

圆柱形过滤器端部缠绕的堆积问题

王显峰¹ 富宏亚² 王永章²

(1 南京航空航天大学材料科学与技术学院,南京 210016)

(2 哈尔滨工业大学机电学院,哈尔滨 150001)

文 摘 在对圆柱形过滤器进行缠绕成型时,由于缠绕角、端部过渡长度以及芯模直径的大小等影响,过滤器端部经常出现纤维堆积的现象,导致纤维缠绕精度下降、机床运动干涉而造成材料浪费。经理论分析和仿真试验,提出了分别基于改变摩擦系数、调整轨迹跳越数和调整端部过渡段的减轻堆积的方法,最后应用该方法对航空用油过滤器进行缠绕成型试验,验证该方法的正确性和可行性。

关键词 端部堆积,缠绕,圆柱形过滤器

Winding Accumulation of Column Strainer End

Wang Xianfeng¹ Fu Hongya² Wang Yongzhang²

(1 Department of Material Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

(2 School of Mechanic and Electronic Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract When winding the gyration, the fiber accumulation on the gyration end will decrease the winding accuracy, cause the machine movement interference and lead to material waste due to the difference of the winding angle, transitional end length and module diameter. Aiming at the end accumulation of the gyration winding, an accumulation decreasing method is proposed based on the change of friction coefficient, adjustment of the trajectory skip steps and adjustment of the transitional end length. At last, this method is applied to the winding experiments of the aviation fuel filter to verify its correctness and feasibility.

Key words End accumulation, Winding, Column strainer

1 引言

目前,复合材料已经广泛用于圆柱形缠绕或铺放制品。圆柱的缠绕成型轨迹设计已经公式化^[1],可方便快捷设计各种缠绕轨迹,比如缠绕角、摩擦因数、缠绕长度、甚至过渡长度均可以实现精确计算与设计,但是随着缠绕层数的增多,圆柱端部堆积问题逐渐显现出来,成为控制缠绕精度和缠绕制品质量的瓶颈。本文针对圆柱体构件缠绕成型时的端部堆积现象,从纤维排布顺序、随变摩擦因数以及错带宽等方面研究减轻或消除缠绕端部堆积问题。

2 圆柱过滤器端部的缠绕布线

圆柱过滤器的网孔很小,需要几十甚至上百层的金属丝缠绕,端部易出现堆积现象,而使缠绕轨迹滑移,金属丝落点不准确,缠绕网孔大小不均,严重影响过滤器整体的过滤质量。下面针对该问题,从三个关

键方面进行探讨。

2.1 排线顺序

要想使圆柱表面均匀布满纤维,传统的柱形芯模缠绕方法是根据式(1)进行缠绕轨迹设计。

$$D = K(d_1 + d_2) / \cos \alpha \quad (1)$$

式中, d_1 为带宽, d_2 为预先设定的网孔宽, α 为缠绕角, D 为圆柱直径, K 为单层往复数。

首先根据过滤的要求选取适宜的带宽、网孔宽,然后选取过滤器的 D 和 α ,由上式即可求出单层往复数 K ,然后取整 K 值,反求 α 。最后根据摩擦因数求出两端稳定的非测地线过渡线型,就可以缠绕出稳定的布满纤维线型。

由于采用上述方法缠绕出的轨迹在端部是点式一线式堆积,见图1,由于在端部周向上缠绕角为 90° ,轨迹过渡对应的周向角最大,在单位长度上缠绕

收稿日期:2009-07-20

作者简介:王显峰,1980年出生,讲师,从事复合材料缠绕/铺放成型研究。E-mail: wangxf@nuaa.edu.cn

http://www.yhclgy.com 宇航材料工艺 2010年 第1期

— 69 —

的金属丝最多,因此易产生堆积。而上述缠绕方案是往复轨迹相邻,在端部就会形成金属丝过密的现象,金属丝从一点开始堆积,随着缠绕的进行,最终形成周向完全堆积。另外,上述缠绕方法缠绕出的网孔在周向上取向一致,就不利于充分地过滤。若采用分层缠绕方式,使端部堆积现象对缠绕轨迹精度的影响减小,见图 2,端部的轨迹布置均匀增厚,网孔的取向各向均匀分布,见图 3,过滤效果就大为改善。

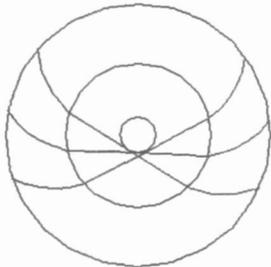


图 1 传统缠绕方式

Fig 1 Traditional winding mode

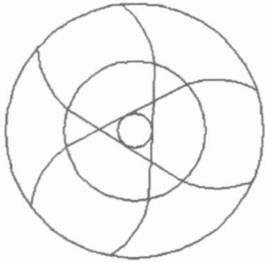


图 2 分层缠绕方式

Fig 2 Delamination winding mode

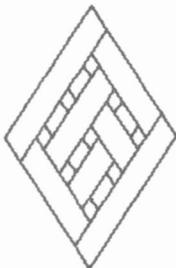


图 3 缠绕线型

Fig 3 Winding lincotype

图 3 中宽带代表带,窄带代表网孔,采用 3 层纤维交叉缠绕。要实现图 1 中的线型,若分 3 次完成缠绕,每次缠绕之前要寻找该循环的缠绕起点,否则就会发生重叠现象,并且由于层间不是连续缠绕,会使缠绕机运行不稳,出现急剧的加减速现象,影响缠绕质量。在实际的缠绕过程中,可采用 1 次等缠绕角跳跃数为 1 的缠绕方法,这就避免了 3 层缠绕所带来的不稳定现象,并且采用 1 次缠绕可使各处张力大小均匀,整体缠绕质量易于控制。

按理论切点数 K 、缠绕角 θ 和带间距 (带宽 + 网孔宽,即 $d_1 + d_2$) 进行缠绕的话,缠绕 3 层后 3 层纤维是相互重合的,可以采用调整带间距 d_0 (周向),并且往返缠绕 $(3K + 1)$ 次的话,纤维就会均匀排布出图 3 效果。求解 d_0 见式 (2)。

$$d_0 \times \cos \theta = (d_1 + d_2) \times 3K / (3K + 1) \quad (2)$$

从第 1 点开始逆时针顺序缠绕,第 1 层缠绕完毕时,第 $(K + 1)$ 个结点恰好落在第 1 点右侧三分之一的理论带间距处,第 2 层缠绕完毕后,第 $(2K + 1)$ 点会落在第 1 点右侧三分之二的理论带间距处。最后 1 点即 $(3K + 1)$ 点会落在第 K 个理论落纱点处,见图 4。图 4 中大圆点代表理论落纱点,而小圆点是实际落纱点,当缠绕完第 $(3K + 1)$ 个往复后,就完成了布满缠绕。

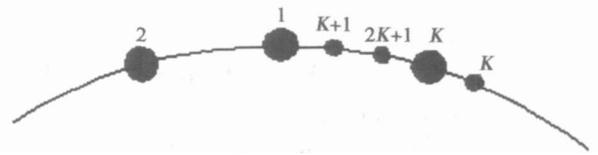


图 4 布线方案

Fig 4 Winding trajectory design method

周向切点间距为 d_0 ,依次往返 $(3K + 1)$ 次,要求两者满足 $(3K + 1) \times d_0 = 3D$,在缠绕机精度允许的范围内,往返次数越多,缠绕均布效果越好。但是若缠绕几十层,则堆积现象就会显现出来,缠绕精度也难以保证,这时可以考虑变摩擦因数或错带宽的缠绕方式。

2.2 变滑线系数缠绕

由圆柱体上非测地线缠绕轨迹方程 (3) 可知,可以通过改变滑线系数 g 的大小来调整圆柱面上非测地线缠绕段的长度。在圆柱半径、轨迹起始缠绕角均固定的情况下, g 越小,非测地线缠绕段的长度就越大,相应的纤维堆积现象就相应减轻。

该缠绕方法虽较改变布线顺序的方法减轻圆柱端部纤维堆积现象,但由公式 (3) 可知^[2], g 减小,非测地线过渡段长度变长的同时,纤维在非测地线过渡的线型中心角也相应变大,意味着在变长的过渡段缠绕的纤维也变长,所以该缠绕方法对于减轻纤维的堆积效果不明显。

$$\begin{cases} z = -r \left[\frac{1}{\sin \theta} - \frac{1}{\sin \theta_0} \right] \\ = \frac{\ln \left(\tan \frac{\theta}{2} \right) - \ln \left(\tan \frac{\theta_0}{2} \right)}{g} \end{cases} \quad (3)$$

2.3 端部错过渡段缠绕

上述方法对过滤器端部堆积现象提出了减轻堆

http://www.yhclgy.com 宇航材料工艺 2010年 第1期

积的措施,但是并未从根本上消除。端部错过渡段的缠绕方法的思路是将端部的堆积现象分散,让每个缠绕层的过渡线型在轴向上错开,可有效消除堆积现象。端部错过渡段缠绕轨迹设计流程见图 5。

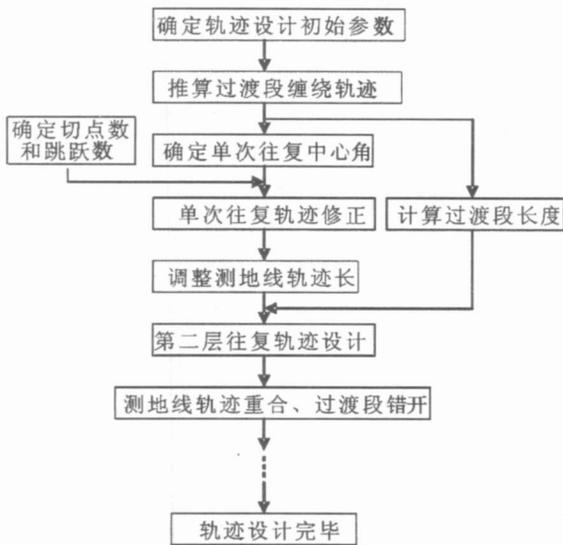


图 5 错带宽缠绕轨迹设计流程

Fig 5 Interleaving winding trajectory design process

首先确定各缠绕设计参数,比如缠绕角、摩擦因数、测地线段的缠绕长度、圆柱的半径等;然后根据公式(3)设计过渡段缠绕轨迹,进而确定单次往复缠绕轨迹,求取单次往复轨迹对应中心角;根据切点数和跳跃数要求,对往复轨迹进行修正,调整测地线缠绕轨迹长度,使起始点与终止点对应的中心角度差符合切点数和跳跃数的要求,形成第一层缠绕轨迹的基本线型。然后根据过渡段长度和线型的整体重叠要求,延长测地线缠绕长度,形成端部错过渡段的长度,进而确定第二条缠绕轨迹,根据需要按照第二层的轨迹设计依次进行,直至满足轨迹设计要求。

该方法的缺点:(1)缠绕轨迹在端部的分散错带宽会造成端部金属丝浪费;(2)从轨迹设计方面,每层缠绕轨迹的长度不同,但是在测地线缠绕段各层之间的线型要重合,增加轨迹设计的工作量;(3)相比一般轨迹设计方法,该方法需缠绕更长时间获得相同的过滤器,因此该方法的加工效率低。

3 缠绕仿真与实验

3.1 缠绕仿真

根据得到的轨迹代码进行非测地线段的缠绕,首先进行缠绕角由 90° 逐渐变化至设定缠绕角的非测地线缠绕;之后进入测地线缠绕阶段,即定缠绕角缠绕阶段;最后以相反顺序调用二维数组,进行缠绕角由设定缠绕角变回 90° 的缠绕,完成一次单行程。再

以上述同样方法返回到下一个循环起始点即完成 1 次往复循环,并绘制出轨迹线型。实际应用时,输入设定参数,运行缠绕软件就会仿真缠绕过程,并产生该圆柱的缠绕控制数据。缠绕角改变、抑或圆柱的形状变动时,只需根据这些改动参数,重新输入相应的参数后运行程序,就可以产生新的缠绕控制数据。

(1)排险顺序。若缠绕数据有误,不仅缠绕效果不理想,而且有可能发生机械急启急停甚至发生运动干扰。为了保证试验的顺利开展和达到预计试验效果,首先对试验进行了仿真,取芯模直径 D 为 40 mm,等缠绕角缠绕长度 100 mm,周向网孔数 $(3K+1)$ 为 13 个,带宽 d_0 为 3.14 mm,分别往返循环缠绕 4 次(单层)和 13 次(3层),其仿真效果见图 6 和图 7。



图 6 单层缠绕效果

Fig 6 Single layer winding impression

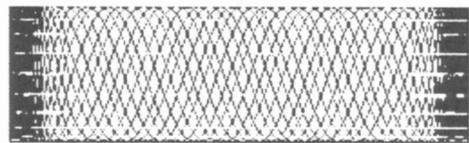


图 7 3层缠绕效果

Fig 7 Winding impression with three layers

(2)错过渡段仿真。编制错过渡段缠绕软件,输入缠绕角、摩擦因数、测地线段的缠绕长度、圆柱的半径等参数,还要根据错过渡段的需要输入缠绕层数、错过渡段长度等参数,然后进行缠绕轨迹仿真,缠绕仿真轨迹见图(8)。

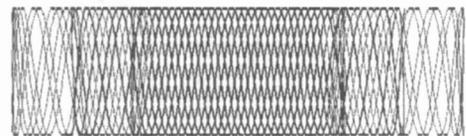


图 8 错过渡段缠绕线型

Fig 8 Interleaving winding trajectory

3.2 缠绕实验

试验件为 20 mm,长 300 mm 的圆柱体,采用弹性金属丝在数控缠绕机上进行试验^[3]。取周向网孔数为 7,带宽 1.0 mm,等缠绕角缠绕长度 150 mm。图 9 是缠绕试验照片;取周向网孔数为 20,带宽 1.0 mm,进行错过渡段缠绕实验,图 10 为宽金属丝错带

宽缠绕线型;取周向网孔数为 80,带宽 0.15 mm,进行错过渡段缠绕实验,图 11 为窄金属丝错带宽缠绕线型。

图 9 是端部未作处理的缠绕结果,缠绕了 7 个往复,其端部存在堆积现象,难以保证金属丝缠绕精度。图 10 和图 11 是错过渡段缠绕线型,能够精确缠绕出设计轨迹,并能够精确实现不同缠绕层间的缠绕线形重合。

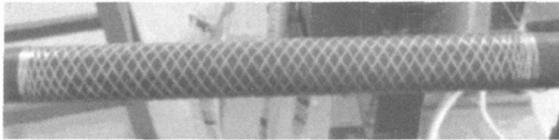


图 9 变摩擦因数缠绕

Fig 9 Winding impression with changing friction modulus

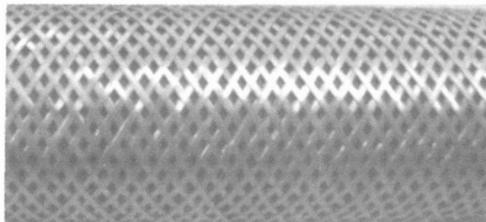


图 10 宽金属丝错带宽缠绕线型

Fig 10 Winding trajectory with wide wire

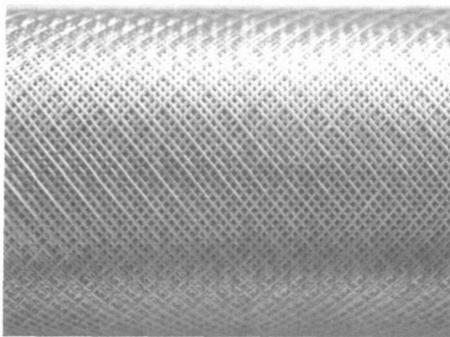


图 11 窄金属丝错带宽缠绕线型

Fig 11 Winding trajectory with narrow wire

3.3 实验分析

(1)要找准起始点,同时调整出丝摆头轴线与缠绕机回转主轴平行且等高^[3],以保证出纱纤维悬线与主轴垂直,此时落纱点即为纤维悬线与芯模表面的切点。

(2)对应落纱点,求出出纱点的位置(坐标)。设计出线形,落纱点也就相应的确定了,通过落纱点和缠绕角两个条件可以确定悬线向量,进而求出悬线方程,悬线和直线 $Y = Y_0, X = X_0$ 的交点即为出纱点。

(3)只有保证出丝嘴轴线与纤维悬线的垂直,才能保证缠绕出的实际线型符合设计轨迹,进而保证缠绕质量。也就是说,这直接决定着过滤器的过滤质量和使用寿命。要保证纤维悬线与出丝嘴轴线垂直,涉及到回转主轴、出丝嘴和轴向平移轴的协调运动。要对三轴的速度和它们之间的比率进行严格控制,随着回转轴的转动和平移轴的移动,出丝嘴要作相应的转动以保证出丝嘴与纤维悬线的垂直。

(4)进入非测地线缠绕阶段时,Z坐标的运动速度减小或反向,以保证缠绕角的精度。这是因为非测地线缠绕时的缠绕角要比恒定缠绕时的要大,在出丝嘴和芯模轴线等距离的情况下,前者落纱点与出纱点的超长要比后者小一些;且网孔越大,两者差距也会越大。在理论上,过渡时出丝摆头减速或后退的程度也越大。若在高速缠绕时Z坐标频繁往复会使机械振动,且由于齿轮间隙的存在,会进而影响到缠绕精度。一般通过在缠绕线型设计之初,提高设计裕量和密化芯模网格,就能解决这一问题。

本试验采用 3 轴联动,包括圆柱芯模的转动坐标、出丝嘴沿芯轴的平动和出丝嘴自身的转动,进行对圆柱的金属丝缠绕试验,缠绕线形与仿真效果一致,符合设计要求,达到了预期的效果与目的。

4 结论

采用将端部堆积缠绕转移到测地线缠绕阶段和整体错带宽的缠绕方法,针对不同形状的圆柱过滤器的缠绕成型,编制出了相应的控制程序,并通过试验,验证了该方法的可行性,这为提高过滤器的过滤质量,提供了一条新的途径。

参考文献

- 1 富宏亚,黄开榜,朱方群.非测地线稳定缠绕的边界条件和稳定方程.哈尔滨工业大学学报,1996;28(2):27~31
- 2 苏红涛,刘华明,路华.非测地线缠绕稳定条件和缠绕工艺性的判别.复合材料学报,1998;15(2):130~135
- 3 文立伟,路华,富宏亚.六轴联动缠绕机数控系统应用软件的开发.宇航学报,2003;24:24~28

(编辑 任涛)