

审稿意见一：本研究通过构建移动导航测量任务，考察了导航模式、比例尺两个设计因素对不同性别被试导航绩效的影响，并提出移动导航因素对空间知识学习和寻路绩效的影响是有条件的，研究有一定的理论和应用价值。论文总体上思路清晰，方法合理，但在以下方面建议完善：

- 1、研究一作为后续实验研究的基础，单独作为一个研究，但没有讲清楚其创新价值。建议在研究一种就采用对比方式，讲清楚现有的测量任务是什么？问题是什么？哪些测量任务是本研究创新性工作？为什么要这么设计？优势在哪里？虽然这部分作者在讨论部分有所分析，但表述得不够清楚。另外在前面研究前言或研究内容部分还是需要有一定的说明，避免显得论文目标不清晰。**

回复：感谢您的建议，已在文章研究一部分补充了研究一的创新价值，并与前人研究进行了对比。“研究 1 的虚拟环境空间知识测量对杨林腾(2020)研究结果进行了筛选与改进。杨林腾(2020)共测试了 7 项空间知识任务：画地图地标、地标辨认、地标转向、画地图路线、画地图整体、路线整合，角度差，但因因子分析结果并不符合假设，主要因为画地图（地标/路线/整体）任务归类效果较差。该任务要求被试描述环境中的地标、路线、地图信息，主试分别对描述情况打分。这种测量方式指导语不明确，任务难度较大。因此，本研究首先对画地图路线任务进行了优化，仅要求被试绘制路线内容，使画图更具有针对性，降低任务难度。在路线任务中补充了路线序列任务(Hilton et al., 2023)，该任务可以有效测量被试对地标位置关系与路线信息的学习。其次，本研究删除了画地图（地标/整体）任务，在地标任务上保留了广泛使用的地标辨认与地标转向任务，在整体任务中保留了常见的路线整合与角度差任务(Yang & Merrill, 2022)。”

- 2、在研究问题上，前言部分没有讲清楚为何要将地图模式和比例尺两个因素进行联合，“本研究旨在了解导航因素对寻路绩效和空间知识学习的影响，探究哪种导航组合将促进空间知识学习。在 10 条路线的练习中，增强用户自发寻路与主动获取空间知识的能力。”这里的表述过于笼统，探究导航组合的意义是什么，空间知识学习与寻路绩效之间是否有相互影响，理论假设是什么，为什么需要考察交互作用，这些关键问题均需要明确分析。而且本句话的后半句话也不通顺。**

回复：感谢您的建议，(1)已在前言部分补充了结合地图模式与比例尺的意义。“此外，导航辅助可视化也对个体加工环境信息起重要作用，寻路辅助可视化呈现自然寻路视角与邻近环境信息，有利于个体寻路并建立基于自我-物体关系的自我中心参照框架(Burgess et al., 2002; Burgess, 2006; He et al., 2019; Ruginski et al., 2019)。反之，空间学习辅助可视化通过呈现大范围地图以及稳定的外部空间结构支持空间布局学习，进而建立基于物体-物体空间关系的环境中心参考框架(Münzer et al., 2012; Bicanski & Burgess, 2018; Bottini & Doeller, 2020)。……鉴于导航模式、比例尺大小与个体空间编码方式密切相关，本研究假设当导航因素组合有利于个体建立一致的空间参考框架时，将促进获取空间知识与提升寻路绩效，减少跨参照框架整合的认知需求。”(2)已在前言补充了空间知识学习与寻路绩效的相互影响与理论假设，“为了全面评估导航因素组合的影响，本文将同时衡量寻路与空间知识两方面绩效。这与空间知识表征理论(Siegel & White, 1975)观点一致：对环境信息的熟悉程度是成功寻路的关键，且个体在寻路过程将持续学习空间知识。综上所述，本研究旨在探究不同导航因素组合对寻路绩效和空间知识学习的影响，在 10 条路线的学习中促进用户掌握空间布局信息。”(3)已在前言补充了探究导航组合交互作用的原因，“鉴于导航模式、比例尺大小与个体空间编码方式密切相关，本研究假设当导航因素组合有利于个体建立一致的空间参考框架时，将促进获取空间知识与提升寻路绩效，减少跨参照框架整合的认知需求。”

- 3、文中多处表述不够清楚，比如“近年来研究者虽尝试探索比例尺的影响，如杨林腾(2020) 将比例尺分成了五个水平(1: 50、1: 100、1: 150、1: 200、1: 250、1: 300)进行探究，**

发现 1: 50、1: 200 两种比例尺对空间知识学习影响显著, 但并未将比例尺作为自变量进行控制(杨林腾, 2020)”, 如果没有将比例尺作为自变量进行控制, 那如何来考察不同比例尺的影响呢?

回复: 感谢您的建议, 已在引言中修改为“近年来研究者虽尝试探索比例尺的影响, 如杨林腾(2020) 将比例尺分成了五个水平(1: 50、1: 100、1: 150、1: 200、1: 250、1: 300) 进行探究, 允许被试在实验中根据需要自由调节比例尺大小, 系统自动记录不同比例尺的使用时间, 发现 1: 50、1: 200 两种比例尺使用时长对空间知识学习影响显著, 但并未将比例尺作为变量控制(杨林腾, 2020)。因此, 本研究选择 1: 50、1: 200 两种比例尺 (大、小) 作为自变量控制。”

4、表 4 形式不够规范, 应加入平均数和标准差等信息。

回复: 感谢您的建议, 已在文章表 4 中补充了平均数与标准差等信息。

审稿意见二: 该论文研究了导航模式和比例尺因素对寻路绩效及空间知识获取的影响, 研究主题具有较强实用价值。同时若能考虑以下几点会更好:

1. 研究 1 从实际工作上是从若干测试任务中筛序了几种任务范式, 摘要中说“研究 1 建立了空间知识分类测量任务”, 表述可在斟酌。

回复: 感谢您的建议, 已将摘要中“研究 1 建立了空间知识分类测量任务”修改为“研究 1 建立了适用于虚拟场景寻路的空间知识分类测量任务”。

2. 引言中第二段, 研究目的表述还需好好再改善。

回复: 感谢您的建议。已对研究目的进行修改。“已有研究多侧重于寻路/空间学习的可视化特征(Ishikawa & Takahashi, 2014; Münzer et al., 2020), 鲜有探讨何种导航因素组合最能促进用户更有效地获取空间知识, 增强自发寻路能力。基于空间参考框架理论(McNamara et al., 2003), 个体依据自身感受对运动空间进行编码。鉴于导航模式、比例尺与空间编码方式密切相关, 本研究假设当导航因素组合有利于个体建立一致的参考框架时, 将促进空间知识掌握, 减少跨参照框架整合的认知需求。为了全面评估导航因素组合的影响, 本文将同时衡量寻路与空间知识两方面绩效。这与空间知识表征理论(Siegel & White, 1975)观点一致: 对环境信息的熟悉程度是成功寻路的关键, 且个体在寻路过程将持续学习空间知识。综上所述, 本研究旨在探究不同导航因素组合对寻路绩效和空间知识学习的影响, 在 10 条路线的学习中促进用户掌握空间布局信息。导航模式上, 本研究将延续前人研究中常用的旋转视角与固定北向上视角(Münzer et al., 2012; Ruginski et al., 2019; Münzer et al., 2020)。早年移动导航设备的呈现范围有限, 近年来研究者虽尝试探索比例尺的影响, 如杨林腾(2020) 将比例尺分成了五个水平(1: 50、1: 100、1: 150、1: 200、1: 250、1: 300)进行探究, 允许被试在实验中根据需要自由调节比例尺大小, 系统自动记录不同比例尺的使用时间, 发现 1: 50、1: 200 两种比例尺使用时长对空间知识学习影响显著, 但并未将比例尺作为变量控制(杨林腾, 2020)。因此, 本研究选择 1: 50、1: 200 两种比例尺 (大、小) 作为自变量控制。本研究还将性别因素纳入分析, 以探究适用于不同性别的最佳导航因素组合”

3. 研究一种这种典型任务的筛选方式, 有何依据?

回复: 感谢您的建议, 已在研究一中补充了典型任务的筛选方式, “研究 1 的虚拟环境空间知识测量对杨林腾(2020)研究结果进行了筛选与改进。杨林腾(2020)共测试了 7 项空间知识任务: 画地图地标、地标辨认、地标转向、画地图路线、画地图整体、路线整合, 角度差, 但因子分析结果并不符合假设, 主要因为画地图 (地标/路线/整体) 任务归类效果较差。该任务要求被试描述环境中的地标、路线、地图信息, 主试分别对描述情况打分。这种测量方式指导语不明确, 任务难度较大。因此, 本研究首先对画地图路线任务进行了优化, 仅

要求被试绘制路线内容，使画图更具有针对性，降低任务难度。在路线任务中补充了路线序列任务(Hilton et al., 2023)，该任务可以有效测量被试对地标位置关系与路线信息的学习。其次，本研究删除了画地图（地标/整体）任务，在地标任务上保留了广泛使用的地标辨认与地标转向任务，在整体任务中保留了常见的路线整合与角度差任务(Yang & Merrill, 2022)。

4.3.4.1 导航地图使用行为中，使用导航的时间是如何记录并统计的？文中希能增加相应说明。

回复：感谢您的建议。(1) 对于使用导航时间的记录说明已在研究 1 实验程序部分补充，“在寻路及返程阶段中，程序将自动记录被试打开导航的时长。”(2) 对于使用导航时间的统计说明，已在研究 2 结果中进行了修改，“导航使用时长的描述性统计结果显示，在整个寻路过程中，被试大约花费 1/5 的时间使用导航，($M = 0.18, SD = 0.06$)。对导航使用时长在不同性别、导航模式、比例尺间进行独立样本 t 检验，发现导航使用时长在这些变量中均存在显著差异 ($ps < 0.006$)，具体数据结果见表 4。”

4. 该研究较多指标没得到预期结论，如何排除是测量任务或测量指标的问题。

回复：感谢您的建议，相关内容已在讨论部分进行补充。本研究未在地标知识与整体知识学习上发现导航因素的影响，这主要与地标知识与整体知识的特征有关。地标知识属于空间知识发展初期，个体在接触环境初期即可获得相关的地标知识，而非依赖于导航软件(Ishikawa & Montello, 2006)，这也与杨林腾(2020)研究结果一致。此外，前人研究发现只有导航可见度等更为直接的视觉因素才会影响地标知识的学习(Lapeyre et al., 2011)，由于本研究主要探讨影响空间表征的导航因素组合，并未对直接的视觉因素进行控制，因此未得到预期结果。整体知识属于空间知识发展后期，形成地图布局知识的能力对个体要求较高，可能存在个体差异，而本研究随机选取被试，并未对个体空间能力如空间认知风格进行控制，未来可以对此进行改进。

在路线知识上，研究结果与假设一致，即导航因素组合允许个体使用一致的参考框架时，促进路线知识学习。路线知识作为地标知识向整体知识的过渡阶段，包含了地标及地标之间的相关决策序列（例如：“在垃圾桶左转”），既可以在刚接触环境发展起来（连续框架理论），也可以随着经验积累逐步发展（主导框架理论），对于空间能力的要求没有整体知识高，但相比地标知识的获取又需要一定的努力，因此更容易受到导航因素影响。并且，本研究发现性别与导航因素共同影响个体空间知识学习。固定模式的地图恰恰与男性的导航策略匹配，可以提供稳定的外部参考框架辅助视角转换(Lawton, 1994; Malinowski & Gillespie, 2001)，因此有利于男性路线知识的获取。女性偏向于依赖路线策略(route strategy)，能够记住在何时何地做出特定的转弯 ((Lawton, 1994; Boone et al., 2018)，旋转模式地图可以减少女性转换个人视角带来的认知负荷以提高空间记忆。由结果可知，当导航因素与个体所需的空间参考框架保持一致时，个体更容易获取、记忆、表征环境空间配置信息。并且这一结果不局限于外部因素，在涉及性别等内部因素时也同样适用。