

全国高等农业院校教材

互换性与测量技术

第三版

何志刚 主编

机械类专业用

中国农业出版社

第三版修订者

主 编 何志刚 (北京农业工程大学)
编 者 杨 青 (西北农业大学)
 杨忠汉 (湖南农业大学)
 申玉洁 (北京农业工程大学)

第二版修订者

主 编 何志刚 (北京农业工程大学)
编 者 (按姓氏笔画排)
 申玉洁 (北京农业工程大学)
 杨 青 (西北农学院)
 杨忠汉 (湖南农学院)
 钱来根 (浙江农业大学)
主 审 徐步垣 (新疆石河子农学院)

第一版编审者

主 编 北京农业机械化学院 何志刚

副主编 西北农学院 杨 青

编 者 青海工农学院 张恩纪

湖南农学院 杨忠汉

浙江农业大学 钱来根

北京农业机械化学院 申玉洁

第一版编者的话

根据全国高等农业院校农业机械化专业教材会议的精神和要求，我们编写了《互换性与技术测量》教材，以适应当前的教学需要。

本教材着重介绍了互换性与技术测量的基本原理、技术测量基本知识、光滑圆柱体的公差与配合、表面形状与位置公差、圆柱齿轮传动的公差等，对滚动轴承、螺纹、键与花键等常用典型零件的公差配合也作了一般的介绍。为便于自学和应用，提高分析和解决问题的能力，本书主要章节还附有应用举例和练习题。

考虑到当前新旧国家标准的过渡，在编写时，教材以介绍新国家标准为主，旧国家标准为辅，在应用手册中尽量列入新旧国家标准对照，以便于读者使用。

本教材可供高等农业院校农机类专业使用（教学内容可根据专业要求适当取舍），也可供农机技术人员、工人参考。

除编者外，一起参加定稿工作的有河南农学院薛愈及沈阳农学院李荣发等同志，还邀请了吉林农业大学查洪庆同志参加全书的定稿工作。

此外，原北京农业机械化学学院教师柏胤庆、新疆八一农学院莫之霓、北京农业机械化学学院宋碧清，也参加了部分编写工作。

本书在编写工作中，曾得到一机部标准化研究所、华南农学院、华中农学院、河北农业大学等有关单位大力支持和帮助，在此特向他们表示感谢。

编者

1979年8月

前 言

本教材自1980年出版以来,经有关院校同行十多年的教学实践,汇集了各兄弟院校的教学经验,在此基础上先后编写了一、二两版,第二版曾获1992年农业部首届农科本科部级优秀教材奖。

由于科学技术的不断进步,要求教材全部采用新的国家标准的条件已成熟。教材既照顾到科学性、系统性、先进性又力求突出重点、主次分明、篇幅和内容适中,加强说理性和适度的例题便于自学。第三版教材就是基于这个目的而修订。

本课程是机械类各专业的一门技术基础课程,它担负着联系设计与制造的纽带作用。它的任务在于通过本课程的学习,使学生获得互换性、标准化与测量技术方面的基本概念和原理。掌握各种公差标准及其初步应用和工厂常用计量器具的操作技能,初步学习测量误差及其处理方法。

在这次修订内容时,由于篇幅所限,某些内容的编写深度上留有余地,使学生认识到在互换性与测量技术这一学科尚有很多理论需要在今后实践中去加深学习和应用。为加强实践环节,各章之后附有思考与练习题,并附有必要的公差标准,作为检验教学效果和推动学生思考问题之用。

本书由北京农业工程大学何志刚教授主编,第一、三、六、七、十一章由何志刚执笔,第二、五章由西北农业大学杨青教授执笔,第四、八章由湖南农业大学杨忠汉副教授执笔,第九、十章由北京农业工程大学申玉洁副教授执笔,全书邀请北京印刷学院何镜民教授作了较详细审阅。

本书可供机械类各专业使用,也可供从事机械工业有关技术人员参考。

限于编者水平,书中缺点和不足之处难免,恳请读者批评指正。

编 者

1994. 12

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 互换性概述	1
§ 1-2 优先数和优先数系	4
§ 1-3 机械加工中几何参数的误差与公差	10
思考与练习题	16
第二章 光滑圆柱体结合的互换性	17
§ 2-1 公差与配合的基本术语及定义	17
§ 2-2 《公差与配合》国家标准基本结构	23
§ 2-3 公差与配合的选择	34
思考与练习题	47
第三章 测量技术基础	51
§ 3-1 测量的基本概念	51
§ 3-2 长度基准与量值传递	52
§ 3-3 计量器具和测量方法的分类	56
§ 3-4 计量器具的基本计量指标	57
§ 3-5 测量误差与数据处理	58
§ 3-6 光滑工件尺寸的检验	70
思考与练习题	74
第四章 形状和位置公差	76
§ 4-1 基本概念	76
§ 4-2 形状公差	79
§ 4-3 位置公差	85
§ 4-4 公差原则	96
§ 4-5 形位公差的选用原则	101
§ 4-6 形位误差的检测	103
思考与练习题	105
第五章 表面粗糙度	110
§ 5-1 表面粗糙度的评定	110
§ 5-2 表面粗糙度的符号及标注	114
§ 5-3 表面粗糙度参数值的选择	118
§ 5-4 表面粗糙度检测	123
思考与练习题	124
第六章 滚动轴承的互换性	125
§ 6-1 概述	125

§ 6-2 滚动轴承的精度等级及选用	125
§ 6-3 滚动轴承内径与外径公差带及配合特点	128
§ 6-4 滚动轴承与配合件配合的选择	129
思考与练习题	136
第七章 光滑极限量规	137
§ 7-1 概述	137
§ 7-2 量规公差带	138
§ 7-3 量规的设计	140
思考与练习题	141
第八章 螺纹结合的互换性	143
§ 8-1 概述	143
§ 8-2 螺纹几何参数误差对螺纹互换性的影响	144
§ 8-3 作用中径及中径合格性判断原则	146
§ 8-4 普通螺纹的公差与配合	147
思考与练习题	150
第九章 键与花键结合的互换性	151
§ 9-1 键与花键的用途和种类	151
§ 9-2 平键联结的公差与配合	151
§ 9-3 矩形花键的公差与配合	154
思考与练习题	157
第十章 齿轮传动的互换性	158
§ 10-1 概述	158
§ 10-2 单个齿轮的误差及评定指标	160
§ 10-3 齿轮副误差的评定指标	171
§ 10-4 圆柱齿轮公差标准	173
§ 10-5 齿轮工作图技术条件的确定	175
思考与练习题	180
第十一章 尺寸链	182
§ 11-1 尺寸链的基本概念	182
§ 11-2 线性尺寸链的计算	184
§ 11-3 尺寸链的应用	186
思考与练习题	193
附表	195

第一章 绪 论

§ 1-1 互换性概述

一、互换性及其作用

在日常生活和工作中，有关互换性的事例比比皆是。例如照明用的灯泡坏了，只要买一个与灯头规格一致的灯泡，即能换上；自行车的辐条断了，买一根同规格的可装上；农业生产中使用的拖拉机、柴油机、联合收割机、水泵等，在使用了一段时间后，就需更换因磨损而性能降低或失效了的零、部件，这些零、部件可到市场购买或到备品库领取，很快就更换上，并能很好地满足使用要求。这在季节性强的农业生产是至关重要的。其所以有如此方便，都是由于这些零、部件具有互换性的缘故。

现代工业生产中，互换性已成为一个应普遍遵循的指导原则。

现代化的拖拉机厂，每隔几分钟便可装配好一台拖拉机，每台拖拉机有数千个零件和几十种部件，分别由近百家工厂各按照规定的标准进行生产，最后集中到拖拉机厂进行部装和总装。机器产品的质量极大程度上取决于零、部件的质量，重要指标之一是它们的互换性。只有零件和部件具有互换性，才能保证总装线上按节拍进行装配。如果到装配时还需对零件进行挑选、修配或调整，将大大地增加装配时的劳动量，生产节拍将无法保证，产品质量和劳动生产率也随之下降，生产组织管理也会产生混乱，也就根本谈不上现代化、文明生产了。

互换性 是指在一批产品规格相同的零件中任取一件，不需要对零件进行辅助加工或钳工修配便可装配到机器上，且符合装配技术要求和使用性能。

零件能否互换是以装入机器后满足产品性能为标志：一是零件几何参数满足装配性和使用性要求；二是零件的物理、化学性能等参数满足产品功能要求。具有第一个条件的，称为几何参数互换，两个条件都具备的，称为功能互换。本课程只讨论几何参数的互换性。

互换性对机器设计、制造、使用和维修的作用：

设计时，如尽量采用按互换性原则设计的标准件、通用件，就可以减少绘图、计算等工作，缩短设计时间，为产品品种多样化和产品结构性能的不断改进创造了有利的条件。

制造时，由于零件是按互换性原则设计，就可以合理地进行生产分工和组织专业化生产，采用先进的工艺方法和高效能的专用设备，实现机械化、自动化生产。因而互换性是提高生产水平和文明生产的有力手段。

使用和维修时，零件具有互换性显得更为重要。当农业生产中使用收割机进行收获时，一旦某种零件损坏了（如收割刀片），可及时将一个按互换性原则设计的新零件换上，使收割机不误农时继续工作。在修理农机具时，用具有互换性的零件来更换那些已经磨损或损坏了的零件，将大大简化修理工艺，缩短修理周期和降低修理费用，保证机器工作连续性，

从而使机器的综合经济效益大大地提高。

总言之，互换性对改善产品的综合经济效益，提高质量和可靠性以及寿命等方面具有特别的重要意义。

二、零件互换性的条件

一批零件假若它们的尺寸、形状、位置和表面粗糙度等实际几何参数做成和理论几何参数完全一致时，则这些零件可以互换将是毫无疑问的。但实践证明，按同一图样加工一批零件，由于设备、材料等因素，不可能将零件做得绝对准确，即使在稳定的工艺条件下，几何参数的误差总有一定程度的变动范围。例如：市场上销售的同类型、同规格的活塞、缸套、活塞销、螺钉、螺母等零件，若对抽出若干个零件进行精密测量，就会发现其几何参数也并非绝对一样。它们之所以具有互换性，是因为这些零件几何参数的误差都没有超过几何参数互换性所允许的范围而已。人们通过大量的生产实践和科学研究的经验积累，认识到制造一批同类型、同规格的零件，要求它们的几何参数绝对准确不仅是不可能的，而且也没有必要，只要根据机器的功能和使用要求，将零件的实际几何参数的误差限制在一定范围内，这些零件就能实现互换。

零件的实际几何参数允许的变动范围，称为几何参数公差，它由尺寸公差、形状、位置公差和表面粗糙度等组成。

由此可见，一批同类型、同规格的零件具有互换性的条件是：将零件的实际几何参数误差限制在规定的公差范围内。

三、互换性的种类

在各种机器的生产中，根据生产的批量、零部件的通用程度以及对零件的几何参数要求的精确程度的不同，互换性的程度有高有低。如大量生产的拖拉机，大部份零部件要互换，但也有些零件如发动机的活塞、缸套在装配前需按尺寸大小分组，相同组号的零件才可以装配互换。又如拖拉机后桥的螺旋锥齿轮、燃油泵的柱塞副，在制造时就考虑成对加工，装配时只能按配好的成对使用。

因此，根据互换程度的不同，零件的互换性可分为完全互换和有限互换。

完全互换是指完工后的一批零件，在装配时无需附加的分组、挑选或修配，任取其一装到机器上，即能满足规定的装配要求，如拖拉机的变速箱零件、齿轮、轴、滚动轴承（外互换）、螺钉、螺母等。

有限互换是指完工后的一批零件，在装配时要经过分组和选择的手续，如上述的缸套、活塞，由于装配要求高，采用完全互换将会使零件制造公差很小，加工困难，成本增高。这时可将零件的制造公差根据生产条件，适当地放大，使之便于加工，零件完工后，通过测量将零件的实测尺寸大小按规定的要求分为若干组，装配时按相应组进行。这样做不仅能保证装配精度和使用要求，又可解决加工困难，从而提高综合经济指标。显然，这是以牺牲完全互换来达到的。这种分组装配的零件，只能在同组内互换。

倘若在装配时，还需对零件进行辅助加工或钳工修配或成对使用，则零件已无互换可言。

因此，在进行机器产品设计时，对于那些易耗件、通用件、标准件应遵循完全互换原则；当零部件结构复杂、装配要求高，经过综合评定其技术经济指标后（如产品精度、生产规模、设备条件、技术水平）再决定用完全互换或有限互换原则。

四、如何实现互换性生产

为实现互换性生产，在进行产品设计时，必须注意贯彻产品的标准化。标准化是实现互换性生产的基础，是组织现代化大生产的重要手段。搞好标准化，对发展国民经济，加快实现四个现代化有着重要的意义。

标准化是为了所有有关方面的利益，特别是为了促进最佳的全面经济，并适当考虑到产品使用条件与安全要求，在所有有关方面的协作下，进行有秩序的特定活动所制订并实施各项规则的过程。

标准则是标准化主管机关具体工作的结果。工业生产中的技术标准是为了保证社会化的生产技术活动中必要的统一协调和获得最好的经济效果，作为有关各方面共同遵守的技术标准。它是经公认的权威当局（国家标准总局）批准，以特定形式的文件，记述一整套必须达到的条件。

例如国家标准局颁布的标准：优先数和优先数系标准、标准尺寸系列标准、公差与配合标准、形位公差标准等所规定的互换性标准体系，能最有效地为互换性生产创造了先决条件。

系列化和通用化是应用标准化原理去解决专门任务所应用的一些方法。

系列化可理解为对同一用途产品的型号、种类和尺寸进行合理的规定，以尽可能少的品种规格满足各种不同条件的需要，如螺纹的直径、水泵流量、电动机的功率按大小合理分档。

通用化就是使同类机型的主要零部件在不同规格的机型中，最大限度地、合理地扩大彼此可以互换通用的零件或部件。

通过对产品最大限度实现标准化，可以简化产品品种和规格，提高生产的连续性，统一产品的互换、配套的规格尺寸，为实现专业化协作生产和国民经济各部门的协调创造了良好的条件。

五、互换性生产发展简介

任何一门学科都有它自己产生和发展的过程，互换性生产也是如此。

互换性生产的发展是和标准化产生与发展息息相关的。我们可以追溯到我国历史的那些古老的年代，如社会分工引起的直接结果是生产的发展和产品的交换，它一开始就遵循等价交换的原则。为了体现交换过程中的等价原则，就必须对交换物进行计量，或以轻重，或以多少，或以长短进行定量，这就是最初的计量器具作为分配社会产品的衡量准绳，本质上起着“标准”的作用。虽然人们在初始时建立的“标准”比较粗略，如用麦粒、竹筒、前腕、两臂等做过计量单位，但是随着生产的发展，人们不断地对计量单位进行改革和统一，这就是计量单位的标准化。特别是在秦始皇统一中国后，用政令对计量器具、文字（人同字）、货币、道路（车同轨）、兵器等进行全国的统一化，这不仅对当时经济文化

的发展起了重要的促进作用，而且是中国标准化史上的重大事件。尤其是北宋时代毕昇发明的活字印刷，成功地运用了标准件、互换性、分解组合、重复利用等方法和原则，被称为“标准化发展的里程碑”。不过这些先进思想却被封建制度长期埋没。

近代标准化互换性生产是伴随着采用机器生产而产生的。

机器制造业发展的初期，只是将结合件成对配制，即在加工时不断试配，直至符合要求为止。由于效率很低，这种方式只适合于单件生产。随着生产的发展，产量日益增加，要求分工协作，导致标准量规的产生，即先制成一对合格的标准零件，以它作为检测工具来检验一批配合件，只要工具（标准零件）紧密通过相应的偶件，就认为配合件可用，并能互换。随着科学技术进步，新的精密计量器具的出现，人们对上述的制品进行测量，发现它们仍有差别，说明零件几何参数不必完全一样，仍然可以使用。通过生产实践的总结，人们认识到在一定的使用条件下，零件的几何参数稍有一点差异，并没反映出使用性能有多大差别，从实践—认识—再实践的过程产生了新的概念，即公差概念。由于公差概念的产生，伴随着极限量规的出现，互换性生产就迅速发展，从而开创了互换性生产的发展历史。

由于科学技术日新月异，生产突飞猛进，大工业和贸易不断发展，国际间交往也愈来愈多，标准化的重要性日益被人们所重视。1926年成立了国际标准化协会（International Federation of the National Standardization Associations），简称ISA。在总结当时先进工业国如德国、英国、法国等国的公差制基础上，1935年公布了国际公差制ISA（草案）。到本世纪50年代，ISA制已成为应用很广的国际公差制。

第二次世界大战后，1947年国际标准化组织重建，改名为国际标准化组织（International Organization for Standardization）简称ISO。它是目前世界上最大的国际性标准化组织。在继承和发展ISA公差制原则基础上，从1962年起，陆续颁布了新的ISO公差制，它已成为世界各国修订本国公差制的重要依据。

我国是ISO创始国之一，由于旧中国未能履行会员的义务，而被停止会籍。1978年9月，我国以中国标准化协会（CAS）名义参加ISO为正式成员。

为进一步加强全国标准化管理工作，国务院于1978年批准成立了国家标准局，1979年7月31日国务院批准颁布了《中华人民共和国标准化管理条例》。为了适应和促进我国工业发展的水平，提高我国产品在国际市场上的竞争能力，促进对外贸易的发展，以国际标准为借鉴与参考，目前已制订或修订了一整套符合我国工、农业生产发展并具有先进水平的基础标准及其它标准。我国标准化事业和其它各项建设事业一样，取得了很大的成就，在社会主义建设中发挥了重要的作用。

另一方面，为了使先进的标准顺利贯彻执行，测量技术是保证互换性生产的重要手段。解放前，我国几乎不能制造精密计量器具。解放后，在党的领导下，建立起一批技术较为先进的量仪制造厂，如哈尔滨、成都和北京量具刀具厂，上海光学仪器厂、中原量仪厂等，为我国计量事业的发展奠定了基础。

§ 1-2 优先数和优先数系

在进行产品设计以及制定技术标准时，将涉及到各种技术参数，这些参数不仅同该种

产品本身的性能有关，而且还与该产品相关的一系列产品的技术特性有关。某种产品的参数将直接或间接地影响其它产品的参数，如白炽灯泡功率有 10W、15W、25W、40W……是属于产品性能参数，而连接的形式有卡口或螺口，这个参数就对绝缘制品灯头有直接影响；自行车车轮直径这个参数就对橡胶轮胎、辐条的参数有直接的影响。因此参数之间这种相互关联、不断扩散的特征叫“数值的扩散”。

不仅如此，为了满足用户的多种多样的要求，需将参数的量值合理分级，参数的量值分得科学合理，就能以较少种类的规格满足广泛的需要，将能取得最佳的经济效益。

“优先数和优先数系”就是使技术参数标准化的一项重要基础标准，又是国际范围内公认的一个无量纲的数值分级制度，适用于各种参数量值的分级。国家标准“优先数和优先数系”GB321-80 以及在该标准的基础上制定的“标准尺寸”标准 GB2822-81，在确定产品的参数或参数系列时，必须最大限度地采用。

一、优先数系和优先数的概念

优先数系是以公比为 $q_r = \sqrt[r]{10}$ 的十进等比数列。所谓十进是指项值中包括 10^n 或 $\frac{1}{10^n}$ 这些数。这里 n 为整数，如 $n=0、1、2、3……$ 。则数列项值为 $1—10—100—1000……$ ，和 $1—0.1—0.01—0.001……$ ；称为十进段。

如设 a 为十进段内的起始项， $q_r = \sqrt[r]{10} = 10^{\frac{1}{r}}$ 为数列的公比，则十进段内的项数排列为： $a, a \cdot (10^{\frac{1}{r}})^1, a \cdot (10^{\frac{1}{r}})^2, a \cdot (10^{\frac{1}{r}})^3, …, a \cdot (10^{\frac{1}{r}})^r = 10a$ ，即十进等比数列的规律是每进 r 项就使项值增大为首项的 10 倍。

问题是 r 值不同，构成的数系就不一样，由于倍数在工程技术上广泛应用，要求数系中含有有倍数项为：1、2、4、8……。如照相机光圈数系其中有 2、4、8、16。电动机的转速有 375、750、1500、3000 等，每项相隔为 2 的倍数。

设十进等比数列中相隔 x 项，能构成倍数系列，则应满足：

$$(q_r)^x = (10^{\frac{1}{r}})^x = 2 \quad (1-1)$$

即 $10^{\frac{x}{r}} = 2$

取常用对数 $\frac{x}{r} \lg 10 = \lg 2$

得 $\frac{x}{r} = 0.30103 \approx 0.3$

满足 $\frac{x}{r} = 0.3$ 的数值组合有

$$\frac{3}{10}, \frac{6}{20}, \frac{12}{40}, \frac{24}{80}$$

以数字组合 $\frac{3}{10}$ 为例，即公比 $q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$ ，当首项为 $a=1$ ，项数 $r=10$ 时，构成 1—10 的数列如下：

1.00, 1.25, 1.60, 2.00, 2.50, 3.15, 4.00, 5.00, 6.30, 8.00, 10.00。

上面数列每向后数三项 ($x=3$) 取值便构成倍数系列：

1, 2, 4, 8, ……。

表 1-1 优先数系的基本系列 (摘自 GB321—80)

基本系列 (常用值)				序号 <i>N</i>			理论值的 对数尾数	计算值	常用值的相 对误差 (%)			
<i>R</i> 5	<i>R</i> 10	<i>R</i> 20	<i>R</i> 40	0.1—1	1—10	10—100						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1.00	1.00	1.00	1.00	-40	0	40	000	1.0000	0			
			1.06	-39	1	41	025	1.0593	+0.07			
			1.12	-38	2	42	050	1.1220	-0.18			
			1.18	-37	3	43	075	1.1885	-0.71			
			1.25	1.25	1.25	-36	4	44	100	1.2589	-0.71	
					1.32	-35	5	45	125	1.3335	-1.01	
			1.40	1.40	1.40	-34	6	46	150	1.4125	-0.88	
					1.50	-33	7	47	175	1.4962	+0.25	
					1.60	-32	8	48	200	1.5849	+0.95	
			1.60	1.60	1.60	1.60	-32	8	48	200	1.5849	+0.95
1.70	-31	9				49	225	1.6788	+1.26			
1.80	-30	10				50	250	1.7783	+1.22			
1.90	-29	11				51	275	1.8836	+0.87			
2.00	2.00	2.00				-28	12	52	300	1.9953	+0.24	
		2.12				-27	13	53	325	2.1135	+0.31	
2.24	2.24	2.24				-26	14	54	350	2.2387	+0.06	
		2.36				-25	15	55	375	2.3714	-0.48	
		2.50				-24	16	56	400	2.5119	-0.47	
2.50	2.50	2.50				2.50	-24	16	56	400	2.5119	-0.47
			2.65	-23	17	57	425	2.6607	-0.40			
			2.80	2.80	2.80	-22	18	58	450	2.8184	-0.65	
					3.00	-21	19	59	475	2.9854	+0.49	
			3.15	3.15	3.15	-20	20	60	500	3.1623	-0.39	
					3.35	-19	21	61	525	3.3497	+0.01	
					3.55	-18	22	62	550	3.5481	+0.05	
			4.00	4.00	4.00	3.75	-17	23	63	575	3.7584	-0.22
						4.00	-16	24	64	600	3.9811	+0.47
						4.25	-15	25	65	625	4.2170	+0.78
4.50	4.50	4.50				-14	26	66	650	4.4668	+0.74	
		4.75				-13	27	67	675	4.7315	+0.39	
5.00	5.00	5.00				-12	28	68	700	5.0119	-0.24	
		5.30				-11	29	69	725	5.3038	-0.17	
		5.60				-10	30	70	750	5.6234	-0.42	
6.30	6.30	6.30				6.00	-9	31	71	775	5.9566	+0.73
						6.30	-8	32	72	800	6.3096	-0.15
			6.70	-7	33	73	825	6.6834	+0.25			
			7.10	7.10	7.10	-6	34	74	850	7.0795	+0.29	
					7.50	-5	35	75	875	7.4989	+0.01	
			8.00	8.00	8.00	-4	36	76	900	7.9433	+0.71	
					8.50	-3	37	77	925	8.4140	+1.02	
					9.00	-2	38	78	950	8.9125	+0.98	
			10.00	10.00	10.00	9.50	-1	39	79	975	9.4406	+0.63
						10.00	0	40	80	000	10.0000	0

注：①大于10和小于1的优先数，可按十进延伸法求得 ②*N*是优先数在*R*40系列中序号*N*₄₀的简写 ③常用值的相对误差 = $\frac{\text{常用值} - \text{计算值}}{\text{计算值}} \times 100\%$

在 GB321—80 (优先数和优先数系) 规定了 r 值是: 5, 10, 20, 40, 80。优先数系的系列符号用 R_r 表示, 即: $R_5, R_{10}, R_{20}, R_{40}, R_{80}$, 其中四个 $R_5, R_{10}, R_{20}, R_{40}$ 称为基本系列。 R_{80} 作为补充系列, 一般用于分级更密的场合。

各系列的公比分别为:

$$R_5 \text{ 系列: } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.60$$

$$R_{10} \text{ 系列: } q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$$

$$R_{20} \text{ 系列: } q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$$

$$R_{40} \text{ 系列: } q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$$

$$R_{80} \text{ 系列: } q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.03$$

优先数系的基本系列见表 1-1。

任一系列的项数在每一个十进段的间隔中 (1—10, 10—100, 100—1000 等, 还有 1—0.1, 0.1—0.01, 0.01—0.001 等) 都是常数。如 R_5 系列在十进段间隔中的项数等于 5 (1, 1.6, 2.5, 4.0, 6.3); R_{10} 系列项数等于 10, 而且每后一个系列的项必然包括前面系列的所有项, 即 R_{10} 系列中的项值包括 R_5 系列的所有项值, R_{20} 系列中的项值包括 R_{10} 系列的所有项值等, 优先数系列在两个方向上延伸都是无限的。用 10 乘 1—10 中的数得到 10—100 的数列, 用 100 乘 1—10 中的数得到 100—1000 的数列等; 用 0.1 乘 1—10 中的数得 0.1—1 的数列, 用 0.01 乘 1—10 中的数得到 0.01—0.1 的数列, 如此类推。

优先数系的各系列中的任一个项值均为优先数。

根据 GB321—80 的规定, 优先数和优先数系适用于各种量值的分级, 特别是在确定产品的参数或参数系列时, 必须按该标准规定, 最大限度地采用, 这就是“优先”的概念。

二、优先数系的结构

1. 基本系列与补充系列 基本系列指 $R_5, R_{10}, R_{20}, R_{40}$ 系列, 是优先数系中的常用系列。

补充系列指 R_{80} 系列, 只有当基本系列无法满足实际需要时, 才允许采用。

2. 优先数的序号 序号 N 表示优先数在 R_{40} 系列中排列的次序。从优先数 1.00 的序号 $N=0$ 开始排成一个等差数列。序号 N 实质上是优先数以 $\sqrt[40]{10}$ 为底的对数, 因而在优先数间的乘除运算可应用序号的和差运算来代替, 起着简化运算的作用。

3. 优先数的几种数值

理论值 由于数列的公比 $q_r = \sqrt[r]{10}$ ($r=5, 10, 20, 40$) 为无理数, 所以数列的项值一般是无理数, 不便于实际应用。

计算值 是对理论值取五位有效数字的近似值, 同理论值相比, 其相对误差小于 $\frac{1}{20000}$, 供参数精确计算之用。

常用值 即通常所说的优先数, 它是将计算值取三位有效数字进行适当圆整后统一规定的标准值。它与计算值相比最大相对误差在 +1.26% 和 -1.01% 之间。

化整值 它是对常用值作进一步圆整后所得的值，一般取两位有效数字。

为了更大限度地简化和统一机械制造业中刀具、量具、毛坯以及原材料等的规格尺寸，同时照顾到已经广泛使用的习惯数值，由优先数的常用值和一部份化整值组成化整系列，分别以 R_5 , R_{10} , R_{20} , R_{40} 表示，以区别于 R_5 , R_{10} , R_{20} , R_{40} 。GB2822—81（标准尺寸，表 1-2）就是选用优先数常用值及其化整值而制订的。

表 1-2 标准尺寸（摘自 GB2822—81）

1.0—10.0mm				10—100mm											
R		R_a		R			R_a			R			R_a		
R10	R20	R_{a10}	R_{a20}	R10	R20	R40	R_{a10}	R_{a20}	R_{a40}	R10	R20	R40	R_{a10}	R_{a20}	R_{a40}
1.00	1.00	1.0	1.0	10.0	10.0	10.0	10	10	10						
	1.12		1.1		11.2	11.2		11	11	40.0	40.0	40.0	40	40	40
1.25	1.25	1.2	1.2	12.5	12.5	12.5	12	12	12						42
	1.40		1.4			13.2			13	45.0	45.0	45.0		45	45
1.60	1.60	1.6	1.6		14.0	14.0		14	14						48
	1.80		1.8			15.0			15	50.0	50.0	50.0	50	50	50
2.00	2.00	2.0	2.0	16.0	16.0	16.0	16	16	16						53
	2.24		2.2			17.0			17	56.0	56.0	56.0		56	56
2.50	2.50	2.5	2.5		18.0	18.0		18	18						60
	2.80		2.8			19.0			19	63.0	63.0	63.0	63	63	63
3.15	3.15	3.0	3.0	20.0	20.0	20.0	20	20	20						67
	3.55		3.5			21.2			21	71.0	71.0	71.0		71	71
4.00	4.00	4.0	4.0		22.4	22.4			22						75
	4.50		4.5			23.6			24	80.0	80.0	80.0	80	80	80
5.00	5.00	5.0	5.0	25.0	25.0	25.0	25	25	25						85
	5.60		5.5			26.5			26	90.0	90.0	90.0		90	90
6.30	6.30	6.0	6.0		28.0	28.0			28						95
	7.10		7.0			30.0			30	100.0	100.0	100.0	100	100	100
8.00	8.00	8.0	8.0	31.5	31.5	31.5	32	32	32						
	9.00		9.0			33.5			34						
10.00	10.00	10.0	10.0		35.5	35.5			36						

注：① R_a 系列中的黑字体为 R 系列相应各项优先数的化整值

② 标准规定的尺寸范围是 0.01—20000mm

③ 标准尺寸适用于有互换性或系列化要求的主要尺寸（如安装连接尺寸，有公差要求的配合尺寸，决定产品系列的基本尺寸）。对于由主要尺寸导出的因变量尺寸和工艺上工序间的尺寸，以及已有专用标准规定的尺寸，可不受此限制

④ 优先顺序按 R_{10} 、 R_{20} 、 R_{40} ；如将数值圆整时，按 R_5 、 R_{10} 、 R_{20} 、 R_{40} 。只在 0.01—0.1mm 时规定有 R_5

⑤ 可用派生系列和复合系列

4. 优先数的派生系列

派生系列 是从基本系列或补充系列中每隔 p 项取值导出的变形系列，以 R_r/p 表示。

例如派生系列 $R_{10}/3$ 就是在 R_{10} 系列中从某一项开始，向后每数 3 项取一项导出新的系列。

根据对派生系列是否需要限定范围可用不同代号表示。当系列无限定范围，且含项值 1 时，用 $R10/3$ 表示，可向 1 的左右延伸，如向右延伸可写成 1, 2, 4, 8……。当系列有限定范围时，应注明界限值，如 $R10/3 (1.25\cdots)$ 表示以 1.25 为下限的派生系列，可写成 1.25, 2.50, 5.00, 10.00……。 $R10/3 (\cdots 50)$ 则是指以 50 为上限的派生系列。 $R10/3 (\cdots 80\cdots)$ 是指包含项值为 80 的派生系列。

如果派生系列的公比与某基本系列相同，但起点或任一项都不属于基本系列，称为移位系列，例如 $R20/4 (1.12, 1.8, 2.8, 4.5, \cdots)$ 其公比 $q_{20/4} = 10^{4/20} = 10^{1/5} = q_5$ ，则此派生系列是 $R5 (1.00, 1.60, 2.50, 4.00\cdots)$ 的移位系列。

5. 优先数的复合系列 复合系列是若干个公比不同的系列（其中可包括派生系列）组合成的多公比系列。例如数系 1.00, 1.60, 2.50, 4.00, 5.00, 6.30, 8.00, 10.00。是由系列 $R5$ 中的数 1.00, 1.60, 2.50, 4.00 和 $R10$ 系列中的数 5.00, 6.30, 8.00, 10.00 构成。

三、优先数系应用举例

优先数系由于疏密适当，符合标准化的统一、简化和协调的原则，无论是在产品系列设计和工艺装备的设计（如夹具、刀具、量具等）以及原材料规格、各类标准的制订等方面的工作中，有广泛的适应性。在选择数系时，优先选用基本系列，并遵从“先疏后密”的原则，即 $R5$ 优先于 $R10$ ， $R10$ 优先于 $R20$ ， $R20$ 优先于 $R40$ 的顺序，使产品规格大小疏密相间合理，这对制造和使用都是极为重要的。下面列举一些例子说明（表 1-3）。

表 1-3 优先数系应用举例

名 称	采用系列	数 系 值
“公差与配合”标准 IT6—IT18 公差等级系数	$R5$	10, 16, 25, 40, 64, 100, 160, 250, 400, 640, 1000, 1600, 2500
表面粗糙度轮廓算术偏差 R_a 值第一系列 (μm)	$R10/3$	0.012, 0.025, 0.05, 0.100, 0.20, 0.40, 0.80, 1.6, 3.2, 6.3, 12.5, 25, 50, 100
纵向平面磨床最大加工尺寸规格 (宽度值 mm)	$R10$	200, 250, 320, 400, 450, 630, 800, 1000, …… , 3200
水泵流量 Q (米 ³ /时)	$R10/3$	6.3, 12.5, 2.5, 50, 100, 120, 400
CA6140 普通车床主轴转速 (转/分)	$R10$ 与 $R20$ 复合系列	10, 12.5, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 250, 320 以上按 $R10$ 系列 400, 450, 500 按 $R20$ 系列 560, 710, 900, 1120, 140。按 $R20/2$ 派生系列

从上述诸例可知，任何产品或标准都有许多参数，如规格、性能、型式、尺寸等。往往不可能使产品的所有参数都采用优先数，但决定产品性能的主要参数则应最大限度采用。因此，在设计任何产品时，就应有意识地使主要参数符合优先数，使其在设计开始就纳入标准化轨道。

生产实践已经证明，在国民经济各部门广泛采用优先数系及优先数，使各专业的协调不谋而合已获得良好的技术经济效益。

§ 1-3 机械加工中几何参数的误差与公差

一、零件几何参数误差的种类

无论是简单的还是复杂的机械零件，总是由一些基本的几何要素即点、线、面组合而成，如图 1-1 所示的轴。因为零件在机械加工过程中，由于各种因素的影响，加工出来的零件实际几何参数与图样上给出的理论几何参数总是不会完全相同。如 ϕd_1 、 ϕd_2 的圆柱面加工出的直径不一样，而且形状也非理想的圆柱面； ϕd_1 左右端面与 ϕd_2 轴心线不垂直； ϕd_2 与 ϕd_1 的轴心线不同轴； ϕd_1 的实际表面是高低起伏、凹凸不平的状态。

综上所述，归纳起来零件几何参数误差可分为：

1. 尺寸误差 即零件加工后的实际尺寸和图样规定的理论尺寸不一致，这个差值就是尺寸误差，如图 1-1，若规定 ϕd_1 为 20mm，加工后测得的实际尺寸为 $\phi 20.01\text{mm}$ ，其差值为 $+0.01\text{mm}$ ，即为尺寸误差。

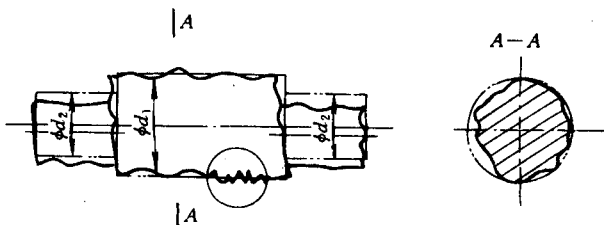


图 1-1 零件几何参数误差

2. 形状误差 指宏观几何形状而言，是零件的几何要素整个范围内的误差。如图 1-1 中 ϕd_1 的 A—A 截面，理论的表面形状应该是个几何圆，而加工后的表面是不圆的，这就是形状误差。

3. 表面粗糙度（旧称表面光洁度）指表面微观的几何形状而言，是零件表面经机械加工后留下的微小、高低不平的波形，如图 1-1 局部放大处。

4. 表面波度 是介于形状误差与表面粗糙度之间的一种误差，故又称为中间几何形状误差。

目前，对表面三类形态的界限划分尚不统一，有一种是以波距 s 对波高 h 的比值来区分： $\frac{s}{h} < 40$ 为表面粗糙度； $40 \leq \frac{s}{h} \leq 100$ 为表面波度； $\frac{s}{h} > 1000$ 为形状误差。

5. 位置误差 指零件各要素的相互位置产生偏移。如图 1-1 中 ϕd_1 与 ϕd_2 表面轴线不同轴； ϕd_1 左右端面与 ϕd_2 轴心线不垂直等。

二、零件几何参数误差来源及性质

从完工后的一个零件上只能量出零件几何参数误差的大小；若对一批同规格的零件对同一部位的测量，则可看到各个零件的误差大小的变化情况。造成误差的原因是多种多样的，但主要来自加工误差和测量误差，根据误差的性质不同，可归纳为系统误差和随机误差。

1. 系统误差 加工同一批零件或对同一零件某个部位多次重复测量所产生的误差，其数值大小和符号都保持不变或按一定规律变化，这种误差称为系统误差。前者为定值系统