

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.02.019

基于 AutoCAD 的钣金自动展开及排样优化

陈善为

(宝鸡文理学院 教育科学与技术系, 陕西 宝鸡 721016)

摘要:针对传统钣金生产过程中的效率低下、精度不高、材料浪费等缺点,提出基于 CAD 自动化技术的钣金展开及排样优化应用系统,设计了系统的整体流程结构;借助于旋转最低水平线的遗传算法、最小矩形包络法和平移靠接算法为核心,分别处理规则矩形和不规则矩形的排样优化问题。开发了基于 AutoCAD 应用平台的钣金展开及排样优化的插件系统,该系统主要由参数化绘图、三维图显示、确定图幅及尺寸精度等功能组成;最后通过实例应用,表明该系统能有效提高钣金生产的效率和制造精度,降低材料浪费率。

关键词:钣金展开;排样优化;CAM;AutoCAD 插件

中图分类号:TP391.72

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2015)02-0077-05

Automatic Unfolding and Layout Optimization of Sheet Metal Based on AutoCAD

CHEN Shanwei

(Department of Educational Science and Technology, Baoji University of Arts and Science, Baoji, Shaanxi 721016, China)

Abstract: In order to solve the inefficiency and time consuming problems in traditional sheet metal production process, the sheet metal unfolding and layout optimization application system was proposed based on CAD automation. The whole process of structural system was designed. With the help of the relevant algorithm based on rotating the lowest horizontal line, the smallest rectangle envelope method and the translational inarch algorithm, the problems of layout optimization of rectangle and irregular rectangle were managed respectively. The plug-in system of automatic unfolding and layout optimization of sheet metal based on AutoCAD. The system was mainly composed of parametric drawing, three-dimensional map display, determination of the map and dimensional accuracy and other functional components. Finally, through the example application, the system can effectively improve the production efficiency and manufacturing precision, and reduce material wastage rate.

Key words: sheet metal unfolding; layout optimization; computer aided manage (CAM); AutoCAD plug-in

钣金构件是机械产品的重要组成部分,在生产生活各个领域应用广泛。传统方式下,钣金构件的生产主要依赖技术人员的经验,该方式最大问题在于,易造成钣金构件质量不稳定。同时人员劳动强度大,生产效率也难以提高。随着 CAD 技术的应用,传统钣金生产模式逐步朝着传统和 CAD 自动化技术相结合的方向发展,目前钣金生产的 CAD 自动化技术应用主要有 3 种方式:

1) 专业的钣金 CAD 系统。通常这种专业系统功能都非常强大,系统结构复杂,造价较高,比较具有代表性的有 RADAN、Fastcam、AutoCut 等^[1],不过这种专业系统目前国内发展并不成熟,企业若要使用主要靠引进。

2) 专业的 CAD 软件中嵌套钣金模块。如 UG 中的钣金构建特征建模, SolidWorks 中的三维展开和排样下料等。这类软件主要的问题在于通用性不强,各

收稿日期:2014-09-16;修回日期:2014-10-16

基金项目:2013 陕西省社科基金资助项目(12J145);2013 宝鸡文理学院院级重点项目(YK1406);2013 宝鸡文理学院院级项目(YK1412)

作者简介:陈善为(1978),男,重庆人,硕士,讲师,主要研究方向为计算机教育应用。E-mail:chensw_bj@163.com

软件的数据之间没有关联,难以跨平台共享数据,所以容易造成重复投资。

3) 通用 CAD 平台上进行针对性的二次开发。这种以插件形式开发的软件虽然功能没有前两种强大,但具有成本低,开发周期短,高效灵活,针对性强等优点,特别适合中小企业使用。

文中采用第 3 种方式开展研究,借助目前主流的机械制图软件 AutoCAD,利用其较强的二次开发能力,结合钣金展开和排样的关键技术,综合考虑生产效率、实现难度和精度,采用相关算法开发钣金插件,实现钣金件自动展开和自动排样。

1 钣金展开关键技术

钣金展开,是指为保证最终弯折成型的钣金零件与零件制造者所期望的尺寸一致,利用各种不同的算法来计算钣金展开状态下原材料的实际二维尺寸的过程^[2]。

钣金展开的关键问题是确定钣金零件的立体形状到平面图形的展开计算公式。

在确定展开计算公式中,“掐指规则”是最常用的方法,“掐指规则”即指各种依靠个人经验的方法。包

括材料类型、厚度,折弯的半径、角度,机床的类型和步进速度等等,该规则适用于人工操作,但不适合计算机自动化实现。另一个叫参数驱动方法,主要采用钣金折弯算法,用以计算零件展开尺寸,这其中钣金的厚度是很重要的考虑因素。

钣金的厚度对零件的展开形状和尺寸具有影响。通常认为:当钣金厚度 ≤ 1.5 mm 时这种影响可以忽略;但当厚度大于此临界值时,必须进行厚度处理,以修正厚度造成的展开误差。在处理钣金材料厚度问题的过程中,又常以中性层作为主要参考依据,所谓中性层是指介于板材外层和内层之间的一个特殊层,通常认为中性层的展开长度不受弯曲影响^[3]。

钣金零件类型丰富,弯曲方式可分为圆角和直角(图 1),表 1 列举了一些常见的圆角弯曲零件的展开计算公式,其中 R 为中性层半径, r 为内层半径, δ 为板材厚度, x 为中性层变化系数。

中性层半径 R 由公式(1)计算所得,其中变化系数 x 通过查表可得:

$$R = \begin{cases} r + 0.5\delta & (r/\delta > 5) \\ r + x\delta & (r/\delta < 5) \end{cases} \quad (1)$$

表 1 圆角弯曲矩形展开公式

Table 1 Fillet bending of rectangular expansion formula

名称	长度 L 的展开公式	计算示例/mm								
		A	B	C	D	R_1	r	δ	D_2	L
直角弯角	$A + B + \pi(R_1 + x\delta)/2$	120.0	80.0			8.0		8.0	0.42	217.8
任意弯角	$A + B + \pi\alpha(R_1 + x\delta)/180^\circ$	120.0	80.0			30.0		10.0	0.47	2 817.8
椭圆桶体	$\pi(A + B)/2$	500.0	350.0							2 691.0
圆筒体	$\pi(D_2 - \delta)$							16.0	1 000.0	3 091.3
混合圆角弯曲	$A + C + D - 2(r + \delta) + \pi/2[R_1 + r + (B + \delta)/2]$	200.0	30.0	30.0	400.0	200.0	50.0	10.0		1 204.0

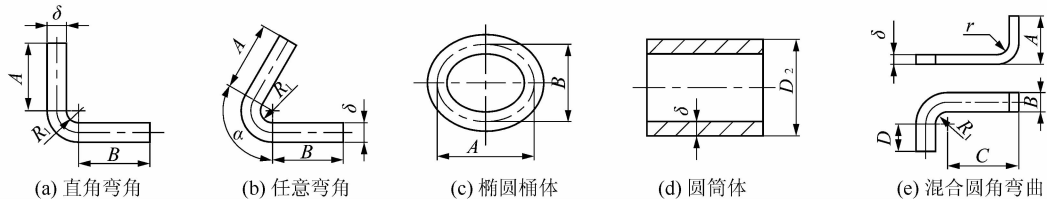


图 1 圆角弯曲类型

Figure 1 Round bend type

确定了展开计算公式,还应注意如何对弯折误差进行补偿,这可以通过在插件交互界面中手工输入误差估计值实现^[4]。之后,钣金零件的展开图就能轻易绘制出来。

2 排样优化关键技术

钣金加工的另一道重要工序是钣金排样,因为排

样的优劣决定着材料的最终利用率。在传统经验式排样方式中,技术人员的经验主导一切,材料的高利用率难以保证。在利用 CAD 技术实现钣金自动排样过程中,基于工程实际和排样算法理论,可以把排样问题分为矩形排样和不规则排样两类。排样优化的关键技术也围绕这两类排样问题展开。

2.1 矩形排样

矩形排样是指展开形状为矩形构件的排样问题。矩形排样和不规则形状排样,这2个问题关系密切,但从算法理论和实现难度而言矩形排样比不规则形状排样要容易,所以,有关图形排样的问题研究大都从规则排样开始,再逐步过渡到不规则排样^[5]。

矩形排样基本数学模型可以描述为:在一定的约束条件下,将一组矩形构件 $R(R_1, R_2, \dots, R_n)$,按材料利用率最高原则排放到给定尺寸(长 L ,宽 W)的板料 P 上。约束条件为:①板料尺寸 $\leq$ 构件尺寸;②构件彼此不重合;③对其它工艺要求的满足。

从数学的角度来看,这个问题可以被认为是最优板料利用率的线性目标函数优化问题,以下变量主要用于数学建模:

$i = \{1, 2, \dots, n\}$ — 矩形件下标序号;

$L_{\min}$ —所需板料长度(最小值),同时也是优化目标值;

(x_j, y_i) —矩形构件 R_i 左下角坐标值;

W_i —矩形构件 R_i 的宽度;

H_i —矩形件 R_i 的高度;

另外为了方便描述构件自身位置与排样方式的关系,定义3个布尔变量。

r_i —如果 R_i 满足关系 $L_i > W_i$,表示 R_i 横放,此时 r_i 取1,否则取0;

l_{ij} —当 R_j 位于 R_i 右侧时, l_{ij} 取1,否则取0;

b_{ij} —当 R_j 位于 R_i 下侧时, b_{ij} 取1,否则取0。

通常,用以解决矩形排样定序规则的有布尔(BL)算法和最低水平线法,两者差异在于,BL算法实现效率高、运算时间短,但在某些特殊情况下,收敛速度慢,所以在最终排样效果上不如最低水平线法。考虑到目前计算机硬件性能普遍较强,采用最低水平线解决矩形排样问题。

对问题作进一步简化:矩形排样中只考虑构件的2个方向,既横向和纵向,可以把最低水平线法改良为旋转最低水平线法,即每次在排放时对构件只进行90°旋转。

旋转最低水平线法的操作步骤为:

- 1) 把板材的底边设置为初始排样的最高轮廓线。
- 2) 构件 R_i 排样成功后,更新最高轮廓线,保存其中的最小值,为下一构件 R_j 的排样做准备。
- 3) 构件 R_i 排入时依次查询当前最高轮廓线中的最低水平线。若排入宽度 $\leq$ 最低水平线,则 R_i 靠左排放;若排入宽度 $>$ 最低水平线, R_i 先作90°旋转,再用

此时宽度和最低水平线进行比较,若排入宽度 $\leq$ 最低水平线,则 R_i 靠左排放,同时更改状态变量 R_i ;若排入宽度 $>$ 最低水平线,则重新选择最低水平线,更新参数。

4) 重复步骤3),直到所有构件排样成功。

5) 重复以上步骤直到构件排放完毕。

前面提到,矩形排样问题可以被认为是一个以材料利用率最高为目标函数的线性优化问题,旋转最低水平线只是一种定序规则,无法完成函数的自动优化,所以,还必须借助专门的线性优化算法^[6]。线性优化算法较多,文中采用遗传算法作为矩形件排样关键步骤求解的方法。

利用遗传算法求解矩形排样问题可细分为2个问题:①把构件的排序问题看成是排列组合问题;②在排序完成后,获得排样图。

整个过程的算法描述如下:首先,把问题的解表示成染色体,即编码过程,染色体用二进制串表示;其次,以初始化种群空间的方式,选取一定法则,利用染色体产生初始种群;然后,把所有可行解置于问题环境中,按适者生存原则,对较适应环境的染色体进行复制;最后通过交叉、变异等程序产生更适应环境的下一代“染色体”种群^[7]。经过这样一代代的地“进化”,最后的种群空间就会收敛到最适应环境的一个“染色体”上,它就是排样问题的最终解。

2.2 不规则形状排样

在对规则形状(矩形)排样的基础上可实现不规则形状排样,但方式更复杂。现在采用比较多的是最小矩形包络法、最低水平线搜索算法和平移靠接算法。文中采用最小矩形包络法和平移靠接算法。

最小矩形包络法,实际是用矩形将不规则的图形包络在矩形内,并使包络矩形的面积最小。只要找到合适的包络,后续的解决方案和矩形构件完全一样。

平移靠接算法是在水平或垂直方向上将2个不规则的图形进行靠接,直到2个图形刚好连接(但不交叉),图2是一个左右图形水平方向平移靠接的范例^[8]。

平移靠接法步骤如下:

1) 扫描靠接区域、确定靠接区域和确定靠接轮廓线(简称轮廓线)。通过扫描确定图形1和图形2之间为靠接区域,从而确定图形1的轮廓线为 $ABCDE$,图形2的轮廓线为 $FGHIJK$ 。

2) 确定两图形轮廓线上的凸凹点。图形1为 A, B, C, D, E ;图形2为 F, G, H, I, J, K 。

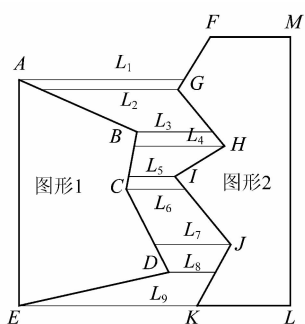


图2 平移靠接前

Figure 2 Before translational inarching

3) 确定对应凹凸点的靠接水平距离。以图形1为例,从A点向右作水平线延长线与图形2的轮廓线相交,长度记为 L_1 ,同理可求过B,C,D,E的4个点到图形2的靠接水平距离,长度分别记为 L_3, L_6, L_8 和 L_9 。同样方法标记图形2上凹凸点的水平靠接距离,分别为 L_2, L_4, L_5, L_7 和 L_9 。由于F点的左向水平延长线不和图形1相交,因此不记录。最终的靠接距离集合记为 $W = \{L_1, L_2, L_3, \dots, L_9\}$ 。

4) 通过进行参数比较,确定集合W中的最小值 L_i ,作为最终水平靠接距离,记为 $W_{\min}$ 。

5) 以 $W_{\min}$ 为图形的靠接移动参数,进行水平靠接,如图3所示。

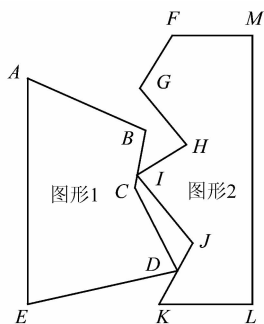


图3 平移靠接后

Figure 3 After translational inarching

从问题最优化的角度出发,先采用最小矩形包络法对不规则形状进行预处理,然后采用平移靠接算法对预处理形状进行排样,这样比单纯使用最小矩形包络法的材料利用率要高,但会额外增加一些计算时间,核心代码如下:

.....

```
Canvas. Pen. Color = ClBlue; //画多边形
Canvas. Moveto ( Round ( RandomPoly [ 0 ]. X ),
Round( RandomPoly[0]. Y ));
for ( i = 1; i <= j + 1; i ++ )
```

```
{ Canvas. Lineto ( Round ( RandomPoly [ i ]. X ),
Round( RandomPoly[i]. Y ));
Canvas. Lineto ( Round ( RandomPoly [ 0 ]. X ),
Round( RandomPoly[0]. Y ));
Canvas. Pen. Color = ClRed; //画包含矩形
Canvas. Moveto ( Round ( RectPoly [ 0 ]. X ),
Round( RectPoly[0]. Y )); }
for ( i = 1; i <= 3; i ++ )
{ Canvas. Lineto ( Round ( RectPoly [ i ]. X ),
Round( RectPoly[i]. Y ));
Canvas. Lineto ( Round ( RectPoly [ 0 ]. X ),
Round( RectPoly[0]. Y )); }
while ( Degree < PI ) //角度递增旋转
{ PloyRotate ( RandomPoly, TempPoly, Degree );
//变换
ARect = BuildMinRect( TempPoly ); //求水平
包含矩形
if ( ARect. Size < SizeMin )
{ SizeMin := ARect. Size; } //记录最小面积
的包含矩形
.....
```

3 设计实践

通过前期功能分析,可以绘制出插件的整体结构流程图见图4。

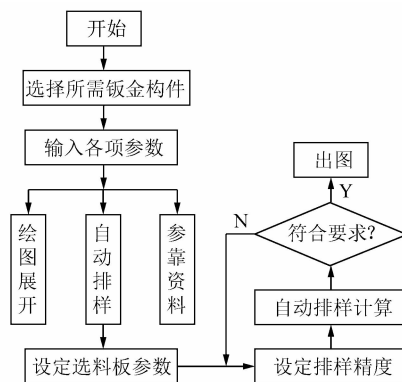


图4 结构流程图

Figure 4 Structure flow chart

以下是根据文中探讨的方法,利用所开发的AutoCAD插件,对常用钣金构件——正圆锥管的参数化展开以及排样优化的过程。

首先在AutoCAD命令栏执行“钣金”命令,选中正圆锥台,确认后,会显示对应的各项参数输入界面(图5)。输入各种参数确认后,在命令栏执行“钣金出图”命令,钣金展开图会在CAD平台上显示(图6)。

选取 CAD “Polyline” 工具,沿圆形料板轮廓选取点绘制多段线,然后在命令栏执行“选外板”命令,在选取料板、样板后,在命令栏执行“排样”命令,将显示如图 6 对话框进行排样精度控制,排样后,会在图 7 中显示优化排样的个数以及材料的利用率,如果对结果不满意,可以调节精度条重新排样。

如果对结果满意,执行“排样了出图”命令后,排样的结果将在 CAD 主窗口显示(图 8)。

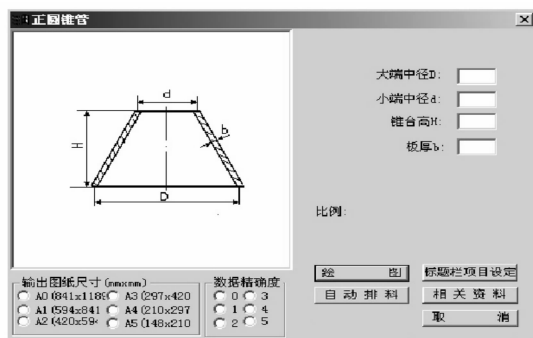


图5 钣金参数输入

Figure 5 Sheet metal parameters input

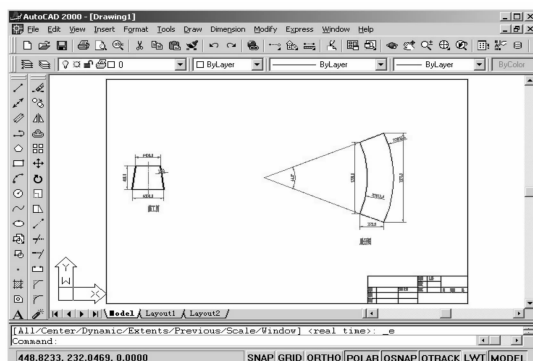


图6 钣金展开结果

Figure 6 Sheet metal unfolding results



图7 材料形状选择及精度控制

Figure 7 Material shape selection and precision control

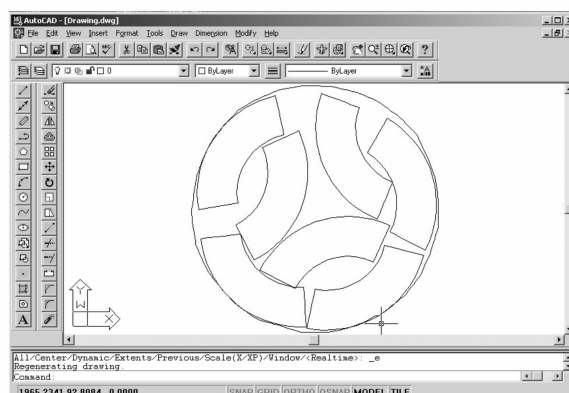


图8 排样优化结果

Figure 8 Layout optimization results

4 结论

传统钣金生产过程中的低效、精度不高和材料浪费严重影响了企业的生产效益。在计算机技术突飞猛进的今天,利用 CAD 技术可实现钣金展开及排样优化。

文中开发的基于 AutoCAD 钣金插件,在 AutoCAD2000 及其以上版本上测试均通过。经测试,插件的整体效果良好,能极大地提高实际工作效率和工件的质量。

参考文献:

- [1] YEUNG L H W, TANGE K S W. A hybrid genetic approach for garment cutting in the clothing industry [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2003, 50(3): 449-455.
- [2] 李淑萍, 韩忠民, 尹海军, 等. 钣金展开件生成方法研究 [J]. 机械设计与制造, 2007(1): 98-99.
- [3] 刘纪营. 钣金自动展开和排样优化系统关键技术研究 [D]. 西安: 西安工业大学, 2011: 42-77.
- [4] 孙波, 赵汝嘉. 计算机辅助工艺设计 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [5] 杨传华, 吴锦文, 李殿国, 等. 基于二维不规则图形的实用排样算法研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2010(3): 88-90.
- [6] 龚志辉, 黄星梅. 二维矩形件优化排样算法的改进研究 [J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2003, 30(3): 47-49.
- [7] 吴忻生, 吴超成, 刘海明. 基于改进遗传算法的矩形件排样优化算法 [J]. 制造业自动化, 2013, 35(10): 55-58.
- [8] 梁艳霞, 董光光. 水晶灯设计的 CAI 技术研究 [J]. 机械设计, 2013, 30(9): 105-107.
- [9] 曾敏, 王乘, 刘琼梅. 大规模定制板材排样的多种群蚁群优化算法 [J]. 制造业自动化, 2011, 33(5): 59-62.
- [10] 黄红兵, 蒋望东. 二维不规则零件排样问题的研究 [J]. 广西科学院学报, 2004, 20(4): 225-227.