

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：逐向导航辅助对大尺度环境下空间记忆的影响及改进方法

作者：张艳霞；李晶

第一轮

审稿人 1 意见：

论文综述了逐向导航辅助影响大尺度空间能力的研究进展，提出了新的理论模型，并进一步总结了相关改进方法。整体上，论文主题清晰，逻辑合理，写作规范。下面是几个修改建议。

意见 1：论文主要关注“逐向导航”对“空间记忆”的影响。然而，有些用词有待进一步斟酌。如，“逐向导航”含义模糊，换用“逐向导航辅助”是否更合适？同时，题目中采用了“空间记忆”一词，然而，文中所举的部分研究范式并非一般意义上的空间记忆的测量，而是包括路径整合能力、认知地图能力（如指向任务、地图构建任务、寻路任务）等空间导航或大尺度空间能力的测量。

回应：非常感谢您的评价与建议。“逐向导航辅助”一词确实更合适，这样更能突出本文的主题（重在阐释导航辅助的影响），我们已将题目及文中部分内容的“逐向导航”换成“逐向导航辅助”。文中所列举的研究范式确实不是一般的空间记忆测量，而是大尺度环境中的测量，我们已在题目中增添了“大尺度环境”一词，题目改为：“逐向导航辅助对大尺度环境空间记忆的影响及改进方法”。同时还对文中涉及空间记忆测量的内容也进行了改动（请参见正文 p20，“4.3 未来研究方向”，红色字体部分）。

意见 2：文章语言还需更加精炼严谨，些许口语和表达有误的地方请进行修改。如：1 引言中的“使人们能够在地点之间走新的捷径，走以前从未走过的路线”；2.1 中来回导航任务 (there-and-back navigation tasks) 应为 task；“AR(Augmented Reality)是指将数字信息与实时呈现的现实世界相结合，代表了实时显示的真实内容和虚拟内容的结合，物理环境是个体体验的一部分”读起来不通顺。

回应：感谢您的宝贵建议。引言中的“使人们能够在地点之间走新的捷径，走以前从未走过的路线”已改为“使人们能够发现地点间的捷径，探索新路线”（请参见“1 引言”红色字体部分，正文 p1）。2.1 中“来回导航任务 (there-and-back navigation tasks)”已改为“来回导航任务 (there-and-back navigation task)”；“AR(Augmented Reality)是指将数字信息与实时呈现的现实世界相结合，代表了实时显示的真实内容和虚拟内容的结合，物理环境是个体体验的一部分”已改为“AR(Augmented Reality)是指将数字信息与现实世界相结合，实时呈现虚拟内容和真实内容，其中真实的物理环境是个体 AR 体验的一部分”（请参见正文 p5，第二段，红色字体部分）。

意见 3：作者将逐向导航削弱空间记忆的原因归结为个体原因和与逐向导航相关因素等两个层面，但在具体划分上存在些模糊。如：“使用逐向导航时个体倾向于采用视觉主导的策略，使用纸质地图时倾向于采用空间主导的策略”。这种表述并非个体差异，而是逐向导航本身带来的影响。建议重新思考其分类。

回应：非常感谢您的意见！我们已将“使用逐向导航时个体倾向于采用视觉主导的策略，使用

纸质地图时倾向于采用空间主导的策略”相关表述挪动至“2.2.2 与逐向导航有关的原因”（具体请参见正文 p8、p9，最后一段，红色字体部分）。同时删除了该部分的以下内容：“研究表明长期使用 GPS 移动导航会通过降低心理旋转和空间视角采择能力间接和负面地影响环境学习能力(Ruginski et al., 2019)”，因为该文献在文中已有描述（具体请参见 p15，第二段第 4 行，红色字体部分）。

意见 4: 图 3 所提出的模型，个体因素部分在正文中阐述过少，建议在正文中进行补充。具体而言，正文重点阐述的导航依赖并未出现在模型，而“其他个体因素”则非常模糊。另外，环境可读性在正文中的阐述较少，在模型中出现较为突兀。

回应: 非常感谢您的建议。针对个体因素的影响，我们已经在正文中补充了以下内容：“方向感(Sense of direction)是指对当前方向的感知和确定……”（具体内容请参见正文 p14，红色字体部分）；“GPS 导航依赖”已作为一种个体因素加入了模型；环境易读性在正文中的阐述确实较少，为了使其在模型中更为合理，我们在正文中补充了以下内容：“环境易读性(Environmental Legibility)是指城市景观的明晰程度(Kumar et al., 2022)，包括地标(landmark)、路径(paths)……”（具体请参见正文 p10，红色字体部分）。最后，为了使文章结构更清晰，在“4 小结与展望”部分增添了副标题“4.1 逐向导航辅助对空间记忆的影响模型”、“4.1.1 个体差异在 GPS 逐向导航辅助中的作用”和“4.1.2 逐向导航辅助对空间记忆影响的认知机制”（具体请参见正文 p14，红色字体部分）。

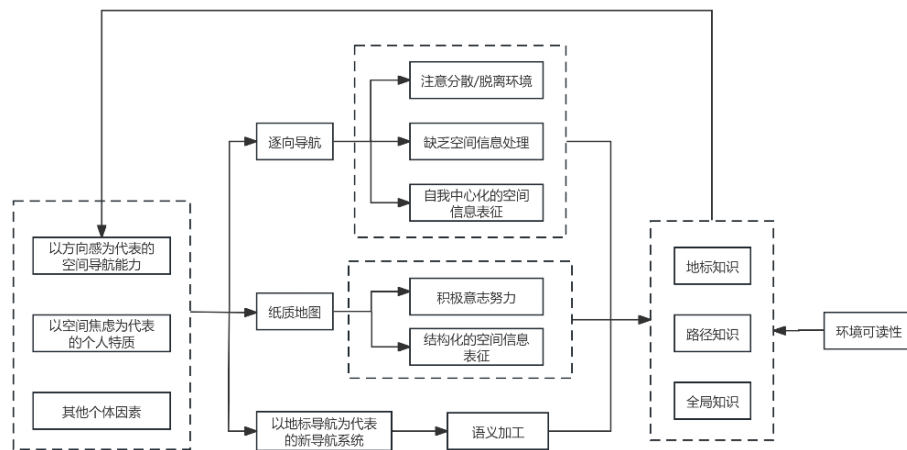


图 3 逐向导航对空间记忆的影响模型（原模型）

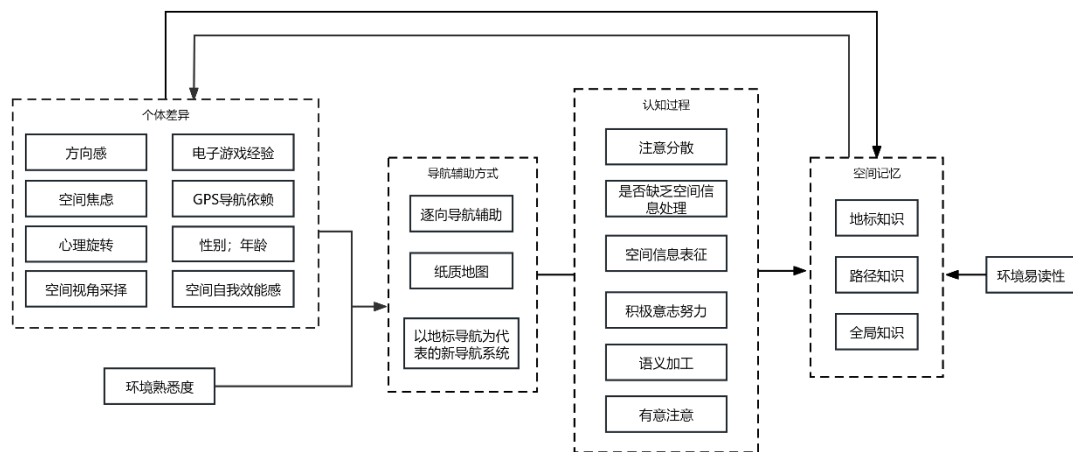


图 3 逐向导航辅助对空间记忆的影响模型（修改后）

意见 5: 建议全文统一环境易读性(Environmental Legibility)的表述, 将环境可读性改为环境易读性。

回应: 感谢您的建议。我们已在全文中将 Environmental Legibility 的表述统一为“环境易读性”。

意见 6:3.2 中“通过让导航系统归还个体探索环境和规划路线的自由来促进空间知识的获取”和“利用增强现实技术改进逐向导航”建议加强其小标题的作用(如加粗), 否则不利于阅读。

回应: 感谢您给出的建议。我们对 3.2 的内容增加了“增强除视觉外的其他感知觉”、“提升导航过程的自主性”和“应用增强现实技术”3 个小标题(请参见正文 p13, 红色字体部分)。如对您的建议理解有误, 烦请指正。

意见 7: 4.2 中神经机制的部分, 当前的表述并未体现相关的神经机制, 建议作者重新组织语言, 突出目前的神经机制是什么。

回应: 感谢您的建议。我们已对该部分内容进行了改动和补充: “探究逐向导航辅助削弱空间记忆的神经机制.....”(具体请参见正文 p21, 第二段, 红色字体部分)。

意见 8: 文中提及的“使用 AR 地图”的研究是否仅呈现增强现实信息, 是否同时呈现地图信息。

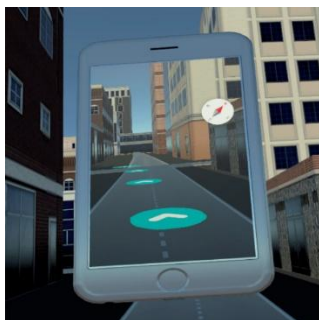
回应: 感谢您的建议。文中的所指的 AR 地图通常只呈现增强现实信息, 并不同时呈现地图信息。但有研究者将“AR 地图加小地图”的组合地图与 AR 地图进行了比较, 结果表明, 在寻路表现方面, 组合地图优于 AR 地图, 二者在空间知识获取上差异不大, 不过组合地图显示在一定程度上有助于全局知识的形成(Qiu et al., 2023)。本文也引用了该研究, 但并未对该研究部分进行论述, 而是对其 2D 移动地图和 AR 地图的结果进行了论述(具体请参见正文 p5, 第三段第 3 行)。以下是文中相关研究中所使用的 AR 地图和组合地图示例:



AR 地图(资料来源:Yount et al., 2022)



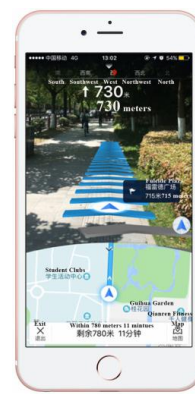
AR 地图(资料来源:Huang et al., 2012)



AR 地图(资料来源:Kuo et al., 2023)



AR 地图(资料来源:Qiu et al., 2023)



组合地图(资料来源:Qiu et al., 2023)

参考文献:

- Huang, H., Schmidt, M., & Gartner, G. (2012). Spatial knowledge acquisition with mobile maps, augmented reality and voice in the context of GPS-based pedestrian navigation: Results from a field Test. *Cartography and Geographic Information Science*, 39(2), 107–116. <https://doi.org/10.1559/15230406392107>
- Kuo, T.-Y., Chang, Y.-J., & Chu, H.-K. (2023). Investigating four navigation aids for supporting navigator performance and independence in virtual reality. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 39(12), 2524–2541. <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2078926>
- Qiu, X., Yang, Z., Yang, J., Wang, Q., & Wang, D. (2023). Impact of AR navigation display methods on wayfinding performance and spatial knowledge acquisition. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 0(0), 1–21. <https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2169524>
- Yount, Z. F., Kass, S. J., & Arruda, J. E. (2022). Route learning with augmented reality navigation aids. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 88, 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.05.019>

意见 9: 在下一个十字路口右转 建议加引号；文中个别句子过长，一逗到底，建议进一步修改；文中存在多处中西文括号混用情况。

回应: 感谢您的建议。我们已在正文中对“在下一个十字路口右转”加上引号（请参见正文 p 5，第三段，红色字体部分）。同时对全文进行了多次检查，对部分长句进行了断句，中西文括号的使用进行了统一，如有遗漏，烦请补充。

意见 10: “提供虚拟全球地标能够促进个体心理地图的形成”中的“全球”应为“全局/整体”？

回应: 感谢您提出的建议。我们找到原文献，认为“virtual global landmarks”译为虚拟全局地标的确更适合，在正文中已更改（请参见正文 p11，第一段，红色字体部分）。

.....

审稿人 2 意见:

意见 1: 本文关注的因素范围其实是比较窄的。比如，GPS 的使用，除了逐项导航方式，还有其它的很多方式（比如，路线规划，时间距离估算，躲避交通惩罚等）。空间记忆是决定导航能力的其中一个因素，但是其它因素，包括 perspective taking 能力，决策能力，也是导航的主要构成。作者需要解释，作为一篇综述文章，为什么只关注这两个因素的某一方面。

回应: 非常感谢您的建议。本文关注的主题面确实较窄，不过我们认为，目前 GPS 的使用在路线导航中应用最为广泛的的就是逐向导航方式，暂时没有发现其他的导航方式在生活中的应用，国外有过一款名为 Walc 的地标导航软件（相关报道请参见：<https://springwise.com/app-allows-users-navigate-using-landmarks/>），不过该软件已下架。研究表明，GPS 导航依赖性与路线规划、时间交通估计及寻找特定服务之间存在显著正相关，但当 GPS 用于逐向导航时，这种相关性尤为显著，这可能表明逐向导航是导致 GPS 导航依赖的主要原因之一(To pete et al., 2024)。此外，相较于 GPS 系统其他使用方式的研究，逐向导航的研究相对更多。因此，本文将重点关注逐向导航。

空间记忆的确只是空间导航能力的某一方面，在文献检索过程中，我们发现大多数相关研究聚焦于逐向导航对空间记忆的影响，只有少部分研究考虑了视角采择能力等其他个体因素的影响（已在正文对这方面内容进行了补充说明，具体请参见正文 p14，红色字体部分），所以本文更关注空间记忆。

参考文献:

Topete, A., He, C., Protzko, J., Schooler, J., & Hegarty, M. (2024). How is GPS used? Understanding navigation system use and its relation to spatial ability. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 9(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s41235-024-00545-x>

意见 2: 已经有一些相关的综述, 且近年发表。作者需要强调和阐明本综述文章和这些综述文章的区别。

(2.1) Messaoudi, M.D.; Menelas, B.-A.J.; Mcheick, H. Review of Navigation Assistive Tools and Technologies for the Visually Impaired. *Sensors* 2022, 22, 7888. <https://doi.org/10.3390/s22207888>

(2.2) A. Mulla, J. Baviskar, A. Baviskar and A. Bhovad, "GPS assisted Standard Positioning Service for navigation and tracking: Review & implementation," 2015 International Conference on Pervasive Computing (ICPC), Pune, India, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/PERVASIVE.2015.7087165.

(2.3) Hussien, N. M., Mohialden, Y. M., Abbas, B. K., & Mohammed, I. S. (2023). Review of an Accurate System Utilizing GPS Technology. *Journal La Multiapp*, 3(6), 265-269. <https://doi.org/10.37899/journallamultiapp.v3i6.746>

回应: 很抱歉论文自检时未能发现已有相关文献综述, 感谢您的建议!

对 (2.1) 的回应: Messaoudi 等人(2022) 重点关注多种导航辅助技术及改进建议, 这些技术旨在帮助视障人群完成寻路。与本文的区别如下: (1) Messaoudi 等人(2022)从定位技术、障碍识别技术和信息传达技术三方面介绍了相关导航技术。其中, 定位技术不仅包括基于 GPS 系统 (GPS-Based System) 的导航辅助技术, 还包括基于紫蜂的系统 (ZigBee-Based System)、基于蓝牙的系统 (Bluetooth-Based System) 和基于 Wi-Fi 的系统 (Wi-Fi-Based System) 等多种技术。而本文探讨的逐向导航则基于 GPS 系统, 研究内容大多基于或类似于 GPS 技术, 主要关注基于 GPS 系统这一单一技术的逐向导航带来的影响 (2) Messaoudi 等人(2022)对多种适用于视障人群的导航工具进行了介绍、比较和讨论, 从视障人群的需求和实际应用等角度出发阐述工具的优缺点和改进建议。而本文主要从正常人的需求出发提出建议, 同时还关注了导航辅助对空间记忆的影响。尽管如此, 该综述与本文也存在相同之处, Messaoudi 等人(2022)在论述信息传达技术时谈及振动触觉反馈、声音反馈等方法, 本文在相关部分也讨论了类似的导航辅助技术 (请参见正文 p7, “3.2.1 增强除视觉外的其他感知觉”)。

对 (2.2) 的回应: Mulla 等人(2015) 对全球定位系统 (GPS) 的运作进行了详尽的论述, 包括 GPS 空间段信号的产生、控制段的监测、GPS 卫星端跟踪过程及相关算法等。与本文的区别在于, 本文以 GPS 在导航软件中的应用为基础, 着重探讨逐向导航方式对空间记忆的影响, 而没有关注 GPS 技术本身。

对 (2.3) 的回应: Hussien 等人(2023)聚焦于 GPS 在多个领域的应用。例如, 借助 GPS, 可以计算地震断裂的移动, 实现精确的路线导航和农田监测。结论指出, GPS 提供的精确位置和监测数据可以在世界任何地方、任何天气下实现可靠的应用。于本文的区别在于, 本文特别关注 GPS 在路线导航中的应用, 即逐向导航辅助对个体获取知识的影响。

意见 3: 图 3 提到的模型, 需要完善。

(3.1) 不同导航方式, 应该对同一批认知因素都有影响, 比如, 逐向导航应该也会影响“积极意志努力”和“结构化的空间信息表征”。

(3.2) 个体差异这一模块和环境可读性这一模块之间的关系方向, 是不是搞反了? 应该是

个人差异会影响个人对导航环境的空间记忆。

(3.3) “以地标导航为代表的新导航系统”，影响的应该不止是“语义加工”，更重要的是，识别环境中的重要地标，促进空间认知地图的建立。

回应：非常感谢您的建议！以下对各个建议的回应：

对(3.1)的回应：不同的导航方式的确应该对多种认知因素都有影响，据此对模型图进行了改动（请参见下图），同时也对模型的解释也有所改动（请参见正文 p17，“4.1.2 逐向导航辅助对空间记忆影响的认知机制”部分，红色字体）。

对(3.2)的回应：本文试图论述的关系方向是从环境易读性指向空间记忆这一模块。个体差异的确会影响个体对环境的空间记忆，不过本文并不是关注整个环境，而是将侧重点放在了环境的易读性上。环境易读性(Environmental Legibility)是指城市景观的明晰程度(Kumar et al., 2023)，包括地标(landmark)、路径(paths)、节点(nodes)、边界(edges)和区域(districts)五个组成部分(Lynch, 1960)，一个易读的城市具有清晰的空间结构和物理形态，使个体能够较为容易地定位和导航，从而形成清晰的认知地图(Taylor, 2009)。研究发现相比于没有内部或外部地标的路径，有内部或外部地标的路径更容易被记住；此外，个体对有地标的节点的记忆比对无地标的节点更准确(Ahmadpoor et al., 2021; Ahmadpoor & Smith, 2020)。因此，环境易读性可能会影响个体获取空间知识。如对您建议的理解有误，烦请指正。

对(3.3)的回应：以地标导航为代表的新导航系统确实不仅仅是促进了语义加工，对显著地标的识别也非常重要，我们决定在模型中加入“有意注意”。地标导航的指示语明确将个体的注意指向了环境中的地标，有意注意使得个体对周围环境信息的加工更深，获取的空间知识更好。（具体请参见正文 p17，“4.1.2 逐向导航辅助对空间记忆影响的认知机制”部分，红色字体）。

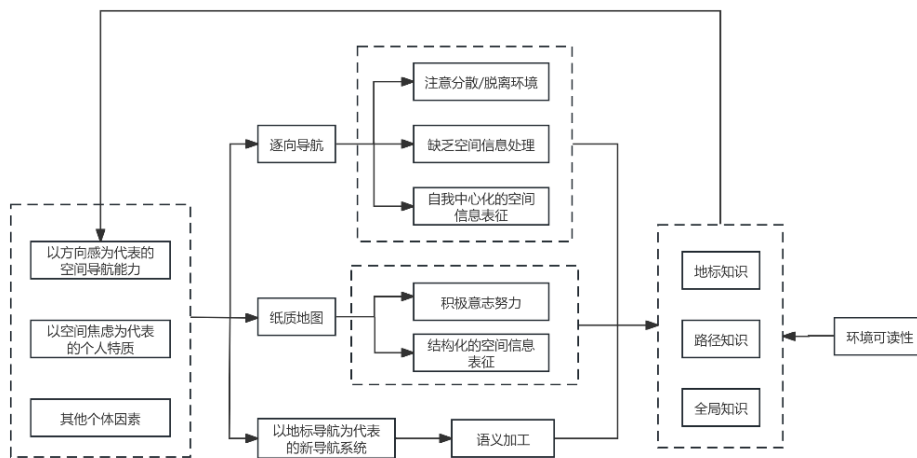


图3 逐向导航对空间记忆的影响模型（原模型）

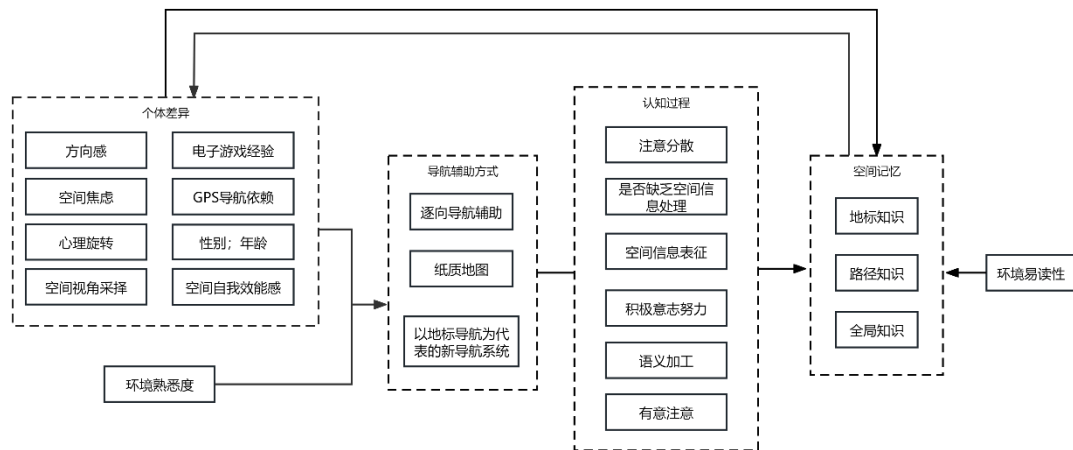


图3 逐向导航辅助对空间记忆的影响模型（修改后）

参考文献：

Ahmadpoor, N., & Smith, A. D. (2020). Spatial knowledge acquisition and mobile maps: The role of environmental legibility. *Cities*, 101, 102700. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102700>

Ahmadpoor, N., Smith, A. D., & Heath, T. (2021). Rethinking legibility in the era of digital mobile maps: An empirical study. *Journal of Urban Design*, 26(3), 296–318. <https://doi.org/10.1080/13574809.2020.1777847>

Lynch, K. 1960. *The Image of the City*. Cambridge Massachusetts: MIT Press.

Taylor, N. (2009). Legibility and aesthetics in urban design. *Journal of Urban Design*, 14(2), 189–202. <https://doi.org/10.1080/13574800802670929>

意见 4：需要对 GPS 系统运用和导航能力之间的因果关系，进行更为深入的阐述。本文所传达的观点是，GPS 系统的使用总体上会削弱个人的导航能力。但是这一点，在学术界是非常有争议的。不清楚哪个因素是原因，哪个因素是结果，还是互为因果。

回应：非常感谢您的意见。本文认为，GPS 导航系统的使用在一定程度上可能削弱个体的空间导航能力，同时也可能存在另一种情况，即经常使用 GPS 系统的个体本身导航能力就不尽人意。具体阐述如下：

一方面，相较于使用纸质地图或直接寻路，尽管实验研究结果存在不同或矛盾之处，但总体而言，GPS 导航的使用可能会在一定程度上削弱个体的某些方面的空间记忆（具体请参见正文 p3，“2.1 逐向导航辅助是否会削弱人的空间记忆？”部分）。另一方面，可能是空间导航能力较差的个体更多地使用和依赖 GPS 导航。这暗示实验研究在被试群体选择上可能一开始就存在偏差，从而导致研究结果往往显示逐向导航不利于个体获取空间知识。部分研究通过回归模型或构建结构方程模型，探讨了方向感、空间视角采择等个体导航能力与 GPS 使用或依赖之间的关系，综合各研究结果来看，这两者之间可能存在互为因果的关系。另外，绝大部分研究基于短期 GPS 导航的影响得出结论，因此，未来需要开展更多的纵向研究，以进一步阐明两者之间的因果关系。考虑到这一方面的内容在正文中的阐述较少，已在正文中补充说明（具体请参见正文 p15，第二段，红色字体部分）。

意见 5：建议展开阐述导航能力的个体差异对 GPS 系统设计的影响，比如 GPS 的设计应该如何针对不同的导航能力的群体。导航能力的个体差异一直以来是空间导航领域研究的重点。

回应：感谢您的建议。我们已在正文中补充以下内容：“设计旨在锻炼空间导航能力的游戏

模式……”（具体请参见正文 p19，第二段，红色字体部分）。

考虑到内容的重复性，删去了原文“4.2 改进逐向导航的建议”部分中的以下内容：“通过促进个体与环境交流互动，减轻移动设备在导航过程中带来的分心影响。例如，设计个体积极参与的导航系统(Brügger et al., 2019)，使个体在寻路任务中积极投入意志努力(Parush et al., 2007)，将注意从旅行效率转向探索环境、欣赏风景(Leshed et al., 2008)，以促进空间记忆的形成。例如，有研究者设计了一个具有游戏化元素(如任务、统计数据 and 社交竞争)的移动应用程序，个体需要主动对环境采取探索行为来发现地图，感受游戏带来的快感，进而强化其空间知识(Schade et al., 2023)。另外，导航系统应当考虑个体的旅行目的——导航效率优先或探索环境优先，如果效率优先，那么逐向导航无疑是最有效的，如果个体有探索环境或发现新路线的兴趣时，提供全局定位和地标信息可以帮助个体探索自己的路线(Kuo et al., 2023)”；删去了原文“4.3 未来研究方向”部分中的以下内容：“一种可能解决的方法是为用户“量身定做”导航模式。充分考虑个体的需求——导航效率优先或探索环境优先，如果追求导航效率，那么逐向导航是最佳的选择(Kuo et al., 2023)，如果想要探索周围环境，那么地标导航等其他类型的导航可能是更好的选择。”

意见 6: 文献总结稍有遗漏。有几篇相关的论文没有被引用到,尤其是最近几年发表的比如:

(6.1) Topete A, He C, Protzko J, Schooler J, Hegarty M. How is GPS used? Understanding navigation system use and its relation to spatial ability. *Cogn Res Princ Implic*. 2024 Mar 19;9(1):16. doi: 10.1186/s41235-024-00545-x. PMID: 38504081; PMCID: PMC10951145.

Dahmani, L., & Bohbot, V. D. (2020). Habitual use of GPS negatively impacts spatial memory during self-guided navigation. *Scientific Reports*, 10, 6310. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62877-0>

(6.2) McKinlay, R. (2016). Technology: Use or lose our navigation skills. *Nature*, 531(7596), 573–575. <https://doi.org/10.1038/531573a>

(6.3) Gardony, A. L., Bruny ́ T. T., Mahoney, C. R., & Taylor, H. A. (2013). How navigational aids impair spatial memory: Evidence for divided attention. *Spatial Cognition & Computation*, 13(4), 319–350. <https://doi.org/10.1080/13875868.2013.792821>

(6.4) Muffato, V., Borella, E., Pazzaglia, F., & Meneghetti, C. (2022). Orientation experiences and navigation aid use: A self-report lifespan study on the role of age and visuospatial factors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1225. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031225>

(6.5) Yan W, Li J, Mi C, Wang W, Xu Z, Xiong W, Tang L, Wang S, Li Y, Wang S. Does global positioning system-based navigation dependency make your sense of direction poor? A psychological assessment and eye-tracking study. *Front Psychol*. 2022 Oct 6;13:983019. doi: 10.3389/fpsyg.2022.983019. PMID: 36275274; PMCID: PMC9582945.

(6.6) Emre Yavuz, Chuanxiuyue He, Christoffer J. Gahnstrom, Sarah Goodroe, Antoine Coutrot, Michael Hornberger, Mary Hegarty, Hugo J. Spiers. Video gaming, but not reliance on GPS, is associated with spatial navigation performance. *Journal of Environmental Psychology*, Volume 96, 2024, 102296, ISSN 0272-4944, <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2024.102296>.

回应：感谢您对我们论文的细致审阅。我们非常重视您提出的文献总结遗漏问题，根据您的建议我们在正文中补充了这些内容。

对(6.1)的回应：文献(Topete et al., 2024)已在正文中引用：“此外，对环境的熟悉程度可能

在方向感.....”（具体内容请参见正文 p16，第三段红色字体部分）；文献(Dahmani & Boh bot, 2020)已在正文中引用：“一项纵向研究显示.....”（具体请参见正文 p15，第一段,红色字体部分）。

对(6.2)的回应：文献(McKinlay, 2016)已在正文中引用：“一种可能是，导航是一种‘用进废退’的技能.....”（具体请参见正文 p15，第一段第 9 行,红色字体部分）。

对(6.3)的回应：文献(Gardony et al., 2013)已在正文中引用：“在一项研究中，被试在虚拟寻路任务中使用口头语音指令.....”（具体请参见正文 p4，第 5 行,红色字体部分）。

对(6.4)的回应：文献(Muffato et al., 2022)已在正文中引用：“随着年龄增长，使用 GPS 导航的可能性降低.....”（具体请参见正文 p16，第二段,红色字体部分）。

对(6.5)的回应：文献(Yan et al., 2022)已在正文中引用：“游戏经验可能有助于缓解 GPS 导航依赖.....”（具体请参见正文 p16，第三段,红色字体部分）。

对(6.6)的回应：文献(Yavuz et al., 2024)已在正文中引用：“使用多元线性回归模型分析了性别.....”（具体请参见正文 p16，第一段第 4 行,红色字体部分）。

第二轮

审稿人 1 意见：作者很好地回答了问题，推荐发表。

审稿人 2 意见：导航能力的个体差异，反映的应该是个体较为稳定的能力，它和某个具体的导航测试中的行为表现不是一个概念，后者还会受到当前场景中的具体因素的影响。后者对应了图（3）模型中的空间记忆的模块。因此在图（3）的模型当中，个体差异这个模块对空间记忆这个模块的影响应该是单方向的。比如，空间记忆模块是不会影响个体的性别和年龄的！基于此，建议作者将个体差异因素分为两类或者三类，一种是不可改变的因素（如年龄和性别），另一种是可被改变的因素（各种空间能力），最后是生活经验相关的（如电子游戏体验）。另外，个体的空间导航能力和某个空间记忆测试中的表现，这是两个不同的概念，不能混为一谈。作者应该在文中对它们进行区别。比如，GPS 的使用也许会降低在当前空间记忆测试中的表现，但也许只有长期的 GPS 使用才会对个体的导航能力产生影响。

回应：非常感谢您的建议。个体本身的空间导航能力和记忆测试任务表现确实不能完全等价。我们认为，当前不充分的空间知识可能会影响个体当前独立导航任务的表现，这在一定程度上能够反映个体当前导航能力的削弱。因此，我们进行了补充说明（具体请参见正文 p16，第一段,褐色字体部分）。基于您的建议，我们在模型中删去了空间记忆模块对个体差异模块的箭头，将个体差异模块分为了三类：稳定的不可变因素、相对稳定的可变因素、个体经验，并在正文中进行了补充（具体请参见正文 p14，第三段，褐色字体部分）。

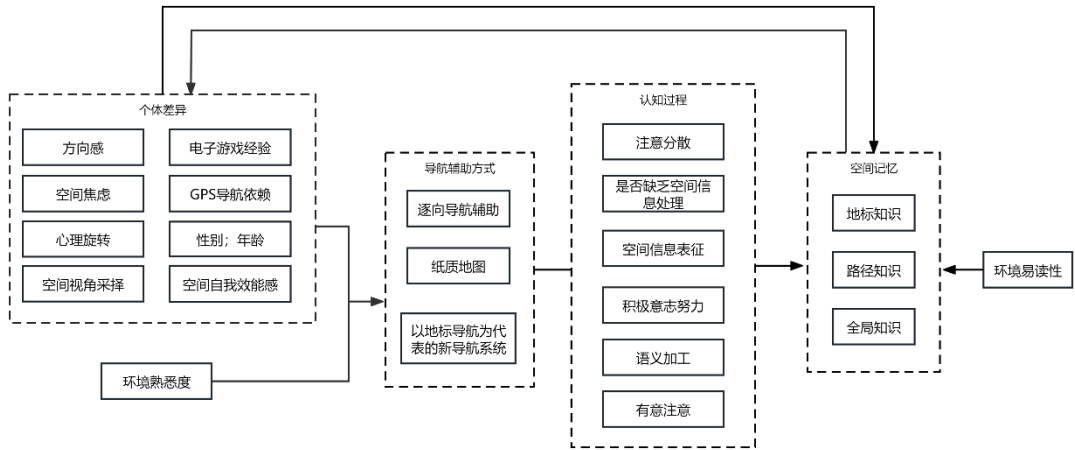


图3 逐向导航辅助对空间记忆的影响模型（修改前）

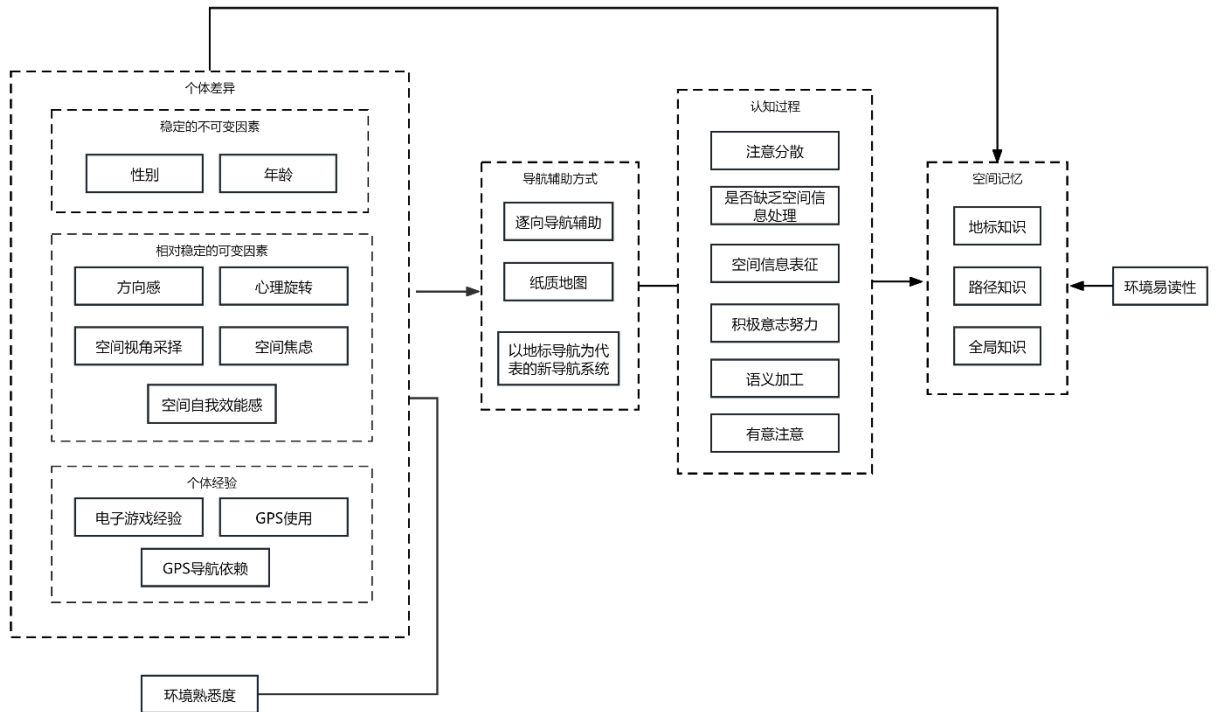


图3 逐向导航辅助对空间记忆的影响模型（修改后）

意见 2：“2.1 逐向导航辅助是否会削弱人的空间记忆”中，总结的比较杂乱。建议根据作者之前提到的不同的空间知识类别，进行归纳总结。

回应：感谢您的意见！由于许多研究在对空间记忆进行测量时，往往会同时测量两种或三种空间知识。为了避免重复论述某一研究结果，因此，“2.1 逐向导航辅助是否会削弱人的空间记忆”是按照以下顺序进行阐述的：①2D 移动地图与直接寻路、纸质地图在空间知识获取上的差异。②2D 移动地图与 AR 移动地图在空间记忆上的差异。③根据三类空间知识进行第一部分进行归纳总结。我们根据您的建议进行了修改，将有关导航效率和空间记忆之间的权衡的内容挪至“4.3 未来研究方向”，从而提高“归纳总结”的内容的一致性（具体请参见正文 p22，褐色字体部分）。同时还修改了写作顺序并增加了部分内容：①2D 移动地图与直接寻路、纸质地图在空间知识获取上的差异。②根据三类空间知识进行对第一部分进

行归纳总结。③2D 移动地图与 AR 移动地图在空间记忆上的差异。④根据三类空间知识进行对第三部分进行归纳总结。（具体请参见正文 p5 、 p7，褐色字体部分）

意见 3: 第 16 页，关于 Yavuz（2024）的结果，还有另外一种理解，那就是使用手机 app 测量到的空间能力，并不能完全真实的反应个体真实的空间导航能力，它还受到了个体电子游戏体验的影响。因此有必要使用更为真实的场景，来测量个体的空间导航能力。

回应: 非常感谢您的意见！我们忽略了实验材料的影响，Yavuz 等人(2024)采用电子游戏测量个体的空间能力，其场景与现实差异较大，同时还会受到电子游戏体验的影响，确实难以完全反应个体的真实的空间导航能力。因此，我们对文中相关内容进行了改进（具体请参见正文 p16，第二段最后一行，褐色字体部分）。

意见 4: “2.2 逐向导航辅助为何会削弱空间记忆？”中的第一部分 2.2.1 个体原因，不是很契合这个部分的主体。相反，个体原因会混淆或者调节逐向导航对空间记忆的影响。建议把这部分删除，或者和之后的个体差异这部分融合。

回应: 非常感谢您的建议！“2.2.1 个体原因”部分确实不太符合“2.2 逐向导航辅助为何会削弱空间记忆？”的主题，并且与后文阐述个体差异的内容存在重复。因此，我们已将该部分内容删去，并将相关内容融合在“4.1.1 个体差异在 GPS 逐向导航辅助中的作用”中（具体请参见正文 p15，第二段第一行，褐色字体部分）。

意见 5: 有些地方用词太随便，建议改进。比如第 4 页“研究要求“，”一项研究“等。

回应: 感谢您的建议。我们通读了全文，对文中用词或语句不通顺的地方再次进行了修改，同时也对全文所有“研究要求”、“一项研究”都进行了删改（第 4 页的修改请参见正文 p 4,褐色字体部分）。

第三轮

审稿人 2 意见: 作者很好地回答了问题，推荐发表。

编委 1 意见: 同意发表。

编委 2 意见: 同意发表。

主编意见: 稿件经过多位专家的审阅，作者进行了认真的修改，达到发表水平，同意发表。