

中国仿真科学与技术书系

“十一五”国家重点图书出版规划



SIMULATION SCIENCE

航空人机工程计算机仿真

Computer Simulation for Aviation Man-machine Engineering

毕红哲 庄达民 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

“十一五”国家重点图书出版规划
中国仿真科学与技术书系

航空人机工程计算机仿真

Computer Simulation for Aviation Man-machine Engineering

毕红哲 庄达民 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书介绍和分析了航空人机工程中人、机、环境三大要素的特性和关系,介绍了飞机座舱设计的人机功能分配方法与原则,对飞行员空间定向障碍分析了其产生原因和预防措施。结合对航空人机工程的研究,介绍了采用计算机仿真和实验的方法对座舱布局、座舱人机显示界面进行综合设计和评价的方法。

本书共9章,即航空人机工程概述、人体特性与分析、认知特性与分析、大气环境与座舱环境、人机功能分配、战斗机座舱布局与评价、座舱人机显示界面的设计与评价、空间定向与空间定向障碍、大型客机座舱布局 and 评价。

本书对从事航空人机工程的科技人员及高等学校有关专业人员有应用或参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

INTRODUCTION

This book introduces and analyses the characteristics and relationship of human, machine and environment in aeronautical ergonomics, the principles and methods of cockpit functional allocation as well as the reasons and preventive measures of spatial disorientation in flight. Combined with the research of aeronautical ergonomics, this book also presents the comprehensive design and evaluation method of cockpit layout and human-machine display interface using computer simulation and experimental method.

This book includes nine chapters, introduction of aeronautical ergonomics, human characteristics and analysis, cognitive characteristics and analysis, atmospheric environment and cockpit environment, human-machine functional allocation, layout and evaluation of fighter aircraft cockpit, design and evaluation of cockpit human-machine display interface, spatial orientation and disorientation as well as cockpit layout and evaluation of air bus.

This book provides application and reference value for scientific and technical personnel in aeronautical ergonomics and the relative professionals in higher education institutions.

图书在版编目(CIP)数据

航空人机工程计算机仿真 / 毕红哲, 庄达民编著. —北京: 电子工业出版社, 2010.2

(中国仿真科学与技术书系)

ISBN 978-7-121-10313-1

I. 航… II. ①毕… ②庄… III. 航空工程—人一机系统—计算机仿真 IV. V2 TB18

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第018403号

策划编辑: 徐 静

责任编辑: 侯丽平

印 刷: 北京智力达印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 20.75 字数: 492千字

印 次: 2010年2月第1次印刷

印 数: 3000 定价: 45.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

“中国仿真科学与技术书系” 编委会

主 编：黄柯棣

副主编：庞国峰 李 革

编委会成员：（按拼音排序）

毕红哲	方胜良	郭齐胜	龚建华	胡晓峰
吕跃广	李 群	李世忠	王维平	王雪松
王中杰	卫军胡	肖田元	杨 峰	杨瑞平
杨西龙	朱一凡			

前 言

人机工程是一门运用系统科学理论和系统科学方法，正确处理人、机、环境三大要素间的关系，研究人一机—环境最优组合的工程技术科学。人机工程既是一种设计思想和理论，同时也是一种有效的系统综合设计和评价技术，其面向工程应用的研究已经成为产业界普遍关注的问题。

在第二次世界大战期间，人机工程的专家和学者为了提高飞机性能、减少飞行员操作失误等，开展了大量的人素学研究。这一里程碑式的研究方法和成果奠定了航空人机工程的研究基础。20 世纪 80 年代，随着计算机和电子技术在航空、航天和大型及复杂人机系统中的普及应用，对人的认知特性的研究再次引起国内外高度重视，而研究结果极大地提高了飞机等大型重要人机系统界面设计的科学性。

从人机工程研究方法和历史来看，都是从人的因素出发，强调以人为本，进行人一机—环境最优组合。为此，人机工程有关课题必须有心理学、生理学、医学工程和工程技术等多学科的专家协同研究。考虑到直接设计工作往往是由工程技术人员完成的，因此，发展具有一定通用性的计算机仿真技术是使该学科的研究发展走向工程应用的关键。航空人机工程计算机仿真试图将人一机—环境系统工程的思想、理论以及工程应用的研究成果，用现代计算机仿真技术综合集成起来，使其成为一种可用于工程问题定量分析、设计及评价的现代技术。

本书的结构及主要章节内容如下：

第 1 章是航空人机工程概述。论述了人机工程学科的形成和发展、航空人机工程研究的内容和方法等。

第 2 章是人体特性与分析。其内容主要包括人的物理特性、人的生理和心理特性、生理与负荷、反应时间及人体生理和心理测量等。

第 3 章是认知特性与分析。其内容主要包括理解和认识、人的知觉、学习和习惯、文字和标识符号的判别和认知、音声的知觉和传递、注意和注意力分配、决策、空间认知等。

第 4 章是大气环境与座舱环境。其内容主要包括大气环境，如大气层结构、大气成分和大气层压力分布；座舱环境主要介绍了座舱压力要求、舱内温热环境及要求、舱内通风换气条件及要求等；座舱照明与颜色；噪声；舱内舒适度评价等。

第 5 章是人机功能分配。其内容主要包括人机功能分配概述、人机特性分析、人机特性比较、人机功能分配的原则与方法、人机功能分配的发展趋势等。

第 6 章是战斗机座舱布局与评价。其内容主要包括座舱仪表/显示器布局的发展、操纵装置布局的发展、弹射座椅、座舱布局原则和评价方法、基于人体模型的座舱布局与评价、飞机座舱布局工效综合评价与评价方法。在该章中详细推导了人体建模的理论和方法。

第 7 章是座舱人机显示界面的设计与评价。其内容主要包括飞行员的信息需求及信息认知和处理特点、飞机 HUD 主要显示信息的设计考虑、飞机下显显示信息的设计考虑、影响信息显示辨识的环境因素、视觉编码设计的工效评价方法、界面设计颜色匹配性、界面作业模型与工效评价、平显界面仿真模型与信息显示工效评价等。

第 8 章是空间定向与空间定向障碍。其内容主要包括飞行中空间定向、空间定向障碍概述、常见的飞行错觉、显示装备带来的 SD 问题、空间定向障碍的预防与克服等。

第 9 章是大型客机座舱布局 and 评价。其内容主要包括大型客机座舱布局 and 工效评价流程、JACK 虚拟人体模型的构建、可达域和舒适域、视野、基于 CATIA 的座舱建模和布局、基于 JACK 的工效评价、工作姿态受力计算、飞机客舱座椅布局分析等。

本书由毕红哲和庄达民编著。空军航空医学研究所贾宏博、谢溯江、姚钦博士和北京航空航天大学的王睿、张磊、完颜笑如和白穆等博士和硕士生参与了编写和资料收集等工作。本书在编著过程中引用了大量国内外专家、学者的研究成果和出版著作与论文中的学术理论和方法，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免有遗漏和不当之处，恳请各位专家和广大读者批评指正。

2009 年 12 月

目 录

第 1 章 航空人机工程概述.....	1
1.1 人机工程学科的形成和发展.....	2
1.2 航空人机工程研究内容和方法.....	4
1.2.1 人机工程研究内容.....	5
1.2.2 人机工程的研究方法.....	6
1.2.3 航空人机工程的相关学科.....	11
参考文献.....	13
第 2 章 人体特性与分析.....	14
2.1 人的物理特性.....	15
2.1.1 人体尺寸.....	15
2.1.2 人体尺寸的统计特性.....	19
2.1.3 人体各部分尺寸与身高的相关计算.....	21
2.1.4 人体数据库管理系统设计.....	24
2.2 人的生理和心理特性.....	26
2.2.1 人的感觉特性.....	26
2.2.2 视觉特性.....	27
2.2.3 听觉特性.....	34
2.2.4 嗅觉和味觉.....	38
2.2.5 皮肤和身体感觉.....	40
2.3 生理与负荷.....	42
2.3.1 身体疲劳与影响因素.....	42
2.3.2 生理疲劳和心理疲劳.....	43
2.4 反应时间.....	45
2.5 人体生理和心理测量.....	47
参考文献.....	58
第 3 章 认知特性与分析.....	60
3.1 理解和认识.....	61
3.1.1 理解.....	61
3.1.2 认识.....	62
3.2 人的知觉.....	65

3.2.1	知觉特征	65
3.2.2	知觉的种类	66
3.3	学习和习惯	67
3.4	文字和标识符号的判别和认知	74
3.4.1	文字/数字的判别和认知	74
3.4.2	标识符号的认知与评价	75
3.4.3	色彩认知	79
3.5	音声的知觉和传递	82
3.6	注意和注意力分配	86
3.7	决策	87
3.7.1	决策的信息加工模型	87
3.7.2	人行为三层次控制模型	88
3.7.3	整合模型	90
3.8	空间认知	91
3.8.1	空间认知的形成机制	92
3.8.2	空间认知能力的影响因素	92
3.8.3	影响空间认知的生理因素	93
3.8.4	空间认知在航空航天领域的应用	94
	参考文献	95
第 4 章	大气环境与座舱环境	96
4.1	大气环境	97
4.1.1	大气层结构	97
4.1.2	大气成分	98
4.1.3	大气层压力分布	99
4.2	座舱环境	99
4.2.1	座舱压力要求	99
4.2.2	舱内温热环境及要求	101
4.2.3	舱内通风换气条件及要求	102
4.2.4	气流速度及分布	105
4.2.5	供气洁净度	106
4.2.6	座舱空气污染物与控制	106
4.3	座舱照明与颜色	108
4.4	噪声	111
4.5	舱内舒适度评价	112
4.6	航空心理卫生	115
	参考文献	115

第 5 章 人机功能分配	116
5.1 人机功能分配概述.....	117
5.2 人机特性分析.....	120
5.2.1 人的因素.....	120
5.2.2 飞机座舱设计的发展趋势.....	131
5.3 人机特性比较.....	133
5.3.1 常规意义下人机特性比较.....	133
5.3.2 航空作业环境下人机特性比较.....	134
5.4 人机功能分配的原则与方法.....	137
5.4.1 人机功能分配要求.....	137
5.4.2 人机功能分配原则.....	138
5.4.3 人机功能分配步骤.....	140
5.4.4 人机功能分配层次.....	142
5.5 人机功能分配的评价方法.....	143
5.6 人机功能分配的发展趋势.....	150
参考文献.....	152
第 6 章 战斗机座舱布局与评价	154
6.1 座舱仪表/显示器布局的发展.....	155
6.2 操纵装置布局的发展.....	160
6.3 弹射座椅.....	162
6.3.1 弹射座椅的发展历史.....	162
6.3.2 弹射座椅的结构组成.....	163
6.3.3 座椅设计的工效要求.....	165
6.4 座舱布局原则和评价方法.....	168
6.4.1 座舱布局原则.....	168
6.4.2 基于连接的仪表布局评价.....	172
6.4.3 基于简洁性法则的控制器布局评价.....	173
6.5 基于人体模型的座舱布局与评价.....	174
6.5.1 飞行员人体模型概述.....	175
6.5.2 人体几何模型.....	175
6.5.3 人体运动学模型.....	179
6.5.4 人体动力学模型.....	184
6.5.5 人体力量模型.....	191
6.5.6 操纵装置布局与评价.....	192
6.6 飞机座舱布局工效综合评价与评价方法.....	198

6.6.1	座舱工效综合评价指标体系的构建	198
6.6.2	飞机座舱人机工效综合评价方法	200
	参考文献	205
第 7 章	座舱人机显示界面的设计与评价	209
7.1	飞行员的信息需求及信息认知和处理特点	210
7.1.1	不同飞行任务和阶段对信息的需求	210
7.1.2	飞行员仪表扫视	211
7.2	飞机 HUD 主要显示信息的设计考虑	213
7.3	飞机下显显示信息的设计考虑	215
7.3.1	仪表信息显示设计的指导思想	215
7.3.2	主要信息显示的设计	215
7.4	影响信息显示辨识的环境因素	220
7.5	视觉编码设计的工效评价方法	221
7.5.1	调查研究法	221
7.5.2	实验研究法	222
7.5.3	生理与心理信息测量	223
7.6	界面设计颜色匹配性	224
7.6.1	基于反应时间的颜色匹配客观分析	224
7.6.2	基于模糊理论的颜色匹配主观分析	226
7.7	界面作业模型与工效评价	228
7.7.1	作业模型	228
7.7.2	实验方案与实验结果	230
7.7.3	实验结果分析	233
7.8	平显界面仿真模型与信息显示工效评价	235
7.8.1	工效评价系统	235
7.8.2	平显界面仿真模型	238
	参考文献	240
第 8 章	空间定向与空间定向障碍	243
8.1	飞行中空间定向	244
8.1.1	飞行中空间定向的概念及特点	244
8.1.2	飞行中空间定向生理心理学机制	245
8.2	空间定向障碍概述	251
8.2.1	空间定向障碍的概念与分类	251
8.2.2	空间定向障碍的特点	252
8.2.3	空间定向障碍的影响因素	253



8.3 常见的飞行错觉	254
8.3.1 按形态分类的错觉	254
8.3.2 按知觉分类的错觉	256
8.4 显示装备带来的 SD 问题	265
8.5 空间定向障碍的预防与克服	269
8.5.1 教育与训练	269
8.5.2 空间定向信息的显示	273
8.5.3 飞行人员如何预防和克服飞行错觉	278
参考文献	279
第 9 章 大型客机座舱布局 and 评价	285
9.1 大型客机座舱布局 and 工效评价流程	286
9.2 JACK 虚拟人体模型的构建	288
9.3 可达域 and 舒适域	291
9.4 视野	296
9.5 基于 CATIA 的座舱建模 and 布局	298
9.6 基于 JACK 的工效评价	301
9.7 工作姿态受力计算	304
9.8 飞机客舱座椅布局分析	310
参考文献	315
缩略语	318

第

1

章

航空人机工程概述



Aviation Man-machine Engineering

本章介绍了人机工程学科的形成和发展以及航空人机工程的研究内容和方法。航空人机工程的研究内容从本质上说就是人机工程的研究内容，但航空特色决定了飞行环境与座舱环境的特殊性，以及飞行状态的改变将导致人体生理和心理的变化等。航空人机工程将在传统的人机工程基础上考虑航空特色以及飞行员的安全防护措施和减少人为失误对策等。

1.1 人机工程学科的形成和发展

人机工程学科的形成可追溯到人类的早期活动，它的形成和发展经历了漫长的历史阶段。

人类在 5000 年前就开始制作简单劳动工具，为了提高工作效率，开始考虑按自己手的大小和形状制作斧柄等，这是人机工程的初步应用。在我国两千多年前的《冬官考工记》中，就有按人体尺寸设计工具和车辆的论述，这就是当今人机工程中工具、机器设计中的“机器适应人”的思想。

人机工程学的初步形成可追溯到第一次产业革命（1750—1890 年）和第二次产业革命（1870—1945 年）时期，人类的劳动进入了机器时代，人的劳动作业在复杂程度及负荷量上均有了很大变化，人、机、环境三者也相应形成了更复杂的关系。1880 年 F.W. Taylor 开始了产业中的时间和运动的研究。在这前后时期，与人的特性的相关研究也取得了相当进展，如 Weber 法则（1834 年）论述了人的感觉量和刺激强度的对数值成比例关系，Bloch 法则（1885 年）论述了明度感觉与刺激强度和刺激时间的关系，而 Pavlov（1900 年）则开展了条件反射的实验。

第一次世界大战客观上促进了人机工程学的发展。在欧洲，一方面工厂必须开足马力生产战争及民需物品，另一方面由于男性到前线参战，生产第一线大都依靠没有工作经验的女性。由于欧洲是在这种特定环境下开展的人机工程研究，因此将其称为工效学（Ergonomics）。Ergonomics 一词是由希腊词根 ergo（工作，劳动）和 nomos（管理，规则）复合而成的，其本义为人的劳动规律。以劳动中疲劳、劳动时间和休息等为着眼点，开展人的能力和极限以及对作业工具、作业环境和作业顺序的设计等的研究。另外，各参战国几乎都有心理学家去解决战时兵种分工、特种人员的选拔训练及军工生产中的疲劳等问题。其研究特点是选拔和训练人，是“人适应机器”的设计思想。英国早在 19 世纪末就创立了心理研究所，在第一次世界大战中得到进一步发展，在 1921 年创立了国立产业心理学研究所。

在美国是以人素学（Human Factors）来表示人机工程的。20 世纪初，美国学者 F.W. Taylor 开展了劳动中的动作分析、职务分析和评价等，用近代科学技术方法，对生产领域中工作能力和效率进行了研究。他的研究范围从具体的工具改善如铲子的形状和重量对工效的影响，到动作合理性对疲劳的影响，进一步发展到工作流程、工作方法分析、工具设计等，成为可提高劳动生产率的“泰勒制”。F.W. Taylor 为使用科学方法研究人机工程做出了开拓性贡献，被公认为早期的人机工程专家。应指出的是美国早期的人机工程的研究叫 Human Engineering，后来又叫 Human Factors Engineering，在 20 世纪 60 年代改叫 Human Factors。而对于 Human Factors 这一流行术语也有很多指责，如认为该术语从日常用语的角度去考量应包括与人有关的所有因素等，以及对该术语的解释和理解也存在差异。为此，美国 NASA 的人素学研究部门的各种活动以及人素学学会会员资格都明确规范了人素学的研究内容和活动。

日本东京大学的松本教授在第一次世界大战期间到美国访问留学，归国后在 1920 年至 1921 年期间先后发表和出版“人间工学”论文与专著，正式将人机工程引入日本。日本在 1921 年由大原创设了仓敷劳动科学研究所，开始了作业效率与身体负担方面的工效研究。其后，在产业心理学领域也开展了人机工程方面的研究。更进一步，在人类学领域，包括对人的生物学特性的解明、身体负担和疲劳、环境适应能力等方面开展了生理人类学研究。日本“人间工学”是按照美国的 Human Engineering 直译过来的，但内容是以练习效果或疲劳为中心，阐述如何提高作业效率，即以提高工效为研究对象。松本的研究在日本影响甚微，但“人间工学”名称被沿袭至今。1963 年日本正式成立人间工学学会，但人间工学的英文翻译使用的是 Ergonomics，这在很大程度上考虑的是国际接轨，因为 1959 年成立的国际工效学会（International Ergonomics Association, IEA）使用的就是 Ergonomics。德国和法国这些欧洲工业强国也先后开展了人机工程方面的研究，他们都统一使用了 Ergonomie 这一术语来表示人机工程。

人素学早期的研究如 F.W.Taylor 的研究具有很强的管理科学和劳动科学的内涵，从事这一领域的研究学者大都是心理学家，这一影响一直沿袭至今。在对美国 Human Factors 学会（成立于 1957 年）会员的专业领域调查表明，有心理学知识背景的会员人数远多于有工学知识背景的会员人数。在第二次世界大战期间，为防止飞机事故为目的的对仪表显示方式和对人的操作控制装置的研究则注重于对人的认知特性开展研究，这一研究在很大程度上影响了人机工程今后的发展。第二次世界大战结束后，从事人机工程的专家分散到企业和学校后进一步扩大了人机工程的应用范围。但从研究内容来说，由于科技的日新月异，计算机在各个领域的普及应用，对人的特性的研究日益引起重视。

20 世纪 80 年代开始的对人机界面（Human-Machine Interface）的研究其核心就是对人的认知科学的研究。人机界面是指人与机（装备、设备、系统）间信息交互、作业交互的连接部。界面形式有硬件和软件两种。如作业域的开关、按钮、驾驶操纵杆、脚踏等为硬件人机界面；通过计算机软件和显示器实现的视觉信息交互为软件人机界面。信息交互界面包括视觉、听觉、语音等人机交互接合部。作业交互界面包括手脚体能作业的操纵器和控制器等人机交互接合部。

认知科学研究信息科学如何与人的特性和行为相结合，人如何感知数据，如何将其转化成综合信息，如何将综合信息作为决策依据。研究目的旨在提高人机工效，揭示人为失误的原因、失误本质以及减少失误的措施。可见，人机界面的研究已经从传统的人机关系研究深入到对人机交互的研究；从传统的人适应机器到机器的设计和使用要符合人的特性；从传统的采用劳动和安全科学对人体的研究到采用心理学、生理学和精神物理学来对人的认知特性开展研究。即人机界面的研究又为人机工程的研究注入了新的内容。

我国的人机工程研究始于 20 世纪 50 年代。如在中苏友好时期我国消化吸收苏式飞机和坦克的设计技术过程中遇到了大量的人机工程问题。以苏式飞机和坦克的座椅设计为例，设计规范确定了适用该座椅的驾驶员身高范围，但按照设计图纸生产出来的飞机和坦克在使用过程中都发现了问题，如弹射座椅在弹射过程中座舱舱盖与座椅扣合时有与人头发生碰撞的事故；坦克驾驶员踩刹车时有踩不到底的案例。仔细分析后才了解到欧洲型身体与亚洲型身体相比是上身短和下身长。故在采用苏联标准设计弹射座椅的情况下，因中

国人上身高，座舱舱盖与座椅扣合时容易发生与人头碰撞的事故。同样，因中国人下身短，采用苏联标准设计坦克座椅的情况下有踩刹车时踩不到底的情况。为了解决这类问题，我国在航空生理与心理学、飞行器驾驶舱人机工效设计、飞行器作业环境对人体影响及防护等方面做了大量的研究工作。20世纪50~80年代中，当时的人机工程研究框架仍是由“人适应机器”、“机器适应人”以及“环境适应人”三个领域构成的。1981年在著名科学家钱学森的指导下，陈信、龙升照等发表了“人一机—环境系统工程概论”一文，概括性地提出了“人一机—环境系统工程”的科学概念。人一机—环境系统工程采用人体科学和现代科学的理论和方法，正确处理人、机、环境三大要素的关系，是研究人一机—环境最优组合的一门科学。“人”是指作为工作主体的人，指参与系统工程的作业者（如操作人员、决策人员、维护人员等）；“机”是指人所控制的一切对象，是指与人处于同一系统中与人交换信息、能量和物质，并为人借以实现系统目标的物（如汽车、飞机、轮船、生产过程、具体系统，计算机……）的总称；“环境”是指人、机共处的外部条件（如外部作业空间、物理环境、生化环境、社会环境）或特定工作条件（如温度、噪声、振动、有害气体、缺氧、低气压、超重及失重……）。研究中，把人、机、环境三者视为相互关联的复杂巨系统，运用现代科学技术的理论和方法进行研究，使系统具有“安全、高效、经济”等综合效能。

作为对人机与环境工程学科的认可，1990年，国务院学位委员会批准了我国第一个北京航空航天大学人机与环境工程博士学位授权点。目前，有三所与航空航天相关的大学具有人机与环境工程博士学位授予权；有多所大学和航空航天医学研究所及航空院所研究院具有人机与环境工程硕士学位授予权。研究内容根据国家需要有着重于人的因素的，也有着重于人机工效的。我国载人航天的辉煌成就就包括了对人的因素和人机工效的综合研究成果，其既体现在对航天员的培训，也包括飞船人机系统设计的工效和适人性研究等。在人机工程的学术用语上大致有人机与环境工程、人机工程、人因工程等。其既反映了不同的研究重点，也反映了对人机工程新的理解和认识。如果要总结人机工程的研究内容和含义，按照IEA的定义可表达为人机工程是研究人在某种工作环境中的解剖学、生理学和心理学等各方面的各种因素；研究人和机器及环境的相互作用；研究在工作中、家庭生活中和休假时如何统一考虑工作效率、人的健康、安全和舒适等问题的学科。IEA的定义实质上是综合考虑了人一机—环境三大要素，其核心是以人为本和人机工效。

1.2 航空人机工程研究内容和方法

航空人机工程主要是研究飞行环境下，飞行员或乘员与飞机（包括机载装备）之间的相互关系。飞行环境主要指低气压环境及重力环境，该环境对人的身心健康影响甚大，且直接或间接地影响人机工效。

根据陈信和龙升照提出的人机与环境工程的概念，飞行环境可看成诸多环境因素中的一种特殊环境。因此，航空人机工程的研究内容从本质上说就是人机工程的研究内容。结

合欧美及国家军用标准 GJB—90 “人—机—环境系统工程术语”，人机工程研究内容可表述如下。

1.2.1 人机工程研究内容

航空人机工程研究内容示意图如图 1.1 所示，包括七个方面：人的因素与人的特性研究、机器的特性研究、环境的特性研究、人—机关系的研究、人—环境关系的研究、机—环境关系的研究、人—机—环境系统总体性能的研究。

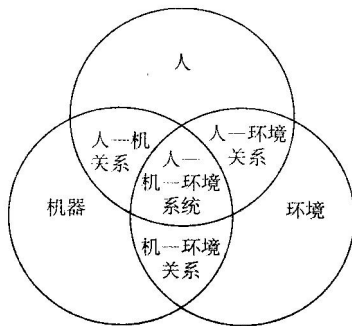


图 1.1 航空人机工程研究内容示意图

1. 人的因素与人的特性研究

人的因素的分析和研究是使人机系统的工效、安全性、经济性及舒适性达到最佳效果。主要研究内容包括：①机器适应人的硬件工效问题，研究人体测量学、工作域（人的工作姿态、座椅、显示/控制器、环境）工效设计等；②机器适应人的软件工效问题，研究人—计算机—显示系统最佳匹配的工效规律及设计方法；③机器适应人的认知工效问题，研究人与信息系统之间信息交互、决断的工效规律及系统设计，使信息系统与人的认知过程相适应。

上述研究特点是对人的基本特性进行研究。包括人员选拔与训练，使其生理与心理上与职业工作和机器相适应；人的基本素质的测试、评价和工作能力的研究；人的体力负荷、智力负荷和心理负荷研究；人的可靠性研究；人的数学模型（人的模型、信息接收模型、决策模型、控制模型等）研究等。

2. 机器的特性研究

机器的特性研究主要研究人机工程相关的机器特性及其建模技术。

3. 环境的特性研究

环境的特性研究主要研究人机工程相关的环境特性及其建模技术。

4. 人—机关系的研究

人—机关系的研究主要包括静态人—机关系研究、动态人—机关系研究和多媒体技术在人—机关系中的应用三个方面。静态人—机关系研究主要有作业域的布局与设计；动态人—机关系研究主要有、机功能分配研究（人机功能比较研究，人机功能分配方法研究，人工

智能研究)和人—机界面研究(显示和控制的人—机界面设计及评价技术研究)。

5. 人—环境关系的研究

人—环境关系的研究主要研究环境因素(低气压、重力、温湿度、照明、噪声等)对人的影响,环境适应人的生活和工作的防护及控制方法等。图 1.2 反映了战斗机座舱中人与环境的关系。

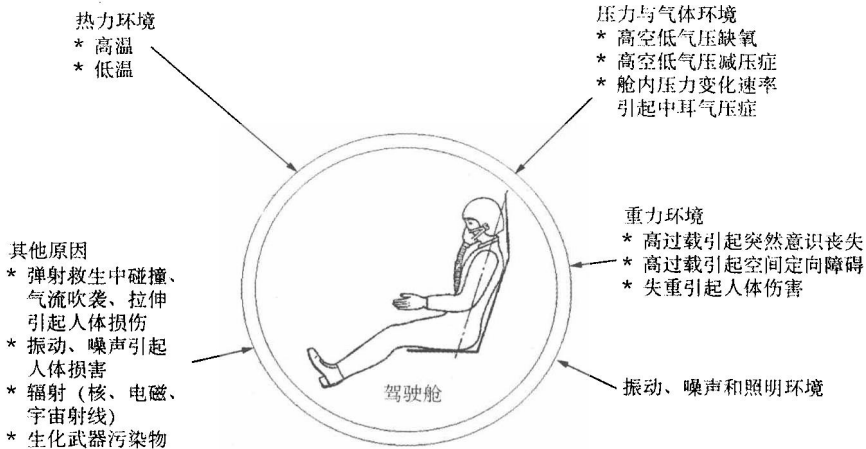


图 1.2 战斗机座舱中人与环境的关系

6. 机—环境关系的研究

机—环境关系的研究主要研究人机工程相关的机—环境关系及特性。

7. 人—机—环境系统总体性能的研究

人—机—环境系统总体性能的研究主要包括人—机—环境系统总体数学模型的研究,人—机—环境系统全数学模拟、半物理模拟和全物理模拟技术的研究,人—机—环境系统总体性能(安全、高效、经济)的分析、设计和评价,虚拟现实技术在人—机—环境系统总体性能研究中的作用等。

对航空人机系统,人对飞行器的驾驶和操纵是通过人与多种技术系统的界面(或称接口)来实现的。所以,航空人机工程中的机器适应人,主要是作业技术系统的人机界面(接口)适应人的问题。正常情况下飞行员和乘员的生活、工作都在气密座舱微环境中,环境因素主要有低气压、重力、温湿度、照明、噪声、振动等;环境防护主要是针对低气压与重力对人体身心健康及身体损伤带来的危害。

1.2.2 人机工程的研究方法

人机工程的研究根据研究内容和目的交叉融合了人体科学、生物医学、安全科学、系统工程、控制理论、计算机科学等多种学科的研究方法,以探讨和解决人、机与环境三要素之间的复杂关系,以充分发挥人机与环境系统的综合效能。目前常用的研究方法有以下几种。

1. 观察记录法

为了研究人机系统中人和机的工作状态,常采用各种各样的观察记录方法,如工人在