

《国外机械工业基本情况》参考资料

仪 器 仪 表 元 件

沈 阳 仪 器 仪 表 研 究 所

第 一 机 械 工 业 部 情 报 所

出 版 说 明

在毛主席无产阶级革命路线指引下，在党的十大精神鼓舞下，我国机械工业形势一派大好。广大革命职工，高举毛泽东思想伟大红旗，深入开展批林批孔运动，狠抓革命，猛促生产，巩固和发展了无产阶级文化大革命的丰硕成果，毛主席关于“**中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平**”的伟大号召，正在胜利地实现。

“知彼知己，百战不殆”。为了介绍国外机械工业基本情况，我们组织有关单位，按机械工业各行业分别编写与出版一套《国外机械工业基本情况》参考资料。

毛主席教导我们：“……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。”资本主义、修正主义国家的东西，必然打上资本主义的社会烙印和带有资产阶级的阶级偏见。因此，在参考国外情况的过程中，必须遵照伟大领袖毛主席的教导，采取分析、批判的态度。

本册为仪器仪表元件国外基本情况部分，编写工作的单位是沈阳仪器仪表研究所。

由于我们水平有限，编辑工作中定有不少缺点和错误，请读者批评指正。

第一机械工业部情报所

一九七四年

前 言

各种仪器仪表都是由零件和组件构成的。有的大型精密仪器，常常是由成千上万个零件和组件装配而成的，在这些零件和组件中有些能对讯号进行检测、传递、转换、放大、贮存、运算、控制和显示；有些则在仪器仪表中占关键地位，起着关键作用；对于这类零件和组件，一般地被称作为仪器仪表元件。仪器仪表元件的质量直接影响着仪器仪表的精度、灵敏度、可靠性及使用寿命。

仪器仪表的发展历史证明了，元件是仪器仪表的基础。随着仪器仪表工业的发展，元件的品种日益增多，它所涉及的理论、工艺技术、材料也愈来愈多，今天仪器仪表元件已发展成为一门“光、机、电”相结合的综合性科学技术。

为了对仪器仪表元件有一个比较完整的分类概念，我们对工业自动化仪表、成分分析仪器、光学仪器、电工仪表、电影机械、照相机械、材料试验机、实验室仪器等所采用的元件进行了分析，认为大致可分为下列十类：

1. 半导体电子元件：如晶体管、整流元件、集成电路等。
2. 电真空元件：如电子管、真空数码管等。
3. 电气元件：如电容、电阻、开关、接插件等。
4. 电磁元件：如晶体管放大器、振动变流器、微型电机等。
5. 传感元件：如热敏元件、光敏元件、应变元件等。
6. 机械元件：如轴尖轴座、宝石轴承、压力表机芯等。
7. 光学元件：如光栅、滤光片等。
8. 弹性元件：如波纹管、膜片膜盒、弹簧管等。
9. 气动及液动元件：如喷嘴——档板、气阻、气容、射流元件等。
10. 其它元件：如采用各种新技术的探头及新型转换元件等。

目 录

前 言

一、国外仪器仪表元件的发展简史	1
二、几种典型元件的基本情况	3
(一) 弹性元件	3
1. 概述	3
2. 几种代表性弹性元件概况	4
1) 金属波纹管	4
2) 膜片膜盒	11
3) 弹簧管	15
3. 弹性元件的发展趋势	17
(二) 半导体传感元件	19
1. 概述	19
2. 几种代表性半导体传感元件概况	20
1) 热敏电阻	20
2) 半导体应变片	24
3) 光敏元件	27
3. 半导体传感元件的发展趋势	31
(三) 集成电路	34
1. 概 述	34
2. 国外集成电路的生产情况	35
3. 国外集成电路技术水平概况	38
4. 国外集成电路的研制情况及发展趋势	43
5. 国外集成电路典型生产厂介绍	43
(四) 光学元件	45
1. 概 述	45
2. 几种光学元件及零件的概况	45
1) 光学零件	45
2) 光栅	49
3) 干涉滤光片	53
三、国外仪器仪表元件行业的特点	56
四、国外仪器仪表元件的发展动向	58

一、国外仪器仪表元件的发展简史

仪器仪表元件的发展简史大致可分为下列三个阶段。

1. 第二次世界大战前

早在三百年前，世界上就出现了光学仪器。1800年前后有的国家已在高炉上用了风量计和风压计。19世纪中期在一些国家中建立了仪器仪表工厂，例如：德国耶拿蔡司厂建于1846年，西门子公司建于1847年；日本的岛津制作所建于1875年；美国的柯达公司建于1884年。到20世纪初期，一些资本主义国家均已形成了仪器仪表的生产体系。仪器仪表元件就是在仪器仪表工业的建立、发展中形成的。19世纪中期由于当时蒸汽锅炉的需要，制作压力表的波登管元件获得了专利（1849年），随之1870年出现了采用波纹管作为敏感元件的蒸汽记录仪表。1904年又发明了电子管，随之又出现了采用电子管的一些仪器仪表。总之在第二次世界大战前，美国、英国、德国、日本、苏联均已形成了仪器仪表的生产体系，元件生产已有了一定的规模。生产的产品以机械式的为主，气动式仪器仪表成为当时的革新中心。当时在仪器仪表中应用元件的基本情况是：

① 在电子和电气元件方面：应用得不普遍，主要在性能和使用寿命上存在一定问题，而且成本较高。

② 在机械和弹性元件方面：已得到了比较广泛的应用，生产趋向于专业化集中生产，如德国卡尔斯鲁尔公司在1900年已专业生产了金属波纹管，瑞士1927年已建立专业生产宝石轴承的 Seitz 宝石轴承厂。

③ 在光学元件方面：主要还是限于各种镜片生产。至于光栅这类的元件，虽有上百年的历史，但由于光栅刻划技术上的限止，在这期间进展不大。

2. 第二次世界大战——五十年代

在第二次世界大战中，由于战争使英、德、日、苏等国受到了较大的损失，因此在五十年代前基本是恢复阶段，没有多大发展，五十年代期间，电子技术的发展给仪器仪表以很大的推动力，尤其是1948年美国贝尔电话实验室巴登等人开始研究半导体，1951年西方电气公司首先制成商用晶体管，1955年以后，电子元件价格的下降和可靠性的提高，促进了当时仪器仪表工业的发展，电动仪表在工业生产中的应用量逐年增加，在机械元件和弹性元件方面，在此期间已普遍实现了专业化集中生产，元件生产的典型工艺得到了发展。使元件的产量提高、质量稳定、品种增加，为五十年代后期的仪器仪表发展奠定了基础；光学元件方面也有了发展，在镜片加工上研究采用了高速加工法，金刚砂的应用导致了光学加工的革新。光学镀膜方面，1947年左右出现了多层膜，扩大了滤光片在工业上的应用。光栅刻划方面，1947年开始研究了光波干涉法来控制光栅刻划机，从而提高了刻划精度和扩大了刻划面积。

3. 六十年代以后

随着科学技术的迅速发展，基础理论的深化和各种新技术的采用，仪器仪表已成为当前

各个工农业部门实现自动化, 保证质量, 进行科学分析, 向自然界进军的不可缺少的有力工具。尤其是六十年代初出现了集成电路元件, 这个电子元件的变革, 给仪器仪表工业带来的影响愈来愈大。有人估计美国到1975年, 供给工业界和政府用户部门的电子设备中, 将有75%采用集成电路, 到1980年美国出售的电子电路将有 $\frac{1}{3}$ 使用集成电路。随着半导体电子技术的发展, 半导体传感元件以一个新的姿态发挥了它的作用, 在短短的二十几年中, 已发展为八大类几百个品种, 成为许多国家热衷于研究的项目。由于电子技术的发展, 电动仪表在工业生产中应用的增长速度已超过气动仪表的增长速度, 以单元组合仪表为例, 据统计在1967年~1971年期间, 国外电动单元组合仪表增长三点三倍, 而气动单元组合仪表仅增长两倍。由于电子技术的发展, 在六十年代后期, 七十年代初电子计算机在各个工业部门中的应用得到迅速推广。可以这样说: “当今集成电路和半导体传感元件是仪器仪表元件方面最重要的进展”。在集成电路促进仪器仪表小型化, 提高可靠性、增长使用寿命的同时, 各种相应的电气元件、电磁元件以及其他元件也趋向于小型化、高可靠性和长寿命。但是, 从目前看来集成电路还不能取代所有的电子元件例如在制作高频、大功率电子元件方面还是需要用半导体分立元件, 以英国电气公司为例: 半导体分立元件的需要量73年要比72年增加50%, 尚无任何减少销售的迹象。

在机械元件和弹性元件方面, 六十年代前已基本实现了专业化集中生产。在六十年代后期技术上基本处于相对稳定阶段, 有关这两类元件的文献资料, 1965年以后发表很少。但在元件结构的改进、新材料、新工艺的采用和加工自动化水平等方面仍在不断提高。

在光学元件方面, 在大量生产的条件下, 实现了单机机械化、半自动化和自动化, 并能组成自动加工流水线, 达到经济高效的生产。但是, 对于高精度的光学零件的加工, 仍然要凭经验和技能。此外, 许多新技术新工艺的采用也推动了光学元件的发展。例如: 离子抛光技术提高了光学零件的抛光质量; 激光和光致抗蚀层制造工艺提高了刻制衍射光栅的精度; 多层高反射膜、多层高增透膜、多层干涉滤光膜、多层光热分离膜等镀膜技术促进了滤光片的发展。

二、几种典型元件的基本情况

仪器仪表的品种规格有成千上万种，但归纳一下大致可分为十大类，在近几年中它们的发展速度是不平衡的，其中集成电路和半导体传感元件是最重大的进展，它将促进仪器仪表发生巨大的变革。弹性元件和光学元件虽然历史悠久，但也都有新的发展，在仪器仪表中仍然起着十分重要的作用。为此，我们在本资料中选择了弹性元件、半导体传感元件、集成电路、光学元件等几类典型元件进行重点介绍，并粗略地介绍一下整个仪器仪表元件的现状、特点及动向。

(一) 弹性元件

1. 概述

弹性元件是仪器仪表中重要的元件之一，它的功能不仅能利用弹性性能来起压力——力（位移）的转换作用，也能起密封、介质隔离及温度补偿作用等等。因此，它直接影响到仪器仪表的工作性能。

在仪器仪表中常用的弹性元件主要有：金属波纹管、膜片膜盒、弹簧管、游丝张吊丝等等。

弹性元件在国外出现得较早，在19世纪中期——蒸汽机时代，就出现了一些弹性元件和采用这类元件作为敏感元件的压力测量仪表，例如：1849年法国人波登发明了波登管、1851年就制成了第一台波登管式的压力表。1870年出现了波纹管式的蒸汽记录仪表。到19世纪末，廿世纪初，在美国、德国已建立了一些专业生产波登管和波纹管的工厂。

第一次世界大战后，由于近代数学力学的发展，促使人们对弹性元件的理论进行了一系列的研究工作。以膜片为例，美国国家标准局(NBS)在1923年前后对膜片进行了一系列的研究工作，它们采用液压法制成了铍铜、磷铜、镍材等波纹膜片，并提出了设计计算膜片的经验公式；苏联在30年代由H·K·马特维耶夫也提出了液压成形波纹膜片的方法。弹性元件的发展，促进了气动仪表的应用，在第二次世界大战前，气动仪表成了当时仪器仪表发展的中心。

第二次世界大战后，随着科学技术的发展，弹性元件的理论、工艺得到进一步深化和提高。在这期间由Walfe·A和Flachbarth·C·T等人分别发表了“波登管压力计的基本原理”和“波登管数学分析的研究”两文；1949年苏联的费奥多谢耶夫(Феофанов·В·И)发表了“精密仪器制造用弹性元件”一书，该书对各类弹性元件进行了理论分析，提出了各种相应的设计计算公式。1962年苏联的安德烈娃(Андреева П·Е·К)发表了“仪表弹性元件”一书，对各种弹性元件作了系统的论述，使所确定的设计计算公式更接近于实际，这个时期的理论发展为近廿年的进一步推广和应用奠定了基础。

六十年代以来,弹性元件的理论、材料、制造方法也得到了新的发展。在美国、西德、英国、日本、苏联等等国家,在生产方面均采取了专业化集中生产的方式,制造工艺和设备有了新的改进和提高。在弹性元件的品种方面,随着应用领域的扩大,新品种逐步向着高精度、高压缩性、恒弹性、耐高压、耐高温,耐腐蚀、小型化等方面发展。

2. 几种代表性弹性元件的概况

1) 金属波纹管

(1) 概 述

金属波纹管在仪表中主要是起压力——力(位移)的转换作用也能起密封、介质隔离、温度补偿、软轴连接、非电弹簧等作用。

国外自从1870年已出现了波纹管式测量仪表以后,在美国、德国等一些资本主义国家相继出现一些生产波纹管的专业工厂,如:美国的 Robertshaw—Fulton 控制公司(1904年);西德《IWK》公司(1900年)。近廿年来,金属波纹管的应用范围还扩大到宇宙航行、航海、汽车、石油、化工等工业部门。成为各个领域不可缺少的一种器件。

(2) 国外金属波纹管的生产情况

目前,在美国、英国、西德、日本等国均有专业的金属波纹管生产厂,美国约有数十家之多。各国主要的金属波纹管生产厂参见表1。这些工厂在生产方面的共同的特点是:

① 生产历史较长

美国、西德的金属波纹管生产厂已有70多年的历史,日本较短也有30余年。

② 企业规模较小

如日本富士波纹管厂,资金为5000万日元,建筑面积共为5132米²(其中总厂为2332米²,分厂为2800米²),人员共247人(其中总厂146人,分厂101人)。日本鹭宫制作所的波纹管车间人员为120人,其他各厂或专业车间规模也大致相似。

③ 品种规格多

各专业生产厂或车间,均有自己一套系列标准,除了常规产品外,变形品种较多。如美国的 Kinemotive 公司能生产2000多种不同品种规格的波纹管;Robertshaw—Fulton 控制公司能生产1000多种。

这些产品除供仪器仪表工业使用外,还供航空工业、石油化工工业等使用。各厂都从获取最大利润出发开拓新的应用面。

表 1

各国主要金属波纹管生产厂、车间一览表

序号	国 别	厂 家 名 称	备 注
1	美 国	金属波纹管公司(Metal Bellow Co)	主要采用液压成形和滚压成形;材料以不锈钢为主。
2	美 国	Robertshaw—Fulton 控制公司	1904年建厂,有1000多种品种规格。
3	美 国	Kinemotive 公司	电沉积成形和焊接波纹管,共有2000多种规格。
4	美 国	Servometer 公司	电沉积成形,内径范围: φ1.6~φ31.75mm
5	美 国	Master 产品制造公司	液压成形,内径范围: φ3.17~φ600mm

续前表

序号	国别	厂 家 名 称	备 注
6	英 国	Drayton 控制公司	液压成形, 材料以黄铜、磷青铜为主, 其次是不锈钢。
7	英 国	动力附件公司(Power Auxiliaries Ltd)	金属软管和仪表用波纹管。
8	英 国	Accles and Pollock 公司	金属软管
9	英 国	Teddington 公司	管道补偿结头
10	西 德	《IWK》金属波纹管厂	1894年建厂, 主要生产液压成形和滚压成形波纹管。
11	西 德	Pfortzheim 金属软管厂	主要生产液压成形和滚压成形波纹管
12	西 德	SBALOL 厂	波纹管和金属软管
13	西 德	Hans Skohneck 软管厂	金属软管
14	日 本	鹭宫制作所 (Sagmomiya Co)	1940年建厂, 主要生产液压成形和滚压成形波纹管。
15	日 本	富士波纹管厂 (Fuji Bellows Co. Ltd)	1947年建厂, 主要生产液压成形和焊接波纹管。
16	日 本	久世波纹管厂	仪表用波纹管
17	日 本	东京螺旋管制作所	金属软管
18	民 德	VEB Noremat	仪表用波纹管
19	法 国	Tubost~Tuyaux Flexibles	金属软管
20	意 大 利	Tdroinox	管道补偿结头

(3) 国外金属波纹管技术水平概况

① 产品情况

国外生产的金属波纹管以液压成形的单层黄铜、磷青铜、铍青铜和不锈钢波纹管为主。目前黄铜正在被磷青铜取代, 黄铜的用量日益减少, 如日本富士波纹管厂磷青铜波纹管的产量占该厂总产量的80%, 黄铜基本不用。各厂的产品按结构形式来分: 主要有环形波纹管、螺旋波纹管、焊接波纹管、长波纹管和多层波纹管等几种。各种产品均有系列标准。特点是基本品种较少(如日本富士波纹管厂生产的外径为 $\phi 8 \sim \phi 464$ 毫米的波纹管, 只有55种基本规格; 西德汉斯无缝软管厂外径为 $\phi 8.3 \sim \phi 200$ 毫米波纹管只有39种规格), 但根据特殊需要, 变形品种较多, 如美国 Kinemotive 公司生产2000多种不同品种规格的。从目前国外各厂生产的波纹管尺寸规格来看, 外径范围大致为 $\phi 1 \sim \phi 5000$ 毫米, 但在仪器仪表中较常用的范围是 $\phi 30 \sim 40$ 和 $\phi 70 \sim 80$, 其他大多用于别的工业部门。近几年根据仪器仪表的需要, 还发展了一种小刚度、高灵敏度的深波系列波纹管。

各厂的金属波纹管产品,在出厂前一般均经过严格的性能检查,产品性能比较稳定,表面质量比较好。在使用寿命方面,不同场合下要求也不同,例如:在管道中作热补偿器用的波纹管一般寿命为3000次,在开关频率较高的恒温器中寿命指标为10,000次,而在仪器仪表中作测量元件的波纹管寿命是在50~100万次左右,这些指标,国外产品一般均能达到。

随着科学技术的发展,国外还出现了高精度、高压缩性、恒弹性、耐高压、耐高温、耐腐蚀、小型化的金属波纹管。其现状是:

A 高精度波纹管

据国外资料介绍,高精度波纹管一般是采用焊接结构形式,这种产品主要用于位移平衡式仪表或其他对元件线性要求较高的场合。美国生产的这类波纹管非线性做到小于0.4%,滞后、弹性常数等均要比通常的液压成形波纹管优越;日本用NKO₄材料制成的焊接波纹管非线性为0.5%,滞后小于0.3%。

B 高压缩性波纹管

通常波纹管的压缩量为自由长度的50%,而一般在使用时压缩比均取10%之内,因为伸缩量小,就能提高波纹管的使用寿命。但在某些特殊的应用场合,需要高压缩性的波纹管,美国在1966年有人发明了一种新型波形波纹管,这种波纹管最大的压缩量可为自由长度的65~75%。这种波纹管近几年在美国已成批生产,并在航空上得到了应用(美国专利№.3030982)

C 恒弹性波纹管

这种波纹管的性能随环境温度变化的影响很小,一般采用Ni₄₂CrTiAl的恒弹性材料。美国的镍基C902合金就属于这种材料,其成份为Ni 42、Cr 5.5、Ti 2.5、Mn 0.4、Co 0.6、Si 0.5、Al 0.4等。

D 耐高压波纹管。

这方面,在国外除了采用多层波纹管外,还从改进波纹的形状着手,设计出新型耐高压的S形和Ω形波纹的波纹管。

在多层波纹管方面,主要采用不锈钢材料,层数一般为2~4层,也有少数根据特殊需要而特制4层以上的。这类波纹管一般用于高压伐门中,作为高压密封用,但对精度没有要求,只考虑它的耐压、使用寿命、耐腐蚀等问题。多层波纹管与同样厚度的单层波纹管相比不仅能耐较高的压力,(一般耐压为几公斤到40公斤/厘米²左右),而且比较柔软(刚度小),使用寿命长。东德VEB Norematt Noospn厂生产的一种不锈钢三层波纹管外径为28毫米,每层壁厚为0.1毫米,就能承受34公斤/厘米²的外压。

在管道结头方面,国外有的采用了S形和Ω形波纹的波纹管,耐压较高,如西德《IWK》生产的高压型不锈钢补偿结头,内径范围为φ100~2000毫米,最高耐压高达100公斤/厘米²。美国研究成功一种“迭层式”焊接波纹管(美国专利№3090403),这种波纹管耐压力可高达140~700公斤/厘米²。

为了适应更高压力的需要,国外许多工厂还生产了带有不锈钢丝网套的波纹管,网套有单层和多层几种,可提高数倍的耐压能力。

E 耐高温波纹管

国外耐高温波纹管的温度范围为600~1000℃左右。如日本用因可尼合金(Inconel)制成的波纹管可在600℃环境下正常工作;美国Marman公司生产的不锈钢热补偿器可用于870℃;西德Pforzheim金属软管厂生产的一种耐热钢波纹管可用于1000℃。

F 耐腐蚀波纹管

随着化学工业的发展,解决波纹管的耐腐蚀问题已成为当务之急,目前美国、西德在这方面有较大的进展,苏联、日本仍存在许多问题,正在加强这方面的研究工作。总的说来国外在这方面有进展,但还有许多问题有待解决。

美国采用了 AISI 304和316 型不锈钢,这种材料对于硫化物和氧化物有良好的抗腐蚀能力;西德《Pforzheim》金属软管厂,在有腐蚀介质的场合推荐采用:银、镍、Hastelloy B·C、蒙耐尔合金及钛等材料;日本也推荐采用 Hastelloy B·C。

G 小型波纹管

一般都是用电成型法来制造。例如:英国 Plessey 宇航公司采用了电成型技术生产内径为 6.4~40 毫米,壁厚为 0.04 毫米的小型波纹管。并已使用在压力显示和记录仪表中,效果良好;美国 Servometer 公司生产一种铁——镍或镍——钴合金的小型波纹管,内径范围为 1.6~32 毫米,厚度为 0.008 毫米;美国 72 年报道了他们已能生产 99.85% 纯镍材料的小型波纹管,这种波纹管外径仅为 0.94 毫米,长度为 1 毫米,壁厚为 0.008 毫米,当施加 4 克微小压力时,它能处于全压缩状态。这种波纹管的泄漏率可确保在标准气压下不大于 1×10^{-9} 毫升/秒,适用于电子工业和航空工业方面。

② 工艺与设备情况

金属波纹管的制造工艺主要包括:制管坯、成形、热处理、检验等环节。国外一些生产厂在几十年的生产中都积累了比较丰富的经验,使金属波纹管典型工艺日益完善。

A 管坯的制造工艺与设备

液压和滚压成形波纹管均需有预制的管坯。通常管坯的制造方法有两种,即拉伸法和焊接法。拉伸法一般加工较短的管坯(1 米以下),国外一些工厂大多采用多次拉伸法,在拉伸机自动化方面下功夫,从而提高拉伸效率。多次拉伸法,能制造尺寸精度较高的管坯,壁厚公差可控制在 0.0025 毫米范围内,而且表面质量较好,成品率较高。也有的工厂采用滚珠旋转挤压一次拉伸法(苏联有些工厂采用这种方法),这种工艺能简化多次拉伸的工序(包括拉深工序和热处理工序),从而提高了生产效率。这种管坯工艺,在航空工业中已应用得比较广泛;另一种是焊接法,即先把薄板材弯成管状,然后焊接成管坯。这种工艺适用于加工长管坯和大型管坯,而且生产效率较高,成本低廉。这种制管工艺,至今仍是主要生产工艺之一。

B 成形工艺与设备

成形工艺是制造金属波纹管的关键工艺,国外在这方面比较重视,改进和发展也较快。通常采用的主要成形方法有滚压法、液压法、焊接法、化学沉积法和电沉积法等五种。这五种方法各有所长,在国外均在采用,工艺和设备方面都有所发展。

a 滚压法

这是一种机械式滚压成形方法,能加工环形波纹管和螺旋波纹管,但主要是加工长的螺旋波纹管(为金属软管的一种形式),这种工艺具有生产效率高,成本低等特点,可适用于加工外径范围为 $\phi 20 \sim \phi 125$ 毫米的螺旋长波纹管。美国的 Robertshaw—Fulton 控制公司、日本鹭宫制作所、西德 Pforzheim 金属软管厂等,在制作金属螺旋长波纹管时均采用这种滚压法。

有关滚压成形法的设备,在六十年代国外先后发表了许多专利,如苏联的 №120823,美国的 №2962078、№3128821、英国的 №821940、№881154 等等,其中美国的 №3128821 和英国的 №881154 均比较先进。这类装置均采用了螺旋型模滚压法,它们一次滚压加工就能完成

成形和整形的两道工序,加工效果良好。

b 液压法

这是目前最常用的一种方法,主要适用于加工环形波纹管,也能成形螺旋波纹管。这种方法最小能加工外径为几毫米,壁厚为 0.076 毫米的波纹管,最大能加工外径为 5 米,壁厚为几毫米的波纹管,因此它的适用范围很广。

国外在液压成形设备方面做了大量的工作,美国从四十年代到六十年代之间就发表了上百篇有关这方面的专利。从液压成形设备看来主要的改进方向是在于成形模具的改进和成形自动化的提高。目前,制造环形长波纹管主要采用单波连续成形机或多波连续成形机。在制造短波纹管方面,有的是用短管坯一次成形一个,有的是在长管坯上成形数个然后切开,总的说来成形机的自动程度较高。最近几年有关的文献发表得较少了,这也可以说明这方面的技术已处于相对稳定阶段。

c 焊接法

这种工艺方法是先把板料冲裁成波纹状圆片,然后用焊接法连接成焊接波纹管。这种方法成本较高,而且限于制作尺寸较大的波纹管。但它的优点是:性能比液压成形的优越,并能制成压缩量相当于全长 80% 的波纹管。焊接波纹管通常是使用不锈钢材料,根据需要也可采用其他金属。

焊接工艺通常是采用氩弧焊和电容储能焊,最近又发展了等离子焊和电子束焊。目前在日本等一些国家采用等离子焊已取得了良好成绩。这种焊接方法是把氩气等离子化产生 10000℃ 以上的高温的形式来进行焊接的,它优点是弧光细,焊接受热区域极小,适用于焊接高熔点和极薄的材料,在焊接不锈钢波纹管方面比较适用;电子束焊接也是一种理想的焊接方法,但设备价格高昂,需在真空中进行焊接,工艺较复杂,在生产上尚没推广应用。据日本《机械技术》1971 年 № 2 报道,采用电子束焊接法已试制成壁厚为 0.1 毫米的蒙乃尔合金波纹管。

在焊接设备方面,国外一方面是提高氩弧焊和电容储能焊的自动化程度,提高生产效率。另一方面是着眼于设计专用的特殊焊接装置,如日本已制成了小型专用电子束焊机,从而降低了装置的成本,扩大了应用面。

d 化学沉积法

这种方法是在镍磷酸脂溶液中对波纹状芯轴进行镀敷,然后溶化去掉芯轴而制成波纹管的方法。这种方法制成的波纹管不是纯金属,而是一种镍磷酸化合物。这种成形工艺适用于加工特殊形状的波纹管,它具有较高的拉伸强度,但延展性差,在振动场合易破裂。美国专利 № 3030982 中所介绍的波纹管就是用这种方法制成的。这种工艺有它的局限性,近年来在成批生产方面已被电沉积法所取代。

e 电沉积法

这是一种在芯轴上沉积 99.85% 纯镍。然后分离芯轴制得波纹管的一种方法。由于得到的是纯镍,所以柔软而富有弹性,密封性好,适用于高真空场合。这种材料的最小屈服强度为 7733 公斤/厘米²,最小拉伸强度为 8787 公斤/厘米²,而且滞后很小。用这种方法也能制成金、银、锡等波纹管。

这种工艺适用于制造小型、异型波纹管,例如:美国用这种工艺生产了外径为 0.94 毫米,长度为 1 毫米,壁厚为 0.008 毫米的小形波纹管。也制成了圆锥形,直角形和与管接头连为一体的异形波纹管。

C 热处理工艺与设备

金属在加工中因冷作硬化而塑性降低,为了恢复塑性,所以在两道变形工序之间往往需采用热处理退火工序。过去国外也是采用箱式炉,或井式炉。六十年代开始,一些专业厂为了提高热处理的质量和自动化程度,推广了一些新的工艺方法。例如:日本鹭宫制作所在处理磷青铜波纹管及管坯时采用了卧式自动连续退火炉,据说这种炉子该厂在1965年就有15台之多。在不锈钢处理方面采用了高频真空退火炉,生产效率较高,在1~30秒钟就能完成一个退火工序;国外许多厂还采用了光亮退火炉(在真空中或在氢气中退火),日本富士波纹管厂和东京螺旋管制作所都采用了这种方法,日本富士波纹管厂,1965年在生产中使用的亮光退火炉就有8台(其中真空式7台、氢气式1台)。实践证明,这种热处理方式比通常的优越,通过这种处理直接能得到光洁的表面,从而提高了耐蚀性能。

D 检测工艺与设备

国外一些金属波纹管生产厂对元件的性能检测工艺比较重视,根据元件的不同使用对象,检查的项目类别也各有不同。采用的检测仪器,除了通用的测压,测位移仪器之外,一些专用的检测仪器均是以自制为主。如日本富士波纹管厂、鹭宫制作所、东京螺旋管制作所、西德 IWK 厂等均是如此。检测仪器有的较土,但比较实用,如弹性系数、气密性和疲劳试验等仪器均制作得较为简单,适合于生产车间使用。而在试验室使用的,有效面积、特性测试等仪器较为复杂,日本富士波纹管厂在65年左右就开始采用光机电相结合的仪器,自动程度较高,并附有打印、显示和记录装置。

(4) 国外金属波纹管的研制情况

金属波纹管从出现到现在已有一百多年历史,关于它的理论在19世纪末就进行了研究,到廿世纪初美国的 Robertshaw—Fulton 控制公司对它的寿命进行了一系列的研究。随着工业和科学技术的发展,金属波纹管的理论设计、材料、工艺、加工装置及检测仪器等方面都得到了很大的进展,在廿世纪初到六十年代期间,国外在这方面发表了大量的专利,近七、八年来,有关的文献发表得极少,据分析在技术上基本处于相对稳定阶段。但是,由于金属波纹管的应用领域不断扩大,金属波纹管在有蚀介质下使用已成为各国急待解决的问题,目前,美国、苏联、日本等均十分重视这方面的工作,并列为今后的研究计划。

国外从事金属波纹管研究工作的单位,主要是一些专业生产厂、学校,也有军事和政府研究部门。

(5) 国外金属波纹管典型生产厂介绍

① 美国 Robertshaw—Fulton 控制公司

A 发展简史

美国 Robertshaw—Fulton 控制公司的 Fulton Sylton 分公司从1904年开始就专门制作金属波纹管和波纹管组件。该分厂目前是美国主要金属波纹管生产厂之一。

B 产品情况

主要产品是:仪表用金属波纹管和管道连接用热补偿器,以及其他波纹管组件。材料通常采用黄铜、磷青铜、铍青铜、蒙乃尔合金、A—286不锈钢、Inconel 和 Inconel—x 等等。尺寸规格范围外径为 $\phi 6 \sim \phi 300$ 毫米,其中单层黄铜波纹管的规格就有85种,此外还有2~4层的多层波纹管。该厂生产的各种规格达上千种。

C 工艺和设备情况

管坯制作工艺有两种，一般是用多次拉伸法，对于长管坯和大型管坯采用焊接法。这两种方法均能制得0.0125毫米厚的管坯。

成形工艺采用液压成形法和滚压成形法两种。在某些情况下，还采用液压和滚压混合成形法，该厂认为这种方法效果较好。

② 日本富士金属波纹管厂(Fuji Bellows Co. Ltd)

A 发展简史

富士金属波纹管厂建于1947年，当时厂址在日本静冈县。1949年迁到东京都品区，开始专业生产汽车用金属波纹管。1950年生产化工用不锈钢波纹管。1952年随着金属波纹管销售量的增加，开始研制液压波纹管成形机。1953年在厂内成立研究机构，开始研究用于仪器仪表方面的弹性元件，并在此时采用了液压成形机。1952年~1958年期间，该厂发展较快，新盖了厂房、改造了设备，加强了研究工作，使该厂生产逐步趋向于现代化。1961年又在神奈川县大和市新建了分厂，占地2.4万平方米(6000坪)。1963年和美国标准——汤姆逊公司(スグニダ——トナムソン)合并成立富士——汤姆逊公司，成为世界生产金属波纹管式恒温器的三大厂之一。

从表中可见该厂从1947年到1965年，在18年中销售额增加了53倍。

E 产品情况

该厂产品以金属波纹管和波纹管器件为主，也生产一部分膜片膜盒。该厂与本国的一些著名的仪器仪表厂有固定的协作关系，如：日立制作所、东京芝浦电气株式会社、横河电机制作所、东京计器制造所等等。

产品材料以磷青铜为主(含铜92%、锡8%)占总数的80%。其次是不锈钢，主要用AISI304L和316L。尺寸范围为：外径 $\phi 8 \sim \phi 780$ 毫米，共57种规格。此外还生产双层波纹管。

F 工艺和装备情况

在管坯拉伸方面还是以多次拉深法为主，该厂认为这种方法能严格控制管坯的壁厚，公差可控制在0.0025毫米内。成形方面主要采用液压成形法，也有一部分采用焊接法(用氩弧焊接)。热处理方面采用了真空光亮退火工艺，防止了管坯表面氧化皮的产生，从而提高了表面质量，提高了不锈钢波纹管的耐腐蚀性能。

该厂的设备除了管坯拉伸机之外，成形机、热处理设备等均以自制专用设备为主。该厂重视产品的质量检查工作，专门设有一个性能测试室，拥有工作人员10名。而且在车间中还进行诸如刚度、气密性、疲劳试验等性能试验。在测试室中主要是测试波纹管的有效面积和

B 规模

表2 该厂总厂和分厂占地和人员情况表

项目	占地面积	建筑面积	职工人数	技术人员数
厂名				
总厂	2136m ² (534坪*)	2332m ² (558坪)	146人	28人
分厂	24000m ² (6000坪)	2800m ² (700坪)	101人	14人
合计	26136m ² (6534坪)	5132m ² (1258坪)	247人	42人

* 坪=4m²

该厂技术人员占全厂职工的17%。

C 投资

表3 该厂资金增长情况表 (日元：万)

年份	1954年	1957年	1958年	1961年	1965年
资金					
总合资金	300万	600万	900万	2000万	5000万

D 产量、产值

表4 历年的销售额增长情况表 (日元：万)

年份	1947年	1953年	1958年	1960年	1962年	1965年
销售额						
每年销售额	1000万	4000万	11000万	26000万	38000万	53000万

特性,该厂有三台有效面积测试仪,其中有的原理是采用光学和机械相结合的。特性测量仪自动化程度较高,在连续测量中可自动打印,显示和记录。除此之外该厂还拥有下列主要设备:(见表5)

③ 西德卡尔斯鲁尔公司(IWK)

A 发展简史

该厂在1894年已制成第一个波纹状柔性软管,1900年开始批量生产。目前该厂已发展成为制造仪表用金属波纹管、工业用金属软管和管道连接用波纹管热补偿器等多品种产品的专业工厂。该厂产品目前不仅供应本国,而且在世界29个国家和地区设有代销站,销售该厂的产品。

B 产品情况

该厂生产的仪表用波纹管主要采用德国黄铜(含铜85%),其次是不锈钢、纯银、镍银、铝等。也有的在铜质波纹管的外层或内层镀上铅或银等材料,以增加对介质的抗腐蚀性能。产品的尺寸范围外径为 $\phi 15 \sim \phi 320$ 毫米(按外径分共有23种规格)。除单层波纹管外,该厂还生产2~4层的多层波纹管。该厂的波纹管伸缩性能较好,最大压缩量可为原始长度的60%,但在使用中希望不超过50%,要是工作压力为最大的60%,那末,此时的寿命可达100万次(允许偏差 $\pm 30\%$)。该厂还生产了焊接波纹管,外径尺寸范围为 $\phi 32 \sim \phi 880$ 毫米,共18种规格。

该厂生产的金属软管材料主要采用80号黄铜,多数是螺旋状波纹的,内径范围为 $\phi 4 \sim \phi 100$ 毫米,共15种规格。最高使用温度为 300°C ,最大耐压为 400kg/cm^2 。

波纹管热补偿器材料是用铬钼钢和不锈钢,分高压型和低压型两种。高压型内径尺寸范围为 $\phi 100 \sim \phi 2000$ 毫米,低压型内径尺寸范围为 $\phi 18 \sim \phi 350$ 毫米。最高使用温度为 680°C ,最大耐压为 100kg/cm^2 。

C 工艺和设备情况

该厂成形方法采用滚压成形、液压成形和焊接成形三种。滚压成形法主要加工螺旋波纹的金属软管。液压成形主要加工短波纹管和直径波纹管。焊接工艺用于制作焊接波纹管和波纹管与结头的连结,前者是采用接触缝焊和电弧焊,后者通常采用钎焊。钎焊也是一项精巧的工艺,该厂采用带酸性的焊药,称50/50号焊料,这种焊料使用效果较好。

该厂元件在出厂前都作严格的性能试验,主要检验几何尺寸、刚度、泄漏及使用寿命等项目。

加工设备和检测仪器也是以自制的为主。

2) 膜片膜盒

(1) 概述

膜片膜盒也是主要的弹性元件之一,目前已广泛地用于工业自动化仪表和其他的仪器仪表

表 5

序号	设 备 名 称	数 量
1	液压成形机	20台
2	滚压成形机	10台
3	光亮退火炉(真空式)	7台
4	光亮退火炉(氢气式)	1台
5	滚焊机	1台
6	点焊机	2台
7	氩弧焊机	7台
8	直流焊机	1台
9	电加工机床	1台
10	检漏试验机(高真空)	2台
11	检漏仪	1台
12	恒温性能试验装置	5台
13	弹性系数测定仪	6台
14	波纹管载荷试验机	5台
15	疲劳试验机	5台
16	冷温水寿命试验机	2台

表中,它在仪表中主要作低压检测元件,起压力——位移(力)的转换作用,而且也能作密封、介质隔离元件,在目前的法兰式仪表中起着重要的作用。

膜片膜盒的制造和应用历史至今也有一百多年了。早在1849年在德国首先出现了第一个膜片,开始膜片膜盒的应用并不广泛,到二十世纪二十年代,一些国家才给予重视,在美国、苏联等国家相继开展了这方面的研究工作。在四十~五十年代以后随着力平衡仪表的发展,膜片膜盒的生产和研究得到了进一步的发展。

(2) 国外膜片膜盒的生产情况

国外生产的膜片膜盒主要有金属和非金属的两类。

由于膜片膜盒的质量与仪器仪表的性能密切相关,因此在国外,生产膜片膜盒多数是由仪表厂自己进行。有些用量大,性能要求不高的膜片膜盒则由专业厂或本厂自己提供。例如,日本横河电机制作所和美国的 Foxboro 厂的气动变送器用的膜片膜盒均由本厂自己生产。也有一些弹性元件的专业厂兼产膜片膜盒,如日本的富士波纹管厂、鹭宫制作所、美国的 Da/Pro Rubber 公司、Bellofram 公司,西德的(IWK)公司、法国的 Callisto 公司等。

在各生产厂中,膜片膜盒也有一定的系列,但与金属波纹管相比,没有象它那样定型,因此商品化较差,一般都与仪表直接配套使用。

(3) 国外膜片膜盒技术水平概况

① 产品情况

金属膜片通常是一种径向具有波纹的薄圆板,波纹形状有锯齿形、梯形、正弦形、圆形等几种。此外,有的国家还发展了星形和内外波纹大小不同的膜片。把两个膜片焊接起来便成了膜盒。膜片一般是作为压力测量元件,在许多场合还能作密封和介质隔离元件。膜盒一般是作为压力和真空测量元件。

金属膜片膜盒的材料,在国外常用的是:磷青铜、铍铜、蒙乃尔合金和不锈钢等。这些材料的成分和性能可参见下表:

表 6

序号	材 料	成 分	备 注
1	磷 青 铜	Cu95, Sn5 (P0.035)	加工和热处理容易
2	AISI305不锈钢	Cr19, Ni9 (C不大于0.08)	耐腐蚀性较好,加工硬化快
3	AISI316不锈钢	Cr17, Ni7, Mo3(C不大于0.08)	耐腐蚀性较好,尤其适用于硫化物和氯化物场合,性能和 304 相似
4	铍 铜	Be1.89, Co0.25	滞后小,疲劳极限高。
5	蒙乃尔合金 K	Ni63~67, Al2.0~4.0, Ti0.05, 其余为Cu	滞后小,疲劳极限高,耐腐蚀性较好。
6	镍基碳合金	Ni42, Cr5.5, Ti2.5, Mn9.4, C0.06, Si0.5, Al0.4	温度变化时弹性系数变化小,能耐高压。
7	17-7H 不锈钢	Cr16~18, Ni6.5~7.25, C0.09, Al0.95~1.5, Mn小于1.0, Si小于1.0。	强度高,滞后小,耐腐蚀性较好。
8	镍铬铁耐热合金	Ni80, Cr14 其余为 Fe	耐腐蚀性好,耐热性能好。

非金属膜片的结构一般都是采用夹层式膜片，是在纤维层的两侧涂上橡胶。这种膜片通常是用天然胶、丁基胶、硫化胶、丙烯酸脂胶、硅胶、甲基酸乙脂胶和氟胶等材料制成。夹层纤维是采用聚脂纤维、聚合纤维、玻璃纤维等。此外，夹层也有采用聚四氟乙烯塑料或其他材料的。

目前，国外膜片膜盒的产品除了常用的一些外，还向提高精度、耐腐蚀、耐高温等方面发展：

A 高精度的膜盒膜片

国外生产的金属膜片膜盒非线性小于1%，滞后可小于0.3%，例如：日本生产的一组膜盒性能测验情况如下表：

表 7

序号	外 径	膜盒数	灵 敏 度	滞 后	直 线 性	有效面积	最高使用压力
1	φ48.7mm	2	1.6毫米/公斤/厘米 ²	0.3%	1.0%	5.7厘米 ²	1.6公斤/厘米 ²
2	φ48.7mm	1	0.8毫米/公斤/厘米 ²	0.3%	1.0%	5.7厘米 ²	1.6公斤/厘米 ²
3	φ48.7mm	3	3.2毫米/公斤/厘米 ²	0.3%	1.0%	5.7厘米 ²	1.6公斤/厘米 ²
4	φ48.7mm	1	1.6毫米/公斤/厘米 ²	0.3%	1.0%	5.7厘米 ²	1.6公斤/厘米 ²
5	φ48.7mm	3 × 3	±3.2毫米/公斤/厘米 ²	0.3%	1.0%	5.7厘米 ²	1.6公斤/厘米 ² (差压)
6	φ95mm	1	1.1毫米/200毫米H ₂ O	0.3%	1.0%	25厘米 ²	300毫米H ₂ O (正负两用)
7	φ96.5mm	4	10.8毫米/400毫米H ₂ O	0.5%	1.0%	25厘米 ²	600毫米H ₂ O (正负两用)

B 耐腐蚀膜片膜盒

随着工业的发展，测量对象往往是一些腐蚀性强的液体或气体，在这种情况下，对膜片膜盒就提出了许多耐各种腐蚀介质的要求。除了膜片膜盒直接作为测量元件与介质接触外，近几年法兰式仪表的应用也日益广泛，在这里膜片仅起到对腐蚀介质的隔离作用，而对特性没有很高的要求。

国外耐腐蚀膜片膜盒，是采用了蒙乃尔合金和各种不锈钢（包括：Hastelloy B·C AlSi 05、316等等）。下表是国外对各种材料所进行的耐腐蚀性能试验情况：

表 8

记号 A: 不腐蚀 B: 腐蚀少 C: 不满足	浓 度	温 度	不 锈 钢 B	不 锈 钢 C	铜	磷 青 铜	铜 镍 合 金	蒙 合 乃 尔 金	镍	铬 合 镍 铁 金	铝	不 锈 钢 (27)	不 锈 钢 (32)	不 锈 钢 (24)	钼	钛
醋 酸 氯 化 氢 盐 酸 脂 肪 酸 钠 气 酸	100% (无水) 10% 干	室温	A	A	A	A	A	A, B	A, B	A, B	A	A	A	A	A	A
		室温	A	A	A	A	A	A, B	A, B	A, B	A	A	A	A	A	B
		室温	A	A	A	A	A	A	A	A, B	A	A	A	A	A	C
盐 酸 氟 硝 酸 海 水	全 浓 10%	37℃	A	A	B, C	C	C	A	A	A	C	C	C	C	A	C
		室温	C	A	B, C	C	C	A, B	A, B	A, B	C	C	C	C	A	A
		室温	A	A	A, C	A, B	B, C	A, B	A, B	A, B	C	A	A	A	A	A
硫 亚 硫 甘 油 硫 酸 气 体 酸 油 铜	干 浓	溶 室 温	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A
		室 温	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
		温 室 溶	A	A	A	A	A	A	A, B	A, B	A	A	A	A	A	C