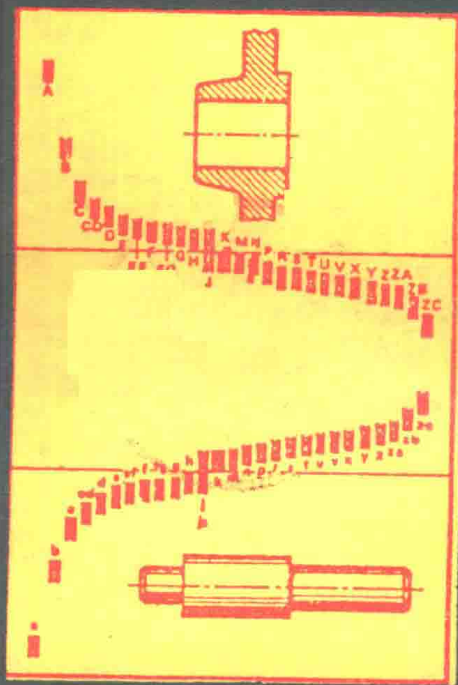


互换性标准应用手册



本手册中引用的标准、规范仅作“参考资料”使用，如需采用，必须以现行有效版本的标准、规范为准。

院总工程师办公室 1997.10

机械工业基础标准情报网

机 械 工 业 互 换 性 基 础 标 准 应 用 手 册

机械工业基础标准情报网

1989年9月

前 言

公差与配合、形状和位置公差、表面粗糙度、螺纹、键和花键、机械制图等国家标准是重要的互换性基础标准，它们广泛应用于机械制造的设计、工艺、计量、检验等各个部门。

遵循积极采用国际标准和国外先进标准的方针，从1980年起我们陆续对有关互换性基础方面的旧国标进行修订，并补充制订了一些新的国家标准。这些标准均等效采用或参照采用了与其相关的国际标准或国外先进标准。贯彻好这批国家标准，必将提高我国机械产品的质量、主要产品的水平，及其在国际市场上的竞争能力，促进我国的对外贸易和技术交流，也必将带来显著的经济效益。

按照积极贯彻新标准，着重搞好公差与配合等六项互换性基础标准贯彻的要求，目前国内各部门、地区、工厂、设计（研究）院所和各高等院、校正在全面、深入地贯彻新国标。为使正确合理使用新国标和进一步推动六项互换性基础标准的贯彻，我们编写了本手册，内容力求简单、实用。

本手册由机械电子工业部机械标准化研究所基础标准室负责编写。第一、四章由俞汉清编写；第二章由李晓沛编写；第三章的§ 3-1至§ 3-4和§ 3-5中的1至3、4.4至4.14节由杨列群编写；第三章§ 3-5中的4.1、4.2和4.3节由宋芸编写；第五章由于源编写；第六章由詹昭平编写；第七章由强毅编写。

由于水平所限，本手册难免有错误与不足之处，热忱欢迎帮助指正。

编者

一九八九年三月

目 录

第一章 概论

- § 1-1 互换性及其在机械制造中的作用 (1)
- § 1-2 机械零件的加工误差及其分布的基本规律 (2)
- § 1-3 优先数及优先数系 (6)
- § 1-4 标准尺寸 (10)

第二章 公差与配合

- § 2-1 公差与配合术语及定义 (16)
 - 1. 有关“孔”、“轴”、“尺寸”的术语定义 (16)
 - 2. 有关“公差与偏差”的术语定义 (17)
 - 3. 有关“配合”的术语定义 (18)
- § 2-2 标准公差与配合的构成 (21)
 - 1. 标准公差系列 (21)
 - 2. 基本偏差系列 (26)
 - 3. 标准推荐的公差带与配合 (30)
- § 2-3 轴、孔极限偏差表、极限间隙和极限过盈表 (48)
 - 1. 基本尺寸至500mm极限偏差、极限间隙和极限过盈表 (48)
 - 2. 基本尺寸大于500至3 150mm极限偏差、极限间隙和极限过盈表 (48)
 - 3. 基本尺寸大于3 150至10 000mm极限偏差、极限间隙和极限过盈表 (48)
 - 4. 基本尺寸至18mm轴、孔公差带的极限偏差 (48)
 - 5. 未注公差尺寸的极限偏差 (48)
 - 6. ISO/DIS 2768—1 《未注公差尺寸的一般公差—第1部分：线性和角度尺寸的公差》 (103)
 - 7. 查表举例 (108)
- § 2-4 “公差与配合”新旧国标的过渡 (109)
 - 1. 新旧国标的过渡问题 (109)
 - 2. 新旧国标对照表 (142)
- § 2-5 公差与配合的选择和应用 (142)
 - 1. 基准制的选择 (142)
 - 2. 公差等级的选择 (143)
 - 3. 配合的选择 (146)
 - 4. 配制配合 (149)
 - 5. 间隙配合的应用 (150)

6. 过渡配合的应用	(153)
7. 过盈配合的应用	(154)
8. 温度条件	(155)
§ 2-6 过盈配合的计算和选择	(157)
1. 过盈配合的基本概念	(157)
2. 过盈配合计算和选用方面的基本术语和定义	(157)
3. 过盈配合的计算基础	(159)
4. 过盈配合的计算	(162)
5. 过盈配合的选择	(166)
6. 过盈配合的校核计算	(168)
7. 过盈联结计算和配合选择举例	(170)
8. 过盈配合的图算法	(173)
9. 实现过盈联结的一般要求	(178)
§ 2-7 间隙配合的计算和选择	(182)
1. 概述	(182)
2. 计算的基本公式	(183)
3. 间隙配合的计算和选择步骤	(189)
4. 应用举例	(191)
§ 2-8 尺寸链的计算	(192)
1. 基本概念、术语及定义	(192)
2. 尺寸链的形式	(195)
3. 尺寸链的计算参数及符号	(196)
4. 尺寸链的计算	(197)
5. 达到装配尺寸链封闭环公差要求的方法	(202)
6. 统计参数及其取值	(203)
7. 尺寸链计算举例	(207)
§ 2-9 统计尺寸公差	(213)
1. 统计尺寸公差的概念	(213)
2. 规定统计尺寸公差方案	(215)
3. 统计尺寸公差的标注	(218)
4. 统计尺寸公差的功能	(219)
5. 统计尺寸公差在孔、轴配合中的应用	(222)
§ 2-10 尺寸检验的基础	(232)
1. 有关检测的基本概念	(232)
2. 极限尺寸判断原则	(238)
§ 2-11 光滑极限量规	(241)
1. 基本概念	(241)
2. 量规的设计原则	(241)

3. 量规的公差带	(243)
4. 量规尺寸极限偏差的计算	(245)
5. 量规的型式	(247)
6. 量规的技术要求	(248)
7. 量规的使用和管理	(249)
§ 2-12 光滑工件尺寸的检验	(249)
1. 检验国标的适用范围	(250)
2. 测量温度及测力	(251)
3. 检验原则和检验方法的基础	(251)
4. 验收极限与安全裕度	(253)
5. 计量器具的选择	(255)
6. 仲裁	(259)
7. 应用标准的两个变通措施	(260)
第三章 形状和位置公差	
§ 3-1 形状和位置公差的代号及标注方法	(264)
1. 形状和位置公差标注方法的基本规则	(264)
2. 形位公差的特殊标注方法	(269)
3. 形位公差的简化标注方法	(276)
4. 形位公差标注符号的推荐比例和尺寸	(277)
5. 新、旧标准的主要差别	(277)
6. 形位公差标注中常见的问题	(280)
7. 形位公差的文字叙述方法	(285)
§ 3-2 形状和位置公差的概念	(286)
1. 基本概念	(286)
2. 各项形状和位置公差及其公差带	(288)
2.1 形状公差	(288)
2.2 定向公差	(297)
2.3 定位公差	(306)
2.4 跳动公差	(344)
3. 位置公差的基准	(348)
§ 3-3 公差原则	(350)
1. 公差原则的基本术语及其概念	(350)
2. 独立原则	(353)
2.1 线性尺寸公差	(354)
2.2 角度公差	(356)
2.3 形状和位置公差	(357)
3. 相关原则	(358)
3.1 包容原则	(358)

3.2 最大实体原则	(362)
3.2.1 单一要素的最大实体原则	(363)
3.2.2 关联要素的最大实体原则	(364)
4. 公差原则小结	(368)
5. 极限尺寸、形状公差、位置公差之间的关系	(368)
5.1 定形极限尺寸与形状公差的关系	(369)
5.2 极限尺寸与位置公差的关系	(369)
6. 公差原则的选用	(369)
6.1 独立原则的选用	(376)
6.2 相关原则的选用	(379)
7. 各种公差原则的检测	(384)
7.1 独立原则的检测	(384)
7.2 单一要素包容原则的检测	(385)
7.3 综合量规检验	(388)
7.3.1 基本概念	(388)
7.3.2 综合量规常用代号	(391)
7.3.3 综合量规的基本尺寸	(391)
7.3.4 综合量规公差	(391)
7.3.5 综合量规各工作部位的极限尺寸计算公式	(398)
7.3.6 综合量规的制造技术要求	(399)
7.3.7 综合量规计算示例	(399)
7.3.8 综合量规的结构要求	(409)
7.3.9 综合量规结构原理与计算公式示例	(412)
8. 采用包容原则后, 零件工序尺寸和夹具公差的确定	(434)
§ 3-4 形状和位置公差的未注公差	(436)
1. 各项未注公差的规定	(436)
2. 形位未注公差的应用示例	(440)
3. 图样上注出公差值的规定	(440)
§ 3-5 形状和位置误差检测	(449)
1. 形状和位置误差的概念及其评定原则	(449)
2. 基准的建立和体现	(454)
3. 检测原则	(458)
4. 各项形位误差常用检测方法 & 方案	(465)
4.1 直线度误差检测	(465)
4.1.1 常用术语	(465)
4.1.2 直线度误差的评定方法	(467)
4.1.3 直线度误差的检测方法	(473)
4.1.4 直线度误差测量的数据处理	(488)

4.1.5 测量误差分析.....	(506)
4.2 平面度误差检测.....	(513)
4.2.1 常用术语.....	(514)
4.2.2 平面度误差的评定方法.....	(514)
4.2.3 平面度误差的检测方法.....	(517)
4.2.4 平面度误差测量的数据处理.....	(529)
4.3 圆度误差测量.....	(546)
4.3.1 圆度误差的两点、三点测量法.....	(546)
4.3.2 圆度误差的四点测量法.....	(558)
4.3.3 圆度误差的半径测量法.....	(561)
4.4 圆柱度误差的检测.....	(571)
4.5 线轮廓度误差的检测.....	(573)
4.6 面轮廓度误差的检测.....	(575)
4.7 平行度误差的检测.....	(577)
4.8 垂直度误差的检测.....	(585)
4.9 倾斜度误差的检测.....	(593)
4.10 同轴度误差的检测.....	(597)
4.11 对称度误差的检测.....	(603)
4.12 位置度误差的检测.....	(607)
4.13 圆跳动的测量.....	(613)
4.14 全跳动的测量.....	(619)
第四章 表面粗糙度	
§ 4-1 表面粗糙度的形成和对表面功能的影响.....	(621)
1. 表面粗糙度的形成.....	(621)
2. 表面粗糙度对零件功能的影响.....	(622)
§ 4-2 表面粗糙度评定参数的基本概念.....	(625)
§ 4-3 表面粗糙度各参数的数值.....	(628)
§ 4-4 取样长度和评定长度的选用.....	(631)
§ 4-5 表面粗糙度参数的选用原则及举例.....	(633)
§ 4-6 普通加工方法可能达到的表面粗糙度参数 R_a 值.....	(637)
§ 4-7 加工经济成本.....	(641)
§ 4-8 表面粗糙度比较样块.....	(647)
1. 铸造表面粗糙度比较样块.....	(647)
2. 机加工表面粗糙度比较样块.....	(650)
3. 电火花加工表面粗糙度比较样块.....	(653)
§ 4-9 测量表面粗糙度的轮廓仪.....	(654)
§ 4-10 表面粗糙度测量方法.....	(664)

第五章 螺纹

§ 5-1 概论	(672)
1. 螺纹的分类及标准	(672)
2. 螺纹术语及基本概念	(672)
§ 5-2 普通螺纹	(685)
1. 普通螺纹的牙型	(685)
2. 普通螺纹的尺寸	(686)
2.1 普通螺纹直径与螺距的选择	(686)
2.2 普通螺纹基本尺寸的计算	(692)
3. 普通螺纹的公差制	(692)
3.1 普通螺纹的公差带	(709)
3.2 普通螺纹旋合长度的分组方法	(714)
3.3 普通螺纹的精度	(715)
3.4 普通螺纹的选用公差带及其使用	(715)
3.5 电镀螺纹	(716)
3.6 普通螺纹的牙底形状	(717)
4. 普通螺纹的标记方法	(719)
5. 中径合格性的判断原则与量规检验	(720)
6. 普通螺纹公差制中的公差计算式	(720)
7. 普通螺纹选用公差带的极限偏差和极限尺寸的计算	(721)
7.1 普通螺纹选用公差带的极限偏差表	(721)
7.2 普通螺纹极限尺寸的计算	(744)
7.3 商品紧固件普通螺纹的极限尺寸表	(745)
8. 推荐的普通螺纹过渡方案及其使用说明	(750)
9. 新旧普通螺纹标准的公差带对照表	(750)
10. 普通螺纹的工艺尺寸及工具标准	(750)
10.1 辗制螺纹毛坯直径	(750)
10.2 攻丝前钻孔直径	(789)
10.3 切削螺杆毛坯的直径公差	(791)
10.4 螺纹收尾、肩距、退刀槽和倒角	(791)
10.5 现行普通螺纹工具标准一览	(799)
§ 5-3 管螺纹	
1. 用螺纹密封的管螺纹	(800)
1.1 螺纹的结构性能及适用场合	(800)
1.2 用螺纹密封的管螺纹的牙型和尺寸	(800)
1.3 用螺纹密封的管螺纹的代号及名称	(802)
1.4 用螺纹密封的管螺纹公差	(802)
1.5 应用中的几点说明	(803)

2. 非螺纹密封的管螺纹	(804)
2.1 非螺纹密封的管螺纹的结构性能及适用场合	(804)
2.2 非螺纹密封的管螺纹的牙型、尺寸和公差	(804)
2.3 非螺纹密封的管螺纹代号、名称及关系式	(806)
2.4 应用中的几点说明	(807)
3. 米制锥螺纹	(809)
3.1 米制锥螺纹的牙型结构和尺寸	(809)
3.2 米制锥螺纹的公差	(810)
4. 管路旋入端用普通螺纹尺寸系列	(812)
5. 现行管螺纹标准规定的标记方法	(813)
§ 5-4 梯形螺纹	
1. 梯形螺纹牙型	(814)
2. 梯形螺纹的尺寸系列	(814)
2.1 梯形螺纹直径与螺距系列	(817)
2.2 梯形螺纹尺寸的选取原则	(817)
2.3 大尺寸梯形螺纹	(820)
3. 梯形螺纹的基本尺寸	(821)
4. 梯形螺纹公差	(821)
4.1 梯形螺纹的公差带位置及其应用	(826)
4.2 梯形螺纹的公差带大小及其用途	(826)
4.3 多线梯形螺纹	(829)
4.4 梯形螺纹的旋合长度分组	(829)
4.5 梯形螺纹的精度组成及公差带的选择	(834)
5. 梯形螺纹的标记方法	(834)
6. 梯形螺纹极限尺寸的计算	(836)
7. 新旧梯形螺纹标准的对照过渡	(837)
8. 梯形螺纹的计算式	(838)

第六章 轴伸、键、花键

§ 6-1 轴伸

1. 轴伸的种类及应用	(840)
2. 圆柱形轴伸	(841)
3. 轴的可传递扭矩值	(842)
4. 圆锥形轴伸	(842)

§ 6-2 键联结

1. 键联结的使用要求	(850)
2. 键联结的类型	(850)
3. 各种键联结的应用场合及标准规定	(851)
3.1 平键	(851)

3.2 半圆键	(857)
3.3 楔键	(858)
3.4 切向键	(862)
4. 键联结的公差与配合	(866)
4.1 键联结公差与配合的特点	(866)
4.2 各种键联结公差配合小结	(866)
5. 键与键槽的检测	(867)
5.1 键的检测	(867)
5.2 键槽的检测	(867)
6. 加工键槽的刀具	(868)
6.1 键槽铣刀	(868)
6.2 键槽拉刀	(868)
§ 6-3 花键联结	(878)
1. 花键联结的使用要求	(878)
2. 花键联结的类型	(878)
3. 花键的公差配合特点	(878)
4. 矩形花键	(879)
4.1 采用小径定心的优点	(879)
4.2 矩形花键的尺寸系列	(879)
4.3 矩形花键的公差配合及其选用	(881)
4.4 矩形花键的标记代号	(882)
5. 渐开线花键	(884)
5.1 渐开线花键的基准齿形及其应用	(884)
5.2 渐开线花键的模数	(884)
5.3 渐开线花键的要素、代号及计算公式	(884)
5.4 渐开线花键的齿槽宽和齿厚的作用尺寸和实际尺寸的用途	(891)
5.5 渐开线花键的公差等级及与旧国标的对应关系	(891)
5.6 渐开线花键的公差	(891)
5.7 渐开线花键的齿侧配合及其过渡	(892)
5.8 渐开线花键参数标注	(894)
5.9 渐开线花键的尺寸表	(909)
6. 花键的检测	(954)
6.1 矩形花键的检测	(954)
6.2 渐开线花键的检验	(954)
7. 加工渐开线花键的滚刀	(959)
7.1 30°压力角花键滚刀	(959)
7.2 45°压力角花键滚刀	(961)

第七章 机械制图

§ 7-1 基本规定	(963)
1. 图纸幅面及格式	(963)
2. 比例	(971)
3. 字体	(973)
4. 图线	(979)
5. 剖面符号	(985)
§ 7-2 基本表示法和注法	(988)
1. 图样画法	(988)
2. 装配图中零、部件序号及其编排方法	(1020)
3. 轴测图	(1023)
4. 尺寸注法	(1023)
5. 尺寸公差与配合注法	(1023)
6. 表面粗糙度代号及其注法	(1048)
§ 7-3 特殊表示法和注法	(1063)
1. 螺纹及螺纹紧固件画法	(1063)
2. 齿轮画法	(1063)
3. 花键画法	(1063)
4. 弹簧画法	(1080)
5. 滚动轴承画法	(1084)
6. 中心孔表示法	(1089)
7. 金属结构件表示法	(1100)
§ 7-4 产品技术文件用图形符号	(1102)
1. 图形符号表示规则, 产品技术文件用图形符号	(1102)
2. 机构运动简图符号	(1112)
3. 管路系统的图形符号	(1126)
附录A 互换性基础标准常用术语的中、英文对照	(1149)
附录B 互换性基础标准的现行标准及采用国际标准情况	(1163)

第一章 概 论

§ 1-1 互换性及其在机械制造中的作用

互换性是能保证独立制造的机器或仪器的零件、部件不经修配就能装配（或在修理中更换）成符合技术要求的组件，而组件不经修配就能装配成符合技术要求的产品的一种特性。为了保证零件和部（组）件的互换性，零件应当按规定的精度制造，也就是说零件的尺寸、形状以及其他参数处在产品设计所给定的界限之内。由此，可将互换性的含义表达为：“机械制造中的互换性，是指按规定的几何、物理及其他质量参数的公差，来分别制造机械的各个组成部分，使其在装配与更换时，不需辅助加工及修配便能很好地满足使用和生产上的要求”。

互换性不仅涉及产品制造中零件及部件的可装配性，而且还涉及机械设计、生产及其使用的重大技术和经济问题。

互换性按决定参数或使用要求可分为几何参数互换性与功能互换性。

几何参数互换性（狭义互换性）是指规定几何参数公差以保证成品的几何参数充分接近所达到的互换性。通常所讲的互换性，有时也局限于指零件尺寸配合要求的互换性。

功能互换性（广义互换性）是指规定功能参数的公差所达到的互换性。这些参数可能是几何的，电学的，机械的，化学的，光学的等参数。它往往着重于保证除尺寸配合要求以外的其他功能要求，即影响产品使用性能或零、部件使用功能的参数。如机械使用指标的公差应根据其用途、可靠性要求、寿命、安全性以及其他功能要求确定。

互换性按其互换程度可分为完全互换性与不完全互换性（有限互换性）。零件（或部件）在装配或更换时，不经任何辅助加工与修配、选择或调整就能将其装在机械的指定位置，并在该位置能够实现技术要求所规定的功能，叫做完全互换性。零件（或部件）在装配或更换时，可能需要分选（分组选择装配）、补偿、调整某些零件（或部件）的位置，修整一些零件，叫做不完全互换性（也叫做有限互换性）。如分组选择装配，仅组内零件可以互换，组与组之间不能互换。

各种零件（如：轴、衬套、销钉、齿轮、螺纹零件等）和组件（如：汽缸体、离合器、滚动轴承、显微镜的物镜、产品部件等）都会有完全互换性或不完全互换性。有的两者兼容，如滚动轴承内圈内径与轴的结合，外圈外径与轴承座孔的结合为完全互换（此情况称外互换），而轴承内、外圈滚道直径与滚珠（或滚柱）直径的装配为不完全互换（此情况称内互换）。

一般说，不完全互换只限于部件或机构的制造厂内部装配。

互换性的程度，即采用完全互换还是不完全互换或修配，要由产品精度要求与复杂程度、产量大小（生产规模）、生产设备、技术水平等一系列因素综合确定。如采用完全互换，要

求零件的制造精度太高，用经济加工方法保证不了或往往达不到；生产批量小，不能提供合理使用应有的工、夹具和其他装备的可能性；零件形状特别复杂，很难加工和检验等，此时应考虑改用有限互换性。一般生产规模越接近大批量生产，互换性水平则越高。在所有生产类型中，使用要求所必需的互换性都应当予以保证。

若零件（或部件）具有互换性，则在磨损或损坏后，可以很容易用另一新的备件更换，使维修方便，并可保证机器工作的连续性，提高机器的使用价值。从制造看，互换性是提高生产水平和进行文明生产的有力手段。装配时，由于零件（或部件）具有互换性，可减轻装配劳动量和缩短装配周期，并且可使装配工作按流水作业方式进行，从而大大提高装配生产率。加工时机器各个零件可以同时分别加工，用得极多的标准件、通用件还可由专门车间或工厂单独生产。这样可采用高效率的专用设备，从而提高产量和质量，加工成本显著降低。由于采用按互换原则设计和生产标准或通用零部件，可简化设计和缩短设计周期，并对发展系列产品和促进产品结构、性能的不断改进都有重大作用。

由此，在机械制造中遵循互换性原则，按互换性原则组织生产，不仅能显著提高劳动生产率，而且能有效保证产品质量和降低成本。所以互换性是机械制造中的重要生产原则与有效的技术措施。

在现代化机械工业生产中，标准化是实现互换性的基础。从概念讲，标准化是指制订、贯彻技术标准，以促进全面经济发展的整个过程。制订以标准化共性要求和前提条件为对象的机械基础标准具有特殊的作用，并为最有效的使用互换性原则提供了先决条件。

遵循积极采用国际标准和国外先进国家标准的方针，我国已制订（或修订）了优先数和优先数系、公差与配合、形状和位置公差、表面粗糙度、螺纹、键和花键、机械制图等互换性基础标准。它们是机械工业的重要基础标准。

§ 1-2 机械零件的加工误差及其分布的基本规律

在设计机械零件时，零件的几何参数是通过要素的尺寸、要素的形状及其相互位置等给定的。制造时，实际零件的几何参数会偏离设计（理想）零件的几何参数，这种偏离量叫做误差。零件的制造误差，包括加工误差与测量误差。

由于存在加工误差，在同样条件下加工的一批零件，各件上同一部位的实际尺寸是变动的，表现为尺寸误差。就一个零件的同一表面看，各点的实际尺寸是变动的。按各点实际尺寸变动的相对大小与特性，表现为几何形状、波纹度、表面粗糙度等误差。就同一零件各个表面（或轴线）之间的联系看，各处的实际联系尺寸也是变动的，即表现为位置误差。

由于存在测量误差，测得的实际尺寸不可能是真值。即使对同一零件同一表面上的同一部位，若重复进行多次测量，所得测量结果也是变动的。

在零件制造过程中，产生尺寸、形状、表面粗糙度及位置误差的原因很多，其中主要有：

- （1）机床误差；
- （2）加工工具及夹具误差；
- （3）工具磨损；

- (4) 机床—夹具—工具—零件系统内的弹性变形;
- (5) 机床—夹具—工具—零件系统内的热变形;
- (6) 与所选择的工艺方案和加工规范有关的误差;
- (7) 包括测量器具误差在内的测量误差;
- (8) 毛坯尺寸、硬度和材料的不均匀性及其它误差。

现代机械制造可以制成高精度的零件,但不可避免地仍然存在误差。从机器使用和互换性要求来看,并不要求零件制造得绝对准确和完全一致,只要零件的实际几何参数在规定的界限之内是允许的。当然,这种规定的界限应能保证零件满足机器正确装配及运转的要求。所以不能要求得到绝对精确的理想参数值,即零误差,因为这种要求在制造与测量的实际条件下是不能实现的。同样,也不能局限于对零件只规定一些理想的参数值,因为在零件制造时会产生很大的误差,致使零件不能满足其本身的使用要求。设计人员应当给出零件的理想参数值和允许的界限值。这些界限值在零件制造检验过程中,仍是零件合格的依据。确定允许误差界限是一个十分复杂的问题。这个问题的解决,不仅要求设计人员全面地考虑产品的功能与使用条件,而且要求考虑产品的制造与装配条件。这些条件是互相矛盾的:为了正常的功能,可能要求缩小允许误差的界限,而为了制造经济,则可能要求扩大允许误差的界限。在产品制造和使用费用总和为最低的情况下,保证产品工作能力仍是解决问题的最佳准则。

在一个批量中加工的零件,其加工误差可分为三类:

(1) 不变系统误差

对所研究的整个总体来讲,这类误差具有相同的数值。在同一生产批的加工过程中,保持常量的那些因素的影响会产生这类误差。例如用铰刀加工一批孔,若铰刀直径比要求的小 0.03mm ,则所有孔的直径均将比用正确铰刀加工的小 0.03mm 。

(2) 可变系统误差

这类误差随着工艺过程的进行而呈规律性的变化。例如,刀具正常磨损和机床—夹具—刀具—零件系统的热变形所引起的误差。显然产生误差的这些因素是加工时间的函数。

从理论上讲,系统误差是可以消除的。特别是很多不变系统误差,通常都易于通过鉴定分析来发现,并能够消除。但实际上,系统误差不一定能完全消除,特别是可变系统误差往往难以全部消除。对于这些未消除的系统误差,在规定公差或测量的允许误差时,应予以考虑。

(3) 随机误差或离散误差

在同一生产批中,对各个零件而言,这类误差有不同的数值,它是无法预先确定的。随机误差是由于偶然性变化因素或许多因素的影响而产生的。例如,在加工时被加工材料机械性能不一致,加工余量不恒定等引起的误差。

如果说系统误差可以发现,而且在许多情况下能够在生产准备或制造过程中被消除的话,那么,随机误差的发现则需要数理统计方法的基础上专门研究零件的加工方法和条件,而且随机误差不可能完全排除。

零件总体随机误差可借助于一系列的统计学特性来描述,在这些特性中需要提出的是:

- (1) 分布中心,或零件总体之被研究参数(例如轴的尺寸)的算术平均值

$$d_{\text{平均}} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}$$

式中: d_1, d_2 ——零件的实际尺寸;

n ——零件实际尺寸的数量。

(2) 参数的随机值相对于分布中心的均方根偏差用下式表示, 它反映了差值 X_i 的散布程度或离散程度:

$$\sigma = \sqrt{\frac{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2}{n}}$$

式中: X_i ——随机值与分布中心值之差, 即:

$$X_1 = d_1 - d_{\text{平均}};$$

$$X_2 = d_2 - d_{\text{平均}}; \dots \dots X_n = d_n - d_{\text{平均}}$$

数值 σ 表征了随机误差的分布规律。这个规律可用方程式和相应曲线的形式来建立随机误差值与其出现的概率之间的关系。在零件制造的稳定过程中, 例如, 在调整好的自动机床上加工, 或用定值刀具加工时, 作为尺寸随机误差的分布规律, 实际上常常遇到的是正态分布规律, 也叫高斯分布规律。正态分布规律特征可用图 1-1 中相对于分布中心对称分布的曲线表示。关于在生产实践中所遇到的均匀分布、三角形分布、偏心分布等其他随机误差分布规律可参阅计量出版社出版的“互换性与测量技术基础”(李柱主编)一书中第三章。

(3) 正态分布曲线(高斯曲线)的方程式为:

$$Y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{X^2}{2\sigma^2}}$$

式中: Y ——随机误差的概率密度;

e ——自然对数的底 ($e = 2.71828\dots$)。

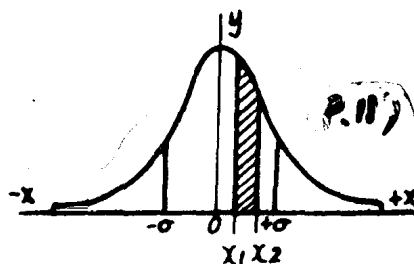


图 1-1

数值位于 X_1 至 X_2 范围内 ($P_{X_1 \leq X_i \leq X_2}$) 的随机误差的概率密度曲线、横座标轴线以及 X_1 和 X_2 点的纵座标之间所围成的面积 (图 1-1 中的阴影部分) 确定。这种概率可以通过概率积分函数 $\phi(Z)$ 求出:

$$\phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^Z e^{-\frac{1}{2}z^2} dz$$

概率积分函数 $\phi(Z)$ 所表示的是随机值 X_i 将小于所给定的 X 值的一种概率。 $\phi(Z)$ 的数值列于表 1-1。

无因次比值 $Z = X/\sigma$ 是函数 $\phi(Z)$ 的变数。由此可见:

$$P_{X_1 \leq X_i \leq X_2} = P_{0 \leq X_1 \leq X_2} - P_{0 \leq X_1 \leq X_1} = \phi(Z_2) - \phi(Z_1)$$

式中: $Z_1 = X_1/\sigma$; $Z_2 = X_2/\sigma$, 而值 $\phi(Z)$ 可由表 1-1 查得。对负值 Z , $\phi(-Z) = -\phi(Z)$ 。

在 $-\infty < Z < +\infty$ 区间内, 概率密度曲线之下的整个面积等于 1。

由 Z 值查表 1-1, 即可求得相应的概率, 例如:

表 1-1 函数值 $\phi(Z)$

Z	$\phi(Z)$	Z	$\phi(Z)$	Z	$\phi(Z)$	Z	$\phi(Z)$
0.01	0.0010	0.31	0.1217	0.72	0.2642	1.80	0.4641
0.02	0.0080	0.32	0.1253	0.74	0.2703	1.85	0.4678
0.03	0.0120	0.33	0.1293	0.76	0.2761	1.90	0.4713
0.04	0.0160	0.34	0.1331	0.78	0.2823	1.95	0.4744
0.05	0.0199	0.35	0.1368	0.80	0.2881	2.00	0.4772
0.06	0.0239	0.36	0.1406	0.82	0.2939	2.10	0.4821
0.07	0.0279	0.37	0.1443	0.84	0.2995	2.20	0.4861
0.08	0.0319	0.38	0.1480	0.86	0.3051	2.30	0.4893
0.09	0.0359	0.39	0.1517	0.88	0.3106	2.40	0.4918
0.10	0.0398	0.40	0.1554	0.90	0.3159	2.50	0.4938
0.11	0.0438	0.41	0.1591	0.92	0.3212	2.60	0.4953
0.12	0.0478	0.42	0.1628	0.94	0.3261	2.70	0.4965
0.13	0.0517	0.43	0.1664	0.96	0.3315	2.80	0.4974
0.14	0.0557	0.44	0.1700	0.98	0.3365	2.90	0.4981
0.15	0.0596	0.45	0.1736	1.00	0.3413	3.00	0.49865
0.16	0.0636	0.46	0.1772	1.05	0.3531	3.20	0.49931
0.17	0.0675	0.47	0.1808	1.10	0.3613	3.40	0.49966
0.18	0.0714	0.48	0.1844	1.15	0.3719	3.60	0.49984
0.19	0.0753	0.49	0.1879	1.20	0.3819	3.80	0.499928
0.20	0.0793	0.50	0.1915	1.25	0.3914	4.00	0.499968
0.21	0.0832	0.52	0.1985	1.30	0.4032	4.50	0.499997
0.22	0.0871	0.54	0.2051	1.35	0.4115	5.00	0.4999997
0.23	0.0910	0.56	0.2123	1.40	0.4192		
0.24	0.0948	0.58	0.2190	1.45	0.4265		
0.25	0.0987	0.60	0.2257	1.50	0.4332		
0.26	0.1020	0.62	0.2324	1.55	0.4394		
0.27	0.1061	0.64	0.2389	1.60	0.4452		
0.28	0.1103	0.66	0.2454	1.65	0.4505		
0.29	0.1141	0.68	0.2517	1.70	0.4554		
0.30	0.1179	0.70	0.2580	1.75	0.4599		

$Z = \pm 1$, 则 $P = 2\phi(1) = 2 \times 0.2420 = 0.4840 = 48.40\%$;

$Z = \pm 2$, 则 $P = 2\phi(2) = 2 \times 0.0540 = 0.1080 = 10.80\%$;

$Z = \pm 3$, 则 $P = 2\phi(3) = 2 \times 0.0044 = 0.0088 = 0.88\%$ 。

图 1-2 表示了正态分布规律下各种不同区间内随机误差出现的概率。大量的零件(68%)所具有的尺寸都在距离分布中心为 $\pm\sigma$ 的范围内。当数值超出 $\pm 3\sigma$ 时,其误差出现的概率仅为 0.27%。人们通常忽略这个值,把 $\pm 3\sigma$ 或 6σ 视为加工尺寸的实际散布范围。加工时,可