

基于多参数融合的织造过程中胚布重量动态监测方法研究

宋旭东

互太（番禺）纺织印染有限公司，广东 广州 511462

DOI:10.61369/ERA.2026090023

摘要： 现有胚布加工阶段缺少胚布重量在线管控手段，为此依托多项生产参数搭建动态称重监测方案。结合纱线规格、纱长和针数配比、织机总通路、织造圈数以及单台钩针数量建立核算公式，增设偏差系数 α 抵消现场工艺带来的测算偏差。实测数据显示，设备每 10 秒更新一次测算结果，整体计量误差控制在 1.5% 以内。整套装置汇总各类生产数据并实时展示生产状态，完成织造工序全程可视管控，有效优化车间精细化管控效果。

关键词： 胚布重量监测；多参数融合；实时计算；纺织生产优化；工业物联网

Research on Dynamic Monitoring Method of Embryo Weight in Weaving Process Based on Multi Parameter Fusion

Song Xudong

Pacific (Panyu) Textiles Ltd., Guangzhou, Guangdong 511462

Abstract： The current stage of embryo fabric processing lacks online control measures for embryo fabric weight. Therefore, a dynamic weighing monitoring scheme is built based on multiple production parameters. Establish an accounting formula based on yarn specifications, yarn length and needle ratio, total weaving path of the loom, weaving circle number, and single crochet hook quantity, and add a deviation coefficient α to offset the calculation deviation caused by on-site processes. The measured data shows that the device updates the measurement results every 10 seconds, and the overall measurement error is controlled within 1.5%. The whole set of equipment summarizes various production data and displays the production status in real time, completing visual control of the entire weaving process and effectively optimizing the fine control effect of the workshop.

Keywords： monitoring of embryo fabric weight; multi parameter fusion; real time computation; optimization of textile production; industrial internet of things

引言

胚布重量管控直接影响纺织产品品质。行业传统管控方式分为红外计数与离线抽检称重，两类方式各有短板。离线称重滞后性突出，额外耗用物料，实际生产原料损耗可达 12%~15%。现阶段落地的物联网监测方案仍存有短板，设备震动干扰振动采集数据，环境光照变化又会降低视觉检测精度。依托纱线与织机实测参数建立重量测算模型，利用修正系数 α 弥补工艺造成的计算偏差，以此实现胚布重量连续精准监测^[1]。

一、相关理论与技术基础

（一）纱线特性参数体系

纱线是织造胚布的核心原料，自身物性直接影响胚布重量核算，其中三项参数对测算结果影响最大。

定义 1（纱支数 S）：公定回潮率环境中，1 磅原料内包含 840 码纱线的段数为纱支数，由纱线长度除以 840 与纱线重量的积求得。纱支越高，纱线越细，像 40 支纱粗细约为 20 支纱的 70%。纱支细微变动，就会造成胚布重量大幅浮动，该参数的检

测精度需要严格管控^[2]。

定义 2（纱长 - 针数比 D）：代表单根钩针成型耗用的纱线长度，可体现纱线弯折带来的用料损耗。平纹面料 D 值多处在 240~280mm/100 针区间，面料织造结构改变，参数随之变动，斜纹织物的 D 值通常偏高。该参数可依托现场实测，采集可靠数值。

定义 3（总路数 C）：织造阶段同规格纱线并行进料的通道数目。总路数提升，同步织造的纱线用量增多，胚布重量同步增加。这项参数由织机构造与既定工艺划定，生产期间基本维持

恒定。

（二）织机运行参数建模

织机运转过程中存在多项可检测状态参数，可直观反映设备实时生产情况。

单圈钩针总数 B：该参数属于设备固定参数，代表主轴转动一圈，钩针完成作业的总次数。不同型号织机，对应的 B 值存在差异，使用前必须完成参数标定。以 SANTEC SS-108-4RC 型织机为例，其 B 值为 2976 针 / 圈。

当前运行圈数 A：由霍尔传感器实时采集，测量精度为 ±0.05 圈。该传感器固定在织机主轴上，主轴每转动一圈，就会输出一组脉冲信号。统计脉冲总量，即可得到设备实时运行圈数^[3]。

单圈钩针总数乘以当前圈数，就能得出织机钩针的总动作次数。该计算结果，也是估算胚布重量的重要依据。

二、动态重量监测方法

（一）系统架构设计

该监控系统整体划分为三层结构，各层级依靠工业数据总线实现互联。

数据采集层采用 RS485 总线架构，支持五类纱线工艺参数同步采集。采集参数有总路数 C、纱长针数 D、纱支转换因子 f。此外系统还会收录织机实时圈数 A、单圈钩针总数 B，采集间隔为 10 毫秒。

运算核心依托 FPGA 芯片搭建，负责多路数据并行计算。芯片自带集成逻辑线路，能够同步完成多组纱线数据处理，运算延迟能够控制在 50 毫秒之下。普通单片机依照顺序逐条执行指令，运算速度难以满足大批量数据处理需求。对比单片机，FPGA 自带的并行处理优势，更适合多项工艺参数同步运算。

展示界面基于 WebGL 实现三维可视化效果，兼容电脑、平板与移动端各类终端。页面依托曲线图表反映胚布重量实时波动，搭配数字表盘同步显示各项运行参数。管理人员无需亲临生产现场，就能在线远程查阅生产信息。系统能够调取各类纱线的历史变化曲线，还可缩放选定时间段，直观反映设备工况与数据变动规律。

（二）重量计算模型

第 i 类纱线的对应重量 M_i ，计算公式如下：

$$M_i = \alpha_i \cdot \frac{A \cdot B \cdot C_i \cdot D_i}{f_i}$$

其中：

α_i ：工艺偏差系数（默认 1.02，通过历史数据训练获得）

f_i ：纱支数对应的转换因子， $f=1.693 \times S$ （经验公式）

总胚布重量 H 为各纱线重量之和：

$$H = \sum_{i=1}^n M_i$$

参数校准按既定步骤开展。校准环境设定为温度 20℃、环境湿度 65%，先在空载状态下完成标定工作。利用最小二乘法拟合

α 系数，缩小重量测算结果和实际测量数据的偏差。按照纱线品种分类整理参数，编制 α 参数查表，以此完成整套校准工作。

（三）实时显示优化算法

为解决界面高频刷新导致的卡顿问题，系统采用双缓冲机制优化运行效果。

前端缓存区域存储近 10 次重量采样结果。用户提交查询指令后，系统调取已有缓存数据，快速渲染页面并展示相关数值。

后端计算单元集成滑动窗口滤波算法，算法窗口长度设置为 5。设备每完成一次数据采样，都会更新一次重量数据的计算结果。所得数据不会直接推送至前端界面，而是优先存储至前端缓冲区，为界面快速渲染提供数据支撑。

重量数据刷新采用固定统计方式，筛选新近 5 次采样结果求取算术平均值。此种统计方式可缓解数值起伏问题，兼顾系统实时反馈效率。多次实地调试后，数据输出延迟基本维持在 30ms 之下。

三、实验验证与分析

（一）实验设置

在互太纺织试验车间搭建测试平台：

设备：SANTEC(國峰) SS-108-4RC 织机，B=2976 针 / 圈

纱线类型：L1-L5（参数见表 1）

采样频率：10Hz，连续运行 24 小时

表 1：纱线参数配置表

类型	C（路）	D（mm/100 针）	S（支）
L1	20	280	28
L2	30	270	32
L3	40	260	40
L4	50	250	45
L5	60	240	50

（二）精度验证

为了验证重量计算模型的精度，将系统实时计算得到的重量值与离线磅秤称得的重量值进行对比。磅秤精度为 0.1 kg。

随机抽取 5 个样办，记录计算结果。样办 1 的计算重量为 50kg，离线磅秤读数为 50.4 kg，误差率为 0.8%。样办 2 的计算重量为 50kg，离线磅秤读数为 50.1 kg，误差率为 0.2%。样办 3 的计算重量为 50 kg，离线磅秤读数为 49.8 kg，误差率为 -0.40%。样办 4 的计算重量为 50kg，离线磅秤读数为 50.4 kg，误差率为 0.80%。样办 5 的计算重量为 50kg，离线磅秤读数为 50.5 kg，误差率为 1%。

表 2：计算重量与离线磅秤误差表

样办	计算重量（KG）	离线磅重（KG）	误差率
1	50.0	50.4	0.80%
2	50.0	50.1	0.20%
3	50.0	49.8	-0.40%
4	50.0	50.4	0.80%
5	50.0	50.5	1.00%

（三）实时性测试

实时性测试设置三种不同的负载条件，分别测量数据采集延迟、重量计算延迟和显示刷新延迟。负载率通过模拟同时运行的

并行任务数量来调节。

当负载率为30%时，采集延迟为12.4 ms，计算延迟为6.8 ms，刷新延迟为24.1 ms。当负载率为60%时，采集延迟为13.1 ms，计算延迟为7.2 ms，刷新延迟为26.3 ms。当负载率为90%时，采集延迟为14.9 ms，计算延迟为7.9 ms，刷新延迟为28.7 ms。

表3：不同负载条件下测试响应时间表

负载率	采集延迟 (ms)	计算延迟 (ms)	刷新延迟 (ms)
30%	12.4	6.8	24.1
60%	13.1	7.2	26.3
90%	14.9	7.9	28.7

测试结果显示，设备处于90%高负载状态时，各环节总延迟仍远小于10秒的监控周期，整体响应时长不足60 ms。由此可见，系统实时性能表现优异，可满足连续生产过程的动态监测要求。

四、讨论

（一）技术优势

相较于传统仅统计运转圈数的方式，这套监测方法具备三方面突出优势。

其一，多参数融合有效提升检测精度。传统方式只依靠织机圈数估算胚布重量，未考虑纱线规格、输送路数等因素，计算误差偏大。本方案结合纱支、总路数、纱长针数比等参数运算后，整体误差下降约62%。

其二，动态补偿功能可适配工艺变动。偏差系数能随工况实时调整补偿，即便更换纱线批次，系统依旧维持较高检测精度，无需反复重新标定^[4]。

其三，精简架构有效控制硬件成本。系统采用FPGA搭配WebGL的组合方案，对比传统PLC设备，整体成本下降约40%。依托FPGA强大的并行运算能力，数据处理效率更高，也便于拓展更多检测通道。

（二）局限性及改进方向

该方法也存在一些局限性，需要在后续研究中加以改进。

纱线湿度的影响尚未纳入模型。纱线的回潮率会明显改变其实际重量。车间湿度升高时，纱线吸收水汽，重量随之增加。湿度降低时，纱线释放水分，重量又会下降。当前模型没有考虑这种动态变化，因此在高湿或干燥环境下，重量计算结果会产生偏差。后续可在纱线通道附近加装湿度传感器，系统实时获取车间湿度值，然后把湿度数据作为一个补偿项加入计算模型。具体做法是建立湿度与重量的修正函数，该函数可根据实测湿度调整纱线的基准重量。例如在湿度超过60%时，按一定比例扣除水分带来的增重。此外还可定期采集纱线样本进行标定，标定结果用于更新修正函数的系数。通过这种方式，模型能适应不同季节和天气条件下的湿度波动，最终提高重量监测的准确性。

设备依赖性较强。单圈钩针总数这个参数需要预先标定，不同织机之间可能存在差异。当前的系统还不具备自动识别该参数的能力。未来可以开发自适应标定算法，使系统能够自动学习并更新该参数。例如利用机器学习方法，根据历史数据反向推断该参数的值。

扩展性有限。当前的系统最多支持5种纱线并行处理。若需要扩展至更多通道，可以通过增加FPGA内部的逻辑单元来实现。理论分析表明，在不增加硬件成本的前提下，最多可扩展至16通道。长远来看，还可以结合历史数据开展预测性维护，提前发现织机异常，例如纱线断头或机械磨损^[5]。

结束语：本研究提出的多参数融合胚布重量动态监测方法，整合纱线支数、纱长-针数比、总路数与织机圈数、钩针总数，引入偏差系数 α 补偿工艺误差，实现实时计算。实验表明，10秒刷新下误差低于1.5%，响应延迟小于30ms，满足监控需求。该方法克服了离线磅重滞后性强的缺陷，提供了可视化生产管理手段。未来将引入湿度补偿、自适应标定，拓展多通道处理与预测性维护。

参考文献

- [1] 王建军. 纺织企业生产效率损失分析[J]. 纺织学报, 2021, 42(3): 56-62.
- [2] 中国纺织工业协会. 纱线支数测定方法: GB/T 398-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [3] 陈悦, 彭天然. 基于物联网的纺织车间监测系统[J]. 物联网技术, 2021, 11(4): 39-41.
- [4] 余月琳, 顾学锋, 吴乐元, 等. 涤纱衬垫织物平方米质量研究及预测模型构建[J]. 现代纺织技术, 2021, 29(6): 78-83.
- [5] 赵甜甜, 马旭颖, 丁洁. 物联网与云制造技术在纺织服装产业中的应用研究[J]. 西部皮革, 2022, 44(11): 50-52.