



| 高等职业教育高水平专业群  
| 创新系列教材·机电类

# 公差配合 与技术测量

◆ 主编 张 静 张 朋 方春慧

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业教育高水平专业群创新系列教材·机电类

# 公差配合与技术测量

主 编 张 静 张 朋 方春慧  
副主编 李 强 王德兰 姜爱梅 孙利民  
参 编 于善强 潘翠云  
主 审 侯玉叶

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了公差配合与技术测量方面的基础知识,全书共分6个项目,并以情境任务的形式进行讲解,通俗易懂,实用性强,主要内容包括:绪论、公差与配合、测量技术基础与光滑尺寸检测、几何公差及检测、表面粗糙度的检测、常用结构件的公差配合与检测。

本书采用最新国家标准,侧重于基本概念的讲解与常用测量方法和测量工具的运用,内容简明扼要、通俗易懂。在编排上,本书注重理论与实践相结合,采用项目化教学模式,通过实际情境引出学习内容,每个项目分为若干任务,每个任务由任务描述与要求、任务知识准备、任务实施组成,正文中还设置了小提示、知识链接等特色模块,意在提高学生的学习兴趣。

本书可作为高等院校机械类和近机类各专业的教学用书,也可作为从事机械设计与制造、标准化、计量测试等工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

公差配合与技术测量 / 张静, 张朋, 方春慧主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2020.8 (2020.9 重印)

ISBN 978-7-5682-8717-3

I. ①公… II. ①张…②张…③方… III. ①公差-配合-高等学校-教材②技术测量-高等学校-教材 IV. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 126281 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 涿州市新华印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 12.5

字 数 / 294 千字

版 次 / 2020 年 8 月第 1 版 2020 年 9 月第 2 次印刷

定 价 / 36.00 元

责任编辑 / 多海鹏

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

# 前 言

“公差配合与技术测量”是机械类专业一门主要的专业基础课，是从基础课程学习过渡到专业课程学习的纽带，它使机械制图标注更加细化、更加系统、更加规范，是学好后续专业课程的基础。

本书是在专业建设和课程项目化教学改革的基础上编写而成的，以培养实用型、技能型技术人才为出发点，瞄准高等院校毕业生的职业需要，着重培养高素质型人才。本书执行最新国家标准，结合“互换性与技术测量”课程的项目化教学改革实践，组织内容按项目化编排，采用项目驱动的方式，突出实际应用，按提出问题、分析问题、解决问题的思路进行编写，使学生学习更具有针对性。教材理论教学以够用为度，实践教学以操作性、针对性为要领，可操作性强，方便教、学、做一体化和项目化教学的实施，符合高等教育规律和高端人才的成长规律。

本书由烟台汽车工程职业学院张静、方春慧，枣庄科技职业学院张朋任主编，烟台汽车工程职业学院李强、王德兰、孙利民，潍坊工商职业学院姜爱梅任副主编，烟台汽车工程职业学院于善强、潘翠云任参编。项目一由王德兰编写，项目二、项目六由方春慧编写，项目三由李强编写，项目四由张静编写，项目五由张朋编写，姜爱梅参与资料收集及整理工作。全书由张静主编并负责统稿和定稿，山东理工职业学院侯玉叶审稿。

本书在编写过程中参考了有关文献，在此对文献作者表示衷心感谢！

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正，以尽早修订完善。

编 者

# 目 录

项目一 绪论 .....	1
任务一 互换性概述 .....	1
一、互换性的含义 .....	2
二、互换性的分类 .....	2
三、互换性的作用 .....	3
任务二 标准化与优先数系 .....	4
一、标准与标准化 .....	5
二、优先数与优先数系 .....	6
学习检测 .....	8
项目二 公差与配合 .....	9
任务一 孔和轴的极限与公差 .....	9
一、公差与配合的相关标准 .....	10
二、极限与公差的相关术语与定义 .....	11
任务二 孔和轴的配合 .....	22
一、有关配合的定义 .....	22
二、有关配合制的定义 .....	25
三、配合系列 .....	25
任务三 公差与配合的选择 .....	28
一、基准配合制的选择 .....	29
二、公差等级的选择 .....	30
三、配合的选择 .....	32
学习检测 .....	37
项目三 测量技术基础与光滑尺寸检测 .....	40
任务一 正确使用测量器具 .....	40
一、有关测量的基本概念 .....	41
二、长度单位、基准和量值传递 .....	41
三、计量器具与测量方法的分类 .....	44
四、常用计量器具的基本结构与工作原理 .....	46
拓展阅读 .....	54
拓展知识一 用立式光学比较仪测量轴颈 .....	54
拓展知识二 用立式测长仪测量轴径 .....	57

拓展知识三 用卧式测长仪测量孔径	58
任务二 分析测量误差与进行数据处理	61
一、测量误差及产生原因	61
二、测量误差的分类	62
三、测量精度	63
四、随机误差的数据处理	64
任务三 光滑工件尺寸检验与批量零件检验	67
一、光滑工件的尺寸检验	67
二、批量零件的检验	72
三、量具的维护和保养	79
项目小结	80
思考与练习	81
项目四 几何公差及检测	83
任务一 几何公差概述	83
一、几何要素的概念及其分类	84
二、几何公差的特征项目及其符号	85
任务二 几何公差的标注方法	86
一、几何公差框格和基准符号	86
二、几何公差的标注方法	88
任务三 几何公差及几何公差带	90
一、几何公差及几何公差带的概念	91
二、形状公差与公差带	92
三、位置公差与公差带	95
四、基准	100
任务四 几何公差原则及要求	102
一、有关几何公差原则的术语及定义	103
二、独立原则	105
三、相关要求	106
任务五 几何公差的选择	111
一、几何特征的选择	111
二、几何公差值的选择	112
三、公差原则的选择	115
四、基准要素的选择	116
任务六 几何公差的检测	119
一、形位误差的检测原则	119
二、直线度误差的检测与评定	121
三、平面度误差的检测与评定	123
学习检测	125

项目五 表面粗糙度的检测 .....	131
任务一 表面粗糙度概述 .....	131
一、表面粗糙度的基本概念 .....	131
二、表面粗糙度产生的原因 .....	132
三、表面粗糙度对零件使用性能的影响 .....	132
四、表面粗糙度应用举例 .....	133
任务二 表面粗糙度的评定参数 .....	134
一、基本术语 .....	134
二、表面粗糙度的评定参数 .....	136
三、评定参数数值的规定 .....	137
任务三 表面粗糙度参数的选择和标注 .....	138
一、标注表面粗糙度的图形符号 .....	138
二、表面粗糙度完整图形符号的组成 .....	139
三、表面粗糙度要求在图样上的标注 .....	142
任务四 表面粗糙度的检测 .....	146
一、表面粗糙度的选用 .....	146
二、表面粗糙度参数值的选用 .....	146
三、表面粗糙度的检测 .....	147
学习检测 .....	150
项目六 常用结构件的公差配合与检测 .....	153
任务一 滚动轴承的公差与配合 .....	153
一、滚动轴承概述 .....	154
二、滚动轴承公差与配合 .....	155
三、滚动轴承配合的选择 .....	157
任务二 平键、花键的公差与检测 .....	164
一、平键 .....	164
二、花键 .....	167
任务三 螺纹公差配合与检测 .....	175
一、螺纹分类及使用要求 .....	175
二、普通螺纹的主要几何参数 .....	176
三、普通螺纹的几何参数误差对互换性的影响 .....	178
四、普通螺纹的公差与配合 .....	181
五、普通螺纹的测量 .....	185
学习检测 .....	188
参考文献 .....	190

# 项目一 绪 论



## 学习目标和要求

- (1) 掌握互换性的概念、分类及其在设计、制造、使用和维修等方面的重要作用。
- (2) 了解互换性和检测的关系，理解检测的重要性。
- (3) 理解标准和标准化的概念。
- (4) 了解优先数和优先数系。

本章是本课程最基础的部分，只有掌握了互换性的含义和检测的重要性，才能够进行进一步的学习。

## 任务一 互换性概述



### 任务描述与要求

图 1-1 所示为齿轮减速器的结构示意图，它是一种常见的机械传动装置。试对该齿轮减速器如何实现互换性原则进行概括阐述。

#### 任务分析

由图 1-1 可知，齿轮减速器的工作原理是由电动机或其他原动机（经联轴器等）驱动输入轴 2，输入轴上的小齿轮与大齿轮 11 啮合，大齿轮经键 12 带动输出轴 9 转动，输出轴可降速增矩驱动其他机械工作。

该齿轮减速器由 20 多种零部件装配而成，其中标准零部件有轴承、键、销、螺栓、密封圈和垫片等，非标准件有箱座、箱盖、输入轴、输出轴、端盖和套筒等。在这些零部件中，轴承由专业化的轴承厂制造，键、销、螺栓、密封圈、垫片等由专业化的标准件厂生产，非标准件一般由各机器制造厂加工。

最后要求将每个合格的零部件在装配车间或装配生产线上，无须选择、修配即可装配成满足预定使用功能的减速器。在减速器使用一定周期后会出现零部件（如轴承、密封圈、齿轮等）损坏的现象，要求迅速更换修复且满足使用功能，即遵循互换性原则。

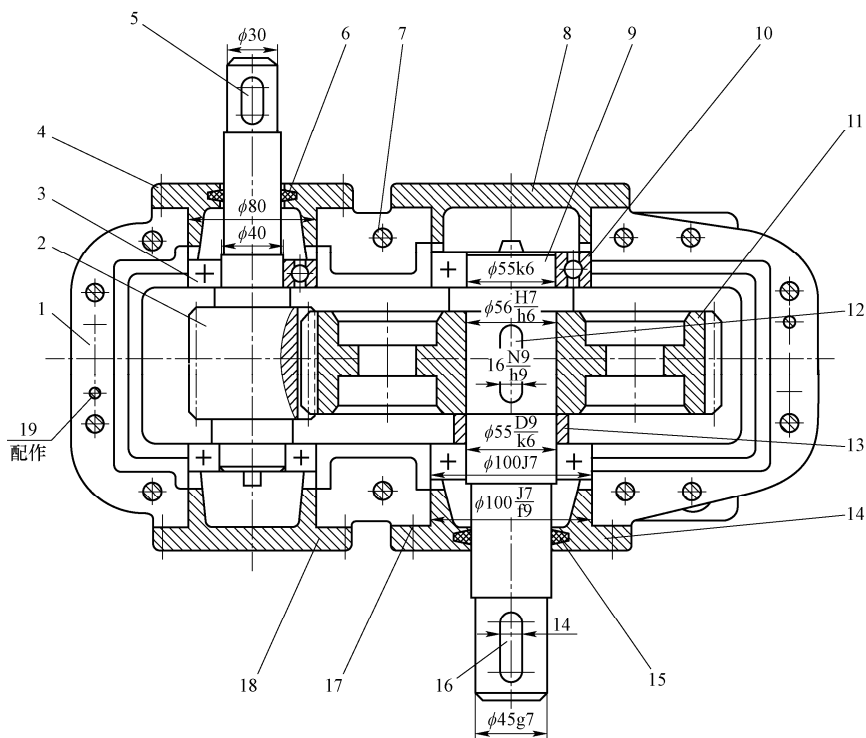


图 1-1 齿轮减速器的结构示意图

1—箱体；2—输入轴；3，10—轴承；4，8，14，18—端盖；5，12，16—键；6，15—密封圈；  
7—螺栓；9—输出轴；11—大齿轮；13—套筒；17—垫片；19—定位销



## 任务知识准备

### 一、互换性的含义

互换性在日常生活中随处可见，例如，灯泡坏了换个新的，手机、电脑的零件坏了也可以换新的，这是因为合格的产品和零部件都具有在材料性能、几何尺寸、使用功能上彼此互相替换的性能，即具有互换性。广义上说，互换性是指某一产品、过程或服务能用来代替另一产品、过程或服务并满足同样要求的能力。

在制造业生产中，经常要求产品的零部件具有互换性。产品或者机器由许多零部件组成，而这些零部件是由不同的工厂和车间制成的，“在同一规格的一批零部件中任取一件，不需要经过任何选择、修配或调整，就能装配在机器上，并且满足使用要求”的特性就是零部件的互换性。广义上讲，互换性包括几何参数（如尺寸、形状、相对位置、表面质量）、力学性能（如强度、硬度、塑性、韧性）、理化性能（如磁性、化学成分）的互换，本书只讨论几何参数的互换性。



互换性

### 二、互换性的分类

(1) 按互换程度的不同，可以把互换性分为完全互换性和不完全互换性两类。

完全互换性简称互换性，以零部件装配或更换时不需要以挑选或修配为条件。一般来说，

孔和轴加工后只要符合设计的规定要求，就具有完全互换性。

不完全互换性也称有限互换性，在零部件装配时允许有附加条件的选择或调整。对于不完全互换性，可以采用分组装配法、修配法、调整法或其他方法来实现。

所谓分组装配法就是将加工好的零件按照实测尺寸分为若干组，使每组内的尺寸差别比较小，再按相应组进行装配，大孔配大轴、小孔配小轴，组内零件可以互换，组与组之间不可互换。分组互换既可以保证装配精度和使用要求，又可以降低成本。

修配法用补充机械加工或钳工修刮的办法来获得所需的精度，如普通车床尾座部件中的垫板，其厚度需要在装配时再进行修磨，以满足头、尾座顶尖等高的要求。

调整法也是一种保证装配精度的方法，其特点是在机器装配或使用过程中，对某一特定零件按所需要的尺寸进行调整，以达到装配精度要求。例如在装配时对减速器中的端盖与箱体间垫片的厚度进行调整，使轴承的一端与端盖的底端之间预留适当的轴向间隙，以补偿温度变化时轴的微量伸长，从而避免在工作时可能产生轴向应力而导致轴的弯曲。

(2) 对标准零部件或机构来讲，其互换性又可分为内互换性和外互换性。

内互换性是指部件或机构内部组成零件间的互换性，外互换性是指部件或机构与其相配合件间的互换性。例如，滚动轴承内、外圈滚道直径与滚动体直径间的配合为内互换性；滚动轴承内圈内径与传动轴的配合、滚动轴承外圈外径与壳体孔的配合为外互换性。

为使用方便起见，滚动轴承的外互换采用完全互换，内互换则因为组成零件的精度要求较高、加工困难而采用分组装配法，为不完全互换。一般来说，不完全互换只用于制造厂内部的装配，厂际协作即使产量不大也采用完全互换。

### 三、互换性的作用

互换性原则被广泛采用，因为它不仅对生产过程有影响，还涉及产品的设计、制造、装配、使用和维修等各方面。

(1) 在设计方面，零部件具有互换性，可以最大限度地采用标准件和通用件，减少设计工作量，缩短设计周期，有利于开展计算机辅助设计和实现产品品种的多样化。例如开发汽车新产品时，可以采用具有互换性的发动机和底盘，不需要重新设计，而把设计重点放在外观等方面，大大缩短了设计与生产准备的周期。

(2) 在制造方面，互换性有利于组织专业化生产，可采用高效率的专用设备，有利于组织流水线和自动线等先进生产方式，有助于进行计算机辅助制造，从而提高产品质量和生产效率，降低生产成本。例如在汽车制造业，汽车制造厂通常只生产主要部件，其他大部分的零、部件均采用专业化的协作生产。

(3) 在装配方面，由于零部件具有互换性，因此装配时无须任何辅助加工，减轻了劳动强度，缩短了装配周期，有利于实现装配过程的机械化和自动化。

为使用方便，滚动轴承的外互换采用完全互换，内互换则因为组成零件的精度要求较高、加工困难而采用分组装配法，为不完全互换。一般来说，不完全互换只用于制造厂内部的装配，厂际协作即使产量不大也采用完全互换。

有了公差标准，还要有相应的检测技术措施来保证检测实际几何参数是否合格，从而保证零部件的互换性。在检测过程中必须保证计量基准和单位的统一，这就需要规定严格的尺寸传递系统，从而保证计量单位的统一。检测不仅用来评定产品质量，还能用于分析产品不

合格的原因，以便及时调整生产，预防废品的产生。产品质量的提高，除了设计和加工精度需加以提高外，往往更有赖于检测精度的提高。

综上，制定和贯彻公差标准、合理设计公差、采用相应的检测技术是实现互换性、保证产品质量的必要条件。



### 任务实施

齿轮减速器为批量生产，首先要保证使用性能和互换性，同时要满足生产率和成本要求。

对本课程来说，暂不考虑材料性能等其他因素，只考虑零部件的几何量因素，以科学地确定公差和配合是产品实现互换性高性价比的前提。

在实际应用中，产品的使用性能和互换性要求，往往只是对产品零部件的某些关键几何量的精度设计。确切地说，零部件上只是相互结合的表面和工作表面起主要作用，决定着产品的使用性和互换性以及制造成本，甚至决定着产品的生命力。从工艺观点看，公差首先对应制造难易，配合直接对应装配难易。

按照这一观点，决定齿轮减速器零部件几何量精度设计的主要内容是：各零部件之间配合部位（圆柱径向）的配合及其他技术要求，输入轴和输出轴上各零件的轴向尺寸及其公差。由齿轮减速器的装配图可知：各零件之间多处反映了轴与孔的结合关系，而且轴与孔的结合在各种机械中应用得最广。简而言之，影响互换性几何量精度设计的最主要内容是一些轴和孔的公差与配合。

公差主要用于协调机器零件使用要求与制造经济性之间的矛盾，而配合则反映零件组合时相互之间的关系。因此，公差与配合决定了机器零部件相互配合的条件和状况，它直接影响产品的精度、性能和使用寿命，是评定产品质量的重要技术指标之一。

综上所述，在图 1-1 所示的齿轮减速器中，只有科学合理地设计、确定各处配合及工作要求的部位和表面精度，才能实现互换性原则。在图 1-1 所示的齿轮减速器中，部分孔和轴配合的公差配合设计（分析过程与设计原理见以后项目阐述）为：输出轴端尺寸与公差为  $\phi 45g7$ ，箱体孔与通孔端盖的配合为  $\phi 100J7/f9$ ，箱体孔与轴承外环的配合为  $\phi 100J7$ （只标注出孔的代号），大齿轮与轴颈的配合为  $\phi 56H7/h6$  等。

## 任务二 标准化与优先数系



### 任务描述与要求

如前所述，社会化生产机械产品要共同遵循互换性原则，而每种产品中都有若干几何参数和因素影响其互换性。如图 1-1 所示的齿轮减速器是由标准件和非标准件组合而成的，其中的 20 多种零部件中就有几十处尺寸及公差影响其互换性，如果是汽车等复杂机器，就会有更多种类零部件的尺寸及公差影响其互换性。由此可见，实现产品几何量互换性是一项要求高度统一的非常繁重的工作。这就要求互换性产品的技术参数必须规范和简化，具有权威的标准和标准化，且必须科学、统一，不可以杂乱和冗余，这个问题是由本任务提出与研讨的优先数和优先数系来解决的。

## 任务分析

标准和标准化工作是一项庞大的系统工程，即制定、应用规范技术参数，以保证产品、刀具、量具和夹具等规格品种有限、有规律，进而保证生产组织协调配套及其使用维护。优先数和优先数系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标准。

## 一、标准与标准化

现代工业生产的特点是规模大、品种多、分工细、协作单位多及互换性要求高。一种产品的制造往往涉及许多部门和企业，为了满足生产中各部门和企业之间技术上相互协调、生产环节之间相互衔接的要求，必须使独立、分散的生产部门和生产环节之间保持必要的技术统一，以实现互换性生产。标准与标准化正是联系这种关系的主要途径和手段。

### 1. 标准的概念

按照 GB/T 20000.1—2014《标准化工作指南第 1 部分标准化和相关活动的通用术语》的规定，标准是通过标准化活动，按照规定的程序经协商一致制定，为各种活动或其结果提供规则、指南或特性，供共同使用和重复使用的文件。

标准宜以科学、技术和经验的综合成果为基础，以促进最佳共同效益为目的。规定的程序指制定标准的机构颁布的标准制定程序。国际标准、区域标准、国家标准等，由于它们可以公开获得以及必要时通过修正或修订保持与最新技术水平同步，因此被视为构成了公认的技术规则。其他层次上通过的标准，诸如专业协（学）会标准、企业标准等，在地域上可影响几个国家。

标准可以从不同的角度进行分类，按标准的作用范围可分为国际标准、区域标准、国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。在世界范围内，企业共同遵守国际标准（ISO）；对需要在全国范围内统一的技术要求，制定国家标准（GB）；对于没有国标又需要在某行业统一的技术要求，制定行业标准，如机械标准（JB）；对于需要在某个范围内统一的技术要求，可制定地方标准（DB）和企业标准（QB）。

按标准化对象的特性可分为基础标准、术语标准、符号标准、分类标准、试验标准、规范标准、规程标准、指南标准、产品标准、过程标准、服务标准、接口标准和数据待标准等。这些类别相互间并不排斥，例如，一个特定的产品标准，如果不仅规定了对该产品特性的技术要求，还规定了用于判定该要求是否得到满足的证实方法，则也可视为规范标准。

### 2. 标准化的概念

标准化指的是为了在既定范围内获得最佳秩序，促进共同效益，对现实问题或潜在问题确立共同使用和重复使用的条款以及编制、发布和应用文件的活动。标准化活动确立的条款，可形成标准和其他标准化文件。标准化的主要效益在于为了产品、过程或服务的预期目的改进它们的适用性，促进贸易、交流以及技术合作。

标准化工作包括制定标准、发布标准、组织实施标准和对标准的实施进行监督等全部活动过程。由此可见，标准化是一个不断循环而又不断提高水平的过程。实施标准化可以改进产品、过程和服务的适用性，其目的可能包括但不限于品种控制、可用性、兼容性、互换性、健康、安全、环境保护、产品防护、经济绩效等。

标准化是实现互换性生产的前提，是组织现代化生产的重要手段，是实现专业化生产的必要前提，是联系设计、生产和使用等方面的纽带，是科学管理的重要组成部分，也是提高产品在国际市场上竞争能力的技术保证。因此，目前世界上各工业发达国家都高度重视标准化工作。

目前，标准化已发展到一个新的阶段，其特点是标准的国际化。采用国际标准已成为各国技术经济工作的普遍发展趋势。国际标准是指国际标准化组织（ISO）、国际电工委员会（IEC）和国际电信联盟（ITU）以及 ISO 确认并公布的其他国际组织制定的标准。为了便于国际贸易和国际技术交流，有些国家参照国际标准制定本国的国家标准，有些国家甚至不制定本国标准，而是完全采用国际标准。

我国提出了采用国际标准的三大原则：坚持与国际标准统一协调的原则；坚持结合我国国情的原则；坚持高标准、严要求和促进技术进步的原则。1978 年恢复参加 ISO 组织后，我国以国际标准为基础，陆续修订了自己的标准，其一致性程度有等同（IDT）、修改（MOD）和非等效（NEQ）三种。



优先数和优先数系

## 二、优先数与优先数系

### 1. 优先数系和公比

在设计机械产品和制定标准时，产品的性能参数、尺寸规格参数等都要通过数值表达，而这些数值在生产过程中又是互相关联的。例如，设计减速器箱体上的螺孔，当螺孔的直径和螺距确定后，与之相配合的螺钉尺寸、加工用的丝锥尺寸、检验用的螺纹塞规尺寸则随之而定，甚至攻螺纹前的钻孔尺寸和钻头尺寸、与之相关的垫圈尺寸、轴承盖上通孔的尺寸也随螺孔直径而定，这种参数数值具有扩散传播的特性。工程技术中的参数数值，即使是很小的差别，经过反复传播，也会造成尺寸规格的繁多杂乱，给组织生产、协作配套以及使用维修等带来很大的困难。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，于 1877 年由法国人查尔斯·雷诺（Charles Renard）首先提出。

GB/T 321—2005《优先数和优先数系》规定的优先数系是指公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 、 $\sqrt[80]{10}$ ，且项值中含有 10 的整数幂的几何级数的常用圆整值。为纪念雷诺，优先数系又叫 R 数系，各系列分别用 R5、R10、R20、R40 和 R80 表示，数系中的每一个数都为优先数。

优先数的理论值除 10 的整数幂之外均为无理数，应用时要加以圆整。通常取 5 位有效数字作为计算值，供精确计算用，取 3 位有效数字作为常用值。5 个优先数系的公比分别为 R5 系列： $\approx 1.60$ ；R10 系列： $\approx 1.25$ ；R20 系列： $\approx 1.12$ ；R40 系列： $\approx 1.06$ ；R80 系列： $\approx 1.03$ 。

R5、R10、R20、R40 是优先数系的基本系列，常用值见表 1-1。基本系列中的优先数常

表 1-1 优先数系的基本系列（摘自 GB/T 321—2005）

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

用值,对计算值的相对误差为 $+1.26\% \sim -1.01\%$ 。一般机械产品的主要参数通常采用 R5 系列和 R10 系列;专用工具的主要尺寸采用 R10 系列;通用零件及工具的尺寸、铸件的壁厚等采用 R20 系列。R80 作为补充系列,仅用于分级很细的特殊场合。

## 2. 优先数系的特点

优先数系是一种十进制的等比级数,级数的项值中包括 1、10、100、 $\dots$ 、 $10^n$  和 1、0.1、0.01、 $\dots$ 、 $10^{-n}$  这些数 ( $n$  为正整数),按  $1 \sim 10$ 、 $10 \sim 100 \dots$  和  $1 \sim 0.1$ 、 $0.1 \sim 0.01 \dots$  划分区间,然后进行细分。它具有以下特点。

(1) 每个区间内, R5 系列有 5 个优先数,即 1、1.6、2.5、4 和 6.3; R10 系列有 10 个优先数,即在 R5 的 5 个优先数中再插入比例中项 1.25、2、3.15、5 和 8。R5 系列的各项数值包含在 R10 系列中,同理 R10 系列的各项数值包含在 R20 系列中, R40 系列的各项数值包含在 R80 系列中。

(2) 只要知道一个十进段内的优先数值,其他十进段内的数值就可由小数点的前后移位得到,所以优先数系的项值可从 1 开始,向大于 1 和小于 1 两端无限延伸,简单方便,易学、易记、易用。

(3) 任意相邻两项间的相对差近似不变(按理论值则相对差为恒定值)。如 R5 系列约为 60%, R10 系列约为 25%, R20 系列约为 12%, R40 系列约为 6%, R80 系列约为 3%。按照等差数列分级的话,绝对差不变会导致相对差变化太大,只有按照等比数列分级,才能在较宽范围内以较少规格经济合理地满足要求。

(4) 任意优先数经乘法、除法、乘方、开方运算后仍为优先数。很多数学量和物理量的近似值为优先数,如圆周率  $\pi$  可取 3.15、重力加速度可取 9.8,给工程计算带来了很大方便。例如直径为优先数时,圆的周长和面积、圆柱面的面积和圆柱体的体积、球体的表面积和体积等都是优先数。

## 3. 派生系列和优先数的选用

为使优先数系具有更宽广的适应性,可以从基本系列  $R_r$  中,每逢  $p$  项留取一个优先数,生成新的派生系列,以符号  $R_{r/p}$  表示,公比为  $10^{p/r}$ 。如  $R_{10/3}$ ,是从基本系列 R10 中,每 3 项留取一个优先数生成的,即 $\dots$ , 1.00, 2.00, 4.00, 8.00,  $\dots$ ,其公比为  $10^{3/10} \approx 2$ ,又称作倍数系列,应用非常广泛。

在确定产品的参数或参数系列时,如果没有特殊原因而必须选用其他数值的话,只要能满足技术经济上的要求,就应当力求选用优先数,并且按照 R5、R10、R20 和 R40 的顺序,优先用公比较大的基本系列;当一个产品的所有特性参数不可能都采用优先数时,也应使一个或几个主要参数采用优先数。即使单个参数值,也应按上述顺序选用优先数。这样做既可在产品发展时插入中间值仍保持或逐步发展成为有规律的系列,又便于与其他相关产品协调配套。

当基本系列不能满足要求时,可选用派生系列,优先采用公比较大和延伸项含有项值 1 的派生系列。根据经济性和需要量等不同条件,还可分段选用最合适的系列。



## 任务实施

如前所述,标准是按级分类的,一个国家的国标是最权威也是最基础的,行业、地方和企业标准不得与国家标准抵触。我国从 1959 年至今已经多次颁布和修订国家标准,如第一个国家

标准《公差与配合》(GB 159~174—1959),以及以后的《公差与配合》(GB 1800~1804—1979)、《形状与位置公差》(GB 1182~1184—1980)、《表面粗糙度》(GB 1031—1983)。另一次修订是在 20 世纪 90 年代中期,修订的有《极限与配合》(GB/T 1800.1—1997, GB/T 1800.4—1999 等)、《形状和位置公差》(GB/T 1182—1996 等)和《表面粗糙度》(GB/T 1031—1995 等)等多项国家标准。

在标准化工作中,几乎所有参数都是按优先数系确定的,如图 1-1 所示减速器案例中的 20 多种标准与非标准零部件,几十处影响互换性的尺寸及公差都必须按标准的优先数系确定。

本任务及后续内容中涉及的尺寸分段、公差分级和表面粗糙度参数系列等也是按优先数系制定的。优先数系在工程技术领域被广泛应用,已成为国际上统一的数值制。如标准公差系列数值的确定方法就是按优先数系确定的典型案例。又如在尺寸公差中的基本尺寸分段、公差等级系数、标准公差因子、标准公差数值计算等,这些在后续内容中也会全面具体地应用优先数系。



### 学习检测



#### ► 问答题

1. 试述互换性在机械制造中的作用,并列举互换性应用的实例。
2. 互换性怎样分类?各用于何种场合?
3. 试述标准和标准化的意义。
4. 优先数系有哪些特点?R5、R10、R20、R40 和 R80 系列是什么意思?

#### ► 综合题

1. 试写出下列基本系列和派生系列中自 1 以后共 5 个优先数的常用值:R10、R10/2、R20/3、R5/3、R40/7。
2. 下面两列数据属于哪种系列?公比为多少?
  - (1) 某机床主轴转速为 50、63、80、100、125...,单位为 r/min。
  - (2) 表面粗糙度  $Ra$  的基本系列为 0.012、0.025、0.050、0.100、0.200...,单位为  $\mu\text{m}$ 。

## 项目二 公差与配合



### 学习目标和要求

在进行机械设计时，为保证互换性，首先要进行原理设计和零件设计。前者通过运动分析，以确定正确的运动机构；后者通过强度、刚度的计算，确定零件的尺寸大小。在此基础上还要进行精度的设计，以满足产品使用性能的要求。精度设计包括零件本身精度及零件与零件之间、部件与部件之间相互位置精度的设计。零件本身的精度分为尺寸精度、形状（宏观与微观）精度以及同一零件上各要素之间的位置精度，这三者往往又是相互关联的。

本项目是互换性的基础，是本书的重中之重，是后续项目必备的基础知识。《极限与配合》标准是我国采用的最早的标准，对我国工业的高速发展起着举足轻重的作用。

本项目主要介绍孔、轴的公差与配合。为了保证零件的互换性及便于设计、制造、检测和维修，需要对零件的精度与它们之间的配合实行标准化。

按照任务载体进行划分，本项目主要包括孔和轴的极限与公差，孔和轴的配合，以及公差与配合的选择三个任务。

### 任务一 孔和轴的极限与公差



#### 任务描述与要求

机械工业是国民经济和国防现代化的物质技术基础。机械产品是由无数个零部件装配而成的，孔、轴配合是机械设计和制造中最广泛的一种配合，是孔、轴结合的最基本和最普遍的形式。机械零部件的设计与制造精度对孔和轴的配合精度、使用性能和寿命具有很大的影响，那么在机械产品设计和制造过程中，如何规定零部件的精度？在工程图纸中是如何表示的？……通过本任务的学习，我们可以顺利找到以上问题的答案。

图 2-1 所示为机械行业中最典型的产品——减速器及其传动轴。减速器零部件的设计与制造都已经非常成熟，很具有代表性。如果要进行传动轴的正确加工，首先要分析清楚传动轴各部分的尺寸要求。那么如图 2-1 所示的传动轴，各部分尺寸的具体含义是什么？该如何表示？能否推出各部分需要加工到的精度为几级？

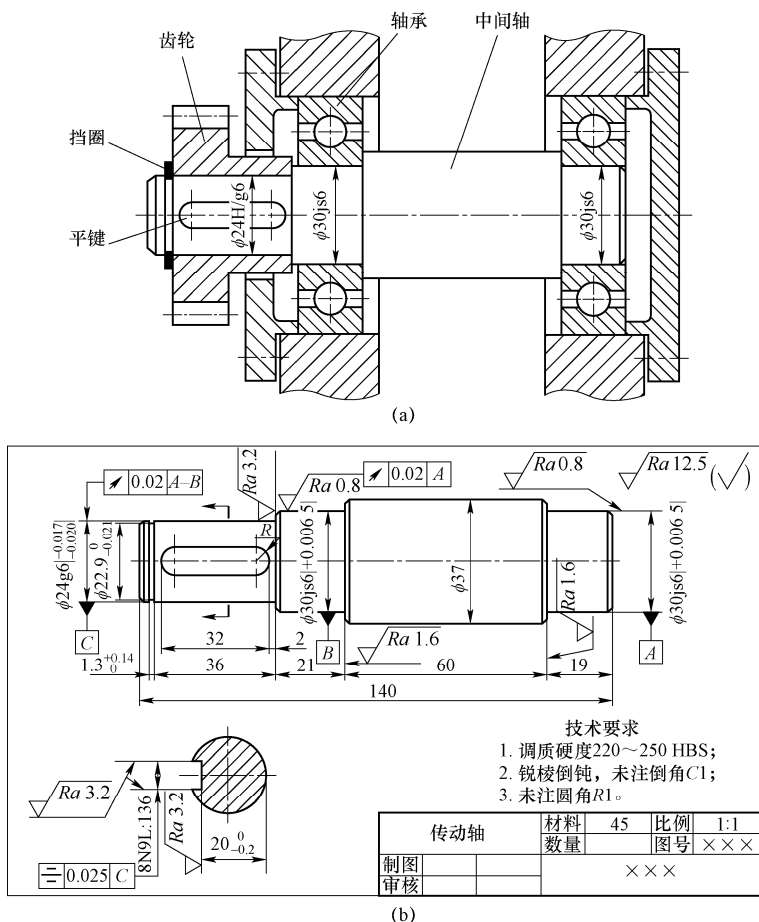


图 2-1 一级减速器装配图及传动轴图纸

(a) 一级减速器装配图; (b) 减速器传动轴工程图



## 任务知识准备

### 一、公差与配合的相关标准

为了满足使用要求, 保证互换性, 我国对孔、轴尺寸公差与配合进行了标准化。原国家质检总局为了使我国机械产品的设计适应国际贸易的需求, 不断发布实施新标准, 同时代替旧标准。国家颁布的一系列尺寸公差与配合的标准主要包括:

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 公差带和配合的选择》;

GB/T 1804—2000《一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差》;

本部分以最新国家标准来介绍孔、轴尺寸公差与配合的定义, 公差配合的应用及检测等。