

〔苏联〕Л. Т. 柏闊夫、М. С. 叶哥罗夫

П. В. 达拉索夫 合著



飞机高空设备

飞机高空设备

〔苏联〕Л. Т. 柏闊夫、М. С. 叶哥罗夫、П. В. 达拉索夫 著

楊紹孔 等譯

寿荣宗 張汉鑽 校



国防工业出版社

出版者的話

本書闡述飛機氣密座艙設備及航空氧氣呼吸器的結構原理、計算的理論基礎及其工程計算方法，并且还簡單地介紹高空飛行的生理知識。

本書對於我國高等航空院校的師生、以及從事這方面專業的工程技術人員與科學工作者亦有用處。

本書由楊紹孔、李萬江、劉少臣、艾德滋等同志譯出，由壽榮宗、張漢鏞校。

ВЫСОТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ САМОЛЕТОВ

〔蘇聯〕Л. Т. Быков, М. С. Егоров

П. В. Тарасов

ОБОРОНГИЗ 1958

•
飛 機 高 空 設 備

楊紹孔等譯

壽榮宗、張漢鏞校

•
國防·航空出版社 出版

•
新華書店北京發行所發行，各地新華書店經售

國防工業出版社印刷廠印裝

•
850×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 12 $\frac{1}{8}$ 305 千字

1962年8月第一版 1964年9月第二次印刷 印數：601—2,050冊

統一書號：15034·490 定價：（科七）2.00元

目 录

前言	9
符号表	10
概 論	13
第一章 高空飞行的大气与生理卫生条件	19
§1.1 地球大气概述	19
1 大气构造	19
2 空气成分	23
3 标准大气	25
§1.2 高空条件对人体的影响	27
1 关于人体生理呼吸的简述	27
2 氧气之分压力	31
3 缺氧现象	32
4 飞行高度急剧改变时,引起人体内的特殊疼痛	33
5 爆炸减压	35
6 宇宙綫对人体的影响	37
7 低温与空气湿度对人体的影响	39
8 飞机的噪音	41
第二章 高空飞行的技术措施	43
§2.1 保证高空飞行的技术措施	43
1 氧气呼吸器	43
2 密闭飞行衣	44
3 气密座舱	45
§2.2 气密座舱概論	46
1 气密座舱的生理卫生要求	46
2 飞机气密座舱内空气压力调节规律	50
3 气密座舱的原理图	52
§2.3 气密座舱的设备	60
1 高空设备的分类	60

2 对高空设备提出的要求	61
第三章 气密座舱的增压	63
§3.1 气密座舱通风与增压条件	63
1 座舱在低空的通风	63
2 在高空时座舱增压和通风所需要的供气量	64
3 可用供气量	65
§3.2 座舱的增压源	68
1 由航空发动机的压缩机增压座舱	69
2 由自动操纵增压器增压座舱	74
3 用气瓶内的压缩(或液态)空气和氧气增压座舱	85
§3.3 座舱供气系统	86
1 空气导管	87
2 消音器	93
3 空气湿润器	95
第四章 座舱气密	99
§4.1 一般知识	99
1 气密座舱的空气泄漏量	99
2 气体流动的基本规律	100
3 当气体由容器内以亚临界速度流出时,确定气体流量的 近似公式	101
§4.2 座舱空气泄漏量的确定方法	109
1 座舱的不气密特性	109
2 超临界流动状态时座舱空气泄漏量的计算	112
3 亚临界流动状态时座舱空气泄漏量的计算	113
4 由补偿气密座舱空气泄漏的条件,确定所需的供气量	115
§4.3 座舱气密的方法	118
1 缝隙的气密	118
2 舱门,口盖及活动座窗盖的气密性	118
3 玻璃的气密	120
4 飞机及其部件的操纵线路在座舱引出接头的气密	121
§4.4 座舱气密性的检验	124
1 用座舱漏气补偿法检验座舱气密性	124

2 用座艙压力降速度測量法檢驗座艙气密性	125
3 各种檢驗座艙气密性方法的比較	127
第五章 气密座艙的热力状态	132
§5.1 概述	132
1 气密座艙內的溫度場	132
2 加溫座艙空气的热源	133
3 气密座艙的热損耗	135
4 稳定座艙內空气溫度的方法	137
§5.2 气密座艙的加溫	138
1 座艙的加溫系統	138
2 飞机的加溫裝置	139
3 防止座艙玻璃蒙上水汽和結冰的措施	142
§5.3 气密座艙的冷却	145
1 冷却方法	145
2 空气式热交換器	147
3 压缩蒸发式冷却系統	156
4 带冷却渦輪的冷却系統	157
5 蒸发式冷却系統	163
§5.4 气密座艙的热力計算	164
1 座艙的热平衡	164
2 在稳定热状态下座艙热力計算的程序	175
第六章 气密座艙空气的清滤与再生	177
§6.1 气密座艙的通風計算	177
1 按有害杂质的容許濃度求需要的供气量	177
2 在密閉不通風空間內气体杂质濃度的增加	181
§6.2 空气的清滤与再生裝置	184
1 空气滤	184
2 再生裝置的吸收筒	189
3 通風机	193
4 引射器	196
第七章 作为調节对象的气密座艙	203
§7.1 作为压力調节对象的气密座艙	204

1 座舱的微分方程.....	204
2 座舱方程系数的确定.....	208
3 作为压力调节对象的座舱特性的评价.....	210
§ 7.2 作为温度调节对象的气密座舱.....	213
1 座舱的微分方程.....	214
2 作为温度调节对象的座舱特性的评价.....	217
第八章 空气供给量的调节.....	220
§ 8.1 概論.....	220
1 对于飞机气密座舱调节器的一般要求.....	220
2 供气量随高度的改变.....	221
3 供气量的调节方法.....	223
§ 8.2 座舱供气调节器的说明.....	225
1 直接作用式供气调节器.....	225
2 间接作用式供气调节器.....	229
§ 8.3 供气调节系统动稳定性的分析.....	234
1 直接作用式调节器系统稳定性的分析.....	235
2 间接作用式调节器系统稳定性的分析.....	241
第九章 气密座舱内的压力调节.....	252
§ 9.1 压力调节器的概論.....	252
§ 9.2 压力调节器基本参数的确定.....	266
1 压力调节器活门通道截面积的确定.....	266
2 调节机构的型式与尺寸的选择.....	268
3 压力调节器敏感元件参数的确定.....	272
§ 9.3 压力调节系统的动力稳定性.....	274
1 间接作用式压力调节器的微分方程.....	274
2 带气压助力传动装置的压力调节器的微分方程.....	275
3 调节系统的动力稳定性.....	277
第十章 气密座舱空气温度的调节.....	281
§ 10.1 温度调节器概論.....	281
1 簡述.....	281
2 温度调节器图.....	282
§ 10.2 气密座舱空气温度的自动调节.....	286

1 簡述.....	286
2 帶金屬絲電阻式熱敏感元件的傳感器的微分方程.....	288
3 帶雙金屬熱敏感元件的傳感器的微分方程.....	291
4 調節系統動力穩定性的分析.....	292
第十一章 安全與檢驗設備	301
§ 11.1 座艙安全裝置	301
1 增压管路的单向活門.....	301
2 座艙安全活門.....	302
3 座艙真空活門.....	303
4 緊急卸壓活門.....	309
§ 11.2 檢驗儀表	320
1 座艙高度與壓差表.....	321
2 座艙空氣溫度表.....	322
3 信號器.....	323
4 空氣流量表.....	325
第十二章 氧氣設備及密閉飛行衣	331
§ 12.1 飛機氧氣設備概述	331
1 氧氣系統及氧氣呼吸器的分類.....	331
2 各種氧氣呼吸器的比較.....	335
3 各種氧氣呼吸器的使用高度.....	336
4 氧氣設備維護使用的特點.....	338
§ 12.2 連續供氧式氧氣呼吸器	339
1 固定式氧氣呼吸器 (KП-22)	339
2 跳傘用氧氣呼吸器 (KП-23)	342
§ 12.3 間歇供氧式氧氣呼吸器	345
1 固定式氧氣呼吸器 (KП-18)	345
2 KП-16 氧氣呼吸器	349
3 余壓式氧氣呼吸器.....	352
§ 12.4 液態氧氣呼吸器	356
1 液態氧的使用特性.....	356
2 液體氧氣呼吸器.....	358
§ 12.5 氧氣呼吸器基本參數的選擇與計算	363

1 减压器的計算.....	363
2 肺式自动調節器基本参数的計算.....	368
§ 12.6 保証飞机乘員完成飞行时所需供氧量的确定	373
1 氧气瓶.....	373
2 飞行用氧气儲备量的确定.....	374
§ 12.7 飞机上氧气設備的布置与安装	376
1 飞机氧气設備系統布置与安装的特点.....	376
2 氧气設備的典型系統图.....	377
§ 12.8 密閉飞行衣	379
1 概述.....	379
2 通風式密閉飞行衣.....	380
3 再生式密閉飞行衣.....	381
4 密閉飞行衣的高空性.....	382
5 高空补偿衣.....	385

前 言

关于在高空飞行条件下如何保证飞机乘员的生命安全与工作能力问题，在设计高空飞机所发生的许多问题中愈益有着更大的意义。

本书除了它的直接用途外，对于各设计室和各院校从事高空设备研究、制造与使用维护的专家亦可能有用。

本书第一章简单介绍关于大气、人体生理及高空飞行条件下的生理卫生知识。这些知识是清晰了解现有设备的工作原理及设计新型设备的必要前提。

书的后面几章将帮助读者了解单独附件的结构与作用原理、气密座舱设备及高空设备系统的计算原理。第七、八、九、十各章中所阐述的材料主要是供仪表制造专业的大学生用的。

书中有一章是专门研究气密座舱的热力状态及气密座舱的热力计算原理的。

书中还阐述了气密座舱空气的再生和通风问题。

最后一章里提供了氧气呼吸器个别附件的示意图、说明与计算方法，而且还研究了几个关于飞机在高空失事后乘员离机时的救生问题。

作者在编写这本书时广泛地运用了现有的关于飞机高空设备方面的技术资料，某些部分是自己在这方面的实际工作经验。

作者推荐这本书只是想将现代高空设备的理论与计算系统化的一个初步尝试，因而错误和缺点在所难免，作者非常欢迎对这些错误提出指正。对于所发现的缺点的意见与指示请寄国防工业出版社（莫斯科И-51，彼得洛夫24）。

对于在准备初稿时曾给予帮助的人作者表示感谢，特别对在编写第五章的§5.4节中给予重大帮助的П.И.瑞杰涅夫工程师表示谢忱。

符 号 表

时 間

- τ —— 時間变数;
 $\tau_{\text{докр}}$ —— 空气在亚临界压力比情况下的流动時間;
 $\tau_{\text{закр}}$ —— 空气在超临界压力比情况下的流动時間;
 $T_{\text{докр}}$ —— 空气在亚临界压力比情况下的流动時間的常数;
 $T_{\text{закр}}$ —— 空气在超临界压力比情况下的流动時間的常数;
 $T_{\text{к}}$ —— 气密座舱的填充時間;
 $T_{\text{к}}^*$ —— 气密座舱填充時間的常数。

压 力

- p —— 压力;
 p_h —— 在 h 高度上的大气压力;
 $p_{\text{к}}$ —— 飞机座舱內的空气压力;
 $\Delta p_{\text{к}}$ —— 飞机座舱內的空气余压;
 p_{O_2} —— 氧气分压力;
 $p_{\text{O}_2}^{\text{альв}}$ —— 肺胞內的氧气分压力;
 $p_{\text{комп}}$ —— 压缩机产生的压力;
 $p_{\text{нагн}}$ —— 增压器产生的压力;
 $p_{\text{п}}$ —— 供給飞机座舱的空气压力;
 $R_{\text{г. п}}$ —— 压力的流体损失;
 $\varphi_{\text{к}} = \frac{\Delta p_{\text{к}}}{p_{\text{N}}}$ —— 飞机座舱內空气压力的相对变化;
 p_{N} —— 空气压力的某一額定值;
 K —— 飞机座舱內空气压力的自动平衡系数。

温 度

- $T_h^\circ; t_h^\circ$ —— 高度 h 上的大气温度;
 $T_{\text{к}}^\circ; t_{\text{к}}^\circ$ —— 飞机座舱內的空气温度;
 $T_{\text{комп}}^\circ; t_{\text{комп}}^\circ$ —— 压缩机出口处的空气温度;
 $T_{\text{нагн}}^\circ; t_{\text{нагн}}^\circ$ —— 增压器出口处的空气温度;
 $T_{\text{торм}}^\circ$ —— 空气气流的完全阻滞温度;

$\Delta t_{\text{торм}} = T_{\text{торм}}^{\circ} - T_h^{\circ}$ ——空气气流完全阻滞时的温度增量;

$\theta_k = \frac{\Delta t_k}{t_{\text{max}}} = \frac{\Delta T_k^{\circ}}{T_{\text{max}}^{\circ}}$ ——飞机座舱内空气温度的相对变化。

容 积

V_k ——飞机座舱的容积;

ν ——气体的比容;

ν_k ——飞机座舱内空气的比容。

湿 度

E_k ——飞机座舱内空气的绝对湿度;

e_k ——飞机座舱内空气的相对湿度;

E_h ——大气中空气的绝对湿度;

$e_{\text{вод.п}}$ ——水蒸汽压。

空气的重量、供给量与流量

G_k^* ——飞机座舱内空气的重量;

$G_{\text{нотр}}$ ——需用的供气量 (公斤/小时);

$G_{\text{расп}}$ ——可用的供气量 (公斤/小时);

$G_{\text{п}}$ ——供给座舱空气的重量 (公斤/小时; 公斤/秒);

G ——空气的重量流量 (公斤/秒);

$G_{\text{унагл}}$ ——增压器的容积供气量 (米³/小时; 米³/秒);

G_y ——飞机座舱空气的重量泄漏量;

$G_{\text{в}}$ ——空气经过压力调节器时的重量流量 (由飞机座舱放出);

γ_h ——高度 h 上的大气的比重;

γ_k ——飞机座舱内空气的比重;

$\gamma_{\text{п}}$ ——供给座舱的空气的比重;

$\eta_{\text{п}} = \frac{\Delta G_{\text{п}}}{G_{\text{п. max}}}$ ——空气重量供给量的相对变化;

$\eta_{\text{в}} = \frac{\Delta G_{\text{в}}}{G_{\text{в. max}}}$ ——空气经过压力调节器时的重量流量的相对变化;

$g_y = \frac{G_y}{V_k}$ ——飞机座舱单位容积内的空气单位泄漏量 (公斤/小时米³)。

热 量

Q ——由高温物体传递给低温物体的热量;

Q_{Π} ——供給飞机座艙的热量 (仟卡/小时);

k_{τ} ——傳热系数 (仟卡/米²小时°C);

$\alpha_{\text{в}}$ ——表征着飞机座艙壁內表面与座艙內的空气之間的热交换过程的給热系数 (仟卡/米²小时°C);

$\alpha_{\text{н}}$ ——表征着飞机座艙壁外表面与大气之間热交换过程的給热系数 (仟卡/米²小时°C);

λ_i ——飞机座艙每个絕热层的导热系数 (仟卡/米小时°C);

k ——絕热指数;

$Q_{\text{х.о}}$ ——冷却系统的致冷量。

速度 和 高度

v ——飞行速度;

v_y ——飞机垂直分速;

$h_{\text{к}}$ ——座艙內的“高度”。

凡未包括在此符号表內的符号和注脚皆在本文內說明。

概 論

高空設備是飞机整个設備的一部分，它是在飛行人員進行高空飛行時用來保證飛行人員的生命安全與工作能力的。

“飞机高空設備”課程是整个飞机設備課程的一部分；书中闡述了如何保證飛行人員生活機能的科学原理與技术。

現在由于科学研究與設計工作廣闊的发展，在設計高空飞机方面航空技术也取得了重大的成就。12000 至 15000 米的高度变成一系列带气密座艙的飞机进行正常飛行的工作高度。

航空設計人員力求掌握更大的高度，这是由于高空飞机較低空飞机具有許多重大的优点，这些优点基本上可歸納如下：

- 1) 飞机的速度和活动半徑將随飛行高度的增大而显著增大；
- 2) 即使大气低层的气象条件不良，也可进行飛行；
- 3) 在战時可避开地面防空炮火，因而飞机不易受到伤害；
- 4) 可以由空中攝取更大的地面面积图；
- 5) 对于战斗机，高度愈大，則在战术上愈有利于进行空战。

应当指出，由于上述优点，所以現在几乎所有的民用飞机与軍用飞机都装有气密座艙。

还应当指出改进現代飞机上所采用的高空設備的重要性。如果飞机的某一个附件或仪表损坏在大部分情況下可能使飞机終止飛行而強迫着陸，而如果氧气呼吸裝置或气密座艙增压系統在高空损坏，在沒有有效的飛行人員急救生設備的情況下，不可避免地会导致飛行人員牺牲生命的恶果。

历史簡述

很久以前，在高空进行飞行的念头就得到了人們的注意。人們关于向同溫层飞行、向星际空間以及在其它行星上飞行的幻想在許多民間神話里早就明显地反映出来。現在这些幻想已經在生活中被实现。第一个課題——向同溫层飞行已經解决，第一批人造地球卫星的成功发射使实现星际飞行的日子已經不远。

实现同溫层飞行以及向星际空間飞行的理論研究，在很大程度上决定于苏联科学家和发明家的劳动。

設計帶噴气发动机的飞行器的最初想法是俄国革命家 Н. И. 客巴尔齐池 (Кибальчич) 于 1881 年提出的。

俄国偉大的科学发明家 К. Э. 齐奥科夫斯基 (Циолковского) 的著作奠定了噴气运动理論的基础。他拟定出了火箭飞机的結構图，这个結構图在相当大的程度上决定了現代噴气飞机的結構。

Н. Е. 儒可夫斯基及 К. Э. 齐奥科夫斯基的著作及后来苏联科学家与設計家 В. С. 斯捷池肯 (Стечкин)、Ф. А. 參捷尔 (Цандер)、В. В. 烏伐洛夫 (Уваров)、В. Я. 克利莫夫 (Климов)、А. М. 留尔卡 (Лютьк) 及其他科学家的著作都保证了苏联航空噴气技术的发展。

我們知道，关于为現代飞机飞行人員創造正常生活条件的問題已通过采用气密座艙而得到解决，借助于气密座艙，可在其中人为地保持接近正常地面的条件。

許多著名的科学家，其中有俄国偉大的科学家 Д. И. 門捷列也夫 (Д. И. Менделеев) 提出必須采用气密艙以保证高空条件下人机体所需要的正常条件。1875 年他在自己的著作“論上层大气的温度”中曾写到：[为了更安全起见，观察者应当安置在密閉的在一般压力下經常充滿空气的小艙内]。这是早期著作之一，在其中对实现高空飞行必須采用气密座艙作了技术論証。

应当知道，也是在 1875 年曾有三个法国飞行家用气球“天

頂”作高空飛行時失事了，這正是由於當時人們關於高空對人體的生理影響了解不足的緣故。

這幾個飛行家曾根據法國有名的物理學家波耳賈爾預先的指示在飛行中攜帶了幾個專用氧氣袋作為備用，但是他們錯誤地決定僅在高空按需要使用這些氧氣。在8000米的高度上，三個飛行家都失去了知覺，其中有一人——基斯傘捷（Тиссандье）——在氣球降落后蘇醒過來，而同行者的其餘兩個皆死去了。人們就這樣在實踐中懂得了稀薄大氣對人體的影響。

在這些年代里，Д. И. 門捷列也夫及其他俄國偉大學者 И. М. 謝切諾夫（Сеченов）的著作都曾闡述了高空對人體的生理影響的原理和實質。

在1879年12月於彼切爾布爾格（Петербург）所舉行的自然科學家和醫生第六次代表大會上，И. М. 謝切諾夫在他的報告中會對兩個法國飛行家犧牲的原因作了深刻的科學分析。俄國的學者所作的結論是，在高空空氣中氧氣分壓力的減小是一個具有決定性的因素。後來蘇聯和外國的許多學者的著作也証明了Д. И. 門捷列也夫和И. М. 謝切諾夫的結論是正確的。

這樣一來，И. М. 謝切諾夫和Д. И. 門捷列也夫成為我們航空醫學——使人類能戰勝高空的科學——的創始者，這是理所應當的。

在航空發展的最初年代里，飛機是沒有任何高空設備的。後來，當在4000~5000米高度以上能夠進行飛行時，飛機上出現了專用氧氣瓶，氧氣由氧氣瓶經過減壓器直接沿橡膠軟管供給飛行員。類似這種原始的設備是非常不方便的，而且效果不良。

隨着飛機升限不斷的增高，就必須創制可靠的能自動工作的氧氣呼吸器。這種呼吸器終於被研究出來而且能夠在11000~12000米的高度上很好地工作。

實踐和專門的生理研究証明，在更大的高度上，大氣壓力竟降低到這樣的程度，以致供給肺腔的氧氣已經不再被機體所吸收，

随之而来的是缺氧现象。于是，就只有极个别的专门经过训练的飞行员才能带氧气呼吸器升到较大的高空去。有名的苏联飞行员B. 闊克納克就这样駕駛着带开敞座舱的飞机升到了14575米的高度上。在这次飞行中飞行员使用的是当时最完善的一种氧气呼吸器 КПА-3。

为了创造一些条件以便使人们能够到13000米以上的高空去，已经开始研究航空密闭飞行衣和气密座舱。气密座舱得到了广泛的发展和使用，因为在气密座舱内完全可以达到机内飞行人员所必需的生理卫生条件。

当飞行家飞向同温层时，气密座舱（或气密吊篮）首先在同温层气球上得到了实际应用。

设计师B. A. 奇热夫斯基从1931年就开始研究设计同温层气球的气密吊篮。

1933年9月30日，三个苏联的同温层飞行员Г. A. 波尔科费也夫（Прокофьев）、K. Д. 果杜诺夫（Годунов）和Э. К. 比林堡木（Бирнбаум）坐在“苏联一号”同温层气球的金屬气密吊篮内飞到了19000米的高度上。

经过几个月以后，1934年1月30日，勇敢的飞行家A. B. 瓦辛科、П. Ф. 费德辛科和И. Д. 烏西斯肯駕駛着另一个苏联同温层气球“奧薩維赫木一号”达到了更大的高度，即22000米的高度，从而创造了世界高度的新记录。

同温层飞行家在这些飞行中所进行的研究帮助我们解决了关于高空空气的成分、宇宙线的本质、臭氧的含量等一系列非常重要的问题。苏联学者根据这些研究推翻了盖姆福里关于氧气及其它气体的含量百分比在大气不同高度上要有急剧变化的假设。

比利时人皮卡尔在气密吊篮内駕駛着同温层气球达到15786米高度（1931年）和16496米高度（1932年）的飞行及斯蒂文氏和安捷尔森于1935年11月达到22066米高度的飞行是非常值得注意的。