

方向均匀分面且平行于中面的应力，认为应变沿厚度方向也是均匀分布的，因此在板料冲压成形中受到一定的限制，但用于板料的初始估算，还是能够满足要求的，而且计算速度非常快。

### (3) 单元划分

虽然网格划分软件可以自动生成有限元网格，但是它是在给定的单元尺寸和大小的情况下自动生成，每个曲面上网格的密度和大小基本上是一致的，这样划分出来的网格数量较大，不能满足有限元分析的要求。因此，必须人工调整网格的大小和疏密程度。在网格划分软件中可以设置好检测标准，通过图形形象地显示出单元质量的好坏。例如，单元的最小长度、单元的纵横比、单元的扭转程度等。在型面变化剧烈、圆角过渡和拐角处，为了保证计算精度，单元应划分得细些。

## 4.2.2 初始轮廓线的生成

有限元模型建立好后，就可以在有限元软件中设置一步算法计算所需的冲压条件，主要包括板料的厚度、板料的材质及力学性能（如抗拉强度、屈服强度、厚向异性系数及材料硬化指数）等，将这些冲压条件设置好后就可以开始计算，将计算结果输出，即获得由一步算法计算生成的初始轮廓线。

通过上一步的计算，我们采用一步算法，依据理想形变理论获得了初始板料的近似解。理想形变理论要求材料单元变形路径要沿最小塑性功路径，假定沿着最小塑性功路径变形的成形性最优。那么，依据求得的单元位置得到板料的初始形状。然而，在实际生产中，按照理想形变理论所获得的初始板料并不是最佳的。这是由于实际的变形路径，并不是依据理想形变理论中所要求的沿着最小塑性功路径变形。但由理想形变理论即一步算法求得的板料形状及尺寸，可以作为进一步优化时的初始板料。

## 4.3 冲压过程的仿真设置

从前一章对比例因子优化法的基本思想的阐述可知，该方法通过调用有限元分析软件，完全按照实际冲压过程及冲压条件进行模拟。这一点正好可以消除一步算法中由于变形路径的差异所造成的板料展开误差。比例因子优化方法的重点是求解形状误差  $e$  与比例因子  $\omega$ ，因为依据这两个参数就能够对初始板料进行调整，既而进行下一次的优化，而形状误差  $e$  及比例因子  $\omega$  都是通过比较板料变形前后所产生的差值求得。我们可以通过有限元分析软件计算的结果得到板料变形后的形状。

因此，还必须在有限元分析软件中设置好模拟冲压过程所需的模具信息及冲压参数。若要求解修边线，则在达到较好拉延效果的基础上，只需模拟修边及翻

边过程；由于本文主要目的是求解冲压件的展开板料形状，因而只需模拟拉延或成形过程即可。

首先，将做好工艺补充的 CAD 数模导入有限元分析软件，分离出拉延所需的各个工具，包括凸模、凹模以及压边圈，再进行单元类型的选择及网格的划分。

其次，是板料的设置，将板料的材质、厚度输入有限元分析软件中，再选择单元类型，而板料的形状将由比例因子法调用有限元分析软件时将初始轮廓线、偏置后的轮廓线或调整后的轮廓线予以赋值。

最后，设置冲压条件，包括压边力的大小、凸模及压边圈的行程以及摩擦系数的大小。

至此，冲压过程的仿真完全设置好，等待比例因子法程序的调用。

#### 4.4 其他参数的设置及迭代精度

从第三章的比例因子法基本思想的阐述中，可以得知，其中变形前轮廓线的偏置量 $\Delta$ 及形状误差允许公差值  $T$  都必须给定。对于变形前轮廓线的偏置量 $\Delta$ 及变形终了轮廓线与目标轮廓线之间的形状误差允许的公差值  $T$  该如何确定呢？

其中变形前轮廓线的偏置量 $\Delta$ 的大小取决于冲压零件的尺寸大小，零件尺寸越大，则 $\Delta$ 值也越大；反之，则越小。而形状误差允许的公差值  $T$  则应该设为工程上冲压零件在生产加工时的公差要求。

采用一步算法获得的初始板料，经有限元分析软件分析，所得变形后的板料边界曲线与目标曲线进行比较，板料是否合理，可以通过形状误差来判定。若形状误差  $e$  小于误差允许值  $T$ ，则该板料可作为最佳板料形状；若形状误差  $e$  大于误差允许值  $T$ ，则按照比例因子  $\omega$  对板料进行调整，将调整后的板料作为下一次迭代的初始板料，不断迭代直至板料形状满足误差要求。在仿真参数(压边力、摩擦力、拉延筋的阻力等)保持不变的情况下，板料形状的改变也将获得不同的仿真结果。

如何判定每次迭代的效率，我们可以通过优化精度  $K$  值来评定，其定义如下：

$$\text{优化精度 } K = \frac{e_0 - e_i}{e_0} \times 100\% \quad (4.1)$$

式中， $e_0$  为初始形状误差，即采用一步算法获得的初始板料，进行有限元模拟后生成的零件边界线与目标曲线的差值。 $e_i$  为第  $i$  次迭代产生的误差值。 $K$  值越大表明迭代的精度越高。

## 4.5 无凸缘方形盒的板料展开

本文以一个方形盒零件为例说明上述板料展开方法的应用。方形盒零件及尺寸如图 4.3 所示，其整体尺寸为：长 77.5mm，宽 77.5mm，深 20mm。材质为 08AL，板料厚度为 1.0mm，板料的力学性能如表 4.1 所示。

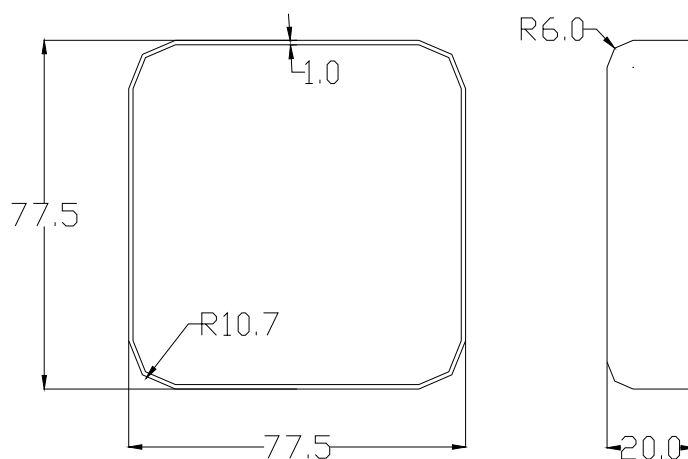


图 4.3 方形盒零件尺寸图

表 4.1 方形盒板料的力学性能

材料	板料厚度	弹性模量 E	密度 $\rho$	泊松比	平均各项异性指数 $r$
08AL	1.0mm	207000 MPa	$7.83 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	0.3	1.7

由于该方形盒是无凸缘的，即该零件属于成型类零件，不存在翻边等后工序，不需要增加工艺补充，因而该方形盒的目标曲线就可以取零件的边界线，图 4.4 中的黑粗线即为方形盒的目标曲线。

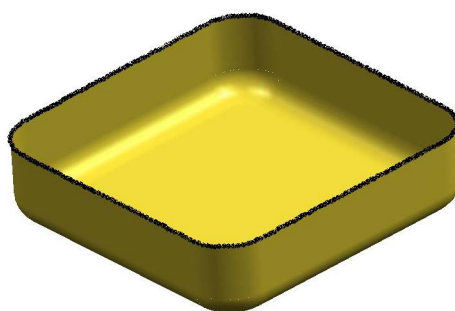


图 4.4 方形盒的目标曲线

现采用一步算法对无凸缘方形盒进行初始板料的展开。首先将该零件用三角形膜单元进行离散化,离散后的零件如图 4.5a 所示。生成 1854 个三角形单元,1215 个结点。经过一步算法求得的展开板料形状如图 4.5b 所示。

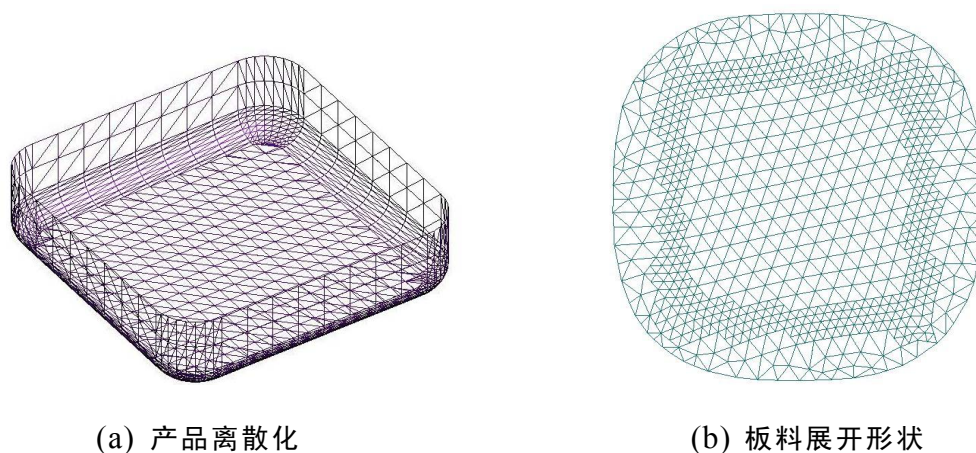


图 4.5 方形盒的一步算法

以一步算法获得的板料形状(图 4.5b)作为优化的初始板料,通过调用有限元分析软件进行冲压模拟,冲压模具(冲头、凹模、压板)的有限元模型如图 4.6 所示。



图 4.6 模具及板料的有限元模型

初始板料的冲压模拟结果如图 4.7(a)所示,图 4.7(b)为局部放大图,从图中可以看出,采用一步算法获得的初始板料在冲压完成后,生成的零件与目标曲线存在较大的误差,最大误差值  $e$  为 2.63mm,而误差允许值  $T$  依据零件的尺寸可设定为  $\pm 0.5\text{mm}$ ,可见该板料不满足误差要求。

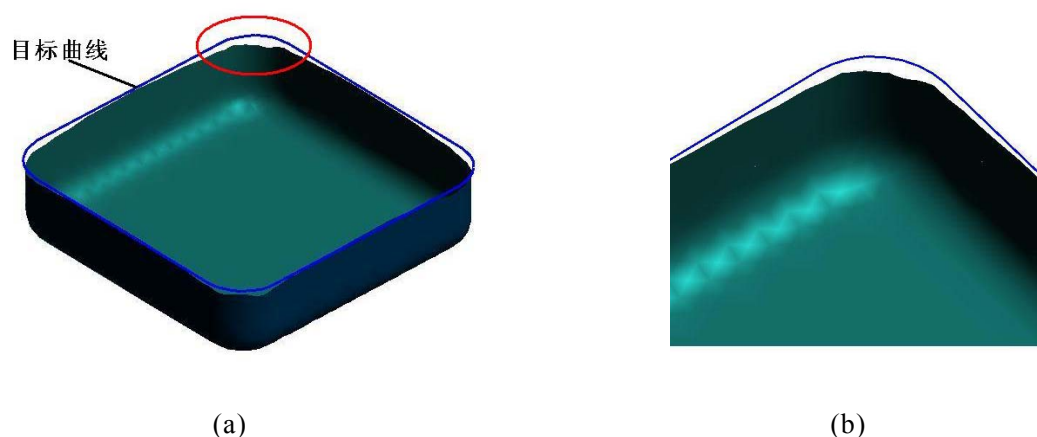


图 4.7 模拟结果

为了获得最佳板料形状及尺寸，该初始板料还需要进一步优化。采用比例因子优化法进行优化，板料的偏置量 $\Delta$ 可设为 2mm，经过 2 次迭代后板料形状及尺寸满足误差要求。迭代的结果如图 4.8 所示。

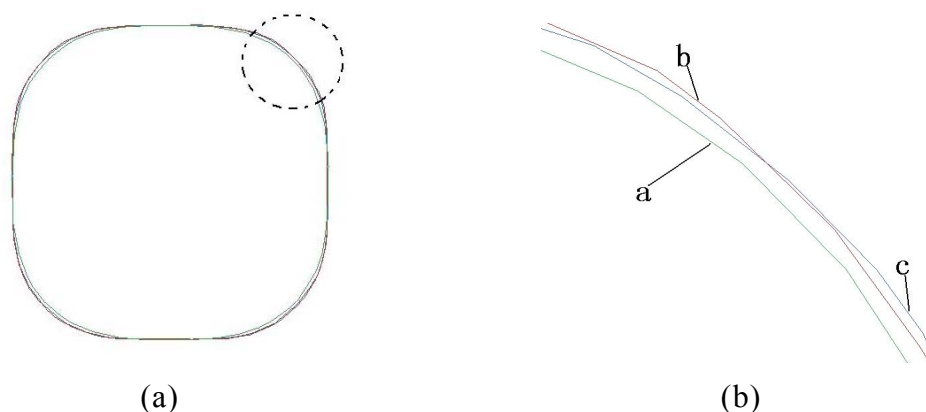


图 4.8 迭代后的板料形状曲线

图 4.8(a)为初始板料及迭代两次后的板料形状曲线，图 4.8(b)为板料的局部放大图，其中 a 为一步算法求得的板料形状曲线( $i=0$ )，b 为第一次迭代后的形状曲线( $i=1$ )，c 为第二次迭代后的板料形状曲线( $i=2$ )。它们与目标曲线之间的误差如表 4.2 所示。

表 4.2 迭代误差结果

迭代次数 $i$	最大误差点	最大误差值 $e$ (mm)	迭代精度 $K$ (%)
0	(5.57, 75.56, 17.37)	2.63	
1	(72.67, 2.43, 18.91)	1.10	58.17%
2	(76.96, 66.99, 19.41)	0.49	77.57%

从上表可以看出，板料经过二次迭代后，其误差值  $e_2=0.49\text{mm}$ ，小于形状误差的允许值  $T=\pm 0.5\text{mm}$ ，迭代停止，获得最佳板料形状及尺寸。图 4.9 为两次迭代后板料成形仿真结果的比较。从图中可以看出，第一次迭代板料成形后与目标曲