

# 航空仪表与自动驾驶仪

Т.И. 韋良耶夫斯卡婭 著



國防工業出版社

## 序 言

現代飞机装备有各种仪表与自动器，以保证随时都能检查飞行状态和解决自动驾驶和自动定向的复杂任务。仪表在飞机上的作用一年比一年扩大。现在航空仪表已经成为决定总的航空技术水平的重要因素之一。

航空技术的发展也引起了航空仪表原有结构的改进和新型仪表的出现，以及完全新的、从前所未采用过的测量各种量值之方法的应用。飞机设备有了巨大的质变与量变。设备的项目增加了，并且出现了完全新型的設備。控制飞行和动力装置工作的自动装置、无线电装置和在复杂气象条件下解决飞机领航和着陆的仪表，都日益得到广泛的应用。由于在飞机设备方面获得了成就，所以利用飞机作战的可能性显著地增大了。飞机设备，特别是仪表设备的进一步的发展，是沿着进一步自动化和提高仪表准确度的道路前进的。

本书系根据仪表制造中等专业技术学校的“精密仪表”课程教学大纲而编写的，内容包括“航空仪表和自动驾驶仪”课程的材料。

本书的目的是介绍航空发动机仪表、领航驾驶仪表和自动器。本书叙述了各种仪表的工作原理，并简单地阐述了仪表结构元件，还着重地讲述了航空仪表的误差。鉴于仪表制造技术人员必须很好地了解各种误差发生的原因及其全部或部分的排除方法，以及选择测量仪表精确度的方法，所以关于误差问题叙述得比较详细。

本书没有述及在航空上可能采用过的，甚至现在还在采用的，但不是我国现代飞机上的标准仪表，例如直流转速表、整流式转速表等。关于航空发动机的自动装置本书也省略了。有关仪表的设计部分和仪表的安装、拆卸及使用问题，本书内也没有述

及。如果讀者需要更詳細地研究某種儀表時（例如在設計中），可以參閱Л.А.布拉斯拉夫斯基、С.С.羅古諾夫和Л.С.別里包爾合著的“航空儀表計算與結構”（蘇聯國防工業出版社一九五四年版）一書，或者參考本書後所附的參考文獻內所介紹的某一本書。

在編著本書時，Г.О. 弗里得列吉爾給予作者很大的幫助，特此對他表示誠懇的謝意。本書編輯Е.Л. 維爾列爾在校閱原稿時曾提供很多寶貴的意見，作者也在此對他表示感謝。

# 目 录

## 序 言

|           |   |
|-----------|---|
| 緒 論 ..... | 1 |
|-----------|---|

|                   |   |
|-------------------|---|
| 第一章 航空仪表的功用 ..... | 4 |
|-------------------|---|

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| § 1. 现代飞机的动力装置与检查其工作的仪表 ..... | 5  |
| 輕油活塞式发动机 .....                | 5  |
| 渦輪噴气式与渦輪螺旋桨式发动机 .....         | 6  |
| 发动机仪表与自动器 .....               | 7  |
| § 2. 飞机的飞行与駕駛仪表 .....         | 7  |
| 飞行状态 .....                    | 7  |
| 檢查飞行状态的仪表 .....               | 11 |
| § 3. 飞机的領航 .....              | 14 |
| 飞机定位法 .....                   | 14 |
| 檢查飞行状态的仪表 .....               | 16 |
| 航行速度三角形 .....                 | 18 |
| 飞机位置的計算 .....                 | 18 |
| 航行駕駛仪表 .....                  | 20 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第二章 对飞机设备的基本要求 ..... | 21 |
|----------------------|----|

|                      |    |
|----------------------|----|
| § 1. 战术技术要求 .....    | 22 |
| § 2. 物理技术要求 .....    | 23 |
| 大气与大气性質 .....        | 23 |
| § 3. 使用要求 .....      | 25 |
| 振动和过負荷 .....         | 25 |
| 灰尘 .....             | 26 |
| § 4. 安装要求 .....      | 26 |
| § 5. 航空仪表的一般要求 ..... | 28 |
| § 6. 仪表的誤差与修正量 ..... | 28 |
| 示数的可靠性与准确性的保証 .....  | 29 |

|                      |     |
|----------------------|-----|
| <b>第三章 发动机仪表</b>     | 30  |
| § 1. 概論              | 30  |
| 发动机仪表的电气化            | 30  |
| 非电量的电气测量方法           | 31  |
| 发动机电动仪表的基本元件         | 31  |
| § 2. 发动机电动仪表         | 33  |
| 磁电式测量仪表              | 33  |
| 磁电式电流計               | 34  |
| 磁电式电流比計              | 39  |
| § 3. 測量压力与溫度的仪表      | 44  |
| 进气压力表                | 44  |
| 測量压力和溫度的組合式仪表        | 46  |
| 电阻式溫度表               | 47  |
| 热电偶式溫度表              | 52  |
| 測量噴气式发动机排气溫度的热电偶式溫度表 | 55  |
| § 4. 測量燃料量和燃料消耗量的仪表  | 57  |
| 浮子式油量表               | 57  |
| 电容式油量表               | 61  |
| 測量燃料消耗量的仪表           | 62  |
| § 5. 轉速表             | 64  |
| <b>第四章 駕駛領航仪表</b>    | 69  |
| § 1. 膜盒仪表概論          | 69  |
| 气压式高度表               | 70  |
| 空速表                  | 80  |
| M数表                  | 88  |
| 升降速度表                | 90  |
| § 2. 航空罗盤            | 94  |
| 磁罗盤                  | 94  |
| 远距罗盤                 | 110 |
| § 3. 航行坐标仪和自动領航仪     | 113 |
| § 4. 无綫电仪表           | 115 |
| 无綫电高度表               | 116 |
| 无綫电半罗盤和无綫电罗盤         | 122 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>第五章 陀螺仪表</b> .....   | 128 |
| § 1. 陀螺的基本原理 .....      | 128 |
| 陀螺概念 .....              | 128 |
| 迅速旋轉的三自由度陀螺的基本特性 .....  | 132 |
| 二自由度陀螺 .....            | 140 |
| § 2. 陀螺的主要部分及零件 .....   | 142 |
| § 3. 轉弯指示器与側滑指示器 .....  | 150 |
| § 4. 陀螺自記器 .....        | 155 |
| § 5. 航空地平仪 .....        | 156 |
| 航空地平仪的工作原理 .....        | 156 |
| AГН-2型俯冲航空地平仪 .....     | 159 |
| AГК-47B組合型电动航空地平仪 ..... | 162 |
| § 6. 航向陀螺 .....         | 172 |
| 陀螺半罗盤 .....             | 172 |
| 陀螺磁罗盤 .....             | 177 |
| ГМК-2型陀螺磁罗盤 .....       | 177 |
| 远距陀螺磁罗盤 .....           | 180 |
| 远距感应罗盤 .....            | 182 |
| <b>第六章 自动驾驶仪</b> .....  | 185 |
| § 1. 概論 .....           | 185 |
| § 2. 几种主要調整方法 .....     | 189 |
| § 3. 自动驾驶仪的构造与工作 .....  | 191 |
| AII-45型气动自动驾驶仪 .....    | 191 |
| 电动自动驾驶仪 .....           | 195 |

## 緒 論

飞机有下列重要部分:

1. **机体** 是飞机的主要結構部分，其上載乘員，安裝動力裝置、設備和飞机的所有附件与裝置。

2. **動力裝置** 包括发动机和发动机的供油系統、冷却系統、潤滑系統以及螺旋槳（指在活塞式和渦輪螺旋槳式发动机上）。

3. **設備** 包括保證操縱飞机和保證很好完成飞行任务的各种仪表、机构、附件和裝置。飞机設備可了解为能够进行下列工作的技術設備:

1) 檢查飞机操縱、飞行状态和動力裝置的工作，以及使这些过程机械化与自动化;

2) 保證执行飞行任务时更好地利用飞机的飞行技術性能和提高飞行的安全性;

3) 为乘員工作和乘客創造最舒适的條件。

現代飞机的，特別是高速飞机的飞行条件相当复杂，必須要求乘員感覺要敏銳、思想要集中并要有毅力，因此如果不借助于技術設備的話，即使在条件好的时候也会使人过度疲劳，而在条件惡劣的情况下人体就根本支持不住了。

在現代复杂的飞行情况下，甚至在看不見地面时，飞机乘員也能利用仪表很快地判定飞机的所在位置和确定飞机对地面的方位等。

利用飞机設備来解决这些摆在飞机乘員面前的复杂任务，是很简单的。例如，机內通話器和对外联系的無線电通訊設備，不論動力裝置产生多大的噪音，都能使乘員彼此之間和对其他飞机上及地面上人員进行正常的通話。

現代飞机上所广泛采用的檢查測量仪表和傳动裝置，可使駕駛員采取在当时条件下所需要的措施，并且利用各种傳动裝置即

可很不費力地來實現這些措施。在許多情況下，如果利用適當的自動器來實現這些措施，那就更簡便的多了。

這樣一來，無論飛行任務發展得如何複雜，但是由於飛機設備的發展與改進，乘員的工作將愈益簡化和減輕。

在過去許多年代中，在航空器改進的過程中，由於飛機飛行任務的不斷擴大和日益複雜，使各式各樣的航空儀表得到了發展與改進。某些儀表的出現比第一批飛機的製造還早得多。例如，俄羅斯學者：海軍上將И.Ф.科魯捷斯切爾（1770～1846）、中尉И.И.別拉渥也茲（1829～1878）、科學院院士И.И.杰柯朗格（1839～1902）和科學院院士А.И.克雷洛夫（1863～1914）所研究出來的磁羅盤和羅盤領航法，在航空中得到了廣泛的應用。俄羅斯的航空器設計家們在世界上最先採用了當時最完善的羅盤領航法與羅盤領航器以及飛機的天文領航法與天文領航工具。蘇聯的航空儀表製造業過去和現在始終是保持着極高的水平。

早在1801年俄羅斯的飛行家們就製成了第一批航行儀表；當科學院院士И.И.扎哈羅夫乘氣球飛行時，在該氣球上即裝有羅盤、測量上升與下降的儀表以及強弱鏡。利用這些儀器可將氣球的航綫投在地图上。

卓越的俄羅斯設計家А.Ф.莫查依斯基在創造飛機時，不僅詳密地考慮了飛機與發動機的結構，並且還考慮了飛機的用途，即想到在飛機上安裝為了完成實際飛行任務所必需的設備。А.Ф.莫查依斯基根據航海與造船業的經驗在飛機上安裝了傾斜儀、高度表、溫度表、速度表和羅盤。А.Ф.莫查依斯基是成套的飛機設備的首創者。

上世紀的九十年代和本世紀的初期，俄羅斯的科學家們創造了許多領航儀表與駕駛儀表。М.М.波莫爾契夫在1896年創造了確定雲層方向與角速度的儀表，而在1897年又創造了測定氣球運動速度與方向的儀表，它就是現代瞄準鏡的雛形，而這種瞄準鏡在外國的出現是很晚的。

1898年著名的俄羅斯科學家В.Д.齊奧爾科夫斯基在世界上



最先提出了自動駕駛儀的構造與原理。

著名的俄羅斯科學家 A. G. 波波夫是無線電技術的創始人，是第一台無線電發射機和無線電接收機的發明者。他是世界上第一個實現無線電發射與接收（1895）的人，並且還是無線電定位原理的創始人。

在1913年製造的世界第一架重型飛機“俄羅斯勇士號”上，曾裝過轉速表、時鐘、高度表和羅盤。

在1914年製造的四發動機飛機“依里亞——木羅米茲”上曾裝過羅盤、高度表、速度表、時鐘和轉速表。在這架飛機上第一次成功地採用了羅盤航行法。約在同一時期，A. H. 儒拉夫切科創造了計風盤，B. A. 斯列薩列夫創造了速度表（早於美國的速度表“皮歐聶爾”好幾年），B. H. 維特獎金創造了加速度表等等。俄羅斯的設計家與外國的設計家所不同的是，他們在設計中特別重視的問題是使乘員的工作便利和保證其具有在飛行中所必需的設備。俄羅斯的設計家設計出了許多很有價值的儀表與裝置，但是當時還不可能將這些儀器製造成需要的形狀和足夠的數量，因為航空技術以及航空儀表製造的發展是得不到統治集團應有的支持的。

我國的航空工業和航空儀表製造業，只有在偉大的十月革命後才得到大大的發展。當時我們國家雖然還處在艱難的年代里，但是蘇維埃政府從最初的日子起就注意到建立航空工業和航空儀表製造業。早在1919年我國的“航空儀表”工廠就為空軍製造出了儀表，而在1922年該工廠便轉入了成批生產。

在1923年該工廠出產了滑油壓力表、汽油壓力表、航空溫度表、轉速表、高度表、傾斜儀和速度表。這個工廠集合了許多現代著名的設計家和儀表製造研究家（象 G. A. 諾茲得羅夫斯基，C. C. 齊赫米聶夫，P. O. 弗里得列捷爾等等）。

由於卓越的蘇聯科學家、領航員和設計家不斷地密切聯繫和互相配合的結果，製造出了各種儀表和自動器，並且都成功地應用在飛機上。

苏联仪表制造家Л.А.布拉斯拉夫斯基、М.М.卡契卡揚和М.Г.爱里金得共同創造出許多种仪表，其中有世界上第一个陀螺磁罗盘。

А.А.安得罗諾夫、Б.В.布尔加科夫、С.Э.哈依金以及苏联青年科学家В.В.索洛多夫尼科夫、Я.З.茲波金等，在自动調节理論和陀螺仪表理論方面都取得了巨大的成就。依据这些科学家的理論基础，苏联的設計家們制造出了許多种优等的仪表与自动器，并且都成功地将其应用在飞机上，減輕了乘員的劳动和保証了飞行的安全。

操縱飞机用的自动器（自动駕駛仪）、控制航空动力裝置的自动器和自动計算飞机航程的計算裝置（自动領航仪）現在都得到了很广泛的采用。

苏联的航空仪表制造业之所以能够这样迅速的发展，是以苏联科学家和設計家們在調节原理方面和在各种自动裝置、电气測量仪表、陀螺仪表等的理論与設計方面的成就为基础的。

在各种測量仪表的誤差的研究和在測量学方面的成就也具有很大意义。

由于苏联航空工业技术水平的进一步提高，苏联仪表制造家当前的任务，就是制造出最新式的仪表与自动器并在生产中运用新的科学和技术成就。

## 第一章

### 航空仪表的功用

航空仪表設備按其功用可分为下列几类：

1. 发动机仪表；
2. 駕駛領航仪表；
3. 控制航空发动机工作的自动裝置和自动駕駛仪。

## § 1. 現代飞机的动力装置与檢查其工作的仪表

在現代飞机上装有活塞式发动机、渦輪噴气式发动机、空气噴气式发动机和渦輪螺旋槳式发动机。

現在还很广泛的采用气冷式或液冷式活塞式发动机。在高速飞机上采用噴气式发动机。渦輪螺旋槳式发动机的出現虽还不久，却也得到日益广泛的应用。但由于在这种发动机上装用螺旋槳，就限制了这种发动机的应用范围；这种发动机不适于用在高速飞机上。

檢查动力装置的仪表（发动机仪表）的数量和型別决定于动力装置的特点与其型別。但是，由下列的叙述，我們可以知道这类仪表的名目并没有大的改变。

### 輕油活塞式发动机

这种型別发动机的工作原理，是以在发动机汽缸內燃燒的燃料混合气的热能变为机械能为基础的，亦即用該热能来帶動螺旋槳，使之产生拉力。

为了准确地調整和保持发动机的工作状态必須：

1. 知道飞机上的燃料貯存量—用**油量表**来檢查。
2. 用一定的压力往发动机供給一定比例的空气与燃料—用**汽油压力表**与**进气压力表**（当以强制法往发动机供以空气，即当增压以保持燃料混合气內一定比例的氧和汽油时）来檢查。
3. 保証不断的往发动机各摩擦部分供以滑油。为此不仅需要檢查輸送滑油的压力，还需要檢查滑油的温度。在低温（低于 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ ）时滑油粘度将大大增高，在导管內的流速减低，滑油就难以流过小截面的油路（例如，流往发动机各軸承的油路）。在高温时，滑油的粘度降低，滑油的流动性增大，因之它不能适当地保持在摩擦部分之間間隙內。当温度过高时，滑油將燃燒，燃燒的产物使摩擦表面脏污。滑油系統是用**滑油温度表**与**滑油压力表**来檢查的。

4. 使气缸与活塞的温度保持在容許範圍內。在燃料混合气燃燒时，发动机的汽缸发高热；为避免气缸过热应进行冷却。根据散热方式的不同，航空发动机可分为气冷式发动机和液冷式发动机。在气冷式发动机上是用**气缸头温度表**来檢查温度，而在液冷式发动机上则是用**水温表**来檢查温度。

不仅气缸过热对发动机有害，气缸过冷对发动机也有害，因为过冷会降低燃料混合气的燃燒速度，发动机便可能失去灵敏性（即由某种工作状态轉到另一种工作状态的能力）。失去灵敏性在飞机着陆时特別危險，因为在飞机着陆时有时必須很快地增大螺旋槳的轉速，以免失速。

为保証必要的灵敏性，气化器內的汽油必須很快地气化。气化的速度决定于气化器的温度。此温度用**气化器温度表**檢查。

5. 必須知道发动机曲軸的轉速。此轉速用**轉速表**檢查。

檢查燃料混合气成分的仪表，在应用中有很大的意义。但是制造这种仪表并未得到預期的成果。

檢查燃料混合气的成分要用**气体分析器**。气体分析器是用以按廢气成分来判断燃料混合气成分的。由于这种仪表的誤差大，就限制了它的广泛应用。

### 渦輪噴气式与渦輪螺旋槳式发动机

噴气式发动机的工作原理，是以在燃料燃燒时所形成的并通过小截面尾噴口排出的燃气流的反作用力为基础的。为了使燃料能在噴气式发动机內燃燒，空气噴气式发动机利用空气中的氧气助燃，而液体噴气式发动机則采用特殊的氧化剂。

噴气式发动机的工作状态决定于渦輪轉速、尾噴口的燃气温度、燃料压力与滑油压力、滑油温度、燃料与氧化剂的消耗量、渦輪前的温度、压縮机进气口的M数 and 靜压等。在活塞式发动机工作中也同样要測量这些参数，只不过对噴气式发动机來說这許多参数的測量范围要大得多而已。在設計檢查噴气发动机工作的仪表时，考虑到仪表的使用特点和工作范围，所以，也采用那些完

全基于另外的原理而工作的仪表，而这些原理在活塞式发动机仪表中是不用的。

检查涡轮螺旋桨式发动机工作的仪表与在其他喷气式发动机上的仪表相似。

### 发动机仪表与自动器

为了使飞机动力装置可靠地和經濟地工作，以及获得最大的拉力或功率，就必须在一切实飞行条件下，保证动力装置的最有利的工作状态，并不断地用各种检查仪表与各个过程的自动调节器来检查其工作。

为了减轻乘员在飞行中的工作，应尽量利用各种自动装置。

检查动力装置工作的仪表分为下列几类：

1. 指示发动机温度状况和潤滑状况的仪表：滑油温度表、水温表（或汽缸头温度表）、喷气温度表（用在喷气式发动机上）和滑油压力表。

2. 用于判断航空发动机功率或拉力的仪表：进气压力表、压力表、轉速表、温度表和气体分析器。

3. 指示燃料貯存量与消耗量以及滑油貯存量的仪表：油量表、燃料消耗量表和滑油油量表。

航空发动机工作状态自动调节器包括：

1. 轉速自动调节器；
2. 水温和滑油温度自动调节器，汽缸头温度自动调节器；
3. 增压器速度变换自动调节器；
4. 进气压力自动调节器等。

## § 2. 飞机的飞行与駕駛仪表

### 飞 行 状 态

每次飞行，为了完成飞行任务必须以一定的飞行状态（速度、高度与方向）来飞行。

为了保持一定的飞行状态，飞行员要不断的使飞机在空中保

持平衡，并且檢查飞机与地面的位置。

所有这些任务都要依据仪表的示数来完成。根据檢查动力装置工作的仪表，可以选择和保持航空发动机的需要工作状态。

航行駕駛仪表，是用来确定飞机状态和飞行速度的。根据不同的气象条件，飞行员可利用某一組仪表来决定和保持需要的飞行状态。

各种不同的原因，如风向的变化，螺旋槳拉力的改变等都能使飞机失去平衡或偏离原来所选定的航向。因此，飞机的乘員必須能够随时檢查飞机在空中的状态，以及使其恢复需要的航行状态。

飞机可能繞  $xx$ 、 $yy$ 、 $zz$  軸（图 1, a）傾斜。

有两个不同的坐标系。以飞机重心作原点的活动的，永远与飞机相联系的  $Oxyz$  坐标系，叫作机体坐标系，而  $xx$ 、 $yy$ 、 $zz$  軸則叫稳定性主軸。

飞机繞  $xx$  軸的平衡称为橫向平衡，而繞  $zz$  軸的平衡称为縱向平衡。

縱軸  $Ox$  与翼弦平行，指向前方，并位于飞机的对称面上。

豎軸  $Oy$  垂直于  $Ox$  軸，也在飞机的对称面上。在飞机水平飞行时，該軸指向上方。

橫軸  $Oz$  垂直于飞机对称面（右机翼方向表示正值）。在机体坐标系中，各坐标平面的名称是：

$Oxy$ ——飞机的对称平面；

$Oxz$ ——机翼平面或主平面；

$Oyz$ ——橫平面。

与地面相联系的各固定坐标軸（图 1, 6）叫做地面坐标軸，其选择方法如下： $O_1y_1$  軸由下向上垂直， $O_1x_1$  和  $O_1z_1$  軸自然地处于水平面上，并且二軸相交成  $90^\circ$  角。坐标原点可任意选择。

机体坐标軸与地面坐标軸的关系，即飞机与地面的关系位置由  $\theta$ 、 $\gamma$  和  $k$  角（图 2）来确定。 $xx$  軸与水平面之間的夹角  $\theta$  叫做俯仰角。飞机繞其縱軸的轉角  $\gamma$  叫做橫向傾斜角。飞机对称平面

与子午綫（水平面与地理子午綫平面間的截綫）間的夹角  $k$  叫做飞机的**真航向角**。角  $k$  由子午綫算起。

如果不用地理子午綫，而用磁子午綫做出发方向，則航向就不叫做真航向，而叫做**磁航向**。

飞机的縱向平衡取决于俯仰角，因为該角随着飞机迎角  $\alpha$ （图 3）改变而改变，迎角改变，飞机的空气动力特性也随之而改变。

空速向量与翼弦間的夹角叫做**迎角**。翼弦就是机翼下表面的切綫（指切綫翼弦）或联接机翼前緣与后緣的一条綫（指內弦綫）。

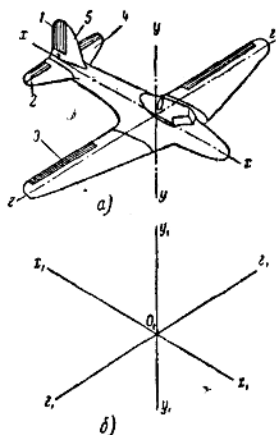


图 1 飞机的坐标軸

a)  $oxyz$ —机体坐标系；  
b)  $ox_1y_1z_1$ —地面坐标系。  
1—方向舵；2—升降舵；3—副翼；4—水平安定面；5—垂直安定面。

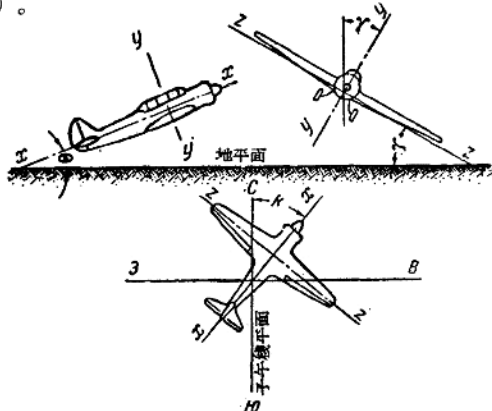


图 2 表示飞机对地面的位置的角度  
 $\theta$ —俯仰角； $\gamma$ —横向傾斜角； $k$ —飞机的航向角。

現在应用最广泛的翼型及翼弦如图 4 所示。

前面已指出，迎角  $\alpha$  对于飞机的空气动力特性是有影响的，即影响升力  $Y$  和迎面阻力  $Q$  (图 5)



图 3 飞机迎角  
 $\alpha$ —迎角； $V$ —速度向量。

$$Y = \frac{c_y S \rho V^2}{2}, \quad (\text{I. 1})$$

$$Q = \frac{c_x S \rho V^2}{2}, \quad (\text{I. 2})$$

式中  $S$ ——机翼面积 (公尺<sup>2</sup>)；

$\rho$ ——空气密度 (公斤·秒<sup>2</sup>/公尺<sup>3</sup>)；

$V$ ——飞机速度 (公尺/秒)；

$c_y$ ——升力系数；

$c_x$ ——迎面阻力系数。

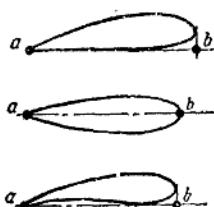


图 4 标准翼型  
ab—翼弦。

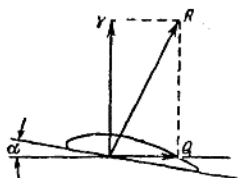


图 5 作用于机翼上的空气动力  
 $R$ —总空气动力； $y$ —升力； $Q$ —迎面阻力。

迎角增大时，升力系数  $c_y$  也随之增大，并且在某一迎角时，达到最大值，此时的迎角叫做**临界迎角** (图 6)。当迎角再继续增大时，升力系数  $c_y$  及升力反而急剧下降。飞机在平直等速飞行中的平衡条件之一，就是飞机的重量  $G$  要等于升力  $Y$

$$G = Y = \frac{c_y S \rho V^2}{2},$$

由此得

$$V = \sqrt{\frac{2G}{S\rho c_y}}. \quad (\text{I. 3})$$

这样，升力系数  $c_y$  越大，则保持水平飞行所必需的速度就越



小。因之，飞机可根据速度  $V$  的大小以各种迎角作平直飞行。保持水平飞行所必需的速度在很大程度上决定于飞机的迎角。很显然，这对于其他一切飞行状态也是正确的。每种飞行状态都应有一定的最低飞行速度  $V$ ，在这种速度下飞机仍能保持平衡和保持规定的飞行状态。

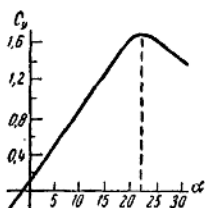


图 6 迎角  $\alpha$  与升力系数  $C_y$  的关系。

因此，知道飞机的速度  $V$ ，不仅是对计算飞行时间是必需的，就是对保持飞机纵向平衡（纵向平衡在很大程度上决定于迎角）也是必需的。

### 检查飞行状态的仪表

飞机的速度是按空速表的示数来测定的。空速表指示的是空速，即飞机与空气的相对速度。下面将要谈到，根据这种仪表的指示还能间接地判断飞机的纵向平衡，即能判断迎角的大小。高速表指示飞机的飞行高度，而上升和下降的速度则由升降速度表指示。

飞机的航向用罗盘和转弯指示器来检查。转弯指示器能指示飞机是否脱离直线飞行状态，即指示航向是否发生变化。飞机的横向平衡与横向倾斜角有关。在直线飞行中，横向倾斜角能引起飞机侧滑（图 7）。

在曲线飞行（图 8）中，例如转弯，惯性力<sup>①</sup>可使飞机产生侧滑。如果在飞机转弯时，重力和离心力的合力方向系沿视在垂直线，并与垂直于机翼平面的直线相重合（见图 7, 6），这就是正确的盘旋。如果视在垂直线不与这一直线相重合，飞机便产生了

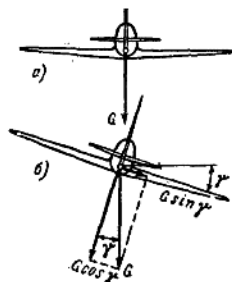


图 7 直线飞行

a—无倾斜；b—有倾斜； $\gamma$ —绝对横向倾斜角。

① 在转弯时，飞机以向心加速度运动。此时飞机便受惯性离心力作用。