

基于认知任务分析的智能系统交互设计路径研究

李君, 支锦亦, 李然, 吴永萌
(西南交通大学, 成都 611756)

摘要: **目的** 在信息技术与人类社会深度融合, 以及以人工智能为代表的新兴技术推动机器更为智能的时代, 操作人员面临着日益复杂的认知需求。在此背景下, 从认知任务分析的视角研究适合智能系统交互设计的路径。**方法** 通过文献分析、实地观察和访谈, 分析并总结认知任务分析的理论 and 工具, 提出适合高速列车菜单引导制动试验系统交互界面设计的认知任务分析方法, 以及以此为基础的交互设计路径。**结论** 从历史角度, 认知任务分析的诞生和发展与机器智能程度的不断提升密不可分。认知任务分析在复杂智能系统的设计中历史悠久, 应用广泛。基于认知任务分析的交互设计路径是高速列车菜单引导制动试验界面设计的一种合适方法, 也可以用于类似的智能系统交互设计场景, 路径的关键是根据目标研究领域的实际限制选取认知任务分析方法。

关键词: 认知任务分析; 智能系统; 人机交互; 菜单引导制动试验

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)18-0029-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.18.004

Interactive Design Approach of Intelligent System Based on Cognitive Task Analysis

LI Jun, ZHI Jin-yi, LI Ran, WU Yong-meng
(Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

ABSTRACT: The work aims to study the approach suitable for interactive design of intelligent systems from the perspective of cognitive task analysis in the era when information technology and human society are deeply integrated, emerging technologies represented by artificial intelligence are pushing machines to be more intelligent and operators are facing increasingly complex cognitive needs. Through literature analysis, field observations and interviews, the theory and tools of cognitive task analysis were analyzed and summarized, and a cognitive task analysis approach suitable for the design of the interactive interface of the menu-guided brake test system of high-speed trains was proposed. From the historical perspective, the birth and development of cognitive task analysis are inseparable from the continuous improvement of machine intelligence. Cognitive task analysis has a long history and is widely used in the design of complex intelligent systems. The interactive design approach based on cognitive task analysis is a suitable method for designing the menu-guided brake test interface of high-speed trains and can also be used in similar intelligent system interaction design scenarios. The key to this approach is the selection of cognitive task analysis methods based on the real-world limitations of the target research field.

KEY WORDS: cognitive task analysis; intelligent system; human-computer interaction; menu guided brake test

自从人类发明了机器, 人类文明就由人类与机器共同创造。机器, 特别是智能机器(具有一定“人类智能”的机器), 先是作为人类四肢的延伸, 而后逐

渐延伸着人类的感知、大脑, 成为人类在认识世界、改造世界, 乃至创造世界过程中的主要力量^[1]。从计算机的引入, 到人工智能的广泛使用, 机器变得日益

收稿日期: 2020-04-20

作者简介: 李君(1984—), 男, 河南人, 西南交通大学博士生、实验师, 主要研究方向为认知系统工程、人机交互、创客教育。

通信作者: 支锦亦(1974—), 女, 四川人, 博士, 西南交通大学教授, 主要研究方向为工业设计和车辆人因评价。

智能。这一社会趋势在近些年逐步凸显。伴随着智能程度的不断提升,人类面对的任务和环境的复杂性也不断提高,这给涉身其中的工作人员带来了日益复杂的认知和感知需求。然而,设计师缺乏合适的工具和指南来有效支持这一问题的改善^[2]。在这样的社会背景下,使用何种设计方法和工具来设计人与智能系统的交互呢?这一问题对系统设计者、开发者而言,成为了一种挑战。

1 认知任务分析

认知任务分析(Cognitive Task Analysis,简称CTA)是一个综合的方法,由多种多样的内在框架构成,用于梳理人类在复杂的社会场景和多变的工作环境中的认知活动,以及对人类合作活动的理解^[3]。Militello和Hoffman在《透视认知任务分析:历史起源和现代实践社区》一书中,总结了CTA的概念^[3],他们认为CTA是一种对工作场所和工作模式的实证研究方法,具有以下功能:(1)描述以目标为导向的工作中所蕴含的认知过程;(2)通过认知现象和过程的形式,解释工作活动;(3)应用以上两项结果,创造更好的工作空间、更好的工具或技术,创造能提高人们满意度和幸福感、激发人类内在动力、加速提升专业能力的工作方法,从而更好地工作,乃至创造更高质量的工作生涯。CTA聚焦任务(Task)、工作(Work)和目标(Goal),既是一套科学工具,又是一种艺术^[3]。

Crandall等人^[4]对CTA一词中的“认知(Cognitive)”、“任务(Task)”、“分析(Analysis)”进行了解释和界定。

认知,当人们正在执行的任务是复杂的,那么仅是简单观察人们的行动和行为——也就是正在做什么,是不够的。同样重要的是去找出人们在想什么、人们知道什么、人们如何组织和架构信息,以及人们正在努力更好地理解什么?这是CTA将“认知”一词放在最前面的基本原因。CTA是一个用来研究和表述原因与知识的工具体系,研究对象包括任务绩效背后的觉察和注意活动,应对复杂多变情况的认知技巧和策略,以及认知工作的目的、目标和动机。

任务,传统的定义是为了完成某个目标所执行的独立活动或者活动序列。然而在复杂的认知系统中,实际上,实践者试图完成事情,通常不被单纯地称为步骤的动作序列。任务应是一个宽泛的概念,包括人们正在努力达成的所有产出。“任务”一词的理解,在不同的学派中有较多分歧,比如认知工作分析(Cognitive Work Analysis,简称CWA)学派认为使用“工作”一词,要比“任务”更为合理。

分析,是将对象分解为一些组成部分,理解这些组成部分,以及他们与整体构成的关系。CTA提供了系统性的程序、科学的调查来描述和理解。Klein等

人^[5]认为对正在寻找研究问题的科学家而言,CTA可以帮助他们找到许多机会与挑战。对于旨在开发工具和实践的实践者而言,CTA提供了一个系统的方法,可以识别许多类型应用中起驱动作用的关键认知。

Zachar、Hoffman和Crandall认为^[6],CTA是较大问题解决过程中的一部分。CTA与前续步骤(例如需求分析)及后续步骤(设计和工程)集成,形成一种解决问题的良好路径。基于CTA的设计路径可以用于智能系统设计的多中场景,包括决策支持系统的设计、人机交互的设计或改进、工作和技能规范的设计、培训系统设计、绩效模型、认知计算建模等。

2 CTA的发展和在智能系统设计中的应用

Militello和Hoffman认为,CTA的历史可以追溯到19世纪80年代后期应用心理学的兴起^[7]。19世纪50年代至90年代崛起的应用心理学、19世纪90年代至20世纪20年代Taylor^[8]和Gilbreth^[9-10]开创的任务分析和工业心理学、20世纪20年代至60年代工作分析与工效学,以及人因学和工效学的发展和探索都对CTA的产生奠定了重要的基础。20世纪70年代后期,Gallagher首次提出了“Cognitive Task Analysis”一词^[11],20世纪80年代初期,现代意义的CTA诞生了。1981年至1982年,三里岛核事故的跟踪调查会议上,学者们达成了共识,使用CTA来命名所使用的调查分析方法。之后CTA一词就被用于美国核能管制管理委员会(Nuclear Regulatory Commission)的技术报告中,后来认知系统工程学派的Erik Hollnagel和David Woods等人开始在著作中使用CTA这一称谓^[3],至此CTA开始广泛传播开来。计算机的引入使得工作形态发生剧烈变化,一批学术社群面向实际研究需要,相对独立地并行开发出了一系列CTA方法,现代CTA逐渐形成。Militello和Hoffman对CTA的发展历史和阶段进行了整理,CTA相关领域的发展阶段见图1^[3,7]。

回顾历史,CTA的发展就是人们为了应对智能系统发展而发展的历史。智能机器的引入曾给人类带来了意料之外的复杂性,进而导致了一些著名的事故,比如三里岛核电站事故^[7]。为了应对这些挑战,研究人员开发了一系列基于访谈的技术^[12-13],并采用了人类学的观察方法来解释人类执行任务时的心智过程^[14]。这些CTA方法被不断完善和扩展,同时人们持续地开发一些工具,用来设计系统和技术,应对现代工作场景的复杂挑战,促进工作中的安全和效率^[15]。CTA是研究现实世界,尤其是使用智能机器的实际场景中人类认知相对较新的路径^[7]。Howell和Cooke认为,在技术和机器能力提高的同时,也增加,而非降低了对人类认知的要求^[16]。越来越多程序性的或可预测的任务由智能化的机器处理,而人类则负责需要推理、诊断、判断和决策的任务。例如在制

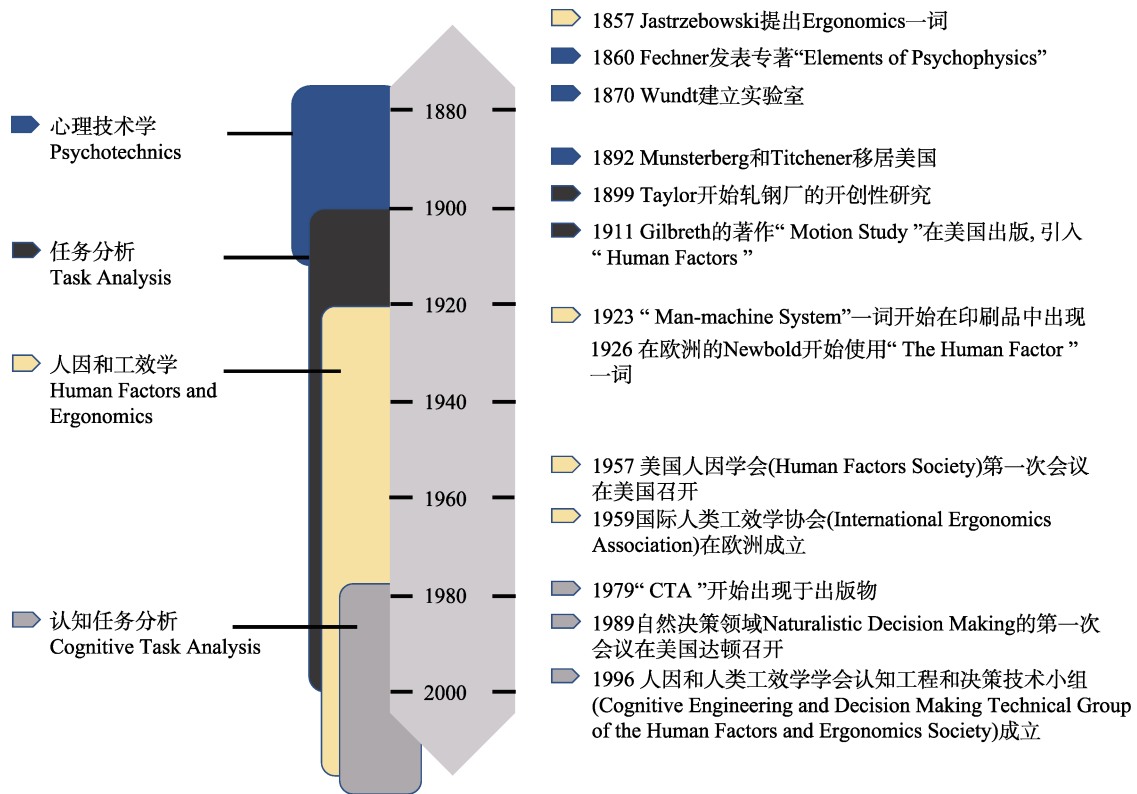


图 1 CTA 相关领域的发展阶段

Fig.1 Development stages of CTA related fields

造技术领域, 监控设备所需要的知觉能力、解释计算机信息所需要的诊断技巧; 在分布式决策环境中, 解决问题和互相协调所需的沟通技巧都成为关键技能。这些技能通常建立在完成某项任务的动手经验基础上, 对于专业工作人员而言, 这也是最难学会和表达的能力。技术简化低阶工作, 却使高阶的工作更复杂。Roth^[17]认为, CTA 方法发展的社会环境伴随着计算机技术和自动化的发展, 并对认知密集的工作进行建模和支持越来越重要, 例如军事指挥和控制、医护人员的计划和决策、自动化系统的监督与控制。

在现代 CTA 的发展过程中, CTA 既被用来进行新技术及新型智能系统的设计, 也用于现有智能系统的改进设计^[17], 这些设计的特点都是正向设计。比如机载预警和控制系统武器控制站设计^[18]、下一代海军舰艇设计^[19-20]、下一代电厂的设计^[21]、麻醉监视的听觉显示设计^[22]、空运指挥和控制系统集成可视化操作界面设计^[23]、自动驾驶卡车头戴显示和控制系统设计^[24]、智能金融自动化交易系统^[25]、无人驾驶直升机的地面控制站人机界面设计^[26]、直升机 HUD 的显示设计^[24]、欧洲 ETCS 列控系统人机交互界面的设计^[27]。

CTA 还用于设计评估, 澳大利亚的 Naikar 和 Sanderson 基于 CWA 对澳大利亚空军早起预警和指挥系统的设计建议进行了评估^[28]。Salmon 等人^[24]在铁路平交道口的设计中, 采用了 CWA 的方法, 提出了适合这一场景的基于 CWA 的设计生命周期。

Stanton 和 McIlroy 在英国作战任务规划系统空地通信富图片界面的设计中, 使用社会组织和合作分析——情景活动 (SOCA-CAT) 模型对系统新旧版本进行了对比评估^[24]。Miller 等人^[4]对海军资源和舰员损失跟踪和控制系统 (DC-TRAC) 项目, 使用了关键决策法进行测试和评估。Kinger 和 Gomes 对美国空军 AWACS Weapons Director 工作站人机界面设计改进项目, 使用认知系统工程的关键决策方法进行了分析、建模和最终产品的设计评估^[18]。

此外, CTA 还被应用于智能系统的培训课程开发、人为失误分析、团队协作设计等方面^[29-32], 比如 F/A-18 战斗机的培训设计^[30]、F-111 强击机的培训策略设计^[30]、澳大利亚空军早期预警和指挥系统的团队设计^[33]和设计评估^[28]。

在国内, 随着复杂智能装备的发展和正向研发的需要, CTA 的有关方法和理论也开始引入并应用于实践, 主要使用 CWA 方法, 以及该方法衍生的生态界面设计理论。2007 年, 南京航空航天大学的李玲和陈圻与江苏科技大学的李游和解洪成应用生态界面设计方法, 对船舶进水监控系统的人机界面设计进行了研究。东南大学薛澄岐教授团队在这一领域有较多贡献。2009 年, 东南大学的仇岑和薛澄岐发表了《飞机驾驶舱显控系统生态界面设计研究》^[34], 这是国内最早可见的关于具体的认知系统工程实际应用的文章。随后, 卞婷、薛澄岐、仇岑于 2010 年发表了《涡轮喷气发动机状态显示生态界面设计》, 介绍了使用

生态界面设计方法进行涡轮喷气发动机状态显示界面的经验^[34]。2011年,王海燕、卞婷、薛澄岐又发表了《新一代战斗机显控界面布局设计研究》,介绍了使用生态界面设计方法进行新一代战斗机显控的界面布局设计^[35]。2014年北京交通大学穆建成和方卫宁指导的硕士研究生赵嫚,使用抽象层次分析法(通常被认为是CWA法的子方法)对地铁调度员工作站的人机交互界面进行了研究^[36-37]。同年,哈尔滨工程大学颜声远指导的硕士研究生赵岩应用抽象层次分析法对核电站智能故障诊断系统的设计进行了研究^[38],中国矿业大学杨勇执导的硕士研究生宋娜对生态界面设计进行了介绍^[39]。

总之,从历史角度来看,CTA的诞生和发展与机器智能程度的不断提升密不可分。CTA在复杂智能系统的设计和评估中历史悠久,应用广泛。中国学者的研究实践主要集中在CWA方法及由该方法衍生的生态界面设计理论。

3 CTA方法的选取

在CTA的发展历史中,若干不同学科的学者们根据自身的需要,发展了不同的CTA方法。Militello和Hoffman认为有八个学术社群与CTA紧密相关^[3],分别为认知心理学(Cognitive Psychology)、人因心理学和工效学(Human Factors Psychology and Ergonomics)、认知工程学(Cognitive Engineering)、教学设计(Instructional Design)、实验心理学(Experimental Psychology)、工作场所民族志和认知人类学(The Ethnography of Workplaces and Cognitive Anthropology)、自然决策(Naturalistic Decision Making)、欧洲的工作分析和工效学(European Work Analysis and Ergonomics)。这些不同的学术社群因本领域研究和实践的需要,分别从不同的角度对CTA的发展产生了重要的影响,也各自孕育了一套具有自身学科特色的CTA方法。

Neville A Stanton等人在“Human Factors Methods: A Practical Guide for Engineering and Design”一书中,对CTA的主要方法进行了整理,收录了八种主要的方法,包括认知工作分析(Cognitive Work Analysis)、应用认知任务分析(Applied Cognitive Task Analysis)、认知走查法(Cognitive Walkthrough)、关键决策法(Critical Decision Method)、关键事件技术(Critical Incident Technique)、并行观察叙事技术(Concurrent Observer Narrative Technique)、面向对象的认知任务分析与设计(Object-Oriented Cognitive Task Analysis and Design)、同事口头报告法(Collegial Verbalisation)^[40]。本文采用这一归类方法,但是这一归类方法也存在争议,主要的焦点是有大量学者认为CWA与CTA应是并列的一种方法。Penelope Sanderson对认知系统工程学术社群中关于CTA和

CWA的讨论进行了调研,认为认知系统工程领域最广泛的两个研究认知工作的路径是CTA和CWA^[41],两者都有近三十年的历史,两者的起源都和1979年的三里岛核电站事故有密切关系。CWA通常专门用来指一种分析认知工作中操作限制的系统性路径,这一路径的主要贡献者是丹麦Riso国家实验室的Rasmussen和他的同事^[24,29,42]。CTA通常专门指另外一种以关键决策法为主的认知系统分析路径,虽然和CWA的出现和发展有着共同的历史,但是基于不同的理论^[3]。两者又都被归为认知系统工程的方法^[43]。

当一个项目计划使用CTA开展分析和设计时,摆在设计者面前的重要问题是如何选取合适的CTA方法。Hoffman^[44]认为不同的CTA方法各有其优点和缺点,因此,需要整合使用。Roth^[17]经过总结,认为学术界普遍接受的观点是,CTA主要包括两个方面:(1)实践者的知识和策略;(2)工作域的特质(对人产生的认知需求)。

3.1 实践者的知识和策略分析

实践者的知识和策略分析的任务是揭示实践者或好或坏的绩效背后的知识和策略。包括结构化的访谈技术,比如Gary Klein等人开发的关键决策法^[45]、Militello和Hutton开发的应用认知任务分析^[46]、Endsley等人开发的指向目标的任务分析(Goal-Directed Task Analysis)^[47]、Flanagan的关键事件分析技术^[12,48-49]、Joseph Novak的概念图技术(Concept Mapping Techniques)^[4]、心理量表法(Psychological Scaling Methods)^[50-51]、认知田野观察(Cognitive Field Observation)^[52-53]、决策梯(Decision Ladders)^[29]。

文档最完善,使用最广泛的CTA方法是由Gary Klein等人开发的关键决策法^[45,54]和由Rasmussen等人开发的决策梯^[24]。关键决策方法通过一系列结构化的探针,提炼已发生事件的回顾性描述。通过对事件进行多次逐步深入的分析,可以帮助领域实践者明晰他们所经历的挑战,以及他们应对工作要求而使用的知识和认知策略。比如用“what-if”探针(例如,如果一个经验欠缺一些的人会有什么?)展开对认知需求描述的分析。关键决策方法已经成功地应用在了许多场景中,成功溯源了新生儿重症监护室护理^[55]、消防^[31]、海军飞行员决策分析^[56]等领域的专家经验。决策梯是一种被广泛使用的知识和策略分析工具,提供了一种规范化的决策分析建模方法,也就是达成某种目标所需要的知识和信息处理过程^[24,57]。

3.2 工作域特质分析

工作域特质分析的主要任务是分析工作域中的信息需求,包括识别用于定义工作域的目标、意义、限制。典型的工作域分析方法使用一些专门的表示形式来展示分析的输出。以Rasmussen、Vicente为代表的CWA学派在这一领域作出了关键的贡献,CWA分

表 1 按照研究方面分类的 CTA 方法
Tab.1 CTA method classified by research aspect

研究方面	方法
实践者的知识和策略分析	应用认知任务分析(Applied Cognitive Task Analysis) ^[46] 、指向目标的任务分析 (Goal-Directed Task Analysis) ^[47] 、关键事件分析技术 (Critical Incident Analysis Techniques) ^[12,48-49] 、概念图技术 (Concept Mapping Techniques) ^[4] 、心理量表法 (Psychological Scaling Methods) ^[50-51] 、认知田野观察 (Cognitive Field Observation) ^[52-53] 、关键决策方法 (Critical Decision Method)、决策梯 (Decision Ladders) ^[29,57]
工作域的特质分析	抽象层次 (Abstraction Hierarchy) 模型 ^[29] 、分解层次 (Decomposition Hierarchy) 模型 ^[29] 、抽象分解矩阵 (Abstraction-Decomposition Space) ^[29] 、应用工作域分析 (Applied Cognitive Work Analysis) ^[59] 、以工作为中心的设计 (Work-Centered Design) ^[23,60-61]

析体系是目前分析工作域的最重要的一套方法^[3,7]。CWA 所包含的工作域分析方法 (Work Domain Analysis Method) 包括抽象层次模型 (Abstraction Hierarchy Model)、分解层次模型 (Decomposition Hierarchy Model)、抽象分解空间 (Abstraction-Decomposition Space)，这三者是紧密联系的整体，抽象层次模型和分解层次模型的分析结果是抽象分解空间建模的基础^[29,58]。此外，应用工作域分析 (Applied Cognitive Work Analysis) 和以工作为中心的设计 (Work-Centered Design) 也是重要的工作域分析和设计方法，应用工作域分析是一种融合了功能概述网络域表示法的综合设计方法^[59]。以工作为中心的设计方法也在设计过程中融入了影响决策的域目标、特性和限制分析^[23,60-61]。按照研究方面分类的 CTA 方法见表 1。

3.3 方法的选取与集成

Roth^[17]指出，CTA 方法的选取和集成主要依据的是研究对象的特点、分析与研究工作中的实际限制。比如，研究目标是分析采用新技术所带来的影响点 (Leverage Points)，那么田野观察和结构化访谈应该比较有效，因为可以广泛了解认知特点、协作需求和挑战。如果研究是旨在开发支持认知和团队协作的系统，那么工作域分析应该比较好用，工作域分析可以获取和展示工作域的目标和限制，这些构成了人们寻找问题原因，从而成为解决问题的有用信息。如果目标是开发培养熟练工作人员用的培训课程，那么可以获取不同熟练程度工作人员知识和技能的方法，比如关键决策法，或者“Think-Aloud”访谈分析方法最为适合。Roth 和 Patterson 建议^[53]，最好混合使用多种 CTA 方法。Hoffman 和 Lintern 认为^[62]，归根到底，CTA 是一种分析者和实际工作领域的实践者合作的框架，让实际工作领域的实践者明确并且演示他们所掌握的知识，让分析者理解他们的所知所见。最终选择什么样的方法依赖于研究目标和项目的实际限制^[53]。

例如，在多项无人驾驶车辆的人类监督控制 CTA 项目中^[44]，采用混合 CTA 方法，包括四个阶段：生成一个场景任务概述 (Scenario Task Overview)，生

成一套事件流程图，生成情景意识需求，创建关键决策的决策梯。然后根据情景意识需求与支持操作人员的信息需求和知识需求来定义显示需求。在下一代美国海军水面舰艇设计早期开展的子项目中^[19]，研究团队使用半结构化访谈，了解了决策选择和专业领域知识，以及系统目的和约束的问题，然后开发抽象层次模型、交叉关系矩阵和决策梯模型，通过这些 CTA，为信息和控制系统设计、舰桥和作战指挥中心操作人员的任务和角色设计提供支持。在交叉关系矩阵和决策梯模型的基础上，一系列设计原型被开发出来并通过了美国海军有关部门的评估。

总之，如何选取并集成 CTA 方法，主要取决于研究目标的特点、实际场景的限制、研究团队的专业背景和可投入的时间等项目本身的实际情况。不同的方法背后存在着不同的思想和理论体系。在实际案例中，较为常见的是以某个方法为主 (比如关键决策法或者 CWA)，然后再选取一些其他方法作为补充。

4 高速列车 MBT 系统交互界面设计的任务分析方法

高速列车制动试验是为了确保制动系统工作正常，性能稳定而设计的一整套制动系统检测试验。菜单引导制动试验 (Menu Guided Brake Test，简称 MBT) 即司机依据人机交互界面的提示进行试验，完成对制动系统工作状态的确认。MBT 是动车组车辆运营前必须进行的环节，是制动系统故障确认的参考依据，也是使用频度最高的制动试验^[63]。MBT 由司乘人员发起，通过屏幕、手柄与列车制动试验系统进行交互。列车制动试验系统是一个复杂的自动化系统，过程中的每一个步骤，人机交互界面背后的制动试验系统都会进行复杂的自动化过程。因此 MBT 是一个典型的人与智能系统交互。

从上文的分析可以发现，选择并设计哪些 CTA 方法，主要取决于研究目标、实际场景的限制、研究团队的专业背景和可投入的时间等项目本身的实际情况。本文所涉及的研究对象是 MBT 的交互界面的设计，通过与某动车运用所的司机和管理人员的交谈，对规章制度的了解，发现实际调研中存在较多限

制。首先，在司机室观察实际司机的工作状态，对司机进行访谈，寻找潜在的可能导致司机分心，干扰司机操作，给列车带来运营风险的情况；其次，动车运营单位通常属于高度保密和警戒的单位，研究这里的工作，需要较为复杂的审批流程；再次，通过 CTA 得到的改进的新界面设计，其设计原型的实施和验证都较为困难。

由于现场调研的限制，使用模拟驾驶台来模拟现场任务。列车模拟驾驶台可以较真实和完整地模拟列车驾驶的交互过程和界面，装备了较高分辨率的实景显示界面，比如环绕屏幕或虚拟现实系统的驾驶台能给模拟人员带来接近实景的体验。通过给模拟器安装数据记录软件，可以详细记录操作过程。通过集成眼动记录仪，可以研究任务过程中的视觉注意特征。拟集成的高速列车 MBT 系统交互界面设计的任务分析

研究环境，见图 2。该环境以安装在实验室的列车模拟器为基础，列车模拟器装备有 MBT 任务所涉及的集成显示单元（IDU）、CBTC 列控显示器、操作手柄。参与人员佩戴眼镜式眼动仪操作，安装的摄像头录制整个过程。在动车组运营单位非营运环境下，对相关人员进行访谈，梳理领域专家的经验。通过对访谈所得和模拟器的任务过程应用 CTA 方法，获得分析数据。

面对高速列车驾驶场景调研的这些实际情况，结合待选 CTA 的特点，选定四种 CTA 方法：（1）概念图技术；（2）关键决策法；（3）工作域分析法，包括抽象层次建模、分解层次建模，抽象分解空间方法；（4）决策梯。使用 CmapTools 绘制这些方法之间的关系，见图 3。

概念图是一种描述和表示知识的图示^[4]，擅长进

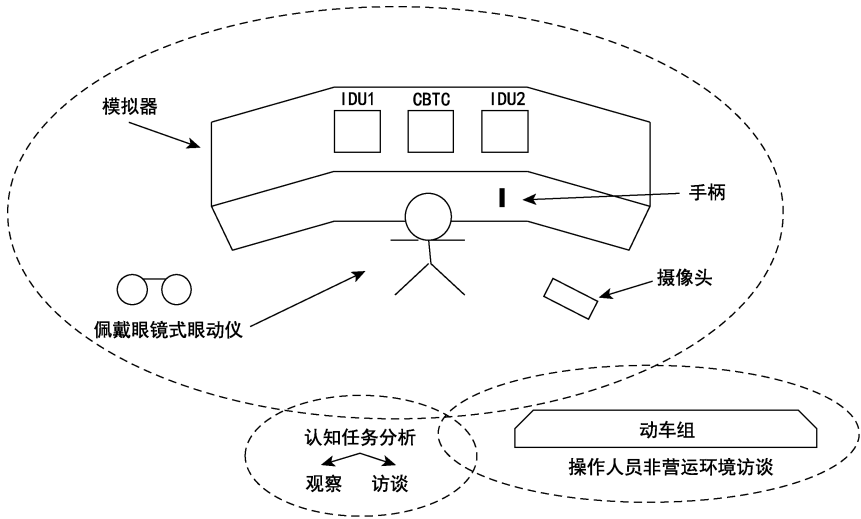


图 2 高速列车 MBT 系统交互界面设计的 CTA 研究环境
Fig.2 CTA research environment for the interactive interface design of MBT system for high-speed trains

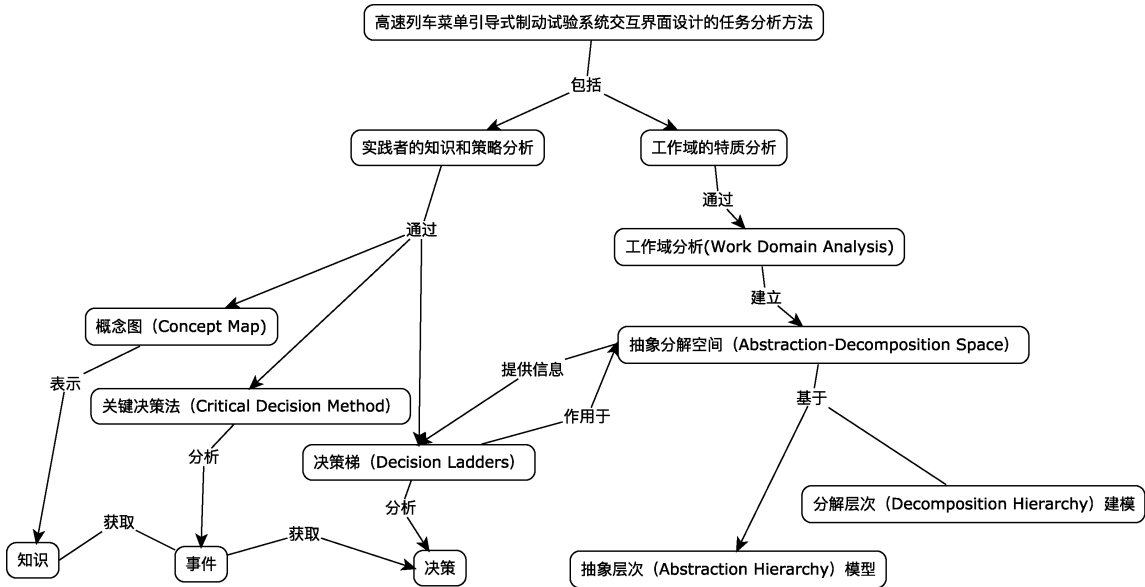


图 3 高速列车 MBT 系统交互界面设计的任务分析方法
Fig.3 Task analysis method of MBT interactive interface design for high-speed train system

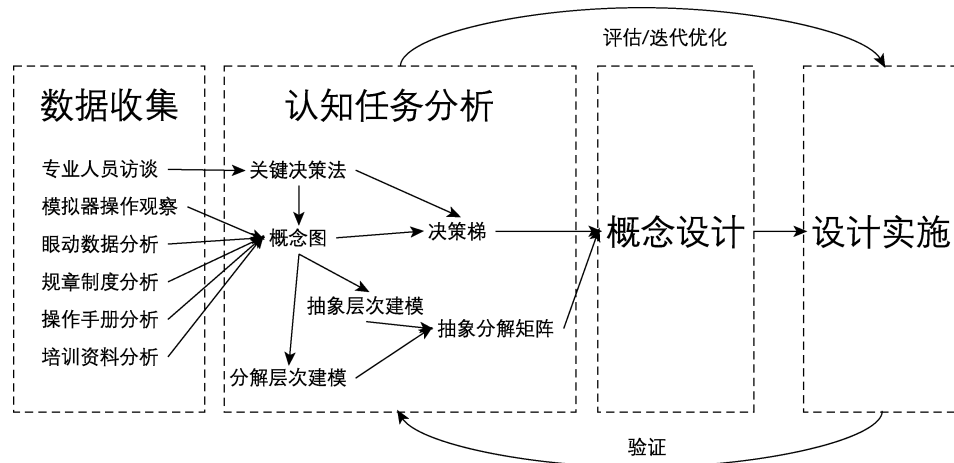


图 4 基于 CTA 的高速列车 MBT 人机交互界面设计路径
Fig.4 Design approach of high-speed train MBT human-computer interactive interface based on CTA

行知识整理。使用概念图从规章制度、标准、技术文档、观察和访谈中获取知识，有利于分析人员了解这一专业领域，为其他分析的开展打下基础^[4]。

关键决策法是一种基于访谈法的知识提炼方法，是使用最多的 CTA 方法之一^[40]。关键决策法使用一系列认知探针识别人们的情景评估和在其意外事件中的决策。关键决策法通过访谈专业人士，研究自然情境下的判断和决策，从而研究认知^[45]。这里的“专业人士”是一个宽泛的概念，在高速列车 MBT 的 CTA 中，熟练操作模拟器的人员、实际的驾驶员、运营管理人员、相关专家都可以归为不同专业级水平的专业人士。在实际限制和模拟器环境下，主要研究模拟器操作人员，辅以实际的驾驶员、运营管理人员等专业人士。通过关键决策法，可以获取操作人员评估和决策等与认知行为相关的知识和过程。

工作域分析是 CWA 学派最重要的 CTA 方法^[29]，高速列车 MBT 的工作域分析的主要内容是抽象层次建模和分解层次建模，最后形成抽象分解空间。其中抽象层次建模是重点，也是难点。工作域分析的结果是为高速列车 MBT 工作任务建立一个类似于“地图”的模型。建模的结果以抽象分解空间的形式表示，为决策梯的分析提供信息。

决策梯是由 Rasmussen 在针对电站操作人员的田野研究中发明的一种建模方法。决策梯的基本思想是将传统的线性信息处理过程从目标处“折弯”，其建模输出的图形如“梯子”。决策梯是一种非常具有弹性的专家行为建模工具，可以通过分析“短路(Shunt)”和“跳跃(Leap)”两种“捷径(Shortcuts)”来对工作中的认知进行建模^[29]。结合此前阶段所得到的分析结果，可以使用决策梯深入分析高速列车 MBT 涉及的判断和决策中的捷径与短路。

CTA 不是目的，而是手段。通过以上四种方法的集成，为系统的设计阶段提供信息，有助于提出设计建议，产出设计概念。然后通过一些微观层面的设计

原则，实施设计。在设计实施后，CTA 的结论可以帮助设计师和开发人员进行设计的评估。这样，一条能设计出满足人类认知需求的交互设计的设计路径就形成了。

基于 CTA 的高速列车 MBT 人机交互界面设计路径见图 4。首先通过工作域，分析和决策梯的建模结果，然后结合列车驾驶界面的标准、人因规范、设计准则，产出概念设计，接下来在设计实施中，通过不断对照认知建模进行评估和改进，在迭代中提升设计质量，从而形成最终的高速列车 MBT 的交互界面设计。

5 结语

CTA 作为一种在实践中不断总结和发展来的认知行为研究方法，在三里岛核电站事故之后形成了独特的理论和方法体系，在复杂智能系统的界面设计中被广泛采用，积累了广泛经验，也有许多成功案例。CTA 为当今包括智慧列车、自动驾驶汽车等正迅速发展的智能系统人机交互设计领域提供了一种可选的正向设计路径，这种设计路径的主要特点是在概念设计之前引入 CTA，并以 CTA 为核心进行认知建模、设计评估和迭代。这一路径的关键是根据目标研究领域的实际限制进行 CTA 方法的集成。

参考文献：

- [1] 路甬祥, 陈鹰. 人机一体化系统与技术立论[J]. 机械工程学报, 1994, 30(6): 1-9.
LU Yong-xiang, CHEN Ying. Discussion on Man-machine Integration System and Technology[J]. Journal of Mechanical Engineering, 1994, 30(6): 1-9.
- [2] HUTTON R J B, MILLER T E, THORSEN M L. Handbook of Cognitive Task Design[M]. London: Lawrence Erlbaum Publishers, 2003.

- [3] HOFFMAN R R, MILITELLO L G. Perspectives on Cognitive Task Analysis: Historical Origins and Modern Communities of Practice[M]. New York: Psychology Press, 2009.
- [4] CRANDALL B, KLEIN G A, HOFFMAN R R. Working Minds: a Practitioner's Guide to Cognitive Task Analysis[M]. Cambridge: MIT Press, 2006.
- [5] KLEIN G, PHILLIPS J K, RALL E L, et al. A Data/Frame Theory of Sensemaking[C]. New York: Proceedings of the Sixth International Conference on Naturalistic Decision Making, 2007.
- [6] ZACHARY W, HOFFMAN R, CRANDALL B, et al. "Rapidized" Cognitive Task Analysis[J]. IEEE Intelligent Systems, 2012, 27(2): 61-66.
- [7] MILITELLO L G, HOFFMAN R R. The Forgotten History of Cognitive Task Analysis[J]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2008, 52(4): 383-387.
- [8] TAYLOR F W. The Principles of Scientific Management[M]. New York: Harper & BROTHERS, 1911.
- [9] GILBRETH F B. Motion Study[M]. New York: Van Nostrand, 1911.
- [10] GILBRETH F B, GILBRETH L M. Fatigue Study[M]. New York: Macmillan, 1919.
- [11] GALLAGHER J P. Cognitive/Information Processing Psychology and Instruction: Reviewing Recent Theory and Practice[J]. Instructional Science, 1979, 8(4): 393-414.
- [12] KLEIN G A, CALDERWOOD R, MACGREGOR D. Critical Decision Method for Eliciting Knowledge[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1989, 19(3): 462-472.
- [13] GORDON S E, SCHMIERER K A, GILL R T. Conceptual Graph Analysis: Knowledge Acquisition for Instructional System Design[J]. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 1993, 35(3): 459-481.
- [14] KLEIN G, MILITELLO L. Some Guidelines for Conducting a Cognitive Task Analysis[C]. Bingley: Advances in Human Performance and Cognitive Engineering Research, 2001.
- [15] SCHRAAGEN J M C. Cognitive Task Analysis[M]. North Atlantic Treaty Organization (NATO), 2000.
- [16] HOWELL W C, COOKE N J. Training the Human Information Processor: a Look at Cognitive Models[C]. San Francisco: Training and Development in Work Organizations: Frontiers of Industrial and Organizational Psychology, 1989.
- [17] ROTH E M. Uncovering the Requirements of Cognitive Work[J]. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2008, 50(3): 475-480.
- [18] KLINGER D W, GOMES M E. A Cognitive Systems Engineering Application for Interface Design[J]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 1993, 37(1): 16-20.
- [19] BISANTZ A M, ROTH E, BRICKMAN B, et al. Integrating Cognitive Analyses in a Large-scale System Design Process[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2003, 58(2): 177-206.
- [20] BURNS C M, BISANTZ A M, ROTH E M. Lessons from a Comparison of Work Domain Models: Representational Choices and Their Implications[J]. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2004, 46(4): 711-727.
- [21] SALAS E. Linking Expertise and Naturalistic Decision Making[M]. London: Psychology Press, 2001.
- [22] WATSON M O, SANDERSON P M. Designing for Attention with Sound: Challenges and Extensions to Ecological Interface Design[J]. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2007, 49(2): 331-346.
- [23] ROTH E, STILSON M, SCOTT R, et al. Work-centered Design and Evaluation of a C2 Visualization Aid[J]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2006, 50(3): 255-259.
- [24] STANTON N A, SALMON P M, WALKER G, et al. Cognitive Work Analysis: Applications, Extensions and Future Directions[M]. Boca Raton: CRC Press, 2018.
- [25] YETI LI, CATHERINE M. BURNS. Modeling Automation with Cognitive Work Analysis to Support Human-automation Coordination[J]. Journal of Cognitive Engineering and Decision Making, 2017, 11(4): 299-322.
- [26] PAPAUTSKY E L, DOMINGUEZ C, STROUSE R, et al. Integration of Cognitive Task Analysis and Design Thinking for Autonomous Helicopter Displays[J]. Journal of Cognitive Engineering and Decision Making, 2015, 9(4): 283-294.
- [27] STEIN M, SANDL P. Information Ergonomics: a Theoretical Approach and Practical Experience in Transportation[M]. Berlin: Springer, 2012.
- [28] NAIKAR N, SANDERSON P M. Evaluating Design Proposals for Complex Systems with Work Domain Analysis[J]. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2001, 43(4): 529-542.
- [29] VICENTE K J. Cognitive Work Analysis: toward Safe, Productive, and Healthy Computer-Based Work[M]. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 1999.
- [30] NAIKAR N. Beyond Interface Design: Further Applications of Cognitive Work Analysis[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2006, 36(5): 423-438.
- [31] KLEIN G, WOLF S. Decision-centered Training[J]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 1995, 39(20): 1249-1252.
- [32] SCHAAFSTAL A, SCHRAAGEN J M, VAN BERL M. Cognitive Task Analysis and Innovation of Training: The Case of Structured Troubleshooting[J]. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2000, 42(1): 75-86.
- [33] NAIKAR N, PEARCE B, DRUMM D, et al. Designing Teams for First-of-a-Kind, Complex Systems Using the Initial Phases of Cognitive Work Analysis: Case Study[J]. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2003, 45(2): 202-217.
- [34] 卞婷, 薛澄岐, 仇岑. 涡轮喷气发动机状态显示生态界面设计[J]. 机械设计与制造, 2010(12): 9-11.
- BIAN Ting, XUE Cheng-qi, QIU Cen. State Display

- Ecological Interface Design for Turbojet Engines[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2010(12): 9-11.
- [35] 王海燕, 卞婷, 薛澄岐. 新一代战斗机显控界面布局设计研究[J]. 电子机械工程, 2011, 27(4): 57-61.
WANG Hai-yan, BIAN Ting, XUE Cheng-qi. Layout Design of Display Control Interface for a New Generation Fighter[J]. Electronic and Mechanical Engineering, 2011, 27(4): 57-61.
- [36] 赵嫚. 界面设计对行车调度作业绩效的影响[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
ZHAO Man. Influence of Interface Design on Performance of Traffic Dispatching[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.
- [37] 赵嫚, 方卫宁, 穆建成. 地铁调度员工作站人机交互界面设计研究[J]. 铁路计算机应用, 2014, 23(6): 49-54.
ZHAO Man, FANG Wei-ning, MU Jian-cheng. Human-computer Interaction Interface Design of Subway Dispatcher Workstation[J]. Railway Computer Application, 2014, 23(6): 49-54.
- [38] 赵岩. 蒸汽排放系统智能故障诊断方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.
ZHAO Yan. Intelligent Fault Diagnosis Method of Steam Emission System[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2013.
- [39] 宋娜. 生态界面设计研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.
SONG Na. Ecological Interface Design[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2014.
- [40] STANTON N A, SALMON P M, WALKER G H, et al. Human Factors Methods: a Practical Guide for Engineering and Design[M]. Burlington: Ashgate Publishing Company, 2013.
- [41] SMITH P J, HOFFMAN R R. Cognitive Systems Engineering: the Future for a Changing World[M]. Boca Raton: CRC Press, 2018.
- [42] BISANTZ A M, BURNS C M. Applications of Cognitive Work Analysis[M]. Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [43] BISANTZ A M, BURNS C M, FAIRBANKS R J. Cognitive Systems Engineering in Health Care[M]. Boca Raton: CRC Press, 2015.
- [44] HOFFMAN R R, ADAMS J A, BISANTZ A, et al. Comparing, Merging, and Adapting Methods of Cognitive Task Analysis[J]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2009, 53(4): 187-191.
- [45] KLEIN G A, CALDERWOOD R, MACGREGOR D. Critical Decision Method for Eliciting Knowledge[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1989, 19(3): 462-472.
- [46] MILITELLO L G, HUTTON R J B. Applied Cognitive Task Analysis (Acta): a Practitioner's Toolkit for Understanding Cognitive Task Demands[J]. Ergonomics, 1998, 41(11): 1618-1641.
- [47] ENDSLEY M R, BOLTÉ B, JONES D G. Designing for Situation Awareness: an Approach to User-centered Design[M]. London: Taylor & Francis, 2003.
- [48] FLANAGAN J C. The Critical Incident Technique[J]. Psychological Bulletin, 1954, 51(4): 327-358.
- [49] DEKKER S, DEKKER S. The Field Guide to Understanding Human Error[M]. Aldershot: Ashgate, 2006.
- [50] COOKE N J. Varieties of Knowledge Elicitation Techniques[J]. International Journal of Human-computer Studies, 1994, 41(6): 801-849.
- [51] COOKE N J, SALAS E, CANNON-BOWERS J A, et al. Measuring Team Knowledge[J]. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2000, 42(1): 151-173.
- [52] WOODS D D, HOLLNAGEL E. Joint Cognitive Systems: Patterns in Cognitive Systems Engineering[M]. Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [53] MONTGOMERY H, LIPSHITZ R, BREHMER B. How Professionals Make Decisions[M]. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2005.
- [54] HOFFMAN R R, CRANDALL B, SHADBOLT N. Use of the Critical Decision Method to Elicit Expert Knowledge: a Case Study in the Methodology of Cognitive Task Analysis[J]. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 1998, 40(2): 254-276.
- [55] CRANDALL B, GETCHELL-REITER K. Critical Decision Method: a Technique for Eliciting Concrete Assessment Indicators from the Intuition of NICU Nurses[J]. Advances in Nursing Science, 1993, 16(1): 42-51.
- [56] DENIHAN M B. Decision Making in Naval Aviation: Contextual Factors Influencing Cue and Factor Salience[J]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2007, 51(4): 333-337.
- [57] MOSIER K L, FISCHER U M. Judgment and Decision Making by Individuals and Teams: Issues, Models, and Applications[J]. Reviews of Human Factors and Ergonomics, 2010, 6(1): 198-256.
- [58] RASMUSSEN J. Information Processing and Human-machine Interaction: an Approach to Cognitive Engineering[M]. New York: North-Holland, 1986.
- [59] HUTTON R J B, MILLER T E, THORSEN M L. Decision-centered Design: Leveraging Cognitive Task Analysis in Design[M]. Handbook of Cognitive Task Design, 2003.
- [60] EGGLESTON R G. Work-Centered Design: a Cognitive Engineering Approach to System Design[J]. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2003, 47(3): 263-267.
- [61] SCOTT R, ROTH E M, DEUTSCH S E, et al. Work-centered Support Systems: a Human-centered Approach to Intelligent System Design[J]. IEEE Intelligent Systems, 2005, 20(2): 73-81.
- [62] ERICSSON K A. The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2018.
- [63] 程宏明, 章阳, 华晶, 等. “复兴号”中国标准动车组制动试验设计与应用[J]. 铁道机车车辆, 2019, 39(2): 31-35.
CHENG Hong-ming, ZHANG Yang, HUA Xiao, et al. Brake Test Design and Application of “Fuxing” Chinese Standard EMU[J]. Railway Rolling Stock, 2019, 39(2): 31-35.