

基于 MATLAB 的平面度评定

李高峰,陈晓怀,王宏涛,李红莉
合肥工业大学

摘要: 根据国家标准中有关平面度误差的定义,建立了平面度的最小二乘数学模型,提出了一种基于 MATLAB 的平面度评定方法。通过优化算法得到平面度误差,实践证明该方法能收敛到最优解,而且计算稳定,应用范围广泛。

关键词: 平面度;MATLAB;最小二乘法;优化工具箱

中图分类号: TG806 **文献标志码:** A

Flatness Evaluation Based on MATLAB

Li Gaofeng, Chen Xiaohuai, Wang Hongtao, Li Hongli

Abstract: According to the national standard definition of flatness error, flatness error model was set up according to least – squares method, then proposed a evaluation method of flatness based on MATLAB. Optimization algorithm to get the flatness error, practice has proved that the method can converge to the optimal solution, and computational stability, wide range of applications.

Keywords: flatness; MATLAB; least – squares method; optimization toolbox

1 引言

在实际工程中,对某些零件的平面度测量是必不可少的一个环节,由于传统的测量方法十分复杂,在某些复杂的环境下难以直接测量,为工程人员带来了诸多不便。本文采用直角坐标测量法。首先建立相应的数学模型,利用传统的平面度评定方法,得到平面度误差,然后利用 MATLAB 中的优化工具箱得到平面度的最优值,将两种方法得到的值相比较。实践证明, MATLAB 的优化算法收敛性好,过程稳

定。该方法还可以推广到其他测量任务如直线度、圆度和圆柱度等形位误差评定。

平面度的评定方法包括最小包容区域法、最小二乘平面法、对角线平面法和三远点平面法。其中,最小二乘平面法计算方便简洁,本文采用最小二乘平面法介绍平面度评定过程。

2 平面度的最小二乘模型

用最小二乘法评定平面度误差时,评定的基准平面是最小二乘平面,最小二乘平面的确定是利用各测量点到平面的距离的平方和为最小值。取得各点相对于该平面的偏离值中的最大偏离值和最小偏离值之差作为平面度误差,点在平面上方为正,在平

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50675057)
收稿日期: 2012 年 6 月

确的控制。换言之,经典设计的根部倒棱刀对刀具制造和测量精度的要求更高。两种设计的对比如表 3 所示。

表 3

对比项目	经典设计	现代设计
加工齿轮宽度范围	大	小(>13mm)
加工台肩干涉齿轮范围	小(>4mm)	大
刀齿强度(抗断齿能力)	高	低
刀齿局部强度(抗崩刃能力)	高	低
同等工艺条件下表面质量	高	低
同等质量条件下制造成本	低	高
根部倒棱实现难度	较高	相对低

对于刀具供应商,如果这两种风格刀具的设计制造能力都具备,就可以覆盖几乎所有的倒棱加工

范围。对于刀具设计工程师,应熟练掌握这两种设计风格的原理、设计制造和使用的方法,根据不同情况来选用不同刀具,以获得倒棱工序在效果和成本上最佳的平衡。

参考文献

[1]何枫,李敏. 齿轮倒棱刀的设计[J]. 工具技术,2002,36(10):32 – 34.

[2]杨钟胜. 齿轮的倒棱技术[J]. 现代零部件,2011(7):82 – 84.

[3]王静. 一种汽车变速箱齿轮齿端倒棱刀架设计[J]. 制造技术与机床,2011(6):146 – 147.

第一作者:蒋能,上海星合机电有限公司,201908 上海市

面下方为负。

以被测平面作为 XOY 平面建立坐标系,在直角坐标系中得到平面上 n 个点的坐标值。

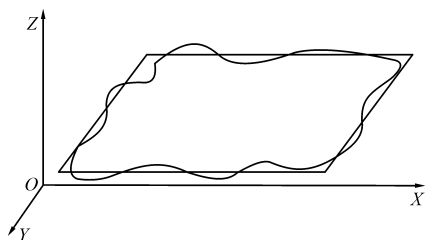


图1 最小二乘平面度模型

假定测得点坐标为 (x_i, y_i, z_i) ($i = 1, 2, \dots, n$), 最小二乘平面为: $z = ax + by + c$, 其中 a, b, c 为待定参数。根据最小二乘原理得最小二乘平面的待定参数 a, b, c 为

$$a = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum z_i & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i z_i & \sum x_i y_i \\ \sum y_i & \sum y_i z_i & \sum y_i^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum x_i & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i y_i \\ \sum y_i & \sum x_i y_i & \sum y_i^2 \end{vmatrix}}$$

$$b = \frac{\begin{vmatrix} n & \sum x_i & \sum z_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i z_i \\ \sum y_i & \sum x_i y_i & \sum y_i z_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum x_i & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i y_i \\ \sum y_i & \sum x_i y_i & \sum y_i^2 \end{vmatrix}}$$

$$c = \frac{\begin{vmatrix} \sum z_i & \sum x_i & \sum y_i \\ \sum x_i z_i & \sum x_i^2 & \sum x_i y_i \\ \sum y_i z_i & \sum x_i y_i & \sum y_i^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} n & \sum x_i & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i y_i \\ \sum y_i & \sum x_i y_i & \sum y_i^2 \end{vmatrix}}$$

拟合出最小二乘平面后,平面上方的点和平面下方的点到平面度距离公式,本身带有矢量性。距离公式为

$$d_i = \frac{z_i - ax_i - by_i - c}{\sqrt{1 + a^2 + b^2}} \quad (1)$$

根据最小二乘原理有

$$Q = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \min \quad (2)$$

故求解最小二乘平面度误差就转换为寻求 (a, b, c) 的值,使目标函数 Q 最小。

假设采样点中位于最小二乘平面两侧的最大偏

离点分别为 (x_M, y_M, z_M) 和 (x_L, y_L, z_L) , 则平面度最小二乘检验的结果可表示为

$$f = d_M - d_L = \frac{(z_M - z_L) - a(x_M - x_L) - b(y_M - y_L)}{\sqrt{1 + a^2 + b^2}} \quad (3)$$

3 MATLAB 优化工具箱

MATLAB7.6.0 的优化工具箱中含有一系列优化算法函数,可以用于解决一系列工程实际问题。

此类问题可属于求解无约束条件非线性极小值以及非线性最小二乘逼近和曲线拟合问题。只要正确地建立问题的数学模型,调用相应的函数,即可求得的结果,无需编写求解程序,因此求结过程非常简单。

用于求解无约束条件非线性极小值的函数有 `fminsearch` 和 `fminunc`。本文用的是 `fminunc`,其用法介绍为:

`[x, fval, exitflag, output] = fminunc(fun, x0, options)`

其中, x 为最优解; `fun` 为目标函数; x_0 为初始解; `options` 为设置优化选项参数; `fval` 为返回目标函数在最优解 x 点的函数值; `exitflag` 为返回算法终止标志; `output` 为返回优化算法信息的一个数据结构。

由于 `fminunc` 函数只能给出局部最优解,未获得更精确的圆柱度误差,需要恰当的初值,若以该平面作为 XOY 平面建坐标系,则 (a, b, c) 的初始值为 $(0, 0, 0)$ 。

4 实例分析

在三坐标测量机上一个平面的测量数据如表1所示。

表1 平面测量点的坐标

	$x(\text{mm})$	$y(\text{mm})$	$z(\text{mm})$		$x(\text{mm})$	$y(\text{mm})$	$z(\text{mm})$
1	10.132	43.982	-0.003	16	16.808	45.071	-0.005
2	19.641	44.092	-0.001	17	28.761	45.209	-0.002
3	30.444	44.217	-0.002	18	28.901	33.125	0.000
4	30.618	29.359	-0.002	19	17.108	32.988	-0.007
5	17.741	29.210	-0.001	20	3.975	32.836	-0.008
6	5.450	29.068	-0.007	21	4.188	14.508	-0.008
7	4.912	46.453	-0.012	22	17.690	14.664	0.003
8	15.887	46.580	-0.004	23	30.909	14.817	0.004
9	29.745	46.740	-0.002	24	30.140	32.118	-0.003
10	30.104	15.746	0.003	25	18.378	31.981	-0.007
11	18.721	15.614	-0.004	26	4.371	31.820	-0.004
12	5.738	15.464	-0.010	27	18.421	31.982	-0.008
13	17.630	47.032	-0.010	28	30.889	32.127	-0.004
14	29.966	47.174	-0.007	29	31.111	13.176	0.001
15	5.989	44.945	-0.011	30	17.422	13.018	-0.005

三坐标测量机测得该平面的平面度为 0.010mm 。根据以上数据用最小二乘法进行平面度

评定。按式(2)构造的目标函数编写 pingmiandu. m 文件如下:

```
function d = pingmiandu(p)
d = 0;
for k = 1:30
r(k) = ((z(k) - p(1) * x(k) - p(2) * y(k) - p(3)) /
sqrt(p(1).^2 + p(2).^2 + 1)).^2;
d = d + r(k);
end
然后调用函数 fminunc:
p0 = [0,0,0];
[p,fval,exitflag,output] = fminunc(@pingmiandu,p0)
di = (z - p(1) * x - p(2) * y - p(3)) / sqrt(p(1).^2 + p(2).^2 + 1);
dmax = max(max(di))
dmin = min(min(di))
f = dmax - dmin
运行结果如下:
p = 0.0003 -0.0001 -0.0058
fval = 2.3250e-004
exitflag = 1
output = iterations: 13
funcCount: 84
stepsize: 1
firstorderopt: 1.7316e-006
algorithm: medium-scale: Quasi-Newton line search
message: [1x85 char]
dmax = 0.0051
dmin = -0.0046
f = 0.0097
```

在这里 MATLAB 采用拟牛顿优化法,迭代次数是 13 次。最小二乘平面的方程为

$$z = 0.0003x - 0.0001y - 0.0058$$

该最优化方法得到的最小二乘平面度误差为 0.0097mm。

GUM 方法得到的最小二乘平面方程为

$$z = 0.00027x - 0.00011y - 0.0058$$

平面度误差为 0.0097mm。

三坐标测量机测得结果为 0.010mm,可见,以上两种方法所得结果均与三坐标测量机结果基本一致。

5 结语

用最小二乘法建立了平面度的最小二乘模型,利用 MATLAB 优化工具箱进行平面度评定,同其他方法相比较,编写简单容易操作,所建立的数学模型对测量点的位置无特殊要求。该算法可以推广到其他形状误差评定中。

参考文献

- [1] 山良涛,李卫东. 基于 MATLAB 的圆柱度误差评定方法[J]. 机械工程与自动化, 2011(4):112-114.
 - [2] 刘国光. 基于 Matlab 评定圆柱度误差[J]. 工程设计学报, 2005, 12(4):236-239.
 - [3] 王金星,蒋向前,马利民,等. 平面度坐标测量的不确定度计算[J]. 中国机械工程, 2005, 16(19):1701-1703.
 - [4] 连慧芳. 形位误差测量的不确定度评定[D]. 合肥工业大学硕士学位论文, 2010.
 - [5] Christos E Papadopoulos, Hoi Yeung. Uncertainty estimation and monte carlo simulation method [J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2001, 12(4):291-298.
- 第一作者:李高峰,硕士研究生,合肥工业大学仪器科学与光电工程学院, 230009 合肥市
- First Author: Li Gaofeng, Postgraduate, School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Hefei 230009, China

张维迎:经济最好的十年 改革失败的十年

2012 年夏季达沃斯 9 月 11-13 日在天津举行,会议主题为“塑造未来经济”。著名经济学家张维迎在论坛上表示,过去的十年是经济是最好的十年,但社会是最坏的十年,改革是失败的十年。经济发展快是因为这十年前改革的红利,过后的十年将非常艰难。

“指出金融市场的开放度还不够,石油、电信这些垄断行业没有进行强有力的改革,同时由于存在歧视私营企业的政策,很多私营企业对未来没有信心,所以中国的经济增长还会下降。”张维迎说。

张维迎还认为,在全球金融危机的大背景下,中国还没有出现明显的危机,是由于中国有强大的资金储备,为银行等机构注入了资金。在 1997 年东亚经济危机中,中国汲取了教训,这个教训就是进行了过多的调控,但这次金融危机,

中国没有完全学到经验和教训。

在谈到当前所面临的经济困境时,张维迎在达沃斯向媒体表示,改革将是一个艰难的调整,如果我们能够忍受这个痛苦调整过来,将会迎来一个新的经济增长点,但如果回避这个调整点,结果将是灾难性的。

“一块砖,一根螺丝钉都来自消费者,如果没有私有财产的保障,就不会有真正的市场价格。”张维迎表示,改革的过程中肯定要痛苦,有些东西我们犯了错误,但你不可能没有犯错误,整个社会犯错误了。

张维迎认为,当局对改革之所以谨慎,是因为无论上面还是下面,危机感都不强了。危机感不强就会导致很多的倒退。之所以乐观是经历过上世纪 80 年代、90 年代多次“柳暗花明又一村”。当时困难也是很多的。既得利益每时每刻都有,不是说今天才有的。但是有邓小平这样的人,他可以用理念可以战胜利益。