



78.651  
610

# 金属软管

葛子余 著

21 21/06



4

## 内 容 简 介

本书是作者根据多年从事软管设计和制造经验写的。金属软管越来越成为现代各类工程技术中不可缺少的配件，发挥着越来越显著的作用。本书介绍各种金属软管的结构特点、制造工艺、使用性能及其在各领域中的应用情况。对金属软管的主要加工技术（包括波纹管成型、网套编织、接头嵌装及试验技术）和金属软管的正确使用方法，做了详细的介绍，并列举应用实例和设计计算例题。

本书可供一般工程设计、制造技术人员和操作、维护工人阅读使用。也可供有关大学、中专、技校、机械制造和仪器仪表等专业的师生参考。

## 金 属 软 管

葛子余 著

责任编辑 宋兆武

宇航出版社出版

新华书店北京发行所发行

· 各地新华书店经售

北京农业机械化学学院印刷厂印刷

开本：787×1092，1/32 印张：4.77 字数：110千字

1985年8月第一版，1985年8月第一次印刷

印数：1—10,000册 定价：1.15元

## 序 言

随着现代工业的飞速发展和各门学科的互相渗透，金属软管不仅在机械制造、石油化工、仪器仪表和各类工程上得到广泛应用，近三十年来，它已扩展应用于航天、航空、核能、造船、电子及新型建筑业等工业部门，成为现代工程技术中不可缺少的配件，发挥着显著的作用。

在我国，五十年代初才出现最原始的金属软管，它是以带材缠绕的波纹管为本体的。但是，它发展得很快，经过不到三十年的时间，就走过了其它国家近一百年时间走过的路程。目前，我们已经能够生产一些达到国际先进水平的金属软管。但由于技术交流和标准化等方面的问题，不少技术领域中的设计人员对现代金属软管的结构特点、性能指标等还不十分清楚，致使不少应当使用新型金属软管的场合至今仍然使用着那些结构形式较为陈旧的金属软管、橡胶管或塑料管。编写这本书的目的，就是为了使更多的人熟悉和掌握现代金属软管的知识，以便更广泛、更合理地使用它。同时，本书也为有关人员提供必要的设计参数和制造工艺方面的经验，以利于它的进一步发展。

在世界范围内，金属软管仍属于一门年轻的工业，对于它的理论研究，至今尚未系统化。我们对于这方面的工作，也是刚刚开始，由于水平限制，书中难免有不妥之处，希望广大读者批评指正。

承蒙堵庭同志对全部书耀稿进行了校定，在此谨致谢意。

葛 子 余

一九八四年 于南京

# 目 录

序 言	1
第一章 金属软管发展简史	1
第二章 金属软管的结构特点	4
2.1 波纹管	5
2.2 网套	8
2.3 接头	9
第三章 金属软管的力学性能和强度计算	12
3.1 波纹管的挠性	12
3.2 波纹管的弹性	16
3.3 网套的强度	24
3.4 波纹管的稳定性	38
3.5 波纹管的应力与寿命	41
3.6 液压特性	48
第四章 用作薄壁波纹补偿器的波纹管	53
4.1 波纹数和波纹形状对位移性能的影响	53
4.2 波纹管材料	55
4.3 波纹几何参数的确定	59
4.4 管壁厚度的计算	61
4.5 波纹管的加强措施	63
第五章 金属软管的制造工艺特点	67
5.1 金属波纹管的液压成型	67

5.2	金属波纹管的机械成型工艺	84
5.3	金属丝网套的编织	95
5.4	接头的嵌装	100
<b>第六章</b>	<b>金属软管的性能试验</b>	<b>112</b>
6.1	试验的种类和性质	112
6.2	各种试验的内容和方法	113
<b>第七章</b>	<b>金属软管的正确使用</b>	<b>120</b>
7.1	长度的选择	120
7.2	实际弯曲半径的确定	124
7.3	金属软管安装正误图例	125
<b>第八章</b>	<b>金属软管在工程上的应用实例</b>	<b>128</b>
8.1	大型贮罐基础下沉的补偿器	128
8.2	泵阀类的密封件	129
8.3	管路系统中的伸缩节	132
8.4	取代码头及货栈液体输送线上的橡胶管	135
8.5	取代热压机械上的紫铜管	137
8.6	取代气体净化设备中的塑料管	138
8.7	用于空调、制冷机械	139
8.8	在航空、航天器系统中的应用	141
8.9	双层真空绝热软管在冷疗机上的应用	143
<b>参考资料</b>		<b>145</b>

## 第一章 金属软管发展简史

金属软管在现代工业中占据着极其重要的位置。那么，它是怎样发展起来的呢？

最初，人们用兽皮缝合成管状的结构，以适应生产斗争之需要。经过了相当长的时期，到十七世纪末叶，荷兰的万·德尔盖金兄弟制成了纵向缝合的帆布软管，在当时的消防业务中被广泛采用。后来，随着橡胶在国际市场上的出现及其硫化工艺的发展，胶管和用金属丝或麻绳等织物铠装的胶管问世了。但是，工程上一些蒸汽、热风类的高温介质；液氢、液氧、液氮类的低温介质；汽油、煤油、酸、碱等腐蚀性的介质……，若用胶管来输送，当然不行。特别是在高温条件下，它的安全性就更难保证了。

因此，人们渐渐地把注意力集中到金属管方面，改变金属管的几何形状，使其内外表面产生相应的波纹。这样，它既具有同胶管一样的挠性；同时，又具有耐高温、耐低温、耐老化、耐腐蚀性能。于是，作为金属软管本体的金属波纹管就这样产生了。

一八五五年，德国最先发表了制造波纹管的专利。它是利用当时已有的制造首饰的原理来制造波纹管的。三十年以后，法国的E·Levavasseur与德国的H·Witzenmann合作研制新型金属波纹管，于一八八五年八月获得了法国和德国的专利权。这是用截面为s形的金属带在专用设备上绕制而成的螺旋



层纹管，它们用橡胶带、棉织物或石棉绳填垫在相邻两匝的咬口处，以利于波纹管内腔的密封。

一八九四年，这类波纹管的**结构得到了改进**：人们用两根金属带按不同直径，向相反方向卷绕。这样，金属带在受力状态下达到相互平衡，克服了自发展开的弊病。

一九二九年，在波纹管的**结构上进行了又一次技术革命**，即彻底解决了波纹管由于弯曲时填垫橡胶带或石棉绳的凹槽发生不均匀变化而丧失密封性能的问题，从而开辟了波纹管发展的广阔前景。人们用钢和铜锌合金材料制成了整体波纹管，即用无缝的或有焊缝的管材制成的波纹管，它依靠波纹侧壁的弹性变形来保持一定的可压缩性或可拉伸性；同时，保证可靠的密封。

从二十世纪五十年代开始，**双层、三层、多层的波纹管**，特别是极薄壁不锈钢材波纹管发展得很快。为了满足使用要求，人们采用焊接、电铸、机加、液压和机械旋压等各种工艺方法来制造波纹管。最小公称通径为2毫米，最大公称通径可达400~500毫米，甚至有通径为10米的巨形波纹管。波纹数最少1~2个，最多可达连续几百、几千，甚至几万个。

从波纹管作为金属软管本体的重要意义来讲，金属波纹管的**发展，也就意味着金属软管的发展**。

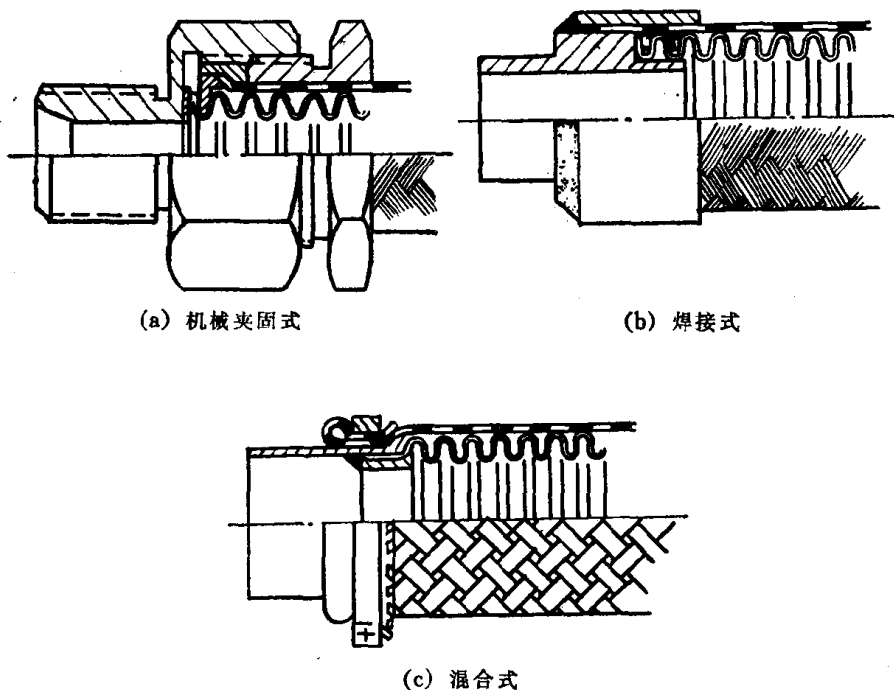
随后，人们在波纹管外表面**包覆上橡胶、塑料或者尼龙等材料**，铠装由金属丝或金属带所构成的网套，变换各种各样的接头形式，为适应各种使用条件下的不同要求创造了多种形式的金属软管。

目前，金属软管的类别有：**专用的输气软管、输液软管、波导软管、屏蔽软管、真空绝热软管和长度、温度或角度的补**

偿软管等。在许多国家，金属软管的设计、生产已经标准化、系列化。能够使用或必须使用金属软管的场合越来越多。它将在现代工业的各个领域中成为不可缺少的重要配件。

## 第二章 金属软管的结构特点

金属软管大体上由波纹管、网套及接头三大部分构成。波纹管是金属软管的主体，起着挠性的作用；网套起着加强、屏蔽的作用；接头起着连接的作用。对不同的使用要求，它们之间相互连接的方式各不相同：波纹管、网套与接头三部分以焊接的形式连接，叫做焊接式；以机械夹固的形式连接，叫做机



图：—1 金属软管的三种典型结构形式

械夹固式；除此，还有把上述两种方法联用的，叫做混合式（见图2—1）。

## 2.1 波 纹 管

波纹管在美洲习惯称作波形管（*Corrugated Tube*）或波纹囊（*Corrugated Box*），在欧洲一般称作金属囊（德*Metallbalgen*，英*Metal Bellows*）。这种命名来源于老式的手工操作的鼓风气囊，在我国俗称它为“皮老虎”。

它是一种具有横向波纹的圆柱形的薄壁壳体，在轴向拉力或压力作用下，可以伸长或者缩短；如果给它施加一个产生弯曲力矩的横向力，则可以沿轴平面得到相应的位移。由于它在特性接近于线性和有效面积几乎不变的情况下能够产生相当大的位移，因此，在各个不同的技术领域中得到广泛的应用。

波纹管的性能取决于它的结构形式，而结构形式根据其制造方法的不同而异：电铸法可以获得壁厚均匀和高精度的波纹管；焊接法可以获得弹性极好的波纹管；机械旋压法可以获得特大公称通径的波纹管；机加切削法可以获得作弹性支承的波纹管；液压法可以获得综合性能较好的波纹管……。

目前，除用于仪器仪表中的弹性元件、敏感元件、测量元件以外，广泛地用作金属软管本体的波纹管，主要是以焊接成型、机械旋压成型和液压成型这三种方法制造的。它们有螺旋形和环形两大类，共八种（见图2—2）。

图2—2中的a~e均为螺旋形波纹管，这类波纹管一般壁厚为0.15~0.50毫米，通径为2~100毫米。f~h均为环形波纹管，这类波纹管一般壁厚为0.2~1.0毫米，通径为10~500毫米；对特殊使用场合，还有制成壁厚为10毫米、通径为4000~

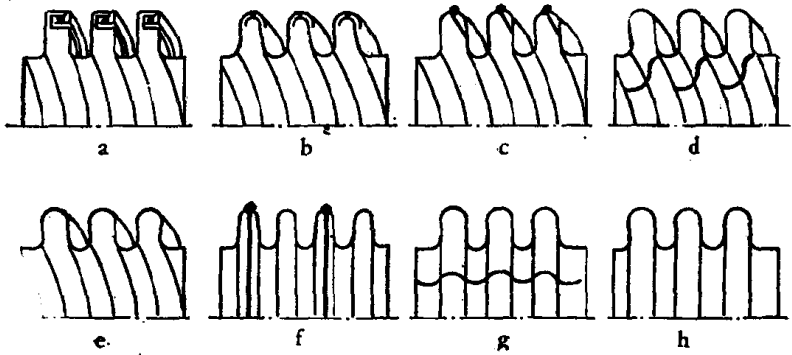
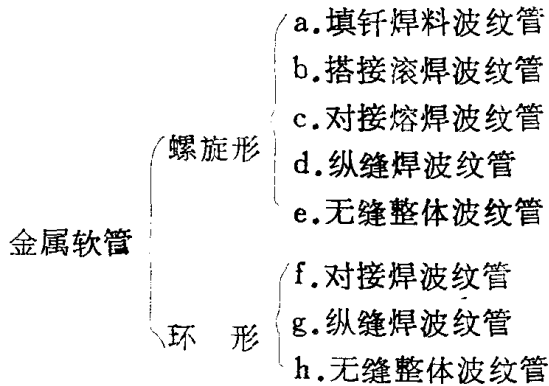


图2—2 常用波纹管的八种结构形式



5000毫米的巨形波纹管，它们多以单层为主，也有双层、三层或多层结构的形式；常以不锈钢材为主，也有用碳钢、铜、铝、钛、铜锌合金、铜镍合金及其它金属材料制造的。

从结构上来看，金属波纹管的坯料有带材和管材两种，它们都可以成型出环形波纹管和螺旋形波纹管。只是因为带材成型的波纹管总是有一定长度的钎焊或熔焊的搭扣和接头，这些地方常常积聚有工作介质的残渣，并沉淀有清洗试验和工作

· 介质中的机械杂质污染内腔。因此，它的使用可信赖度要相对差一些。

环形波纹管制成若干圆环膜片外缘与若干凹面向心的半圆环相切接，内缘与若干凹面背心的半圆环相切接的特殊几何形状管子（见图2—3a）。

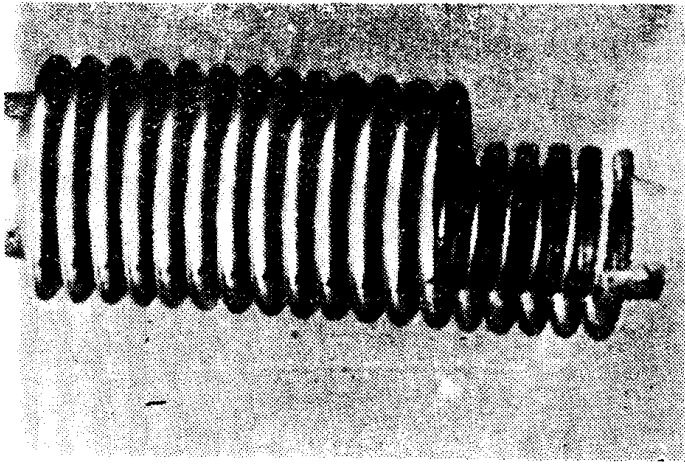


图2—3a 环形波纹管

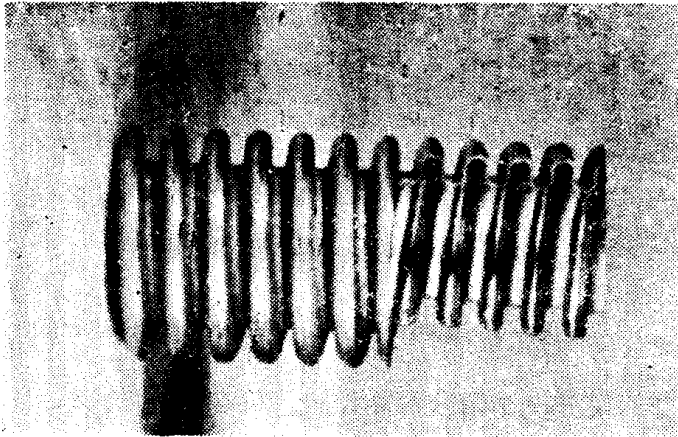


图2—3b 螺旋形波纹管

它的坯料以管材为主，这类波纹管具有挠性大、弹性好、制造简单、刚性小等特点。适宜用来制作承受一般工作压力，对挠性要求较高的大、中通径的金属软管。

螺旋形波纹管是一定长度的绕簧状的膜片外缘与绕簧状的凹面向心的半圆环相切接，内缘与绕簧状的凹面背心的半圆环相切接的特殊几何形状管子（见图 2—3b）。这类波纹管具有强度高、刚性大、制造简单等特点，适宜用来制作对挠性要求一般，强度要求较高的高、中压力，中、小通径的金属软管。

## 2.2 网 套

网套是由相互交叉的若干股金属丝或若干绞金属带按一定顺序编织而成的，以规定的角度套装在金属波纹管的外表面，起着加强和屏蔽的作用（见图2—4）。

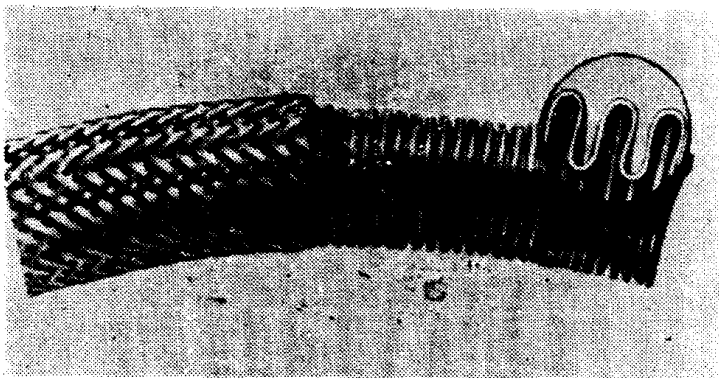


图2—4 套装在波纹管外表面的钢丝网套

网套不仅分担金属软管在轴向、径向上静负荷，还在流体沿着管道流动产生脉动作用的条件下能够保证金属软管安全

可靠地工作，同时，还能保证软管波纹部分不直接地受到相对摩擦、撞击等方面的机械损伤。编织了网套的波纹管，其强度可以提高十几倍至几十倍。最高屏蔽能力可以达到99.95%。

网套的材料一般与波纹管材料相同，也有以两种材料联用的。普通金属软管仅用一层网套；特殊使用场合，也有编织两层、三层的。根据波纹管通径大小及使用要求的不同，它常以直径为0.3~0.8毫米的线材或厚度为0.2~0.5毫米的带材来制作。线材每股4~15根，带材每锭一条。目前，生产的钢丝网套多为24股、36股、48股、64股的，特大通径的波纹管，还有96股、120股和144股的。网套主要编织参数除了（线材）股数 $m$ 、丝径 $\phi$ ，（带材）锭数 $m'$ 、厚度 $\delta$ 以外，还有覆盖面积 $A$ 、编织距 $t_0$ 、编织角度 $\psi$ 等。它们都是决定金属软管性能的重要依据。有关设计与计算问题将在第三章讲述。

### 2.3 接头

接头的作用首先是将网套与波纹管联接为一体，同时，接头又是金属软管与金属软管或其它管件、设备相连接的部件。它保证介质在管路系统中正常地工作。

接头的材料通常与波纹管、网套的材料相同，多以不锈钢为主。为降低生产成本，一些通径较大的金属软管在输送腐蚀性不强或无腐蚀性的介质时，接头可用碳钢制作；对于腐蚀性介质工作情况下的金属软管的接头，若设计上采取相应措施，避免与介质的接触，也可以采用碳钢来制作。

接头的结构形式大体上分为螺纹式、法兰盘式和快速式三大类：

**螺纹式** 通径为50毫米以下的金属软管的接头，在承受较



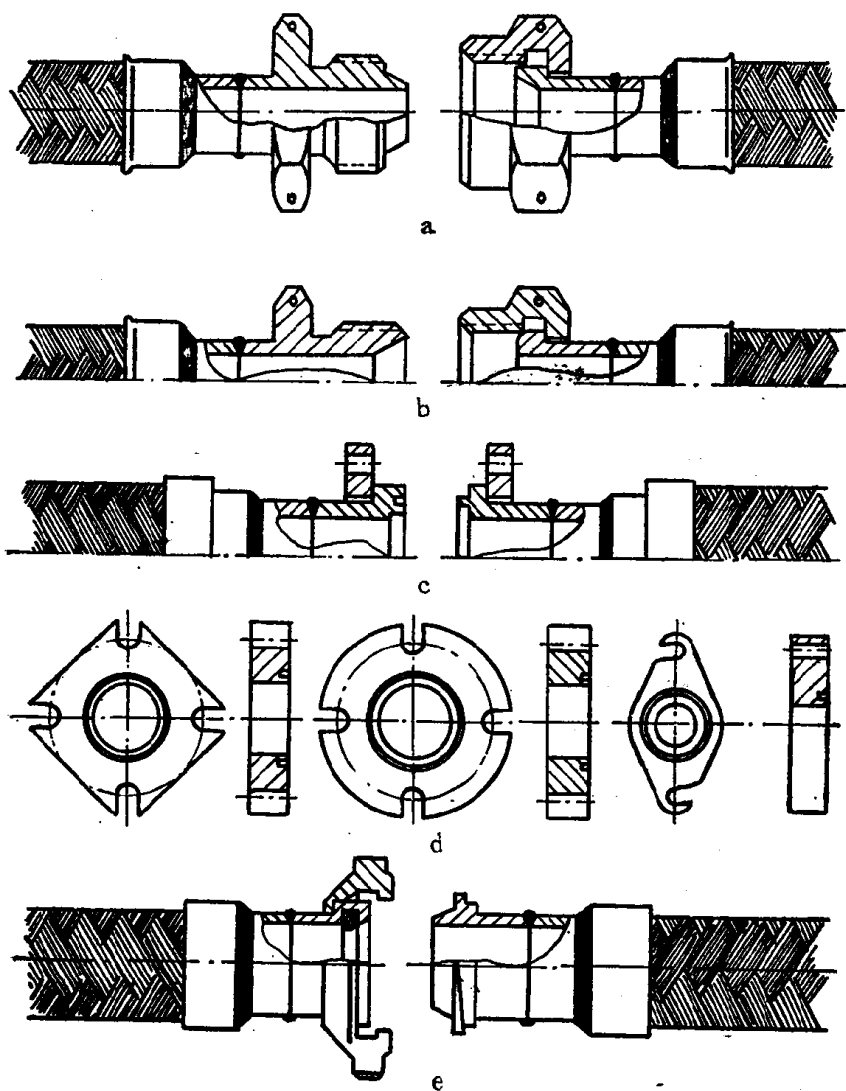


图2—5 常见几种金属软管的接头形式

高工作压力的情况下，多以螺纹式为主（见图2—5a）。当拧紧螺纹以后，两个接头上的内、外锥度面紧密配合，实现密封。