



装备科技译著出版基金

System-Ergonomic Design of Cognitive Automation

Dual-Mode Cognitive Design of Vehicle
Guidance and Control Work Systems

认知自动化 的人机系统设计

——飞行器制导与控制工作系统的双模式认知设计

【德】赖纳·奥肯 (Reiner Onken)

著

【德】阿克塞尔·舒尔特 (Axel Schulte)

魏瑞轩 等译



国防工业出版社
National Defense Industry Press



Springer



装备科技译著出版基金

认知自动化的人机系统设计

——飞行器制导与控制工作系统的双模式认知设计

System-Ergonomic Design of Cognitive Automation

Dual-Mode Cognitive Design of Vehicle Guidance and Control Work Systems

[德] 赖纳·奥肯 (Reiner Onken)

[德] 阿克塞尔·舒尔特 (Axel Schulte)

著

魏瑞轩 茹常剑 魏铂淞

张启瑞 许卓凡

译

国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字：军-2014-207号

图书在版编目 (CIP) 数据

认知自动化的人机系统设计：飞行器制导与控制工作系统的双模式认知设计 / (德) 赖纳·奥肯 (Reiner Onken), (德) 阿克塞尔·舒尔特 (Axel Schulte) 著; 魏瑞轩等译. —北京: 国防工业出版社, 2017.12

书名原文: System-Ergonomic Design of Cognitive Automation: Dual-Mode Cognitive Design of Vehicle Guidance and Control Work Systems
ISBN 978-7-118-11481-2

I. ①认… II. ①赖… ②阿… ③魏… III. ①飞行器—制导系统—人一机系统—系统设计 IV. ①V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 013836 号

Translation from English language edition:

System-Ergonomic Design of Cognitive Automation

by Reiner Onken and Axel Schulte

Copyright © 2010 Springer Berlin Heidelberg

Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

版权所有, 侵权必究。

※

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)

天津嘉恒印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 20% 字数 408 千字

2017 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 138.00 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

We can only see a short distance ahead,
but we can see plenty there that needs to be done.

(Alan Turing)

目之所及，只是前方不远的距离，
心之所及，会看到大量应该去做的事。

(阿兰·图灵)

译者序

自动化是人类工业革命桂冠上的一颗明珠。工业化的进程推动着自动化技术不断提升，而自动化技术的每一次进步，都旨在使工业革命的成果能够更加有益于我们的生产生活。飞机、汽车作为工业革命的伟大成果，极大地改变了我们的社会，而如何让它们更加安全舒适和便捷高效，则一直是自动化技术和相关科技人员不懈追求的目标。

但是，随着现代飞行器系统和工作环境越来越复杂，传统模式的自动化或许会使我们进入一种“自动化困境”的状态。比如，自动化程度很高的无人机似乎“不懂得”如何与地面操作员配合而导致大量意外情况下的不幸坠机。即使对于自动化功能非常先进的大型民航客机，也会由于飞行员在极端情况下难以与自动驾驶系统有效配合而导致悲惨事故，一个引人警示的例子是2009年法航447航班的严重空难。事实上，当我们审视很多事件时会发现，对于信息庞杂而混乱或危险的情况，现在的高度自动化似乎并不能有效提高系统的安全程度。当我们试图用更加先进复杂的自动化技术提高系统性能减轻人类操作员负担时，导致的结果却往往是事与愿违。这种困惑和反思，随着先进客机、战斗机、无人机、无人汽车等智能自动化系统的快速发展和运行环境的日益复杂，越来越引起我们的重视。

德国慕尼黑国防大学的Reiner Onken教授和Axel Schulte教授通过这部著作介绍了一种面向人机合作认知的认知自动化设计方法，通过引入人工认知和增强人机交互的认知水平来提高工作系统应对复杂情况的整体性能。正如作者在书中所言“工作系统设计的一个关键问题就是开发一种方法论，除了传统自动化之外，能够根据认知自动化使用人工认知，使得系统设计能以最有益的方式挖掘自动化的潜能。”借鉴人类认知能力开发更为高效的控制系统，是当前智能化发展的重要方向。认知自动化把包括操作员在内的控制要素作为整体设计，综合考虑人与机器在工作过程中的交互性能和对复杂场景的适应性能，以两种认知单元模拟人的认知能力，建立基于双模式认知控制的认知自动化系统，试图实现在同一个工作系统中人与控制设备或系统的协调一致，并能基于彼此的认知和对共同目标的理解而相互配合，有效克服了脆弱、笨拙、呆板等传统自动化的人机操控模式导致的缺陷，使自动化的发展可以跳出那种困境。基于对认知自动化优势的认识，译者希望将这本著作翻译并出版出来，呈献给更多的从事相关领域研究、设计和教学的国内同行，为国内相关技术的研究发展提供参考。

本书主体内容共有 8 章和 1 个附录。第 1 章介绍了撰写该书的动机和目的。第 2 章对操作型制导与控制系统的基本问题进行了概要介绍,侧重于飞行器制导控制系统的功能、架构和操作层面的人机交互方式等概念。第 3 章介绍了工作和人类认知的基础知识,包括工作过程、工作系统等概念,从大脑的信息关联、脑区功能结构等方面概述了人类认知原理,讨论了人类认知的三个功能层级和三个认知行为层级,给出了简单的认知框架和工作系统设计建议。第 4 章讨论了工作系统中的双模式认知自动化,重点分析了两种模式的认知自动化,阐释了人工认知单元的认知过程和工程实现方法。第 5 章在阐述支持型认知单元和操作型认知单元实现方法的基础上,介绍了一些作为飞机座舱辅助系统和驾驶员辅助系统的实验原型系统。第 6 章通过示例介绍了人工认知系统中关键组件的实现方法,重点是知识管理和 ACU 中的先验知识组件,包括基于技能、基于程序和基于概念的行为组件的实现示例。第 7 章简单论述了工作系统中认知自动化的运用问题,介绍了一种认知系统的架构,讨论了运用认知自动化对系统性能的整体性改进问题。第 8 章是本书的主要缩略语。

需要说明的是,对于书中部分描述程序、模型或实验结果的插图,为保持原图的表意,对图中的英文标示没有译为中文。在本书的翻译过程中,还得到了崔军辉、周凯、吕明海、鲁鸿轩、张国锋、倪天、郭庆、吴华兴、郝涛、王树磊、祈晓明、关旭宁、周欢、何仁珂、李兴超、罗维尔、史东梅等同志的大力帮助,他们或帮助完成部分章节的素材初译,或帮助进行多轮的文字校对。我们一起反复推敲锤炼的过程,也是不断学习和提高研究认识的过程,在此对他们的工作致以诚挚谢意!本书的出版得到了国家自然科学基金项目(61573373)和国家留学基金的资助及支持,在此深表谢意!感谢本书责任编辑刘炯老师的认真负责!

原著是一部跨学科的技术专著,内容涉及飞行器制导控制、人机工程、车辆控制、人工智能、认知科学、神经科学、认知心理学、计算机工程等多个学科,加之作者在内容表述上的一些跳跃,使得理解和翻译的难度很大,常常是为了琢磨如何更好地表达出原文一个段落的原意而花费两三天时间。由于译者的知识和认识水平有限,译文中难免有表达不妥或较为生涩的语句,请各位热心的读者和专家不吝赐教,积极批评指正,帮助我们改进和提高,谢谢!

魏瑞轩

2017.06.19 于西安

原著致谢

在我们德国慕尼黑国防大学的飞行动力学和飞行制导办公室主任交接的最后阶段，本书出版了。我们两个人都亲自参加了那次交接，也就是说，我们中的一个进入办公室，另一个退休了。年轻的那位最终促成了在研究和开发课题的基础上撰写这本书的项目，通过该项目使我们的办公室成为世界知名的研究所。

近二十年来，我们的研究所一直在开拓一个新的领域，即为了改善并增强空中飞行器和地面车辆的性能和安全性，将基于知识的系统和认知自动化引入它们的制导与控制的工作过程中。在这段时间中，积累了大量的出版文献，进行了大量的开创性试验，其中包括复杂的模拟和场地试验。

本书的出版以及相关成就的取得得益于很多良好的因素。首先要提到的就是我们大学的资源，它为成功的研究提供了坚实的基础。基本的财政支持使得实验室设备和实验设施得到了很好的配备。额外的资金资助主要来自于德国国防部 (BMVg) 和欧盟的研究与技术部 (BMFT)、Dornier Luftfahrt、欧洲宇航防务集团 EADS (前身为 DASA)、Daimler-Benz、MAN 和 Opel 等公司。这使得相当少的一群人有可能取得一些惊人的成就。

另外，研究所的教师配置促使了主动而富有成效的合作。很长一段时间内，研究所与 Ernst-Dieter Dickmanns 教授博士领导的控制工程研究室在一起运行，他是控制工程的主席。在那段时间里，大家共同参加了一些受资助的项目，如普罗米修斯项目 Pro-Driver 和 CAMA (军用飞机机组辅助) 项目，从彼此的交流中都获益匪浅。作为近期机构重组的一部分，我们大学成立了一个有前景的新机构——飞行系统研究所。现在与 Peter Stütz 教授博士成为了这个研究所的同事，他是航空工程 (专业) 的主席。

本书内容主要以过去二十年中完成的多部博士学位论文的研究工作为基础，这些博士的研究都是源于对这个令人着迷的研究领域的热切追求。如果没有他们的工作，本书的写作就失去了真实的基础。所有工作都开始于 Heinz-Leo Dudek 关于 ASPIO 座舱辅助系统的学位论文，他的成就是接下来工作的基石。他作为 Dornier Luftfahrt GmbH 公司的代表，也积极参与了 CASSY 项目。在此我们想提及的还有下面的博士们完成的论文：Matthias Kopf (在汽车应用方面的第一篇博士学位论文，产生了驾驶员辅助系统 DAISY)、Thomas Wittig、Thomas Prévôt、Axel Schulte、Marc Gerlach、Johann Peter Feraric、Wilhelm Ruckdeschel、Michael

Strohal、Frank Schreiner、Stephan Grashey、Peter Stütz、Frank Ole Flemisch、Anton Walsdorf、Udo von Garrel、Henrik Putzer、Andreas Frey、Hans-Jörg Otto，以及最近的 Claudia Meitinger，他是上面提及的过渡期后第一个新一代的研究者。在这一点上，André Lenz 的工作应特别赞赏。Diana Donath 和 Michael Kriegel 则被称为新一代研究的进一步的代表人物。还有十余位没有提及的从事这方面研究的同仁，他们或是参与了相对较短的时间，或是尚未完成他们的研究工作。在这些年里，Werner Fohrer 博士作为经典飞行力学的专家，一直热情地支持着研究团队。

毫无疑问，如果没有技术人员帮助建立和维护实验室和计算设备，以及作为研究所大型实验设施的模拟器，实验工作将是无法进行的。即使在此没有引述这些技术人员的名字，但他们的工作仍是非常值得赞赏的。另外，还有一个人必须提起，那就是我们的秘书 Madeleine Gabler。多年来，她的精神风貌感染了我们每一个人。她也参与了为本书顺利出版而进行的排版编辑工作。

我们不断与国际研究界进行科学讨论，在讨论我们的研究结果时，我们收到很多同事给我们的工作提出的大量宝贵建议，这些都体现在了本书的准备阶段。我们希望把他们的名字铭记下来，谨表谢意！作为他们中的代表，有德国的同事 H. Bubb 教授博士、B. Döring 教授博士、B. Färber 教授博士、K.-P. Gärtner 教授博士、P. Hecker 教授博士、K.-F. Kraiss 教授博士、U. Krogmann 教授博士、H.-P. Krüger 教授博士、E. Rödig 教授博士、C. Schlick 教授博士、F. Thielecke 教授博士、K.-P. Timpe 教授博士、U. Völckers 教授博士和 H. Winter 教授博士，以及来自国外的 R. Amalberti 教授、G. Cham-pigneux 教授、M. Cummings 教授、M. Draper 教授、P. Fabiani 教授、R. Frampton 博士、K. Funk 教授、E. Hollnagel 教授、S. Howitt、C.A. Miller、E. Palmer、J.T. Platts 博士、J. Ramage、J. Reising、R.M. Taylor、C.D. Wickens 教授、S. Wood 博士、D.D. Woods 教授。当然，还有很多人以各种方式对我们的工作提供了帮助。如果我们不小心漏掉了某位应该提及的人，我们在此说声对不起。而且，我们希望他们能忘掉我们的这种失误，并接受我们对所有人的一并的感谢！

Reiner Onken, Axel Schulte
于 Neubiberg (诺伊比贝尔格)

2009年5月

目 录

第 1 章	本书的动机与目的	1
第 2 章	操作型制导控制系统概论	7
2.1	飞行器系统	7
2.2	自动化车辆中的系统	13
第 3 章	关于工作和人类认知的基础	16
3.1	工作的概念	16
3.1.1	工作过程	16
3.1.2	工作系统	17
3.1.3	工作系统之系统	25
3.1.4	工作系统发展的工程潜力和挑战	27
3.2	人类认知的概念性要点	28
3.2.1	人类认知的实现原理	31
3.2.1.1	关联信息处理	32
3.2.1.2	认知功能结构性划分为大脑的不同区域	33
3.2.1.3	人类记忆的原理	37
3.2.1.4	信息处理的两种模式	42
3.2.1.5	边缘检查机构	49
3.2.1.6	面向工作系统设计者的结论	50
3.2.2	认知的功能和行为方面的架构	53
3.2.2.1	人类认知的三个功能层级	54
3.2.2.2	人类认知行为的三个层级	56
3.2.2.3	一个简单的认知框架	64
第 4 章	工作系统中的双模式认知自动化	66
4.1	传统自动化	66
4.2	传统自动化的经验	71
4.3	认知自动化	76
4.3.1	认知自动化: 模式 1	77
4.3.2	认知自动化: 模式 2	79
4.3.3	概念性结论	82

4.4	工作系统中的合作认知	87
4.4.1	协作的形成	88
4.4.2	团队结构	92
4.4.3	团队管理	94
4.4.3.1	协调	94
4.4.3.2	通信	98
4.5	人工认知单元的工程方法	99
4.5.1	背景方面	100
4.5.2	人工认知单元的认知过程	102
第5章	工作系统中认知自动化的实现例子	108
5.1	支持型认知单元 (SCU) 的实现	108
5.1.1	ACC 系统	109
5.1.2	通过协同无人机的支持	110
5.2	操作型认知单元 (辅助系统)	119
5.2.1	联合辅助	121
5.2.2	报警辅助	122
5.2.3	替代辅助	124
5.2.4	辅助系统风格特点概要	128
5.2.5	通用设计指导准则总结	129
5.3	OCU 原型	134
5.3.1	飞机座舱辅助系统原型	134
5.3.1.1	飞行员辅助和旋翼飞机飞行员辅助 (美国)	135
5.3.1.2	飞机副驾驶员电子技术 (法国)	139
5.3.1.3	认知座舱 (英国)	139
5.3.1.4	ASPIO, CASSY, CAMA 和 TIMMS (德国)	141
5.3.2	驾驶员辅助系统的原型	159
5.3.2.1	通用智能驾驶员支持系统 (GIDS)	159
5.3.2.2	驾驶员辅助系统 (DAISY)	161
5.3.3	助理驾驶员辅助 (ADT)	173
第6章	认知自动化关键功能组件的实现示例	178
6.1	知识管理	179
6.1.1	知识表达概论	179
6.1.2	显性知识的管理	184
6.1.2.1	关于显性知识管理的一些里程碑	184
6.1.2.2	语义向量空间	198
6.1.2.3	结语	205

6.1.3	隐性知识的管理	205
6.2	ACU 中的先验知识组件	207
6.2.1	强调基于技能的行为组件	207
6.2.1.1	一个典型的方法	208
6.2.1.2	一种软计算方法	211
6.2.2	强调基于程序的行为组件	221
6.2.2.1	在 CASSY 和 CAMA 中飞行专家的实现	221
6.2.2.2	对于 DAISY 的规则库实现	238
6.2.3	强调基于概念的行为组件	240
6.2.3.1	无人机的协作	240
6.2.3.2	识别功能实例: 飞行员意图和错误识别	244
第 7 章	工作系统中认知自动化的运用	255
7.1	认知系统架构 (COSA)	255
7.1.1	COSA 的设计目标	255
7.1.2	架构	256
7.1.2.1	概述	256
7.1.2.2	内核	257
7.1.2.3	分布层	258
7.1.2.4	前端	259
7.1.3	实现	262
7.1.4	结论与展望	262
7.2	运用认知自动化的整体性改进	263
7.2.1	面向系统性能的在线监测和控制的元功能 (应用实例)	263
7.2.1.1	技术概念	264
7.2.1.2	一个功能性原型机	265
7.2.1.3	场景	265
7.2.1.4	总结	268
7.2.2	工作系统性能缺陷的识别	269
第 8 章	缩略语	271
	附录	277
	参考文献	287

第 1 章 本书的动机与目的

为什么要写这本书呢？简单地说，就是这项工作是必需的。认知自动化及人机工程应用于工作系统已经取得很多成就，同时，这些成就在操作性工作系统中也正在逐步实现。本书涉及多个交叉学科，对于工作系统的设计者，以及那些对认知自动化这一现代方法及其实现感兴趣的工程技术人员来说，它都具有一定的借鉴意义。

认知作为人类大脑的功能已经不再那么神秘了。尽管[Singer,2007]的文章开头给出了他对人类大脑的理解：“人们发现想要理解大脑中正在进行的工作是十分困难的……”为此，他与其他科学家共同给出了一个更易于理解的概念：认知可以被认为是对某一事物更好的理解。现在，对于认知，我们不再有任何理解上的问题。而探索如何在系统设计中利用认知这一发现，则有着重要意义，因为认知代表了人类最杰出的能力。如果没有认知，人类将不会如此地成功。认知使人类能够迎接那些非凡的挑战，并战胜它们。典型的例子是在科学方面的成就，即探索、理解和改造自然或利用自然资源，只要这些资源是有用的。其他的例子如：发明抽象的语言等交流工具，以及发明强大的物理工具，比如用来探索微观世界的小的微晶片和传感器；实现巨大的工程成就，如建造巨大的桥梁、摩天大楼和能容纳近千名乘客的飞机。这些例子不胜枚举。最重要的是除了这些成就，人类认知使我们能够应付每一天的复杂生活。从个人的角度来看，这是在生物进化过程中取得的成功。

毫无疑问，所有这些基本的发现、发明和发展，都是巨大的成就。但是我们越来越意识到取得这些成就和有效地使用它们是完全不同的两类事情。通常情况下，探索可以做什么驱动人们创造新产品的动力，而不是对潜在用户真正需求的技术反映。从用户需求和系统设计的意义上讲，这些产品都是有代表性的，例如，我们作为工程师正在设计高度复杂的设备，如手机或电脑，它们具有很多功能，但其中的大多数功能对于普通用户来讲都太复杂了。如果我们要使用全部的功能，我们还需要大量的专业帮助。大多数情况下，用户需要新的产品，但他们却没有可选择的余地。

这本书将给工作系统设计人员一些指导，使得他们所设计的工作系统，特别是那些与飞行器制导与控制相关的系统能够更加高效。对于那些参与工作系统设计的各个学科的人员来说，关键是要把认知方面的发现转化成他们充足的常识，

并给出指导设计人员如何以适当的和系统的方式利用这些认知常识的指南。这些指南既要满足工作过程中人类操作员的需求，也要考虑能够使工作系统更加有效的技术潜力的应用。换句话说，本书的目的是为工作系统的组织和技术设计提供指导。因此，这本书是一个跨学科的著作，在个别学科方面的发现不是本书要讨论的主要问题。本书是希望通过综合这些发现和成果，以提高工作系统的性能。这就是本书的作用所在。

我们在工作系统设计领域已经工作了二十多年，积累了大量关于工作系统设计方面的经验，涉及的工作领域包括民用和军事飞行任务的执行、在道路上驾车行驶和驾驶辅助。其中我们特别关注一些问题，比如，如何在工作过程中引入人工认知和通过增强人机交互的认知水平来利用人工认知的优势，以提高工作系统的性能和安全性。目前，许多原型系统和现场测试已经实现。在这些系统中，一种通过引入一个辅助驾驶系统 CASSY 为民航飞行任务完成的工作系统设计可能已经获得了最大的认可。它是世界上第一个经过成功飞行测试的该类系统，是在 1994 年完成的。

当我们开始写这本书时，起初的计划是通过介绍认知辅助系统，概要阐述如何把一个认知辅助系统放到整个自动化系统中。之后，考虑到自动化是工作系统设计的组成部分，我们发现仅讨论人工认知系统在整个工作系统设计中的位置，还不足以形成共识。为此，对本书的范围进行了相应的扩展。

在这方面最关键和最具挑战性的设计难关是协调人类与机器的认知水平，因为他们要在同一个工作系统中协调行动。这就是认知设计，顾名思义，它代表了克服这一难关的努力。[Billings, 1997]提出一个观点，即“以人为中心的设计”，其基本思想是工程师在寻求增强系统性能的技术方案时，必须一以贯之地考虑人类操作员的需求。工作系统设计中有个基本原则，即自动化技术手段应考虑那些不适合于人类操作员所承担的工作任务。但本质上讲，对于人类操作员有他独特优势的工作任务和场景，这个原则应该被撤销。乍一看这似乎是很容易的，但是，人类行为的复杂性使得这成为跨学科设计工作的一个艰巨任务。

最终促使我们决定承担这本书撰写任务的是观察到三点基本的问题。当与那些参与过人机系统规划与设计过程的人员讨论时，他们会很容易地认识到这些问题。简言之，这些观察到的问题主要是：

(1) 仍然有许多从事人机系统工效学的人，过于简单地把认知设计与之前的关于自动化利弊的观点混为一谈。出于良好的目的，他们批评在已开始使用的人机系统中设计自动化的方法([Wiener & Curry, 1980], [Bainbridge, 1983], [Wiener, 1989], [Woods et al., 1994], [Woods, 1996], [Billings, 1997])。为了实现更好的人机交互与人类操作员的培训，他们提出了一些一般性建议，但是他们不愿意运用技术手段来系统地避免他们遇到的问题。主要的思想是监督控制(见[Sheridan, 1987])是实现交互自动化的唯一途径。结果是，他们认为由于不断增多的依靠计

算式调度的自动化所引起的软件复杂度的增大是必然的既定事实，进而会导致工作系统变得模糊和脆弱，也就是说，工作系统对环境的变化非常敏感，这并不是系统设计者所期望的。

(2) 另一方面，另一种类型的成见可以在工程师中观察到，特别是在那些作为工程团队的组成人员已经参与设计操作式系统很长一段时间的工程师中。他们都已经习惯于某些常规的工作系统设计方式，几乎没有认识到随着强大的计算机和人工认知灵活性的发展，机器在一个或以其他方式中的互动能力已经大大超越了他们在日常工作中所运用的水平。他们似乎忽略了这些技术进步正在为工作过程中的机器的发展提供新的机遇，特别是关于自动化与类人功能之间的交互方法的新模式，包括人类操作员和辅助自动化之间的有效合作。

(3) 第三个观察问题关注那些对人工认知方面的技术进步最了解的设计者，但是，这类设计人员对于这些进步能够为工作系统提供他们所期望的自动化解决方案仍缺乏信心。这些人需要更多的鼓励，而不是仅仅迫使他们承认认知设计的新方法。很显然，他们没有意识到，通过在工作过程中使用认知系统，可以获得很多收益，而无需等待百分之百完美的解决方案。在机器人设计方面，[Brooks, 1989]已经表达了这一基本观点：

“请注意，并不是说我们应该在简单的世界里建造生物，然后逐渐增加世界的复杂性。而是认为，应该在我们可以想象的最复杂的世界里建造简单的生物，然后逐渐地增加生物。”

事实上，即使是简单的机器，如果它们非常适合于复杂的工作环境，也可以用它做很多辅助工作，包括人类操作员的工作。例如，我们可以很容易地建立一个相对简单的机器来辅助驾驶。如果要在我们国家的很多城市的指定地点泊车，相比于设计一个专用停车机器，我们可以很容易地设计一个相对简单的机器来帮助我们停车停在一个任意地点的任意车库。当然，我们可以设想通过相应地提高机器的复杂性而进一步地提升对更复杂环境的应对能力。然而，问题是对于机器来说，在与真实环境的相互作用中，必须明确机器操作功能的范围。而对于人类操作员却从不需要描述这些范围边界，即使是任何之前未预见的意外[Kopf, 1997]。

通常情况下，不同群体的人习惯于相互独立地工作，他们有着不同的背景，这些背景代表着每一个人的观察视角与成见。正因为此，要理解别人的动机确实存在一些固有的困难。从我们自己的经验来看，不同学校的心理学、计算机科学、组织科学和工程学之间的相互学习和合作的意愿，是一个能够创造跨学科新思想的神奇方法。然而，毋庸置疑，仅通过会议和期刊论文就想做到这一点是很不够的，特别是关乎关键安全性的工作过程，更不能如此。我们知道，在一部讲述“基本素材”的书中，要使读者能够更好地理解书中内容，就应当将基本的理论思想与阐释性的例证结合起来，从而才能得到好的效果。而这正是我们后续要努力去

做的事情。

按照我们自己的经验，我们认为那些非常好的研究和发展计划也一样可以推动事物向前发展。当年，我们开始研究 ASPIO（单飞行员仪表辅助操作）项目[Dudek, 1990]时，我们那时属于第三组。那是大约二十年前，美国的飞行员辅助项目[Lizza et al., 1990]是与我们的研究同时代的著名研究计划，它给了我们很多的鼓励和启发，并推动我们的研究取得了成功。从那时起，我们已经学习了很多工作系统和作为工作系统组成部分的认知系统的重要作用。现在，我们仍然在学习。

直到最近，我们终于充分认识到了所有关于工作系统认知设计的重要性，即到目前为止已知的人机系统的基本结构在自动化应用方面都需要进一步地改善。随着人工认知系统的发展，由操作员控制的自动化系统的设计必须考虑以下事实：

由操作员控制的自动化有两种显著不同的方法可以应用于人机系统设计，而与之相应的则是两种类型截然不同的人机交互方式。

其中之一的自动化方式与我们每个人长久以来已经习惯的自动化方式是相应的，不论所关注的自动化子系统具备较高的智能，还是只有低的智能。这种自动化方式所对应的人机交互类型是把人类操作员置于自动化系统之上，即所谓的监督控制[Sheridan, 1992]。我们都熟悉的一个典型例子是汽车的自动速度控制。在这类工作系统中，人类操作员（汽车驾驶员，即我们自己）所追求的目标是他正在参与的主要工作过程的一个目标，而在监督控制中受人类操作员支配的自动化子系统，则不需要自己制定任何决策（原文为确定它们自己目标的委员会，译者注），它们只须服从人类操作员给出的目标即可。它们对工作目标的其他情况一无所知，以使它们能够在其力所能及的范围内专注地完成它们被指示要完成的工作。如果驾驶员指示速度控制子系统把速度保持在一个给定值上，那无论道路上发生什么情况，不管是应该提速还是应该减速的任何情况，速度控制子系统都会继续把速度保持在指定的速度上。如果速度控制子系统能够有像幻想中的智能机器人一样的认知能力，那么，只要人类操作员的指令未确定豁免，它就可以根据实际情况自主地调整速度。

区别于监督控制，另一种可能的自动化方式可以被设计为协同控制[Schulte et al., 2008]。通常，设计师们还不熟悉它，因为只是在人工认知系统被证明在技术上是可行的之后，协同控制才成为可能。所以，很长时间以来，设计师们习惯地认为监督控制是唯一的选择。协同控制自动化方式的显著特点是，人类操作员和人工认知系统一起相互协作地追求一个共同的工作目标，这个目标是与他们正在操作的主要工作过程相关的目标。类似于人类操作员，这类系统在发生不可预见的事件时，可以评估可能会出现什么结果和需要采取的必要动作。人类操作员作为决策委员会的领导者，承担着协调操作员和协作认知系统之间关系的任务，它

的执行方式与人类团队是非常相似的。

显然，这两种自动化方式在设计理念、结果特性和功能方面都表现出很大的差异。所以，当我们考虑人类操作员能或是期望从它们那里得到什么，以及希望看起来以什么样的方式与人类操作员交互时，这两种方式将有着很大的不同，这是我们在设计工作系统时需要注意的。

在没有人考虑认知系统的很长一段时间内，尽管监督控制是一个很好的手段，但它不是提高人机系统性能的唯一手段，它也有缺点。它是假定人类操作员能够弥补这些缺点。这种方式需要付出大量的努力把被控子系统的所有信息持续地提供给人类操作员，这些信息对于人类操作员确认自动化系统正在做他所期望的行为是潜在必需的。对于那些如汽车的自动速度控制一样确实简单的自动化功能来说，这种方式可以工作得很好。然而，在对高度复杂的子系统进行控制时，超负荷的人类操作员对那些泛滥的大量信息关注得很少，而且事实上，在工作过程的一个确定的时间点上，这些信息中的绝大部分与当前的工作状态不相关。另外一个很少被关注的事实是，人类操作员可能会对这些子系统的性能产生一些特定的期望，而这些期望与系统设计者所计划的往往不一致。这是一种两难的境地。我们希望在紧急情况时，处于高负荷状态下的人类操作员不应该忽略任何重要的信息。然而系统设计如何才能应对这种需求呢？简言之，对于认知子系统的情况，这种自动化方式的设计通常被认为几乎是纯粹的技术工程工作。这在很大程度上导致了子系统的设计与总体的人机系统设计的有意分离。例如，设计一个监督控制系统，要考虑一方面是本身被监督和另一方面的人机界面功能，这时常会或多或少地导致两方面自动化功能的分离开发，从而使得人机界面的设计者被大部分本身给定设计的自动化功能严重地约束着。这些情况就限制了设计者对人机工程的全面的考虑。如果将人的因素全部考虑，将给人机界面设计带来很多局限。在这个意义上，人们支持将参与设计的不同学科的人员进行分离，这就会导致如上文所提到的结果。但尽管有这些缺点，然而只要把相应功能的复杂性保持在一个可控的水平上，就有足够的理由使用监督控制。

另一方面，人类操作员和协作认知系统之间在认知层面的交流式交互，可以参照一个人类团队间的交流方式来实现。这可能也包括协作认知系统方面的主动性，即引导人类操作员去注意他之前或许没有意识到的某些东西。在极端情况下，甚至可以通过干预而避免事故的发生。总之，这种自动化方法带来了一种新的人机交互方式。这种交互就像相互协作的人所做的那样，其特征是考虑别人的长处和弱点，并能基于对彼此优缺点的认知和对共同目标的理解而彼此相互帮助。现在，具备这种能力的工作系统在技术上正变得可行。尽管在我们的日常生活中还没有这种协作系统的实例，但是已经有了原型系统，能够清晰展示可以达到的性能收益。当然，这种认知设计具有相当大的挑战。因此，不

会在一夜之间就同时达到对两种自动化控制方法的改变，大多数设计师们仍然要逐步熟悉它们。

总而言之，控制的问题是，如何实现这两种不同的自动化方式以获得人类操作员的最佳工作性能？相应的工作系统结构应该是什么样的？如何为飞行器制导与控制的工作过程解决这一问题将被作为本书的中心主题。没有这些，许多未来系统的设计将无法进行。书中将把一些已成功开发的原型系统作为阐述示例进行简要描述，同时也作为在工作系统的未来设计中使用这些潜在的认知自动化技术的激励。