

文章编号: 1000-5013(2008)02-0167-05

# 采用组成法解析键槽尺寸位置定位误差

顾立志, 林 碧, 郑清娟

( 华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021 )

摘要: 从工序定位误差的严格定义和概念出发, 在分析定位误差组成要素的基础上, 比较用心轴定位、V 形块定位和两垂直平面定位方案的优劣. 基于定位误差的概念, 分析定位误差的组成, 进而运用定位误差的组成原理——定位误差组合法, 计算并确定键槽的尺寸和对称度定位误差的大小. 阐明定位误差组合法应用的步骤、特点, 并给出分析及确定实例, 达到优化定位方案的目的.

关键词: 键槽; 心轴; V 形块; 定位误差; 定位误差组合法

中图分类号: TG 83

文献标识码: A

采用调整法加工工件时, 由于定位不准确而造成某一工序在工序尺寸或位置要求方面的加工误差——即所谓定位误差<sup>[1-3]</sup>. 在机械制造中, 特别在夹具制造过程中, 设计过程和制造过程均需考虑设计基准、加工方法、工艺基准等, 进行相关尺寸链计算、工件的定位, 以及工序定位误差分析<sup>[4-5]</sup>. 工件在工序中的定位方案及定位误差的确定, 直接影响机械零件的加工质量、生产率和技术经济性. 定位误差分析与确定, 是机械加工工艺规程设计不可或缺的重要内容.

## 1 组合法基本原理

键槽作为光滑圆柱体连接的传递扭矩和运动的重要形式, 其加工的定位误差具有典型性. 它包涵尺寸和位置 2 个方面, 如图 1 所示. 键槽尺寸的定位误差, 指的是键槽深度方向上尺寸定位误差, 它有 3 种标注形式, 即  $H_1$ ,  $H_2$  和  $H_3$ , 会有不同的定位误差值<sup>[6]</sup>. 键槽位置的定位误差, 指的是键槽相对于自己所在圆柱面中心线(面)的对称度<sup>[7-8]</sup>. 按照定位误差的概念, 所采用的定位方案不同, 同一方案中相关元件及相关表面的制造精度不同, 定位误差都会有所不同.

工序的定位误差是由以下两大类组成的. (1) 当采用夹具加工工件时, 由于工件定位基准面和定位元件的工作表面均有制造误差, 使定位基准位置变化, 即定位基准的最大变动量. 由此引起的误差称基准位置误差, 记为  $\Delta j_w$  (定位基准位置误差). (2) 当工序的加工基准与上述定位基准不重合时, 因工件上用以确定加工后表面尺寸、形状和位置的点、线或面的误差所导致的定位误差, 称为定位基准不重合误差, 记为  $\Delta j_b$  (定位基准不重合误差). 由于  $\Delta j_w$  和  $\Delta j_b$  是相互独立的, 对某确定的定位方案, 其定位误差是两者的代数和. 即  $\Delta d_w = \Delta j_w \pm \Delta j_b$ . “定位基准变动虚拟归零”方法, 就是先划出两个极限状态下定位基准变动的位置和方向, 然后假设定位基准变动为零, 进而判断工序基准变动相对定位基准变动的方向. 定位误差表达式中, “+”表示  $\Delta j_w$  和  $\Delta j_b$  两者的变动方向一致, 均使该道工序的加工误差因定位原因而加大; “-”表示  $\Delta j_w$  和  $\Delta j_b$  两者的变动方向相反, 即有补偿作用, 使该道工序的加工误差因定位

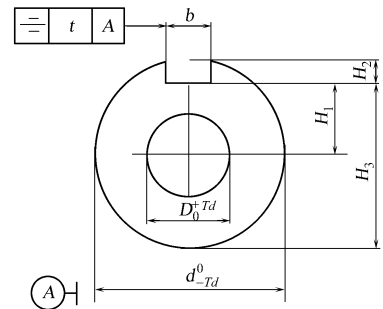


图 1 键槽深度及对称度

Fig. 1 The depth of keyseat  
and symmetrit alness

收稿日期: 2007-08-29

作者简介: 顾立志(1959-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事金属切削与先进制造技术、数字化设计制造技术的研究.

E-mail: gulizhi168@ hot mail. com.

基金项目: 国务院侨办科研基金资助项目(06QZR06)

原因而有所减小. 考虑工序尺寸  $H$ , 图 2 中, 1 和 2 为两个极限状态, 分别取心轴直径最小、孔径最大、工件外径最小、工件以孔的下母线定位, 以及取心轴直径最小、孔径最大、工件外径最大、工件以孔的上母线定位. 定位基准  $O$  由  $O_1$  变动至  $O_2$ , 方向向下; 而假设定位基准变动为  $O$  后, 工序基准  $A$  由对应上述两个极限状态的工件先为最小外径, 后为最大外径. 从  $A_1$  变动至  $A_2$ , 方向向下, 与定位基准变动方向一致. 因此, 在这种情况下, 定位误差表达式取“+”号.

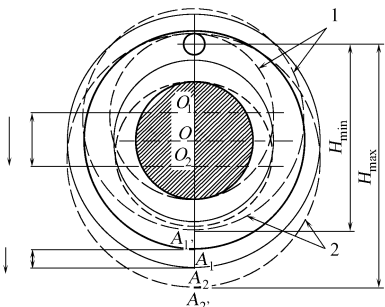


图 2 定位误差变动方向判别  
Fig. 2 Undulation direction of locating error

2 定位方案中的键槽定位误差

2.1 心轴定位

(1) 刚性心轴过盈配合. 工序的定位基准是心轴中心线  $O$ , 工件依靠自身内孔与心轴通过过盈配合定位, 心轴外圆柱面与工件孔之间无隙. 因此, 心轴中心线与工件孔中心线完全重合( $\Delta j_w(H_3) = 0$ ), 如图 3(a) 所示.

但是, 如果工件的内孔与外圆之间存在位置误差——同轴度  $e$ , 则会影响到工件外圆中心线的位置, 即工件定位基准面——内孔中心线与工件外圆中心线在任意径向方向上变动  $e$ . 在本道工序尺寸方向上  $O$  点变动从  $O_1$  至  $O_2$ , 可能最大变动范围为  $2e$ , 如图 3(b) 所示. 此时,  $\Delta j_w(H_3) = 2e$ . 本道工序的加工基准是工件外圆的下母线  $A$ , 与定位基准——心轴中心相分离, 存在着基准不重合误差,  $\Delta j_b(H) = A_1A_2 = Td/2$ . 考虑到可能的一个极端情况是, 当同轴度误差处于理想位置上方时, 工件外径为最小, 如

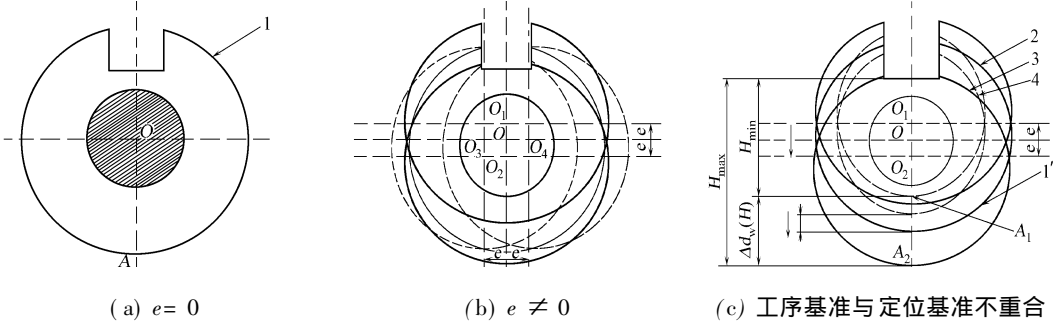


图 3 同轴度对定位误差的影响

Fig. 3 The influence of coaxiality on locating error

图 3(c) 中虚圆, 工序基准的位置  $A_1$ . 另一个极端情况是, 当同轴度误差处于理想位置下方时, 工件外径为最大, 如图 3(c) 中实圆, 工序基准的位置  $A_2$ . 运用“定位基准变动虚拟归零”方法, 可知在定位基准由  $O_1$  向下变动至  $O_2$  时, 工件外径由最小变至最大, 如图 3(c) 中 4 和 1'. 两者的变动方向均向下(亦可将两个极端情况反过来, 此时两者的变动方向均向上——结果相同), 故定位误差表达式取“+”号, 有

$$\Delta d_w(H) = \Delta j_w(H) + \Delta j_b(H) = 2e + Td/2.$$

此时的对称度定位误差为工序基准和定位基准均为过  $O$  点的垂直面, 基准不重合误差为零. 定位基准的位置误差为水平方向上偏离理想垂直面的两个同轴度误差, 即从  $O$  向左偏移至  $O_3$ , 和向右偏移至  $O_4$ , 如图 3(b) 所示. 即  $\Delta d_w(\overline{\quad}) = \Delta j_w(\overline{\quad}) = 2e$

(2) 心轴定位间隙配合. 工序的定位基准与工序的加工基准完全同刚性心轴过盈配合的情况, 但相关因素增多, 定位误差数值发生相应变化. 即定位基准的位置误差  $\Delta j_w(H) = Td_1 + Td + 2e + d_{min}$ , 其中,  $d_{min}$  为工件定位孔与定位心轴之间的最小间隙; 而定位基准不重合误差  $\Delta j_b(H) = Td/2$ . 同样的, 上述两种误差的变动方向一致, 则心轴定位间隙配合情况下的定位误差为

$$\Delta d_w(H) = \Delta j_w(H) + \Delta j_b(H) = (Td_1 + Td + 2e + d_{min}) + Td/2.$$

需要指出的是, 如果心轴水平放置, 工件在自重的作用下只有可能在一个方向, 即向下的方向与工件接触. 换句话说, 工件只以内孔上母线定位, 此时的定位误差为

$$\Delta d_w(H) = \Delta j_w(H) + \Delta j_b(H) = 1/2(Td_1 + Td + 2e + d_{min}) + Td/2.$$

(3) 对称度定位误差. 用心轴定位与工件间隙配合时工序的定位基准, 是过心轴中心的假想垂直平

面, 而工序的加工基准也是该假想垂直平面, 工序基准与定位基准重合. 即  $\Delta j_b(b) = \Delta j_b(\overline{\quad}) = 0$ . 定位基准在尺寸  $b$  方向上可能最大变动量即对称度定位误差, 在数值上就等于心轴定位时工件定位孔中心任意径向方向上的最大变动量, 如图 4(b) 所示. 它等于假想两平面  $PP'$  之间的距离, 即

$$\Delta d_w(b) = \Delta j_w(\overline{\quad}) \pm \Delta j_b(\overline{\quad}) = \Delta j_w(\overline{\quad}) = Td_1 + Td + 2e + d_{\min}.$$

2.2 V 形块定位

(1) 尺寸定位误差. 用 V 型块定位加工键槽的情景, 如图 5 所示. 对于以下母线为工序基准时的情

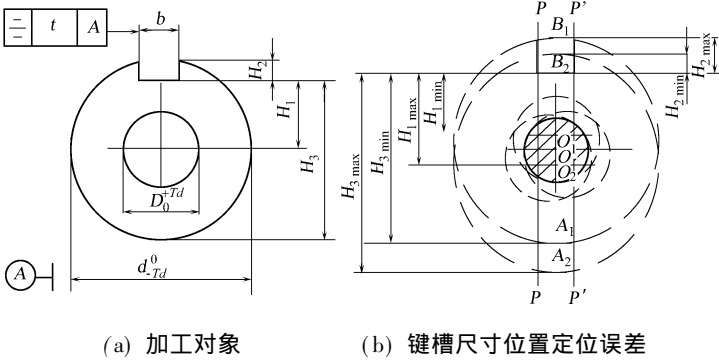


图 4 用心轴定位加工键槽

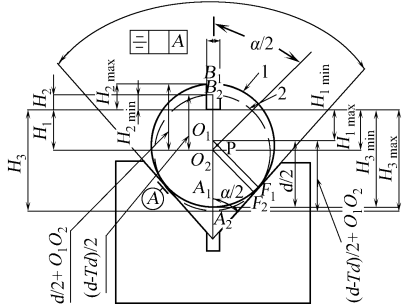


图 5 V 形块定位加工键槽

景( $H_3$ ), 当定位基准由  $O_1$  变动到  $O_2$  时, 工序基准由  $A_1$  变动到  $A_2$ . 此时, 定位基准的位置误差  $\Delta j_w = Td/[2\sin(\alpha/2)]$ . 因为工序基准为  $A$ , 而定位基准为  $O$ , 工序基准和定位基准不重合, 存在基准不重合误差. 假设  $O_1, O_2$  位置重合, 这意味着基准位置误差为零,  $A_1$  相对于  $O$  为工件的最小半径,  $A_2$  相对于  $O$  为工件的最大半径. 所以, 这时工序尺寸偏差为  $\Delta j_b = Td/2$ . 由于这个偏差完全由工序基准所致, 与基准位置无关, 故为基准不重合误差. 运用“定位基准变动虚拟归零”方法判断两者变动的相对方向, 如图 6 所示. 比较图 6(a), (b), 鉴于定位基准位置的变动由上至下, 而工序基准由下至上从  $A_1$  变动到  $A_2$ , 两者变动方向相反, 使得总体工序尺寸偏差减小, 起到“补偿”作用. 即此时的定位误差为

$$\Delta d_w(H_3) = \Delta j_w(H_3) - \Delta j_b(H_3) = Td/[2\sin(\alpha/2)] - Td/2 = Td/2[1/\sin(\alpha/2) - 1].$$

对于以上母线为工序基准的情景, 即工序尺寸  $H_2$ , 其工序定位基准的位置误差  $\Delta j_w = Td/[2\sin(\alpha/2)]$ .

定位基准离开理想位置, 由  $O_1$  向下变动到  $O_2$ . 工序基准为工件外圆上母线  $B$ , 与定位基准不重合, 由  $B_1$  变动至  $B_2$ . 此时, 由基准不重合造成的工序尺寸加工误差仍为  $\Delta j_b = Td/2$ . 再运用“定位基准变动虚拟归零”方法, 比较图 6(a) 和 (c), 判断工序基准和定位基准两者变动的相对方向. 定位基准变动向下, 工序基准亦偏离其理想位置由上至下变动, 即由  $B_1$  至  $B_2$ , 进一步加大了工序尺寸偏差. 因此, 有键槽深度  $H_2$  的定位误差为

$$\Delta d_w(H_2) = \Delta j_w(H_2) + \Delta j_b(H_2) = Td/[2\sin(\alpha/2)] + Td/2.$$

对于标注为  $H_1$  的工序尺寸, 因工序基准与定位基准重合, 都是外圆柱面回转中心  $O$ , 基准不重合误差为零. 定位基准的位置误差即是该工序尺寸的定位误差, 其值为

$$\Delta d_w(H_1) = \Delta j_w(H_1) + \Delta j_b(H_1) = \Delta j_w(H_1) = Td/[2\sin(\alpha/2)].$$

(2) 对称度定位误差. 在用 V 形块定位时, 键槽的位置——对称度是相对所在圆柱面轴心线的. 以过轴心(端面上的圆心)的径向假象平面为工序基准的, 则不论工件外圆柱面如何变动, 该径向假象平面始终不变, 即  $\Delta j_b(\overline{\quad}) = 0$ . 该工序的定位基准同样是平分 V 形块  $\alpha$  角的假想平面, 不论工件外圆柱面两条母线与 V 型块两工作面接触的位置如何变动, 这个假想平面的位置始终不变. 即  $\Delta j_w(\overline{\quad}) = 0$ . 因

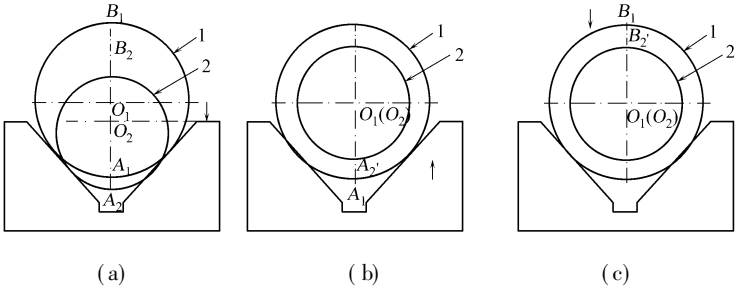


图 6 位置误差与工序基准不重合误差的变化

Fig. 6 Changes of the position error and non overlap error of the process datum and locating datum

此,  $\Delta d_w(\rightarrow) = \Delta j_w(\rightarrow) \pm \Delta j_b(\rightarrow) = 0$ . 这就是 V 形块的自动对中性, 它适于用 V 形块定位时键槽尺寸各种标注的情形.

2.3 两垂直平面定位

(1) 键槽深度定位误差. 该工件的内孔与外圆的同轴度为  $e$ , 外圆尺寸  $d_{Td}^0$ , 此时, 键槽宽度  $b$ . 本道工序定位基准为与水平定位平面相切的外圆下母线  $B$ , 如图 7(a) 所示, 加工基准亦为工件外圆下母线  $B$ . 所以, 定位基准与工序加工基准重合. 即  $\Delta j_b(H) = 0$ . 键槽深度定位基准位置, 即工件下母线的位置不论工件外圆的公差是多少, 在工序尺寸方向上始终保持不变. 因此, 该工序定位基准的位置误差为零, 即  $\Delta j_w(H) = 0$ . 则  $\Delta d_w(H) = \Delta j_w(H) \pm \Delta j_b(H) = 0$ . 需要特别注意, 工件的内孔与外圆的同轴度  $e$  在本定位方案工序尺寸方向上是非相关因素, 故在此不起作用.

考察工序尺寸  $H_2$ , 其定位基准仍为工件外圆下母线, 位置误差为零; 而工序基准为工件外圆上母线  $C$ , 与定位基准分离, 故存在基准不重合误差. 如图 7(a) 所示, 基准不重合误差等于工件外圆公差, 有

$$\Delta d_w(H_2) = \Delta j_w(H_2) \pm \Delta j_b(H_2) = \Delta j_b(H_2) = Td.$$

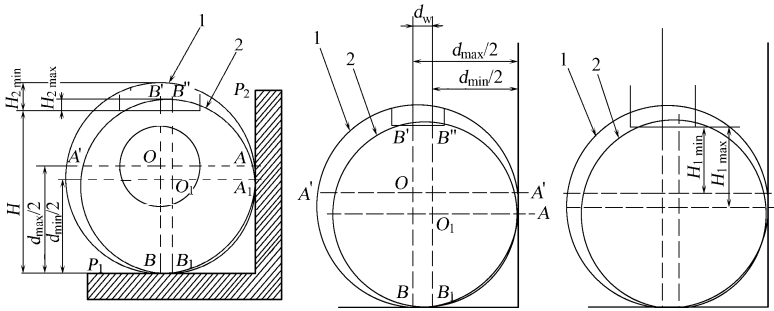
$H_1$  的工序定位基准不变, 但工序加工基准为外圆柱回转中心  $O$ , 存在基准不重合误差. 如图 6(c) 所示, 基准不重合误差就等于工件外圆公差的一半, 即

$$\Delta d_w(H_1) = \Delta j_w(H_1) \pm \Delta j_b(H_1) = \Delta j_b(H_1) = Td/2.$$

它也与工件内孔与外圆的同轴度  $e$  无关.

(2) 键槽位置定位误差. 键槽宽度  $b$  的位置定位基准, 是与垂直定位平面相切的外圆侧母线  $A$ . 此

时, 不论工件外圆的公差是多少, 工件侧母线的位置在工序尺寸方向上保持不变. 即  $\Delta j_w(b) = 0$ . 本道工序加工的工序基准为过外圆回转中心的假想垂直面  $B'B$ , 与定位基准  $A$  不重合. 当工件定位面外圆柱面由最大直径的状态 1 变为最小直径的状态 2 时, 工序加工基准面则变动到  $B''B_1$ , 中心也由  $O$  变动到  $O_1$ , 如图 7(b) 所示. 此时, 工序加工基准面的位置最大变动量为基准不重合误差,



(a) 外圆柱下母线为工序基准 (b) 对称度误差 (c) 外圆柱轴线为工序基准  
图 7 用两相互垂直的平面定位加工键槽

Fig. 7 Machining keyseat by location with two planes perpendicular to each other

$\Delta j_b(\rightarrow) = \Delta j_b(\rightarrow) = Td/2$ . 与键槽深度尺寸类似, 工件内孔与外圆的同轴度  $e$  在方案中工序尺寸  $b$  方向上是非相关因素, 在此不起作用. 键槽位置误差即键槽对称度误差:  $\Delta d_w(\rightarrow) = \Delta j_w(\rightarrow) \pm \Delta j_b(\rightarrow) = Td/2$ . 它适合于用两垂直平面定位的各种键槽宽度尺寸标注的对称度定位误差.

3 实例分析

下面给出键槽定位误差的分析计算实例, 并比较 3 种定位方案的优劣. 在套筒零件上铣键槽, 套筒内孔  $\varnothing 32_{-0.03}^{+0.03}$ , 外圆  $\varnothing 60_{-0.1}^{+0}$ , 内孔与外圆的同轴度  $e \leq 0.02$ . 要求保证尺寸  $50_{-0.14}^{+0}$  mm 及对称度 0.03. 现分别用心轴  $\varnothing 32_{-0.03}^{+0.01}$ ,  $\alpha = 90^\circ$  的 V 形块和两相互垂直的平面定位, 如图 4, 5, 6 所示.

解 (1) 心轴定位.

$$\Delta d_w(H) = \Delta j_w(H) + \Delta j_b(H) = 1/2(Td_1 + Td + 2e + d_{\min}) + Td/2 = 0.1,$$

$$\Delta d_w(\rightarrow) = \Delta j_w(b) \pm \Delta j_b(b) = \Delta j_w(b) = Td_1 + Td + 2e + d_{\min} = 0.1.$$

(2) V 形块定位.

$$\Delta d_w(H) = \Delta j_w(H) - \Delta j_b(H) = 0.1/2(1/0.707 - 1) = 0.0207,$$

$$\Delta d_w(\rightarrow) = 0.$$

(3) 两相互垂直的平面定位.

$$\Delta d_w(H) = 0, \quad \Delta d_w(b) = \Delta j_b(b) = Td/2 = 0.05.$$

现取定位误差不大于工件尺寸位置公差 的 1/3, 则有(1) 心轴定位的键槽尺寸为 0.3(> 0.14), 键槽对称度为 0.3(> 0.03); (2) V 型块定位的键槽尺寸为 0.062 1(< 0.14), 键槽对称度为 0(< 0.03); (3) 两相互垂直的平面定位的键槽尺寸为 0(< 0.14), 键槽对称度为 0.15(> 0.03).

综上所述, 采用心轴定位方案, 键槽尺寸和键槽对称度得不到保证; 而运用两相互垂直的平面定位方案, 键槽尺寸可以得到很好保证, 但键槽对称度很可能超差. 只有采用 90°的 V 形块定位方案, 才能保证键槽尺寸和键槽对称度均合格.

## 4 结束语

定位误差组合法是基于定位误差的概念和加工的定位基准与工序基准的相互关系, 利用尺寸位置的相关性, 将一组相对复杂的几何关系运算转化为两组相对简单的几何关系运算. 应用定位误差组合法应遵循如下 5 个步骤. (1) 仔细分析工件的结构特点, 确保工序尺寸(位置) 初拟可能的定位方案. (2) 分清工序的定位基准和工序的加工基准, 确认相关尺寸. (3) 分析两个极限情况下, 定位基准相对于理想位置的最大变动范围和工序加工基准的最大变动范围. (4) 采用“定位基准变动虚拟归零”方法, 判断工序加工基准变动相对定位基准变动的方向. 然后, 计算整体定位误差. (5) 根据情况取定位误差不大于保证工序尺寸(位置) 公差 的 1/3~ 1/5 作为判据, 检验定位方案的合理性. 该方法概念清晰、易于理解、操作简便、实用性强, 是分析和确定定位误差的有力工具和有效方法.

### 参考文献:

[ 1 ] 宾鸿赞, 曾庆福. 机械制造工艺学[ M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.  
[ 2 ] 龚定安, 蔡建国. 机床夹具设计原理[ M]. 太原: 山西科学艺术出版社, 1984.  
[ 3 ] 王启平. 机械制造工艺学[ M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2002.  
[ 4 ] 曹国荣. 机械制造工艺学[ M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1999.  
[ 5 ] 王宪逵. 机械制造工艺学[ M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.  
[ 6 ] 郑修本, 冯冠大. 机械制造工艺学[ M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.  
[ 7 ] 吴天林, 段正澄. 机械加工系统自动化[ M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.  
[ 8 ] 王光斗, 王春福. 机床夹具设计手册[ M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.

## Analysis of the Locating Errors for the Keyseat Dimension and Position by the Constituent Approach

GU Li-zhi, LIN Bi, ZHENG Qing-juan

( College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

**Abstract:** The analysis and determination of locating errors are an indispensable and important task in the design of process planning for mechanical components. Determination of the locating errors has direct influence on the quality, manufactureability, and cost, of the component. Keyseat, with its typical surfaces and shapes, gains its representativeness in the locating error calculations. From the strict definition and concept of locating error, and based on the andysis of the elements of the locating error, the constituent approach toward determination of locating errors is thoroughly studied and the concrete locating errors are computed in the cases of mandrel location, V-block location, and two mutually upright flat location for both the keyseat dimension and its symmetry. Examples are also given for using this approach. Comparison is made among the three locations, and techniques symmetry steps, features, and considerations are finally given in its application.

**Keywords:** keyseat; mandrel; V-block; locating error; constituent approach toward determination of locating error

( 责任编辑: 黄仲一 英文审校: 郑亚青)