

秦大同 谢里阳 主编

MODERN  
HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN

# 现代 机械设计手册

单行本

# 弹簧设计



化学工业出版社

秦大同 谢里阳 主编

MODERN  
HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN

# 现代 机械设计手册

单行本

# 弹簧设计



化学工业出版社

·北京·

《现代机械设计手册》单行本共 16 个分册，涵盖了机械常规设计的所有内容。各分册分别为：《机械制图及精度设计》、《零部件结构设计与禁忌》、《常用机械工程材料》、《连接件与紧固件》、《轴及其连接件设计》、《轴承》、《机架、导轨及机械振动设计》、《弹簧设计》、《机构设计》、《机械传动设计》、《润滑与密封设计》、《液力传动设计》、《液压传动与控制设计》、《气压传动与控制设计》、《机电系统设计》、《疲劳强度与可靠性设计》。

本书为《弹簧设计》，主要介绍了弹簧的基本性能及类型应用、圆柱螺旋弹簧、非线性螺旋弹簧、多股螺旋弹簧、碟形弹簧、环形弹簧、片弹簧及线弹簧、板弹簧、发条弹簧、扭杆弹簧、弹簧的热处理和表面处理、橡胶弹簧、空气弹簧、膜片及膜盒、压力弹簧管、弹簧的疲劳强度、弹簧的失效及预防等。本书可作为机械设计人员和有关工程技术人员的工具书，也可供高等院校有关专业师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

弹簧设计/秦大同，谢里阳主编. —北京：化学工业出版社，2013.3  
(现代机械设计手册：单行本)  
ISBN 978-7-122-16333-2

I. ①弹… II. ①秦… ②谢… III. ①弹簧-设计-技术手册 IV. ①TH135-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 009851 号

---

责任编辑：张兴辉 王 焯 贾 娜  
责任校对：关雅君

装帧设计：尹琳琳

---

出版发行：化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$  字数 410 千字 2013 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询：010-64518888(传真：010-64519686) 售后服务：010-64518899

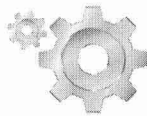
网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

---

定 价：28.00 元

版权所有 违者必究



## 《现代机械设计手册》单行本出版说明

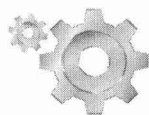
《现代机械设计手册》是化学工业出版社顺应现代机械设计时代发展要求而精心策划的大型出版项目，旨在将传统设计和现代设计有机结合，即结构设计、传动设计和控制设计有机融合，力求体现“内容权威、凸显现代、实用可靠、简明便查”的特色。

《现代机械设计手册》自2011年3月出版以来，赢得了广大机械设计工作者的青睐和好评，荣获2011年全国优秀畅销书和2012年中国机械工业科学技术奖。广大读者在给予《现代机械设计手册》充分肯定的同时，也指出了《现代机械设计手册》装帧厚重，不便携带和翻阅。为了给读者提供篇幅较小、便携便查、定价低廉、针对性更强的实用性工具书，根据读者的反映和建议，我们在深入调研的基础上，推出《现代机械设计手册》单行本。

单行本保留了《现代机械设计手册》的优势和特色，结合机械设计人员工作细分的实际状况，从设计工作的实际出发，将原来的6卷33篇进行合并、删减，重新整合为16个分册，分别为：《机械制图及精度设计》、《零部件结构与禁忌》、《常用机械工程材料》、《连接件与紧固件》、《轴及其连接件设计》、《轴承》、《机架、导轨及机械振动设计》、《弹簧设计》、《机构设计》、《机械传动设计》、《润滑与密封设计》、《液力传动设计》、《液压传动与控制设计》、《气压传动与控制设计》、《机电系统设计》、《疲劳强度与可靠性设计》。

《现代机械设计手册》单行本，是为了适应机械设计行业发展和广大读者的需要而编辑出版的，将与《现代机械设计手册》（6卷本）一起，成为机械设计工作者、工程技术人员和广大读者的良师益友。

化学工业出版社



## FORWARD 前言

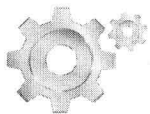
振兴装备制造业是中国由机械制造大国走向机械制造强国的必由之路。近年来,在国家大力发展装备制造业的政策号召和驱使下,我国的机械工业获得了巨大的发展,自主创新的能力不断加强,一批高技术、高性能、高精尖的现代化装备不断涌现,各种新材料、新工艺、新结构、新产品、新方法、新技术不断产生、发展并投入实际应用,大大提升了我国机械设计与制造的技术水平和国际竞争力。

但是,总体来看,我国的装备制造业仍处于较低的水平,距离世界发达国家还有很大的差距。机械设计是装备制造的龙头,是装备制造过程中的核心环节,因此全面提升我国机械设计人员的设计能力和技术水平非常关键。近年来,各种先进技术在机械行业的应用和发展,正在使机械设计的传统内涵发生巨大变化,这就给广大机械设计人员提出了更高的要求:一方面,当前先进的、现代化的机械装备都是机、电、液、光等技术的有机结合体,尤其是控制技术、信息技术、网络技术的发展和运用,使得设备越来越智能化、现代化,这已经成为现代机械设计的发展方向 and 趋势,如何实现这些技术的有机融合将至关重要;另一方面,各种现代的机械设计方法,已经突破前些年的理论研究阶段,正逐步应用于设计、生产实际,越来越发挥其重要的作用;还有,随着计算机硬件性能和软件水平的持续提高,计算机技术已全面深入地渗透到机械领域,各种设计技术、计算技术、设计工具在机械设计与制造中的广泛应用,使得设计人员的创造性思维得到前所未有的解放,设计手段极大丰富。

伴随着这些变化,传统的机械设计资料、机械设计工具书已逐渐呈现出诸多不足,不能完全满足新时期机械设计人员的实际工作需要。针对这种情况,化学工业出版社顺应时代发展的要求,在对高等院校、科研院所、制造企业的科研工作者和机械设计人员进行广泛调研的基础上,邀请众多国内机械设计界的知名专家合力编写了一套全新的、符合现代机械设计潮流的大型工具书——《现代机械设计手册》,这是一项与时俱进、有重大意义的创新工程,对推动我国机械设计技术的发展将发挥重要的作用。因其在机械设计领域重要的科学价值、实用价值和现实意义,《现代机械设计手册》荣获 2009 年国家出版基金资助。

化学工业出版社在机械设计大型工具书的出版方面历史悠久、经验丰富,深得广大机械设计人员和工程技术人员的信赖。为了扎实、高效地进行《现代机械设计手册》编写和出版工作,化学工业出版社组织召开了多次编写和审稿工作会议,充分考虑读者在手册使用上的特点和需求,确定了手册的整体构架、篇目设置、编写原则和风格,针对编写大纲进行了充分细致的研讨,对书稿内容的编、审工作进行了细致周密的安排,确保了整部手册的内容质量和工作进度。

《现代机械设计手册》的定位不同于一般技术手册,更不同于一般学习型的技术图书,



它是一部合理收集取舍、科学编排通用机械设计常用资料，符合现代机械设计潮流的综合性手册。具体来说，有以下六大特色。

### 1. 权威性 ★★★★★

《现代机械设计手册》阵容强大，编、审人员大都来自于设计、生产、教学和科研第一线，具有深厚的理论功底、丰富的设计实践经验。他们中很多人都是所属领域的知名专家，在业内有广泛的影响力和知名度，获得过多项科技进步奖、发明奖和技术专利，承担了许多机械领域国家重要的科研和攻关项目。这支专业、权威的编审队伍确保了手册准确、实用的内容质量。

### 2. 现代感 ★★★★★

追求现代感，体现现代机械设计气氛，满足时代的要求，是《现代机械设计手册》的基本宗旨。“现代”二字主要体现在：新标准、新技术、新结构、新工艺、新产品、现代的设计理念、现代的设计方法和现代的设计手段等几个方面。在体现现代元素的同时，也不是一味求新，而是收录目前已经普遍得到大家公认的、成熟的、实用的技术、方法、结构和产品。《现代机械设计手册》注意传统设计与现代设计的融合，注重机、电设计的有机结合，注重实用性的同时兼顾最新的研究应用成果。

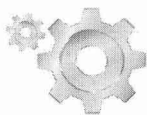
在新技术方面，许多零部件的设计内容都兼顾了当前高新技术装备的设计，例如第13篇“带、链传动”介绍了金属带等新型的传动方式，第14篇“齿轮传动”收录了新型锥齿轮、塑料齿轮的设计和应用，第8篇“滑动轴承”收录了气体润滑轴承、箔片轴承、电磁轴承等新型轴承的设计和应用，第4篇“机械工程材料”收录了复合材料等目前已广泛应用的一些新型工程材料。

在现代设计手段的应用方面，例如机械零部件设计部分，注重现代设计方法（例如有限元分析、可靠性设计等）在机械零部件设计中的应用，并给出了相应的设计实例；第11篇“机构”篇中，平面机构的运动分析通过计算机编程来实现，并提供了相应的程序代码，大大提高了分析的准确性和设计效率；在产品的设计和选择方面，推荐了应用广泛的、节能的、可靠的产品。

在贯彻新标准方面，收录并合理编排了目前最新颁布的国家和行业标准。

### 3. 实用性 ★★★★★

即选编机械设计人员实际需要的内容。手册内容的选定、深度的把握、资料的取舍和章节的编排，都坚持从设计和生产的实际需要出发。例如第5卷机电控制设计中，完全站在机械设计人员的角度来写——注重产品如何选用，摒弃了控制的基本原理，突出机电系



统设计,控制元器件、传感器、电动机部分注重介绍主流产品的技术参数、性能、应用场合、选用原则,并给出了相应的设计选用实例;第6卷现代机械设计方法中摒弃或简化了繁琐的数学推导,突出了最终的计算结果,结合具体的算例将设计方法通俗地呈现出来,便于读者理解和掌握。

为方便广大读者的使用和查阅,手册在具体内容的表述上,采用以图表为主的编写风格。这样既增加了手册的信息容量,更重要的是方便了读者的使用和查阅,有利于提高设计人员的工作效率和设计速度。

#### 4. 通用性 ★★★★★

本手册以通用的机械零部件和控制元器件设计、选用内容为主,不包括具体的专业机械设计的内容。主要包括机械设计基础资料、机械通用零部件设计、机械传动系统设计、液力液压和气压传动系统设计与控制、机构设计、机架设计、机械振动设计、光机电一体化系统设计以及控制设计等,能够满足各类机械设计人员的工作需求。

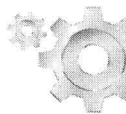
#### 5. 准确性 ★★★★★

本手册尽量采用原始资料,公式、图表、数据准确,方法、工艺、技术成熟。所有产品、材料和工艺方面的标准均采用最新公布的标准资料,对于标准规范的编写,手册没有简单地照抄照搬,而是采取选用、摘录、合理编排的方式,强调其科学性和准确性,尽量避免差错和谬误。所有设计方法、计算公式、参数选用均经过长期检验,设计实例、各种算例均来自工程实际。手册中收录通用性强的、标准化程度高的产品,供设计人员在了解企业实际生产品种、规格尺寸、技术参数,以及产品质量和用户的实际反映后选用。

#### 6. 全面性 ★★★★★

本手册一方面根据机械设计人员的需要,按照“基本、常用、重要、发展”的原则选取内容;另一方面兼顾了制造企业和大型设计院两大群体的设计特点,即制造企业侧重基础性的设计内容,而大型的设计院、工程公司侧重于产品的选用。本手册强调产品设计与工艺技术的紧密结合,倡导结构设计与造型设计的有机统一,重视工艺技术与选用材料的合理搭配,使产品设计更加全面和可行。

三年多来,经过广大编审人员和出版社的不懈努力,《现代机械设计手册》将以崭新的风貌和鲜明的时代气息展现在广大机械设计工作者面前。值此出版之际,谨向所有给过我们大力支持的单位和各界朋友们表示衷心的感谢!



# CONTENTS 目录



## 弹簧设计

### 第 1 章 弹簧的基本性能、类型及应用

1.1 弹簧的基本性能	3
1.2 弹簧的类型	3
1.3 弹簧的应用和标准化	10
1.3.1 弹簧的应用	10
1.3.2 弹簧的标准化	10

### 第 2 章 圆柱螺旋弹簧

2.1 圆柱螺旋弹簧的型式、代号及应用	15
2.2 弹簧的材料及许用应力	17
2.3 圆柱螺旋压缩弹簧	21
2.3.1 圆柱螺旋压缩弹簧基本计算公式	21
2.3.2 圆柱螺旋弹簧参数选择	22
2.3.3 圆柱螺旋压缩弹簧计算表	23
2.3.4 压缩弹簧端部型式与高度、总圈数等的公式	31
2.3.5 螺旋弹簧的疲劳强度、稳定性及共振	32
2.3.6 圆柱螺旋压缩弹簧设计计算示例	33
2.3.7 圆柱螺旋压缩弹簧的压力调整结构	36
2.3.8 组合弹簧的设计计算	36
2.3.9 圆柱螺旋压缩弹簧的应用示例	38
2.4 圆柱螺旋拉伸弹簧	39
2.4.1 圆柱螺旋拉伸弹簧的设计计算	39
2.4.2 圆柱螺旋拉伸弹簧的设计示例	41
2.4.3 圆柱螺旋拉伸弹簧的端部结构	43
2.4.4 圆柱螺旋拉伸弹簧的尺寸和参数	45
2.4.5 圆柱螺旋拉伸弹簧的拉力调整结构	47
2.5 圆柱螺旋扭转弹簧	48

2.5.1 圆柱螺旋扭转弹簧的基本几何参数和特性	48
2.5.2 圆柱螺旋扭转弹簧的结构型式	48
2.5.3 圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算	48
2.5.4 圆柱螺旋扭转弹簧的计算示例	49
2.5.5 圆柱螺旋扭转弹簧的结构及安装示例	50
2.6 圆柱螺旋弹簧的技术要求	51
2.6.1 弹簧特性和尺寸的极限偏差	51
2.6.2 其他技术要求	54
2.7 矩形截面螺旋压缩弹簧	54

### 第 3 章 非线性特性线螺旋弹簧

3.1 截锥螺旋压缩弹簧	58
3.1.1 截锥螺旋压缩弹簧的结构特性及分类	58
3.1.2 截锥螺旋压缩弹簧的计算	58
3.1.3 截锥螺旋弹簧的计算示例	60
3.1.4 截锥螺旋压缩弹簧的应用示例	61
3.2 蜗卷螺旋弹簧	61
3.2.1 蜗卷螺旋弹簧的特性曲线	61
3.2.2 蜗卷螺旋弹簧的材料及许用应力	62
3.2.3 蜗卷螺旋弹簧的计算	62
3.2.4 蜗卷螺旋弹簧的计算示例	63

### 第 4 章 多股螺旋弹簧

4.1 多股螺旋弹簧的结构、特性及用途	67
4.2 多股螺旋弹簧的材料及许用应力	68
4.3 多股螺旋弹簧的参数选择	68
4.4 多股螺旋弹簧的设计计算	69
4.5 多股螺旋弹簧的几何尺寸计算	70



## 第 5 章 碟形弹簧

5.1 碟形弹簧的类型、结构及特点	72
5.2 碟形弹簧的计算	75
5.2.1 单片碟形弹簧的特性曲线	75
5.2.2 单片碟形弹簧的计算公式	75
5.2.3 组合碟形弹簧的计算公式	76
5.3 碟形弹簧的应力计算	77
5.4 其他类型碟形弹簧	80
5.5 碟形弹簧应用示例	82
5.6 膜片碟簧	82

## 第 6 章 环形弹簧

6.1 环形弹簧的结构和特性	85
6.2 环形弹簧的材料及许用应力	86
6.3 环形弹簧的设计计算	86
6.4 环形弹簧应用示例	89

## 第 7 章 片弹簧及线弹簧

7.1 片弹簧	90
7.1.1 片弹簧的结构及用途	90
7.1.2 片弹簧的材料及其许用应力	90
7.1.3 片弹簧的设计计算	91
7.1.4 片弹簧的技术要求	93
7.1.5 片弹簧的应用示例	93
7.2 线弹簧	94
7.3 设计计算示例	95

## 第 8 章 板弹簧

8.1 板弹簧的类型和用途	97
8.2 板弹簧的结构	98
8.2.1 弹簧钢板的截面形状	98
8.2.2 主板的端部结构	98
8.2.3 副板的端部结构	99
8.2.4 板弹簧的固定结构	99
8.3 板弹簧的材料及许用应力	101
8.4 板弹簧设计与计算	102
8.4.1 单板弹簧的计算	102
8.4.2 多板弹簧的计算	102
8.4.3 变刚度和变截面板弹簧的计算	105
8.5 板弹簧的技术要求	106
8.6 疲劳试验	106

8.7 板弹簧的计算及应用示例	107
-----------------	-----

## 第 9 章 发条弹簧

9.1 发条弹簧的类型、结构及应用	114
9.2 螺旋形发条弹簧	115
9.2.1 发条弹簧的工作特性	115
9.2.2 发条弹簧的计算公式	116
9.2.3 发条弹簧的材料	117
9.2.4 发条弹簧设计参数的选取	117
9.2.5 螺旋形发条弹簧的计算示例	118
9.2.6 带盒螺旋形发条弹簧典型结构及应用	119
9.3 S形发条弹簧	119

## 第 10 章 扭杆弹簧

10.1 扭杆弹簧的结构、类型及应用	122
10.2 扭杆弹簧的材料和许用应力	122
10.3 扭杆弹簧的计算公式	123
10.4 扭杆弹簧的端部结构和有效工作长度	125
10.5 扭杆弹簧的技术要求	126
10.6 扭杆弹簧的计算示例	126
10.7 扭杆弹簧的应用示例	126

## 第 11 章 弹簧的热处理、强化处理和表面处理

11.1 弹簧的热处理	128
11.1.1 弹簧热处理的目的、方法和要求	128
11.1.2 预备热处理	128
11.1.3 消应力回火	128
11.1.4 淬火和回火	130
11.1.5 等温淬火	130
11.1.6 碳素弹簧钢的热处理	131
11.1.7 合金弹簧钢的热处理	133
11.1.8 铜合金弹簧材料的热处理	134
11.1.9 高温弹性合金及钛合金的热处理	135
11.2 弹簧的强化处理	136
11.2.1 弹簧的稳定化处理	136
11.2.2 弹簧的强压处理	137
11.2.3 弹簧的喷丸处理	137
11.3 弹簧的表面处理	138
11.3.1 表面预处理	138
11.3.2 弹簧表面的氧化处理	142

11.3.3	弹簧表面的磷化处理	145
11.3.4	弹簧表面的金属防护层	147
11.3.5	弹簧表面的非金属防护层	149

## 第 12 章 橡胶弹簧

12.1	橡胶弹簧的特点与应用	152
12.2	橡胶材料特性及许用应力	152
12.3	橡胶弹簧的静刚度计算	153
12.3.1	橡胶压缩弹簧计算公式	153
12.3.2	橡胶剪切弹簧计算公式	154
12.3.3	橡胶扭转弹簧计算公式	155
12.3.4	橡胶弯曲弹簧计算公式	157
12.3.5	橡胶组合弹簧计算公式	157
12.3.6	橡胶弹簧不同组合方式的刚度计算	158
12.3.7	橡胶弹簧的相似法则	159
12.4	橡胶弹簧的设计	159
12.4.1	橡胶弹簧的材料选择	159
12.4.2	橡胶弹簧的形状和结构设计	160
12.4.3	橡胶弹簧的计算示例	161
12.4.4	橡胶弹簧的应用示例	162
12.5	橡胶弹簧的压缩稳定性	163
12.6	橡胶-金属螺旋复合弹簧	164
12.6.1	橡胶-金属螺旋弹簧的结构型式及代号	164
12.6.2	橡胶-金属螺旋弹簧的主要计算公式	165
12.6.3	橡胶-金属螺旋弹簧的选用	165
12.6.4	橡胶-金属螺旋弹簧的应用示例	166

## 第 13 章 空气弹簧

13.1	空气弹簧的特点	167
13.2	空气弹簧的类型和结构	167
13.3	空气弹簧的刚度计算	168
13.3.1	空气弹簧的垂直刚度	168
13.3.2	空气弹簧的横向刚度	169
13.4	空气弹簧的计算示例	171

13.5	空气弹簧的应用示例	171
------	-----------	-----

## 第 14 章 膜片及膜盒

14.1	膜片及膜盒的类型及特性	174
14.2	平膜片的设计计算	175
14.3	波纹膜片的计算公式	178
14.4	膜片的材料	181
14.5	膜片及膜盒的尺寸系列	181
14.6	膜片的应用示例	183

## 第 15 章 压力弹簧管

15.1	压力弹簧管的类型及用途	184
15.2	压力弹簧管的设计计算	185
15.2.1	承受低压的单圈薄壁弹簧管的计算	185
15.2.2	承受高压的单圈厚壁弹簧管的计算	186
15.3	压力弹簧管的材料	186
15.4	压力弹簧管的尺寸系列	187

## 第 16 章 弹簧的疲劳强度

16.1	变应力的类型和特性	188
16.2	弹簧的疲劳失效与疲劳曲线	189
16.3	影响弹簧疲劳强度的因素	191
16.4	弹簧的疲劳试验	192
16.5	弹簧安全系数的计算	194

## 第 17 章 弹簧的失效及预防

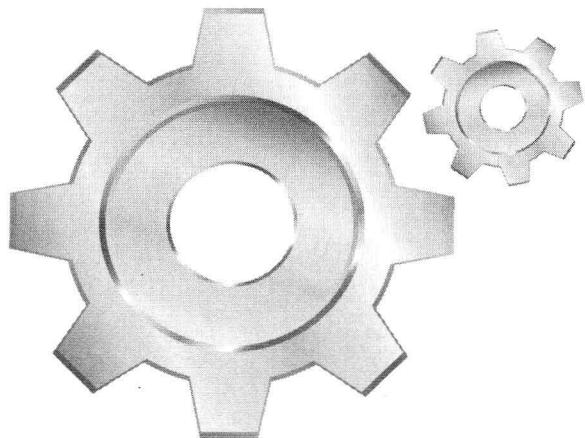
17.1	弹簧失效的定义及危害性	199
17.2	弹簧的失效分析	200
17.3	弹簧的基本失效模式	200
17.4	弹簧疲劳断裂失效及预防	201
17.5	弹簧应力松弛失效及预防	203
17.6	弹簧失效分析及预防案例	204

参考文献	205
------	-----

# 弹簧设计 ◀◀

---

主 编 姜洪源 敖宏瑞  
撰 稿 姜洪源 敖宏瑞 李胜波  
审 稿 陈照波





# 第 1 章 弹簧的基本性能、类型及应用

弹簧是一种机械零件，它利用材料的弹性和结构特点，在外界载荷作用下产生变形，把机械能转变为变形能，或者把变形能转变为机械能或者动能。

## 1.1 弹簧的基本性能

设计弹簧应该考虑弹簧的基本性能：载荷与变形的关系；变形能；自振频率；受迫振动时的频率。

## 1.2 弹簧的类型

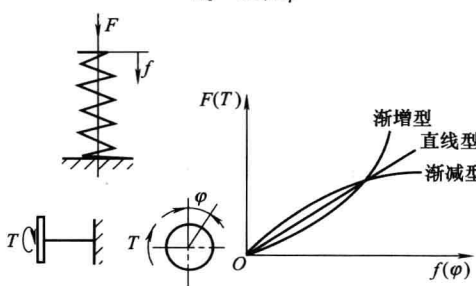
弹簧的种类很多，分类的方法也很多。

按承受的载荷类型分，有拉压弹簧、弯曲弹簧等；按结构形状分，有圆柱螺旋弹簧、非圆柱螺旋弹簧和其他类型弹簧；按材料分，有金属弹簧、非金属的空气弹簧、橡胶弹簧等；按弹簧材料产生的应力类型分，有产生弯曲应力的螺旋扭转弹簧、平面蜗卷弹簧、碟形弹簧、板弹簧、产生扭应力的螺旋拉压弹簧、扭杆弹簧、产生拉压应力的环形弹簧等。

弹簧也可以按照使用条件分类，如用作缓冲或减振的弹簧（动弹簧）和用作承受静载荷的弹簧（静弹簧）；按照特性线的类型，可以分为线性和非线性特性线弹簧。

常用弹簧的类型及其特性见表 1-2。

表 1-1 弹簧的基本性能

性能	说 明
特性线 与刚度	<p>使弹簧产生单位变形 <math>f</math> (角变形 <math>\varphi</math>) 需要的作用力 <math>F</math> (力矩 <math>T</math>) 称为弹簧的刚度 <math>k</math>。在整个变形范围内，弹簧刚度可能是常量，也可能是变量。单位力使弹簧所产生的变形，即刚度的倒数，称为弹簧的柔度</p> <p>弹簧特性线是指载荷与变形之间的关系曲线，见图(a)。弹簧特性线的切线表征其刚度值，即产生单位变形所需的载荷，对于拉伸和压缩弹簧，其刚度为</p> $k = dF/df \quad (1-1a)$ <p>对于扭转弹簧，其刚度为</p> $k_T = dT/d\varphi \quad (1-1b)$  <p>图(a) 弹簧的特性线</p> <p>弹簧的特性线对于设计和选择弹簧的类型起指导性的作用。弹簧刚度为常量时，其特性线为直线。对于弹簧特性线为直线的弹簧，其刚度也常称为弹簧常量或弹性系数。弹簧刚度为变量时，其特性线为曲线。弹簧的特性线可能是直线、凸(凹)曲线，或前述几种特性线的组合(称为组合型特性线)</p> <p>在设计非线性特性线弹簧时，有时需要考虑其静变形</p>
变形能	<p>弹簧变形后储存的能称为弹簧的变形能。在设计缓冲或隔振弹簧时，变形能是弹簧在受载后所吸收和积蓄的能量</p> <p>对于拉伸和压缩，其变形能计算公式为</p> $U = \int_0^f F(f) df \quad (1-2a)$ <p>扭转弹簧的变形能计算公式为</p> $U = \int_0^\varphi T(\varphi) d\varphi \quad (1-2b)$

性能 说 明

当特性线是直线时,变形能的计算式为

$$U = Ff/2 \quad (1-3a)$$

$$U = T\varphi/2 \quad (1-3b)$$

令  $\tau$  或  $\sigma$  为最大工作应力、 $V$  为弹簧材料体积、 $E$  为弹簧材料的弹性模量、 $G$  为弹簧材料的切变模量,各种弹簧变形能的另一种计算公式及其相对比值见下表。可以看出,变形能与模量  $G$  和  $E$  成反比,因此,低的模量对要求大的变形能有利,对弹簧的刚度也有利。在设计弹簧时,为了得到大的变形能,可以提高弹簧材料的体积或者应力,或者两者同时提高

各种弹簧变形能的计算和比值

弹簧类型	拉压杆	悬臂型板弹簧	弓形板弹簧	圆截面螺旋扭转弹簧	矩形截面螺旋扭转弹簧	平面蜗卷弹簧	圆截面螺旋挤压弹簧	方形截面螺旋挤压弹簧	圆截面扭转弹簧	矩形截面螺旋拉压弹簧
计算公式	$K_0 V \sigma^2 / E$						$K_0 V \tau^2 / G$		$K_1 V \tau^2 / (2G)$	
因子 $K_0$	1/2	1/18	1/6	1/8	1/6	1/6	1/4	1/6.5	1/4	—
比值	100	11	33	25	33	33	43	27	43	—

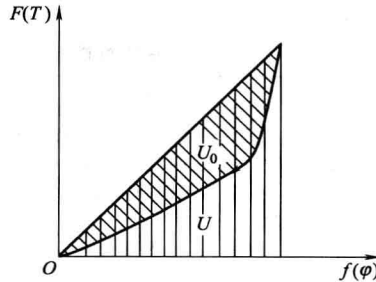
注: 1. 比值按  $G = E/2.6, \tau = 0.577\sigma$  换算。

2. 因子  $K_1$  见表 10-4。

3. 各类弹簧的示意图见表 1-2。

当加载和卸载的特性线不重合时,加载与卸载特性线所包围的面积即为弹簧在工作过程中消耗的能量,见图(b)。

变形能



图(b) 具有能量消耗的弹簧的变形能

弹簧所消耗的能量  $U_0$  与其变形能  $U$  之比称为阻尼系数  $\psi$ , 即

$$\psi = U_0 / U \quad (1-4)$$

评价缓冲弹簧系统效能的参数为弹簧的缓冲效率  $\eta$ , 其计算式为

$$\eta = \frac{mv^2/2}{F_{\max} f_{\max}} \quad (1-5)$$

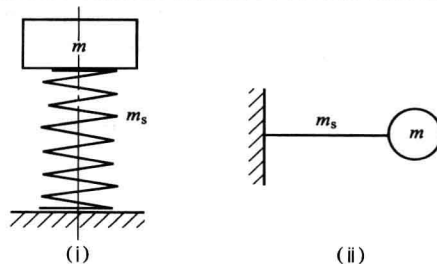
式中,  $m$  为冲击物体的质量;  $v$  为冲击物体与弹簧系统接触时的速度;  $F_{\max}$  为最大冲击载荷;  $f_{\max}$  为缓冲系统的最大变形

固有频率

当弹簧承受振动载荷时,为了检验载荷对弹簧系统的影响,需计算弹簧系统的固有频率。弹簧固有频率的计算公式为

$$\nu = \sqrt{k/m_c} \quad (1-6)$$

式中,  $m_c$  为当量质量,即弹簧本身的质量和弹簧所连接的质量的综合值。如图(c)所示的弹簧系统,其当量质量  $m_c = m + \zeta m_s$ ,  $\zeta$  为质量转化系数,其值由弹簧类型决定,如图(c)(i)所示的系统,  $\zeta = 0.33$ ; 对于图(c)(ii),  $\zeta = 0.23$



图(c) 弹簧振动系统示意图

续表

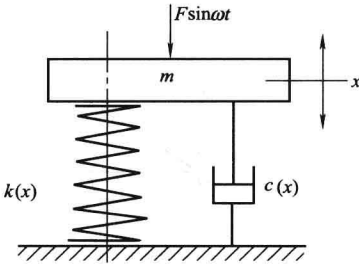
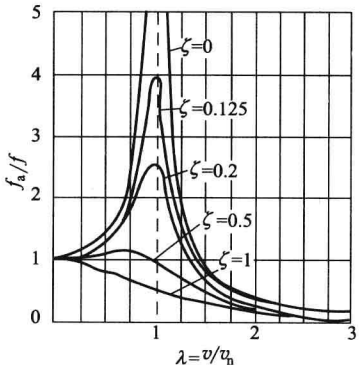
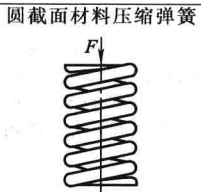
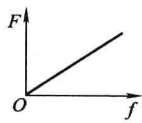
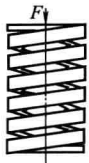
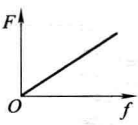

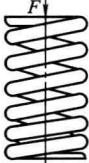
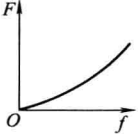

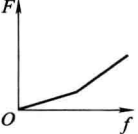

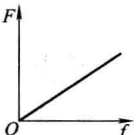
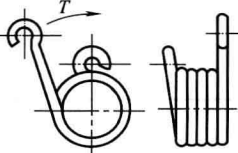
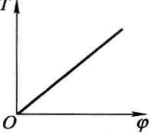
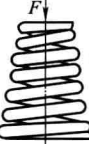
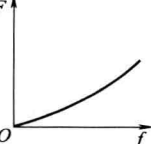
性能	说明
弹簧系统受迫振动时的振幅	图(d)是最简单的单自由度弹簧支承系统。为了检验弹簧减振效果和分析弹簧的受力,当该系统的振动体受到激振力 $F \sin \omega t$ 的作用时,系统将产生受迫振动。该振动的振幅 $A$ 与系统阻尼的大小和选型有关
	
	<p>图(d) 单自由度弹簧支承系统</p>
	当弹簧系统的振动体受到激振力 $F \sin \omega t$ 作用时,或其支承受激振位移 $f \sin \omega t$ 的作用时,其受迫振动可以表示为
	$x = f_a \sin(\omega t - \varphi) \quad (1-7)$
式中, $f_a$ 为受迫振动的振幅; $\varphi$ 为振动体位移与激振函数之间的相位差。	
对于黏性阻尼,设其阻尼力为 $c\dot{x}$ , 振动体在激振力 $F \sin \omega t$ 作用下的振幅为	
$f_a = \frac{f}{\sqrt{(1-\lambda^2)^2 + (2\xi\lambda)^2}} \quad (1-8a)$	
当受到激振位移 $f \sin \omega t$ 的作用时,振动体的绝对振幅为	
$f_a = \frac{f \sqrt{1 + (2\xi\lambda)^2}}{\sqrt{(1-\lambda^2)^2 + (2\xi\lambda)^2}} \quad (1-8b)$	
其中, $\lambda = \omega_r / \omega = v_r / v$ , $\xi = c / c_c$ , $c_c = 2 \sqrt{mF^T}$ , $f$ 为在与激振力振幅相等的静力作用下的系统的静变形, $\lambda$ 为系统频率比, $\omega$ 为系统激振频率, $\omega_r$ 为系统固有频率, $\xi$ 为系统阻尼比, $c_c$ 为系统的临界阻尼	
振幅是 $\lambda$ 和 $\xi$ 的函数,比值 $f_a / f$ 与 $\lambda$ 和 $\xi$ 的关系见图(e)。当 $\lambda \approx 1$ 时,振幅急剧增大,出现共振,在共振区附近,振幅的大小主要取决于阻尼的大小,离共振区愈远,阻尼的作用愈小,当 $\lambda > \sqrt{2}$ 时,振幅小于静变形。这就是防振的理论基础	
	
<p>图(e) 支承系统 <math>f_a/f</math> 与 <math>\lambda</math> 和 <math>\zeta</math> 的关系</p>	

表 1-2

常用弹簧的类型及其特性

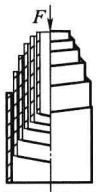
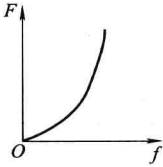
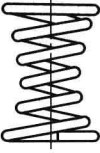
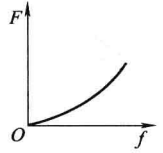

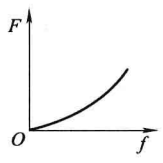
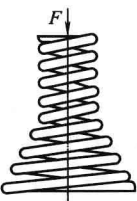
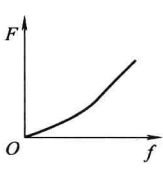
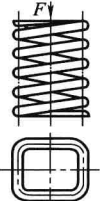
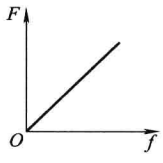
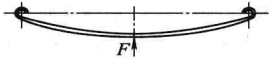
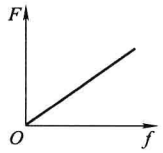
名称	简图	特性线	性能
圆柱螺旋弹簧			特性线呈线性,结构简单,制造方便,应用最广

续表

名称	简 图	特 性 线	性 能
圆柱 螺旋 弹簧	矩形截面材料压缩弹簧 		在所占空间相同时,矩形截面弹簧比圆截面弹簧吸收的能量多,刚度更接近常量
	扁截面材料压缩弹簧 		性能同矩形截面压缩弹簧,但其工艺性和疲劳性能优于矩形截面压缩弹簧
	不等节距螺旋弹簧 		当弹簧压缩到开始有簧圈接触后,特性线变为非线性,刚度及自振频率均为变量,利于消除或缓和共振。可作为变载荷机构的支承或弹性元件
	多股螺旋压缩弹簧 		当载荷达到一定程度后,特性线出现折点。比截面面积相同的普通螺旋弹簧强度高、减震作用大。在武器和航空发动机中常有应用
	圆柱螺旋拉伸弹簧 		结构简单,制造方便,刚度为常量。应用广泛
	扭转弹簧 		主要用于各种装置中压紧和储能
非圆柱 螺旋 弹簧	截锥螺旋弹簧 		当压缩到开始有簧圈接触后,特性线变为非线性,刚度及自振频率均为变量。防共振能力比变节距压缩弹簧强,稳定性好,结构紧凑。多用于承载较大载荷和减震



续表

名称	简 图	特 性 线	性 能
非圆柱螺旋弹簧	截锥蜗卷弹簧 		特性和圆锥压缩弹簧相似,但能吸收更多的能量
	中凹形螺旋弹簧 		特性与圆锥压缩弹簧相似,主要用于床垫等
	中凸形螺旋弹簧 		特性和圆锥压缩弹簧相似
	组合螺旋弹簧 		在需要获得特定的特性线情况下使用
	非圆柱螺旋弹簧 		主要用在外廓尺寸有限的场合。根据外廓空间的要求,簧圈可制成方形、矩形、椭圆形和梯形等
板弹簧	单板弹簧 		缓冲和减振性能好,尤其多板弹簧减振能力强。主要用于汽车、拖拉机和铁道车辆的悬架装置
	多板弹簧 