零件加工中波形曲面的处理

中国人民解放军第5311工厂 （江苏南京 210007） 张明光 程军荣 朱爱华

波形曲面一般可分为直线式波形曲面和圆环形波形曲面，对于直线式波形曲面的分析和定义，相对比较简单，只要将波形截面的波形定义清楚，就能生成所要的波形曲面。但圆环形波形曲面的分析和定义就相对比较复杂了，下面针对生产中的具体实例，对圆环形波形零件进行曲面分析，通过多种方式的验证，指出某些不合理定义方式给理解上带来的歧义和不便，最后提出利用“参数化”方式妥善解决波形曲面的定义问题。

在波形弹性垫片的生产过程中，要求设计弯形模具进行弯形加工，零件图如图1所示，图1中标注具体尺寸有：内径6.2mm，外径9mm，零件厚度0.2mm，高低间距0.7mm，圆弧*R*4mm。但*R*4mm的表述上，容易产生歧义，给生产带来诸多不便。

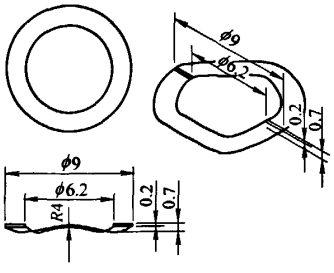


图 1

根据已知条件，如果在投影方向标注圆弧*R*4mm，则说明凸、凹部分的曲面为圆柱状曲面，为便于表达和理解，省略了相邻凸、凹曲面之间的过渡曲面，其中，凸、凹部分曲面的示意图如图2所示。

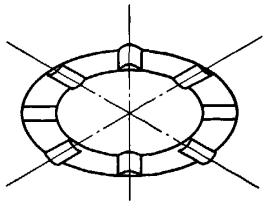


图 2

下面就按圆柱状曲面进行“可行性”分析。

1. 圆柱状曲面的分析

若凸、凹曲面部分形成如图2所示的圆柱状曲面，则内、外圈波形曲线均应满足形成尺寸*R*4mm的可能性。为了方便相关尺寸的分析和验证，首先将相关尺寸调整至零件的中性层：

（1）零件要求波形高、低点之间的间距0.7mm，在中性层分析时，需要在凸、凹圆弧分别减去$t/2$（t为零件厚度），则中性层波形高、低点之间的间距最终为0.5mm。

（2）*R*4mm标注于零件内侧位置，在中性层分析时，需要加上$t/2$，则最终中性层圆弧调整为*R*4.1mm。

方法1：圆柱曲面的空间*R*验证法。就是运用相关定义零件外形的基本尺寸，从空间上验证某些尺寸是否可以形成。若三点确定的圆弧满足不小于规定圆弧*R*值的要求，则具有可行性，反之则不具可行性。

由已知条件可知，凸、凹2个圆柱曲面相隔45°，则内、外圈相隔45°的两端点以及两点连线中点处波形幅值高度0.25（0.5/2）mm，三点可确定一个圆弧，其半径应不小于*R*4.1mm，否则不能形成满足要求的圆柱状曲面。

如图3所示，为方便表达和理解，将垂直平面上的尺寸调整至水平面进行图解：在外圈φ9mm圆周上可建立的空间圆弧半径最大为6.056mm，大于*R*4.1mm，满足验证要求，但在φ6.2mm圆周上可建立的空间圆弧半径最大仅为2.94mm，小于*R*4.1mm，不满足验证要求。

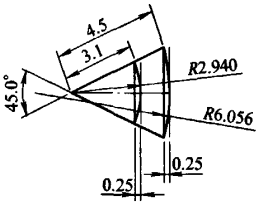


图 3

若形成的曲面按圆柱曲面分析，则内、外圈圆周上可建立的空间圆弧半径均应不小于*R*4.1mm，因此运用空间*R*验证法得出验证结果：不能形成圆柱状曲面。

方法2：圆柱面曲面的展开*R*验证法。将*R*理解为展开曲线的过渡圆弧半径，根据波形频率将所在圆弧的展开周长进行等分，结合波形幅值，对过渡圆弧*R*进行

定位，如果相邻圆弧不产生干涉，则具有可行性，反之则不具可行性。

如图4所示，在ϕ9mm的圆周上，通过相邻等分点间距（$9\pi/8$），结合中性层高、低间距0.5mm的要求，对过渡圆弧R先进行定位，相邻凸、凹圆弧不产生干涉，并可用切线连接，形成展开平面上连贯曲线，最后再进行缠绕处理就能形成空间波形曲线，满足验证要求。

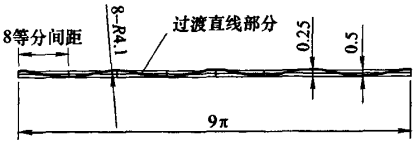


图 4

在ϕ6.2mm处圆周展开的曲线图解中，如图5左侧所示，对相邻两个R4.1mm圆弧定位后，凸、凹圆弧之间形成了“交叉阴影部分”，产生干涉，不满足验证要求。根据中性层波形高、低点之间的间距0.5mm，以及ϕ6.2mm周长的8等分相邻两点间距，三点形成圆弧的最大R值仅为3.098mm，如图5右侧所示。

若形成的曲面按圆柱曲面分析，则内、外圈圆周上对过渡圆弧R进行定位后，相邻圆弧均不得产生干涉。因此，运用展开R验证法，同样得出验证结果：不能形成圆柱状曲面。

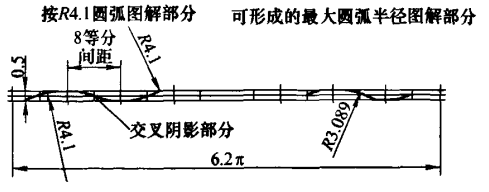


图 5

根据以上验证结论：图1中R4mm表示的曲面，不能形成圆柱状曲面。只能将R4mm理解为某一特定位置的R值或展开R值。其曲面形式应如图6所示，呈发散状区别于圆柱状。若按展开R值理解：R4mm表示某一圆周展开曲线的过渡圆弧，曲面为放射（螺旋）状曲面。

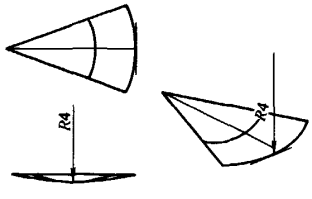


图 6

2. 螺旋加工的分析

根据以上分析结果，退而求其次地将R4mm理解为最外圈ϕ9mm处展开波形曲线的过渡圆弧，将零件曲面理解成螺旋面，则可将图4缠绕，进行螺旋面加工。

根据螺旋面加工和刀具路径定义方法，若使用旋转A轴与直线X轴联动，运用一条曲线即可实现螺旋面加工的程序路径定义，但螺旋加工方法在实际加工时存在一定弊端，给加工过程增添了一定难度，具体表现在：

（1）零件尺寸较小，给装夹和刀具的选择带来一定难度。

（2）A轴螺旋加工方式存在“干涉现象”，需要进行刀具偏置，处理较复杂。

（3）R部分为非一般意义上的螺旋线，给程序的编制增加难度，几乎无法实现模具的精确加工。

因此，此类型零件最好不要运用旋转A轴与直线X轴联动加工方式将波形曲面当作螺旋面进行处理。

3. 放射状曲面的分析

在运用旋转轴与直线轴联动实现螺旋状曲面加工存在一定难度的情况下，可在零件轴向方向运用球刀进行三维加工，而此时波形曲面就形成放射状曲面。

就曲面的构造形式来说，放射状曲面与螺旋状曲面基本相同，只是加工方向由YZ平面变成了XY平面。两种方法最大不同在于螺旋加工仅需要一条曲线进行路径定义，利用刀具侧刃，以“线接触”切削方式形成所要的螺旋曲面，而放射状曲面则需要将整个曲面完全定义清楚，利用球刀“点接触”切削方式，运用曲面加工方式形成所要的放射状曲面。

按放射状曲面分析进行曲面定义时，根据三维实体扫描曲面的定义条件，需要2条曲线加上1组截面轮廓。在此，除了秉承螺旋加工中，将R4mm表示为外圈ϕ9mm处展开波形曲线的过渡圆弧并进行缠绕处理，得到一条曲线外，还需要另一条定义曲线，如何定义内圈波形曲线呢？

在此，可通过比例缩放功能，但需要注意不能使用“等比例缩放”功能，因为构成曲面的任意一条过圆心的母线均要求平行于XY平面，所以只能使用“不等比例缩放功能”，X和Y方向缩放比例为（6.2/9）=0.688 9，Z方向缩放比例为1，缩放中心为缠绕中心位置（即轴向圆心），得到内圈的波形曲线。

最后，在其起点垂直方向，绘制一矩形，宽度1.3mm（内外圈半径差），高度0.2mm（零件厚度），运用三维实体扫描功能，生成所要的曲面，效果如图7所示，其中黑色为凸、凹曲面部分，白为过渡部分。

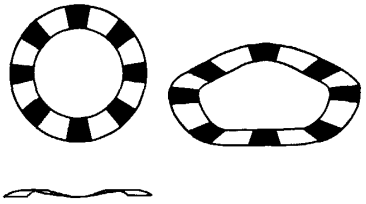


图 7

就以上分析，仅仅是退而求其次地将*R*4mm想象成展开过渡圆弧半径，在实际工作中如果设计者想表达*R*4mm为展开过渡圆弧，则应直接标注在展开平面上，是不能在投影方向标注*R*值的。因为，展开圆弧在缠绕后形成的是曲线，而不是一般意义上的圆弧，所以在投影方向标注*R*值是不合理的。

根据波形零件的特征，相关曲线还可通过参数方程进行描述。

4. 参数化方程的分析

通过参数方程不但可以描述难以运用常规方式表达的空间曲线，而且运用参数方程得到的空间曲线中间无过渡，获得的曲面流畅、美观。

根据实例具体要求：ϕ6.2mm、ϕ9mm、0.7mm、0.2mm以及高低起伏4次，有参数方程：

内圈中性层参数方程

$X=3.1\sin(t)$，$Y=3.1\cos(t)$，$Z=0.25\sin(4t)$

外圈中性层参数方程

$X=4.5\sin(t)$，$Y=4.5\cos(t)$，$Z=0.25\sin(4t)$

其曲线展开后形成的平面曲线为正（余）弦曲线，周期为90°，曲线连贯、美观。

其中，$X=r\cdot\sin(t)$，$Y=r\cdot\cos(t)$表示：*XY*平面上，以角度*t*为变量、半径为*r*的圆的极坐标方程。

高度起伏变化量通过表达式$Z=h\cdot\sin(4t)$或者$Z=h\cdot\cos(4t)$表示，其中*h*为零件中性层上起伏变化量的幅值，题中$h=(0.7-0.2)/2$。在具体*Z*方向使用正弦还是余弦不限，区别仅仅是波形起点存在一个相位差。

高、低点起伏频率则是通过正（余）弦内的系数进行控制，图1中要求高低起伏4次，则$Z=h\cdot\sin(4t)$，如果要求高低起伏3次，则$Z=h\cdot\sin(3t)$。

下面就如何应用参数方程进行建模稍作说明：以Master CAM软件为例，可通过菜单的［绘图］→［下一页］→［A附加功能］→［Fplot＊］进行参数方程的输入以及波形曲线的输出。

在［E编程方程］下输入“X=4.5＊SIN（t），Y=4.5＊COS（t），Z=0.25＊SIN（4t）”。

在［V变数］下输入［变数］为“t”；［上极限］为“360”；［下极限］为“0”；［步进量］为“0.1”（可根据精度适当调整）。最后，通过［绘制］输出波形曲线。

同理，通过改变*r*值，输出内圈曲线。在内外曲线生成的情况下，再在其起点垂直方向，绘制一矩形，宽度1.3mm（4.5～3.2），高度0.2mm，运用三维实体扫描功能即可得到零件的三维实体模型。效果如图8所示。

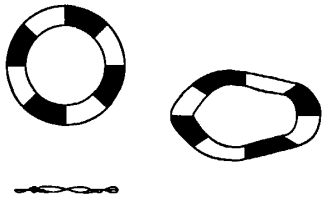


图 8

在此，可将得到的实体曲面与图7中曲面形状进行区分。不言而喻，图8得到的曲面形式更为简洁、流畅。运用“参数化”方程重新定义图1，有“参数式零件图”如图9所示。

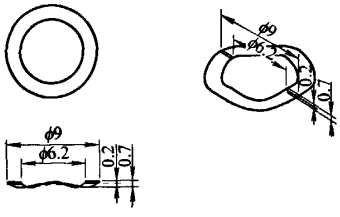


图 9

5. 结语

零件的生产加工过程中，如果对所要加工的曲面定义不清，何以要求和指导生产。通过具体实例，阐述圆环形波形曲面运用“参数化”定义的方法，以其获得的优美、流畅曲面造型，值得与大家分享，为今后此类零件的定义提供了解决方案。**MW**

（收稿日期：20091028）