

线之间的误差，明显比采用一步算法获得的板料（图 4.8(b)）产生的误差小；第二次迭代板料成形后与目标曲线之间的误差较小，满足要求。



图 4.9 两次迭代的板料成形比较

## 第 5 章 应用实例

本章分别对二种典型类别的冲压件做板料展开，其中，一类是直接落料成型的零件，要求板料形状及尺寸十分精确；另一类零件是由于拉延深度较大，具有多次拉延工艺的零件，这类零件要求板料足够且利于成形，只要求出板料的大概形状及尺寸就足够了。最后通过与生产现场的比较，验证了比例因子优化方法在板料优化中的有效性及精确性。

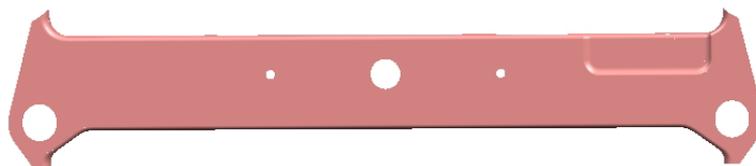
同时，为了说明比例因子法也可以推广到修边线的优化中，本章最后一节以某翼子板零件为例，通过工程上经常采用的截面线法来确定该翼子板的初始修边线，再采用比例因子法对该修边线进行优化。最后通过与生产现场的比较，验证了比例因子优化方法在修边线的优化中同样有效。

### 5.1 汽车前横梁

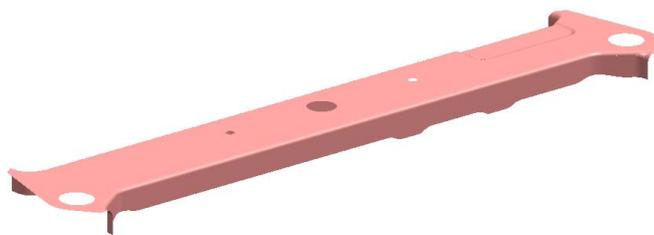
本节选用的零件为某款轿车的前横梁，它属于上述中的第一种类型零件。由于这类零件不需要经过拉延、修边等后工序，板料在经落料工序后，就可直接成型，因此，在确定板料形状及尺寸时，不需要考虑工艺余量，其零件的边界线即为板料成型后的目标曲线，因而这类零件的初始板料形状及尺寸的精确度要求非常高。

#### 5.1.1 初始条件

前横梁零件如图 5.1 所示，(a)为该零件的主视图，(b)为轴向视图。零件的最大尺寸为： $557\text{mm} \times 115\text{mm} \times 21\text{mm}$ ，该横梁的加工工序包括：落料冲工艺孔、成形、冲孔。从图中可以看出，该横梁的四个拐角处的结构与内曲翻边非常相似，而内曲翻边与外曲翻边处的板料形状是最难确定的。



(a)



(b)

图 5.1 前横梁零件图

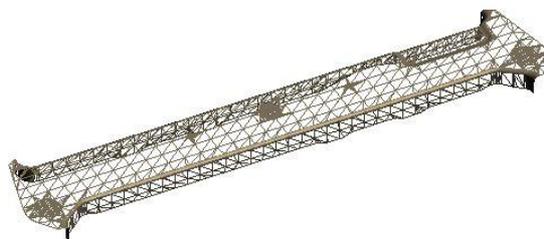
在实际生产中，人们一般是通过修改板料的形状及尺寸，不断反复地调试模具，直至满足形状误差要求。这样不仅浪费板料，还消耗大量时间用于调试，造成生产成本增加及生产周期加长。为了解决这个问题，本文采取一步算法反求出板料的初始形状及尺寸，并通过比例因子法进行优化，最终获得最佳板料形状及尺寸。

### 5.1.2 板料展开

从上文可知，第一道加工工序为落料冲工艺孔，如图 5.1(a)中所示，前横梁中部的两个小孔为工艺孔，是为后工序成形用于板料定位的，因而这两个工艺孔应在第一道加工工序完成。而该前横梁中央的大孔及两端的两个孔是由后工序冲孔完成的，因而在定料边时，可以不考虑前横梁中孔的位置，从而该零件可以相应地简化为图 5.2(a)所示。现采用一步算法对该横梁进行板料展开，首先将产品零件进行单元离散化，其有限元网格划分如图 5.2(b)所示，产生 2558 个三角形膜单元，2110 个结点。



(a)



(b)

图 5.2 前横梁的离散化

由于该零件属于落料后直接成型类，因而可以将零件的边界曲线作为板料展开计算时的目标曲线。该横梁的材料为 HRDQ，板厚为 2.0mm，材料属性如表 5.1

所示。

表 5.1 前横梁的材料属性

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
HRDQ	2.0mm	203395 MPa	$7.83 \times 10^3 \text{kg/m}^3$	0.3	0.8

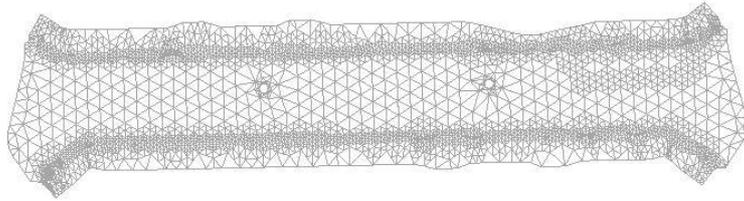


图 5.3 一步算法获得的板料展开

经一步算法计算后，前横梁的板料展开如图 5.3 所示。该板料的形状及尺寸精确与否，可通过调用有限元软件计算加以验证。

### 5.1.3 板料优化

前横梁模具的有限元模型如图 5.4 所示，包括上模、下模和压料板，它们的结点及单元信息如表 5.2 所示。

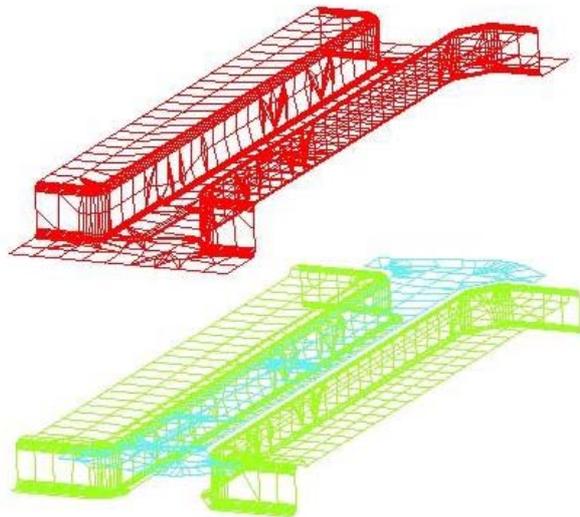


图 5.4 前横梁模具的有限元模型

表 5.2 模具的结点及单元信息

模具名称	四边形单元数	三角形单元数	单元总数	结点数
上模	1540	593	2133	1987
下模	1629	358	1987	1908
压料板	165	269	434	359

将一步算法获得的板料形状及尺寸作为初始板料，通过有限元软件计算，板料成形后如图 5.5(a)所示，图 5.5(b)为其局部放大图，从图中可以看出，成形板料与目标曲线之间的还存在误差。比较成形板料边界线与目标曲线(即前横梁的边界线)，得到最大形状误差值为 6.81mm，而形状误差的允许值  $T$  为  $\pm 0.5\text{mm}$ 。可见采用一步算法展开的板料形状及尺寸还存在一定的误差，需要进一步优化。

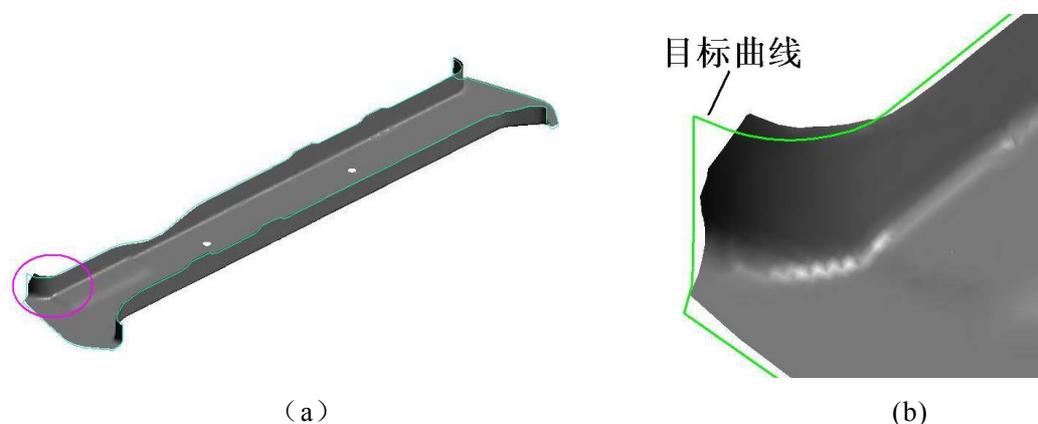


图 5.5 一步算法展开板料的成形结果

现采用比例因子优化法，对一步算法求得的初始板料进行优化，优化过程中板料的偏置量  $\Delta$  设为 2mm，经过 5 次迭代，板料成形后的形状误差为 0.47mm，满足形状误差要求，迭代停止，从而获得最佳展开板料的形状与尺寸。

表 5.3 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	(-111.38, 250.09, 11.94)	6.81	
1	(-216.97, -250.43, 0.11)	2.35	65.5%
2	(-102.42, -250.30, 9.61)	1.55	77.2%
3	(-103.36, -250.38, 11.09)	1.70	75%
4	(-219.93, -250.27, -4.06)	0.98	85.6%
5	(-105.84, -250.29, 13.39)	0.47	93.1%

下面对几次迭代的结果加以比较说明。表 5.3 列出了一步算法展开的板料和几次迭代的板料，在成形后与目标曲线之间的误差值，以及产生最大误差点的坐标