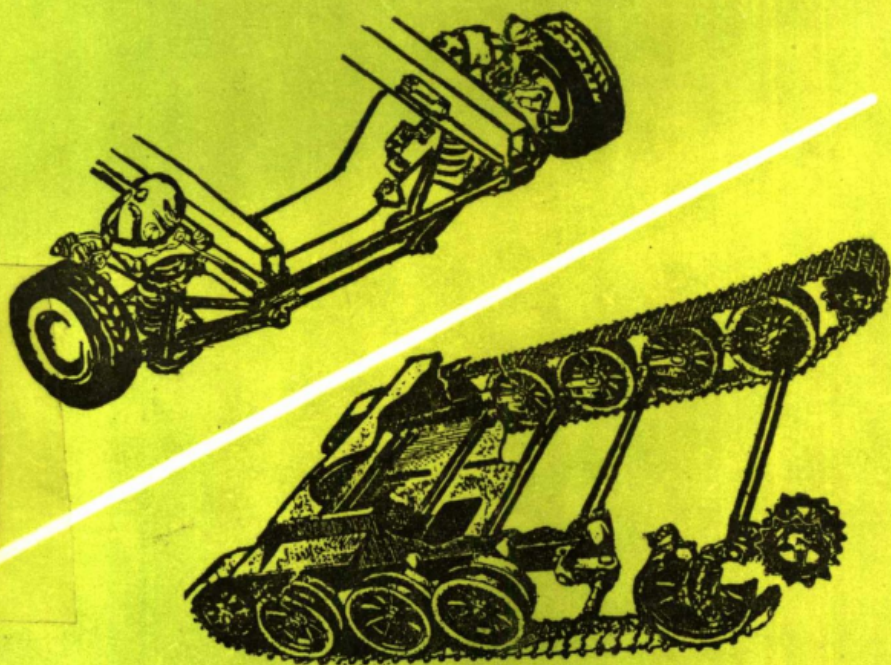


车 辆

扭杆弹簧设计与制造

王彦才 编著



國防工業出版社

车辆扭杆弹簧设计与制造

王彦才 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

车辆扭杆弹簧设计与制造/王彦才编著. —北京:国防工业出版社, 1996. 1

ISBN 7-118-01483-4

I. 车… 王… 扭力弹簧-设计-机械制造工艺
IV. TH135

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第10099号

国防工业出版社出版发行

(北京海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

北京市怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 9 $\frac{1}{2}$ 260千字

1996年1月第1版 1996年1月北京第1次印刷

印数:1—1000 册 定价:13.60元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

扭杆弹簧具有单位体积储能大、体积小、便于加工制造等优点,已被广泛用于各类机械、仪表、电器、车辆、各种设备,以及日用器具上。如精密仪器和天平上的平衡弹簧,汽车和装甲履带车辆悬架装置的悬架扭杆弹簧和稳定扭杆弹簧,高速内燃机汽门上防颤动的辅助汽门弹簧,空气缓冲器的稳压器,缓和驱动轴扭矩变化的稳定元件以及各种门、窗、盖铰接链的助力和平衡弹性元件等,都采用扭杆弹簧作为缓冲和储能元件。所以,它是一个使用面较大的基础零件,其运用范围也在逐渐扩大。近年来国内、外对扭杆弹簧设计理论、方法和制造技术,都进行了大量研究,并取得了较大的成绩,发展较快,但缺乏一套较全面系统的扭杆弹簧设计与制造的参考资料。本书对扭杆弹簧设计一般原则和步骤,扭杆弹簧及固定件结构设计与计算,悬架扭杆弹簧和稳定扭杆弹簧结构参数、性能参数、动力性能参数计算,强度的可靠性设计,制造与质量控制,以及材料等方面的新技术、新工艺进行了较全面系统地论述,以求提高扭杆弹簧设计和制造水平。本书介绍的方法对其它用途的各种型式的扭杆弹簧也可参照使用。

本书在编写中应用辩证的观点来阐述扭杆弹簧结构设计和性能设计中各参数的内在矛盾和规律,极力反映和采用扭杆弹簧长期以来的设计、制造、使用经验、研究新成果,及现代设计理论、方法和制造新技术,加强了理论和实际运用的联系。因此,在内容处理方面,不着眼于一些数学公式的理论推导,而侧重于结构设计计算的内在基本概念和基本关系,着眼于设计资料 and 数据的完整性,注重于设计 and 应用。

本书从理论基本概念和实际应用出发,对各类扭杆弹簧进行

了比较深入的分析和介绍,采用了一些现代设计方法,如优化设计、强度可靠性设计、寿命估算、工艺强度设计和制造新技术,并收集了大量的基本设计数据,列举了运用实例,以期望能使设计技术人员对此有全面系统的了解,达到推广和灵活运用之目的。

本书并不是理论论述书籍,也不是设计规范的汇编,而是为了解决扭杆弹簧在运用一些现代设计方法和理论以及制造过程中所采用新技术等方面,可能遇到的一些实际应用技术和基本设计数据资料等问题时的一部实用性较强、内容较全面的扭杆弹簧设计和制造的参考资料,相信它将对扭杆弹簧设计、制造、使用的工程技术人员的工作具有指导作用,对提高扭杆弹簧设计和制造水平将发挥出它应有的作用。

本书王彦才编著后,由中国北方车辆研究所高级工程师:李学忠、张福田、郭永明、段希杰、周赐麟修改并定稿。

本书第一章和第四章由北京理工大学教授丁法乾审,第二章和第三章由装甲兵工程学院教授高连华审,第五章由北京农业工程大学教授余群审,第六章由北京印刷学院教授张祖明审,第七章和第八章由国营六一七厂高级工程师(研究员)芮振伟审,全书最后由教授丁法乾主审,编者在此深表感谢。

全书插图由陈建芬、黄殿伟绘制,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,诚恳地欢迎广大读者批评指教。

编 者

目 录

第一章 概述	(1)
一、扭杆弹簧的基本性能	(1)
二、扭杆弹簧的结构类型	(7)
三、扭杆弹簧总体设计的一般原则	(9)
四、扭杆弹簧的总体设计步骤	(11)
五、扭杆弹簧的基本设计参数	(13)
第二章 扭杆弹簧及固定件结构设计	(16)
一、结构设计要求与步骤	(16)
二、扭杆弹簧结构选型与评价	(17)
三、圆断面扭杆弹簧及固定件设计	(22)
四、矩形扭杆弹簧的结构设计	(40)
五、叠片扭杆弹簧的结构设计	(44)
六、橡胶扭杆弹簧的结构设计	(48)
七、其它断面形状的扭杆弹簧的结构设计和计算	(49)
八、工作应力和许用应力	(51)
第三章 悬架扭杆弹簧设计和计算	(57)
一、悬架扭杆弹簧的类型	(57)
二、悬架扭杆弹簧的要求	(59)
三、悬架扭杆弹簧悬架特性和悬架刚度	(60)
四、多组悬架扭杆弹簧的作用载荷	(62)
五、悬架扭杆弹簧结构和性能参数间的关系	(67)
六、悬架扭杆弹簧结构参数设计步骤	(82)
七、悬架扭杆弹簧的优化设计	(93)
第四章 悬架扭杆弹簧动力性能的设计与计算	(102)
一、动力性能设计任务类型和步骤	(102)
二、振动的基本型式和分类	(104)

三、振动系统的计算简图和基本设计参数	(106)
四、车辆振动特性计算	(113)
五、悬架扭杆弹簧动力性能的评价参数及指标	(132)
第五章 稳定扭杆弹簧结构设计及计算	(140)
一、稳定扭杆弹簧的结构型式	(140)
二、稳定扭杆弹簧横向稳定刚度的计算	(142)
三、稳定扭杆弹簧结构设计及计算	(147)
第六章 扭杆弹簧强度的可靠性设计	(162)
一、扭杆弹簧失效特征	(162)
二、扭杆弹簧静强度的可靠性设计	(164)
三、扭杆弹簧疲劳强度的可靠性设计	(176)
第七章 扭杆弹簧制造与质量控制	(228)
一、加工工艺	(228)
二、扭杆弹簧制造的基本要求	(229)
三、扭杆弹簧表面强化方法	(233)
四、扭杆弹簧的强扭处理	(235)
五、扭杆弹簧制造的质量控制	(250)
第八章 扭杆弹簧材料	(253)
一、扭杆弹簧材料类型与应用	(254)
二、扭杆弹簧材料性能及统计分布	(257)
附录	(275)
一、附图	(275)
二、附表	(284)
参考文献	(309)

第一章 概 述

扭杆弹簧是一种弹性机械零件,它跟其它类型弹簧一样,都是利用材料的弹性以及本身结构和总体布置的特点,把机械功或动能转变为变形能,或将变形能转变为机械功或动能,实现能量的转变。在各种机械设备和装备中,广泛利用它来起缓冲或减振、能量储备或稳定作用。如各种越野车辆上的悬架装置用它来做缓冲和减振;在高速内燃机上的进排气系统中,用它来避免或缓和汽门主圆柱螺旋弹簧在强烈振动的动载荷作用下所引起的颤动;在使用空气弹簧做稳压器的车辆上,利用它做稳压器;在高速小轿车的悬架装置,利用它做稳定杆,以增加车辆转向时的稳定性;对于一些需要一定助力的机构,如可翻的驾驶室、挡浪板、散热器以及各种门、窗盖等,常用它做储能元件;在传动轴或驱动轴中,为了减少扭振和缓和扭矩的变化,也常在轴中插入扭杆弹簧等等。由此可见,扭杆弹簧已被广泛用于各类机械设备和装备上,从精密仪器到各种控制及测力设备,从坦克装甲车辆到民用各种越野车辆和工程机械,无所不用,并且它的应用范围正在逐步扩大。

一、扭杆弹簧的基本性能

在设计扭杆弹簧时,应考虑它的基本工作性能和特点。扭杆弹簧的工作性能,由扭杆弹簧的特性线、扭杆弹簧的刚度和柔度、扭杆弹簧的变形能、扭杆弹簧的自振频率和周期、受迫振动时的振幅等五大方面所表示。

1. 扭杆弹簧的特性线

在各种车辆和机械设备上,常采用扭杆弹簧作为弹性元件。当

扭杆弹簧受到扭矩作用时,就会产生扭转变形,其扭矩 T 与扭转变形角 θ 之间的函数关系称为扭杆弹簧特性,而扭矩 T 与扭转变形角 θ 之间的关系曲线称为扭杆弹簧特性线。对钢制扭杆弹簧,由材料力学可知:扭杆弹簧的扭矩 T 与其扭转变形角 θ 关系为

$$\theta = \frac{TL}{GJ_p}, \text{rad} \quad (1-1)$$

或

$$T = \frac{GJ_p}{L} \theta, \text{N} \cdot \text{mm} \quad (1-2)$$

式中 L ——扭杆弹簧的有效工作长度(mm);

J_p ——扭杆弹簧的极惯性矩(mm^4);

G ——材料的剪切模数(MPa)。

式(1-1)或式(1-2)就是扭杆弹簧的特性形式。用纵坐标轴表示扭矩 T ,横坐标轴表示扭转变形角 θ ,按式(1-2)关系,绘制的曲线图,就是扭杆弹簧的特性线(图 1-1)。该特性线是线性的,说明钢制扭杆弹簧的弹簧特性线是直线型。

在设计扭杆弹簧时,有时为了得到一定规律的扭杆弹簧特性线,常采用扭杆弹簧不同的布置而形成组合扭杆弹簧,如一根实心圆柱扭杆弹簧和一根管状扭杆弹簧并联组合而成的阶梯组合扭杆弹簧(图 1-2)。这种阶梯组合扭杆弹簧的特性线是组合型特性线(图 1-3)。加载开始阶段只有实心圆柱扭杆弹簧承受作用扭矩,这时组合扭杆弹簧的特性只是实心圆柱扭杆弹簧的特性,即

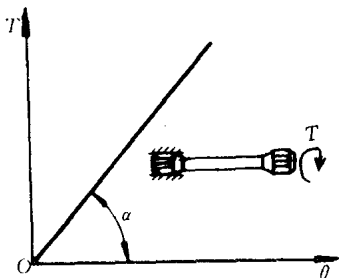


图 1-1 钢制扭杆弹簧的特性线

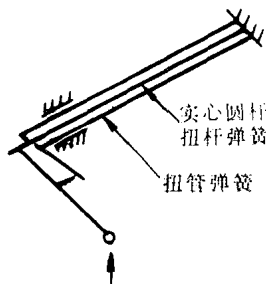


图 1-2 阶梯组合扭杆弹簧

$$T' = \frac{GJ_{p1}}{L_1} \theta, \text{N} \cdot \text{mm}$$

特性线见图 1-3 中 OA 段。当继续加载到一定值时,管状扭杆弹簧也开始承受作用扭矩,以后过程中的扭杆弹簧的特性线为两根扭杆弹簧组合而成的组合扭杆弹簧的特性。这种组合扭杆弹簧的特性为

$$T'' = \frac{GJ_{p1}}{L_1} \theta + \frac{GJ_{p2}}{L_2} (\theta - \theta_1), \text{N} \cdot \text{mm}$$

式中 θ_1 ——实心圆柱扭杆弹簧单独作用终了的扭角(rad);

L_1, L_2 ——分别为实心扭杆弹簧和管状扭杆弹簧的有效工作长度(mm);

J_{p1}, J_{p2} ——分别为实心圆柱扭杆弹簧和管状扭杆弹簧的极惯性矩(mm^4)。

特性线见图 1-3 中 A—B 段,其斜率比 O—A 段变大。

因此,上述这种分段并联的扭杆弹簧的特性为

$$T = \begin{cases} \frac{GJ_{p1}}{L_1} \theta & (\text{当 } \theta \leq \theta_1 \text{ 时}) \\ \frac{GJ_{p1}}{L_1} \theta + \frac{GJ_{p2}}{L_2} (\theta - \theta_1) & (\text{当 } \theta \geq \theta_1 \text{ 时}) \end{cases} \quad (1-3)$$

扭杆弹簧的特性以及组合扭杆弹簧的特性主要供选择扭杆弹簧类型使用。如图 1-3 中扭杆弹簧的特性,当在载荷小时,比较软,当载荷增加到一定程度之后,特性变硬,扭杆弹簧的扭转变形随作用扭矩增加而缓慢增加,这样有利于保护扭杆弹簧。

2. 扭杆弹簧的扭转刚度和柔度

扭杆弹簧单位变形 $d\theta$ 所需要的扭矩 dT 称扭杆弹簧的扭转刚度,以 K_T 表示,

$$K_T = \frac{dT}{d\theta} \quad (1-4)$$

显然,扭杆弹簧的扭转刚度就是扭杆弹簧特性线的斜率,即 $K_T = \tan \theta$ (图 1-1)。由于扭杆弹簧的特性线是一条直线,所以,扭杆弹簧的扭转刚度是一个常数(图 1-4)。对于并联组合扭杆弹簧

的扭转刚度也是一个常数,对于这种阶梯组合扭杆弹簧的扭转刚度呈断续型(图 1-4)。

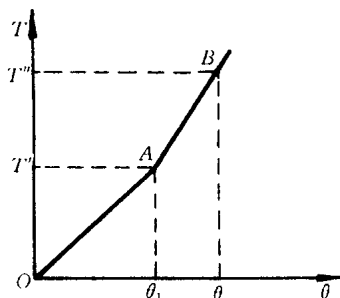


图 1-3 阶梯组合扭杆弹簧的特性线

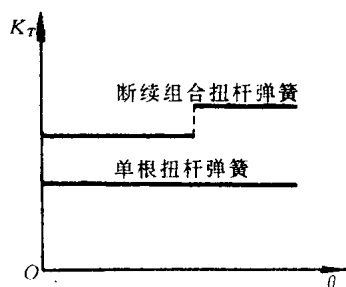


图 1-4 阶梯扭杆弹簧的扭转刚度

扭杆弹簧单位扭矩 dT 所产生的扭转变形 $d\theta$, 称扭杆弹簧的柔度, 以 f 表示, 则

$$f = \frac{d\theta}{dT} \quad (1-5)$$

由式(1-5)和式(1-4)知:扭杆弹簧的扭转刚度和柔度‘互为倒数’,即

$$\left. \begin{aligned} K_T &= \frac{1}{f} \\ \text{或} \quad f &= \frac{1}{K_T} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

扭杆弹簧的扭转刚度或柔度是评定扭杆弹簧质量系统动力性能的重要参数,也是确定质量系统自振频率的主要参数。

3. 扭杆弹簧的变形能

扭杆弹簧的变形能是反映扭杆弹簧在承受扭矩后所吸收的能量。由于扭矩是扭转变形角的函数,以 $T(\theta)$ 表示,则单位扭转变形能 du 为

$$du = T(\theta) \cdot d\theta$$

整个变形过程中所吸收的能量 u 是各单位变形能的累积,即

$$u = \int_0^\theta du = \int_0^\theta T(\theta) \cdot d\theta$$

由扭杆弹簧的特性线可知其变形能就是特性线与横坐标之间所包围的面积(图 1-5),由此得到扭杆弹簧的变形能为

$$u = \frac{T\theta}{2} = \frac{K_T\theta^2}{2} \quad (1-7)$$

另外,由材料力学可知,扭杆弹簧在扭矩 T 作用下,其扭转变形角 θ 为

$$\theta = \frac{TL}{GJ_p} \quad (a)$$

$$\text{扭转切应力 } \tau \text{ 为} \quad \tau = \frac{T}{W_p} \quad (b)$$

式中 W_p ——扭杆弹簧横断面的扭转系数(mm^3)。

将上(a)、(b)两式代入式(1-7)得到变形能的另一表达式:

$$u = \frac{L \cdot W_p^2}{2GJ_p} \tau^2 \quad (1-8)$$

对于实心圆柱扭杆弹簧的变形能,可从式(1-8)改变为

$$u = \frac{V\tau^2}{4G} \quad (1-9)$$

式中 V ——扭杆弹簧的工作体积。

由式(1-9)可知,变形能与材料的剪切模数 G 成反比,与工作应力平方和工作体积成正比。因此,在设计扭杆弹簧时,为了得到大的变形能,一方面采用剪切模数低的材料,另一方面提高使用工作应力和增大工作体积。但工作应力提高,就要求使用弹性极限高的材料,而弹性极限高,其剪切模数也随着增加,所以利用降低剪切模数和提高工作应力方法来提高变形能是相互矛盾的。但提高工作应力是以平方形式增加变形能的,因此,常利用提高工作应力和加大工作体积方法来增加扭杆弹簧的变形能。

4. 扭杆弹簧的固有频率、阻尼和振幅

对于一个扭杆弹簧质量系统,在没有任何扭矩作用时,由系统内部的内力作用,而引起质量系统振动的频率称扭杆弹簧质量的固有频率。如图 1-6 扭杆弹簧质量系统,在静止状态时,质量圆盘 A 在两个大小相等方向相反的内扭矩作用下,质量圆盘 A 处于平

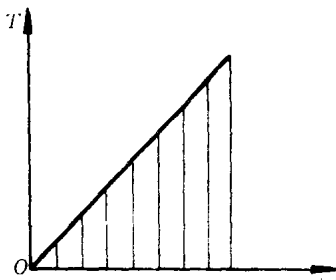


图 1-5 扭杆弹簧的变形能
(黑影部分)

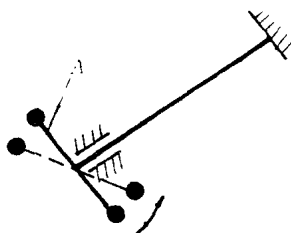


图 1-6 扭杆弹簧质量
系统扭振

衡静止状态。当给系统一个瞬间作用扭矩时,破坏了系统的静止平衡状态,质量盘会在扭杆弹簧固有的内扭矩作用下,围绕平衡位置开始扭转振动,这种扭转振动是依靠扭杆弹簧内部永久存在的固有扭矩作用,而不是依靠外扭矩的周期作用,所以称它为自由振动。从平衡位置到质量盘的最大偏离平衡位置的角度偏移量称自由振动的振幅。自由振动的频率就是系统的固有频率 ω_r , 系统的固有频率与振幅无关,它与系统的扭杆弹簧的扭转刚度 K_T 、阻尼和系统的转动惯量 I 有关,在一般情况下,有阻尼和无阻尼系统的固有频率数值比较接近,因此,对有无阻尼系统的固有频率均按下式估算:

$$\omega_r = \sqrt{\frac{K_T}{I}} \quad (1-10)$$

如考虑扭杆弹簧的转动惯量 I_0 , 则

$$\omega_r = \sqrt{\frac{K_T}{I + I_0/3}} \quad (1-11)$$

当扭杆弹簧受到强烈振动时,为了检验这种受迫振动对扭杆弹簧质量系统的影响,应计算该系统的固有频率,以便使受迫载荷的频率避开扭杆弹簧质量系统的固有频率。

扭杆弹簧的自由振动,从理论上讲,一旦振动开始,自由振动将无限的连续振动下去,但是,实际上扭杆弹簧质量系统内部将有

与运动方向相反的摩擦力作用,迫使一个振动周期内的振幅减小,直到完全使振动停止。这种导致振动的振幅连续减小的内摩擦力称为摩擦阻尼力。内摩擦力主要是由材料的相邻晶粒或者微小元素之间有微小相对位移而产生的。当扭杆弹簧质量系统振动时,为了快速熄灭这种振动,必须增加阻尼力。系统的阻尼力除了系统内摩擦力引起外,另外,可以在系统中引入阻尼器,如车辆悬架装置装入液力减振器或干式摩擦减振器等。

当在图 1-6 的扭杆弹簧质量系统上施加一个周期变化的扭矩时,则系统将发生不规则的振动,但这种不规则的振动由于系统的阻尼力作用将使它很快地消除,保持一个稳态振动,这种稳态振动称为强迫振动。扭杆弹簧的强迫振动与自由振动不一样,其振动频率与加载频率相同,其振幅取决于施加扭矩大小以及频率与系统固有频率的比值。当扭矩的频率接近系统的固有频率,即两者之比接近 1 时,系统将发生共振,其振幅迅速达到危险值,这种现象在设计时一定要避免。

二、扭杆弹簧的结构类型

扭杆弹簧的分类方法很多,有的按断面形状,有的按结构形式,有的按使用材料类型,还有的按用途等几种分类方法。

1. 按扭杆弹簧断面形状分类

(1) 圆形断面扭杆弹簧

此类扭杆弹簧包括:实心圆柱扭杆弹簧(图 1-7a),实心圆锥扭杆弹簧(图 1-7b),管状扭杆弹簧(图 1-7c)。

(2) 椭圆形扭杆弹簧(图 1-7d)

(3) 正方形扭杆弹簧(图 1-7e)

(4) 矩形扭杆弹簧(图 1-7f)

(5) 三角形扭杆弹簧(图 1-7g)

2. 按结构形状分类

(1) 单扭杆弹簧(图 1-8a)

(2)束状扭杆弹簧(图 1-8b)

(3)叠片扭杆弹簧(图 1-8c)

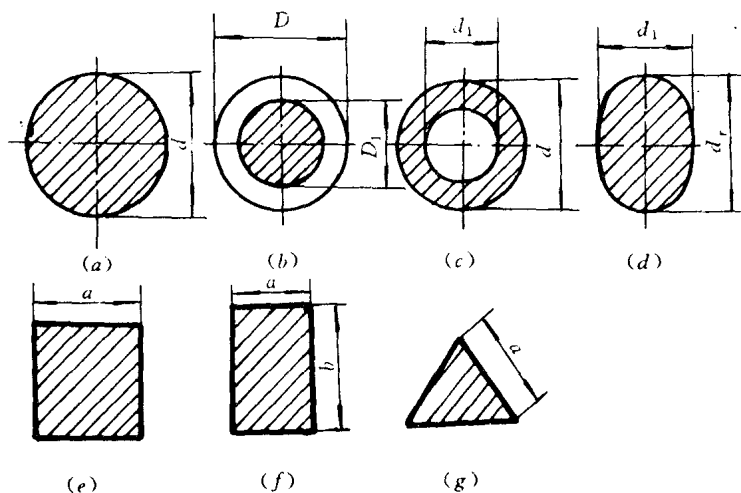


图 1-7 扭杆弹簧断面形状

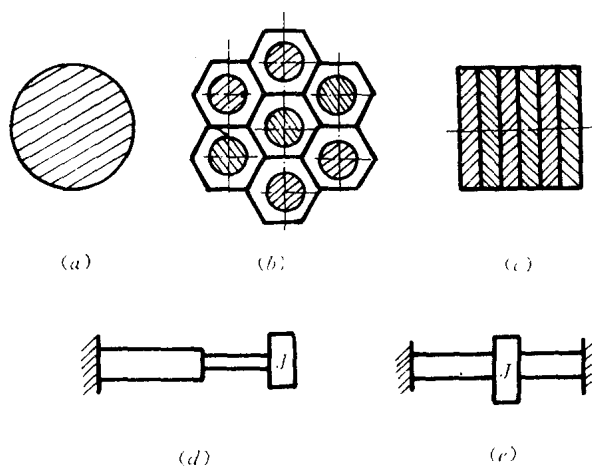


图 1-8 扭杆弹簧的不同结构型式

(4) 串联扭杆弹簧(图 1-8d)

(5) 并联扭杆弹簧(图 1-8e)

3. 按材料分类

(1) 金属扭杆弹簧

(2) 非金属(玻璃增强塑料)扭杆弹簧

(3) 橡胶扭杆弹簧(图 1-9)

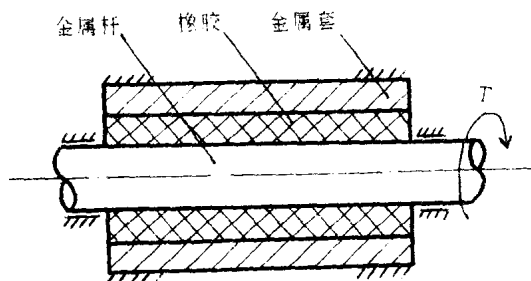


图 1-9 橡胶扭杆弹簧

4. 按用途分类

(1) 悬架扭杆弹簧

(2) 稳定扭杆弹簧

(3) 平衡扭杆弹簧

三、扭杆弹簧总体设计的一般原则

在设计扭杆弹簧时,必须考虑它在产品总体设计中的地位,为了满足产品总体结构要求以及总体性能的要求,应该着重扭杆弹簧总体设计和基本设计参数的选择。

1. 满足设计任务书的技术要求

设计任务书一般由委托设计方提供,或由国家政府和军事部门提出,或由设计研究单位和使用单位共同论证,提出建议书。扭杆弹簧设计任务书的要求可包含在产品整个设计任务中。扭杆弹

簧设计任务书主要包括设计原则、用途、主要性能指标、技术指标、经济指标,以及其他特殊要求、结构设计要求、可靠性要求等内容。

设计原则主要指设计指导思想,用途主要指用于什么车辆上或什么产品上是起稳定作用,还是起缓冲作用,还是起平衡作用。

对于车辆悬架扭杆弹簧的设计任务书,一般包括:车辆行驶的路面对应的行驶速度、平稳性要求、强度及可靠性要求、总体结构尺寸、使用环境条件、结构要求,以及维修性要求等。

2. 满足不同用途的要求

不同用途的扭杆弹簧,其设计要求也不同。

对不同的越野车辆的悬架扭杆弹簧,其设计有所不同。对货物运输车辆,应把它的可靠性放在第一位,而对乘员运输车辆以及战斗车辆,在保证安全条件下,应把行驶平稳性放在第一位,同时,也要考虑具有高的机动性。

对平衡扭杆弹簧,其设计要求主要是它的平衡性能,并不考虑它的缓冲作用和动载。

对稳定扭杆弹簧,其设计要求主要是它的稳定性能,如高速小轿车上装的稳定扭杆弹簧的横摆刚度要求等。

3. 要考虑零件的通用化、标准化和系列化

在设计扭杆弹簧时,应尽量采用通用件、标准件。如扭杆弹簧结构尺寸,固定结构,都应一样,这样就会减少材料与配件的规格品种,有利更换、修理和备件。扭杆弹簧系列化也是减少零部件规格、降低制造成本,便于后勤供应的重要措施。

4. 尽量采用新技术、新材料、新工艺等三新技术

随着科学技术和生产技术的发展,应尽快把一些新材料、新工艺、新技术等三新技术用于扭杆弹簧设计和制造中,以便提高产品性能 and 经济效益。但它们的采用不能脱离我国的工业水平和有关的各种影响因素。要考虑到我国现有的生产设备、工艺设备和最少的生产工序。

5. 结构设计要求

结构简单、可靠、制造容易、维修方便,成本低廉。