



装备科技译著出版基金



高新科技译丛

Human Performance Modeling in Aviation

航空人体行为建模

[美] David C.Foyle [加] Becky L.Hooey 编著

陈冰 于薇薇 王靖宇 译



CRC Press
Taylor & Francis Group



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

航空人体行为建模

Human Performance Modeling in Aviation

【美】David C. Foyle 【加】Becky L. Hoey 编著

陈冰 于薇薇 王靖宇 译



国防工业出版社

· 北京 ·



CRC Press
Taylor & Francis Group

著作权合同登记 图字:军-2012-024号

图书在版编目(CIP)数据

航空人体行为建模 / (美)福伊尔(Foyle, D. C.),
(加)霍伊(Hooy, B. L.) 编著;陈冰,于薇薇,王靖宇
译. —北京:国防工业出版社,2015. 12

(高新科技译丛)

书名原文:Human Performance Modeling in Aviation

ISBN 978-7-118-09800-6

I. ①航... II. ①福... ②霍... ③陈... ④于... ⑤王
... III. ①航空航天医学-人体生理学-模型-研究 IV.
①R857.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 299103 号

Translation from the English language edition:

Human Performance Modeling in Aviation by David C. Foyle and Becky L. Hooy.

ISBN:978-0-8058-5964-5

©2008 by Taylor & Francis Group, LLC.

All rights reserved.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group, LLC.

National Defense Industry Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版经授权由国防工业出版社独家出版,并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签,无标签者不得销售。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 365 千字

2015年12月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 88.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

序 言

将人体行为模型应用于航空领域中已经取得很多惊人的成就。正如本书所描述的,建模已经发展到能够模拟相对复杂的飞行器与空中交通管制的交互行为,其模型的真实性和可信性已经能够对替代系统和程序设计进行评估。

在航空领域使用人体行为建模始于1950年,但并不是由在当时数量很少的人因工程专家或心理学家们提出的,而是由空气动力学专家和控制系统工程师们提出。著名航空动力和自动控制专家 Duane McRuer 对飞机的操纵品质发生了浓厚的兴趣。他对传统上由偏微分方程描述的飞行动力学模型进行了改进,将其描述为控制工程中的传递函数。但存在一个问题,如果没有用于描述飞行员动作的传递函数,就不可能对整个飞行器控制进行闭环分析。因此,他开始着手研究后来被称为“手动控制”模型(一种人工控制的动态响应模型)的控制工程表示方法。尽管当时有很多关于航空中的人因工程研究,但手动控制模型在航空中的人体行为建模研究中占有重要的地位。从20世纪80年代后期开始,离散事件仿真,基于计算机的信息处理模型,如 la Newell 和 Simon 模型以及认知结构模型都相继出现。

目前有很多关于航空领域人体行为的出版物,例如国际期刊《航空心理学》,Wiener 和 Nagel (1988),Billings (1997),美国国家研究委员会出版的两卷本《空中交通管制中的人为因素研究》(Wickens、Mavor 和 McGee, 1997; Wickens、Mavor、Parasuraman 和 McGee, 1998)等。本书是第一本完全以航空学中的人体行为建模为主题的著作。在强调建模重要性的同时,正如 Gluck 和 Pew 在2005年所做的一样,基于处理相同任务和上下文场景,对五种人体行为模型从性能和实用性上进行了对比分析,这也体现了本书的重要价值。另一个优点是编著者没有在阐述模型对比之后止步,而是继续寻找和记录模型开发者在建模过程中的回顾反思以及模型的最新进展,最终,总结说明了在航空领域内五种模型的整体性能以及人体行为建模的最新进展。

我非常认同本书编著者的观点,即模型的开发专家们有能力进一步完善建模方法。在人体行为建模方法成为系统构建过程中的常规过程前,必须对模型的开发进行简化,更形象、更直观地描述模型是如何工作的,同时说明为什么模型是值得相信的(即有效性问题)。这也是本书受到读者们热情欢迎的三个主要因素。

美国雷声 BBN 技术公司
首席科学家 Richard W. Pew

前 言

本书主要论述了美国国家航空航天局(NASA)一项为期6年的人体行为建模(HPM)项目的研究活动,这个项目是NASA航空安全保障(AvSSP)计划的一个组成部分。HPM项目的主要目的是:①发展并提升操作者认知建模水平,以便用于解决航空领域问题;②在研究的过程中,研究并提出为解决实际航空安全问题的特定解决方法;③提出并探索一些方法,将人体行为模型运用到航空器的设计中。来自于学术界和工业界的五个团队分别使用了不同的认识模型来解决两个航空领域问题,主要通过HPM计划揭示每一种建模工具解决两种截然不同性质的航空领域问题中使用的独特方法和相关成果。

NASA的HPM项目着重解决两种不同的航空飞行与安全问题:①飞机处于机场滑行阶段时的飞行员导航错误;②合成视景系统的进近和着陆性能。

第一个问题要解决飞机处于机场滑行阶段时,飞行员的导航错误,主要涉及现有的技术,以及产生的导航误差;第二个问题主要针对应用于合成视景系统的未来技术,着眼于使用合成视景系统的相关概念设计和程序的问题。对于这两个问题,NASA向建模团队提供问题描述、任务、信息需求以及人机闭环模拟数据,建模团队利用这些构建了两个问题的工作认知模型。本书的前3章叙述了人体行为建模的历史以及NASA HPM项目的概况。

本书的第二篇叙述了五个建模团队如何使用它们各自的模型来解决上面的两个航空飞行与安全问题。每个团队都详细地说明了所使用的方法,建模时面临的问题,以及如何使用模型来解决复杂而现实的航空飞行与安全问题。一共使用了四种成熟的模型(ACT-R、IMPRINT/ACT-R、Air MIDAS和D-OMAR),和一种新的态势感知组件模型(A-SA)。使用这些模型,团队能够开发相应的机制对观察到的行为进行解释,提出针对操作或过程的更改建议,并且模拟如果进行这些设计更改会发生什么状况,对建模系统提出新的实现和度量方法。此外,每个团队都专注于模型验证和实现这一目标的方法。

本书的第三篇是问题的核心部分,本部分将对建模团队之间形成的虚拟圆桌会议进行探索,在这种环境中每一个建模团队专注于解决一系列具有挑战性的建模问题,人体行为模型在例如航空这样的复杂领域中的应用,以及他们在项目整个过程中所面临的问题和解决方案。接下来,从结构、方法和输出上详细比较了上述五种建模工具。最后,试图从两个方面进行讨论,即从航空和人体行为建模两个角

度学到了什么,得到了什么研究结果。

NASA HPM 项目的重点在于构建计算架构,这种计算架构能够很方便对实际航空环境下的飞行员行为预测进行建模和仿真。为了达到上述目的,项目开发并验证了一种人体行为认知模型,该模型能够帮助航空系统设计人员进一步了解飞行员在复杂航空环境中的行为。同时也可以帮助飞行员更好地完成任务,减少失误。此外,HPM 项目还证明了将有人参与的仿真(HITL)与人体行为建模进行集成研究的重要价值:第一,能够对上述航空飞行与安全问题提供更深的理解;第二,能够评估过程和操作的有效性;第三,能够确定潜在发生错误情况的可能性;第四,能够以有效的方式进行假设系统的重新设计。

这种协同的 HITL 和 HPM 研究方法被证明比其中任何一种方法单独使用更为有效。希望 NASA HPM 项目以及 HPM 所开发模型的先进技术和成果能够取得更好的应用,并且能够帮助设计出更好的航空系统和促进航空安全。

David C. Foyle
Becky L. Hooley

致 谢

NASA 的人体行为建模(HPM)项目是一个大型的、持续多年的计划,经过各种不同组织的很多人的努力,才获得了最后的成功。编者对于这些直接或间接参与到该项目的人表示感谢。正如在本书接下来的章节中所看到的那样,该计划由 NASA 艾姆斯(Ames)研究中心负责日常和预算管理,进行技术上的指导,提供基于航空技术的信息和人类参与的闭环数据,以供研究人员用于实际的建模工作。

NASA HPM 项目是 NASA 航空安全保障计划(AvSSP)的一个子组成部分,由 Mike Lewis 和 George Finelli 负责领导。Herb Schlickemaier 目前是航空安全保障计划的负责人,对本书的完成提供了支持。与导航失误和虚拟视觉系统模型不直接相关其他的 NASA AvSSP 计划 HPM 项目内容,并没有包含在本书中。编者在此感谢 Tina Beard、Sandy Hart、Jim Johnston,他们在 NASA 艾姆斯研究中心工作,感谢他们提供的帮助和支持;感谢 NASA 艾姆斯研究中心人体系统集成部门的 Terry Allard、Patty Jones、Rose Ashford;感谢圣何塞大学的 Kevin Jordan;感谢 QSS 集团公司的 Marlene Hernan 等,他们对 HPM 项目和本书的编写给予了支持和鼓励。

编者由衷地感谢圣何塞大学的 Lynne Martin、Allen Goodman,在研究着陆导航失误模型的过程中,他们负责对相关的材料 and 数据进行分析、准备和整理。对于本书中的另一个主题:虚拟视觉系统在着陆中的应用,要感谢 John Kelloer、Ken Leiden、Jon French、Ron Small,他们工作在微分析和设计部门,负责认知任务的分析;还要感谢圣何塞大学的 Lynne Martin、Allen Goodman,他们负责开发情景环境和 SVS HITL 实验。他们的工作对于合成视景系统模型的成功非常重要,再次感谢他们的贡献。编者还要感谢 QSS 集团的 Lissa Webbon,她对本书的最终出版提供了帮助。

作为管理中心,NASA 艾姆斯研究中心负责通过合同和拨款向现场人员和外部机构提供资金支持。拨款和合同包括莱斯大学(NCC2 - 1219, NCC2 - 1321),圣荷西州立大学(NCC2 - 1155, NCC2 - 1378, NAG2 - 1563)以及伊利诺伊大学(NAG2 - 1535, NAG2 - 1609)。雷神 BBN 技术公司和微观分析与设计公司通过巴特尔纪念研究所签订的分包合同得到资助(NASA2 - 99091、NNA05AC07C, Irv Statler, COTR)。模拟器是根据合同由蒙特雷技术公司完成(NAS2 - 02081),分析工作和出版由 QSS 集团负责(NNA04AA18B)。由 NASA 艾姆斯研究中心所负责的工作只是整个 HPM 项目的一部分。编者要感谢五个建模团队,他们在这 6

年的工作中做出了科学和技术上的贡献。参与团队的成员做出了高水平的工作,我相信他们的工作能够推进研究的进一步深入。特别要感谢,他们在解决 HPM 计划中技术问题时所表现出的很强的主动性和积极性,忍受了平淡而繁杂的工作任务。他们所做的工作,如何评价都不为过。感谢五个建模团队所有的研究人员,包括:莱斯大学和伊利诺伊大学的 Mike Ryrne、Alex Kirlik、Michael Fleetwood(负责 ACT-R 模型);微分析与设计部门的 Christian Lebiere、Rick Archer、Brad Best、Dan Schunk(负责 IMPRINT/ACT-R 模型);圣何塞大学负责 Air MIDAS 模型的 Kevin Korker、Koji Maraoka、Savvy Verma、Amit Jadhav、Brian Gore;雷声 BBN 技术公司负责 D-OMAR 模型的 Steve Deutsch、Dick Pew;伊利诺伊大学负责 A-SA 模型的 Chris Wickens、Jason McCarley、Amy Alexander、Lisa Thomas、Michael Ambinder、Sam Zheng。以上人员的工作构成了整个 HPM 项目研究的基础。

还要特别感谢 Alion 科学技术公司微分析与设计部门的 Ken Leiden。他的工作是整个人体行为建模项目的重要基础。在本项目实施的早期阶段,他领导了对于航空学中人的失误行为和目前的人体行为建模的研究。在本计划的合成视景系统(SVS)项目阶段,他的团队完成了对飞机降落的认知性任务分析,提出的解决方法在建模的过程中起到了重要的作用。此外,Ken 还对本书的写作做出了直接的贡献:在第 4 章中,他代表各团队,对五种建模工具进行了总结;在第 10 章,他介绍了各种建模工具,并对结果从多个角度进行了说明。Ken 以及他团队的成员,工作在 Alion 科学技术公司微分析与设计部门的研究人员,为人体行为建模项目 HPM 的关键部分做出了贡献,在此表示深深的感谢。

最后,要感谢所有的研究者、管理者和相关的工作人员,因为他们使得人体行为建模项目能够按照正确的方向进行下去,感谢他们在承担卓越高技术工作中展现的专业和协作工作风范,共同促进科学研究的精神,并且感谢他们将人体行为建模项目研究内容作为书籍进行出版所做的贡献。

David C. Foyle

Becky L. Hooey

关于作者

自从 1988 年以来, David C. Foyle 作为高级心理学研究专家, 一直工作在 NASA 艾姆斯研究中心人体系统集成部门, 负责人体系统实验室的相关研究工作。1981 年, 他在印第安纳大学获得了认知/数学心理学博士学位。在平面显示器 (HUD) 叠加信息, 机场飞机起降过程的飞机场地技术等领域, 他以人的注意力和判断力问题为主题, 发表了 80 多篇论文。他领导团队对飞机降落导航和态势感知系统 (T-NASA) 进行研究, 并开发出了一种机场跑道的显示方法, 运用了 HUD “视景连接信息” 技术, 可以将正投影和透视投影的视觉信息展示出来, 并通过动态的投影地图显示道路及交通信息。近年来, 他一直在从事先进的显示技术研究, 解决民用航空运输中基于时间的飞机起降跑道清理问题。近来, 他又领导了 NASA 的人体行为建模项目, 在 6 年的工作中, 致力于解决人体行为模型和人在航空操作中的失误问题, 期望能得到减少失误的方法。本书详细介绍了他的工作。

Becky L. Hooley 是 NASA 艾姆斯研究中心圣何塞大学研究基金的高级研究员。自 1997 年以来, 她一直是 NASA 艾姆斯人体系统实验室的主管研究员。12 年来, 她主要从事复杂系统设计和评估中的人因工程理论和方法应用, 如先进运输系统和飞机驾驶舱显示系统等。1995 年, Hooley 女士在 Calgary 大学获取心理学 (人类行为学) 理学硕士学位, 而后又在多伦多大学机械工业工程系攻读博士学位。她在航空安全、先进显示方法以及人机设计和评估方法等方面共发表了 50 多篇论文。她在人机设计和评估领域的工作为其赢得了国内外的广泛赞誉和很多奖项, 包括美国汽车工程师协会怀特兄弟纪念奖。

目 录

第一篇 目标、航空飞行与安全问题、建模

第 1 章 NASA 人体行为建模项目	1
1.1 NASA 人体行为建模计划	1
1.2 NASA HPM 计划的目标	1
1.3 NASA HPM 计划的方法	2
1.4 NASA HPM 计划中的问题和所处领域	3
1.5 航空人体行为建模:成果及发现	4
致谢	9
参考文献	9
第 2 章 人体行为建模在航空中的应用	11
2.1 引言	11
2.2 人体行为建模:从实验室走向现实世界	11
2.3 人体行为建模:高层次回归和挑战	13
2.4 航空安全:人为操作的作用	14
2.4.1 航空系统中人的失误和事故	15
2.4.2 潜在的失误	15
2.4.3 以一种新的视角看待失误	16
2.5 人类参与的闭环测试和人体行为建模	16
致谢	19
参考文献	19
第 3 章 飞机降落导航错误和合成视景系统	22
3.1 引言	22
3.2 机场场面(滑行)操作	22
3.2.1 概述	22

3.2.2	机场场面(滑行)操作描述	23
3.2.3	机场场面(滑行)操作 HITL 模拟	25
3.3	将合成视景系统应用于飞机降落过程	29
3.3.1	概述	29
3.3.2	对于飞机进近和着陆的理解	31
3.3.3	合成视景系统 HITL 模拟	32
	致谢	45
	参考文献	45

第二篇 单个建模工具在航空飞行与安全问题中的应用

第4章	人体行为建模工具概述	48
4.1	引言	48
4.2	HPM 工具的概述	48
4.2.1	ACT - R	48
4.2.2	IMPRINT/ACT - R	50
4.2.3	Air MIDAS	51
4.2.4	D - OMAR	52
4.2.5	A - SA	54
	参考文献	55
第5章	关于闭环计算认知建模(描述交互式决策和注意力分配的动态过程)的 ACT - R 方法	57
5.1	引言	57
5.2	模型与应用程序	58
5.3	ACT - R 建模:概述	60
5.4	滑行导航计算认知模型	61
5.4.1	模型环境	61
5.4.2	任务分析与知识工程	63
5.4.3	识别滑行的启发式决策	64
5.4.4	动态决策建模的详细说明	65
5.4.5	经验适当性	67
5.4.6	启发式决策依赖的全局证据	67
5.4.7	启发式决策依赖的局部证据	67
5.4.8	小结	67

5.5	合成视景系统对计算认知模型的影响	68
5.5.1	建模与任务分析	69
5.5.2	主要的试验结果	70
5.5.3	评估和验证 ACT-R 模型	71
5.5.4	模型结果的讨论	75
5.6	总结	75
	致谢	76
	参考文献	76
第 6 章	应用集成任务网络和认知结构方法建立飞行员行为模型	79
6.1	引言	79
6.2	IMPRINT	79
6.3	ACT-R	80
6.4	IMPRINT 和 ACT-R 的集成	82
6.5	滑行时飞行导航的人体行为模型	84
6.5.1	IMPRINT 模型	84
6.5.2	ACT-R 模型	85
6.5.3	结论	86
6.6	进近和着陆中的人体行为模型	87
6.6.1	IMPRINT 模型	88
6.6.2	ACT-R 模型	89
6.6.3	通信协议	90
6.6.4	调查结果及启示	91
6.7	拓展进近和着陆模型	93
6.7.1	通过学习实用的信息源来拓展 ACT-R 进近模型	94
6.7.2	学习多个层次分解的任务	94
6.7.3	通过学习信息的实用性进一步调查	96
6.8	模型验证	98
6.8.1	验证级别 1:成功地完成任务	98
6.8.2	验证级别 2:评估子任务通信	99
6.8.3	验证级别 3:模型性能中行为数据的定量对应	107
6.9	结论	110
	参考文献	112
第 7 章	Air MIDAS 闭环模型结构建模方法	114
7.1	引言	114

7.2	Air MIDAS 人体行为模型	116
7.2.1	人体行为建模:通用结构	116
7.2.2	Air MIDAS 模型概述	116
7.2.3	模型中的函数	117
7.2.4	仿真运行原理	117
7.3	仿真 1:机场场面(滑行)操作	119
7.3.1	仿真模型函数	119
7.3.2	机场场面(滑行)操作场景	120
7.3.3	人体行为	120
7.3.4	仿真设计与程序	121
7.3.5	仿真独立变量	121
7.3.6	仿真结果	121
7.3.7	小结	122
7.4	仿真 2:使用合成视景系统的进近与着陆	122
7.4.1	程序开发	122
7.4.2	感知系统开发	122
7.4.3	场景开发	123
7.4.4	模型开发	123
7.4.5	仿真结果	124
7.4.6	小结	126
7.5	仿真 3:集成飞行器动力学模型的详细合成视景系统操作	126
7.5.1	仿真模型函数	126
7.5.2	仿真系统架构	128
7.5.3	仿真设备模型	128
7.5.4	Air MIDAS 符号操作者模型	130
7.5.5	扫描模式模型	131
7.5.6	仿真方法	134
7.5.7	仿真场景	135
7.5.8	仿真案例	136
7.5.9	结果与分析	137
7.5.10	小结	141
	结论	142
	致谢	143
	参考文献	144

第 8 章 D-OMAR 多任务行为建模结构	146
8.1 引言	146
8.2 D-OMAR 中的人体行为建模	147
8.2.1 D-OMAR 模型的认知结构	148
8.2.2 多任务行为的类人建模	148
8.2.3 关于表述性记忆的分布式模型	150
8.2.4 多任务行为中的视觉组件	151
8.3 人为错误建模概念	152
8.3.1 错误的机制	153
8.3.2 人为错误和成功表现之间的关系	156
8.4 机场场面(滑行)操作的人为错误建模	157
8.4.1 进近、着陆和滑行的整体过程建模	158
8.4.2 滑行操作过程中的局部和全局态势感知	159
8.4.3 意图行动	159
8.5 对两种滑行道导航错误等级的建模和理解	161
8.5.1 基于部分知识的期望所导致的错误	162
8.5.2 习惯导致的错误	162
8.6 NASA 合成视景系统建模测试	163
8.6.1 合成视景系统场景建模	163
8.6.2 评估行为模型的验证	165
8.6.3 SVS 对飞行员扫描模式的影响	165
8.6.4 SVS 作为第二姿态显示对工作负荷的影响	166
8.7 使用增强型 SVS 作为单一的主飞行显示器	166
8.7.1 增强型 SVS 场景测试	167
8.7.2 SVS 不匹配的交替反应	168
8.8 结论	169
参考文献	170
第 9 章 针对飞行员失误的注意力—态势感知模型	172
9.1 引言	172
9.1.1 模型构建	173
9.2 应用 1:飞机滑行错误	175
9.2.1 注意力模块	175
9.2.2 信念模块	176
9.2.3 测试应用	177
9.3 应用 2:综合视觉系统(NASA 模拟)支持的态势感知	179

9.4	应用3:综合视觉系统建模回顾	179
9.4.1	试验模拟的细节	181
9.4.2	表现和扫描结果	181
9.4.3	动态模拟建模	182
9.4.4	模型调整	186
9.4.5	总结:模型调整	188
9.4.6	对个体飞行员表现的模型检验	188
9.4.7	结论	190
9.5	一般结论	190
9.6	推断	191
	致谢	192
	参考文献	192

第三篇 建模和航空飞行与安全问题的影响

第10章	模型间的比较	195
10.1	引言	195
10.2	错误预测	196
10.2.1	推理思维的自适应控制	197
10.2.2	改进的性能研究集成工具	198
10.2.3	航空人机集成设计与分析系统	198
10.2.4	分布式操作者模型结构	199
10.2.5	注意力态势感知	199
10.3	外部环境	200
10.3.1	推理思维的自适应控制	201
10.3.2	改进的性能研究集成工具	202
10.3.3	航空人机集成设计与分析系统	202
10.3.4	分布式操作者模型结构	203
10.3.5	注意力态势感知	203
10.4	机组人员交互	203
10.4.1	推理思维的自适应控制	204
10.4.2	改进的性能研究集成工具	204
10.4.3	航空人机集成设计与分析系统	204
10.4.4	分布式操作者模型结构	205
10.4.5	注意力态势感知	205
10.5	调度与多任务	205

10.5.1	推理思维的自适应控制和改进的性能研究集成工具	206
10.5.2	航空人机集成设计与分析系统	207
10.5.3	分布式操作者模型结构	209
10.5.4	注意力态势感知	210
10.6	记忆	210
10.6.1	推理思维的自适应控制和改进的性能研究集成工具	211
10.6.2	航空人机集成设计与分析系统	213
10.6.3	分布式操作者模型结构	214
10.6.4	注意力态势感知	214
10.7	视觉注意力	214
10.7.1	推理思维的自适应控制	215
10.7.2	改进的性能研究集成工具	216
10.7.3	航空人机集成设计与分析系统	217
10.7.4	分布式操作者模型结构	218
10.7.5	注意力态势感知	219
10.8	工作负荷	220
10.8.1	推理思维的自适应控制和改进的性能研究集成工具	220
10.8.2	航空人机集成设计与分析系统	221
10.8.3	分布式操作者模型结构	221
10.8.4	注意力态势感知	221
10.9	态势感知	221
10.9.1	注意力态势感知	222
10.10	学习	222
10.10.1	改进的性能研究集成工具	222
10.10.2	注意力态势感知	223
10.11	结果和突发行为	224
10.11.1	推理思维的自适应控制	224
10.11.2	改进的性能研究集成工具	224
10.11.3	航空人机集成设计与分析系统	225
10.11.4	分布式操作者模型结构	225
10.11.5	注意力态势感知	225
10.12	检验和确认技术	225
10.12.1	推理思维的自适应控制	226
10.12.2	改进的性能研究集成工具	227
10.12.3	航空人机集成设计与分析系统	227
10.12.4	分布式操作者模型结构	228
10.12.5	注意力—态势感知	228

10.13	总结	229
	致谢	230
	参考文献	230
第 11 章	人体行为建模:虚拟的圆桌会议讨论	232
11.1	引言	232
11.2	一般建模问题	232
11.2.1	为何建模	232
11.2.2	模型使用者是谁	235
11.3	模型的结构和构架	237
11.3.1	模型结构和构架的作用	237
11.3.2	外界环境表达	239
11.4	模型在航空中的应用	241
11.4.1	建模需要的主要信息	241
11.4.2	模型错误和表现	243
11.4.3	发现潜在错误和罕见不安全情形	244
11.4.4	处理航空问题	246
11.4.5	模型重用	247
11.5	模型结果和验证	250
11.5.1	模型假设和“脚本编写”	250
11.5.2	模型验证	251
11.6	模型的过去和未来	253
11.6.1	成就和困难	253
11.6.2	未来的方向和挑战	254
	参考文献	256
第 12 章	提高人体行为建模水平以提升航空安全	258
12.1	引言	258
12.2	用于航空系统设计的 HITL/HPM 集成方法	258
12.2.1	概念定义	259
12.2.2	系统定义	260
12.2.3	系统评估	261
12.2.4	系统的鲁棒性测试	262
12.2.5	系统集成	263
12.3	对航空任务建模的延展和方法	263
12.3.1	人与环境的相互作用建模	264
12.3.2	视觉注意力建模	264