

# 认知心理学报告



## 视觉搜索不对称

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

# 视觉搜索不对称\*

李文敏<sup>1</sup> 董一胜<sup>\*\*</sup>

(浙江大学心理与行为科学系, 杭州, 310028)

**摘要** 通过对 52 名被试进行视觉搜索实验,发现(1)特征存在搜索任务反应时显著低于特征缺失搜索任务,存在视觉搜索不对称现象(2)干扰子类型的主效应显著,会影响搜索反应时,异质干扰子会自下而上地捕获注意进而延缓反应时(3)在特征缺失任务情况下,搜索反应时随着搜索集的增大而线性增大,特征存在任务搜索反应时不随搜索集增大而增大,表明特征存在任务被试进行的是并行搜索,特征缺失搜索任务下进行的是序列搜索(4)靶子呈现与否的主效应显著,但这种差异似乎并不是来自搜索策略,而可能来自于反应类型和否反应类型上的差异(5)视觉搜索不对称性主要有五种理论,影响视觉搜索不对称性的因素也即五个理论中的核心要点。

**关键词** 视觉搜索不对称性 视觉搜索 序列加工 平行加工

## 1.引言





### 1.1视觉搜索

视觉搜索实验范式是了解视觉注意机制的一种非常重要的工具(Wolfe, 2001)。典型的视觉搜索任务要求被试在由靶子和干扰子所组成的刺激系列中搜索靶子项目,而后考察其搜索效率。搜索效率一般以反应时(RT)对搜索集(Set Size)的函数关系的斜率来表示,当反应时不随搜索集的大小变化时,称为有效搜索或平行搜索,例如在一堆绿色的干扰子中搜索一个红色的靶子;相反,当反应时随搜索集的增大而增大时,称为低效搜索或系列搜索,例如在一堆不同朝向的 L 中搜索一个靶子 T。最有效的搜索发生在靶子具有单一基本特征(该特征是突出的或显著的),且干扰子都是同质的条件;而最低效的搜索发生在靶子和干扰子具有相同的基本特征,且干扰子都是异质的条件。

### 1.2视觉搜索不对称

一般视觉搜索不对称是指:以反应时为指标,在刺激B中搜索A与在刺激A中搜索B,其搜索效率是不同的。最早由 Neisser(Neisser, 1963)发现了视觉搜索不对称现象。在实验中他发现,在一组含 Z(Q)的字母组合列表中搜索不含Z(Q)的字母组合(例如, JZLXSH, QVZMXL, FDRVQH),比在一组不含Z(Q)的字母组合列表中搜索含Z(Q)的字母组合,其搜索速度要更慢。Neisser

据此提出了视觉加工的两阶段理论来解释上述现象:(1)第一阶段为前注意加工阶段,该阶段,视觉系统对视野内刺激的基本特征进行同时加工,此时无需注意的参与,可以达到自动化加工的程度,表现为并行加工;(2)第二阶段为集中注意加工阶段,该阶段,视觉系统要对联合特征进行加工,需要集中注意的参与和整合,因而表现为串行加工。

经典的视觉搜索不对称实验是由Treisman 等人(Treisman & Souther, 1985)设计的。在实验中,依次向被试呈现一些刺激图案,要求他们从一些干扰子中搜索特定的靶子。刺激图案根据搜索任务不同,是成对设计的,具体参见图1-2,其中a图案中的靶子是“”,干扰子是“”,而b图案中的靶子是“”,干扰子是“”,两靶子的区别仅在于是否有竖线。另外,呈现一些不含靶子的刺激图案,要求被试做出“有”靶子或“无”靶子的反应,记录被试的反应时。结果发现,a 图案对应的搜索任务,被试的反应时几乎不随搜索集的变化而变化,反映的是高效的并行搜索,而b图案对应的搜索任务,被试的反应时随搜索集的增大而迅速增大,反映的是低效的系列搜索。

### 1.3特征整合理论

对于为何会产生上述搜索不对称现象,Treisman 用特征整合理论(feature integration theory)来加以解释(Treisman & Gormican, 1988)。特征整合理论主要探讨视觉加工早期的问题,该理论将特征

\* 完稿日期: 2016-10-10

\* 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

看作是某个维度的一个特征值，知觉系统对各个维度的特征进行独立的编码。这些个别特征对应的心理表征称之为特征地图（feature map），而一些特征的结合体则是客体。该理论认为视觉系统的加工可分为两个阶段：（1）特征登记阶段，该阶段，视觉系统从光刺激模式中抽取特征，且不检测特征间的关系，这是一种平行的、自动化的加工过程。Treisman假定，视觉早期阶段只能检测独立的特征，包括颜色、大小、反差、倾斜性、曲率和线段端点，还可能包括运动和距离的远近等。此时，被检测出的特征处于自由漂浮状态（free floating state），不受所属客体的约束，因此，其位置是不确定的。（2）特征整

合阶段。知觉系统将知觉到的特征正确地联系起来，把原始的、彼此分开的特征（如颜色、形状、朝向等）整合为一个单一的客体，而形成对某一客体的表征。该阶段要求对特征进行定位，即确定特征的边界位置在哪里，并在位置地图（map of locations）上标志出来。由于处理特征的位置信息需要集中性注意参与，因此，该阶段是一种系列的、非自动化的加工过程。如果此时注意分散或超载，单一客体的特征就可能会重新被分解，并再次成为自由漂浮的状态，甚至于在一些条件下出现错误性的结合（illusory conjunction）。特征整合理论框架示意图具体参见图 1-3。

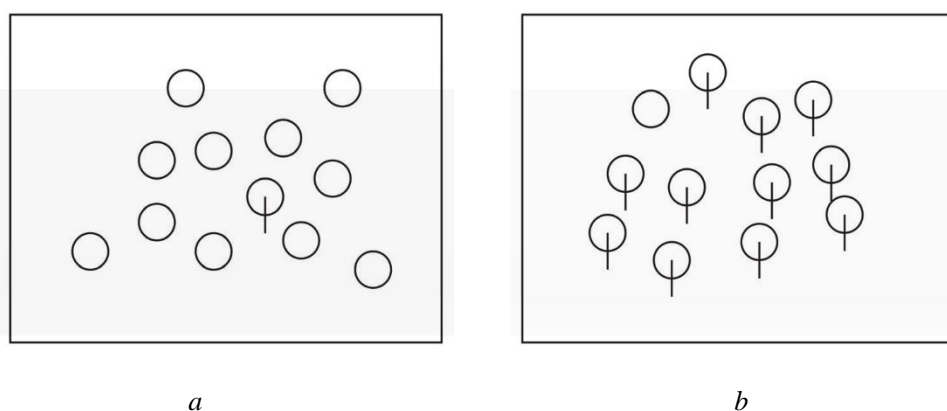


图 1-2 Treisman 实验中两种类型的靶子，采自（Treisman & Souther, 1985）

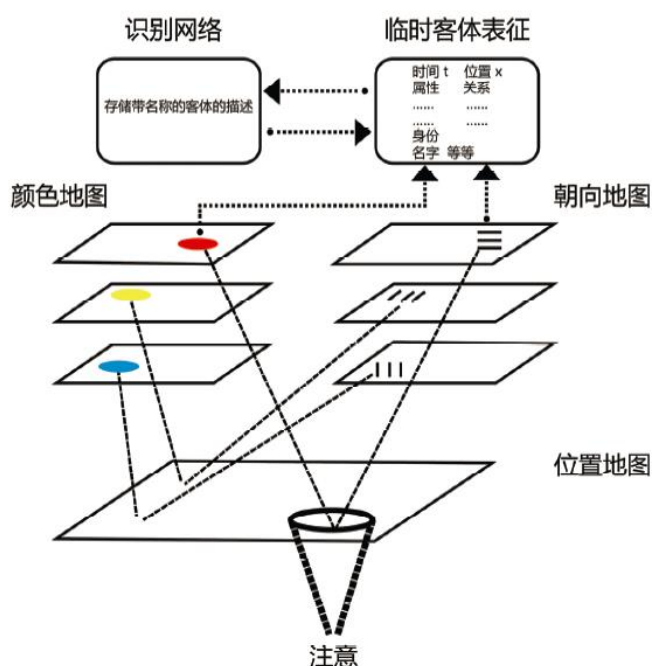


图 1-3 特征整合理论框架示意图，改编自（Treisman & Gormican, 1988）

Treisman 认为,在视觉搜索任务中,当与干扰子相比,靶子具有某项基本特征时,在激活特征地图的特征登记阶段就可以被探测到,因而这时的加工属于自动化的并行加工;而当靶子缺少了干扰子都具有的某项基本特征时,就需要集中注意的参与,才能在位置地图上将其标示出来,因而这时的加工属于非自动化的串行加工。因此,当靶子与干扰子互换时,就产生了视觉搜索不对称现象。

#### 1.4 研究目的

本实验旨在对 Treisman 等人的经典视觉搜索不对称实验进行验证,了解各种视觉搜索不对称现象的特点,并进一步探讨引起视觉搜索不对称的原因及其影响因素。

## 2. 方法

### 2.1 方法

被试为浙江大学心理与行为科学系大三本科生 52 名(其中男生 26 名),所有被试的平均年龄为 20 岁(19-21 岁,SD=0.77 岁)。实验被试身体健康,无色弱色盲等视觉障碍,也没有手脚不便等肢体障碍。

### 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。本实验呈现的字符集为“ $\Phi$ ”、“ $\bigcirc$ ”、“ $\Delta$ ”和“ $\Delta$ ”,字符颜色为黑色,每个符号的大小约为 1.5cm×1.5cm。

### 2.3 实验设计与流程

本实验采用三因素被试内设计。因素一为搜索集的大小,该因素共有 3 个水平,分别为:4 个、8

个和 12 个;因素二为干扰子的性质,该因素有 2 个水平,分别为:同质干扰子和异质干扰子;因素三为靶子是否出现,该因素也有 2 个水平,分别为:出现和不出现。被试有两个任务:特征存在搜索任务和特征缺失搜索任务。特征存在搜索任务要求被试在一些不带柄的圆圈和三角形中搜索是否存在一个带柄的圆圈;而特征缺失搜索任务则要求被试在一些带柄的圆圈和三角形中搜索是否存在一个不带柄的圆圈。两个任务的顺序在被试间对抗平衡。

单次试验流程见图 9-3。对于特征存在搜索任务:首先在屏幕上中央呈现一个黑色“+”注视点,500~1500 毫秒后在屏幕上随机呈现一些符号,这些符号可能包括“ $\Phi$ ”、“ $\bigcirc$ ”和“ $\Delta$ ”,其中靶子是“ $\Phi$ ”,干扰子是“ $\bigcirc$ ”和“ $\Delta$ ”。被试的任务是判断这些符号中是否存在靶子“ $\Phi$ ”,并立即做出按键反应。如果存在按“J”键;不存在则按“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)。

对于特征缺失搜索任务:首先在屏幕上中央呈现一个黑色“+”注视点,500~1500 毫秒后在屏幕上随机呈现一些符号,这些符号可能包括“ $\Phi$ ”、“ $\bigcirc$ ”和“ $\Delta$ ”,其中靶子是“ $\bigcirc$ ”,干扰子是“ $\Delta$ ”和“ $\Phi$ ”。被试的任务是判断这些符号中是否存在靶子“ $\bigcirc$ ”,并立即做出按键反应。如果存在按“J”键;不存在则按“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)。

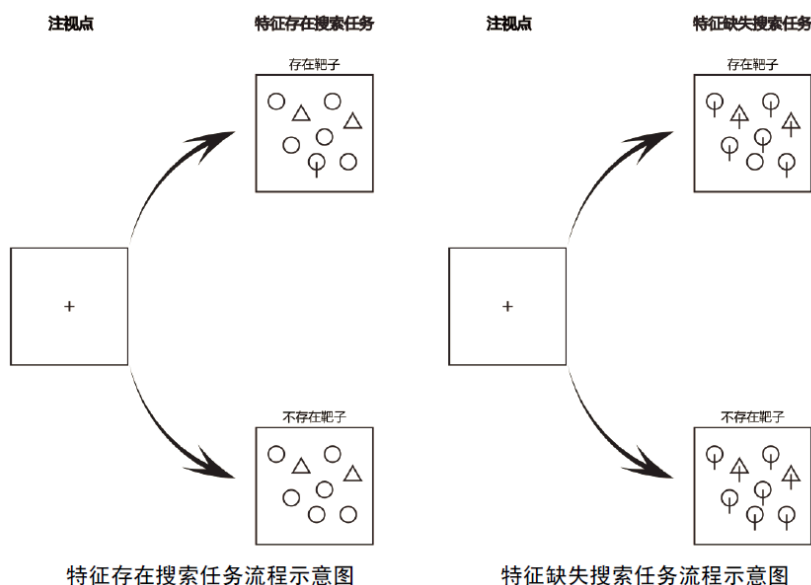


图 2-3 视觉搜索不对称实验流程示意图

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。如果被试在字符出现后 3000 毫秒内不予以反应,程序将提示反应超时,告诉被试尽快反应。随机空屏 600~1300 毫秒后,自动进入下一次试验。特征存在搜索任务或特征缺失搜索任务实验开始前,从正式实验中随机抽取 20 次作为练习,练习的时候,无论反应正确、错误或超时均有反馈,但结果不予以记录。练习的正确率达到 90%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。正式实验有 168 次试验,分 4 组(每组 42 次),组与组之间分别有一段休息时间。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。整个实验包括特征存在搜索任务和特征缺失搜索任务两部分,两者全部完成需时约 20 分钟。

### 3.结果

#### 3.1 不同类型干扰子在不同搜索集和不同搜索任务下的平均反应时

分别计算出每个被试和所有被试不同干扰子类型在不同搜索集和不同搜索任务下的平均反应时,详细数据参加附录表 1,所有被试的整体平均反应时间参见表 3-1-1。

并将数据导入 SPSS 进行三因素重复测量方差分析,结果表明干扰子类型的主效应显著( $F(1,51)=110.883, p<.01, \eta_p^2=0.685$ ),异质干扰子下的搜索反应时显著长于同质干扰子下的搜索反应时,这是由于自下而上的注意捕获吸引了被试的注意,被试从被捕获的当前客体转移到目标客体的注意转移需要时间,进而导致反应时减慢。

搜索集的主效应显著( $F(2,102)=61.602, p<.01, \eta_p^2=0.547$ ),搜索任务类型的主效应显著( $F(1,51)=220.049, p<.01, \eta_p^2=0.816$ )同时发现搜索集和搜索任务之间的交互作用显著( $F(1,51)=59.358, p<.01, \eta_p^2=0.538$ ),干扰子与搜索任务之间的交互也显著( $F(2,102)=84.927, p<.01, \eta_p^2=0.625$ ),进行简单效应分析可知,在特征存在搜索任务下干扰子

和搜索集的主效应均不显著,在特征缺失搜索任务下干扰子和搜索集的主效应显著,关于交互作用在后面将继续探讨。

#### 3.2 反应时与搜索集之间的回归分析

以搜索集为横坐标,反应时为纵坐标绘制相应的反应时折线图见图 3-2-1。由图可知,特征缺失且靶子不出现的折线高于靶子出现的折线,特征存在的两条折线平缓,没有随搜索集变化,特征缺失任务整体高于特征存在任务的折线。

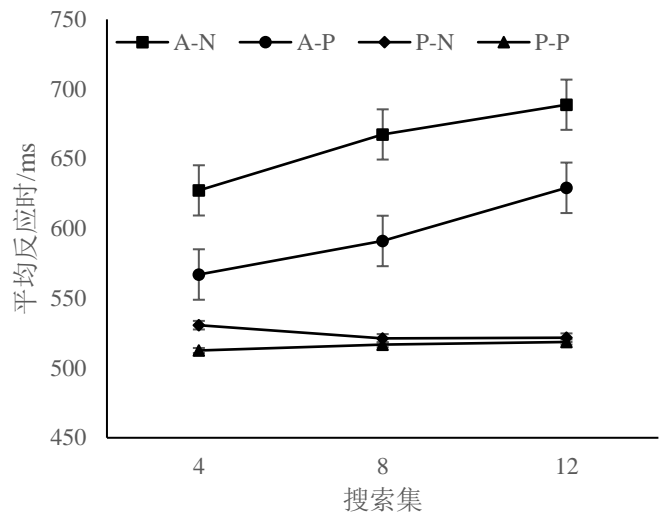


图 3-2-1 不同实验条件下反应时随搜索集变化的折线图(1:A 代表特征缺失, P 代表特征存在; 2:N 代表靶子不呈现, P 代表靶子呈现)

对所有被试在不同搜索任务下靶子呈现与靶子不呈现条件下的反应时与搜索集进行直线回归方程分析,得到四种实验条件下的直线回归方程结果参见表 3-2-2。回归分析显示,特征缺失任务情况下靶子出现和靶子不出现下的平均反应时与搜索集的回归方程显著,但是决定系数不高,特征存在任务情况下靶子出现和靶子不出现下的平均反应时与搜索集的回归方程不显著。由方程分析结果可,特征缺失任务下被试的搜索是系列搜索,而特征存在任务下的搜索则是并行搜索,平均反应时也显著快于特征缺失任务,这些结论与折线图所直观反映出来的结论一致。

表 3-1-1 不同实验条件下所有被试的平均反应时 (ms)

实验条件	4		8		12	
	特征缺失	特征存在	特征缺失	特征存在	特征缺失	特征存在
异质干扰子	610.69±162.93	522.83±116.48	647.63±141.95	522.02±115.96	681.21±164.93	521.49±106.98
同质干扰子	583.53±114.03	520.43±106.38	610.88±153.29	516.00±110.09	636.89±166.55	518.96±105.65

表 3-2-2 不同实验条件下反应时与搜索集的回归分析

实验条件	回归方程	回归方程显著性	决定系数
特征缺失	靶子不出现 $RT=7.721*Size+599.383$	$F(1,154)=18.948, p<.01$	0.104
	靶子出现 $RT=7.768*Size+533.630$	$F(1,154)=32.100, p<.01$	0.167
特征存在	靶子不出现 $RT=-1.126*Size+533.541$	$F(1,154)=0.619, p=.433$	-0.004
	靶子出现 $RT=0.771*Size+509.870$	$F(1,154)=0.299, p=.585$	-0.002

注：RT 代表该实验条件下所有被试的平均反应时，单位是 ms，Size 代表不同的搜索集大小

刚刚已经简单证明了对于特征缺失搜索任务下，被试采用的是序列搜索，那么回归方程的斜率其实就是搜索单个项目所需要的反应时，在靶子出现和靶子不出现条件下被试均需要 7.74ms/item。

### 3.3 不同搜索任务和不同搜索集大小下的平均反应时和错误率分析

分别求出不同搜索任务不同搜索集下的平均反应时，导入 SPSS22.0 进行两因素的重复测量方差分析，错误率数据同上。并绘制两种搜索任务下所有被试的总平均反应时和总平均错误率随着搜索集的变化而变化的折线图见图 3-3-1 和图 3-3-2。

方差分析显示，对于平均反应时，搜索任务的主效应显著 ( $F(1,51)=226.158, p<.01, \eta_p^2=0.816$ )，特征缺失任务的平均反应时 ( $M=628.45\text{ms}$ ) 显著大于特征存在任务的平均反应时 ( $M=520.30\text{ms}$ )，且搜

索集的主效应不显著 ( $F(2,50)=50.121, p<.01, \eta_p^2=0.667$ )，并且两者的交互作用显著 ( $F(2,50)=60.652, p<.01, \eta_p^2=0.708$ )，进行简单效应分析发现，在特征缺乏任务下搜索集的主效应显著 ( $F(2,50)=67.112, p<.01, \eta_p^2=0.729$ )，而特征存在任务下搜索集的主效应不显著 ( $F(2,50)=0.444, p=.644, \eta_p^2=0.017$ )，从折线图也可以发现特征缺失任务下折线更为陡峭而特征存在任务下折线更为平缓。

对于平均错误率，搜索任务的主效应显著 ( $F(1,51)=8.118, p<.01, \eta_p^2=0.137$ )，搜索集的主效应也显著 ( $F(2,50)=3.840, p<.05, \eta_p^2=0.133$ )，但是我们发现效应量很低，由折线图可知三种搜索集下的错误率差异存在但并不大。

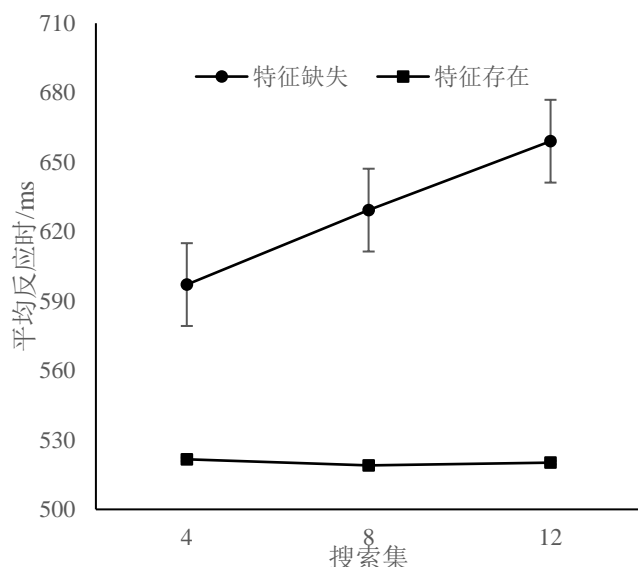


图 3-3-1 不同搜索任务下反应随搜索集的变化

### 3.4 搜索任务的顺序效应分析

计算每个被试和所有被试在不同搜索任务顺序下的平均反应时和平均错误率，分别进行单因素 ANOVA 分析，方差齐性 ( $p>.05$ ) 均满足，对于平均反应时，搜索任务顺序的主效应不显著 ( $F(1,50)$

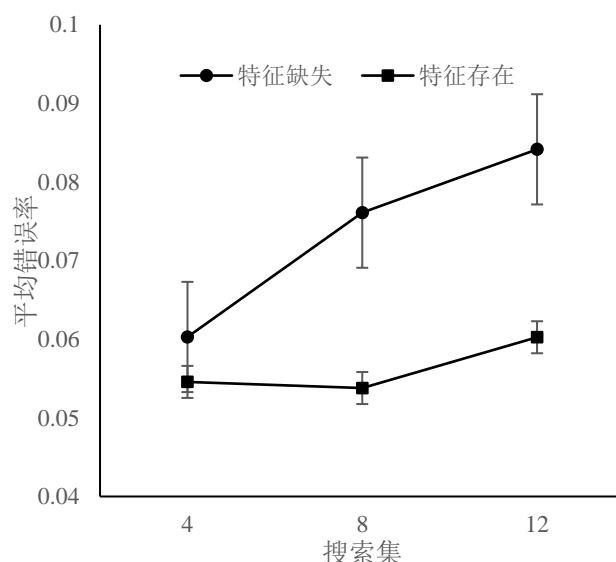


图 3-3-2 不同搜索任务下反应随搜索集的变化

$=0.000, p>.01$ )，特征存在搜索任务和特征缺失搜索任务的先后顺序对搜索反应时没有影响；对于平均错误率，搜索任务的主效应不显著 ( $F(1,50)=0.006, p>.01$ )，特征存在和特征缺失搜索任务的先后顺序对搜索错误率没有影响。

### 3.5 不同搜索任务下的辨别力指数、反应倾向、判断标准差异分析

#### 3.5.1 搜索任务对三种指标的主效应分析

各自进行单因素 ANOVA 方差分析, 都有方差齐性 ( $p>.05$ ), 不同搜索任务下的辨别力指数 ( $F(1,102)=3, p=0.075$ )、反应倾向 ( $F(1,102)=0.075, p>0.1$ )、判断标准 ( $F(1,102)=0.000, p>0.1$ ) 都没有显著差异。这表明在特征搜索和特征存在两种搜

索任务下被试的辨别力指数、反应倾向、判断标准都没有发生显著改变。

#### 3.5.2 操作者特征曲线 (ROC)

在 3.5.1 中分析出两种搜索任务之间的判断标准之间几乎没有差异, 而 ROC 曲线上反映的是相同感受性但是不同判断标准的点, 因此本实验中画不同搜索任务下的 ROC 曲线是没有分析意义的, 笔者这里就不再作图分析。

表 3-4 所有被试不同搜索任务下的辨别力指数、反应倾向、判断标准

搜索任务	辨别力指数 ( $d'$ )	判断标准 ( $C$ )	(反应倾向) $\beta$
特征缺失	2.96	0.56	1.25
特征存在	3.31	0.53	1.38

## 4. 讨论

### 4.1 特征存在搜索任务和特征缺失任务的差异分析

在前面的结果中我们比较了不同搜索任务下的诸多指标, 在反应时数据中我们发现不同搜索任务下的平均反应时有显著差异, 特征缺失任务的平均反应时 ( $M=628.45\text{ms}$ ) 显著大于特征存在任务的平均反应时 ( $M=520.30\text{ms}$ ), 这说明特征缺失搜索任务更慢; 在错误率数据上的方差分析表明差异显著, 但是效应并不强, 特征缺失任务的错误率更高。

特征缺失搜索任务下的两条直线回归方程显著, 而特征存在搜索任务下的两条直线回归方程不显著, 结合折线图可知, 在特征缺失任务下被试的反应时随着搜索集的增大而增大, 说明该实验条件被试进行的是系列自终止搜索, 而特征存在任务下被试的反应时随着搜索集变化并没有显著变化, 说明该实验条件下被试进行的是并行搜索。

对两种搜索任务的辨别力指数、反应倾向、判断标准进行单因素分析, 发现主效应均不显著, 即两种搜索任务类型下被试的辨别力指数、反应倾向、判断标准没有发生显著变化。

综上这些结果都指向一个现象, 即视觉搜索不对称现象。特征缺失搜索任务被试进行的是序列搜索, 而特征存在搜索任务被试进行的是并行搜索, Treisman 根据特征整合理论认为, 在视觉搜索任务中, 当与干扰子相比, 特征存在任务中的靶子具有线条这个基本特征时, 在激活特征地图的特征登记阶段就可以被检测到, 因而该搜索任务中项目的加工属于自动化的并行加工; 而在特征缺失搜索任务中靶子缺少了干扰子都具有的线条这个基本特征, 就需要集中注意的参与, 才能在位置地图上将其标

示出来, 因而该任务下的加工属于非自动化的串行加工。因此, 当带有线条的靶子与不带有线条的干扰子互换时, 就产生了视觉搜索不对称现象。

### 4.2 与 Treisman 的实验结果对比

Treisman 原实验一共做了 5 个实验逐步提出并其特征整合理论, 在后续的 1988 年研究中又进一步做了补充实验, 笔者将分别只就其中与本实验有关的几个关键实验结果进行比较。

原实验 (1985) 的实验 1 和实验 2 的结果 (此处只摘取实验 1 的结果见图 4-2-1) 都有特征存在任务的反应时 (下面两条曲线) 显著低于特征缺失任务的反应时 (上面两条曲线), 特征缺失靶子不出现和特征缺失靶子出现搜索任务反应时随着搜索集的增大而增大, 可见特征缺失搜索任务下被试采用的是序列搜索策略, 而对于特征存在任务靶子是否出现反应时差异不大, 随着搜索集的增大也没有增大, 可见特征存在搜索任务中被试采用的是并行搜索策略。以上这些与本实验中得出的总体结论保持一致。

不同的是, 对于原实验特征缺失搜索任务的反应时来讲, 相同搜索集情况下靶子不出现的反应时为靶子出现的反应时的两倍, 并且随着搜索集的增大, 两者之间的差异逐渐增大, Treisman 认为原实验被试在特征缺失搜索任务中被试采用的是系列自终止搜索策略, 而本实验当中特征缺失搜索任务中靶子不出现的反应时和靶子出现的反应时是平行的, 不存在两倍关系, 两者差异并没有随着搜索集的变化而发生变化, 可见本实验中的被试似乎采用的并不是系列自终止策略。

本实验中被试采用的策略更像穷尽搜索策略, 而如果是穷尽搜索的话靶子出现和靶子不出现的反应时应当是相同的, 再仔细观察这种差异其实是比

较小的，可以认为这些差异来自于反应和否反应之间的差异，这一点如同笔者之前在信息提取一节中所分析的。

关于这些差异笔者认为可能有两方面的主要因素。一方面是两个实验采用的搜索集不一样，原实验当中存在搜索集为 1 的时候，此时不论采用何种策略，反应时都基本接近，不同搜索集之间的差异较大（1-6-12），相差有 5-6 个搜索项目，搜索集较

大的时候与搜索集较小的时候对比明显，容易体现出差异逐渐增大的趋势；而本实验最少就有 4 个项目，不同搜索集之间的差异较小（4-8-12），可能难以显著地展现差异。另一方面，原实验只有同质干扰子，而本实验中还增加了异质干扰子，相对于同质干扰子，少数的异质干扰子具有捕获注意的作用，会延长搜索反应时，可能对被试搜索产生一定影响。

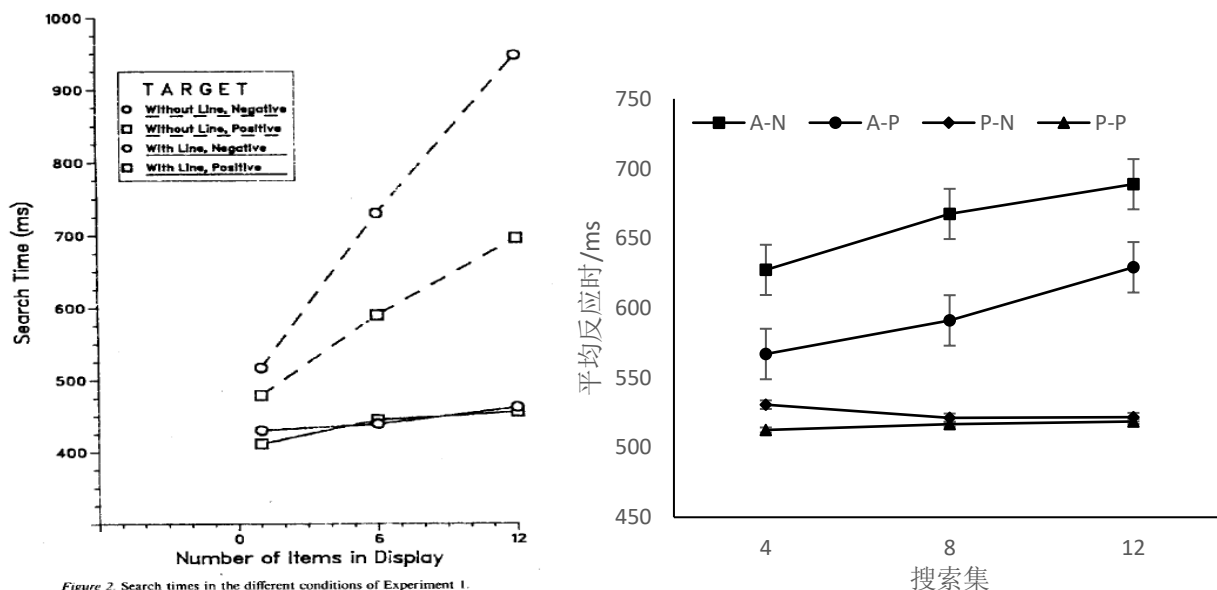


Figure 2. Search times in the different conditions of Experiment 1.

图 4-2-1 Treisman 实验结果（取自 Treisman, 1985）和本实验结果对比

#### 4.3 视觉搜索不对称的原因以及影响因素

视觉搜索不对称性的产生原因有不同的说法，不同的说法也就构成了不同的理论框架，这一点与下面的不对称现象基于的理论本质是一致的，笔者在这里只对影响因素做简单性的总结，下面的理论一处笔者将就主要的几个理论进行详细解释，以避免过多重复。

根据特征整合理论，影响视觉搜索不对称的因素即特征类型和加工阶段，如果搜索某刺激在前注意加工阶段就完成了加工，注意阶段则非常快，如果搜索辨别某刺激需要在注意阶段完成特征整合则显得较慢。

根据引导搜索理论，影响视觉搜索不对称的因素即目标特征的单一性，当干扰子中不存在干扰特征时，平行加工阶段加工结果可以很好对序列加工阶段进行很好的引导，当干扰子中存在干扰特征，平行阶段加工结果不能很好对序列加工阶段进行引导（并不是不引导，只是没有准确高效引导，即不是

激活图中的前几个），被试按照激活图依次寻找，当干扰特征越多，寻找比较次数越多，反应时间越长。

根据原型-偏离理论，影响视觉搜索不对称的因素即偏离刺激的激活性。相对于原型刺激（或标准刺激），偏离刺激具有更多的激活性，新颖的刺激相对熟悉性刺激具有更大的激活性，从而使得在低激活性的干扰子中搜索高激活性的靶子较快，而在高激活性的干扰子中搜索低激活性的靶子则慢得多。

根据刺激相似性理论，影响视觉搜索不对称性的因素即目标和干扰子之间的相似性和干扰子之间的相似性，目标与干扰子之间的相似性越小，越容易形成组群，形成局部对比，从而使得靶子凸显。但是当靶子与干扰子之间的差异足够大的时候例如用两种颜色作为刺激，那么搜索中不再产生视觉搜索不对称性，这是因为各个颜色维量之间为替代性特征，另一方面是韦伯定律所决定，在方位、运动搜索中，靶子本身的特征性质不重要，而是靶子-干扰子之间的局部对比对靶子的突出起到了关键作用。



根据刺激熟悉性理论,影响视觉搜索不对称的因素即刺激的熟悉性,一般情况下在熟悉刺激中搜索新异刺激快于在新异刺激中搜索熟悉刺激。

#### 4.4 靶子呈现与否对搜索效率的影响

求出不同搜索任务下搜索反应时随着搜索集增大的变化趋势,画出折线图如图 3-2-1 所示,并进行回归分析求出响应的斜率数值,可以发现在特征存在任务下搜索反应时并不随着搜索集变化,斜率均接近 0,靶子出现和靶子不出现之间的斜率不存在显著差异,这表明特征存在任务下被试进行的是并行搜索,靶子存在与否与搜索效率的影响并不是很大;特征缺失任务下靶子出现和靶子不出现之前的反应时存在显著差异,这表明该任务中被试采用的是序列搜索,但是搜索集和靶子是否出现之间的交互作用不显著,靶子出现和靶子不出现两种情况下反应时随着搜索集变化的斜率没有显著差异,这表明被试很可能的采用的是穷尽搜索而不是序列自终止搜索策略,两种反应之间的差异来自于反应和否反应之间的反应差异。

#### 4.5 干扰子性质、靶子所处位置、搜索集与搜索任务之间的交互作用分析

将所有被试在不同靶子所处位置、不同搜索任务的反应时数据进行汇总,导入 SPSS22.0 进行两重复测量方差分析,其他变量与搜索任务之间的方差分析在前面的结果讨论均已分析过,这里只做总结性讨论。

结果显示(参见结果 3.1、3.2、3.3),搜索集和搜索任务之间的交互作用显著,干扰子与搜索任务之间的交互也显著( $F(2,102)=84.927$ ,  $p<.01$ ,  $\eta_p^2=0.625$ ),进行简单效应分析可知,在特征存在搜索任务下干扰子和搜索集的主效应均不显著,在特征缺失搜索任务下干扰子和搜索集的主效应显著。

对于靶子位置,有两种标准,一种是靶子的绝对位置,处于哪个象限,二是靶子位置的相对位置,是处于项目的中间区域还是外部区域等,因此笔者也进行了两次分析。结果显示,以象限为考察指标时,象限位置与搜索任务之间的交互作用显著( $F(4,48)=24.505$ ,  $p<.01$ ,  $\eta_p^2=0.671$ ),进一步简单效应分析发现,不论哪个象限均发现搜索任务的主效应均显著(5个简单效应均有  $p<.01$ ,  $\eta_p^2$ 均大于 0.681),换个角度分析象限的简单效应也均发现各个主效应显著,唯一差异之处在于对于特征缺失任务,象限 3 和象限 4 之间差异不显著,对于特征存在任务,象

限四和象限 2、象限 4 和靶子不出现之间差异不显著;以相对区域为考察指标时,区域与搜索任务间交互作用显著( $F(3,49)=43.979$ ,  $p<.01$ ,  $\eta_p^2=0.729$ ),进一步进行简单效应分析发现不论哪个区域,均发现搜索任务的主效应显著(4个简单效应均有  $p<.01$ ,  $\eta_p^2$ 均大于 0.707),换一种角度分析区域的简单效应,发现在特征存在任务中,中间区域和靶子不出现之间差异不显著。不论是象限还是区域,可以发现靶子位置的主效应是显著的,且大部分位置主效应并不因为搜索任务的不同而存在差异,说明被试在不同位置的注意分配是不一致的,由以上的简单分析可知,被试在上方和右方区域搜索更快。

综上,干扰子与搜索任务、搜索集与搜索任务之间的交互作用显著,简单效应向我们表明特征缺失搜索任务下被试采用的是系列搜索,被试搜索反应时随着搜索集的增大而增大,异质干扰子会对被试产生显著影响,而特征存在任务下被试采用的是并行搜索,被试搜索反应时并不随着搜索集的增大而增大,异质干扰子没有对被试产生显著干扰。而以上这些交互作用都表现出显著性,实际上体现了一个本质问题,即搜索不对称性是稳定和广泛存在的,不论何种靶子处于何种位置、搜索集大小为多少、干扰子是何种性质。

#### 4.6 视觉搜索不对称理论

查阅中外有关视觉搜索不对称性的相关研究和综述,笔者总结有关视觉搜索不对称性有以下相关理论。

##### 4.6.1 特征整合理论

该理论认为,视觉搜索过程分两个阶段。第一阶段,视觉系统以平行的方式对刺激的基本特征(如大小、颜色、方向等)进行加工。这时刺激的各个特征之间是独立的,对特征信息的编码也是独立的。各维度的特征信息编码后,加工成相应的特征地图,如明暗地图、方向地图等。第二阶段对各个特征信息加以联合,即进行特征整合加工。在这个阶段,位置地图或位置总图对信息的整合加工起重要的中介作用。知觉系统中的位置地图表明全部特征的边界位置,注意使加工在位置地图上的选择有倾向性。特征地图中的位置只有通过它与注意所选择的位置地图中的位置的联系才能得到进一步的加工并进入意识。Treisman 认为,如果注意分散或过载,特征将不在正确的位置上结合,从而导致错觉性结合。特征整合阶段的加工是系列的,集中性注意一次只随机选择特征地图中的一个位置进行扫描,被扫描位

置上的特征信息经整合加工产生暂时客体表征。暂时客体表征包含客体作用的时间、地点以及特征、联系和名称等重要信息,暂时客体表征与识别网络互相联系,由此实现客体的视知觉或客体的模式识别(Treisman, 1980)。

由于一些研究发现特征联合搜索也可以平行加工的方式进行(Found, 1998), Treisman(1988)就早先的特征整合理论作了些修正,在原来的理论框架内提出了特征抑制功能的内容。认为对位置地图上位置的选择除了通过集中性注意对某个位置予以优先外,还可通过对位置地图上某些位置产生抑制,减弱其活动强度的抑制性调控实现。在视觉搜索过程中,位置地图上目标所在的那个位置就会有高过其他位置的激活,产生易化效应;而干扰图形的各个特征在位置地图上的位置则受到抑制,产生低于其他位置的激活,从而使干扰项位置产生的干涉作用减弱。由于上述加工机制,使得注意扫描的速度将加快,且不依赖于干扰数目多少,从而实现联合特征搜索的快速、平行加工。

#### 4.6.2 引导搜索模型

引导搜索理论模型是 Cave & Wolfe(1990)作为特征整合理论模型的修订而提出的(Cave, & Wolfe, 1990)。Wolfe 等(1989)通过实验发现,对颜色×形状,颜色×方向,颜色×大小的特征联合搜索结果没有表现出特征整合理论模型所预测的系列的搜索特点,而且对三特征的联合搜索(颜色×大小×形状)比标准的特征联合搜索(两特征联合)更为容易,并与刺激数量无关。为了解释这些实验结果,他们提出了引导搜索理论。

该理论认为,视觉搜索首先进行平行加工阶段,此阶段对输入的信息特征差异进行觉察,将刺激的每一特征与目标特征的关系进行量化比较,并与自上而下的信息相互作用,在每个特征维度都产生一个激活图。激活图在刺激的每一位置都有相应的值表示目标处于该位置的可能性,然后开始系列加工阶段。此阶段加工时,它会挑选激活图中最大激活值的位置开始,以此引导后继的视觉搜索。如果运用具有最大激活值的特征进行搜索没有找到目标,则运用仅次于特征最大激活值的次大激活值位置来引导后继的视觉搜索,到发现目标。由于激活值来自于平行加工阶段,即第二阶段系列加工的顺序取决于第一阶段平行加工的结果,系列加工是在平行加工结果的引导下展开的,因此将此理论称之为“引导搜索理论”。

该理论(Wolfe, 2010; Wolfe, 2013)的要点是认定系列加工阶段运用了平行加工阶段的信息,从而把外来刺激分为干扰和可能目标两个部分。如果平行加工阶段的结果能对后一阶段系列加工进行较好的引导,注意就会立刻被引导到目标,这时表现出特征联合搜索与刺激数量无关的整体平行加工特征。反之,若前期平行加工的结果不能对后一阶段的系列加工工序进行有效引导,例如将噪声赋予较高的激活值,就会导致目标信号搜索的绩效下降。视觉搜索范围内的噪声源越多,噪声强度越大,越易导致激活图中激活值的误赋,视觉搜索也就越表现为系列搜索的特征。引导搜索理论模型假设联合特征搜索是系列的,而不是随机的,每一时刻注意的探照灯都在运动,指向与平行加工结果指向的可能目标位置,连续的平行加工结果信息更新使继之的系列加工最终找到目标区域。平行加工过程的结果信息(激活值)转换到系列加工阶段的引导信息(加工工序)的过程是持续更新的。所以虽然在平行加工过程起初可能产生误导注意到干扰项上的错误信息,但由于噪声是随机的,而信号则是非随机的,随着信号的增强,平行加工的结果信息会很快调整激活值的赋值,从而引导注意迅速找到目标。

#### 4.6.3 刺激相似性理论

Duncan & Humphreys(1992)的研究发现,视觉搜索效率在不同的作业任务、不同研究条件下是有变化的,但这种变化没有特征整合理论描述的平行加工和系列加工那种明显的两分性特征(Duncan, 1992)。视觉搜索的效率主要取决于视觉作业材料的相似性,目标与干扰之间的相似性、非目标之间的相似性影响着目标靶子的搜索效率。对于所有的刺激材料,增加目标与非目标的相似性,降低非目标之间的相似性,都会增加视觉搜索的难度;反之,降低目标与非目标的相似性,增加非目标之间的相似性,都会降低视觉搜索的难度。基于上述研究的结果及这些结果与特征整合理论所预测的结果差异分析,他们提出了视觉搜索的相似性理论模型,并相继得到了许多研究的支持(Pashker, 1987; Duncan & Humphreys, 1989)。

该理论认为,视觉搜索首先要对视觉呈显的刺激进行一定的知觉描述(白学军, 2008),视觉表征按特征类型被分割之后的组群称为结构单元。刺激中具有相同特征的刺激被组群为一个结构单元。通过知觉描述形成等级结构以后,必须有一部分描述进入视觉短时记忆,以引起相应的行为。分割产生的

知觉单元有一定的权重(这里权重代表进入视觉短时记忆所具有的竞争力),并假设知觉描述后产生的各个结构单元的初始权重是一样的。同时,在视觉系统中,存在某种有限资源,这些资源将分配给结构单元,以增加某些结构单元的竞争力而达到视觉短时记忆。资源分配依赖于结构单元的相对权重而不是绝对权重。相似性理论模型认为视觉是由搜索特定信息所引导的,即在视觉系统中存在对目标的描述性“模板”,选择性操作把这个模板与输入描述进行匹配,匹配程度高的,则权重升高,反之则降低,而与之有关的组群权重也会受到影响,这就是权重连带(weightlinkage)。即有两个因素决定选择的权重,一个是组群与模板的匹配程度,另一个是权重连带。增加目标与非目标的相似性不利于搜索是因为与模板的匹配都很高,达到视觉短时记忆的竞争力较一致。而降低非目标与非目标的相似性不利于视觉搜索是因为它降低了对非目标组群的扩散抑制的机会。有限资源分配给各个结构单元以后,这些结构单元的权重就发生了变化,那些权重大的结构单元便首先进入视觉短时记忆。当一个所选择的目标描述进入视觉短时记忆时,被试产生“肯定”反应,则产生“否定”反应。

在相似性理论中,目标与干扰的相似程度是视觉搜索表现的关键。有研究发现,当目标和干扰的差异非常大时,那么一个突显的干扰就可能被视觉忽略(Kumada,1999)。Paola 等(2008)的进一步研究发现,如果目标和干扰具有很多相似时,同时目标也一直凸显,那么凸显的干扰也会被注意到。结果在说明目标与干扰的相似性在视觉搜索中的重要作用的同时,似乎也在暗示视觉搜索的刺激驱动性质(Poiese, 2008)。

#### 4.6.4 熟悉性理论

除了相似性,视觉材料的熟悉性也制约着搜索效率。熟悉性并不是视觉模式本身的特性,它与被试对于此视觉模式的经验有关,即熟悉性具有可学习性。Wang (1994)认为靶子与干扰子之间熟悉性的不同是平行搜索的必要条件,由于熟悉的项目激活度小,新颖的项目激活度大而导致上述结果。由此得出推论:熟悉性可作为基本特征。当靶子和干扰子都是熟悉的或新颖的时,在激活性上就没了区别,所以注意搜索就以系列方式进行(Cavanagh, 1994)。Malinowski (2001)认为在熟悉的干扰子中搜索熟悉的靶子是容易的,因为:在显示系列中,干扰子的数目一般要大于目标的数目,所以熟悉的

干扰子使背景项目更容易组群,并且熟悉的干扰子也容易组群。由此得出:干扰子的熟悉性,而不是靶子与干扰子之间熟悉性的不同决定了搜索的效率(Malinowski, 2001)。两者都强调了刺激熟悉性的重要性。

#### 4.6.5 原型-背离假说

此理论与强调干扰子的熟悉性相反,与强调靶子、干扰之间熟悉度的差异具有异曲同工之效。根据这个假说:基于原型刺激(熟悉的刺激)的偏离变形具有更多的激活性,因此,在垂直的线组成的干扰子中搜索一条倾斜的线的靶子比反之容易,因为倾斜的线比垂直的线多了倾斜的特征,因此有更多的激活性。新颖的刺激比原型的刺激具有更大的激活性,从而使得在低激活性的干扰子中搜索高激活性的靶子较快,而在高激活性的干扰子中搜索低激活性的靶子则慢得多。

## 5. 结论

研究发现(1)特征存在搜索任务反应时显著低于特征缺失搜索任务,存在视觉搜索不对称现象(2)干扰子类型的主效应显著,会影响搜索反应时,异质干扰子会自下而上地捕获注意进而延缓反应时(3)在特征缺失任务情况下,搜索反应时随着搜索集的增大而线性增大,特征存在任务搜索反应时不随搜索集增大而增大,表明特征存在任务被试进行的是并行搜索,特征缺失搜索任务下进行的是序列搜索(4)靶子呈现与否的主效应显著,但这种差异似乎并不是来自搜索策略,而可能来自于反应类型和否反应类型上的差异(5)视觉搜索不对称性主要有五种理论,影响视觉搜索不对称性的因素也即五个理论中的核心要点。

## 6. 思考

### 6.1 视觉搜索不对称与基本特征的前注意加工特性

在 Treisman 的特征整合理论中,主要探讨视觉早期加工的问题,他自己后来的观点以及现在的观点更多地在他的整合理论中加入注意的成分,逐步强调注意在两个阶段中的不同作用。Treisman 将视觉系统的加工分为两个阶段,一个是特征登记阶段,笔者概括为前注意加工阶段,该阶段视觉系统从光刺激模式中直接抽取特征,是平行自动化的加工过程,不需要中央执行注意的参与即可完成;第二阶段是特征整合阶段,笔者概括为注意阶段,在中央执行注意的参与之下,知觉系统将知觉到的特征

正确地联系起来,把原始的、彼此分开的特征进行整合成为一个单一客体。因此如果在复杂特征中搜索基本刺激特征的搜索反应时显著低于在基本特征中搜索复杂特征,则说明该基本特征具有前注意加工特性,可以在前注意阶段就得以加工。

关于视觉搜索不对称性来研究前注意加工特性的研究有很多,查阅文献笔者认为利用得最为巧妙并且得出非常重要的结论的是蒋毅等人(Li W., & Li J, 2010)发表在心理学上的研究。我们知道,在熟悉的字母里找不熟悉的字母更快一点,在直立大象中找倒立大象更快一点,因为不熟悉的事物对于我们来说是新异刺激,是一个前注意阶段的基本特征,而又有研究发现猩猩在倒立面孔中找直立面孔更快,与以往的不对称性结论相反,而人为被试的时候不对称现象消失,由此猜测面孔中带有生物信息是否是一个带有前注意加工特性的基本特征。这一点是极其重要的,因为它试图在揭示我们人类视知觉对于生物信息的加工优势,从我们对生活中的面孔、步态等信息的快速识别可以窥见。作者利用生物运动光点材料进行实验,研究发现在倒立的生物运动光点中搜索直立的生物运动光点更为迅速,进一步实验发现当把生物光点进行打乱(破坏整体生物运动信息)、倒立(破坏局部运动信息),结果发现在整体生物运动信息被破坏的情况下视觉搜索不对称现象依旧存在,而当局部生物运动信息被破坏的情况下视觉搜索不对称性现象消失,说明局部生物运动信息才是前面所提到的具有前注意加工特性的生物信息中的关键。该研究利用视觉搜索不对称性发现带有生物信息的生物运动具有前注意加工特性,再进一步利用视觉搜索不对称性的消失和反转进一步证明是局部的生物运动信息而不是整体的生物运动信息才是真正的具有前注意加工特性的基本特征。这一篇研究让我更为深刻地理解视觉搜索不对称性在揭示基本特征的前注意加工特性中的巨大作用。

类似的研究层出不穷,不可忽视的是视觉搜索不对称性已经逐渐成为认知领域中探究某个特征是具有前注意加工特性的基本特征还是需要注意参与的复杂细节特征的重要工具。

## 6.2 一些典型的搜索不对称现象

从 Treisman 提出特征整合理论的几年,研究者主要关注的都是一些低级特征,诸如颜色、朝向、运动信息等,而后的研究者逐渐将眼光转移到高级信息加工过程中,因为这些高级信息加工与更底层的认知活动相关,研究者试图利用该范式获得一些有

用的结论。

低级特征的搜索不对称性在 Treisman 等的系列研究中逐步进行了探讨,外延也大多依旧是一些朝向等,笔者在这里只列举当下更为热点的一些研究。限于篇幅,只讨论关于面孔搜索的不对称性、倒置效应的不对称性、局部生物运动信息的不对称性。

### 6.2.1 面孔知觉的不对称性

关于面孔搜索不对称性的研究根据笔者文献查阅发现主要有两方面的研究热点,一个是早期的研究,主要关注面孔材料的搜索不对称性,最开始的研究发现大猩猩观察人脸面孔发现了视觉搜索不对称性的反转,即直立面孔是基本特征。这些基础研究尚没有关注面孔的情绪问题,而后在该研究的基础上,有研究发现了情绪面孔的搜索不对称性(Fox & Lester, 2000; Horstmann & Bauland, 2006; Horstmann et al, 2010; White, 1995),研究发现当负性情绪(悲伤、愤怒)作面孔作为搜索目标,正性情绪(高兴)面孔作为背景分心物时,对搜索序列的反应速度显著快于正性情绪面孔作为目标,而负性情绪面孔作为背景分心物的条件,虽然目前研究者对此有知觉因素、情绪因素两种观点,但具体来说研究都表明负性面孔目标的加工时一种前注意水平上的自动加工(Hansen, 1988)。

### 6.2.2 倒置效应的不对称

早期研究发现(Wolfe, 2001)人在直立的大象中寻找倒立的大象更快,倒置大象是新异刺激,直立大象是熟悉刺激,该研究初步发现新异刺激可以作为一个基本前注意特征;后来又有研究者(Tomonaga, 2001, 2007)发现大猩猩在倒置的人类面孔中搜索直立人类面孔更快,该研究之后,对生物信息可能作为前注意基本特征的研究便层出不穷,而进一步的研究发现人类对于面孔的搜索没有表现出搜索不对称性(Kuehn & Jolicoeur, 1994; Nothdurft, 1993)。后续研究则采用生物运动材料发现倒置的生物运动光点中搜索直立的生物运动光点更快,或者没有显著搜索不对称性(Li W., & Li J, 2010)。

### 6.2.3 局部生物运动信息的不对称性

这一点在前面的思考 6.1 前注意加工特性里面已经详细提到,这里不再进行赘述。主要强调的就是生物运动信息也可以作为一个前注意阶段的基本特征引起视觉搜索不对称性,抵消甚至超过倒置引起的新异刺激基本特征所引起的搜索优势,进而引起搜索不对称性的消失和反转。

## 6.3 视觉搜索不对称性与界面设计可用性

视觉搜索不对称性对于网页或手机界面设计有很大的启示意义,具体表现在标题设计、广告设计等方面。

根据视觉搜索不对称性可知,当靶目标和干扰项属于同质接近的时候,被试寻找靶目标的反应时更长,采用的是序列搜索方式,当靶目标特征突出的时候,该特征可以作为以新异刺激作为一个基本

特征进行前注意加工。由此具体应用到网页设计上可知,对于网页中的几个主要的功能区域板块的名称或者网站主持人想要用户去点击的标题应当醒目标注,区别于周围的普通文字,进而减少用户的心理认知负荷,或者说给靶目标附加一些新异的附属标签,以使得目标突出(任玉琢,2007;余兴华,2013)。这里笔者以万方数据库为例简单分析具体应用。



图 6-3-1 视觉搜索不对称性在网页设计中的应用

如图 6-3-1,是一个由百度学术链接到万方数据库的关于某篇文献的详细展示页面。笔者在图中标注了三点,左上角的万方数据库的标志是大红色,从颜色这个基本特征上与周围的所有特征进行区分,是整个页面中最为显眼的,这是从数据库本身宣传效果的角度来讲的,中间上方的检索下方附属一个蓝色的加粗横线,区别于旁边的资源等大栏目,右边中间的万方附加浅红色的底背景色区别于其他数

据库来源,当鼠标按键到一个书的地方(左边中间),由普通白色转变为蓝色表明阅读选项被选中给予被试反馈,等等这些设计都是将靶目标进行凸显,以提高网页设计的可用性。

以上主要针对的是网页设计,手机设计也基本类似,只是布局面积更小,细节注意点有点变化,但大致理念不变。

### 参考文献

- Cave, K. R., & Wolfe, J. M. (1990). Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, 22(2), 225-271.
- Duncan, J., & Humphreys, G. (1992). Beyond the search surface: visual search and attentional engagement. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance*, 18(2), 578-588.
- Elaine Fox, Victoria Lester, Riccardo Russo, R.J. Bowles, Alessio Pichler, & Kevin Dutton. (2000). Facial expressions of emotion: are angry

faces detected more efficiently? *Cognition & Emotion*, 14(1), 61-92.

Found, A. (1998). Parallel coding of conjunctions in visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 60(7), 1117-27.

Gernot Horstmann, Stefanie I. Becker, Steffi Bergmann, & Ludger Burghaus. (2010). A reversal of the search asymmetry favouring negative schematic faces. *Visual Cognition*, 18(7), 981-1016.

Horstmann, G., & Bauland, A. (2006). Search asymmetries with real faces: testing the anger-superiority effect. *Emotion*, 6(2), 193-207.

- Hansen, C. H., & Hansen, R. D. (1988). Finding the face in the crowd: an anger superiority effect. *Journal of Personality & Social Psychology*, 54(6), 917-24.
- Kuehn, S. M., & Jolicoeur, P. (1994). Impact of quality of the image, orientation, and similarity of the stimuli on visual search for faces. *Perception*, 23(1), 95-122.
- Malinowski, P., & Hübner, R. (2001). The effect of familiarity on visual-search performance: evidence for learned basic features. *Perception & Psychophysics*, 63(3), 458-63.
- Murray White. (1995). Preattentive analysis of facial expressions of emotion. *Cognition & Emotion*, 9(5), 439-460.
- Nothdurft, H. C. (1992). Feature analysis and the role of similarity in preattentive vision. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 52(4), 355-75.
- Nothdurft, H. C. (1993). Faces and facial expressions do not pop out. *Perception*, 22(11), 1287-98.
- Neisser, U. (1963). Decision-time without reaction-time: experiments in visual scanning. *American Journal of Psychology*, 76(3), 376-385.
- Poiese, P., Spalek, T. M., & Di, L. V. (2008). Attentional capture by a salient distractor in visual search: the effect of target-distractor similarity. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 62(4), 233-6.
- Treisman, A., & Souther, J. (1985). Search asymmetry: a diagnostic for preattentive processing of separable features. *Journal of Experimental Psychology General*, 114(3), 285-310.
- Treisman, A., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95(1), 15-48.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). Gelade g. a feature integration theory of attention. *cog. psychol. Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136.
- Tomonaga, M. (2008). Investigating Visual Perception and Cognition in Chimpanzees (Pan troglodytes) Through Visual Search and Related Tasks: From Basic to Complex Processes. *Primate Origins of Human Cognition and Behavior*.
- Tomonaga, M. (2007). Visual search for orientation of faces by a chimpanzee (pan troglodytes): face-specific upright superiority and the role of facial configural properties. *Primates*, 48(1), 1-12.
- Wolfe, J. M. (2001). Asymmetries in visual search: an introduction. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 63(3), 381-389.
- Wolfe, J. M. (2013). Guided search 4.0: current progress with a model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(2), 202-238.
- Wolfe, J. M. (2010). Guided search 4.0: a guided search model that does not require memory for rejected distractors. *Journal of Vision*, 1(3), 349-349.
- Wang, Q., Cavanagh, P., & Green, M. (1994). Familiarity and pop-out in visual search. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 56(5), 495-500.
- Wang, L., Zhang, K., He, S., & Jiang, Y. (2010). Searching for life motion signals: visual search asymmetry in local but not global biological-motion processing. *Psychological Science*, 21(8), 1083-9.
- 韩振华, & 曹立人. (2009). 平行搜索还是系列搜索——视觉搜索机制研究的理论分析. *西北师范大学学报(社会科学版)*, 46(5), 129-132.
- 康廷虎, & 白学军. (2008). 真实情景知觉中注视控制的研究进展. *西北师范大学学报(社会科学版)*, 45(4), 107-111.
- 任玉琢, 陈键, & 赵建勋. (2007). 初探视觉搜索和网页设计的关系. *艺术与设计: 理论*(10), 61-63.
- 余学华. (2013). 基于视觉搜索影响因素的网页设计原则. *软件导刊*, 12(4), 39-41.
- 马艳云. (2011). 视觉搜索不对称性成因探究. *人类工效学*, 17(4), 33-37.
- 马艳云. (2007). 视觉搜索不对称性研究的发展历程. *教育史研究*(2), 87-90.
- 李永梅, & 曹立人. (2003). 视觉搜索的非对称性研究综述. *人类工效学*, 9(2), 37-39.
- 李灿举. (2014). 情绪面部简图的搜索不对称性机制: 情绪的或知觉的?. (*Doctoral dissertation*, 西南大学).

附录

表 1 每个被试和所有被试的平均反应时（ms）

干扰子		异质干扰子						同质干扰子					
搜索集	4		8		12		4		8		12		
靶子	特征缺失	特征存在	特征缺失	特征存在	特征缺失	特征存在	特征缺失	特征存在	特征缺失	特征存在	特征缺失	特征存在	
蔡贝贝	561.83	520.92	582.43	491.68	594.16	499.52	508.83	502.25	552.18	515.43	571.57	503.77	
岑梦媛	650.83	506.83	749.29	526.21	867.09	530.66	621.83	530.67	694.57	526.96	755.73	524.61	
陈权	570.92	491.33	579.00	484.86	604.09	495.42	543.92	493.33	547.68	500.07	582.93	499.09	
陈滋正	595.42	529.00	616.64	507.71	633.32	521.89	587.17	543.17	593.36	504.43	621.84	515.66	
邓一好	543.58	511.42	627.79	505.29	707.05	515.23	609.42	483.00	614.79	461.63	606.89	473.75	
樊丹红	650.75	541.75	683.71	548.30	713.43	530.45	604.08	492.67	629.14	522.68	646.57	533.11	
方略	633.08	544.67	693.89	611.54	698.07	549.84	634.08	516.25	667.36	556.74	636.91	547.32	
符凯优	693.58	538.25	687.79	537.71	739.52	551.89	613.33	496.25	592.89	528.00	656.91	570.30	
胡沁艺	544.92	501.67	641.46	515.25	672.57	490.80	564.25	539.00	592.29	531.63	590.18	530.02	
黄杨初	651.42	425.92	656.64	424.39	693.82	444.75	565.67	416.33	637.74	445.82	637.20	442.82	
蒋瑞峰	568.67	543.33	643.29	530.43	689.18	549.55	608.67	532.67	603.96	524.00	612.66	510.30	
金多	619.00	580.25	682.93	590.89	708.14	574.55	594.36	578.42	642.93	545.64	679.30	562.66	
黎松	789.50	651.83	813.79	560.50	831.47	535.48	824.67	571.42	729.25	530.86	778.45	535.02	
李佳蕊	456.09	411.58	505.21	413.29	516.52	421.84	482.25	401.17	474.96	428.54	476.98	418.70	
李伟	678.00	529.00	685.21	555.67	679.98	543.91	690.25	528.25	599.00	503.50	636.23	511.98	
李炜	622.42	547.67	633.18	522.04	692.68	532.52	640.33	525.08	578.32	529.14	655.86	532.09	
李蔚	591.25	486.58	611.50	494.71	625.20	474.68	540.75	487.00	582.93	483.43	587.75	484.00	
李文敏	629.08	595.67	704.86	609.00	712.73	608.57	618.17	584.25	678.30	576.14	745.61	567.48	
李彦哲	603.75	486.33	648.93	481.50	659.16	499.95	588.17	493.55	579.36	491.36	604.16	500.55	
梁展鸿	541.33	486.58	579.68	491.50	623.68	494.23	547.58	541.00	549.21	502.11	590.32	495.82	
廖一帆	610.25	549.42	666.25	569.11	733.98	548.80	575.75	597.42	604.79	538.89	662.50	556.91	
刘嘉耀	591.00	494.42	607.71	488.18	660.40	488.86	521.42	515.50	596.29	477.14	606.45	516.98	
刘锡隆	591.33	557.58	624.82	513.00	659.86	543.05	518.17	547.50	603.89	532.43	617.95	524.05	
娄佳飞	569.25	518.33	611.82	512.07	638.00	511.61	541.00	506.17	574.79	514.36	605.41	506.50	
卢家乐	627.42	436.33	618.64	449.71	668.98	435.93	540.17	438.50	596.14	440.93	603.07	439.14	



视觉搜索不对称

陆辰馨	618.83	519.33	631.15	565.54	664.73	579.36	575.25	579.83	596.75	574.89	626.11	535.82
马骁驰	703.75	593.58	709.68	605.43	739.25	579.51	705.00	652.75	671.64	615.29	692.25	587.57
马一诺	520.50	445.92	580.00	465.07	569.98	434.77	521.00	436.75	550.79	441.89	583.82	444.32
盛超悦	641.58	537.58	678.11	497.29	720.27	511.68	630.50	502.50	633.63	505.11	717.14	515.98
施忻然	529.42	455.08	572.32	469.57	589.75	457.39	549.17	500.17	530.61	478.43	558.37	464.30
施姚希	912.08	514.33	671.18	484.39	712.65	523.82	570.92	535.92	747.29	517.46	707.70	518.61
史东麟	642.75	536.75	759.11	533.26	837.23	520.55	646.92	501.92	724.04	522.29	790.61	536.20
王珂	609.64	482.08	656.46	531.71	681.93	525.45	594.00	523.00	658.46	518.96	654.84	531.27
王力	618.67	452.17	636.14	461.75	667.77	450.91	579.17	448.92	628.46	469.32	650.77	478.48
王曼华	579.75	435.92	585.25	488.36	647.02	476.73	497.50	528.58	543.04	454.33	578.32	500.36
王思懿	619.58	475.08	612.04	470.21	640.05	490.20	549.83	472.42	569.36	471.43	583.41	479.09
王翔宇	610.50	501.00	696.93	498.71	770.11	506.73	587.58	508.17	676.68	500.71	728.91	508.30
王晓君	607.00	511.67	650.86	507.71	660.41	511.89	594.42	531.17	603.00	514.75	636.26	510.77
吴彦佑	517.58	380.58	545.39	372.46	577.23	389.49	472.50	377.25	521.43	369.96	536.52	388.39
许巧峰	591.33	517.75	696.11	540.54	670.56	522.39	543.33	522.75	617.14	489.04	632.16	520.00
杨梅	566.17	559.58	550.96	520.64	578.59	520.86	549.00	491.42	521.32	500.30	534.34	487.05
叶迪	569.83	732.42	710.64	680.04	713.02	707.93	628.92	658.75	653.07	689.04	739.39	643.11
俞一凡	611.25	582.00	659.50	548.86	719.09	564.93	613.75	616.08	638.14	560.50	682.11	628.45
云枫扬	574.25	566.83	601.75	623.82	613.75	599.16	548.92	588.17	563.54	591.78	604.66	583.61
詹少炜	683.50	692.33	743.64	661.89	865.11	639.93	656.92	586.33	765.46	606.75	730.50	614.11
张莅宸	575.92	570.82	582.82	546.89	602.82	537.98	535.08	523.67	554.39	611.54	618.02	533.59
章嘉斐	611.50	611.42	672.78	599.14	708.41	629.57	588.75	587.17	635.71	610.50	646.30	620.64
赵剑辉	611.17	475.50	659.22	495.86	698.41	498.00	567.25	522.58	614.89	494.14	653.07	503.75
郑程如	625.00	509.08	671.43	507.86	740.86	490.50	592.58	465.08	615.33	506.39	644.80	488.64
郑林枫	581.00	561.75	742.04	514.07	697.55	545.64	594.83	531.00	594.75	523.82	580.70	534.59
朱静茵	570.67	469.50	604.61	495.71	650.25	487.91	574.00	480.58	593.96	473.93	592.57	488.00
朱月平	654.92	514.33	640.96	523.82	665.67	524.80	592.33	526.58	630.14	508.04	643.82	536.36
总计	610.688	522.82825	647.631	522.019	681.209	521.491	583.531	520.433	610.881	516.001	636.887	518.956



