

101373

航空仪表 构造与工作的 物理基础

Ф. А. 高尔巴切夫 著
Е. А. 麦勒柯布罗多夫



国防工业出版社



航空仪表 构造与工作的 物理基础

Ф.А.高尔巴切夫 著
В.А.岑勒柯布罗多夫
易生译 蔚绍基校



国防工业出版社

內容介紹

本書闡述了航空仪表中的机械测量和电气测量的原理,同时還研究了有关檢查發動机工作状态和駕駛-領航測量等問題。

本書可作为中等航空技術学校航空仪表設備專業的教材,亦可供从事於航空仪表制造工作的工程技術人員之參考。

本書除第三章由姜士傑和蔣紹基二同志翻譯外,其餘各章均为易生同志所譯,蔣紹基同志負責最后整理和校訂。

Ф. А. Горбачев

Е. А. Мелкобродов

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ
АВИАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ

Государственное

издательство оборонной промышленности

Москва 1953

本書係根据苏联國防工業出版社

一九五三年俄文版譯出

航空仪表 構造与工作的 物理基礎

[苏]高尔巴切夫 麥勒柯布罗多夫 著

易 生 譯 蔣紹基 校

*

國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第074号

北京新中印刷厂印刷 新華書店發行

*

850×1168 1/32 • 16印張 • 插表1 420,000字

一九五六年九月第一版

一九五六年九月北京第一次印刷

印数: 1—4,270册 定价: (10) 2.90元

目 錄

緒 論	1
第一章 关于在飛機上測量的一般知識	
§ 1 航空仪表的分类	9
按照功用的分类	9
按照工作原理的分类	11
按照动力系统的分类	12
§ 2 航空仪表在飛機上的工作条件和对它們的一般要求	12
§ 3 測量方法和航空仪表的誤差	16
直接測量法	16
間接測量法	16
航空仪表的誤差	17
方法誤差	18
机械誤差	18
讀数誤差	21
航空仪表的誤差对于飛機的飛行-战術性能之利用的影响	22
§ 4 在飛機上的測量条件和方法	25
飛機上远距离測量的必要性	25
飛機上採用的远距离測量法	27
§ 5 远距測量仪表的一般介紹	28
§ 6 航空仪表指示器的基本組成部分	31
第二章 力学測量基礎	
§ 7 力学的基本参数、測量單位和一般知識	35
向量的概念	37
几种基本运动形态	41
旋轉运动中的速度圖	47
相对运动和連帶运动。附加加速度	48
力和力的測量	51

气体的压力	56
§ 8 弹性敏感元件	58
弹性体的某些特性	58
圆柱形螺旋弹簧	64
平板螺旋弹簧	67
平直弹簧片	68
双金属弹簧	69
测量气体和液体压力的弹性敏感元件	70
弹簧管	70
金属膜片、压力膜盒和真空膜盒折皱管	7
膜片和膜盒的基本特性	75
膜片的特性曲线	76
温度对于弹性敏感元件的特性曲线的影响	78
折皱管	80
制造弹性敏感元件的材料的性质和特点	81
§ 9 传动-放大机构	82
齿轮传动	83
蜗杆传动	92
活动关节-摇杆传动	94
曲柄-连杆传动	94
曲柄-摇杆传动	96
铰链传动	99
摇杆传动	101
推杆传动	104
传动-放大机构的调整原理	106
由于敏感元件的弹性和传动机构各机件的尺寸的变化 而引起的误差的补偿	112
§ 10 陀螺和它的特性	114
自由陀螺和它的特性、地球旋转角速度的分速	116
三个自由度的实际陀螺和它的特性	119
第三章 电气测量原理	
§ 11 电量、磁量及其测量单位	128
单位制	128

电量、磁量及其测量单位	130
§ 12 电测仪表的类型	139
磁电式仪表	141
外部因素对仪表工作的影响	144
磁电式仪表的优缺点和应用范围	149
电磁式仪表	151
外部因素对电磁式仪表工作的影响	157
电磁式仪表的优缺点和应用范围	158
电动式和铁磁式仪表	161
外部因素对电动式仪表工作的影响	166
电动式仪表的优缺点和应用范围	167
铁磁式仪表	167
热敏式仪表	169
热敏式仪表的优缺点和应用范围	171
热电式仪表	172
热电式仪表的优缺点和应用范围	173
感应式仪表	174
外部因素对感应式仪表工作的影响	179
感应式仪表的优缺点和应用范围	180
§ 13 电流比计	180
活动线圈式电流比计	182
活动磁铁式电流比计	188
§ 14 电气测量用的标准线路图	193
电流和电压的测量	193
扩大安培表和伏特表测量范围的方法	197
电阻的测量	200
航空仪表的电桥线路图	210
速率的测量	219
相位角和功率因数的测量	221
功率的测量	224
直流功率的测量	224
交流功率的测量	228
测量用变换器的概述	229

§ 15 非电量的电测法	232
用电气仪表测量非电量的方法	232
根据仪表的电气参数的变化测量非电量	233
利用把测量对象的能量变成电能的方法来测量非电量	237
测量转速用的磁电敏感元件	238
§ 16 电动远距传动装置	241
直流电位计式远距传动装置	242
交流自动同步远距传动装置	257
带活动导电片的自动同步器	257
没有接触点的交流自动同步传动装置	263
§ 17 远距传动装置	266
§ 18 电测仪表中所用各种材料的特性	274
导电材料	274
高导电材料 (小比电阻材料)	275
高电阻合金	276
绝缘材料	277
磁性材料	278
矫顽磁力小的磁性材料	278
矫顽磁力大的磁性材料	280
第四章 动力装置工作的检查	
§ 19 发动机燃料系统和润滑系统中的压力的测量	281
液体远读压力表	281
电动压力表	286
电桥电位计式远读压力表	286
环形电位计式电动远读压力表	299
自动同步式电动压力表	303
§ 20 发动机进气系统的压力测量	305
§ 21 温度的测量	309
液体航空温度表	312
电阻式温度表	317
热电式温度表	325
§ 22 燃料数量的测量	327
液体静压式油量表	328

浮子式油量表	331
非远讀浮子式油量表	331
远讀电动浮子式油量表	333
电容器式油量表	340
§ 23 燃料消耗量的測量	346
直动式消耗量表	346
通路截面变化的消耗量表	346
压力差式消耗量表	347
速度式消耗量表	348
体积式消耗量表	353
§ 24 轉数的測量	355
离心式轉速表	355
磁轉速表	357
电动轉速表	357
§ 25 組合型航空仪表	371
第五章 駕駛-傾航仪表	
§ 26 飛行高度的測量	374
§ 27 飛行速度的測量	381
真空速指示器	391
M数的測量	398
§ 28 垂直速度的測量	398
§ 29 利用磁性來測量航向	404
地磁簡介	405
地磁	407
磁罗盤的工作原理	410
罗盤的特性	413
罗差的理論分析	415
飛行中磁罗盤的誤差	418
§ 30 利用陀螺來測量航向	422
地球自轉对陀螺半罗盤工作的影响	425
飛行运动对陀螺半罗盤工作的影响	426
陀螺磁罗盤 (TMR)	429
§ 31 远讀罗盤	434

直流远讀磁罗盤	436
交流远讀罗盤	439
远讀感应罗盤	440
电动远讀陀螺磁罗盤	446
§ 32 飛機轉弯的測定	454
§ 33 飛機和地平面間相对位置的測定	463
气动航空地平仪	463
电动航空地平仪的裝置	470
电动航空地平仪的修正裝置	472
§ 34 飛機位置的測定	479

緒 論

飛機仪表設備的發展和整個航空技術的發展有着密切的聯系；同時，仪表設備的發展也是為了解決在航空發展各歷史階段中所產生的、愈來愈複雜的問題。

，在現代飛機上裝有大量的、不同用途的仪表，有了這些仪表，飛行員便可以充分地利用飛機的飛行-戰術性能。可以斷言，如果飛機上沒有仪表，即使是現代最優秀的飛行員也不能完成任何比較複雜的飛行任務。下面我們舉幾個例子來說明。

飛機的續航時間不僅決定於燃料的貯藏量，同時還決定於燃料的消耗是否合理。只有利用檢查發動機工作的仪表，我們才能夠確定和保持航空發動機最有利的工作狀態。

飛機的最大航程不僅和燃料貯藏量、決定飛行速度的發動機的工作狀態有關，同時還和飛行高度有關，因此就需要一種能夠準確地指示飛行高度的仪表。

在看不見地標的複雜氣象條件下和夜間飛行時，如果沒有指示飛機在空中的位置和飛行方向的仪表，則飛行是不堪設想的。

為了延長續航時間，必須減輕飛行員的體力負擔。因此需要製造出能自動駕駛飛機的仪表-自動駕駛儀。

不能嚴格地保持飛行的高度、速度和航向，便不能準確地進行轟炸，因此需要有能夠指示這些量的仪表。

複雜的飛行條件不僅要求增加仪表的數量，同時還要求改善仪表的戰術-機械性能和提高仪表的準確性與使用可靠性。例如，由於飛行高度和飛行速度的增加，就需要用電動的陀螺仪表來代替氣動的陀螺仪表。為了更充分地利用現代飛機的潛在能力，就必需提高測量的準確度。使發動機保持最合理的工作狀態和使飛

机保持有利的飛行状态以及保持正确的飛行方向，則可以增加發動机的使用期限，使飛行更經濟，並能增大航程和續航時間以及提高飛行的安全性。

苏联的航空設計家們对于飛機的仪表設備一直是 非常重視的。

在俄國的天才發明家莫查依斯基 (А. Ф. Можайский) 所製造的世界上第一架飛機上，就安裝了各种仪表，其中包括空速表、傾斜仪和俄國科学家克倫哥 (И. П. Колонг) 特地为这架飛機製造的航空磁罗盤。

在航空發展史上記載着許多俄國科学家和發明家的名字，他們在航空仪表的製造和理論方面做出了不可估价的貢獻。

某些航空仪表是从航海方面搬来的。航海家很早以前就开始利用磁罗盤来判断船隻的航行方向，这种磁罗盤直到現在还在飛機上采用。但是，如果在磁罗盤附近有強磁性物質存在，則罗盤的指示將有很大的誤差（这种誤差在各航向上可能不同），以致使罗盤不能使用。俄國海軍上將克魯金斯傑倫 (И. Ф. Крузенштерен) 在 1824 年第一个發現了罗差現象（即罗盤的示度和地球磁場的真實方向之差）。其后，俄國的許多科学家進一步研究了罗差現象，並且創造和發展了罗差的理論。克倫哥第一个用圖示法解决了判断各航向上的罗差問題；社会主义劳动英雄、斯大林獎金獲得者阿列克塞·尼古拉耶維奇·克雷洛夫 (А. Н. Крылов) 院士第一个用解析方法解决了計算和消除各航向上的罗差問題，同时創立了高次罗差的理論和確立了傾斜罗差的公式。苏联科学家道莫卡罗夫 (П. А. Домогазов) 和聶姆琴諾夫 (Е. Е. Немчинов) 等人在罗差的研究方面以及在航空磁罗盤的理論和製造方面做出了新的貢獻。

在航空事業發展的初期，人們便產生了使飛行操縱过程自动化的想法。

天才的俄國科学家齐奥尔可夫斯基 (К. Э. Циолковский) 于 1898 年在論文“飛艇和它的製造”中提出了保證飛艇的縱向安定性的直

接作用式自动駕駛仪（無随动裝置的自动駕駛仪）的方案。齐奥尔柴尔可夫斯基的功績不僅在于他在这方面的研究远远地超过了外國的科学家，同时还在于他所提出的方案正是現代所有自动駕駛仪的原形。外國在很久以后，于1910~1913年，斯別里（Сперри）、文維特其（Виветти）、克呂傑（Клюзо）才提出自动駕駛仪（确切地說，是飛機的橫向和縱向安定器）的設計，同时还有很多毛病，因为在这种直接作用式自动駕駛仪上敏感元件直接作用在操縱舵上。这种自动駕駛仪根本沒有在飛機和其他的飛行器上得到应用。

实际在飛機上得到采用的第一批自动駕駛仪是由苏联的設計师制造的。在30年代，苏联就制出了气动液压式自动駕駛仪 АВП-1、АВП-3、АВП-10 和 АВП-12 等。以后，这些自动駕駛仪不断被改進，使它們由一个僅僅能夠保持飛機位置穩定的自动器变成了能夠操縱方向、坡度和飛行高度的自动器。

在現代飛機上采用了各种附件仪表和各种过程的自动調節裝置。俄國科学家維什尼哥拉得斯基（И. А. Вышнеградский）被公認為是自动調節理論的奠基人，他在1877年發表了著名的論文“論間接作用的調節器”。以后，儒可夫斯基（Н. Е. Жуковский）、良普諾夫（А. М. Ляпунов）、克雷洛夫和布尔加可夫（В. В. Булгаков）等進一步發展了这个理論。

在許多航空仪表中采用了陀螺原理。陀螺的理論基礎首先是由著名的俄國数学家卡瓦列夫斯卡婭（С. В. Ковалевская）在自己的論文“固体的运动”（1888年）中提出的。按照儒可夫斯基的評論，这个極深淵的論著乃是“索菲亞·卡瓦列夫斯卡婭在學術上的光榮”。俄國科学家道莫加罗夫于1893年在自己的學位論文“論自由陀螺”中提出了陀螺的严整的数学理論。在这一方面，道莫加罗夫远远超过了外國的科学家（在德國，陀螺理論是在20世紀初期才確立的；在英國是在第一次世界大戰的末期1914~1918年才確立的）。苏联的科学家進一步發展了陀螺理論，布尔加可夫在实用的陀螺理論方面寫出了許多傑出的著作。在1933年布尔加可夫和契赫米涅夫（С. С. Тихменев）創造了帶有气动擺

式修正器的航空地平儀的理論。

隨着飛機的飛行高度、航程和飛行速度的增加，對於陀螺儀表的工作可靠性和準確性的要求也提高了。為了滿足這些要求，必須製造帶有徑向修正器的電動陀螺儀表。蘇聯設計師們首先得出這個結論，並在1936~1937年就制成了完全電氣化的帶有徑向修正器的陀螺儀表。在美國和德國直到1939~1940年才使用這種陀螺儀表。

現階段航空儀表製造業發展的特点是：廣泛地採用電動儀表。

必須指出：世界上第一個量電儀表是由俄國最偉大的科學家羅蒙諾索夫（М.В.Ломоносов）在兩百年前制成的。當我們在航空儀表上使用直流和交流的發電機和電動機、變壓器和繼電器的时候，我們應當以尊敬的心情來回憶俄國傑出的電工學家雅可比（В.С.Якоби）、多里奧-多布羅夫斯基（М.О.Доливо-Добровольский）、楞次（Э.Х.Ленц）、雅布洛齊可夫（П.Н.Яблочков）和西林格（П.Л.Шиллинг）等人的名字，因為是他們把這些偉大的發明獻給了人類。

儀表零件的設計和計算理論方面，有許多問題也是俄國的科學家最先研究出來的。十九世紀的偉大俄國數學家契貝舍夫（П.Л.Чебышев）對於機構的理論問題做了許多研究。契貝舍夫第一個創造了鉸鏈機構的理論和構造原理，這種機構廣泛地使用在航空儀表中。蘇聯科學家潘諾夫（Л.Ю.Панов）和費道西耶夫（В.И.Федосьев）第一個研究了航空儀表中所採用的波紋膜片（用來作為彈性敏感元件）的變形，並且確立了膜片的撓度和作用壓力之間的函數關係式。以前的膜片計算法（哥利弗費茨法）只能適用於平板膜片上。

1939年，費道西耶夫第一個創造了彈簧管的嚴整理論和計算方法，並且還制定了適用於工程的、既簡單又準確的計算公式。以前是使用荷蘭科學家勞倫茨的公式和日本砂谷氏的公式，這些公式僅能用來進行近似的計算。

沒有高級優質的強磁性材料，便不可能製造出在航空儀表

中廣泛应用的小体積的磁电式發电机和电流比計。

苏联科学家制造出多种高級的頑磁性材料：鋁鎳鉄 (Альни)、鋁鎳砂 (Альниси)、鋁鎳鈷 (Альнико)、磁鈷 (Магвикс)。

还可以举出很多俄國和苏联的科学家、設計師和工程師們的名字和他們的創造与發明，这些發明与創造丰富了仪表制造方面的理論与實踐。其中有許多人荣膺了斯大林獎金獲得者的崇高称号。

在偉大的十月社会主义革命勝利之后建立起來的苏联的仪表制造业跟着不断發展的斯大林航空事業一起前進，同时以大量的头等的航空仪表來保證飛機上自动調節裝置和測量等方面的日益增長的需要。共產党所培养出來的人才的苏联設計師們制出了自己獨創的航空仪表，这些仪表的特点是：具有高度的可靠性和优良的战術-机械性能，並且能夠滿足对于航空仪表的各种嚴格的要求。

现在对于仪表設備的維護方面的要求和以前完全不同了。因为現在在仪表維護方面廣泛地使用了檢查測量器具，必須有系統地檢查仪表指示的准确性，並且在發現錯誤时要及时地采取措旆。因此，为了更好地維護和使用飛機的仪表設備，必須有更丰富的知識。

基本術語和定义

專門術語的問題对于航空部隊的机务人員進一步鑽研技術有着極重要的意义。本節將敘述在測量技術中所使用的基本術語和定义，因为在航空測量設備方面以及在本書中闡明問題时都要用到这些術語和定义。

下面講述的是經過全苏标准規格委员会批准为必須采用的術語和定义。

測量 所謂測量就是用我們想要知道的量和做为該量單位的某一定数值相比較。測量器具是所有用來實現这种比較的工具的总称。測量器具可分为兩种：度量器和測量仪表。

測量仪表——就是被測之量和測量單位比較時所使用的仪表。

指示仪表——就是在讀數裝置上能夠指示出被測之量的數值的測量仪表。時鐘、溫度表、航空指針仪表、液体比重計、自記气压表和其他一些記錄仪表都是指示仪表。

讀數——在測量時按照讀數裝置或曲綫圖讀出的數，或者是按照連續刻度記號或標幟讀出的數。

刻度盤——是按照某種規律分佈的刻綫的總合，這些刻綫代表着與被測之量的值相適應的一系列順序數。刻度盤可分為無零點的、單向的和双向的。

無零点刻度盤——沒有零刻度的刻度盤，其刻度的始點和終點都是表示被測之量的正值，或都表示被測之量的負值。例如，在БД-12和БД-15高度表中的气压刻度盤以及MB-16和MB-20进气压力表的刻度盤。

單向刻度盤——以零点做為刻度始點或刻度終點的刻度盤。大多數的航空仪表（例如空速度、高度表、油量表）都有這種刻度盤。

双向刻度盤——有零值，並且刻度記號分佈在零点兩側的刻度盤。例如BP-30和BAP-75昇降速度表的刻度盤。

刻度記號——就是表示被測之量的每個數值的刻綫、點和齒狀記號等。

數字記號——刻在刻度盤上的數字，它表示由零点開始的分度數，或直接表示被測之量的數量。

刻度零点——相當於被測之量的零值的刻度記號。

刻度始點——相當於被測之量的最小值的刻度記號。如果被測之量是負的，則刻度始點相當於被測之量的負值的最大絕對值的刻度記號。

刻度終點——相當於被測之量的最大值的刻度記號。

刻度的始點和終點決定着仪表的示數界限，並且限制着仪表的指示範圍。

刻度盤的工作部分——刻度盤的一部分，在這個刻度範圍內儀表的示數誤差不超過容許值。

刻度盤的分度——兩個相隣刻度記号的中心綫或中心之間的直綫間隔。

刻度盤的分度值——一個分度所代表的被測之量的數值。

仪表常数——為了求出被測之量的數值而在讀數上所要乘上的數。例如，為了求得空速，在空速表的讀數上必須乘上10，在這種情況下空速表的常数就等於10。

被測之量的真值——利用標準測量仪表所測得的數值。

示數誤差——該儀表的示數和被測之量的真值之差。

相對誤差（實際誤差）——以被測之量的真值的分數或百分數來表示的誤差。

引用誤差——用被測之量的額定值的分數或百分數來表示的示數誤差。在具有單向刻度盤的仪表上，引用誤差就是用測量上限的百分數來表示的示數誤差；在具有双向刻度盤的仪表上，引用誤差就是用測量上限和下限（絕對值）之和的百分數來表示的示數誤差；在具有無零點刻度盤的仪表上，引用誤差就是用測量上限和刻度始點之差的百分數來表示的示數誤差。

容許誤差——為規範所容許的、絕對值最大的示數誤差。容許誤差一般要標上±号，如果它僅在誤差的正值或負值範圍內增大，則只標以+号或-号。

修正量——為了獲得被測之量的真值，在儀表示數上所必需減去或加上的數值。

修正量的絕對值等於儀表的示數誤差，但符号相反。用被測之量的真值的分數或百分數來表示的修正量，叫做——相對修正量。

修正乘數——為了獲得被測之量的真值，在儀表示數上所必需乘上的數值。

修正乘數在數值上等於1加上（代數加法）相對修正量。

儀表示數的變差——在外部條件不變時，如果反復測量某量

的同一数值，则仪表的每次示数可能不同，这些示数间的最大差数叫做仪表示数的变差。相对变差和引用变差的定义也和相对误差和引用误差的定义一致。

测量仪表的准确度——测量结果的准确程度，一般按照可能产生的最大误差或一种平均误差来评定。误差的绝对值愈小，则仪表的准确度愈高。

测量的准确度——在正常工作的条件下，用一定的仪表并加入了修正量所测出的被测之量的准确度。

测量仪表的灵敏度——仪表的指示部分的线位移或角位移与引起这种位移的被测之量的变化量之比。对于有刻度盘的仪表来讲，灵敏度和刻度盘的分度值成反比。

测量仪表的灵敏度界限——能够引起仪表示数变化的被测之量的最小值。

测量仪表的着度——使刻度盘上的分度具有一定测量单位的数值的工作过程。有时把向刻度盘上涂刻度记号的过程叫做着度。