



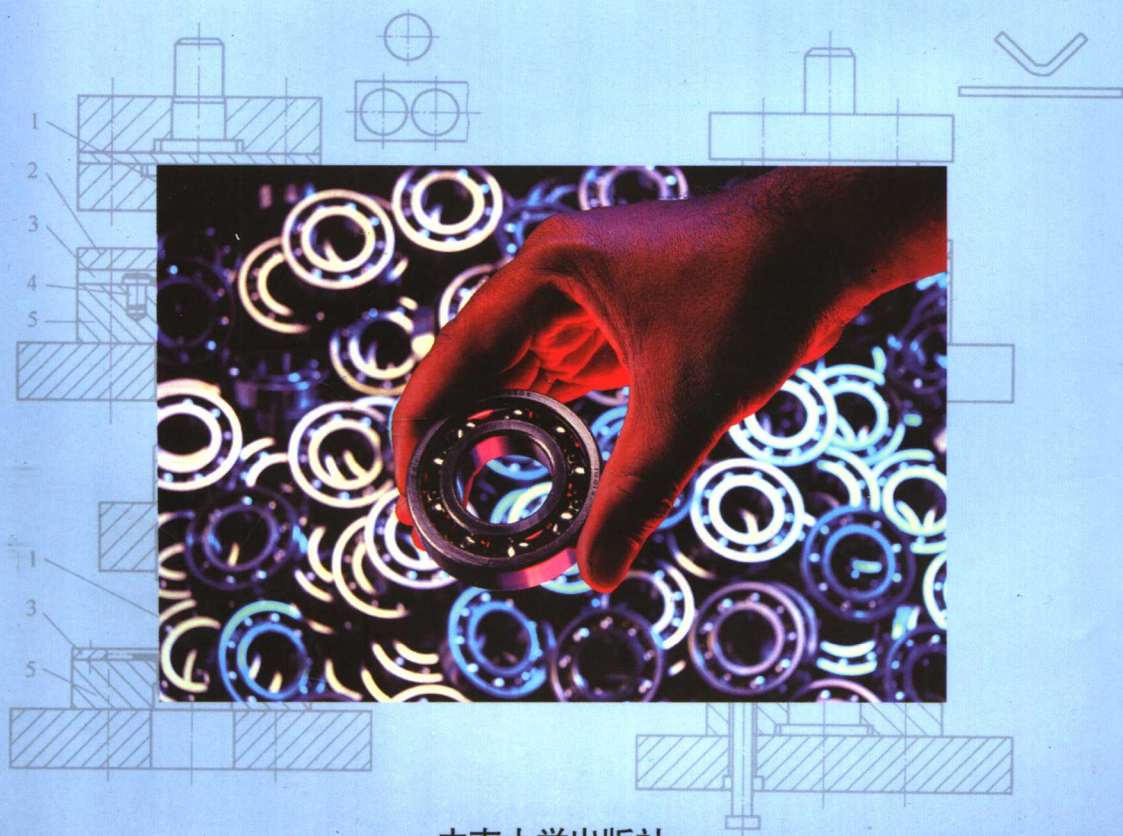
高等职业教育机电类专业规划教材
国家技能型紧缺人才培养教材

极限配合与技术测量

JIXIAN PEIHE YU JISHU CELIANG

高等职业教育机电类专业教学研究会 组编

主编：焦建雄 李 琴 副主编：赵小丽 主审：陈海辉



中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

极限配合与技术测量/焦建雄,李琴主编. —长沙:中南大学出版社,2007.3

ISBN 978-7-81105-492-7

I. 极... II. ①焦... ②李... III. ①公差:配合②技术测量
IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 041294 号

极限配合与技术测量

主 编 焦建雄 李 琴

副主编 赵小丽

☐责任编辑 谭 平

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 湖南航天长宇印刷有限责任公司

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 14.5 ☐字数 363 千字

☐版 次 2007 年 4 月第 1 版 ☐2007 年 4 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-492-7

☐定 价 22.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

前 言

《极限配合与技术测量基础》是职业技术教育院校机械类、近机类和仪器仪表类各专业的一门重要技术基础课。本课程研究机械制造中的加工误差、互换性原理和几何量的检测,为学生继续学习机械设计、制造、维护、测量、管理打下理论基础。为适应 21 世纪对工程学科职业技术人才的需求,根据机械基础课程体系改革精神,我们在总结多处年来教学改革与实践经验的基础上,编写了本教材。

本书在编写过程中,参考了已出版的同类教材,融入了编者多年的教学经验,具有如下特点:

1. 书中全部采用最新的国家标准,对传统的《互换性与测量技术基础》内容进行了精选,并增加了新知识内容,如现代制造精度保证和检测基本知识,以体现教材的系统性和先进性。
2. 取材新颖,理论联系实际,结构紧凑,文字精炼,特别强调了机械精度检测技术这一主题,突出了职业技术教育的特色。
3. 内容安排遵循由浅入深,循序渐近的认知规律,具有较强的系统性、准确性和逻辑性。
4. 适用面广。既可作为高职专科、中职中专教育用教材,也可供广大工程技术人员在从事机械设计、制造、标准化和计量检测工作时参考。
5. 为了突出重点,理顺难点,使学生能够较好地巩固和理解所学内容,除在每章后均附有习题外,还选编了部分思考题供教学参考。

本书由湖南化工职业技术学院焦建雄、李琴任主编,赵小丽任副主编。具体写作为:李琴(第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 6 章),焦建雄(第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 10 章),赵小丽(第 7 章、第 8 章、第 9 章),承蒙南华大学机械工程学院陈海辉教授主审。

由于编者水平所限,书中难免存在错误和不当之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2007 年 3 月

目 录

第1章 互换性与标准化的基本概念	(1)
1.1 互换性的意义与作用	(1)
1.2 加工误差和公差	(2)
1.3 标准化与几何量测量	(3)
1.4 优先数和优先数系	(5)
第2章 光滑圆柱体结合的极限与配合	(7)
2.1 概述	(7)
2.2 极限与配合的基本术语及定义	(7)
2.3 常用尺寸孔轴的极限与配合	(17)
2.4 常用尺寸段极限与配合的选择	(30)
2.5 大尺寸段的极限与配合	(41)
2.6 线性尺寸的一般公差	(43)
第3章 形状和位置公差	(47)
3.1 概述	(47)
3.2 形位公差的代号及标注	(51)
3.3 形状公差和形状误差	(58)
3.4 位置公差和位置误差	(63)
3.5 公差原则	(80)
3.6 形位公差的等级与公差值	(92)
第4章 尺寸链基础	(102)
4.1 概述	(102)
4.2 尺寸链的建立与分析	(104)
4.3 用完全互换法解尺寸链	(106)
4.4 用大数互换法解大数尺寸链	(110)
4.5 用其他方法解装配尺寸链	(114)
第5章 表面粗糙度及选用	(120)
5.1 概述	(120)

5.2	表面粗糙度的评定	(121)
5.3	表面粗糙度值的选用	(125)
5.4	表面粗糙度符号、代号及其标注	(130)
第6章	精度检测技术基础	(137)
6.1	精度检测基本知识	(137)
6.2	测量器具与测量方法	(145)
6.3	测量误差与数据处理	(150)
6.4	新技术在长度计量中的应用	(156)
第7章	长度尺寸的检测	(163)
7.1	用普通计量器具检测光滑工件	(163)
7.2	光滑极限量规	(169)
7.3	长度尺寸测量常用工具	(175)
7.4	长度尺寸测量常用仪器	(179)
7.5	圆柱尺寸的测量	(185)
第8章	角度和锥度检测	(192)
8.1	测量角度的常用计量器具	(192)
8.2	角度测量方法	(195)
第9章	形位误差的检测	(200)
9.1	评定准则	(200)
9.2	形状误差的检测	(201)
9.3	位置误差的检测	(210)
9.4	跳动误差的检测	(212)
第10章	表面粗糙度的检测	(217)
10.1	测量仪器	(217)
10.2	检测方法	(221)
参考文献		(224)

第1章 互换性与标准化的基本概念

1.1 互换性的意义与作用

1.1.1 互换性的意义

互换性是机械制造、仪器仪表和其他许多工业生产中产品设计和制造的一个重要原则。在人们的日常生活中,就有大量的现象涉及互换性。如:日光灯的启辉器坏了,灯管不能发光,换上一个相同规格的好的启辉器,灯管就能正常发光。自行车、手表、缝纫机、汽车、拖拉机中某个零件坏了,都可以迅速换上一个新的,并且在更换与装配后,能很好地满足使用要求。之所以这样方便,是因为这些零件都具有互换性。

什么是互换性呢?在机械和仪器制造工业中,零、部件的互换性是指同一规格的一批合格零件或部件,在装配前,任取其中一件,不需任何挑选;装配时不需进行修配和调整;装配后能满足机器或仪器规定的使用性能要求。换句话说,机械零部件的互换性是指同一规格的零部件,按规定的技术要求制造,能够彼此相互替换使用而效果相同的一种特性。

1.1.2 互换性的种类

机械制造业中的互换性,通常包括几何参数互换性和功能互换性。所谓几何参数互换性是指零部件在尺寸大小、几何形状(宏观、微观),以及相互位置关系等方面所达到的互换性,又称狭义互换性,通常所说的互换性就是指这一种。功能互换性是指机器零部件在各种性能方面都达到互换性要求,如强度、刚度、硬度、使用寿命、抗腐蚀性、导电性等各种性能方面都能满足机器的功能要求,又称为广义互换性。本课程只研究几何参数的互换性。

按照零部件互换性的程度,互换性可分为:

1. 完全互换(绝对互换)

这是指同一规格的零部件,在装配或更换时,不需要挑选和修配,装配后就能满足使用要求的互换性。完全互换法适用于成批大量生产的标准零件,如螺钉、螺母、滚动轴承的内圈、齿轮等都具有完全互换性。

2. 不完全互换性(有限互换)

产品精度要求较高时,若采用完全互换,将使零件的尺寸公差较小,造成加工困难(甚至无法加工)或制造成本过高,生产率低。这时,生产中往往把零、部件的精度适当降低,以便于制造。待加工后,再根据实测尺寸的大小,将制成的相配零、部件分成若干组,使每组内零件之间的实际尺寸差别减小,装配时则按相应组进行。这样既解决了零部件的加工困难,又保证了装配的精度和使用要求。这种将零件仅仅在同组内互换,不同组不可互换,称为不完全互换或有限互换。

此外,对标准部件,互换性还可分为外互换和内互换。

标准部件与其他零部件的互换,称为外互换。如:滚动轴承内圈的内径与轴的配合;外圈外径与轴承座孔的配合。

组成标准部件的零件的互换称为内互换。例如滚动轴承内圈滚道直径、外圈滚道直径、保持架或滚动体等,都具有内互换。

通常滚动轴承的外互换采用完全互换,而内互换由于组成零件的精度要求较高,应采用不完全互换(分组互换)。

1.1.3 互换性的作用

互换性原则广泛用于机械制造中,在产品的设计、制造、装配、使用 and 维修等方面有着极其重要的作用。

1. 从使用方面看,由于零部件具有互换性,当零部件磨损时,可方便地用备用件替换,可缩短修理时间,节约修理费用,提高修理质量,延长使用寿命。如人们经常使用的自行车和手表的零件,生产中使用的各种设备的零件等,当它们损坏以后,修理人员很快就可以用同样规格的零件换上,恢复自行车、手表和设备的功能。而在某些情况下,互换性所起的作用还很难用价值来衡量。例如在战场上,要立即排除武器装备的故障,继续战斗,这时零部件的互换性是绝对必要的。

2. 从制造方面来看,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,不需辅助加工和修配,故能减轻装配工人的劳动强度,缩短装配周期,并且可使装配工人按流水作业方式进行工作,以至进行自动装配,从而大大提高工作效率。加工时,由于规定有公差,同一部机器上的各种零件可以同时加工。用量大的标准件还可以由专门车间、工厂单独生产。这样就可以采用高效率的专用设备,乃至采用计算机辅助加工。这样,产量和质量必然会得到提高,成本也会显著降低。

3. 从设计方面看,按互换性进行设计,就可以最大限度地采用标准件、通用件。如滚动轴承、螺钉、销钉、键等,大大减少计算、绘图等工作量,使设计简便,缩短设计周期,并有利于产品品种的多样化和计算机辅助设计,有利于开发系列产品,不断地改善产品结构、提高产品性能。

综上所述,在机械制造中,遵循互换性原则,不仅能大大提高劳动生产率,而且能有效保证产品质量和降低成本。互换性生产是随着产品大批量生产的需求逐步发展和完善起来的。随着数控技术和计算机技术的不断发展,机械制造方式由传统的生产方式向现代化的生产方式转化,在多品种、小批量生产中,互换性的应用也越来越广泛。所以,互换性原则已成为现代机械制造业中一个重要的技术经济原则。

1.2 加工误差和公差

要保证零件的互换性,理论上就必须保证零件的几何参数的准确性。但是,零件在加工的过程中,由于机床精度、计量器具精度、操作工人技术水平及生产环境等诸多因素的影响,其加工后得到的几何参数会不可避免地偏离设计时的理想要求而产生误差。这种误差称为零件的几何量误差。几何量误差主要包括:尺寸误差、形状误差、位置误差和表面微观形状误

差(表面粗糙度)等。

零件具有几何量误差后还能否保证零件的互换性呢?实践证明,虽然零件的几何误差可能会影响到零件的使用性能,但只要将这些误差控制在一定的范围内,则零件的使用性能和互换性都能得到保证。为了控制几何量误差,提出了“公差”的概念。所谓公差是指零件几何参数允许的变动量,它包括尺寸公差、形状公差、位置公差等。若零件的误差在公差范围内,则为合格件;若超出了公差范围,则为不合格件。

误差是加工过程中产生的,公差是允许实际参数值的最大变动量,也可以说是允许的最大误差,这个值是由设计人员根据工作的要求给定的。正确地规定公差,并把它在图样上明确表示出来是设计者的主要任务。在满足使用功能要求的前提下,公差应尽量规定得大些,以方便制造和获得最佳的技术经济效益。

1.3 标准化与几何量测量

1.3.1 标准和标准化

为了适应现代工业大规模生产中各部门的协调、各生产环节中的衔接,必须有一种切实可行的手段使分散的、局部的生产部门和生产环节保持技术的统一,成为一个有机的整体,以实现互换性生产。标准和标准化就是联系这种关系的主要途径和手段。

1. 标准

标准是指对重复性事物和概念所作的统一规定,它以科学、技术和实践经验的综合成果为基础,经有关方面协商一致,由主管机构批准,以特定形式发布,作为共同遵守的准则和依据。简单的说,标准是规范技术要求的法规,是指为产品和工程的技术质量、规格及其检验方法等方面所作的技术规定,是从事生产建设工作的共同技术依据。

标准的建立必须以科学技术和实践经验作为依据,在充分协商的基础上,对生产技术活动中的要求,以特定程序、特定形式颁发统一的规定,在一定的范围内作为共同遵守的技术准则,在生产的实践中,还应根据客观情况的变化,不断地修订和完善标准。

2. 标准化

标准化是指标准的制定、发布和贯彻实施的全部活动过程,包括从调查标准化对象开始,经试验、分析和综合归纳,进而制定和贯彻标准,以后还要修订标准,等等。可见,标准化不是一个孤立的概念,而是一个包括制定、贯彻、修订标准、循环往复、不断提高的过程。在此过程中,贯彻标准是核心环节。在现代化生产中,标准化是一项重要的技术措施。

标准是保证互换性的基础,标准化是实现互换性生产的前提。从内容上讲,标准化涉及的范围极其广泛,因此,标准种类繁多。

3. 标准种类

(1)按对象的特性,标准分为:

①基础标准:指生产技术活动中最基本的、最具广泛指导意义的标准。这类标准具有最一般的共性,因而是通用性最强的标准。如机械制图、法定计量单位、优先数系、表面粗糙度、极限与配合等标准。本课程涉及的标准主要是基础标准。

②产品标准:以产品的类型、尺寸、主要性能参数、质量指标、验收规则、包装、运输、

使用、储存等制定的标准。

③方法标准：对试验、检验、分析、统计、测量等对象所制定的标准。如机械零件的测量方法、药品成分的检验方法等标准。

④安全卫生与环保标准：指关于技术设备、人身安全、卫生、环保等方面的标准。

(2)按照标准的级别，将标准分为：

①国家标准(GB)：指由国家标准化主管机构批准、发布，在全国范围内统一的标准。

②专业标准(原部颁标准或行业标准)：指由专业标准化主管机构或专业标准化组织批准、发布，在某一专业范围内统一的标准。如原机械工业部的机械标准(JB)、原轻工业部的轻工标准(QB)等。

③企业标准：指由企业或其上级有关机构批准发布的标准。

专业标准和企业标准都不得与国家标准相抵触，企业标准不得与专业标准相抵触。此外，从国际范围看，还有国际标准(ISO)与区域性标准。我国政府十分重视标准化工作，自1978年我国恢复为国际标准化组织成员国以来，陆续修订了我国的标准，并以国际标准为基础制定新的公差标准，向ISO组织靠拢。

1.3.2 几何量的测量

制定和贯彻公差标准是实现互换性的基础，但要保证互换性在生产实践中的实现还必须要有相应的技术测量措施。制定公差的目的就是为了控制误差。通过测量，如果零件的几何参数误差控制在规定的公差范围内，则此零件合格，能满足互换性要求；反之，误差超过公差范围，零件就不合格，也就不能达到互换的目的。因此，对零件的正确测量是保证互换性生产的一种重要手段。

几何量测量在我国具有悠久的历史。早在秦朝，我国已统一了度量衡制度。到了西汉，已制成铜质的卡尺。1955年我国成立了国家计量局，以加强全国计量工作的领导；1959年国务院发布了《关于统一计量制度》的命令，正式采用国际米制作为我国的基本长度计量单位；1977年国务院颁布了《中华人民共和国计量管理条例》，健全了各级计量机构和长度量值传递系统，保证了全国计量单位的统一；1984年发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》；1985年颁布了《中华人民共和国计量法》。这样，在国家、省、市、企业各级计量机构管理下，我国的长度计量单位已基本得到统一，为保证测量结果的准确可靠奠定了基础。

与此同时，我国的计量器具也有了较大发展。如长度计量仪的精度已由0.01mm级提高到0.001mm级，甚至达到0.0001mm级；测量的尺寸小至微米级，大至米级；测量的自动化程度已由人工读数测量发展到自动定位测量、计算机处理数据、自动打印结果；测量的空间由二维发展到三维。

我国目前已能生产许多品种的测量仪，如万能工具显微镜、万能渐开线检查仪、半自动齿轮齿距检查仪、电动轮廓仪、圆度仪等。此外，一些达到世界先进水平的测量仪器也在不断研制，如激光光波干涉测长仪、激光丝杠动态检查仪、光栅式齿轮整体误差测量仪等，以满足我国工业生产日益增长的需要。

1.4 优先数和优先数系

产品无论在设计制造还是在使用中,其规格、零件尺寸大小、公差大小、工作环境及所用设备、刀具、量具的尺寸等性能与几何参数,都要用数值表示。工程上,这些技术参数数值的选取不可随意,不然会造成产品规格繁多杂乱,直接影响生产过程、产品质量及生产成本。因此对产品技术参数必须进行合理分档、分级,对产品技术参数进行简化、协调统一,即必须采用科学、统一的数值标准。

优先数和优先数系就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的一种科学的数值制度。

工程技术上通常采用的优先数系,是一种十进制等比数列的几何级数。即级数的各项数值中包括:1, 10, 100, ..., 10^N 和 0.1, 0.01, 0.001..., $1/10^N$ 这些数,其中指数 N 为整数。国家标准规定按五个公比(分别用符号 R5、R10、R20、R40、R80 表示)形成五个优先数系,对每个十进段再进行细分。五个优先数系公比见表 1-1。

表 1-1 优先数系的公比

优先数系	公比	优先数系	公比
R5	$q_5 = \sqrt[5]{10} = 1.5849 \approx 1.6$	R10	$q_{10} = \sqrt[10]{10} = 1.2589 \approx 1.25$
R20	$q_{20} = \sqrt[20]{10} = 1.1220 \approx 1.12$	R40	$q_{40} = \sqrt[40]{10} = 1.0593 \approx 1.06$
R80	$q_{80} = \sqrt[80]{10} = 1.0293 \approx 1.03$		

其中 R80 系列称为补充系列。

设计使用时,必须选择优先数系列中的某一项值。如在 1~10 区间按 R5 系列可选 1.6, 2.5, 4.0, 6.3, 10 五个优先数;R5 系列中插入比例中项 1.25,即可得到 R10 系列;R5 系列的各项数值包含在 R10 系列之中。同理,R10 系列的各项数值包含在 R20 的各项系列之中,R20 系列的各项数值包含在 R40 的各项系列之中,R40 系列的各项数值包含在 R80 的各项系列之中(见表 1-2)。实际应用时,按 R5、R10、R20、R40 和 R80 的顺序依次选用。当基本系列和补充系列满足不了使用要求时,可以采用派生系列。

优先数系在各种标准中应用很广。例如在大于 500~3150 尺寸段的公差标准尺寸分段中,就采用了 R10 优先数系列,即它们的取值是:500、630、800、1000、1250、1600、2000、2500、3150,即每后一个数大约是前一个数的 1.25 倍。

优先数的理论值一般都是无理数,实际应用时有困难。表 1-2 中的计算值为五位有效数,可作为工程上精确的计算。对计算值作圆整,保留三位有效数的称为常用值,即优先数中优先的含义。在产品设计和制造中,对主要尺寸和参数必须采用优先数。采用优先数系可使制造业以较少、合理的产品和规格,经济而合理地满足用户各种要求;而且也适宜制定标准,适宜标准制定前的规划、设计等工作,从而引导产品品种的发展进入科学的标准化轨道。

范围 1 到 10 的优先数系见表 1-2,所有大于 10 的优先数均可按表列数乘以 10, 100, ... 求得;所有小于 1 的优先数,均可按表列数乘以 0.1, 0.01, ... 求得。

表 1-2 优先数系各基本系列的常用值 (摘自 GB/T321—2005)

R5	1.00		1.60		2.50		4.00		6.30		10.00
R10	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00	10.00
R20	1.00	1.12	1.25	1.40	1.60	1.80	2.00	2.24	2.50	2.80	3.15
	3.55	4.00	4.50	5.00	5.60	6.30	7.10	8.00	9.00	10.00	
R40	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80
	1.90	2.00	2.12	2.24	2.36	2.50	2.65	2.80	3.00	3.15	3.35
	3.55	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.30	5.60	6.00	6.30
	6.70	7.10	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.00			

习题

1-1 填空题

1. 互换性表现为对产品零部件在装配过程中的要求是：装配前_____，装配中_____，装配后_____。
2. 互换性按其互换程度可分为_____和_____两类。
3. 影响零件互换的几何参数是_____误差、_____误差、_____误差和表面粗糙度。
4. 从零件的功能看，不要求零件制造得_____，只要求在某一规定范围内变动，该允许变动的范围叫做_____。
5. 1.6 为优先数系_____系列的公比，这个系列中的优先数每逢_____个，数值增加 10 倍。

1-2 判断题

1. 互换性要求零件按一个指定的尺寸制造。()
2. 零件的互换性程度越高越好。()
3. 当零部件的装配精度要求很高时，宜采用不完全互换生产。()
4. 有了公差标准，就能保证零件具有互换性。()
5. 完全互换的装配效率必高于不完全互换。()
6. 对大批量生产的同规格零件要求有互换性，单件生产则不必遵循互换性原则。()
7. 对小批外协件在预先指定的部位进行辅助加工，以达到装配精度要求，该批零件同样具有互换性。()
8. 为使零件的几何参数具有互换性，必须把零件的加工误差控制在给定的范围内。()

1-3 思考题

1. 在机械制造中按互换性原则组织生产有何优越性？
2. 为什么要规定公差？公差的大小与技术经济效益有何联系？
3. 何谓标准化？标准化有何重要意义？
4. 什么是优先数系？市场上一般可以选购到 15W、25W、40W、60W、100W 的白炽灯泡，试解释此现象。
5. 检测的目的与作用是什么？

第2章 光滑圆柱体结合的极限与配合

2.1 概 述

光滑圆柱体结合(即通常的孔与轴的结合)是机械中应用最广泛的一种结合形式。对这种结合形式所规定的《极限与配合》标准,不仅适用于光滑圆柱面,还适用于零件上其他表面(如两平行平面或切面)与结构(如键联接),因而是一项应用广泛的重要基础标准。

1979年我国颁布的《公差与配合》国家标准包括五个标准:GB1800-1979《公差与配合总论 标准公差与基本偏差》;GB1801-1979《公差与配合 尺寸至500mm孔、轴公差带与配合》;GB1802-1979《公差与配合 尺寸大于500mm至3150mm常用孔、轴公差带》;GB1803-1979《公差与配合 尺寸至18mm孔、轴公差带》;GB1804-1979《公差与配合 未注公差尺寸的极限偏差》;为了适应新形势发展的需要,使公差与配合的国家标准能更好地与国际标准接轨,并考虑到国际标准的修订,我国先后对1979年颁发的公差与配合的标准进行了较大幅度的修订。1992年对GB1804进行了修订,修订后的标准为GB/T 1804-1992《一般公差线性尺寸的未注公差》,1997年至1998年对GB1800-1979进行了修改,修订后的GB/T 1800在《极限与配合基础》主标题下,由以下三部分标准组成:GB/T 1800.1-1997《极限与配合 基础 第1部分:词汇》;GB/T 1800.2-1998《极限与配合 基础 第2部分:公差、偏差和配合的基本规定》;GB/T 1800.3-1998《极限与配合 基础 第3部分:标准公差与基本偏差数值表词汇》。1999年又制定了GB/T 1800.4-1999《极限与配合 标准公差等级和孔、轴的极限偏差表》;GB/T 1801-1999《极限与配合 公差带和配合的选择》;还有2000年的GB/T 1804-2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》,2003年的GB/T 1803-2003《极限与配合 尺寸至18mm孔、轴公差带》等。

本章仅就以上国家标准的主要内容作一简要介绍,主要阐述极限与配合国家标准的组成规律、特点及基本内容,并分析极限与配合选用的原则与方法。

2.2 极限与配合的基本术语及定义

为了正确掌握极限与配合标准及其应用,统一设计、工艺、检验等人员对极限与配合标准的理解,必须明确规定有关极限与配合的基本概念、术语及定义。

2.2.1 孔和轴

1. 孔

通常孔是指工件的圆柱形内表面,也包括非圆柱形内表面(两平行平面或切面形成的包容面),如图2-1(a)所示。

2. 轴

通常轴是指工件的圆柱形外表面,也包括非圆柱形外表面(由两平行平面或切面形成的被包容面),如图2-1(b)所示。

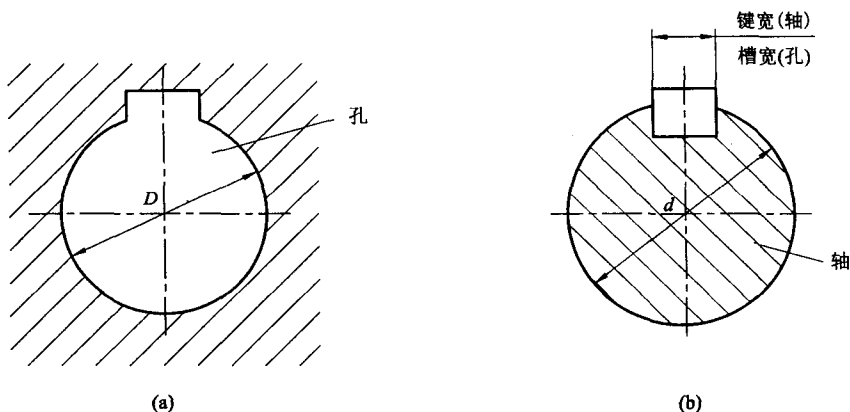


图2-1 孔、轴示意图

这里孔和轴是广义的,就其特性来讲,孔是包容面(尺寸之间是空的),在加工过程中,孔的尺寸由小变大;轴是被包容面(尺寸之间是实的),随着余量的切削,轴的尺寸则是由大变小。

2.2.2 尺寸

1. 尺寸的定义

以特定单位表示线性尺寸值的数值,称为尺寸。在机械零件中线性尺寸值包括直径、半径、长度、宽度、高度和中心距等。由尺寸的定义可知,尺寸由数值和特定单位两部分组成,如100mm, 50 μ m(微米)等。在机械制造中,一般常用毫米(mm)作为特定单位。在图样上标注尺寸时,用mm作单位可只标注数字,不标注单位。采用其他单位时,则必须在数值后注写单位。

2. 基本尺寸

基本尺寸是设计给定的尺寸。用 D 和 d 分别表示孔、轴的基本尺寸。标准规定:表示有关孔的代号用大写字母,表示有关轴的代号用小写字母。

基本尺寸一般应符合标准尺寸系列,以减少定值刀具(如钻头、铣刀)、量具(如量规等)的种类。它可以是一个整数或小数,它是根据零件的强度、刚度等使用要求,计算出的或通过试验和类比方法而确定的,并从相关标准表格中查取的标准值。图样上标注的 $\phi 25^{+0.025}_0$ 、 25 、 $25^{+0.010}_{-0.003}$ 中的25,都是基本尺寸。

由于有制造误差,而且在不同场合对孔与轴的配合有不同的松紧要求,因此工件加工完成后所得的实际尺寸一般不等于其基本尺寸。

3. 实际尺寸

实际尺寸是通过测量所得的孔、轴尺寸。孔的实际尺寸用 D_a 表示,轴的实际尺寸用 d_a 表示。

按同一图纸要求所加工的各个零件,其实际尺寸往往是不相同的,这是由于有加工误差和测量误差存在,所以实际尺寸并非被测尺寸的真实值。例如:如测得轴的尺寸为 $\phi 30.345\text{mm}$,测量误差在 $\pm 0.002\text{mm}$ 以内,则实际尺寸的真值将在 $\phi 30.343\text{mm}$ 至 $\phi 30.347\text{mm}$ 之间。一般来说,被测尺寸真值是客观存在的,但却是不可确切获知的。因此,人们只能通过测量得到它的近似值,即实际尺寸。此外,由于存在着形状误差,所以同一个表面不同部位的实际尺寸也不完全相同。

4. 极限尺寸

允许尺寸变化的两个界限值称为极限尺寸。它以基本尺寸为基数来确定,实际尺寸应位于极限尺寸之间,也可达到极限尺寸。两个界限尺寸中较大的一个称为最大极限尺寸,较小的一个称为最小极限尺寸。孔和轴的最大、最小极限尺寸分别用 $D_{\max}$ 、 $d_{\max}$ 和 $D_{\min}$ 、 $d_{\min}$ 表示。

基本尺寸和极限尺寸都是设计者在设计时给定的。在机械加工中,由于机床、刀具、量具等各种因素而形成的加工误差的存在,要把同一规格的零件加工成绝对相同的尺寸是不可能的,也是不必要的,只要把零件的实际尺寸控制在这个极限范围之内,则零件都是合格的,否则,零件不合格。

2.2.3 偏差与公差

1. 偏差

偏差是指某一尺寸(实际尺寸、极限尺寸等)减其基本尺寸所得的代数差。它分为极限偏差和实际偏差,而极限偏差又分为上偏差和下偏差。

(1) 极限偏差

极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为极限偏差。其中,最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差,称为上偏差;最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差,称为下偏差。国家标准规定:孔的上、下偏差代号用ES、EI表示,轴的上、下偏差代号用es、ei表示。由极限偏差的定义,有

$$ES = D_{\max} - D \quad (2-1)$$

$$EI = D_{\min} - D \quad (2-2)$$

$$es = d_{\max} - d \quad (2-3)$$

$$ei = d_{\min} - d \quad (2-4)$$

(2) 实际偏差

实际尺寸减去基本尺寸所得的代数差称为实际偏差。孔和轴的实际偏差分别用 E_a 和 e_a 表示。实际偏差可用下列公式表示:

$$E_a = D_a - D \quad (2-5)$$

$$e_a = d_a - d \quad (2-6)$$

由于极限偏差是用代数差来定义的,而极限尺寸可能大于、小于或等于基本尺寸,所以极限偏差可以为正值、负值或零值,因此,在计算和使用中一定不能遗漏极限偏差的正负号。在图样或技术文件上标注极限偏差数值时,按照国标规定:上偏差应标在基本尺寸的右上角,下偏差应标在基本尺寸的右下角,如 $\phi 30^{+0.015}_{-0.002}$ 。当上下偏差数值相等而符号相反时,可简化标注,如标注为: $\phi 30 \pm 0.002$ 。特别要注意的是当偏差为零值时,必须在相应的位置上标注“0”,而不能省略,如: $\phi 30^{0}_{-0.002}$ 、 $\phi 30^{+0.01}_{0}$ 。

【例 2-1】设计一轴，其直径的基本尺寸为 $\phi 80\text{mm}$ ，最大极限尺寸为 $\phi 80.005\text{mm}$ ，最小极限尺寸为 $\phi 79.992\text{mm}$ ，求轴的上、下偏差。

解：由公式(2-3)、公式(2-4)可知，轴的上、下偏差分别为：

$$es = d_{\max} - d = 80.005 - 80 = +0.005(\text{mm})$$

$$ei = d_{\min} - d = 79.992 - 80 = -0.008(\text{mm})$$

【例 2-2】设计一孔，其直径的基本尺寸为 $\phi 90\text{mm}$ ，最大极限尺寸为 $\phi 89.998\text{mm}$ ，最小极限尺寸为 $\phi 89.992\text{mm}$ ，求孔的上、下偏差。

解：由公式(2-1)、公式(2-2)可知，孔的上、下偏差为：

$$ES = D_{\max} - D = 89.998 - 90 = -0.002(\text{mm})$$

$$EI = D_{\min} - D = 89.992 - 90 = -0.008(\text{mm})$$

2. 尺寸公差(简称公差)

允许尺寸的变动量称为公差。尺寸公差是最大极限尺寸减最小极限尺寸之差，或上偏差减下偏差之差。公差是用来限制尺寸误差的。实际上，它是设计者设计时根据零件的精度要求并考虑加工时的经济性能，对尺寸的变动范围给定的允许值。孔和轴的公差分别用 T_D 和 T_d 表示，其计算公式为：

$$T_D = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \quad (2-7)$$

$$T_d = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \quad (2-8)$$

应当指出，公差与偏差是两个不同的概念。公差与偏差的比较：

(1)公差用绝对值来定义只能是正值，不能为负，同时因加工误差不可避免，即零件的实际尺寸总是变动的，所以公差也不能为零；而偏差可以为正值、负值或零。

(2)公差表示制造精度的要求，反映加工的难易程度(基本尺寸相同的零件，公差越小，加工精度要求越高，制造越困难，反之越容易)；偏差取决于加工机床的调整(如车削时进刀的位置)，不反映加工难易。

(3)公差代表公差带大小，影响配合的精度；而偏差表示与基本尺寸偏离的程度，主要反映公差带位置，影响配合松紧程度。

基本尺寸、极限尺寸、极限偏差及公差之间的相互关系如图 2-2 所示。

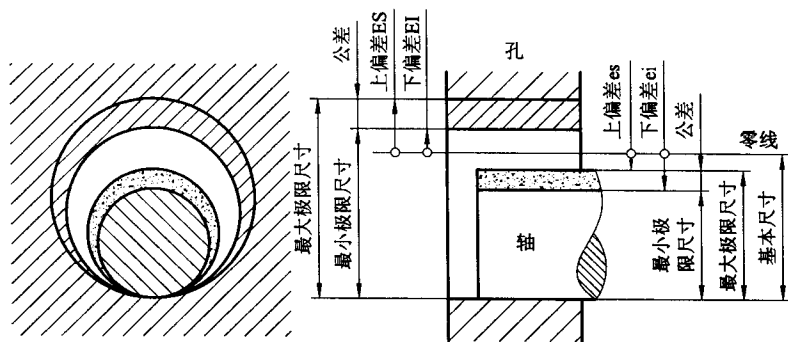


图 2-2 极限与配合示意图

【例2-3】求轴 $\phi 25_{-0.020}^{-0.007}\text{mm}$ 的尺寸公差。

解：利用公式(2-8)进行计算，可得：

$$T_d = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| = |(-0.007) - (-0.020)| = 0.013(\text{mm})$$

【例2-4】求孔 $\phi 40_{+0.020}^{+0.104}\text{mm}$ 的尺寸公差。

解：利用公式(2-7)进行计算，可得：

$$T_D = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| = |0.104 - 0.020| = 0.084(\text{mm})$$

2.2.4 零线与公差带图

1. 公差带图

由于公差及偏差的数值比基本尺寸的数值小得多，不使用同一比例表示。因此，如果只为了表明基本尺寸与其极限偏差及公差之间的关系，可以不必画出孔、轴的全形，而只将公差数值放大，采用简单、明了的示意图表示，这种示意图就叫做公差带图，如图2-3所示。公差带图由两部分组成：零线和公差带。公差带图解可清楚地表示尺寸、偏差和公差的关系，是一个非常有用的工具。

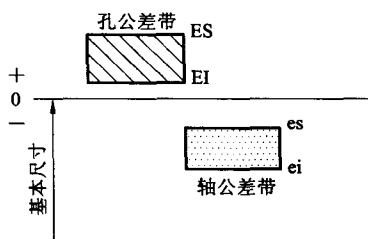


图 2-3 公差带图

2. 零线

零线是指在公差带图中，确定偏差的一条基准直线，即基本尺寸所指的线，是偏差的起始线。通常，零线沿水平方向绘制，零线上方为正偏差区，零线下方为负偏差区。在画公差带图时，应如图2-3所示标注符号“ $\begin{smallmatrix} + \\ 0 \\ - \end{smallmatrix}$ ”和基本尺寸线。

3. 公差带

在公差带图解中，由代表上偏差和下偏差或最大极限尺寸和最小极限尺寸的两条直线所限定的一个区域称为公差带。公差带包括两个要素：“公差带大小”和“公差带位置”。“公差带大小”即图中沿垂直于零线方向计量的公差带宽度，它由标准公差确定。“公差带位置”由基本偏差确定。国家标准对这两个要素分别进行了标准化。

在同一个公差带图中，孔、轴公差带的位置、大小应采用相同的比例，并用适当的方式加以区别。图中通常约定：偏差及公差的单位是 μm ，基本尺寸的单位是 mm ，孔公差带用斜线表示，轴公差带用网点表示。

【例2-5】已知基本尺寸 $D = d = 30\text{mm}$ ，孔的极限尺寸 $D_{\max} = 30.012\text{mm}$ ， $D_{\min} = 30.000\text{mm}$ ，轴的极限尺寸 $d_{\max} = 29.980$ ， $d_{\min} = 29.967\text{mm}$ 。求孔和轴的极限偏差及公差。

解：

孔的上偏差

$$ES = D_{\max} - D = 30.012 - 30 = +0.012(\text{mm}) = +12(\mu\text{m})$$

孔的下偏差

$$EI = D_{\min} - D = 30.000 - 30 = 0(\mu\text{m})$$

轴的上偏差

$$es = d_{\max} - d = 29.980 - 30 = -0.020\text{mm} = -20\mu\text{m}$$

轴的下偏差

$$ei = d_{\min} - d = 29.967 - 30 = -0.033\text{mm} = -33\mu\text{m}$$

孔的公差

$$T_D = |D_{\max} - D_{\min}| = |30.021 - 30.000| = 0.021\text{mm} = 21\mu\text{m}$$

或

$$T_D = |ES - EI| = | +0.021 - 0 | = 0.021\text{mm} = 21\mu\text{m}$$

轴的公差

$$T_d = |d_{\max} - d_{\min}| = |29.980 - 29.967| = 13\mu\text{m}$$

或

$$T_d = |es - ei| = | -0.020 - (-0.033) | = 0.013\text{mm} = 13\mu\text{m}$$

公差带如图 2-4 所示。

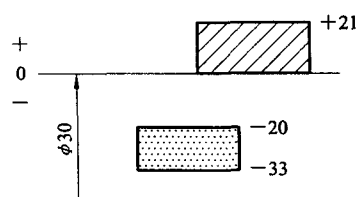


图 2-4 公差带图

2.2.5 极限制

极限制是指经标准化的公差与偏差制度。为了使公差带标准化, 国家标准《极限与配合》相应提出了标准公差和基本偏差两个术语, 后面章节将详细介绍。

2.2.6 有关“配合”的术语及定义

1. 配合

基本尺寸相同的, 相互结合的孔和轴的公差带之间的关系称为配合。上述定义说明, 相互配合的孔和轴其本尺寸应该是相同的。孔是包容面, 轴是被包容面。孔、轴装配后的松紧程度即装配的性质, 取决于相互配合的孔和轴公差带之间的关系。

2. 间隙与过盈

(1) 间隙

孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸其代数差为正值时叫做间隙, 用 X 表示, 如图 2-5(a) 所示。

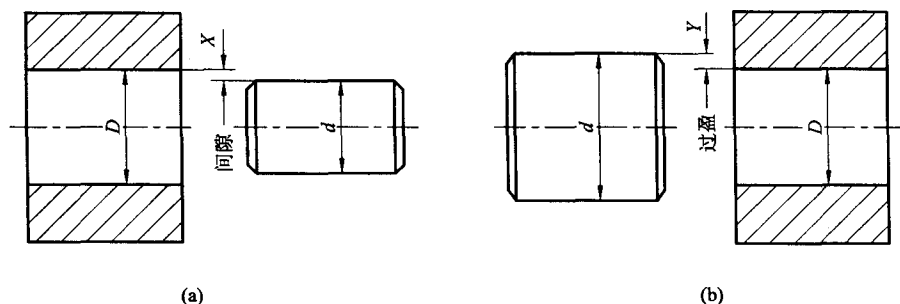


图 2-5 间隙或过盈