

基于灰色模型的机床切削温度预测分析

谢国坤,郑凯

(西安交通工程学院 电气工程学院,陕西 西安 710300)

摘要:为有效预测机床的切削温度,以降低切削温度对工件表面质量和刀具的影响为目标,设计一种基于灰色模型的机床切削温度预测方法。以温度传感器为硬件核心设计机床切削温度采集单元,实现切削温度实时数据的采集与处理;以灰色 GM(1,1)模型为基础建立切削温度预测数学模型;利用 MATLAB 对采集的温度数据进行预测仿真分析。研究表明:基于灰色 GM(1,1)模型的切削温度预测值与实际切削温度的变化及增长规律相吻合,对工程人员的工艺制定与技术实施具有指导意义。

关键词:灰色模型;机床;切削温度;预测分析

中图分类号:TG506 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)01-0134-03

Prediction Analysis of Tool Cutting Temperature Based on Gray Model

XIE Guokun, ZHENG Kai

(Department of Electrical Engineering, Xi'an Traffic Engineering Institute, Xi'an 710300, China)

Abstract: To effectively predict the cutting temperature of machine tools and reduce the influence of cutting temperature on workpiece surface quality and tool, a method of predicting the cutting temperature of machine tools based on grey model is designed. The temperature sensor is used as the core hardware to design the cutting temperature acquisition unit to realize the real-time data acquisition and processing of cutting temperature. A mathematical model of cutting temperature prediction is established based on gray GM(1,1) model. MATLAB is applied to predict and simulate the temperature data collected. The results show that the predicted cutting temperature based on the gray GM(1,1) model is consistent with the change and growth law of the actual cutting temperature, which is of effective guiding significance to process development and technology implementation.

Keywords: grey model; machine tools; cutting temperature; forecast analysis

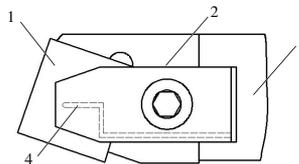
0 引言

机床在切削加工过程中所消耗的功,大部分都转换成切削热,刀具易受到切削温度的影响而磨损。目前,通过不同冷却条件下的车削对比试验,分析切削温度对刀具的影响^[1]以及通过有限元分析的方法对刀具进行切削过程的温度场仿真,完成刀具热变形的定量计算等^[2-3]。这些方法虽然反映了切削温度的变化规律,但由于切削对比实验过程的复杂性以及有限元仿真难以反映切削过程中温度分布的真实情况,而产生较大的检测误差。基于此本文利用灰色模型对切削温度进行预测,不仅提高了检测效率,降低了传统对比实验及有限元分析的限制性,同时为工程技术人员的加工工艺制定与实施提供了有效指导,因此具有一定的研究价值。

1 切削温度采集的设计

本文以车床切削为例,将温度传感器安装于快换式车刀的上压块内,如图1所示。这种安装方法具有良好的可重复性,可以测定不同点的切削温度和切削加工过程中的

最高温度,保证了切削温度采集的有效性,为本文的后续研究提供了可靠的数据基础。



1—刀头;2—上压块;3—刀杆;4—传感器。

图1 温度采集单元的总体结构

2 切削温度的数据处理

本文选用了“镍铬-镍硅”式、测温范围为 $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $1\ 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的热电偶传感器^[4-5]组成的检测电路,进行切削温度实验数据的采集,并将其转化成电压。本文分别采集了无切削液及加入切削液后的刀具切削温度数据。

1) 无切削液的温度数据

在不加入切削液的情况下,以刀具连续工作 0.5 h 为一个检测周期,每 3 min 采集一个温度值,其切削温度数据如表1所示。

表1 无切削液的温度数据

序号	时间/min	温度/°C	序号	时间/min	温度/°C
1	00:03	120.7	6	00:18	195.4
2	00:06	134.1	7	00:21	210.3
3	00:09	149.9	8	00:24	227.4
4	00:12	158.9	9	00:27	258.7
5	00:15	180.5	10	00:30	275.3

2) 加入切削液后的温度数据

以刀具连续工作 0.5 h 为一个检测周期,每 3 min 采集一个温度值,其中在 00:15~00:24 min 之间加入切削液,其切削温度数据如表 2 所示。

表2 加入切削液的温度数据

序号	时间/min	温度/°C	序号	时间/min	温度/°C
1	00:03	120.7	6	00:18	175.4
2	00:06	134.1	7	00:21	182.3
3	00:09	149.9	8	00:24	190.4
4	00:12	158.9	9	00:27	258.7
5	00:15	160.5	10	00:30	275.3

由表 1、表 2 可知,在一个检测周期内(0.5 h),切削温度成线性规律进行变化,而灰色 GM(1,1)模型适用于增长曲线具有 S 形特征的事物。因此,基于灰色预测模型的切削温度预测具有可靠性。

3 灰色 GM(1,1) 预测模型的建模

对数据序列用累加法生成一组趋势明显的新数据序列,按照新的数据序列的增长趋势建立模型进行预测,然后通过累减进行逆向计算,恢复原始数据序列,进而得到预测结果^[6-8]。

1) 设研究对象的历史数据序列为

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\} \quad (1)$$

对 $x^{(0)}$ 进行一次累加,新的数据序列为

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n-1), x^{(1)}(n)\}$$

其中

$$x^{(1)}(k) = \sum_{m=1}^k x^{(0)}(m), k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

2) 对新的数据 $X^{(1)}$ 进行建模,得到灰色系统的预测方程为

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = u \quad (3)$$

式中: a 表示发展系统; u 表示灰色作用量。

3) 设参数 u 的估计值为 $\hat{u} = (a, b)^T$, 根据最小二乘法可以得到 $\hat{u} = (B^T B)^{-1} B^T Y$, 其中:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}; Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad (4)$$

4) 得到参数 a, u 值后,对式(3)进行求解,从而得到预测数据:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}\right) e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (5)$$

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad (6)$$

$$k = 1, 2, 3, \dots, n$$

4 切削温度的预测仿真与分析

4.1 切削温度的预测仿真

本文运用 MATLAB 软件^[9-10],以灰色 GM(1,1)预测模型为基础,结合表 1、表 2 的温度数据进行了仿真实验,得到了相应的特性(预测)曲线。

1) 无切削液的温度预测

结合表 1 的温度数据进行了仿真,其温度预测结果如图 2 所示。

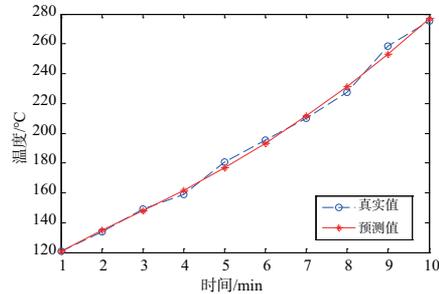


图2 无切削液的温度预测结果

2) 加入切削液的温度数据

结合表 2 的温度数据进行了仿真实验,其温度预测结果如图 3 所示。

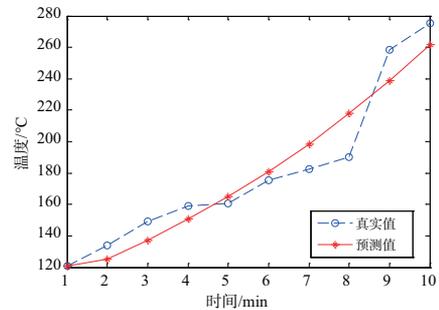


图3 加入切削液的温度预测结果

由图 2 可知,未加入切削液时,预测趋势与温度真实值的发展趋势高度吻合,证实采用灰色 GM(1,1)模型进行切削温度的预测可行。同时,由图 3 可知,在一定时间段(表 2 中的 00:15~00:24 min 之间)内加入切削液后,预测虽然出现了较小的偏差,但预测的整体趋势依然与实际温度的变化规律相吻合,证实灰色预测系统在机床切削温度的预测中具有较好的适应性。

4.2 温度预测的误差分析

在完成切削温度预测的基础上,对预测温度与真实温

度进行了对比与误差分析,验证其系统的可靠性及有效性。

1) 无切削液的温度预测误差分析

无切削液的温度预测误差分析如表3所示。

表3 无切削液的温度预测误差分析

实际温度/°C	预测温度/°C	残差/%	实际温度/°C	预测温度/°C	残差/%
120.7	120.7	0	195.4	193.4	1.94
134.1	135.1	-1.05	210.3	211.6	-1.30
149.9	147.8	1.26	227.4	231.4	4.05
158.9	161.7	-2.80	258.7	253.1	5.53
180.5	176.8	3.63	275.3	276.9	-1.61

2) 加入切削液的温度预测误差分析

加入切削液的温度预测误差分析如表4所示。

表4 加入切削液的温度预测误差分析

实际温度/°C	预测温度/°C	残差/%	实际温度/°C	预测温度/°C	残差/%
120.7	120.7	0	175.4	181.0	-5.68
134.1	125.2	8.87	182.3	198.5	-16.27
149.9	137.3	11.77	190.4	217.7	27.35
158.9	150.5	8.31	258.7	238.7	19.91
160.5	165.1	-4.63	275.3	261.8	13.44

由表3、表4可知,预测值与真实值的发展规律基本吻合。经MATLAB系统仿真运算后,小误差概率 $P=1$,残差相对较少;说明灰色预测系统应用于机床切削温度的预测可靠且有效,对工程技术人员工艺制定与实施具有一定指导作用。

5 结语

本文在分析了机床切削温度对零件表面与刀具影响

的基础上,采用热电偶法对机床切削温度的原始数据进行了处理与采集。针对灰色预测模型的特点完成了GM(1,1)预测模型的建模,同时将已经采集的温度数据输入MATLAB预测模型中进行仿真。由仿真结果可得,采用灰色GM(1,1)模型进行切削温度的预测基本与真实值的发展规律相吻合,具有一定的指导价值。但该模型仍具有一定程度的局限性,对于加入切削液后的温度波动变化,其预测具有一定的误差,还需在后续的研究中加以改进。

参考文献:

- [1] 闵令臣. 钛合金高效车削刀具磨损试验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2014.
- [2] 王小平. 基于有限元方法的切削加工建模技术研究及应用[D]. 太原:太原理工大学,2011.
- [3] HU C, ZHUANG K J, WENG J, et al. Three-dimensional analytical modeling of cutting temperature for round insert considering semi-infinite boundary and non-uniform heat partition[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2019, 155:536-553.
- [4] 杨朋博. 热电偶传感器调理电路设计[J]. 山西电子技术, 2017(6):19-21.
- [5] 李静,曲贵波,吴东艳. 基于K型热电偶的中低温度测量系统的设计[J]. 黑龙江工程学院学报,2016,30(5):43-45.
- [6] 孔雪,王丽,冯益华. 灰色预测GM(1,1)模型应用现状与展望[J]. 齐鲁工业大学学报,2018,32(6):49-53.
- [7] 王超. 基于灰色理论的高速列车轴温实时预测模型研究及系统开发[D]. 成都:西南交通大学,2018.
- [8] 苗瑜. 基于灰色模型的预测模糊温度控制系统[J]. 控制工程,2008,15(增刊1):134-135.
- [9] 葛明. MATLAB在自动控制理论实验中的应用[J]. 集成电路应用,2020,37(8):44-45.
- [10] 姜硕. MATLAB软件在电子线路分析中的应用[J]. 电子技术与软件工程,2019(16):56-57.

收稿日期:2021-10-11