

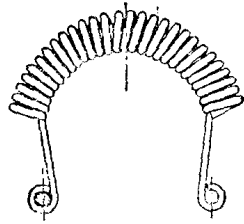
TANHUANG SHEJI SHOUC

Tan Huang



弹簧设计手册

上海科学技术文献出版社



弹簧设计手册

汪曾祥 魏先英 刘祥至编著

上海科学技术文献出版社

弹 簧 设 计 手 册

汪曾祥 魏先英 刘祥至编著

*

上海科学技术文献出版社出版
(上海武康路2号)

新华书店上海发行所发行
上海商务印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 15.5 字数 374,000

1986年7月第1版 1986年7月第1次印刷

印数: 1—9,000

书号: 15192·454 定价: 2.95元

《科技新书目》111·1.0

前 言

弹簧在机械产品中是一种很小的零件，过去曾由于没有给予足够的重视，特别是缺少有关材料的热处理知识，因此在十九世纪五十年代以前，弹簧的质量很不稳定，而且经常损坏，造成了极为严重的恶果，以后随着科学技术的进步，使人们逐渐认识到弹簧对机器的精度、工作能力和寿命都有着极其重要的作用，通过不懈的努力，在 1908 年才诞生了第一台拉伸和压缩螺旋弹簧盘绕机，从而为成批生产合格的弹簧创造了条件，以后为了保证弹簧的质量，一些工业发达国家对弹簧的设计、选材、热处理、制造和检验都订出了极为详尽的标准或规范，例如有关弹簧的设计制造规范据不完全统计，日本有 37 种、德国有 47 种，美国也有 20 多种。有关弹簧材料的标准日本有 21 种、德国有 12 种、美国各学会共有 36 种。有的国家，如日本在 1949 年还专门组织了弹簧技术研究会，从事于改进弹簧设计和提高弹簧质量等各个方面的研究，以后还专门出版了有关弹簧的专著，对弹簧的生产作出了有益的贡献。我国从解放以来也陆续制订了一部分弹簧的设计、用材和热处理的标准，在一般的技术书刊或手册中也对弹簧（主要是常用的几种弹簧）有所叙述，但是有关这方面的专著还不多，尤其缺少将理论和实际，设计和材料都荟集在一起的详细论著，因而常使得一些不是专门从事于弹簧工作，但是在实际设计中又需要设计具有一定水平的弹簧的机械设计工作者感到缺乏较完整的参考数据，编者有鉴于此，将工作中经常参考的各国弹簧专著（主要是美国和日本的）结合我国生产实

际编纂成本书，因此本书的目的就是要使设计工作者的手边有一较多的弹簧技术数据——包括设计公式、图表、经验数据、材料和其热处理、弹簧制造时所需要的设备和制造技术，以供读者在实际运用时参考。

本书的特点是(1)弹簧的种类多，基本上可满足一般工业机械设计的需要；(2)系统简明地介绍了有关弹簧的材料、设计、计算理论、制造和检验，力求使读者对弹簧的生产技术有一较全面的了解；(3)选材广泛，并附录了目前国外有关弹簧的一些材料和有关标准，这些内容对引进机械中使用的弹簧也有一定的参考价值；(4)为便于读者掌握本书所介绍的内容和在实际中运用，在本书中选录了一定的设计实例，并在各章中介绍了在设计时应注意的事项。

本书在编写过程中，部分日文资料曾得到朱永荃、王勇杰和杨圣洁同志的协助。并邀请裘汲高级工程师审阅，仅在此表示深切的谢意。

由于编者的水平有限，本书内容难免有错误或不当之处，恳请读者指正。

编 者

一九八五年二月

目 录

第一章 绪论	1	2.1.1 弹性极限	19
1.1 弹簧的分类	1	2.1.2 弹性模量	21
1.1.1 按使用材料分	1	2.1.3 疲劳强度	23
1.1.2 按形状分	2	2.1.4 尺寸效应	26
1.1.3 以构成弹簧有限元所受力 的状态分	2	2.1.5 淬透性	26
1.1.4 按使用条件分	3	2.1.6 耐热性	30
1.1.5 按弹簧工况分	3	2.1.7 耐腐蚀性	31
1.1.6 按加工工艺分	4	2.1.8 导电性	36
1.1.7 按制造精度分	4	2.1.9 热膨胀性	36
1.1.8 按载荷与变形的情况分	4	2.1.10 其它	36
1.2 弹簧的功能	4	2.2 热轧成形的弹簧	
1.2.1 载荷和变形的关系	4	用钢	36
1.2.2 能量的吸收	6	2.2.1 碳素钢系列的弹簧钢	40
1.2.3 弹簧的自振频率	8	2.2.2 锰弹簧钢	43
1.2.4 防止振动	9	2.2.3 硅锰弹簧钢	43
1.2.5 缓和冲击	10	2.2.4 铬锰弹簧钢	44
1.3 弹簧设计的基本		2.2.5 铬钒弹簧钢	44
概念	12	2.2.6 硅铬弹簧钢	44
1.3.1 弹簧指数(旋绕比)	12	2.2.7 硅锰钨弹簧钢	45
1.3.2 弹簧的特性曲线	13	2.2.8 铬钒钨弹簧钢	45
1.3.3 弹簧的共振	14	2.2.9 无铬弹簧钢	45
1.3.4 弹簧设计中的几个要素	14	2.2.10 铬锰硼弹簧钢	45
第二章 弹簧材料	19	2.2.11 高合金弹簧钢	45
2.1 对弹簧材料的一		2.3 冷轧(拉)弹簧用	
般要求	19	钢	46
		2.3.1 高碳弹簧钢	47
		2.3.2 合金弹簧钢	64

2.4 用于弹簧的碳钢	
钢带	73
2.4.1 钢带的制造	76
2.4.2 钢种	77
2.4.3 尺寸和形状	79
2.4.4 钢带的热处理	80
2.5 不锈钢弹簧钢丝	
和钢带	81
2.5.1 奥氏体 300 系列不锈钢	
(即所谓 18-8 不锈	
钢)	84
2.5.2 马氏体 400 系列不锈钢	87
2.5.3 沉淀硬化不锈钢	93
2.6 弹簧用非铁金属	
材料	96
2.6.1 弹簧用铜基合金	97
2.6.2 弹簧用镍基合金	115
2.6.3 恒弹性模量合金	125
2.6.4 其它偶而也用于弹簧的	
非铁合金材料	130
2.7 弹簧用非金属材料	
料	131
第三章 压缩螺旋弹簧	138
3.1 特点和用途	138
3.2 计算公式	139
3.2.1 圆截面圆柱压缩螺旋弹	
簧	139
3.2.2 矩形截面圆柱螺旋弹簧	144
3.2.3 非线性特性的螺旋弹簧	145
3.3 设计中的一些特	
殊问题	156
3.3.1 末圈和有效圈数	156
3.3.2 螺旋角的影响	159
3.3.3 偏心载荷	161
3.3.4 组合弹簧	162
3.3.5 屈曲	165
3.3.6 径向刚性	166
3.3.7 硬化	168
3.3.8 缓冲	170
3.3.9 颤振	172
3.4 选取应力的方法	174
3.4.1 对载荷的考虑	174
3.4.2 对疲劳强度的考虑	175
3.4.3 工作环境对弹簧使用应力	
的影响	184
3.4.4 许用应力	185
3.5 设计实例	189
3.5.1 材料的选择	189
3.5.2 实例计算	189
3.5.3 设计图和规格	212
3.6 制造和检验	217
3.6.1 弹簧制造	217
3.6.2 热卷弹簧的制造	221
3.6.3 冷卷弹簧的制造	228
3.6.4 弹簧的检查和验收	234
第四章 拉伸螺旋弹簧	241
4.1 特点和用途	241
4.2 计算公式	241
4.3 设计注意事项	242
4.3.1 端部形状	242
4.3.2 钩环部分的应力集中	245
4.3.3 钩环部分对变形的影响	246
4.3.4 初拉力	246
4.4 选取应力的方法	248

4.4.1	对载荷的考虑	248	6.1.1	种类、名称、构造	272
4.4.2	对疲劳强度的考虑	249	6.1.2	特点、用途	277
4.4.3	许用应力	249	6.2	计算公式	278
4.5	设计实例	250	6.2.1	基本公式	278
4.5.1	材料的选择	250	6.2.2	单板弹簧	280
4.5.2	实例计算	250	6.2.3	对称式板弹簧	282
4.5.3	设计图和规格	251	6.2.4	非对称形板弹簧	287
4.5.4	允许偏差	252	6.2.5	非线性特性的板弹簧	289
4.6	制造和检验	255	6.2.6	锥形片状弹簧	294
第五章	圆柱扭转螺旋弹 簧	257	6.3	设计注意事项	295
5.1	特点和用途	257	6.3.1	板弹簧的几何关系	295
5.2	计算公式	258	6.3.2	密合度	296
5.2.1	不计扭臂变形的情况	259	6.3.3	弹簧板片间的摩擦	297
5.2.2	计及扭臂变形的情况	260	6.3.4	“卷紧”现象	300
5.3	设计注意事项	260	6.4	选取应力的方法	302
5.3.1	扭转方向和应力的关系	260	6.4.1	对载荷的考虑	302
5.3.2	圈数和初拉力	261	6.4.2	对疲劳的考虑	308
5.3.3	引导杆的选择	262	6.4.3	对工作环境的考虑	311
5.3.4	端部形状	262	6.4.4	许用应力	313
5.4	选取应力的方法	264	6.5	设计实例	313
5.4.1	对载荷的考虑	264	6.5.1	材料的选择	313
5.4.2	对疲劳强度的考虑	264	6.5.2	实例计算	316
5.4.3	许用应力	265	6.5.3	设计图的画法	326
5.5	设计实例	267	6.5.4	允许误差	326
5.5.1	材料的选择	267	6.6	制造和检验	330
5.5.2	实例计算	267	6.6.1	制造	330
5.5.3	允许偏差	271	6.6.2	检查	330
5.6	制造和检验	271	第七章	扭杆弹簧	333
第六章	板弹簧	272	7.1	特点和用途	333
6.1	特点和用途	272	7.2	计算公式	334
			7.2.1	单根扭杆的计算公式	334
			7.2.2	扭杆和柄组合时的计算	

公式·····	335	8.6.1 制造·····	364
7.2.3 扭杆和柄为一体时的计 算公式·····	338	8.6.2 检验·····	366
7.3 设计注意事项·····	341	第九章 薄板弹簧 ·····	367
7.4 选取应力的方法·····	342	9.1 特点和用途·····	367
7.4.1 对疲劳的考虑·····	342	9.2 计算公式·····	367
7.4.2 许用应力·····	343	9.2.1 直线形悬臂薄板弹簧·····	367
7.5 设计实例·····	344	9.2.2 圆弧形悬臂薄板弹簧·····	371
7.5.1 材料的选择·····	344	9.2.3 同时具有圆弧段和直线部 分的薄板弹簧·····	374
7.5.2 端部的形状·····	345	9.2.4 波形垫圈·····	378
7.5.3 过渡部分的形状和当量 长度·····	345	9.3 设计注意事项·····	379
7.5.4 实例计算·····	346	9.3.1 弯曲加工部分的半径·····	379
7.5.5 设计图示例·····	350	9.3.2 缺口处或孔部位的应力集 中·····	381
7.6 制造和检验·····	350	9.3.3 弹簧形状和尺寸公差·····	381
7.6.1 制造·····	350	9.4 选取应力的方法·····	382
7.6.2 检验·····	352	9.5 设计实例·····	383
第八章 平面蜗卷弹簧 ·····	354	9.6 制造和检验·····	384
8.1 特点和用途·····	354	第十章 碟形弹簧 ·····	386
8.2 计算公式·····	354	10.1 特点和用途·····	386
8.2.1 非接触形蜗卷弹簧·····	355	10.2 计算公式·····	387
8.2.2 接触形蜗卷弹簧(发条 弹簧)·····	356	10.2.1 实用计算公式·····	387
8.3 设计注意事项·····	360	10.2.2 计算图表·····	390
8.3.1 非接触形蜗卷弹簧·····	360	10.3 设计注意事项·····	394
8.3.2 接触形蜗卷弹簧·····	361	10.3.1 形状、尺寸·····	394
8.4 选取应力的方法·····	361	10.3.2 弹簧特性·····	394
8.5 设计实例·····	362	10.4 选取应力的方法·····	395
8.5.1 非接触形蜗卷弹簧·····	362	10.4.1 静载荷时·····	395
8.5.2 接触形蜗卷弹簧·····	363	10.4.2 动载荷时·····	395
8.6 制造和检验·····	364	10.5 设计实例·····	396
		10.5.1 当给定碟形弹簧的各几何	

参数时	396	12.4.2 许用应力	420
10.5.2 当给定碟形弹簧的特性而 求各几何参数时	396	12.5 设计实例	420
10.6 制造和检验	398	12.6 制造和检验	421
10.6.1 制造	398	第十三章 弹簧挡圈	423
10.6.2 检验	399	13.1 特点和用途	423
第十一章 弹簧垫圈	400	13.2 计算公式	425
11.1 特点和用途	400	13.2.1 C形弹簧挡圈的最大应力 计算	426
11.2 计算公式	403	13.2.2 C形同心弹簧挡圈的最大 应力计算	428
11.3 设计注意事项	406	13.2.3 弹簧挡圈的许用推力 载荷	429
11.4 选取应力的方法	408	13.3 设计注意事项	431
11.4.1 弹簧垫圈的材料	408	13.4 选取应力的方法	431
11.4.2 弹簧垫圈的许用应力	408	13.5 设计实例	432
11.4.3 其他种类弹簧垫圈的许用 应力	408	13.6 制造和检验	433
11.5 设计实例	409	13.6.1 制造	433
11.6 制造和检验	410	13.6.2 检验	433
11.6.1 弹簧垫圈的制造	410	第十四章 环形弹簧、蜗卷螺 旋弹簧、定载荷 弹簧	435
11.6.2 波形弹簧垫圈的制造	410	14.1 环形弹簧	435
11.6.3 齿形弹簧垫圈的制造	411	14.1.1 环形弹簧的特点和用 途	435
11.6.4 碟形弹簧垫圈的制造	411	14.1.2 环形弹簧的计算公式	436
11.6.5 弹簧垫圈的检验	412	14.1.3 环形弹簧设计注意事 项	437
11.6.6 波形弹簧垫圈的检验	413	14.1.4 环形弹簧选取应力的 方法	438
11.6.7 齿形垫圈的检验	413	14.1.5 环形弹簧的实际设计	439
11.6.8 碟形弹簧垫圈的检验	413	14.1.6 环形弹簧的制造	439
第十二章 细线弹簧	415		
12.1 特点和用途	415		
12.2 计算公式	417		
12.3 设计注意事项	419		
12.4 选取应力的方法	419		
12.4.1 细线弹簧的材料	419		

14.2	蜗卷螺旋弹簧	…440		要注意事项	…454
14.2.1	蜗卷螺旋弹簧的特点和用途	…440			
14.2.2	蜗卷螺旋弹簧的计算公式	…441	15.3	弹簧热处理的工艺参数	…457
14.2.3	蜗卷螺旋弹簧设计注意事项	…444	15.3.1	低温去应力回火	…457
14.2.4	蜗卷螺旋弹簧的设计例	…444	15.3.2	淬火和回火	…461
14.3	定载荷弹簧	…449	15.3.3	等温淬火	…471
14.3.1	定载荷盘簧	…449	15.3.4	析出硬化	…472
14.3.2	定载荷密卷螺旋弹簧	452	15.3.5	渗氮和低温氮碳共渗	472
			15.3.6	复碳	…474
			15.4	弹簧热处理的变形	…474
第十五章	弹簧的热处理	454	15.4.1	低温去应力回火的弹簧在热处理时的变形	…474
15.1	弹簧的一般热处理	…454	15.4.2	淬火回火的弹簧在热处理时的变形	…475
15.2	弹簧热处理时的一般规律和需				

第一章 绪 论

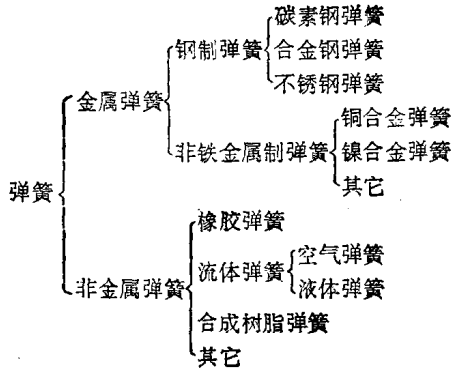
弹簧是一种常见的机械零件,几乎所有的工业产品,例如飞机、火车、汽车等运输工具,电器设备、仪器仪表、动力机械、工具机械、农业机械,甚至小至钟表、门锁或自动伞等日常家庭用品也都离不开弹簧。弹簧外形虽然简单,但是在机械中却起着非常重要的作用,如果一个弹簧损坏,机械的某个部分以至整台机械设备都会失效或停止运转,因此愈来愈多地引起人们的重视,目前世界各国对于弹簧的设计、选材、制造、热处理和检验都已有了严格的标准和准则。

弹簧的作用,总的讲就是利用材料的弹性和弹簧结构的特点,使它在产生或恢复变形时,能够把机械功或动能转变为变形能,或把变形能转变为机械功或动能。正是由于这种特性,使弹簧可用于机械产品的减震或缓冲、控制运动、贮存能量、测量力和扭矩,并可作为机械的动力。从广义来讲,凡是利用弹性的零件,如各种不同用途的弹性元件,都属于弹簧的范围。

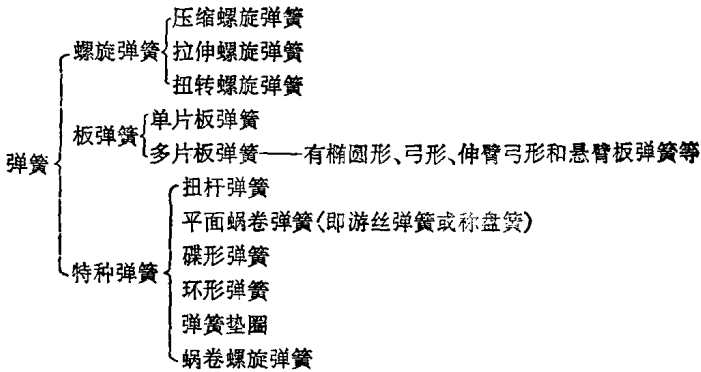
1.1 弹簧的分类

弹簧的种类繁多,分类方法也有各种各样,一般按如下来区分。

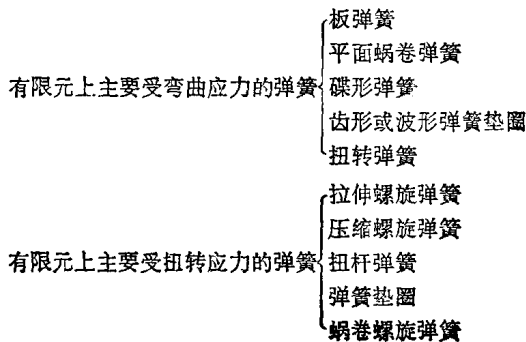
1.1.1 按使用材料分



1.1.2 按形状分



1.1.3 以构成弹簧有限元所受力的状态分



有限元上主要受拉压应力的弹簧——环形弹簧

有限元上主要受复合应力的弹簧 { 卡紧弹簧
弯曲螺旋弹簧
受横向载荷的螺旋弹簧

这种分类方法在螺旋弹簧最易说明问题，表 1-1 是螺旋弹簧的载荷状态和将它分成若干有限元后，每个有限元上所受的主要应力。

表 1-1 螺旋弹簧受力状态和有限元上的主要应力

螺旋弹簧的载荷状态	有限元上的主要应力
拉伸	扭转
压缩	扭转
扭转	弯曲
弯曲	扭转和弯曲
横向载荷	扭转和弯曲

1.1.4 按使用条件分

a) 在静态条件下使用的弹簧——例如安全阀弹簧、弹簧垫圈、秤盘弹簧、定载荷弹簧和钟表中的游丝。在这种情况下，设计上主要应考虑的是静强度和稳定性问题。

b) 在动态条件下使用的弹簧——例如利用其回复性能的阀门弹簧、调速器弹簧等；利用其减少振动的车辆用悬挂弹簧和防振弹簧；利用其吸收能量的联轴器弹簧和电梯的缓冲弹簧等。在这种条件下使用的弹簧主要应考虑弹簧的疲劳强度和共振的问题。

1.1.5 按弹簧工况分

- a) 在普通环境室温下使用的弹簧；
- b) 在高温下工作的弹簧(或称耐热弹簧)；
- c) 在腐蚀介质下工作的弹簧(或称耐蚀弹簧)。

1.1.6 按加工工艺分

- a) 冷卷或冷压成形弹簧;
- b) 热卷或热压成形弹簧。

1.1.7 按制造精度分

- a) I 级精度弹簧;
- b) II 级精度弹簧;
- c) III 级精度弹簧。

1.1.8 按载荷与变形的情况分

a) 载荷与变形成线性关系的弹簧——一般的拉伸、压缩、扭转、单板、扭杆和平面蜗卷弹簧。

b) 载荷与变形成非线性关系的弹簧——其中有滞后作用的如多层板弹簧、蜗卷螺旋弹簧、环形弹簧和碟形弹簧;无滞后作用的有不等节距弹簧、变径螺旋弹簧和组合式弹簧等。

1.2 弹簧的功能

1.2.1 载荷和变形的关系

通常给弹簧以一定的载荷(外力 P 或扭矩 T),使弹簧产生相应的变形(F, φ),这种载荷和变形之间存在着如图 1-1(a)所示的正比关系,这个比例常数也就是使弹簧产生单位变形所需要的载荷称为弹簧的刚度。当载荷为力,变形为直线变位或挠度时例如拉伸或压缩螺旋弹簧,称为直线弹簧刚度

$$p' = \frac{dP}{dF} (\text{kgf/mm}) \quad (1.1)$$

如载荷为弯矩或扭矩,变形为扭转角或弯曲时称为扭转弹簧刚度

$$T' = \frac{dT}{d\varphi} (\text{kgf-mm/rad}) \quad (1.2)$$

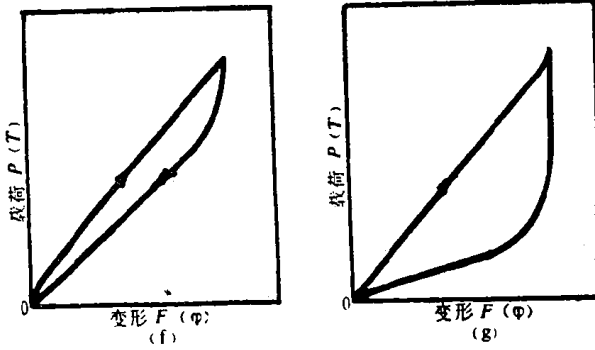
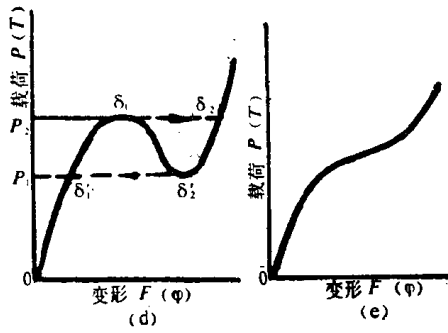
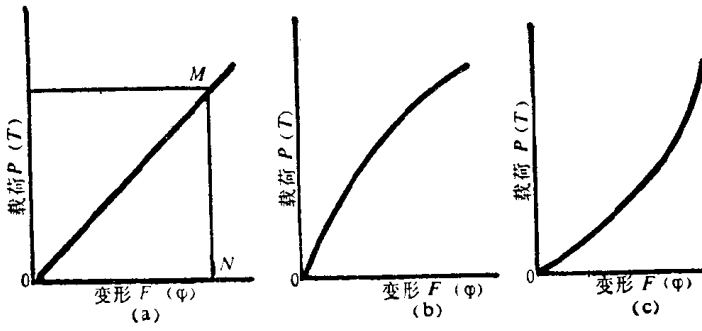


图 1-1 弹簧载荷和变形之间的各种关系

一般弹簧的刚度是一常数，但是在特殊情况下也有象图 1-1(b)(c)(d)(e)等所示的那样，载荷是变形的函数，这时

$$P=f(F) \quad (1.3)$$

天平弹簧用来指示力或扭矩，调速器弹簧用来调正载荷，阀门弹簧和钟表弹簧用来控制力或扭矩等都是利用这种载荷和变形的关系。

1.2.2 能量的吸收

弹簧受载荷后所吸收贮存的能量称为弹簧的变形能，通常弹簧所吸收贮存的能量为

$$U = \frac{1}{2} p' F^2 \quad (1.4)$$

它相当于图 1-1(a)上三角形 OMN 的面积，从缓和冲击的观点来看，弹簧所吸收的能量愈大愈好，因而希望弹簧的变形量愈大愈好。

图 1-1(a)(b)(c)(d)所示的载荷和变形的关系在加载或卸载时都是相同的，但是也有些弹簧由于各圈或各层之间具有摩擦力，如碟形弹簧、环形弹簧或多板形弹簧其载荷和变形的关系如图 1-1(e)(f)(g)。那样在加载和卸载时相互之间的关系不一样，也就是说加载时所吸收的能量大于在卸载时所放出的能量，这时每一循环所消耗的外界能量（也就是消耗于内摩擦的能量）是图中每一循环所包孕的面积，减震和缓冲弹簧就是利用这种原理。

弹簧变形能的计算为：

当弹簧材料受切应力时

$$U = k \frac{V \tau^2}{G} \quad (1.5)$$

当弹簧材料受正应力时