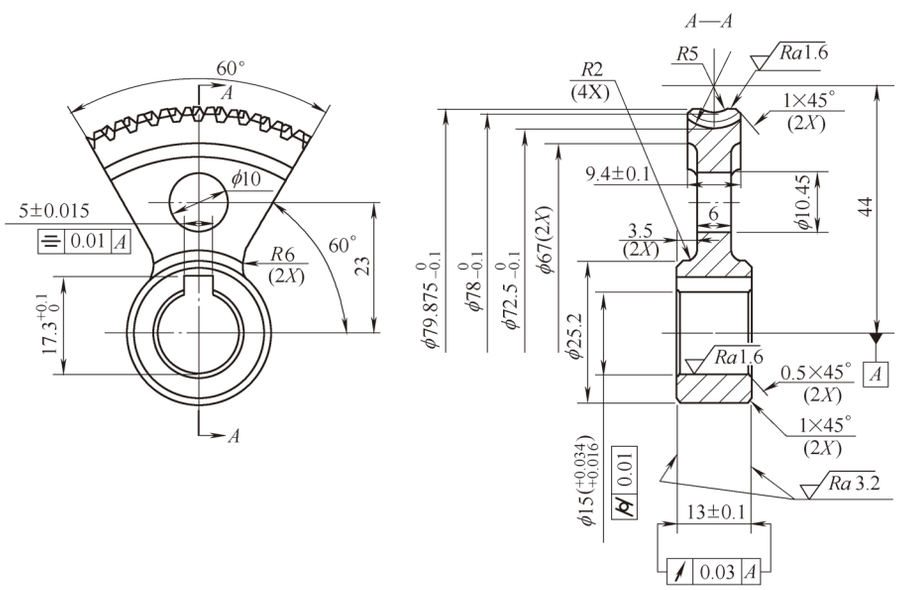


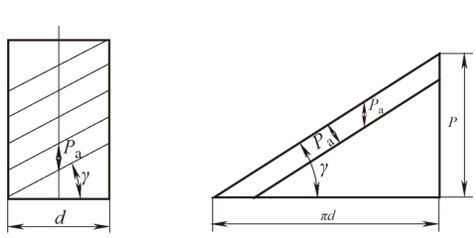
图3　蜗轮图样

3.1　蜗杆蜗轮的设计参数

蜗杆模数m=1.25，头数Z_1=2，法向齿形角a_n=20°，直径系数q=10，蜗杆导程角y=11.3°，旋向右旋，齿顶高系数h_a=1，蜗杆分度圆柱如图4所示。

蜗轮模数m=1.25，齿数Z_2=60，分度圆直径d_2=75mm，变位系数x_2=0.2，法向齿形角，螺旋线方向为右旋。

蜗杆轴向齿距$P_x=\pi m$=3.927mm，蜗杆螺旋线导



a）蜗杆分度圆柱　　b）蜗杆分度圆柱展开

图4　蜗杆分度圆柱

程$P_z=P_xZ_1$=7.854mm。

3.2 蜗杆蜗轮加工工艺布局

根据蜗杆蜗轮特点安排加工，主要分为以下加工路线。

（1）蜗杆　材料选取→车毛坯→粗车加工→精车加工→铣加工→热处理→磨削加工→磨齿加工→检测。具体工序划分见表1。

（2）蜗轮　材料选取→车毛坯→粗车加工→精车加工→铣加工→滚齿加工→铣加工→检测。具体工序划分见表2。

表1　蜗杆加工工序

蜗杆（毛坯材料：40Cr）						
工序名称	工序内容	机床设备	加工场地	夹具	刀具	工装
车削加工	粗车坯	普通车床	试制中心	自定心卡盘	粗车刀片	
	加工中心孔		试制中心	自定心卡盘	中心钻	
	精车		试制中心	弹簧夹头（需自制）	CAPTO刀杆配精车刀+割槽刀（需改磨）	两顶针
	车双头螺纹		试制中心	需自定制夹具	标准铣刀	
铣加工	铣四方	铣床	试制中心			
热处理						
磨削加工	磨外径	外圆磨床	试制中心	无	通用砂轮	小顶尖
磨齿加工	磨齿	螺纹加工	众聘	无	螺纹磨床齿轮修正笔+成形齿轮	两顶针

表2　蜗轮加工工序

蜗轮（毛坯材料：ZCuSn10Pb1）					
工序名称	工序内容	机床设备	加工场地	夹具	刀具
车削加工	粗车端面/孔	数控车床	试制中心	自定心卡盘	粗车刀片
	精车端面/孔	数控车床	试制中心	自定心卡盘	精车刀片
钻孔加工	钻孔	钻床	试制中心	需自制定位夹具	通用钻头
车削加工	粗/精车外圆	数控车床	试制中心	需自制定心接盘	精车刀片
铣削加工	插铣槽	普通粗铣床	试制中心	需自制定位夹具	通用查槽刀
滚齿加工	滚齿	格里森滚齿机	试制中心	滚齿夹具	滚刀（需设计及订购）
铣加工	铣去多余材料	数控铣床	试制中心	需自制定位夹具	铣刀

3.3 蜗杆主要加工工艺

（1）材料选取　蜗杆一般用合金钢或碳素钢制成，大部分蜗杆齿面经渗碳淬火等热处理而获得较高的硬度，并经磨削处理。本零件材料选用40Cr，齿面淬火硬度45～55HRC。

（2）车加工齿形　设备使用数控车床，刀具需使用普通刀片进行改磨。齿槽在法向剖面的齿廓为直齿廓，且节圆高度处的齿宽与齿向间隙相同，

均为0.5P_x，法向齿廓间距的几何尺寸如图5所示。根据车削加工的特点，将车刀修磨成如图6所示的几何尺寸。当车削加工时，车刀对中齿槽的中线法面切削加工，车加工零件时的横截面如图7所示。加工时，先加工蜗杆的一条螺旋线，当加工快到尺寸时，留出一定的余量，这时在这个蜗杆螺纹的另一面对刀，加工出另一条螺旋线。

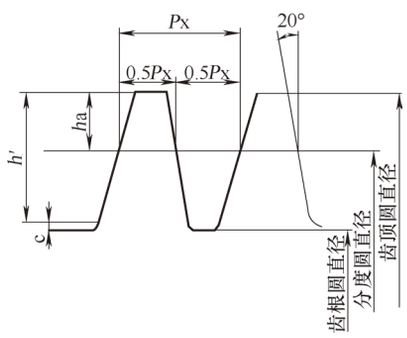


图5　法向齿廓间距的几何尺寸

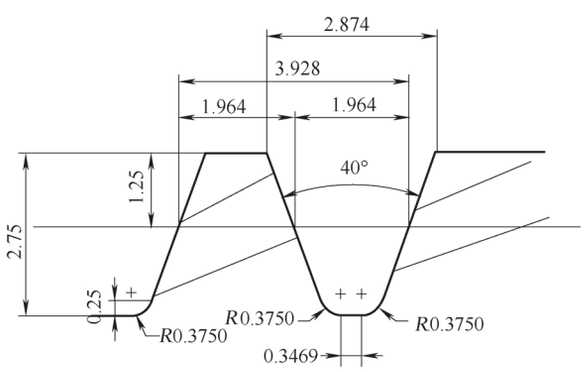


图6　模拟车刀的几何尺寸

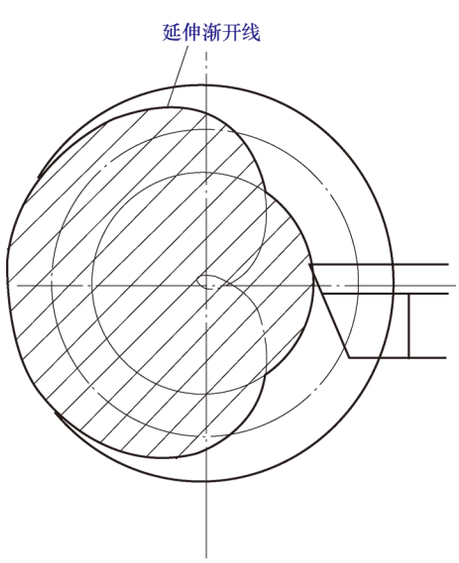


图7　车加工零件时的横截面

（3）磨削加工　蜗杆齿形精度取决于砂轮廓形的修整精度。为了修整出近似正确的砂轮廓形，使用金刚笔整形砂轮，沿工件轴向切削，在加工时工件由两顶针装夹并进行校正。磨削齿面加工如图8所示，当磨削加工完成后，即可进行检测，成品如图9所示。

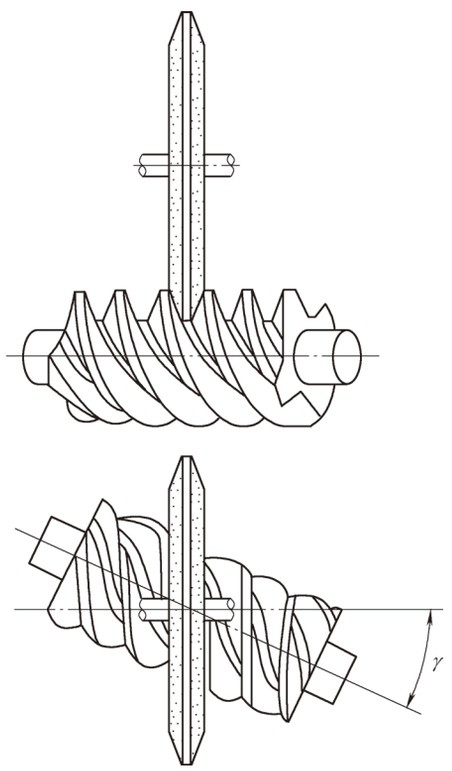


图8　磨削齿面加工示意

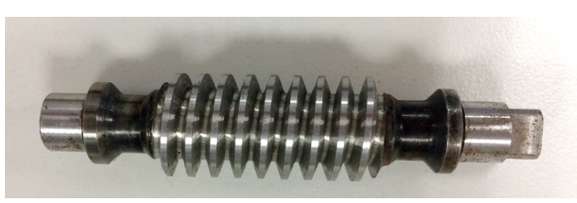


图9　蜗杆成品

3.4　蜗轮主要加工工序

（1）材料选取　蜗轮一般采用锡青铜，易于磨合和承载，与钢蜗杆齿运转磨合后试接触表面互相配合，增加了支承面积。

（2）滚齿加工　蜗轮滚齿夹具如图10所示，利用定心夹具定位蜗轮中心，使用特制蜗轮滚刀进行滚齿加工。滚齿加工前需要校准滚刀轴，并调整滚刀中心到工件中心的中心距，滚切时滚刀做纯径向滚切，径向进给量为0.03～0.05mm/r，由齿顶逐渐切至全齿深，这种方式加工时间短、生产率高。

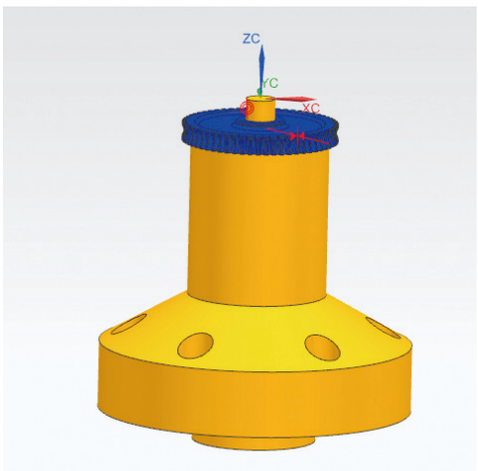
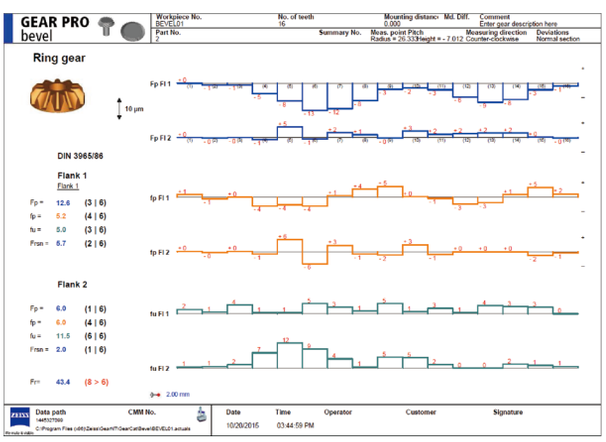
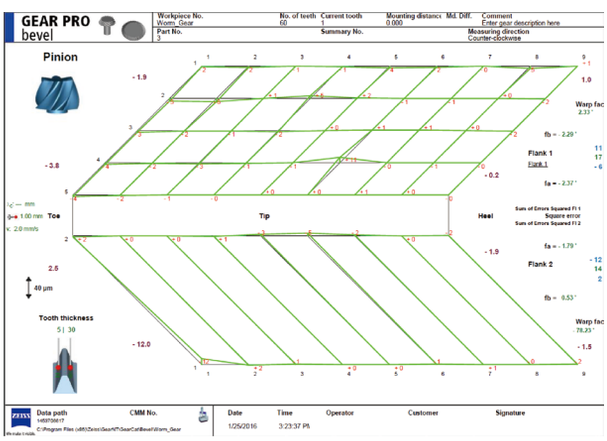


图10　蜗轮滚齿夹具

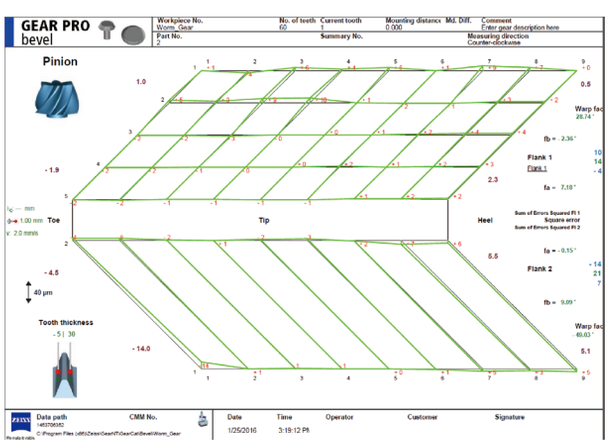
蜗轮的检测结果如图11所示。



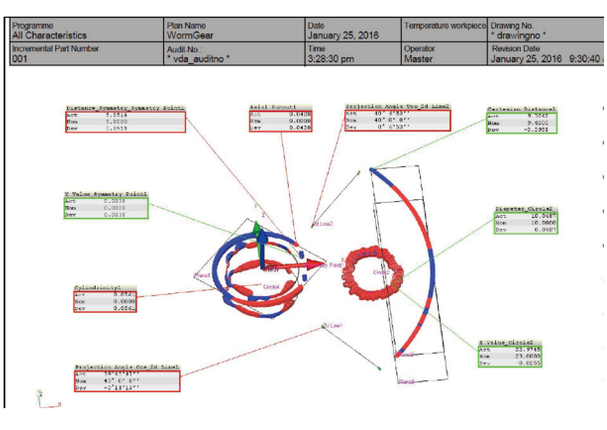
a）相邻、累积、齿圈跳动报告



b）齿形齿向（左）报告



c）齿形齿向（右）报告



d）三维综合扫描（粗）

图11　蜗轮检测结果

4　结束语

本文主要介绍了EP21中的蜗杆蜗轮零件的制造工艺，经实际加工及检测，全部参数符合工艺要求，提高了生产效率，为类似零件加工工艺的制定提供了参考。

参考文献：

[1] 陈旭东．机床夹具设计[M]．北京：清华大学出版社，2010．

[2] 甘永立．几何量公差与检测[M]．9版．上海：上海科学技术出版社，2010．

[3] 尹见平．强力车削蜗杆的方法[J]．金属加工（冷加工），2015（23）：64-65．

MW 20210418