

# 面向车间提高精密孔轴配合率的数字化方法

欧阳玲湘, 宾鸿赞

(华中理工大学机械科学与工程学院, 湖北武汉 430074)

**摘要:**传统的“极值控制法”在孔轴配合件加工中存在不足,对一样本实测分析发现,尺寸在非正态分布时有可能导致符合配合精度的可配合率降低。提出“概率分析”配以“公差中心控制图”的方法,对尺寸进行统计分析,绘制分布曲线,指导后续加工;现场工序质量控制采用公差中心控制点图,使尺寸尽可能绕公差中心波动,可较好地解决问题;同时编制面向现场的应用软件,实时指导现场加工过程。

**关键词:**孔轴配合率;概率分析;公差中心控制图

中图分类号:TH166 文献标识码:A

## 1 问题的提出

目前在工厂实际中,对孔轴配合精度的控制一般仍是采用传统的配合公差标注方法,即以最大实体尺寸加上偏差分别对孔轴进行控制。这种标注可以满足一般的配合精度要求,但对配合精度要求很高的场合,在实际生产中会存在一些问题。以间隙孔轴配合为例,存在以下关系:

$$T_c = T_k + T_z \quad (1)$$

式中:  $T_c$  为配合间隙的公差;

$T_k$  为孔的公差;

$T_z$  为轴的公差。

上式的实际意义就是配合间隙的精度总会劣于孔轴本身的几何尺寸精度。这是这种配合精度控制方法在理论上存在的不足;在实际生产中情形更加严重,由于受“怕报废”的心理影响,工人在加工孔、轴时总会往最大实体尺寸方向靠。

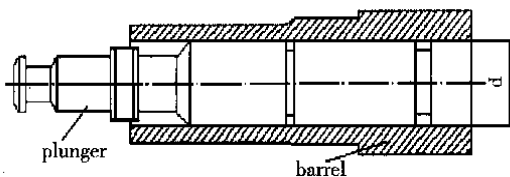


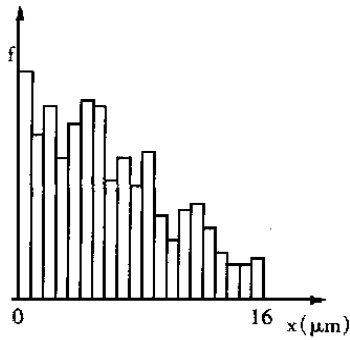
Fig. 1 Schematic of the part

从南岳油泵油嘴公司偶件车间采集一批次500件精密柱塞偶件(柱塞与柱塞套),如图1,柱

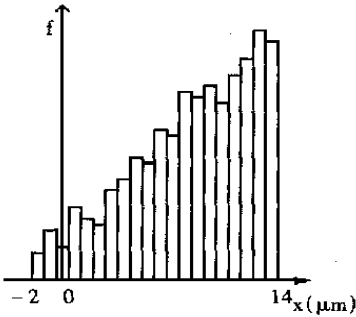
塞套孔径为  $\varnothing 10_{-0.016}^{0.014}$  mm, 柱塞直径为  $\varnothing 10_{-0.002}^{0.014}$  mm, 采用分组配加工工艺,要求配合间隙为 0.002mm。柱塞套精珩后对孔径进行直方图分析,如表1及图2(a)示,可发现孔径尺寸严重偏向下偏差;同样对配加工前的柱塞进行分析,直径偏大,见图2(b)。

Table 1 Hole diameter frequency distribution

Group number	Group range ( $\mu\text{m}$ )	Frequency
01	0.0 ~ 0.8	39
02	0.8 ~ 1.6	28
03	1.6 ~ 2.4	33
04	2.4 ~ 3.2	24
05	3.2 ~ 4.0	30
06	4.0 ~ 4.8	34
07	4.8 ~ 5.6	33
08	5.6 ~ 6.4	20
09	6.4 ~ 7.2	24
10	7.2 ~ 8.0	19
11	8.0 ~ 8.8	25
12	8.8 ~ 9.6	14
13	9.6 ~ 10.4	10
14	10.4 ~ 11.2	15
16	12.0 ~ 12.8	12
17	12.8 ~ 13.6	8
18	13.6 ~ 14.4	6
19	14.4 ~ 15.2	6
20	15.2 ~ 16.0	7



(a) histogram of hole diameter



(b) histogram of shaft diameter

Fig. 2 Histogram of the hole and shaft

图 2 中横坐标  $x$  为尺寸值, 纵坐标  $f$  为频数。

## 2 分 析

在实际生产中, 为达到较高的配合精度而又不增加零件加工难度, 一般采用‘分组配合’工艺。现在以概率理论进行分析, 在上节问题存在的情况下, 即使采用分组配合工艺, 也不会达到令人满意的配合率。

仍以上述精密偶件为例。取每组尺寸的中间值作为变量(单位  $\mu\text{m}$ ), 频数作为其函数值, 如数据表 2 所示:

Table 2 Data of the hole and shaft diameter

Data of hole diameter:			
$x$	$f(x)$	$x$	$f(x)$
0.4	39	1.2	28
2.0	33	2.8	24
3.6	30	4.4	34
5.2	33	6.0	20
6.8	24	7.6	19
8.4	25	9.2	14
10.0	10	10.8	15
11.6	16	12.4	12
13.2	8	14.0	6
14.8	6	15.6	7

Data of shaft diameter:

$x$	$f(x)$	$x$	$f(x)$
-1.6	5	-0.8	9
0.0	6	0.8	13
1.6	11	2.4	10
3.2	16	4.0	18
4.8	22	5.6	21
6.4	27	7.2	26
8.0	34	8.8	33
9.6	35	10.4	32
1.2	37	12.0	40
12.8	45	13.6	43

分别对孔、轴进行数据最小二乘拟合。由于描点曲线近似于指数函数, 故取指数函数作为基函数, 得到:

孔径分布曲线函数(图 3(a)):

$$f(x) = 32.1343e^{-0.0073x^2} \quad (2)$$

轴径分布曲线函数(图 3(b)):

$$f(x) = 11.9329e^{0.0092x^2} \quad (3)$$

图 3(a)、(b)中,  $h$  为组距, 每组内可配合的零件数由尺寸处于该组内数量较少的零件数而定, 即图中每组内的阴影部分, 阴影部分的面积之和即为总的可配合的零件对数目。由于分布曲线较复杂, 可用数值积分求得孔轴曲线阴影部分的面积( $A_k$  为孔曲线阴影面积,  $A_z$  为轴曲线阴影面积):

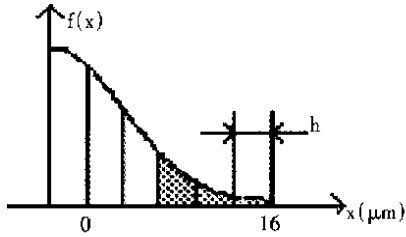
$$A_k = 93.5022 \quad (4)$$

$$A_z = 104.515 \quad (5)$$

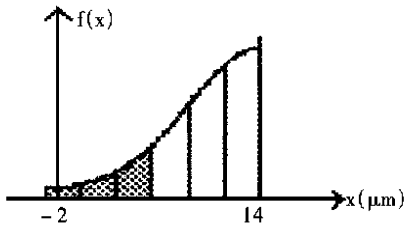
将阴影部分面积之和除以总零件对数, 即可得出配合率  $P_p$  值。在该例中配合率  $P_p = 62.75\%$ 。

以上的配合率计算分析方法具有普遍性, 可用于现场工艺人员对产品质量进行分析。从以上的结果可以看出, 当分布曲线成偏态分布时, 尽管孔轴各自的合格率都很高, 但配合率却很低。若加工的孔、轴尺寸围绕公差中心呈理想正态分布, 配合率将会大为提高。

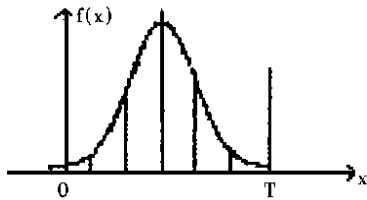
假设一配合件孔径尺寸为  $D^T$ , 轴径尺寸为  $d^{T-c}$  ( $D$ 、 $d$  分别为孔、轴直径,  $c$  为配合间隙,  $T$  为公差值, 孔的上偏差也为  $T$ ); 其分布曲线是以公差中心为均值的正态分布曲线(如图 3(c)、(d)所示):



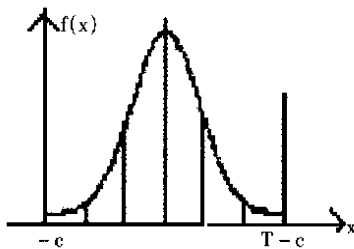
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 3 Fit-rate comparison between the Gaussian-distribution and non-Gaussian-distribution

同以上方法一样,配合率可由正态分布密度函数积分得到。在工序能力足够的情况下,可取能力指数  $C_p = 1.33$ 。利用式(6)求得标准偏差  $\sigma$  值后,查表得到配合率为  $P_z = 99.98\%$ 。

$$\sigma = T / 6C_p \quad (6)$$

将偏态下的配合率  $P_p$  与正态下的配合率  $P_z$  比较可以看出,加工孔轴时仅按极限尺寸限制法进行质量控制,即使加工出的孔轴完全符合公差要求,

若其分布曲线严重偏态,那么得到符合配合精度要求的可配合概率远小于正态分布下的符合要求的配合概率。设计者在确定公差时考虑的显然是尺寸为正态分布,现场检验人员也会严格按标注的公差要求进行检测,加工人员也会认为他所加工的产品合格,但按如此加工及质量控制,将会导致孔轴配合率大为降低。

### 3 解决策略

解决的方法有多种,在现场工艺中一般采取:

①降低孔轴尺寸公差,从而提高配合精度,此法增加了加工难度;②采用配加工工艺。该方法适于精度要求非常高的场合,对加工过程及机床的精度要求都非常高,如图1所示的车用油泵精密偶件的加工就采用配加工工艺。

以上两种方法对设备的要求均很高。在配合件加工中,以概率理论对尺寸进行分析,同时辅之以尺寸中心控制图进行现场工序质量控制,无论对一般精度的配合件还是高精度配合件,均有良好的效果。

概率分析法主要是对从现场采集的零件尺寸数据进行统计分析,绘制分布曲线等,其目的在于考察零件尺寸分布中心是否与公差中心吻合或接近,根据分布曲线形状,辨别加工系统的各类误差,尤其是操作人员心理因素导致的误差,并指导后续加工,使零件尺寸的分布尽量不包含系统误差和主观的人为误差。概率分析法的控制过程见图4。

概率分析仅能进行事后分析,或对后续加工进行指导。在现场加工中,可结合概率分析的结果,再在工艺文件上采取一定的措施进行工序质量控制,来保证零件加工尺寸不过分偏移。首先是在工序图上改变零件的尺寸标注方法。以柱塞套孔径为例,设计尺寸是基孔制标注法  $\varnothing 10^{0.016}$ 。一般而言,在加工中,操作人员首先注重的是零件的基本尺寸,这种标注基本尺寸是  $\varnothing 10$ ,等于尺寸下偏差,操作人员害怕报废心理的客观存在,致使加工尺寸分布偏向下偏差。如果将尺寸标注改为  $\varnothing 10.008 \pm 0.008$ ,操作人员将会把加工尺寸尽量往  $10.008$  靠近,可望使加工尺寸靠近公差中心分布。同样,轴径尺寸标注改成  $\varnothing 0.006 \pm 0.008$ 。

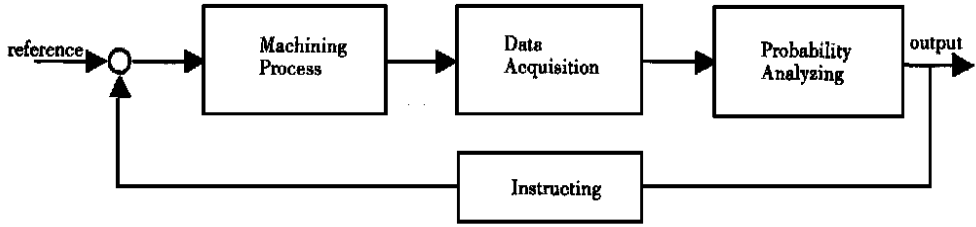


Fig. 4 Diagram of the probability analyzing method

其次是使用带  $\mu \pm 3\sigma$  警戒线的公差中心控制图进行现场工序质量控制(图 5):

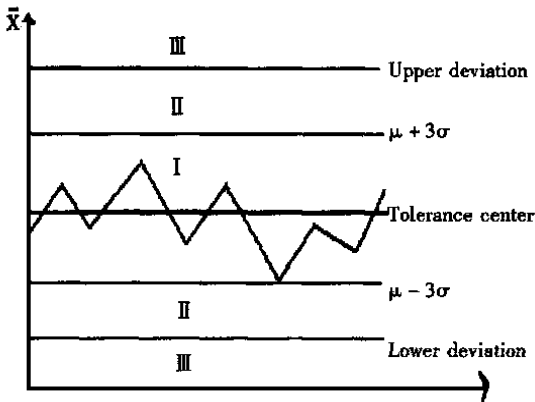


Fig. 5 Point-to-point graphs of tolerance center control method

为使加工达到最佳效果,中心线应取公差中心值;当样本均值与公差中心吻合时,可按式(6)确定标准偏差 $\sigma$ 值。已知 $\mu, \sigma$ 值,可绘制 $\bar{x}$ 控制图,警戒线即为 $\mu \pm 3\sigma$ ,另两条为零件公差极限。控制图形成 I、II、III 三个区域,定期抽取样本检测其平均值,落在 I 区为受控;II 区需对机床调整;III 区报废或返工。

### 4 实 用

概率方法对加工误差进行分析已有理论研究成果。但在实际生产中,从设计人员的公差确定,工艺人员的工艺标注到操作人员现场控制,仍是以极限尺寸来控制质量,概率分析并未很好地用于实践。原因主要是从数据采集、数据分析、分布曲线的绘制、控制图的绘制等所需的日常计算及图表工作量庞大。尤其在关键工序较多的工厂和车间,得出的分析数据往往滞后,不能很好地指导生产。运用计算机可很好地解决上述问题。用 Visual C++ 编制一面向车间现场的应用软件,主

要实现以下功能:按车间工序及被控尺寸建立文件;直方图绘制及分析;尺寸分布曲线绘制及分析;工序能力评定;各种控制图的绘制;对话框参数输入;图表打印等(图 6);



Fig. 6 Workshop oriented process quality analysis interface

软件具有开放式接口,可根据需要进行功能扩展。借助该软件对现场加工过程进行的数字化辅助质量控制流程图如下:

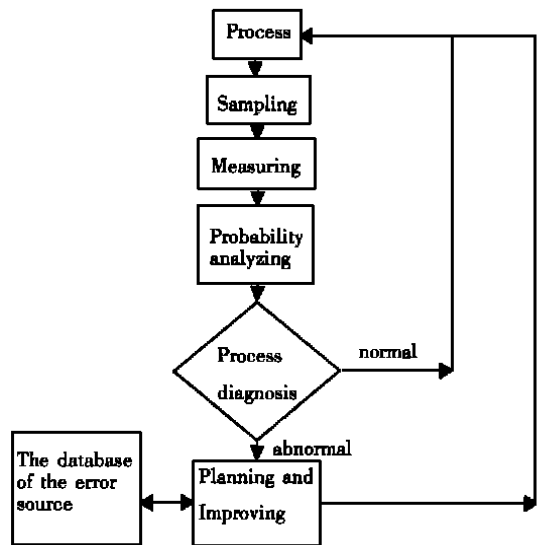


Fig. 7 Flow chart of the workshop oriented computer-aided quality control

## 5 结 论

如上所述,传统的极值法并不能很完善地控制孔轴配合精度,在严重偏态的情况下,配合率下降达百分之几十,导致产品返工或报废,增加制造成本。引进概率理论对加工尺寸进行分析,合理改变尺寸标注,同时辅之以公差中心控制图对现场

加工过程进行控制,使实际尺寸中心尽可能吻合于公差带中心,可有效提高孔轴配合率;但由于图表绘制及计算的复杂性,该法并未在工厂广泛使用,故设计一应用程序辅助工作,可取得较好效果。对于各类精度要求的配合件加工,上述方法均有帮助;尤其对于使用分组工艺的配合件,该法可大大提高一次性配合率,降低返工或报废损失。

### 参考文献:

- [1] Spotts M F 著.实用公差指南[M].杨青,等,译.北京:中国计量出版社,1991.
- [2] 宾鸿赞,曾庆福.机械制造工艺学[M].北京:机械工业出版社,1988.
- [3] 王世芳.工序控制理论[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.
- [4] Gregory Kate.Special Edition Using Visual C++ 5[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [5] 石照耀,谢华锐,费业泰.累计法的基本原理及其在测量数据处理中的应用[J].光学精密工程.2000,8(1):87-90.
- [6] 华中工学院标准化与计量测试教研室编.互换性与技术测量[M].武汉:华中工学院出版社,1982.

## Workshop oriented numerical method for improving the fit rate of accurate mating parts

OUYANG Ling-xiang, BIN Hong-zan

(School of Mechanical Science and Engineering,  
Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** There are some problems in using traditional 'size-limits control method' to control the quality of the mating-parts, the analysis of a sample shows that this traditional method may cause a decreasing of the fit-rate when the size distribution of the mating-parts is non-Gaussian distribution. A method combining 'probability analyzing' and 'point-to-point graphs of tolerance center' is proposed to solve the existing problems in this paper, which makes statistical analysis for the size of the mating parts, draws distribution curve to instruct the subsequent production and uses 'point-to-point graphs of tolerance center' to control process quality. And also a workshop-oriented application program is obtained to assist the process of quality control in site.

**Key words:** fit-rate of mating-parts; probability analyzing; point-to-point graphs of tolerance center control

作者简介: 欧阳玲湘(1971-),男,湖南省衡南县人,工程师。1992年毕业于衡阳工学院机械系。1992—1998年在衡阳南岳油泵油嘴公司工作。现于华中理工大学机械学院攻读硕士学位,从事机械制造工艺及设备方面的研究。