



座舱工程

COCKPIT ENGINEERING

(英) Don N Jarrett (唐·N. 贾勒特) 著
孔 渊 曲卡尔 等 译
高晓华 校 张文锋 审

航空工业出版社



座 舱 工 程

Cockpit Engineering

(英) Don N Jarrett (唐·N. 贾勒特) 著

孔渊 曲卡尔等 译

高晓华 校

张文锋 审

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书对座舱系统进行了全面的整体介绍,内容包括座舱的演变历史,人心理以及生理因素的重要性,座舱设计的一般流程,座舱中引入的各种系统和技术,对未来技术的发展和座舱演变的展望等。书中涉及多个学科,结合了理论知识与工程实践,引用了大量的图表和工程实例。虽然主要着眼于战斗机,但对于民用以及军用领域的航空航天工程师、研究人员、制造商、采购商来说都适用。此外,对于航空航天、机械、电子工程专业的学生来说本书也具有学习和参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

座舱工程 / (英)贾勒特(Jarrett, D. N.)著;孔渊等译. --北京:航空工业出版社,2015.1

书名原文:Cockpit engineering

ISBN 978-7-5165-0648-6

I. ①座… II. ①贾… ②孔… III. ①座舱—研究
IV. ①V223

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第001350号

Copyright © Cockpit Engineering 2005

This translation of Cockpit Engineering is published by arrangement with Ashgate Publishing Limited.
ISBN 978-0-75461-751-8

北京市版权局著作权合同登记

图字:01-2008-3482

座 舱 工 程

Zuocang Gongcheng

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑2号院 100012)

发行部电话:010-84936597 010-84936343

三河市华骏印务包装有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2015年1月第1版

2015年1月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:23.5

字数:574千字

印数:1—2000

定价:95.00元

序

1974年初，我成为了位于范堡罗的皇家飞机研究院（Royal Aircraft Establishment, RAE）中的一员。我原打算继续从事材料科学的研究，却被分配参加一个从事新项目的研发小组，开展头盔显示系统的研究工作。我接受了这项工作，当时我想，这也许是个有趣的发展方向，而且或许有一天通过内部调迁，会回到我原来的研究方向上。多年以来，组织的名称和规模发生了很大的变化，起先是更名为皇家航空航天研究院（Royal Aerospace Establishment），随后研究院与政府同类研究组织合并成为了国防研究局（Defense Research Agency）的一个部门，之后进一步演变成国防评估和研究局（Defense Evaluation and Research Agency, DERA），该组织并于2001年划分成两部分，其中较大的部分发展成为了一个从事科研的商业公司：奎奈蒂克公司（QinetiQ）。直到2005年，这个世界和我所在的组织发生了翻天覆地的变化，而我仍在同样的地点，同样的领域，从事着同样的工作。

我写这本书的主要动机，我想，是为了阐述为什么我所从事的工作是如此的令人着迷。从某种程度上说，从事关于飞机上任何部件的研究工作在工程上都是一种挑战，而座舱工程设计则更具有其独特而复杂的特点。座舱设计并不仅仅是搭建一个空间，把品种繁多的设备安放进去，然后让飞行员去决定他怎样最好地使用这些设备。座舱工程师的任务是必须要让飞行员与设备之间的交互变得尽可能简单与自然，当飞行员系好安全带之后，他应当自然而然地感觉到他似乎把飞机背在他的背上一样。我们知道，为操作者设计工效良好的操作环境并不是一个新兴的想法，以人为中心的设计原则从人类开始制造工具时就有了。在智人（*homo sapiens*）出现很久之前，这个原则就已经潜移默化地存在于能人（*homo habilis*）的思考之中了。但是，当一个飞行员将一个现代战斗机背到他的背上时，飞机与机载武器的巨大力量使飞行员的角色变得很特殊：责任重大却也易受伤害。设计人员需要尽可能为飞

行员提供一切支持与帮助。

座舱设计这一主题横跨了多个科学和工程学科，所以在本书叙述时要面面俱到是比较困难的。由于战斗机的设计代表了工程上和人机工程学上最大的挑战，本书章节的编排与内容将基于单座战斗机展开。根据我以前授课与培训的经验，工程师们对人类的能力与局限性并不是太熟悉，因此我简要介绍了一些相关的心理学和生理学方面的知识。在书中，我尝试从机组人员的角度来看待座舱设备，并从设备的使用角度管理设计要求。我想，通过人的因素和操作因素综合描述，会使原本平淡的技术报告变得丰富多彩。为叙述简洁，我将许多复杂设计案例进行了简化，希望读者能够谅解。

我还想就两点表达歉意。一是我没有把全文的计量单位按科学标准进行统一，为上下文的描述方便我保留了最适宜的计量单位。飞机的行程采用千米 (km)、英里 (mile) 和海里 (n mile) 作为计量单位，高度采用米 (m) 和英尺 (ft)，飞行速度采用节 (kn) 和海里/时 (n mile/h)。美国工程师习惯于采用英尺、英寸 (in) 和磅 (lb)，而科学家和美国之外的工程师通常采用国际单位制单位。不管怎么说，都应该采用统一计量标准来表述的，所以我对于在文章中采用了多种单位计量而引起表述不清表示抱歉。二是为了表述简洁，我在文中没有采用“他/她”和“他或她”，而是用“他”作为一般性的指代，比如指机组人员和设计师，这里并不一定表示是男性。

在本书的最后，列出了相关的缩略语和简称。区别于一般的词表，我在这个列表中同时列出了该词出现的页码。有一些简称显得意义比较模糊，但是我希望在通过上下文，读者还是能比较清晰理解词中所表达的意义。

非常感谢我在 RAE、DERA、QinetiQ 的同事们：Alan Brown, David Bigmore, Ian Davies, Sarah Day, Peter Downs, Laurence Durnell, Eric Farmer, Soo James, Peter Longman, Henry Lupa, Graham Rood 以及 James Sadler。感谢他们给我的帮助以及对我的草稿提出的建设性意见。其中尤其我要感谢 Judith Ineson，对文章进行了校对并提出大量的修改意见。

在过去的 30 年里，我能与很多同事们一起工作，感到非常高兴，他们是 Mark Allen, Judy Aplin, Jon Banbury, Nick Bengier, Phil Catling, Simon Dalton, Tony Doyle, Alan Hepper, Craig Hudson, Tony Karavis, Martin Kaye,

Charles Parker, Mark Reed, Howard du Ross, Geoff Rowlands, Barry Short, Fiona Smith, Alan South 以及 David Thorndycraft 等, 这里无法一一列举。在工作中我也非常荣幸地认识了很多的科学家、工程师以及机组人员。我参加了 AGARD 第 25 工作小组, 学到了许多东西, 小组里有 Tim Anderson, Karen Carr, Pierre Dauchy, Bernard Hudgins, Alain Leger, Grant McMillan 和 Dominique Pastor 等, 说话安静的 Josh Borah 给我印象尤为深刻。还有许多人, 包括 Owen Wynn, Mike Edwards, Paul Marshall, Steve Heptinstall, Peter Wilkinson, Nigel Cox, Brian Tsou 和 Mike Haas 等, 无私地与我分享了他们的知识与经验。

最后, 感谢我的家人, 尤其是我的妻子 Patricia, 感谢他们始终不渝的支持与鼓励。

唐·贾勒特
(Don Jarrett)

译者序

该专著是作者唐·贾勒特 (Don Jarett) 根据他在英国皇家航空航天研究院三十多年的座舱工程设计经验而写成的, 共 14 章: 第 1 章概述了飞机座舱发展历程、任务使命与技术需求; 第 2 章与第 3 章从生理和心理角度讨论了飞机座舱中人的因素; 第 4 章介绍了飞机座舱在设计过程中的技术问题, 包括需求定义、任务功能与开发测试等; 第 5 章介绍了机组人员的视觉要求、座舱光学透明度、夜视镜以及传感器辅助视觉等; 第 6 章到第 9 章介绍了现代座舱的显示技术与显示组件, 着重介绍了下视显示器、平视显示器和头盔显示系统; 第 10 章介绍了飞机座舱中听觉显示; 第 11 章介绍了座舱的手动控制、语音控制等控制方式以及眼动、手势跟踪、生物电势等新型控制方式; 第 12 章与第 13 章介绍了紧急逃生装备、飞行员的飞行服和保护头盔等人机接口设备的基本原理、发展历程、外形结构、技术性能及有关数据等; 最后在第 14 章中综述了现代科学技术的发展对未来飞机座舱的人机接口技术的影响和发展趋势。

该专著突出介绍了飞机座舱航空电子领域的概念和新技术, 系统地反映了西方当代战斗机座舱的设计思想与设计方法, 给出了不少颇有参考价值的飞机座舱设计方案与试验数据, 字里行间不乏作者在飞机座舱工程设计方面的实践经验。目前, 在国内尚未见同类专著。因此, 该专著的翻译出版可为我国一线技术人员在飞机座舱新产品的研制中开拓思路并提供借鉴; 可以帮助航空电子有关科研生产单位的新同事、科研工作领导人员、非航空电子有关专业人员拓宽航空电子知识面; 帮助情报研究人员建立航空电子专业的知识框架。

参加专著翻译的有孔渊、曲卡尔、张欣、张起睿、高翔、张胜利、胡娜、周坚锋、李卫、李飞和宋青等, 由高晓华译校, 张文锋主审。本书在翻译过程中得到了中国航空无线电电子研究所领导的鼓励和支持, 也得到了航

空工业出版社的指导和帮助，在此一并表示感谢，他们是本书能付梓出版不可或缺的因素。

由于本书的专业面宽，新概念词汇较多，限于译校者水平，书中疏漏和差错之处在所难免，敬请读者批评指正。

2014 年 11 月

目 录

第1章 概述	(1)
1.1 范畴	(1)
1.2 历史回顾	(1)
1.3 潜在的因素	(5)
1.4 机载系统	(6)
1.5 座舱功能	(8)
参考文献	(9)
阅读材料	(9)
第2章 人体构造	(10)
2.1 引言	(10)
2.1.1 人体主要生理系统	(10)
2.1.2 运动和维持系统	(10)
2.2 神经系统	(11)
2.2.1 神经元	(11)
2.2.2 脑干、自主神经系统和边缘系统	(12)
2.2.3 大脑皮层	(14)
2.3 听觉和语言	(15)
2.3.1 听觉	(15)
2.3.2 语言	(17)
2.3.3 说	(18)
2.4 视觉	(20)
2.4.1 介绍	(20)
2.4.2 眼	(20)
2.4.3 敏感度	(21)
2.4.4 色彩	(23)
2.4.5 视觉路径	(25)
2.4.6 周围环境视觉	(25)
2.4.7 中心视觉	(26)
2.4.8 眼睛的运动	(27)
2.4.9 双目视觉	(28)
2.5 复杂技能	(29)

2.5.1 注意力的概念	(29)
2.5.2 复杂问题处理能力	(30)
2.6 飞行员	(31)
2.6.1 工作	(31)
2.6.2 人为失误	(33)
2.6.3 飞行员选拔	(34)
2.6.4 训练	(35)
参考文献	(36)
阅读材料	(37)

第3章 防护需求

(38)

3.1 引言	(38)
3.2 环境	(38)
3.2.1 大气层	(38)
3.2.2 天气	(39)
3.2.3 太阳	(40)
3.2.4 云、雾和光散射	(41)
3.2.5 飞行包线和飞机机动性	(43)
3.3 生理限制	(45)
3.3.1 缺氧	(45)
3.3.2 增压舱	(47)
3.3.3 冷热环境	(48)
3.3.4 噪声	(49)
3.3.5 持续过载	(50)
3.3.6 振动	(52)
3.3.7 定向障碍	(53)
3.3.8 晕机	(55)
3.4 非致命性的事故	(56)
3.4.1 鸟撞	(56)
3.4.2 碰撞	(56)
3.5 防空武器	(57)
3.5.1 传统武器	(57)
3.5.2 核武器和生化武器	(57)
3.5.3 核爆炸和定向能武器	(59)
参考文献	(61)
阅读材料	(61)

第4章 座舱设计

(62)

4.1 引言	(62)
--------------	--------

4.2 需求定义	(63)
4.2.1 设计团队	(63)
4.2.2 需求调研	(64)
4.3 机组人员的数量及角色	(65)
4.3.1 飞行任务建模	(65)
4.3.2 功能分析	(66)
4.3.3 方案设计	(70)
4.3.4 任务分析	(72)
4.4 座舱开发和测试	(76)
4.4.1 系统设计	(76)
4.4.2 机械设计	(77)
4.4.3 环境亮度	(78)
4.4.4 人机界面设计	(78)
4.5 原型测试和在役修改	(81)
4.6 最后说明	(84)
参考文献	(85)
第5章 外视景	(88)
5.1 要求	(88)
5.1.1 引言	(88)
5.1.2 视场范围	(89)
5.1.3 敏锐度	(90)
5.1.4 亮度等级	(91)
5.2 机组人员视力	(92)
5.2.1 视力标准	(92)
5.2.2 眼镜和隐形眼镜	(94)
5.3 光学透明度	(94)
5.3.1 风挡玻璃和座舱盖	(94)
5.3.2 护目镜	(95)
5.3.3 折射	(95)
5.3.4 散射	(96)
5.4 夜视镜	(98)
5.4.1 起源	(98)
5.4.2 现役夜视镜装备	(100)
5.4.3 夜视镜的使用	(102)
5.4.4 夜视镜的发展	(104)
5.4.5 夜视镜显示器	(105)
5.5 传感器辅助视觉	(105)

5.5.1 起源	(105)
5.5.2 视觉耦合系统	(108)
5.6 挑战	(110)
参考文献	(110)
第6章 显示组件	(112)
6.1 引言	(112)
6.2 背景	(112)
6.3 机械式仪表	(114)
6.3.1 文化因素	(114)
6.3.2 压力驱动仪表	(114)
6.3.3 大气数据计算机	(117)
6.3.4 惯性仪表	(118)
6.3.5 其他指示仪表	(121)
6.4 现代座舱显示	(122)
6.4.1 简介	(122)
6.4.2 显示器布局	(125)
6.4.3 图像生成	(127)
6.4.4 控制和显示布局	(129)
6.4.5 告警	(130)
6.5 座舱照明	(132)
6.5.1 普通座舱照明	(132)
6.5.2 夜视镜照明	(133)
6.6 外围意识显示	(136)
参考文献	(138)
第7章 显示技术与下视显示器	(139)
7.1 引言	(139)
7.2 要求	(139)
7.3 显示器特性	(142)
7.4 CRT	(145)
7.4.1 单色 CRT	(145)
7.4.2 穿透型彩色 CRT	(146)
7.4.3 顺序百叶窗式 CRT	(147)
7.4.4 束引示管 CRT	(147)
7.4.5 荫罩式彩色 CRT	(148)
7.5 液晶显示器 (LCD)	(149)

7.5.1 液晶类型	(150)
7.5.2 有源矩阵 LCD	(151)
7.5.3 彩色技术	(154)
7.5.4 铁电 LCD	(155)
7.6 其他技术	(157)
7.6.1 数字微镜显示器 (DMD)	(157)
7.6.2 场致发光显示器	(158)
7.6.3 等离子体显示器	(159)
7.6.4 发光二极管显示器 (LEDD)	(160)
7.7 投射式下视显示器	(162)
7.7.1 COMED™	(162)
7.7.2 全景下视显示器	(164)
参考文献	(165)
第8章 平视显示器	(166)
8.1 引言	(166)
8.1.1 瞄准具	(166)
8.1.2 平视显示器的基本原理	(168)
8.1.3 要求	(168)
8.2 光学	(170)
8.2.1 光学原理	(170)
8.2.2 折射型瞄准仪设计	(170)
8.2.3 反射型瞄准仪设计	(173)
8.2.4 其他配置	(176)
8.3 符号设计	(178)
8.3.1 早期的符号	(178)
8.3.2 用于低空飞行的符号	(180)
8.3.3 俯仰梯度	(181)
8.3.4 用于空战的符号	(182)
8.3.5 其他符号	(183)
8.4 操作问题	(185)
参考文献	(186)
第9章 头盔显示系统	(187)
9.1 引言	(187)
9.2 应用	(187)
9.2.1 头盔瞄准具	(187)
9.2.2 动态单目头盔显示器	(188)

9.2.3 视觉耦合系统	(189)
9.2.4 “虚拟 HUD”	(189)
9.3 工程设计	(189)
9.3.1 HMD 符号判读	(190)
9.3.2 观察 HMD 图像	(191)
9.3.3 头盔显示器的安装	(192)
9.3.4 双眼间差异	(193)
9.3.5 部分重叠	(194)
9.3.6 逻辑显示平面	(195)
9.3.7 图像畸变	(195)
9.3.8 动态噪声	(196)
9.3.9 立体图像	(198)
9.3.10 彩色图像	(200)
9.3.11 像素数目: 视场和分辨率之间的权衡	(200)
9.3.12 安全问题	(201)
9.4 HMD 要求概述	(203)
9.5 几种 HMD 的光电组成原理	(206)
9.5.1 简易头盔瞄准器	(206)
9.5.2 综合头盔瞄准显示系统 (IHADDS)	(207)
9.5.3 双目 HMD	(208)
9.5.4 扫描激光 HMD	(210)
9.5.5 扁平窗	(211)
9.6 HMD 系统设计建议	(212)
参考文献	(216)
第 10 章 听觉显示	(218)
10.1 引言	(218)
10.2 语言可理解度	(218)
10.3 语音通信	(220)
10.4 语音告警	(221)
10.5 位置提示	(224)
参考文献	(226)
阅读材料	(227)
第 11 章 控制	(228)
11.1 引言	(228)
11.2 手动控制	(230)
11.2.1 油门、驾驶杆和脚蹬	(230)

11.2.2 其他手动控制设备	(233)
11.3 声音控制	(236)
11.3.1 语音识别技术	(238)
11.3.2 声控系统 with 飞机操作系统的整合	(240)
11.4 头指向和头盔追踪系统	(242)
11.4.1 机内头部动作的灵活性	(243)
11.4.2 机械头盔跟踪系统	(243)
11.4.3 惯性头盔跟踪系统	(244)
11.4.4 超声波头盔跟踪系统	(245)
11.4.5 光学头盔跟踪系统	(246)
11.4.6 磁场头盔追踪系统	(248)
11.5 新型控制方式	(250)
11.5.1 眼动系统	(251)
11.5.2 手势跟踪系统	(255)
11.5.3 生物电势传感系统	(257)
11.5.4 新型控制系统的集成	(260)
11.6 挑战	(261)
参考文献	(261)
第12章 紧急逃生	(263)
12.1 引言	(263)
12.2 物理和生理要求	(263)
12.3 弹射椅的发展概述	(265)
12.3.1 第一代弹射椅	(266)
12.3.2 弹射包线	(267)
12.3.3 进一步的发展	(267)
12.3.4 第二代弹射椅	(268)
12.3.5 第三代弹射椅	(271)
12.4 对飞机设计的影响	(275)
12.5 现代弹射椅	(276)
12.6 其他逃生技术	(278)
参考文献	(280)
第13章 飞行服和头盔	(281)
13.1 引言	(281)
13.2 尺码	(281)
13.3 基本服装	(282)
13.4 热防护	(283)

13.5 逃生后的保护	(285)
13.6 头部保护	(286)
13.6.1 冲击	(286)
13.6.2 头部负载质量	(288)
13.6.3 目前使用的头盔	(289)
13.7 噪声保护	(290)
13.7.1 被动降噪技术	(291)
13.7.2 主动降噪技术	(292)
13.8 护目镜与眼睛保护	(293)
13.9 呼吸系统	(295)
13.9.1 面罩	(295)
13.9.2 调节器	(297)
13.10 高空保护	(298)
13.11 高过载保护	(301)
13.12 核生化保护	(303)
13.13 航空电子头盔	(306)
13.13.1 图像组合	(306)
13.13.2 模块化结构	(307)
13.13.3 头盔座椅接口	(308)
13.14 未来的发展	(309)
13.14.1 综合服装	(309)
13.14.2 综合性头盔	(310)
参考文献	(312)

第14章 未来座舱

14.1 引言	(313)
14.2 物理重组	(313)
14.2.1 外视场	(313)
14.2.2 虚拟座舱	(315)
14.2.3 插入式座舱	(318)
14.3 重构职能	(319)
14.3.1 智能界面的结构耦合模式	(319)
14.3.2 综合自动化	(320)
14.3.3 飞行员状态监测	(323)
14.3.4 自适应自动化系统	(324)
14.4 无人驾驶飞行器	(327)
14.5 未来预测	(329)

参考文献	(329)
附录 A 光与偏振现象	(332)
A.1 电磁波	(332)
A.2 波谱	(332)
A.3 量子与热辐射	(333)
A.4 太阳和大气	(333)
A.5 偏振	(333)
A.6 各向异性物质和偏振光	(334)
A.7 反射与折射	(335)
附录 B 图像质量	(338)
B.1 光学分辨率	(338)
B.2 分辨率	(338)
B.3 图像对比度	(338)
B.4 调制传递函数	(339)
B.5 图像质量衡量指标	(340)
参考文献	(340)
附录 C 视频信号	(341)
C.1 画面信息	(341)
C.2 光栅扫描标准	(341)
C.3 动态范围和伽马	(342)
附录 D 人类行为递阶控制模型	(345)
D.1 背景	(345)
D.2 知觉的整体性和内部表征	(345)
D.3 递阶控制模型	(346)
D.4 情绪状态	(348)
D.5 行为控制	(348)
参考文献	(349)
缩略语	(350)