

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本

航空儀表製造施工學

下 冊

A. H. ГАВРИЛОВ 著

賀 聯 奎 譯



商 務 印 書 館

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本



航空儀表製造施工學

下 冊

A. H. 加福利洛夫 著
賀 聯 奎 譯

商 務 印 書 館

本書係根據蘇聯國防工業出版社 (Государственное издательство оборонной промышленности) 出版的加福利洛夫 (А. Н. Гаврилов) 著“航空儀表製造施工學”(Технология авиационного приборостроения) 1951 年版譯出。原書係作者依照蘇聯高等教育部所批准的‘儀表和自動器械施工學’教學大綱而為高等航空學校儀表製造專業編著而成，經蘇聯高等教育部審定為高等航空學校儀表製造專業教科書。

本書共三編，中譯本分上下兩冊出版。上冊包括第一編儀表製造中施工程序設計的一般和理論基礎與第二編儀表一般零件製造的施工法。下冊包括第三編特殊零件的製造及儀表裝合的施工法。

儀表製造部門的工作者在準備及實際生產期間，可用本書作為解決施工問題的指南。

航空儀表製造施工學

下 冊

蘇聯空軍

★版權所有★

商務印書館出版

上海河南路一一號

中國圖書公司發行

商務印書館北京廠印刷

(62324.1B)

1953 年 10 月初版 版面字數 167,000

印數 1—2,000 定價 ¥18,000

中央人民政府高等教育部推薦 高等學校教材試用本的說明

充分學習蘇聯的先進經驗，根據國家建設需要，設置專業，培養幹部，是全國高等學校院系調整後的一項重大工作。在我國高等學校裏，按照所設置的專業試用蘇聯教材，而不再使用以英美資產階級教育內容為基礎的教材，是進一步改革教學內容和提高教學質量的正確方向。

一九五二年九月二十四日人民日報社論已經指出：‘蘇聯各種專業的教學計劃和教材，基本上對我們是適用的。它是真正科學的和密切聯繫實際的。至於與中國實際結合的問題，則可在今後教學實踐中逐漸求得解決。’我們現在就是本着這種認識來組織人力，依照需要的緩急，有計劃地大量翻譯蘇聯高等學校的各科教材，並將繼續向全國推薦，作為現階段我國高等學校教材的試用本。

我們希望：使用這一試用本及今後由我們繼續推薦的每一種試用本的教師和同學們，特別是各有關教研組的同志們，在教學過程中，對譯本的內容和譯文廣泛地認真地提出修正意見，作為該書再版時的參考。我們並希望各有關教研組在此基礎上逐步加以改進，使能結合中國實際，最後能編出完全適合我國需要的新教材來。

中央人民政府高等教育部

下 冊 目 次

第三編 特殊零件的製造及儀表裝合的施工法

第十七章	具有彈性靈敏部份之特殊零件製造施工法 及其裝合	361
第一節	波紋膜與波紋膜盒	863
第二節	折皺管製造的施工法	391
第三節	壓力表彈簧管製造的施工法	400
第四節	儀表裝合的施工法	407
第十八章	陀螺儀表特殊零件的製造和陀螺儀表裝合 的施工法	428
第一節	總的說明	428
第二節	數種陀螺儀表的特性	428
第三節	軸和軸承杯	429
第四節	轉子	437
第五節	萬向支架框子	440
第六節	軸承機件的裝合	446
第七節	陀螺儀表機件的裝合	453
第八節	排氣器機件的裝合	465
第九節	陀螺儀表的裝合	467
第十九章	電動儀表特殊零件的製造及電動儀表裝合 的施工法	480
第一節	定向器	480
第二節	永久磁機	508
第三節	導磁體	524

第四節 接觸器.....	528
第五節 繞線體.....	533
第六節 儀表及自動器械的電動機.....	553
第七節 電動儀表裝合的一般原理.....	566
附 錄.....	570
參考文獻.....	578
名詞對照表.....	579

航空儀表製造施工學

第三編 特殊零件的製造及儀表 裝合的施工法

第十七章 具有彈性靈敏部份之特殊零件 製造施工法及其裝合

現在所討論之航空度量儀表由下列三種主要機件構成：

- 1) 靈敏部份；
- 2) 傳動—放大機構；
- 3) 指示器(指針和刻度盤)。

對度量航空儀表所提的基本要求是，在儀表工作可靠和製造經濟的條件下保證在刻度盤上有一定的指示精度。儀表的刻度盤指示誤差是上述機件製造誤差的結果。

在本章中我們主要地討論靈敏部份以及傳動—放大機構製造的施工，並分析它們的製造誤差。

數字盤的製造施工已在前面討論。

依構造的不同靈敏部份可以分爲：

- 1) 波紋膜(圖 290 A)和波紋膜盒(圖 290 B)；
- 2) 折皺管(圖 291)；
- 3) 壓力表管(圖 292)。

依壓力的傳送方式不同靈敏部份可以分爲兩類：

- 1) 空盒式(圖 290 B—2, 291 6 和 292 6)；

2) 壓力表式 (圖 290 Б-1, 291 a 和 292 a)。

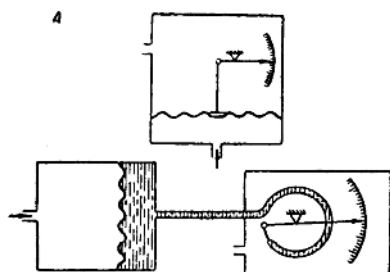


圖 290 波紋膜和波紋膜盒。

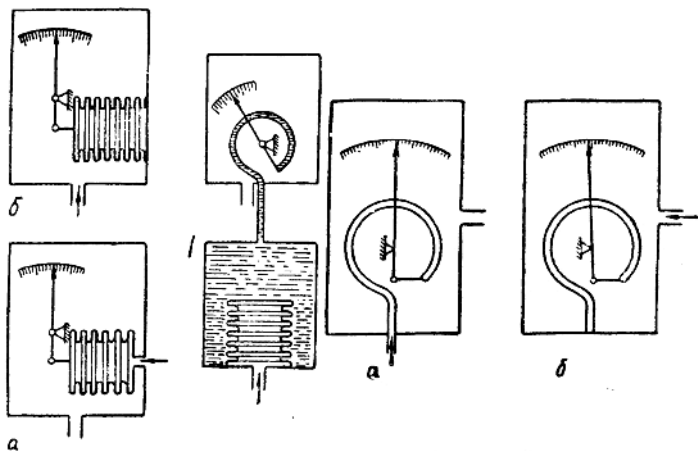
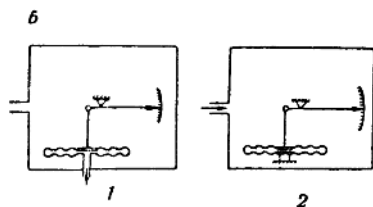


圖 291 折皺管。

圖 292 壓力表管。

第一節 波紋膜與波紋膜盒

一、定義和用途

所謂波紋膜是一個有着同心波紋折皺的圓膜(圖293)。波紋膜是很多儀表(高度表、真空壓力表、速度表、升降速度表、汽油油量表等等)的主要部份。緊湊、構造簡單和製造成本不高使我們利用波紋膜作為儀表的靈敏部份。



圖 293 波紋膜剖開後的形狀
 D_n —平坦中心的直徑； S —波紋節距；
 $2h$ —波紋的高度； δ —波紋膜的厚度

所以，在膜上作出同心波紋式

折皺是希望膜可以達到較大的彈性位移而無剩餘的變形。

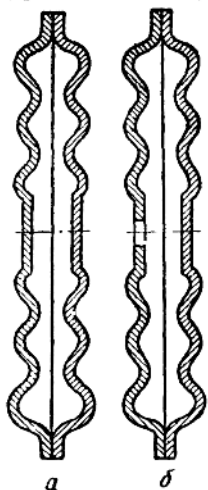


圖 294 度量絕對壓力和相對壓力所用的膜盒。
 a—空盒式膜盒；b—壓力表式膜盒。

為了增加靈敏部份的位移，可以採用一對波紋膜所構成的波紋膜盒。可以設想一對波紋膜所連成之膜盒其特性是二膜之和，這樣設想在實際上相當準確。除此之外，將兩個特性不同的波紋膜連在一起可以得到具有新特性（與給定特性很接近的）的膜盒。度量絕對壓力時需要使用氣密膜盒，盒內壓力不能超過幾公厘水柱的壓力。這種膜盒稱之為空盒式膜盒（圖 294 a）。度量二壓力之差時應用壓力表式膜盒，被測之壓力導入盒內（圖 294 b）。

將數個膜盒連為一串（圖295）可以增大靈敏部份的位移。

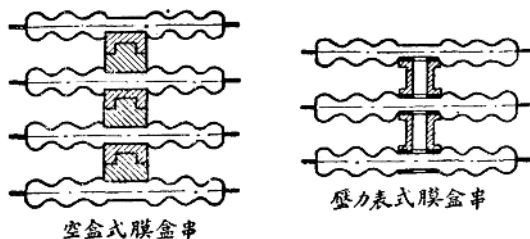


圖 295 膜盒串。

二、波紋膜(波紋膜盒)的主要性質

決定膜盒變形性質的主要參變因素是最大變形和彈性特性。所謂膜盒(膜)的特性是表示膜中心變形與作用到膜上之壓力間關係的曲線。

爲了使儀表有着均勻的刻度,我們希望製出這樣的波紋膜,即膜在被量參變數方面的特性接近於直線。在壓力增大和壓力降低時分別所取的變形增大特性曲線和變形恢復特性曲線彼此並不重合,一般是變形恢復曲線較變形增大曲線稍高(圖 296)。

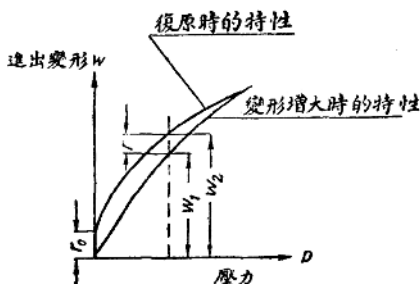


圖 296 膜盒特性曲線。

在同一壓力下所得變形 w_1 和 w_2 的差稱之爲停滯 Γ 。爲了使停

滯較小，使波紋膜在較大的變形下工作較為有利，但須注意，不要大到使膜發生顯著的殘餘變形。壓力撤消後波紋膜並不立刻回到原來位置。此時留下的變形並非殘餘變形。經過數分鐘或數小時後此暫時留下之變形可以消失，波紋膜完全恢復到原來位置。膜的這種需要若干時間才能使變形到零的現象稱為彈性的後作用。在圖 296 內用 Γ_0 表示彈性後作用。

三、影響波紋膜變形的因素

波紋膜變形的值 W_0 與很多構造上和施工上的因素有關。考慮主要因素對變形影響的一般形式時可以寫出函數關係：

$$W_0 = f(p; r_H; E; \delta; h),$$

此處 p 是作用在波紋膜上的壓力；

r_H 是波紋膜的外半徑；

E 是彈性模數；

δ 是波紋膜的厚度；

h 是波紋膜的高度。

因為對於影響變形的施工因素研究得尚不充分，所以，在很多情形下必須給變形以較大的公差，其數值可以達到最小容許變形絕對值的 50%。我們在傳動一放大機構裏所以要加入消除誤差的調整裝置，主要地也是為了這樣大的公差。但加入調整裝置以後，却使儀表的構造顯著複雜，並在裝合時需要費工的調整操作。

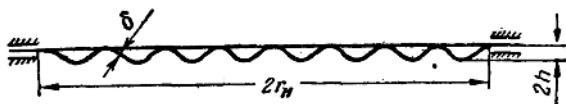


圖 297 有連續折皺的膜。

直到最近對於膜上折皺的理論和膜的計算方法研究得仍然很差。

在這方面進行研究的是 Д. Ю. Панов 教授和技術科學博士 В. И. Феодосьев 教授。研究特殊情形——膜上有波數為整數的連續折皺，膜的周邊為滑動連接（圖 297）——所用的 В. И. Феодосьев 公式為

$$p = \frac{6}{7} \frac{E\delta}{r_H} \left[W_0^3 - N_1 h W_0^2 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1 - \mu^2} \right) W_0 \right], \quad (17.1)$$

此處 p 是作用在膜上的壓力；

W_0 是變形；

E 是彈性模數；

δ 是膜的厚度；

r_H 是膜的外圓半徑；

h 是折皺高度的一半；

μ 是波森係數；

N_1 、 N_0 是和折皺數目 n 有關的係數（表 34）。

表 34

n	2	3	4	5	
N_1	0.181	0.0663	0.0385	0.0256	0
N_0	9.69	9.56	9.47	9.43	9.33

В. И. Феодосьев 公式不能與試驗數據相合，因為它是討論周邊無折皺而中間折皺又較小的波紋膜，並且略去了很多說明實際波紋膜性質的特徵。但是，為了明確我們所感興趣的各個因素間的質的關係，却可以和製造誤差的分析連繫在一起地利用此公式。

應用一般研究誤差的方法，按照我們所感覺興趣的各因數取偏微分，即

$$\frac{\partial p}{\partial W_0}; \frac{\partial p}{\partial E}; \frac{\partial p}{\partial \sigma}; \frac{\partial p}{\partial r_H}; \frac{\partial p}{\partial h};$$

$$\frac{\partial p}{\partial W_0} = \frac{\partial E \delta}{7 r_H^3} \left[3W_0^2 - 2N_1 h W_0 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1 - \mu^2} \right) \right]; \quad (17.2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial E} = \frac{6\delta}{7 r_H^3} \left[W_0^3 - N_1 h W_0^2 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1 - \mu^2} \right) W_0 \right]; \quad (17.3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \delta} = \frac{6E}{7 r_H^3} \left[W_0^3 - N_1 h W_0^2 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{3\delta^2}{1 - \mu^2} \right) W_0 \right]; \quad (17.4)$$

$$\frac{\partial p}{\partial r_H} = -\frac{4 \cdot 6 E \delta}{7 r_H^4} \left[W_0^3 - N_1 h W_0^2 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1 - \mu^2} \right) W_0 \right]; \quad (17.5)$$

$$\frac{\partial p}{\partial h} = \frac{6E\delta}{7 r_H^3} [-N_1 W_0^2 + 2h N_0 W_0]. \quad (17.6)$$

爲了確定變形的變化與彈性模數、膜的厚度、膜的半徑及折皺高度等數值變化間的關係，我們用方程式(17.2)去除(17.3)、(17.4)、(17.5)和(17.6)。

這樣可得

$$\frac{\partial W_0}{\partial E} = \frac{W_0 - N_1 h W_0^2 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1 - \mu^2} \right) W_0}{E \left[3W_0^2 - 2N_1 h W_0 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1 - \mu^2} \right) \right]};$$

$$\frac{\partial W_0}{\partial \delta} = \frac{W_0^3 - N_1 h W_0^2 + \left(N_0 h^2 + \frac{3 \cdot 56 \cdot \delta^2}{9(1 - \mu^2)} \right) W_0}{\delta \left[3W_0^2 - 2N_1 h W_0 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1 - \mu^2} \right) \right]};$$

$$\frac{\partial W_0}{\partial r_H} = -\frac{4 \left[W_0^3 - N_1 h W_0^2 + \left(N_0 h^2 + \frac{59}{9} \frac{\delta^2}{1 - \mu^2} \right) W_0 \right]}{r_H \left[3W_0^2 - 2N_1 h W_0 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1 - \mu^2} \right) \right]};$$

$$\frac{\partial W_0}{\partial h} = \frac{-N_1 W_0^2 + 2 h N_0 W_0}{3W_0^2 - 2N_1 h W_0 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1-\mu^2}\right)}.$$

用微量函數代替微分函數可得：

$$\Delta W_0(E) = \Delta E \frac{\left[W_0^3 - N_1 h W_0^2 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1-\mu^2} W_0\right)\right]}{E \left[3W_0^2 - 2N_1 h W_0 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1-\mu^2}\right)\right]}; \quad (17.7)$$

$$\Delta W_0(\delta) = \Delta \delta \frac{\left[W_0^3 - N_1 h W_0^2 + \left(N_0 h^2 + \frac{3 \cdot 56 \delta^2}{9(1-\mu^2)} W_0\right)\right]}{\delta \left[3W_0^2 - 2N_1 h W_0 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1-\mu^2}\right)\right]}; \quad (17.8)$$

$$\Delta W_0(r_n) = -\Delta r_n \frac{4 \left[W_0^3 - N_1 h W_0^2 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1-\mu^2} W_0\right)\right]}{r_n \left[3W_0^2 - 2N_1 h W_0 + \left(N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1-\mu^2}\right)\right]}; \quad (17.9)$$

$$\Delta W_0(h) = \Delta h \frac{-N_1 W_0^2 + 2 h N_0 W_0}{\left[3W_0^2 - 2N_1 h W_0 + N_0 h^2 + \frac{56}{9} \frac{\delta^2}{1-\mu^2}\right]}. \quad (17.10)$$

我們用這些公式分別表示變形與各個使人感到興趣之因素間的關係。但須注意，用微量函數代替微分函數有若干誤差，不過在我們的分析中它沒有實際上的意義。

在進一步的討論和計算中，我們只考慮三個主要的因素(δ ; E ; h)。膜的半徑雖然以四次方的形式出現在方程式中，但對於變形的影響不大，這是因為它的變化是相對地微小。

1. 材料的厚度對於變形的影響

材料的厚度是影響變形的主要因素之一。為了說明材料的厚度對於變形的影響，我們取一個有着下列數據的波紋膜：

$\tau_H = 25$ 公厘; $h = 0.5$ 公厘; $E = 1.3 \times 10^6$ 公斤/公厘²;

$N = 0.0663$; $N_0 = 9.56$; $\mu = 0.3$ 。

圖 298 a 是上述波紋膜材料厚度分別為 0.1; 0.22; 0.3; 0.4 公厘時按照 Феодосьев 公式所作出的特性曲線。圖 298 б 則是與此相當的試驗曲線。

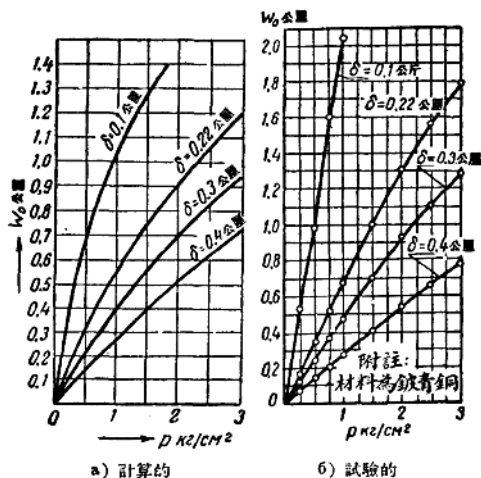


圖 298 不同厚度材料所製出之波紋膜的计算特性與試驗特性。

爲了製出變形程度相等的膜盒，設計者極力地限制膜厚的公差，公差的範圍根據對於靈敏部份的要求從 0.01 到 0.001 公厘。

變形的變化與材料厚度變化間的關係可以用公式 (17.8) 表示。

在這一公式的基礎上，我們可以畫出各種波紋膜(1, 2, 3, 4)的圖線(圖 299)，這些波紋膜的各個如上述公式所討論的尺寸均與航空儀表近似。如試驗性的研究所指出，在成批生產的條件下製取波紋膜坯件時，實際上所可達到的精度爲 0.003—0.006 公厘。但如不遵守施工程序

此一精度將劇烈減低，相反地如改善製取波紋膜坯件的方法則可得到更高的精度。提高精度的決定性因素是正確地選擇壓延設備(壓延機)、適宜的壓延條件和熱處理。

將坯件的厚度作為計算波紋膜變形的開始數據是不正確的，因為在薄膜起皺的過程中折皺部份的材料變薄。到現在為止，在這一方面還缺少應有的研究，但是不容懷疑，波紋膜剖面變薄是膜的變形值及特性曲線變化的原因之一。在圖 300 及 301 上我們畫出製取正弦波式及銳角式波紋膜時對於材料厚度改變的研究結果。

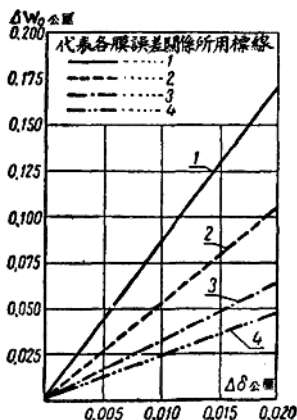


圖 299 膜在最大變形時材料厚度變化與變形誤差間的關係。

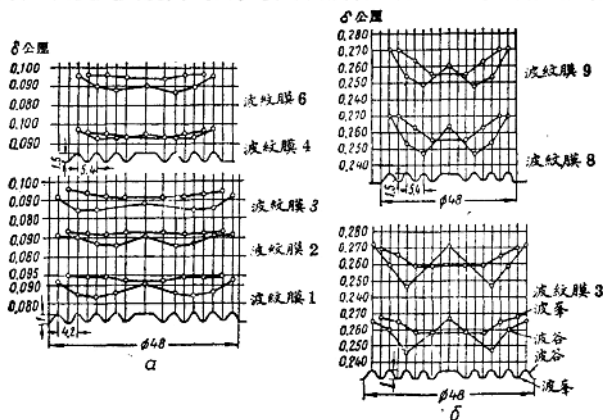


圖 300 薄膜起皺後波峰和波谷處厚度的變化。(正弦形剖面)

a: $\delta=0.1$ 公厘; 6: $\delta=0.27$ 公厘。

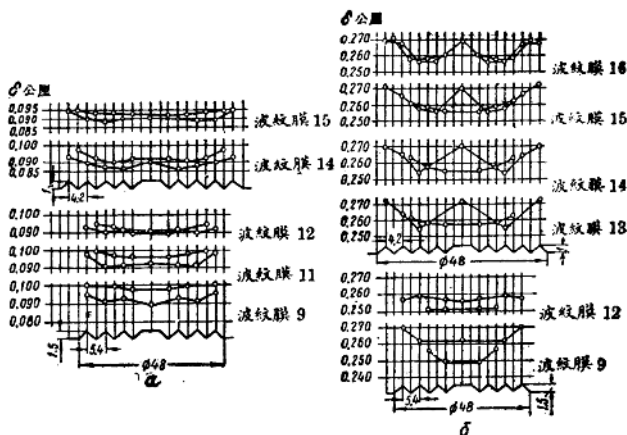


圖 801 薄膜起皺後波峯和波谷處厚度的變化。(尖角形剖面)

a: $\delta=0.11$ 公厘; b: $\delta=0.27$ 公厘

2、彈性模數對於變形的影響

最大變形的變化與彈性模數變化間的關係可以用公式 (17.7) 表示。

在這一公式的基礎上也可畫出波紋膜 1、2、3 和 4 的圖線(圖302)。

從圖線上可以看出,彈性模數的變化劇烈地影響着變形的改變。

研究指出,一張薄板內的彈性模數變化平均為 26%,而在個別情形下可達 44%。為了得到行程相同的膜盒,須儘量使彈性模數相等,熱處理和壓延的情況對彈性模數有着顯著的影響。

3、波紋高度對於膜的變形之影響

平的金屬膜在航空儀表上很少應用,主要的原因是它的變形較小和特性曲線不直。