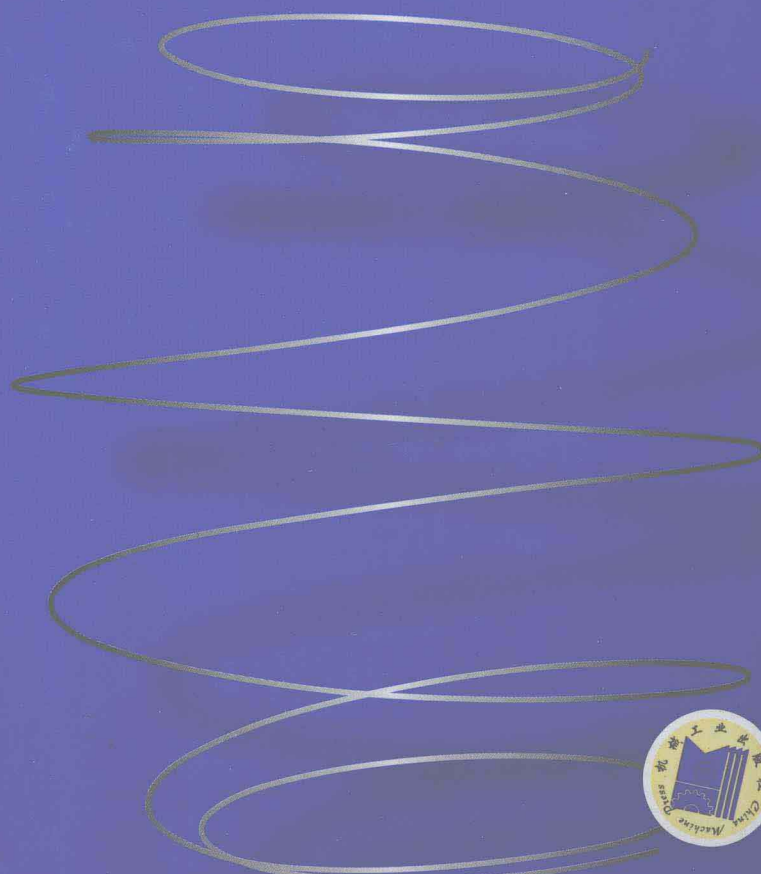


# 弹簧手册

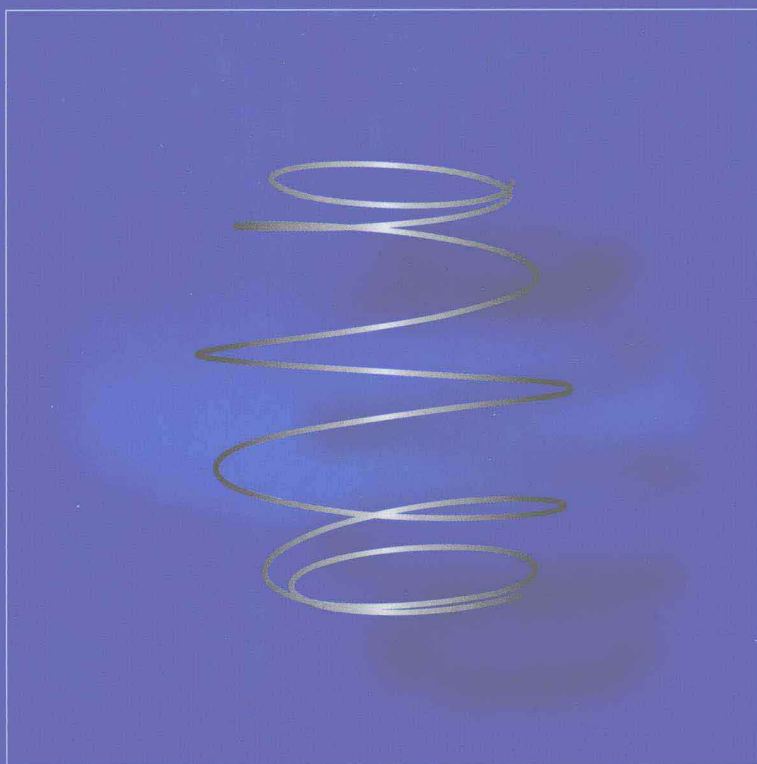
第2版

张英会 刘辉航 王德成 主编



ISBN 978-7-111-24084-6

封面设计 / 电脑制作 / 姚毅



上架指导：工业技术 / 机械工程 / 机械零件

编辑热线：(010)68351729

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037  
联系电话：(010)68326294 网址：<http://www.cmpbook.com> (机工门户网)  
(010)68993821 E-mail: [cmp@cmpbook.com](mailto:cmp@cmpbook.com)  
购书热线：(010)88379639 (010)88379641 (010)88379643

定价：98.00元

ISBN 978-7-111-24084-6



9 787111 240846 >

# 弹 簧 手 册

## 第 2 版

张英会 刘辉航 王德成 主编

|     |     |     |     |     |       |
|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 张英会 | 刘辉航 | 王德成 | 苏德达 | 姜 膺 | 张 俊   |
| 郭荣生 | 郭 斌 | 曹辉荣 | 陆培根 | 舒荣福 | 杨伟明   |
| 蒋欣荣 | 夏 琦 | 余 方 | 刘晶波 | 万文霞 | 马泽民   |
| 蔡茂盛 | 梁 泉 | 章碧鸿 | 周平钢 | 严世平 | 刘翠玲 编 |
| 姜晓炜 | 黄志福 | 吴 明 | 尤伟明 | 王少菊 | 赵志鹏   |
| 包希曾 | 屠世润 | 邵文武 | 孙希发 | 吴 刚 | 贺永义   |
| 赵春伟 | 沈有忠 | 王 卫 | 袁 谦 | 顾鹤龄 | 邱文鹏   |



机 械 工 业 出 版 社

本手册是在 1997 版的基础上进行全面的修订。

在总结近年来国内外有关先进理论和生产技术的基础上,对弹簧的设计方法、材料、加工工艺和检测等各方面进行了较为系统的阐述,以求提高弹簧的设计理论、设计方法和制造水平。本手册共分 26 章。本手册在设计方面以阐述圆柱螺旋弹簧为主,对于国内书刊反映较少的不等节距螺旋弹簧、截锥蜗卷螺旋弹簧、非圆弹簧圈螺旋弹簧、多股螺旋弹簧,以及仪器仪表用膜片膜盒和压力管等弹性元件都进行了较为深入的分析和介绍。尤其对应用日益广泛的橡胶弹簧和空气弹簧也作了较详细的阐述。

本手册系统地介绍了弹簧用材料的标准、性能及其工艺性,从而加强了选择材料的意识。对弹簧的制造方法、热处理工艺和检测等实践性强的内容,在总结经验的基础上,加以理论分析,使其更具有指导性。本次修订还增加了弹簧失效分析及预防一章,以期提高业内相关人员对弹簧失效分析的能力。

本手册可为各行业设计、制造和使用弹簧的工程技术人员和工人提供基础理论、数据和标准规范等,也可供机械专业的研究人员和师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

弹簧手册/张英会,刘辉航,王德成主编. —2 版. —北京:机械工业出版社,2008.7

ISBN 978 - 7 - 111 - 24084 - 6

I. 弹… II. ①张…②刘…③王… III. 弹簧 - 手册 IV. TH135-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 064964 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:沈 红 责任校对:陈延翔

封面设计:姚 毅 责任印制:李 妍

北京蓝海印刷有限公司印刷

2008 年 8 月第 2 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 44.25 印张 · 2 插页 · 1098 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 24084 - 6

定价:98.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)68351729

封面无防伪标均为盗版

## 《弹簧手册》第2版编委会成员

- |     |                            |                  |               |
|-----|----------------------------|------------------|---------------|
| 主任  | 张英会                        | 北京科技大学           | 教授            |
| 副主任 | 刘辉航                        | 中国人民解放军1001工厂    | 副厂长 研究员级高级工程师 |
|     | 王德成                        | 机械科学研究院          | 副院长 研究员级高级工程师 |
| 委员  | 苏德达                        | 天津大学             | 教授            |
|     | 姜 膺                        | 机械科学研究院          | 高级工程师         |
|     | 杨建华                        | 中钢集团郑州金属制品研究院    | 院长            |
|     | 邹定伟                        | 上海中国弹簧制造有限公司     | 总经理           |
|     | 马友芳                        | 常州市铭锦弹簧股份有限公司    | 总经理           |
|     | 杨伟明                        | 广州华德汽车弹簧股份有限公司   | 副总经理          |
|     | 胡家驊                        | 扬州弹簧有限公司         | 董事长           |
|     | 李小平                        | 立洲集团控股有限公司       | 董事长           |
|     | 章碧鸿                        | 浙江美力弹簧有限公司       | 总经理           |
|     | 李和平                        | 杭州市弹簧有限公司        | 董事长           |
|     | 邵承玉                        | 杭州市富春/兴发弹簧股份有限公司 | 总经理           |
|     | 张涌森                        | 钱江弹簧有限公司         | 总经理           |
|     | 尤惠兴                        | 无锡丰力弹簧有限公司       | 总经理           |
|     | 张 健                        | 无锡泽根弹簧股份有限公司     | 总经理           |
|     | 押平新                        | 洛阳机床有限责任公司       | 董事长           |
|     | 郭荣生                        | 青岛四方车辆研究所        | 研究员           |
|     | 周 伟                        | 桂林瑞特试验机有限公司      | 总经理           |
|     | 侯丕赞                        | 河南省中威金属制品有限公司    | 总经理           |
|     | 沈子建                        | 上海核工碟形弹簧制造有限公司   | 副总经理          |
|     | 俞明华                        | 扬州核威碟形弹簧制造有限公司   | 董事长           |
| 刘 利 | 888 弹簧网 (www.888th.com.cn) | 总经理              |               |

## 第2版前言

弹簧手册的渊源要追溯到1980年机械工业出版社出版的《机械工程手册》第30篇(弹簧、飞轮),之后经过内容扩编于1982年由机械工业出版社出版单行本《弹簧》一书,书中将作者们的研究成果汇入其中,成为一本较为完整的论述弹簧方面的书籍,再后来,为了适应弹簧行业的发展,于1997年将此书修订成为《弹簧手册》,仍由机械工业出版社出版。

自《机械工程手册》问世之后二十几年,承蒙各界同行的关怀,为弹簧行业作出了一定的贡献。尤其《弹簧手册》出版后,为了满足同行的需求先后五次印刷达到上万册之多。《弹簧手册》已经历了十年,在这十年内,弹簧技术在材料、设计、制造和设备等各方面都有不同程度的发展,为了适应当前技术要求,经出版社和作者商定进行修订再版,现在与读者见面的是《弹簧手册》第2版。

根据目前弹簧技术的发展情况,以及作者们近年来研究和实践成果,在第2版中对原版的内容作了如下调整和修订:

1) 核对了弹簧的标准,按最新标准更新了相关内容,并增加了国外重要工业国的弹簧标准号,以便参考。

2) 近年来弹簧材料的品种和质量都有很大的发展,材料的发展也促进了弹簧技术的发展。为了反映这方面的技术,在材料章节中作了较为详细的介绍,对于常用的材料如碳素弹簧钢丝、油淬火回火弹簧钢丝,在介绍其性能的基础上,对其制作工艺也进行了简单阐述,以便读者加深理解,正确选择材料。另一方面,我国的琴钢丝标准已作废,由重要用途碳素弹簧钢丝标准所取代,但由于过去其应用范围较广,故仍保留其内容,以便参考。

3) 为了便于制造企业的操作,加强了制造部分内容,如制造设备、热处理和表面处理等章节均扩充了内容,作了较为详细的阐述,以期能起到实际操作的指导作用。

4) 随着科学技术的发展,对弹簧的要求,不论是在品种方面,还是在技术方面不断增加。为了在这方面有所反映,在本版修订中对一些典型的应用作了一定程度的介绍,如圆柱波纹弹簧、稳定杆和蛇形弹簧等。

5) 鉴于目前弹簧的失效情况,特请天津大学弹簧失效分析专家苏德达教授撰写了弹簧的失效及预防一章,以提高业内相关人员对弹簧失效分析的能力。

在这次修订过程中,为了确保修订手册的质量,吸收了一些有实践经验的技术人员参与,并由有影响的一些技术人员和企业主管组成编辑委员会,为保证手册修订质量起到了积极的作用。

在此对于未参加此次修订的原手册作者表示敬意。

本手册中缺点、错误在所难免,欢迎读者提出宝贵意见和建议。

在此次修订过程中,在人力和物质方面,得到了各有关方面的大力协助,特别是常州市铭锦弹簧有限公司总经理马友芳为了促成手册的修订,在人力和物质方面均给予了大力援助,在此感谢。

北京科技大学机械工程学院 教授

中国机械工程学会弹性装置专业委员会 主任

张英会

中国人民解放军1001工厂 副厂长 研究员级高级工程师

中国机械工程学会弹性装置专业委员会 副主任兼秘书长

中国机械工程学会弹簧失效分析及预防专业委员会 副主任兼秘书长

刘辉航

机械科学研究院副院长 研究员

全国弹簧标准技术委员会 主任

王德成

2008年2月

# 第 1 版前言

弹簧及弹性元件广泛应用于机械、仪表、电器、交通运输工具以及日常生活器具等行业，是一个涉及面比较大的基础零件。近年来，随着科学技术的发展，国内外在弹簧的研究和生产技术方面都有不同程度的发展。本手册在总结国内外有关先进理论和生产技术的基础上，对弹簧的设计方法、材料、加工工艺和检测等进行了较为系统的阐述，以求提高弹簧的设计理论、方法和制造水平。

弹簧应用广泛，类型繁多，而且新的类型不断出现。本手册以阐述普通圆柱螺旋弹簧为主，对于国内书刊反映较少的不等节距螺旋弹簧、截锥涡卷螺旋弹簧、非圆弹簧圈螺旋弹簧、多股螺旋弹簧，以及仪器仪表用膜片膜盒和压力管等弹性元部件都进行了比较深入的分析介绍。尤其对应用日益广泛的橡胶弹簧和空气弹簧也做了较详细的阐述，一方面介绍它们的性能和设计方法，另一方面也起到推广的作用。

本手册从基本理论出发，对主要弹簧的设计计算方法做了比较系统的分析和推导，以期能使设计人员对其有比较全面系统的了解，从而达到正确和灵活运用这些方法的目的。另外，对于一些弹簧的设计计算方法进行了研究和完善，如不等节距弹簧、非圆弹簧圈弹簧、扁截面螺旋弹簧和弹簧的疲劳强度等的设计计算公式，就是在综合归纳的基础上进一步完善而推导出来的，经过这些年的多方验证是可行的。为了便于计算，还绘制了一些计算用图。

此外，本手册系统地介绍了弹簧用材料的标准、性能及其工艺性，从而加强了选择材料种类的意识。对弹簧的制造方法、热处理工艺和检测等实践性强的内容，在总结经验的基础上，加上理论分析，使其更具有指导性。

参加本手册编写的人员有：北京科技大学张英会、夏琦、马凤英；中国人民解放军 1001 厂刘辉航、王文霞；机械工业部机械科学研究院王德成、张新兰、姜膺、余方；青岛四方车辆研究所郭荣生；西安昆仑机械厂包希曾；齐齐哈尔卫东机械制造厂孙守贤；张家港第二弹簧厂陆培根、周平钢；扬州西湖弹簧厂郭斌。手册在编写过程中，得到了中国机械工程学会中国弹簧技术学组、失效分析分会弹簧失效及预防委员会、中国人民解放军 1001 厂、机械工业部机械科学研究院等领导的大力支持。中国弹簧技术学组成员肖椿霖、苏德达、崔俊山、万桂香、陶国贤、李亚青等同志也给予了多方面支持。同时，手册编写得到了中国人民解放军 1001 强力弹簧研究所的具体协助。在此对上述单位和同志们表示衷心感谢。

本手册是参照机械工业出版社 1982 年出版的《弹簧》一书和 1996 年出版的《机械工程手册·机械零部件设计卷》中的弹簧、飞轮篇编的，对于未参加本手册编写的原两书作者表示谢意。

本手册稿经北京理工大学丁法乾教授审校，提出了很多宝贵意见，使原稿得到了进一步完善，在此表示深切谢意。

本手册缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

中国弹簧技术学组组长 张英会 教授  
中国弹簧技术学组秘书长 刘辉航 研究员级高级工程师  
中国弹簧技术学组成员 王德成 高级工程师

1996 年 12 月

## 弹簧常用符号和单位

|  |   |
|--|---|
| $A$ ——弹簧材料截面面积 ( $\text{mm}^2$ )                                 | $n_1$ ——弹簧的总圈数  |
| $b$ ——高径比<br>矩形截面的宽度 ( $\text{mm}$ )                             | $p'$ ——弹簧单圈的刚度 ( $\text{N}/\text{mm}$ )   |
| $C$ ——旋绕比  | $R$ ——弹簧圈的中半径 ( $\text{mm}$ )   |
| $D$ ——弹簧中径 ( $\text{mm}$ )                                       | $R_1$ ——弹簧圈的内半径 ( $\text{mm}$ )   |
| $D_1$ ——弹簧内径 ( $\text{mm}$ )                                     | $R_2$ ——弹簧圈的外半径 ( $\text{mm}$ )   |
| $D_2$ ——弹簧外径 ( $\text{mm}$ )                                     | $S$ ——安全系数  |
| $E$ ——弹性模量 ( $\text{MPa}$ )                                      | $T$ ——扭矩 ( $\text{N} \cdot \text{mm}$ )<br>扭矩 ( $\text{N} \cdot \text{mm}$ )                  |
| $F$ ——弹簧的载荷 ( $\text{N}$ )                                       | $T'$ ——扭转刚度 ( $\text{N} \cdot \text{mm}/(^{\circ})$ 或 $\text{N} \cdot \text{mm}/\text{rad}$ ) |
| $F'$ ——弹簧的刚度 ( $\text{N}/\text{mm}$ )                            | $t$ ——弹簧的节距 ( $\text{mm}$ )   |
| $F_0$ ——圆柱拉伸弹簧的初拉力 ( $\text{N}$ )                                | $U$ ——变形能 ( $\text{N} \cdot \text{mm}$ , $\text{N} \cdot \text{mm} \cdot \text{rad}$ )        |
| $F_r$ ——弹簧的径向载荷 ( $\text{N}$ )                                   | $V$ ——弹簧的体积 ( $\text{mm}^3$ )   |
| $F'_r$ ——弹簧的径向刚度 ( $\text{N}/\text{mm}$ )                        | $v$ ——冲击体的速度 ( $\text{mm}/\text{s}$ )   |
| $F_s$ ——弹簧的试验载荷 ( $\text{N}$ )                                   | $Z_m$ ——抗弯截面系数 ( $\text{mm}^3$ )  |
| $f$ ——弹簧的变形量 ( $\text{mm}$ )                                     | $Z_t$ ——抗扭截面系数 ( $\text{mm}^3$ )  |
| $f_r$ ——弹簧的径向变形量 ( $\text{mm}$ )                                 | $\alpha$ ——螺旋角 ( $^{\circ}$ )   |
| $f_s$ ——试验载荷下弹簧的变形量 ( $\text{mm}$ )<br>弹簧的线性静变形量 ( $\text{mm}$ ) | $\delta$ ——弹簧圈的轴向间隙 ( $\text{mm}$ )   |
| $G$ ——切变模量 ( $\text{MPa}$ )                                      | $\delta_r$ ——组合弹簧圈的径向间隙 ( $\text{mm}$ )   |
| $g$ ——重力加速度, $g = 9800\text{mm}/\text{s}^2$                      | $\xi$ ——系数  |
| $H$ ——弹簧的工作高 (长) 度 ( $\text{mm}$ )                               | $\eta$ ——系数   |
| $H_0$ ——弹簧的自由高 (长) 度 ( $\text{mm}$ )                             | $\theta$ ——扭杆单位长度的扭转角 ( $^{\circ}$ 或 $\text{rad}$ )   |
| $H_s$ ——弹簧试验载荷下的高 (长) 度 ( $\text{mm}$ )                          | $\mu$ ——泊松比<br>长度系数   |
| $h$ ——碟形弹簧的内截锥高度 ( $\text{mm}$ )<br>矩形截面的厚度 ( $\text{mm}$ )      | $\nu$ ——弹簧的自振频率 ( $\text{Hz}$ )   |
| $I$ ——惯性矩 ( $\text{mm}^4$ )                                      | $\nu_r$ ——弹簧所受变载荷的激励频率 ( $\text{Hz}$ )  |
| $I_p$ ——极惯性矩 ( $\text{mm}^4$ )                                   | $\rho$ ——材料的密度 ( $\text{kg}/\text{mm}^3$ )  |
| $K$ ——曲度系数<br>系数   | $\sigma$ ——弹簧工作时的正应力 ( $\text{MPa}$ )   |
| $K_t$ ——温度修正系数   | $\sigma_b$ ——材料的抗拉强度 ( $\text{MPa}$ )   |
| $k$ ——系数   | $\sigma_j$ ——弹簧的工作极限应力 ( $\text{MPa}$ )   |
| $L$ ——弹簧材料的展开长度 ( $\text{mm}$ )                                  | $\sigma_s$ ——材料的抗拉屈服点 ( $\text{MPa}$ )  |
| $M$ ——弯曲力矩 ( $\text{N} \cdot \text{mm}$ )                        | $\tau$ ——弹簧工作时的切应力 ( $\text{MPa}$ )   |
| $m$ ——作用于弹簧上物体的质量 ( $\text{kg}$ )                                | $\tau_b$ ——材料的抗剪强度 ( $\text{MPa}$ )   |
| $m_s$ ——弹簧的质量 ( $\text{kg}$ )                                    | $\tau_j$ ——材料的工作极限切应力 ( $\text{MPa}$ )  |
| $N$ ——变载荷循环次数  | $\tau_o$ ——材料的脉动扭转疲劳极限 ( $\text{MPa}$ )   |
| $n$ ——弹簧的工作圈数  | $\tau_s$ ——材料的抗扭屈服点 ( $\text{MPa}$ )  |
| $n_2$ ——弹簧的支承圈数  | $\tau_{-1}$ ——材料的对称循环扭转疲劳极限 ( $\text{MPa}$ )  |
|  | $\varphi$ ——扭转变形角 ( $^{\circ}$ 或 $\text{rad}$ )   |



# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第 2 版前言                |    |
| 第 1 版前言                |    |
| 弹簧常用符号和单位              |    |
| 第 1 章 总论               | 1  |
| 1 弹簧的基本性能              | 1  |
| 1.1 弹簧的特性线和刚度          | 1  |
| 1.2 弹簧的变形能             | 2  |
| 1.3 弹簧的自振频率            | 4  |
| 1.4 弹簧系统受迫振动的振幅        | 5  |
| 2 弹簧的类型                | 6  |
| 2.1 圆柱螺旋弹簧             | 6  |
| 2.2 非圆柱螺旋弹簧            | 8  |
| 2.3 其他类型弹簧             | 10 |
| 3 弹簧技术发展现状             | 14 |
| 3.1 弹簧设计的发展            | 15 |
| 3.2 弹簧材料的发展            | 16 |
| 3.3 弹簧加工技术的发展          | 18 |
| 3.4 弹簧的强化工艺技术          | 19 |
| 3.5 弹簧的表面保护工艺          | 20 |
| 4 我国弹簧的标准化             | 20 |
| 5 国外弹簧标准化              | 22 |
| 第 2 章 弹簧的材料            | 26 |
| 1 概述                   | 26 |
| 1.1 常用弹簧金属材料的技术标准      | 26 |
| 1.2 常用弹簧金属材料的基本力学性能    | 31 |
| 2 弹簧钢                  | 34 |
| 2.1 弹簧钢的牌号和性能          | 36 |
| 2.2 超纯净弹簧钢             | 40 |
| 2.3 弹簧用不锈钢             | 41 |
| 3 热轧弹簧线材和型材            | 41 |
| 3.1 热轧弹簧圆钢             | 41 |
| 3.2 热轧弹簧扁钢             | 41 |
| 3.3 热轧梯形弹簧钢            | 43 |
| 4 冷拔弹簧线材和型材            | 44 |
| 4.1 非机械弹簧用碳素弹簧钢丝       | 45 |
| 4.2 碳素弹簧钢丝             | 46 |
| 4.3 重要用途碳素弹簧钢丝         | 48 |
| 4.4 琴钢丝                | 51 |
| 4.5 特殊用途碳素弹簧钢丝         | 53 |
| 4.6 合金弹簧钢丝             | 53 |
| 4.7 阀门用铬钒弹簧钢丝          | 56 |
| 4.8 镀锌碳素弹簧钢丝           | 57 |
| 4.9 弹簧垫圈用梯形钢丝          | 57 |
| 5 油淬火回火弹簧钢丝和感应淬火回火弹簧线材 | 59 |
| 5.1 油淬火回火弹簧钢丝          | 59 |
| 5.2 内燃机用扁钢丝            | 64 |
| 5.3 渗氮型阀门用铬硅合金油淬火回火钢丝  | 65 |
| 5.4 模具弹簧用热处理线材         | 66 |
| 6 弹簧钢钢带                | 66 |
| 6.1 弹簧钢、工具钢冷轧钢带        | 66 |
| 6.2 热处理弹簧钢带            | 69 |
| 7 弹簧用不锈钢冷拔钢丝和冷轧钢带      | 72 |
| 7.1 弹簧用不锈钢冷拔钢丝         | 72 |
| 7.2 弹簧用不锈钢冷轧钢带         | 74 |
| 8 弹簧用弹性合金材料            | 79 |
| 8.1 高弹性合金              | 79 |
| 8.2 弹性元件用合金            | 79 |
| 9 弹簧用铜合金及镍合金           | 81 |
| 9.1 青铜线                | 83 |
| 9.2 白铜线                | 83 |
| 9.3 铍青铜线               | 84 |
| 9.4 镍铜合金线              | 84 |
| 9.5 镍线                 | 85 |
| 9.6 铝青铜带               | 85 |
| 9.7 锡青铜带               | 86 |
| 9.8 铝白铜带               | 87 |
| 9.9 锌白铜带               | 88 |
| 9.10 镍及镍合金带            | 88 |
| 10 弹簧用其他特殊合金材料         | 88 |
| 10.1 高速工具钢丝            | 88 |
| 10.2 耐高温弹性合金           | 89 |

|                                     |            |                                      |            |
|-------------------------------------|------------|--------------------------------------|------------|
| 10.3 耐低温弹簧用镍合金 .....                | 90         | 10.2 自动数控弹簧成形机 .....                 | 131        |
| 10.4 金属陶瓷材料 .....                   | 90         | 11 弹簧加工的工艺装置 .....                   | 133        |
| 10.5 记忆合金材料 .....                   | 90         | 11.1 弹簧工艺装置的设计方法和<br>步骤 .....        | 133        |
| 11 非金属弹簧材料 .....                    | 91         | 11.2 弹簧工艺装置的设计注意事项和<br>技术参数 .....    | 134        |
| 11.1 聚氨酯类 .....                     | 91         | 11.3 弹簧典型工艺装置示例 .....                | 135        |
| 11.2 橡胶类 .....                      | 91         | <b>第4章 热成形螺旋压缩弹簧的制造<br/>技术 .....</b> | <b>144</b> |
| 11.3 塑料类 .....                      | 93         | 1 热成形压缩弹簧的端部结构<br>形式 .....           | 144        |
| 11.4 碳纤维等特种材料 .....                 | 97         | 2 坯料准备 .....                         | 145        |
| 12 弹簧材料选择的原则 .....                  | 97         | 2.1 坯料长度的估算 .....                    | 145        |
| 12.1 弹簧材料选择的基本原则 .....              | 97         | 2.2 坯料切断方法 .....                     | 145        |
| 12.2 弹簧材料选择的依据 .....                | 97         | 3 端部制扁 .....                         | 146        |
| 12.3 弹簧材料选择常用方法和参考<br>资料 .....      | 98         | 3.1 扁端形状和尺寸 .....                    | 146        |
| <b>第3章 冷成形螺旋弹簧的制造技术 ..</b>          | <b>109</b> | 3.2 制扁的加热 .....                      | 148        |
| 1 概述 .....                          | 109        | 3.3 制扁方法 .....                       | 148        |
| 1.1 弹簧制造业的类型 .....                  | 109        | 3.4 制扁缺陷 .....                       | 150        |
| 1.2 弹簧制造工艺卡的编制 .....                | 109        | 4 卷制前加热 .....                        | 151        |
| 1.3 冷成形弹簧的制造 .....                  | 111        | 5 弹簧坯料的加热装置 .....                    | 153        |
| 2 冷成形弹簧的常用材料 .....                  | 112        | 6 弹簧的卷制 .....                        | 155        |
| 3 冷成形弹簧的制造工艺 .....                  | 112        | 6.1 弹簧的卷制方法和卷制设备 .....               | 155        |
| 4 有心轴卷制弹簧 .....                     | 113        | 6.2 卷簧心轴和预制高度的确定 .....               | 158        |
| 4.1 心轴直径的计算 .....                   | 113        | 7 弹簧端面加工与磨削设备 .....                  | 159        |
| 4.2 影响有心轴卷制弹簧尺寸精度的<br>因素 .....      | 114        | 8 弹簧卷制的缺陷及其预防 .....                  | 161        |
| 4.3 圆柱螺旋压缩弹簧的有心卷制 .....             | 116        | <b>第5章 弹簧的热处理和强化处理 .....</b>         | <b>168</b> |
| 4.4 圆柱螺旋拉伸弹簧的有心卷制 .....             | 117        | 1 弹簧的热处理工艺 .....                     | 168        |
| 4.5 圆柱螺旋扭转弹簧的有心卷制 .....             | 117        | 1.1 弹簧的去应力退火（俗称定型<br>回火） .....       | 168        |
| 4.6 圆锥、中凸和中凹形等变径螺旋<br>弹簧的有心卷制 ..... | 118        | 1.2 弹簧的淬火和回火 .....                   | 169        |
| 5 自动卷簧机卷制弹簧（无心轴<br>卷制弹簧） .....      | 119        | 1.3 弹簧的时效强化处理 .....                  | 173        |
| 5.1 自动卷簧机工作原理 .....                 | 119        | 1.4 弹簧的热处理设备 .....                   | 174        |
| 5.2 自动卷簧机的缺点 .....                  | 122        | 1.5 碳素弹簧钢的热处理 .....                  | 176        |
| 6 自动数控卷簧机 .....                     | 123        | 1.6 合金弹簧钢的热处理 .....                  | 177        |
| 7 弹簧的去应力退火 .....                    | 125        | 1.7 不锈钢的热处理 .....                    | 179        |
| 8 弹簧的端面磨削 .....                     | 126        | 1.8 铜合金的热处理 .....                    | 180        |
| 8.1 弹簧端面磨床及磨簧工艺 .....               | 127        | 1.9 高温弹性合金和钛合金的热处理 ..                | 181        |
| 8.2 弹簧端面磨削注意事项 .....                | 129        | 1.10 弹簧的其他热处理 .....                  | 182        |
| 9 弹簧的校正工艺 .....                     | 129        | 2 弹簧的立定（稳定化）处理 .....                 | 183        |
| 10 螺旋拉伸和扭转弹簧的制造 .....               | 130        | 3 弹簧的强压处理 .....                      | 184        |
| 10.1 半机械半手工制作 .....                 | 130        |                                      |            |

|                               |            |                                 |            |
|-------------------------------|------------|---------------------------------|------------|
| 4 弹簧的喷丸处理 .....               | 186        | 2.4 弹簧材料化学成分的检验 .....           | 216        |
| 4.1 喷丸的类型 .....               | 187        | 3 弹簧的检测 .....                   | 216        |
| 4.2 弹丸 .....                  | 189        | 3.1 弹簧尺寸的检测 .....               | 216        |
| 4.3 喷丸设备 .....                | 191        | 3.2 圆柱螺旋弹簧特性的检测 .....           | 224        |
| 4.4 喷丸技术要求 .....              | 191        | 3.3 弹簧外观检测 .....                | 231        |
| <b>第6章 弹簧表面的处理 .....</b>      | <b>193</b> | 3.4 弹簧磨削端面表面粗糙度检测 .....         | 231        |
| 1 概述 .....                    | 193        | 3.5 弹簧热处理和表面处理质量的<br>检测 .....   | 232        |
| 2 弹簧表面的预处理 .....              | 194        | 3.6 弹簧喷丸质量的检测 .....             | 235        |
| 2.1 弹簧表面的去油和去锈处理 .....        | 194        | 3.7 弹簧的无损检测 .....               | 240        |
| 2.2 弹簧表面的去铜处理 .....           | 198        | 3.8 弹簧清洁度检测 .....               | 244        |
| 3 弹簧表面的氧化处理 .....             | 198        | 3.9 弹簧残余应力检测 .....              | 245        |
| 3.1 氧化处理溶液的配方和配制 .....        | 198        | 4 弹簧试验 .....                    | 245        |
| 3.2 弹簧表面碱性氧化处理的工艺<br>规范 ..... | 199        | 4.1 弹簧疲劳和松弛试验 .....             | 245        |
| 3.3 弹簧表面氧化处理常见问题的<br>分析 ..... | 200        | 4.2 圆柱螺旋弹簧立定及永久变形的<br>试验 .....  | 247        |
| 3.4 弹簧表面的常温氧化处理 .....         | 201        | 4.3 弹簧振动试验 .....                | 248        |
| 3.5 弹簧表面氧化处理的质量检验 .....       | 202        | 4.4 弹簧的冲击试验 .....               | 248        |
| 4 弹簧表面的磷化处理 .....             | 202        | <b>第8章 弹簧的疲劳强度 .....</b>        | <b>249</b> |
| 4.1 磷化溶液的配方、配制及调整 .....       | 203        | 1 变应力的类型和特性 .....               | 249        |
| 4.2 弹簧表面磷化处理的工艺规范 .....       | 204        | 2 弹簧的疲劳失效 .....                 | 251        |
| 4.3 弹簧表面磷化处理常见问题的<br>分析 ..... | 205        | 3 疲劳曲线 (S-N 曲线) .....           | 253        |
| 4.4 弹簧表面磷化膜的质量检验 .....        | 205        | 4 影响弹簧疲劳强度的因素 .....             | 254        |
| 5 弹簧表面的金属防护 .....             | 206        | 5 弹簧的疲劳试验 .....                 | 255        |
| 5.1 弹簧表面常用电镀层的性质 .....        | 206        | 6 疲劳试验数据的处理 .....               | 258        |
| 5.2 弹簧表面电镀锌工艺规范 .....         | 206        | 7 极限应力图及其绘制方法 .....             | 266        |
| 5.3 去氢和钝化处理 .....             | 207        | 8 弹簧安全系数的计算 .....               | 271        |
| 5.4 锌铬涂层 (达克罗) 工艺规范 .....     | 208        | 9 受稳定变应力螺旋压缩弹簧的<br>最佳设计原则 ..... | 272        |
| 6 弹簧表面的非金属防护层 .....           | 208        | 10 受不稳定变应力弹簧的计算<br>准则 .....     | 273        |
| 6.1 弹簧表面用油漆的种类 .....          | 208        | 11 断裂力学在弹簧设计中的应用<br>简介 .....    | 276        |
| 6.2 弹簧表面油漆的方法 .....           | 209        | <b>第9章 圆柱螺旋弹簧的基本理论 .....</b>    | <b>280</b> |
| 6.3 弹簧表面常用的浸漆工艺 .....         | 209        | 1 圆柱螺旋弹簧的几何参数 .....             | 280        |
| 7 弹簧表面的光饰 (整) 处理 .....        | 210        | 2 圆柱螺旋弹簧的受力分析 .....             | 281        |
| 8 弹簧表面处理的质量检验 .....           | 210        | 3 圆柱螺旋弹簧的应力分析 .....             | 284        |
| <b>第7章 弹簧的检测和试验 .....</b>     | <b>212</b> | 4 圆柱螺旋弹簧的变形分析 .....             | 287        |
| 1 概述 .....                    | 212        | 5 圆柱螺旋弹簧的稳定性 .....              | 296        |
| 2 弹簧材料的检验 .....               | 213        | 5.1 圆柱螺旋压缩弹簧的稳定性 .....          | 296        |
| 2.1 弹簧材料表面质量的检验 .....         | 213        |                                 |            |
| 2.2 弹簧材料力学性能的检验 .....         | 214        |                                 |            |
| 2.3 弹簧材料金相组织的检验 .....         | 215        |                                 |            |

|   |     |                                  |     |
|---|-----|----------------------------------|-----|
| 5.2 圆柱螺旋扭转弹簧的稳定性 .....                            | 300 | 计算 .....                         | 336 |
| 6 圆柱螺旋弹簧的自振频率 .....                               | 302 | 9 受轴向和径向载荷作用的圆柱螺旋压缩弹簧的设计计算 ..... | 337 |
| 7 弹簧受冲击载荷作用时的应力和变形分析 .....                        | 306 | 9.1 螺旋弹簧的径向刚度 .....              | 337 |
| <b>第 10 章 圆柱螺旋压缩弹簧</b> .....                      | 309 | 9.2 螺旋弹簧的径向稳定性 .....             | 338 |
| 1 圆柱螺旋压缩弹簧的特性 .....                               | 309 | 9.3 螺旋弹簧的切应力 .....               | 338 |
| 2 圆柱螺旋压缩弹簧的结构 .....                               | 310 | 10 圆柱组合螺旋压缩弹簧的设计计算 .....         | 339 |
| 2.1 圆柱螺旋压缩弹簧的结构形式和参数计算 .....                      | 310 | 10.1 等变形并列式组合压缩弹簧 .....          | 339 |
| 2.2 圆柱螺旋压缩弹簧的典型图样 .....                           | 313 | 10.2 不等变形并列式组合压缩弹簧 .....         | 341 |
| 3 圆柱螺旋压缩和拉伸弹簧的许用应力 .....                          | 314 | 10.3 直列式组合压缩弹簧 .....             | 343 |
| 4 圆柱螺旋压缩弹簧的设计计算 .....                             | 316 | 11 圆柱螺旋弹簧的优化设计计算 .....           | 344 |
| 4.1 圆柱螺旋压缩弹簧的基本计算公式 .....                         | 316 | 12 圆柱螺旋弹簧的可靠性设计计算 .....          | 348 |
| 4.2 圆形截面材料的圆柱螺旋压缩弹簧 .....                         | 316 | 12.1 弹簧的概率设计 .....               | 349 |
| 4.3 矩形截面材料的圆柱螺旋压缩弹簧 .....                         | 317 | 12.2 可靠性设计中的均值和标准离差 .....        | 350 |
| 4.4 方形截面材料的圆柱螺旋压缩弹簧 .....                         | 320 | 13 圆柱螺旋压缩弹簧的调整结构 .....           | 353 |
| 4.5 扁形截面材料的圆柱螺旋压缩弹簧 .....                         | 320 | <b>第 11 章 圆柱螺旋拉伸弹簧</b> .....     | 371 |
| 4.6 圆柱螺旋压缩弹簧的计算公式 .....                           | 321 | 1 圆柱螺旋拉伸弹簧的特性 .....              | 371 |
| 5 圆柱螺旋压缩弹簧的设计计算方法 .....                           | 322 | 2 圆柱螺旋拉伸弹簧的结构设计 .....            | 372 |
| 5.1 应用基本公式设计计算方法 .....                            | 322 | 3 圆柱螺旋拉伸弹簧的设计计算 .....            | 375 |
| 5.2 弹簧直径 $D$ (或 $D_1$ 、 $D_2$ ) 为定值时的设计计算方法 ..... | 325 | 4 圆柱螺旋拉伸弹簧的拉力调整结构 .....          | 377 |
| 5.3 弹簧为最小质量、或最小体积、或最小自由高度的设计计算方法 .....            | 326 | <b>第 12 章 圆柱螺旋扭转弹簧</b> .....     | 386 |
| 5.4 弹簧的图解设计方法 .....                               | 327 | 1 圆柱螺旋扭转弹簧的特性 .....              | 386 |
| 5.5 矩形和圆形截面材料压缩弹簧的比较选择计算方法 .....                  | 330 | 1.1 扭转弹簧的基本几何参数和特性 .....         | 386 |
| 6 大螺旋角圆柱螺旋压缩弹簧的设计计算 .....                         | 332 | 1.2 扭转弹簧的试验扭矩和试验扭矩下的变形角 .....    | 386 |
| 6.1 圆形截面材料螺旋压缩弹簧 .....                            | 332 | 2 圆柱螺旋扭转弹簧的结构设计 .....            | 386 |
| 6.2 矩形截面材料螺旋压缩弹簧 .....                            | 333 | 2.1 扭转弹簧的结构形式 .....              | 386 |
| 7 圆柱螺旋压缩弹簧受振动载荷时的设计计算 .....                       | 334 | 2.2 扭转弹簧的结构参数计算 .....            | 388 |
| 8 强压处理的圆柱螺旋弹簧的设计                                  |     | 3 圆柱螺旋扭转弹簧的许用弯曲应力 .....          | 389 |
|   |     | 4 圆柱螺旋扭转弹簧的设计计算公式 .....          | 390 |
|   |     | 4.1 圆形截面材料扭转弹簧的设计计算 .....        | 391 |
|   |     | 4.2 矩形截面材料扭转弹簧的设计计算 .....        | 391 |
|   |     | 4.3 椭圆形截面材料扭转弹簧的                 |     |

|  |     |                                   |     |
|--|-----|-----------------------------------|-----|
| 设计计算 .....                                 | 392 | <b>第 15 章 扭杆弹簧</b> .....          | 434 |
| 4.4 扭转弹簧的疲劳强度校核 .....                      | 392 | 1 扭杆弹簧的结构、类型和用途 .....             | 434 |
| 4.5 扭转弹簧的简易计算法 .....                       | 394 | 2 扭杆弹簧的载荷计算 .....                 | 435 |
| 4.6 组合扭转弹簧的设计计算 .....                      | 396 | 3 扭杆弹簧的变形和应力计算 .....              | 436 |
| 5 圆柱螺旋扭转弹簧的安装示例 .....                      | 397 | 3.1 圆形截面扭杆弹簧的变形和应力<br>计算 .....    | 436 |
| <b>第 13 章 非圆形弹簧圈螺旋弹簧</b> .....             | 401 | 3.2 矩形和方形截面扭杆弹簧的变形和<br>应力计算 ..... | 437 |
| 1 矩形和方形弹簧圈螺旋压缩<br>弹簧 .....                 | 401 | 4 扭杆弹簧的端部结构和有效工作<br>长度 .....      | 441 |
| 1.1 矩形弹簧圈弹簧的几何尺寸关系 .....                   | 401 | 5 扭杆弹簧的材料和许用应力 .....              | 442 |
| 1.2 矩形弹簧圈弹簧的设计计算 .....                     | 401 | 6 扭杆弹簧的制造和检验 .....                | 442 |
| 2 椭圆形弹簧圈螺旋压缩弹簧 .....                       | 405 | 7 稳定杆 .....                       | 445 |
| 2.1 椭圆形弹簧圈弹簧的几何尺寸<br>关系 .....              | 405 | <b>第 16 章 多股螺旋弹簧</b> .....        | 448 |
| 2.2 椭圆形弹簧圈弹簧的设计计算 .....                    | 406 | 1 多股螺旋弹簧的类型与特性 .....              | 448 |
| 3 卵形弹簧圈螺旋压缩弹簧 .....                        | 406 | 2 无中心股多股螺旋压缩弹簧 .....              | 449 |
| 3.1 卵形弹簧圈弹簧的几何尺寸<br>关系 .....               | 406 | 2.1 无中心股多股螺旋压缩弹簧及钢索<br>结构 .....   | 449 |
| 3.2 卵形弹簧圈弹簧的设计计算 .....                     | 407 | 2.2 无中心股多股螺旋压缩弹簧的设计<br>计算 .....   | 452 |
| <b>第 14 章 非线性特性线螺旋弹簧</b> .....             | 410 | 2.3 无中心股多股螺旋压缩弹簧的几何<br>尺寸系列 ..... | 455 |
| 1 不等节距圆柱螺旋压缩弹簧 .....                       | 410 | 3 有中心股多股螺旋压缩弹簧 .....              | 455 |
| 2 截锥螺旋压缩弹簧 .....                           | 413 | 3.1 有中心股多股螺旋压缩弹簧的钢索<br>结构 .....   | 455 |
| 2.1 截锥螺旋压缩弹簧的几何尺寸 .....                    | 413 | 3.2 有中心股多股螺旋压缩弹簧的设计<br>计算 .....   | 456 |
| 2.2 截锥螺旋压缩弹簧的变形和强度<br>计算 .....             | 415 | 4 多股螺旋扭转弹簧 .....                  | 459 |
| 2.3 截锥螺旋压缩弹簧变形和强度计算<br>公式 .....            | 418 | 5 多股螺旋弹簧的材料和许用应力<br>的选取 .....     | 460 |
| 3 中凹和中凸形螺旋弹簧 .....                         | 422 | 6 多股螺旋弹簧的制造工艺 .....               | 460 |
| 3.1 等螺旋角中凹形螺旋弹簧开始有弹<br>簧圈接触后的变形与强度计算 ..... | 423 | 7 多股螺旋弹簧的试验和检验 .....              | 462 |
| 3.2 等节距中凹形螺旋弹簧开始有弹<br>簧圈接触后的变形与强度计算 .....  | 423 | <b>第 17 章 碟形弹簧</b> .....          | 466 |
| 3.3 等应力中凹形螺旋弹簧开始有弹<br>簧圈接触后的变形与强度计算 .....  | 424 | 1 碟形弹簧的类型与结构 .....                | 466 |
| 4 截锥涡卷螺旋弹簧 .....                           | 424 | 1.1 普通碟形弹簧的结构 .....               | 467 |
| 4.1 等螺旋角截锥涡卷螺旋弹簧开始有<br>簧圈接触后的变形与强度计算 ..... | 425 | 1.2 碟形弹簧的特点 .....                 | 471 |
| 4.2 等节距截锥涡卷螺旋弹簧开始有弹<br>簧圈接触后的变形与强度计算 ..... | 426 | 2 碟形弹簧的载荷与变形关系 .....              | 472 |
| 4.3 等应力截锥涡卷螺旋弹簧开始有弹<br>簧圈接触后的变形与强度计算 ..... | 426 | 2.1 无支承面碟形弹簧的载荷与变形<br>关系 .....    | 472 |
| 4.4 截锥涡卷螺旋弹簧变形和强度计算<br>公式 .....            | 427 | 2.2 有支承面碟形弹簧的载荷与变形<br>关系 .....    | 477 |

|                                  |            |  |            |
|----------------------------------|------------|--|------------|
| 2.3 碟形弹簧的刚度和变形能 .....            | 478        | 6 切口弹簧 .....                             | 514        |
| 2.4 碟形弹簧的特性曲线 .....              | 478        | <b>第 19 章 片弹簧、线弹簧和弹性</b>                 |            |
| <b>3 碟形弹簧的应力计算 .....</b>         | <b>479</b> | <b>挡圈 .....</b>                          | <b>519</b> |
| 3.1 碟形弹簧的应力计算公式 .....            | 479        | 1 片弹簧 .....                              | 519        |
| 3.2 碟形弹簧实际应力的分布情况 .....          | 481        | 1.1 直片弹簧的计算 .....                        | 520        |
| <b>4 碟形弹簧的强度和许用应力 .....</b>      | <b>481</b> | 1.2 弯片弹簧的计算 .....                        | 524        |
| <b>5 碟形弹簧的设计 .....</b>           | <b>483</b> | 1.3 变刚度片弹簧的计算 .....                      | 528        |
| 5.1 标准碟形弹簧的选择 .....              | 483        | 1.4 受轴向和横向载荷作用的片弹簧的<br>计算 .....          | 529        |
| 5.2 非标准碟形弹簧的设计 .....             | 484        | 1.5 片弹簧的结构和应力集中 .....                    | 529        |
| <b>6 组合碟形弹簧 .....</b>            | <b>485</b> | 1.6 片弹簧的材料和许用应力 .....                    | 530        |
| 6.1 碟形弹簧的组合方式和特性 .....           | 485        | <b>2 线弹簧 .....</b>                       | <b>531</b> |
| 6.2 摩擦力对组合碟形弹簧特性的<br>影响 .....    | 487        | 2.1 圆弧形线弹簧的计算 .....                      | 531        |
| 6.3 组合碟形弹簧设计中应注意的<br>问题 .....    | 487        | 2.2 圆弧和直线构成的线弹簧的计算 .....                 | 532        |
| <b>7 碟形弹簧的制造 .....</b>           | <b>488</b> | 2.3 Z 形线弹簧 .....                         | 532        |
| 7.1 碟形弹簧材料的选择 .....              | 488        | <b>3 弹性挡圈 .....</b>                      | <b>533</b> |
| 7.2 碟形弹簧的技术要求 .....              | 488        | <b>第 20 章 板弹簧 .....</b>                  | <b>536</b> |
| 7.3 碟形弹簧典型制造工艺 .....             | 490        | 1 板弹簧的类型和用途 .....                        | 536        |
| 7.4 碟形弹簧的典型工作图 .....             | 491        | <b>2 板弹簧的结构 .....</b>                    | <b>537</b> |
| <b>8 其他类型碟形弹簧计算简介 .....</b>      | <b>496</b> | 2.1 弹簧钢板的截面形状 .....                      | 537        |
| 8.1 梯形截面碟形弹簧计算公式 .....           | 496        | 2.2 主板端部结构 .....                         | 537        |
| 8.2 锥状梯形截面碟形弹簧计算公式 .....         | 497        | 2.3 副板端部结构 .....                         | 538        |
| 8.3 圆板弹簧 .....                   | 497        | 2.4 板弹簧的固定结构 .....                       | 539        |
| 8.4 变厚度圆板弹簧 .....                | 498        | <b>3 单板弹簧的计算 .....</b>                   | <b>540</b> |
| 8.5 开槽碟形弹簧 (膜片弹簧) .....          | 499        | <b>4 多板弹簧的计算 .....</b>                   | <b>541</b> |
| 8.6 螺旋碟形弹簧 .....                 | 502        | 4.1 多板弹簧主要形状尺寸参数的<br>选择 .....            | 541        |
| 8.7 波形垫圈和波形圆柱弹簧 .....            | 503        | 4.2 多板弹簧的展开计算法 .....                     | 542        |
| <b>第 18 章 环形弹簧 .....</b>         | <b>506</b> | 4.3 多板弹簧的共同曲率计算法 .....                   | 545        |
| <b>1 环形弹簧的结构和特性 .....</b>        | <b>506</b> | 4.4 多板弹簧的集中载荷计算法 .....                   | 545        |
| <b>2 环形弹簧的设计计算 .....</b>         | <b>507</b> | <b>5 变刚度和变截面板弹簧的计算 .....</b>             | <b>550</b> |
| 2.1 环形弹簧的受力分析 .....              | 507        | 5.1 变刚度板弹簧的计算 .....                      | 550        |
| 2.2 环形弹簧外圆环的应力计算 .....           | 507        | 5.2 梯形变截面板弹簧的计算 .....                    | 552        |
| 2.3 环形弹簧内圆环的应力计算 .....           | 509        | 5.3 抛物线形变截面板弹簧的计算 .....                  | 554        |
| 2.4 环形弹簧的变形计算 .....              | 510        | <b>6 板弹簧的扭转刚度 .....</b>                  | <b>555</b> |
| 2.5 环形弹簧的变形能 .....               | 511        | <b>7 板弹簧设计时应考虑的事项 .....</b>              | <b>556</b> |
| 2.6 环形弹簧的试验载荷和试验载荷下<br>的变形 ..... | 511        | <b>8 板弹簧的材料、强化技术、许用<br/>    应力 .....</b> | <b>557</b> |
| 2.7 环形弹簧的结构参数计算 .....            | 511        | <b>9 技术要求 .....</b>                      | <b>558</b> |
| <b>3 环形弹簧的材料和许用应力 .....</b>      | <b>513</b> | 9.1 尺寸及偏差 .....                          | 558        |
| <b>4 环形弹簧的制造和技术要求 .....</b>      | <b>513</b> | 9.2 性能要求 .....                           | 559        |
| <b>5 环形弹簧结构参数荐用值 .....</b>       | <b>514</b> |  |            |

|                                |     |                            |     |
|--------------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 9.3 工艺要求 .....                 | 559 | 2.3 位移与压力成非线性关系的波纹膜片 ..... | 583 |
| 10 静载荷的检验和试验 .....             | 560 | 2.4 按照给定的特性曲线计算膜片 .....    | 587 |
| 11 疲劳试验 .....                  | 562 | 2.5 波纹膜片有效面积的计算 .....      | 587 |
| 11.1 试验装置及支承与夹持方法 .....        | 562 | 2.6 膜片的牵引力 .....           | 588 |
| 11.2 试验方法 .....                | 562 | 3 膜片的材料 .....              | 588 |
| 11.3 疲劳试验载荷的比应力计算方法 .....      | 562 | <b>第 23 章 压力弹簧管</b> .....  | 591 |
| 12 试验记录及报告 .....               | 564 | 1 压力弹簧管的类型和特性 .....        | 591 |
| <b>第 21 章 平面涡卷弹簧</b> .....     | 565 | 1.1 压力弹簧管的类型 .....         | 591 |
| 1 平面涡卷弹簧的结构、特点和用途 .....        | 565 | 1.2 压力弹簧管的特性 .....         | 592 |
| 2 平面涡卷弹簧的变形和刚度计算公式 .....       | 565 | 2 压力弹簧管的设计计算 .....         | 594 |
| 2.1 非接触形平面涡卷弹簧的变形和刚度计算公式 ..... | 565 | 2.1 承受低压的单圈薄壁弹簧管的计算 .....  | 594 |
| 2.2 接触形平面涡卷弹簧的变形和刚度计算公式 .....  | 568 | 2.2 承受高压的单圈厚壁弹簧管的计算 .....  | 595 |
| 3 平面涡卷弹簧的设计计算 .....            | 569 | 2.3 异形截面弹簧管的计算 .....       | 596 |
| 3.1 平面涡卷弹簧的基本计算公式 .....        | 569 | 2.4 螺旋和平面涡卷弹簧管的计算 .....    | 597 |
| 3.2 非接触形平面涡卷弹簧的设计计算 .....      | 569 | 3 压力弹簧管的材料 .....           | 597 |
| 3.3 接触形平面涡卷弹簧的设计计算 .....       | 570 | <b>第 24 章 橡胶弹簧</b> .....   | 599 |
| 3.4 平面涡卷弹簧设计时应注意的问题 .....      | 572 | 1 橡胶弹簧的类型和弹性特性 .....       | 599 |
| 4 定载荷和定扭矩平面涡卷弹簧 .....          | 572 | 1.1 橡胶弹簧的类型 .....          | 599 |
| 5 平面涡卷弹簧的材料、制造和许用应力 .....      | 573 | 1.2 橡胶弹簧的变形计算 .....        | 599 |
| 6 平面涡卷弹簧的端部固定形式 .....          | 573 | 2 橡胶弹簧的静刚度计算 .....         | 601 |
| 7 技术要求 .....                   | 574 | 2.1 圆柱形橡胶弹簧 .....          | 601 |
| 8 试验方法和检验规则 .....              | 575 | 2.2 圆环形橡胶弹簧 .....          | 602 |
| 8.1 试验方法 .....                 | 575 | 2.3 矩形橡胶弹簧 .....           | 602 |
| 8.2 检验规则 .....                 | 576 | 2.4 端部带圆角的橡胶弹簧 .....       | 603 |
| <b>第 22 章 膜片及膜盒</b> .....      | 579 | 2.5 截锥形橡胶弹簧 .....          | 604 |
| 1 膜片及膜盒的类型和特性 .....            | 579 | 2.6 空心圆锥橡胶弹簧 .....         | 605 |
| 1.1 膜片及膜盒的类型 .....             | 579 | 2.7 衬套式橡胶弹簧 .....          | 606 |
| 1.2 膜片的特性曲线 .....              | 580 | 2.8 组合式橡胶弹簧 .....          | 607 |
| 1.3 膜盒的特性设计 .....              | 582 | 2.9 衬套式橡胶弹簧挤缩加工的影响 .....   | 608 |
| 2 膜片的设计计算 .....                | 582 | 2.10 橡胶弹簧的相似法则 .....       | 608 |
| 2.1 平面膜片特性计算 .....             | 582 | 3 橡胶弹簧的动态力学性能 .....        | 609 |
| 2.2 位移与压力成线性关系的波纹膜片 .....      | 583 | 4 橡胶弹簧的压缩稳定性 .....         | 610 |



|                                   |     |                                       |     |
|-----------------------------------|-----|---------------------------------------|-----|
| 7.2 粘结性能试验 .....                  | 613 | 6.2 可锁定气弹簧 .....                      | 634 |
| 7.3 静特性试验 .....                   | 613 | <b>第 26 章 弹簧的失效及预防</b> .....          | 635 |
| 7.4 动特性试验 .....                   | 614 | 1 概论 .....                            | 635 |
| 7.5 振动疲劳试验 .....                  | 614 | 1.1 弹簧失效的定义及危害性 .....                 | 635 |
| <b>8 橡胶-金属螺旋复合弹簧</b> .....        | 614 | 1.2 弹簧的失效分析及其意义 .....                 | 636 |
| 8.1 橡胶-金属螺旋复合弹簧的结构形式<br>及代号 ..... | 614 | 1.3 弹簧失效模式的基本类型 .....                 | 637 |
| 8.2 橡胶-金属螺旋复合弹簧尺寸<br>系列 .....     | 615 | <b>2 弹簧的疲劳断裂失效及预防</b> .....           | 644 |
| 8.3 橡胶-金属螺旋复合弹簧的计算<br>公式 .....    | 616 | 2.1 弹簧(材料)的疲劳强度及其影响<br>因素 .....       | 644 |
| <b>第 25 章 空气弹簧</b> .....          | 617 | 2.2 弹簧的疲劳断裂规律及其判据 .....               | 650 |
| 1 空气弹簧的特点 .....                   | 617 | 2.3 弹簧的疲劳寿命预测及预防 .....                | 654 |
| 2 空气弹簧的结构和类型 .....                | 617 | <b>3 弹簧的应力松弛失效及预防</b> .....           | 656 |
| 3 空气弹簧的刚度计算 .....                 | 619 | 3.1 弹簧(材料)应力松弛失效现象及<br>其主要特性指标 .....  | 656 |
| 3.1 空气弹簧的垂直刚度 .....               | 620 | 3.2 应力松弛机理及其应用 .....                  | 661 |
| 3.2 空气弹簧的横向刚度 .....               | 621 | 3.3 应力松弛性能曲线及其影响因素 .....              | 665 |
| 4 空气弹簧的减振阻尼 .....                 | 624 | <b>4 弹簧失效分析及预防案例</b> .....            | 671 |
| 4.1 空气弹簧的力学模型 .....               | 624 | 4.1 AM500 采煤机主泵马达弹簧的失效<br>分析及预防 ..... | 671 |
| 4.2 空气弹簧的频率和阻尼 .....              | 625 | 4.2 安全阀弹簧的疲劳失效分析 .....                | 672 |
| 4.3 节流孔的最佳直径 .....                | 627 | 4.3 汽车气门弹簧的失效分析及预防 .....              | 673 |
| 5 空气弹簧的试验方法 .....                 | 630 | 4.4 平面涡卷弹簧的失效分析及预防 .....              | 674 |
| 6 气弹簧 .....                       | 632 | <b>附录 国内弹簧生产企业介绍</b> .....            | 676 |
| 6.1 不可锁定气弹簧 .....                 | 633 | <b>参考文献</b> .....                     | 692 |



# 第1章 总 论

弹簧是一种机械零件，它利用材料的弹性和结构特点，在工作时产生变形，把机械功或动能转变为变形能（位能），或把变形能（位能）转变为机械功或动能。由于这种特性，它适用于：①缓冲或减振，如破碎机的支承弹簧和车辆的悬架弹簧等；②机械的储能，如钟表、仪表和自动控制机构上的原动弹簧；③控制运动，如气门、离合器、制动器和各种调节器上的弹簧；④测力装置，如弹簧秤和动力计上的弹簧。除此之外，在机械设备、仪表、家用电器以及生活器具上都使用着各式各样的弹性元件，如螺母防松弹簧垫圈，零件在轴上定位用的卡环，门的启闭装置，玩具的发条等。

## 1 弹簧的基本性能

在设计弹簧时，应该考虑的基本工作性能有以下几方面：①弹簧的特性线，即载荷和变形的关系；②弹簧的变形能；③弹簧的自振频率；④弹簧受迫振动时的振幅。现对这些性能简单介绍如下。

### 1.1 弹簧的特性线和刚度

载荷  $F$ （或  $T$ ）与变形  $f$ （或  $\varphi$ ）之间的关系曲线称为弹簧的特性线，如图 1-1 所示。

弹簧的特性线大致有三种类型：

①直线型；②渐增型；③渐减型。

有些弹簧的特性线可以是以上两种或三种类型的组合（图 1-2），称为组合型特性线。如截锥涡卷弹簧的特性线（图 1-2a），加载起始一段为直线型，变形达到一定程度后特性线便成为渐增型；碟形弹簧的特性线（图 1-2b），起始为渐减型，后为渐增型，整个特性线呈 S 形；又如环形弹簧的特性线（图 1-2c），加载时为

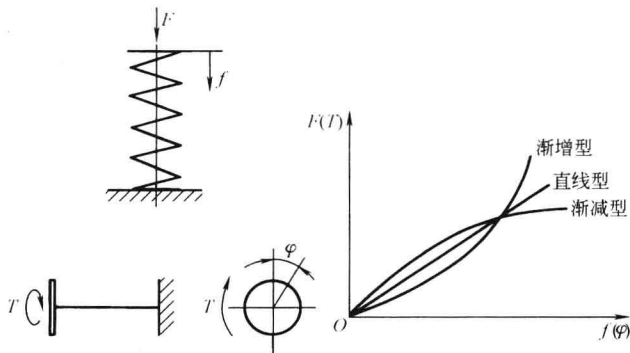


图 1-1 弹簧的特性线

直线型，而卸载时则为渐增型。采用组合弹簧也可以得到组合的特性线，如图 1-2d 所示为两个不同高度的并列组合螺旋弹簧的特性线。加载开始只有一个弹簧承受载荷，所以特性线只是受载荷那个弹簧的特性线。当受载弹簧在载荷作用下变形到一定程度，另一个弹簧也开始承受载荷，这时特性线开始转变为两个弹簧受载的特性线，因而其斜率发生了变化。

载荷增量  $dF$ （或  $dT$ ）与变形增量  $df$ （或  $d\varphi$ ）之比，即产生单位变形所需的载荷，称为弹簧的刚度，对于压缩和拉伸弹簧的刚度为

$$F' = \frac{dF}{df} \quad (1-1a)$$