

# 汉语句子-图片信息整合的眼动测量<sup>\*</sup>

陈庆荣 邓 铸 谭顶良

(南京师范大学心理系, 南京 210097)

**摘 要** 采用眼球追踪-分析法考察了“句子-图片”验证范式下句图信息整合过程中句式和语义关系类型的作用。实验结果表明:(1)汉语句子-图片信息整合过程中,句图继时呈现没有消除语义失配效应,注视次数、总注视时间显著增加,瞳孔直径扩大。语义失配会显著干扰句法难度低的句式的句图信息整合。(2)句式影响句子-图片信息的整合过程,注视次数、总注视时间、瞳孔直径随句法难度增加而增加。(3)汉语句图信息整合过程中,语义失配效应受句式影响,表现出任务的特异性,这说明成分比较模型不具有-般性。

**关键词** 句子-图片, 句式, 语义关系类型, 语义失配效应, 眼动。

**分类号** B842

## 1 问题提出

阅读是从文字中识别信息的认知技能。日常生活中,人们经常浏览的报纸、杂志、科学期刊,甚至课本,都是图文相配合的。个体是如何加工不同句子成分,通达语义;如何观看图片,完成信息采择和句图信息整合的呢?在相当长的一段时间内,心理学家关注的重点是纯文本阅读的研究<sup>[1]</sup>。只是近几年,人在阅读、观察句子-图片时的心理加工过程才重新引起心理学家的注意,如 Carrol<sup>[2]</sup>、Rayner<sup>[3]</sup>等使用眼球追踪-分析法所做的大量研究,考察的对象涉及连环漫画册、媒体广告、科学图表等。

在句子-图片信息加工机制,即个体如何提取和整合句图信息的研究中,Carpenter 和 Just 等提出的成分比较模型(Constituent Comparison Model, 简称为 CCM)<sup>[4]</sup>影响较大,该模型认为句子-图片任务中信息的对比加工主要有两个阶段:内部表征、心理操作。句子和图片信息整合的难易取决于两者表达的语义内容是否一致,整合过程不受任务性质影响。

Feeney 等<sup>[5]</sup>发现句子、图片同时呈现时,语义是否一致会影响被试的反应时间,这与 Carpenter 等的研究结论一致。不同的是,语义失配效应受到其他因素调节,如句子关系项(Greater than, less than),而表现出交互作用。Underwood 等<sup>[6]</sup>考察了

句子-图片任务范式中信息提取和整合的过程,实验发现,当句子和图片同时呈现时,句子和图片语义不一致会显著增加被试的注视时间、注视次数和反应时间,这与 Henderson 等的研究结论一致<sup>[7]</sup>;继时呈现时,存在顺序效应,即句子和图片呈现的先后顺序影响被试的反应时间和眼动特点。先呈现句子会减少被试在句图整合任务中的反应时间、注视时间等,但没有表现出语义失配效应。因此,Underwood 等认为句子和图片的信息整合过程受多种因素影响,不能仅用一个因素来解释,并在后续研究中进一步证实了该结论<sup>[8]</sup>。

Knoeferle 等<sup>[9]</sup>使用 SVO(主-动-宾)和 OVS(宾-动-主)两种句子结构,通过先呈现图片,后呈现句子的方式考察图片-句子信息整合的特点。实验发现,句子结构类型影响被试对句子不同成分的注视时间,谓语和副词出现失配效应,注视时间显著增加。实验结果支持 CCM 模型的相关论述,但也进一步证实句图整合过程受多种因素影响,如句子结构,这与其关于视觉情景范式下图片-句子信息整合的口语理解研究结论一致<sup>[10, 11]</sup>。

关于句子-图片信息整合,目前,在使用英语和德语实验材料的研究中,所得结果证实语义不一致会干扰句图信息的整合过程,表现出眼动特异性,如瞳孔直径扩大、注视时间和注视频率增加等;语义失

收稿日期:2007-02-12

<sup>\*</sup> 全国教育科学“十五”规划项目(EBA030404)资助。

通讯作者:邓铸, E-mail: zdeng psy@163.com

配效应受多种因素影响,如句子结构等。但也存在不少争论,如语义失配效应出现的条件。Underwood 等发现句图继时呈现会消除语义失配效应,这可能和他们使用的刺激图片有关。在实验中,他们用来完成整合任务的图片是一些自然场景。与 Carpenter 等使用的简单几何图形相比,自然场景图片显然包含更多可能需要编码的信息。虽然 Knoeferle 等发现句图继时呈现时,信息整合过程也表现出语义失配效应,但其实验范式并非严格意义上的句子-图片,而是图片-句子。

句子-图片加工是否存在语种间的差异,如在英语和德语中,句子与图片信息整合的特点一样吗?句式等句子自身特点是否会,或多大程度上干扰句图信息整合和语义失配效应?从语言学角度看,汉语句子比较偏重结构,即重视句子结构成分之间在意义上的配合,并表现出句法复杂性,如肯定和否定表达等,不重视形式上的特殊标记。无论英语和汉语,肯定、否定、双重否定都是普遍的语法现象。和英语否定表达的灵活多变不同,汉语最基本的常用高频否定词是“不”和“没有”。两者可以单独使用,分别构成否定句,也可以并列结合使用,从而构成双重否定句。这说明汉语可以连用两个否定词构成双重否定单句,以此表达肯定意义。因此,看到两个否定词连用时,人们会自动进行语义转换,形成肯定表达<sup>[13]</sup>。当然,这仅限于单句,对于复句是否也表现出这种语法特征,研究者还存在争论。相比之下,英语很少有类似用法。从句图信息整合的角度看,囿于双重否定句的语言表达,国外研究者大多使用“句子-图片”范式考察肯定和否定句的理解和信息整合过程,很少考察双重否定句的语法特征对句图整合的影响,以及不同结构和句法复杂性的句式和图片整合时的差异。

结合汉语句子特点,国内研究者使用肯定、否定、双重否定句式开展了一些关于句子理解和句图信息整合的研究。陈永明等<sup>[14]</sup>较早采用“句子-图片”范式探讨了汉语句子的理解过程。实验发现,汉英句子理解的时间模式是一致的,验证肯定句的时间较短,验证否定句的时间较长;句图关系一致的验证时间快于句图关系不一致的。张金桥等<sup>[15-17]</sup>研究汉语句子心理表征项目互换效应时发现,句子类型和句图关系存在交互作用,句图关系一致的句子的反应时间要慢于句图关系不一致的句子。句图关系类型效应表现出的分歧可能和实验所用句子类型以及句图呈现方式有关。前者采用了简单的肯定

句,句图同时呈现,其句图关系指的是图片表达的语义内容是否与句子一致;后者选用了复杂句,如转折复句、因果复句,句子先呈现,消失后依次呈现 2 或 3 幅图片,其句图关系指的是若干图片先后呈现的顺序是否与句子中项目的表达顺序一致。缪小春等<sup>[18]</sup>发现,先呈现图片,后呈现句子条件下,句图语义较为一致会减少被试的判断时间。徐火辉<sup>[19]</sup>采用先呈现图片,朗读句子的方式发现,正确率随语义和句法复杂性增加而降低。朱曼殊等<sup>[20]</sup>采用图片-句子范式研究了儿童对因果复合句的判断。实验发现,儿童句法判断能力的发展具有年龄差异,受语义因素干扰。从研究结论看,汉语研究部分证实了 Underwood 和 Knoeferle 等的实验结果,指出了句子类型、句法和语义复杂性对句子理解或验证时间的影响。但是,先前研究仍然没有明确深入地揭示先呈现句子,后呈现图片条件下,句图信息整合的特点;是否存在其他因素影响汉语句图信息整合中的语义失配效应;句图继时呈现(先句子后图片)是否会消除语义失配效应,国内外相关研究对此还没有形成一致结论。从研究手段看,很少采用眼球追踪-分析法从微观层面探讨汉语句子-图片信息整合的特点,考察语义失配效应对句图信息认知加工过程的影响及其任务特异性。眼动技术是一种相对自然的即时测量方法<sup>[21]</sup>,生态效度高,有助于通过多维度的眼动指标,如注视、眼跳、瞳孔等,从微观层面揭示不同句法难度句子理解、句图对比加工和信息整合的过程。

基于上述国内外研究回顾和考虑,本研究针对句图呈现顺序和语义失配任务特异性的争论焦点,结合汉语句子特点和句法复杂程度,拟采用眼球追踪-分析法,探索语义失配是否影响信息整合过程,句图继时呈现是否消除语义失配效应,是否存在其他因素调节语义失配效应。

## 2 研究方法

### 2.1 被试

随机选取南京师范大学 40 名学生,所有被试裸眼视力或矫正视力达到 1.0 及以上,无阅读障碍,母语均为汉语。实验后给予少量报酬。

### 2.2 实验仪器

实验采用 SMI 公司(SensoMotoric Instrument,简称为 SMI)生产的 iView Hi-Speed 眼动仪,实时记录实验过程中被试的眼动数据。Hi-Speed 是一款先进的红外线角膜-瞳孔反射台式眼动追踪系统,支持实

时和延时分析,分辨率高、结果精确,校准有效期长、无须反复校正,有效排除玻璃镜片和隐形眼镜干扰,嵌入式升降托架,有效避免干扰。实验选用 350Hz 的采样率,采用 WINCAR 程序进行 13 点随机定标,如图 1 所示。眼动仪与两台主机相连,被试电脑装有 E-Prime 实验编辑系统,用来呈现刺激,控制眼动仪自动完成实时数据采集,两台电脑通过 COM 通讯端口实现信息共享。

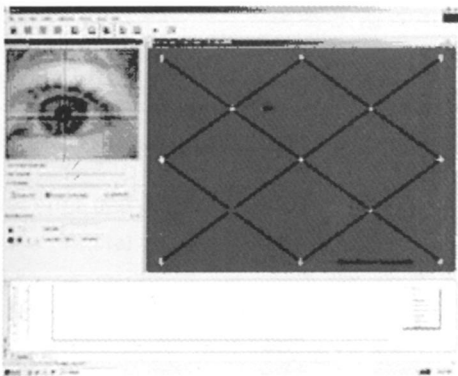


图 1 13 点定标示意图

2.3 实验材料

实验有 3 种句式:肯定、否定、双重否定,每种句式有 4 个句子,共 12 个句子,每个句子字数相等,由常用、高频字词(0. 03324 ~ 4. 16489)组成。在 1024 × 768 象素屏幕分辨率下,字号 30 × 30 象素,1.05°,黑色,宋体,字符间距 6 × 6 象素,第 6 个字位于屏幕中央(512 × 384 象素)。所有句子都是主谓单句,符合“N<sub>1</sub> + VP + N<sub>2</sub> + 的 + N<sub>3</sub>”格式。每个句子都包含两个抽象对象(如星号、加号等),主要用来陈述两者的空间关系。N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub> 在每种句式中出现概率相同,不同句式的差别表现在谓语上,即一定会在、一定不在、没有不在,具体如表 1 所示。

整合任务中,图片是关于句子中两个对象空间关系的。图片中两个对象大小分别是 75 × 75 象素,2.19°,黑色,以屏幕中心为分割点,图像间隔 26 × 26 象素。图片和句子的语义内容有两种关系水平:语义一致和语义不一致。

表 1 句子和图片配对后实验材料样例

句子	图片
星号一定会在加号的上面	*
星号一定不在加号的下面	+
星号没有不在加号的下面	*
	+

2.4 实验设计

实验采用 3(句式) × 2(语义关系类型)被试内实验设计。其中句式有 3 种类型:肯定、否定、双重否定;语义关系类型,指图片是否真实地表达了句子的语义内容,分为语义一致(匹配)与语义不一致(失配)。

2.5 实验程序

被试进入实验室后,先让其熟悉实验室环境,克服因环境陌生而感到太紧张。接着阅读指导语,直到其完全理解。实验中,被试眼睛距离计算机屏幕约 65cm。眼校准通过后,启动 E-Prime 程序,句子每次呈现前,屏幕左侧会出现一个黑色圆点,大小 11 × 11 象素,该点与句子的第一个字在屏幕上所在位置是对应的(332 × 384 象素)。被试注视圆点,左手按空格键后,呈现一个句子,要求被试按正常速度阅读,理解句子意思后按空格键,句子消失,屏幕中央呈现一幅图片,要求被试尽快判断图片和句子语义内容是否一致,如果“一致”,用右手食指按一下“1”键;“不一致”,用右手中指按一下“2”键。实验中句子和图片配对后共有 24 对刺激,被试需对每种条件下句子语义和图片的匹配性作出判断。每一被试实验中的材料呈现顺序是随机的。实验结束时,E-Prime 程序会自动提示,同时自动停止眼动记录。阅读句子时不要出声。

正式实验开始前,有 12 个句子和图片的练习任务,过程与正式实验相同,使被试熟悉实验程序并学会正确按键。

3 结果与分析

实验采用 SMI 提供的 BeGaze 眼动分析软件提取全部数据,用 SPSS for Windows 11.0 进行统计分析。实验过程中,有些被试由于头部移动、眼睛疲劳或其它生理原因使眼动仪无法准确记录其眼动数据或产生无效数据,在进行结果分析处理时,这些数据被剔除。实验后,对数据记录准确性进行检查,剔除了 2 名记录不准确被试的眼动数据。

眼动分析包括以下 6 个指标:眼跳距离、总注视时间、第一次通过时间、回视路径时间、注视次数和瞳孔直径。眼跳距离(saccade amplitude)反映了信息提取的情况,单位是:度<sup>[22]</sup>。总注视时间(total fixation time)指读者对某个区域所有注视的时间的总和,包括回视时间。第一次通过时间(first pass time),是早期加工指标,指在阅读者注视点落到另外一个区域之前,对当前所注视区域的所有注视点

的注视时间之和。第一次通过时间的快慢表明被试对材料或加工对象形成心理表征的速度。第一次通过时间越短,表明形成心理表征的速度越快,反之,心理表征的速度越慢。回视路径时间(regression-path time,有时也称为 Go-past time)是晚期加工指标,指注视点转移到新目标前,加工当前目标和重读之前部分的时间之和<sup>[23]</sup>。它是揭示即时语义和句法整合过程的可靠指标之一,有利于分析句子的精细加工过程。注视次数(fixation times)指落在某个区域的注视点的个数。瞳孔直径(pupil diameter)是测量认知活动中加工负荷的灵敏指标。分析范围包括句子和图片。

3.1 句子加工的眼动特点

句子加工时的的眼动指标主要包括:眼跳距离和总注视时间。眼跳距离越大,说明被试一次注视所获得的信息越多<sup>[24]</sup>,反之,说明阅读材料具有一定的难度,因此,它是反映阅读效率和加工难度的指标。被试加工不同句式时的眼动数据见表2。

表 2 不同句式的眼跳距离和总注视时间

句式	眼跳距离(度)		总注视时间(ms)	
	M	SD	M	SD
肯定	3.02	1.08	2076.01	526.12
否定	2.79	0.95	2856.99	730.20
双重否定	3.20	1.12	2356.86	718.53

MANOVA 方差分析发现,就眼跳距离而言,句式主效应显著, $F(2,74) = 8.40, p < 0.001$ 。LSD 多重比较发现,被试加工否定句时的眼跳距离最小,肯定句和双重否定句的眼跳距离差异不显著, $F(1,37) = 2.80, p > 0.05$ ,两者与否定句的眼跳距离差异显著。

表 4 句子-图片信息整合时眼动指标的平均值和标准差

句式	图片	注视次数(次)		总注视时间(ms)		瞳孔直径(像素)	
		M	SD	M	SD	M	SD
肯 定	一 致	1.54	0.33	398.72	120.82	23.67	2.96
	不一致	1.91	0.54	499.92	160.09	24.03	2.97
否 定	一 致	1.92	0.66	499.25	196.67	23.94	3.02
	不一致	2.08	0.61	556.19	183.10	24.06	3.05
双重否定	一 致	1.72	0.51	446.68	156.95	23.80	3.02
	不一致	1.90	0.55	494.51	185.33	24.05	3.10

统计检验发现,不同句式-图片配对后,注视次数差异显著, $\chi^2 = 32.45, p < 0.001$ 。肯定句-图片注视次数最少,与双重否定句-图片的注视次数差异不

就总注视时间而言,句式主效应显著, $F(2,74) = 41.16, p < 0.001$ ,LSD 多重比较发现,不同句式之间的总注视时间存在显著差异,肯定句最短,双重否定句其次,否定句最长。

3.2 谓语的眼动特点

在句子水平上,除谓语外,3 种句式结构基本相同。为了进一步检验谓语语法特征对句子加工的影响,实验对被试阅读理解谓语时的眼动特点进行了分析,具体数据见表3。

表 3 不同句式谓语的第一次通过时间和回视路径时间(ms)

句式	第一次通过时间		回视路径时间	
	M	SD	M	SD
肯定	355.64	99.69	1290.17	430.21
否定	465.20	155.69	1610.04	550.41
双重否定	448.74	141.37	1381.39	441.55

MANOVA 方差分析发现,就第一次通过时间而言,句式主效应显著, $F(2,74) = 30.74, p < 0.001$ 。LSD 多重比较发现,被试加工肯定句谓语时的第一次通过时间最短,否定和双重否定句谓语的第一次通过时间差异不显著, $F(1,37) = 2.61, p > 0.05$ ,两者与肯定句谓语的第一次通过时间差异显著。

对于回视路径时间而言,句式主效应显著, $F(2,74) = 11.71, p < 0.001$ 。LSD 多重比较发现,肯定句谓语所需时间最短,与双重否定句谓语差异不显著, $F(1,37) = 1.54, p > 0.05$ ,两者与否定句谓语的的回视路径时间差异显著。

3.3 句子-图片信息整合的眼动特点

句子-图片信息整合时的眼动指标主要包括:注视次数、总注视时间和瞳孔直径,具体数据见表4。

显著, $\chi^2 = 1.66, p > 0.05$ ;否定句-图片的注视次数最多,与肯定句-图片和双重否定句-图片差异显著。句图语义关系类型的主效应显著, $\chi^2 = 49.60,$

$p < 0.001$ , 句图语义不一致会显著提高被试的注视次数, 如图 2。进一步检验发现, 对于肯定、否定、双重否定句, 语义一致和不一致条件下, 注视次数差异显著, 分别为  $\chi^2 = 35.56, p < 0.001, \chi^2 = 10.91, p < 0.01, \chi^2 = 9.10, p < 0.01$ 。语义一致时, 不同句式-图片注视次数差异显著,  $\chi^2 = 27.37, p < 0.001$ ; 语义不一致时, 肯定句-图片和双重否定句-图片信息整合过程中, 注视次数差异不显著,  $\chi^2 = 0.25, p > 0.05$ , 两者与否定句-图片有显著差异。

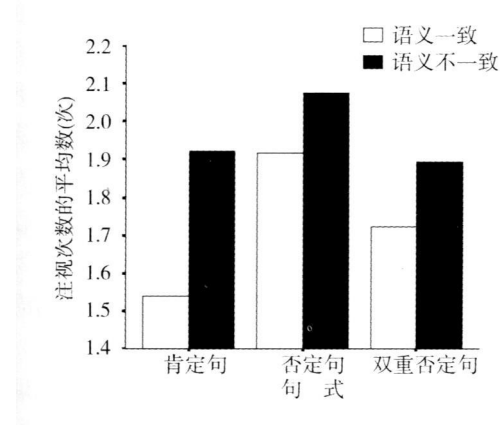


图2 句子-图片信息整合的注视次数

对于总注视时间而言, 句子-图片信息整合时, 句式主效应显著,  $F(2, 74) = 13.73, p < 0.001$ , LSD 多重比较发现, 肯定句-图片的总注视时间最短, 与双重否定句-图片差异不显著,  $F(1, 37) = 2.27, p > 0.05$ ; 否定句-图片的总注视时间最长, 与肯定句-图片和双重否定句-图片存在显著差异。句图语义关系类型主效应显著,  $F(1, 37) = 25.64, p < 0.001$ , 句图语义不一致会显著提高被试的总注视时间, 如图 3。句式和语义关系类型的交互作用边缘显著,  $F(2, 74) = 2.83, p = 0.065$ 。简单效应检验发现, 对于 3 种句式而言, 语义一致和不一致条件下, 总注视时间差异显著,  $F_1(1, 37) = 43.32, p < 0.001, F_2(1, 37) = 7.45, p < 0.01, F_3(1, 37) = 5.02, p < 0.05$ 。语义一致时, 不同句式-图片总注视时间差异显著,  $F_1(1, 37) = 11.90, p < 0.001$ ; 语义不一致时, 肯定句-图片和双重否定句-图片信息整合过程中, 总注视时间差异不显著,  $F(1, 37) = 0.08, p > 0.05$ , 两者与否定句-图片有显著差异。

对于瞳孔直径而言, 句子-图片信息整合时, 句式主效应显著,  $F(2, 74) = 4.59, p < 0.05$ 。LSD 多重比较发现, 肯定句-图片的瞳孔直径最小, 与双重否定句-图片差异不显著,  $F(1, 37) = 2.35, p > 0.05$ ; 否定句-图片的瞳孔直径最大, 与肯定句-图片

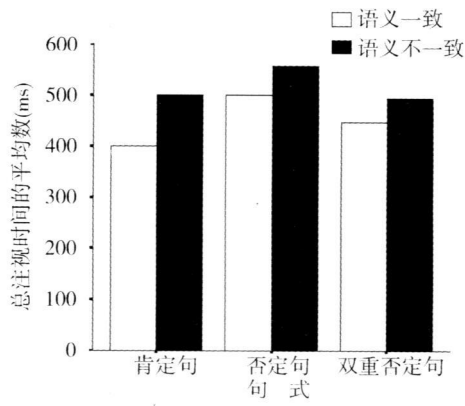


图3 句子-图片信息整合的注视时间

存在显著差异, 和双重否定句-图片差异不显著,  $F(1, 37) = 2.02, p > 0.05$ 。句图语义关系类型主效应显著,  $F(1, 37) = 29.54, p < 0.001$ , 句图语义不一致时, 被试瞳孔直径显著增大, 如图 4。句式和语义关系类型的交互作用显著,  $F(2, 74) = 4.10, p < 0.05$ 。简单效应检验发现, 对于 3 种句式而言, 语义一致和不一致条件下, 瞳孔直径差异显著或边缘显著,  $F_1(1, 37) = 24.36, p < 0.001, F_2(1, 37) = 3.27, p = 0.079, F_3(1, 37) = 17.46, p < 0.001$ 。语义一致时, 不同句式-图片瞳孔直径差异显著,  $F(1, 37) = 8.06, p < 0.01$ ; 语义不一致时, 不同句式-图片信息整合过程中, 瞳孔直径差异不显著,  $F(1, 37) = 0.17, p > 0.05$ 。

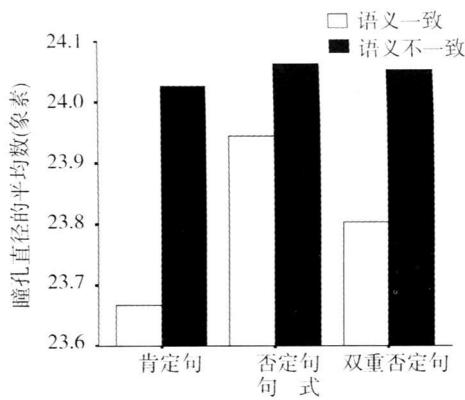


图4 句子-图片信息整合的瞳孔直径

4 讨论

通过对 3 种句式加工时眼动指标的分析, 实验发现肯定、否定、双重否定句存在不同程度的句法加工难度, 并在阅读理解过程中表现出眼动特异性。实验中, 所有句子在语法结构上都是单句。在句子水平上, 被试加工否定句时, 眼跳距离最小, 总注视时间最长; 在微观句子成分层面, 被试理解否定句谓

语时需要更多的第一次通过时间和回视路径时间。除第一次通过时间,被试加工否定与双重否定句时的眼动指标均存在显著差异,如眼跳距离、总注视时间、回视路径时间,因此否定句式比双重否定句式具有更高的句法加工难度,语义通达和整合需花费更多时间,这和 Kaup 等<sup>[25]</sup>的研究结果一致。双重否定句更容易加工可能与实验材料以及被试的句法加工策略有关。研究中所有句子都是单句。在单句中,双重否定表达肯定的意义。Jou 等对汉语双重否定句的阅读理解进行了发展性研究,实验发现 13 岁及以上的被试能稳定地将双重否定单句当作肯定句来理解。对于大学生被试而言,这一规则几乎已经内化为一种自动语句加工策略,从而在一定程度上促进了对双重否定单句的认知。从谓语看,双重否定区域和否定区域的第一次通过时间没有显著差异,回视路径时间差异显著。但双重否定区域和肯定区域的第一次通过时间差异显著,回视路径时间差异不显著。回视路径时间是晚期加工指标,主要揭示了语义和句法的整合过程。这说明被试更倾向于以肯定句的方式完成双重否定句语义通达和整合的后期认知加工。较之于否定和双重否定句式,被试通过减少总注视时间、第一次通过时间、回视路径时间来加工和表征肯定句。

Underwood、Knoeferle 等发现句图呈现的先后顺序、句子结构影响句图信息整合过程;Caplan 等<sup>[26]</sup>研究发现句式结构,如主动句和被动句,影响被试对句子和图片的信息加工过程。汉语句子和图片加工时,不同句法复杂性的句式影响句图信息提取和整合过程,从而表现出眼动特异性。实验中,肯定、双重否定、否定句的句法复杂程度逐渐增大。从统计结果来看,研究发现,在图片任务阶段,注视次数、总注视时间、瞳孔直径受先前句式句法复杂性的影响,随句法难度增加而增加。具体而言,否定句条件下,句图信息整合时,被试对图片的注视次数最多,总注视时间最长,与肯定和双重否定句条件下句图信息整合过程存在显著差异。另外,否定句和图片加工时,瞳孔直径最大,表明被试整合否定句和图片信息时,心理努力程度显著提高。这和陈永明等的研究结果不一致,该研究发现双重否定句和图片的验证时间长于否定和肯定句。原因可能是句子和图片同时呈现时,后者将否定成分放置于句首,在一定程度上增加了对句子尤其是双重否定句的加工负担。

较之于否定句,双重否定句更容易加工和证实,表明被试习得的句法策略影响句子的认知过程和心理

表征。CCM 主要以肯定和否定句为研究对象,考察了句子加工和证实的心理原则。模型假设人们以抽象命题的形式构建句子的心理表征,然后和图片命题进行对比加工。在 CCM 模型中,肯定句和否定句的心理表征分别是[*AFF*, (*A*, *B*)], [*NEG*, (*A*, *B*)]。否定句难以加工和证实,主要是因为其心理命题比肯定句更复杂。作为一种特殊的否定形式,根据 CCM 的理论假设,是否可以认为双重否定句的心理命题是{*NEG*, [*NEG*, (*A*, *B*)]}? 实验发现,被试证实双重否定句时所需时间和注视次数低于否定句,两者存在显著差异;双重否定句和肯定句所需注视时间和注视次数差异不显著。这说明被试更可能受句子深层意义的驱动来构建心理表征。也就是说,被试以加工肯定句的方式完成双重否定句语义通达和整合的后期心理操作,最终构建相同的心理表征,[*AFF*, (*A*, *B*)]。因此,我们将 CCM 作为解释句子理解和证实的理论模型推及到更广泛的语言领域时需谨慎。

先前研究发现,以汉语句子为阅读材料,先呈现图片后呈现句子条件下,图句关系一致会减少被试的判断时间,语义和句法复杂性会干扰信息整合过程。这和 Knoeferle 等的研究结论一致。那么,在先呈现句子后呈现图片条件下,Underwood、Feeney 等发现的句图信息整合特点是否也适合汉语呢? 与已有研究不同,当前研究发现,汉语句图信息整合过程中,句子-图片继时呈现没有消除语义失配效应。语义关系类型效应显著,一致和不一致条件下被试表现出不同的信息整合特点。具体而言,句子和图片语义内容不一致会显著增加被试的注视次数、总注视时间和瞳孔直径,分别提高 0.24 次、68.65ms、0.24 像素。瞳孔直径变化幅度与信息加工负荷(*information processing load*)有关,瞳孔放大往往意味着认知活动有更大的加工负荷或需要提高心理努力程度<sup>[27]</sup>。从统计结果来看,语义关系类型主效应显著,较之于语义一致,语义不一致时瞳孔直径显著增大,这表明句图信息整合时的认知负荷增加。

除此之外,实验发现句式和句图语义关系类型存在交互作用,语义失配效应受句式因素调节,即语义失配效应对句图信息整合过程的影响在不同句式表现出任务的特异性。这和 Underwood、Knoeferle 等的研究结论一致,进一步证实 CCM 提出的“整合过程不受任务性质的影响”不具有普遍性。实验发现,语义一致和不一致条件下,肯定句-图片的注视次数增加 0.37 次,注视时间增加 101.20ms,瞳孔直

径增大 0.36 象素;否定句-图片的注视次数增加 0.16 次、注视时间增加 56.94ms、瞳孔直径增大 0.12 象素;双重否定句-图片的注视次数增加 0.18 次、注视时间增加 47.83ms、瞳孔直径增大 0.25 象素。这说明语义失配会显著干扰句法难度低的句式的句图信息整合过程,肯定句-图片信息整合过程中,注视次数、注视时间显著增加,瞳孔直径迅速增大;而否定句眼动指标没有显著变化,尤其是瞳孔直径。这可能与被试加工否定句时一直保持高心理负荷有关。有研究发现,瞳孔放大后,如果持续一定负荷水平的加工,那么瞳孔直径将会被维持<sup>[28]</sup>。

肯定、双重否定、否定句式的句法难度呈递增形态,语义一致时,句子原有的句法难度影响句图信息的整合过程,被试通过增加注视次数、总注视时间,扩大瞳孔直径来提高对句法复杂程度高的句子-图片的加工。语义不一致时,肯定句-图片和双重否定句-图片的注视次数、总注视时间差异不显著,两者与否定句-图片差异显著,但在瞳孔直径上,三者差异都不显著。

## 5 结论

(1)汉语句图信息整合过程中,句图继时呈现未消除语义失配效应,被试的注视次数、总注视时间、瞳孔直径存在显著差异。语义不一致干扰了句法难度低的句式的句图信息整合。

(2)从多种眼动指标来看,肯定、双重否定、否定句式的句法难度呈渐增态。句式影响句子-图片信息的整合过程,表现出眼动特异性。被试以增加注视次数、总注视时间和扩大瞳孔直径等完成对句法难度高的句式和图片配对后的认知加工。

(3)汉语句图信息整合过程中,语义失配效应具有任务的特异性。对于不同句法难度的句式而言,语义一致和不一致的影响程度不同,这表明 CCM 不具有一般性。

## 参 考 文 献

- Rayner K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 1998, 124: 372 ~ 422
- Carroll J R, Young J R, Guertin M S. Visual analysis of cartoons: A view from the far side. In: K Rayner (Eds). *Eye movements and visual cognition: Scene perception and reading*. New York: Springer, 1992. 444 ~ 461
- Rayner K, Rotello L M, Stewart A J, et al. Integrating text and pictorial information: Eye movements when looking at print advertisements. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2001, 7: 219 ~ 226
- Carpenter P A, Just M A. Sentence Comprehension: A Psycholinguistic Processing Model of Verification. *Psychological Review*, 1975, 82 (1): 45 ~ 73
- Feeney A, Holsa A K W, Liversedge S P, et al. How people extract information from graphs: Evidence from a sentence-graph verification paradigm. In: M Anderson, P Cheng, V Haarslev (Eds). *Theory and application of diagrams: First International Conference*. Berlin: Springer-Verlag, 2000. 149 ~ 161
- Underwood G, Jebbitt L, Roberts K. Inspecting picture for information to verify a sentence: Eye movements in general coding and in focused search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2004, 57A (1): 165 ~ 182
- Henderson J M, Weeks P A, Hollingworth A. The effects of semantic consistency on eye movements during complex scene viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1999, 25: 210 ~ 228
- Underwood G, Rundall D, Hodson K. Confirming statements about pictures of natural scenes: Evidence of the processing of gist from eye movements. *Perception*, 2005, 34: 1069 ~ 1082
- Knoeferle P, Crocker M W. Incremental Effects of Mismatch during Picture-Sentence Integration: Evidence from Eye-tracking. In: K Forbus, D Gentner, T Regier (Eds). *Proceedings of the 26<sup>th</sup> Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, 2005. 1166 ~ 1172
- Knoeferle P, Crocker M W. The coordinated processing of scene and utterance: evidence from eye-tracking in depicted events. *Proceedings of the International Conference on Cognitive Science*. A Ilababad, India, 2004. 217 ~ 222
- Knoeferle P, Crocker M W, Pickering M, et al. The influence of the immediate visual context on incremental thematic role-assignment: evidence from eye-movements in depicted events. *Cognition*, 2005, 95: 95 ~ 127
- Peng D L, Shu H, Chen X Z. *Cognitive Research on Chinese Language (in Chinese)*. Jinan: Shandong Education Press, 1997. 77  
(彭聃龄,舒华,陈烜之.汉语认知研究.济南:山东教育出版社,1997.77)
- Jou J. The Development of Comprehension of Double Negation in Chinese Children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 1988, 45: 457 ~ 471
- Chen Y M, Peng R X. An Experimental Study On Sentence Comprehension (in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 1990, (3): 225 ~ 230  
(陈永明,彭瑞祥.句子理解的实验研究.心理学报,1990,(3): 225 ~ 230)
- Zhang J Q. Item Exchanging Effect in Psychological Representation of Complex Chinese Sentences of Spatial Relations (in Chinese). *Journal of College of Chinese Language and Culture of Jinan University*, 2004, 4: 44 ~ 49  
(张金桥.汉语空间关系复杂句心理表征项目互换效应.暨南大学华文学院学报,2004,4: 44 ~ 49)
- Zhang J Q, Mo L. Item Exchanging Effect of Propositions

- Representation in Chinese Causal Clause Sentence without Conjunction (in Chinese). *Chinese Journal of Applied Psychology*, 2004, 10 (3): 3 ~ 7  
(张金桥, 莫雷. 汉语无关联词因果复句的命题表征项目互换效应. 应用心理学, 2004, 10 (3): 3 ~ 7)
- 17 Zhang J Q, Mo L. Item order of propositional representation in understanding Chinese initiative and passive sentences (in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 2006, 38 (3): 317 ~ 323  
(张金桥, 莫雷. 汉语主动句、被动句的命题表征项目顺序特点. 心理学报, 2006, 38 (3): 317 ~ 323)
- 18 Miao X C, Sang B. Comprehension of affirmative and negative sentences with quantifiers (in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 1992, 3: 232 ~ 237  
(缪小春, 桑标. 量词肯定句和否定句的理解. 心理学报, 1992, 3: 232 ~ 237)
- 19 Xu H H. Chinese Children's understanding of Quantified Negation Sentence (in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 1990, 4: 13 ~ 18  
(徐火辉. 汉语儿童量化否定句理解的发展. 心理学报, 1990, 4: 13 ~ 18)
- 20 Zhu M S, Song Z G. Children's Judgment on Causal Complex Sentences (in Chinese). *Chinese Journal of Applied Psychology*, 1992, 3: 23 ~ 28  
(朱曼殊, 宋正国. 儿童对因果复合句的判断. 应用心理学, 1992, 3: 23 ~ 28)
- 21 Yan G L, Tian H J. A Review of Eye Movement Recording Methods and Techniques (in Chinese). *Chinese Journal of Applied Psychology*, 2004, 10 (2): 55 ~ 58  
(闫国利, 田宏杰. 眼动记录技术和方法综述. 应用心理学, 2004, 10 (2): 55 ~ 58)
- 22 Radach R, Kennedy A. Theoretical perspectives on eye movements in reading: Past controversies, current issues, and an agenda for future research. *European Journal of Cognitive Psychology*, 2004, 16 (1/2): 3 ~ 26
- 23 Rayner K, Warren T, Juhasz B J, et al. The Effect of Plausibility on Eye Movements in Reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2004, 30 (6): 1290 ~ 1301
- 24 Irwin D E. Lexical processing during saccadic eye movements. *Cognitive Psychology*, 1998, 36: 1 ~ 27
- 25 Kaup B, Zwaan R. Effects of Negation and Situational Presence on the Accessibility of Text Information. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2003, 29 (3): 439 ~ 446
- 26 Caplan D, Dedee G, Brownell H. Effects of syntactic features on sentence-picture matching in Broca's aphasia: A replay to Drai and Grodzinsky. *Brain and Language*, 2006, 96: 129 ~ 134
- 27 Verney S P, Granholm E, Marshall S P. Pupillary response on the visual backward masking task reflect general cognitive ability. *International Journal of Psychophysiology*, 2004, 52: 23 ~ 36
- 28 Steinhaue S R, Siegle G L, Condray R, et al. Sympathetic and parasympathetic innervation of pupillary dilation during sustained processing. *International Journal of Psychophysiology*, 2004, 52: 77 ~ 86

## Sentence-Picture Integration in Chinese: Evidence from the Measurement of Eye Movement

CHEN Qing-Rong, DENG Zhu, TAN Ding-Liang

(Department of Psychology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

### Abstract

Carpenter and Just (1975) proposed the Constituent Comparison Model (CCM) to translate how a sentence and picture were processed and integrated. They found that semantic incongruency yielded a mismatch effect, and participants experienced greater difficulty in processing and verifying a negation than they did in the case of an affirmation. When the sentence and picture were displayed one after the other, Underwood et al. (2004) did not observe the mismatch effect. However, Knoeferle et al. (2005) found the effect in a sentence comprehension study with serial picture-sentence presentation. The validity of the CCM for other languages has not been confirmed. The following questions remain unanswered: Does syntax interfere with the verification task and mismatch effect? Does the mismatch effect disappear when sentences are presented before the pictures in Chinese?

Forty undergraduates were paid to participate in the experiment. All were native speakers of Mandarin Chinese and had normal or corrected-to-normal vision. There were three different types of simple sentences, and each type consisted of four sentences. Each sentence was paired with one of the following two pictures: an asterisk above the plus sign and the plus sign above an asterisk. The pairings of sentences and pictures yielded 24 different displays. Eye movements were recorded using a SensoMotoric Instruments (SMI) iView Hi-Speed system. Each trial started with the appearance of a cross on the left side of the screen, and terminated when the participant pressed a response key.



Subsequently, a sentence appeared in the center of the screen, followed by a picture. The task of the participants was to decide whether or not the sentence and picture corresponded with each other, and to indicate their decision by pressing one of the two response keys.

The results revealed the main effects of sentence type and semantic relation. The difference between affirmation and double negation was not significant in the sentence-picture task. Participants found it more difficult to process and verify a negation than a double negation. The mismatch effect was evident on the total fixation time, fixation times, and pupil diameters. Furthermore, the interaction of sentence type and semantic relation was significant. The negative sentence-picture was believed to be difficult because participants required more fixation time and total fixation time to complete the tasks of verification and integration in the mismatch condition.

Further, the mismatch effect was also found in the case of Chinese. Semantic mismatches tended to increase the participants' cognitive load, and the syntax influenced the mismatch effect. It is possible that the participants had adopted a special strategy for representing double negative sentences in which double negative verbs canceled each other. Therefore, we should be cautious with regard to the applicability of the CCM as a more general model of sentence-picture tasks in other languages.

**Key words** sentence-picture, sentence type, semantic relation, semantic mismatch, eye movement.