

互换性与技术测量

(第二版)

主 编 杨练根

华中科技大学出版社

普通高等学校机械基础课程规划教材

互换性与技术测量

(第二版)

主 编 杨练根

副主编 曹丽娟 官爱红

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

“互换性与技术测量”是高等工科院校机械类、近机类、仪器仪表类专业的一门主要技术基础课,其概念多、涉及面广,牵涉的国家标准多且标准更新快。本书根据最新的几何产品技术规范标准,介绍了互换性与标准化概论、极限与配合、长度测量基础、几何公差及几何误差检测、表面粗糙度及检测、光滑工件的检验、典型零部件的互换性及检测、齿轮公差与检测及尺寸链等内容。

本书的特点是强调基础,力求概念清楚,突出应用,着重阐述最新国家标准的理解与使用,突出介绍了第二代 GPS 标准,也兼顾了第一代 GPS 标准。

本书可作为工科院校机械类、近机类、仪器仪表类专业的“互换性与技术测量”课程教材。本书既适用于高校专业基础课程教学,也适于生产企业和计量、检验机构的专业人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

互换性与技术测量(第二版)/杨练根 主编.—武汉:华中科技大学出版社,2012.1
ISBN 978-7-5609-5947-4

I. 互… II. 杨… III. ①零部件-互换性-高等学校-教材;②零部件-测量-技术-高等学校-教材
IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 003689 号

互换性与技术测量(第二版)

杨练根 主编

策划编辑:万亚军

责任编辑:吴 晗

责任校对:周 娟

封面设计:刘 卉

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:20.5

字 数:437千字

版 次:2012年1月第2版第3次印刷

定 价:32.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

再版前言

本书于 2010 年 1 月出版后,被多所高校采用,使用了本书的一些教师通过教学实践后给我们提出了许多宝贵的意见,这使我们受到极大的鼓舞,并获得极深的教益。我们衷心感谢兄弟院校有关教师及所有读者的热心支持和充分信任。

根据大家提出的宝贵意见和我们的教学实践,对本书第一版进行了修订,修订的主要内容如下。

- (1) 对内容进行了精炼。
- (2) 根据新发布的国际标准更新了部分内容。
- (3) 对第一版中的印刷错误进行了修订。
- (4) 删除了第 6 章的功能量规。
- (5) 对例题进行了增删,减少了一些使用较少的表格。

修订后的篇幅减少了约 10%。

本次修订仍由原第一版的作者进行,由杨练根负责统稿。修订后的本书有较明显的改进和提高,但限于对新一代 GPS 标准的理解尚有亟待改进之处,敬请读者予以批评和指正。

编者

2011 年 11 月

目 录

第 1 章 互换性与标准化概论	(1)
1.1 互换性概述	(1)
1.2 互换性标准的发展	(4)
1.3 长度测量技术发展简介	(16)
1.4 标准化和优先数系	(18)
思考题及习题	(23)
第 2 章 孔、轴的极限与配合	(24)
2.1 概述	(24)
2.2 极限与配合的基本术语与定义	(24)
2.3 极限与配合的国家标准	(34)
2.4 极限与配合的选择	(56)
2.5 线性与角度尺寸的未注公差	(73)
思考题及习题	(74)
第 3 章 长度测量技术基础	(77)
3.1 测量的基本概念	(77)
3.2 长度量值传递系统	(78)
3.3 常用计量器具和测量方法	(81)
3.4 计量器具与计量方法的术语及定义	(83)
3.5 常用长度测量仪器	(85)
3.6 三坐标测量机	(95)
3.7 误差理论和数据处理	(97)
3.8 测量不确定度	(105)
思考题及习题	(112)
第 4 章 几何公差及误差检测	(113)
4.1 概述	(113)
4.2 形状公差与形状误差的测量	(121)
4.3 方向、位置和跳动公差及误差测量	(139)
4.4 公差原则	(162)
4.5 几何公差的选择	(178)
思考题及习题	(189)
第 5 章 表面结构参数及其检测	(194)
5.1 表面结构的术语、定义及参数	(194)

5.2	表面粗糙度评定参数值的选用	(203)
5.3	表面粗糙度的测量	(204)
5.4	三维表面形貌评定与测量	(208)
	思考题及习题	(210)
第6章	光滑工件的检验	(211)
6.1	按规范检验工件的判定规则	(211)
6.2	用通用计量器具检验	(215)
6.3	用光滑极限量规检验	(222)
6.4	用功能量规检验	(228)
	思考题及习题	(229)
第7章	常用结合件的互换性	(230)
7.1	滚动轴承与孔轴结合的公差与配合	(230)
7.2	螺纹连接的公差与配合	(239)
7.3	圆锥结合的公差与配合	(251)
7.4	键与花键结合的公差与配合	(262)
	思考题及习题	(272)
第8章	圆柱齿轮公差与检测	(274)
8.1	齿轮传动使用要求和齿轮加工工艺误差	(274)
8.2	齿轮精度的评定指标及检测	(279)
8.3	齿轮副精度的评定及检测	(284)
8.4	齿轮坯和箱体孔的精度	(290)
8.5	渐开线圆柱齿轮精度设计	(293)
	思考题及习题	(298)
第9章	尺寸链	(300)
9.1	概述	(300)
9.2	完全互换法	(305)
9.3	概率法	(311)
	思考题及习题	(315)
	附录	(316)
	参考文献	(320)

第 1 章 互换性与标准化概论

1.1 互换性概述

1.1.1 互换性的含义

顾名思义,所谓互换性是指事物可以互相替换的能力,在 GB/T 20000.1—2002《标准化工作指南 第 1 部分:标准化和相关活动的通用词汇》国家标准中,互换性被规定为“某一产品、过程或服务代替另一产品、过程或服务并满足同样要求的能力”,这里所说的互换性是一种广义的互换性,本书讲述的互换性仅指产品的互换性。在机械和仪器制造业中,零、部件的互换性是指同一规格的一批零件或部件,任取其一,不需任何挑选或附加修配就能装在机器上,达到规定的功能要求。这样的一批零件或部件就称为具有互换性的零、部件。

在日常生活和工业生产中,互换性的例子比比皆是。人们经常使用的自行车,它的各个零件都是按互换性原则生产的。如果自行车上的零件损坏,可以在五金店或维修点买到同样规格的零件换上,恢复自行车的功能。新型的手机充电器可以插在任意一个 220 V 的电源插座上进行充电,也可以把充电器电线的 USB 口插在任意一台计算机的 USB 口上充电。家里的白炽灯或节能灯泡坏了,可以到商店买回一个,很方便地就可以装上,恢复照明。机械或仪器上的轴承、螺纹等零件损坏或失效后,维修人员可以迅速更换同一规格的新零件,很好地满足要求。这里提到的自行车零件、手机充电器插头和 USB 口、灯泡、轴承、螺纹,在同一规格内都可以互相替换使用,它们都是具有互换性的零部件。

机械和仪器制造业中的互换性,通常包括几何参数的互换性和性能参数(如硬度、强度等)的互换性。所谓几何参数一般包括尺寸大小、几何形状(宏观、微观)及相互位置关系等。机械产品的性能包括很多方面,例如刚度、强度、硬度、传热性、导电性、热稳定性,还有其他物理、化学参数等。本书只讨论几何参数的互换。要使一批零、部件具有互换性,似乎需要将它们的实际几何参数加工得完全一样,但在实际生产中,由于制造误差不可避免地存在,要加工得完全一样是不可能做到的,也是完全不必要的。因此在按照互换性原则组织生产时,只要根据使用要求,将零、部件实际尺寸和几何参数值的变动限制在预设的一定极限范围内,即可以实现互换性并取得最佳的经济效益。这种允许零件尺寸和几何参数的变动量就称为公差。

1.1.2 互换性的作用

互换性生产对现代化大生产具有非常重大的意义。

从设计方面来看,按照互换性原则,有利于最大限度地采用标准件、通用件,发展系列产品,改进产品性能,简化绘图和计算工作,缩短设计周期,便于进行计算机辅助设计(CAD),对发展系列化产品具有重要作用。

从加工方面来看,互换性有利于组织专业化生产,采用先进工艺和高效率的专用设备,提高生产效率,降低成本。现代化的汽车、摩托车等机械产品均采取社会化大生产模式,零、部件的通用化程度很高,大多数零、部件都具有互换性,从而才能将一台汽车或摩托车的成千上万个零、部件分散到全国甚至全世界的不同工厂进行高效率的专业化生产,然后集中到同一个工厂进行装配。因此,零、部件的互换性给专业化、自动化生产创造了条件,促进了汽车、摩托车等机械行业的发展,有助于降低成本、提高产品质量。

从装配方面来看,互换性是进行流水线生产、提高生产和装配效率的保证。由于零部件具有互换性,不需要挑选、辅助加工和修配,故能减轻劳动强度,缩短装配周期,并且可以通过流水作业方式或自动化装配方式进行装配,从而大大提高生产率。

从使用和维修方面来看,互换性有助于延长设备寿命。若设备具有互换性,则它们损坏或磨损后,及时地用新的备件更换,可以减少设备的维修时间和费用,保证设备能持久地运转,从而提高设备的使用寿命。

1.1.3 互换性分类

根据使用要求及互换程度、部位和范围的不同,互换性可分为不同的种类。

1. 按互换的程度分类

按互换的程度,互换性可分为完全互换性与不完全互换性。完全互换性是指零、部件在装配前不需要挑选、装配中不需要辅助加工与修配,即可完全满足使用要求。在有些产品的生产中,由于采取完全互换性的加工成本很高等原因,往往采取不完全互换性,即不能保证百分之百的互换性。不完全互换通常包括概率互换(大数互换)、分组互换、调整互换和修配互换等。

(1) 概率互换 概率互换是指零、部件的设计、制造仅能以接近于1的概率来满足互换性的要求,主要用于成批、大量生产的场合。在此种生产方式下,考虑到零件实际参数值的概率分布特点,将参数允许的变动量适当加大,以获得制造的经济性。按概率互换性要求组织生产,可能出现达不到组装要求的情况,但这种情况出现的概率比较小。

(2) 分组互换 分组互换通常用于大批量生产且装配精度要求很高的零件。此时如采用完全互换性组织生产,则零件互换性参数值的允许变动量很小,这将造成加

工困难、成本增高、废品率增大,甚至无法加工。而采取分组互换可以适当地增大零件实际参数的变动量,减小加工难度;加工完毕后根据测量所得的实际参数的大小分为若干组,使同组零件的实际参数值的变化减小,然后按对应组进行装配。此时,仅同组内的零件可以互换,组与组间不能互换。如在汽车连杆和活塞销的生产中,往往根据其实际尺寸分为3~6个组进行互换性生产和装配。

(3) 调整互换和修配互换 调整互换和修配互换多用于单件、小批量的生产,特别是重型机械和精密仪器的制造中。在此种装配中,往往必须改变装配链中某一零件实际参数值的大小,以其作为调整环来补偿其他零件装配中累积误差的影响,从而满足总的装配精度要求。调整互换就是通过更换调整环零件或改变它的位置来进行补偿;而修配互换是通过对调整环做适当的加工,改变调整环的实际参数值,以达到满足装配精度的要求。此时,构成装配链的所有零部件均按互换性生产,装配前也不需要挑选,但装配过程中可能需要对调整环进行调整或修配才能达到精度要求。显然,经过这样的调整或修配后,若要更换装配链中的任一个组成零件,则可能还需要对调整环进行再次的调整或修配。

2. 按互换的部位分类

对独立的标准部件或机构来说,其互换性可分为外互换和内互换。

(1) 内互换 内互换是指部件或机构内部组成零件间的互换性。例如:滚动轴承的滚动体和内圈、外圈、保持架(隔离架)之间的互换性为内互换。因为这些组成零件的精度要求很高,加工难度很大,故它们的互换采取分组互换。

(2) 外互换 外互换是指部件或机构和与其有配合关系的零部件间的互换性。轴承内圈和轴颈的配合及外圈和机座孔的配合为外互换。轴承作为一个标准件,从方便使用的角度出发,其外互换采取完全互换。

在实际生产中,究竟采取何种形式的互换性才能既满足要求又具有较好的经济性,需要根据产品的精度要求、复杂程度、生产规模、生产水平及技术水平等方面情况综合决定。

1.1.4 互换性生产简史

互换性生产是随着工业生产的发展而产生和发展起来的。

在互换性生产出现前,配合零件都是通过“以孔配轴”或“以轴配孔”的方式在手工作坊中靠“配作”方式制造的,装配时必须对号入座,生产效率低,零、部件没有互换性。

互换性生产是从出现了第一个标准量规开始的。最早是按一个标准的轴或孔来制造孔或轴,不久将这种标准的孔或轴做成卡规或塞规。标准量规是单个使用的,对零件要求过高(要求恰好紧密地通过零件),因此其使用受到限制。

事实上,使用要求不是绝对的,间隙略有变动(不超过一定范围),也能满足使用

要求,因此可允许孔、轴实际尺寸在一定范围内变动。这就产生了按公差制造的思想,与其相适应,在计量手段上出现了极限量规,即按孔、轴允许的最大尺寸和最小尺寸分别做成的两套量规。

互换性最早体现在 H. 莫兹利于 1797 年利用其创制的螺纹车床所生产的螺栓和螺母上。同时期,美国工程师 E. 惠特尼用互换性生产方法生产火枪,显示了互换性的可行性和优越性。这种生产方法在美国逐渐推广,形成了所谓的“美国生产方法”。20 世纪初期,H. 福特在汽车制造上又创造了流水装配线。大量生产技术加上 F. W. 泰勒在 19 世纪末创立的科学管理方法,使汽车和其他大批量生产的机械产品的生产效率很快达到了过去无法想象的高度。

最早使用极限量规检验工件的国家集中在欧洲,为英、法、德、俄几个国家。后来日本引进了德国的步枪制造技术,也同时引进了其“极限量规”的检验方法,这使日本的造枪技术自 20 世纪初以来长期在亚洲处于领先地位。由此也可看出,互换性原理对机械工业的发展是有着极大促进作用的。正是因为这种有目共睹的实际效果,世界各国纷纷效仿。我国对互换性原理的采用最早也是出现在兵器工业中,如 1931 年的沈阳兵工厂、1937 年的金陵兵工厂也大量引进了国外先进的制造和检测技术,其结果是这两个兵工厂生产出了当时中国最好的枪炮。后来,各国将这一原理推广到民用产品中。

1.2 互换性标准的发展

1.2.1 互换性标准发展简介

自 1902 年英国 Newall 公司出版了极限表以来,公差与配合标准经历了一百多年的发展历史。

1906 年,英国颁布了国家标准 BS 27,1924 年颁布了 BS 164,1925 年美国颁布 ASAB4a,这些都是初期的公差标准。

在英、美初期公差标准的基础上,德国 DIN 标准采用了基孔制、基轴制,提出了公差单位的概念,将公差等级和配合分开,并规定了标准温度。

1929 年,苏联也颁布了一个公差与配合标准。

1926 年,国际标准化协会(ISA)成立,ISA/TC3 负责公差与配合标准制定。在总结德国、法国等国家标准的基础上,1940 年 ISA 颁布了国际公差标准。

1947 年,ISA 更名为国际标准化组织(International Organization for Standardization,简称 ISO)。在 ISA 标准的基础上,ISO 于 1962 年颁布了新的公差与配合标准 ISO/R 286,以后又陆续颁布了 ISO/R 1938《光滑工件的检验》等公差标准,形成了国际公差与配合标准体系。

1959年,我国正式颁布了GB 159~174公差与配合系列国家标准。随后又发布了各种结合件、传动件、表面光洁度及表面形状和位置公差标准。

我国的公差标准也在随着国际标准的变化不断地更新。

1979年,我国将原有的1959年版公差与配合标准修订为GB 1800~1804—1979。

1996年,我国又将该公差与配合标准改名《极限与配合》,并不断修订有关标准。如GB/T 1800.1—1997、GB/T 1800.2—1998、GB/T 1800.3—1998、GB/T 1800.4—1999、GB/T 1801—1999、GB/T 1803—2003、GB/T 1804—2000等。1995年,1983年版表面粗糙度标准修订为GB/T 1031—1995。形状和位置公差标准于1996年进行了修订,颁布了GB/T 1182—1996、GB/T 4249—1996、GB/T 16671—1996。

1996年,ISO/TC 213产品尺寸和几何技术规范及检验(dimensional and geometrical product specifications and verification)标准化技术委员会成立,一套基于计量数学的GPS标准开始陆续制定发布,标志着公差与配合标准进入了一个新的发展时代。

以GPS理论做指导,我国依据GPS标准对公差与配合标准进行了全面修订。2008年,新修订的GB/T 1182发布,其名称由《形状和位置公差 通则、定义、符号和图样表示法》更名为《产品几何技术规范(GPS)几何公差 形状、方向、位置和跳动公差标注》。2009年,GB/T 4249《产品几何技术规范 公差原则》、GB/T 16671《产品几何技术规范 几何公差 最大实体要求、最小实体要求和可逆要求》发布。极限与配合标准GB/T 1800.1、1800.2、1801和表面结构、表面粗糙度标准GB/T 131、GB/T 3505以及GB/T 1031修订后也于2009年发布,其中,GB/T 1800.1—2009取代了GB/T 1800.1—1997、GB/T 1800.2—1998、GB/T 1800.3—1998、GB/T 1800.2—2009取代了GB/T 1800.4—1999。

2010年,ISO发布了第二版的ISO 286-1、ISO 286-2,这使得修改采用ISO 286的这两个部分制定的GB/T 1800.1—2009、GB/T 1800.2—2009将面临新的修订。2010年12月15日,ISO发布了ISO 14405-1《Geometrical Product Specification (GPS) Dimensional Tolerancing Part 1: Linear Sizes》,该标准建立了线性尺寸的缺省的规范操作,对圆柱、两相对平行平面的尺寸要素的尺寸定义了许多特殊的规范操作集。1988年颁布的ISO 286-1将包容准则(envelope criterion,即包容要求)作为尺寸要素的尺寸的缺省的相关准则,而ISO 14405-1将这个缺省准则改为两点尺寸准则。这意味着形状不再由缺省的尺寸规范来控制。在许多情况下,按照新的ISO 286-1:2010,直径公差不足以对配合的预期功能作有效的控制,可能还要求使用包容准则。另外,使用几何形状公差和表面结构要求可以改进对配合的预期功能的控制。

1.2.2 产品几何量技术规范(GPS)标准体系简介

产品几何技术规范(geometrical product specification, GPS)原隶属于国际标准

化组织的三个标准化技术委员会:ISO/TC3 极限与配合技术委员会、ISO/TC57 表面特征及其计量学技术委员会、ISO/TC10/SC5 尺寸和公差的表示法分技术委员会。三个技术委员会分别有各自的标准体系。由于各自工作的独立性,造成各技术委员会之间的工作出现了重复、空缺和不足,同时产生了术语定义的矛盾、基本规定的差别及综合要求的差异,使得产品几何标准之间出现了众多不衔接和矛盾之处。1993年,ISO 成立了联合协调工作组,对三个委员会所属范围的尺寸和几何特征领域的标准化工作进行了协调和调整,提出了 GPS 的概念。1995年,ISO/TC3 颁布了 ISO/TR14638“GPS 总体规划(masterplan)”,正式提出了 GPS 概念和标准体系的矩阵模型。1996年,ISO 撤销了上述三个技术委员会,成立了 TC213“产品尺寸和几何技术规范及检验”标准化技术委员会,由其负责建立一个完整的国际标准体系。ISO/TC213 的最初目标是对三个 TC 已有的标准体系进行衔接、补充与修订,按照 ISO/TR14638 的框架,建立一套 GPS 体系,所建立的 GPS 标准体系主要包括 ISO/TC213 成立初期制(修)订的约 60 余项国际标准,如几何产品从毫米到微米级的几何尺寸、公差、表面特征、测量原理、测量设备及仪器标准等。这些 GPS 标准也称为第一代 GPS 语言,即以几何学理论为基础制定的一系列产品几何标准与检测规范。由于其理论基础仍然是几何学,因此它虽然提供了产品设计、制造及检测的技术规范,但没有真正建立起这些技术之间的联系,没有从根本上考虑功能、规范与验证之间的统一,缺乏系统性、集成性和可操作性。

传统的 GPS 标准仅适用于手工设计环境,不适应计算机的表达、处理和数据传输,而随着计算机技术的进步,先进的数字化制造方法和技术、CAD/CAM/CAQ 及先进测量仪器的产生和发展,其在功能、规范与校准方面的不统一带来的矛盾日渐突出,因而 ISO/TC213 的 GPS 标准也随之发生了巨大的变化。它已经由以几何学为基础的第一代 GPS,发展到以数字计量学为基础的新一代 GPS。新一代 GPS 以计量数学为基础,应用物理学中的物象对应原理,利用扩展后的“不确定度”的量化特性和经济杠杆作用,将产品的功能、规范与校准集成为一体,统筹优化过程资源的配置。因此,相对第一代 GPS 而言,新一代 GPS 语言和体系的形成与发展,无疑是对传统公差设计与控制思想的挑战,是标准化、检测和计量领域的一次大变革。ISO/TC213 新一代 GPS 标准体系将着重于提供一个适宜于 CAX 集成环境的、具有更加明晰的几何公差定义的宽范围的计量评定规范体系,以满足几何产品的功能要求(CAX 是计算机辅助设计(computer aided design,CAD)、计算机辅助工程(computer aided engineering,CAE)、计算机辅助制造(computer aided manufacture,CAM)、计算机辅助工艺计划(computer aided process planning,CAPP)、产品数据管理(product data management,PDM)的统称)。它是针对所有几何产品建立的一个技术标准体系,覆盖了从宏观到微观的产品几何特征,涉及从产品开发、设计、制造、验收、使用及维修到报废等产品寿命周期全过程。ISO/TC213 的 GPS 系列标准是国际标准中影响最广

的重要基础标准之一,是所有机电产品的技术标准与计量规范的基础,也是制造业信息化的基础。GPS 不仅仅是设计人员、产品开发人员及计量测试人员等为了达到产品的功能要求而进行信息交流的基础,更是几何产品在国际市场的竞争中唯一可靠的交流与评判工具,其应用涉及国民经济的各个部门和所有学科。GPS 包含的产品设计、制造与检验的几何规范模型如图 1-1 所示,它包含以下几个概念。

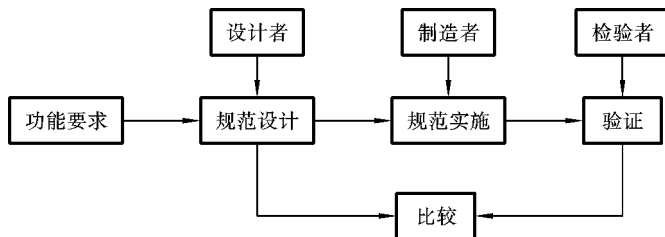


图 1-1 设计、制造与检验的几何规范模型

(1) 几何规范 对工件几何特征的可允许误差进行设计,使之满足工件的功能需求,同时也将定义一个与工件生产工艺相一致的质量标准。

(2) 几何规范过程 设计者首先定义一个在形状和尺寸上能够满足产品功能的理想形状的“工件”,称为公称几何模型,它是根据公称值建立一个工件的表述。由于生产或测量过程的可变性和不确定性,公称值不可能用来制造或检验,因此需要根据公称几何量,建立模拟实际工件的表面模型,以代替可能被估计到的工件真实表面的变化。该表面模型代表了工件的理想几何量,称为规范表面模型。依据该模型,可以优化工件几何要素的最大允许极限值,定义工件的每一几何特征的公差。

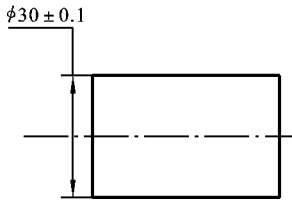
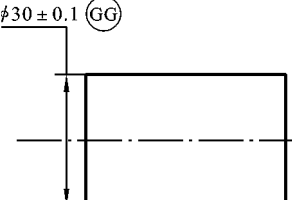
(3) 制造过程 由制造人员负责对 GPS 规范的解释和实施,完成产品的加工和装配的过程。几何规范中定义的几何公差用于制造过程的控制。

(4) 验证(verification,也有文献译为认证或检验)过程 检验人员确定工件的实际表面与规范规定的允许误差是否一致。检验人员利用设备测量实际工件表面,然后将测量结果与给定特征进行比较来确定其一致性。

我国等同采用 ISO 的技术规范 ISO/TS 17450-1:2005 制定了标准化指导性技术文件 GB/Z 24637.1—2009《产品几何量技术规范(GPS) 通用概念 第1部分:几何规范和验证的模型》,该文件提供了几何产品规范和验证的模式,定义了相关的概念,解释了与该模式相关的概念的数学基础。

传统的 GPS 的标注和新 GPS 的标注有很大不同。表 1-1 给出了 ISO 14405-1:2010 规定的线性尺寸的规范操作符,是图样上可用于不同类型功能的零件直径的标注符号。通常,选用工件直径的算法取决于零件的功能,例如过盈装配、间隙装配、液压力轴承和滚珠轴承等。在没有标注规范操作符时指两点尺寸。

表 1-1 新、老 GPS 标准的标注比较

	老的 GPS	新 GPS 规定的线性尺寸的规范操作符	
几何公差	$\phi 30 \pm 0.1$	$\phi 30 \pm 0.1$ (LP)	两点直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (LS)	由一个球定义的局部直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (GG)	最小二乘直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (GX)	最大内接圆直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (GN)	最小外接圆直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (CC)	圆周直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (CA)	面积直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (CV)	体积直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (SN)	最大直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (SX)	最小直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (SA)	平均直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (SM)	中位直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (SD)	中点直径
		$\phi 30 \pm 0.1$ (SR)	尺寸范围
 <p>A technical drawing of a hole in a rectangular block. A vertical dimension line on the left indicates the diameter of the hole, labeled with the text $\phi 30 \pm 0.1$. The hole is shown as a simple rectangle with a dashed centerline.</p>	 <p>A technical drawing of a hole in a rectangular block, similar to the one on the left. A vertical dimension line on the left indicates the diameter of the hole, labeled with the text $\phi 30 \pm 0.1$ followed by a circled 'GG' symbol. The hole is shown as a simple rectangle with a dashed centerline.</p>		

第二代 GPS 语言通过对几何要素的定义,建立了参数化几何模型和表面模型,统一了 GPS 的数学模型和规范数学符号,提出了操作(operation)和操作算子(operators,也称操作集)的概念和数学方法,借助于表面模型(surface model)对几何产品进行操作,获取几何要素及其特征值、公称值及极限值。根据规范操作算子与验证操作算子的对偶性原理,将设计与验证形成一个物象对应系统,并把标准与计量通过不确定度的传递联系起来。

1. 表面模型

表面模型(surface model)是实现 GPS 系统阶段功能的操作基础和系统关联基础。

按阶段分有:公称表面模型、规范表面模型和验证表面模型。

按模型的性质分有:理想表面模型和非理想表面模型。

2. 几何要素和特征

GPS 系统的表面模型需要由相应的要素和特征予以定义和描述;要素的分类和描述由恒定类和恒定度定义;分类的依据是欧氏空间的运动与特征不变的关系。

1) 几何要素

几何要素,即构成工件几何特征的点、线和面,在工件的规范、加工和验证过程中扮演着重要的角色。工件的规范表现为对具体要素的要求,工件的加工表现为具体要素的形成,而工件的验证表现为对具体要素的检验。

第一代 GPS 语言对要素的分类和描述相对简单,但存在很大缺陷,与计算机辅助设计技术和坐标测量技术不相适应,不能满足现代 GPS 标准体系的要求。第二代 GPS 语言以丰富的、基于计量学的数学方法,描述工件的功能需求,将几何要素进行重新分类和定义,丰富并延伸了要素的概念。








2) 几何特征

几何特征是一个或多个要素的单一几何性质,分为本质特征和位置特征。利用本质特征和位置特征统一工件/要素所有几何特征的描述是第二代 GPS 语言的创新。

3) 本质特征和位置特征的恒定度

工件几何形体的类别划分有赖于本质特征和位置特征的恒定度。GPS 将工件的几何形体划分为七个恒定类,所有的理想要素都属于这七种恒定类(见表 1-2)中的一种,建立了参数化几何模型,实现了参数方程描述。每种恒定类都有对应的恒定度,它是具有相同恒定度的理想要素集,为软件设计、数据传递和 CAX 系统的应用提供了数字化的规范表达,充分说明了以计量数学为基础的第二代 GPS 语言是丰富的、精确的、可靠的交流工具。

表 1-2 理想要素的类型——恒定类

复合体	棱柱	回转体	螺旋体	圆柱体	平面	球
						
无	沿直线的移动	绕直线的旋转	沿直线的平移同时绕直线的旋转	沿直线的平移,绕直线的旋转	绕直线的旋转,与直线垂直的平面内平移	绕一点的旋转

3. 操作和操作算子

1) 操作

新一代 GPS 利用表面模型定义了在工作环境下与理想要素对应的非理想要素。要获取一个几何要素,需要通过对表面模型使用一些专用的数学算法工具,这种数学

算法工具在 GPS 语言中称为操作,它是第二代 GPS 语言提出的一个新概念。在 GPS 语言中,操作是获得几何要素或特征值,以及它们的公称值和极限值所必需的特定工具,是对工件进行规范和验证的基础。第二代 GPS 语言提出了针对要素的分离、提取、滤波、拟合、集成和构造六种操作。

(1) 分离(partition) 分离是指从非理想或理想要素中得到边界要素的操作。它可以用于从公称表面模型中获得相应的公称组成要素,从规范表面模型或验证表面模型中获得提取组成要素,从实际表面模型中获得相应的非理想要素,也可用于获取要素的某一部分。

(2) 提取(extraction) 提取是指从一个非理想要素中得到一系列特定点的操作。提取的实质是将非理想的要素离散化,从而可以应用仪器对要素进行检测,可以进行离散数据的计算机处理,用非理想要素上离散点的特征近似地表达该要素的特征。

(3) 滤波(filtration) 滤波是指通过降低非理想要素信息量获取新的非理想要素的操作。非理想要素的信息标准包括粗糙度、波纹度、结构和形状等。进行滤波操作的过程中应采用特定的规则,从非理想要素中获取想要的特征。基于新一代 GPS 体系的表面滤波技术贯穿于一切几何产品的设计、测量、分析与调控中,对于监控与改进加工工艺、识别表面特性与功能的关系,从而提高表面质量、保障产品性能具有重要意义。ISO/TC213 于 2006 年发布的 ISO/TS 16610-1、-20、-22、-29、-40、-41、-49 和 2009 年发布的 ISO/TS 16610-29、-30、-32 及正在制定的 ISO/TS16610 其他各部分规范为表面滤波提供了一套完整的运算工具。

(4) 拟合(association) 拟合是指依据特定准则使理想要素逼近非理想要素的操作。拟合可表示为满足一定条件(约束和目标)的要素集,拟合的目的是对非理想要素的特征进行描述和表达,根据特定的准则完成非理想要素到理想要素的转换,但所依据的拟合的规则不同,所对应的理想要素也不相同。对提取表面的拟合,可有不同的拟合目标,如最小二乘拟合、最小区域拟合等。对于不同的拟合目标,有不同的拟合目标函数。

(5) 集成(collection) 集成是指将功能相一致的多个要素结合在一起的操作。集成操作可以用于理想要素,也可以用于非理想要素。如确定圆柱的轴线时,先将圆柱在轴向分成若干截面,确定了每一个截面的圆心后,对各个圆心进行集成操作,即可获得圆柱的轴心线。

(6) 构造(construction) 构造是指通过使用某些限制条件,从理想要素中建立新的理想要素的操作。构造操作只能用于理想要素,构造前和构造后的要素都是理想要素。构造的实质是对被构造要素进行交集操作,如两个平面构造形成一条直线,三个平面构造形成一个点,将一个理想的圆柱沿轴线分成若干截面,就是使用若干平面与圆柱进行构造操作而实现的。

2) 评估

评估(evaluation)是指确定特征或要素的值及其公称值和极限值的一种操作。评估操作总是在要素的规范操作和验证操作之后完成。

3) 操作算子

操作算子是一系列有序的操作集,故国家标准称其为操作集。所有的操作算子是由许多种操作组成的,按照给定的顺序应用。如图 1-2 所示,在新一代 GPS 规范中的操作算子有:功能(操作)算子,实现产品功能要求的规范描述和表达;规范(操作)算子,确定对应功能要求的几何特征规范值;验证(操作)算子,检测并评定实际工件的特征值。如 2003 年发布的 ISO/TS 12180-1、ISO/TS 12180-2、ISO/TS 12181-1、ISO/TS 12181-2、ISO/TS 12780-1、ISO/TS 12780-2、ISO/TS 12781-1、ISO/TS 12780-2 分别对圆柱度、圆度、直线度、平面度评定的术语、参数和规范操作算子(specification operators,规范操作集)进行了规定。

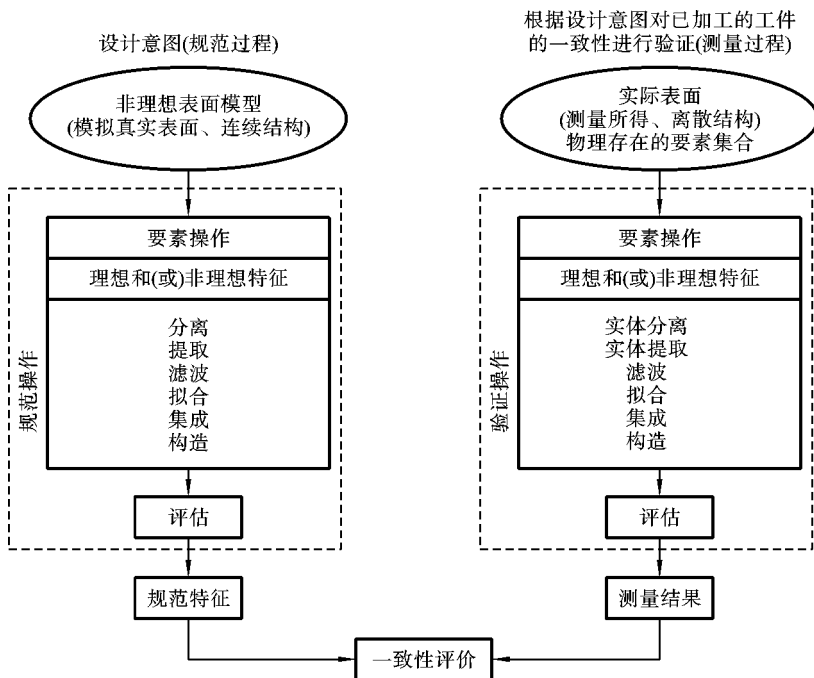


图 1-2 GPS 系统的对偶性原理及操作技术

4) 操作算子的对偶性(共性操作技术)

规范操作算子由一系列对几何要素的规范操作组成,验证操作算子由一系列对几何要素的验证操作组成,两者具有对偶性的关系。操作算子为 GPS 从技术上提供了联系产品设计、制造、验证的量化操作纽带。基于对偶性的共性操作技术有效地解决了产品在功能描述、规范设计、检验评定过程中数学表达统一规范的难题,对于实现并行工程在 GPS 领域中的应用有着重要的意义。