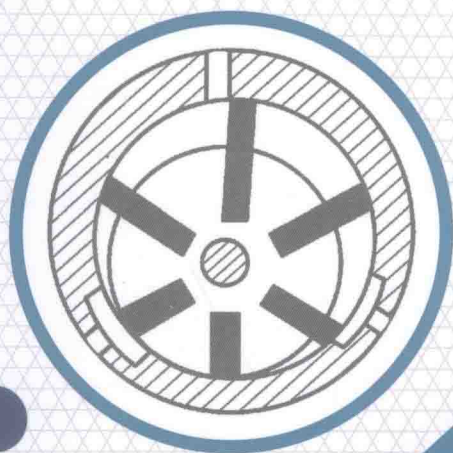




高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材

顾问 ● 张 策 张福润 赵敖生

# 互换性与技术测量



主编◎余兴波

HUHUANXING YU JISHU CELIANG



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材

顾问 ● 张 策 张福润 赵敖生

# 互换性与技术测量

主 编 余兴波

副主编 常化申 杨 琳 王 娜 谢卫荣 赵建琴

董淑婧 卢君宜 程志青 于 地

HUHUANXING YU JISHU CELIANG



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

## 内 容 简 介

本书为高等工科院校机械类和近机械类专业技术基础课教材。全书共十章,包括绪论、极限与配合、技术测量基础、几何公差、表面粗糙度、光滑极限量规、常用结合件的互换性、尺寸链、渐开线圆柱齿轮传动的互换性、三坐标测量机等内容。各章后附有习题。

本书贯彻最新国家标准,系统而精练地阐述了互换性与技术测量的基本知识,侧重讲清概念和标准的应用,主要介绍测量方法的原理,一般不具体介绍仪器的结构及操作步骤。

本书可作为高等院校机械类和近机械类专业“互换性与技术测量”课程的教材,也可供机械制造工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

互换性与技术测量/余兴波主编. —武汉:华中科技大学出版社,2014.5  
ISBN 978-7-5609-9652-3

I. ①互… II. ①余… 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. ①TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 101469 号

## 互换性与技术测量

余兴波 主编

策划编辑:俞道凯

责任编辑:吴 晗

封面设计:陈 静

责任校对:马燕红

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:湖北翰之林传媒有限公司

印 刷:华中理工大学印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13.25

字 数:339 千字

版 次:2014 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:27.00 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

系列教材

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 104

秘 书 俞道凯 华中科技大学出版社

## 总 序

《国家中长期教育改革和发展规划纲要》(2010—2020)颁布以来,胡锦涛总书记指出:教育是民族振兴、社会进步的基石,是提高国民素质、促进人的全面发展的根本途径。温家宝总理在2010年全国教育工作会议上的讲话中指出:民办教育是我国教育的重要组成部分。发展民办教育,是满足人民群众多样化教育需求、增强教育发展活力的必然要求。目前,我国高等教育发展正进入一个以注重质量、优化结构、深化改革为特征的新时期,从1998年到2010年,我国民办高校从21所发展到了676所,在校生从1.2万人增长为477万人。独立学院和民办本科学校在拓展高等教育资源,扩大高校办学规模,尤其是在培养应用型人才等方面发挥了积极作用。

当前我国机械行业发展迅猛,急需大量的机械类应用型人才。全国应用型高校中设有机械专业的学校众多,但这些学校使用的教材中,既符合当前改革形势又适用于目前教学形式的优秀教材却很少。针对这种现状,急需推出一系列切合当前教育改革需要的高质量优秀专业教材,以推动应用型本科教育办学体制和运行机制的改革,提高教育的整体水平,加快改进应用型本科的办学模式、课程体系和教学方式,形成具有多元化特色的教育体系。现阶段,组织应用型本科教材的编写是独立学院和民办普通本科院校内涵提升的需要,是独立学院和民办普通本科院校教学建设的需要,也是市场的需要。

为了贯彻落实教育规划纲要,满足各高校的高素质应用型人才培养要求,2011年7月,华中科技大学出版社在教育部高等学校机械学科教学指导委员会的指导下,召开了高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材编写会议。本套教材以“符合人才培养需求,体现教育改革成果,确保教材质量,形式新颖创新”为指导思想,内容上体现思想性、科学性、先进性和实用性,把握行业岗位要求,突出应用型本科院校教育特色。在独立学院、民办普通本科院校教育改革逐步推进的大背景下,本套教材特色鲜明,教材编写参与面广,具有代表性,适合独立学院、民办普通本科院校等机械类专业教学的需要。

本套教材邀请有省级以上精品课程建设经验的教学团队引领教材的建设,邀请本专业领域内德高望重的教授张策、张福润、赵敖生等担任学术顾问,邀请国家级教学名师、教育部机械基础学科教学指导委员会副主任委员、华中科技大学机械学院博士生导师吴昌林教授担任总主编,并成立编审委员会对教材质量进行把关。

我们希望本套教材的出版,能有助于培养适应社会发展需要的、素质全面的新型机械工程建设人才,我们也相信本套教材能达到这个目标,从形式到内容都成为精品,真正成为高等院校机械类应用型本科教材中的全国性品牌。

高等院校机械类应用型本科“十二五”创新规划系列教材

编审委员会

2012-5-1

# 目 录

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 第 1 章 绪论 .....           | (1)   |
| 1.1 互换性概述 .....          | (1)   |
| 1.2 标准化概述 .....          | (3)   |
| 1.3 本课程的研究对象及任务 .....    | (4)   |
| 第 2 章 极限与配合 .....        | (5)   |
| 2.1 概述 .....             | (5)   |
| 2.2 基本术语及其定义 .....       | (5)   |
| 2.3 极限与配合国家标准的组成 .....   | (12)  |
| 2.4 尺寸公差与配合的选择 .....     | (23)  |
| 2.5 一般公差 线性尺寸的未注公差 ..... | (34)  |
| 习题 2 .....               | (35)  |
| 第 3 章 技术测量基础 .....       | (38)  |
| 3.1 技术测量的基本知识 .....      | (38)  |
| 3.2 量仪测量误差及数据处理 .....    | (45)  |
| 3.3 普通计量器具的选择和检查 .....   | (50)  |
| 习题 3 .....               | (55)  |
| 第 4 章 几何公差 .....         | (56)  |
| 4.1 概述 .....             | (56)  |
| 4.2 几何误差与公差 .....        | (65)  |
| 4.3 公差原则 .....           | (76)  |
| 4.4 几何公差的选用 .....        | (89)  |
| 习题 4 .....               | (94)  |
| 第 5 章 表面粗糙度 .....        | (98)  |
| 5.1 概述 .....             | (98)  |
| 5.2 表面粗糙度的评定 .....       | (99)  |
| 5.3 表面粗糙度的标注 .....       | (103) |
| 5.4 表面粗糙度的选用 .....       | (107) |
| 5.5 表面粗糙度的测量 .....       | (110) |

|                                              |              |
|----------------------------------------------|--------------|
| 习题 5 .....                                   | (112)        |
| <b>第 6 章 光滑极限量规 .....</b>                    | <b>(113)</b> |
| 6.1 概述 .....                                 | (113)        |
| 6.2 量规设计 .....                               | (115)        |
| 6.3 工作量规设计 .....                             | (118)        |
| 习题 6 .....                                   | (122)        |
| <b>第 7 章 常用结合件的互换性 .....</b>                 | <b>(123)</b> |
| 7.1 滚动轴承与孔轴结合的互换性 .....                      | (123)        |
| 7.2 键、花键结合的互换性 .....                         | (135)        |
| 7.3 螺纹连接的互换性 .....                           | (144)        |
| 习题 7 .....                                   | (154)        |
| <b>第 8 章 尺寸链 .....</b>                       | <b>(157)</b> |
| 8.1 基本概念 .....                               | (157)        |
| 8.2 极值法求解尺寸链 .....                           | (159)        |
| 8.3 统计法求解尺寸链 .....                           | (163)        |
| 习题 8 .....                                   | (165)        |
| <b>第 9 章 渐开线圆柱齿轮传动的互换性 .....</b>             | <b>(166)</b> |
| 9.1 概述 .....                                 | (166)        |
| 9.2 齿轮精度的评定指标及测量 .....                       | (171)        |
| 9.3 齿轮坯精度、齿轮轴中心距、轴线平行度和轮齿接触斑点 .....          | (184)        |
| 9.4 渐开线圆柱齿轮精度标准及其应用 .....                    | (187)        |
| 习题 9 .....                                   | (194)        |
| <b>第 10 章 三坐标测量机 .....</b>                   | <b>(196)</b> |
| 10.1 三坐标测量机的工作原理 .....                       | (196)        |
| 10.2 三坐标测量机的机械结构及组成 .....                    | (196)        |
| 10.3 三坐标测量机的分类 .....                         | (200)        |
| 10.4 海克斯康 Global Classic 575 型三坐标测量机简介 ..... | (201)        |
| 习题 10 .....                                  | (205)        |
| <b>参考文献 .....</b>                            | <b>(206)</b> |

# 第1章 绪 论

## 1.1 互换性概述

机械产品都是由通用与标准零件和少数专用零部件组成的。这些通用与标准零件可以由不同的专业厂来制造,产品生产厂只需生产少数的专用零部件。产品生产厂不仅可以大大减少生产费用,还可以缩短生产周期,及时满足市场与用户的需要。

由于现代化生产是按专业化、协作化组织的,这就提出了一个如何保证互换性的问题。在人们的日常生活中,大量的现象涉及互换性。如机器或仪器上掉了一个螺钉,按相同的规格换一个就行了;灯泡坏了,换一个新的就行了;汽车、拖拉机乃至自行车、缝纫机、手表中某个机件磨损了,或者损坏了,换一个新的便能满足使用要求。之所以这样方便,是因为这些产品都是按互换性原则组织生产的,产品零件都具有互换性。

### 1.1.1 互换性的定义

所谓互换性,是指机械产品中同一规格的一批零件或部件,任取其中一件,不需做任何挑选、调整或辅助加工(如钳工修配),就能进行装配,并能保证满足机械产品使用性能要求的一种特性。

### 1.1.2 互换性的分类

互换性按互换的程度可分为完全互换(绝对互换)与不完全互换(有限互换)。

若零件在装配或更换时,不需选择、调整或辅助加工(修配),则其互换性为完全互换性。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,将零件的制造公差适当放大,使之便于加工,而在零件完工后再将零件按实际尺寸的大小分为若干组,使每组零件间实际尺寸的差别减小,装配时按相应组进行(例如,大孔组零件与大轴组零件装配,小孔组零件与小轴组零件装配)。这样,既可保证装配精度和使用要求,又能解决加工上的困难,降低成本。此种仅组内零件能互换,组与组之间不能互换的特性,称为不完全互换性。

对标准部件或机构来说,互换性又分为外互换与内互换。

外互换是指部件或机构与其装配件间的互换性。例如,滚动轴承内圈内径与轴的配合,外圈外径与轴承孔的配合。

内互换是指部件或机构内部组成零件间的互换性。例如,滚动轴承的外圈内滚道、内圈外滚道与滚动体的装配。

为方便使用,滚动轴承的外互换采用完全互换;而其内互换则因其组成零件的精度要求高,加工困难,故采用分组装配,为不完全互换。一般地说,不完全互换只用于部件或机构的制造厂内部的装配,至于厂外协作,即使产量不大,往往也要求完全互换。

### 1.1.3 互换性的作用

从使用上看,由于零件具有互换性,零件坏了可以更换,方便维修,从而提高机器的利用率和延长机器的使用寿命。

从制造上看,互换性是组织专业化协作生产的重要基础,而专业化生产基于采用高科技和高生产率的先进工艺和装备,从而提高生产率,提高产品质量,降低生产成本。

从设计上看,互换性可以简化制图、计算工作,缩短设计周期,并便于采用计算机辅助设计(CAD),这对发展系列产品十分重要。例如,手表在发展新品种时,采用具有互换性的统一机芯,不同品种只需进行外观的造型设计,这就使设计与生产准备的周期大大缩短。

互换性生产原则和方式是随着大批量生产而发展和完善起来的,它不仅在单一品种的大批量生产中广为采用,而且已用于多品种、小批量生产;在由传统的生产方式向现代化的数字控制(NC)、计算机辅助制造(CAM)、柔性生产系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)的逐步过渡中也起着重要的作用。科学技术越发展,对互换性的要求越高、越严格。例如,柔性生产系统的主要特点是可以根据市场需求改动生产线上产品的型号和品种,当生产线上工序变动时,信息送给多品种控制器,控制器接收将要装配哪些零件的指令后,指定机器人(机械手)选择零件,进行装配,并经校核送到下一工序。库存零件提取后,由计算机通知加工站补充零件。显然,这种生产系统对互换性的要求更加严格。

因此,互换性原则是组织现代化生产的极为重要的技术经济原则。

### 1.1.4 互换性生产的实现

任何机械都是由若干最基本的零件构成的。这些具有一定尺寸、形状和相互位置几何参数的零件,可以通过各种不同的连接方式装配成为一个整体。

由于任何零件都要经过加工的过程,无论设备的精度和操作工人的技术水平多么高,要使加工零件的尺寸、形状和位置做到绝对准确不但不可可能,也是没有必要的。只要将零件加工后各几何参数(如尺寸、形状和位置等)所产生的误差控制在一定范围内,就可以保证零件的使用功能,同时还能实现互换性生产。

零件几何参数这种允许的变动量称为公差。它包括尺寸公差、形状公差、位置公差等。公差用来控制加工中的误差,以保证互换性的实现。因此,建立各种几何参数的公差标准是实现零件误差的控制和保证互换性的基础。

完工后的零件是否满足公差要求,要通过检测加以判断。检测包括检验与测量,检验是指确定零件的几何参数是否在规定的极限范围内,并判断其是否合格;测量是将被测量与作为计量单位的标准量进行比较,以确定被测量的具体数值的过程。检测不仅用来评定产品质量,而且用于分析产生不合格品的原因,及时调整生产,监督工艺过程,预防废品产生。

综上所述,合理确定公差与正确进行检测是保证产品质量、实现互换性生产的两个必不可少的条件和手段。

## 1.2 标准化概述

### 1.2.1 标准化及其作用

#### 1. 标准

标准是指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。该文件经协商一致制定并经某一公认机构批准。标准应以科学、技术和经验的综合成果为基础,以促进最佳社会效益为目的。

标准一般是指技术标准,它是指对产品和工程的技术质量、规格及其检验方法等方面所做的技术规定,是从事生产、建设工作的一种共同技术依据。

标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准。

标准中的基础标准则是指生产技术活动中最基本的、具有广泛指导意义的标准。这类标准具有最一般的共性,因而是通用性最强的标准。例如,极限与配合标准、几何公差标准、表面粗糙度标准等。

#### 2. 标准化

标准化是指在经济、技术、科学及管理等社会实践中,对重复性事物和概念通过制定、发布和实施标准,达到统一,以获得最佳秩序和社会效益的全部活动过程。

在机械制造中,标准化是实现互换性生产、组织专业化生产的前提条件;是提高产品质量、降低产品成本和提高产品效力的重要保证;是消除贸易障碍,促进国际技术交流和贸易发展,使产品打进国际市场的必要条件。随着经济建设和科学技术的发展、国际贸易的扩大,标准化的作用和重要性越来越受到各个国家特别是工业发达国家的高度重视。

总之,标准化在实现经济全球化、信息社会化方面有其深远的意义。

### 1.2.2 优先数和优先数系

优先数和优先数系标准是重要的基础标准。由于工程上的技术参数值具有传播特性,如造纸机械的规格和参数值会影响印刷机械、书刊、报纸、复印机、文件柜等的规格和参数值,因此对各种技术参数值协调、简化和统一是标准化的重要内容。优先数系就是对各种技术参数的数值进行协调、简化和统一的科学数值制度。

国家标准(GB/T 321—2005)规定的优先数系是公比为 $\sqrt[5]{10}$ 、 $\sqrt[10]{10}$ 、 $\sqrt[20]{10}$ 、 $\sqrt[40]{10}$ 和 $\sqrt[80]{10}$ ,且项值中含有10的整数幂的几何级数的常用圆整值。各数列分别用符号R5、R10、R20、R40和R80表示,并分别称为R5系列、R10系列……其中,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(见表1-1)。

优先数系中的任一个项值称为优先数。

采用等比数列作为优先数系可使相邻两个优先数的相对差相同,且运算方便,简单易记。在同一系列中优先数的积、商、整数幂仍为优先数。因此,这种优先数系已成为国际上统一的数值分级制度。

表 1-1 优先数系的基本系列

| 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 |       |       |       | 7.50  |
| 1.60 | 1.60 | 1.60 | 1.60 |      |      | 3.55 | 3.55 |       | 8.00  | 8.00  | 8.00  |
|      |      |      | 1.70 |      |      |      | 3.75 |       |       |       | 8.50  |
|      |      | 1.80 | 1.80 |      | 4.00 | 4.00 | 4.00 |       |       | 9.00  | 9.00  |
|      |      |      | 1.90 | 4.00 |      |      | 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 |       |       |       |       |

### 1.3 本课程的研究对象及任务

本课程是高等院校机械类、仪器仪表类和机电结合类各专业必修的主干技术基础课程。它包含几何量公差与误差检测两大方面的内容,把标准化和计量学两个领域的有关部分有机地结合在一起,与机械设计、机械制造、质量控制等多方面密切相关,是机械工程技术人员和管理人员必备的基本知识技能。

本课程的研究对象是几何参数的互换性,即研究如何通过规定公差合理解决机器使用要求与制造要求之间的矛盾,以及如何运用技术测量手段保证国家公差标准的贯彻实施。通过本课程的学习,应达到以下要求:

(1) 建立互换性的基本概念,掌握各有关公差标准的基本内容、特点和表格的使用,能根据零件的使用要求,初步选用其公差等级、配合种类、几何公差及表面质量参数值等,并能在图样上进行正确的标注。

(2) 建立技术测量的基本概念,了解常用测量方法与测量器具的工作原理,通过实验,初步掌握测量操作技能,并分析测量误差与处理测量结果。会设计光滑极限量规。

总之,本课程的任务是使学生获得互换性与技术测量的基本理论、基本知识和基本技能,了解互换性与技术测量学科的现状和发展,具有继续自学并结合工程实践应用、扩展的能力。

## 第2章 极限与配合

### 2.1 概 述

为使零件具有互换性,必须保证零件的尺寸、几何形状、相互位置及表面特征技术要求的一致性。就尺寸而言,互换性要求尺寸的一致性,但并不是要求零件准确地制成一个指定的尺寸,而只要求尺寸在某一合理的范围内。对于相互结合的零件,这个范围既要保证相互结合的尺寸之间形成一定的关系,以满足不同的使用要求,又要在制造上是经济合理的。这样就形成了“极限与配合”的概念。由此可见,“极限”用于协调机器零件使用要求与制造经济性之间的矛盾,“配合”则是反映零件组合时相互之间的关系。

标准化的极限与配合制,有利于机器的设计、制造、使用与维修,有利于保证产品精度、使用性能和寿命等,也有利于刀具、量具、夹具和机床等工艺装备的标准化。

自1979年以来,我国参照国际标准(ISO)并结合我国的实际生产情况,颁布了一系列国家标准,2009年以后又进行了进一步的修订。新修订的“极限与配合”标准由以下几个标准组成: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 1803—2003《公差与配合 尺寸至18 mm 孔、轴公差带》;GB/T 1804—2000《一般公差 未注出公差的线性和角度尺寸的公差》。

### 2.2 基本术语及其定义

#### 2.2.1 有关要素的术语定义

##### 1. 要素

要素是指构成零件几何特征的点、线、面。

##### 2. 尺寸要素

尺寸要素是指由一定大小的线性尺寸或角度尺寸确定的几何形状。

##### 3. 实际(组成)要素

实际(组成)要素(代替原实际尺寸)是指由接近实际(组成)要素所限定的工件实际表面的组成要素部分。

##### 4. 提取组成要素

提取组成要素是指按规定的方法,由实际(组成)要素提取有限数目的点所形成的实际(组成)要素的近似替代。

##### 5. 拟合组成要素

拟合组成要素是指按规定的方法,由提取组成要素形成的并具有理想形状的组成要素。

## 2.2.2 有关尺寸的术语定义

### 1. 尺寸

尺寸亦称线性尺寸,或长度尺寸,是指用特定单位表示线性尺寸值的数值。尺寸表示长度的大小,包括直径、长度、宽度、厚度以及中心距、圆角半径等。它由数字和长度单位(如mm)组成,不包括角度单位表示的角度尺寸。

### 2. 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,也是用来与极限偏差(上极限偏差和下极限偏差)一起计算得到极限尺寸(上极限尺寸和下极限尺寸)的尺寸,如图2-1所示。

公称尺寸是从零件的功能出发,通过强度、刚度等方面的计算或结构需要,并考虑工艺方面的其他要求后确定的。公称尺寸可以是一个整数或一个小数值,如32、15、8.75、0.5等,它一般应按GB/T 2822—2005《标准尺寸》选取并在图样上标注。

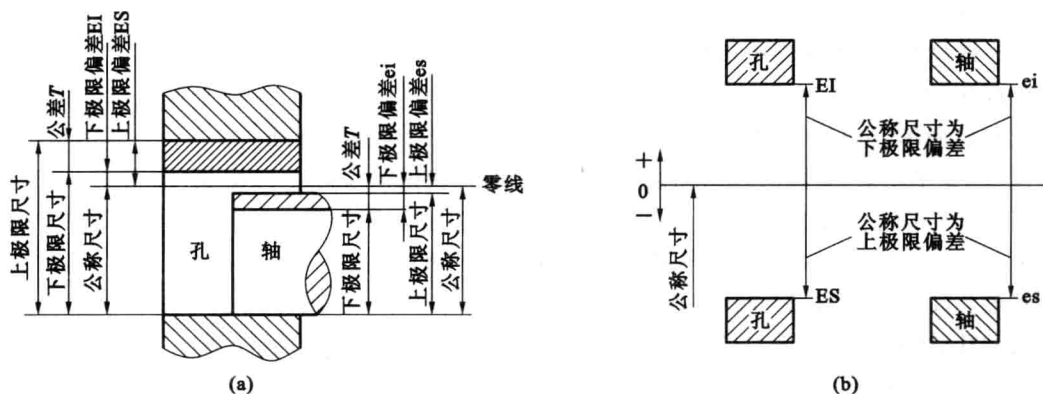


图 2-1 极限与配合示意图

### 3. 极限尺寸

极限尺寸是指尺寸要素允许的尺寸的两个极端。提取组成要素的局部尺寸应位于其中,也可达到极限尺寸。

尺寸要素允许的最大尺寸称为上极限尺寸,尺寸要素允许的最小尺寸称为下极限尺寸。孔或轴的上极限尺寸分别以  $D_s$  和  $d_s$  表示,下极限尺寸分别以  $D_i$  和  $d_i$  表示。

### 4. 最大实体状态(MMC)与最大实体尺寸(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。在最大实体状态下的极限尺寸称为最大实体尺寸,它是孔的最小极限尺寸和轴的最大极限尺寸的统称。孔和轴的最大实体尺寸分别以  $D_M$  和  $d_M$  表示。

### 5. 最小实体状态(LMC)与最小实体尺寸(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。在最小实体状态下的极限尺寸称为最小实体尺寸,它是孔的最大极限尺寸和轴的最小极限尺寸的统称。孔和轴的最小实体尺寸分别以  $D_L$  和  $d_L$  表示。

### 6. 作用尺寸( $D_f, d_f$ )

在配合面的全长上,与实际孔内接的最大理想轴的尺寸称为孔的作用尺寸,与实际轴外接的最小理想孔的尺寸称为轴的作用尺寸,如图2-2所示。

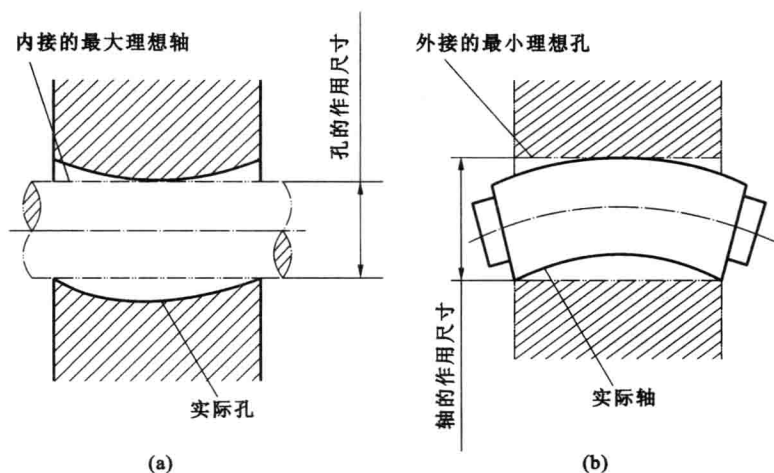


图 2-2 孔或轴的作用尺寸

### 7. 极限尺寸判断原则(泰勒原则)

孔或轴的作用尺寸不允许超过其最大实体尺寸,且在任何位置上的实际尺寸不允许超过其最小实体尺寸。

用极限尺寸判断原则判断合格的孔或轴,其尺寸应符合以下原则。

对于孔:

$$D_f \geq D_{\min}, D_a \leq D_{\max}$$

对于轴:

$$d_f \leq d_{\max}, d_a \geq d_{\min}$$

## 2.2.3 有关公差与偏差的术语定义

### 1. 尺寸偏差

某一尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为尺寸偏差,简称偏差。实际尺寸减其基本尺寸的代数差称为实际偏差;最大极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为上偏差;最小极限尺寸减其基本尺寸所得的代数差称为下偏差。上偏差与下偏差统称为极限偏差。偏差可以为正、负或零值。

孔:

$$\text{上偏差 } ES = D_{\max} - D, \quad \text{下偏差 } EI = D_{\min} - D, \quad \text{实际偏差 } E_a = D_a - D$$

轴:

$$\text{上偏差 } es = d_{\max} - d, \quad \text{下偏差 } ei = d_{\min} - d, \quad \text{实际偏差 } e_a = d_a - d$$

### 2. 尺寸公差

尺寸公差是指允许尺寸的变动量,简称公差。公差等于最大极限尺寸与最小极限尺寸代数差的绝对值,也等于上、下偏差代数差的绝对值。公差取绝对值,不存在负值,也不允许为零。

孔公差:

$$T_h = |D_{\max} - D_{\min}| = |ES - EI|$$

轴公差:

$$T_s = |d_{\max} - d_{\min}| = |es - ei|$$

### 3. 公差带图

公差带图由零线和公差带组成。由于公差或偏差的数值比基本尺寸的数值小得多,在图中不使用同一比例表示,同时为了简化,在分析有关问题时,不画出孔、轴的结构,只画出放大的孔、轴公差区域和位置,采用这种表达方法的图形称为公差带图。

**零线** 在公差带图中,确定偏差位置的一条基准直线。通常零线位置表示基本尺寸,正偏差位于零线上方,负偏差位于零线的下方。

**公差带** 在公差带图中,由代表上、下偏差的两平行直线所限定的区域。

在国家标准中,公差带图包括了“公差带大小”与“公差带位置”两个参数,前者由标准公差确定,后者由基本偏差确定。

### 4. 标准公差

极限与配合制标准中所规定的(确定公差带大小的)任一公差。

### 5. 基本偏差

基本偏差是指极限与配合制标准中所规定的确定公差带相对于零线位置的那个极限偏差。它可以是上偏差或下偏差,一般为靠近零线的那个极限偏差。

## 2.2.4 有关配合的术语定义

### 1. 孔和轴

在极限与配合标准中,孔和轴这两个基本术语有其特定的含义,它涉及极限与配合国家标准的应用范围。

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)。例如,图 2-3 所示零件的各内表面上, $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$  各尺寸都是孔的尺寸。

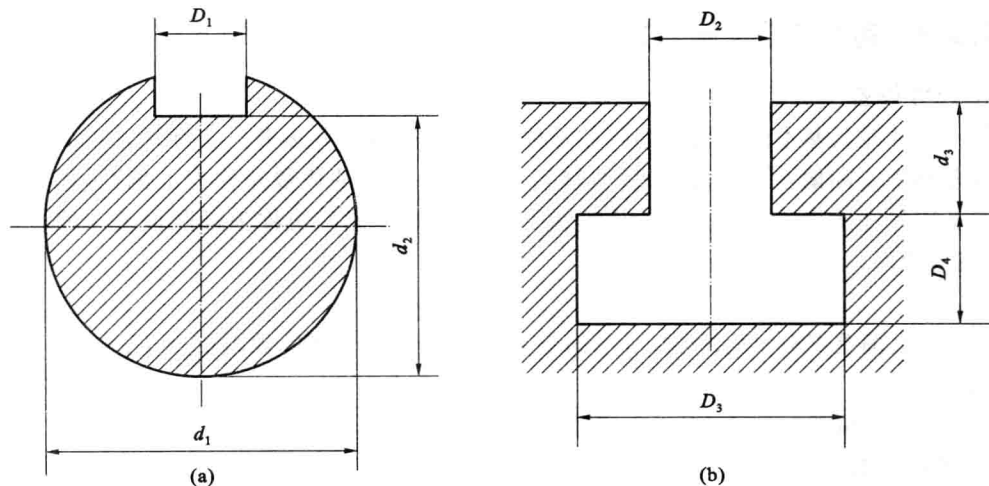


图 2-3 孔与轴

轴通常指工件的圆柱形外表面,也包括非圆柱形外表面(由二平行平面或切面形成的被包容面)。例如,图 2-3 所示零件的各外表面上, $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  各尺寸都是轴的尺寸。

### 2. 配合

基本尺寸相同的、相互结合的孔和轴公差带之间的关系。根据孔和轴公差带之间的关系不同,配合分为间隙配合、过盈配合和过渡配合三大类。

### 3. 间隙和过盈

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  $X$  表示;为负时称为过盈,用  $Y$  表示。

### 4. 间隙配合

间隙配合是指具有间隙(包括最小间隙为零)的配合。此时,孔的公差带在轴的公差带之上,如图 2-4(a)所示。

由于孔、轴的实际尺寸允许在各自公差带内变动,所以孔、轴配合的间隙也是变动的。当孔为  $D_{\max}$  而相配合轴为  $d_{\min}$  时,装配后形成最大间隙  $X_{\max}$ ;当孔为  $D_{\min}$  而相配合轴为  $d_{\max}$  时,装配后形成最小间隙  $X_{\min}$ 。用公式表示为

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$$

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

$X_{\max}$  和  $X_{\min}$  统称为极限间隙。实际生产中,成批生产零件的实际尺寸大部分为极限尺寸的平均值,所以形成的间隙大多数在平均尺寸形成的平均间隙附近,平均间隙以  $X_{av}$  表示,其大小为

$$X_{av} = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2}$$

### 5. 过盈配合

过盈配合是指具有过盈(包括最小过盈为零)的配合。此时,孔的公差带在轴的公差带的下方,如图 2-4(b)所示。

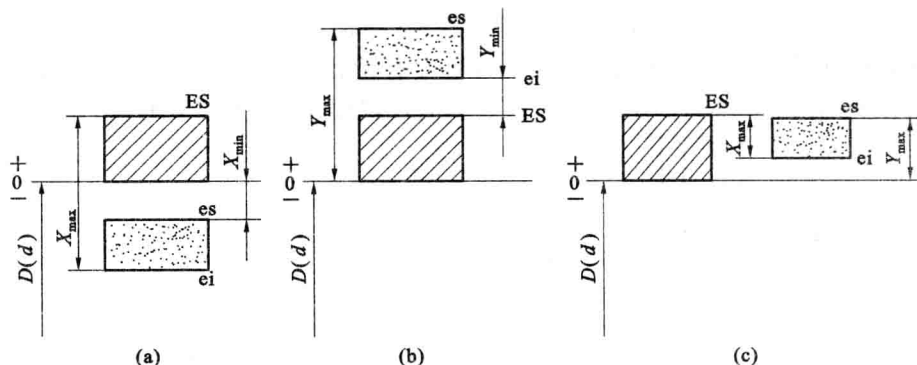


图 2-4 三类配合的公差带

(a) 间隙配合; (b) 过盈配合; (c) 过渡配合

当孔为  $D_{\min}$  而相配合轴为  $d_{\max}$  时,装配后形成最大过盈  $Y_{\max}$ ;当孔为  $D_{\max}$  而相配合轴为  $d_{\min}$  时,装配后形成最小过盈  $Y_{\min}$ 。用公式表示为

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

$$Y_{\min} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$$

$Y_{\max}$  和  $Y_{\min}$  统称为极限过盈。同上,在成批生产中,最可能得到的是平均过盈附近的过盈值,平均过盈用  $Y_{av}$  表示,其大小为

$$Y_{av} = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2}$$

### 6. 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。如图 2-4(c)所示。

当孔为  $D_{\max}$  而相配合轴为  $d_{\min}$  时,装配后形成最大间隙  $X_{\max}$ ;当孔为  $D_{\min}$  而相配合轴为

$d_{\max}$  时,装配后形成最大过盈  $Y_{\max}$ 。用公式表示为

$$X_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = ES - ei$$

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

与前两种配合一样,成批生产中的零件,最可能得到的是平均间隙或平均过盈附近的值,其大小为

$$X_{av}(Y_{av}) = \frac{X_{\max} + Y_{\max}}{2}$$

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。

## 7. 配合公差( $T_f$ )

配合公差是指组成配合的孔、轴公差之和。它是允许间隙或过盈的变动量。

$$\left. \begin{aligned} \text{对于间隙配合 } T_f &= |X_{\max} - X_{\min}| \\ \text{对于过盈配合 } T_f &= |Y_{\min} - Y_{\max}| \\ \text{对于过渡配合 } T_f &= |X_{\max} - Y_{\max}| \end{aligned} \right\} = T_h + T_a$$

上式说明,配合精度取决于相互配合的孔和轴的尺寸精度。若要提高配合精度,则必须减少相配合孔、轴的尺寸公差,这将会使制造难度增加,成本提高。所以,设计时要综合考虑使用要求和制造难易程度这两个方面,合理选取,从而提高综合技术经济效益。

## 8. 配合公差带图

配合公差带图是用来直观地表达配合性质,即配合松紧及其变动情况的图。在配合公差带图中,横坐标为零线,表示间隙或过盈为零;零线上方的纵坐标为正值,代表间隙,零线下方的纵坐标为负值,代表过盈。配合公差带两端的坐标值代表极限间隙或极限过盈,它反映配合的松紧程度;上、下两端间的距离为配合公差,它反映配合的松紧变化程度,如图 2-5 所示。

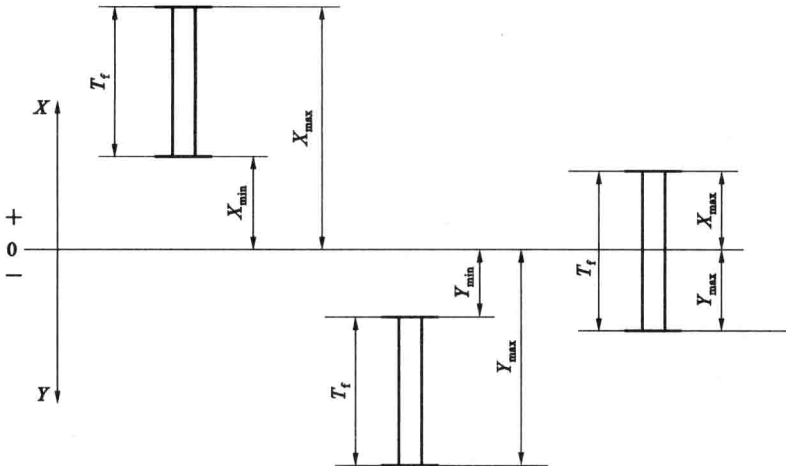


图 2-5 配合公差带图

**例 2-1** 求下列三对配合孔、轴的基本尺寸、极限尺寸、公差、极限间隙或极限过盈,平均间隙或平均过盈及配合公差,指出各属何类配合,并画出尺寸公差带图与配合公差带图。

- (1) 孔  $\phi 30^{+0.021}_0$  mm 与轴  $\phi 30^{+0.020}_{-0.033}$  mm 相配合;
- (2) 孔  $\phi 30^{+0.021}_0$  mm 与轴  $\phi 30^{+0.021}_{+0.008}$  mm 相配合;
- (3) 孔  $\phi 30^{+0.021}_0$  mm 与轴  $\phi 30^{+0.048}_{+0.035}$  mm 相配合。

**解** 根据题目要求,求得各项参数如表 2-1 所示,尺寸公差带图与配合公差带图如图 2-6 和图 2-7 所示。