



21 世纪高等学校规划教材

精度设计与 质量控制基础

(第3版)

张琳娜 主编



 中国质检出版社



21 世纪高等学校规划教材

精度设计与质量控制基础

(第 3 版)

张琳娜 主编

中国质检出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

精度设计与质量控制基础/张琳娜主编. —3 版. —北京: 中国质检出版社, 2011. 8

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5026-3475-9

I. ①精… II. ①张… III. ①机械—精度—设计—高等学校—教材②机械—精度—质量控制—高等学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 172543 号

内 容 提 要

本书共分九章, 内容包括: 绪言、尺寸精度及孔轴结合的互换性、形状和位置精度及互换性、表面粗糙度、测量技术及数据处理基础、光滑工件尺寸的检验、典型零 (部) 件精度及互换性、尺寸链与几何精度设计、质量控制基础、新一代 GPS 标准体系及相关的最新标准等。本书系统论述了互换性与标准化、产品几何精度设计、计量认证及质量控制的基本理论、基本规律和基本应用方法; 系统分析并阐述了新一代产品几何技术规范 (GPS) 体系的构成、特点、理论基础及关键技术。

本书内容丰富、重点突出、力求反映本学科的最新发展。可作为高等学校机械类、机电类、近机类专业“互换性与测量技术”、“精度设计与工程计量”、“精度设计与质量控制”等课程的教材, 也可供从事上述专业工作的工程技术人员及计量检验人员参考, 还可作为新一代 GPS 标准宣贯的辅助教材或参考书。

中国质检出版社出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100013)

北京市西城区复外三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

电话: (010) 64275360 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 16.25 字数 412 千字

2011 年 8 月第三版 2011 年 8 月第五次印刷

*

定价: 31.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

第一版序

精度与质量，是机械工程永恒的主题，很难想象一个优秀的机械工程师和科学家，只懂得机械的运动设计和机械的结构设计，而不懂机械的精度设计与质量控制。《互换性与测量技术基础》课程在我国高校的设立，已有 40 年的历史。它是机械类各专业重要的专业性技术基础课，是联系机械设计类课程与制造工艺类课程的纽带，也是从基础课及其他技术基础课过渡到专业课的桥梁。其教学目的，就是给机械工程学科的大学生，以机械精度设计与质量控制的基本训练。但目前本课程的教学体系及内容尚不能完全适应发展的需要。

本人早在 10 年前就提出要改变课程名称，突出精度设计理论与方法及质量保证主题，以更好地适应机械工业和科学技术发展的需要。《精度设计与质量控制基础》书稿阅后，甚感欣慰。本书的内容体系及风格特点，不仅反映了本学科发展的要求，而且体现了高等教育改革与发展的思路；既强调保证了课程基本要求的满足与充实，又积极探索了课程内容的改革与更新；既重点突出了精度设计与质量保证的主题，又注意强化了专业人才理论联系实际能力的培养。本书主题明确，重点突出，内容新颖，适合教学。特为序推荐。

华中理工大学机械科学与工程学院教授：李柱

1996 年 11 月 16 日于武昌

第一版前言

《精度设计与质量控制基础》是“互换性与测量技术基础”课程内容的扩展。是在满足原课程教学基本要求的基础上,考虑本学科的发展及国民经济的需要,总结编者多年的教学经验和研究成果,进一步精选内容、拓宽知识面、突出精度设计主线、强化理论联系实际而形成的一本新体系的教材及参考书。

本书内容可分三大部分。一是产品几何精度及互换性的原理与设计;二是产品几何精度及互换性的检测与保证;三是产品质量控制的基本理论与方法。概括其特点主要有:①加强“三基”,强化理论联系实际。本书着重突出三项基本几何精度(尺寸精度、形位精度和表面微观质量精度)及互换性的设计与保证,深入阐述了其有关的基本知识、基本理论(规律)和基本应用方法;强化理论联系实际,注重三个“结合”,即精度设计理论与设计方法相结合,设计方法与典型设计实例相结合,以及三项基本几何精度设计的联系与结合。②精选提炼,必要的增删。根据教学改革及学科发展需要,本书既注意对课程内容的精选提炼,又注意补充一些拓宽知识面的必要内容,比如:综合精度设计分析、质量控制基础、计算机辅助公差设计的思路与方法等。③突出重点,理顺难点,把握规律,因材施教。本书既考虑全日制学生学习的要求,也注意到了自考或函授等学生的学习特点,有意识地加强了重点、难点的提示与分析,提供了必要的复习思考题及习题,便于学生掌握重点及自学。④全书采用最新颁布(或报批)的国家标准,对于新标准内容的宣贯、普及将起到积极的推动作用。

本书的内容体系及编写原则不仅反映了本学科发展方向,而且立足于强化专业人才的能力培养(包括知识获取能力、分析解决工程实际问题的能力 & 检测、实验动手能力等),符合高等教育改革的思路,适应了国民经济发展的需要。

参加本书编写的有:张琳娜、全林斯、张爱梅、翁福敏、纪树田等同志。由张琳娜任主编,李柱、薛愈任主审。

在本书的编写过程中,得到了全国高校《互换性与测量技术基础》课程教学指导小组及全国高校互换性与测量技术研究会的关怀和支持,全国高校《互换性与测量技术基础》课程教学指导小组组长、全国高校互换性与测量技术研究会常务副理事长、华中理工大学博士生导师李柱教授亲自审阅了书稿,并为本书作序;郑州轻工学院常作升教授、机械部标准化所李晓沛高级工程师等曾给予热情的指导和帮助,在此特表示衷心的感谢。

由于编者的水平所限,书中不免有不妥之处,希望广大同行、读者批评指正。

编 者

1996年11月于郑州

第二版前言

《精度设计与质量控制基础》一书自1997年2月出版发行后，经各有关院校使用，普遍反映其主题明确、体系新颖、特色鲜明、适应教学发展的需要；并于2000年8月，经局部修订后重印发行。本书体系、内容的精练和特色深得教师和学生的欢迎，对于促进本课程的建设和发展起到了重要的作用。

随着制造业信息化的飞速发展，产品几何精度规范亟待适应信息化制造环境中信息集成的需求。因此，ISO近年来进行了从组织结构到标准体系的一系列变革，形成了体现时代发展特征的产品几何技术规范（GPS）体系（ISO/TC213: Dimensional Geometrical Product Specification and Verification，简称GPS）。新一代GPS标准体系既强调几何技术规范的系统性、科学性和内在规律性；同时又特别注重其应用性、可操作性强和信息的集成性。对于提升产品几何技术规范（GPS）及应用领域的技术水平、促进产品几何技术规范（GPS）领域的自动化、数字化及信息的集成化有重要的意义。如何在本课程中反映本学科领域的这一变革及相关的研究成果，吸取新技术及更新相关标准，修订本书第一版中的不足之处显然十分必要。

与本书第一版相比，第二版在内容的更新、体现发展方面有较大变化。首先，是标准的更新及其相应章节教学内容的变化；其次，是追踪国际标准化组织ISO在产品几何技术规范GPS领域的重大变革以及我国标准化战略计划进展，新增了“新一代GPS标准体系”一章，并将作者近年来围绕新一代GPS理论基础及应用技术研究的部分最新研究成果融入其中。本书修订后在保持原有特色的基础上，内容更新、更丰富、更注重知识的应用性、更符合教学的需要；所涉及的国家标准均为最新颁布（或报批）版本，对于我国新一代GPS标准体系的宣传和贯彻具有积极的促进作用。

参加本书第二版编写的有：张琳娜、赵凤霞、方东阳、全林斯、乔领干、孙利平、庆科维等。张琳娜教授担任主编，负责全书统稿。郑鹏、张爱梅、邬向伟、苗晓丹、郑玉花、郭三刺、马乐、张俊嵩等参与了全书图表及相关内容的编撰整理工作。

在本书编著及修订过程中，得到了全国高校“互换性与测量技术基础”课程教学指导小组组长、全国高校互换性与测量技术研究会副理事长李柱教授、赵卓贤教授、吴昭同教授，全国产品尺寸和几何技术规范标准化技术委员会（SAC/TC240）秘书长李晓沛研究员等专家的热情支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

由于编著者的水平所限，书中难免有不妥之处，恳切希望读者批评指正。

编著者

2006年6月于郑州

第三版前言

《精度设计与质量控制基础》一书自 1997 首次出版发行以来，得到了各有关院校师生及相关工程技术人员的普遍肯定。十余年来，本书经多次修订、再版（1997 年 2 月第一版、2000 年 6 月局部修订重印版、2006 年 8 月第 2 版），显示出其具有较强的生命力。但随着制造业数字化的飞速发展及产品几何技术规范 GPS 的不断完善，尤其是产品几何技术规范及系列公差标准的不断更新，修订本书第二版十分必要。

与本书第二版相比，《精度设计与质量控制基础》（第三版）修订的宗旨主要是：更新内容、体现发展。作为河南省精品课程的一项重要建设内容，本次修订主要是根据标准的更新，系统修订了尺寸精度、形状和位置精度、表面粗糙度和圆柱齿轮精度等章节。书中全部内容均采用我国最新国家标准，所涉及的公式、数据、图表准确可靠。总之，本书修订后在保持原有特色的基础上，突出了内容新颖、实用性强、简明扼要、重点突出等特点。

参加本书第三版编写的有：张琳娜、赵凤霞、方东阳、郑鹏等。张琳娜教授任主编，赵凤霞副教授任副主编。周鑫、高翔、马玉峰、徐金虎、徐颖杰等参与了全书图表及相关内容的编撰整理工作。

在本书编撰及修订过程中，得到了全国高校互换性与测量技术研究会、全国产品几何技术规范标准化委员会（SAC/TC240）及专家们热情支持和帮助，在此表示衷心感谢！

由于编著者的水平所限，书中难免有不妥之处，恳切希望读者批评指正。

编著者

2011 年 7 月于郑州

目 录

绪 言	(1)
第一章 尺寸精度及孔轴结合的互换性	(3)
第一节 概述	(3)
第二节 极限与配合基本术语及定义	(4)
第三节 极限与配合国家标准的构成规律	(12)
第四节 尺寸精度及配合的设计	(31)
第二章 形状和位置精度及互换性	(44)
第一节 概述	(44)
第二节 形状误差及公差	(47)
第三节 位置误差及公差	(51)
第四节 尺寸公差与形位公差的关系	(60)
第五节 形状和位置精度的设计	(66)
第六节 形状和位置误差的测量	(75)
附录 GB/T 1182—2008 与 GB/T 1182—1996 的差异分析	(83)
第三章 表面粗糙度	(85)
第一节 表面粗糙度与微观表面质量	(85)
第二节 表面粗糙度的术语、参数及参数值	(86)
第三节 表面粗糙度在图样中的标注	(92)
第四节 表面粗糙度的选择与应用	(100)
第五节 表面粗糙度的测量	(103)
第四章 测量技术及数据处理基础	(107)
第一节 测量的基本概念	(107)
第二节 尺寸的传递	(107)

第三节 测量方法与计量器具	(109)
第四节 测量误差及数据处理	(112)
第五节 测量技术中的基本原则简介	(121)
第五章 光滑工件尺寸的检验	(123)
第一节 概述	(123)
第二节 用通用计量器具检验	(123)
第三节 光滑极限量规	(129)
第六章 典型零(部)件精度及互换性	(135)
第一节 滚动轴承的精度及互换性	(135)
第二节 螺纹的公差与配合	(144)
第三节 键和花键的公差与配合	(156)
第四节 圆柱齿轮精度及互换性	(163)
附录 GB/T 10095.1~2—2008 与 GB/T 10095—1998 的差异分析	(190)
第七章 尺寸链与几何精度设计	(195)
第一节 概述	(195)
第二节 尺寸链的计算	(197)
第三节 解尺寸链的其他方法	(203)
第八章 质量控制基础	(204)
第一节 概述	(204)
第二节 质量控制的基本概念	(204)
第三节 过程质量控制的统计方法	(207)
第九章 新一代 GPS 标准体系	(218)
第一节 ISO/TC 213 GPS 标准体系的形成与发展	(218)
第二节 新一代 GPS 标准体系的构成及规律分析	(219)
第三节 新一代 GPS 标准体系的理论基础及关键技术	(223)
复习思考题及习题	(239)
参考文献	(252)

绪 言

一、互换性概述

在现代化工业生产中，零（部）件的设计与制造必须遵守互换性原则。

零（部）件的互换性是指同一规格的一批零（部）件中，不需任何挑选或附加修配（如钳工修理），任取其一就能装在机器上，满足预期的设计要求。

零（部）件的互换性应包括几何参数、机械性能等方面的互换性。本课程仅就几何参数方面的互换问题加以论述。

按照互换程度的不同，互换性又有完全互换性与不完全互换性之分。若不限定互换范围，称为完全互换性，它在机械制造中得到广泛的应用。因某种特殊原因只允许零件在一定范围内互换，称为不完全互换性，也称有限互换性。例如，当机器上某些部位的装配精度要求很高时，则相配合零件的精度要求也要高，若采用完全互换性，就会导致加工困难和制造成本增加。而实际生产中，往往将零件的精度适当降低一些，以便于制造。然后，再根据实际尺寸的大小分成相应的组，比较相配组的尺寸，进行分组装配。这不但在一定程度上解决了加工的困难，而且又保证了装配的精度要求。这时，零件的互换被限定在各分组之内，这就是不完全互换性。

当零件具有互换性时，它就可以在不同的工厂、不同的国家分别制造。这有利于专业化协作，有利于使用先进的工艺装备，有利于采用自动流水线等先进的生产方式。为保证产品的质量和降低成本提供了有利的生产条件。

互换性在装配工作上所产生的效益更为明显。例如，一辆汽车有成万个零件及部件，这些零（部）件可能是由成百家工厂生产制成后，集中在汽车厂的装配线上。由于它们具有互换性，故在装配流水线上，每隔几分钟就可以装配出一辆合格的新车来。如果零件没有互换性，高效率地组织装配工作将无法实现。

在机器的维护和修理方面，互换性也有着重要的意义。当机器零件损坏或按计划定期更换时，便可在最短时间用备件替换，这样就延长了机器的使用寿命。

综上所述，零（部）件的互换性在机械工业生产过程中，具有重要的技术与经济意义，不仅能显著地提高劳动生产率和促进专业化协作，而且能有效地保证产品质量和降低成本，是机械工业发展的主要技术基础。

但怎样才能使零件具有互换性呢？或者说实现互换性的保证条件是什么？其保证条件主要有两点：一是零件必须按一定的公差加工制造；二是必须按一定的标准检验。

二、标 准 化

为了满足各类机器的使用要求，就要进行标准化的工作。即按照标准化的原理，给零（部）件制定出统一的标准，将各项公差的术语、定义、代号、概念及原理、误差的测量与

评定、图样上的标注方法等都规定在技术标准中。这不仅是零部件精度设计的依据，也是实现互换性的重要保证。为此，我国颁布了一系列的公差标准，如极限与配合，形位公差，表面粗糙度，轴承公差与配合，键与花键公差与配合，螺纹公差与配合，齿轮公差等。这一系列标准和国际标准基本上是一致的，是几何量标准化的具体体现，为我国机械工业的发展提供了技术上的保证。

三、优先数和优先数系

在实际生产中，会有这样的问题提出：①为满足用户的各项要求，一种产品需要从小到大取不同的数值，从而形成了对不同规格的产品系列的需求；②在设计制造中，若选定一个数值作为某产品的参数指标，那么这个数值就会按照一定的规律向一切相关的技术、特性参数上传播扩散，即使是微小的差别，经反复传播后，也会造成尺寸规格的繁多杂乱。要解决这些问题，就必须从全局出发，对各种技术参数进行合理的分级、协调。

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分级制度，适合于各种数值的分级，是国际上统一的数值分级制度。目前，我国的国家标准为 GB/T 321—2005，国际标准为 ISO 3，ISO 17，ISO 497。

优先数系是由一系列十进等比数列构成，代号为 R_r ，公比为 $q_r = \sqrt[r]{10}$ （ r 取 5，10，20，40，80 等）。项值可从 1 开始，也可从 10 或 0.1 开始，可向两边无限延伸，每十进区间，应有 r 个优先数。如标准中规定的 R5 系列，每十进区间内有 5 个优先数。

常用的基本系列为 R5，R10，R20，R40，公比分别为 $q_5 \approx 1.6$ ， $q_{10} \approx 1.25$ ， $q_{20} \approx 1.12$ ， $q_{40} \approx 1.06$ ，R80 为补充系列（特殊情况时使用）。优先数系系列数值参见表绪 1。

表绪 1 优先数基本系列

基本系列（常用值）				计算值	基本系列（常用值）				计算值				
R5	R10	R20	R40		R5	R10	R20	R40					
1.00	1.00	1.00	1.00	1.000 0	4.00	4.00	3.55	3.35	3.349 7				
			1.06	1.059 3				3.55	3.548 1				
		1.12	1.12	1.122 0			4.00	4.00	3.75	3.758 4			
			1.18	1.188 5					4.00	3.981 1			
		1.25	1.25	1.258 9			5.00	5.00	4.25	4.217 0			
			1.32	1.333 5					4.50	4.466 8			
		1.40	1.40	1.412 5			6.30	6.30	4.75	4.731 5			
			1.50	1.496 2					5.00	5.011 9			
		1.60	1.60	1.60			1.60	1.584 9	6.30	6.30	5.60	5.30	5.308 8
							1.70	1.678 8				5.60	5.623 4
1.80	1.80			1.778 3	8.00	8.00	6.00	5.956 6					
	1.90			1.883 6			6.30	6.309 6					
2.00	2.00			1.995 3	10.00	10.00	6.70	6.683 4					
	2.12			2.113 5			7.10	7.079 5					
2.24	2.24			2.238 7	10.00	10.00	7.50	7.498 9					
	2.36			2.371 4			8.00	7.943 3					
2.50	2.50			2.50	2.50	2.511 9	10.00	10.00			9.00	8.50	8.4140
					2.65	2.660 7						9.00	8.912 5
		2.80	2.80	2.818 4	10.00	10.00			9.50	9.440 6			
			3.00	2.985 4					10.00	10.000 0			
		3.15	3.15	3.162 3									

第一章 尺寸精度及孔轴结合的互换性

第一节 概 述

零件的尺寸精度及互换性保证主要依据的是尺寸公差体系，而完整的尺寸公差体系应该由尺寸的极限与配合制以及测量与检验制构成，如图 1-1 所示。

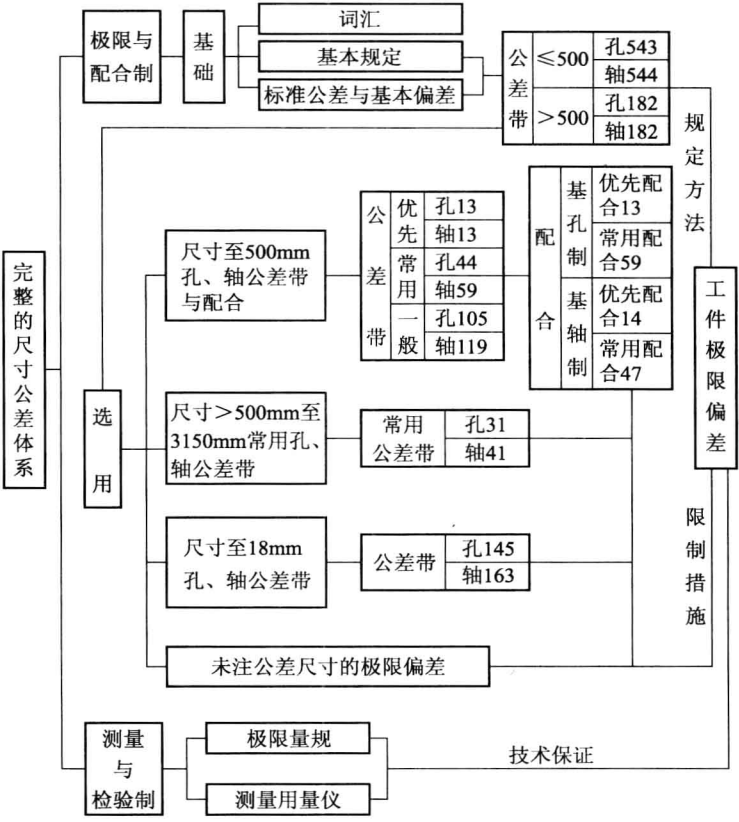


图 1-1 尺寸公差体系

其中，极限与配合标准是针对零件的尺寸精度、配合性质以及配合精度的标准化而制定的一项重要技术标准。极限与配合中的“极限”是由公差所定义的，工程实际中通常也称“极限”为“公差”。“公差”主要用以协调机器零（部）件的使用要求与制造工艺和成本之间的矛盾；而“配合”主要是体现组成机器的零（部）件之间在功能要求上的相互关系。因此，公差与配合的标准化不仅有利于机器的设计、制造、使用和维修，而且直接关系到产品精度、性能和寿命的提高与改善，是评定产品质量的重要技术指标。

极限与配合标准是一项应用广、涉及面宽的重要的基础标准,它不仅是机械工业各部门进行产品设计、工艺设计和制定其他标准(如典型零部件的公差与配合、齿坯公差、量规公差以及检验标准等)的基础,而且是广泛组织协作和专业化生产,实现互换性的基本保证。极限与配合标准几乎涉及国民经济的各个部门,对国民经济建设具有重要的影响,对机械工业的发展与进步有着举足轻重的作用。

现行的极限与配合国家标准有:

GB/T 1800.1—2009《产品几何技术规范(GPS) 极限与配合 第1部分:公差、偏差和配合的基础》

GB/T 1800.2—2009《产品几何技术规范(GPS) 极限与配合 第2部分:标准公差等级和孔、轴极限偏差表》

GB/T 1801—2009《产品几何技术规范(GPS) 极限与配合 公差带与配合的选择》

GB/T 1803—2003《极限与配合 尺寸至18mm孔、轴公差带》

GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》

第二节 极限与配合基本术语及定义

术语定义是极限与配合标准的基础,是设计、生产、检验人员共同的技术语言,为正确理解和应用极限与配合标准,必须掌握这些术语及其定义。GB/T 1800.1—2009 确定了极限与配合的基本术语。

一、有关“孔、轴及尺寸”的术语及定义

1. 孔和轴

在极限与配合标准中,孔和轴有特定含义,它关系到极限与配合标准应用的范围。

孔:通常指工件的圆柱形内表面,也包括非圆柱形内表面(由两平行平面或切面形成的包容面),如图1-2(a)所示。

轴:通常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1-2(b)所示。

注意理解孔、轴定义中“单一尺寸确定的部分”。标准中规定的公差、配合均对单一尺寸及单一尺寸确定的部分而言,如圆柱体的直径、键与键槽的宽度等。

孔、轴的判别主要可从加工和装配两方面入手。从加工来看,孔是越做越大的,而轴是越做越小的;从装配关系看,孔是包容面,轴是被包容面。

2. 尺寸

以特定单位表示线性尺寸值的数值。“线性尺寸”

是较广义的概念,它包括直径、半径、长度、高度、宽度、厚度、中心距等。如30mm,50 μ m等,mm、 μ m则为其相应的特定单位。可见,“尺寸”必须由这两部分组成。

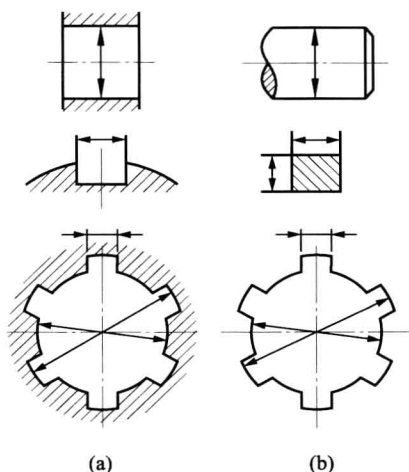


图1-2 孔和轴

3. 公称尺寸 (D, d)

公称尺寸是由图样规范确定的理想形状要素的尺寸。通过它应用上、下极限偏差可算出极限尺寸。公称尺寸可以是一个整数或一个小数值。孔以 D 表示，轴以 d 表示，如图 1-3 所示。

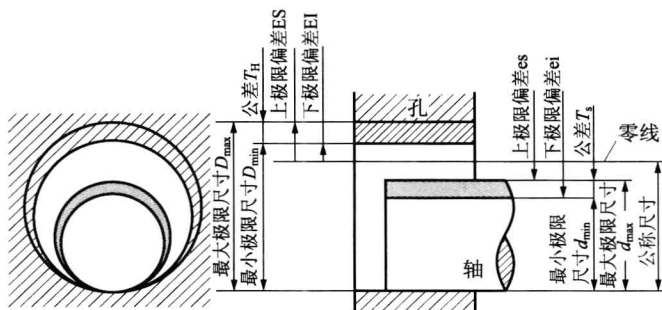


图 1-3 公差与配合示意图

公称尺寸是设计人员根据产品性能要求，通过对强度、刚度等因素计算，考虑工艺、结构等不同条件加以确定的，也可以通过试验法或类比法确定。它是计算极限偏差和极限尺寸的起始尺寸。它只表示尺寸的基本值，并非要求在实际加工中必须得到的尺寸。

为简化尺寸的规格数量，GB/T 2822—2005 已将机械制造业中 0.01~20 000mm 范围内的尺寸标准化（称标准尺寸）。其中，1~500mm 的标准尺寸适用于有互换性或系列化要求的主要尺寸，其他结构中的尺寸也应尽量从该标准中选用。

4. 实际尺寸 (D_a, d_a)

通过测量获得的某一孔、轴的尺寸。孔以 D_a 表示，轴以 d_a 表示。由于存在测量误差，所以实际尺寸并非尺寸的真值。同时，由于零件存在形状误差，既或是同一表面，其不同部位的实际尺寸也往往是不等的。

5. 极限尺寸 ($D_{\max}, D_{\min}$ 与 $d_{\max}, d_{\min}$)

一个孔或轴允许的尺寸的两个极端称为极限尺寸。两个极端中较大的一个即孔或轴允许的最大尺寸，称为最大极限尺寸；较小的一个即孔或轴允许的最小尺寸，称为最小极限尺寸。实际尺寸应位于极限尺寸范围内，也可达到极限尺寸。孔、轴的最大极限尺寸以 $D_{\max}$ 、 $d_{\max}$ 表示，而最小极限尺寸以 $D_{\min}$ 、 $d_{\min}$ 表示。极限尺寸是以基本尺寸为基数确定的，如图 1-3 所示。

6. 最大实体状态 (MMC) 和最大实体尺寸 (MMS)

孔或轴具有允许的材料量为最多时的状态称为最大实体状态 (MMC)。在此状态下的极限尺寸称最大实体尺寸 (MMS)。因而，它是孔的最小极限尺寸和轴的最大极限尺寸的统称。孔轴均处于 MMC 时是装配最不利状态，即此时孔轴配合出现最紧的情况。

7. 最小实体状态 (LMC) 和最小实体尺寸 (LMS)

孔或轴具有允许的材料量为最小时的状态称为最小实体状态 (LMC)。在此状态下的极限尺寸称为最小实体尺寸 (LMS)。因而，它是孔的最大极限尺寸和轴的最小极限尺寸的统称。孔轴均处于 LMC 时，是装配最有利的状态，即此时孔轴装配获得最松的情况。

8. 体外作用尺寸 (D_m, d_m)

在给定长度上，与实际内表面体外相接的最大理想面的直径或宽度称为孔的体外作用尺

寸 (D_m)；与实际外表面体外相接的最小理想面的直径或宽度称为轴的体外作用尺寸 (d_m)。如图 1-4 所示。

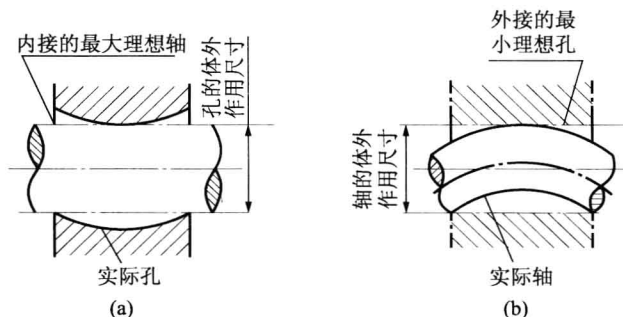


图 1-4 孔或轴的体外作用尺寸

二、极限尺寸判断原则

由于实际的孔、轴都不可避免地存在着形状误差，所以对于有配合关系的孔、轴不能单凭它们的实际尺寸来判断其合格性，还必须考虑形状误差对配合效果的影响。因此，标准中提出了极限尺寸判断原则，即泰勒原则。其内容为：孔或轴的体外作用尺寸不允许超过最大实体尺寸。对于孔，其体外作用尺寸应不小于最小极限尺寸；对于轴，则不应大于最大极限尺寸。

在任何位置上的实际尺寸不允许超过最小实体尺寸。对于孔，其实际尺寸应不大于最大极限尺寸；对于轴，则应不小于最小极限尺寸。

极限尺寸判断原则可采用如下表达式：

$$\text{对孔 } D_m \geq D_{\min}, D_a \leq D_{\max} \quad (1-1)$$

$$\text{对轴 } d_m \leq d_{\max}, d_a \geq d_{\min} \quad (1-2)$$

从检验角度出发，规定极限尺寸判断原则（泰勒原则），主要是对孔与轴的尺寸及形状进行综合控制。即用最大实体尺寸控制体外作用尺寸，使配合不会超过最紧状态；用最小实体尺寸控制其实际尺寸，使配合不会超过最松状态，如图1-5所示。

三、有关“偏差与公差”的术语及定义

1. 偏差

某一尺寸（实际尺寸、极限尺寸等）减其公称尺寸所得的代数差。

最大极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为上极限偏差，孔用 ES 表示，轴用 es 表示；最小极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为下极限偏差，孔用 EI 表示，轴用 ei 表示。上极限偏差与下极限偏差统称为极限偏差。实际尺寸减其公称尺寸所得的代数差称为实际偏差。偏差是代数差，可为正、负或零值。标注极限偏差时，必须在其相应的数值前面注出“+”号或“-”号（零值除外）。

标注上、下极限偏差时，要分别注在公称尺寸的右上角和右下角。当极限偏差为零值时，仍须注出。上、下极限偏差数值相等而符号相反时，可简化标注。例如： $\phi 20^{+0.020}_{-0.010}$ ， $\phi 30^{+0.015}_0$ ， $\phi 32 \pm 0.008$ 等。这样标注，使公称尺寸和极限偏差值一目了然，有利于分析和计算。

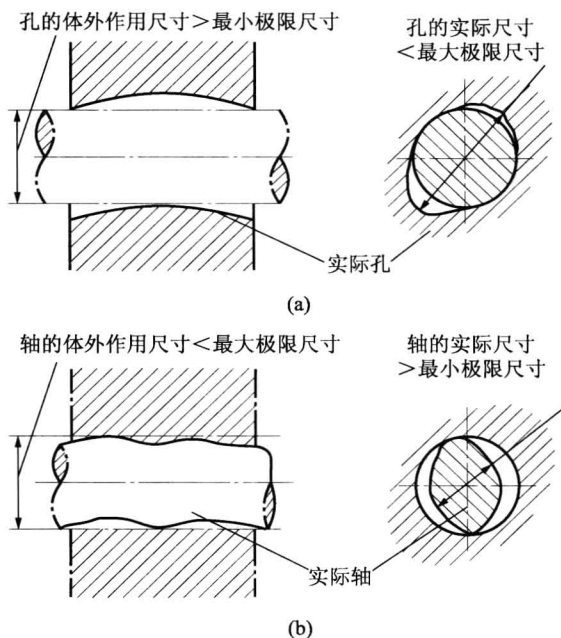


图 1-5 极限尺寸判断原则

综上所述，上、下极限偏差可用下式表示：

$$\text{孔的上极限偏差} \quad ES = D_{\max} - D \quad (1-3)$$

$$\text{孔的下极限偏差} \quad EI = D_{\min} - D \quad (1-4)$$

$$\text{轴的上极限偏差} \quad es = d_{\max} - d \quad (1-5)$$

$$\text{轴的下极限偏差} \quad ei = d_{\min} - d \quad (1-6)$$

2. 尺寸公差

允许尺寸的变动量称尺寸公差（简称公差 T ）。

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；也等于上极限偏差与下极限偏差之代数差的绝对值。故可用公式表达如下：

$$\text{孔公差} \quad T_H = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI| \quad (1-7)$$

$$\text{轴公差} \quad T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei| \quad (1-8)$$

公差是误差的允许值，是设计人员根据零件的使用要求，并考虑其制造的经济性，对尺寸变动范围所给定的允许值。某一尺寸的精度要求越高，给定的公差值就越小，则其加工就越难。反之，精度要求越低，公差值越大，加工越容易。

应当明确，由于公差仅表达允许尺寸的变动范围，是绝对值的概念，不带有“+”、“-”号，也不可能为“0”。

例 1-1 公称尺寸为 $\phi 50\text{mm}$ ，最大极限尺寸为 $\phi 50.008\text{mm}$ ，最小极限尺寸为 $\phi 49.992\text{mm}$ ，试计算其极限偏差及公差。

解：上极限偏差 = 最大极限尺寸 - 公称尺寸 = $50.008 - 50 = +0.008\text{mm}$

下极限偏差 = 最小极限尺寸 - 公称尺寸 = $49.992 - 50 = -0.008\text{mm}$

公差 = |最大极限尺寸 - 最小极限尺寸| = $|50.008 - 49.992| = 0.016\text{mm}$

3. 零线与公差带

在公差与配合的示意图(图1-3)中,表明了相互配合孔、轴的公称尺寸、极限尺寸、极限偏差以及公差等相互间的关系。在实际应用中,为简便起见,常常用公差与配合图解(简称公差带图)来表示。公差带如图1-6所示。

(1) 零线:在极限与配合图解中,表示公称尺寸的一条直线,以其为基准确定偏差和公差。正偏差位于零线上方,负偏差位于零线下方。

(2) 尺差带:在公差带图解中,由代表上极限偏差和下极限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。作公差带图时,一般将零线画成水平线,并在其左端标出“0”和“+”、“-”号,而在其左下方画出带箭头的尺寸线且注出公称尺寸数值。若极限偏差均为正值,则按适当比例在纵坐标方向上画出由上、下极限偏差所围成的公差带,位于零线上方;同样,若极限偏差均为负值时,公差带画在零线下方。可见,公差带由大小和位置两个要素构成,公差带大小由标准公差来确定,反映了尺寸的加工难易和精确程度;而公差带相对于零线的位置,由基本偏差确定,它反映了配合的松紧程度。用公差带图可以直观地分析、表达和解算公差与配合的有关问题。这是学习本课的一个极为重要的概念和工具,必须熟练地掌握。

4. 基本偏差

基本偏差是标准规定用来确定公差带相对零线位置的上极限偏差或下极限偏差。一般指靠近零线的那个偏差,如图1-7所示。

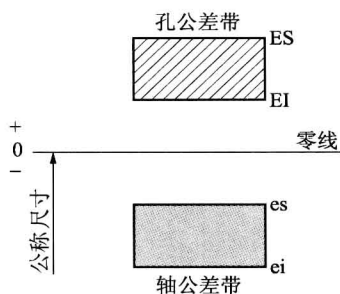


图 1-6 公差带图

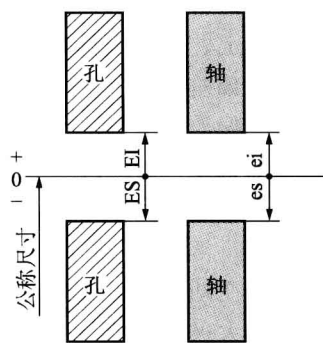


图 1-7 基本偏差示意图

当公差带在零线上方时,其下极限偏差(EI或ei)为基本偏差;当公差带在零线下方时,其上极限偏差(ES或es)为基本偏差;若公差带对称地跨在零线上时,其上、下极限偏差中的任何一个都可作为基本偏差。

5. 标准公差

标准公差是标准中规定的、用以确定公差带大小的任一公差值。

国家标准已将公差带大小和位置标准化,所以设计时应尽量采用标准中所列出的基本偏差和标准公差数值。

四、有关“配合”的术语及定义

1. 配合

公称尺寸相同的相互结合的孔和轴公差带之间的关系称为配合。