

# 喷涂机器人自动轨迹规划研究进展探讨

蒋立军

(埃夫特智能装备股份有限公司 安徽 芜湖 241000)

**摘要:** 以工件表面 CAD、喷枪涂料沉积模型以及相关约束条件为基础, 利用轨迹规划器完成机器人喷枪轨迹的生成, 从而能够实现喷涂自动轨迹规划。本文通过对喷涂机器人自动轨迹规划的研究进展进行相应的探讨, 对其下一阶段的发展有一定的指导作用。

**关键词:** 喷涂机器人; 自动轨迹规划; 研究

## 0 引言

目前, 机器人喷涂自动轨迹规划主要使用的方法有自动轨迹规划法和示教法。其中示教法凭借其操作方式简单而得以广泛应用, 但其缺陷也十分的明显, 示教法在实际应用的过程中操作者会长时间处于危险的环境中, 同时对材料以及时间有较大的消耗, 最终的喷涂效果与操作工人的技术水平直接相关。而自动轨迹规划法利用的是最优喷涂轨迹规划器, 从而能够克服示教法中存在的缺陷, 并且能够使喷涂机器人的自动化程度得到较大的提升。

## 1 喷枪涂料沉积模型

在对喷涂自动轨迹规划进行研究时, 相关研究人员应用多种理论, 明确喷雾图形的涂层厚度分布, 一般喷枪的喷雾图形包括椭圆形以及圆形等。而在对喷枪涂料沉积模型进行研究时, 也是按照图形的形状来完成。而喷雾图形的涂料分布范围, 其主要有无限范围模型和有限范围模型。其中无限范围模型最常用的是柯西分布模型与高斯分布模型, 这种模型可以直接得到积分函数, 显著的降低计算时间, 同时获得的代价函数较为光滑, 在使用非线性规范算法进行求解时可以提高算法的收敛性。有限范围模型比较类似于实际的物理模型, 常用的有抛物线分布模型以及椭圆分布模型等。总的来说喷枪喷射的涂料分布情况是十分复杂的, 如果加入较多的几何图形或静电喷枪, 则会加剧涂料分布的复杂性。因此, 现阶段所应用的涂料沉积模型都比较简单, 通过在平面或者变化率比较小的曲面中进行应用, 可以得到较好的效果, 但并不适用于比较复杂的表面。

## 2 工件表面 CAD 模型

为了能够达到自动轨迹规划的目标, 工件表面 CAD 模型是非常重要的第一步, 一般都是利用计算机辅助几何设计以及扫描等完成建模, 常用的方法有 NURB 法以及 B 样条法, 不同的方法进行组合也能够进行使用。其中 B 样条法因为能够对形状进行较为可靠的控制并且具备一定的局部传播性, 因此应用范围较为广泛。通过采用这些建模方法, 能够得到较高的数学精度, 形成的表面能够满足不同的曲率要求, 从而光滑性较好, 不过因为逻辑性较为复杂, 因此在进行轨迹处理时难度就较大。为了能够降低喷枪轨迹规划的时间, 提高喷涂的效率, 需要给喷枪提供一种能够进行连续喷雾的方式, 并且需要把所生成的小面积整合成大面积的表块, 从而

降低连续喷涂的数目。目前有一些方法便能够满足这些要求, 例如采用三角形近似法等。应用这些方法并完成造型后, 工件的相关信息便能够存储在 CAD 数据库中, 为喷枪轨迹规划模块提供所需的数据参数。

## 3 优化准则以及最优轨迹规划器

喷涂最优轨迹规划的优化准则包含三个方面的内容: ①在满足规定的平均涂层厚度的基础上, 计算出涂层厚度的最小变化值; ②在满足规定厚度的基础上, 计算出喷涂的最短时间; ③在满足涂层厚度的基础上, 当喷涂时间处于上限时, 喷涂厚度的最小变化值。目前研究较多的是计算涂层的最小变化值, 在计算过程中, 一般利用涂层厚度的平均方差作为评价目标函数。

最优轨迹规划器作为喷涂系统中最重要的部分, 需要对喷枪的轨迹进行优化。而喷枪的轨迹包括喷枪的位置、速度以及方向, 因此轨迹规划主要围绕这三个方面来进行。对于不同的平面处理方式也会有所不同, 具体如下:

如果是一般的平面, 需要先建立喷涂沉积模型以及相应的评价函数, 同时给喷枪轨迹确定一条路径, 通过进行参数的选择以及算法的求解, 确定最佳搭接间距所需的数据, 利用这些参数完成喷枪轨迹的设计。为了最大程度的减少数据加工的循环时间, 研究人员通过选择合适的路径减少单元数, 从而能够降低刀具的转向与撤回的次数。

如果是不规则的自由表面, 则需要提前知道表面的 CAD 模型以及涂层的厚度等需求, 研究人员提出采用约束盒法完成轨迹规划。这种方法包含喷涂轨迹规划和喷涂片区生成两道工序, 生成喷涂片区的基本思路为: 先将表面的喷涂片区进行分解, 得到多个小三角形, 之后按照这些三角形生成喷涂片区, 每个喷涂片区的最大偏差角应低于临界角, 从而使喷涂片区的厚度能够满足相关要求。在应用约束盒法时, 如果计算出的交点间距离较大, 则会使得中心轨迹与工件表面间的轮廓不够吻合, 因此有研究人员对约束盒法进行了改进。改进后的约束盒法对边框顶侧面与右侧面两组平面进行了切割, 进而使得一组平面间的距离较小, 通过将这两个平面与工件的表面进行连接就能够作为中心轨迹。尽管约束盒法得到了一定的改进, 但对于形状复杂的工件还是不能够进行喷涂轨迹的规划, 同时改进的约束盒法所得到的路径不一定是

(下转第 71 页)

先进计算机辅助夹具设计的一个重要技术,能够通过工装夹具的设计来进行建模。因为精密薄壁零部件制造的工装夹具设计是一个复杂的工程,需要受到多种因素的影响,例如生产成本低,可行性低下等。所以,企业需要基于有限的技术来提升零部件工装夹具工艺的仿真技术,从而实现铝合金薄壁零部件的精密设计。另外,研究人员还需要通过模拟完整的装夹环境,对零部件的工装夹具设计方案进行全局的仿真和优化。

#### 2.5 数字化智能焊接电源的应用

信号可分为两类:模拟信号和数字信号。传统机械制造中使用的大多数信号都是模拟信号。使用模拟信号的优点是能够快速收集和传输它们。然而,使用模拟信号也具有某些缺点,即难以保证信号的准确性,并且更加难以判断信号的准确性。在这种情况下,机械制造业的信号已经从模拟逐渐变为数字。在将模拟信号转换为数字信号的过程中,需要注意以下两个方面:信号采集的保真度,信号转换精度。在焊接过程中,焊接质量与电源性能有很大关系。将焊接的电源性能从模拟信号转换为数字信号后,可以大大提高焊接质量。通过使用数字信号,焊工可以远程控制焊接电源。简单来说,工业焊接最重要的就是电源的性能,因为这决定着工业焊接的整体质量,所以,必须从传统的模拟信号改成先进的数字信号。这样的情况下,焊

接电源就可以用数字化来直观的显示焊接过程中的各种参数,并最大化发挥焊接电源的作用,整体提高焊接的效率和质量,减少了焊接工作人员对于焊接过程中各种参数的影响,对于焊接的整体质量提高有极大帮助。

### 3 结语

焊接工艺的进步和发展直接推动着企业零部件的生产质量,同时也为焊接工装夹具的使用创造了新的发展机遇。因此,工程机械制造领域需要关注现代化科学技术,学习新的知识,以此来推动我国工程机械制造产业的智能化发展,进而推动我国工程机械制造产业的发展。

#### 参考文献:

- [1] 李元海,刘轩昂.焊接与切割装备在工程机械制造高效焊接中的应用研究[J].湖北农机化,2019(18).
- [2] 宋恒昌,刘菲菲.焊接与切割装备在工程机械制造高效焊接中的应用[J].化工管理,2019(16).
- [3] 史春鹏.探究工程机械制造高效焊接中焊接与切割装备的应用[J].机械管理开发,2020,32(09).
- [4] 魏守盼,周仕勇,张峰.数控切割技术在工程机械中的应用及发展[J].金属加工(热加工),2020(8).
- [5] 孙世超.焊接与切割装备在工程机械制造高效焊接中的应用[J].金属加工(热加工),2020(18).

(上接第69页)

最优的,从而增加了喷涂的时间。并且因为没有考虑到种子路径的相对位置,因此容易导致喷涂的涂层不够均匀。

此外,对于喷涂位置已经明确的喷涂路径,研究人员提出了一种优化喷涂路径的方法,在满足喷涂平均厚度要求的基础上,主要考虑两方面的内容:①速度最慢时的最短喷涂时间;②喷涂厚度的变化情况最小。但这两方面的内容属于约束二次规划方面,并没有考虑喷枪加速度。针对这种情况,有研究人员建立了矢量场喷涂路径的最优模型,不过这种模型同样存在缺陷,即喷枪的速度会对涂料沉淀的均匀度产生较大的影响。因此需要对喷枪的速度进行调整,从而保证涂层的厚度与均匀度能够达到要求。

而国外研究人员采用一种半全局的方式对路径的速度进行优化,通过对部门路径的方向进行调整,从而确保涂层更加的均匀。

### 4 自动轨迹规划发展趋势

#### 4.1 多目标优化

目前的研究主要集中在满足平均涂层厚度的基础上计算最小的涂层比厚度变化,不过这种单向目标优化还是无法达到最优的效果,因此研究人员下一步的研究方向将集中在满足平均涂层厚度的基础上,计算最短的喷涂时间。

#### 4.2 建立适应性更好的喷枪涂料沉积模型

目前所使用的喷枪涂料沉积模型应用于较为简单的平面时能够获得比较不错的效果,但并不适用于复杂的工件表面。考虑到实际应用的情况,为了能够实现喷枪的变速喷涂以及变距离喷涂,对喷枪涂料沉积模型的要求就更高,这也将是

后续的研究重点。

#### 4.3 复杂工件表面喷涂自动轨迹规划

在实际的喷涂过程中,部分工件的表面十分复杂,比如S形管道的内表面等。而目前的喷涂自动轨迹规划还主要集中在简单的表面中,面对较为复杂的表面还需人工进行辅助喷涂,因此复杂工件表面喷涂自动轨迹规划是未来发展的方向。

#### 4.4 具备一定约束条件的自动轨迹规划

现有的研究中没有考虑喷涂机器人的速度以及姿势偏差等约束条件所带来的影响,从而会对喷涂的均匀性产生一定的影响,有的喷涂机器人在工作过程中受结构因素以及控制因素的影响,会出现位置偏移或者速度偏差的情况。如果在后续的设计中不对这些因素进行充分考虑,会使得喷涂效果大大折扣。

### 5 结语

通过应用喷涂机器人能大大提高喷涂效率,但喷涂机器人的自动轨迹规划在目前的应用中还存在一定的缺陷,因此需要不断地进行研究,提升喷涂机器人的喷涂质量。

**基金项目:** 本文由国家重点研发计划项目资助(项目号:2017YFB1303900)

#### 参考文献:

- [1] 颜华,王力强,戴树成,等.喷涂机器人轨迹规划研究进展[C].航空航天表面处理新技术研讨会.中国腐蚀与防护学会,2009.

**作者简介:** 蒋立军(1980.09-),男,汉族,安徽芜湖人,研究生,工程师,研究方向:机械设计理论。