

机械设计 实验指导书

李安生 主编

机设035 沈爽

郑州轻工业学院

2005年9月

前 言

《机械设计》课程是我国高等工科院校中机械类、近机类各专业必修的一门技术基础课。根据《机械设计课程教学大纲》的要求，实验是该门课程重要的实践教学环节。通过实验教学使学生了解掌握机器的基本组成要素——机械零件在各类机械中的功用、性能及机械性能的测试方法。并为学习专业课程中的机械部分提供必要的知识储备。

近年来，《机械设计》课程的实验设备、方法和手段均有很大变化，《机械设计课程教学大纲》对实验的要求较以往也有较大改变，原来的实验指导书已不能适应当前的需要，为此我们决定重新编写实验指导书。根据目前实验室设备情况，书中共选入了机械零件认识、螺栓联接变形协调、螺栓组联接、动压滑动轴承、机械传动性能综合测试、轴系结构设计与分析和减速器拆装等7项实验。任课教师可根据不同专业的需求对书中所列实验项目进行选择。

本实验指导书中实验一由杜文辽编写，实验二至七由李安生编写，部分插图由朱茹敏绘制。

全书承纪莲清副教授审阅，各任课老师也都给予了大力支持，在此深表感谢。

由于水平所限，书中错误和不当之处在所难免，敬请广大教师和学生批评指正。

此书于 2007 年 06 月 22 日

由 机电工程学院捐赠

特此感谢！

者

2005 年 9 月

目 录

实验一、机械设计认识实验.....	1
实验二、螺栓联接变形协调实验.....	16
实验三、螺栓组联接实验	25
实验四、动压滑动轴承实验.....	31
实验五、机械传动系统方案设计和性能测试综合实验.....	44
实验六、轴系结构设计与分析实验.....	85
实验七、减速器拆装实验.....	92

实验一：机械零件认识实验

一、实验目的

二、实验方法及实验安排

三、实验内容

四、附录

1. 展示柜各柜内容图片

2. 注意事项

一、实 验 目 的

1. 初步了解《机械设计》课程所研究的各种常用零件的结构、类型、特点及应用。
2. 了解各种标准零件的结构形式及相关的国家标准。
3. 了解各种传动的特点及应用。
4. 增强对各种零部件的结构及机器的感性认识。

二、实 验 方 法 及 实 验 安 排

学生通过对实验指导书的学习及观察“机械零件陈列柜”中展示的各种零件，在教师的指导下，认识机器常用的基本零件，使理论与实际联系起来，增强学生对机械零件的感性认识。并通过展示的机械设备、机器模型等，使学生们清楚知道机器的基本组成要素——机械零件。

三、实 验 内 容

（一）螺纹联接

螺纹联接是利用螺纹零件工作的，主要用作紧固零件。基本要求是保证联接强度及联接可靠性，同学们应了解如下内容：

1. 螺纹的类型：根据牙型，螺纹可分为普通螺纹、梯形螺纹、矩形螺纹、锯齿形螺纹；根据母体形状，螺纹可分为圆弧管螺纹、圆柱管螺纹、圆锥管螺纹；根据螺旋线旋向，螺纹可分为左旋和右旋；根据螺旋线的线数，可以分为单线、双线、三线螺纹等。

2. 螺纹联接的基本类型：常用的有普通螺栓联接，双头螺柱联接、螺钉联接及紧定螺钉联接。

3. 螺纹联接件：主要展示了各种形式的螺栓、螺柱、螺钉、紧定螺钉、螺母、垫圈。

4. 螺纹联接的防松：防松的根本问题在于防止螺旋副在受载时发生相对转动。防松的方法，按其工作原理可分为摩擦防松、机械防松及铆冲防松等。摩擦防松简单、方便，但

没有机械防松可靠。常见的摩擦防松方法有对顶螺母、收口防松螺母、开缝收口、尼龙圈防松螺母、弹簧垫圈、锁紧垫圈等；机械防松方法有止动垫圈、开口销与六角开槽螺母、串联钢丝、止动垫圈与圆螺母等。对重要的联接，特别是在机器内部的不易检查的联接，应采用机械防松。

5. 克服偏载的方法：一般采用如下措施：斜垫圈、凸台、沉头坑等。

6. 横向载荷的减载装置：常用的有减载键、减载销、减载套筒等。

7. 提高螺纹联接强度的措施：

1) 受轴向变载荷的紧螺栓联接一般是因疲劳而破坏，为了提高疲劳强度，一般采用减小螺栓刚度的方法，可适当增加螺栓长度、采用腰状杆螺栓或空心螺栓。

2) 不论螺栓联接的结构如何，所受的拉力都是通过螺栓和螺母的螺纹牙相接触来传递的，由于螺栓和螺母的刚度与变形的性质不同，各圈螺纹牙上的受力也是不同的。为了改善螺纹牙上的载荷分布不均程度，常采用悬置螺母或采用钢丝螺套来减小螺栓旋合段本来受力较大的几圈螺纹牙的受载不均状况。

3) 为了提高螺纹联接强度，还应减小螺栓头和螺栓杆的过渡处所产生的应力集中，可采用较大的过渡圆角和卸载结构。在设计、制造和装配上应力求避免螺纹联接产生附加弯曲应力，以免降低螺栓强度。

4) 采用合理的制造工艺方法，来提高螺栓的疲劳强度。如采用冷锻螺栓头部和滚压螺纹的工艺方法或用采用表面氮化、氰化、喷丸等处理工艺都是有效的方法。

8. 螺纹联接的装拆：介绍了几种装拆工具和正确的使用方法以及错误的使用方法。

在掌握上述内容的基础上，通过参观螺纹联接展示柜，应区分出：①什么是普通螺纹、管螺纹、梯形螺纹和锯齿形螺纹；②能认识什么是普通螺栓、双头螺栓、螺钉及紧定螺钉联接；③能认识摩擦防松与机械防松；④了解联接螺栓的光杆部分做得比较细的原因是什么等问题。

(二) 标准联接件

标准联接件一般是由专业企业按国标（GB）成批生产，供应市场的零件。这类零件的结构形式和尺寸都已标准化，设计时可根据有关标准选用。通过实验学生们应能区分螺栓与螺钉；能了解各种标准化零件的结构特点、使用情况；了解各类零件的标准代号，以提高学生们标准化意识。

1. 螺栓：一般是与螺母配合使用以联接被联接零件，无需在被联接的零件上加工螺纹，其联接结构简单，装拆方便，种类较多，应用最广泛。其国家标准有：GB5782~5786

六角头螺栓、GB31.1~31.3 六角头带孔螺栓、GB8 方头螺栓、GB27 六角头铰制孔用螺栓、GB37 T形槽用螺栓、GB799 地脚螺栓及GB897~900 双头螺柱等。

2. 螺钉：螺钉联接不用螺母，而是紧定在被联接件之一的螺纹孔中，其结构与螺栓相同，但头部形状种类较多，以适应不同装配要求。常用于结构紧凑场合。其国家标准有：GB65 开槽圆柱头螺钉；GB67 开槽盘头螺钉；GB68 开槽沉头螺钉；GB818 十字槽盘头螺钉；GB819 十字槽沉头螺钉；GB820 十字槽半沉头螺钉；GB70 内六角圆柱头螺钉；GB71 开槽锥端紧定螺钉；GB73 开槽平端紧定螺钉；GB74 开槽凹端紧定螺钉；GB75 开槽长圆柱端紧定螺钉；GB834 滚花高头螺钉；GB77~80 各种内六角紧定螺钉；GB83~86 各类方头紧定螺钉；GB845~847 各类十字自攻螺钉；GB5282~5284 各类开槽自攻螺钉；GB6560~6561 各类十字头自攻锁紧螺钉；GB825 吊环螺钉等。

3. 螺母：螺母形式很多，按形状可分为六角螺母、四方螺母及圆螺母；按联接用途可分为普通螺母、锁紧螺母及悬置螺母等。应用最广泛的是六角螺母及普通螺母。其国家标准有：GB6170~6171、GB6175~6176 1型及2型A、B级六角螺母；GB41 1型C级螺母；GB6172A、B级六角薄螺母；GB6173A、B六角薄型细牙螺母；GB6178、GB6180 1、2型A、B级六角开槽螺母；GB9457、GB9458 1、2型，A、B级六角开槽细牙螺母；GB56 六角厚螺母；GB6184 六角锁紧螺母；GB39 方螺母；GB806 滚花高螺母；GB923 盖形螺母；GB805 扣紧螺母；GB812、GB810 圆螺母及小圆螺母；GB62 蝶形螺母等。

4. 垫圈：垫圈种类有平垫圈、弹簧垫圈及锁紧垫圈等。平垫圈主要用于保护被联接件的支承面，弹簧及锁紧垫圈主要用于摩擦和机械防松场合。其国家标准有：GB97.1~97.2、GB95~96、GB848、GB5287 各类大、小及特大平垫圈；GB852 工字钢用方斜垫圈；GB853 槽钢用方斜垫圈；GB861.1 及 GB862.1 内齿、外齿锁紧垫圈；GB93、GB7244、GB859 各种类弹簧垫圈；GB854~855 单耳、双耳止动垫圈；GB856 外舌止动垫圈；GB858 圆螺母止动垫圈。

5. 挡圈：常用于轴端零件固定之用。其国家标准有：GB891~892 螺钉、螺栓紧固轴端挡圈；GB893.1~893.2A型B型孔用弹性挡圈；GB894.1~894.2A型B型轴用弹性挡圈；GB895.1~895.2孔用、轴用钢丝挡圈；GB886 轴肩挡圈等。

（三）键、销及花键联接

1. 键联接：键是一种标准零件，通常用来实现轴与轮毂之间的周向固定以传递转矩，有的还能实现轴上零件的轴向固定或轴向滑动的导向。其主要类型有：平键、半圆键、楔键、导向平键、滑键和切向键联接。各类键使用的场合不同，键槽的加工工艺也不同。可

根据键联接的结构特点，使用要求和工作条件来选择，键的尺寸则应按轴的直径来选择。其国家标准有：GB1096~1099 各类普通平键、导向键及各类半圆键；GB1563~1566 各类楔键、切向键及薄型平键等。

2. 花键联接：花键联接是由外花键和内花键组成。适用于定心精度要求高、载荷大或经常滑移的联接。花键联接的齿数、尺寸，配合等均按标准选取，可用于静联接或动联接。按其齿形可分为矩形花键（GB1144）和渐开线形花键（GB3478.1），前一种由于多齿工作，承载能力高、对中性好、导向性好、齿根较浅、应力集中较小、轴与毂强度削弱小等优点，广泛应用在飞机、汽车、拖拉机、机床及农业机械传动装置中；渐开线花键联接，受载时齿上有径向力，能起到定心作用，使各齿受力均匀，增加强度和寿命等特点，主要用于载荷较大、定心精度要求较高以及尺寸较大的联接。另外还有三角形花键。展示柜还针对各种键列出了定心方法。

3. 销联接：销主要用来固定零件之间的相对位置时，称为定位销，它是组合加工和装配时的重要辅助零件；用于接接时，称为联接销，可传递不大的载荷；作为安全装置中的过载剪断元件时，称为安全销。

销有多种类型，如圆柱销、圆锥销、异形销、安全销等，这些均已标准化，主要国标代号有：GB119、GB20、GB878、GB879、GB117、GB118、GB881、GB877 等。

各种销都有各自的特点，如：圆柱销多次拆装会降低定位精度和可靠性；圆锥销在受横向力时可以自锁，安装方便，定位精度高，多次拆装不影响定位精度等。

以上几种联接，通过展柜的参观同学们要仔细观察其结构，使用场合，并能分清和认识以上各类零件。

（四）铆、焊、粘和过盈联接

铆、焊、粘和过盈联接都属于静联接。

铆接主要是由联接件铆钉和被联接件组成，有的还有辅助联接件盖板。这些基本元件在构造物上所形成的联接部分统称为铆接缝（铆缝）。展示柜展示了常用铆钉的类型，铆缝按接头可分为：搭界缝、单搭板对接缝、双搭板对接缝、组合接头等。

焊接以电焊应用最广。展示柜展示了常见坡口的形式以及焊接的方法：搭接、对接、角接等。

粘接（胶接）是利用胶粘剂在一定条件下把预制的元件联接在一起，并具有一定的联接强度。粘接接头的典型结构主要有板接、管接、角接。

过盈联接是利用零件间的过盈配合来达到联接目的的。这里展示了圆柱面过盈联接和

圆锥面过盈联接。

（五）机械传动

机械传动有链传动、齿轮传动、蜗杆传动、螺旋传动、带传动等。各种传动都有不同的特点和使用范围，这些传动知识同学们在学习“机械设计”课程中都要详细讲授。在这里主要通过实物观察，增加同学们对各种机械传动知识的感性认识，为今后理论学习及课程设计打下良好基础。

1. 链传动：是由主动链轮齿带动链以后再通过链带动从动链轮，属于带有中间挠性件的啮合传动。与属于摩擦传动的带传动相比，链传动无弹性滑动和打滑现象，能保持准确的平均传动比，传动效率高。按用途不同可分为传动链传动、输送链传动和起重链传动。输送链和起重链主要用在运输和起重机械中，而在一般机械传动中，常用的是传动链。

传动链有短节距精密滚子链（简称滚子链）、齿形链等。

在滚子链中为使传动平稳，结构紧凑，宜选用小节距单排链，当速度高、功率大时则选用小节距多排链。

齿形链又称无声链，它是由一级带有两个齿的链板左右交错并列铰链而成。齿形链设有导板，以防止链条在工作时发生侧向窜动。与滚子链相比，齿形链传动平稳、无噪声、承受冲击性能好、工作可靠。

链轮是链传动的主要零件，链轮齿形已标准化(GB1244、GB10855)，链轮设计主要是确定其结构尺寸、选择材料及热处理方法等。

2. 螺旋传动：螺旋传动是利用螺纹零件工作的，作为传动件要求保证螺旋副的传动精度、效率和磨损寿命等。其螺纹种类有矩形螺纹、梯形螺纹、锯齿形螺纹等。按其用途可分为传力螺旋、传导螺旋及调整螺旋三种；按摩擦性质不同可分为滑动螺旋、滚动螺旋及静压螺旋等。

滑动螺旋常为半干摩擦，摩擦阻力大、传动效率低（一般为 30~60%）；但其结构简单，加工方便，易于自锁，运转平稳，在低速时可能出现爬行。其螺纹有侧向间隙，反向时有空行程，定位精度和轴向刚度较差，要提高精度必须采用消隙机构。滑动螺旋应用于传力或调整螺旋、要求自锁时，常采用单线螺纹；用于传导时，为了提高传动效率及直线运动速度，常采用多线螺纹（线数 $n=3\sim 4$ ）。滑动螺旋主要应用于金属切削机床进给、分度机构的传导螺纹、摩擦压力机及千斤顶的传动等场合。

滚动螺旋因螺旋中含有滚珠或滚子，在传动时摩擦阻力小，传动效率高（一般在 90% 以上）；起动力矩小，传动灵活、工作寿命长等优点，但结构复杂制造较难；滚动螺旋具有

传动可逆性（可以把旋转运动变为直线运动，也可把直线运动变成旋转运动），为了避免螺旋副受载时逆转，应设置防止逆转的机构；其运转平稳，起动时无颤动，低速时不爬行；螺母与螺杆经调整预紧后，可得到很高的定位精度（ $6\mu\text{m}/0.3\text{m}$ ）和重复定位精度（可达 $1\sim 2\mu\text{m}$ ），并可提高轴的刚度；其工作寿命长、不易发生故障，但抗冲击性能较差。主要用在金属切削精密机床和数控机床、测试机械、仪表的传导螺旋和调整螺旋及起重、升降机构和汽车、拖拉机转向机构的传力螺旋；飞机、导弹、船舶、铁路等自控系统的传导和传力螺旋上。

静压螺旋是为了降低螺旋传动的摩擦，提高传动效率，并增强螺旋传动的抗振性能，将静压原理应用于螺旋传动中，制成静压螺旋。因为静压螺旋是液体摩擦，摩擦阻力小，传动效率高（可达99%），但螺母结构复杂；其具有传动的可逆性，必要时应设置防止逆转的机构；工作稳定，无爬行现象；反向时无空行程，定位精度高，并有较高轴向刚度；磨损小及寿命长等特点。使用时需要一套压力稳定、温度恒定、有精滤装置的供油系统。主要用于精密机床进给、分度机构的传导螺旋等。

3. 齿轮传动：齿轮传动是机械传动中最重要的传动之一，型式多、应用广泛。其主要特点是：效率高、结构紧凑、工作可靠、传动比稳定等。可做成开式、半开式及闭式传动。失效形式主要有轮齿折断、齿面点蚀、齿面磨损、齿面胶合及塑性变形等。

常用的渐开线齿轮有直齿圆柱齿轮传动、斜齿圆柱齿轮传动、标准锥齿齿轮传动、圆弧形圆柱齿轮传动等。齿轮传动啮合方式有内啮合、外啮合、齿轮与齿条啮合等。参观时一定要了解各种齿轮特征，主要参数的名称及几种失效形式的主要特征，使实验在真正意义上与理论教学产生互补作用。

4. 蜗杆传动：蜗杆传动是在空间交错的两轴间传递运动和动力的一种传动机构，两轴线交错的夹角可为任意角，常用的为 90° 。

蜗杆传动有下述特点：当使用单头蜗杆（相当于单线螺纹）时，蜗杆旋转一周，蜗轮只转过一个齿距，因此能实现大传动比。在动力传动中，一般传动比 $i=5\sim 80$ ；在分度机构或手动机构的传动中，传动比可达300；若只传递运动，传动比可达1000。由于传动比大，零件数目又少，因而结构很紧凑。在传动中，蜗杆齿是连续不断的螺旋齿，与蜗轮啮合是逐渐进入与逐渐退出，故冲击载荷小，传动平衡，噪声低；但当蜗杆的螺旋线升角小于啮合面的当量摩擦角时，蜗杆传动便具有自锁性；再就是蜗杆传动与螺旋传动相似，在啮合处有相对滑动，当相对滑动速度大，工作条件不够良好时会产生严重摩擦与磨损，引起发热，摩擦损失较大，效率低。

根据蜗杆形状不同，分为圆柱蜗杆传动，环面蜗杆传动和锥面蜗杆传动。通过实验同学们应了解蜗杆传动结构及蜗杆减速器的种类和形式。

(六) 弹簧

弹簧是一种弹性元件，它可以在载荷作用下产生较大的弹性变形。在各类机械中应用十分广泛。主要应用于：

1. 控制机构的运动，如制动器、离合器中的控制弹簧，内燃机气缸的阀门弹簧等。
2. 减振和缓冲，如汽车、火车车厢下的减振簧，及各种缓冲器用的弹簧等。
3. 储存及输出能量，如钟表弹簧，枪内弹簧等。
4. 测量力的大小，如测力器和弹簧秤中的弹簧等。

弹簧的种类比较多，按承受的载荷不同可分为拉伸弹簧、压缩弹簧、扭转弹簧及弯曲弹簧四种；按形状不同又可分为螺旋弹簧、环形弹簧、碟形弹簧、板簧和平面涡卷弹簧等。每一种类型又可细分为多种形式，观看时要看清各种弹簧的结构、形状，并能与名称对应起来。

(七) 轴

轴是组成机器的主要零件之一。一切作回转运动的传动零件(如齿轮、蜗轮等)，都必须安装在轴上才能进行运动及动力的传递。轴的主要功用是支承回转零件及传递运动和动力。

按承受载荷的不同，可分为转轴、心轴和传动轴三类；按轴线形状不同，可分为曲轴和直轴两大类，直轴又可分为光轴和阶梯轴。光轴形状简单，加工容易，应力集中源少，但轴上的零件不易装配及定位；阶梯轴正好与光轴相反。所以光轴主要用于心轴和传动轴，阶梯轴则常用于转轴；此外，还有一种钢丝软轴(挠性轴)，它可以把回转运动灵活地传到不开敞的空间位置。轴的结构类型可以分为齿轮轴、蜗杆轴、花键轴、曲轴、凸轮轴、软轴等。

轴的失效形式主要是疲劳断裂和磨损。防止失效的措施是：从结构设计上力求降低应力集中(如减少直径差，加大过渡圆半径等，可详看实物)，提高轴的表面品质(包括降低轴的表面粗糙度，对轴进行热处理或表面强化处理等)。

轴上零件的定位，主要是轴向和周向固定。轴向固定可采用轴肩、轴环、套筒、挡圈、圆锥面、圆螺母、轴端挡圈、轴端挡板、弹簧挡圈、紧定螺钉等方式；周向固定可采用平键、楔键、切向键，花键、圆柱销、圆锥销及过盈配合等联接方式。另外轴上零件摩擦力定位主要有开槽夹紧联接、轮毂剖分联接、弹性套联接、弹性环联接、弹性盘联接

等。

轴看似简单，但轴的知识、内容都比较丰富，完全掌握很不容易，只有通过理论学习及实践知识的积累(多看、多观察)逐步掌握。

(八)、机械零件的失效形式

1、残余变形：作用在零件上的应力超过了材料的屈服极限，则零件将发生残余变形。

2、断裂：零件受拉、压、弯、扭等外载荷作用时，由于某一危险剖面上的应力超过零件的强度极限而发生断裂，或者零件在变应力作用下，危险剖面上发生的疲劳断裂。

3、磨损：运动副之间的摩擦将导致机件表面材料的逐渐丧失或转移，即形成磨损。磨损会影响机器的效率，降低工作的可靠性，甚至促使机器提前报废。

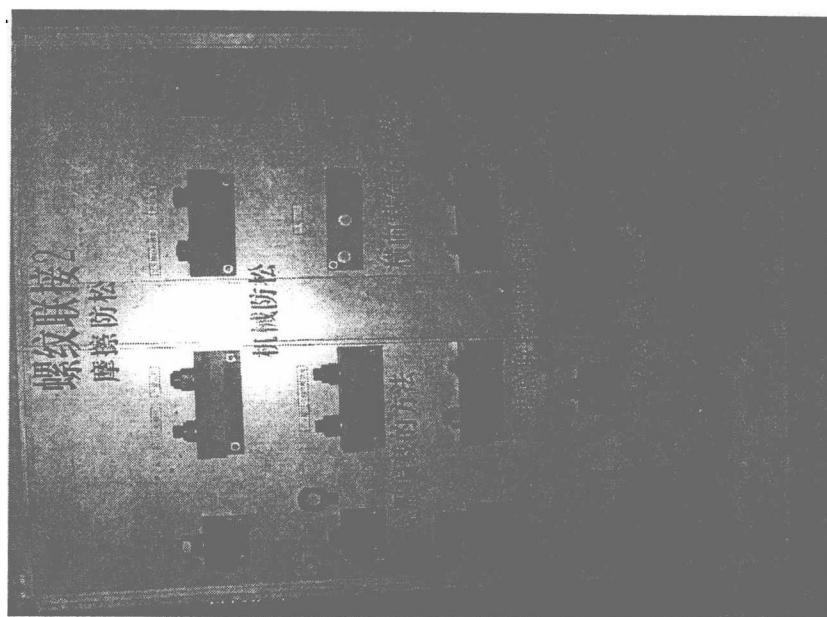
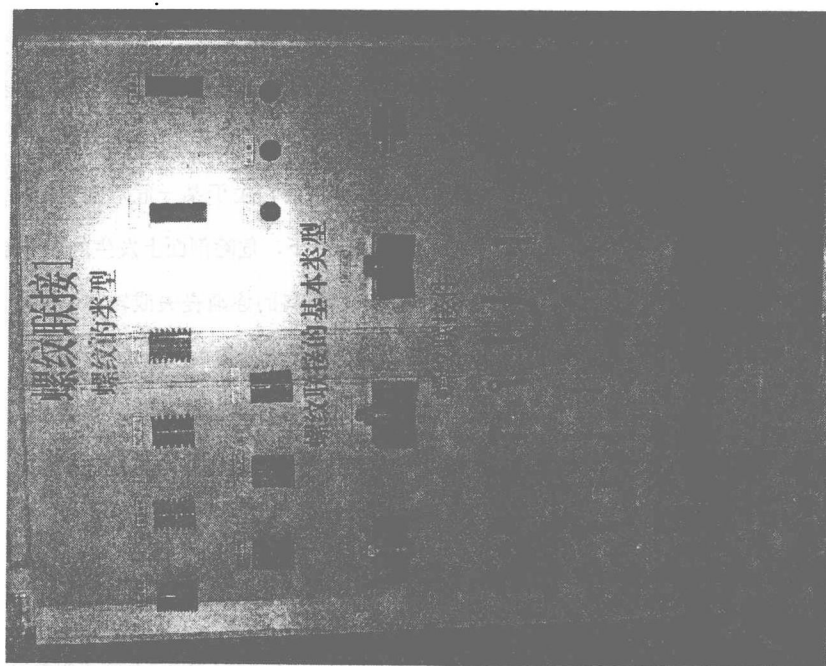
4、胶合：互相接触的两机件间压力过大，导致瞬时温度过高时，相啮合的两表面就会发生粘在一起的现象，同时两接触表面又作相对滑动，粘住的地方即被撕破，于是在接触面上沿相对滑动的方向形成伤痕，称为胶合。

5、点蚀：接触面材料在变化着的接触应力作用下，由于疲劳而产生的麻点状剥蚀损伤现象。

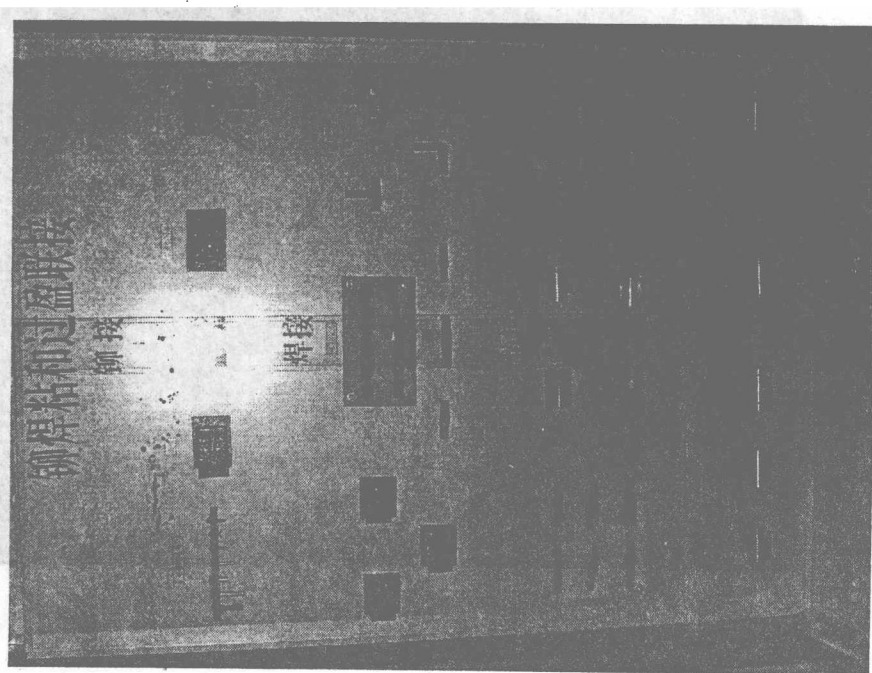
6、腐蚀：金属零件处于潮湿的空气中或与水、汽及其它腐蚀性介质相接触，使表面发生损伤。

附录 1:

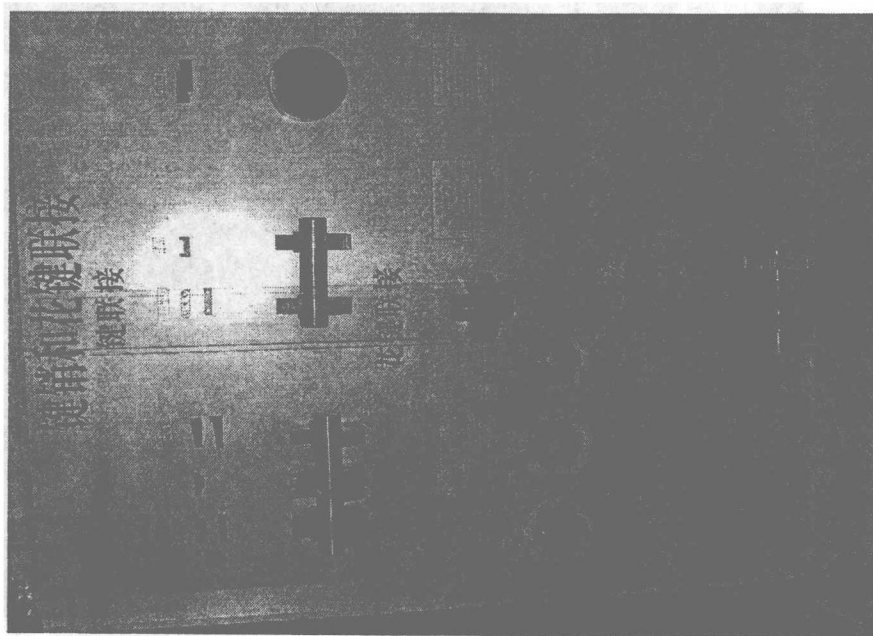
展示柜各柜内容图片



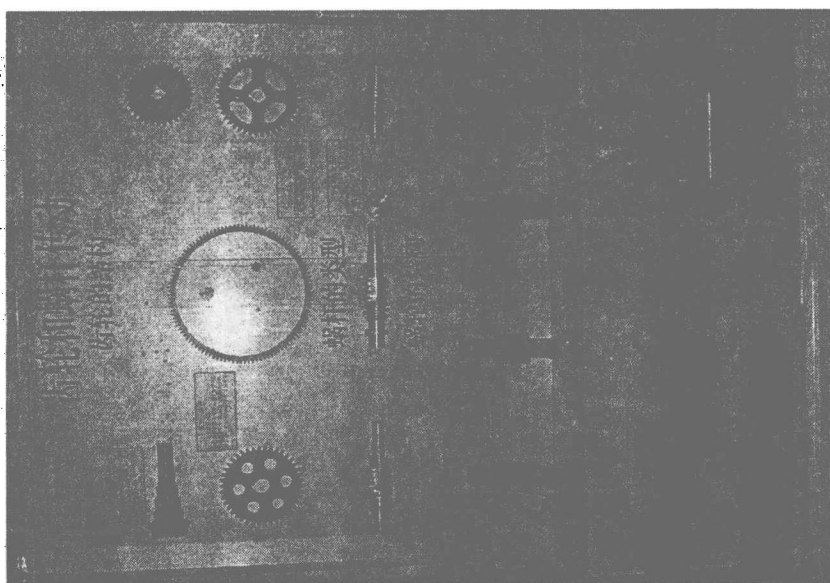
螺纹联接陈列



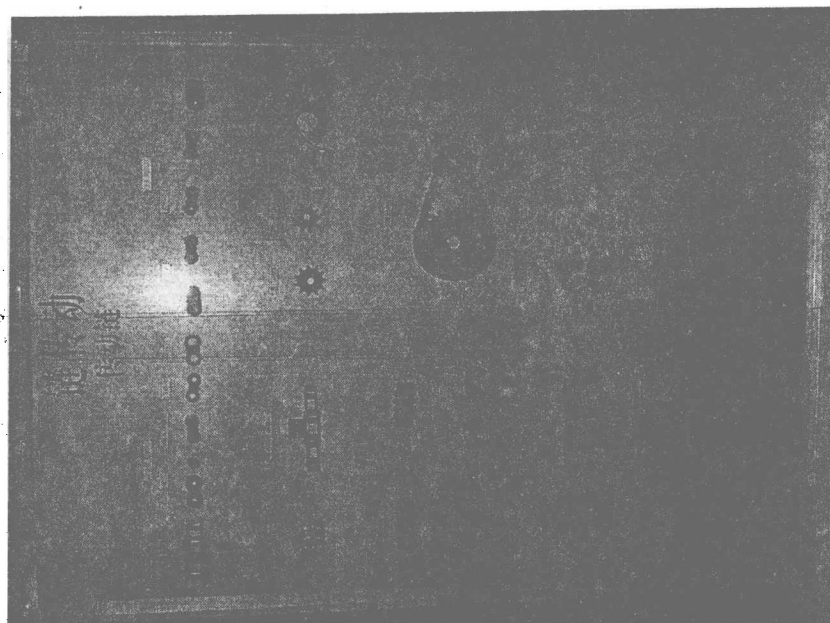
铆、焊、键、销和花键联结陈列柜



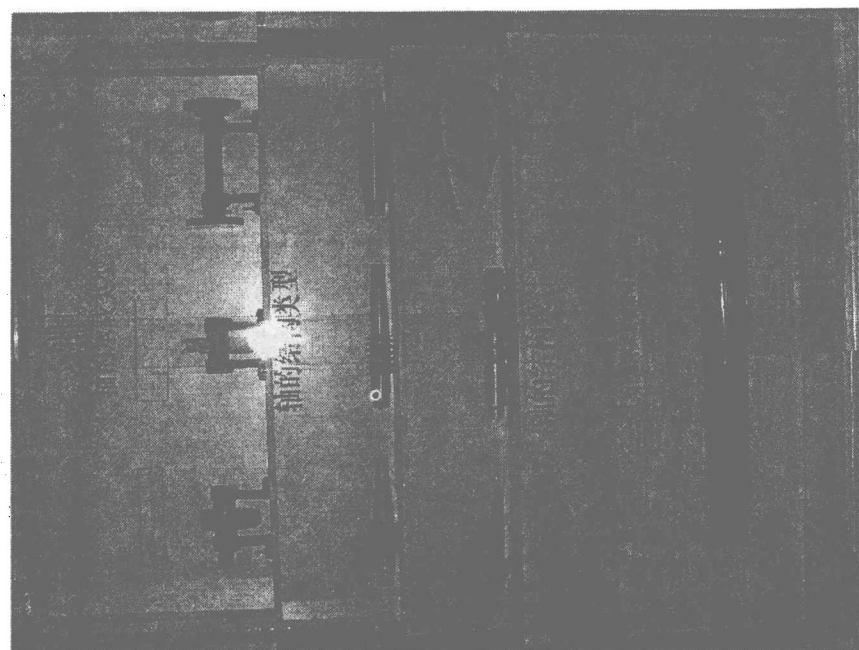
粘和过盈联结陈列柜



齿轮和蜗杆传动陈列柜



链传动陈列柜



轴陈列柜



弹簧陈列柜



机械零件失效形式陈列柜