

# 工艺系统的使用精度

庄有土

(精密机械工程系)

## 摘 要

保证工件毛坯、机床、刀具和夹具的制造精度固然重要,然而,它们的结构设计、系统协调及使用方法往往更重要。因此,本文提出工艺系统的使用精度来评价系统的整体运行特性。

## 一、影响零件加工精度的因素

机械零件的加工精度是其加工质量的重要指标,它将影响机器的工作性能和使用寿命。随着科学技术的发展,对机器的要求越来越高,保证机械零件具有更高的加工精度,也越显得重要。因此,深入研究影响零件加工精度的因素、误差规律及提高加工精度的对策是工艺研究的核心课题。

凡是引起工件的工序基准相对于刀具及切削成形运动正确位置偏离的因素,都是影响机械零件加工精度的因素。其中包括工艺系统(机床、刀具、夹具及工件上道工序)的制造误差。工艺系统在使用中各组成部分的受力变形、受热变形及磨损,在自动化及精密加工中是更重要的误差因素。工艺制订不当和工人技术水平低在某些场合也是非常重要的误差因素。

工艺系统各组件的制造误差目前仍然是组件生产厂生产中的主要矛盾,但是,经过长期的摸索,组件的制造精度已相当高。

工艺系统的制造精度越高,加工误差中的随机误差及系统性的常值误差也越小。加工误差中的系统性规律性误差主要来自工艺系统使用中的受热、受力及磨损变形。因此,规律性误差与工艺系统的静刚度、动刚度和热刚度相关。三刚结构设计,系统刚度及精度的协调及工艺系统的使用技术水平都会在工艺系统使用中影响加工精度,而且,在自动化和精加工中,往往是影响加工精度的主要因素,为此,作者认为有必要提出工艺系统使用精度这个新的概念来描述工艺系统在使用中的加工精度的变化,从而评价工艺系统的动态精度特性。

零件的加工精度是工艺系统使用时间及切削区位置的函数。把某时刻在某切削区位置上的零件加工精度称为该工艺系统在该时空的使用精度。

## 二、工艺系统精度尺寸链

零件的加工精度取决于工艺系统的精度尺寸链。精度尺寸链的封闭环是在检测条件下的

本文1988年1月26日收到。

工件加工尺寸，所有影响此工件检测尺寸的因素都是精度尺寸链的组成环。从工艺系统使用精度的观点看，精度尺寸链与零件工艺尺寸链及装配尺寸链有共通之处也有重大差异。精度尺寸链的组成环可以具有实体尺寸，也可以不具有实体尺寸（即零值环），而且，由于使用方法不同，须增添一些组成环或减去一些组成环<sup>[1]</sup>；由于工艺上原因，也可能必须把基准的不重合误差算进组成环。

在平面磨床的电磁工作台上磨平面。工艺系统尺寸链如图 1 所示。这尺寸链并不是工艺系统的精度尺寸链，这是因为：

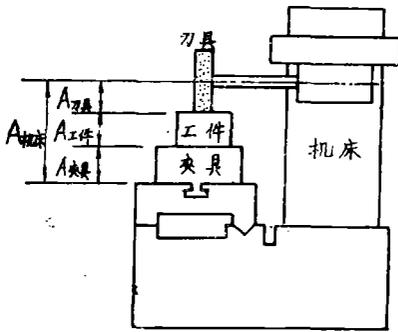


图 1

1.  $A_{工件}$ 并不是在检测条件(基准温度 $20^{\circ}C$ )下的工件加工尺寸。 $A_{工件}$ 包括了加工过程工件受热变形 $A_{工热}$ , 受力变形 $A_{工力}$ 内应力变形 $A_{工内}$ 及检测条件下的工件尺寸 $A_{工检}$  (如图 2 所示)。精度尺寸链的封闭环应是 $A_{工检}$ 。

$A_{工检}$ 不仅是机床、刀具、夹具有关尺寸的函数，还必须是工件自身受力、受热及内应力变形的函数，即

$$A_{工检} = f(A_{机床}, A_{刀具}, A_{夹具}, A_{工热}, A_{工力}, A_{工内})$$

2. 如图 3 所示，组成环 $A_{刀具}$ 是刀具受力变

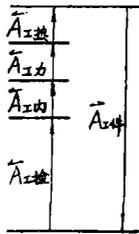


图 2

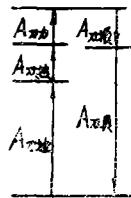


图 3

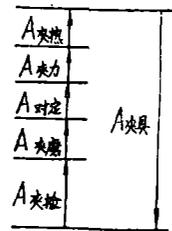


图 4

形 $A_{刀力}$ , 受热变形 $A_{刀热}$ , 刀具磨损 $A_{刀损}$ 及刀具在检测条件下的尺寸 $A_{刀检}$ 。 $A_{刀检}$ 包含了刀具的制造误差。结构设计或使用方法不当， $A_{刀热}$ 、 $A_{刀力}$ 及 $A_{刀磨}$ 是很大的，是精度尺寸链中的重要组成环，引起加工尺寸 $A_{工检}$ 产生规律性的加工误差。

3. 组成环 $A_{夹具}$ 是图 4 所示尺寸链的封闭环。夹具与工件的对定，夹具与机床成形运动的对定，夹具与刀具的对定引起的误差 $A_{对定}$ 包含了调整误差。它是精度尺寸链非常重要的一环。

4. 组成环 $A_{机床}$ 包含了较多的变化环节，如图 5 所示，再把这些环节的受力变形，热变形考虑进去就更复杂。这里必须特别强调，由于运动副的受热及受力变形，使相对运动件之间的间隙变化，大小不均或偏离成形运动的要求，润滑状况也发生变化，这些都必须以某种传递比考虑到精度尺寸链中去。

机床热变形比较复杂，但最后可把所有以 $A_{机床}$ 为封闭环的尺寸链组成环综合为增环及

减环两大环，然后观察加工时是增环优势或减环优势，再决策削弱优势或减小劣势的办法，从而改善机床的热特性<sup>[1]</sup>。

5. 精度尺寸链必须加上一个工艺组成环 $\Delta A$ 工艺，理由是：

(1) 当工件的定位基准与工序基准或设计基准不重合时将引起基准不重合误差。图 6 所示， $H_3$ 已加工好，调定 $H_2$ 以加工 $H_1$ 。 $H_3$ 的加工误差就会影响 $H_1$ ，而 $H_1$ 则是精度尺寸链中的 $A$ 工检。

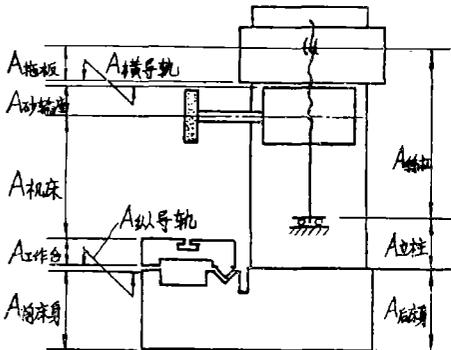


图 5

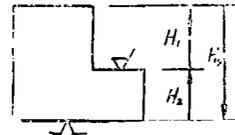


图 6

(2) 同样的工艺系统，加工同样毛坯的同样表面，采用试切法加工往往可去掉一些有关尺寸的热变形组成环及调整误差而提高加工精度，而用调整法加工可减小随机误差，但往往大大增大系统性的误差，特别是规律性误差。

用本机床砂轮就地修磨电磁工作台台面，可使工件的定面基准与机床的成形运动基准重合。因此，用就地修磨工作台可消减夹具、工件、机床及刀具之间的一些对定误差环节，从而可提高加工精度。但是在什么时候修磨工作台面却是十分重要的，图 7 是上班开机就修磨，图 8 是上班开机工作 42 分钟修磨的。从图 7 可见，机床越接近热平衡，却是精度越差的时候。而图 8，虽然出现 7 分钟的机床精度失控时间，但机床越接近热平衡，其加工精度也越稳定。修磨机床工作台的时刻，虽然不能用某一尺寸误差及传递比简单地表示出来，但它的确对加工精度有显著的影响，它应该用 $\Delta A$ 工艺组成环纳入精度尺寸链。修磨工作台的最佳时刻是为了把机床的各零部件的热变形对加工精度的影响尽量抵消掉，因此， $\Delta A$ 工艺的大小尽量与机床热变形优势环（增环或减环）的优势变形量相等，而方向则相反，即符号相反。

### 三、工艺系统影响加工精度因素的综合

对于系统误差，知道其方向及大小或变化规律的，用代数和合成；对于随机误差可用极值法或概率法合成。

$$\Delta A_{\text{工检}} = \sum_{i=1}^m K_i \cdot \Delta A_i + \sum_{j=1}^n |K_j| \cdot \Delta A_j + \Delta A_{\text{工艺}}$$

或

$$\Delta A_{\text{工检}} = \sum_{i=1}^m K_i \cdot \Delta A_i + \sqrt{\sum_{j=1}^n K_j^2 \cdot \Delta A_j^2} + \Delta A_{\text{工艺}}$$

#### 四、提高工艺系统使用精度的措施

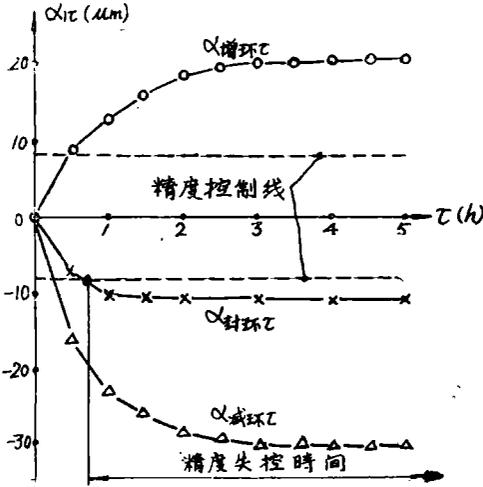


图 7

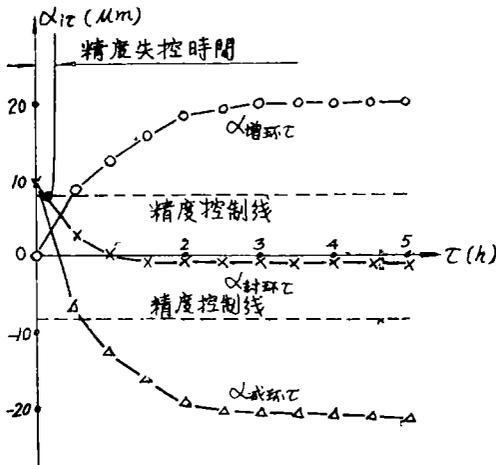


图 8

1. 尽可能缩短工艺系统的精度尺寸链。这是最好的最积极的措施。用电磁无心卡盘可使磨削滚动轴承滚道的精度不受磨床主轴径跳的影响，使引起径跳的精度尺寸链大为缩短。用镗模镗排镗孔系，也使机床的成形运动误差脱离精度尺寸链，从而使工艺系统的精度尺寸链缩短。

制订工艺时，尽力使定位基准与工序基准或设计基准重合，也可缩短精度尺寸链。

2. 尽量减小组成环的变化范围：

(1) 工艺系统的三刚结构设计时，尽可能高且一致。要努力克服三刚中的刚度薄弱环节，削弱变形优势环节，采用刚度对称或增强刚度的先进结构。M7130平面磨床液压油池在前床身下部，引起前床身温度下部高于上部导致纵导轨中凹（有时达0.05—0.07 mm）。前床身热刚度很差，该机床工作台虽薄，仍然不能贴到中凹的前床身纵导轨的中部（有0.02—0.03mm间隙），这对加工精度及机床的动刚度很不利。若工作台刚度能更低些，使它与前床身很差的热刚度协调，则对加工精度的提高及机床的动刚度都有利，本文作者已向该机床厂提出这个建议。

(2) 及时修整刀具，调整或更换刀具。

(3) 采用及时检测及时补偿或在线监测自动补偿措施。这是目前机械加工提高精度的先进措施，可除去许多组成环的影响。

(4) 掌握合适时机修磨工作台或夹具的定位基准面，使其同运动基准尽量一致，特别是在热平衡以后。

(5) 提高毛坯的制造质量。

(6) 提高工艺系统的制造精度，特别是低精度的环节。

## 五、结 论

1. 工件的加工精度取决于工艺系统的使用精度尺寸链长短及其组成环的误差大小与传递比。工艺系统的制造精度只是使用精度尺寸链的一部分, 要得到高的加工精度, 就必须注意系统的三刚结构设计及使用方法, 提高使用技术水平, 有效地控制工艺系统使用精度的变化。

2. 用工艺系统使用精度新概念, 並把它与工艺系统的制造精度区别开, 对工艺系统正确的设计、制造及使用都具有现实意义。

## 参 考 文 献

- [1] 庄有土, 机床热变形误差的综合, 华侨大学学报(自然科学版), 4(1987), 438.

### The Accuracy of Exploitation in the Evaluation of a Technological System

Zhuang Youtu

#### Abstract Abstract

This paper poses a new concept, the accuracy of exploitation, to evaluate the operating characteristic of an overall technological system

It is important for the workblank, machine tool, cutter, and fixture to have a better accuracy of manufacture, but their structural design, system coordination, and usage mode are much more important. So it is advisable to evaluate the technological system as a whole.