

热误差检测及补偿 APP

一、企业简介

沈阳机床（上海）智能系统研发设计有限公司（前身沈阳机床上海研究院）致力于面向机床行业的运动控制技术及云制造技术的产品研发和技术储备。迄今为止，上海分公司已经针对沈阳机床（集团）所涵盖的业务领域内自主研发了一系列的产品，包括 i5 系列智能数控系统、HSHA 系列伺服驱动器及 WIS 车间信息系统等产品。

沈机智能在完成 i5 运动控制核心技术的研发与 i5 数控系统的产业化之后，进一步提出社会化的开发思路，将 i5 运动控制核心技术进行模块化封装，以平台形式向数控行业产业链上下游的参与方

（包括大中小型制造企业、装备供应商、个体开发者、创客等）开放，为数控技术在各个垂直领域的应用与推广打造通用的工业 APP 开发、应用与分享的平台。该平台于 2017 年 11 月向全世界发布，即被业界所熟知 i5OS 工业操作系统（简称为“i5OS”）

二、工业 APP 简介

（一）、问题定位

机床热误差是引起零件加工误差的最主要因素之一，对于钻攻机来说，主轴热伸长可达到 10 丝以上，严重影响加工精度。目前热误差补偿存在以下几个问题：

- 1、要以较高的代价获得建模数据；

2、热误差模型鲁棒性和预测精度较差；

3、补偿方式与 CNC 集成度不高。

鉴于上述问题，在搭载 i50S 系统的机床上开发了热误差自动测量和补偿 APP。它能解决由于主轴热伸长引起的工件尺寸的不一致性，提高加工效率，提高 CPK 指标，减少能耗，降低对操作工人的技术要求。

(二)、创新点

热误差自动测量和补偿 APP 可实现主轴 Z 向热伸长的自动采集和基于工况的热误差模型的建立及预测，CNC 将补偿值平均分配到每个插补周期中，在冷机、停机恢复状态下无需热机，保持较高的尺寸一致性和加工精度。

(三)、功能介绍

热误差自动测量和补偿 APP 实现如下功能：

1、建模数据的自动采集：包括热伸长的自动测量（自动生成对刀仪测量程序；参数的设置：采集周期，刀号、安全位置等；热伸长的自动保存）、温度数据和主轴转速的采集和保存温度数据的采集和保存；



图 29 参数设置界面



图 30 自动对刀设置界面

- 2、热误差建模：根据建模文件，自动建立热误差模型，存储在数据库中；
- 3、热误差预测：
- (1)、参数设置，包括补偿周期和最大补偿值的设置；
 - (2)、热误差预测：根据事先建立的热误差模型，预测当前温度和转速下的热误差量，将其发送给 CNC 进行补偿。



图 31 热误差预测界面

4、日志管理：自动保存补偿时间、温度、主轴转速和预测值，以便以后的数据分析及问题追溯；

5、其它：App 在 CNC 开机时和奔溃时自启动，无需用户干预；按 F2 可打开和关闭前台 UI；具有温度和预测量异常处理功能。

(四)、功能和技术指标优势

- 1、废品率：在不进行热机的情况下，减少不合格产品率；
- 2、CPK 指数：提高零件尺寸的一致性，热误差在上下 2 丝以内；
- 3、生产效率：在加工中无需通过经常对刀来保证尺寸的一致性；
- 4、能耗：在冷机、停机恢复后无需热机，节约 10%的能耗。

三、技术方案说明

(一)、工业 APP 架构

热误差测量和补偿系统目前针对的是 M1.4 主轴 Z 向的热伸长检测和补偿，包括硬件和软件（App）两部分组成。硬件部分包括对刀仪和自主研发的温度采集装置，其中对刀仪用于自动采集主轴热伸长

量；温度采集装置包括温度传感器、温度配送器和采集卡，采集主轴测温点的温度和环境温度，通过总线的方式传输给 CNC, 热伸长测量和补偿模块读取 CNC 里面的参数值即可获得温度值，分别用于建立热误差模型和后续的热伸长量的建立。

App 部分是在 i50S 框架上开发的，包括后台数据处理、前台 UI 和数据库。前台 UI 包括相关参数的设置、操作和相关数据的显示。用户可按 F2 快捷键在前台和后台之间进行切换。数据库中存储了建模文件、热误差模型、日志文件和配置文件。后台数据处理包括信息交互、数据分析和建模以及热误差预测。

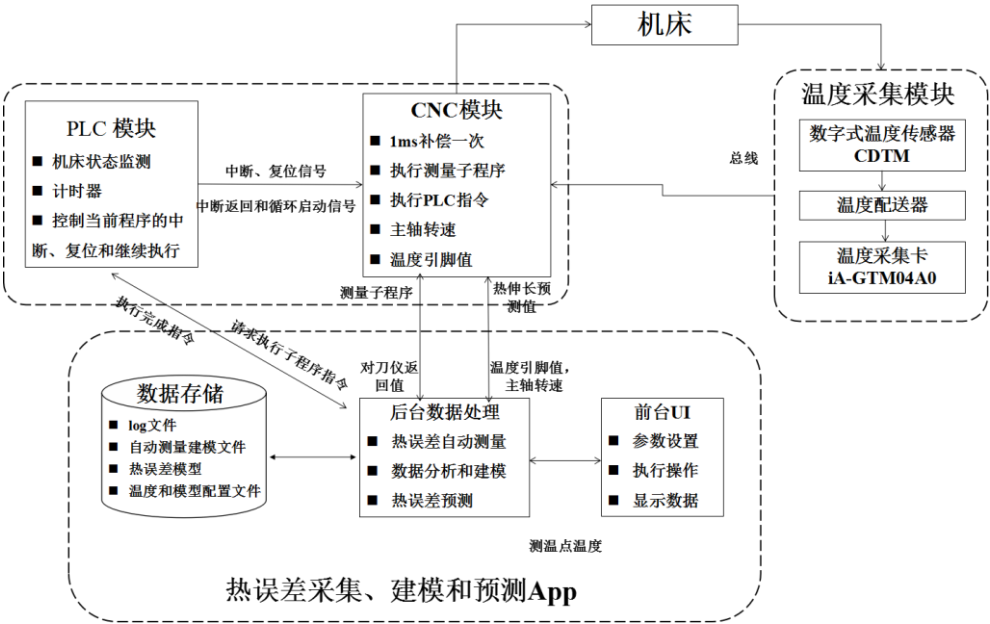


图 32 产品架构图

(二)、工业 APP 关键技术

热误差测量和补偿系统 APP 采用了如下关键技术：

1、热伸长自动采集：通过 App 与 PLC 的交互，控制对刀仪在每个采集周期内执行自动测量子程序，获得当前刀尖点 Z 向坐标反馈给 App, App 自动计算相对于冷态下的热伸长量；涉及到的技术是 PLC 处理逻辑的编写。

2、热误差建模和预测技术：基于最小二乘向量机建模方法建立热误差模型，并采用贝叶斯推理优化方法获得模型的最优参数值，提高模型的拟合精度。针对最小二乘向量机模型的鲁棒性较差的问题，对权向量进行加权处理，提高模型的鲁棒性。

此外将主轴转速加入到模型中，一方面提高模型对各种工况的鲁棒性，另一方面克服温度超前或滞后于热误差的问题（即温度变化的速度快于或慢于热误差的变化），提高预测精度。

四、应用情况描述

（一）、应用场景描述

目前该热误差测量和补偿 App 在云端应用商城上架，通过设备端的 i50S 的软件管家上下载安装，经授权后使用，下载安装后需配合自主研发的温度采集装置（包含两或三个传感器和一个采集卡，传感器数量视机床类型而定）及对刀仪一起使用。首次使用时，分别在主轴测温点处和机床侧面板吸附上温度传感器，并将温度采集卡通过网线形式与 CNC 连接，配置温度引脚值。其次安装和调试对刀仪，然后在自动测量页面配置对刀仪测量参数，生成测量子程序。接着运行标准的建模程序，对刀仪在每个采样周期内执行一次测量子程序，直到建模程序结束；最后建立好热误差模型后即可进行热误差补偿。

（二）商业化情况

该 APP 已在 3C 行业金属切屑加工领域的云科江门公司和汽车发动机行业领域机加工领域的豪铭艾德金属制品有限公司应用。