

全国高等农林院校“十一五”规划教材

# 互换性与测量技术

王金武 主编

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

互换性与测量技术 / 王金武主编. —北京: 中国农业出版社, 2008. 2

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-12006-8

I. 互… II. 王… III. ①零部件-互换性-高等学校-教材②零部件-测量-技术-高等学校-教材 IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 001305 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 彭明喜

---

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月北京第 1 次印刷

---

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 18.25

字数: 318 千字

定价: 25.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

# 前 言

互换性与测量技术是机械、电子、仪器等制造业发展紧密联系的基础学科，它不仅将涉及制造业的标准化领域与计量学领域的有关知识紧密地结合在一起，而且涉及机械设计、机械制造、质量控制、生产组织管理等许多方面。因此，本学科实际上是一门综合性应用技术基础学科。

本教材是根据全国高校“互换性与测量技术基础”课程教学大纲要求，按照当前的教学改革要求，通过编者多年教学实践并与同行专家及一些兄弟院校反复研讨编写而成的。随着科学技术和本学科的发展，为了更进一步地适应教学需要，与时俱进，本教材突出体现了以下几点：

(1) 既重视对本学科基本理论和规律性知识的总结论述，也重视对本学科的应用与发展的分析；

(2) 采用最新颁布的国家标准；

(3) 对测量技术，以论述原理、原则及方法为主，并将“公差”与“测量”紧密结合，符合技术标准与计量技术国际化的趋势；

(4) 为了做到理论联系实际，学以致用，本教材增加了一些结合实际实例和习题；

(5) 为适应教学改革的需要，以培养学生的综合设计能力为主线，大篇幅地增加了应用性内容等；

(6) 内容丰富，简明扼要，具有前瞻性和较高的学术水平及应用价值；

(7) 适用面广，既适用于多学时讲授，也适用于少学时讲授，  
此为试读，需要完整PDF请访问：[www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

由于各章内容独立，可根据专业的不同情况使用。

随着专业调整和教学计划的修改，本学科的教材建设进入了一个新的历史时期，本教材的创新之处是增加了“Geometrical Product Specifications”（产品几何技术规范 GPS），此部分内容作为本学科的发展前沿和未来的发展趋势，说明本学科的科学内涵在不断进步发展。随着新世纪知识的快速扩张和经济全球化，基于产品几何规范的“标准和计量”体系的重要作用日益为国际社会所认同，其水平不但对国家制造业水平有决定作用，而且对国民经济发展有着重要影响。

本教材由王金武主编，周福君、孔晓玲和吴巍副主编，宫元娟主审。参加各章编写的有：第一、六章，王金武；第二章，秦军伟、周福君；第三章，冯晚平；第四、十章，孔晓玲、王立军；第五、十二章，全林斯；第七，九章，吴巍；第八章，郑相周；第十一章，邢泽炳。

在本教材的编写过程中，得到了中国农业出版社、全国几何产品技术规范标准化技术委员会 SAC/TC240、全国高校互换性与测量技术研究会等的大力支持，编者在此表示衷心感谢！由于编者水平的限制，本书难免有疏忽错误之处，欢迎读者批评指正！同时在编写过程中参考了相关的教材和文献，在这里向其表示衷心感谢！

本书编写过程中，得到很多兄弟院校有关同志的热情支持和帮助，谨此表示谢意。

编者

2007年10月

于哈尔滨东北农业大学

# 目 录

## 前言

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....            | 1  |
| 第一节 互换性及其作用 .....       | 1  |
| 一、互换性的含义 .....          | 1  |
| 二、互换性的分类 .....          | 1  |
| 三、互换性的作用 .....          | 2  |
| 第二节 标准化与优先数系 .....      | 3  |
| 一、标准化 .....             | 3  |
| 二、优先数系和优先数 .....        | 4  |
| 第三节 检测技术 .....          | 6  |
| 复习思考题 .....             | 7  |
| 第二章 尺寸公差与圆柱结合的互换性 ..... | 8  |
| 第一节 基本术语和定义 .....       | 9  |
| 一、孔和轴 .....             | 9  |
| 二、有关尺寸的术语和定义 .....      | 9  |
| 三、有关偏差、公差的术语和定义 .....   | 11 |
| 四、有关配合的术语和定义 .....      | 14 |
| 第二节 标准公差系列 .....        | 20 |
| 一、标准公差等级 .....          | 21 |
| 二、标准公差因子(公差单位) .....    | 22 |
| 三、标准公差的计算 .....         | 22 |
| 四、基本尺寸分段 .....          | 23 |
| 第三节 基本偏差系列 .....        | 25 |
| 一、基本偏差及其代号 .....        | 25 |
| 二、孔、轴的基本偏差 .....        | 27 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第四节 公差带与配合的标准化 .....    | 40 |
| 一、常用尺寸段的极限与配合 .....     | 40 |
| 二、大尺寸段的公差与配合 .....      | 43 |
| 第五节 极限与配合的选择 .....      | 45 |
| 一、基准制的选择 .....          | 46 |
| 二、标准公差等级的选择 .....       | 47 |
| 三、配合的选择 .....           | 50 |
| 第六节 线性尺寸一般公差的未注公差 ..... | 55 |
| 一、线性尺寸的一般公差 .....       | 55 |
| 二、一般公差的作用 .....         | 55 |
| 三、线性尺寸一般公差的极限偏差 .....   | 56 |
| 复习思考题 .....             | 56 |
| <br>                    |    |
| 第三章 形状和位置公差 .....       | 60 |
| 第一节 概述 .....            | 60 |
| 一、形位公差的研究对象及其分类 .....   | 60 |
| 二、形位公差的项目及符号 .....      | 61 |
| 三、形位公差的意义和特征 .....      | 62 |
| 四、形位公差的标注 .....         | 62 |
| 第二节 形位公差及其公差带 .....     | 63 |
| 一、形状公差与公差带 .....        | 63 |
| 二、轮廓度公差与公差带 .....       | 65 |
| 三、基准 .....              | 66 |
| 四、定向公差与公差带 .....        | 70 |
| 五、定位公差与公差带 .....        | 70 |
| 六、跳动公差与公差带 .....        | 72 |
| 第三节 公差原则与公差要求 .....     | 74 |
| 一、术语及其意义 .....          | 75 |
| 二、独立原则 .....            | 79 |
| 三、包容要求 .....            | 80 |
| 四、最大实体要求 .....          | 81 |
| 五、最小实体要求 .....          | 86 |
| 六、零形位公差 .....           | 87 |
| 第四节 形位公差的选择 .....       | 88 |

---

|   |            |
|---|------------|
| 一、形位公差特征项目的选择 .....                       | 88         |
| 二、形位公差值（或公差等级）的选择 .....                   | 89         |
| 三、公差原则和公差要求的选择 .....                      | 93         |
| 四、未注公差的规定 .....                           | 93         |
| 复习思考题 .....                               | 94         |
| <b>第四章 表面轮廓度</b> .....                    | <b>97</b>  |
| <b>第一节 概述</b> .....                       | <b>97</b>  |
| 一、表面轮廓的特征与形成 .....                        | 97         |
| 二、表面粗糙度对零件性能的影响 .....                     | 98         |
| <b>第二节 表面粗糙度的评定</b> .....                 | <b>99</b>  |
| 一、主要术语和定义 .....                           | 99         |
| 二、评定参数 .....                              | 101        |
| <b>第三节 表面粗糙度的选用</b> .....                 | <b>104</b> |
| 一、表面粗糙度评定参数的选用 .....                      | 104        |
| 二、评定参数值及取样长度、评定长度的选用 .....                | 105        |
| <b>第四节 表面粗糙度符号、代号及其注法</b> .....           | <b>111</b> |
| 一、表面粗糙度符号和代号 .....                        | 111        |
| 二、表面粗糙度的注法 .....                          | 112        |
| <b>第五节 新旧国家标准的差异</b> .....                | <b>114</b> |
| 一、GB/T 3504—2000 与 GB 3504—83 之间的比较 ..... | 114        |
| 二、对 GB/T 131—1993 的修订 .....               | 115        |
| 复习思考题 .....                               | 118        |
| <b>第五章 测量技术基础</b> .....                   | <b>120</b> |
| <b>第一节 测量的基本概念</b> .....                  | <b>120</b> |
| 一、测量的定义 .....                             | 120        |
| 二、测量过程的四要素 .....                          | 121        |
| 三、计量基准 .....                              | 121        |
| 四、量块 .....                                | 123        |
| <b>第二节 测量仪器和测量方法</b> .....                | <b>126</b> |
| 一、测量仪器的特性指标 .....                         | 126        |
| 二、测量仪器 .....                              | 128        |
| 三、测量方法 .....                              | 129        |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第三节 测量误差与数据处理 .....             | 131 |
| 一、测量误差的基本概念 .....               | 131 |
| 二、测量误差的来源 .....                 | 132 |
| 三、测量误差的分类 .....                 | 133 |
| 四、测量精度的分类 .....                 | 134 |
| 五、测量数据的处理 .....                 | 135 |
| 第四节 光滑工件尺寸检测 .....              | 145 |
| 一、孔、轴实际尺寸的验收极限 .....            | 146 |
| 二、光滑极限量规 .....                  | 150 |
| 复习思考题 .....                     | 156 |
| <br>                            |     |
| 第六章 滚动轴承与孔轴结合的互换性 .....         | 158 |
| 第一节 滚动轴承的精度 .....               | 158 |
| 一、滚动轴承的组成和分类 .....              | 158 |
| 二、滚动轴承的公差等级及应用 .....            | 159 |
| 第二节 滚动轴承及相配件的精度 .....           | 160 |
| 一、滚动轴承的内、外径公差带 .....            | 160 |
| 二、滚动轴承相配件的公差带 .....             | 161 |
| 三、滚动轴承与实心轴配合过盈量的选择 .....        | 162 |
| 四、滚动轴承与空心轴配合过盈量的选择 .....        | 163 |
| 五、滚动轴承与轴颈、外壳孔配合的选择 .....        | 164 |
| 第三节 滚动轴承的精度设计 .....             | 167 |
| 一、轴颈和外壳孔的尺寸公差带代号的选择 .....       | 167 |
| 二、轴颈和外壳孔的形位公差和表面粗糙度参数值的选择 ..... | 170 |
| 三、滚动轴承相配件精度设计示例 .....           | 171 |
| 复习思考题 .....                     | 172 |
| <br>                            |     |
| 第七章 键、花键结合的互换性 .....            | 173 |
| 第一节 平键结合的互换性 .....              | 173 |
| 一、平键结合的结构和尺寸 .....              | 173 |
| 二、平键的互换性 .....                  | 174 |
| 第二节 矩形花键结合的互换性 .....            | 176 |
| 一、矩形花键的定心方式 .....               | 177 |
| 二、矩形花键结合的公差与配合 .....            | 178 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 第三节 矩形花键的图样标注 .....               | 180        |
| 复习思考题 .....                       | 181        |
| <b>第八章 渐开线圆柱齿轮互换性 .....</b>       | <b>182</b> |
| 第一节 齿轮传动的使用要求与误差 .....            | 182        |
| 第二节 轮齿同侧齿面偏差的定义和检测 .....          | 184        |
| 一、齿距偏差 .....                      | 185        |
| 二、齿廓总偏差 .....                     | 186        |
| 三、螺旋线偏差 .....                     | 188        |
| 四、切向综合偏差 .....                    | 188        |
| 第三节 径向综合偏差、径向跳动、齿厚和侧隙的定义和检测 ..... | 189        |
| 一、径向综合偏差 .....                    | 189        |
| 二、径向跳动 $F_r$ .....                | 191        |
| 三、齿厚与侧隙 .....                     | 192        |
| 第四节 齿轮坯、轴中心距和轴线平行度的定义和检测 .....    | 199        |
| 一、齿轮坯的精度 .....                    | 200        |
| 二、中心距偏差和轴线平行度 .....               | 202        |
| 第五节 齿轮表面结构与轮齿接触斑点 .....           | 203        |
| 一、轮齿齿面表面结构与表面粗糙度测量 .....          | 203        |
| 二、轮齿接触斑点 .....                    | 205        |
| 第六节 齿轮精度设计 .....                  | 208        |
| 一、齿轮精度标准特点与应用分析 .....             | 208        |
| 二、精度等级选择及偏差确定 .....               | 210        |
| 三、齿轮及相关零件偏差数值确定 .....             | 212        |
| 四、渐开线圆柱齿轮工程图标注 .....              | 213        |
| 复习思考题 .....                       | 214        |
| <b>第九章 螺纹结合的互换性 .....</b>         | <b>215</b> |
| 第一节 螺纹结合的使用要求和几何参数 .....          | 215        |
| 一、螺纹的种类和使用要求 .....                | 215        |
| 二、普通螺纹的主要几何参数 .....               | 216        |
| 第二节 影响螺纹结合精度的因素 .....             | 220        |
| 一、中径偏差的影响 .....                   | 220        |
| 二、螺距误差的影响 .....                   | 221        |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 三、牙侧角偏差的影响 .....              | 221 |
| 四、螺纹作用中径 .....                | 222 |
| <b>第三节 普通螺纹的公差与配合</b> .....   | 224 |
| 一、螺纹公差标准的基本结构 .....           | 224 |
| 二、螺纹公差带 .....                 | 224 |
| 三、螺纹的旋合长度与公差精度等级 .....        | 227 |
| 四、保证配合性质的其他技术要求 .....         | 228 |
| 五、螺纹的标记 .....                 | 229 |
| <b>第四节 普通螺纹公差与配合的选用</b> ..... | 230 |
| <b>复习思考题</b> .....            | 231 |
| <b>第十章 圆锥结合的互换性</b> .....     | 233 |
| <b>第一节 概述</b> .....           | 233 |
| 一、圆锥的主要几何参数 .....             | 233 |
| 二、有关圆锥公差的术语 .....             | 234 |
| 三、有关圆锥配合的术语 .....             | 235 |
| <b>第二节 圆锥公差与配合</b> .....      | 237 |
| 一、圆锥公差项目 .....                | 237 |
| 二、圆锥公差的给定及标注方法 .....          | 239 |
| 三、圆锥配合的一般规定 .....             | 240 |
| <b>第三节 锥度和圆锥角的检测</b> .....    | 241 |
| <b>复习思考题</b> .....            | 243 |
| <b>第十一章 尺寸链基础</b> .....       | 244 |
| <b>第一节 尺寸链的基本概念</b> .....     | 244 |
| 一、尺寸链的定义及其特征 .....            | 244 |
| 二、尺寸链的组成及其建立 .....            | 245 |
| 三、尺寸链计算 .....                 | 246 |
| <b>第二节 极值法解尺寸链</b> .....      | 247 |
| 一、基本公式 .....                  | 247 |
| 二、尺寸链的计算 .....                | 248 |
| <b>第三节 概率法计算尺寸链</b> .....     | 252 |
| 一、基本公式 .....                  | 252 |
| 二、解尺寸链 .....                  | 253 |

---

|   |            |
|---|------------|
| 复习思考题 .....                             | 254        |
| <b>第十二章 新一代产品几何量技术规范 (GPS) 体系 .....</b> | <b>256</b> |
| <b>第一节 概述 .....</b>                     | <b>256</b> |
| 一、GPS 的含义与范围 .....                      | 256        |
| 二、GPS 标准体系的发展 .....                     | 257        |
| <b>第二节 新一代 GPS 体系 .....</b>             | <b>258</b> |
| 一、新一代 GPS 的结构 .....                     | 258        |
| 二、新一代 GPS 的基础理论 .....                   | 259        |
| 三、图样标注 .....                            | 269        |
| <b>第三节 新一代 GPS 测量不确定度评定规范 .....</b>     | <b>270</b> |
| 一、工件与测量设备的认证中合格性判定规则及应用 .....           | 271        |
| 二、测量不确定度的评定及管理 .....                    | 271        |
| 三、测量不确定度表述达成一致性的方法 .....                | 273        |
| <b>第四节 新一代 GPS 应用技术研究 .....</b>         | <b>273</b> |
| 复习思考题 .....                             | 274        |
| <b>主要参考文献 .....</b>                     | <b>275</b> |

# 第一章 绪 论

## 第一节 互换性及其作用

《互换性与测量技术》课程是培养学生如何进行机械精度设计的一门技术基础课。本课程的内容是机械类专业及近机械类专业的学生进行生产实践所必须用到的技术基础知识。本课程的主要研究对象是机械零件的互换性、公差及检测。

机械设计主要涉及三方面的内容：机械的运动设计、结构设计和精度设计。其中机械精度设计是本课程研究的重点。其主要任务是根据机械的功能要求，正确地选择、设计机械零件的尺寸公差、形状和位置公差以及表面精度，并标注在机械的零件图、装配图上。

### 一、互换性的含义

日常生活中有大量的现象涉及互换性问题。例如，机器或仪器上掉了一个螺钉，按相同的规格安装就可以了；汽车、拖拉机、联合收割机等某零部件损坏后，也可以换上一个新的，便能正常使用等。之所以这样方便，是因为这些合格的零部件具有在尺寸、功能上能够彼此互相替换的性能。

广义地说，互换性是指一种产品、过程或服务代替另一种产品、过程或服务能满足同样要求的能力。对于机械行业，通常指同一规格的一批零部件，按规定的技术要求制造或装配，彼此能够相互替代使用，而且具有效果相同的性能。

互换性是许多工业部门产品设计和制造中应遵循的重要原则。它不仅涉及产品制造中零部件的可装配性，而且还涉及机械设计、生产及其使用的重大技术和经济问题。

### 二、互换性的分类

在生产中的不同场合，零部件互换的形式和程度有所不同。因此，互换性

分为完全互换和不完全互换。

完全互换是零部件装配或更换时不需要挑选或修配，装上即能满足性能要求。当装配精度要求较高时，采用完全互换将使零件制造公差很小，加工困难，成本很高，甚至无法加工。这时，可以采用其他技术手段来满足装配要求。例如，对于一批孔和轴装配后的间隙，要求控制在某一范围内，据此规定了孔和轴的尺寸允许变动范围。孔和轴加工后只要符合设计的规定，它们就具有完全互换性。

不完全互换是指在零部件装配前附加挑选或调整的要求，可以用分组装配法、调整法或其他方法来实现。

对标准部件或机构来说，互换性又可分为外互换与内互换。

外互换是指部件或机构与其相配件间的互换性，例如滚动轴承内圈内径与轴的配合，外圈外径与机座孔的配合。内互换是指部件或机构内部组成零件间的互换性，例如滚动轴承内、外圈滚道直径与滚珠（滚柱）直径的装配。

应该指出，保证零件具有互换性，不仅取决于几何参数的一致性，还取决于零件的物理性能、化学性能、机械性能等参数的一致性。

### 三、互换性的作用

在设计方面，产品中采用了具有互换性的零部件，采用较多的标准零件和部件，这就使许多零部件不必重新设计，可大大简化绘图和计算，缩短设计周期，有利于计算机辅助设计，这对发展系列产品和促进产品结构、性能的不断改善都有很大作用。

在制造方面，互换性是有利于专业化生产，有利于采用先进工艺和高效率的专用设备，提高产品质量，降低生产成本。装配时，由于零件（部件）具有互换性，不需要辅助加工和修配，可以减轻装配工的劳动量，因而缩短了装配周期。而且，还可使装配工作按流水作业方式进行，以至实现自动化装配，这就使装配生产效率显著提高。加工时，由于按标准规定公差加工，同一部机器上的各个零件可以分别由各专业厂同时制造。各专业厂产品单一，产品数量多、分工细，所以有条件采用高效率的专用设备，乃至采用计算机进行辅助加工，从而使产品的数量和质量明显提高，成本也必然显著降低。

在使用和维修方面，零件具有互换性，则当该零件损坏后，可以快速地用同型号零件来代替，从而使机器维修方便，保证了机器工作的连续性和持久性，延长了机器的使用寿命，提高了机器的使用价值。

总之，在生产中实施互换性，大量地应用具有互换性的零部件，不仅能够

显著提高劳动生产率，而且还能够有效地保证产品质量和降低成本。所以，使零部件具有互换性是机械制造中重要的原则和有效的技术措施，对促进我国的现代化工业生产起着积极的作用。

## 第二节 标准化与优先数系

### 一、标 准 化

在现代工业社会化的生产中，要实现互换性生产，必须制定各种标准，以利于各部门的协调和各生产环节的衔接。

标准化是组织现代化生产的重要手段之一，是实现专业化协作生产的必要前提，是科学管理的重要组成部分。标准化是制定标准和贯彻标准的全过程，是互换性生产的基础。标准的制定离不开环境的限定，通过一段时间的执行，要根据实际使用情况，对现行标准加以修订或更新。世界各国的经济发展过程表明，标准化是实现现代化的一个重要手段，也是反映现代化水平的一个重要标志。现代化的程度越高，对标准化的要求也越高。

国家标准 GB 3935.1—1996 对标准化所下的定义为：“为在一定的范围内获得最佳秩序，对实际的或潜在的问题制定共同的和重复使用的规则的活动。”标准化不是一个孤立的概念，而是一个活动过程，这个过程包括制订、贯彻、修订标准，循环往复，不断提高；制订、修订、贯彻标准是标准化活动的主要任务；在标准化的全部活动中，贯彻标准是个核心环节。

国家标准 GB 3935.1—1996 对标准所下的定义为：“为在一定的范围内获得最佳秩序，对活动或其结果规定共同的和重复使用的规则、导则或特性的文件”。标准的制订是与当前科学技术水平和生产实践相关，它通过一段时间的执行，要根据实际使用情况，对现行标准加以修订和更新。所以在执行各项标准时，应以最新颁布的标准为准则。

按一般习惯可把标准分为技术标准、管理标准和工作标准；按作用范围可将其分为国际标准、区域标准、国家标准、专业标准、地方标准和企业标准；按标准在标准系统中的地位、作用把它们分为基础标准和一般标准；按标准的法律属性将其分为强制性标准和推荐性标准。按我国《标准化法》的规定：“国家标准、行业标准分为强制性标准和推荐性标准。保障人体健康，人身、财产安全的标准和法律、行政法规规定强制执行的标准是强制性标准，其他标准是推荐性标准。”强制性标准发布后，凡从事科研、生产、经营的单位和个人，均必须严格执行。

机械行业主要采用的标准有国际标准、国家标准、地方标准、行业标准、企业标准等。国际标准用符号 ISO 表示，ISO 是国际标准化组织的英文缩写。国家标准用符号 GB 表示，GB 是国家标准的汉语拼音字头，按英文字母读。国家标准分为两类，必须执行的标准（记为 GB）和推荐执行的标准（记为 GB/T）。

## 二、优先数系和优先数

为了保证互换性，必须合理地确定零件公差，公差数值标准化的理论基础，即为优先数系和优先数。在生产中，当选定一个数值作为某种产品的参数指标后，这个数值就会按照一定规律影响与制约相关的几何尺寸，这就是数值的传播规律。

1. 优先数系 优先数系和优先数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标准。

根据工程技术上的要求，优先数系是一种十进制几何级数。国家标准 GB 321—2005《优先数和优先数系》规定，采用十进制等比数列作为优先系列。优先数系的公比为  $q_r = \sqrt[r]{10}$ ，并规定了五个系列（ $r=5、10、20、40、80$ ），分别用系列符号 R5、R10、R20、R40、R80 表示，称为  $R_r$  系列。其中 R5、R10、R20、R40 称为基本系列，R80 称为补充系列。基本系列和补充系列具有如下规律：

(1) 延伸性 移动小数点位置，可将数列向两侧无限制延伸，即数列中的优先数值每隔  $r$  项增加 10 倍或减小到  $1/10$ 。

(2) 包容性与插入性 包容性是指 R5、R10、R20、R40 数列分别包容在 R10、R20、R40、R80 数列中。插入性是指 R10、R20、R40、R80 数列分别由 R5、R10、R20、R40 数列中相邻两项之间插入一项形成的。

(3) 相对差比值不变性 相对差比值不变性是指同一优先数列中，相邻两项的后项减前项与前项的比值不变。这样有利于产品的分级、分档。

为了使优先数系有更大的适应性，可以从  $R_r$  数列中，每逢  $p$  项取一个优先数组成新的数列，称之为派生数列，记为  $R_r/p$ 。派生数列首项取值不同，所得的派生数列也不同。例如，R10/3 是在 R10 系列中每逢 3 项取一个优先数而形成，例如：

1.00, 2.00, 4.00, 8.00

1.25, 2.50, 5.00, 10.00

1.60, 3.15, 6.30

选用基本系列时，应遵循先疏后密的原则，即应按照 R5、R10、R20、R40 的顺序选取，以免规格过多。当基本系列不能满足分级要求时，可选用补充系列或派生系列。

优先数系的五个系列的公比都是无理数，在工程技术上不能直接应用，而实际应用的是理论公比经过化整后的近似值，各系列的公比如下：

$$R5: \text{公比 } q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.5894 \approx 1.60$$

$$R10: \text{公比 } q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.2589 \approx 1.25$$

$$R20: \text{公比 } q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.1220 \approx 1.12$$

$$R40: \text{公比 } q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.0593 \approx 1.06$$

$$R80: \text{公比 } q_{80} = \sqrt[80]{10} \approx 1.0291 \approx 1.03$$

R5, R10, R20 和 R40 四个系列，是优先数系中的常用系列，称为基本系列。该系列各项数值如表 1-1 所示。

表 1-1 优先数系的差本系列（常用值）  
（摘自 GB 321—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 |      |       |       |

2. 优先数 优先数系的五个系列（R5, R10, R20, R40 和 R80）中一个项值均称为优先数，根据其取值的精确程度，数值可分为：

(1) 优先数的理论值 理论值即理论等比数列的项值。如 R5 理论等比数列的项值有  $1$ 、 $\sqrt[5]{10}$ 、 $(\sqrt[5]{10})^2$ 、 $(\sqrt[5]{10})^3$ 、 $(\sqrt[5]{10})^4$ 、 $10$  等。理论值一般是无理数，不便于实际应用。

(2) 优先数的计算值 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  $1/2 \times 10^4$ ，供精确计算用。例如 1.60 的计算值为 1.5849。

(3) 优先数的常用值 即通常所称的优先数, 取三位有效数字进行圆整后规定的数值, 是经常使用的, 见表 1-1 所示。

(4) 优先数的化整值 化整值是对基本系列中的常用数值作进一步圆整后所得的值, 应遵循国标 GB/T 19764《优先数和优先数化整值系列的选用指南》的规定。

### 3. 优先数系的应用

(1) 机械设计中应尽可能采用优先数系 优先数系不仅应用于标准的制订, 且在技术改造设计、工艺、实验、老产品整顿简化等诸多方面都应加以推广, 尤其在新产品设计中, 要遵循优先数系。

(2) 按重要性程度采用优先数系 基本参数、重要参数及在数值传播上最原始或涉及面最广的参数, 应尽可能采用优先数。对其他各种参数, 除非由于运算上的原因或其他特殊原因, 不能为优先数(例如两个优先数的和或差不再为优先数)以外, 原则上都宜于采用优先数。

(3) 按一定要求选用优先数系 对自变量参数尽可能选用单一的基本系列, 选择的优先顺序为基本系列, 然后是补充系列。只有在基本系列不能满足要求时, 才采用公比不同, 由几段组成的特殊系列。

## 第三节 检测技术

为了实现互换性生产, 检测(检验和测量)技术是保证机械零、部件精度的重要手段, 也是贯彻执行几何量公差标准的技术保证。检测技术的水平在一定程度上反映了机械加工精度水平。从机械发展历史来看, 几何量检测技术发展是和机械加工精度的提高相互依存, 相互促进的。根据国际计量大会的统计, 机械零件加工精度大约每十年提高一个数量级, 这都是由于检测技术不断发展的缘故。例如, 1940年由于有了机械式比较仪, 使机械加工精度水平从过去的 $3\mu\text{m}$ 提高到 $1.5\mu\text{m}$ ; 到了1950年, 有了光学比较仪, 使加工精度提高到 $0.2\mu\text{m}$ ; 到了1960年, 有了圆度仪, 使加工精度提高到 $0.1\mu\text{m}$ ; 到了1969年, 由于出现了激光干涉仪, 使加工精度提高到 $0.01\mu\text{m}$ 水平。

随着现代化工业生产的发展, 在建立和加强计量制度的同时, 我国的检测仪器也有了较大的发展, 现在已拥有一批骨干检测仪器制造厂, 生产了许多品种的精密仪器, 如万能工具显微镜、万能渐开线检查仪、半自动齿距检查仪等。此外, 还研制出一些达到世界先进水平的量仪, 如坐标测量机、激光光电比较仪、光栅式齿轮整体误差测量仪等。目前机械加工精度已达到纳米级, 而相应的检测技术也已向纳米级不断地发展。