

全钢载重子午线轮胎仿形缠绕过程的预测控制研究及软件实现

陶越, 陈乐庚

(桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 广西 桂林 541004)

摘要:对全钢载重子午线轮胎仿形缠绕过程进行预测控制研究,运用数学模型摆脱模拟闭环仿形缠绕,实现数字化控制轮胎仿形缠绕过程。试验结果表明,轮胎仿形缠绕效果较好,且不易受外界因素干扰,质量和精度大幅提高,极大地提高了生产效率。

关键词:全钢载重子午线轮胎;仿形缠绕;预测控制;模拟;闭环;数字化控制

中图分类号:TQ336.1;TQ330.4+93 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2014)10-0625-05

轮胎缠绕成型技术是目前发达国家采用的技术含量高、工艺先进的轮胎成型技术。轮胎品质高低的关键在于缠绕质量,而缠绕成型技术的核心在于控制系统。采用传统方法制造全钢载重子午线轮胎消耗的人力和物力较多,浪费时间,且质量较差,不能满足现代市场需求^[1]。缠绕效率高有利于降低生产成本。现代轮胎生产工艺要求全钢载重子午线轮胎的生产速度快、品质高、容易改变产品规格以及人工劳动强度小等,目前对轮胎缠绕技术的研究仅限于理论,没有实用的方法。

在轮胎缠绕过程中,胶条缠绕叠加后的形状问题(即轮胎缠绕生产技术从模拟闭环控制到数字开环控制)一直困扰着学术界。本工作主要对轮胎仿形缠绕过程中的胶条缠绕叠加等相关问题进行预测控制研究,运用数学模型摆脱模拟闭环仿形缠绕,实现仿形缠绕的数字化控制,以期为轮胎仿形缠绕领域的创新提供有益参考。

1 缠绕原理

胎面缠绕成型原理为胶条在两种复合运动过程中缠绕出具有一定形状的轮胎外廓,如图 1 所示。缠绕鼓绕中心轴 z 轴旋转,具有一定规格形状的胶条通过缠贴头上的贴辊紧紧贴在胎坯上,同时缠贴头也沿着 z 轴方向往复缓慢运动,在这

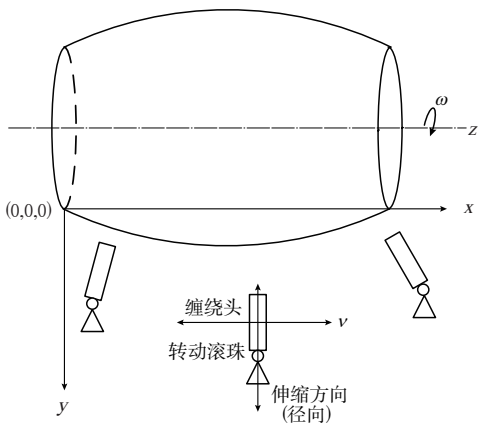


图 1 轮胎缠绕示意

两种运动的复合作用下,胶条有序地紧贴在胎坯上,从而实现胎面缠绕成型。缠贴头沿 z 轴方向的平移速度(v)及缠绕鼓绕 z 轴旋转的角速度(ω)决定缠绕后胎面的厚薄,缠绕出符合工艺标准的胎面外廓形状需要合理控制 ω 和 v 以及两者的位置关系,在实际生产中一般采用分层缠绕堆积法。

广为采用的缠绕方式是对胎面缠绕厚度做实时反馈的闭环缠绕^[2],原理是实时采集缠贴头在 z 轴的投影位置,根据测厚探头反馈的信号实时计算该点的实际缠绕厚度,通过与先前设定的该点的理论厚度对比得出差值,根据差值控制 v 和 ω ,从而满足缠绕工艺。

2 缠绕现状

现阶段国内外广为采用的轮胎仿形缠绕生产

作者简介:陶越(1987—),男,江苏扬州人,桂林电子科技大学在读硕士研究生,主要从事工业智能控制应用研究。

过程为模拟闭环控制,根据工艺设定的缠绕层数及各层的坐标轮廓线进行带有反馈的模拟控制,即根据工程轮胎胎面的设定形状进行自动缠绕。

用闭环控制对缠绕厚度进行实时反馈,缠绕头部分如图2所示,左侧两个顶轮反馈实时检测缠绕厚度。如果外部环境有一定程度的干扰或不稳定,容易造成外形及质量误差变大,不能满足生产工艺要求。

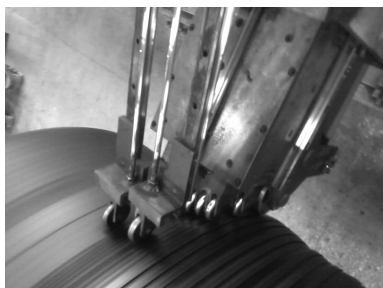


图2 缠绕头部分

现有的开环控制技术是先用闭环控制方法控制缠绕机缠绕出很多轮胎样本,直接记录 t 时刻的 ω 、 v 、缠绕头位置坐标及螺距值等参数,把它们存入一个数据库,优选出仿形效果较好的缠绕数据,然后做成开环的。这种方法的弊端是不能脱离闭环模拟仿形缠绕控制系统的参数值,没有做到真正的仿形数字控制。

3 设计架构

目前的胶条缠绕均在平面(二维)缠绕鼓上进行,根据国际市场的需求及先进的生产工艺要求,本设计将在拱形(三维)缠绕鼓上进行仿形缠绕。

设计中的主要问题是胶条缠绕叠加后的形状变化问题。

在拱形缠绕鼓上进行胶条缠绕,胶条会发生弯曲变形等现象,在实际缠绕中,胶条会出现多种情况,给模型的建立带来了相当大的难度。

由于胶条存在厚度因素,会出现缠绕时胶条叠加处有斜坡的问题。缠绕时胶条叠加情况如图3所示,斜坡的形状是随机无规则变化的,无法进行化简,因此,在斜坡上继续缠绕叠加后的情况更



图3 缠绕时胶条叠加

加无法预测。

由于 ω 和 v 的综合影响,缠绕后的胶条形状为螺旋状,类似弹簧螺旋,缠绕时 v 增大,则螺旋变松,导致斜坡处胶条叠加的斜度发生改变,如图4所示。缠绕时假设 ω 恒定, v 为由小增大再减小的过程。缠绕第1层时,缠绕头从左往右平移,胶条螺旋一律向右;缠绕第2层时,缠绕头从右往左平移,则胶条螺旋一律朝左。缠绕过程如图5和6所示。如此反复在这样的胶条上面继续缠绕叠加,进行数学模型统筹表达有相当大的难度。



图4 胶条缠绕后的螺旋状

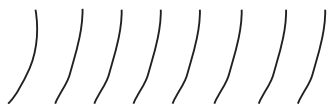


图5 第1层缠绕



图6 第2层缠绕

对于胶条在斜坡处的叠加问题进行系统分析:①存在斜坡,且有部分空隙,胶条叠加情况如图7所示。②存在斜坡,空隙已压实,胶条叠加情况如图8所示。③斜坡完全垂直贴合时的胶条叠加情况如图9所示。在斜坡完全垂直贴合时进行的轮胎缠绕结果如图10所示,建立缠绕的数学模型相当困难,且不易实现应用。



图7 存在斜坡且有部分空隙时胶条叠加情况



图8 存在斜坡、空隙已压实的胶条叠加情况

为了方便建模,合理模拟简化胶条叠加产生的变形问题,把 v 近似简化成脉冲形式的移动,即缠绕过一圈后,缠绕头迅速移动到事先预测好的



图 9 斜坡完全垂直贴合时的胶条叠加情况

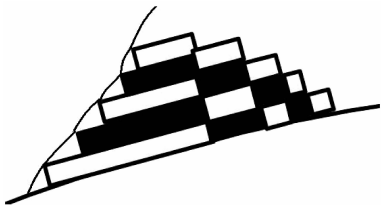


图 10 斜坡完全垂直贴合时的胶条缠绕结果

指定坐标点进行缠贴,可简化缠绕数学模型,避免出现无规则螺旋状的情况。把每一层的缠绕看成是一个整体,采用整体法取代逐圈缠绕,可以简化模型,降低复杂程度,且可将误差控制在工艺要求的范围内,从而保证了从理论到实际应用的可能性。

第一种缠绕数学模型假设在拱形基线上进行缠绕,由于胶条厚度与胶条宽度相比相当小,缠绕胶条的每一圈的正面剖视图可近似简化成一点(一点即缠绕一圈),用这种方法近似简化的模型,对于轮胎缠绕数学模型的建立起到了至关重要的作用。如图 11 所示,根据工艺要求及轮胎外轮廓形状,分 3~4 层进行缠绕。就第 1 层缠绕而言,缠绕过程如下:①缠贴头从左到右完成第 1 步缠贴后,效果如图 12(a)所示;②缠贴头从右到左完成第 2 步缠贴后,效果如图 12(b)所示;③缠贴头从左到右完成第 3 步缠贴后,效果如图 12(c)所示;④缠贴头从右到左完成第 4 步缠贴后,效果如图 12(d)所示。到此,第 1 层缠绕完成。第 2,3 和 4 层缠绕依此类推,完成轮胎仿形缠绕。用此种数字化轮胎仿形缠绕方法缠绕出的轮胎仿形效果好,外界因素干扰小,方便由理论到实际应用,是一种新型的轮胎缠绕方法,在轮胎行业是一种创新。

由于轮胎缠绕时的胶条必须紧密严实,因此

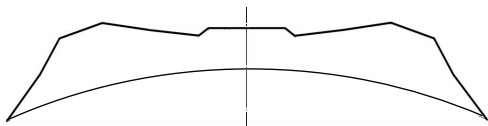
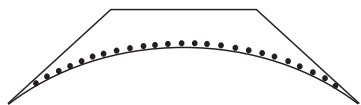
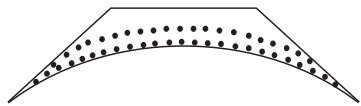


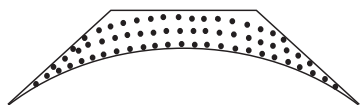
图 11 轮胎外轮廓形状



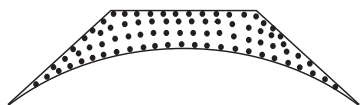
(a) 第 1 步



(b) 第 2 步



(c) 第 3 步



(d) 第 4 步

图 12 第 1 层缠绕

缠绕时后一圈缠绕的胶条需要有一部分覆盖重合在前一圈缠绕的胶条上,这样才能更好地满足轮胎生产工艺要求。于是对上述缠绕数学模型进行改进,研制出第 2 种轮胎缠绕的数学模型,克服了第 1 种缠绕模型的缺陷。改进后的轮胎缠绕数学模型,即根据缠绕胶条的每一圈的正面剖视图,把它近似简化成两个点(两个点相当于缠绕一圈),其中缠绕胶条叠加在前一圈胶条上面的那一部分简化成一个点,缠绕胶条剩余部分缠贴到缠绕鼓基线或前一层上的部分简化成另一个点,便于考虑胶条的重合部分。

用这种缠绕方法进行缠绕,根据外轮廓形状,分为 3~4 层,每层缠绕时缠贴头只需从左到右或从右到左移动一个步骤,即可完成一层的缠绕。缠绕时缠贴头从左侧开始向右移动,缠绕第 1 圈后,建模图中设计 2 个圆点;缠绕第 2 圈后,设计 2 个叉点;缠绕第 3 圈后,设计 2 个三角;依此类推,左边一点代表覆盖贴合在前一圈的上面,右边一点代表被压辊紧压贴合在缠绕鼓的基线或前一层上,图 13 为缠绕前半部分建模效果,图 14 为第 1 层缠绕完成后的效果。第 2,3 和 4 层用这种方法完成轮胎仿形缠绕。根据图 1 所示的坐标轴建立空间直角坐标系,缠贴头在 x 和 y 轴上的投影位置即缠贴头的点坐标与 t 时刻一一对应,把这些关系数据建立数据库 $f(x_0, y_0, t_0)$, $f(x_1, y_1,$

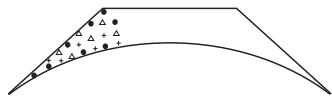


图 13 第 1 层缠绕前半部分示意

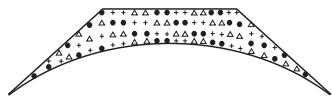


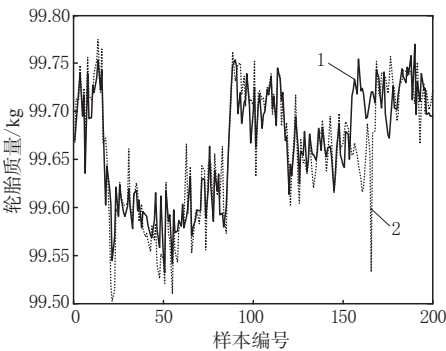
图 14 第 1 层缠绕完成示意

$t_1), \dots, f(x_n, y_n, t_n)$, 从而得到缠贴头的数学模型即缠绕形状为

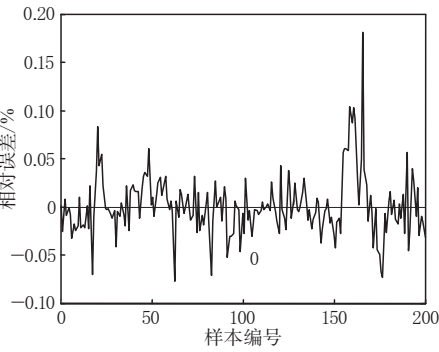
$$\int_0^n h_i dh = \int_0^n f(x_i, y_i, t_i) dx dy dt$$

4 试验及评价

取 200 个生产成品样品进行误差分析, 误差统计分析结果如图 15 所示, 经测算, 胎面形状误差约为 $\pm 2\%$, 胎面质量误差约为 $\pm 1\%$, 比工艺精度要求的 $2\% \sim 5\%$ 低较多, 胎面的生产质量比较稳定, 得到客户的一致好评。由于此种轮胎缠绕仿形效果较好, 且抗干扰效果极好, 与闭环模拟缠



(a) 轮胎质量样本分析



(b) 测试相对误差

1—预期质量; 2—实际质量。

图 15 缠绕胎面质量误差分析

绕方式相比, 可节省大量测厚反馈时间及机械反应时间, 在多层缠绕技术中有着无可比拟的优势, 极大地提高了生产效率和经济效益。

5 软件实现

5.1 缠绕控制软件

轮胎缠绕全数字控制系统弥补了国内外现有控制软件的不足。缠绕胎仿形控制系统主界面如图 16 所示, 配方编辑界面如图 17 所示。

软件具有以下功能:

(1) 缠绕过程可以实时显示实际缠绕曲线, 并且能够记录每条轮胎的相关指标数据。目前国内的缠绕控制系统在缠绕过程中均没有图形及进度显示, 且缠绕软件的数据记录较少, 根据用户需求, 本软件增加了使用时间、操作者、班产和每条轮胎的使用配方等信息。

(2) 断电记忆, 可自动从断电处开始缠绕。断电时能够记录轮胎缠绕的实际状态, 复位后可根据记录的状态, 从断电状态处继续缠绕, 突破了自动修复缠绕过程中由于突发故障或断电中断的技术瓶颈。

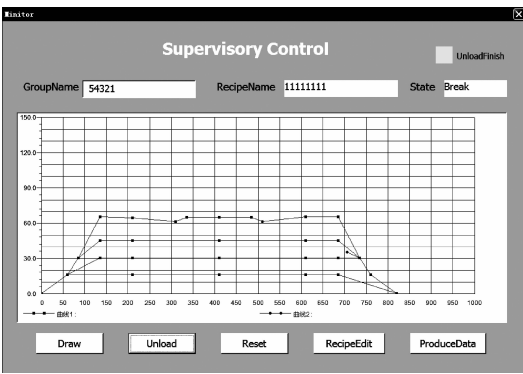


图 16 系统主界面

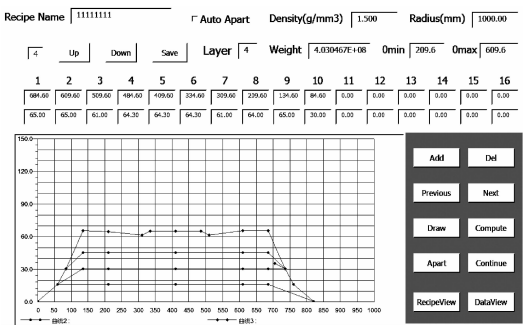


图 17 配方编辑界面

(3) 工艺设计的缠绕曲线可以自动精确分层。用户希望仅通过输入外形参数即可完成整个缠绕曲线图形的参数设置, 由于考虑到工厂实际生产中, 技术工人手动分层不能满足轮胎缠绕生产的工艺要求以及分层不规范, 针对目前国内外使用的缠绕系统手动分层麻烦、粗糙及精度不高等问题, 研发出了能够自动精确分层且满足工艺要求的缠绕控制系统。

(4) 根据工艺缠绕曲线可自动计算缠绕的质量。在保证挤出机供料胶条密度恒定的情况下, 根据缠绕曲线计算出缠绕的体积, 并分析其中可能的细微空隙, 修正细微空隙因数, 进而自动计算出缠绕质量。

5.2 远程诊断系统

随着我国科技水平的不断提高, 我国自行研发设计的产品在国际全钢载重子午线轮胎市场中逐渐增多, 订单量也明显增多, 由于国外用户对我国自主设计的全钢载重子午线轮胎缠绕机了解较少, 或着为防止某些核心技术被窃取, 出现问题或故障时需要厂方派技术工程师去现场指导、诊断和维修, 耗费了大量的人力、物力和时间, 效率不高。鉴于上述原因, 研发设计了轮胎缠绕远程诊断系统, 该系统可以将现场实时图像在本地观察或远距离传输到厂方观察, 并支持网络语音对话。将现场获取的控制软件及系统 PLC 的当前工作状态一并发送到厂方, 厂方技术工程师及相关专

业人员共同对故障进行分析和研究, 实现工作状态数据分析, 同时可远程模拟测试设备, 做故障诊断。

5.3 故障诊断解析软件

故障诊断解析软件可通过远程获取故障诊断数据包, 从而获得缠绕软件与 PLC 的工作状态。解析软件根据缠绕软件的工作状态数据, 计算出目前远程设备的动作情况; 解析软件将 PLC 工作的状态数据写入故障分析用 PLC 中, 通过智能分析该梯形图, 得出故障的问题所在。最终形成故障诊断数据包文件, 远距离传送回故障设备, 进行自动修复, 进而实现了远程在线监控维修。

6 结语

全钢载重子午线轮胎仿形缠绕的数字化预测控制技术摆脱了模拟闭环仿形缠绕控制, 极大地提升了全钢载重子午线轮胎缠绕行业的整体水平, 对于提高产品质量和生产效率并降低生产成本有着非常重要的意义。该新型缠绕技术也有不完善之处, 精度水平还需要进一步提高。

参考文献:

[1] 赵龙阳, 黄廷磊, 孟瑞敏. 高精度工程轮胎胎面仿形缠绕控制系统的设计[J]. 中国西部科技, 2008(1): 40-41.
[2] 陈可娟, 唐善斌, 马铁军, 等. 开环控制在胎面缠绕生产线中的应用[J]. 轮胎工业, 2008, 28(6): 368-370.

收稿日期: 2014-04-21

Predictive Control Research and Software Realization of Winding Process of Truck and Bus Radial Tire

TAO Yue, CHEN Le-geng

(Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: The predictive control of the profiling winding process for truck and bus radial tire was studied, and a mathematical model was established to achieve the digital control of the winding process which could replace the simulated closed-loop method. The test results showed that the new process was stable and less vulnerable to external interference. With the new process, the quality and precision of winding were greatly improved, and the production efficiency increased.

Keywords: truck and bus radial tire; profiling winding; predictive control; simulation; closed-loop; digital control