

# 空间记忆的内在参照系理论及研究进展\*

李 晶<sup>1</sup> 张 侃<sup>2</sup>

(1. 南京师范大学教育科学学院, 南京 210097; 2. 中国科学院心理研究所, 北京 100101)

**摘 要:** 内在参照系理论提出, 人在记忆环境中物体位置时会先指定一个方向, 以此为基础建立内在参照系进行表征, 并强调这种表征方式在空间记忆中占主要地位。该理论的核心问题是内在参照方向的选择, 通常采用相对位置判断和部分场景再认范式进行研究。目前研究者们主要关注各种空间因素对于内在参照系建立的影响, 包括场景结构、观察视点和物体朝向等。在未来研究中, 首先可以考虑采用新的实验范式继续讨论内在参照系与自我中心参照系的关系, 也可引入新的空间因素以及人口学变量来探讨它们的影响, 并加大脑机制方面的研究力度。

**关键词:** 空间记忆; 内在参照系; 相对位置判断; 部分场景再认

## 一、空间参照系

空间认知是认知心理学的一个重要分支, 研究的重点是人的方位定向功能, 即人对物体的空间关系、位置和对自身所在空间位置的知觉, 这种知觉是各种感觉(主要是视觉和听觉)协同活动的结果。其中, 视觉的方位定向主要是通过物体在视网膜上投影的相对位置不同来实现的, 而决定视觉空间定向结果的关键因素是所选取的各种参照物, 这就涉及到空间认知研究中的一个重要概念: 空间参照系(*Spatial frame of reference system*)。

在我国, 古人很早就使用到了空间参照这一概念。例如墨子在《经说》中曾提到“宇, 东西家南北”, 即空间是各种不同场所或方位的总称, 例如东、西、家、南、北这些具体方位概念, 合在一起就抽象出总的空间概念。引文中提到“家”, 指的就是人选定的空间方位参考点。这些概念关系到空间方位的定义问题, 并且注意到了具体空间方位的相对性<sup>①</sup>。然而古人的论述较为粗浅, 最早将空间参照系这一概念明确化的则是欧洲的格式塔心理学派, 他们认为物体的位置及其变化只能通过空间中的其它物体或点来确定, 因此在空间认知系统中存在着用以计算和确定某个物体位置的坐标系统, 这就是空间参照系<sup>②</sup>。为了对物体的位置进行编码, 就需要将它的方位与空间参照系进行比对。因此, 人们对空间中物体位置和方向的知觉和记忆必须借助参照系<sup>③</sup>, 参照系的选择是空间认知过程中的关键内容。

为了便于研究, 学者们根据不同的分类体系将空间参照系划分为各种类型。其中使用最广泛的分类系统是 Levinson 提出<sup>④</sup>, 他将空间参照系分为: 1) 内在(*Intrinsic*)参照系(亦称物体-物体参照系, *Object-to-object*), 即以物体与物体之间的位置关系进行空间表征; 2) 相对(*Rel-*

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目(30800304), 中国博士后科学基金(20100481162), 江苏省博士后科研资助计划(1002046C)。

ative) 参照系(亦称自我中心参照系<sup>⑤</sup> *Egocentric*) ,即以人与物体之间的位置关系进行空间表征; 3) 绝对(*Absolute*) 参照系 ,即以东西南北四种固定不变的方向作为标准进行空间表征。

虽然有关空间参照系这一问题的研究已经相当成熟 ,并涉及到了多个领域 ,例如心理学、认知神经科学、语言学等<sup>⑥</sup> ,但相关研究者却一直进行着这样的争论: 人在进行空间记忆活动时 ,究竟以何种参照系为主来对空间环境进行表征<sup>⑦</sup>? 争论的双方分别是坚持以自我中心参照系为主的 Wang 等人 ,以及坚持以内在参照系为主的 Mou 等人。这场争论始于十年前 ,更早期的空间记忆模型<sup>⑧</sup> 中尚未提及空间参照系的内容。首次关注这一问题的是 Easton 与 Sholl<sup>⑨</sup> ,她们认为空间记忆中存在着两个系统: 自我中心参照系统和物体-物体参照系统 ,这两个系统分别负责不同层面空间记忆的内容 ,自我中心参照系表征更多地存在于知觉-运动层面 ,而物体-物体参照系表征更多地存在于记忆层面。两个系统共同作用才能完成记忆系统中空间信息提取的任务。

Easton 与 Sholl 的模型属于中立型 ,并没有明显倾向于指出人究竟以哪种参照系为主进行记忆表征 ,而且该理论尚未获得有效的实验证据支持。在她们提出这一观点后的几年里 ,很多研究者<sup>⑩⑪⑫</sup> 倾向于认为空间记忆主要通过自我中心参照系来进行表征 ,他们的主要证据来源于空间认知研究中非常著名的观察视点依赖效应(*Viewpoint dependence effect*) : 即人在某一特定视点上对场景进行观察学习之后 ,对学习视点方向进行再认或回忆的绩效比非学习视点方向的绩效要好<sup>⑬</sup>。他们认为这一效应强有力地证明了空间记忆是一种依赖于学习视点的表征 ,人在进行空间表征时主要使用的是自己与场景内物体的关系 ,即采用了自我中心参照系; 随着观察者的运动 ,空间表征也在根据新的位置进行不断的更新。

但近年来 ,越来越多的研究者得到并提出了一些与自我中心参照系为主的观点相悖的实验证据<sup>⑭⑮</sup> ,并且有研究者指出自我中心参照系表征存在两个难以克服的弱点: 一是在这种参照系中 ,物体之间的位置关系必须通过物体相对于观察者的表征计算出来 ,而不是直接存贮在空间记忆之中 ,因而更易于出现错误; 另一方面 ,自我中心参照系表征的体验会随着视角的变换不断改变 ,因而不稳定持久 ,很难在较长时间范围内恢复和提取物体位置与空间关系的信息<sup>⑯</sup>。为了解决这个问题 ,Mou 等人提出了空间记忆内在参照系理论 ,来解释自我中心参照系表征论所不能解释的问题。他们认为空间记忆主要通过内在参照系来进行表征 ,这种参照系能直观地反映物体之间的位置关系 ,通过内在参照系形成的表征比自我中心参照表征更准确、稳定且持久。以下将对该理论进行详细阐述。

## 二、空间记忆的内在参照系理论

空间记忆的内在参照系理论认为: 人们在知觉、记忆环境中的物体时会建立一个内在参照系以定义物体间的空间关系。具体而言 ,观察者首先会根据当前环境中的线索或者物体的特征选定一些参照物 ,并根据所选参照物的位置关系指定一个方向<sup>⑰</sup> ,即赋予环境一个“认知上的北方”(*conceptual north*)<sup>⑱</sup> ,以此建立内在参照系对场景内物体之间的位置关系进行表征。内在参照方向不一定与观察学习的视点方向重合 ,其它因素诸如物体所处环境特征、物体位置的布局等都可能影响内在参照方向的选择: 例如 ,当观察者处在一个矩形房间中时 ,如果场景中有几个物体组成的方向与房间的边长平行 ,那么这些物体就可能被选定为参照物 ,同时它们组成的方向即为内在参照方向 ,而后观察者对物体位置进行表征时都会和这个方向进行对比判断。观察者同时还表征了自己相对于内在参照系的位置和朝向 ,当观察者运动时 ,他会不断更新自己相对于内在参照系的位置和朝向 ,改变自我中心参照系形成的表征<sup>⑲</sup>。

相比之下,内在参照系本身、以及其它物体相对于内在参照系的位置和朝向,都是独立于观察视点方向的,即不会因为观察者的运动而改变,其稳定性相对于自我中心参照系而言要高得多,所以在空间记忆中应占据着主要地位。

内在参照系研究通常采用离线更新(*Offline updating*)的实验范式。这种范式包括学习和测试两个阶段。在学习阶段,被试需要观察采用实物或者虚拟现实呈现的场景并进行记忆,之后撤去场景进行记忆效果的测试,测试一般采取以下两种任务进行。1) 相对位置判断任务:每一个相对位置判断测试项目由三个物体组成,通过语音形式提供给被试,例如“想象你站在A,面对着B,请指向C”。被试需要根据想象朝向指定的方向(AB连线)对目标物体(C)的位置进行指示<sup>⑮⑯</sup>。2) 部分场景再认任务:部分场景再认指的是选取所学场景中构成某种特征的几个物体(一般是三个,ABC)组成测试项目,并从不同的角度呈现,要求被试进行再认<sup>⑳㉑</sup>。通过上述两种方式开展的研究给出相同的结论:如果相对位置判断任务中的想象朝向、或者部分场景再认任务中任意两个物体(例如A与B)组成的连线方向与被试选择的内在参照方向一致,由其表征的物体空间关系就可以被直接恢复出来,于是被试只需要直观地从记忆中提取物体C相对于内在参照方向的位置即可。因此无论被试从何种视点方向进行测试,这种条件下的相对位置判断和部分场景再认的成绩都比其他条件下的成绩好。否则由于物体空间关系在记忆中并没有被直接表征,就需要通过推断才能计算出来,所以相对较难且更易出现错误。这些实验结果均证明了内在参照方向依赖效应的存在。

有趣的是,在部分场景再认任务中不仅发现了内在参照方向依赖效应,而且发现了观察视点依赖效应,而这种情况在相对位置判断任务中并不出现。这可能是因为被试形成了两种不同的表征<sup>㉒</sup>:一种是依赖于内在参照方向的空间关系表征,在两种任务中均会出现;另外一种是由观察视点所定义自我中心视觉表征,它类似于Wang和Spelke<sup>㉓</sup>所提出的视觉快照(*Visual snapshot*),该表征对场景再认任务敏感,因而只在部分场景再认任务中出现,并不是空间记忆测试任务的一般性现象。内在参照系理论对于部分场景再认范式中存在观察视点效应的解释,也体现了他们承认自我中心参照系在记忆中的存在但并不占据主要地位的观点。

除了上述两种方法之外,近年来有研究者使用了Simons和Wang<sup>⑴⑵</sup>设计的位置变化探测范式的变式进行内在参照系的研究<sup>⑶⑷</sup>。在这一实验范式中,被试将会在很短时间内观察到数个物体组成的特定场景,然后经过实验处理(例如,场景的转动)之后再次看到这一场景,判断是否发生了变化。虽然该范式是由支持自我中心参照系为主的研究者提出的,但使用其变式产生的结果却支持了内在参照系为主要的观点:即当空间中存在着有效的空间线索提示时,被试会使用提示的方向建立内在参照系,同时这种情况下的判断成绩比没有线索提示的更好,说明建立良好的内在参照系结构有助于空间信息的表征。

虽然内在参照系理论支持者在行为实验方面获得了大量的数据支持,但脑机制方面的研究工作尚在起步阶段。最近,Xiao等人<sup>⑸</sup>基于前人的相关研究经验<sup>⑹⑺</sup>,对于内在参照系的脑机制问题进行了开创性的工作:他们使用了部分场景再认范式研究了被试的脑成像情况,结果发现当部分场景内的三个物体两两连线中不包含内在参照方向时,右侧顶内沟的激活水平与前扣带回皮层的负激活水平都比包含了内在参照方向条件下的水平要高。这表明不包含内在参照方向时的任务更困难,因为这种情况下的物体位置关系不能直接提取,而需要推断,所以必须付出更多相关认知资源。这一结果从脑机制层面证明了内在参照方向依赖效应的存在,支持了内在参照系为主要的理论。

### 三、影响内在参照系建立的因素

内在参照系的建立与内在参照方向的选择受到多种因素的影响,其中已被证明的主要包括场景结构、观察视点和场景内物体的朝向等因素。

#### 1. 场景结构对内在参照系建立的影响:

场景的内在几何结构特性是影响空间认知的重要因素<sup>24</sup>,因此它也是影响内在参照系方向选择的重要因素之一。其中最典型的就是对称轴,研究者们采用行为实验<sup>25</sup>和眼动记录的方式<sup>26</sup>证明:在规则场景(即存在明显的对称轴)中,被试倾向于选择对称轴而非观察视点作为内在参照方向,表现为在学习场景的过程中,沿对称轴方向的眼球移动次数明显多于沿观察视点方向的次数;而且在行为测试过程中,相比于包含了观察视点方向的物体组合,被试对包含了对称轴方向的物体组合反应更快。除了对称轴之外,场景中由物体组成的各条连线中,最长的连线在视觉上也是非常突出的,因此被作为内在参照方向的可能也较高<sup>27</sup>。另外,场景结构提示(例如,在背景中以黑点标志物体摆放的位置)是否出现对于内在参照方向的选择也具有一定的影响,表现为当场景中有结构提示出现时,被试倾向于根据提示进行内在参照方向的选择<sup>28,29</sup>,内在参照系建立的效率明显提高。总之,有效的结构线索提示对于内在参照系的建立具有良好的促进作用。

#### 2. 观察视点对内在参照系建立的影响:

观察视点的条件主要可以分为三种:单一观察视点、多个观察视点、运动视点。其中,单一观察视点条件在研究中最常用,指的是被试在对场景进行学习的过程中是静止不动的,只能从当前视点进行观察学习。Mou 和 McNamara<sup>15</sup>提出内在参照系时所展示的经典实验中,使用的就是这种视点条件。在这种情况下,观察视点方向经常被用作内在参照方向的重要参考。多个观察视点指的是被试在多个观察点(一般不超过三个)对场景进行学习,在从一个观察点向另一个观察点迁移的过程中,通过让被试佩戴眼罩的方式避免他们从运动产生的视觉流中获得持续更新的空间信息。在这种情况下,空间表征仍然是依赖于特定内在参照方向的,被试在空间记忆中仍然只建立一个内在参照系来表征场景,而不是独立于朝向或者依赖于多个观察视点的<sup>30</sup>。同样,在运动视点条件下,即可以通过自由运动产生的视觉流不断获取空间更新信息的情况中,被试也只建立了一个内在参照系来进行场景表征<sup>31</sup>。总结三种不同的条件,可以看出无论视点条件如何变化,观察者均会根据环境的具体情况选定一个内在参照方向,而其它所有可能用来定义和描述场景空间关系的内在参照系则被抑制,在行为结果上表现为单一参照系表征的反应模式。

#### 3. 物体朝向对内在参照系建立的影响:

物体朝向在场景中也是相当显著的空间线索,现有相关研究中主要关注的是场景内物体朝向的一致性。Marchette 和 Shelton<sup>32</sup>使用玩具动物组成的不规则场景进行了研究,结果发现当物体朝向一致方向时,被试会采用物体朝向作为内在参照方向来表征场景中物体的位置。而当场景中存在明显的其它空间线索(例如对称轴)时,即使物体朝向和场景的对称轴方向不同,人们也有可能选择物体朝向作为内在参照方向<sup>21</sup>。由此可见,无论场景是否对称,物体朝向一致性是内在参照方向选择时的重要参考因素。

由此可见,人在选择内在参照系时要依赖于一定的线索,这些线索包括来自环境和观察者的因素。当环境中没有明显线索时,观察者只会把观察视点方向作为线索去建立与其一致的内在参照系来表征场景,这是内在参照方向依赖性的表现,而非观察视点依赖。但当遇到

更为明显的环境线索可作为内在参照方向时,观察者就会将这个新的内在参照方向作为空间记忆中认知地图的“北方”,并以新的内在参照系来重新定义和描述环境。

#### 四、总结与展望

以上介绍了空间记忆内在参照系理论的主要内容,说明了这一理论体系中常用的实验范式,另外还讨论了场景结构、观察视点和场景内物体的朝向对于内在参照方向选择与内在参照系建立的影响。在未来研究中,还可以考虑从以下方面开展工作:

1) 人类空间记忆究竟是以何种参照系为主来对环境进行表征,现在仍存在争议。坚持内在参照系为主的研究者们承认观察视点依赖效应的存在,但他们认为由观察者自身所定义自我参照系,只是用来表征暂时的自我-物体关系,这种表征只发生在感知觉层面,因而在没有知觉支持和不断重复的条件下会很快地消退。相比之下,内在参照系更为稳定与长久,因此这种表征在空间记忆中占据主要地位。但研究者同样也发现了一些问题,例如内在参照系的相关研究都是从场景外进行学习,当观察者处在场景中时,却往往出现倾向于采用自我中心表征存储空间记忆的情况<sup>⑤</sup>,而且这种记忆较为稳定,这是内在参照系理论无法解释的。在未来的研究中,应当开发更多可取的实验范式继续讨论自我中心参照系与内在参照系的关系,或者采用更为温和的态度将自我中心参照系纳入内在参照系理论体系之中。

2) 场景中的空间因素众多,仅场景结构便有各种各样的变化,因此在未来的研究中可以继续挖掘各种可能影响到内在参照系建立的因素。这类研究不仅可以完善内在参照系的理论体系,也可以帮助研究者在实验过程中排除无关的干扰因素,使得所要研究变量的效应更为纯粹;此外,也可以通过在实验中控制不同因素的组合形式,研究内在参照方向选择的决策过程中各因素的优先级顺序,目前已有研究者正在从事这方面的尝试。

3) 内在参照系建立的脑机制研究尚处于萌芽阶段,仅在功能性核磁共振(*fMRI*)研究中获得了有说服力的结果。在事件相关电位(*ERP*)研究中,由于现有的实验范式中所需要的反应时间都较长,所以尚未取得阶段性成果,未来可以考虑设计一些合理的范式继续进行这方面的尝试,获取具有时间分辨率的数据支持。

#### 参考文献

- ①关增建《中国古代的空间观念》,《大自然探索》1996年第4期。
- ②Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt psychology*. New York: Harcourt, Brace and Co.
- ③方经民《汉语空间方位参照的认知结构》,《世界汉语教学》1999年第4期。
- ④Levinson, S. C. (2003). *Space in language and cognition: explorations in cognitive diversity*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ⑤Carlson-Radvansky, L. A., & Irwin, D. E. (1993). Frames of reference in vision and language: where is above. *Cognition*, 46, 223-244.
- ⑥Majid, A., Bowerman, M., Kita, S., Haun, D. B. M., & Levinson, S. C. (2004). Can language restructure cognition? The case for space. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 108-114.
- ⑦牟伟民、赵民涛、李晓鸥《人类空间记忆和空间巡航》,《心理科学进展》2006年第4期。
- ⑧Kosslyn, S. M. (1987). Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: a computational approach. *Psychological Review*, 94, 148-175.
- ⑨Easton, R. D., & Sholl, M. J. (1995). Object-array structure, frames of reference, and retrieval of spatial knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 21, 483-500.
- ⑩Christou, C. G., & Bühlhoff, H. H. (1999). View dependence in scene recognition after active learning. *Memory & Cog-*

dition , 27 , 996 – 1007.

①Simons, D. J. , & Wang, R. F. ( 1998) . Perceiving real-world viewpoint changes. *Psychological Science* , 9 , 315 – 320.

②Wang, R. F. , & Simons, D. J. ( 1999) . Active and passive scene recognition across views. *Cognition* , 70 , 191 – 210.

③Diwadkar, V. A. , & McNamara, T. P. ( 1997) . Viewpoint dependence in scene recognition. *Psychological Science* , 8 , 302 – 307.

④Shelton, A. L. , & McNamara, T. P. ( 2001) . Systems of spatial reference in human memory. *Cognitive Psychology* , 43 , 274 – 310.

⑤Mou, W. , & McNamara, T. P. ( 2002) . Intrinsic frames of reference in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition* , 28 , 162 – 170.

⑥Newcombe, N. S. ( 2002) . Spatial cognition. In Medin D. ( Ed. ) , *Stevens' Handbook of Experimental Psychology* ( pp. 113 – 163) . New York: John Wiley.

⑦Li, X. , Carlson, L. A. , Mou, W. , Williams, M. R. , & Miller, J. E. ( 2011) . Describing spatial locations from perception and memory: the influence of intrinsic axes on reference object selection. *Journal of Memory and Language* , 65 , 222 – 236.

⑧Rock, I. ( 1990) . The frame of reference. In I. Rock ( Ed. ) , *The legacy of Solomon Asch: essays in cognition and social psychology* ( pp. 243 – 268) . Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

⑨肖承丽 《场景几何结构与学习位置对自我中心与环境中心空间更新的影响》 博士学位论文, 中国科学院研究生院, 2008 年。

⑩Mou, W. , Fan, Y. , McNamara, T. P. , & Owen, C. B. ( 2008) . Intrinsic frames of reference and egocentric viewpoints in scene recognition. *Cognition* , 106 , 750 – 769.

⑪李晶、张侃 《对称场景中朝向一致性对内在参照系的影响》, 《心理学报》2010 年第 3 期。

⑫Valiquette, C. M. , & McNamara, T. P. ( 2007) . Different mental representations for place recognition and goal localization. *Psychonomic Bulletin & Review* , 14 , 676 – 680.

⑬Wang, R. F. , & Spelke, E. S. ( 2002) . Human spatial representation: insights from animals. *Trends in Cognitive Sciences* , 6 , 376 – 382.

⑭Mou, W. , Zhang, H. , & McNamara, T. P. ( 2009) . Novel view scene recognition relies on identifying spatial reference directions. *Cognition* , 111 , 175 – 186.

⑮Zhang, H. , Mou, W. , & McNamara, T. P. ( 2011) . Spatial updating according to a fixed reference direction of a briefly viewed layout. *Cognition* , 119 , 419 – 429.

⑯Xiao, C. , McNamara, T. P. , Qin, S. , & Mou, W. ( 2010) . Neural mechanisms of recognizing scene configurations from multiple viewpoints. *Brain Research* , 1363 , 107 – 116.

⑰Galati, G. , Pelle, G. , Berthoz, A. , & Committeri, G. ( 2010) . Multiple reference frames used by the human brain for spatial perception and memory. *Experimental Brain Research* , 206 , 109 – 120.

⑱赵杨柯、钱秀莹 《自我中心视角转换——基于自身的心理空间转换》, 《心理科学进展》2010 年第 12 期。

⑲Kelly, J. W. , McNamara, T. P. , Bodenheimer, B. , Carr, T. H. , & Rieser, J. J. ( 2008) . The shape of human navigation: How environmental geometry is used in maintenance of spatial orientation. *Cognition* , 109 , 281 – 286.

⑳Mou, W. , Liu, X. , & McNamara, T. P. ( 2009) . Layout geometry in encoding and retrieval of spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition* , 35 , 83 – 93.

㉑Li, X. , Mou, W. , & McNamara, T. P. ( 2009) . Intrinsic orientation and study viewpoint in recognizing spatial structure of a shape. *Psychonomic Bulletin & Review* , 16 , 518 – 523.

㉒刘仙芸 《序列学习场景条件下学习序列与空间记忆内在参照系的建立》 博士学位论文, 中国科学院研究生院, 2008 年。

㉓Mou, W. , Zhao, M. , & McNamara, T. P. ( 2007) . Layout geometry in the selection of intrinsic frames of reference from multiple viewpoints. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition* , 33 , 145 – 154.

㉔Marchette, S. A. , & Shelton, A. L. ( 2010) . Objects properties and frame of reference in spatial memory representations. *Spatial Cognition & Computation* , 10 , 1 – 27.

㉕Mou, W. , McNamara, T. P. , Rump, B. , & Xiao, C. ( 2006) . Roles of egocentric and allocentric spatial representations in locomotion and reorientation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition* , 32 , 1274 – 1290.