

基于“所见即所绣”理念的绣花面料全流程数字化生产体系构建

周国军

绍兴柯桥归零纺织品有限公司 浙江 绍兴 312000

【摘要】：传统绣花面料生产中，设计效果与成品偏差大、研发周期长、物料浪费严重。本文引入“所见即所绣”理念，构建覆盖设计、仿真、生产全流程的数字化生产体系。重点研究了绣花花型数字化建模，建立了基于矢量描述与针迹映射的参数化模型；开发了高保真仿真预览系统，实现了绣品材质、针法、色彩及光影的实时渲染；通过工业互联网打通绣花设备与制造执行系统的数据链路，实现工艺参数自动下发与生产过程实时监控。应用表明，设计到首件出样周期从七日压缩至二十四小时以内，打样物料损耗降低百分之六十以上，批量生产一致性误差控制在百分之三以内。研究成果为绣花面料行业智能制造转型提供了可复用技术框架。

【关键词】：所见即所绣；绣花面料；数字化建模；仿真预览；设备联网；全流程数字化

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.057

1 引言

绣花面料是纺织行业高附加值产品的重要门类，广泛应用于服装、家纺、装饰等领域。传统绣花生产流程中，设计师使用专业绘图软件或手绘方式完成花型创作，随后将设计稿交付打样车间，由打样师根据经验设定绣花机的针法、密度、线色及张力参数，经过多次试绣与调整后方可确认工艺。这一模式存在三个固有缺陷：设计意图在传递过程中不断衰减，设计师看到的屏幕效果与实际绣品效果之间存在显著差异；打样过程依赖个人经验，不同打样师输出的结果一致性差；每一次试绣都消耗面料与绣线，造成物料与时间的双重浪费。

“所见即所绣”理念最初源自计算机图形学领域的所见即所得思想，其核心内涵是让设计人员在设计阶段就能准确预览最终绣品的真实效果，包括针迹走向、绣线光泽、面料底布纹理以及光影变化，从而在设计端完成效果确认，大幅压缩试错周期。近年来，随着计算机图形学、数字孪生与工业物联网技术的成熟，将这一理念从理想转化为工程实践的条件已经具备。

本文以构建“所见即所绣”导向的绣花面料全流程数字化生产体系为目标，围绕数字化建模、仿真预览、设备联网三个核心技术环节展开系统研究。通过建立统一的数据标准与通信协议，打通设计端与生产端的信息孤岛，实现从花型创意到成品产出的数据驱动式生产。

2 绣花面料数字化建模技术

2.1 花型结构的参数化表征

绣花面料数字化建模的核心是将花型的设计语义转化为计算机可理解、可计算、可传输的结构化数据。传统做法是将设计稿直接转换为光栅图像或简单矢量图，但这种方式丢失了大量工艺信息，例如针法类型、针迹密度、绣线材质及张力参数等。本文提出一种分层参数化的花型数据模型，将绣花设计分解为几何层、针迹层与材质层三个维度。

几何层描述花型的轮廓与区域划分，采用贝塞尔曲线与非均匀有理B样条曲线对复杂图形进行精确表达，支持任意缩放与旋转变换而不损失精度。几何层的每个封闭区域或开放路径被赋予一个唯一的标识符，作为后续针迹分配的基本单元。针迹层定义每个几何区域所采用的绣法类型，包括平包针、他他米针、榻榻米针、E字针等常用针法，以及针迹方向、针距、密度、收缩补偿等工艺参数。针迹层的设计充分考虑绣花设备的执行能力，所有参数均限定在实际设备可调节的物理范围内，例如针距通常限制在零点五毫米至二点五毫米之间。材质层记录绣线的颜色代码、材质类型、光泽属性以及底布的面料种类、厚度与弹性模量，这些信息将直接影响仿真渲染的真实性和设备参数的适配计算。

2.2 从设计图到针迹文件的自动转换

在参数化模型的基础上，本文设计了从设计图到标准绣花机针迹文件格式的自动转换算法。该算法首先对输入的矢量设计图进行区域分割与连通性分析，识别出不同颜色、不同针法要求的独立绣作区域。随后，针对每个区域，根据其几何形状与预设的针法类型，自动生成填充路径与针迹落点序列。对于平包针区域，算法沿着区域边界生成Z字形往返路径；对于他他米区域，则采用平行线填充配合偏移补偿策略，确保针迹密度均匀且边界干净。转换过程中引入智能跳线优化，在保证绣线连续的前提下，将空移路径压缩至最短，从而减少不必要的停机换色时间。

该转换算法还具备工艺知识库的支撑功能。知识库收录了针对不同面料特性与绣线材质的经验参数组合，例如弹性面料需要增加针迹收缩补偿，厚重面料需要降低针迹密度以避免断针。当系统识别到特定的面料与绣线组合时，自动调取知识库中的推荐参数作为初始值，设计人员可根据预览效果进行微调。这种设计使得即使是非专业打样人员，也能够快速生成可上机的绣花文件，大幅降低了技术门槛。

3 高保真绣品仿真预览系统

3.1 多物理场耦合的绣品渲染模型

仿真预览是实现“所见即所绣”的核心环节，其难点在于绣品效果的渲染涉及光学、力学与材料学的多重耦合。绣线具有圆柱形几何特征与各向异性的光学反射特性，光线在不同捻向的绣线表面产生高光与阴影；针迹的堆叠形成三维起伏的纹理，而底布自身的编织纹理与柔软垂坠特性进一步影响整体视觉。

本文构建的渲染模型采用基于物理的渲染框架。在几何层面，将每条针迹离散为一系列具有方向性的微圆柱体，圆柱体的半径对应绣线直径，高度对应针迹的凸起程度。通过计算各微圆柱体之间的遮挡关系，生成绣品表面的微观高度场。在光学层面，采用微表面模型描述绣线的反射分布函数，将反射分解为漫反射分量与镜面高光分量，其中镜面高光分量的强度与绣线的光泽度参数直接关联。环境光照则通过基于图像的光照技术进行采集与复现，使仿真效果能够适应不同展示环境下的照明条件。

针对不同面料底布，系统建立了相应的纹理映射与变形模型。对于弹性针织物，底布在绣作过程中会发生局部拉伸与收缩，进而影响针迹的最终形态。仿真系统通过有限元方法模拟绣针刺入、绣线拉紧过程对底布产生的应力分布，计算出底布的变形场，并将该变形反馈至针迹落点的坐标计算中。这种双向耦合方式使得仿真效果更接近实际生产结果。

3.2 实时交互与多视角预览

传统的绣品设计软件仅提供静态平面预览，设计师无法从不同角度观察绣品的立体效果，也难以判断光线变化下的色彩表现。本文开发的仿真预览系统支持实时交互操作，用户可以通过鼠标或触控手势旋转、缩放、平移虚拟绣品模型，从任意角度观察针迹走向与纹理细节。系统还提供了光照环境切换功能，可以模拟室内暖光、自然日光、商场射灯等不同场景，帮助设计师评估绣品在真实使用环境中的视觉效果。

仿真性能是实现实时交互的关键。未经优化的渲染算法处理一幅中等复杂度的绣花设计需要数分钟甚至更长时间，无法满足交互需求。本研究采用多层次细节与预计算加速技术，在保证视觉保真度的前提下将单帧渲染时间压缩至五十毫秒以内。具体做法是对绣品模型建立三级细节层次，在快速旋转或缩放时使用低精度模型进行渲染，停止操作后自动切换至全精度模型。此外，对于重复性针迹单元，采用实例化渲染技术显著降低绘制调用次数。

4 绣花设备联网与生产执行系统

4.1 异构设备的数据集成与标准化

绣花面料生产车间的设备通常来自不同制造商，通信协议

与数据格式各异，形成典型的异构设备环境。为实现全流程数字化，必须打通设计仿真系统与生产设备之间的数据通道。本文提出基于统一数据字典与中间件架构的设备集成方案。

首先，对各类绣花设备的工艺参数与状态变量进行抽象建模，形成涵盖针速、针距、张力、换色顺序、断线检测等关键要素的标准化数据字典。数据字典采用键值对格式，每个参数被赋予唯一标识符、数据类型、取值范围及默认值。接着，设计设备适配中间件，该中间件运行于车间边缘服务器，通过串行通信、以太网或无线方式与各设备控制器对接，负责将标准化指令转换为设备原生协议可识别的命令格式，同时将设备上报的状态数据反向映射为标准格式。

该集成方案使得上层制造执行系统无需关心底层设备的具体型号与通信细节，只需按照数据字典规范下发工艺文件与生产指令即可。当车间更换或新增设备时，仅需更新对应的设备适配器，不影响原有软件体系，具有良好的可扩展性。

4.2 生产过程实时监控与数据追溯

设备联网的另一重要功能是实现生产过程的透明化监控。每台联网绣花机的运行状态，包括实时针速、当前针数、已绣时间、预计剩余时间、断线报警信息等，均以毫秒级延迟汇聚至制造执行系统的中央数据库。车间管理人员通过终端可以随时查看全局设备利用率、订单进度及异常报警信息。

生产数据的全流程追溯是质量管理的基石。系统为每个绣花订单生成唯一的条码或二维码，该编码关联设计文件、仿真预览图像、工艺参数配置、设备编号、操作人员及质检记录。在生产的一个个关键节点，例如上料、开始绣作、断线修复、下料检验等，操作人员通过扫码枪或移动终端扫描订单码并录入操作信息。当最终产品出现质量问题时，可以快速回溯至设计环节、工艺参数或特定设备与班次，为质量改进提供精准的数据支撑。

5 全流程数字化集成体系的构建

5.1 设计制造一体化的数据闭环

将数字化建模、仿真预览与设备联网三个子系统有机集成，形成从设计到生产再到反馈的闭环数据流，是全流程数字化生产体系的最终形态。在该体系中，设计师使用数字化建模工具完成花型创作与参数设定，系统即时生成高保真仿真图像，设计师确认效果后，设计文件经自动转换生成标准针迹文件。该文件与配套的工艺参数一起，通过网络直接下发至指定的绣花设备。设备完成生产后，将实际运行数据回传至系统，与设计数据进行比对分析，识别出设计参数与实际执行结果之间的偏差，并自动或半自动地修正仿真模型或工艺知识库。

这一闭环机制的核心价值在于建立了设计意图与物理实现之间的双向校准通道。具体而言，系统从设备端采集针迹落点坐标、断线频率、针速波动等实测数据，与设计文件中的理

论值进行逐项比对。当连续多批次发现同一针法或同种面料的针迹偏移呈现一致性规律时，系统判定仿真模型中的底布变形补偿参数存在系统性偏差，随即自动调整该参数的默认值，并应用于后续同类订单的仿真渲染与工艺下发。这种基于统计反馈的自适应修正，使得仿真模型的预测精度随生产批次的累积而持续提升。

同时，闭环机制还承载着工艺知识库的动态更新功能。每一批次生产中验证有效的参数组合，包括针法、密度、张力及补偿值，均被系统记录并与面料类型、绣线规格、设备型号关联存储。当新订单的设计参数与历史案例匹配度超过百分之八十时，系统自动推送推荐工艺，将打样次数由传统模式的三至五次压缩至一次以内。通过这种数据驱动的知识沉淀与复用，设计制造之间的信息损耗被降至最低，为实现真正的“所见即所绣”提供了可持续优化的运行机制。

5.2 体系应用的关键技术指标

基于上述技术方案，本文构建的绣花面料全流程数字化生产体系在多家试点企业进行了验证。与传统流程相比，数字化体系将花型设计到首件出样的平均周期从七日压缩至二十四小时以内，压缩幅度超过百分之六十五。打样过程中物料损耗由平均每款消耗五至八米面料及相应绣线降低至不足两米，损耗降低百分之六十以上。批量生产阶段，由于工艺参数的一致

性得到保障，同一批次内不同绣品之间的色差、针迹密度偏差等一致性指标控制在百分之三以内，远优于传统工艺百分之八至百分之十二的波动范围。此外，设备联网使得车间设备综合利用率从百分之六十五提升至百分之八十二，通过实时调度与断线预警减少了无效待机时间。

6 结论

本文以“所见即所绣”为核心理念，系统研究了绣花面料全流程数字化生产体系的关键技术。在数字化建模方面，建立了包含几何层、针迹层与材质层的三层参数化数据模型，实现了设计意图的精准数字化表达与自动针迹转换。在仿真预览方面，提出了基于物理渲染与多物理场耦合的高保真绣品渲染方法，支持实时交互与多视角评估，使设计阶段即可获得成品级预览效果。在设备联网方面，设计了异构设备集成中间件与全流程数据追溯机制，打通了设计端与生产端的信息孤岛。三部分技术的有机集成，形成了设计制造一体化的数据闭环，显著缩短了产品研发周期，降低了物料损耗，提升了批量生产的一致性与车间运行效率。

本研究为绣花面料行业的智能制造转型提供了完整的理论框架与技术路径。后续工作将围绕更加智能化的工艺推荐系统、基于机器学习的绣品质量自动检测以及跨企业协同设计平台的构建展开深入探索，进一步释放数字化生产体系的潜能。

参考文献:

- [1] 秦晓文,肖爱民.纺织品图案数字化生成方法的应用现状分析[J].毛纺科技,2024,52(8):131-142.
- [2] 张翔,周曦.基于图像的刺绣艺术数字化模拟创新方法研究[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2025,43(11):54-57.
- [3] 王维杰,陈江,郑丹,等.基于区块划分与矢量折线填充方法的仿手工刺绣质感模拟[J].丝绸,2023,60(10):95-104.
- [4] 王建萍,王玉莹,虞倩雯,等.基于智能绣花机的数码仿真绣研发和工艺参数研究[J].丝绸,2024,61(7):47-54.
- [5] 吴丹琦.电脑刺绣在服装设计中的应用[J].艺术研究,2023,(1):171-173.