沉浸式分析中的人为因素

Yi Li* Kadek Satriadi† Jiazhou Liu‡维也纳工业大学 莫纳什大学 莫纳什大学

Anjali Khurana§西蒙弗雷泽大学

Zhiqing Wu¶香港科技大学（广州）

Benjamin Tag‖新南威尔士大学

Tim Dwyer**莫纳什大学

arXiv:2601.11365v1 [cs.HC] 16 Jan 2026

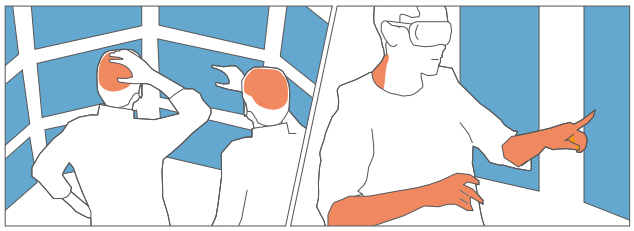

图 1：本次研讨会将深入探讨沉浸式分析应用所涉及的认知层面（如左图中用户身上的红色部分所示）和物理层面（如右图中的红色部分所示），包括如何更好地测量相关因素。

摘要

“沉浸式分析”（IA）这一术语提出至今已有十年，该领域的研究热度依然不减。该领域的研究人员通过多篇论文、综述和书籍，积累了有关如何利用新兴的沉浸式空间显示与交互技术开展意义建构任务的实践知识和概念性知识。然而，缺乏真正符合人体工学的身心技术，以及缺乏针对这些技术的标准化、以人为中心的验证方案，仍是实用型交互式分析系统在普适应用中获得广泛认可的一大障碍。在多场会议举办的一系列沉浸式分析研讨会基础上，本次研讨会旨在探索新方法，并建立从人为因素 视角评估沉浸式分析系统的标准实践。我们将汇集沉浸式分析领域的研究人员与从业者，深入探讨这些人为因素——包括认知因素和身体功能，以及行为与表现——了解它们如何影响沉浸式分析技术与应用的设计和部署，并为未来研究提供参考。

索引词： 沉浸式分析，人的因素，认知与感知，身体功能与疲劳

1 引言

沉浸式分析（IA）领域的理念源于这样一种观点：将数据带入用户周围空间的工作环境（或协作情境中的用户）能够促进有效且引人入胜的意义建构活动 [7]。新设备不断发展并陆续发布例如苹果的 Vision Pro、Meta 头显（如 Quest 3 和 3s）及眼镜（如 Orion 眼镜）、Pico 的 Pico4 Ultra、Varjo 的 XR 4 等，这一趋势表明 IA 的未来前景向好，采用 IA 的技术壁垒也在逐渐降低。然而，我们对 IA 中人为因素的理解——也就是人类处理沉浸式环境中所呈现信息的能力——却落后于相关硬件的快速发展。

交互式分析应用中的人为因素——包括认知和身体功能、行为及表现——仍存在有待解答的研究问题。迄今为止，我们见证了该领域的重要里程碑，包括但不限于一本教科书 [25]，对交互式分析和情境分析（利用增强现实将信息置于真实世界环境中的交互式分析）的综述 [11, 32, 18,26, 19, 27, 4]，对挑战和研究议程的梳理[28, 9]，以及有关图形感知的研究结果[30]。然而，正如近期的一篇综述所示 [26]，并且一篇重大挑战论文也曾提及 [9]，我们尚未开始探索交互式分析的理论层面。显而易见，与“为什么某种技术有效”相比，“哪种技术有效”这一类议题出现得更频繁，尤其是在思考用户认知和物理因素的作用时。鉴于人们日益关注对交互式分析技术进行超越表现层面的测量，例如记忆 [23, 24, 12, 13]，、学习 [15]，、身体触及范围和力量 [31, 20]，以及身体疲劳 [6, 22, 21]，，现在正是界定交互式分析中的相关人为因素，并明确应如何测量这些因素的恰当时机。

本次研讨会旨在为这一领域作出贡献，制定一份路线图，探索如何理解人们与沉浸式内容交互时的特征，从而优化沉浸式分析系统的设计，并确定新的机遇与应用。我们将结合同步与异步环节，以及现场讨论，汇聚来自不同背景、拥有多元专业知识的研究人员。参与者将来自沉浸式分析及相关领域，包括交互设计、数据可视化、虚拟现实、增强现实、生物力学、具身认知等，为讨论带来广泛多元的观点。

通过促进专家之间的跨学科合作，本次研讨会将为明确关键的人为因素奠定基础，并建立稳健的方法，用于衡量和优化用户与沉浸式分析系统的交互。

2 以往研讨会

本次研讨会将以往届沉浸式分析研讨会讨论的主题为基础，具体如下。

1. ACM ISS 2016 [3]，沉浸式分析：探索数据分析领域未来的交互与可视化技术。现实世界可视分析、协作、混合二维和三维、交互可供性、技术演进、应用领域、平台和工具包。

2. IEEE VIS 2017 [1]，沉浸式分析：探索用于数据分析的未来可视化与交互技术。不断变化的技术与场景、混合二维和三维、沉浸式可供性、协作、物理与切实可感的可视化、交互技术、现实世界中的交互式分析及其应用。

*电子邮箱：yi.5.li@tuwien.ac.at

†电子邮箱：kadek.satriadi@monash.edu

‡电子邮箱：joe.liu@monash.edu §电子邮箱：anjali.khurana@sfu.ca

¶电子邮箱：zwu755@connect.hkust-gz.edu.cn‖电子邮箱：benjamin.tag@unsw.edu.au **电子邮箱：tim.dwyer@monash.ed

3. ACM CHI 2019 [2], 沉浸式分析的交互设计与原型设计。 聚焦于原型设计与设计研讨环节。4. ACM CHI 2020 [8], 构想沉浸式分析的未来生产力。面向交互式分析的高效用户界面（例如，用户生产力、多模态输入、协作式分析、用户与场景、情境化与空间分析、评估）。5. ACM ISS 2022 [14], 沉浸式分析空间与表面研讨会。 探索沉浸式环境中平面交互可供性与空间交互可供性之间的优势及应用。6. ACM CHI 2022 [10], 沉浸式分析 *2.0*：空间化与具身化意义建构。该研讨会聚焦于理解用于意义建构与分析的沉浸式平台与非沉浸式平台。主题包括基础研究问题、新的评估方法、人机意义建构、无障碍意义建构、数据实体化、情境化/嵌入式数据可视化，以及沉浸式可视化创作。

每届研讨会都会在快速发展的技术与研究环境中发掘新的机遇。如今，距离 CHI 2022 已过去三年，我们预计在人为因素挑战方面将出现重大创新。以往的研讨会曾将具身交互的心理学和哲学理论作为设计构想的动因进行讨论，但并未对其进行深入探索。

3 研讨会目标

本次研讨会将制定一项研究议程，以拓展迄今为止在交互式分析领域所做的贡献，尤其关注不依赖特定技术的人类能力与局限。本次研讨会的核心成果之一将是一篇系统性综述论文，概述关键研究问题、确定新的应用领域，并提出更完善的评估方法。其他目标包括：

- 确定影响交互式分析有效性的人为因素，包括促进因素与限制因素。
- 拓展我们对交互式分析在身体与认知方面的益处和局限的认识，为交互式分析进一步拓展至更多应用领域提供指导。
- 确定评估这些人为因素的方法，以及克服其局限的技术。

4 个重点视角

研究问题将聚焦于认知和物理层面：

系统设计中的基本认知因素 – 理解认知与感知的作用——包括注意力、记忆、知识、视觉意象、语言、问题解决、推理和决策，以及相关情境——这对改进交互式分析界面设计至关重要。

系统设计中的基本物理因素 – 将身体动作作为输入来与交互式分析系统进行交互，在文献中已得到广泛采用。然而，目前鲜有研究探讨这些输入模态如何支持分析任务。需要进一步考虑的因素包括人体生物力学限制对运动的影响，例如最高速度、准确率以及随时间推移产生的疲劳。

认知因素与物理因素之间的协同效应– 研究者提出了新颖的手势，用于操控多种类型的数据和信息。我们将探讨用户对这类技术的心理模型如何影响其在分析任务中的理解和决策过程，并考量分布式认知理论和动觉记忆效应。

新的评估方法和研究方法– 以往的系统评估依赖性能指标（例如完成时间和准确率）以及研究后的主观偏好。我们需要新的研究议程，利用近期开发的技术来衡量交互过程中的认知和身体成本，从而为系统评估建立更完善的实践。

新颖的交互技术– 提出交互式分析技术时，常会提及认知和身体成本。然而，这些解决方案具体如何提升用户对数据的整体解读、促进洞见生成和决策过程，以及适用于何种类型的分析任务，仍有待解决。

与人工智能的集成 – 新兴的人工智能模型能力，如实时数据处理、预测建模和智能模式识别，可在任务嵌入式情境中提供实时、现场指导。在这类人机交互中，人并非被动的数据接收者，而是会主动解读、质疑信息并据此采取行动。将人工智能与交互式分析相结合，有望通过实现更直观、情境更丰富的复杂数据环境交互，提升情境感知能力。然而，必须谨慎考量认知负荷、感知、注意力和决策过程。人工智能应当支持用户——而非使其不堪重负——以符合人类自然认知和情境需求的方式呈现数据。

自适应用户界面– 数学优化常用于调整界面的可见性和可读性。近期的工具包简化了优化过程，并对这类数学问题的建模进行了抽象。要让创作者能够轻松使用优化方法，就需要将认知因素和物理因素以新的方式表述为适应目标和约束条件。此外，沉浸式分析应用有其独特需求（例如三维和环境约束），必须加以识别和解决。

5 组织者

我们是来自学术界和产业界的研究者与代表，背景多元（即交互式分析、虚拟、增强及扩展现实交互、共情计算和情感计算）。我们还包括曾参与以往交互式分析研讨会的组织者（Satriadi、Liu、Dwyer）。团队成员性别均衡，涵盖资深、中期和早期职业阶段的学者，以及专注于无障碍与包容性虚拟现实、增强现实交互中心智模型的学生。我们来自四大洲的六家不同机构。

Yi Li，博士后研究员，维也纳工业大学奥地利工件计算与用户研究部。她专注于缓解自适应扩展现实交互中的身体疲劳。她近期在 SIGGRAPH 2024 [22] 发表了一种全面的空中交互肩部疲劳模型，并在 CHI 2025 [21]发表了一种开发疲劳感知型扩展现实交互的元技术。

Kadek Satriadi是澳大利亚莫纳什大学具身可视化研究组的讲师，研究方向包括地理空间数据的交互式分析、情境化场景、叙事和实体化。他曾共同组织 ISS 2022 和 CHI 2022 的交互式分析研讨会，并担任 IEEE VIS 2023 技术联合主席。

Jiazhou‘Joe’ Liu，莫纳什大学 EmVis 研究组博士后。他共同组织了 CHI2022“IA 2.0”研讨会。其研究重点是沉浸式可视化中的视图管理、空间认知与技能。近期研究探索人工智能在交互式分析中的应用，涵盖医疗和建筑领域。

Anjali Khurana，加拿大西蒙弗雷泽大学（SFU）博士生。她致力于理解用户在扩展现实中的手势交互以及与大语言模型交互时形成的心智模型，并希望为这些技术的新手开发入门引导和辅助技术。她的论文发表于 ACM CHI 2025 [16], ACM IUI 2024 [17], 和 ACM IMWUT 2023 [15]。

Zhiqing Wu，香港科技大学（广州）博士生，中国。她致力于让虚拟现实交互更具包容性且更易于使用。她在 CHI2024 发表的论文探讨了老年人的虚拟现实交互理解。

Benjamin Tag，悉尼新南威尔士大学高级讲师。研究领域包括人机交互、情感计算和人机交互。他的研究聚焦于评估现实世界和虚拟环境中的心理 [29] 和生理状态 [22] 的技术，着重关注人类情绪、认知心理学和情境感知计算。

活动	时长	描述
欢迎环节	5分钟	组织者进行自我介绍，说明研讨会的动机，并概述各项活动。
主题演讲	30 分钟 + 15分钟问答环节	领域专家主题演讲，通过富有挑战性的问题、引人入胜的故事和示例来定下基调。讨论时间包含在内。
小组讨论1	30 分钟	参与者分成若干小组（每组 5 至 8 人），聚焦于关键的人为因素：认知因素、感知因素、生物力学因素、感觉运动和协作。
休息	*40* 分钟	午餐休息。
视频展示	30 分钟	参与者通过视频和演示展示相关工作，随后安排非正式交流环节，与演讲者互动。
小组讨论 2	40 分钟	第二轮小组讨论，聚焦点轮换至人为因素。各小组制定研究议程涵盖挑战、机遇和目标。以闪电演讲作结。
闭幕	10分钟	回顾各项活动，总结收获，围绕后续步骤、未来研讨会及潜在出版物展开小组讨论。

表1：拟议日程

Tim Dwyer，澳大利亚莫纳什大学计算机科学教授、EmVis Group成员。他从事沉浸式数据可视化研究已有24年，并合著了确立交互式分析（IA）的早期论文（例如 [5]），还在共同组织首届 IA Dagstuhl研讨会后编辑了 IA 专著 [25]。

6 研讨会前期计划

研讨会组织的时间安排如下：

活动	Date
网站和征稿启事发布	2025年5月15日
意向表达截止日期	2025年8月1日
录用通知	2025年8月5日
分享异步材料	2025年10月1日
VIS 2025 研讨会	2025年11月1日

我们将通过专门的网站（第10节）、ACM CHI 和 IEEE VIS 邮件列表，以及组织者的人脉网络和社交媒体征集参与者。我们的网站将向参与者介绍背景和动机，并提供关于研讨会前活动、投稿截止日期和组织者联系方式的一般说明。在后续阶段，研讨会投稿（例如书面陈述和/或视频）也可能在获接收后公开发布在网站上。

6.1 研讨会结构

研讨会将以**线下形式**举行，以确保参与者能够进行高质量的交流。我们计划将线下研讨会的参与人数限制在35人。如果申请人数超过35人，我们将根据投稿的质量和适合度，采用简化的同行评审流程遴选参与者，并视需要从更广泛的社区中邀请评审人员。我们将在 CEUR-WS.org（https://ceur-ws.org/）上发布研讨会论文集。我们将通过讨论聚焦于构思；因此，我们不预期安排论文报告，但会制定后续出版计划和未来规划（见第9节）。我们将根据参与者在注册过程中提出的特殊需求，提供无障碍服务。

7 异步参与

我们将在研讨会前分享一个 Google 云端硬盘文件夹，其中包含所有相关活动资料，包括研讨会简介、日程安排和行为准则。研讨会开始前，参与者将被要求针对我们提出的研究主题和挑战（第 4 节）准备一份简短的书面回复和/或视频回复。回复内容可以包括他们自己的工作案例，或与其专业领域相关的其他研究。提交的回复将存储在安全的 Google 云端硬盘文件夹中，并由研讨会组织者审阅。此活动将以异步方式进行。

8 研讨会主要活动

为促进小组讨论，我们将安排闪电演讲和现场演示。日程安排格式表1参考了以往成功举办 VIS 研讨会的经验（即，在一个**半天**研讨会中安排两场 75 分钟的环节）。

9 成功成果与后续工作

研讨会的成功将通过后续产出、活动和社区建设来衡量，尤其包括：

• 对近期创新、研究挑战以及沉浸式分析研究的短期和长期发展方向进行梳理，并按第 4 节所涵盖的主题分类。这一梳理将为我们今后提交给 ACM CHI 2026 的研讨会提供指导。

• 人工智能研究人员之间建立新的、更紧密的同事网络，尤其是在认知因素和物理层面的主题方面。我们希望这一网络能够促成研究合作与资助合作。

具体成果。

1

立场论文 – 一篇同行评审立场论文，全面报告对沉浸式分析中的人为因素的理解现状，并提出未来研究议程。2. **工作组论文** – 专题讨论组将促成新的合作网络，推动独立研究，并最终围绕这些具体子主题共同署名。3. **未来研讨会** – 深入探讨沉浸式分析中的人为因素这一更专业的子主题，以及其在未来有效的沉浸式分析系统设计、技术准备度和社会准备度方面的应用。

10 征集参与者

欢迎参加我们在 IEEE VIS 2025 举办的“沉浸式分析中的人为因素”研讨会，共同探讨相关主题。本研讨会将聚焦沉浸式分析中的认知因素、感知因素、生物力学因素、感觉运动因素及协作层面，以及这些因素如何影响意义建构和数据理解。尽管沉浸式技术在分析领域展现出潜力，但关于影响沉浸式分析应用有效使用的人为因素，仍有许多悬而未决的研究问题。我们欢迎研究人员、从业者和设计师提交研究论文、早期阶段工作或概念性想法，篇幅为 1 至 4 页（不含参考文献），并采用标准的 TVCG 投稿格式。组织者将评审每篇论文，以确保其质量和相关性。所有录用论文都将汇编成集，并在研讨会前提供给所有参与者，以促进会前交流与讨论。部分论文将在研讨会结束后发表于 CEUR-WS.org 网站，作者可选择是否参与发表。每篇录用稿件至少须有一位作者注册并参加研讨会。活动安排包括

主题演讲、现场演示和小组讨论，内容将围绕多个主题展开，例如系统设计中的基本认知因素、系统设计中的基本物理因素、认知因素与物理因素之间的协同效应、新的评估与研究方法、新颖的交互技术，以及自适应用户界面。有关研讨会的更多详情，请访问 https://sites.google.com/monash.edu/iahf-workshop。

参考文献

[1] B. Bach、M. Cordeil、T. Dwyer、B. Lee、B. Saket、A. Endert、C. Collins 和 S. Carpendale。沉浸式分析：探索面向数据分析的未来可视化与交互技术。载于 IEEE VIS，已接收研讨会论文，第 2, 1 4, 2017 1 卷，第 – 页。B. Bach、[2] M. Cordeil、U. Engelke、B. Ens、M. Serrano 和 W. Willett。沉浸式分析的交互设计与原型设计。载于《2019年CHI计算机系统中的人为因素会议扩展摘要》，第 1 8, 2019 2 – 页。B. Bach、R. Dachselt、S. Carpendale、[3] T. Dwyer、C. Collins 和 B. Lee。沉浸式分析：探索面向数据分析的未来交互与可视化技术。载于《2016年ACM交互式表面与空间国际会议论文集》，第529–533页，2016年。1[4] N. Bressa、H. Korsgaard、A. Tabard、S. Houben 和 J. Vermeulen。情境可视化的现状如何？关于情境性的调查与展望。《IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics》，28 1 107 117, 2021 1 ( ): –。T. Chandler、M. Cordeil、[5] T. Czauderna、T. Dwyer、J. Glowacki、C. Goncu、M. Klapperstueck、K. Klein、K. Marriott、F. Schreiber 和 E. Wilson。沉浸式分析。载于《2015年大数据可视分析（BDVA）》，第 1 8, 2015 10 1109 2015 7314296 3 – 页。doi：. / [6] BDVA.。S. Dai、Y. Li、B. Ens、L. Besancon 和 T. Dwyer。在保留房间尺度可视化情境的同时，借助触觉反馈进行精准的具身数据选择。《IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics》，2024 1 。T. Dwyer、K. Marriott、T. Isenberg、K. Klein、N. [7] Riche、F. Schreiber、W. Stuerzlinger 和 B. H. Thomas。沉浸式分析：简介。载于《沉浸式分析》，第 1 23, 2018 1 – 页。[8] B. Ens、B. Bach、M. Cordeil、U. Engelke、M. Serrano 和 W. Willett。展望沉浸式分析的未来生产力。载于《2020年CHI计算机系统中的人为因素会议扩展摘要》，第 1 7, 2020 2 – 页。B. Ens、B. Bach、M. Cordeil、[9] U. Engelke、M. Serrano、W. Willett、A. Prouzeau、C. Anthes、W. B¨ uschel、C. Dunne 等。沉浸式分析中的重大挑战。载于《2021年CHI计算机系统中的人为因素会议论文集》，第 1 17, 2021 1 – 页。B. [10] Ens、M. Cordeil、C. North、T. Dwyer、L. Besanc.on、A. Prouzeau、J. Liu、A. Cunningham、A. Drogemuller、K. A. Satriadi 等。沉浸式分析2.0：空间化与具身意义建构。载于《CHI计算机系统中的人为因素会议扩展摘要》，第 1 7, 2022 2 – 页。A. Fonnet 和 Y. Prie。沉浸式分析综述。《IEEE [11] Transactions on Visualization and Computer Graphics》，27 2122，2019 3 2101 1 ( ): –。[12] D. Han 和 I. Cho。在沉浸式分析中评估用于三维散点图探索的三维用户交互技术对空间工作记忆的影响。载于《2023年IEEE国际混合与增强现实研讨会（ISMAR）》，第 513 522 2023 1 – 页。IEEE, 。C. [13] Hurter、B. Rogowitz、G. Truong、T. Andry、H. Romat、L. Gardy、F. Amini 和 N. H. Riche。混合现实、虚拟现实、三维与二维数据可视化中的记忆回忆。《IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics》，2024 1 。空间用户交互国际研讨会。沉[14] 浸式分析——iss 2022, 2022 2 。A. Khurana、M. Glueck 和 P. K. Chilana。我只需点击头戴设备吗？新手用户如何发现消费级增强现实应用中[15] 的手势交互。《Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies》，7(4)：1–28，2024。1，2

[16] A. Khurana、X. Su、A. Y. Wang 和 P. K. Chilana。替我完成与和我一起完成：探究用户对功能丰富软件副驾驶中不同自动化范式的感知。2025 2 。A. Khurana、H. [17] Subramonyam 和 P. K. Chilana。基于大语言模型的助手为何以及何时会出错：探究基于提示词的交互在软件求助中的有效性。载于《第29届国际智能用户界面会议论文集》，第 288 303, 2024 2 – 页。M. Kraus、J. Fuchs、B. [18] Sommer、K. Klein、U. Engelke、D. Keim 和 F. Schreiber。基于抽象三维可视化的沉浸式分析：综述。载于《Computer Graphics Forum》，第41卷，第201–229页。Wiley Online Library, 2022 1 。B. Lee、[19] M. Sedlmair 和 D. Schmalstieg。增强现实中的情境可视化设计模式。《IEEE TVCG》，30(1)，2024。doi：10. 1109/TVCG.2023.3327398 1[20] Y. Li、R. Crowther、J. Smiley、T. Dwyer、B. Tag、P. Irani 和 B. Ens。重新审视消耗耐力：量化虚拟现实中肩部疲劳的一种巧妙方法。载于《第29届ACM虚拟现实软件与技术研讨会论文集》，第 1 10, 2023 1 – 页。Y. Li、F. [21] Fischer、T. Dwyer、B. Ens、R. Crowther、P. O. Kristensson 和 B. Tag。AlphaPig：延长扩展现实中交互手势的绝佳方法。arXiv预印本 arXiv: *2503 01011*, 2025 1, 2 。。Y. Li、B. [22] Tag、S. Dai、R. Crowther、T. Dwyer、P. Irani 和 B. Ens。Nicer：用于量化空中交互肌肉疲劳的改进型消耗耐力与恢复指标。《ACM Transactions on Graphics (TOG)》，43 4 1 14, 2024 1, 2 ( ): –。J. [23] Liu、A. Prouzeau、B. Ens 和 T. Dwyer。显示布局对沉浸式环境空间记忆的影响。《Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction》，6 468 488, 2022 1 (ISS): –。J. [24] Liu、K. A. Satriadi、B. Ens 和 T. Dwyer。探究物理地标对增强现实中信息可视化空间记忆的影响。载于《2011年第10届IEEE国际混合与增强现实研讨会》。IEEE，2024。doi：10.13140/RG.2.2. 29017.94563 1[25] K. Marriott、F. Schreiber、T. Dwyer、K. Klein、N. H. Riche、T. Itoh、W. Stuerzlinger 和 B. H. Thomas。沉浸式分析，第11190卷。Springer, 2018 1, 3 。[26] D. Saffo、S. Di Bartolomeo、T. Crnovrsanin、L. South、J. Raynor、C. Yildirim 和 C. Dunne。解析沉浸式分析的设计空间：系统综述。《IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics》，2023 1 。K. A. Satriadi、A. Cunningham、R. T. [27] Smith、T. Dwyer、A. Dro-gemuller 和 B. H. Thomas。近代理情境可视化：使用物理参照物代理物扩展情境可视化模型。载于《计算机系统中的人为因素会议论文集》，2023 10 1145 3544548 3580952 1 。doi：. /。[28] R. Skarbez、N. F. Polys、J. T. Ogle、C. North 和 D. A. Bowman。沉浸式分析：理论与研究议程。《Frontiers in Robotics and AI》，6：82，2019。1[29] B. Tag、A. W. Vargo、A. Gupta、G. Chernyshov、K. Kunze 和 T. Din-gler。持续警觉度评估：使用眼电图眼镜在真实环境中以非侵入方式监测疲劳程度。载于《计算机系统中的人为因素会议论文集》，2019年。doi：10.1145/3290605.3300694 2[30] M. Whitlock、S. Smart 和 D. A. Szafir。沉浸式分析中的图形感知。载于《2020年IEEE虚拟现实与 *3* 616 625 2020 1 D用户界面会议（VR）》，[31] 第–页。IEEE, 。Z. Wu、D. Wang、S. Zhang、Y. Huang、Z. Wang 和 M. Fan。致力于让虚拟现实（VR）更包容老年人：探究衰老效应对虚拟现实中目标选择与操控任务的影响。载于《CHI计算机系统中的人为因素会议论文集》，第 1 17, 2024 1 – 页。Y. Zhao、J. Jiang、Y. Chen、R. Liu、Y. [32] Yang、X. Xue 和 S. Chen。元宇宙：来自图形学、交互与可视化的视角。《Visual Informatics》，6(1)：56–67，2022。1