

稿件《时空感知和路标线索对认知地图空间信息的影响》修改说明

第一轮

感谢审稿人对文章提出的宝贵意见！文章已针对审稿人提出的意见做出了详细的修改，力求使文章展现的研究更为全面，语言表达更为流畅。本次对文章的修改集中在以下几部分：

- （1）引言中增加了实证证据，对时空感知与认知地图空间信息之间的关系进行更深入的分析。修改了部分语言，使引言中提出研究问题的部分更具逻辑性。
- （2）对研究设计中描述不清的部分进行了详细修改，更加注重语言的流畅性，以便读者理解。
- （3）整合了数据分析中的数据，增加了表格来清晰的表达数据，使结果看起来更为明了。
- （4）修改了讨论中的部分描述，并增加了对数据结果的讨论。

再次感谢审稿人提出的宝贵意见，使文章更为完善，提高文章的可读性，使文章符合《心理科学》期刊一贯的高标准。以下为详细回应内容。

审稿人 1 意见

文章选题具有一定的实践意义，通过实验的方法探究了时空感知和路标线索对认知地图中空间信息的影响，揭示了认知地图构建中的时空感知特性。但在设计和论述中存在一定问题，关键是数据分析结果没有进行很好的提炼，具体问题如下：

意见 1: 第一，引言中的部分问题提出有些突兀，缺少前人研究的对比以及深入的分析。例如“路径转弯特征影响个体时空感知。然而，以往研究并未说明空间导航中时空感知是否会影响转弯判断，时空感知是否以相同的加工方式影响构建认知地图。”

回应 1: 感谢审稿人的意见。根据审稿人提出的意见，我们在引言部分增加了环境中转弯与时空感知之间关系的相关研究，结合引言已有的部分阐明前人研究中关于时空感知对认知地图空间信息的影响机制并不明晰，据此，提出本研究的研究主题，即探究时空感知对构建认知地图过程中空间信息加工的影响。修改后的内容位于正文 **p2**，具体内容如下：

“个体通过记忆环境路标（包括起点、终点和重要路标）间的相对位置和距离估计构建认知地图，**这些环境特征会影响个体的时空感知**。Riemer 等人(2018)提出个体对持续运动刺

激的时空估计存在非对称的时空交互作用，即空间距离影响运动持续时间估计，而运动持续时间对空间距离估计的影响则相对较弱或不存在。然而，也有研究提供了不同视角。Kaski 等人(2016)的研究指出，个体在导航过程中会结合运动速度与持续时间来估计导航距离，这显示了运动持续时间对空间距离估计的潜在影响。方向判断研究发现，个体对 U 形路线和 L 形路线的导航距离估计和持续时间估计存在显著差异(Brunec et al., 2017)。此外，环境中路线的转弯特征也会影响个体的时空感知。研究表明，人们往往会低估路径导航所需时长，但当环境中存在转弯时，人们可能将转弯处视作空间边界，从而高估导航时间(Bonasia et al., 2016; Brunec et al., 2020)。然而，尚无研究明确指出时空感知是否会影响导航距离判断和转弯判断，以及时空感知是否以相同的加工方式影响个体构建认知地图。根据量级理论(Theory of Magnitude, ATOM)，空间和时间感知信息存在相同加工机制，加工过程遵循共同原则(Walsh, 2003)。此外，Tau 效应(Tau effect)提出刺激间的时间间隔是个体对空间距离长短进行判断的依据(Jones & Huang, 1982)。据此我们推测，在时空感知跨度较长的环境中，个体可能会倾向于高估导航距离和转弯角度。”

参考文献：

- Bonasia, K., Blommestein, J., & Moscovitch, M. (2016). Memory and navigation: Compression of space varies with route length and turns. *Hippocampus*, 26(1), 9-12.
- Brunec, I. K., Ozubko, J. D., Ander, T., Guo, R., Moscovitch, M., & Barense, M. D. (2020). Turns during navigation act as boundaries that enhance spatial memory and expand time estimation. *Neuropsychologia*, 141, 107437.

意见 2：第二，在研究设计中，（1）关于自变量中时空感知长短的选择是否有依据，以及在有路标线索的处理条件下存在路标的个数，文中并未说清楚。

回应 2：感谢审稿人的意见。研究中对自变量时空感知长短的选择基于以下考虑。首先我们考虑了虚拟地图规模，虚拟地图规模的大小参考了 Weisberg(2014)等人设计的虚拟地图。其次我们进行了预实验。根据预实验的反馈，导航时长控制在 1 分钟左右能够保证被试完成任务且不会觉得任务过于简单，另外，我们根据预实验中被试的反馈设置了导航速度，以避免被试因认知负荷较大而无法完成实验任务的情况。我们在文中对时空感知这一变量不同水平的确定也增加了相关描述（正文 p4-5），具体内容如下：

“实验场景参考 Weisberg(2014)等人设计的虚拟地图，如图 1 所示，由两处 90°转弯相连

接的三条路径构成主路线，主路线间由连接路线相连构成完整地图。导航视频分三部分呈现，主路线和连接路线分开呈现。导航时长根据地图路线长度及模拟行走速度设置。”

“本实验采用 2（时空感知跨度：50s 寻路、100s 寻路）×2（路标线索：有、无路标）的混合实验设计。时空感知跨度为组间变量，路标线索为组内变量，有路标条件下共 9 个路标。因变量采取三类指标，分别为离散空间信息指标（路径距离判断任务中的路径长度和路径长度判断偏差）、整合空间信息指标（被试绘制的认知地图中的空间信息，包括路径判断偏差、角度判断偏差）和认知地图绘制准确率。离散空间信息指标与整合空间信息指标均衡量空间信息加工的精确性，认知地图绘制准确率衡量空间信息加工的准确性。”

参考文献：

Weisberg, S. M., Schinazi, V. R., Newcombe, N. S., Shipley, T. F., & Epstein, R. A. (2014). Variations in Cognitive Maps: Understanding Individual Differences in Navigation. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 40(3), 669-682.

意见 3：（2）研究中采用混合实验设计，时空感知为组间变量，路标线索为组内变量，对于组内变量的平衡，文中并未提及，只提到“实验共 4 种处理，被试随机分组，每位被试接受两种处理。”

回应 3：感谢审稿人的意见。组间变量我们采用随机分组形式分组，而组内变量以 ABBA 形式平衡。关于组间变量和组内变量的平衡，我们增加了相关叙述（正文 p5-6），具体内容如下：

“组间变量采取随机分组形式将被试分至 50s 寻路/100s 寻路组。组内变量以 ABBA 形式平衡实验顺序”

意见 4：（3）在图二中呈现的实验流程，在播放导航视频后存在三个任务，分别是路径距离判断、路标序列判断及草图绘制，但文章中只包含了两个任务，与图中的实验流程不符合。

回应 4: 感谢审稿人的意见，已对实验流程图进行了修改（正文 p6），具体流程图如下：

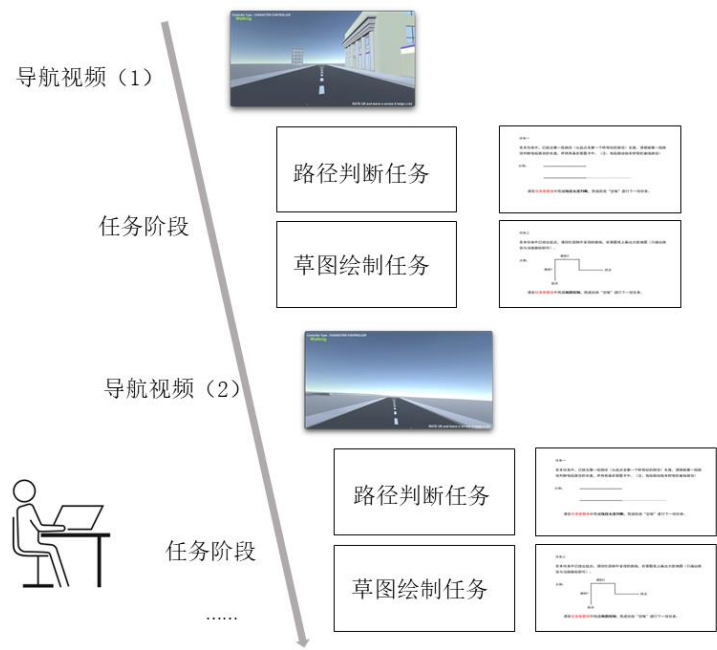


图 2 实验流程图

意见 5: (4) 路径距离判断任务这个任务不是特别清晰，要求被试“比较每段路线与标准路线(实验环节开始时记忆的第一段路线)”，这个描述实在看不懂，没法与后续“判断长度”、“判断误差”和“转弯角度”对应上。(另外，直接采用“路径整合任务指标”不是更好吗？)

回应 5: 感谢审稿人的意见与建议。文章对路径判断任务的描述进行了修改，修改内容位于正文 p5。对后续各项数据进行了分组与整合，使数据表达更为清晰。我们也采纳了审稿人提出的“路径整合任务指标”的建议。路径整合任务测量离散的空间信息，我们将数据指标命名为“离散空间信息指标”，该指标也与后续草图任务中的数据有了明确的区分。将草图任务所得结果命名为整合空间信息指标和认知地图绘制准确率。离散空间信息指标与整合空间信息指标衡量被试对空间信息判断的精确性，而认知地图绘制准确率衡量被试绘制认知地图的准确性。修改内容位于正文 p6-7。具体内容如下：

“因变量采取三类指标，分别为离散空间信息指标（路径距离判断任务中的路径长度和路径长度判断偏差）、整合空间信息指标（被试绘制的认知地图中的空间信息，包括路径判断偏差、角度判断偏差）和认知地图绘制准确率。离散空间信息指标与整合空间信息指标均衡量空间信息加工的精确性，认知地图绘制准确率衡量空间信息加工的准确性。

任务参照 Ishikawa 和 Zhou(2020)的实验任务，分别为路径距离判断任务和草图绘制任务。路径距离判断任务中，导航视频中被试记忆的第一段路线即为标准路径，被试需要根据标准路径在答题纸中的长度判断剩余每条路径的长度。该任务中被试判断的路径长度和被试判断的路径长度判断偏差作为离散空间信息指标，用于衡量离散空间信息。草图绘制任务要求被试在 A4 大小的答题纸上画出虚拟地图的草图，尽可能准确地描绘路线形状、起点、目标、路标（仅在有路标条件中绘制路标）和转弯位置。该任务中被试绘制的草图得分比率、路径判断准确率差异和角度判断差异分别为整合空间信息指标中的认知地图绘制准确率、路径判断偏差和角度判断偏差，用于衡量整合过程中的空间信息。组间变量采取随机分组形式将被试分至 50s 寻路/100s 寻路组。组内变量以 ABBA 形式平衡实验顺序。”

参考文献：

Ishikawa, T., & Zhou, Y. R. (2020). Improving cognitive mapping by training for people with a poor sense of direction. *Cognitive Research-Principles and Implications*, 5(1), 1-19.

意见 6：第三，数据分析与讨论解释，（1）在路径距离判断任务和草图绘制任务中有些结果矛盾（例如，两种任务中的距离误差，长时感知中无路标的结果），有些指标重叠（例如路径判断和草图绘制中的距离误差，它们是一个指标吗？）。造成结果看起来有些混乱，结论的说服力不强。建议可以将指标进行整合，进行更有利于结论的描述。

回应 6：感谢审稿人的意见。我们对数据进行了整理，由于路径整合任务测量离散的空间信息，我们将数据指标命名为“离散空间信息指标”，该指标也与后续草图任务中的数据有了明确的区分。将草图任务所得结果命名为整合空间信息指标和认知地图绘制准确率。离散空间信息指标与整合空间信息指标衡量被试对空间信息判断的精确性，而认知地图绘制准确率衡量被试绘制认知地图的准确性。对数据结果中有矛盾的部分我们在讨论部分进行了讨论。根据重新整理的数据指标，我们增加了表格，帮助读者能够更加直观和清晰的阅读实验数据，同时也简化了对数据的描述，避免正文中的数据分析部分阅读起来过于冗杂。我们对数据分析部分的描述、所涉及的图表均进行了修改。增加与修改的内容位于正文 p6-9 和 p13-14，具体内容如下：

P6-9：“分别计算离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率。离散空间信息指标中，路径长度计算被试在路径距离判断任务中判断的路线长度，路径长度判断

偏差(D₁)计算被试对每段路径判断比率与原图长度比率之差的均值(Ishikawa & Zhou, 2020), 计算表达式为:

$$d_{1i} = \frac{L_{ji}}{L_s} - \frac{L_{oi}}{L_s}$$

$$D_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{1i}$$

(L_j 为被试判断的路径长度, L_o 为地图中路径长度, L_s 为标准路径长度, n 为路径数量, i 为第 i 个路径。 d_1 为被试对每条路径的判断偏差, D_1 为路径长度判断偏差)

整合空间信息指标中, 路径判断偏差 (D₂) 提取被试在绘制认知地图中每段路径的长度。计算被试判断比率与原图路径长度比率之差, 计算方式与 D₁ 相同。为与路径判断任务中的路径长度判断偏差做区分, 数据分析中写作 D₂。角度判断偏差提取被试在绘制认知地图中各转弯角度, 计算被试判断度数与原角度之差的均值, 记作 D₃, 计算表达式为:

$$D_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i - a_{oi}$$

(a_i 为被试判断的角度度数, a_{oi} 为地图中的角度度数, i 为第 i 个转弯, D_3 为角度偏差, n 为转弯数)

认知地图绘制准确率计分规则基于被试画出的最典型路线进行计分(吴佳鑫, 2020), 由 2 位同实验室人员共同对被试绘制的草图进行计分。计分规则采取双盲处理, 若 2 位实验室人员评分差值大于总分的 1/3, 需要第 3 位实验室人员对该结果评分, 删去偏差值较大的分数, 取评分均值为最终得分。路线形状与正确路线基本一致得 3 分; 路线可以辨别但存在部分错误得 2 分; 无法辨认路线得 1 分; 正确命名路线起点和终点得 1 分; 指出行走路线方向得 1 分; 在此基础上, 被试画出路线附近的相应路标信息、描述等情况均可加 1 分。最终分数区间为无路标线索环境 0~36 分, 有路标线索环境 0~46 分, 计算被试绘制认知地图草图的准确率, 即最终得分除以总分。使用 IBM SPSS 25.0 软件进行相关分析及方差分析。

表 1 为不同时空感知条件下离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率的均值、标准差以及变量间的相关系数。

表 1 离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率的相关和描述性结果

	1	2	3	4	5
1. 路径长度	—				

2.D ₁	.91**	—			
3.D ₂	-.21	-.17	—		
4.D ₃	-.23	-.13	-.11	—	
5.认知地图绘制准确率	.11	.18	-.16	.07	—
<i>M</i> ± <i>SD</i>	5.65±1.19	-0.08±0.21	0.08±.43	-5.58±9.86	.75±.16

注：* $p < .05$, ** $p < .01$

离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率的重复测量方差分析结果如表 2 所示。离散空间信息指标中，路径长度的方差分析表明，时空感知跨度和路标线索的交互作用显著（图 3）， $F(1, 32) = 12.04, p < .01, \eta^2 = .27$ 。简单效应分析显示，环境中无路标线索时，50s 寻路条件中被试的路径距离判断更长($M_{100s} = 5.10, SD_{100s} = 1.13$; $M_{50s} = 6.25, SD_{50s} = 1.07$), $F(1, 32) = 11.23, p < .01, \eta^2 = .22$ 。环境中存在路标线索时，时空感知跨度对路径距离判断无显著影响($p = .35$)。D₁ 分析结果显示，路标线索主效应显著， $F(1, 32) = 5.62, p < .05, \eta^2 = .15$ ，路标线索和时空感知跨度交互作用显著（图 3）， $F(1, 32) = 9.11, p < .01, \eta^2 = .22$ 。简单效应显示，100s 寻路条件下，无路标线索时人们的判断误差更大($M_{无} = -.23, SD_{无} = .16$; $M_{有} = -.004, SD_{有} = .20$), $F(1, 32) = 14.52, p < .001, \eta^2 = .36$ 。

表 2 离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率方差分析结果

		时空感知跨度*路标线索交互效应	时空感知跨度主效应	路标线索主效应
			应	
离散空间信息指标	路径长度	$p < .01, \eta^2 = .27$	$p = .24$	$p = .68$
	D ₁	$p < .01, \eta^2 = .22$	$p = .15$	$p < .05, \eta^2 = .15$
整合空间信息指标	D ₂	$p = .06, \eta^2 = .11$	$p = .20$	$p < .001, \eta^2 = .30$
	D ₃	$p < .05, \eta^2 = .18$	$p = .67$	$p = .89$
认知地图绘制准确率		$p = .89$	$p = .47$	$p = .52$

整合空间信息指标中，D₂ 的重复测量方差分析显示，路标线索主效应显著， $F(1, 32) = 13.50, p < .001, \eta^2 = .30$ ，时空感知跨度和路标线索的交互效应边缘显著（图 4）， $F(1, 32) = 3.78, p = .06, \eta^2 = .11$ 。简单效应分析发现，100s 寻路条件下，无路标线索时人们的判断误差更小($M_{无} = -.24, SD_{无} = .39$; $M_{有} = .27, SD_{有} = .43$), $F(1, 32) = 15.78, p < .001, \eta^2 = .33$ 。环境存在路标线索时，时空感知跨度对路径距离判断无显著影响($p = .23$)。D₃ 结果显示，时空感知跨度和路标线索交互作用显著（图 4）， $F(1, 32) = 7.02, p < .05, \eta^2 = .18$ 。简单效应分

析显示，无路标线索环境中时空感知跨度对认知地图的空间信息判断无显著影响($p = .11$)，有路标线索时，时空感知跨度对角度判断影响边缘显著，100s 寻路条件中判断误差更大($M_{100s} = -8.99, SD_{100s} = 12.74; M_{50s} = -2.18, SD_{50s} = 7.15$)， $F(1, 32) = 3.69, p = .06, \eta^2 = .10$ 。

认知地图绘制准确率结果显示，路标线索的主效应不显著($p = .52$)，时空感知跨度主效应不显著($p = .47$)，路标线索与时空感知跨度的交互效应不显著($p = .89$)。”

p13-14: “数据分析方法与实验 1 相同。离散空间信息指标、整合空间信息指标与认知地图绘制准确率之间的相关结果和描述性统计如表 4 所示。

表 4 离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率的相关和描述性结果

	1	2	3	4	5
1.路径长度	—				
2.D ₁	.98**	—			
3.D ₂	.26*	.26*	—		
4.D ₃	-.10	-.09	-.03	—	
5.认知地图绘制准确率	.11	.12	.20	.07	—
$M \pm SD$	6.01 \pm .95	-.01 \pm .20	-0.01 \pm .60	-10.01 \pm .10.05	-.80 \pm .14

注：* $p < .05$; ** $p < .01$

离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率的重复测量方差分析结果如表 5。离散空间信息指标中，路径长度结果显示，时空感知跨度和路标线索交互作用显著（图 7）， $F(1, 33) = 4.716, p < .05, \eta^2 = .13$ 。简单效应分析显示，无停留时间条件下，有路标线索时人们对路径长度判断更长($M_{无} = 5.72, SD_{无} = .99; M_{有} = 6.11, SD_{有} = 1.15$)， $F(1, 33) = 6.78, p < .05, \eta^2 = .17$ 。有停留时间条件下路标线索对认知地图并无显著影响($p = .50$)。D₁ 分析结果显示，路标线索主效应显著， $F(1, 33) = 4.92, p < .05, \eta^2 = .13$ ，时空感知跨度和路标线索交互作用显著（图 7）， $F(1, 33) = 9.13, p < .01, \eta^2 = .22$ 。简单效应显示，无停留时间条件下，无路标线索时人们的判断误差更小($M_{无} = -.08, SD_{无} = .22; M_{有} = .03, SD_{有} = .24$)， $F(1, 33) = 17.16, p < .001, \eta^2 = .34$ 。

表 5 离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率方差分析结果

时空感知跨度*路标线	时空感知主效应	路标线索主效应
索交互效应		

离散空间信息指标	路径长度	$p < .05, \eta^2 = .13$	$p = .42$	$p = .27$
	D1	$P < .01, \eta^2 = .22$	$p = .37$	$p < .05, \eta^2 = .13$
整合空间信息指标	D2	$p = .99$	$p = .93$	$p = .13$
	D3	$p < .05, \eta^2 = .12$	$p = .85$	$p < .05, \eta^2 = .17$
认知地图绘制准确率		$p < .05, \eta^2 = .15$	$p = .62$	$p = .67$

整合空间信息指标分析中，D₂ 分析结果均不显著。D₃ 分析结果显示，路标线索主效应显著， $F(1, 33) = 6.94, p < .05, \eta^2 = .17$ ，时空感知跨度和路标线索交互作用显著（图 8）， $F(1, 33) = 4.39, p < .05, \eta^2 = .12$ 。简单效应显示，无停留时间条件下，有路标线索时人们的判断误差更大($M_{\text{无}} = -4.86, SD_{\text{无}} = 5.03$; $M_{\text{有}} = -14.78, SD_{\text{有}} = 7.72$)， $F(1, 33) = 13.99, p < .001, \eta^2 = .30$ 。

认知地图绘制准确率结果显示，路标线索主效应显著， $F(1, 33) = 3.15, p < .05, \eta^2 = .15$ ；时空感知跨度主效应不显著($p = .62$)；时空感知跨度和路标线索交互作用不显著($p = .67$)。”

参考文献：

Ishikawa, T., & Zhou, Y. R. (2020). Improving cognitive mapping by training for people with a poor sense of direction. *Cognitive Research-Principles and Implications*, 5(1), 1-19.

意见 7：（2）不太明白为什么将路径根据论文中所述部分进行分段（因为两个实验分别是 10、8 个路段），这种人为划分路段并不能证明自然路段中人的表现，因此组块的结论并不具有生态效度。

回应 7：感谢审稿人的意见。我们通过分析每段路径在不同路标线索条件下的差异反映路标线索对空间信息加工变化的影响。考虑到我们在呈现实验材料时，根据导航路线分别向被试呈现实验材料，我们对这部分数据的分析也以呈现方式进行了划分。为避免被试的练习效应，实验 1 与实验 2 采用了两张虚拟地图，路径数量参考了 Weisberg(2014)等人设计的虚拟地图以及我们事先进行的预实验。8-10 个路径是被试认为难度适中的路径数量，因此在实验 1 的地图中我们采用了 10 个路径（其中有一段是被试在行走时需掉头返回的重复路径）的地图，在实验 2 中我们采用了 8 个路径的地图，我们也在正文中增加了对这一部分的描述，增加内容位于正文 p9 和 p15-16，具体内容如下：

p9: “为探究路标信息对空间信息判断过程的影响，我们对两条主路线及一条连接路线

中每段路径的 D_1 、 D_2 和 D_3 进行差异分析，结果如表 3。此外，我们使用折线图反映被试对路线判断偏差的变化，折线图如图 5。导航全程分为三部分，1-4 为第一段主路线，5、6 为连接路线，有路标环境中 7-9 为第二段主路线，无路标环境中 7-8 为第二段主路线。从表 3 中可知，被试在第一段路径判断中均未表现出显著差异。结合折线图中均值的变化中可以发现， D_1 的分析中，有路标时路径判断偏差变化更大，而在 D_2 的分析中，无路标时路径判断偏差变化更大。”

p15-16: “对三条路线中每段路径的 D_1 、 D_2 和 D_3 进行差异分析， t 检验结果见表 6。判断均值折线图如图 9。实验 2 中 1-3 为第一段主路线，4、5 为连接路线，6-8 为第二段主路线，由于 D_2 的分析中，将被试绘制的第一段路径作为标准路径，因此以 3 和 5 为划分点， D_3 的分析中，由于没有用于比较的标准路径，同样以 3 和 5 为划分点。根据表 6， D_1 的分析结果中仅有第 4 段路径显示出了显著差异， $t(1, 34) = 3.251$ ， $p < .01$ ，Cohen's $d = .55$ 。而 D_2 并无路径有显著差异。结果显示路标线索对路径判断偏差中并无影响。 D_3 结果显示在每段路线开始的第一段路径（即 3、5）也未有显著差异。”

感谢审稿人对“组块”这一结论的意见，我们删除并修改了讨论中的相关叙述。并将相关内容移动至讨论的“4.2 导航时空感知与路标线索在构建认知地图中的交互作用”部分，并对这一部分的结果进行了更详细的讨论。修改的内容位于正文 **p19**。具体内容如下：

“此外，我们发现了路标线索在个体导航时对空间信息加工过程的影响。在路径加工中，个体对每段路线中起始路径的判断偏差并未表现出显著差异。而在接下来的路径中表现出显著差异。有路标时，个体对路径判断的精确性显著提升，结果再次支持了线索整合模型。而在控制了导航速度后，路标线索便不再对路径判断的精确性产生影响。据此我们推测，线索整合需要个体能够感知到导航速度的变化。相较于路径加工，转弯角度的加工机制则呈现出不同的特点。个体对每条路线的第一个转弯处往往会表现出显著差异，即使速度固定，差异依然存在。进一步说明了转弯加工与路径加工的不同机制。空间导航中转弯角度的相关研究认为，转弯将连续空间信息切割为不同路径，并在长时记忆中增强转弯处的空间编码(Brunec et al., 2020)。因此，个体对每条路线第一个转弯处的判断精确性受长时记忆增强效果的影响，路标在其中并未起影响作用。

综合以上结果，本研究结果支持了 TEM 模型，即个体在构建认知地图的空间结构时将空间刺激分开表征形成独立因子，路标与路径并不独立存在而是会依据时间进程编码为同一因子，直线与转弯也可能为相互独立的因子。空间感知信息与时间感知信息之间的加工存在泛化。”

参考文献:

- Brunec, I. K., Ozubko, J. D., Ander, T., Guo, R., Moscovitch, M., & Barense, M. D. (2020). Turns during navigation act as boundaries that enhance spatial memory and expand time estimation. *Neuropsychologia*, 141, 107437.
- Weisberg, S. M., Schinazi, V. R., Newcombe, N. S., Shipley, T. F., & Epstein, R. A. (2014). Variations in Cognitive Maps: Understanding Individual Differences in Navigation. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 40(3), 669-682.

意见 8: (3) 实验 2 中的停留, 虽然是造成了时间的延长, 但同时相当于给被试时间去回顾先前的路径, 可能影响结论。

回应 8: 感谢审稿人的意见。实验 2 中我们告知被试停留点随机出现, 被试在记忆导航路线的过程中需要全程集中注意力, 以免错过导航视频中的信息, 因此, 我们认为停留点对结论造成的影响较弱, 我们也在文中增加了相应的叙述, 增加的内容位于正文 p12, 具体内容如下:

“停留处设置在导航过程中, 被试被告知停留点随机且不知晓导航停留时间, 在停留时间中被试需集中注意力关注下次导航开始的时间。”

意见 9: (4) 将“直线加工受速度知觉影响”上升到“直线加工依靠视觉运动处理能力”不太准确, 前者是普遍的知觉, 后者是个体能力差异。

回应 9: 感谢审稿人的意见。我们同意审稿人对文章中将“直线加工受速度知觉影响”上升到“直线加工依靠视觉运动处理能力”的意见。我们对讨论中有关直线信息加工和转弯信息加工的相关内容做出了修改, 将“直线加工受速度知觉影响”与“视觉运动处理能力”之间的关系作为具有一定理论依据的猜测, 并希望能够在未来针对个人能力在时空感知对构建认知地图空间信息的影响机制中做进一步研究, 我们对正文的相关内容做了删除和修改, 修改内容位于正文 p18-19, 具体内容如下:

p18: “上述结果体现了时空感知对空间信息产生的不同影响, 直线信息加工受速度知觉调节, 而转弯信息加工受时间知觉影响。视觉运动处理(Visual motion processing)是判断和比

较移动刺激速度的认知能力(Manning et al., 2018), 个体通过视觉运动处理能力也能够形成对导航距离的判断。我们推测个体的视觉运动处理能力处理直线加工, 而时间知觉的内源性加工处理转弯加工, 未来研究也继续从该方面出发, 探究个体能力在其中的加工机制。此外, 在认知地图的准确性判断中, 我们并未发现时空感知在其中的影响。综合以上结果, 时空感知主要影响个体对认知地图空间信息加工的精确性, 而非其准确性。”

p19: “路标线索在路径和转弯判断偏差中的影响作用并不一致。在路径的直线加工中, 有路标线索时, 时空感知并未对路径判断精确性产生影响。据此推测, 直线信息加工受速度知觉调节的时空感知影响, 并且路标线索会促进空间信息整合。而在转弯角度判断误差中, 路标线索会使角度判断偏差增加, 我们认为视觉中的路标线索会一定程度上增加被试的认知负荷从而产生干扰。两个实验研究结果说明转弯信息加工受时空感知中的时间知觉影响。时间知觉作为内源性信息, 为个体提供了关于自身运动状态的关键线索。这一结论与先前的研究相吻合, 即个体在判断转弯角度时主要依赖于自身运动信息(Berthoz et al., 1995; Ivanenko et al., 1997)。我们的研究结果支持了线索整合模型的观点, 即个体会结合外界环境线索与自身运动线索判断空间方位。”

参考文献:

- Berthoz, A., Israel, I., Georges-Francois, P., Grasso, R., & Tsuzuku, T. (1995). Spatial memory of body linear displacement: what is being stored?. *Science (New York, N.Y.)*, 269(5220), 95-98.
- Ivanenko, Y., Grasso, R., Israel, I., & Berthoz, A. (1997). Spatial orientation in humans: perception of angular whole-body displacements in two-dimensional trajectories. *Experimental Brain Research*, 117(3), 419-427.
- Manning, C., Trevelyan Thomas, R., & Braddick, O. (2018). Can speed be judged independent of direction?. *Journal of Vision*, 18(6), 15.

意见 10: 第四, 论文中错处不少。例如, p.11 的 2.2 中“被试画出路线附近的相应路标信息描述、描述等情况均可加 1 分。”p.13 第二行“个体分割点前后的路劲距离判断误差有显著差异”。图 9 (1) 中的横坐标应为 8 吧? p.14 第一段数据报告中 p 值一会儿有下标一会儿没下标的, 建议统一。望作者认真自行检查。

回应 10: 感谢审稿人的意见, 我们已认真检查全文, 完善论文细节, 对审稿人提出的细节问题也做出了修改。修改具体内容如下:

正文 p7：“在此基础上，被试画出路线附近的相应路标信息、描述等情况均可加 1 分”。

正文 p9：“个体在改变路线前后的路径长度差异有显著差异”。

正文 p9-10 的相关内容删去。以表格的形式将每段路径的差异分析结果表现出来，具体内容如下：

从表 3 中可知，被试在第一段路径判断中均未表现出显著差异。结合折线图中均值的变化中可以发现，D₁ 的分析中，有路标时路径判断偏差变化更大，而在 D₂ 的分析中，无路标时路径判断偏差变化更大。

表 3 路径差异分析

路径	D1		D2		D3	
	<i>p</i>	Cohen' <i>d</i>	<i>p</i>	Cohen' <i>d</i>	<i>p</i>	Cohen' <i>d</i>
1	0.581		0.384		0.111	
2	<.001	-0.655	0.492		<.001	-1.188
3	0.003	-0.605	<.001	-0.840	0.376	
4	<.001	1.169	0.006	-0.537	<.001	-1.130
5	0.004	-0.567	0.437		<.001	0.811
6	0.640		0.010	-0.521	0.699	
7	<.001	-0.889	0.008	-0.527	0.172	
8	<.001	-0.635	<.001	-0.977	0.251	
9					0.130	

审稿人 2 意见

本研究围绕时空特性与认知地图及空间导航的关系问题，采用路径整合范式，通过 2 个实验，深入研究了时空感知、时间知觉因素，结合路标线索对认知地图空间信息的影响机制，具有较好的学术价值。建议在以下方面进一步完善论文：

意见 1：研究包括两个实验，分别针对时空感知、时间知觉、路标线索三个变量，但题目中只涉及时空感知和路标线索两个变量，无法全面反映研究内容，建议进行调整；

回应 1：感谢审稿人的意见。本研究中所研究内容的主题为“时空感知”，研究中所包含的 2 个实验均以时空感知为核心。结合时空感知的定义，我们认为 2 个实验所研究的内容均

为时空感知，因此我们主要对实验 2 主题中“时间知觉”这一变量名称做出了修改，统一改为“时空感知”，并以“时空感知跨度”这一变量名反映实验中我们对自变量进行的操作，也更加符合我们的实验内容。修改后内容位于正文 p5 和 p13，与其相关的数据分析和图表也做了相应的修改，具体内容如下：

p5：“本实验采用 2（时空感知跨度：50s 寻路、100s 寻路）×2（路标线索：有、无路标）的混合实验设计。时空感知跨度为组间变量，路标线索为组内变量，有路标条件下共 9 个路标。”

p13：“实验 2 采用 2（时空感知跨度：有、无停留时间）×2（有、无路标）的混合实验设计。时空感知跨度为组间变量，路标线索为组内变量。”

意见 2：前言部分，应对时空感知和时间知觉两个变量关系，以及实验 1 和实验 2 之间的关系进行更清晰说明。

回应 2：感谢审稿人的意见。我们对前言部分进行了补充和修改，内容位于正文 p3，具体内容如下：

“时空感知强调个体对空间知觉与时间知觉的整合。Riemer 等人(2018)提出，速度知觉调节空间知觉与时间知觉的整合。空间导航中视觉信息为个体提供运动方向及速度信息，人们会根据移动速度推导一定时间间隔内物体的移动距离和运动持续时间(Riemer et al., 2022)。人类导航过程中速度估计与运动持续时间估计之间存在正相关(Kline & Reed, 2013)。相比于刺激移动较慢的环境，人们在移动较快的环境中倾向于高估运动持续时间(Mate et al, 2009)。随着物体移动速度加快，人们的主观导航时间延长，空间信息也易被高估。然而，当个体开始构建认知地图时，空间信息的编码是否仍与速度知觉相关。此时，个体时空感知如何影响认知地图中空间信息的加工。本研究的实验 2 将移动速度固定以作为控制变量，以空间导航的时空感知跨度（有、无停留时间）为组间变量，路标线索（有、无路标）为组内变量，进一步探究个体导航中时空感知对构建认知地图的影响，并提出假设：环境中存在路标时，环境提供的视觉信息影响个体在导航过程中的时空感知，个体主观的时空感知受路标线索影响而延长，使空间信息判断偏大；环境中无路标时，个体依据时空感知的时间知觉判断空间信息（假设 2）。”

参考文献：

- Kline, S. R., & Reed, C. L. (2013). Contextual influences of dimension, speed, and direction of motion on subjective time perception. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75(1), 161-167.
- Mate, J., Pires, A. C., Campoy, G., & Estaún, S. (2009). Estimating the duration of visual stimuli in motion environments. *Psicológica*, 30(2), 287-300.
- Riemer, M., Achtzehn, J., Kuehn, E., & Wolbers, T. (2022). Cross-dimensional interference between time and distance during spatial navigation is mediated by speed representations in intraparietal sulcus and area hMT. *Neuroimage*, 257, 119336.
- Riemer, M., Shine, J. P., & Wolbers, T. (2018). On the (a)symmetry between the perception of time and space in large-scale environments. *Hippocampus*, 28(8), 539-548.

意见 3: 方法部分，“通过方向感问卷筛选符合条件的被试参与实验”，这里如何界定符合条件的需要有说明。另外 3.1.2 部分的图 6 在文中并没有看到。因变量应该写明具体的变量是什么，比如距离、角度和草图绘制。此外，图 2 中有三个任务，包括路标序列判断任务，但正文中只有路径距离判断和草图绘制准确性任务。

回应 3: 感谢审稿人的意见。我们对利用方向感问卷筛选被试的条件进行了补充，也将附件中的图 6 放置于正文 p13 之中。对因变量的描述，我们整理了所得数据，将因变量分为三个指标，分别为离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确性，并在文中明确说明了因变量指标的具体变量，增加的内容位于正文 p4-5，具体内容如下：

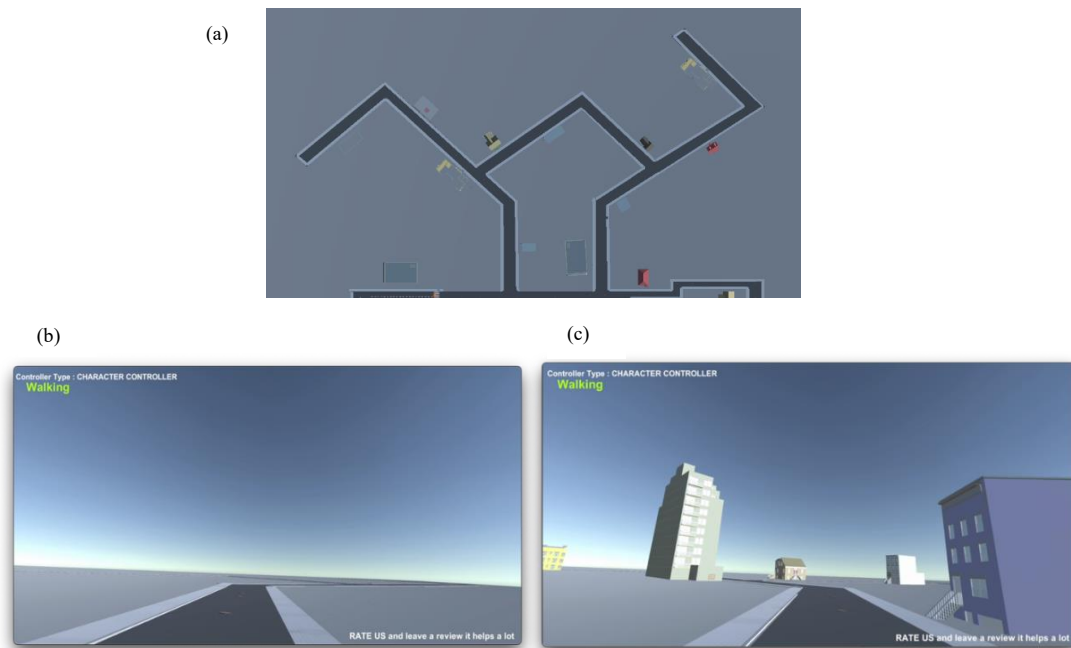


图 6 (a)虚拟地图鸟瞰图; (b)无路标环境虚拟地图; (c)有路标环境虚拟地图

p4-5: “Ishikawa 等人(2020)发现方向感差的人难以形成认知地图, 选用中文修订的方向感问卷(Santa Barbara Sense-of-Direction scale, SBSOD; Hegarty, 2002; 赵悦彤, 2021)筛选具备一定方向感的被试参与实验。Montello 和 Xiao(2011)对 SBSOD 量表进行跨文化评分, 方向感较差的被试得分 $M \pm SD = 2.9 \pm 0.7$ 。本研究选用各项目得分大于等于 3, 问卷分数大于等于 36 分的被试参与本次实验。”

“因变量采取三类指标, 分别为离散空间信息指标 (路径距离判断任务中的路径长度和路径长度判断偏差)、整合空间信息指标 (被试绘制的认知地图中的空间信息, 包括路径判断偏差、角度判断偏差) 和认知地图绘制准确率。离散空间信息指标与整合空间信息指标均衡量空间信息加工的精确性, 认知地图绘制准确率衡量空间信息加工的准确性。”

任务参照 Ishikawa 和 Zhou(2020)的实验任务, 分别为路径距离判断任务和草图绘制任务。路径距离判断任务中, 被试在导航视频中记忆的第一段路线即为标准路径, 被试需要根据标准路径在答题纸中的长度判断其余每条路径的长度。该任务中被试判断的路径长度和路径长度判断偏差作为离散空间信息指标, 用于衡量离散空间信息。草图绘制任务要求被试在 A4 大小的答题纸上画出虚拟地图的草图, 尽可能准确地描绘路线形状、起点、目标、路标 (仅在在有路标条件中绘制路标) 和转弯位置。该任务中被试绘制的草图得分比率、路径判断准确率差异和角度判断差异分别为整合空间信息指标中的认知地图绘制准确率、路径判断偏差和角度判断偏差, 用于衡量整合过程中的空间信息。组间变量采取随机分组形式将被试分

至 50s 寻路/100s 寻路组。组内变量以 ABBA 形式平衡实验顺序。”

参考文献;

Ishikawa, T., & Zhou, Y. R. (2020). Improving cognitive mapping by training for people with a poor sense of direction. *Cognitive Research-Principles and Implications*, 5(1), 1-19.

Montello, D.R., Xiao, D. (2011). Linguistic and Cultural Universality of the Concept of Sense-of-Direction. In: Egenhofer, M., Giudice, N., Moratz, R., Worboys, M. (eds) *Spatial Information Theory. COSIT 2011. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6899(pp.264-265). Springer, Berlin, Heidelberg.

意见 4: 2.2 的数据处理部分，没有表述清楚因变量指标的具体计算方式，而且部分语句还不够通顺。实验 1 的两个实验任务都有路径距离判断，这两个结果间的关系是什么需要进行说明。

回应 4: 感谢审稿人的意见。文章中增加了因变量指标的具体计算方式，并修改了不通顺的语句。在实验 1 中，共有路径距离判断和草图绘制两项任务。因变量中的路径长度判断偏差为被试在路径距离判断任务中对路径长度判断的精确性，而路径判断偏差为被试在草图绘制任务中绘制出的路径长度的精确性。在计算路径判断偏差时由于不设置标准路径，将所绘制草图中第一段路径的距离作为标准路线，计算了被试绘制的路径判断偏差。修改部分位于原文 p6-7，具体内容如下：

“分别计算离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率。离散空间信息指标中，路径长度计算被试在路径距离判断任务中判断的路线长度，路径长度判断偏差 (D_1) 计算被试对每段路径判断比率与原图长度比率之差的均值(Ishikawa & Zhou, 2020)，计算表达式为：

$$d_{1i} = \frac{L_{ji}}{L_s} - \frac{L_{oi}}{L_s}$$
$$D_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{1i}$$

(L_j 为被试判断的路径长度， L_o 为地图中路径长度， L_s 为标准路径长度， n 为路径数量， i 为第 i 个路径。 d_1 为被试对每条路径的判断偏差， D_1 为路径长度判断偏差)

整合空间信息指标中，路径判断偏差 (D_2) 提取被试在绘制认知地图中每段路径的长度。

计算被试判断比率与原图路径长度比率之差，计算方式与 D_1 相同。为与路径判断任务中的路径长度判断偏差做区分，数据分析中写作 D_2 。角度判断偏差提取被试在绘制认知地图中各转弯角度，计算被试判断度数与原角度之差的均值，记作 D_3 ，计算表达式为：

$$D_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i - a_{oi}$$

（ a_i 为被试判断的角度度数， a_o 为地图中的角度度数， i 为第 i 个转弯， D_3 为角度偏差， n 为转弯数）

认知地图绘制准确率计分规则基于被试画出的最典型路线进行计分(吴佳鑫, 2020)，由 2 位同实验室人员共同对被试绘制的草图进行计分。计分规则采取双盲处理，若 2 位实验室人员评分差值大于总分的 1/3，需要第 3 位实验室人员对该结果评分，删去偏差值较大的分数，取评分均值为最终得分。路线形状与正确路线基本一致得 3 分；路线可以辨别但存在部分错误得 2 分；无法辨认路线得 1 分；正确命名路线起点和终点得 1 分；指出行走路线方向得 1 分；在此基础上，被试画出路线附近的相应路标信息、描述等情况均可加 1 分。最终分数区间为无路标线索环境 0~36 分，有路标线索环境 0~46 分，计算被试绘制认知地图草图的准确率，即最终得分除以总分。使用 IBM SPSS 25.0 软件进行相关分析及方差分析。”

参考文献：

Ishikawa, T., & Zhou, Y. R. (2020). Improving cognitive mapping by training for people with a poor sense of direction. *Cognitive Research-Principles and Implications*, 5(1), 1-19.

意见 5：实验 1 的结果部分，为什么要分析各模拟次数路径距离判断和转弯角度误差均值的折线图，三段分割点的依据是什么都需要有相应说明。

回应 5：感谢审稿人的意见。实验中呈现实验材料时将导航地图分为三部分呈现，我们要求被试对视频中的每一段路径进行判断，因此希望通过对每段路径判断偏差的分析反映被试在绘制认知地图中对空间信息加工的变化。对数据进行三段划分是根据导航视频中两条主路线和一条连接路线的呈现方式划分。我们在数据分析中对这一部分的增加了说明，位于正文 p9 和 p15，具体增加内容如下：

p9:“为探究路标线索对空间信息判断过程的影响，我们对两条主路线及一条连接路线中每段路径的 D_1 、 D_2 和 D_3 进行差异分析，结果如表 3。此外，我们使用折线图反映被试对路

线判断偏差的变化，折线图如图 5。导航全程分为三部分，1-4 为第一段主路线，5、6 为连接路线，有路标环境中 7-9 为第二段主路线，无路标环境中 7-8 为第二段主路线。”

p15:“对三条路线中每段路径的 D_1 、 D_2 和 D_3 进行差异分析， t 检验结果见表 6。判断均值折线图如图 9。实验 2 中 1-3 为第一段主路线，4、5 为连接路线，6-8 为第二段主路线，由于 D_2 和 D_3 的分析中，将被试绘制的第一段路径作为标准路径，因此以 3 和 5 为划分点。”

意见 6: 两个实验结果中，草图任务中转弯角度判断误差都是负的（偏小），说明被试低估了转弯角度，这一现象背后是否有什么原因，建议在讨论部分进行说明。而且在有路标和无路标的草图绘制总分不同，统计时如何处理需要说明。

回应 6: 感谢审稿人的意见。实验结果显示草图绘制任务中角度判断偏差均为负值，这可能也与个体心理模拟的时间压缩性有关。根据我们的实验结果，个体对转弯角度信息的加工受时空感知中时间知觉的影响，因此时间压缩性在转弯角度信息的加工也表现的更为明显，个体在绘制认知地图时会一定程度低估转弯的角度。对这一结果我们也在讨论部分增加了内容，内容位于正文 p18，具体内容如下：

“而在转弯角度的判断中，个体在两项实验中均表现出了对角度度数的低估，说明在控制导航速度后，转弯角度精确性仍受时空感知影响。心理模拟的压缩性对角度判断的影响更为明显，说明转弯角度判断受时空感知中时间知觉影响。上述结果体现了时空感知对空间信息产生的不同影响，直线信息加工受速度知觉调节，而转弯信息加工受时间知觉影响。视觉运动处理(Visual motion processing)是判断和比较移动刺激速度的认知能力(Manning et al., 2018)，个体通过视觉运动处理能力也能够形成对导航距离的判断。我们推测个体的视觉运动处理能力处理直线加工，而时间知觉的内源性加工处理转弯加工，未来研究也继续从该方面出发，探究个体能力在其中的加工机制。此外，在认知地图的准确性判断中，我们并未发现时空感知在其中的影响。综合以上结果，时空感知主要影响个体对认知地图空间信息加工的精确性，而非其准确性。”

在数据分析中对草图绘制任务计算被试绘制的草图得分的准确率，以保证两种条件下数据同质，我们在数据分析部分也增加了相应说明，位于正文 p7，具体内容如下：

“认知地图绘制准确率计分规则基于被试画出的最典型路线进行计分(吴佳鑫, 2020)，由 2 位同实验室人员共同对被试绘制的草图进行计分。计分规则采取双盲处理，若 2 位实验室

人员评分差值大于总分的 1/3，需要第 3 位实验室人员对该结果评分，删去偏差值较大的分数，取评分均值为最终得分。路线形状与正确路线基本一致得 3 分；路线可以辨别但存在部分错误得 2 分；无法辨认路线得 1 分；正确命名路线起点和终点得 1 分；指出行走路线方向得 1 分；在此基础上，被试画出路线附近的相应路标信息、描述等情况均可加 1 分。最终分数区间为无路标线索环境 0~36 分，有路标线索环境 0~46 分，计算被试绘制认知地图草图的准确率，即最终得分除以总分。使用 IBM SPSS 25.0 软件进行相关分析及方差分析。

”

参考文献：

Manning, C., Trevelyan Thomas, R., & Braddick, O. (2018). Can speed be judged independent of direction?. *Journal of Vision*, 18(6), 15.

意见 7：格式写作方面，总体上较为规范，但还是存在文中有较多不需要的空格，另外摘要中的“长度判断”建议改为“距离判断”或“路径长度判断”更符合实际。

回应 7：感谢审稿人的意见。我们对文章全文进行了详细的审查，保证文章符合论文写作要求，删去了不必要的空格。根据审稿人意见，我们将摘要中的“长度判断”改为“路径长度的判断”，具体内容如下：

“路标线索强化了时空感知对路径长度的判断并削弱了对转弯角度的判断”。

审稿人 3 意见

该论文研究寻路导航时长及地标有无对于个体认知地图形成的影响，选题具有较强现实意义与理论价值，研究构思条理较为清晰。同时，以下几点还请作者考虑进一步解释或明确：

意见 1：实验 1 中自变量之一为时空感知，从文中描述看，主要是运动时长时间维度的感知，两种水平下路径长度应是一致的，建议作者考虑是用时空感知 还是仅仅是运动时间感知；另外，该变量水平为 50 秒和 100 秒，虽然有两倍差距，但即使是最长的 100 秒，相对现实中寻路导航任务来说也是太短了，很难说能称之为长时程的任务或时间感知，建议作者斟酌。

回应 1: 感谢审稿人的意见。我们在认真讨论后认为，本研究的变量命名为“时空感知”更为合适，理由如下：

(1) 这一变量的定义为“空间导航中的时空感知(Spatio-temporal Perception)是个体同时对导航过程中空间与时间感觉信息的加工，包括终点距离估计和导航时长估计(Brunec et al., 2017)”。依据定义，时空感知更强调的是个体在空间导航过程中对空间知觉和时间知觉相整合的认知过程，二者密不可分。运动时间感知更侧重于个体在运动过程中对时间流逝的感知能力。我们认为这一变量与运动时间感知有根本的不同。

(2) 本实验中，实验任务最终落在与空间知觉相关的任务上，而不是对导航时长的估计。在实验材料的呈现过程中，材料中也并未明确地出现与时间相关的信息。另外，实验中运动时间感知相关的内容以空间知觉的形式呈现，体现了空间知觉与时间知觉对导航过程的共同作用。

综合这两点，我们对自变量的名称依然采用“时空感知”。另外，我们在正文中关于“时空感知”的概念叙述中加了“同时”以强调时空感知这一概念中空间与时间感觉信息之间紧密的联系，修改后的内容位于正文 **p1**，具体内容如下：

“空间导航中的时空感知(Spatio-temporal Perception)是个体**同时**对导航过程中空间与时间感知信息的综合加工，涵盖了终点距离估计和导航时长估计(Brunec et al., 2017)。”

关于“变量水平为 50 秒和 100 秒，虽然有两倍差距，但即使是最长的 100 秒，相对现实中寻路导航任务来说也是太短了”这一问题，我们对变量水平的确定参考了 Weisberg(2014)等人设计的虚拟地图，其次根据预实验中被试的反馈确定了不同路线的长度和速度的设置。在预实验中，我们要求被试记忆 2 分钟以上的导航视频中的路径时，被试均反馈太难了，记不住已经走过的路线，也难以画出完整的认知地图。因此，经过调整，我们将变量水平的导航时长设置为 50s 寻路以及 100s 寻路。

关于变量水平命名的问题上，我们同意审稿人对变量命名的意见，也避免读者对本研究的研究内容产生误解，我们对时空感知这一自变量在实验设计中的叙述改为“时空感知跨度”，并将水平数命名为“50s 寻路”和“100s 寻路”两个水平，主要修改内容集中在正文 **p5**，对全文中相关的叙述部分均作了修改。主要修改内容如下：

“本实验采用 2（**时空感知跨度：50s 寻路、100s 寻路**）×2（路标线索：有、无路标）的混合实验设计。时空感知跨度为组间变量，路标线索为组内变量，有路标条件下共 9 个路标。”

参考文献：

Brunec, I. K., Javadi, A.-H., Zisch, F. E. L., & Spiers, H. J. (2017). Contracted time and expanded space: The impact of circumnavigation on judgements of space and time. *Cognition*, 166, 425-432.

Weisberg, S. M., Schinazi, V. R., Newcombe, N. S., Shipley, T. F., & Epstein, R. A. (2014). Variations in Cognitive Maps: Understanding Individual Differences in Navigation. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 40(3), 669-682.

意见 2: 实验一中长短“时空感知”变量水平是由不同速度设定，则实验结果是运动速度所致还是感知时长所致似应予以适当探讨。

回应 2: 感谢审稿人的意见。实验 1 中变量水平由不同速度设定，很难解释时空感知在构建认知地图过程中对空间信息的影响，因此实验 2 我们固定了导航速度，通过在导航过程中设置停留点的方式延长了主观导航时间，进一步说明时空感知中对空间信息加工的具体影响作用。我们对这一结果在实验 1 的小结中做了简单的讨论，并增加了相应内容（相应内容位于正文 p11-12）。同时我们在引言部分也增加了内容以更清晰的说明实验 1 与实验 2 之间的关系（增加内容位于正文 p3）。在最后的讨论部分，我们也详细讨论了速度知觉在时空感知对认知地图空间信息影响中的作用（增加内容位于正文 p18）。具体修改内容如下：

p3: “时空感知强调个体对空间知觉与时间知觉的整合。Riemer 等人(2018)提出，速度知觉调节空间知觉与时间知觉的整合。空间导航中视觉信息为个体提供运动方向及速度信息，人们会根据移动速度推导一定时间间隔内物体的移动距离和运动持续时间(Riemer et al., 2022)。人类导航过程中速度估计与运动持续时间估计之间存在正相关(Kline & Reed, 2013)。相比于刺激移动较慢的环境，人们在移动较快的环境中倾向于高估运动持续时间 (Mate et al, 2009)。随着物体移动速度加快，人们的主观导航时间延长，空间信息也易被高估。然而，当个体开始构建认知地图时，空间信息的编码是否仍与速度知觉相关。此时，个体时空感知如何影响认知地图中空间信息的加工。本研究的实验 2 将移动速度固定以作为控制变量，以空间导航的时空感知跨度（有、无停留时间）为组间变量，路标线索（有、无路标）为组内变量，进一步探究个体导航中时空感知对构建认知地图的影响，并提出假设：环境中存在路标时，环境提供的视觉信息影响个体在导航过程中的时空感知，个体主观的时空感知受路标线索影响而延长，使空间信息判断偏大；环境中无路标时，个体依据时空感知的时间知觉判断空间信息（假设 2）。以往对时间与空间相互作用的研究仅体现在空间度量信息任务中，如

距离或角度等(Riemer et al., 2022; Brunec et al., 2020), 但空间导航作为复杂的认知过程, 考察导航过程中空间信息的整合加工过程更具生态效度。本研究除了考察离散的空间信息, 还考察了整合的空间信息, 并以两个实验探究认知地图空间信息的时空性, 探索个体构建认知地图过程的影响因素。”

p11-12: “实验 1 验证了空间导航中时空感知影响认知地图的空间信息。时空感知跨度较长时, 路径判断精确性较差而转弯角度判断精确性较好。当环境中存在路标线索时, 时空感知跨度较长时个体高估路径距离, 空间信息判断误差减小。离散空间信息指标与整合空间信息指标之间也表现出了不同的影响方式。而认知地图绘制的准确性并不受时空感知影响, 为进一步解释实验 1 的结果, 实验 2 控制速度知觉, 进一步探究时空感知影响认知地图构建过程中空间信息的加工机制。”

p18: “认知地图空间信息的精确性判断中, 时空感知对路径距离与转弯角度的判断呈现出不同的影响趋势。时空感知跨度与路径判断偏差成正比, 与角度判断偏差成反比。路径距离判断中个体受时间压缩性的影响增强了空间信息的认知扭曲程度, 因此时空感知跨度较长时个体对路径判断的精确性较低, 整合空间信息指标也表示出相同趋势。而在速度固定后, 路径精确性在不同时空感知跨度条件中并无差异。据此推测, 速度知觉是影响路径判断的关键因素。而在转弯角度的判断中, 个体在两项实验中均表现出了对角度度数的低估, 说明在控制导航速度后, 转弯角度精确性仍受时空感知影响。心理模拟的压缩性对角度判断的影响更为明显, 说明转弯角度判断受时空感知中时间知觉影响。上述结果体现了时空感知对空间信息产生的不同影响, 直线信息加工受速度知觉调节, 而转弯信息加工受时间知觉影响。视觉运动处理(Visual motion processing)是判断和比较移动刺激速度的认知能力(Manning et al., 2018), 个体通过视觉运动处理能力也能够形成对导航距离的判断。我们推测个体的视觉运动处理能力处理直线加工, 而时间知觉的内源性加工处理转弯加工, 未来研究也继续从该方面出发, 探究个体能力在其中的加工机制。此外, 在认知地图的准确性判断中, 我们并未发现时空感知在其中的影响。综合以上结果, 时空感知主要影响个体对认知地图空间信息加工的精确性, 而非其准确性。”

参考文献:

Brunec, I. K., Javadi, A.-H., Zisch, F. E. L., & Spiers, H. J. (2017). Contracted time and expanded space: The impact of circumnavigation on judgements of space and time. *Cognition*, 166, 425-432.

- Brunec, I. K., Ozubko, J. D., Ander, T., Guo, R., Moscovitch, M., & Barense, M. D. (2020). Turns during navigation act as boundaries that enhance spatial memory and expand time estimation. *Neuropsychologia*, 141, 107437.
- Kline, S. R., & Reed, C. L. (2013). Contextual influences of dimension, speed, and direction of motion on subjective time perception. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75(1), 161-167.
- Mate, J., Pires, A. C., Campoy, G., & Estaún, S. (2009). Estimating the duration of visual stimuli in motion environments. *Psicológica*, 30(2), 287-300.
- Riemer, M., Achtzehn, J., Kuehn, E., & Wolbers, T. (2022). Cross-dimensional interference between time and distance during spatial navigation is mediated by speed representations in intraparietal sulcus and area hMT. *Neuroimage*, 257, 119336.
- Riemer, M., Shine, J. P., & Wolbers, T. (2018). On the (a)symmetry between the perception of time and space in large-scale environments. *Hippocampus*, 28(8), 539-548.

意见 3: 研究结论认为“直线加工依靠视觉运动处理能力，转弯加工依靠生物性节律。”，生物节律性具体在哪一实验变量中有所体现？这其中的逻辑是什么建议在问题提出、实验设计及结果讨论部分梳理清楚。

回应 3: 感谢审稿人的意见。我们在认真讨论后认为研究结论“直线加工依靠视觉运动处理能力，转弯加工依靠生物性节律”的表述确有不妥。我们删除并修改了这一结论。在原有叙述中，“生物性节律”是个体不依赖外在环境变化仅通过自身对导航过程中时距知觉的感知从而对空间信息（即行走距离和转弯角度）加工的影响。我们的实验结果显示，个体对转弯角度信息的加工主要受导航过程中时间知觉的影响，然而“生物性节律”这一描述会对结论造成误解。我们对摘要、讨论和结论中相关的描述均做出了修改，修改位置位于正文 p19-20，具体修改内容如下：

摘要修改内容：

“空间导航的时空特性与认知地图密切相关。本研究采用路径整合范式，通过路径距离判断任务和草图绘制任务测量认知地图的空间信息，探索空间导航中时空感知与路标线索对认知地图空间信息的影响。结果显示：（1）时空感知仅影响空间信息精确性，对路径距离判断和转弯角度判断有显著影响，时空感知跨度较长时，路径距离判断精确性较差而转弯角度

判断精确性较好。(2)路标线索强化了时空感知对路径距离的判断并削弱了对转弯角度的判断。研究揭示了认知地图构建中空间信息的加工特点,直线加工受速度知觉调节的时空感知影响,转弯加工受时间知觉影响。本研究从空间导航时空特性的角度解释了个体对认知地图空间信息的加工机制。”

p18:

“认知地图空间信息的精确性判断中,时空感知对路径距离与转弯角度的判断呈现出不同的影响趋势。时空感知跨度与路径判断偏差成正比,与角度判断偏差成反比。路径距离判断中个体受时间压缩性的影响增强了空间信息的认知扭曲程度,因此时空感知跨度较长时个体对路径判断的精确性较低,整合空间信息指标也表示出相同趋势。而在速度固定后,路径精确性在不同时空感知跨度条件中并无差异。据此推测,速度知觉是影响路径判断的关键因素。而在转弯角度的判断中,个体在两项实验中均表现出了对角度度数的低估,说明在控制导航速度后,转弯角度精确性仍受时空感知影响。心理模拟的压缩性对角度判断的影响更为明显,说明转弯角度判断受时空感知中时间知觉影响。上述结果体现了时空感知对空间信息产生的不同影响,直线信息加工受速度知觉调节,而转弯信息加工受时间知觉影响。视觉运动处理(Visual motion processing)是判断和比较移动刺激速度的认知能力(Manning et al., 2018),个体通过视觉运动处理能力也能够形成对导航距离的判断。我们推测个体的视觉运动处理能力处理直线加工,而时间知觉的内源性加工处理转弯加工,未来研究也继续从该方面出发,探究个体能力在其中的加工机制。此外,在认知地图的准确性判断中,我们并未发现时空感知在其中的影响。综合以上结果,时空感知主要影响个体对认知地图空间信息加工的精确性,而非其准确性。”

p19:

“路标线索在路径和转弯判断偏差中的影响作用并不一致。在路径的直线加工中,有路标线索时,时空感知并未对路径判断精确性产生影响。据此推测,直线信息加工受速度知觉调节的时空感知影响,并且路标线索会促进空间信息整合。而在转弯角度判断误差中,路标线索会使角度判断偏差增加,我们认为视觉中的路标线索会一定程度上增加被试的认知负荷从而产生干扰。两个实验研究结果说明转弯信息加工受时空感知中的时间知觉影响。时间知觉作为内源性信息,为个体提供了关于自身运动状态的关键线索。这一结论与先前的研究相吻合,即个体在判断转弯角度时主要依赖于自身运动信息(Berthoz et al., 1995; Ivanenko et al., 1997)。我们的研究结果支持了线索整合模型的观点,即个体会结合外界环境线索与自身运动线索判断空间方位。”

结论修改部分：

“本研究探究时空感知和路标线索在个体构建认知地图过程中对空间信息加工的影响机制。结果发现时空感知影响认知地图加工的精确性而不影响准确性，路径判断精确性随导航时长的增加而增加，转弯角度精确性随导航时长增加而减少；路标线索增强时空感知，增加路径判断精确性但干扰转弯角度判断精确性。结果进一步说明空间信息加工中直线和转弯加工受不同因素影响，即直线信息加工受速度知觉调节的时空感知影响，转弯加工受时间知觉影响。”

参考文献：

- Berthoz, A., Israel, I., Georges-Francois, P., Grasso, R., & Tsuzuku, T. (1995). Spatial memory of body linear displacement: what is being stored?. *Science (New York, N.Y.)*, 269(5220), 95-98.
- Ivanenko, Y., Grasso, R., Israel, I., & Berthoz, A. (1997). Spatial orientation in humans: perception of angular whole-body displacements in two-dimensional trajectories. *Experimental Brain Research*, 117(3), 419-427.
- Manning, C., Trevelyan Thomas, R., & Braddick, O. (2018). Can speed be judged independent of direction?. *Journal of Vision*, 18(6), 15.

审稿人 4 意见

这篇论文涉及的实验设计比较合理、统计分析方法正确，讨论与得出的结论符合逻辑，且有创新性。以下地方请作者注意：

意见 1：正文中缺少图 1

回应 1：感谢审稿人的意见。我们将位于附件中的图 1 放置在了正文 p5 当中，具体修改内容如下：

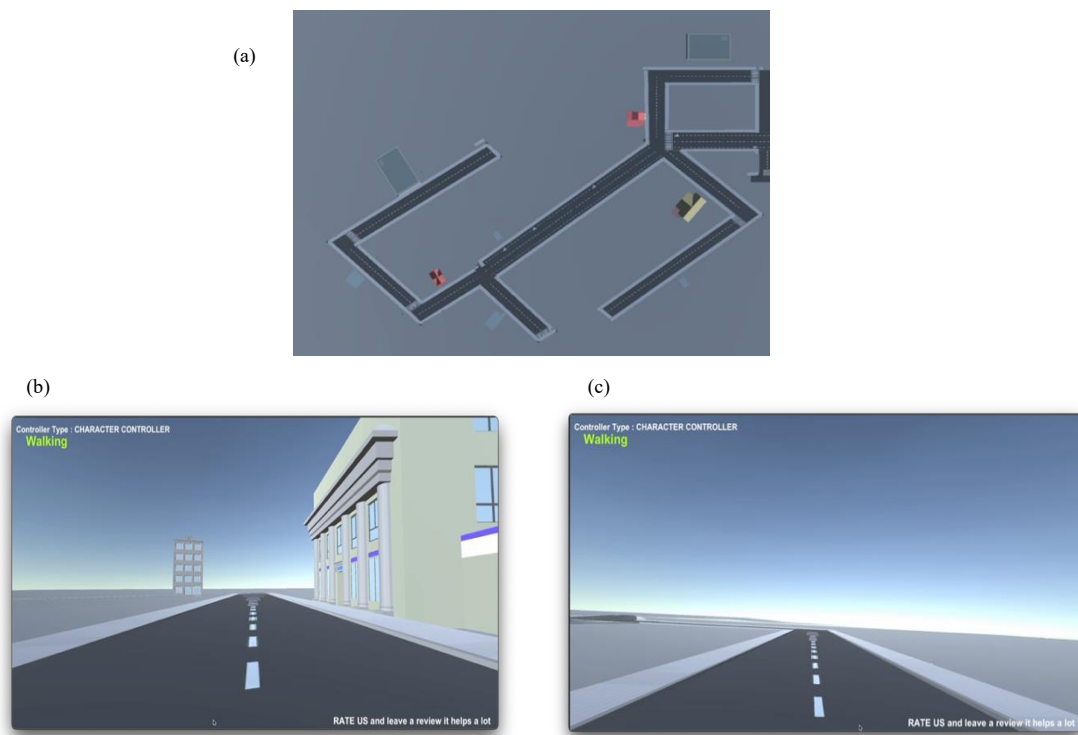


图 1 (a)虚拟地图鸟瞰图; (b)有路标环境虚拟地图; (c)无路标环境虚拟地图

(注：虚拟地图共包含三条路线，其中两条路线为主路线，主路线转弯次数、转弯角度、路线长度均一致，第三条路线为连接路线，连接两条主路线)

意见 2：图 2 的实验流程图不清晰

回应 2：感谢审稿人的意见。我们重新绘制了实验流程图，位于正文 p6，具体修改内容如下：

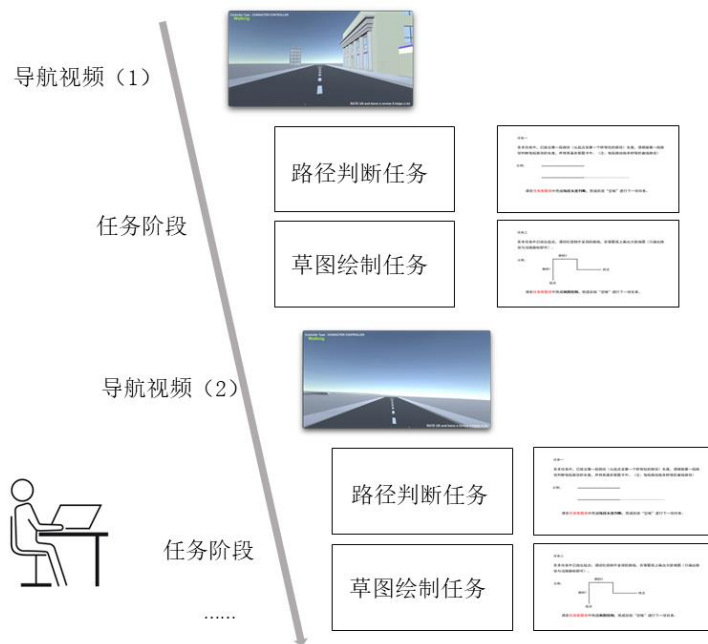


图2 实验流程图

意见 3: 2.2 数据处理与结果部分 a. “路径距离判断任务计算被试判断的路径距离长度与原地图长度的误差，即 $E = l'$ ”公式表示的是比率不是误差。文中将“整合过程的路径距离判断计算草图绘制任务中的被试距离判断长度，评估被试估计距离长度与标准长度的比率”、“评估被试估计角度和正确角度之间的比率”，但在后面的统计分析 with 图标题描述部分使用的词语是“误差”。前后不一致的描述易让读者困惑。

回应 3: 感谢审稿人的意见。首先我们再次核查了我们所用的公式，并增加了部分因变量所使用的公式希望能够更为清晰的展示实验所涉及的因变量。同样，为使变量名称更为清晰明了，我们修改了变量名称，并将同一任务中因变量的数据进行了整合，以便读者能够更为清晰地了解数据结果，修改内容位于正文 p6-8，具体内容如下：

P6-8: “

“分别计算离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率。离散空间信息指标中，路径长度计算被试在路径距离判断任务中判断的路线长度，路径长度判断偏差 (D_1) 计算被试对每段路径判断比率与原图长度比率之差的均值(Ishikawa & Zhou, 2020)，计算表达式为：

$$d_{1i} = \frac{L_{ji}}{L_s} - \frac{L_{oi}}{L_s}$$

$$D_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{1i}$$

(L_j 为被试判断的路径长度, L_o 为地图中路径长度, L_s 为标准路径长度, n 为路径数量, i 为第 i 个路径。 d_1 为被试对每条路径的判断偏差, D_1 为路径长度判断偏差)

整合空间信息指标中, 路径判断偏差 (D_2) 提取被试在绘制认知地图中每段路径的长度。计算被试判断比率与原图路径长度比率之差, 计算方式与 D_1 相同。为与路径判断任务中的路径长度判断偏差做区分, 数据分析中写作 D_2 。角度判断偏差提取被试在绘制认知地图中各转弯角度, 计算被试判断度数与原角度之差的均值, 记作 D_3 , 计算表达式为:

$$D_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i - a_{oi}$$

(a_i 为被试判断的角度度数, a_o 为地图中的角度度数, i 为第 i 个转弯, D_3 为角度偏差, n 为转弯数)

认知地图绘制准确率计分规则基于被试画出的最典型路线进行计分(吴佳鑫, 2020), 由 2 位同实验室人员共同对被试绘制的草图进行计分。计分规则采取双盲处理, 若 2 位实验室人员评分差值大于总分的 1/3, 需要第 3 位实验室人员对该结果评分, 删去偏差值较大的分数, 取评分均值为最终得分。路线形状与正确路线基本一致得 3 分; 路线可以辨别但存在部分错误得 2 分; 无法辨认路线得 1 分; 正确命名路线起点和终点得 1 分; 指出行走路线方向得 1 分; 在此基础上, 被试画出路线附近的相应路标信息、描述等情况均可加 1 分。最终分数区间为无路标线索环境 0~36 分, 有路标线索环境 0~46 分, 计算被试绘制认知地图草图的准确率, 即最终得分除以总分。使用 IBM SPSS 25.0 软件进行相关分析及方差分析。”

参考文献:

Ishikawa, T., & Zhou, Y. R. (2020). Improving cognitive mapping by training for people with a poor sense of direction. *Cognitive Research-Principles and Implications*, 5(1), 1-19.

意见 4: b. 为什么路径距离判断任务采用误差, 而草图绘制任务中却采用比率?

回应 4: 感谢审稿人的意见。这一问题是由于我们表述不当。路径判断任务误差计算的

是空间信息的精确性。由于每段路径长度不同，为了使数据之间同质，我们采用了计算被试判断路径长度准确率 - 标准路径比率的方式来衡量被试对路径距离判断的精确性。对于草图绘制任务总分，我们计算了被试绘制的认知地图的准确性。在有路标和无路标的环境中，草图绘制总分并不同，为使数据同质，我们采用了比率的计算方式。根据审稿人提出的问题，我们修改了数据分析中的表达，以使数据变量的命名能够准确反映数据内容，我们将路径距离判断任务中所得结果均视为离散空间信息指标，将“路径距离判断长度”改为“路径长度”，将“路径距离判断误差”改为“路径长度判断偏差（D₁）”。将草图任务中所得结果视为整合空间信息指标，将“草图任务中路径距离判断误差”改为“路径判断偏差（D₂）”，将“转弯角度误差”改为“角度偏差（D₃）”，将“草图绘制结果”改为“认知地图绘制准确率”。相应的交互作用图也做出了修改。具体修改如下，位于正文 p7-8 和正文 p13-15：

p7-8：“表 1 为不同时空感知条件下离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率的均值、标准差以及变量间的相关系数。

表 1 离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率的相关和描述性结果

	1	2	3	4	5
1.路径长度	—				
2.D ₁	.91**	—			
3.D ₂	-.21	-.17	—		
4.D ₃	-.23	-.13	-.11	—	
5.认知地图绘制准确率	.11	.18	-.16	.07	—
<i>M</i> ± <i>SD</i>	5.65±1.19	-0.08±0.21	0.08±.43	-5.58±9.86	.75±.16

注：* $p < .05$ ，** $p < .01$

离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率的重复测量方差分析结果如表 2 所示。离散空间信息指标中，路径长度的方差分析表明，时空感知跨度和路标线索的交互作用显著（图 3）， $F(1, 32) = 12.04, p < .01, \eta^2 = .27$ 。简单效应分析显示，环境中无路标线索时，50s 寻路条件中被试的路径距离判断更长($M_{100s} = 5.10, SD_{100s} = 1.13$ ； $M_{50s} = 6.25, SD_{50s} = 1.07$)， $F(1, 32) = 11.23, p < .01, \eta^2 = .22$ 。环境中存在路标线索时，时空感知跨度对路径距离判断无显著影响($p = .35$)。D₁ 分析结果显示，路标线索主效应显著， $F(1, 32) = 5.62, p < .05, \eta^2 = .15$ ，路标线索和时空感知跨度交互作用显著（图 3）， $F(1, 32) = 9.11, p < .01, \eta^2 = .22$ 。简单效应显示，100s 寻路条件下，无路标线索时人们的判断误差更大($M_{无} = -.23, SD_{无} = .16$ ； $M_{有} = -.004, SD_{有} = .20$)， $F(1, 32) = 14.52, p < .001, \eta^2 = .36$ 。

表 2 离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率方差分析结果

		时空感知跨度*路标线	时空感知跨度主效	路标线索主效应
		索交互效应	应	
离散空间信	路径长度	$p < .01, \eta^2 = .27$	$p = .24$	$p = .68$
息指标	D ₁	$p < .01, \eta^2 = .22$	$p = .15$	$p < .05, \eta^2 = .15$
整合空间信	D ₂	$p = .06, \eta^2 = .11$	$p = .20$	$p < .001, \eta^2 = .30$
息指标	D ₃	$p < .05, \eta^2 = .18$	$p = .67$	$p = .89$
认知地图绘制准确率		$p = .89$	$p = .47$	$p = .52$

整合空间信息指标中，D₂ 的重复测量方差分析显示，路标线索主效应显著， $F(1, 32)=13.50, p < .001, \eta^2 = .30$ ，时空感知跨度和路标线索的交互效应边缘显著（图 4）， $F(1, 32)=3.78, p = .06, \eta^2 = .11$ 。简单效应分析发现，100s 寻路条件下，无路标线索时人们的判断误差更小($M_{无} = -.24, SD_{无} = .39; M_{有} = .27, SD_{有} = .43$)， $F(1, 32)=15.78, p < .001, \eta^2 = .33$ 。环境存在路标线索时，时空感知跨度对路径距离判断无显著影响($p = .23$)。D₃ 结果显示，时空感知跨度和路标线索交互作用显著（图 4）， $F(1, 32)=7.02, p < .05, \eta^2 = .18$ 。简单效应分析显示，无路标线索环境中时空感知跨度对认知地图的空间信息判断无显著影响($p = .11$)，有路标线索时，时空感知跨度对角度判断影响边缘显著，100s 寻路条件中判断误差更大($M_{100s} = -8.99, SD_{100s} = 12.74; M_{50s} = -2.18, SD_{50s} = 7.15$)， $F(1, 32) = 3.69, p = .06, \eta^2 = .10$ 。

认知地图绘制准确率结果显示，路标线索的主效应不显著($p = .52$)，时空感知跨度主效应不显著($p = .47$)，路标线索与时空感知跨度的交互效应不显著($p = .89$)。”

p13-15: “数据分析方法与实验 1 相同。离散空间信息指标、整合空间信息指标与认知地图绘制准确率之间的相关结果和描述性统计如表 4 所示。

表 4 离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率的相关和描述性结果

	1	2	3	4	5
1.路径长度	—				
2.D ₁	.98**	—			
3.D ₂	.26*	.26*	—		
4.D ₃	-.10	-.09	-.03	—	
5.认知地图绘制准确率	.11	.12	.20	.07	—
$M \pm SD$	6.01 \pm .95	-.01 \pm .20	-0.01 \pm .60	-10.01 \pm .10.05	-.80 \pm .14

注：* $p < .05$; ** $p < .01$

离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率的重复测量方差分析结果如表 5。离散空间信息指标中，路径长度结果显示，时空感知跨度和路标线索交互作用显著（图 7）， $F(1, 33) = 4.716$, $p < .05$, $\eta^2 = .13$ 。简单效应分析显示，无停留时间条件下，有路标线索时人们对路径长度判断更长($M_{\text{无}} = 5.72$, $SD_{\text{无}} = .99$; $M_{\text{有}} = 6.11$, $SD_{\text{有}} = 1.15$), $F(1, 33) = 6.78$, $p < .05$, $\eta^2 = .17$ 。有停留时间条件下路标线索对认知地图并无显著影响($p = .50$)。D₁ 分析结果显示，路标线索主效应显著， $F(1, 33) = 4.92$, $p < .05$, $\eta^2 = .13$ ，时空感知跨度和路标线索交互作用显著（图 7）， $F(1, 33) = 9.13$, $p < .01$, $\eta^2 = .22$ 。简单效应显示，无停留时间条件下，无路标线索时人们的判断误差更小($M_{\text{无}} = -.08$, $SD_{\text{无}} = .22$; $M_{\text{有}} = .03$, $SD_{\text{有}} = .24$), $F(1, 33) = 17.16$, $p < .001$, $\eta^2 = .34$ 。

表 5 离散空间信息指标、整合空间信息指标和认知地图绘制准确率方差分析结果

		时空感知跨度*路标线 索交互效应	时空感知主效应	路标线索主效应
离散空间信 息指标	路径长度	$p < .05$, $\eta^2 = .13$	$p = .42$	$p = .27$
	D1	$P < .01$, $\eta^2 = .22$	$p = .37$	$p < .05$, $\eta^2 = .13$
整合空间信 息指标	D2	$p = .99$	$p = .93$	$p = .13$
	D3	$p < .05$, $\eta^2 = .12$	$p = .85$	$p < .05$, $\eta^2 = .17$
认知地图绘制准确率		$p < .05$, $\eta^2 = .15$	$p = .62$	$p = .67$

整合空间信息指标分析中，D₂ 分析结果均不显著。D₃ 分析结果显示，路标线索主效应显著， $F(1, 33) = 6.94$, $p < .05$, $\eta^2 = .17$ ，时空感知跨度和路标线索交互作用显著（图 8）， $F(1, 33) = 4.39$, $p < .05$, $\eta^2 = .12$ 。简单效应显示，无停留时间条件下，有路标线索时人们的判断误差更大($M_{\text{无}} = -4.86$, $SD_{\text{无}} = 5.03$; $M_{\text{有}} = -14.78$, $SD_{\text{有}} = 7.72$), $F(1, 33) = 13.99$, $p < .001$, $\eta^2 = .30$ 。

认知地图绘制准确率结果显示，路标线索主效应显著， $F(1, 33) = 3.15$, $p < .05$, $\eta^2 = .15$ ；时空感知跨度主效应不显著($p = .62$)；时空感知跨度和路标线索交互作用不显著($p = .67$)。”

意见 5：在计时时是否有双盲处理？即评分者不知晓实验设计与假设。

回应 5：感谢审稿人的意见。本研究在草图绘制任务的评分中做了双盲处理，我们已在

正文中增加了相应的描述，位于正文 p7，具体内容如下：

“认知地图绘制准确率计分规则基于被试画出的最典型路线进行计分(吴佳鑫, 2020)，由 2 位同实验室人员共同对被试绘制的草图进行计分。计分规则采取双盲处理，若 2 位实验室人员评分差值大于总分的 1/3，需要第 3 位实验室人员对该结果评分，删去偏差值较大的分数，取评分均值为最终得分。路线形状与正确路线基本一致得 3 分；路线可以辨别但存在部分错误得 2 分；无法辨认路线得 1 分；正确命名路线起点和终点得 1 分；指出行走路线方向得 1 分；在此基础上，被试画出路线附近的相应路标信息、描述等情况均可加 1 分。最终分数区间为无路标线索环境 0~36 分，有路标线索环境 0~46 分，计算被试绘制认知地图草图的准确率，即最终得分除以总分。使用 IBM SPSS 25.0 软件进行相关分析及方差分析。”

意见 6：实验 2 中有时间停留中，停留点的位置在哪里？停留时间是多少？

回应 6：感谢审稿人提出的意见。实验 2 中我们将停留点设置在转弯处，这样设置的原因是避免在路径中央设置停留点影响被试对路径距离的整体判断。共两处停留点，每处停留点均停留 30s，以此来延长被试对导航时长的主观判断。但我们在实验过程中告知被试导航过程中停留点随机呈现，需要被试在观看导航视频时始终保持注意力，以免被试在停留点时因提前知晓停留位置和停留时间而遗漏导航视频信息。也避免被试在停留点回忆已走过的路线而对实验结果产生影响。对停留点的设置我们在文中增加了相关描述，位于正文 p12，具体内容如下：

“实验 2 中虚拟地图同样包含两条主路线与一条连接路线。主路线由两个转弯处连接的三条路径构成，主路线间由连接路线相连构成，鸟瞰图如图 6。将两种实验条件中的行进速度均设置为 12km/h，在有停留时间的条件下于转弯处设置两个停留点，每次停留 30s，延长个体在空间导航过程中的主观导航时间。停留处设置在导航过程中，被试被告知停留点随机且不知晓导航停留时间，在停留时间中被试需集中注意力关注下次导航开始的时间。无停留条件中导航时长为 50s，有停留条件中导航时长为 100s。”

第二轮

文章在本轮中针对文章语言的流畅性进行了修改,并根据期刊的字数要求对文章内容进行了一定的增删。各部分修改内容如下:

1. 对摘要进行了内容上的增删,详细修改如下:

“空间导航的时空特性与认知地图密切关联。采用路径整合范式,通过路径距离判断任务和草图绘制任务测量认知地图的空间信息,探索空间导航中时空感知与路标线索对空间信息加工的影响。结果显示:(1)时空感知仅影响空间信息精确性,即时空感知跨度较长时,路径距离判断精确性较差而转弯角度判断精确性较好。(2)路标线索增强了时空感知对路径距离判断的精确性,但降低了转弯角度判断的精确性。也就是说,认知地图空间信息加工受到导航时空特性的影响,即直线加工受速度知觉调节的时空感知影响,转弯加工受时间知觉影响。这一结论对理解个体空间导航的认知加工过程具有重要意义。”

2. 引言部分对整体语言的流畅性进行了修改,并对部分段落的结构进行了调整,详细修改内容如下:

(1) 对第二段的结构进行了修改(正文 p1-2):

“TEM 模型(Tolman-Eichenbaum Machine)提出环境中的不同空间刺激各自被表征为独立因子,独立因子中抽象出的结构在不同感觉刺激间泛化以支持空间信息的灵活重组,从而构建认知地图(吴文雅, 吴亮, 2023)。TEM 模型初步诠释了认知地图构建过程中现实空间信息与抽象空间结构之间的关系,但事实上认知地图并非完全客观,个体受认知资源限制难以详尽地编码环境中的空间信息,因此,认知地图具有选择性和扭曲性(吴文雅, 吴亮, 2023)。而个体简化编码的方式以及对现实空间信息的扭曲程度可能与个体感知到的现实空间信息的复杂性等特征有关。空间导航中的时空感知(Spatio-temporal Perception)指个体对导航过程中的空间与时间感知信息的综合加工,包括导航距离估计和导航时长估计(Brunec et al., 2017)。人们通常使用时间间距表达空间距离,如十分钟路程,也会使用直线或箭头表达时间的线性特征。隐喻理论(Metaphor Theory)提出人们通过以时间概念为象征维度的空间表征形成空间概念(Boroditsky, 2000),这意味着个体的时间感知信息能够影响空间感知信息。鉴于时间感知与空间感知的紧密联系以及对现实空间信息的感知可能会影响个体对认知地图的构建,本研究推测空间导航中的时空感知会影响个体对空间信息内在抽象结构的泛化。”

(2) 将原文的三、四段合并为第三段,并在内容上做了删减(正文 p2-3):

“环境空间信息包括重要路标(包括起点、终点和标志建筑物等)间的相对位置和距离,

个体以路径整合的形式将环境空间信息与自身运动信息综合加工纳入认知地图(Poucet et al., 2014)。环境空间信息可能影响个体的时空感知。在空间导航过程中, Riemer 等人(2018)发现空间距离会影响个体对运动持续时间的估计,但也有研究发现个体会结合运动速度与持续时间来估计空间距离,表明运动持续时间对空间距离估计的影响(Kaski et al., 2016)。此外,环境中的转弯特征也会影响个体的时空感知,个体对 U 形路线和 L 形路线的导航距离估计和持续时间估计存在显著差异(Brunec et al., 2017)。研究表明,人们会低估导航所需时长,但当环境中存在转弯时,人们可能将转弯视作空间边界从而高估导航时间(Bonasia et al., 2016; Brunec et al., 2020)。个体通过路径整合构建认知地图的过程中除依靠内源性加工环境空间信息外,也会依靠路标线索等外源性信息进行(过继成思等, 2019)。路标指环境中醒目、稳定且包含位置信息的物体(Lew, 2011)。个体通过识别、记忆路标特征和路标间的空间关系初步建立空间表征。线索整合模型认为个体会整合身体信息和路标信息计算空间方向(Harootonian et al., 2022),但并未深入探讨其中的认知加工机制,一些研究为该模型提供了间接证据。例如,个体会记忆客体随时间推移而变化的形状来构建整体知觉(Unuma et al., 2010)。在空间导航中,个体能够将事件按时间顺序(前/后)和持续时间以空间顺序(左/右)编码为“心理时间线”(Mental Time Line)使离散的空间信息整合为具有连续时空性的空间信息(Bonato et al., 2012)。时间知觉受一定时间内发生事件的数量和性质影响(彭聃龄, 2019),路标可作为空间导航中的“事件”影响个体构建认知地图。另外, Tau 效应(Tau effect)提出刺激间的时间间隔是个体判断空间距离长短的依据(Jones & Huang, 1982)。因此,环境中的路标可能会影响个体主观时间知觉从而影响对认知地图的空间信息加工。综上,本研究推测在时空感知跨度较长的环境中,个体倾向于高估导航距离和转弯角度,当环境中存在路标时,时空感知对构建认知地图的影响更为显著。本研究的实验 1 就上述问题进行探讨,以时空感知跨度(50s 寻路、100s 寻路)为组间变量反映个体在空间导航中的时空感知,路标线索(有、无路标)为组内变量,认知地图空间信息为因变量,提出假设 1: 相比于 50s 寻路任务,人们在 100s 寻路任务中会高估路径距离和转弯角度,空间信息判断精确性和认知地图整合准确性均会产生较大偏差;当环境中存在路标时,个体在 100s 寻路环境中对空间信息判断的精确性和认知地图整合准确性提高。”

3. 修改了原文图片的清晰度,并在图片中增加了对主路线和连接路线的标识,见正文图 1(a)和图 7(a)。

(a)

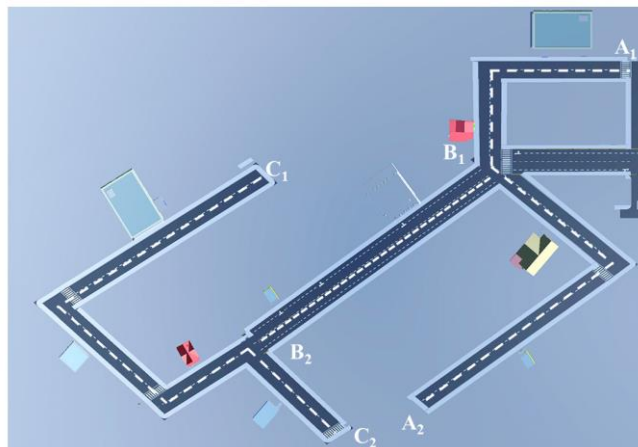


图 1(a) 虚拟地图鸟瞰图（注：鸟瞰图中 A_1A_2 、 C_1C_2 为主路线， B_1B_2 为连接路线）

(a)

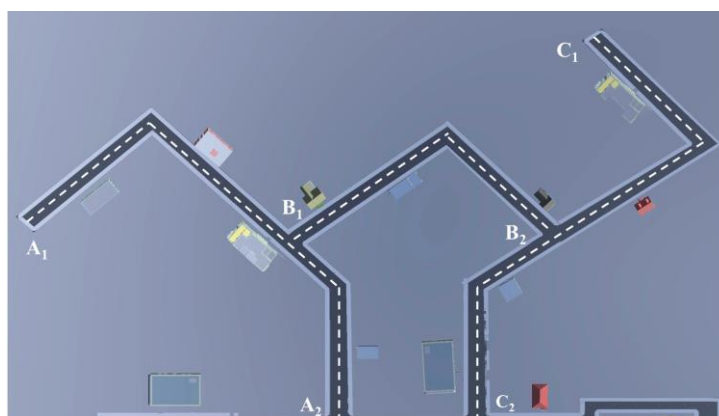
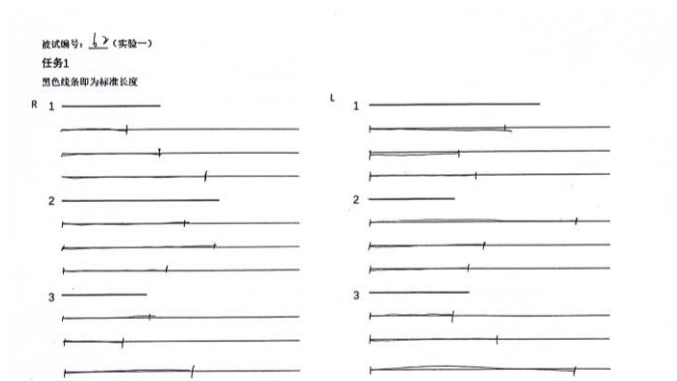


图 7(a) 虚拟地图鸟瞰图（注：鸟瞰图中 A_1A_2 、 C_1C_2 为主路线， B_1B_2 为连接路线）

4. 为使读者能够更好地理解实验任务，在正文中增加了答题示例图，见正文图 3。



互作用。对于路径距离判断，在有路标线索的环境中，个体对路径距离的判断受时空感知影响，在无路标线索的环境中，时空感知并不影响路径距离判断。van Rijn(2014)提出的时间扩张效应(Temporal Dilation Effects)解释了路标线索在时空感知影响路径距离时的作用，他认为当个体以较快的速度移动并感知到更多的环境变化时会延长主观的导航时长，从而导致个体对路径长度判断产生偏差。因此，个体会参考环境中的路标线索来判断导航时长，从而影响对路径的直线加工。对于转弯角度判断，路标线索会增加个体对转弯角度判断的偏差。根据线索整合模型的观点，个体会结合环境线索与自身运动线索判断空间方位。时间知觉作为内源性信息为个体提供了自身运动线索，而在整合环境线索的过程中路标线索增强了心理模拟的时间压缩性使个体表现出低估角度度数。这一结果也证明了个体在判断转弯角度时主要依赖于时间知觉，该结论与先前研究结论一致，即个体依赖自身运动信息判断转弯角度(Ivanenko et al., 1997)。”