

复合材料纤维自动铺放过程碰撞干涉检测

安鲁陵¹ 杨玉岭¹ 肖军² 周来水¹

(1 南京航空航天大学机电学院, 南京 210016)

(2 南京航空航天大学材料科学与技术学院, 南京 210016)

文 摘 基于七自由度复合材料纤维铺放机器人,对铺放过程中可能出现的碰撞干涉情况进行分析,建立了铺放机器人三维数字化模型,研究了基于实体布尔运算的碰撞干涉检测算法。基于 CATIA CAA 平台开发了碰撞干涉检测模块,集成于复合材料纤维自动铺放编程软件中,对某型飞机进气道的铺放过程进行了仿真,结果证明本文提出的算法可有效地检测碰撞与干涉。

关键词 复合材料,纤维铺放,机器人,碰撞干涉,布尔运算,CATIA,CAA

Study of Collision and Interference Inspection Algorithm in Automatic Composite Fiber Placement

An Luling¹ Yang Yuling¹ Xiao Jun² Zhou Laishui¹

(1 College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

(2 College of Material Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract Based on 7-axis robot for auto composite fiber placement, the collision and interference between the machine and the core model are analyzed. The digital model of the fiber placement robot is established and the inspection algorithm is studied based on Boolean operation of solid models. Based on CATIA CAA, the collision and interference inspection module is developed and is integrated into the automatic composite fiber placement programming software. The collision and interference inspection and simulation are carried out for the fiber placement process of an airplane inlet part. The result verifies the feasibility of the collision and interference inspection algorithm.

Key words Composite material, Fiber placement, Robot, Collision and interference, Boolean operation, CATIA, CAA

0 引言

复合材料纤维铺放技术是在缠绕和自动铺带基础上发展起来的一种复合材料新的制造技术^[1-3]。纤维铺放时,由计算机控制多自由度机器人手臂的协调运动及芯模绕其轴线的运动,利用其端部的圆柱压辊将加热软化的若干根预浸纤维压在芯模表面,制成复合材料构件。

在实际铺放过程中,由于机器人手臂和芯模的复杂运动,加之芯模形状各异,可能会发生碰撞干涉现象。为确保自动铺放机器人的正常工作,必须对自动铺放过程进行碰撞干涉的检测。本文基于南京航空航天大学自主研制的七自由度铺放机器人,建立了铺

放机器人三维数字化模型,设计了碰撞干涉检测算法,以对所生成的铺放机器人控制指令进行分析。基于 CATIA CAA,实现了自动铺放过程碰撞干涉检测功能。

1 七自由度铺放机器人建模

自动铺放机器人的结构如图 1 所示,它由机座、六关节机器人手臂和芯模组成,其中机器人手臂由三个移动关节和三个手腕(转动)关节组成。机器人手臂和芯模构成了七自由度机构。手腕关节的结构如图 2 所示,在转动关节 6 的顶端装有可自由转动的圆柱形压辊,其转轴与关节 6 固联。

在建立铺放机器人数字化模型时需要考虑三方

收稿日期:2006-05-15;修回日期:2006-07-20

基金项目:国家“863”高技术发展计划资助项目(2002AA334130)

作者简介:安鲁陵,1962 年出生,教授,主要从事数字化设计制造方面的工作

面问题:(1)各关节运动符合实际的运动关系和相对运动范围;(2)正确反映机器人手臂各关节的外形轮廓;(3)在逆运动学求解^[4]时将压辊和关节6作为一个整体处理,但是在碰撞干涉检测中,需要将压辊与关节6分开处理,以判断碰撞干涉的具体构件。

根据以上的分析,在建模过程中将铺放机器人分解成机座、芯模、压辊和机器人手臂各关节共九个装配体,各个装配体如图1、图2所示。图3所示为建立各个模型时需要参照的D-H方法^[5]关节坐标系。表1为关节参数及其变化范围,其中各变量的意义参见图3。

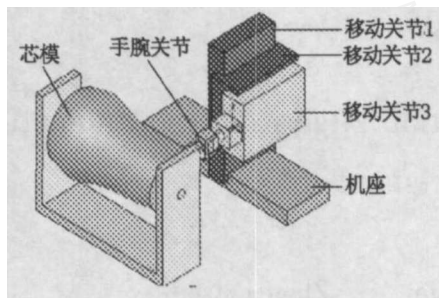


图1 七关节自动铺放机器人模型

Fig. 1 7-joint automatic fiber placement robot model

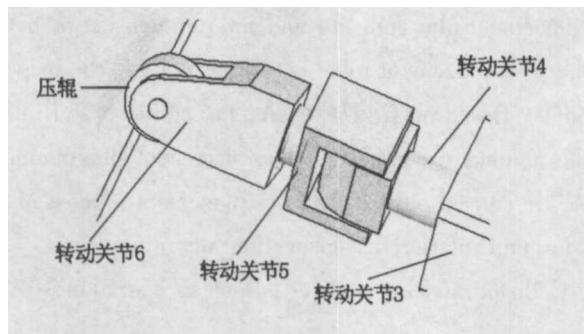


图2 机器人手腕关节
Fig. 2 Joints of robot wrist

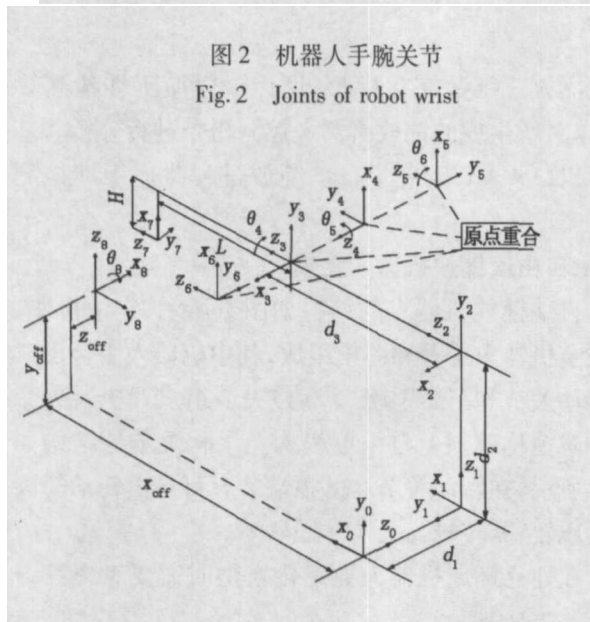


图3 基于D-H方法的机器人关节坐标
Fig. 3 Coordinate system of robot joints based on D-H method

表1 七自由度铺放机器人关节参数

Tab. 1 Joint parameters of fiber placement robot

关节 i	d_i	$\theta_i / (^\circ)$	a_i	α_i	关节变量变化范围
1	d_1	0	0	-90	$d_1: 0 \sim 3000$ mm
2	d_2	90	0	90	$d_2: -300 \sim 300$ mm
3	d_3	0	0	0	$d_3: -250 \sim 250$ mm
4	0	θ_4	0	90	$\theta_4: 180^\circ$
5	0	θ_5	0	-90	$\theta_5: -90^\circ \sim 90^\circ$
6	0	θ_6	0	0	$\theta_6: -180^\circ \sim 180^\circ$

2 铺放机器人运动过程中碰撞干涉的检测

2.1 碰撞干涉检测算法的基本原理

本文基于实体布尔运算设计碰撞干涉检测算法。除机座之外,对压辊、机器人手臂各关节和芯模共八个零件在铺放过程中的每个离散控制点进行两两求交计算^[6],如果出现相交现象,则进一步判断。在布尔求交运算之前,首先要判断铺放机器人各关节的运动是否都在规定范围内,否则关节运动超限,作为碰撞情况处理。对于机器人手臂各关节和芯模之间的求交计算,如果布尔计算结果有相交体产生,则认为在该关节和芯模之间发生了碰撞。而对于压辊和芯模之间,由于压辊在铺放过程中以一定压力被压在芯模模型表面,使得它们之间的关系比较复杂。碰撞干涉检测算法的基本流程图如图4所示。

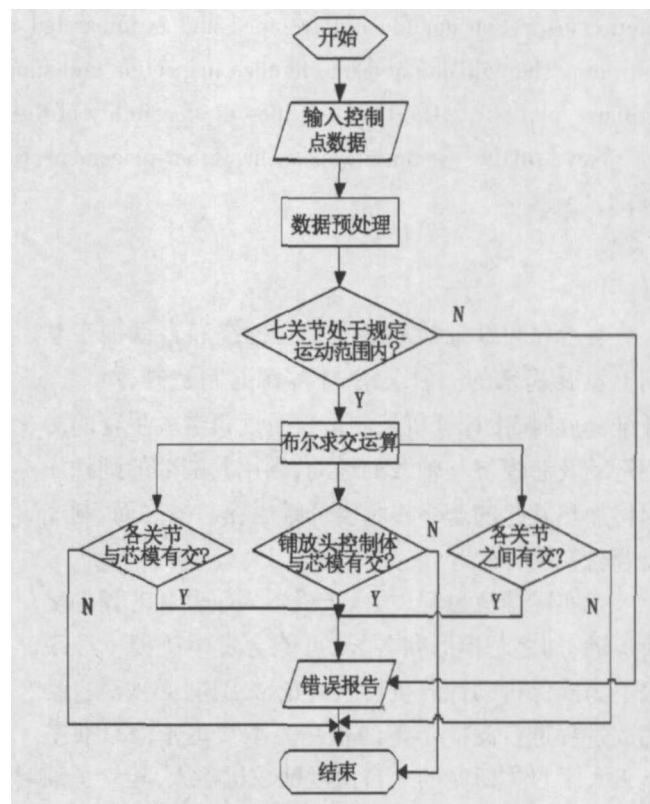


图4 碰撞干涉算法流程图

Fig. 4 Flowchart of collision and interference inspection algorithm

2.2 干涉与碰撞的分析

本文研究碰撞干涉检测主要针对下列铺放过程中的三种情况。

第一,铺放机器人手臂各关节之间的碰撞。在铺放运动过程中,机器人各个关节的运动所需要的信息是通过逆运动学求解获得。在求解过程中,由于解的多样性以及其他原因,可能会使解得的关节运动信息超出机器人关节运动所允许的范围,这样会造成铺放机器人手臂各关节之间相互碰撞或是机器人手臂脱节。

第二,铺放机器人手臂各关节和芯模之间的碰撞。在铺放运动过程中,由于铺放机器人手臂各个关节连续运动和变换姿态,同时具有复杂形状的芯模随主轴旋转,这些因素都有可能引起机器人手臂各关节和芯模之间发生碰撞。

第三,压辊与芯模之间的干涉。

由于布尔求交计算过程非常耗时,若要对上述三种碰撞干涉情况都进行布尔计算,则需要对八个装配件都进行两两求交,共需 C_8^2 次求交计算,致使计算过程相当缓慢。因此,有必要对上述三种情况进行分析,以排除无需布尔运算即可判断碰撞干涉是否发生的情况。

对于第一类情况,可以通过限定机器人手臂各个关节的运动范围来判断碰撞现象是否发生。实际上,这在布尔运算之前已经解决。本文所使用的铺放机器人的运动信息是应用文献[4]中的逆运动学求解方法获得的,在求解过程中已保证了机器人手臂各个关节的匹配关系,并且根据表1给定的转动关节运动范围限定了关节4、5和6的转动角度。在布尔求交计算之前,只需根据表1给定的移动关节运动范围,在程序中限定关节1、2和3的移动距离。这样,第一种碰撞情况就可以直接判断出是否会发生。只需将芯模分别和压辊、机器人手臂关节等七个模型进行七次布尔求交计算,因此,可大大简化算法。

2.3 压辊与芯模之间的接触分析

圆柱形压辊具有一定的弹性。根据铺放要求的不同,芯模的形状不尽相同,本文以如图5所示的某飞机进气道模型为例,分析压辊与芯模模型之间的接触关系。

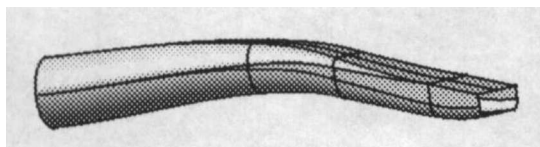


图5 飞机进气道模型

Fig.5 Airplane inlet model

按照铺层角度的不同,可以分为 0° 、 90° 和 $\pm 45^\circ$

宇航材料工艺 2007年 第2期

四种方向的纤维铺放^[7]。在不同方向铺放中,压辊以不同的姿态与芯模相接触,铺放时通过压辊与芯模之间的接触力将被加热软化的预浸纱束铺放在芯模表面。这种接触力的存在,会使压辊和芯模都产生一定的弹性变形,而且随着接触力的增大,变形量也会相应增大,当接触力达到某一值时,就有可能使这种弹性变形转变为塑性变形,造成压辊或芯模的损坏,甚至引起机器人手臂关节和芯模发生碰撞。所以铺放过程中压辊和芯模变形的大小反映了它们之间接触应力的大小,同时也反映了铺放过程中机器人和芯模之间的安全状况。在实际的铺放过程中,为了避免上述现象的出现,通常都会根据工程要求确定最大许用接触应力。

为方便起见,在布尔求交计算中,可以假定芯模和压辊都是刚性的,在芯模和压辊之间只要存在接触应力就会彼此进入,而不发生弹性变形。这样当存在接触力时,它们之间就会在空间中形成一定的重叠区域。在这个区域内,芯模表面与压辊表面之间的最大重叠深度 δ 就反映了铺放过程中的最大弹性变形量。由于实际铺放中的弹性变形量必须控制在一定的范围内,所以可在压辊内部定义一个虚拟的圆柱体,在此成为控制体,其半径与压辊名义半径相差最大弹性变形量 δ_{lim} 。控制体始终不能与芯模相交,否则说明实际铺放过程中的弹性变形量超出了允许的范围,导致出现过大的弹性变形,也就是干涉,如图6所示。

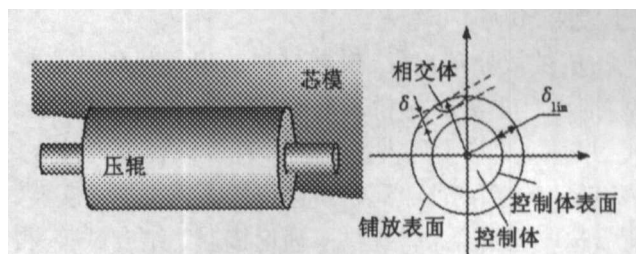


图6 铺放表面、控制表面关系图

Fig.6 Relation between placement and control surfaces

根据赫兹接触理论,可以由最大许用接触应力求得 δ_{lim} ,由此得到控制体的尺寸。然后在碰撞干涉检测中,以该控制体代替压辊与芯模进行布尔求交计算,再根据计算结果给出相应的判断。

2.4 碰撞干涉检测算法的实现

基于 CATIA CAA 开发平台,实现了铺放过程的碰撞干涉检测功能。应用 CAA 中提供的布尔计算接口进行布尔求交计算。碰撞干涉检测算法在 CATIA 中实现的具体过程如图7所示。图8是针对某型飞机进气道模型进行的自动铺放仿真过程。将碰撞干涉检测算法集成于仿真过程中,对铺放机器人的运动过程进行干涉检测。当仿真过程中出现上述任意一种碰撞现象时,系统弹出对话框,提示碰撞情况的发

— 53 —

生,同时暂停仿真,待用户处理。

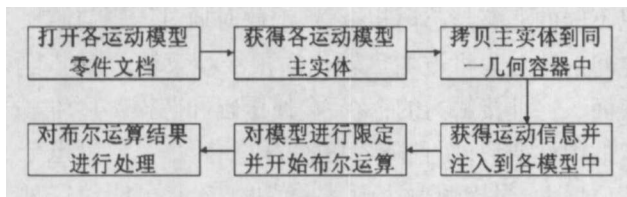


图7 碰撞干涉检测过程图

Fig 7 Process of collision and interference inspection

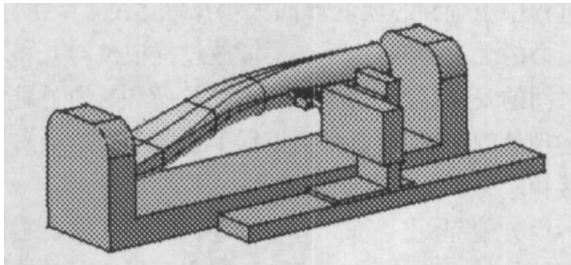


图8 某型飞机进气道模型自动铺放仿真过程

Fig. 8 Simulation process of automatic fiber placement of airplane inlet model

3 结论

对七自由度机器人自动铺放过程中的碰撞干涉进行了分析,设计实现了碰撞干涉检测的算法,并集成于自动铺放仿真模块中。对某型飞机进气道的铺放过程进行了干涉检测和仿真。结果证明了本文提出的算法的正确性。

参考文献

- 1 李勇,肖军. 复合材料纤维铺放技术及其应用. 纤维复合材料, 2002; 19(3): 39 ~ 41
- 2 Daniel L. Automated tap placement with in-situ electron beam cure. SAMPE J, 2000; 36(2): 11 ~ 33
- 3 Wiliam P B. The fiber placement path toward affordability. SAMPE J, 1998; 34(3): 11 ~ 16
- 4 安鲁陵,许斌. 复合材料纤维铺放自动编程技术研究. 工程设计学报, 2005; 12(4): 79 ~ 84
- 5 朱世强,王宣银. 机器人技术及其应用. 杭州: 浙江大学出版社, 2001: 60 ~ 90
- 6 谭光宇,袁哲俊,姚英学. 加工过程碰撞干涉的矢量法检验. 中国机械工程, 1999; 10(5): 513 ~ 515
- 7 周敏,安鲁陵,周来水. 复合材料自动铺丝路径生成技术研究. 航空精密制造技术, 2006; 42(2): 39 ~ 41

(编辑 任涛)

(上接第 50 页)

从扩散原理出发,根据材料的出气机理建立模型,推导出非金属材料表面的出气率和出气量的公式,并通过试验验证模型的正确性。该模型的建立,为卫星上使用的非金属材料进行环境模拟加速实验,所需选取的实验条件提供了理论依据。结合试验,得出星用非金属材料在 125℃ 高真空环境下,经过 6 h 预处理,材料的出气量能够达到整个出气量的 80% 以上,能够有效减少星用非金属材料在空间环境下的出气污染。

参考文献

- 1 Erlandson R E. MSX contamination experiment Ion mass spectrometer observations during early operations. The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Laurel, MD, 20723 - 6099, 1997

1997

- 2 Ho Y M, Parks H G, Vermeire B. A model for outgassing of organic contamination from wafer carrier boxes. In: Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, IEEE/SEMI, 2002
- 3 胡汉泉,王迁. 真空物理与技术及其在电子器件中的应用. 北京: 国防工业出版社, 1982: 134 ~ 143
- 4 Karl Jousten. Thermal outgassing. Physikalisch-Technische Bundesanstalt. Berlin, Germany, 2002: 111 ~ 126
- 5 姚日剑,王先荣,王鹤. 星用非金属材料出气成分测试分析. 真空与低温, 2005; 6(2): 98 ~ 103
- 6 沈淑娟. 波谱分析法. 上海: 华东理工大学出版社, 1992: 147 ~ 192

(编辑 李洪泉)