

# 视觉工作记忆对前注意阶段注意定向的调节

张 豹<sup>1,2</sup> 金志成<sup>2</sup> 陈彩琦<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 嘉应学院教育科学与技术系, 梅州 514015) (<sup>2</sup> 华南师范大学心理学系, 广州 510631)

**摘 要** 在注意阶段, 视觉工作记忆与注意共享某些特征时, 视觉工作记忆内容会引导注意定向。在前注意阶段的影响又是如何? 对此问题的研究却很少见, 本研究采用工作记忆与基于特征的视觉搜索相结合的任务深入探讨了此问题。研究结果发现: 即使在前注意阶段, 注意定向也会受到视觉工作记忆自上而下的调节。然而与注意阶段不同的是, 当视觉工作记忆内容与随后视觉搜索任务的目标相关时, 与记忆内容匹配的搜索项目会引导注意定向到该项目所在的位置, 但只有此项目作为分心物时, 才会明显地延迟对靶子的加工, 而此项目作为靶子时, 这种影响并不明显; 当视觉工作记忆中保持的项目与随后视觉搜索任务的目标无关时, 注意会忽略视觉工作记忆中保持的项目, 有效地检测靶子。

**关键词** 视觉工作记忆, 注意定向, 目标相关, 目标无关。

**分类号** B842.3

## 1 前言

工作记忆与注意是两个重要的认知结构, 也是心理学研究的两个重要领域。工作记忆涉及对信息的加工、暂时性动态存储和执行控制等核心认知过程; 而注意则是外界信息进入信息加工系统的通道控制机制, 二者的结合构成了信息加工系统的中心环节。从意识问题来看, 工作记忆则可能是意识内容的来源, 而注意可以被看成是有关内容能否进入意识的通道控制机制, 对二者关系的研究具有重要的意义, 也是心理学研究的一个重要的课题。

近年来研究者们对二者的关系进行了大量的研究, 已有的研究成果表明: 内部空间注意定向能促进工作记忆搜索, 或加强工作记忆表征<sup>[1]</sup>; 空间注意是空间工作记忆复述的一个重要成份<sup>[2,3]</sup>。Fockert 等(2001)通过操纵工作记忆负载, 发现工作记忆对抑制分心物, 集中注意资源进行靶子加工有重要的作用<sup>[4]</sup>; 工作记忆内容还会引导注意定向(attentional orienting)<sup>[5,6]</sup>。

上述研究结果都表明工作记忆与注意有着密切的关系。

Downing 运用空间探测范式探讨了工作记忆内容对注意的影响<sup>[5,7]</sup>, 他首先要求被试在工作记忆

中保持一个面孔, 间隔一段时间后出现一个短暂的搜索序列(search array), 包括二个刺激, 一个是保持在工作记忆中的面孔(匹配刺激), 另一个是新的面孔(非匹配刺激)。搜索序列消失以后紧接着呈现一个空间探测刺激, 要求被试对之做辨别反应, 探测刺激出现的位置有二种: 匹配刺激位置或非匹配刺激位置。结果发现: 探测刺激出现在匹配刺激位置比出现在非匹配刺激位置时的辨别反应更快。Downing 认为这是由于在搜索序列中注意会定向到与工作记忆内容相匹配的位置, 使对出现在该位置的探测刺激的辨别反应加速。

注意是否总是会定向到工作记忆内容匹配项目位置呢?

Woodman 等(2007)对此问题做了进一步的探讨<sup>[6]</sup>, 他认为与工作记忆内容匹配的项目并不总是会自动捕获注意, 工作记忆内容是以一种灵活的方式来促进或是抑制加工。当被试工作记忆中保持的项目与搜索靶子无关时, 即使随后的搜索任务中有与工作记忆内容匹配的分心物, 注意也不会被这个分心物捕获, 反而会拒绝它; 而当搜索任务中有与工作记忆内容匹配的靶子时, 对靶子的反应最快, 而对与工作记忆内容匹配的分心物的反应最慢。他们的研究结果表明在视觉搜索过程中被试会主动地采用

策略进行搜索:(1)当搜索靶子不是视觉工作记忆保持的项目时(目标无关条件),注意会偏离与工作记忆内容匹配的项目,从而提高搜索效率。(2)当搜索靶子可能是视觉工作记忆保持的项目时(目标相关条件),注意会偏向这个项目。这说明工作记忆内容既可以作为注意拒绝的模板(template),也可以作为注意选择的模板。

根据 Wolfe 等提出的 Guide Search(GS)视觉搜索模型,视觉注意有二个阶段的加工:没有容量限制且为平行加工的前注意阶段,和有容量限制且为序列加工的注意阶段<sup>[8,9]</sup>。前注意加工阶段是在注意定向到位置或客体之前,将注意定向到视野中特定客体所在的空间位置,快速、有效地加工视觉情景中的信息,不受意识因素的影响。而注意阶段则是一种序列注意控制的过程,需要注意焦点从一个项目转移到另外一个项目直到靶子项目找到为止<sup>[10,11]</sup>。通常用平行搜索与序列搜索分别来研究前注意系统与注意系统的功能<sup>[8,11]</sup>。

在 Woodman 等(2007)的研究中视觉搜索任务是搜索不同开口方向的方框,靶子与非靶子具有极高的相似性,强调知觉水平注意的参与,是一种在注意阶段完成的序列视觉搜索任务<sup>[12,13]</sup>。在注意控制的视觉搜索过程中被试可能预先形成一种策略:将视觉工作记忆内容作为注意选择的模板还是作为注意拒绝的模板。而且在序列搜索过程中也可以运用这些策略引导注意进行搜索,这是一种自上而下的控制性注意的过程。故他们研究中视觉工作记忆内容对注意选择的作用是在注意阶段完成的,且受策略控制的定向过程。

那么在前注意阶段,视觉工作记忆又如何影响注意定向?

Olivers 等(2006)研究发现,当视觉工作记忆内容与随后视觉搜索中作为分心物的特征子(Singleton)相同或是相关时,会增强特征子的注意捕获效应<sup>[14]</sup>。注意捕获通常是指某些独特特征的无关刺激(特征子)的突显(pop-out)自动地吸引注意定向到它所在的位置,从而影响靶子检测效率的一种现象。通常这种“突显效应(pop-out effect)”是判断加工是否处于前注意阶段的标志<sup>[15]</sup>。Olivers 等的研究表明:在前注意阶段,与工作记忆内容匹配的项目能引导注意定向到该项目所在的位置。

然而笔者发现:在 Olivers 等人的研究中视觉工作记忆内容只作为随后视觉搜索序列中的分心物出现,注意总是偏向与视觉工作记忆内容相匹配的项

目。即在目标无关条件下,视觉工作记忆内容对注意定向的影响符合注意选择模板。这与 Woodman 等(2007)的研究结果恰好相反。

为何会有如此大的差异呢?笔者认为可能的原因有二:

(1)Olivers 等研究中的搜索序列是一种基于形状的平行搜索(从圆盘中搜索菱形),属于前注意阶段的加工;而 Woodman 等(2007)的研究则是序列搜索,属于注意阶段的加工。可能在不同注意阶段视觉工作记忆对注意定向的影响也存在差异。

(2)在 Olivers 等研究的搜索序列中,视觉工作记忆匹配的项目与其他搜索项目知觉水平的差异比较大,正是由于知觉水平上的差异,使视觉工作记忆匹配项目容易从其他搜索项目中突显出来,从而引导注意偏向该项目所在的位置。

鉴于此,本研究分别考察目标相关与目标无关两种条件下,视觉工作记忆内容对前注意阶段注意定向的影响。

一方面,相较于 Woodman 等(2007)在注意阶段对此问题的研究,本研究可以探讨视觉工作记忆对前注意阶段与注意阶段注意定向的影响是否有差异?有何差异?

另一方面,相对于 Olivers 等(2006)的研究而言,本研究采用平行视觉搜索序列,消除视觉工作记忆匹配项目与其他搜索项目之间知觉水平上的明显差异,并设置了目标相关条件与目标无关条件两种不同的情境,这有助于更全面地了解在不同的实验条件下视觉工作记忆内容对注意定向的不同影响。

一般认为特征搜索是平行搜索,靶子具有某些其他分心项目不能共享的特征,容易从众多分心项目中突显出来,能自动地捕获被试注意<sup>[16]</sup>,视觉搜索过程较少地受到策略等意识控制因素的影响<sup>[12,13]</sup>。故通常用特征视觉搜索范式来研究前注意系统功能<sup>[8,11]</sup>。因此本研究将视觉工作记忆任务与特征搜索任务结合起来,能更好地考察前注意阶段视觉工作记忆内容对注意定向的影响。

本研究分为3个实验。实验1是一个基于朝向特征的视觉搜索任务(实验2与实验3中所采用的视觉搜索任务),用以考察这种视觉搜索任务是否是平行搜索。实验2通过实验2a与实验2b以考察视觉工作记忆内容可能与搜索靶子特征匹配时(目标相关条件),对注意定向的影响,实验2a视觉搜索项目数量为2,以与 Downing(2000)的实验匹配;实验2b视觉搜索项目数量增加为6,以进一步考察视

觉工作记忆内容在较复杂的搜索环境中对注意定向的影响。实验 3 主要用来考察视觉工作记忆内容不作为搜索靶子特征时(目标无关条件),对注意定向的影响。

2 实验 1

实验 1 主要用来考察实验 2 与实验 3 中采用的视觉搜索是否真的是平行搜索。实验 1 的搜索序列是实验 2 与实验 3 将采用的搜索序列相同,即在彩色水平线中搜索垂直线,而不管搜索项目的颜色。然而与纯粹的特征视觉搜索不同的是,实验 1 搜索序列中视觉搜索项目并不是单一特征的刺激,而是朝向与颜色结合的复合刺激,这种基于朝向特征的视觉搜索是否是平行搜索直接影响到本研究中是否是在前注意阶段考察工作记忆内容对注意定向的影响。大量的研究表明:相对于序列搜索而言,平行搜索不受搜索项目数量的影响,故在本实验的搜索序列中设置不同数量的搜索项目:2、4 或 6 个,目的是考察项目数量对基于特征的视觉搜索效率的影响。如果实验 1 的视觉搜索效率不随搜索项目的增加而变化,则可认为此种基于特征的视觉搜索为平行搜索;反之,如果视觉搜索效率随着搜索项目的增加而增加,则可认为此种基于特征的视觉搜索包含序列搜索成份。

另外,本研究采用如上所述的基于特征的视觉搜索任务,除了可以保证实验 2 与实验 3 中的搜索任务是平行搜索之外,还可以消除搜索序列中视觉工作记忆匹配项目与其他搜索项目知觉水平差异太大所引起的注意捕获效应。

2.1 被试

选取大学生 13 名(男生 6 人,女生 7 人),年龄在 20~25 岁之间,平均年龄 23.5 岁,裸视或矫正视力正常,色觉正常。所有被试均未参加过类似的实验,并自愿参加本实验,实验之后给予报酬。

2.2 刺激和材料

实验在微亮的单间隔音实验室里进行,刺激呈现在 IBM Pentium IV 型计算机的 17 英寸液晶显示器上,屏幕背景为黑色(下同)。搜索项目为 1°视角的彩色水平线段(作为分心物)、向上或向下垂直线彩色箭头(作为靶子),项目有七种可能的颜色:白、红、蓝、绿、黄、粉、青,随机分配给每一个搜索项目且不重复。搜索项目出现的位置随机分布在距离屏幕中心 4°视角的虚拟圆圈,与水平分别呈现 0°、60°、120°、180°、240°和 300°的六个可能位置上。实验程

序采用 E-Prime 1.1 进行编程。

2.3 程序

试验首先在屏幕中央呈现一个 0.5°视角的小圆点 1000ms,作为注视点,然后呈现搜索序列 500ms,要求被试搜索其中唯一的靶子,并对靶子箭头方向又快又准地做出判断,向上按“F”键,向下按“J”键,记录被试的错误率与反应时。反应完 1000ms 之后自动进入下一次试验。

每次试验中搜索项目的数量随机安排。每种实验处理有 30 次试验,共 90 次,每完成 45 次休息 1min,正式实验之前有 10 次练习。

2.4 结果与分析

对 13 名被试的数据进行初步分析,平均错误率为 5.05%,故分别对反应时与错误率进行重复测量的方差分析,不同搜索项目数量下被试的平均反应时与错误率如表 1 所示。

表 1 不同搜索项目数量下的平均作业成绩

统计量	搜索项目数量		
	2	4	6
反应时(ms)	565 (53.07)	562 (56.18)	568 (56.69)
错误率(%)	1.62 (1.48)	1.38 (1.33)	2.07 (1.04)

注:圆括号内数字为标准差

对反应时的检验表明随着搜索项目数量的增加,反应时差异不显著, $F(2,24) = 0.50, p > 0.6$ ;对错误率的检验表明随着搜索项目数量的增加,错误率的差异也不显著, $F(2,24) = 1.01, p > 0.3$ 。

表 1 及统计结果表明,视觉搜索效率并没有随着搜索项目数量的增加而发生显著的变化,此结果符合平行搜索的特征,与 Wolfe (1994, 1998)的研究结果是一致的<sup>[8,17]</sup>。只要特征足够明显,无论是单个特征的视觉搜索还是基于特征的复合刺激的视觉搜索,都可以是平行搜索。故可认为实验 1 所采用基于特征的复合刺激的视觉搜索任务为平行搜索。

本研究实验 2 与实验 3 中的视觉搜索任务亦采用这种基于特征的视觉搜索任务。

3 实验 2

3.1 实验 2a

本实验考察视觉工作记忆内容对简单的特征搜索任务中的注意定向的影响,实验范式与 Downing (2000)所采用的实验相似。但在实验 2a 中还作了如下考虑:

(1) Downing (2000) 研究中的探测任务是对刺激出现位置的注意效应的事后探测,并不是对搜索序列中匹配刺激的注意效应的直接考察。所以本实验中将探测任务改为直接对搜索靶子做出辨别反应,如果注意自动定向到特定的位置,那么对该位置刺激的辨别反应就会加速。

(2) Downing (2000) 的研究中记忆项目比较复杂,难以精确存贮在工作记忆中。而且搜索序列中总会出现匹配刺激,被试可能会有意识地选择它进行复述,以加强记忆效果(而他们的实验结果可能正是这种选择复述造成的<sup>[6]</sup>)。为了防止被试为加强记忆效果而在视觉搜索阶段对匹配刺激进行选择复述,所以本实验采用 Woodman 等(2007)实验中所采用的控制方法:将记忆项目改为颜色块,以简化记忆项目。

(3) 为了防止被试将视觉刺激以言语编码形式进行存贮,本实验要求被试在试验过程中不断地重复读出两个给定的随机数字,此方法可以有效抑制视觉工作记忆中的言语编码的作用<sup>[18]</sup>。

在实验中被试要求完成二个任务:任务一为工作记忆的记忆——再认任务,被试首先在工作记忆中保持一个客体,试验最后会出现一个记忆再认项目,要求被试判断再认项目与工作记忆中保持的项目是否一致。任务二为基于特征的视觉搜索任务,与实验 1 采用的视觉搜索任务相同,要求被试在分心物(水平线段)中搜索靶子(垂直线段),而忽略项目的颜色。

本实验为单因素 3 水平重复测量实验设计,自变量为匹配关系,根据搜索序列中的项目与保持在工作记忆中的项目的匹配关系分为三个水平:(1)、靶子匹配条件:搜索序列中的搜索靶子与保持在工作记忆中的项目相匹配;(2)、分心物匹配条件:搜索序列中的分心物与保持在工作记忆中的项目相匹配;(3)、控制条件:搜索序列中不出现与保持在工作记忆中的项目相匹配的刺激,在此条件下选择性注意的定向不会受到工作记忆内容的影响,可以作为一种中性对照条件。控制条件与前二种条件的比较可以反映工作记忆内容对不同匹配条件的不同影响。

**3.1.1 被试** 选取大学生 16 名(男生 8 人,女生 8 人),年龄在 22~25 岁之间,平均年龄 23.7 岁,裸视或矫正视力正常,色觉正常。所有被试均未参加过类似的实验,并自愿参加本实验,实验之后给予报酬。

**3.1.2 仪器和材料** 实验仪器及搜索项目与实验 1 相同,搜索项目呈现在距离屏幕中心 4°视角,左右两侧的水平位置上。复述数字从数字 0~9 随机选择,大小为 1°×0.8°视角,呈现在注视点水平两侧 2°视角处。工作记忆任务中的记忆项目与探测项目都为视角 1°×1°彩色方块,有白、红、蓝、绿、黄、粉、青七种可能的颜色。匹配定义为搜索序列中项目的颜色与视觉工作记忆保持的颜色块颜色相同。

**3.1.3 程序** 如图 1 所示,试验首先在屏幕中央呈现一个 0.5°视角的小圆点 500ms,作为注视点,紧接着在注视点水平两侧呈现两个随机数字 500ms,要求被试在整个试验过程中以每秒 3~4 个的速度大声反复读出来,直到本次试验结束。间隔 1500ms 后在屏幕中央呈现记忆项目 500ms,要求被试记住它。500ms 之后,再呈现搜索序列 500ms,要求被试忽略搜索项目的颜色,在保证正确的前提下尽快对垂直线箭头的方向做出判断,向上按“O”键,向下按“K”键,记录错误率与反应时。反应完后 1500ms,在屏幕中央呈现探测项目,要求被试判断它是否与工作记忆中保持项目相同,相同按“E”键,不同按“D”键,并记录正确率。反应完后刺激立即消失,如果反应错误则给出相应的反馈。间隔 2 秒后自动进入下一次试验。

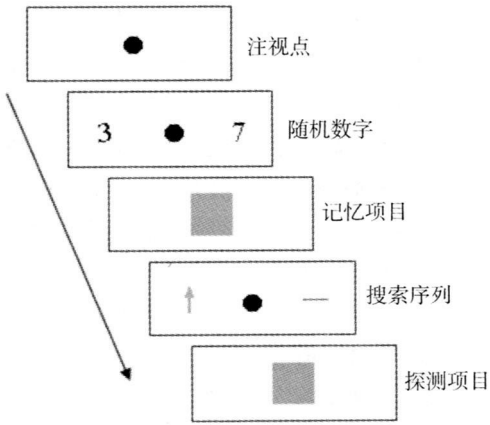


图 1 实验 2a 实验流程图

为了平衡实验中各条件出现的次数,靶子匹配条件与分心物匹配条件各占整个试验次数的 1/4,控制条件占 1/2。另外记忆——再认任务中记忆项目与记忆再认项目相同或不同的试验次数相等,各占 1/2。总的试验次数为 96 次,正式实验开始之前有 15 次练习。每完成 32 次试验被试休息 1min。

**3.1.4 结果与讨论** 对 16 名被试的数据进行初步分析,去除 3 个标准差以外的极端数据,记忆——再认

任务的正确率达到 92.25%。由于本研究只关注视觉工作记忆对注意定向的影响,故对记忆一再认任务的反应时与正确率不予分析,只分析正确再认条件下的视觉搜索的反应时及错误率(下同)。正确再认条件下的搜索错误率为 3.74%,故分别对正确再认条件下各匹配关系的反应时及错误率进行重复测量的方差分析。研究结果发现匹配关系在错误率上主效应不显著,  $F(2, 30) = 1.99, p > 0.1$ ;而在反应时上的主效应显著,  $F(2, 30) = 17.53, p < 0.05$ ,进一步的多重比较发现靶子匹配条件与控制条件差异不显著,靶子匹配条件与分心物匹配条件,分心物匹配条件与控制条件差异都显著(如图 2 所示)。

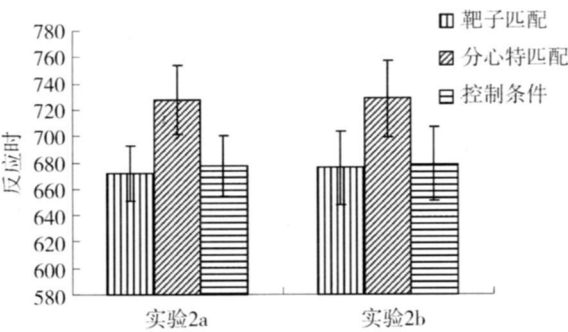


图2 不同匹配条件下的平均搜索时间

从实验 2 的结果来看,靶子匹配条件比分心物匹配条件下搜索效率更高(672ms vs. 727ms),表现出与 Downing(2000)一致的研究结果。但在本实验中增加了控制条件,此条件与保持在工作记忆中的颜色无关,是一种更纯净的对照条件,结果发现靶子匹配条件与控制条件下反应时并无显著差异(672ms vs. 677ms)。这种差异可能的解释有二种:(1)在基于特征的视觉搜索过程中保持在视觉工作记忆中的颜色并没有捕获注意,只是注意自动地检测到了特征靶子,故与控制条件下没有差异。(2)基于特征的视觉搜索任务几乎是自动完成的,虽然保持在工作记忆中的颜色能够自动地捕获注意,但靶子匹配条件与控制条件相比并没有体现出视觉工作记忆内容对注意定向的影响。通过比较分心物匹配条件与控制条件,发现反应时存在显著的差异(727ms vs. 677ms),这说明实验 2a 的视觉搜索过程中,注意确实被捕获到与视觉工作记忆内容相匹配的项目,且在分心物匹配条件下这种影响更明显,视觉工作记忆内容自上而下地引导注意偏向到分心物匹配位置,从而影响对特征靶子的检测,表现出对搜索靶子的反应延迟。

3.2 实验 2b

实验 2a 中基于特征的视觉搜索任务的搜索序列只有二个搜索项目,注意很容易定向到与工作记忆内容相匹配的项目之上,然而在现实生活中往往是从众多的刺激中搜索特定的靶子。为了进一步考察视觉工作记忆内容在更复杂的搜索环境中对前注意阶段注意定向的影响,实验 2b 增加搜索序列中项目的数量。

3.2.1 被试 选取大学生 17 名(男生 8 人,女生 9 人),年龄在 18~21 岁之间,平均年龄 20.4 岁,裸视或矫正视力正常,色觉正常。所有被试均未参加过类似的实验,并自愿参加本实验,实验之后给予报酬。

3.2.2 仪器和材料 实验仪器和材料同实验 2a,只是搜索序列的项目数量变为 6 个,出现在距离屏幕中心 4°视角的虚拟圆圈,与水平分别呈现 0°、60°、120°、180°、240°和 300°的六个位置,各项目的颜色均不同。

3.2.3 程序 实验程序同实验 2a。

3.2.4 结果与讨论 对 17 名被试的数据进行初步分析,去除 3 个标准差以外的极端数据,记忆——再认任务的正确率达到 93.93%,正确再认条件下的搜索错误率为 2.61%,故本实验不对错误率进行分析,只对正确再认条件下各匹配关系的反应时进行重复测量的方差分析。研究结果发现匹配关系的主效应显著,  $F(2, 32) = 5.10, p < 0.05$ 。进一步的多重比较发现靶子匹配条件与控制条件差异不显著(676ms vs. 679ms),而靶子匹配条件与分心物匹配条件(676ms vs. 728ms),分心物条件与控制条件差异都显著(728ms vs. 679ms)(如图 2 所示)。这与实验 2a 的结果是一致的,表明即使是在更复杂的视觉搜索环境中,与工作记忆内容匹配的项目还是会自动地捕获注意,从而使注意定向到该项目所在位置。

3.3 实验 2 讨论

实验 2a 及实验 2b 的结果都表明视觉工作记忆内容对前注意阶段注意定向的影响主要出现在分心物匹配条件,在视觉搜索任务中与视觉工作记忆内容相匹配的分心物能自动地捕获注意,从而延迟对搜索靶子的反应。而在靶子匹配条件下,却没有发现这种影响,这与 Woodman 等(2007)的研究结果不一致,他们的结果是靶子匹配条件反应时最快,然后是控制条件,最慢的是分心物匹配条件,并且相互之间的差异都是显著的。这种结果的差异缘于所用的

搜索序列不同而导致注意定向发生在不同的注意阶段造成的。Woodman 等(2007)的研究是一种在注意阶段完成的序列视觉搜索任务,而本研究采用的基于特征的视觉搜索是一种自动化程度较高的信息加工任务,是在前注意阶段完成的。

## 4 实验 3

实验 2 中视觉工作记忆保持的颜色可能作为视觉搜索序列中搜索靶子的特征(包含靶子匹配条件),视觉工作记忆保持的项目与随后的视觉搜索任务的目标相关(target-relevant),研究结果表明注意会自动地定向到与视觉工作记忆保持内容相匹配的项目,符合注意选择模板。但是当视觉工作记忆保持的项目在随后的视觉搜索序列中不作为搜索靶子的特征(不包含靶子匹配条件),即视觉工作记忆内容与随后视觉搜索任务的目标无关(target-irrelevant),又会是怎么的结果呢?这正是实验 3 所要考察的内容。

### 4.1 被试

选取大学生 17 名(男生 8 人,女生 9 人),年龄在 19~23 岁之间,平均年龄 21.6 岁,裸视或矫正视力正常,色觉正常。所有被试均未参加过类似的实验,并自愿参加本实验,实验之后给予报酬。

### 4.2 刺激和材料

同实验 2b,所不同的是匹配关系只有分心物匹配条件与控制条件。

### 4.3 程序

同实验 2b。

### 4.4 结果与讨论

对 17 名被试的数据进行初步分析,去除 3 个标准差以外的极端数据,记忆——再认任务的正确率达到 95.40%,正确再认条件下的视觉搜索的错误率为 3.59%,故分别对正确再认条件下各匹配关系的反应时和错误率进行重复测量的方差分析。研究结果发现匹配关系在反应时上主效应不显著, $F(1, 16) = 0.01, p > 0.9$ ,分心物匹配条件与控制条件下的平均反应时分别为 644ms 和 643ms。在错误率上主效应也不显著, $F(1, 16) = 1.08, p > 0.3$ ,分心物匹配条件与控制条件下的平均错误率分别为 2.16% 和 1.42%。

反应时及错误率的数据分析结果都表明:在实验 3 中没有发现视觉工作记忆保持的内容对基于特征的视觉搜索效率的影响。这与实验 2 的结果不一致,也与 Woodman 等(2007)在注意阶段的研究结果

不一致,并没有出现如 Woodman 等(2007)所描述的:当视觉工作记忆内容不作为随后的搜索靶子时,注意会偏离与视觉工作记忆内容匹配的项目,以提高分心物匹配条件下的搜索效率,从而表现出注意拒绝模板策略。同样,也没有出现 Olivers 等(2006)研究中所表现出的注意会偏向与视觉工作记忆内容匹配的项目。实验 3 的研究结果表明在前注意阶段,当视觉工作记忆内容与视觉搜索任务的目标无关时,在基于特征的视觉搜索过程中注意似乎会忽略视觉工作记忆中保持的内容,从而不会自动地引导注意定向到与内部表征相匹配的项目。

## 5 总的讨论

本研究系统考察了前注意阶段视觉工作记忆内容对注意定向的影响。实验 1 证实了实验 2 与实验 3 中所采用的基于特征的视觉搜索任务为平行搜索,故可认为本研究中视觉工作记忆内容对注意定向的影响确实是发生在前注意阶段。实验 2 通过实验 2a 与实验 2b 两个分实验探讨了当保持在视觉工作记忆中的项目可能作为视觉搜索靶子时对注意定向的影响,结果发现视觉工作记忆内容能自动地捕获注意,从而使注意自动地定向到该项目。而在实验 3 中,当视觉工作记忆保持的项目不作为视觉搜索靶子时,出现了与实验 2 不一致的结果,没有发现视觉工作记忆内容对注意定向的影响。实验 2b 与实验 3 中记忆任务和视觉搜索任务是相同的,唯一不同的是保持在视觉工作记忆中的项目是否会作为随后视觉搜索的靶子,实验 2 中视觉工作记忆保持的项目与随后的视觉搜索任务的目标相关,而实验 3 中视觉工作记忆内容与随后视觉搜索任务的目标无关。实验 2 与实验 3 的研究结果表明视觉工作记忆内容对注意定向的影响,取决于保持在视觉工作记忆中的项目与随后加工任务的目标是否相关。

那么前注意阶段与注意阶段相比,视觉工作记忆内容对注意定向的影响有何不同呢?

本研究实验 2 研究结果发现:在前注意阶段,如果视觉工作记忆内容与随后加工任务的目标相关时,注意会被视觉工作记忆内容相匹配的项目捕获。但只有在视觉工作记忆内容与视觉搜索分心物匹配时,注意被捕获到与工作记忆内容匹配的分心物位置,从而延迟对搜索靶子的加工;而当视觉工作记忆内容与视觉搜索靶子匹配时,并没有发现明显的促进或延迟效应。

然而在注意阶段(Woodman, 2007),当视觉工

作记忆内容与随后加工任务的目标相关时,与视觉工作记忆内容匹配的搜索靶子会促进对靶子的加工,而与视觉工作记忆内容匹配的分心物则会延迟对靶子的加工。

Woodman 等(2007)及本研究的结果共同表明:在目标相关条件下,不论是在注意阶段还是在前注意阶段,视觉工作记忆内容自上而下地引导注意定向,促使注意定向到与内部表征匹配的项目位置。这种结果亦与 Downing(2000)的研究结果一致,在他的研究中,空间探测刺激会出现在与工作记忆保持项目匹配的位置上,属于目标相关条件,故也会表现出注意自动定向到工作记忆内容匹配的项目位置。

本研究实验3的研究结果表明:在前注意阶段,如果视觉工作记忆内容与随后加工任务的目标无关时,内部心理表征对注意定向的没有影响,注意会忽略视觉工作记忆中保持的项目,从而不会影响随后视觉搜索任务中对搜索靶子的有效加工。这与 Woodman 等(2007)在注意阶段的研究结果不同:在注意阶段,当视觉工作记忆内容只与搜索分心物匹配而与搜索靶子无关时,注意会偏离与内部表征匹配的分心物,促进对搜索靶子的加工,表现出注意拒绝模板。两者结果的差异反映了目标无关条件下视觉工作记忆对注意定向影响在前注意阶段与注意阶段的差异。

但本研究在目标无关条件下也没有表现出 Olivers 等(2006)所示的结果:注意会自动地捕获到与视觉工作记忆内容匹配的项目上,从而影响对靶子的加工。可能的原因是在 Olivers 等(2006)的研究中,视觉工作记忆匹配的项目与其他搜索项目知觉水平的差异太大,容易从其他搜索项目中突显出来,从而捕获注意到该项目所在的位置。而在本研究中,各种颜色是随机分配到各个搜索项目之上的,而且在实验过程中要求被试忽略搜索项目的颜色。相对于其他搜索项目来说,视觉工作记忆匹配项目并没有太大的知觉水平上的差异,故可消除由于视觉工作记忆匹配项目从其他项目中突显而导致的注意捕获。相对于 Olivers 等(2006)的研究而言,本研究控制了突显这一无关因素,从而更能反映在目标无关条件下视觉工作记忆内容对前注意阶段注意定向的影响——注意会忽略与视觉工作记忆中保持的项目,不会影响对随后任务中靶子的有效检测。

为何在注意阶段与前注意阶段,视觉工作记忆对注意定向的影响会不同呢?

笔者分析:在注意阶段,注意定向是一种意识控制的过程,会较多地受到计划、期望、目的等因素的影响。例如 Woodman 等(2007)实验所采用的视觉搜索任务是基于客体的序列视觉搜索,在此过程中允许被试主动地采用策略,视觉工作记忆内容与视觉搜索靶子匹配时,采用注意选择策略;而视觉工作记忆内容总是与视觉搜索靶子不匹配时,会采用注意拒绝策略,使注意有意偏离分心物匹配项目,从而提高视觉搜索效率。而在前注意阶段,较少地受到意识的影响,注意的选择过程是瞬间完成的,在此过程中被试很难采用策略来控制注意定向到特定的项目,注意定向是一种较为自动化的过程。本研究结果发现:即使在前注意阶段,注意定向还是会受到来自工作记忆内部表征自上而下的调节,但这种自上而下的影响依赖于视觉工作记忆中保持的项目与随后的加工任务目标是否相关。从另一个角度分析则表明:虽然在前注意阶段中,特征靶子的检测是一种较高的自动化过程,但是注意还是会根据当前任务要求,以一种灵活方式促进视觉搜索效率。

本实验结果与 Wolfe 提出的 Guide search (GS) 视觉搜索模型是一致的。GS 模型认为<sup>[8,19,20]</sup>:早期的视觉平行加工阶段的信息会以激活地图(activation map)的形式来引导(Guide)注意进行随后阶段的加工,以完成客体识别。激活地图即可以通过自下而上的刺激驱动(stimulus-driven)方式来引导注意,例如在被试预先不知道靶子是什么或出现在何处时,单独的突显特征会自动地引导注意定向到其所在的位置<sup>[21]</sup>;也可以通过自上而下的观察者驱动(observer-driven)的方式来引导注意,例如确定当前刺激与预定靶子之间的匹配程度。而激活地图对注意的引导包括自下而上的引导和自上而下的引导各自的权重(weight)之和。本研究发现:不仅视觉搜索早期阶段的视觉信息能引导注意,视觉工作记忆中保持的内容也可以自上而下地引导注意参与随后的加工。而且可能是在不同条件下,通过赋予视觉工作记忆内容(特征)不同的权重,灵活地调节注意自上而下的引导作用。在目标相关条件下,视觉工作记忆内容(颜色)有可能成为随后视觉搜索靶子,个体会赋予其较大的权重,故保持在视觉工作记忆中的颜色特征会自上而下地引导注意定向到与其匹配的视觉搜索项目位置。而在目标无关条件下,视觉工作记忆保持的颜色不可能成为随后视觉搜索靶子,个体赋予其的权重较小甚至为零,故表现出注意会忽略视觉工作记忆内容影响。这些结果表明:



在视觉搜索的前注意阶段,除了特征靶子会自下而上的刺激驱动方式引导注意之外,个体还会根据视觉工作记忆内容与当前的视觉搜索任务目标是否相关,以一种灵活的方式自上而下地引导注意定向到视觉工作内容匹配项目所在的位置。而相对本研究而言,Woodman 等(2007)的研究则为在注意阶段视觉工作记忆内容对注意的控制性注意定向。

笔者在本研究论文完成过程中,发现 Soto 等人于 2006 年亦对此问题也进行了类似的研究,他们发现工作记忆内容会引导 Pop-out 搜索过程<sup>[22]</sup>。Soto 等人(2006)在研究中对工作记忆内容与搜索靶子匹配的比例分别设置了 33% (相当于本研究的目标相关条件,匹配比例为 25%) 和 0% (相当于本研究的目标无关条件) 两种条件。研究结果发现:在比例为 33% 条件下,当工作记忆内容与搜索靶子匹配时,反应时显著快于中性条件(Neutral condition,即搜索序列中不出现与工作记忆内容相匹配的项目);当工作记忆内容与分心物匹配时,反应时显著慢于中性条件。在比例为 0% 条件下,搜索序列中只有分心物与工作记忆内容相匹配,反应时仍然显著地慢于中性条件,与比例为 33% 条件一样亦表现出阻碍作用。此结果与本研究结果并不一致,本研究研究结果表明:在目标相关条件下,注意会定向到与工作记忆内容匹配的分心项目上,从而表现出阻碍作用;而在目标无关条件下,注意会忽略在工作记忆中保持的项目。

为何会出现结果的差异? 笔者仔细比较本研究与 Soto 等人(2006)的研究发现:本研究中目标相关条件与目标无关条件是通过两个实验分别完成的,不同条件下分别采用不同组的被试,相互之间没有交互影响;而 Soto 等人(2006)的研究中将两种比例条件各分为 5 个区组,然后在同一实验中让同一组被试交替完成两种比例条件下共 10 个区组的实验任务。笔者分析认为,在 Soto 等人(2006)的研究中虽然采用区组交替,试图将两种不同比例条件所引起的效应分离,然而并不能完全控制两者之间的交互影响,即在同一实验中总是包含工作记忆内容与搜索靶子相匹配条件,这样对于同一组被试来说,有效的实验条件实际上只有目标相关条件,而没有目标无关条件,这可能是影响两者实验结果差异的主要原因。因此 Soto 等人(2006)的研究结果并不能真实地反映工作记忆内容对 Pop-out 搜索的影响。

本研究对前注意阶段视觉工作记忆内容对注意定向的影响进行了初步的研究,但对这种影响的内

在机制目前还不清楚,今后有必要对此进一步探讨。

## 6 结论

通过本研究的 3 个实验可以得到如下结论:

(1) 在前注意阶段与注意阶段,视觉工作记忆内容对注意定向的有着不同的影响。

(2) 在前注意阶段,视觉工作记忆内容会引导注意偏向到与之匹配的项目,但这取决于视觉工作记忆保持的项目与随后加工任务中的目标是否相关。

(3) 在目标相关条件下,视觉工作记忆匹配项目会引导注意偏向到该项目所在位置。但与注意阶段不同的是:在前注意阶段,这种注意偏向明显地延迟了分心物匹配条件下对特征靶子的检测,而在靶子匹配条件下影响却不明显。

(4) 在目标无关条件下,注意会忽略视觉工作记忆中保持的项目,有效地检测搜索靶子。既没有出现 Woodman 等(2007)的研究结果所示的注意拒绝模板,亦没有出现 Olivers 等(2006)研究结果所示的注意选择模板。

## 参 考 文 献

- 1 Lepsien J, Griffin I C, Devlin J T, et al. Directing spatial attention in mental representations: Interactions between attentional orienting and working - memory load. *NeuroImage*, 2005, 26: 733 ~ 743
- 2 Awh E, Jonides J. Overlapping mechanisms of attention and spatial working memory. *Trends Cognitive Science*, 2001, 5 (3): 119 ~ 126
- 3 Postle B R, Awh E, Jonides J, et al. The where and how of attention - based rehearsal in spatial working memory. *Cognitive Brain Research*, 2004, 20 (2): 194 ~ 205
- 4 Fockert J W, Rees G, Frith C D, et al. The role of working memory in visual selective attention. *Science*, 2001, 291: 1803 ~ 1806
- 5 Downing P E. Interactions between visual working memory and selective attention. *Psychological Science*, 2000, 11 (6): 467 ~ 473
- 6 Woodman G F, Luck S J. Do the contents of visual working memory automatically influence attentional selection during visual search? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2007, 33: 363 ~ 377
- 7 Downing P E, Dods C M. Competition in visual working memory for control of search. *Visual Cognition*, 2004, 11: 689 ~ 703
- 8 Wolfe J M. Guide search 2.0: A revised mode of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1994, 1: 202 ~ 238
- 9 Miller G, Pollmann P S. Determining subprocesses of visual feature search with reaction time models. *Psychological*



- Research, 2003, 67: 80 ~ 105
- 10 Treisman A M, Gelade G. A feature - integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 1980, 12: 97 ~ 136
  - 11 Vecera S P, Luck S J. Attention. In Ramachandran V S. *Encyclopedia of the Human Brain*. San Diego, CA: Academic Press, 2002. 269 ~ 284
  - 12 Duncan J, Humphreys G. Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*. 1989, 96: 433 ~ 458
  - 13 Woodman G F, Vogel E K, Luck S J. Visual search remains efficient when visual working memory is full. *Psychological Science*, 2001, 12: 219 ~ 224
  - 14 Olivers C N L, Meijer F, Theeuwes J. Feature - based memory - driven attentional capture: Visual working memory content affects visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2006, 32: 1243 ~ 1265
  - 15 Theeuwes J. Irrelevant singletons capture attention. In Itti L, Rees G, Tsotsos J N. *Neurobiology of Attention*. San Diego, CA: Elsevier, 2005. 418 ~ 424
  - 16 Wolfe J. Visual attention. In: Valis K K. *Seeing*. San Diego, CA: Academic Press, 2000. 335 ~ 386
  - 17 Wolfe J M. What do 1,000,000 trials tell us about visual search? *Psychological Science*, 1998, 9: 33 ~ 39
  - 18 Baddeley A D. *Working Memory*. Oxford: Clarendon, 1986
  - 19 Wolfe J M, Gancarz G. Guided Search 3.0: A model of visual search catches up with Jay Enoch 40 years later. In: Lakshminarayanan V. ed. *Basic and Clinical Applications of Vision Science*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic, 1996. 189 ~ 192
  - 20 Wolfe J M. Guided Search 4.0: Current Progress with a model of visual search. In: Gray W. *Integrated Models of Cognitive Systems*. New York: Oxford, 2006
  - 21 Johnson A, Proctor R W. *Attention theory and practice*. California: Sage Publications, 2004. 89 ~ 90
  - 22 Soto D, Humphreys G W, Heinke D. Working memory can guide pop - out search. *Vision Research*, 2006, 46: 1010 ~ 1018

## Visual Working Memory Modulates Attentional Orienting at Preattention Stage

ZHANG Bao<sup>1,2</sup>, JIN Zhi - Cheng<sup>2</sup>, CHEN Cai - Qi<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Department of Education Science and Technology, Jiaying University, Meizhou 514015, China)

(<sup>2</sup> Department of Psychology, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

### Abstract

Working memory (WM) and attention are regarded as two of the most important cognitive faculties. WM includes many core cognitive processes such as information processing, temporary dynamic storing, and executive controlling. Attention acts as a "gatekeeper" to the information processing system for accessing external information. The interaction between WM and attention forms the central mechanism of the information processing system. Several previous studies have found that when visual working memory (VWM) shares some features with visual search items, the content of VWM guides attention orienting in a flexible manner at the attention stage. However, the processing of visual attention includes two stages: preattention stage that has a limitless capacity and witnesses parallel processing and attention stage that has a limited capacity and witnesses serial processing (see Wolfe, 1998). For many decades, several researchers have considered that attention orienting at the preattention stage is automatic and involuntary and that it is not controlled by consciousness. It is unclear whether the content of WM can completely guide attention orienting at the preattention stage. Further, the manner in which WM guides attention orienting and the difference of guidance at this stage from that at the attention stage constitute extremely important questions. However, few studies have explored these issues. The current research combines WM tasks and feature - based visual search tasks and explores how the contents of VWM affect attention orienting at the preattention stage.

Thirteen undergraduates, including 6 men, participated in Experiment 1 that investigated whether or not the orientation - feature - based visual search task was parallel. This visual search task was also used in Experiments 2 and 3. Experiment 2 comprised of Experiment 2a, involving 16 subjects (8 men), and Experiment 2b, involving 17 subjects (8 men), and aimed at ascertaining the effect of attention orienting by using VWM when the content of VWM could be the target of the next parallel visual search (target - relevant condition). Experiment 3 that involved 17 subjects, including 8 men, ascertained how VWM affects attention orienting when the content of VWM is not the target of the next visual task (target - irrelevant condition). All the experimental programs were compiled with E - Prime 1.1 and run

on an IBM Pentium IV computer with a 17 - inch (1024 768) LCD monitor.

The results revealed the following: (1) in Experiment 1, the reaction time (RT) and error rate were almost equal in every condition, which suggested that the visual search task herein was a feature - based visual search task; (2) the results of Experiments 2a and 2b indicated that the participants searched for the target more slowly in the distractor - matched condition than they did in the target - matched and control conditions; and (3) there were no differences between the distractor - matched and control conditions in Experiment 3.

The results suggested that even at the preattention stage, attention orienting was top - down modulated by VW M. However, at the attention stage, when the items related to the following visual search target were in VW M, this item guided attention to its location, slowed the processing of the target when employed as a distractor in the visual array, and exhibited no effects when employed as the target in the visual array. However, when the content of VW M was irrelevant to the next search target, attention was not given to the distractor that matched the content of VW M and the target was efficiently processed.

**Key words** visual working memory, attentional orienting, target - relevant, target - irrelevant.