

## 参照系整合条件下的空间方位判断\*

周荣刚<sup>1</sup>, 张侃<sup>2</sup>

(1. 北京航空航天大学经济管理学院管理科学与工程系, 北京 100083; 2. 中国科学院心理研究所脑与认知国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:**目的 考察空间方位判断(物体方位判断和前行方向判断)如何受目标物体位置和观察者前行方向的影响。方法 采用 4 个组内设计的实验, 分别以视图和记忆基础上的物体方位判断和前行方向判断作为实验任务; 因变量以判断时间为主; 被试者为 80 名大学生。结果 1) 0°(前)和 180°(后)优势效应、朝北优势效应(除实验 3 以外)和正方向 R90°位置(左/右)优势效应明显; 2) 实验 1 和实验 2、实验 3 和实验 4 在判断时间上没有显著差异; 实验 3 和实验 4 中定位所用时间没有明显差异, 但都长于判断时间。结论 这两种判断受前行方向和目标位置的影响模式总体上是一致的, 一定程度上不会因为信息载体和获取方式上的不同而改变。

**关键词:**空间方位判断; 前行方向判断; 自我参照系; 环境参照系

**中图分类号:** R857.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-0837(2008)05-0386-06

Spatial Direction Judgements Based on Integrating of Spatial References. ZHOU Rong-gang, ZHANG Kan. Space Medicine & Medical Engineering, 2008, 21(5): 382 ~ 391

**Abstract: Objective** To investigate how target position and observer's heading affect spatial direction judgement (object locating judgement vs. orienting judgement). **Methods** Based on visual spatial scene and spatial memory, localization judgement and orientation judgement were used as tasks in four subjects within experiments respectively. The data of response time were collected as the main dependent variables, and the total 80 subjects (40 female), participated in the study. **Results** 1) 0° (front) and 180° (back) advantage effect, north advantage effect (except for Exp. 3), and cardinal direction-R90° position advantage effect were significant; 2) There was no significant difference on response time between Exp. 1 and 2, and between Exp. 3 and 4; no significant difference on time used for location was found between Exp. 3 and 4, but each of them was longer than its corresponding response time for judgement task. **Conclusion** The effect modes of heading and target position are all consistent between the two types of spatial direction judgements, and the effect modes will not be changed according to differences in information medium and processing.

**Key words:** spatial direction judgement; orienting judgement; egocentric reference frame; environmental reference frame

**Address reprint requests to:** ZHOU Rong-gang, Department of Management Science and Engineering, School of Management Beihang University, Beijing 100083, China

自我参照系(egocentric reference frame)(以前、后、左、右等方位词的使用为特征)和环境参照(enviromental reference frame)系(以东、西、南、北等方位词的使用为特征)是人们对空间关系进行描述时采用的两种最基本的参照框架。同时结合这两类参照系所提供的信息对绝对方位进行迅速地判断是一种重要的空间认知能力,最典型的任务是要求被试者根据空域图(提供飞机飞行或观察者面对特定场景时的朝向,多以环境参照框架呈现)对该场景(往往以 3D 或照片的

方式呈现出来,即以自我参照框架呈现)中物体之间的绝对空间关系进行判断(以“北”、“东南”等方位词为特征),这种任务被称为参照系整合条件下的物体方位判断任务<sup>[1-2]</sup>。Gugerty 等<sup>[1-3]</sup>和周荣刚等<sup>[2,4-5]</sup>发现对这类问题的研究可以为特定职业人员(如飞行员、空中交通管制员、汽车司机)的选拔和培训提供重要的理论支持。以往研究主要发现:目标物体的位置(体现自我参考框架的特点)和观察者的前行方向或朝向(体现的两类参照系匹配的程度)是影响这类判断的重要因素,表现为北优势效应、正方向优势效应、目标位置在前和在后的优势效应以及正方向左右位置优势效应<sup>[1-5]</sup>;综合分析和旋转策略是这类任

修回日期: 2008-03-25

通讯作者: 周荣刚 zhouronggang@gmail.com

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30800304)

务常用的判断策略<sup>[6-8]</sup>。上述判断任务还有一种变式,即要求被试者根据该场景中物体之间的绝对方位判断观察者或飞机的朝向,这种任务可以称为参照系整合条件下的前行方位判断。相对来说,这类任务关注的较少,而且关注的范围也仅在主方位判断(以“东、南、西和北”进行的判断,是绝对方位判断中的特殊情况)研究中<sup>[2, 4-5, 9]</sup>,整体上也缺少与物体方位判断任务的对比性研究。本研究沿用周荣刚等<sup>[10]</sup>的方法,以媒介和空间信息呈现方式为切入点,比较物体方位判断和前行方位判断如何受目标位置和前行方向的影响。

## 视图基础上的 空间方位判断研究

### 方法

该研究有实验 1 和实验 2。

**被试者** 实验 1 和实验 2 各有 20 名(男女各半)大学本科生参与,年龄在 17~23 岁之间。

**实验任务、材料和过程** 实验 1 和 2 均为集体施测,每组为 5~6 人。每个实验分为:数字按键练习阶段、场景学习阶段和实验阶段。按键练习阶段中,屏幕出现“北”要求被试者按小键盘上的数字键 8,其余对应的关系分别是:9 - 东北,6 - 东,3 - 东南,2 - 南,1 - 西南,4 - 西,7 - 西北;共作 48 次判断。之后在另一个房间中进行场景学习:圆柱形空间(以避免外围线索被利用)中一直径为 2.12 m 的圆形桌面上有 7 个体积大小相当的均匀放置物体(图 1),被试者站在特定区域内熟悉该场景结构,然后进行任务描述:实验 1 为物体方位任务(即以东、西北等 8 个方位词对“当你面对东时,A 在 B 的哪个方向”进行判断),实验 2 为前行方向判断任务(即以东、西北等 8 个方位词对“当 A 在 B 的东面时,你面对的是哪个方向”进行判断)。学习直至能正确回答 80% 以上的问题,方可认为该被试者理解了实验任务。场景学习后,被试者来到测试房间。被试者根据该场景的照片进行相应的判断(图 1)。其中左半部分表示场景布局(按先上下后左右的顺序,这几个物体分别为电池、橡皮、锁、木块、胶水、夹子和灯泡),实验材料由照片和地图组成,就实验 1 来说,照片右边的地图表示观察者的前行方向为东,

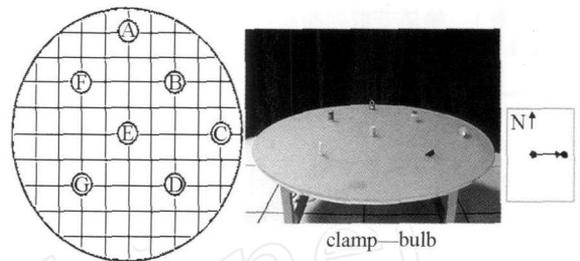


图 1 实验 1 和实验 2 的场景布局和实验呈现的材料  
Fig 1 Layout of scene and materials used in Exp 1 and Exp 2

以此判“夹子在“灯泡”的“西北”;实验 2 中该地图表示的则是“夹子在灯泡的东面”,以此判断观察者面对的是“西南”。

前行方向(即场景学习时的朝向)有北(N)、东北(NE)、东(E)、东南(SE)、南(S)、西南(SW)、西(W)和西北(NW);目标物体相对于参照物体而言,从前到左前,其相对位置有  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $225^\circ$ 、 $270^\circ$  和  $315^\circ$ ;同一前行方向同一目标位置上各有 3 次不同的判断(如“电池—橡皮”、“锁—木块”和“胶水—夹子”),所以一次完整的任务共有 192 次判断,刺激材料随机出现。前后 2 个任务间由被试者按空格键控制,根据情况可自行稍作休息。每次判断都予以判断正确与否和判断时间的反馈。共有两次完整的判断。实验程序由 E-prime 心理学实验软件编制,在计算机屏幕上完成。每个被试者大约在 1.5~2 h 内完成。

**实验设计** 实验 1 和实验 2 单独进行,均为 3(前行方向:北、东南西、斜方向东北)  $\times$  5(目标位置: $0^\circ$ 、 $R45^\circ$ 、 $R90^\circ$ 、 $R135^\circ$ 、 $180^\circ$ )的被试者内设计。因变量为判断时间和正确率。

### 结果与分析

实验中要求被试者尽可能保持判断的正确性,因此正确率都比较高(分别为 90.14% 和 90.35%),不存在判断时间和正确性间的权衡问题,因此只对判断时间进行分析。以正确判断的判断时间作为统计数据来源,具体是:删除所有错误判断时间后分别剔除每个被试者每次完整判断中的极值(3 个标准差之外),之后以同一刺激 2 次判断时间的平均数计算每一个处理的平均值作为每个被试者参与统计的数据单元(如果两次判断中有一两次错误判断或被作为奇异值删除,则

表 1 物体方位判断和前行方位判断中前行方向和目标位置对判断时间 (m s) 的方差分析及各效应分析表  
 Table 1 ANOVA table analysis and responding t test for response time (m s) plotted by heading and target position in locating task and orienting task

tasks in different experiments	heading (2, 38)		target position (4, 76)		heading x position (8, 152)				
	F	tNorth	F	t0°	t180°	F	t1	t2	t3
locating-visual	53.54**	8.80**	12.46**	2.31*	2.51*	4.44**	5.14**	4.92**	0.22
orienting-visual	27.19**	4.84**	31.11**	1.98*	4.15**	7.26**	4.74**	6.31**	1.65
locating-memory	17.02**	3.91**	84.65**	4.50**	9.73**	6.79**	4.45**	6.98**	2.52*
orienting-memory	28.02**	3.18**	92.16**	4.78*	9.53**	13.0**	8.94**	8.56**	0.37

Note: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ ; tNorth for analysis of North-advantage effect (= meant only advantage compared with non-cardinal directions); t0° and t180° for testing of 0° and 180° position advantage respectively; t1 for testing between DR90° and DR45°; t2 for testing between DR90° and DR135°; t3 for testing between DR45° and DR135°

以另一次次判断的平均时间作为平均判断时间; 每一处理的均值求得方法类似)。实验 1 和实验 2 中的判断时间同时呈现在图 2 中。

效应 (先计算正斜前行方向在 R45°、R90° 与 R135 位置时的判断时间差值, 记为 DR45°、DR90° 和 DR135°; 然后对 DR45°、DR90° 和 DR135° 进行成对比较) 是否明显。所有检测均采用 t 检验的方法。表 1 给出了相关检验结果, 从中可以看到无论是物体方位判断还是前行方向判断, 朝北优势效应、0 位置优势效应和 180 位置优势效应都很明显。就“正方向 90 位置优势效应”来说, 检验结果不但很显著, 甚至存在明显的“斜方向 90 位置判断最慢”的趋势, 两种判断均是如此。这些都与以往的研究很一致。同时, 物体方位判断和前行方位判断 (平均值分别为 8 698.7 m s 和 8 504.7 m s) 在总体判断时间上也没有明显的差异,  $t(38) = 0.248$ 。但在一项主方位判断<sup>[9]</sup>中, 当前行方位判断中目标位置信息直接呈现, 而物体方位判断中前行方向信息通过地图呈现时, 前行方向判断时间短于物体方位判断; 而文献 [10] 发现直接呈现前行方向和通过地图呈现前行方向对物体方位判断没有明显影响。所以结合本研究的结果, 物体方位判断和绝对方位判断在判断时间上是否有差异, 可能与任务情境 (主方位判断还是绝对方位判断) 和信息呈现方式有关。

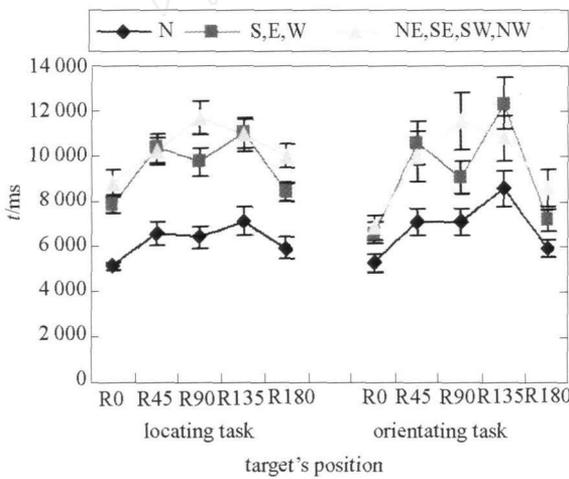


图 2 不同前行方向条件下目标位置对物体方位判断时间和前行方向判断时间的影响  
 Fig. 2 Response time was plotted as a function of target position and heading for locating task and orienting task respectively

从图 2 可以看出, 两个实验中: (1) 前行方向为北时的判断时间最短; (2) 总体来看 0 目标位置判断最短, 其次是 180 位置; (3) 正前行方向 (尤其是非北正方向) 和斜前行方向随目标位置的旋转表现了不同的影响模式, 在 R90 位置时正前行方向条件下判断要快于 R45° 和 R135 条件下的判断, 而斜前行方向条件下 R90 位置时判断最慢。分别对实验 1 和实验 2 的数据进行重复测量的方差分析。如果相应主效应显著, 则检测北优势效应 (北方向分别与非北正方向、斜方向进行比较)、0 位置 (0 位置分别与 R45°、R90°、R135 和 R180 比较) 和 180 位置优势效应 (180° 位置分别与 R45°、R90°、R135 比较) 是否明显; 如果交互效应显著, 则检测正方向 90 位置优势

## 记忆基础上的空间方位判断研究

以往研究发现信息的承载媒介 (包括空间场景记忆) 总体上不会改变前行方向和目标位置对物体方位判断的影响模式, 在视图基础上的空间方位判断研究的基础上, 本研究以空间场景记忆为媒介比较定位后的前行方位判断和物体方位判

断如何受目标位置和前行方向的影响。本研究有实验 3 和实验 4。

### 方法

**被试者** 实验 3 和实验 4 各有 20 名 (男女各半) 大学本科生参与实验, 年龄在 18 ~ 25 岁之间。

**实验任务、材料和过程** 实验 3 采用的是物体方位判断任务, 实验 4 采用的则是前行方向判断任务。两个实验均分学习阶段和测试阶段。学习的场景与前面实验一致, 被试者进入该空间后, 先被要求进行“东西南北”方位判断, 无论回答正确与否, 都予以“回答错误”反馈, 目的在于避免被试者以特定前行方向记忆场景。之后站立于固定位置 (视角与前面研究类似) 对该场景中物体位置进行识记, 被试者报告记住后, 要求他们闭上眼睛把所有物体名称报告出来, 直至报告完全正确为止。接着进行实验任务说明, 学习标准与实验前面相同。最后再要求被试者对场景物体位置进行识记, 正确报告物体名称后要求被试者闭上眼睛回答类似上述问题的任务直至完全连续正确判断至少 5 次。整个学习阶段所用时间在 15 ~ 40 min 不等。

实验 3 中, 学习结束后, 被试者来到另外一个房间进行测试。刺激通过视觉呈现: 实验进程由被试者自行控制, 按空格键后在白背景下呈现注视点“+”800 ms, 之后出现目标物体名称和参照物体名称如“夹子—橡皮”(指导语中告诉被试者夹子为目标物体、橡皮为参照物体), 当被试者认为已经记住这两个物体的名称并想象它们在场景中的位置 (指导语中要求被试者“想清楚参照物体和目标物体的位置并记住后, 按空格键继续”) 后 (这对物体名称呈现的时间, 即为路径知识获取所用时间), 自行按空格键出现前行方向词如“东”, 此时实验 3 中被试者的任务是判断“当学习场景时面对的是东, 请判断夹子在橡皮的哪个方向? ”。被试者进行音键反应 (以东、西北等这 8 个方位词予以报告), 要求被试者在保证判断正确的前提下判断得越快越好。实验进程由 E-prime 心理学实验软件随机呈现并记录判断时间 (出现方位词到被试者做出判断的这段时间), 答案由主试在由单向玻璃隔开的观察室内记录。8 次练习判断后 (若在练习中, 错误在 3 个或 3 个以上, 进行额外练习直到连续答对 5 个), 每个实

验中每个被试者需完成 2 次完整的判断 (共 384 次判断)。实验为个体施测。

实验 4 中呈现方位词如“东”后, 被试者的任务是判断“当夹子在橡皮的东面时, 请判断学习该场景时你所面对的是哪个方向”。实验任务按目标位置分为 8 组 (0°、45°、90°、135°、180°、225°、270° 和 315°), 组间随机, 每组内刺激 (即目标物体和参照物体的标示) 随机呈现, 与后续出现的方位词组成刺激对, 每一刺激对判断 2 次, 分别随机出现在 2 次完整判断的进程中。其他与实验 3 一致。

**实验设计** 实验 3 (物体方位判断) 和 4 (前行方向判断) 分别进行, 每个实验都要考察: 1) 路径知识获取所用时间 (定位时间), 以目标位置 (R0°、R45°、R90°、R135° 和 R180°) 为自变量进行单因素设计, 因变量为路径知识获取所用时间; 2) 判断时间, 为 3 (前行方向: 北、东南西、斜方向) × 5 (目标位置: R0°、R45°、R90°、R135° 和 R180°) 的组内设计, 因变量以判断时间为主。

### 结果与分析

对路径知识获取所用时间进行重复测量的方差分析。数据整理和处理的方式与实验 1 相同。

**获取路径知识所用时间** 图 3 表示的是目标位置对路径知识获取所用时间的影响, 从中可以看出: 目标在 0 和 180 时定位时间明显短于其他位置时的路径知识获取所用时间。

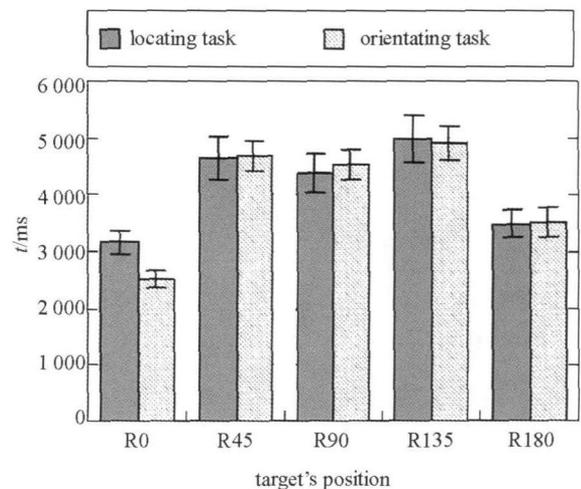


图 3 研究 2 中目标位置对路径知识获取所用时间的影响

Fig 3 Locating time was plotted as a function of target position in study 2

对于物体方位判断,方差分析表明:目标位置对路径描述所需时间的主效应显著,  $F(4, 76) = 23.84, P < 0.001$ ;主效应比较发现:R0 位置时明显比 R45°、R90°、R135 位置快,  $t(76) = 5.40, P < 0.001$ ;R180 位置明显比 R45°、R90°、R135 位置判断得快,  $t(76) = 4.01, P < 0.001$ ;对于前行方向判断,重复测量单因素方差分析表明:目标位置对路径描述所需时间的主效应显著,  $F(4, 76) = 43.95, P < 0.001$ ;主效应比较发现:R0 位置时明显比 R45°、R90°、R135°、R180 位置快,  $t(76) = 4.74, P < 0.001$ ;R180 位置明显比 R45°、R90°、R135 位置判断得快,  $t(76) = 4.70, P < 0.001$ ;两种任务条件下,目标位置影响路径描述所需时间的模式较为一致,总体上两者所用时间没有明显的差异(表 2)。

表 2 研究 2 中定位和判断时间的总体比较 (ms)  
Table 2 Location time (LT), response time (RT) and corresponding t test in for different tasks (ms)

indices	locating task	orienting task	t(38)
LT(ms)	4 141.47	4 031.95	0.35
RT(ms)	2 893.76**	3 089.43**	0.69
t(19)	4.52	3.32	

Note: \*\*  $P < 0.01$ , as compared with LT

**判断时间** 物体方位判断和前行方向判断的平均正确率分别为 93.84% 和 93.83%。实验 3 和实验 4 中的判断时间同时呈现在图 4 中,从中可以看出:1)前行方向判断中,总体上在 R45°、R90 和 R135 时北前行方向条件下的判断明显

较快;2)无论是物体方位判断还是前行方向判断,0 目标位置判断时间最短,其次是 180 位置;3)正前行方向和斜前行方向随目标位置的旋转表现了不同的趋势,在 R90 位置时正前行方向条件下判断要快于 R45 和 R135 条件下的判断,而斜前行方向条件下在 R45°~R135 转序列下判断依次递增(物体方位判断),甚至在 R90 位置时最慢。

按研究 1 的方式进行方差分析和相应比较,结果见表 1。可见无论是前行方向判断还是物体方位判断,在 0 位置和 180 位置时,北前行方向的优势效应都不是很明显,甚至在物体方位判断中北前行方向与非北正前行方向相比也没有表现出总体上的优势。同时,“斜方向 R90 位置判断慢”的趋势在物体方位判断中不存在。物体方位判断时间和前行方向判断时间总体上没有明显的差异,但都分别明显长于相应的物体定位时间(表 2)。

## 讨论与结论

本研究分别以视图和空间场景记忆为媒介,比较了参照系整合基础上的两种重要的空间方位判断——物体方位判断和前行方向判断——如何受目标位置和前行方向的影响。总体上目标位置和前行方向对二者的影响是一致的,在研究 2 的定位时间上也是一致的,这再次说明把参照系整合条件下的绝对方位判断分解成路径描述过程、自身定向过程和物体方位判断过程是合理的<sup>[2, 10]</sup>。但从图 2 和图 4 可以看到前行方向判断中“正方向(尤其是东南西)R90 位置快、斜方向 R90 位置慢”的趋势更为明显,这可能与判断中信息整合的方向或判断策略有关。物体方位判断依据的是路径信息(即目标位置信息)和自身定向信息,而前行方向判断依据的是路径信息和物体方位信息,从参照系整合或转换的角度来看,这两种判断的过程是相反的。判断过程或信息整合方向上的差异会如何影响判断策略的形成和使用,根据目前的研究成果对此还不能做出明确的回答。Gunze Imann 等<sup>[7]</sup>和 Gugerly 等<sup>[8]</sup>已结合特定的策略构建了绝对方位判断的 ACT-R 模型<sup>[11]</sup>,但这些研究都是基于视觉空间信息上的物体方位判断,后续可以围绕空间信息承载的媒介

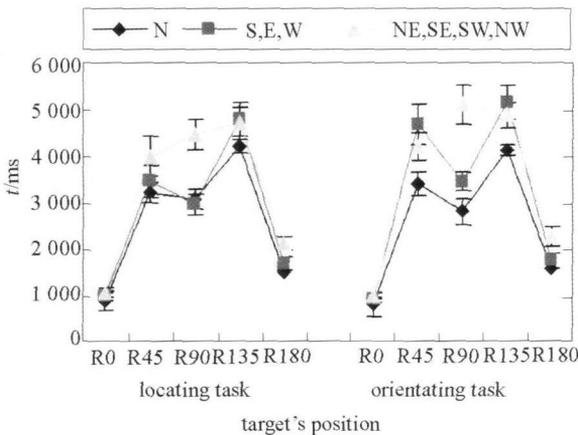


图 4 不同目标位置条件下前行方向对物体方位判断时间和前行方向判断时间的影响

Fig. 4 Response time was plotted as a function of heading and target's position for different locating task and orienting task respectively

和对这两类典型判断任务的逐步深入讨论有助于深入理解判断的认知过程和判断中策略的形成或转换。

尽管如此,根据本研究的结果尤其是有关前行方向判断的研究,可以初步认为:前行方向判断与物体方位判断一样受前行方向和目标位置的影响,且总体上的影响模式是一致的,这种影响一定程度上不受空间信息载体的不同而改变。具体来说,在前行方向判断中依然存在朝北优势效应(匹配效应)、0 位置 180 位置优势效应、以及正方向(尤其是东南西)R90 位置优势效应。研究结果对相关职业人员的选拔和训练以及辅助性界面的设计提供了参考性意义。

### [参考文献]

- [1] Gugerty L, Brooks J. Seeing where you are heading: integrating environmental and egocentric reference frames in cardinal direction judgement [J]. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2001, 7 (3): 251-266.
- [2] ZHOU Ronggang, ZHANG Kan. The cardinal direction judgement in integrating environmental and egocentric reference frames [J]. *Acta Psychologica Sinica*, 2005, 37 (3): 298-307.
- [3] Gugerty L, Brooks J. Reference-frame misalignment and cardinal direction judgement: group differences and strategies [J]. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2004, 10 (2): 75-68.
- [4] ZHOU Ronggang, YANG Jiazhong, ZHANG Kan. Training-related difference in cardinal direction judgement based on integrating reference frames [C]. In: *Proceedings of IEA-the XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association*, Korea: Seoul, 2003: 1189-1192.
- [5] YANG Jiazhong, ZHOU Ronggang, ZHANG Kan. The training effect and direction effect on spatially cardinal direction judgement [J]. *Psychological Sciences (in Chinese)*, 2004, 27 (6): 1322-1325.
- [6] ZHOU Ronggang, ZHANG Kan. Impact of mental rotation strategy on absolute direction judgement: supplementing conventional measures with eye movement data [C]. In: Jacko J. eds. *Human-Computer Interaction, Part III HC II2007, LNCS 4552*, 2007: 789-798.
- [7] Gugerty L, Rodes W. A cognitive model of strategies for cardinal direction judgement [J]. *Spatial Cognition and Computation*, 2007, 72 (2): 179-212.
- [8] Gunzelmann G, Anderson JR, Douglass S. Orientation tasks involving multiple views of space: strategies and performance [J]. *Spatial Cognition and Computation*, 2004, 4 (3): 209-256.
- [9] ZHOU Ronggang, ZHANG Kan. The direction of integrating reference frames and sex-related difference in cardinal direction judgement [J]. *Ergonomics*, 2004, 10 (1): 10-13.
- [10] ZHOU Ronggang. Absolute direction judgements based on integrating egocentric and environmental reference frames [D]. Beijing: Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, 2005.
- [11] Anderson JR, Bothe II D, Byrne MD, et al. An integrated theory of the mind [J]. *Psychological Review*, 2004, 111 (4): 1036-1060.

[作者简介]:周荣刚,男,讲师,博士,研究方向为认知工效学]