

高等学校适用

几何量精度 设计与检测

阎荫棠 主编

机械工业出版社

高等学校适用

几何量精度设计与检测

阎荫棠 主编



机械工业出版社

本书是为《互换性与测量技术基础》课程改革而编写的一本新体系教材。

本教材遵循“加强基础、突出应用、精炼内容、更新概念、调整体系、方便使用”的编写原则，依据全国高校本课程教学大纲的基本要求，以精度设计为主线，形成了集内容、习题、实验指导书与实验报告为一体的四合一新体系教材。

全书分绪论及上、中、下三篇。上篇为基础篇，包括尺寸精度、形位精度、表面粗糙度、圆锥与角度的精度和精度综合设计基础——尺寸链；中篇为机件篇，包括滚动轴承配合、键和花键联结、螺纹联接和渐开线圆柱齿轮的精度设计；下篇为检测篇，包括凡何量测量基础、零件尺寸的检测方式以及尺寸、形位、表面粗糙度、角度和锥度、螺纹和齿轮等各有关误差项目测量的实验及实验报告。每章均附有思考与练习题及有关公差表格。

本书可供高等院校机械类设计和制造有关专业师生在教学中使用，也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

几何量精度设计与检测/阎荫棠主编。—北京：机械工业出版社，1996
高等学校适用
ISBN 7-111-05067-3

I. 几… I. 阎… I. ①几何量-精度-设计②几何量-精度-检测 IV. TG806

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第00251号

出版人：马九荣（北京市百万庄南街1号 邮政编码100037）
责任编辑：荆宏智 版式设计：张世琴 责任校对：姚培新
封面设计：姚毅 责任印制：王国光
机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1996年8月第1版第1次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·17.75印张·434千字
0 001—5 000册
定价：19.80元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

前 言

《几何量精度设计与检测》课程是为探索《互换性与测量技术基础》课程改革而更名的一门课程。它是机械类各专业重要的专业性技术基础课。

从建国以来设立本课程至今,已形成了一套固有的观念和体系,但随着科学与生产技术的迅速发展,感到本课程确有必要改革。因为从机械产品的设计过程来看:一是总体设计,主要通过运动分析和计算,以确定产品的主要性能参数;二是结构设计,通过强度计算和刚度校核,绘制出结构装配图;三是几何量精度设计,考虑到产品性能要求和加工的经济性,以给出零部件的尺寸精度、形位精度和表面粗糙度等。所以,本课程是机械产品设计极其重要的组成部分。为此,经反复研究,决定将本课程更名为《几何量精度设计与检测》,在这个前提下,本教材的编写进行了一系列改革的探索。

以精度设计为主线,贯穿全书有关章节,按内容和性质,全书除绪论外共分上、中、下三篇:基础篇、机件篇和检测篇。基础篇中除包括尺寸精度、形位精度和表面粗糙度外,把圆锥与角度的精度、尺寸链也纳入其中,从而密切了章与章之间的必然联系和深入扩展的关系,构成了几何量精度设计较为完整的基础;将生产中常用的典型零部件:滚动轴承、键和花键、螺纹与齿轮列入机件篇,它们除应用基础篇的知识外,着重介绍它们各自的特性,以便于分清其共性和个性;将几何量测量的基础知识和尺寸、形位、表面粗糙度、角度和锥度、螺纹、齿轮等各项误差测量的基本知识、测量方法、测量步骤及相应的实验报告,均列入检测篇中,并推出了设计性与综合性实验方案,不仅便于组织教学,而且也集中体现出检测技术在本门课中的作用。上、中篇突出了精度设计的具体应用,下篇突出了对实验技能的培养,均力求源于生产实际,并充实和完善了实际应用的有关资料。在内容的处理上,既考虑应发挥教师授课的能动性,又考虑调动学生学习的积极性,力求言简意赅,抓住实质,以获取传授知识的良好效应。

本书由阎荫棠副教授主编,由全国高校“互换性与测量技术基础”研究会副理事长、全国高校《互换性与测量技术基础》教学指导小组副组长、西安交通大学赵卓贤教授主审。参加本书编写的有:阎荫棠编写绪论、第二、六、八、十、十一章,武充沛编写第四、五、七、九章,李秀玉编写第一、三章,王秀兰编写第十三、十五、十六、十八(第一节部分)章,吴明远编写第十七、十八(第二节)章,张发玉编写第十二、十四、十八(第一节部分)章。

本书在编写过程中得到了华中理工大学李柱教授、太原工业大学袁长良教授、东北大学李纯甫教授、洛阳工学院教务处的帮助和支持,谨在此一并予以致谢。

由于是进行改革的尝试,加之水平有限,教材中缺点和错误在所难免,欢迎读者批评指正。

编者

1995年10月

目 录

前言

绪论	1
----------	---

上篇 基础篇

第一章 尺寸精度	5
第一节 基本术语及定义	5
第二节 尺寸公差带标准化	11
第三节 尺寸精度设计	17
第四节 计算机辅助精度设计简介	26
附录	29
思考与练习题	35
第二章 形位精度	37
第一节 概述	37
第二节 形位公差的基本注法	39
第三节 形状公差及其特点	41
第四节 位置公差及其特点	43
第五节 公差原则	46
第六节 形位精度设计	53
附录	60
思考与练习题	63
第三章 表面粗糙度	66
第一节 表面粗糙度的概念	66
第二节 表面粗糙度的评定参数	66
第三节 表面粗糙度的应用	70
附录	74
思考与练习题	76
第四章 圆锥与角度的精度	77
第一节 概述	77
第二节 圆锥公差与配合	78
第三节 角度公差	83
附录	84
思考与练习题	86
第五章 精度综合设计基础—— 尺寸链	87
第一节 尺寸链的基本概念	87
第二节 尺寸链的建立	90

第三节 尺寸链的计算	94
第四节 统计尺寸公差	101
思考与练习题	104

中篇 机件篇

第六章 滚动轴承配合的精度设计	106
第一节 概述	106
第二节 滚动轴承精度与公差带	107
第三节 滚动轴承配合的精度设计	109
思考与练习题	115
第七章 键和花键联结的精度设计	116
第一节 平键联结的精度设计	116
第二节 矩形花键联结的精度设计	117
附录	121
思考与练习题	122
第八章 圆柱螺纹联接的精度设计	123
第一节 概述	123
第二节 保证螺纹几何精度的分析	124
第三节 普通螺纹的精度设计	127
第四节 机床梯形螺纹丝杠和螺母的 精度设计	131
附录	135
思考与练习题	139
第九章 渐开线圆柱齿轮的精度 设计	140
第一节 概述	140
第二节 齿轮精度和侧隙的评定指标	141
第三节 齿轮副精度和侧隙的评定指标	150
第四节 渐开线圆柱齿轮精度标准化	153
第五节 渐开线圆柱齿轮的精度设计	155
附录	165
思考与练习题	168

下篇 检测篇

第十章 几何量测量基础	170
第一节 概述	170

第二节 长度和角度计量单位及其 量值传递	171	第二节 实验 形位误差测量	215
第三节 计量器具和测量方法	174	第十四章 表面粗糙度检测	225
第四节 测量误差	178	第一节 概述	225
第五节 测量误差的综合	187	第二节 实验 表面粗糙度测量	226
附录	190	第十五章 角度和锥度的检测	232
思考与练习题	191	第一节 概述	232
第十一章 零件尺寸的检测方式	193	第二节 实验 圆锥测量	233
第一节 概述	193	第十六章 圆柱螺纹检测	236
第二节 计量器具的选择	194	第一节 概述	236
第三节 光滑极限量规设计	196	第二节 实验 圆柱螺纹测量	237
附录	199	第十七章 圆柱齿轮检测	244
思考与练习题	201	第一节 概述	244
第十二章 线性尺寸测量	202	第二节 实验 圆柱齿轮测量	245
第一节 概述	202	第十八章 综合性与设计性实验	267
第二节 常用计量器具	202	第一节 轴类和箱体类零件的 综合性检测	267
第三节 实验 轴、孔的测量	206	第二节 齿轮设计性实验简介	274
第十三章 形位误差检测	211	参考文献	278
第一节 概述	211		

绪 论

一、几何量精度的概念

产品的质量是企业的生命。质量的高低是由产品的精度决定的，而产品的精度，对于机械制造产品来讲，组成产品的机械零件和部件的几何量精度，是其极为重要的一个方面。

通俗地讲，几何量精度是指构成零件几何形体的尺寸、形状和位置精度以及表面的粗糙程度，即加工后它们的实际值与设计要求的理论值相一致的程度。该一致的程度是用加工后误差的大小反映的。当零件的形体一定时，误差大则精度低，误差小则精度高。众所周知，加工误差是零件经加工后客观存在着的，它可分为尺寸（线性尺寸和角度）、几何要素的形状和位置误差，表面的粗糙程度等。为了保证产品质量，就必须保证机械零件的加工精度，这就需要把各种加工误差限制在允许的范围内，即首先确定零件的几何量精度等级，方能给出合理的公差。按照精度设计要求，加工后的零件是否满足了设计的要求呢？还要通过检测来判断。当检测得到的加工误差小于或等于公差值时，零件判为合格，说明该零件的精度满足了设计要求。因此，几何量精度的高低是由公差值大小来体现的。那么，几何量精度究竟应该规定多高？怎样才能知道加工后的几何参数能否满足精度设计的要求呢？这就是本课程要完成的两大任务，即几何量的精度设计与检测。

二、精度设计应遵循的原则

1. 互换性原则

在当代机械设计与制造中，无论是大批量生产还是单件小批生产，零部件的几何量精度设计，都必须遵循互换性原则。它是进行精度设计的最基本原则。因此，必须对它有全面的认识。

互换性在人们的日常生活中都会遇到。如手表或自行车的某零件损坏了，只要换一件相同规格的零件，就可继续使用。这些零件就是具有了互换性。

所谓互换性是指某一产品（包括零件、部件或构件）与另一产品在尺寸、功能上能够彼此互相替换的性能。例如在拖拉机生产中，一台拖拉机有成千上万个零部件，是由许多车间和工厂分别生产的。在装配流水线上要把这些零部件，装配前不经过选择、修理和调整，装上海后就可满足拖拉机预定的使用性能要求，这就要遵循互换性原则。

在机械制造业中，遵循互换性原则，设计时便可采用通用化、系列化和标准化的零部件，可以大大缩短设计周期；制造时大量地选用标准化的刀、夹、量、辅具，组织专业化的生产，更易于实现生产的自动化；使用时一旦发现零部件损坏，取来备件，就可及时更换，从而保证了生产的连续性。可见，在产品的设计、制造和使用过程中遵循了互换性原则，就可以获得最佳的技术经济效益。

那么，怎样才能使产品具有互换性呢？这就要使产品在尺寸和功能上制造得充分一致，即首先必须正确地进行几何量精度设计，给出合理的公差。因此，互换性原则是进行几何量精度设计最基本的原则。

2. 标准化原则

设计人员不仅要在结构设计中最大限度地选用标准化的零部件和结构,在精度设计时还必须遵循有关标准,尤其是基础标准。即使是专用零部件或机构,设计时亦应考虑如何使之标准化的问题。因此,运用标准化成果,创造和发展标准化,已成为现代工业发展的必然趋势。下面就简述标准化的概念。

标准化就是指在经济、技术、科学及管理等社会实践中,对重复性的事物和概念,在一定范围内通过科学地简化、优选和协调,做出统一规定,经审批后颁布、实施,以获得最佳秩序和社会效益。可见,标准化已涉及到人类生活的各个方面。

在机械工业中,标准可分为基础标准、技术标准、管理标准和工作标准。其中基础标准是为保证产品结构功能与制造质量,一般工程技术人员必须应用的通用性标准,也是制定其他标准时可依据的标准。例如概念,单位,数系和技术通则,以及本教材所介绍的公差与配合,形状和位置公差标准等,都是产品设计和制造中必须采用的技术数据和工程语言,因此,也是几何量精度设计与检测的依据。

标准制定的范围不同,其级别也不一样。在全国范围内统一制定的称为国家标准(GB);在全国同一行业内制定的称为专业标准(ZB);在企业内部制定的称为企业标准(QB);当然,在国际范围内制定的称为国际标准(ISO、IEC等),ISO与IEC分别是国际标准化组织和国际电工委员会的缩写。ISO目前已发展为140多个国家参加,共有187个技术委员会,十多万名专家,从事全球各个领域内标准化工作的庞大机构,为促进现代科学技术的发展和人类生存的文明发挥着愈来愈明显的作用。

3. 优化原则

优化原则已经在设计产品结构和力学性能等方面得到了广泛的应用,成为推动科学技术向前发展的捷径。在几何量精度设计中,优化原则体现在公差(精度)优化,数值优化与优先选用等方面。

(1) 公差优化 公差优化已成为当今CAD、CAM及CAPP发展中的关键。为此,应从产品的结构、性能等设计要求、制造装配以及使用可靠性着手,以最低成本为落脚点,应用优化理论,使用计算机综合地模拟设计、制造、装配与使用的整个过程,进行公差值优化,从而获得最佳的精度设计。比如当前在精度等级的设计中,若一味追求高精度,虽然产品质量可得到保证,但成本会急剧地提高;若一味追求低精度,虽然成本可大大降低,但产品质量却不能保证。因此,为解决这种设计与制造,质量与成本之间的矛盾,只能按照在满足使用要求的前提下,选取最低精度等级来抉择。这也是公差优化的一种体现。综上所述,公差优化设计,必将为精度设计开辟一个崭新的局面。这是精度设计中应用优化原则的一个重要方面。

(2) 数值优化 数值优化是指在精度设计中所使用的数,必须是能够满足工程中数值运行规律的优先数。从而进行科学的技术管理和组织生产,以便创造最佳经济效益。下面就优先数系与优先数作一简介。

在工程设计中,若某一参数值一经确定,则这个数值就会按照一定的规律,向一切有关的制品、材料等有关单位传播、扩散。例如一个螺栓的尺寸M10一经确定,则与它相配合的螺母、垫圈及紧固件上孔的尺寸也就确定,加工用的钻头和丝锥,检验用的螺纹环规与塞规以及扳手等工具的尺寸也随之确定,并将传播到材料厂、工具厂和设备厂去。如果一个产品有几千个零件,其每个尺寸如不遵循统一的优化数值系列,就会造成尺寸规格杂乱、繁多,

给组织生产、协作配套和使用维修带来莫大困难。这就提出了对各种参数必须进行优化的问题。在生产实践的基础上，人们对数值总结了一些简化和统一的科学的数值制度，其中《优先数和优先数系》(GB321—80)就是在工业中常用的一种。

优先数与优先数系是一种无量纲的分级数系，它是十进等比级数，共规定了五个系列，分别用系列符号R5、R10、R20、R40和R80表示。各系列的公比 q 分别为

$$R5: q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.6$$

$$R10: q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$$

$$R20: q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

$$R40: q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$$

$$R80: q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$$

优先数系就是由上述公比，且项值中含有10的整数幂形成的理论等比数列。其中R5、R10、R20、R40称为基本系列，R80称为补充系列。仅在参数分级很细时，才考虑应用补充系列。

优先数系中的任一个项值均称为优先数。除10的整数幂外，都是无理数，实际应用的是化整以后的近似值。优先数系的基本系列见表0-1，表中为常用值，取三位有效数字。

表0-1 优先数系的基本系列(常用值)(摘自GB321—80)

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			

为满足生产的需要，还可采用派生系列，即在R_p系列中，每逢 p 项选取一个优先数，组成新的派生系列，以符号R_p/p表示。如R10/3系列，是从R10系列中，自1以后每逢三项取一个优先数组成的，即：

1, 2, 4, 8, 16, 32……

在设计或标准化工作中，应用优先数系，可对各种尺寸、参数、品种、规格等进行合理分档，划分系列，或对质量指标进行分档分级，发挥其简化、协调和统一的作用。

本课程中涉及到的尺寸分段、公差分级、表面粗糙度参数系列等，就是按优先数系制定的。

(3) 优先选用 优先选用是指在精度设计的过程中，对于相同的系列、相同的等级或档次，在选用时，要按排列的顺序，区分前后，进行优先择取。象优先数的不同系列、GB2822—31《标准尺寸》系列、表面粗糙度系列，以及基准制、轴孔公差带和螺纹公差带等的选用中，都对优先选用作了明确规定。这种规定也是在长期的生产实践中优化的结果。因此，优先选用也是优化原则的组成部分。

综上所述，互换性原则是精度设计的目的，标准化原则是精度设计的基础，而优化原则是精度设计的手段，从而对精度设计构成了一个彼此独立而又相互依存的完美整体。

三、几何量检测的意义

几何量检测是指对零部件和整机制造完工前后进行测量和验收的过程。它是机械产品质量的可靠保证。

几何量检测的目的有两个：一是对加工后的零件做出合格性判断。只要测量得到的几何参数落在了公差范围之内，则判为合格，否则为不合格。二是通过检测，寻找产生不合格品的根源，以便调整加工工艺系统，或采取有效措施，防止不合格品的产生，对保证加工质量起到主动积极的作用，尤其在自动化生产线上，更具有重要的意义。

随着生产与科学技术的迅速发展，对检测的精度和效率提出了越来越高的要求。产品的竞争实质上是质量的竞争，而产品质量的提高，除设计与加工精度的提高之外，往往更有赖于检测精度的提高。生产自动化程度的发展，产品数量的增长，在一定程度上受到检测效率的制约。因此，提高检测精度和检测效率是检测技术的主要发展方向。目前国际上掀起的nm技术研究高潮，已将测量精度提高到1nm，分辨率提高到0.01nm。这场nm技术的革命，必将对检测技术产生难以估量的长远影响。

我国在几何量检测方面有着悠久的历史。早在二千多年前的秦朝，已统一了度量衡制度。到了西汉，已制成铜质卡尺。但由于长期的封建统治，科学技术未能得到发展，检测技术处于落后状态，直到解放以后才扭转了这种局面。建国以来，我国先后颁布了一系列有关度量衡的条例和命令，1985年发布了《中华人民共和国计量法》，从而对我国计量制度的统一，量值的准确可靠，起到了保证作用。

同时，我国的计量器具也有了长足的发展。自制的各种仪器，基本上满足了生产的需要，有的已达到了国际水平，如激光光电比长仪、光栅式齿轮整体误差测量仪及nm级微位移发生器等。

四、本课程的性质和任务

本课程是以高等数学、物理学、工程图学、金属工艺学和机械原理与机械零件为基础，为机械工程类各专业的设计和工艺类课程打基础的一门专业性的技术基础课，是任何一位机械工程人员必备的基本知识和基本技能。

学生在学习本课程时，应认真听课，积极思考，按时作业，亲自实验。在学完本课程后，应该达到以下要求：

- 1) 掌握几何量精度设计与检测的基本概念和有关的基本术语与定义，以及各公差标准的主要内容，特点和应用原则。
- 2) 初步学会根据机械零件的使用功能要求完成几何量精度的设计，并把它们正确地标注在工程图样上；初步学会计量器具和测量方法的选择与应用的基本技能。
- 3) 了解相关的基本知识。

思 考 题

1. 何谓几何量精度？精度设计与检测有何关系？
2. 什么是互换性与标准化？它为什么是精度设计应遵循的原则？
3. 优化原则有几层含义？试分别解释之。
4. 几何量检测的目的是什么？
5. 简述本课程的性质和任务。

上篇 基础篇

任何机器都是由零件装配而成的。机器精度的高低和性能的优劣，很大程度上是由零件的几何量精度（一般称精度）决定的。因此，研究组成零件几何形体的几何参数本身与其相互之间的关系以及机器装配后零件之间的参数关系，就成为本篇研究的核心内容。前者就零件形体而言包括尺寸精度、形位精度和表面粗糙度；后者即形体之间，可通过尺寸链计算予以协调。为此，掌握这些内容，不仅为零件的精度设计，同时也为学好本门课程的全部内容奠定了基础。

第一章 尺寸精度

尺寸精度是指零件的实际尺寸与理想尺寸的接近程度。尺寸精度的高低是用零件在加工时允许的尺寸误差值——尺寸公差来确定的。公差主要反映零件几何参数的使用要求，配合则反映组成机器的零部件之间的关系。进行尺寸精度设计就是要合理地选择、计算组成机器的零部件的公差与配合问题。本章主要讲述尺寸精度的有关术语、公差带标准化及孔、轴尺寸精度设计的原则和方法，最终达到尺寸精度设计的目的。

第一节 基本术语及定义

一、尺寸

1. 线性尺寸

线性尺寸（简称尺寸）是指用特定单位表示长度值的数字。

2. 孔和轴

孔是指圆柱形的内表面及其他内表面中由单一尺寸确定的部分。

轴是指圆柱形的外表面及其他外表面中由单一尺寸确定的部分。

在机器或仪器中，最基本的装配关系是由一个零件的内表面包容另一个零件的外表面所形成的。这里的孔、轴具有广泛的含义，不仅表示圆柱形的内、外表面，而且表示其他几何形状的内、外表面中由单一尺寸确定的部分。在图1-1所示的各表面中，例如由 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 各单一尺寸所确定的部分都称为孔；由 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 各单一尺寸所确定的部分都称为轴。

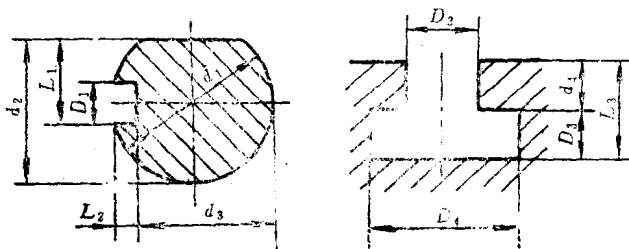


图1-1 孔和轴定义示意图

如果两部分表面同向, 形不成包容或被包容状态, 则它们由单一尺寸确定的部分既不是孔, 也不是轴。例如图1-1中由尺寸 L_1 、 L_2 和 L_3 所确定的部分。

3. 基本尺寸

基本尺寸是设计给定的尺寸。孔的基本尺寸以 D 表示, 轴的基本尺寸以 d 表示。它是根据零件的强度、刚度等要求计算和结构设计, 经化整后确定的, 并应尽量采用标准尺寸; 同时它也是偏差的起始尺寸。

4. 实际尺寸

实际尺寸是通过测量得到的尺寸, 孔和轴的实际尺寸分别用符号 D_a 和 d_a 表示。由于零件表面存在形状误差, 所以被测量的表面各处的实际尺寸不尽相同; 由于测量过程中存在着测量误差, 所以测得的实际尺寸并非尺寸的真值, 而是一近似于真值的尺寸。

5. 极限尺寸

极限尺寸是指允许尺寸变化的两个界限值。两个界限值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。孔和轴的最大极限尺寸分别用符号 D_{max} 和 d_{max} 表示, 孔和轴的最小极限尺寸分别用符号 D_{min} 和 d_{min} 表示, 如图1-2所示。

上述尺寸中基本尺寸和极限尺寸是设计确定的尺寸, 而实际尺寸是对完工零件测量得到的尺寸, 极限尺寸用于控制实际尺寸。

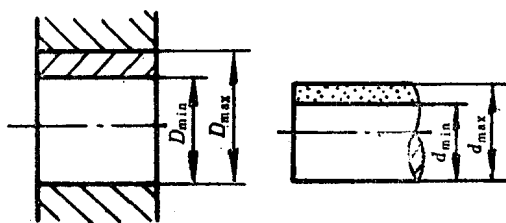


图1-2 极限尺寸

二、偏差、公差及公差带

1. 尺寸偏差

尺寸偏差 (简称偏差) 是指某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差。

当某一尺寸为实际尺寸时, 减其基本尺寸所得的代数差称为实际偏差。用公式表示

$$\text{孔的实际偏差 } E_a = D_a - D$$

$$\text{轴的实际偏差 } e_a = d_a - d$$

当某尺寸为极限尺寸时, 减其基本尺寸所得的代数差称为极限偏差。

最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差为上偏差。用公式表示

$$\text{孔的上偏差 } ES = D_{max} - D$$

$$\text{轴的上偏差 } es = d_{max} - d$$

最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差为下偏差。用公式表示

$$\text{孔的下偏差 } EI = D_{min} - D$$

$$\text{轴的下偏差 } ei = d_{min} - d$$

偏差值可为正值、负值或零。偏差值除零外, 前面必需冠以正、负号。

极限偏差用于控制实际偏差。

2. 尺寸公差

尺寸公差 (简称公差) 是指允许尺寸的变动量。

公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸之代数差的绝对值; 也等于上偏差与下偏差之代数差的绝对值。孔和轴的公差分别用符号 T_h 和 T_s 表示。公差、极限偏差的关系如下

$$\left. \begin{aligned} T_h &= D_{max} - D_{min} = ES - EI \\ T_s &= d_{max} - d_{min} = es - ei \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

3. 公差带图及公差带

前面分析尺寸、偏差和公差的关系时，将三者画在一个图上，是不成比例的。为了说明三者的关系，GB1800—79提出了公差带图，如图1-3和图1-4所示，偏差以基本尺寸为零线，零线以上的偏差为正偏差，零线以下的偏差为负偏差。在公差带图中，由代表上、下偏差的两条直线段形成的区域称为公差带。公差带在垂直零线方向的宽度代表公差值，用适当比例画出；公差带沿零线方向的长度可适当任取。在公差带图中，习惯上尺寸用mm表示，偏差和公差用 μm 表示。

公差带是由公差值和极限偏差（上偏差或下偏差）所决定的。为了使公差带标准化，国家标准GB1800—79提出了标准公差和基本偏差的概念。

标准公差是国家标准规定的公差值，使公差带大小标准化。

基本偏差是国家标准规定的上偏差或下偏差，一般是靠近零线的那个偏差，使公差带相对零线的位置标准化。

例1 基本尺寸为 $\phi 30\text{mm}$ ，孔的极限尺寸： $D_{\max}=30.021\text{mm}$ ， $D_{\min}=30\text{mm}$ ；轴的极限尺寸： $d_{\max}=29.980\text{mm}$ ， $d_{\min}=29.967\text{mm}$ 。现在测得孔、轴的实际尺寸分别为 $D_a=30.010\text{mm}$ ， $d_a=29.975\text{mm}$ ，求孔、轴的极限偏差、实际偏差及公差，并画出公差带图。

解 孔的极限偏差 $ES=D_{\max}-D=30.021-30=+0.021\text{mm}$

$$EI=D_{\min}-D=30-30=0$$

轴的极限偏差 $es=d_{\max}-d=29.980-30=-0.020\text{mm}$

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

孔的实际偏差 $E_a=D_a-D=30.010-30=+0.010\text{mm}$

轴的实际偏差 $e_a=d_a-d=29.975-30=-0.025\text{mm}$

孔的公差 $T_h=D_{\max}-D_{\min}=30.021-30=0.021\text{mm}$

轴的公差 $T_s=d_{\max}-d_{\min}=29.980-29.967=0.013\text{mm}$

公差带图见图1-4。

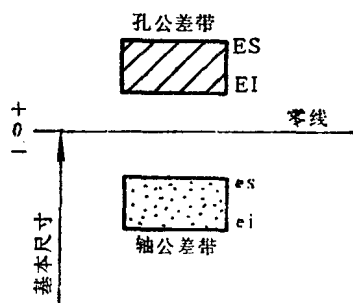


图1-3 孔、轴公差带图

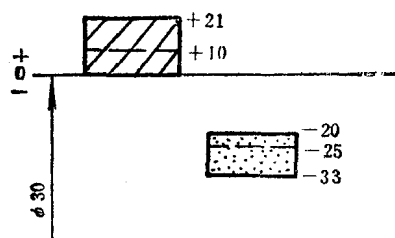


图1-4 公差带图

三、配合及配合公差

1. 配合

配合是指基本尺寸相同的，相互结合的孔和轴公差带之间的关系。不同的配合就有不同的孔、轴公差带之间的关系。

2. 间隙或过盈

间隙或过盈是指孔的尺寸减去相配合的轴的尺寸所得的代数差。此差值为正时称为间隙，

用符号 X 表示；为负时称为过盈，用符号 Y 表示。

3. 配合种类

根据孔、轴公差带之间的相互关系，将配合分为三类。

(1) 间隙配合 间隙配合是指具有间隙(包括最小间隙等于零)的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带上方(图1-5)。

孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差称为最大间隙，用符号 $X_{\max}$ 表示，即

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (1-2)$$

孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差称为最小间隙，用符号 $X_{\min}$ 表示，即

$$X_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (1-3)$$

孔和轴都为平均尺寸 D_{av} 和 d_{av} 时形成的间隙称为平均间隙，用符号 X_{av} 表示，即

$$X_{av} = D_{av} - d_{av} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2} \quad (1-4)$$

(2) 过盈配合 过盈配合是指具有过盈(包括最小过盈等于零)的配合。此时，孔的公差带在轴的公差带下方(图1-6)。

孔的最小极限尺寸减轴的最大极限尺寸所得的代数差称为最大过盈，用符号 $Y_{\max}$ 表示，即

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es \quad (1-5)$$

孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差称为最小过盈，用符号 $Y_{\min}$ 表示，即

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei \quad (1-6)$$

孔和轴都为平均尺寸时形成的过盈称为平均过盈，用符号 Y_{av} 表示，即

$$Y_{av} = D_{av} - d_{av} = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2} \quad (1-7)$$

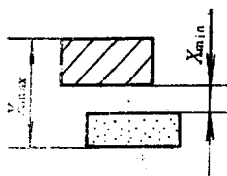


图1-5 间隙配合

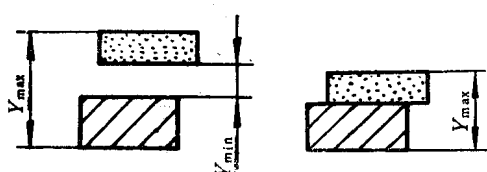


图1-6 过盈配合

(3) 过渡配合 过渡配合是指可能具有间隙或过盈的配合。此时，孔的公差带与轴的公差带相互交叠(图1-7)。

孔的最大极限尺寸减轴的最小极限尺寸所得的代数差称为最大间隙，即

$$\begin{aligned} X_{\max} &= D_{\max} - d_{\min} \\ &= ES - ei \end{aligned}$$

孔的最小极限尺寸减轴

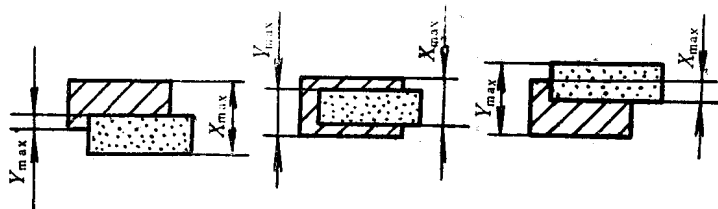


图1-7 过渡配合

的最大极限尺寸所得的代数差称为最大过盈, 即

$$Y_{\max} = D_{\min} - d_{\max} = EI - es$$

孔和轴都为平均尺寸时形成平均间隙或平均过盈, 即

$$X_{av} \text{ (或 } Y_{av}) = D_{av} - d_{av} = \frac{X_{\max} + Y_{\min}}{2} \quad (1-8)$$

按上式计算所得的值为正时是平均间隙, 为负时是平均过盈。

4. 配合公差及配合公差带图

配合公差是指允许间隙或过盈的变动量, 用符号 T_f 表示。

$$\left. \begin{array}{l} \text{对于间隙配合} \quad T_f = X_{\max} - X_{\min} \\ \text{对于过盈配合} \quad T_f = Y_{\min} - Y_{\max} \\ \text{对于过渡配合} \quad T_f = X_{\max} - Y_{\max} \end{array} \right\} \quad (1-9)$$

将最大、最小间隙和过盈分别用孔、轴极限尺寸代入换算后, 则得三类配合的配合公差为孔公差与轴公差之和。

$$T_f = T_h + T_s \quad (1-10)$$

配合公差反映配合精度, 配合精度取决于相互配合的孔和轴的尺寸精度。设计时可根据配合精度的要求来确定孔和轴的尺寸公差。

为了直观表示相互结合的孔和轴的配合精度和配合性质, 可用配合公差带图来表示, 如图1-8, 在配合公差带图中, 零线表示间隙或过盈等于零。零线的上方为间隙, 零线的下方为过盈。

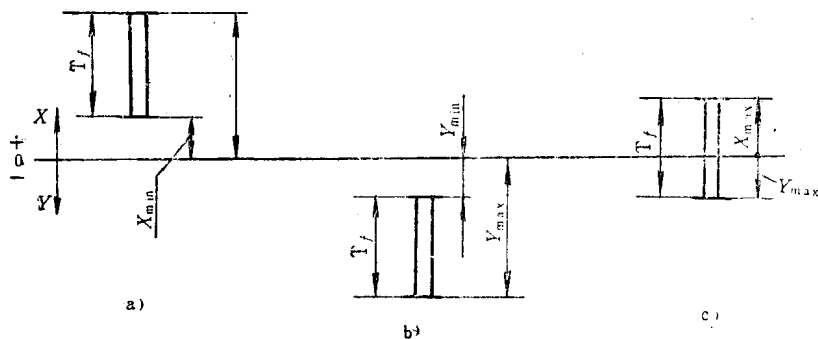


图1-8 配合公差带图

a) 间隙配合 b) 过盈配合 c) 过渡配合

配合公差带完全在零线以上的配合是间隙配合; 完全在零线以下的是过盈配合; 跨在零线上下的是过渡配合。配合公差带两端坐标值代表极限间隙或极限过盈的大小, 两个极限值之间区域的宽度为配合公差。

1. 基准制

GB1800—79规定了两种并行的基准制: 基孔制和基轴制。

(1) 基孔制 基孔制是指基本偏差为一定的孔的公差带, 与不同基本偏差的轴的公差带形成各种配合的一种制度, 如图1-9a所示。

基孔制的孔为基准孔, 它的公差带在零线上方, 且基本偏差为零, 即 $EI = 0$ 。

(2) 基轴制 基轴制是指基本偏差为一定的轴的公差带, 与不同基本偏差的孔的公差带形成各种配合的一种制度, 如图1-9b所示。

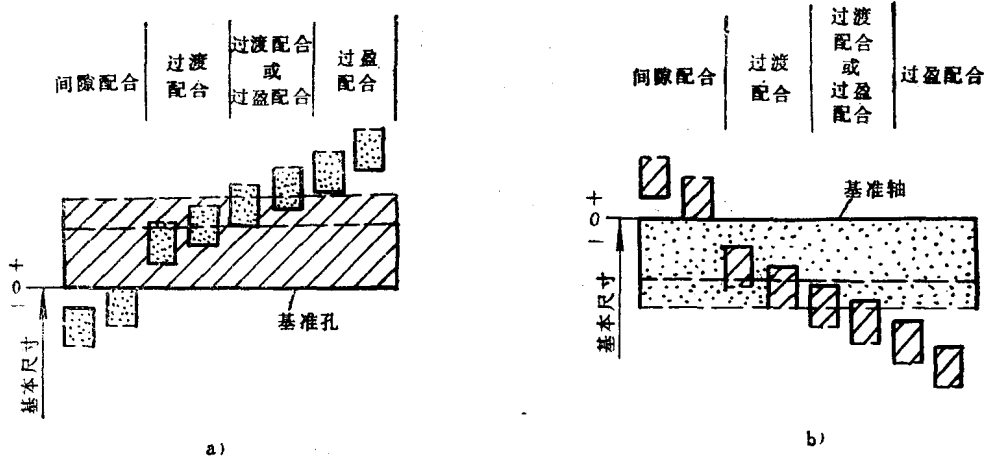


图1-9 基准制配合
a) 基孔制 b) 基轴制

基轴制的轴为基准轴，它的公差带在零线的下方，且基本偏差为零，即 $es = 0$ 。

基准制确定后，基准孔（或基准轴）公差带的位置就相应确定，则可用非基准轴（或非基准孔）公差带的不同位置（基本偏差）来建立各种配合。

例2 若已知某配合的基本尺寸为 $\phi 60\text{mm}$ ，配合公差 $T_f = 49\mu\text{m}$ ，最大间隙 $X_{\max} = +19\mu\text{m}$ ，孔的公差 $T_h = 30\mu\text{m}$ ，轴的下偏差 $ei = +11\mu\text{m}$ ，试画出此配合的孔、轴尺寸公差带图 和配合公差带图，并说明基准制及配合类别。

解 由
得

$$\begin{aligned} T_f &= X_{\max} - Y_{\max} \\ Y_{\max} &= X_{\max} - T_f = 19 - 49 = -30\mu\text{m} \\ T_s &= T_f - T_h = 49 - 30 = 19\mu\text{m} \\ ES &= X_{\max} + ei = 19 + (+11) = +30\mu\text{m} \\ EI &= ES - T_h = 30 - 30 = 0 \\ es &= ei + T_s = +11 + 19 = 30\mu\text{m} \end{aligned}$$

此配合的孔、轴尺寸公差带图和配合公差带图分别如图1-10和图1-11所示。
此配合为基孔制过渡配合。

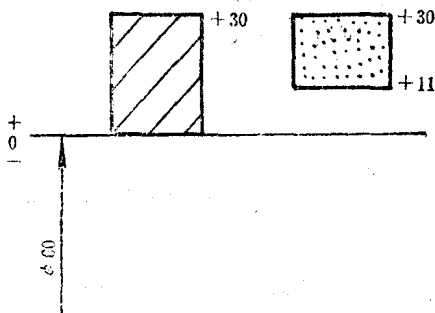


图1-10 公差带图

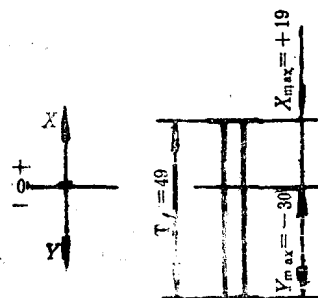


图1-11 配合公差带图

第二节 尺寸公差带标准化

如前所述,有关公差的定义和术语,主要解决公差数值的问题,有关配合的定义和术语,主要解决配合性质的问题。换言之,孔、轴公差带的大小决定公差数值的大小,孔、轴公差带的位置决定配合性质。

公差带是由公差带大小和公差带位置两个基本要素组成的。国家标准(GB1800~1804—79)对这两个基本要素分别予以标准化,这就是尺寸公差带标准化问题。

一、公差带大小标准化——标准公差系列

标准公差是国家标准表列的(附表1-1),用以确定公差带大小的任一公差值。显然设计时应尽量采用标准公差值,它是根据下列规律制定的。

1. 公差单位

公差单位是计算标准公差的基本单位,也是制定标准公差数值系列的基础。

公差是用来控制加工误差的。在相同的加工条件下,基本尺寸不同的孔或轴,加工后产生的加工误差也不同。对于小于500mm的尺寸,经过大量的生产实践和科学实验,统计分析后发现加工误差与基本尺寸呈立方抛物线的关系,如图1-12所示。该实验曲线的方程式就称为制定标准公差(尺寸至500mm)的公差单位*i*,可用下式表示

$$i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D \quad (\mu\text{m}) \quad (1-11)$$

式中 D ——基本尺寸(mm)。

上式表明,公差单位是基本尺寸的函数。式中第一项表示公差与基本尺寸的关系符合立方抛物线关系($\sqrt[3]{D}$);第二项是考虑补偿测量误差(主要是测量时温度的变化造成的误差)的影响呈线性关系($0.001D$)。

2. 公差等级

国家标准规定的标准公差(IT)就是由公差等级系数*a*与公差单位*i*的乘积来确定的,即

$$IT = ai = a(0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D) \quad (1-12)$$

当基本尺寸一定时,*i*为定值,公差等级系数*a*就成为决定标准公差大小的唯一参数。根据公差等级系数的不同,国家标准将标准公差分为20级,即IT01、IT0、IT1、IT2……IT18。其中IT01最高,从IT01至IT18,等级依次降低。公差等级的高低,就成为加工精度高低的标志。

3. 标准公差的计算规律

国标中的标准公差值主要是依据公式(1-12)得出的,其计算公式详见表1-1。

由表1-1可见,在IT5~IT18各级中,公差等级系数*a*采用优先数系R5,即公比 $q = \sqrt[5]{10}$ 的等比数列。从IT6开始,每隔5级,标准公差数值增加至10倍。

对高精度IT01、IT0、IT1,主要考虑测量误差的影响,其尺寸误差与基本尺寸呈线性关系,且三个公差等级之间的常数和系数均采用优先数系的派生系列R10/2。

IT2、IT3、IT4三个等级的标准公差,是在IT1与IT5之间按等比级数插入的,其公比为 $q = (IT_5/IT_1)^{1/4}$ 。

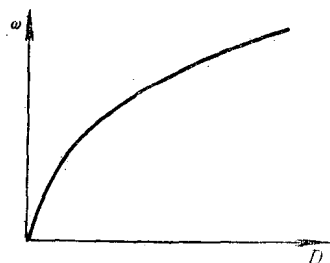


图1-12 加工误差 ω 与基本尺寸*D*的关系