

机械弹簧制造技术

罗 辉 主编



机械工业出版社

本书首次系统地介绍了机械弹簧的制造技术，它立足于弹簧制造实践，综合了国内弹簧制造的经验、工艺研究的成果及国外资料的精华，详尽地阐述了螺旋弹簧、碟形弹簧、片弹簧和线弹簧制造的工艺、工装或专用设备。重点内容有：弹簧材料及其检验；有芯冷卷和热卷弹簧设备、自动卷簧机及其卷簧；螺旋弹簧的端部加工；片类弹簧和线弹簧的制造工艺及工艺装备；弹簧的热处理、强化处理及表面处理；弹簧的检验；弹簧的失效分析及弹簧制造中的全面质量管理等。本书适合于从事弹簧制造的工程技术人员、弹簧工人阅读，也可供弹簧设计人员、机械专业师生参考。

机械弹簧制造技术

罗 辉 主编
罗 辉 李春宣 何献忠 编著
陈永潭 宋必烈 颜 纯

*
责任编辑：熊万武
封面设计：刘 代

*
机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）
（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）
煤炭工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*
开本 787×1092¹/₁₆·印张 27¹/₄ ·字数668千字
1987年9月北京第一版·1987年9月北京第一次印刷
印数 0,001—5,200·定价：6.40元

*
统一书号：15033·6706

前 言

机械弹簧是重要的机械零件之一，广泛应用于各种机械设备之中。弹簧的质量好坏，直接影响、甚至决定着主机的工作性能。提高弹簧制造技术的水平，已变得十分必要，引起了极大的重视。

就我国而言，从七十年代开始，弹簧工业的发展速度很快，弹簧行业的活动极为活跃。广大弹簧工作者的丰富实践经验，通过各种形式的频繁交流，开拓了弹簧制造的新技术、新材料、新工艺和新设备。本书正是在我国弹簧工业正在振兴的形势下，承蒙机械工业出版社的大力支持，将国内弹簧制造之经验，工艺研究之成果，国外资料之精华，加以综合荟萃而编写成的。

在编写过程中，我们的宗旨是立足于弹簧制造实践，广泛收集了国内外涉及弹簧制造技术的文献资料，并结合各自的工作体会，重点阐述了目前我国弹簧工业广泛应用的工艺和设备，同时，也扼要地介绍了当代国外弹簧制造的先进技术。在内容上，由于板弹簧的制造已有专著介绍，扭杆弹簧和环形弹簧的成形工艺属于切削加工，所以本书只涉及螺旋弹簧、片类弹簧和线弹簧的制造技术，并以量大面广的螺旋弹簧为主。在结构上，基本上是以工艺流程为序进行介绍，尽可能兼顾不同弹簧制造中的共性和个性问题。

本书由黄石市武汉工学院黄石分院罗辉任主编，参加编写的还有沈阳市弹簧二厂李春宣，北京工业学院何献忠，吉林工业大学陈永潭，黄石市第二轴承厂宋必烈、扬州市弹簧总厂颜纯。李春宣对全书初稿提出了许多宝贵意见，罗辉负责统稿。书中的有些节段编译或节选自有关资料。

在本书编写过程中，得到了黄石市科委领导，吉林工业大学孙一唐、刘志林，北京钢铁学院张英会，北京航空学院白琼林，华中工学院陶景光、秦敬，天津市弹簧研究所肖春霖，第二汽车制造厂陶国贤、胡治正、第一拖拉机厂姜增，上海中国弹簧厂余月初、项颂年，武汉市弹簧厂万桂香、白心生，新乡市弹簧厂谭馭民，黄石市科委程致中，黄石市弹簧厂许崇俊、徐发裕，机械工业部标准化研究所崔俊山以及全国弹簧行业组有关同志的多方面大力支持，在此谨致以衷心的感谢和崇高的敬礼！

由于作者的理论水平有限，实践经验肤浅，书中的缺点错误在所难免，我们恳请广大读者批评指正。

罗 辉

1985年10月

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 机械弹簧的性质和作用	1
第二节 机械弹簧的种类	2
第三节 机械弹簧的应力状态和负荷特性	7
第二章 弹簧材料	10
第一节 弹簧钢	10
第二节 弹簧钢丝	15
第三节 特殊性能弹簧用钢和弹性合金	20
第四节 弹簧用薄钢板和钢带	23
第五节 弹簧用铜合金	25
第六节 弹簧材料的技术验收	29
第三章 弹簧材料的选择和试验	37
第一节 弹簧材料的机械性能及影响因素	37
第二节 弹簧的许用应力	47
第三节 弹簧材料的选择	50
第四节 弹簧材料的试验	52
第四章 机械弹簧工作图及其审核	59
第一节 圆柱压缩螺旋弹簧的典型工作图及其审核	60
第二节 圆柱拉伸螺旋弹簧的典型工作图及其审核	64
第三节 圆柱扭转螺旋弹簧的典型工作图及其审核	68
第四节 片弹簧工作图的审核	72
第五节 碟形弹簧的典型工作图及其审核	76
第五章 螺旋弹簧的工艺流程	84
第一节 弹簧制造工艺规程的基本知识	84
第二节 螺旋弹簧工艺流程的编制程序	87
第三节 螺旋弹簧的负荷特性分析	89
第四节 螺旋弹簧的工艺流程	95
第五节 螺旋弹簧的工艺参数和工艺公差	97
第六章 有芯冷卷弹簧卷制及其设备	100
第一节 有芯卷簧装置	100
第二节 卷簧芯轴的计算	110
第三节 影响弹簧尺寸精度的因素	114
第四节 典型螺旋弹簧的有芯卷制	118
第五节 多股螺旋弹簧的制造	124
第六节 矩形截面弹簧的有芯卷制	130

第七章 热卷弹簧卷制及其设备	133
第一节 切料	135
第二节 制扁	138
第三节 卷制前加热	144
第四节 卷制	149
第五节 热卷变径螺旋弹簧	159
第六节 几种特殊的热卷弹簧方法	164
第八章 自动卷簧机及其卷簧	168
第一节 自动卷簧机的分类和工作原理	168
第二节 自动卷簧机的结构	171
第三节 自动卷簧机的调整	178
第四节 自动卷簧机辅具	181
第五节 凸轮片的设计与计算	189
第六节 卷簧中的常见问题分析	198
第七节 自动卷簧机的改装及几种特殊弹簧的卷制	201
第八节 自动卷簧机的新发展	208
第九章 螺旋弹簧的端部加工	211
第一节 螺旋弹簧的端部结构	211
第二节 压缩弹簧的端部加工	218
第三节 拉伸弹簧的钩环加工	225
第四节 扭转弹簧的扭臂加工	229
第十章 片类弹簧和线弹簧的制造	232
第一节 片弹簧的一般工艺过程	232
第二节 片弹簧制造的主要工序分析	233
第三节 碟形弹簧的制造	238
第四节 波形弹簧的制造	249
第五节 线弹簧的制造	252
第十一章 机械弹簧热处理	259
第一节 弹簧钢的常用热处理方法	259
第二节 碳素弹簧钢的热处理	263
第三节 合金弹簧钢的热处理	267
第四节 特殊弹簧材料的热处理	273
第五节 铜合金弹簧材料的热处理	275
第六节 弹簧热处理常见缺陷分析	278
第七节 弹簧热处理设备及工艺装备	279
第八节 其它热处理方法	283
第十二章 机械弹簧强化处理	286
第一节 弹簧的喷丸处理	286
第二节 弹簧的立定处理和强压处理	303
第十三章 机械弹簧表面处理	315
第一节 弹簧的腐蚀和防腐	315
第二节 弹簧表面的预处理	316

第三节	弹簧的氧化处理	325
第四节	弹簧的磷化处理	330
第五节	弹簧的非金属保护层	336
第六节	弹簧的电镀保护层	339
第七节	弹簧表面处理质量检验及抗蚀能力对比试验	342
第十四章	机械弹簧的试验和检查	345
第一节	弹簧的外观、尺寸和形状位置的检验	345
第二节	弹簧的负荷及永久变形检验	353
第三节	弹簧的疲劳试验	360
第四节	弹簧的其它检验	366
第十五章	机械弹簧失效分析	370
第一节	弹簧的永久变形及其影响因素	370
第二节	弹簧的断裂破坏及其影响因素	380
第十六章	弹簧制造中的全面质量管理	388
第一节	弹簧质量和工作质量	388
第二节	质量管理中的数据和抽样检查	389
第三节	排列图和因果分析图	392
第四节	直方图和控制图	396
第五节	工序能力和工序能力指数	406
第六节	弹簧制造中的质量管理体系	407
附 录	410
附表一	各国弹簧钢钢号对照	410
附表二	卷簧机辅具专用硬质合金系列尺寸	418
附表三	卷簧机辅具专用硬质合金制品尺寸的允许偏差	420
附表四	齿轮速比的值	421
附表五	常用法定单位的名称、符号和换算	427
附表六	用于构成十进倍数和分数单位的词头	427
参考文献	428

第一章 概 述

机械弹簧是重要的机械零件之一。从大的机器到小的仪器仪表，从万吨轮船、航天飞机到儿童玩具，几乎各种机械设备都离不开弹簧或弹性元件。弹簧在机器中起着非常重要的作用。例如，内燃机的气门弹簧，它的质量优劣直接影响到发动机的工作性能；又如各种液压设备中的安全阀，之所以能安全可靠地工作，就是因为有适当的弹簧在起作用。

由于弹簧使用的场合不同，它起的作用也不一样。弹簧的大小、生产批量及选用的材料不同，其制造方法也不一样。本章将对机械弹簧的性质、类型、应力状态和负荷特性作一概括的介绍，以利于读者对与弹簧制造相关的问题有个总体的了解。

第一节 机械弹簧的性质和作用

机械弹簧可定义为一个弹性体，或称为机械弹性元件。它的主要功能是：在外载荷的作用下或吸收能量时，自身产生很大的变形，卸除载荷后，它仍能恢复到原来的形状。弹簧就是利用这种产生变形和恢复变形的特点而工作的。虽然，一般的机械零件（如轴、齿轮等）也是利用弹性材料做成的，并在载荷的作用下产生变形，但却不能把它们看成是弹簧，其原因是：这些零件不是利用变形来工作，而是尽可能希望保持良好的刚性。

弹簧用弹性良好的材料制造，并充分利用结构上的特点，在工作时产生较大的变形，从而把机械功或动能转变为变形能（即弹性势能），弹簧把储存的变形能又转变为机械功或动能。根据弹簧的工作性质，它广泛用于缓冲或减振、控制运动、测力、储能及动力机构中。具体来说，机械弹簧的作用有：

（1）定位作用 利用弹簧变形的力量，把定位销（或定位滚珠）压在定位孔（或槽）上。这种装置在机床及其夹具中的应用尤为普遍。

（2）复原作用 利用弹簧变形的力量，使机器中的某一部分自动恢复到原来的位置。如按钮弹簧、铰链弹簧及离合器弹簧等，就是起这种作用。

（3）缓冲或减振作用 用弹簧支持运动或振动中的物体，由于弹簧受冲击后吸收能量，因此起到缓冲或减振的作用。如汽车悬挂弹簧，不仅可以缓和因路面凹凸不平而引起的冲击，而且还用来防止因路面规律性的波动所产生的有害振动传向车体，以保证汽车的平稳行驶，延长汽车的寿命。

（4）冲击作用 弹簧一方面用来减轻有害的冲击，另一方面又用来产生有益的冲击。例如，枪枝中的撞针打击子弹引火装置中的弹簧，就是利用弹簧储藏变形能的瞬时释放，以产生很大的击发力。

（5）动力作用 弹簧变形时储存能量，把它释放出来，就成为机械能，这样就可以用弹簧作为一个动力源。例如，机械钟表、留声机和自动记录仪表中的动力弹簧（也称发条），就是为机械运动提供动力的。

（6）施力作用 为了保持两个零件接触良好，常用若干弹簧，利用它变形后的力量，

使两个零件产生一定的接触压力。例如，无级变速装置上的弹簧，往往是通过弹簧使摩擦传动的零件相互压紧。有时也利用弹簧产生一定的密封压力。

(7) 调节压力作用 气压或液压系统中的各种阀类元件，都离不开弹簧。调节弹簧的变形量，就可以控制系统的压力。又如，锅炉汽包上的安全阀，通过控制弹簧的变形量，以确定锅炉的最高蒸汽压力。当汽压超过额定值时，安全阀就自动开启，让汽体排出一部分，以防止锅炉的蒸汽压力升高，而引起爆炸事故；当汽压低于额定值时，阀门便在弹簧压力的作用下自动关闭，以保证正常的蒸汽压力。

(8) 测力作用 在一定的变形范围内，弹簧的负荷与变形有良好的线性关系。因此，通过适当机构将弹簧的变形传递到表示力或力矩的指示器上，就可以进行力或力矩的测量。弹簧测力装置中的测力弹簧就是一个典型的例子。

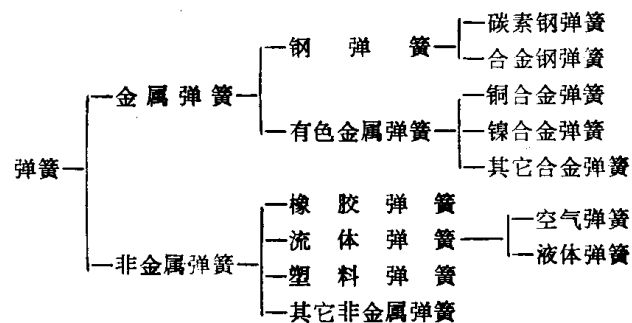
除上述几种作用外，弹簧还有许多其它作用，如弹簧离合器、用螺旋弹簧作蜗杆、用弹簧作料道、用弹簧作高速传动带、甚至用小螺旋弹簧修补螺孔等。当然，后面的这些用途已不是利用弹簧的变形这个主要特征了。

第二节 机械弹簧的种类

机械弹簧的种类繁多，分类的方法也各种各样。如果不以某一主要特点来分类的话，就会造成交叉混杂，本节主要是对金属材料制造的机械弹簧进行分类。

1. 根据弹簧材料分类

弹簧材料的不同，在很大程度上决定了弹簧的工作特性。根据弹簧材料的不同，弹簧的分类如下：



金属弹簧的使用范围广泛，在整个弹簧中占有很大的比例。近年来，由于橡胶弹簧的储能能力大、形状不受限制、可承受多向载荷、各个方向的刚度可以根据设计要求自由选择、不需润滑、安装和拆卸方便等优点，故其应用范围逐渐扩大。空气弹簧可以利用高度控制阀系统，使其高度在任何载荷下保持不变，且调节方便，故在汽车和铁路机车车辆上得到广泛的应用。此外，也有综合几种弹簧的特点，使用金属-橡胶组合弹簧、空气-金属组合弹簧的倾向。

2. 根据弹簧形状分类

根据弹簧几何形状的不同来分类，是最常用的分类方法。机械工程中常用的弹簧，常可按形状分类如下：

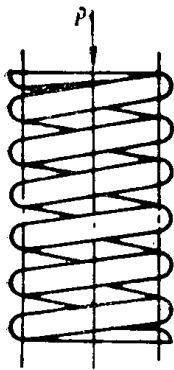
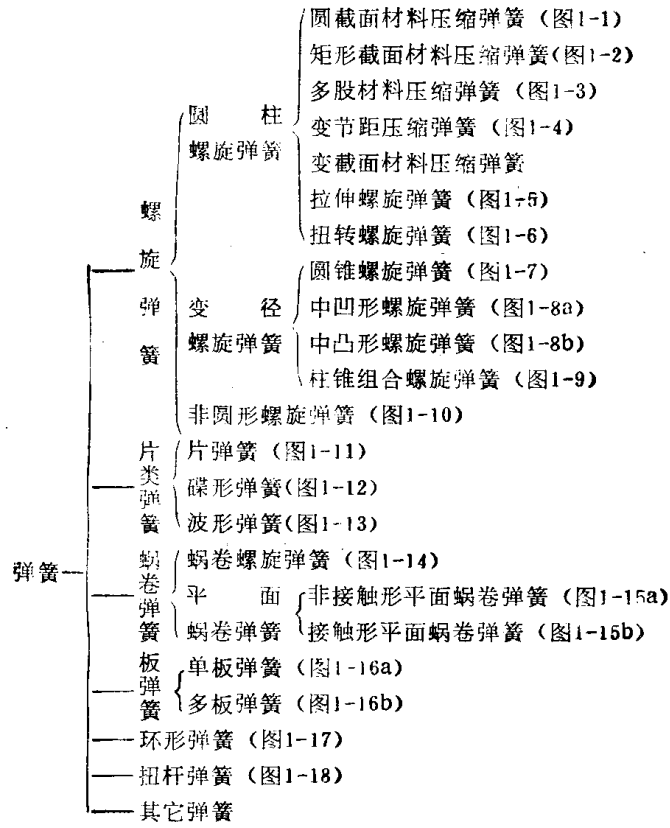


图 1-1 圆截面材料压缩螺旋弹簧

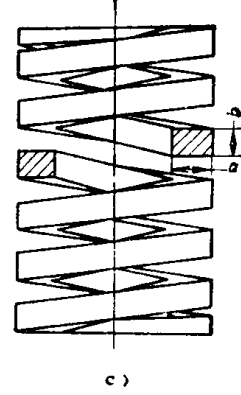
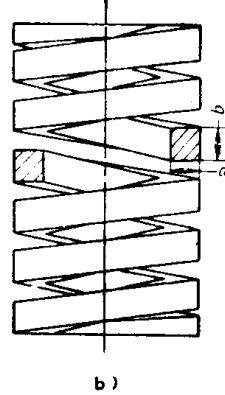
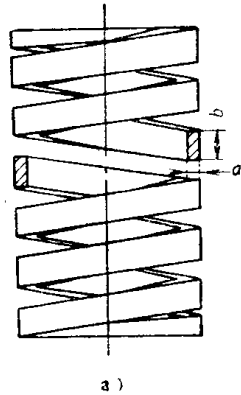


图 1-2 矩形截面材料压缩螺旋弹簧

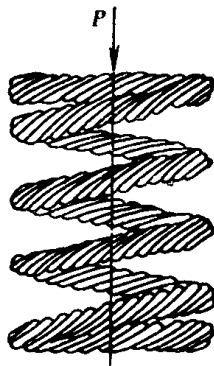


图 1-3 多股材料压缩螺旋弹簧

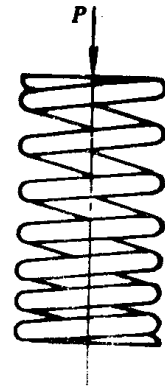


图 1-4 变节距压缩螺旋弹簧

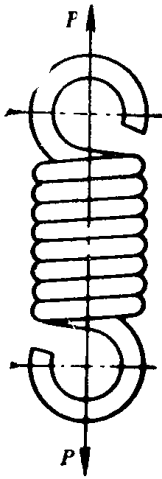


图 1-5 拉伸螺旋弹簧

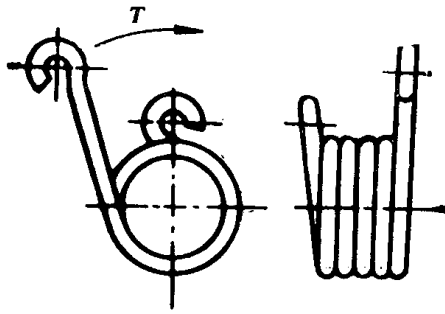


图 1-6 扭转螺旋弹簧

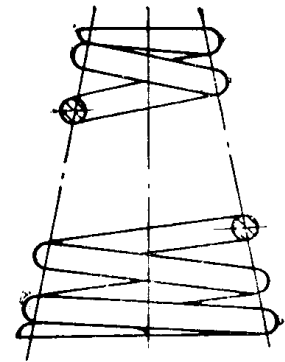
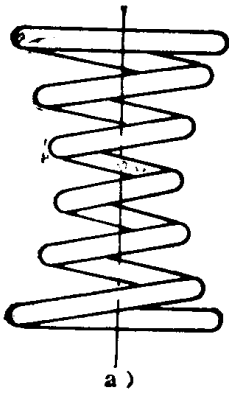
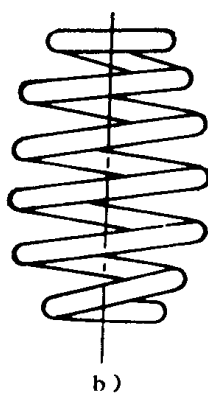


图 1-7 圆锥螺旋弹簧



a)



b)

图 1-8 中凹形和中凸形螺旋弹簧
a) 中凹形螺旋弹簧 b) 中凸形螺旋弹簧

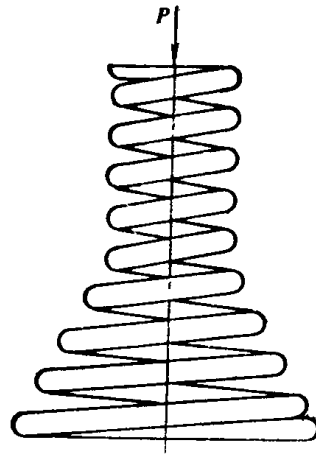


图 1-9 柱锥组合螺旋弹簧

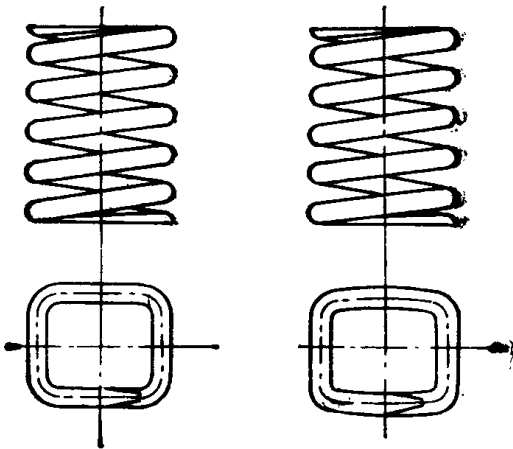


图 1-10 非圆形螺旋弹簧

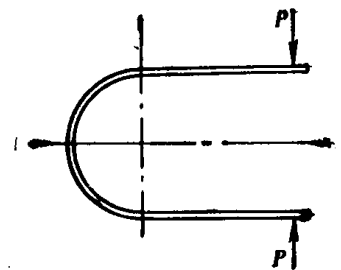


图 1-11 片弹簧

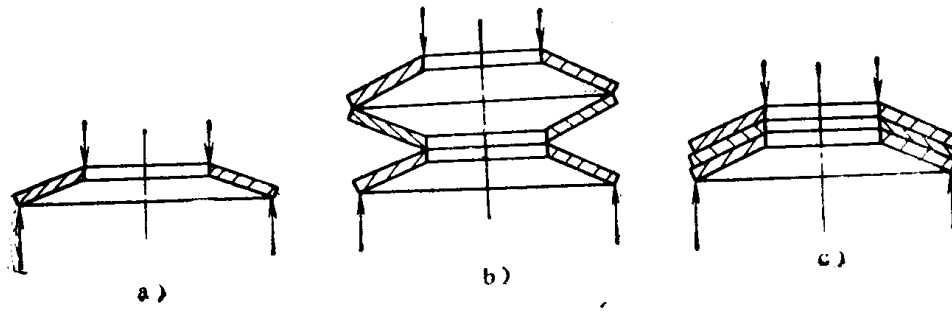


图 1-12 碟形弹簧
a) 单片 b) 对合 c) 叠合

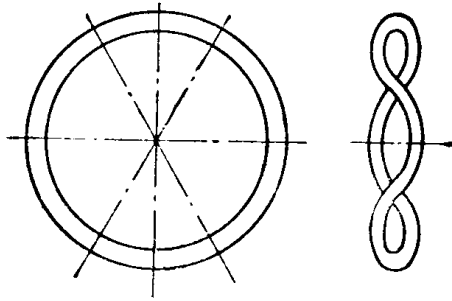


图 1-13 波形弹簧

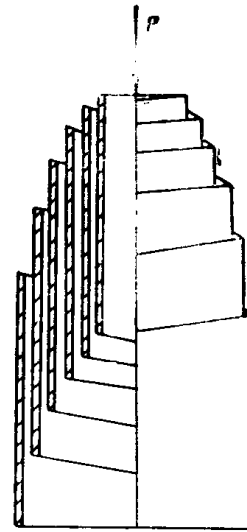


图 1-14 蜗卷螺旋弹簧

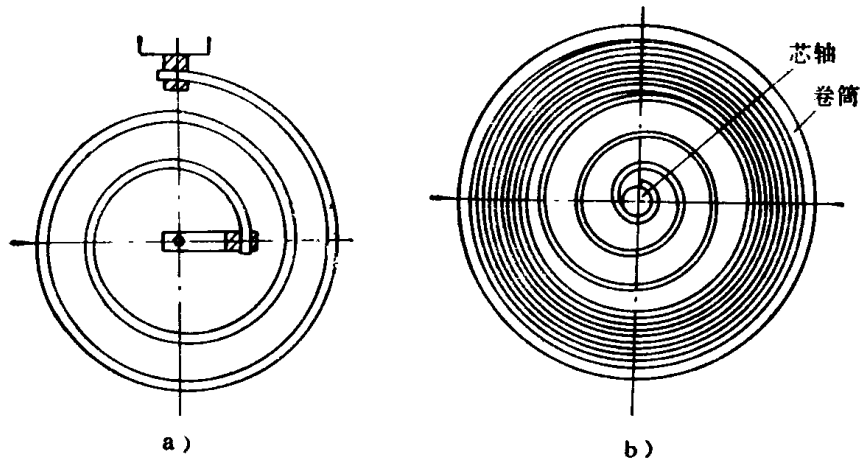


图 1-15 平面蜗卷弹簧
a) 非接触形平面蜗卷弹簧 b) 接触形平面蜗卷弹簧

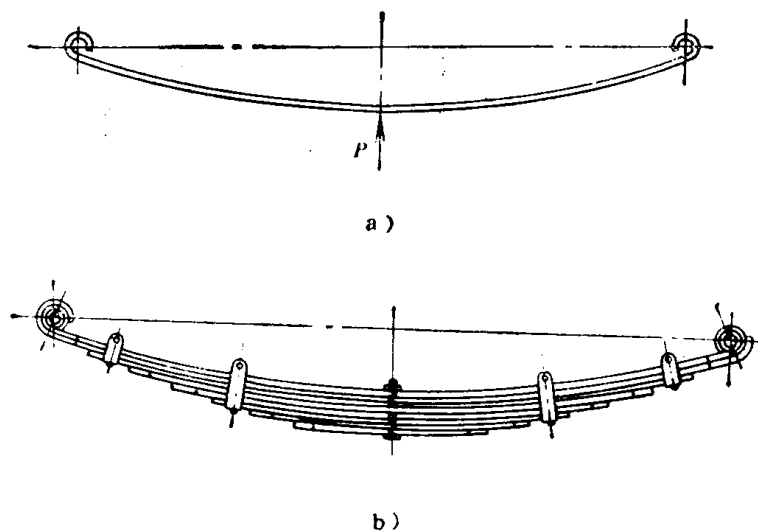


图 1-16 板弹簧
a) 单板弹簧 b) 多板弹簧

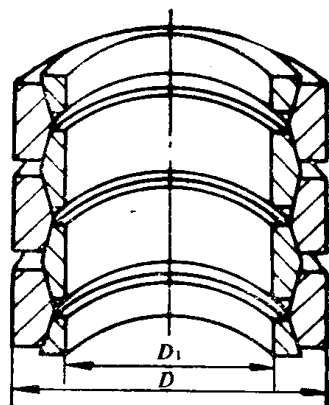


图 1-17 环形弹簧



图 1-18 扭杆弹簧

螺旋弹簧是最为广泛使用的机械弹簧，它是由金属条材或线材卷成螺旋形而得名。我国国家标准“GB1239—76普通圆柱螺旋弹簧”适用于冷卷与热卷压缩、拉伸和扭转的圆截面材料的圆柱螺旋弹簧，弹簧材料的截面直径为0.5~50mm。根据该标准的规定，圆截面材料圆柱螺旋弹簧分为三种型式（用汉语拼音字母的第一个字母来表示）：

Y型——压缩弹簧

L型——拉伸弹簧

N型——扭转弹簧

拉伸弹簧是承受轴向拉力的螺旋弹簧，它所用的材料绝大多数为圆截面材料。在自由状态下，拉伸弹簧相邻圈之间，一般都拼得较紧，没有间隙。

压缩弹簧是承受轴向压力的螺旋弹簧，它所用的材料截面多为圆形，其次是矩形、多股形。弹簧一般为等节距，特殊情况下，可采用变节距型。压缩弹簧相邻工作圈之间有间隙，当受外载荷时，它能产生变形，储存变形能。

扭转弹簧是承受扭转变形的螺旋弹簧，它的工作部分与拉伸弹簧一样，也是密绕螺旋形，但它的端部结构与拉伸弹簧不同（见第九章）。

变径螺旋弹簧用于一些特殊的场合，其材料一般为圆截面材料，且大都承受压缩载荷。

片类弹簧可以定义为用弹簧带材（或板材）在专用设备或通用压力加工机床上，通过相应的模具加工出来的弹簧零件。片弹簧、波形弹簧、轻型碟簧的材料厚度较薄，而中型或大

型碟簧的材料厚度则往往较厚。这类弹簧的用途也很广泛。

蜗卷螺旋弹簧与圆锥螺旋弹簧的作用相似，承受压力，但吸收的能量更大，制造困难，仅用于受空间位置限制的特殊情况。平面蜗卷弹簧用于传递扭矩，圈数较多，变形角大，能储存较大的能量，多用于作压紧弹簧和仪器、钟表中的储能元件。

板弹簧可用单片弹簧钢板或多片叠加而成。其缓冲和减振性能好，尤其是多板弹簧减振性能强，主要用于汽车、拖拉机和铁道车辆的悬挂装置。

环形弹簧由带有内锥面的外圆环和带有外锥面的内圆环配合而成。内、外圆环的对数根据承受载荷的大小和变形的要求来决定。环形弹簧有很高的减振能力，主要用于重型设备的缓冲装置。

扭杆弹簧实质上是一根受扭矩作用的用弹性材料制成的直杆。它单位体积变形能大，主要用于各种车辆的悬挂装置。

除上述几类弹簧以外，还有蛇形弹簧、圆卡圈或用弹簧线材制成各种形状的曲线弹簧等。

本书着重介绍螺旋弹簧和片类弹簧的制造技术。

3. 根据弹簧的使用条件分类

从弹簧的使用条件来看，分为在静载荷下工作的弹簧和在动载荷下工作的弹簧。从弹簧的工作性质来看，一般没有绝对的静载荷。静载荷与动载荷都是相对而言的。GB1239—76就圆柱螺旋弹簧载荷分为三类：

I类：受交变载荷作用次数在 10^6 次以上，属于无限寿命计算范畴，应进行疲劳强度计算。

II类：受交变载荷作用次数在 $10^3 \sim 10^6$ 次之间、受冲击载荷，属于有限寿命计算范畴。

III类：受交变载荷作用次数在 10^3 次以下，属静载强度计算范畴。

在静载条件下使用的弹簧，应考虑静载强度和稳定性问题；在动载条件下工作的弹簧，除考虑静载强度及稳定性外，应着重考虑疲劳强度和共振问题。

弹簧的使用条件，除去载荷性质外，还有使用环境。很多弹簧在高温和腐蚀性环境中工作。一般根据弹簧的工作环境分为：

- 1) 在普通环境工作的弹簧。
- 2) 耐热弹簧（在高温下工作）。
- 3) 耐蚀弹簧（在腐蚀环境下工作）。

对于耐热弹簧或耐蚀弹簧，应选择耐热或耐蚀的弹簧材料制造。

4. 其它分类方法

除去上述分类方法外，还可以按弹簧的制造工艺不同，分为热成形弹簧（如热卷螺旋弹簧）和冷成形弹簧（如冷卷螺旋弹簧）两种。热成形弹簧一般是中、大型弹簧，冷成形弹簧一般是小型弹簧。另外，还可以根据弹簧的负荷—位移特性及应力状态来分类（见第三节）。

第三节 机械弹簧的应力状态和负荷特性

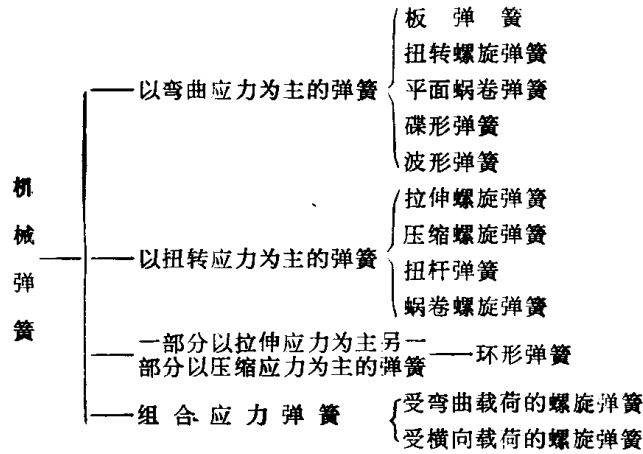
机械弹簧的应力状态和负荷特性是两个重要的力学性能，在弹簧的设计、制造及使用中都有十分重要的意义。

1. 机械弹簧的应力状态

弹簧在外力的作用下发生变形的同时，弹簧材料分子之间也相应地产生一种抵抗力，在力学里，把这种抵抗力称为内力。内力随着外力的增加而增加，并总是与外力维持平衡。弹簧材料的内力总是力图使弹簧恢复到原来的尺寸和形状。单位面积上的内力称为应力。由于弹簧的类型不同，所受的载荷也不一样，因此它们的应力状态也互有区别。

在材料力学中，把相应于拉伸变形、压缩变形、弯曲变形的应力，称为拉伸应力、压缩应力和弯曲应力，这一类应力统称为正应力（用希腊字母 σ 表示），其共同特点是应力方向与截面垂直；相应于剪切变形或扭转变形的应力，称为剪切应力或扭转应力，这两种应力的特点是应力作用在截面上，常统称为切应力（用希腊字母 τ 表示）。

在一般情况下，弹簧工作时，其应力状态并不是单纯某一种变形的应力状态，而是几种变形复合在一起的复杂应力状态。但是，在工程实际中，往往忽略应力状态中的次要成分，只考虑对弹簧强度影响最重要的主要应力。根据这个观点，机械弹簧可分为以弯曲应力为主的弹簧，以扭转应力为主的弹簧，组合应力弹簧等，具体归类如下：



从上述可知，螺旋弹簧的载荷状态（拉伸、压缩、扭转）与弹簧材料的应力状态不一致，这一点应特别注意，它们之间的对应关系见表1-1。

表 1-1 螺旋弹簧的载荷状态与应力状态的对应关系

螺旋弹簧的载荷状态	弹簧材料的主要应力状态
拉伸载荷	扭转应力
压缩载荷	扭转应力
扭转载荷	弯曲应力
弯曲载荷	扭转和弯曲应力
横向载荷	扭转和弯曲应力

2. 机械弹簧的负荷特性

弹簧变形时，载荷与变形之间的关系称为负荷特性。负荷特性是否符合要求，是考核弹簧制造质量的重要指标。弹簧的负荷特性常用载荷与变形之间的关系曲线来表示，这种曲线叫做弹簧的特性线。如图1-19所示，弹簧的特性线大致有三种类型：直线型（图中a）、渐增型（图中b）和渐减型（图中c）。有些弹簧的特性线可以是以上两种或三种类型的

组合。

最常见的等节距圆柱螺旋拉伸或者压缩弹簧，其负荷特性属于直线型。当然，这里忽略了弹簧拉伸或者压缩变形过程中，弹簧螺旋角的变化。在这种情况下，弹簧的刚度 P' （产生单位变形所需要的力）是常数：

$$P' = \frac{Gd^4}{8nD_2^3} \quad (1-1)$$

式中 d ——材料直径，
 n ——弹簧的有效圈数，
 D_2 ——弹簧中径，
 G ——弹簧材料的剪切弹性模量。

但是，弹簧在拉伸（或压缩）变形过程中，螺旋角会发生变化，因此，严格来说特性线是非线性的（见图1-20）。从图中看出，压缩弹簧在压力 P 的作用下，随着变形量的增加（弹簧的螺旋角 α 减小，中径 D_2 也略有增大），其特性线呈渐增型，而对于拉伸弹簧，则正好相反，其特性线呈渐减型。

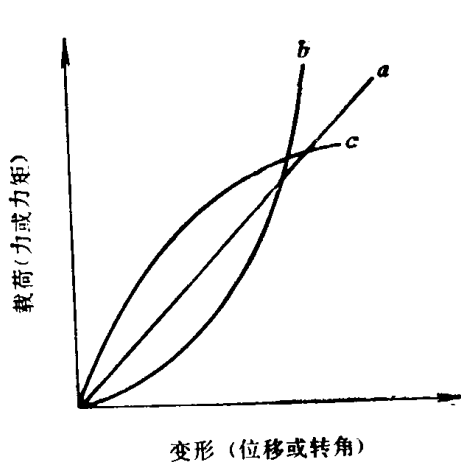


图 1-19 弹簧的载荷与变形的关系曲线——特性线
 a—直线型 b—渐增型 c—渐减型

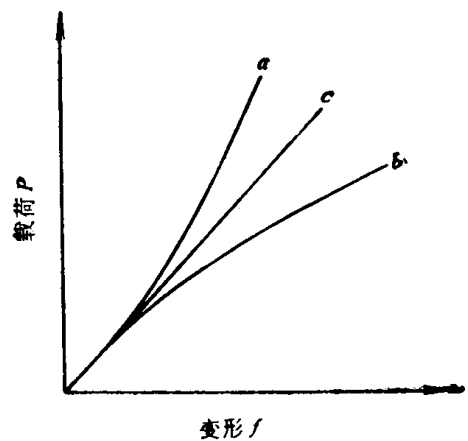


图 1-20 螺旋弹簧的特性线
 a—压缩弹簧的特性线 b—拉伸弹簧的特性线
 c—线性特性线

螺旋弹簧负荷特性的非线性误差取决于弹簧的几何尺寸、材料截面形状、弹簧位移的大小及端部的固定方法。一般来说，如果弹簧的螺旋角不大（小于 10° ），变形也不大，这种误差是很小的（见表5-1）。

与拉伸（或压缩）螺旋弹簧相似，扭转螺旋弹簧的负荷特性也是非线性的。若忽略中径 D_2 及有效圈数 n 的变化，刚度 M' 为（产生单位转角所需的扭矩）：

$$M' = \frac{Ed^4}{64D_2n} \quad (1-2)$$

式中 E ——弹簧材料的拉伸弹性模量，
 d ——弹簧材料直径，
 D_2 ——弹簧中径，
 n ——弹簧的有效圈数。

第二章 弹簧材料

弹簧材料的种类很多，大体上可分为热成型用弹簧材料和冷成型用弹簧材料两大类。前者一般是热轧弹簧钢，通常以热轧棒料供应，多用于制造大型弹簧，如机车车辆、汽车、拖拉机及矿山机械上的负荷弹簧或缓冲弹簧等；后者是以各种钢丝或有色金属型材供应，用于制造小型弹簧，如各种阀门弹簧、油泵弹簧、纺织弹簧等。

弹簧质量的好坏与弹簧材料的关系甚为密切，认识和掌握弹簧材料的基本特征，配合用户选择合适的弹簧材料是弹簧制造者义不容辞的责任。由于弹簧钢是最主要的弹簧用材料，因此，本章着重介绍弹簧钢及弹簧钢丝的机械性能以及验收方法等。同时，也对其它弹簧材料（如弹性合金、弹簧用铜丝）作扼要的叙述。

第一节 弹簧钢

弹簧钢是专门用来制造弹簧或类似弹簧性能的零件的钢种。按化学成分来分有碳素弹簧钢和合金弹簧钢两种。按轧制方法来分有热轧弹簧钢和冷拔弹簧钢两种。本节讲的是热轧弹簧钢。

一、弹簧钢的钢号表示方法

弹簧钢的钢号表示方法基本上与碳素和合金结构钢相同。碳素弹簧钢，以平均含碳量的万分之几表示，例如，含碳量为0.67~0.75%的弹簧钢，钢号表示为“70”，锰含量较高的弹簧钢，应将锰元素标出，例如，含碳量为0.62~0.70%、含锰量为0.90~1.20%的弹簧钢，钢号表示为“65Mn”。

合金弹簧钢的钢号，碳含量以平均值的万分之几表示，钢中主要元素除个别外，一般以百分之几表示。当平均含量 $<1.5\%$ 时，钢号中一般只标出元素符号，而不标出含量，但在特殊情况易致混淆者，在符号后亦可标以“1”字；当平均含量 $\geq 1.5\%$ 、 $\geq 2.5\%$ 、 $\geq 3.5\%$ 、……时，在元素符号后面还应标明含量，可相应为2、3、4、……等。例如，平均碳含量为0.60%、硅含量为1.5%~2.0%、锰含量为0.60~0.90%的弹簧钢，钢号表示为“60Si2Mn”。

钢中的钒、钛、铝、硼、稀土等合金元素，虽然含量很低，仍应在钢号中标出。例如，平均碳含量为0.55%、硅含量为0.70~1.00%、锰含量为1.00~1.30%、钒含量为0.08~0.16%、硼含量为0.001~0.0035%的弹簧钢，钢号表示为55SiMnVB。

为了区别于普通弹簧钢，对优质弹簧钢应在钢号后面加上“A”。普通弹簧钢与优质弹簧钢的区别主要在于含硫、磷杂质的多少，普通弹簧钢的含硫量在0.045%以下，含磷量在0.40%以下，而优质弹簧钢的含硫量在0.030%以下，含磷量在0.035%以下。

在高温、腐蚀以及特殊环境下工作的弹簧，也可用耐热钢、不锈钢、高速钢的线材或板材制造。

不锈钢耐酸钢和耐热钢的钢号，碳含量以千分之几表示；钢中主要合金元素以百分之几表示；而钛、铌、锆、氮……等微量元素的表示方法和合金弹簧钢中微量元素的表示方法相

同。例如，用于制造弹簧的不锈耐酸钢1Cr18Ni9，其碳含量 $\leq 0.12\%$ ，铬含量为17~19%，镍含量为8~11%；不锈耐酸钢0Cr17Ni7Al，其碳含量 $\leq 0.09\%$ ，铬含量为16~18%，镍含量为6.5~7.5%，铝含量为0.75~1.50%；耐热钢45CrMoV，其碳含量为0.4~0.5%，铬含量为1.3~1.5%，钼含量为0.65~0.75%，钒含量为0.25~0.35%。

高速工具钢的钢号一般不标出碳含量，只标出合金元素平均含量的百分之几。例如，用于制造耐热弹簧的高速工具钢W18Cr4V，其碳含量为0.70~0.80%，钨含量为17.5~19.0%，铬含量为3.80~4.40%，钒含量为1.00~1.40%。

二、弹簧钢中各化学元素的特性

1. 碳

碳是组成各种钢的基本元素之一。钢内含碳量愈多，所形成的碳化物也就愈多。碳化物则是一种硬度极高、脆性极大、塑性极小的化合物，所以钢的含碳量愈高，钢的硬度和强度就提高，但韧性和塑性就降低。同时，含碳量为0.85%以下的钢，其淬火温度随着含碳量的增加而降低。由此可知，碳对钢的性能影响是很大的。一般碳素弹簧钢的含碳量为0.62~0.9%（国外有的弹簧钢的碳含量高达1.05%），而合金弹簧钢的碳含量为0.46~0.74%。

2. 硅

硅是一种脱氧剂，当其含量在0.5%以下时，它是作为一种冶炼杂质存在，超过0.5%，就作为一种合金元素存在了。

硅可以显著地提高钢的弹性极限及屈服比，提高回火稳定性。硅的另一特点是增加钢的硬化性能，提高钢的淬火温度。根据一些资料介绍，每增加1%的硅，可提高钢的上临界点 $AC_{340\sim 50}^{\circ}C$ 。但是，硅是石墨化促成元素，它增加钢的脱碳倾向及石墨化趋势。弹簧钢的最高含硅量达2%，含硅量高的弹簧钢在加热过程中容易产生脱碳，从而给弹簧的热处理造成困难。

3. 锰

锰也是一种脱氧剂。炼钢时，锰与硫化合生成硫化锰，这种化合物可以随熔渣一同除去。锰在钢中的含量超过0.6%时，才作为合金元素存在。

锰与碳类似，能提高钢的淬透性及强度，脱碳倾向稍有减轻。锰的缺点是增加了钢的过热敏感性、回火脆性及淬火裂纹倾向大。

4. 磷

一般来讲，钢中的磷是一种由矿石带入的有害杂质，固溶于纯铁体中。磷会降低钢的塑性和韧性，增加钢的脆性。钢中的磷含量越少越好。

5. 硫

钢中的硫与磷一样，也是由矿石带入钢内的一种有害杂质。硫不溶于纯铁体中，而与铁形成硫化铁分布在钢内组织的晶界上。硫化铁的熔点低（950℃），致使钢在热加工过程中断裂，这就是常说的钢的热脆性。钢中的硫含量也越少越好。

6. 铬

钢中的铬与锰类似，可提高钢的淬透性、屈服强度、抗拉强度、硬度和耐磨性等，并具有较高的抗弯能力，有减轻过热敏感性及石墨化倾向。有资料介绍，在中碳钢中加入0.5%的铬，可使钢的强度和弹性极限提高15~20%。但是，含铬过多会产生回火脆性，降低钢的塑性和冲击韧性。