

认知心理学报告



三维客体心理旋转

专业：心理学
班级：心理 1402 班
学号：3140104088
姓名：李文敏
性别：男

三维客体心理旋转*

李文敏¹ 董一胜**

(浙江大学心理与行为科学系, 杭州, 310028)

摘 要 本实验通过重复 Shepard 等人的实验来考察心理旋转, 结果发现 (1) 平面旋转方式下旋转反应时和旋转角度之间存在较好的线性回归关系 (R^2 为 0.89), 深度旋转方式下线性关系较差 (R^2 为 0.67), 但是旋转角度对反应时的主效应是显著的 (2) 不同旋转方式之间的旋转反应时没有显著差异 (3) 是否相同对与旋转角度之间的交互作用显著, 相同对条件下, 反应时与旋转角度之间存在线性关系, 而不同对条件下反应时与旋转角度没有显著的线性关系 (4) 并没有发现显著的性别差异 (5) 实验过程中存在显著的区组效应即练习效应 (6) 反应快和反应慢被试之间存在策略差异 (7) 心理旋转任务可以通过指导语外显地要求被试进行心理旋转操作, 并且心理旋转能力可以通过训练进行提高 (8) 不可能图形和可能图形都是以局部表征形式进行编码加工。

关键词 三维客体 心理旋转

1. 引言

1.1 实验背景

心理表象 (mental image) 也称之为意象, 从信息加工的观点看, 表象是指不在眼前的事物的心理表征, 是一个人的知觉影像。而当今心理表象的研究则起源于 Shepard 和他的同事 Metzler 对心理旋转 (mental rotation) 的证明与解释 (Shepard & Metzler, 1971), Shepard 运用视觉线索研究记忆中视觉刺激的心理旋转。在该实验中, 被试要判断左右呈现的两个刺激对是否相同 (不考虑旋转角度)。在有些试验中, 右边客体是左边客体的镜像 (mirror image) 或同分异构体 (isomer), 所以两者是不同的; 而在另一些试验中, 右边客体与左边客体是相同的, 但是相对于左边的客体, 右边的客体被旋转了一定的角度, 具体参见图 1.1-1。旋转的方式有两种: 一种是平面旋转 (plane rotation), 即绕着图片平面进行旋转; 另一种是深度旋转 (depth rotation), 即在三维空间中进行旋转。旋转的角度从 0° 到 180° , 每隔 20° 为 1 档, 共 10 档。因变量是做出判断所需的时间。实验结果表明, 无论是深度旋转还是平面旋转, 反应时间和旋转角度呈线性关系, 即随着旋

转角度的增大, 判断反应时在逐步增长 (见图 1.1-2)。实验数据结果表明, 每旋转 53° 大约要 1 秒。

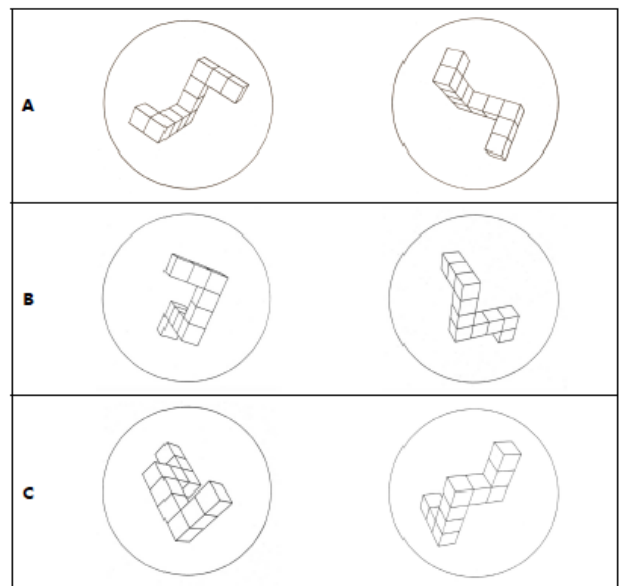


图 1.1-1 ABC 分别是相同平面对、深度对、不同对 Shepard 等人的研究结果对信息是如何在记忆中进行表征产生了深远的影响。首先, 支持了心理表象的存在, 并用实验揭示了信息在大脑中的信息加工过程; 其次, 支持了表象是物体抽象类似物的

* 完稿日期: 2017-1-3

* 研究项目: 认知心理学实验项目

** 通讯作者: 董一胜, 浙江大学心理与行为科学系, E-mail: dongyisheng@zju.edu.cn

再现，在没有物理刺激呈现的情况下，在头脑中可以对记忆中的视觉信息和空间信息进行加工，而且这种加工操作可以类似于对真实物体的知觉加工。事实上，Shepard 等人认为心理旋转是对真实物理旋转的一种类似物，只不过这种旋转是在头脑中复现而已，并且不受任何感觉通道的束缚。具体地说，人在执行心理旋转任务时，是以表象的方式进行加工的：先形成刺激物的表象，然后将表象旋转到直立位置后再做出判断。Shepard 等人认为表象的实质是一种类比表征，与外部客体有着同构关系。后来，Shepard 和 Judd (Shepard & Judd, 1976) 又通过似动范式（连续呈现两个不同旋转角度的三维客体从而产生似动）的研究发现，产生严格似动（rigid apparent movement）所需最少时间（Critical Onset Asynchrony, COA）也随着这种旋转的角度的增大而增大，从而表明无论是概念驱动的心理旋转还是知觉驱动的似动现象，对心理表象的操作都是类似的。

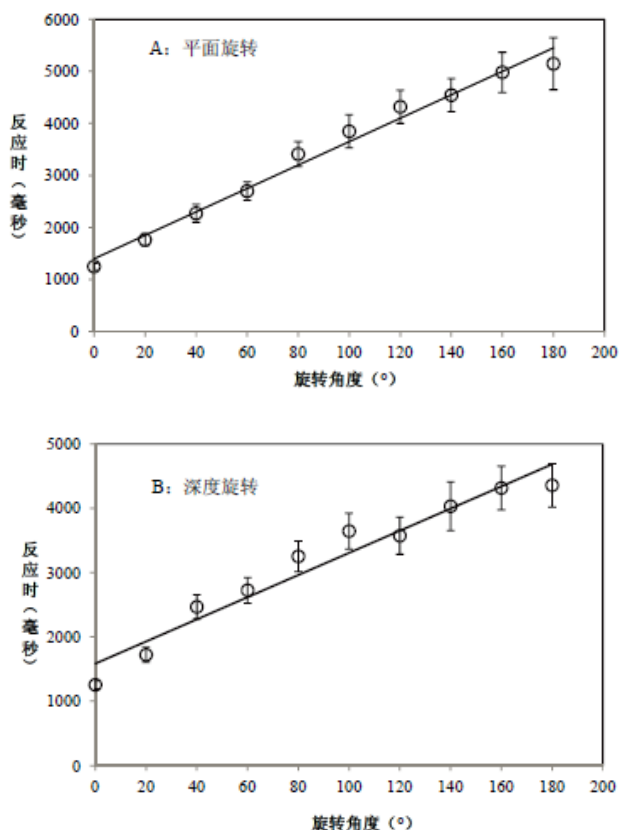


图 1.1-2 旋转角度与反应之间的关系图

1.2 研究目的

本实验旨在对 Shepard 等人的经典实验进行验证，探讨在三维客体旋转中旋转角度和旋转方式（平面旋转和深度旋转）对反应时的影响，并进一步了解心理表象的编码与存储。

2. 方法

2.1 被试

被试为浙江大学心理与行为科学系大三本科生 60 名，所有被试的平均年龄 20 岁（19~21 岁， $SD=0.76$ 岁）。实验被试均身体健康，无视觉知觉和肢体障碍。

2.2 仪器与材料

IBM-PC 计算机一台，认知心理学教学管理系统，本实验刺激材料为 10 个小立方体组成的三维客体图片，两两配对，具体参见图 1.1-1。每张三维客体图片的大小约为 $14.3\text{cm} \times 14.3\text{cm}$ 。

2.3 实验设计与流程

本实验采用两因素被试内设计。因素一为旋转方式，该因素有 2 个水平：平面旋转和深度旋转；因素二为旋转角度，该因素有 10 个水平，旋转角度从 0° 到 180° ，间隔 20° ，共计 10 个水平。

单次试验流程见图 2-3。首先空屏 500 毫秒，紧接着在屏幕上呈现一个“+”注视点，随机呈现一段时间（500~1500 毫秒）后，在注视点两旁分别呈现两个三维客体。被试的任务是判定出现的两个三维客体是否相同（不考虑旋转角度）。如相同按“J”键，不同则按“F”键。为了减少被试按键过程中的反应定势，生成的实验序列经 Wald-Wolfowitz 游程检验，显著性大于 0.10（双侧）。被试做出按键后，会得到相应的反馈，指示被试反应正确与否及反应时。如果被试在三维客体出现后 10000 毫秒内不予以反应，程序将提示反应超时，以示被试尽快反应。空屏 500 毫秒后，自动进入下一次试验。

实验开始前，从正式实验中随机抽取 20 次作为练习，练习时，无论反应正确、错误或超时均有反馈，但结果不予以记录。练习正确率达到 80% 后方可进入正式实验。正式实验在被试做出正确反应后没有提示，反应错误或反应超时则会有提示。正式实验共有 1000 次试验，分 4 组（每组 250 次），组与组之间分别有一中断，被试可自行控制休息时间。正式实验结束后，进入错误补救程序，即将之前做错的试验再次呈现，直到被试全部反应正确为止。整个实验持续约 120 分钟。

2.4 数据预处理

按照练习正确率的要求，踢掉正确率不到 80% 的被试，同时控制男女性别比例相同又删去若干女性被试，剩余 32 名（其中男生 16 名），这些被试正确率都在 80% 以上，平均年龄 20 岁（19~21 岁，

$SD=0.67$ 岁) 利用并修改老师的部分 R 代码进行数据处理, 剔除每个被试 3 标准差外的数据。

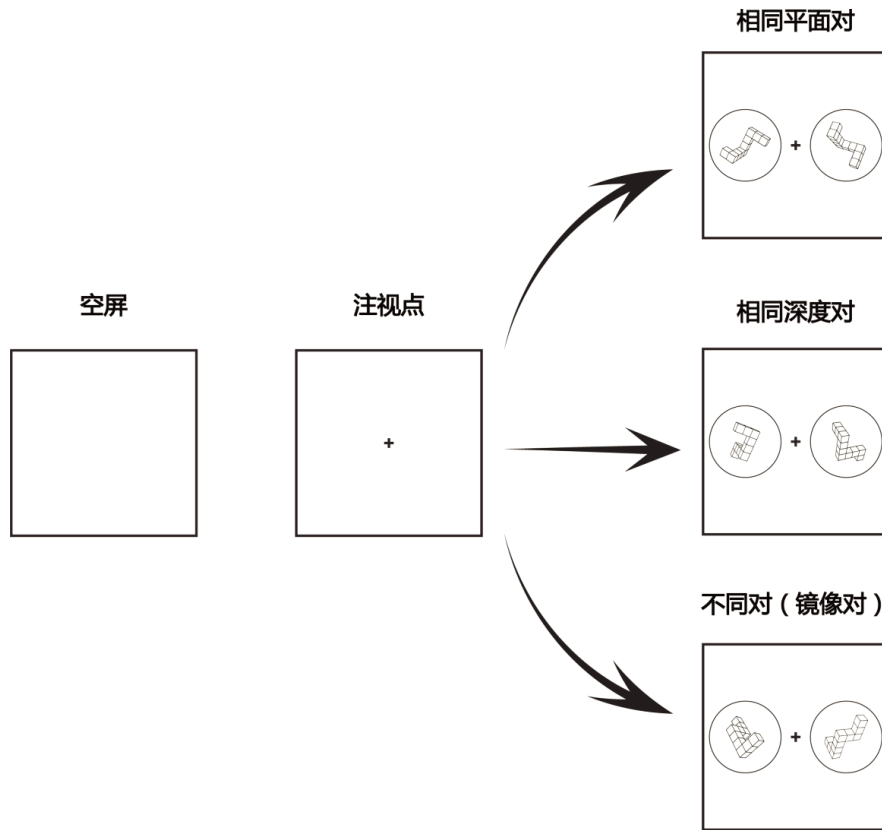


图 2.3 三维客体旋转实验流程图

3.结果

3.1 不同角度、旋转方式下的主效应

求得所有被试在相同对条件不同旋转方式、不同旋转角度下的平均反应时, 详细参加附录表 1 和表 2。以旋转角度为横坐标, 反应时为纵坐标, 可以绘制得到相同对条件不同旋转方式下反应时关系曲线见图 3.1。

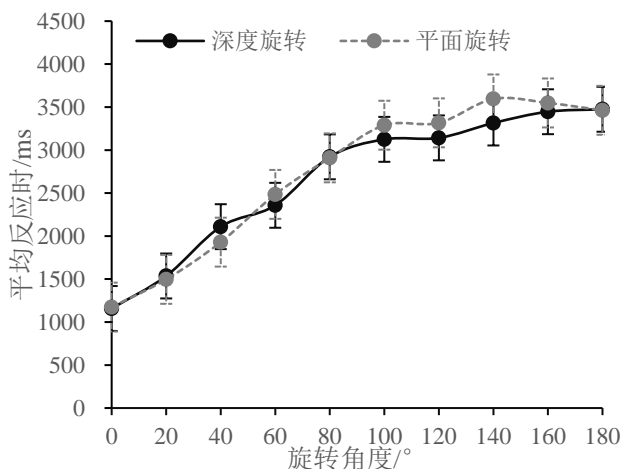


图 3.1 不同旋转方式反应时随旋转角度的变化曲线

进一步考察不同旋转方式和不同角度的主效应, 旋转角度球形检验不符合($p<.01$), 采用 Greenhouse-Geisser 修正, 结果发现不同旋转方式的主效应不显著($F(1,31)=1.565, p>.05$), 平面旋转平均反应时 ($M=2717\text{ms}$) 与深度旋转反应时 ($M=2656\text{ms}$) 没有显著差异; 旋转角度的主效应显著($F(1.950,60.444)=181.627, p<.05, \eta_p^2=0.048$), 随着旋转角度的增大, 被试的平均反应时也显著增大; 旋转类型和旋转角度之间的交互作用显著($F(5.073,157.252)=3.331, p<.01, \eta_p^2=0.097$), 但是效应量很低, 因此可以认为不存在交互作用。

3.2 反应时与旋转角度之间的回归方程

对相同对条件下被试的不同旋转方式下的反应时与旋转角度进行线性拟合, 如图 3.2-1 和 3.2-2 所示, 并得到两种旋转方式下的线性回归方程。由图可知, 对于深度旋转方式回归方程显著, 但是决定系数 R^2 不高, 只有 0.67, 平面旋转方式回归方程显著, 决定系数 R^2 为 0.89。总体而言两个回归方程本身都是显著的, 但是决定系数 R^2 都不高, 也就是说回归效果并不好。

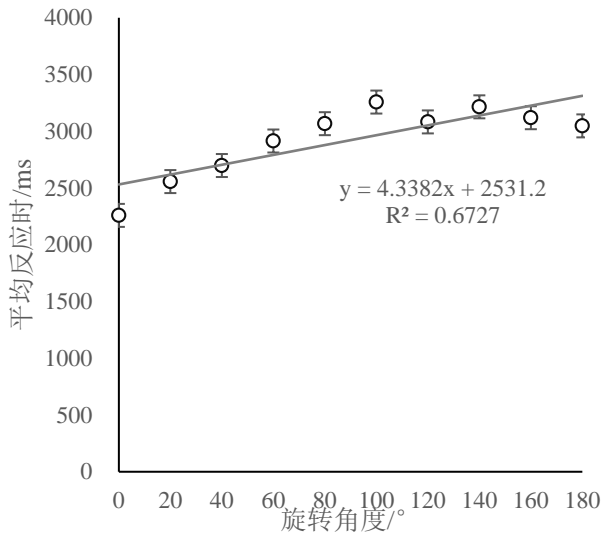


图 3.2-1 深度旋转方式下反应时与旋转角度关系图

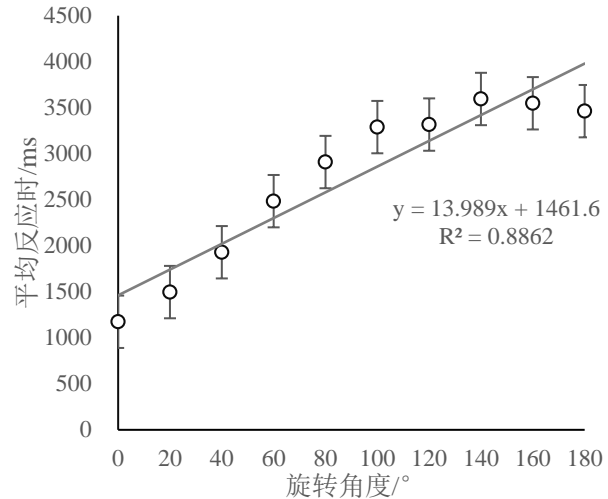


图 3.2-2 平面旋转方式下反应时与旋转角度关系图

3.3 性别差异

求出不同性别被试的平均反应时并进行独立样本 t 检验，结果发现女生的平均时 ($M=2956\text{ms}$) 长于男生的反应时 ($M=2691\text{ms}$)，但并没有显著差异 ($t(30)=1.216, p=0.233>0.5$)。进一步考察不同性别被试在不同旋转任务下的差异并绘制柱形图 3.3，也没有发现性别与旋转类型之间存在显著的交互作用 ($p>0.05$)。综上可知，不同性别在心理旋转所需反应时上并没有表现出显著差异。

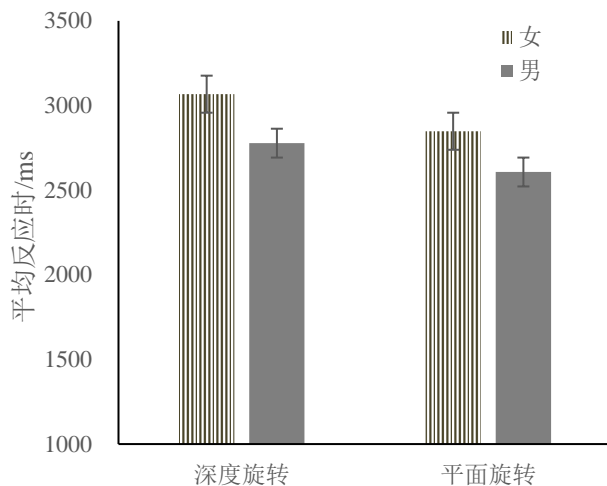


图 3.3 不同性别不同旋转方式下平均反应时

3.4 相同对和不同对差异

求得所有被试在三维客体相同和不同对情况下的平均反应时，并绘制平均反应时随着旋转角度的变化折线图如下图 3.4 所示。

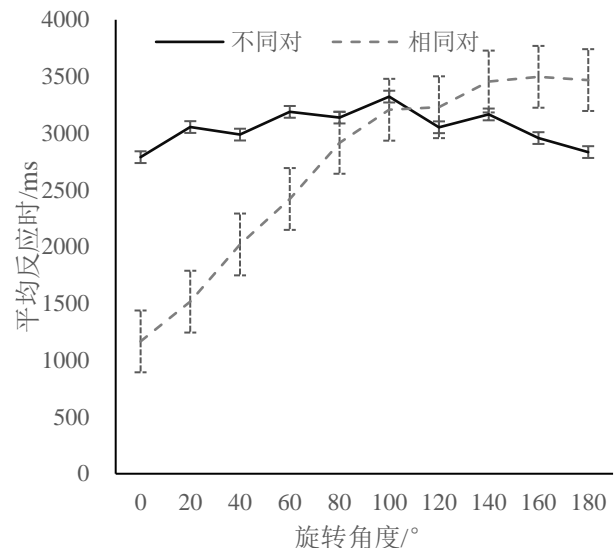


图 3.4 不同对和相同对的平均反应时与旋转角度关系

由图可知，不同对情况下反应时随着旋转角度变化趋势平缓，而相同对情况下反应时随着旋转角度变化趋势陡峭。进一步考察相同对不同对与旋转角度之间的交互作用，进行重复测量方差分析，旋转角度、旋转角度与是否相同的交互作用球形检验不符合 ($p<0.01$)，采用 Greenhouse-Geisser 校正。结果发现是否相同的主效应显著 ($F(1,31) = 82.588, p<0.01, \eta_p^2=0.727$)，旋转角度的主效应也显著 ($F(2,496,77.390) = 142.951, p<0.01, \eta_p^2=0.822$)，两者交互作用显著 ($F(2,420,75.035) = 125.571, p<0.01, \eta_p^2=0.802$)，这与直观观察结果一致。

3.5 练习效应

本实验分为 4 组，求得所有被试 4 个区组的平均反应时，得到如下不同区组反应时的柱形图。

为了进一步考察练习效应，对所有被试四个区组的反应时和错误率数据进行方差检验，结果发现了被试显著的练习效应，不同区组之间的反应时差异显著($F(3,93)=45.312, p<.01, \eta_p^2=0.594$)，随着试验区组的增大，被试的反应时逐渐减小；不同区组之间的错误率差异显著($F(3,93)=5.885, p<.01, \eta_p^2=0.160$)，随着实验区组增大，被试的错误率逐渐降低。

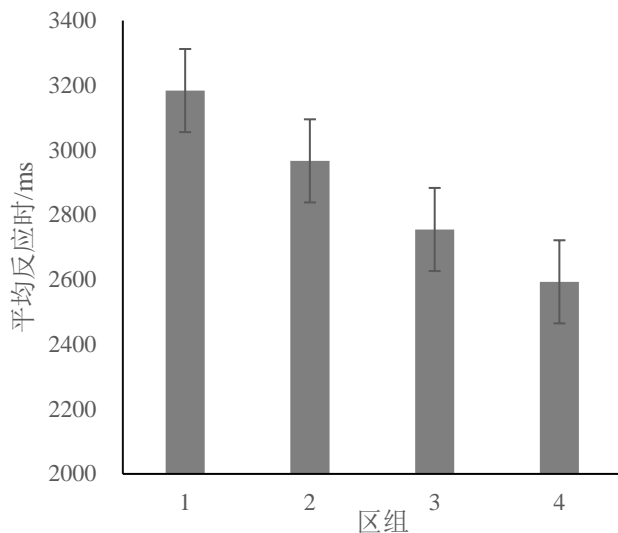


图 3.5 不同区组被试平均反应时

3.6 不同反应速度被试的策略差异

求得所有被试的平均反应时，并进行排序，笔者被试数量有 32 名，不妨取前 10 名被试为快反应

组，后 10 名被试为慢反应组。求得不同条件下这些被试的反应时和错误率得到如下 3.6-1 和 3.6-2 的柱形图。

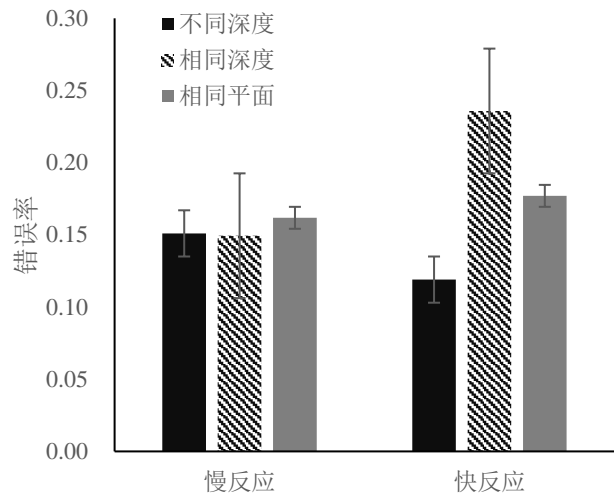


图 3.6-1 不同反应速度组别平均反应时

根据图 3.6-1 可知，快反应组的被试在不同深度对情况下错误率最低，在相同深度对情况下错误率最高，而慢反应组三种实验条件下的错误率基本差不多。这表明反应快的人倾向于采用对称或镜像的判断策略，并且倾向于判断为否，以至于不同深度对的正确率很高反应时很快。也就是说当旋转一定程度后无法重合时，这些被试就很快不迟疑地倾向于选择否，之后再错误补救。

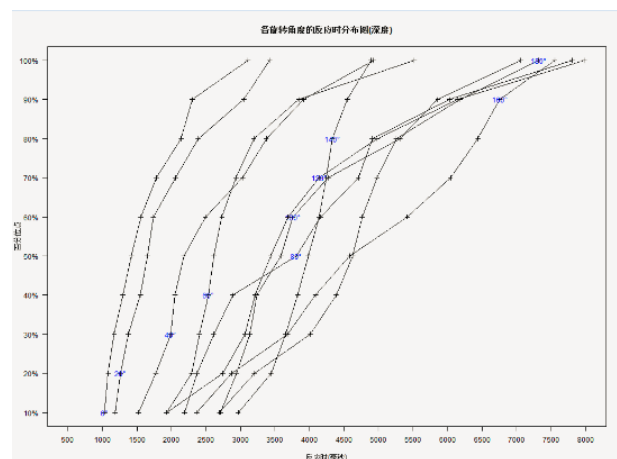
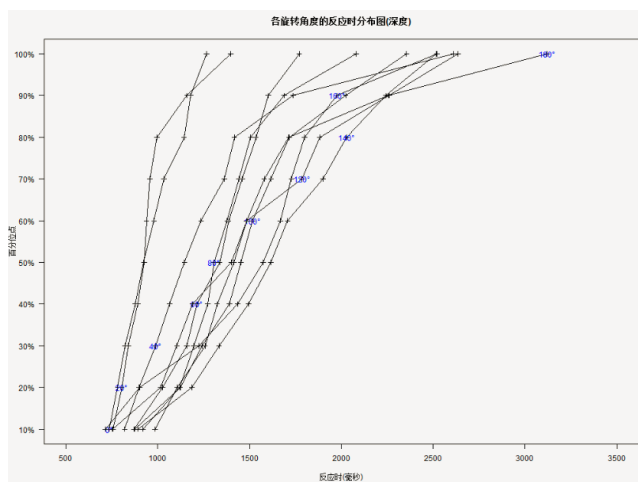


图 3.6-2 深度旋转反应时分布图（左为某快反应被试 右为某慢反应被试）

根据 R 代码生成快慢反应组的三个被试的各旋转角度反应时分布图，仔细比对可以发现，反应快的被试和反应慢的被试（参见图 3.6-2）当旋转角度较小时都都非常快，容易判断，当旋转角度大

于 90° 时反应时快的反应时分布依旧比较密集，而反应慢的被试分布却比较松散，这表明反应快的人可能从始至终采用了某种策略，这种策略不依赖于旋转的绝对角度，而是相对角度；而反应慢的人则

策略性不强,采用的属于原始的心理旋转策略(当然,在 180° 这种非常明显的还是采用了一定策略)。对笔者所采用的32名被试进行一一事后询问,例如(张珂萌正确率全班最高)发现其实整个实验从头到尾只有一个图形和不同旋转角度的图形,因此在内心生成四个标准(分别是正像、正像 180° 、镜像、镜像 180°)的图形,每呈现一个刺激图形都与自己的四个标准进行比较,由于标准较多且非常熟悉(已经说过,其实全程只有一个图形),所以角度差异都非常小,一旦发现两个都不匹配则必然不同对,两个图形都与自己的标准相接近则必然相同。有被试(赵剑辉)提出,在旋转角度较小的时候很容易看出,当不容易看出的时候说明这个旋转角度较大,立即转换策略,生成一个对称或镜像对称图形再行比较,这样角度差异不再是原来的角度,而是 180 减去该角度。还有被试(黄杨初)提出,因为两张图

形同时呈现(这一点倾向于诱发局部表征编码加工形式),所以可以反复比对,因此在比较的时候当不轻易看出时说明肯定角度较大,此时立即转换策略,观察节点的组成(只有两个节点),综合两个节点的结构就可以判断出。

综上,可知反应快的被试往往都是对实验材料进行琢磨发现了规律而采用了诸多策略,并且倾向于采用否反应,而反应慢的被试则采用的大多是简单的心理旋转策略。

4.讨论

4.1 与 Shepard 原实验比较分析

Shepard 等人(Shepard, R. N., & Metzler, J., 1971)的实验结果如下图 4.1。可以发现,深度旋转和平面旋转的平均反应时没有显著差异,即不同旋转方式主效应不显著,这一点与本实验结果相同。

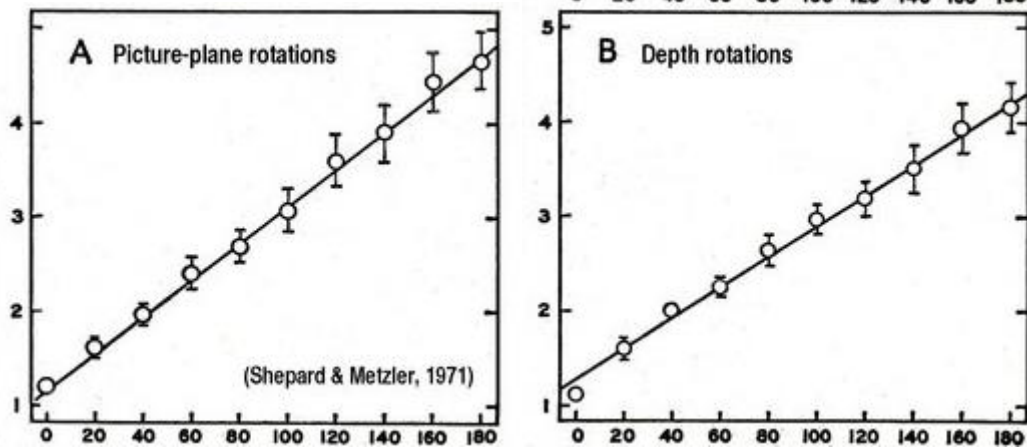


图 4.1 Shepard 实验中反应时随旋转角度变化图(做平面右深度)

不论深度旋转还是平面旋转,原实验都有平均反应时随着旋转角度的增大而增大,反应时与旋转角度之间显著的线性关系,参见图 4.1 可以发现线性方程拟合的非常好,几乎完美的直线拟合。而本实验当中,虽然线性方程回归检验显著,但是由图 3.2 可知拟合的并不好,决定系数 R^2 都不高。原实验没有发现显著的高阶拟合效应,而本实验当中,对反应时与旋转角度进行多项式拟合,发现二阶回归方程反而拟合的更好(参见结果 3.2 和讨论 4.6),三阶拟合依旧很好,总之线性直线拟合并不如原实验,被试在实验中采用了很多策略而不是简单的心理旋转。

4.2 心理旋转的验证和心理旋转的影响因素

自从 Shepard and Metzler (1971)提出并测量心理旋转,越来越多的研究者开始证明了平均反应时与旋转角度之间的线性关系。随着旋转角度的增大,平均反应时也逐渐增大,这表明被试可能在心理旋转,反应时随旋转角度的变化斜率就是心理旋转的速度,这种假设与被试事后内省报告一致。但是也有一部分研究者(Marks, 1999)提出质疑,这种旋转任务被试是否真的进行了心理旋转,这种线性关系的增大很可能是因为指导语的外显引导,也有可能是眼动转移(左右来回比较)所导致,即当旋转角度大的时候被试来回观察比较多,反应时也就逐渐增大。

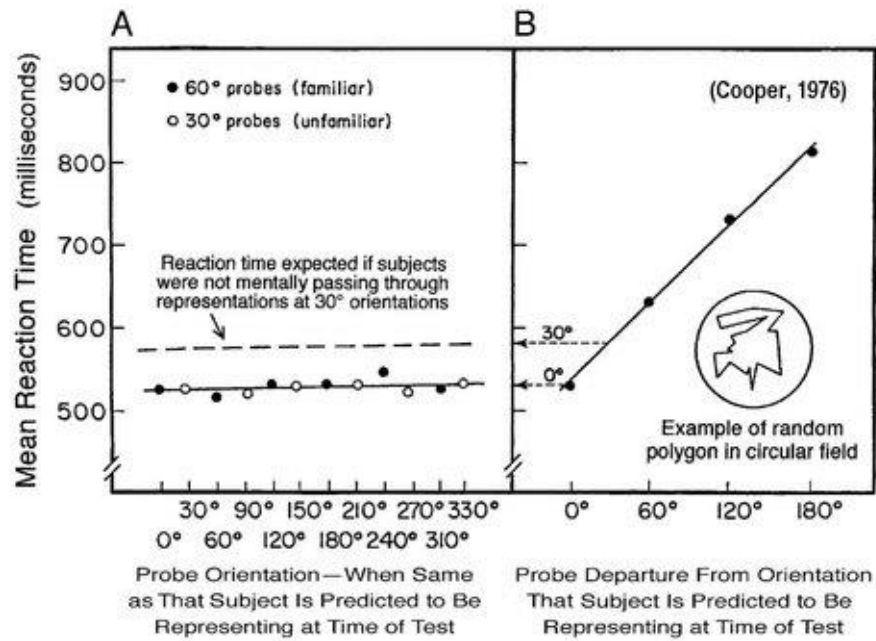


图 4.2 取自 Cooper(1976)

4.2.1 心理旋转的连续性

在以往的实验(Shepard and Metzler, 1971)中, 我们通过反应时与旋转角度之间的线性关系已经初步得到心理旋转的存在并测到心理旋转速度, 只不过我们难以确认这个任务中是否真的涉及心理旋转, 仍有其他解释可能性。为了验证心理旋转确实存在并消除其他可能性, 研究者(Shepard & Cooper et al., 1982)进行了一系列实验排除其他解释的可能性, 这些实验的实验材料并不是同时呈现, 也就消除了眼动转移带来的影响。例如研究者(Shepard & Cooper et al., 1973)利用 R 字符(直立字符和旋转字符)进行了类似实验, 也发现了线性关系。

在基本确定心理旋转或心理表象之后, 研究者还关注这种心理旋转是连续的还是跳跃的。研究者事先通过这种任务测定到被试的心理旋转速度, 然后记录下来进行下一个实验。实验一开始给被试随机呈现熟悉的的多边形, 消失后要求被试按照一定方向进行心理旋转, 当进行一定间隔时间后再次呈现刺激图形, 结果如图 4.2 的 AB 两图所示。不同的间隔时间可以得到不同的预期旋转角度, 由图 A 可知, 当图形恰恰以该预期旋转角度呈现时, 发现不同旋转角度下的反应时大致相同, 这表明该情况下被试确实正好心理旋转到该位置, 体现了心理旋转的连续性, 存在这样一个虚拟图像符号(研究者称之为类似物假说, 还可以参见讨论 4.7.1)在脑海中进行连续旋转, 而实验测得的反应时体现的是判断

反应时。由图 B 可知, 当呈现的图形角度与预期旋转角度之间的方位差异越大的时候反应时也逐渐增大, 反应时与角度差异之间也发现了显著的线性关系, 这表明当实际呈现的旋转角度与预期旋转角度之间有差异时, 被试需要进行额外的心理旋转以使得心理表征的客体图形与当前呈现的图形方位一致。研究者通过这种实验设计证明了心理旋转任务中存在模拟码(类似物理表象)进行旋转, 并且这种心理旋转是连续的。

4.2.2 心理旋转反应时的影响因素

结合以往研究和本次实验, 可知不同被试的心理旋转反应时有一定差异, 其中的影响因素可能有旋转角度(这一点显然, 不再赘述)、性别、任务策略、图形复杂度、图形形状、图形维度和图形呈现方式(或者任务形式)等影响因素。

不同被试使用了不同的策略, 这种根据多次实验或者由于实验前知道实验任务而总结出的策略会不同程度影响被试反应时, 这一点在本实验中(参见结果部分 3.6)也得到了验证。有研究(Hochberg & Gellman, 1977)认为被试在完成实验任务过程中并不是以整体旋转进行比较, 而是根据部分特征进行比较, 该策略在本实验中也有被试采用(黄杨初)。根据其他被试报告, 我们还可以知道有一些其他策略, 并且可以发现这些使用策略的反而正确率高且反应时低。由此可见被试的任务策略会显著影响心理旋转反应时。但如果将使用策略的情况视作没有

进行心理旋转的话，策略似乎就不是一个影响心理旋转反应时的因素。

性别也是一个影响心理旋转反应时的因素，本实验结果可以发现女性被试的心理旋转反应时长于男性（虽然差异不显著）。有研究(Halpern 2000; Cherney, I. D., 2008)表明男生的视觉空间能力好于女生，男性在一些特定的心理旋转任务中表现优于女性(Cherney and Collaer 2005; Linn and Petersen 1985; Voyer et al. 1995)，他们通过实验还发现游戏训练可以提高心理旋转能力，并且提高效果不一样。

在探讨可能与不可能图形心理旋转加工机制中，一部分研究者(Cooper & Podgorny, 1976; Robertson & Palmer, 1983)没有发现复杂度对旋转反应时的效应，一部分研究者(Folk & Luce, 1987; Yuille & Steiger, 1982)确实发现了复杂度对旋转反应时的效应。有研究者(Dror, Ivey, & Rogus, 1997)认为，这种不一致结论可能是由于不同的材料导致的，例如 Cooper 等人实验没有发现复杂度对旋转反应时的效应是因为他们的材料很难以局部表征形式进行编码反而容易以全局表征形式进行编码加工，并且他们实验中以点的数量定义复杂度。可知在特定的实验任务下图形复杂度对旋转反应时确实有一定影响。

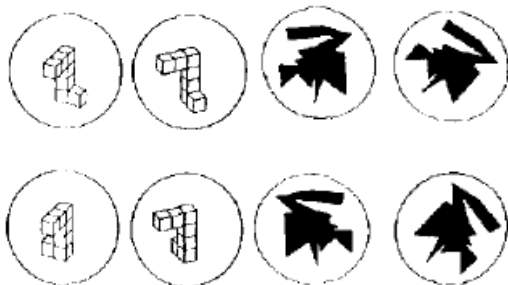


图 4.2-1 不同维度图形示例（左三维右二维）

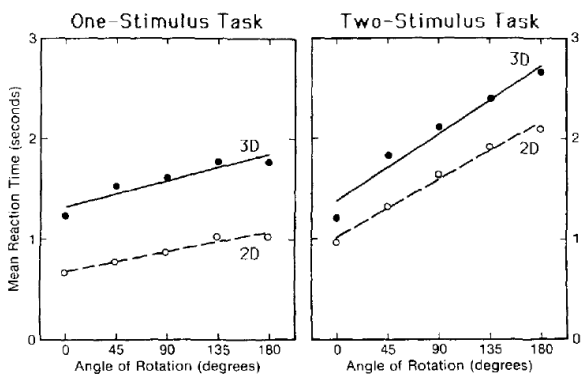


图 4.2-2 取自 Shepard(1988)等人实验

研究者(Dror, Ivey, & Rogus, 1997)还认为不同的任务形式会引起不同的表征机制，例如当两个图形

同时呈现时，被试可以反复左右查看进行比较，更容易以局部表征形式进行编码加工，而两个图形先后呈现时，被试更容易以全局表征形式进行编码加工，不同的表征形式会引起不同的反应时和旋转速度。有研究者(Shepard, S., & Metzler, D., 1988)专门研究了不同的刺激呈现方式（或任务形式）和图形维度（参见图 4.2-1）对反应时和旋转速度的影响，结果如图 4.2-2 所示。研究者认为三维客体更为复杂，编码加工可能消耗更多的时间；不考虑策略的情况下，先后呈现图形的方式时被试不知道接下来呈现的图形，所以可能会保持心理表象进行任意旋转，当靶子图形出现后开始心理旋转，然后调整判断，显然反应时要慢于同时呈现。当然这两个因素同时也会对旋转速度产生影响。

4.3 实验指导语的外显指导

Cooper(1976)验证了心理旋转确实存在，同时也引发一个新的问题，即实验者效应(Orne, 1962)，研究者开始关注指导语是否能够改变被试的任务策略，使得被试以心理旋转或以其他策略完成实验任务。Cooper(1976)的实验通过指导语要求被试进行想象和旋转，这证明了指导语外显引导的可能性，即实验指导语可以外显地要求被试进行心理旋转操作以完成实验任务。

但是探究实验指导语是否能够外显地要求被试进行心理旋转操作似乎并不具有较大研究价值，并不能从中得到有效的结论。实际上，这更多的是被当做一种干扰，研究者更多地是从这种可能性质疑心理旋转的真实性，即心理旋转任务中心理表象很可能不是本身存在的，只是主试通过指导语诱导被试这样去做的，也即前面所说的实验者效应（例如本实验并没有要求被试进行旋转，只是要求判断；但另一个角度，老师讲授了心理旋转这个概念，被试已经无意有意地被引导了）。还有一些研究者比较了 Cooper 的系列实验和其他没有外显地要求被试通过心理旋转完成实验任务的实验，研究者认为实验者效应并不会影响之前的实验结果(Shepard & Metzler, 1971; Shepard & Cooper, 1973; Shepard & Cooper et al., 1982)，心理旋转这个现象具有很好的鲁棒性。当然了，这些研究实际也只是说明当没有外显指导语的时候被试依旧进行了心理旋转，也并没有否认指导语对心理旋转的影响。

4.4 心理旋转能力的训练提高

有许多研究表明 3-D 或 2-D 游戏可以提高视觉空间能力，有研究者(Cherney, I. D., 2008)通过心理

旋转任务证实了这一想法。研究者对不同性别被试进行不同形式的游戏训练（集中式训练、分散式训练、控制组）后进行 2-D 心理旋转任务和 3-D 的 VMRT 测验，2-D 心理旋转任务不同于本实验，采用的是报告法，以成功报告出的图形数量计分，3-D 测验中进行靶子与测验图形（旋转或镜像图形）的匹配，以不同的匹配结果赋予不同分值。

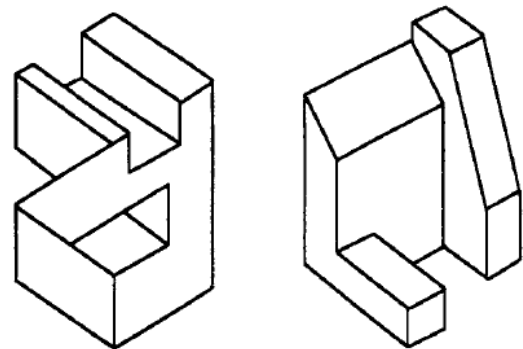
研究发现电子游戏训练能够显著提高测验成绩，即电子游戏训练可以提高视觉空间能力（或心理旋转能力）；电子游戏训练效果存在性别差异，女性被试训练后提高更好，也就是说女性的心理旋转能力更容易通过电子游戏训练任务得到提高或者提高的更多；2-D 电子游戏训练可以提高男女被试测验成绩，3-D 电子游戏训练只提高女性被试测验成绩（没有发现显著的训练效应）；集中式训练对心理旋转能力的提高效果好于分散式训练效果。

4.5 可能与不可能图形的心理旋转机制

在许多实验(Shepard, R. N., & Metzler, J., 1971)逐步验证了心理旋转的存在和连续性后，越来越多的研究者开始关注心理旋转或心理表象的编码表征形式(Kosslyn, 1994)，是基于全局表征还是基于局部表征。在以往的研究中，一部分研究(Cooper & Podgorny, 1976; Cooper & Shepard, 1973; Robertson & Palmer, 1983)支持心理表象是以全局表征形式进行编码，另外一部分研究(Folk & Luce, 1987; Pylyshyn, 1979; Yuille & Steiger, 1982; Kosslyn, 1981)则支持心理表象以局部表征形式进行编码。

以往研究心理表象的表征机制是通过探究图片复杂度对心理旋转速度的影响来研究的，如果是全局表征方式，则图片复杂度不会影响心理旋转速度

（也即反应时随着旋转角度的变化斜率），而如果是局部表征方式，则图片复杂度会影响心理旋转速度。以往研究之所以不能得到准确定论，是因为这些研究材料既可以以全局表征形式编码加工，也可以以局部表征形式进行编加工。



Impossible Shape

Possible Shape

图 4.5-1 可能图形与不可能图形示例

有研究者(Dror, I. E., Ivey, C., & Rogus, C., 1997)提出可以通过心理旋转速度（斜率）来考察心理旋转表征形式。心理旋转速度是反应时随着旋转角度的变化斜率，反映了心理旋转过程的信息加工能力，因此影响变化斜率的因素就是影响心理旋转加工过程的因素。不可能图形指的是现实生活中不可能存在的图形，可能图形反之（参见图 4.5-1）。可能图形能够轻易以全局表征形式进行编码加工，而不可能图形则很难。因此，如果可能图形与不可能图形的反应时随旋转角度的变化斜率没有显著差异，则可能是局部表征形式，如果两者之间有显著差异，则可能是全局表征形式。

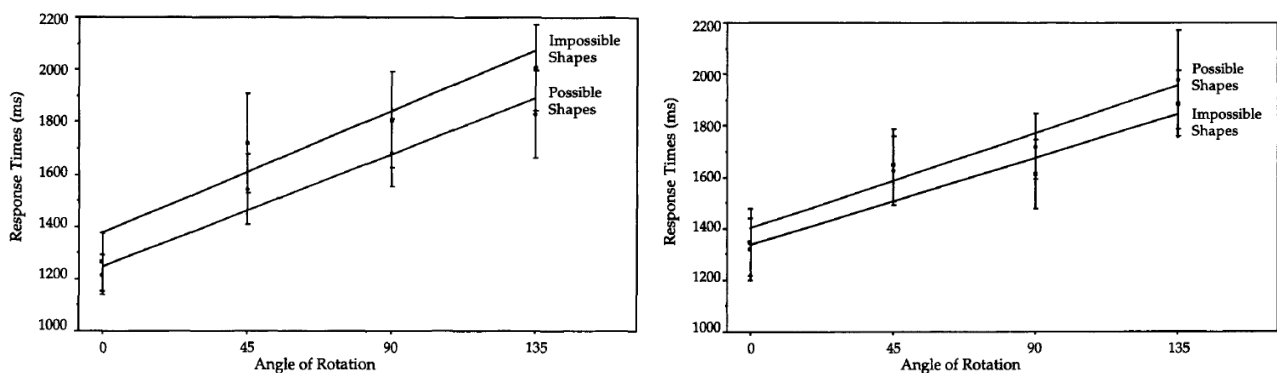


图 4.5-2 实验结果（左实验 1，右实验 2）

研究者在实验 1 中并没有发现可能图形与不可

能图形的平均反应时随着旋转角度的变化斜率之间

有显著差异（参见图 4.5-2 的左边图），这初步表明可能图形和不可能图形中，被试在心理旋转过程中以局部表征方式进行编码加工。但是实验 1 的可能图形与不可能图形是混合交叉呈现的，被试不知道下一对图形呈现的到底是可能图形还是不可能图形，这种刺激呈现方式可能诱导被试采用单一的表征编码策略，这样就不需要反复转换编码形式，为了排除刺激呈现方式对结论的影响，研究者在实验 2 中分为两个区组，同一个区组中刺激图形始终是可能图形或不可能图形中的一种。实验（参见图 4.5-2 右边图）同样发现可能图形和不可能图形的反应时随旋转角度的变化斜率没有显著差异。这进一步表明局部表征方式在心理旋转加工中优先采用。

综上所述，可能图形与不可能图形都可以进行心理旋转，并且在心理旋转中，两者很可能是以同样的表征机制，都是以局部表征形式进行编码加工。

4.6 反应时与旋转角度关系非线性的探究

尝试对反应时和旋转角度进行多项式拟合（参见图 4.6-1 和 4.6-2），发现二阶拟合时回归方程显著并且决定系数 R^2 非常高，如下图 4.6-1 和 4.6-2 所示。进一步分析 3 阶，发现回归方程依旧显著，并且决定系数 R^2 进一步提高。

其实已有部分研究者(田也壮, 1987)对 Shepard 完美的直线拟合提出质疑，认为三维物体表象的深度旋转的反应时曲线（0—180° 范围）应当是一条上升式的脉冲曲线，研究认为三维物体在深度旋转时必然要有“无立体感”的三维物体的二维图像出现（总有一个旋转角度下的三维物体没有三维效果，只是二维图像），此时影响被试反应时的因素不仅是旋转角度还应包括“无立体感”（或透视关系）的渗入，势必引起反应时的突起。

尽管我们的实验并不是脉冲式曲，但至少不是直线线性关系，这表明当旋转角度 90° 到 180° 之间被试不是进行简单的心理旋转，由图可知此旋转角度区间被试反应时变化不大，这表明被试很可能采用了对称或镜像对照的判断策略等，当旋转角度大于 90° 时，被试先想象出对称或镜像对称表象，逆时针旋转进行比较，这种策略不依赖旋转的绝对角度，而是相对角度。当然，还有许多其他策略（参见结果 3.6）。

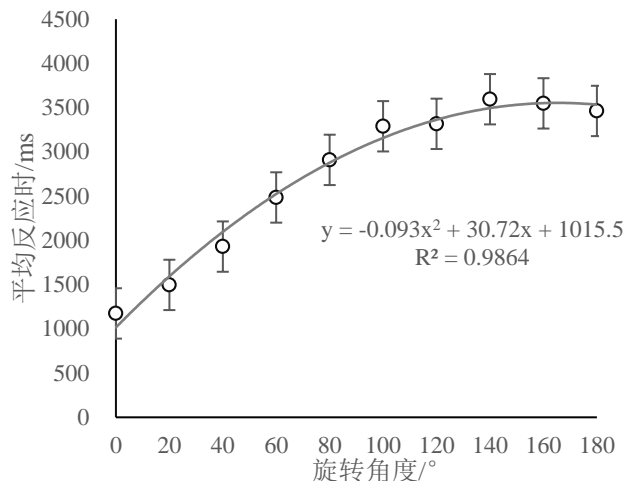


图 4.6-1 深度旋转方式下反应时与旋转角度关系图

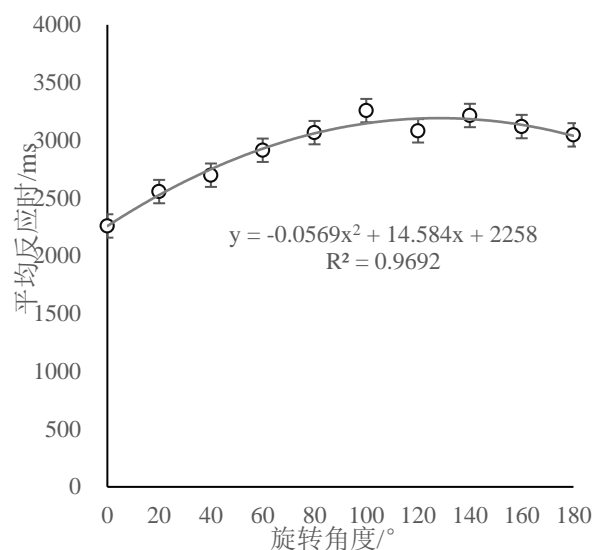


图 4.6-2 深度旋转方式下反应时与旋转角度关系图

4.7 心理旋转内部过程的四种解释

4.7.1 表象旋转假说

表象假说是 Shepard 和 Cooper 等人(Cooper & Shepard, 1973; Cooper & Shepard., 1982; Shepard & Metzler, 1988)提出，也称为类似物（analog）假说，研究者认为被试在完成心理旋转任务时，总是先形成这个刺激物的表象，然后把这个表象旋转到直立位置，从而完成实验所要求的判断任务。表象假说认为心理表象旋转同外部世界的物理旋转相似，前者是后者的类似物（参见前面讨论 4.2 部分），两者所涉及的旋转过程是连续的，而且它们之间的过程是一一对应的。

4.7.2 后向校正加工假说

有研究者在心理旋转任务中引入一个前置刺激（preceding stimulus），试图通过这种心理旋转新范式对心理旋转的内部过程做进一步探索。最开始进

行该研究的是 Shepard 等人(Cooper & Shepard, 1973), 他们在实验中用一个斜置的箭头作为前置刺激(参见下图 4.7-1), 实验任务依旧是判断当前刺激是正像(相同)还是镜像(不同)。

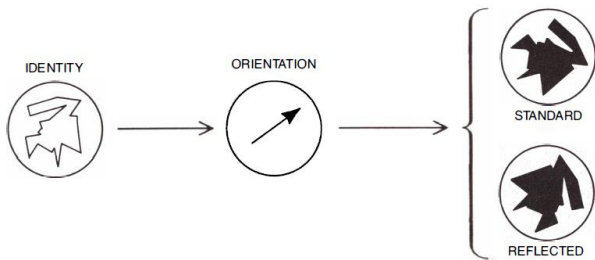


图 4.7-1 Shepard 等人(1973)实验流程图

结果并没有发现前置刺激对判断产生影响。但是后续的研究却发现了前置刺激的后续效应, 例如 Hinton(1981)发现, 当前置刺激为英文字母或阿拉伯数字, 且与当前刺激的面向相同(如 3 和 J, 面向都是朝左, E 则朝右)时, 前置刺激能够对当前刺激判断产生影响。研究者(Koriat & Norman, 1984, 1988, 1989)认为这种现象可以用后向校正加工假说解释。这种假说本质上是对表象旋转假说的一种修正, 认为无论前置刺激产生后续效应与否, 被试脑海中旋转都是当前刺激的表象, 只是当被试受到前置刺激的影响时, 刺激物的表象并未像往常一样旋转至直立位置, 而是旋转到前置刺激尚未消失的短时记忆痕迹处。后向校正加工假说具有比通常的心理旋转更短的旋转路径, 在心力上更为经济。

4.7.3 参考框架旋转假说

知觉领域的心理学家借鉴主观参考框架在知觉组织中的作用, 因而设想他们在心理旋转当中也具有重要意义。心理旋转的参考框架由 Robertson 等人提出(Robertson, 1987), 该假说认为被试在完成心理旋转任务时, 在头脑中旋转的可能并不是刺激物的表象, 而是被试头脑中已有的主观参考框架。旋转的方向不是从当前刺激的朝向处到直立位置, 而是从直立位置(参考框架的最初状态)旋转到当前刺激的朝向处。该假说同样也能解释反应时与旋转角度线性关系。有研究者在心理旋转任务中引入一种前置刺激(长方形框和十字形), 他们具有强烈的参考框架信息, 且这种前置刺激与当前刺激并不相似(排除后向校正可能), 得到了显著的前置刺激效应, 肯定了主观框架的作用。

4.7.4 命题表征假说

命题表征假说与表象表征相反, 他们认为能够成功表征词语信息的命题表征系统也能同样成功表

征非词语信息和空间关系信息, 我们头脑中存储的是事件表征, 而不是形象成分。研究者认为 Shepard 的心理旋转实验结果完全可以用命题表征解释, 即不同 R 之间的朝向角度越小, 用以表征的命题所需时间较少, 当朝向角度越大, 需要表征的命题增多, 加工时间也更长。

5. 结论

本实验通过重复 Shepard 等人的实验来考察心理旋转, 结果发现(1)平面旋转方式下旋转反应时和旋转角度之间存在较好的线性回归关系(R^2 为 0.89), 深度旋转方式下线性关系较差(R^2 为 0.67), 但是旋转角度对反应时的主效应显著(2)不同旋转方式之间的旋转反应时没有显著差异(3)是否相同对与旋转角度之间的交互作用显著, 相同条件下, 反应时与旋转角度之间存在线性关系, 而不同条件下反应时与旋转角度没有显著的线性关系(4)并没有发现显著的性别差异(5)实验过程中存在显著的区组效应即练习效应(6)反应快和反应慢被试之间存在策略差异(7)心理旋转任务可以通过指导语外显地要求被试进行心理旋转操作, 并且心理旋转能力可以通过训练进行提高(8)不可能图形和可能图形都是以局部表征形式进行编码加工。

参考文献

- Cherney, I. D. (2008). Mom, let me play more computer games: they improve my mental rotation skills. *Sex Roles*, 59(11), 776-786.
- Dror, I. E., Ivey, C., & Rogus, C. (1997). Visual mental rotation of possible and impossible objects. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4(2), 242-247.
- Cherney, I. D. (2008). Mom, let me play more computer games: they improve my mental rotation skills. *Sex Roles*, 59(11), 776-786.
- Cooper, L. A. (1976). Demonstration of a mental analog of an external rotation. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 19(4), 296-302.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. *Visual Information Processing*, 75-176.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1984). Turning something over in the mind. *Scientific*

American, 251(6), 110-4.

Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701-3.

Shepard, S., & Metzler, D. (1988). Mental rotation: effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance*, 14(1), 3-11.

Shepard, R. N., & Judd, S. A. (1976). Perceptual illusion of rotation of three-dimensional objects. *Science*,

191(4230), 952-4.

田也壮. (1987). 三维物体表象旋转的实验研究. *全国心理学学术会议文摘选集*.

王才康. (1992). 关于心理旋转内部过程的四种假说. *心理科学进展*, 10(2), 65-68.

陈鸿舟. (2015). 基于脑电的不同策略下心理旋转的认知机制研究. (*Doctoral dissertation*, 上海交通大学).

附录

表1 相同对深度旋转方式下平均反应时(ms)

角度/°	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
岑梦媛	1207	1954	2322	2725	2609	3533	2514	3234	2656	3339
陈权	1033	1514	2086	2512	2360	2741	3291	3493	3572	3954
陈滋正	1091	1258	1488	1738	2221	2500	2273	2490	2561	2265
樊丹红	1057	1594	1754	1915	2204	2208	2430	2677	2248	2100
范云馨	1142	1999	2772	2981	3687	3461	2968	2852	2883	3328
郭佳	1001	1295	1713	2354	2561	2401	3325	2192	2342	2609
胡沁艺	986	1299	1757	1965	1800	1932	2812	2421	2477	2158
黄杨初	1125	1339	1940	1926	2314	2454	2536	2402	2386	2780
蒋瑞峰	1056	1363	1835	2026	2347	2839	3006	3689	3460	3750
黎松	1265	1859	2221	2106	3141	3095	2670	2862	3332	2818
李彦哲	1471	1698	2242	2734	3456	3972	3630	3947	4019	4108
梁展鸿	1279	1719	2333	2391	3460	3636	4115	4057	4424	3877
梁子悦	1297	1507	2531	2647	3450	3730	3510	4069	4758	4802
廖一帆	1227	2091	3256	3413	3761	5290	4805	4826	4708	5088
刘嘉耀	974	966	1328	1336	1391	1531	1613	1692	1554	1561
刘子薇	863	969	1383	1874	2198	2554	2819	3757	3290	3837
卢家乐	1117	1296	1771	1897	2422	2516	2411	2994	2740	2815
陆辰馨	967	1283	1794	1776	2532	2567	2473	2238	2705	2543
施忻然	1074	1432	2228	2584	3340	3466	2669	3712	3918	3548
宋津南	1574	1640	2717	2629	3824	3847	4414	4265	3977	4592
万子薇	1298	1990	2304	3028	4360	3889	3592	4049	4273	4007
汪明慧	1688	1967	2724	2999	4147	4186	4132	4002	4978	4741
王力	1115	1247	1946	1964	2681	2925	2859	2710	3097	2886
王翔宇	1418	1849	2664	2669	3756	4486	4239	4262	4255	4393
谢未佳	1036	1316	1641	1861	3070	2695	3128	3815	3942	4490
叶迪	925	1150	1433	1628	1592	1941	2032	2045	2988	2317
云枫扬	1272	2156	2495	2973	3611	3390	3829	3871	3439	4077
张莅宸	1226	1751	2372	2435	3107	3174	3545	3350	4499	3335
章嘉斐	1175	1653	2380	2524	2677	3090	2893	3245	3744	3351
赵剑辉	1081	1407	2109	2889	2906	3239	3212	3363	3552	3751
郑程如	981	1230	1672	2263	2414	2828	3063	2884	2999	3433
郑林枫	1000	1401	2246	2710	3835	3824	3625	4479	4435	4462

表2 相同对平面旋转方式下平均反应时(ms)

角度/°	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
岑梦媛	1162	1373	1961	2169	2358	2908	3134	2933	2535	3354
陈权	1215	1433	1614	1878	2955	2596	2724	2896	3195	3067
陈滋正	1070	1344	2059	2121	2702	2656	3240	3394	2313	2811
樊丹红	1064	1404	1491	2042	2532	2800	2196	2193	2174	2104
范云馨	1171	1531	2117	2661	2899	3207	2897	2865	1953	2531
郭佳	985	1096	1352	2123	1902	2469	2032	2041	2143	2066
胡沁艺	965	1232	1719	1679	2534	2056	2709	3042	2560	2578
黄杨初	1117	2014	2077	2395	2221	2334	2572	2903	2932	2827
蒋瑞峰	1124	1361	1766	1947	2562	3466	3239	3812	4016	4548
黎松	1355	1687	2167	2513	2508	2916	2975	2913	3394	3175
李彦哲	1357	2146	2414	2864	3718	4796	4253	4943	5468	4981
梁展鸿	1403	1676	2403	2946	3867	3248	2820	4129	4292	3379
梁子悦	1277	1418	1946	3646	3878	5552	4692	5465	5358	5097
廖一帆	1198	1595	2281	3715	4046	4551	4384	4831	4352	4058
刘嘉耀	908	1021	1190	1178	1450	1841	1656	1499	1676	1451
刘子薇	911	991	1314	1776	2409	2862	2504	3009	2809	1960
卢家乐	1028	1341	1648	1846	2338	2632	2639	3504	3381	3104
陆辰馨	964	1220	1505	2091	2035	2515	2414	2552	3197	2594
施忻然	1072	1450	2004	2280	2666	3634	4189	4876	4643	4335
宋津南	1523	1888	2429	3413	3241	3863	4494	4748	4902	4806
万子薇	1326	1642	2228	3531	4434	4414	4403	4645	4631	4829
汪明慧	1373	1961	2643	3456	3856	4315	4746	5491	4185	4564
王力	1082	1229	1680	1836	2731	2842	3196	2642	3438	3163
王翔宇	1467	1805	2128	2669	3407	4188	4473	4180	4452	4575
谢未佳	1060	1299	1727	2339	3302	3420	3462	3498	3509	3567
叶迪	961	1043	1435	1547	2268	1773	2108	2840	2683	2892
云枫扬	2021	1825	2494	3526	3082	3917	4065	3955	3713	4341
张莅宸	1204	1561	2576	3200	3302	3936	4521	4448	5024	4274
章嘉斐	1142	1718	1948	2749	2786	3169	3093	3468	3273	3291
赵剑辉	1056	1430	1614	2230	2879	3283	3037	3997	3846	3621
郑程如	987	1098	1441	1950	2530	2426	2362	2732	2604	2109
郑林枫	998	2019	2336	2888	3623	4439	4717	4594	4769	4672