

社会转型与社会治理理论丛

主编 刘欣

杨锦绵 著

眼动追踪与中文阅读

THE EYE TRACKING PARADIGM
AND CHINESE READING

 社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (CHINA)

非外借

社会转型与社会治理论丛

主编 刘欣

眼动追踪与中文阅读

THE EYE TRACKING PARADIGM
AND CHINESE READING

杨锦绵 著



社会科学文献出版社
SOCIAL SCIENCES ACADEMIC PRESS (CHINA)

图书在版编目(CIP)数据

眼动追踪与中文阅读 / 杨锦绵著. -- 北京: 社会科学文献出版社, 2018. 12
(社会转型与社会治理理论丛)
ISBN 978-7-5201-3524-5

I. ①眼… II. ①杨… III. ①汉语-阅读-眼动-视觉跟踪-研究 IV. ①B842.2②H1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 220899 号

社会转型与社会治理理论丛 眼动追踪与中文阅读

著 者 / 杨锦绵

出 版 人 / 谢寿光

项目统筹 / 杨桂凤

责任编辑 / 杨桂凤 张真真

出 版 / 社会科学文献出版社·社会学出版中心(010)59367159

地址: 北京市北三环中路甲 29 号院华龙大厦 邮编: 100029

网址: www.ssap.com.cn

发 行 / 市场营销中心(010)59367081 59367083

印 装 / 三河市东方印刷有限公司

规 格 / 开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 13.75 字数: 215 千字

版 次 / 2018 年 12 月第 1 版 2018 年 12 月第 1 次印刷

书 号 / ISBN 978-7-5201-3524-5

定 价 / 79.00 元



本书如有印装质量问题, 请与读者服务中心(010-59367028)联系

▲ 版权所有 翻印必究

本书获复旦大学社会发展与公共政策学院科研发展基金资助

编委会（以姓氏拼音为序）

顾东辉 郭有德 胡安宁 梁 鸿 刘 欣 纳日碧力戈
彭希哲 孙时进 王 丰 王桂新 周 怡

谨以此书纪念我的博士生导师
Keith Rayner 教授

目 录



第一部分 背景介绍

第一章	眼动追踪的研究范式及其在阅读研究中的应用	3
第一节	眼动的基本模式和分析的指标	5
第二节	阅读中的眼动研究范式	13
第二章	国际上眼动阅读研究的成果和模型	22
第一节	影响眼动的语言因素	23
第二节	副中央凹加工	27
第三节	眼动阅读的模型	37
第三章	中文眼动研究的现状和问题的提出	46
第一节	中文的特征及其眼动研究的成果	46
第二节	研究问题和设计	56

第二部分 实证研究

第四章	研究一 中文句子阅读中语义信息整合的时程	63
第一节	实验 1: 单字词语义整合的时程	64
第二节	实验 2: 双字词语义整合的时程	73
第三节	讨论	80
第五章	研究二 中文阅读中副中央凹加工的范围	83
第一节	实验 1: 单字目标词	85



第二节	实验 2: 双字目标词	92
第三节	实验 3: 低频 $n-1$ 对双字目标词预视加工的影响	101
第四节	讨论	106
第六章	研究三 中文阅读中副中央凹的语义加工	109
第一节	实验 1: 经典的语义预视研究范式	111
第二节	实验 2: 合理性对语义预视效应的影响	117
第三节	实验 3: 语素语义频率对语义预视效应的影响	124
第四节	讨论	132
第七章	研究四 中文阅读中副中央凹的合理性加工	135
第一节	实验 1: 转置词不同信息的预视加工	136
第二节	实验 2: 语义变化 vs 合理性变化的效应	143
第三节	实验 3: 合理性预视效应的本质	149
第四节	讨论	158
第三部分 研究总讨论和未来发展的方向		
第八章	研究总讨论: 中文阅读的加工机制	163
第一节	研究主要发现总结	163
第二节	中文语义整合与词汇切分	168
第三节	预视信息获得的范围和注意资源的分配	171
第四节	语义和合理性的预视加工	174
第五节	结论	178
第九章	研究展望	179
第一节	有待解决的问题	179
第二节	词汇切分	181
第三节	研究的多样化	184
参考文献	187
后 记	211

第一部分

背景介绍

第一章 眼动追踪的研究范式及其在阅读研究中的应用

眼睛是人类最重要的感觉器官，至少有 80% 的外界信息经视觉获得。在视觉信息的输入中，阅读是其中最重要的一种形式，因为阅读是人类获取知识的重要途径，也是人类日常生活和学习中一项十分重要的认知活动。阅读技能不但对个人的心智成长具有关键的作用，对于人类文化的传承同样具有十分重要的价值，尤其在知识经济时代，阅读已成了促进人类社会发展、提高人类智慧、增强国家竞争力的重要途径。因此，阅读研究成为认知心理学跟现代认知神经科学的重要研究领域。有关阅读的研究成果有助于理解人类心理活动的实质、心理表征的方式以及其形成和转化等一系列人类认知活动的重大问题；此外，阅读研究对语言学习与教学、语言障碍者的教育和治疗、自然语言处理以及人工智能技术等方面的发展也具有重要的意义。

早期关于阅读的研究主要采用真假词判断（lexical decision）和命名（naming）两种方法，在这两种类型的研究中，研究者在计算机屏幕上呈现单词或假词，被试需要按照实验指导语，对刺激材料进行真假词判断（按键反应），或大声把词语朗读出来。研究者收集被试在不同条件下的反应时间，以此推测词语加工的过程。采用这种研究方法，还可以探测相关词语带来的启动效应。例如，在对目标词“医生”进行真假词判断或命名反应时，如果在出现“医生”前快速呈现与其相关的词“护士”，会加快对“医生”的任务反应（跟在“医生”前呈现一个与其语义不相关的词，



如“骑士”相比)。真假词判断和命名这两种方法到现在还被广泛应用，尤其是与事件相关脑电位（ERPs）和功能性磁共振成像（fMRI）等研究方法相结合，可以从更深的层面反映人类大脑对词汇的认知加工过程。但是，该研究方法要反映自然阅读的加工过程具有一定的局限性。这是因为，我们在阅读过程中，单词不是割裂呈现的，单词的割裂呈现使读者无法获得语境信息，而语境信息被证实能够促进单词的加工（见 Rayner, 1998, 2009）。后来，研究者采用自定步调阅读（self-paced reading）的方法，研究被试对句子或语篇进行加工的过程。这种方法是把句子或篇章分成一个个词或短语，甚至是以整句为单位呈现，被试按照自己的阅读速度，看完一屏的刺激后按键出现下一屏。实验者通过记录被试对每屏刺激的反应时间，来推测其认知加工过程，例如，反应时间越长则说明加工难度越大等。

这些收集按键反应时的研究范式在一定程度上能反映词语、句子或语篇加工的过程，但是它们也不能完全反映自然阅读过程的加工，因为它们都引入了一个强制任务，即按键反应，并且，使用自定步调阅读法记录的反应时间，无法反映即时的加工过程。这是因为，有些被试会使用延迟理解的阅读策略，例如，在前面的刺激呈现过程中，尽可能快速地按键，然后在阅读材料结束的时候（如句子末尾）再对材料进行语义的整合。在整句呈现的自定步调阅读中，研究者检测到某个句子的阅读时间较长，也难以判断引起其加工困难的原因，例如，是因为句子中包含难度较高的词（低频词或是笔画数多的词），还是因为某些词语难以跟句子的语境整合。

研究者们开始寻找更自然的研究范式来探讨该问题。从20世纪80年代起，眼动阅读的研究范式开始兴起。眼动阅读是指在阅读的过程中，采用高刷新率的红外线摄像头，记录并分析受试者在阅读文字的过程中眼睛观看的位置和眼球运动的形式。其背后的假设是，眼球运动可以直接反映认知加工的过程。正如 Just 和 Carpenter（1980）提出的即时加工假说，被试对某个词的注视与对该词的心理加工是同时进行的。和以往传统的行为技术相比，眼动具有更大的优越性。首先，眼动是阅读过程

中的一个正常成分，眼动法不需要使用额外任务，从而避免了对正常阅读的干扰。其次，眼动法实现了对读者阅读过程的同时测量。通过记录和分析一系列数据（如眼睛的停留位置、注视时间、注视顺序等），研究者可以从丰富的眼动数据里提取多层次、反映不同加工阶段的指标，来推测读者的认知加工过程。例如，利用阅读中的注视点就可构建出阅读的实时加工过程，一般研究方法则无法对阅读材料的理解过程进行动态测量。最后，眼动实验具有良好的可操纵性和实验效度。本章将介绍眼球运动的特点和与其相对应的眼动的记录方法和计算的指标，以及不同阅读范式在阅读研究中的运用。

第一节 眼动的基本模式和分析的指标

眼球运动有多种形式，除了眨眼这一类肌肉收缩的活动，在信息加工的过程中，我们一般把眼球运动分成两种基本类型：一是运动本身，即眼跳（saccade），使眼睛从注视一个地方移动到另一个地方；二是注视（fixation），即眼睛聚焦某一位置以使物体在视网膜上成像。在进行视觉加工的时候，我们的眼睛需要改变注视位置，这是由视网膜的生理结构和视敏度特点决定的。

按照视敏度的高低，人的视网膜可以分为三个区域：一是中央凹视觉区（foveal vision），在注视点中心 2 度视角的范围内，该区域的视敏度最高，可以最清晰地接收和加工信息；二是副中央凹视觉区（parafoveal vision），在注视点中心左右两边 2 ~ 5 度视角的范围内，这个区域的视敏度不如中央凹视觉区的高，但是能够获取一定类型的信息；三是视觉边缘区（peripheral region），在注视点中心两边 5 度视角范围外，该区域的视敏度更差，只能知觉词长的线索等低层次的信息（句子信息投射在视网膜不同位置上的清晰程度见图 1 - 1，图片来源：Rayner, 1975）。Rayner、Mc Conkie 和 Zola（1980）使用命名任务时发现，当目标单词出现在副中央凹不同的位置上时，每增加 1 度视角进入副中央凹就会导致命名潜伏期延长 10 毫秒。

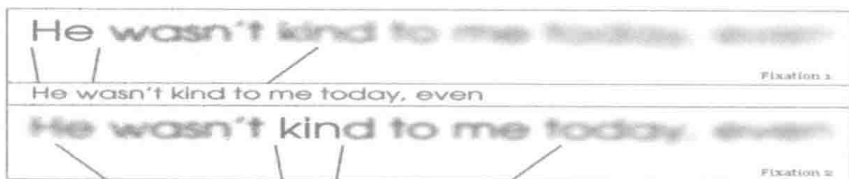


图 1-1 视网膜不同位置上信息的清晰度

注：上一行句子表示读者注视点落在“*He*”上，因此该单词是在视网膜的中央凹位置，其右边单词“*wasn't*”落在视网膜的副中央凹位置，再往右的单词落在视觉边缘区，在不同区域上单词的清晰度渐差。下一行句子注视点落在单词“*kind*”上，类似地，从中央凹到两边副中央凹和边缘区，单词的清晰度渐差。

眼跳的作用是使接下来要加工的信息可以落在视网膜的中央凹视觉区上，以便看得更清楚。在阅读中，一个注视点持续的时间平均在 200~250 毫秒（受阅读材料的影响）；跟注视时间相比，眼跳执行的时间非常短，通常只需要 20~30 毫秒（眼跳距离越大需要的时间越长），我们往往不会感觉到眼睛的跳动，而以为视觉加工是一个平滑的注视过程。此外，由于读者在眼跳过程中，并不能获取信息，研究者更多地将注意力放在注视过程中。

眼跳和注视这两种基本的眼动类型，可以构成多种信息加工模式。大多数眼跳是前进式的，即从左向右以加工注视点右边出现的新信息。如果阅读材料简单，我们可以一直保持从左到右的眼跳，但是更多的情况下，我们会有从右到左的眼跳，即回去注视先前经过的材料，这种加工的方向叫回视（*regressions*）^①。在熟练的阅读者（*skilled readers*）中，回视约占阅读时间的 15%；儿童读者发生回视的概率偏高，约有 25%。读者从一行的句尾到下一行的句首虽然也是一种从右到左的眼动，但是它有别于回视，所以把这种眼动模式称为回扫（*return sweep*）。无论什么文字，在自然阅读的情景下，读者不会逐个注视每一个单词，拿中文阅读举例，每隔 2~3 个字才有一个注视点，没有被注视的字被跳读（*skipping*）了。在被注视的汉字中，还有一些会收到再注视点（*refixation*）即多于一个注视点，再注视跟回视的差别在于前者是在眼睛没有离开目标加工区域时发生的，

① 对于希伯来文的读者来说，由于其文字印刷是从右到左的，他们向前的眼跳是从右到左，回视加工的方向则是从左到右，刚好跟文字印刷方向相反。

而回视是眼睛已经离开目标加工区域，在注视其后的信息后再回去加工目标区域（下文将详细介绍这些指标）。注视点时间的长短和眼跳距离的大小由加工任务和材料难度决定，受篇幅所限，本书将只介绍阅读过程中的眼动情况。

在眼动阅读的研究中，大部分情况下是整句呈现，研究者往往会把句子划分为不同的兴趣区，例如，某个关键词是关键区，关键词前后两个单词为关键前区和关键后区。眼动的指标可以分成两大类：一类是反映加工时间的指标，跟“何时眼跳的决定”（when decision）相关；另一类是反映落点位置的指标，跟“向何处眼跳的决定”（where decision）相关（见Rayner, 1998, 2009）。针对实验的目的和指标反映的信息，研究者需要合理选择眼动指标。

一 时间指标

最直接的反映加工时间的指标是注视点时间的长短，例如，在阅读中文材料的时候，平均注视点时间长度为 220 毫秒，阅读英文材料的时候，平均注视点时间长度为 220 ~ 250 毫秒。注视点时间的长短受阅读材料性质的影响，跟阅读者的阅读技巧和状态也有关系，例如，青年的熟练读者跟老年读者或是儿童读者，其注视点时间的长短也会不一样。平均注视点时间是一个简单的指标，只需要把阅读过程中所有的注视点时间平均，往往用于不包含目标词的文本加工，与其类似的指标还有句子（或语篇）总的阅读时间，即把所有注视点时间相加。但是，它们都不是敏感反映阅读加工机制的指标。因此，研究者们采用了更细致的分析方法。下面对眼动阅读的时间指标进行一一介绍，由于不同指标的区分略微复杂，将通过图 1-2 来举例说明。

（一）首次注视时间（first fixation duration）

首次注视时间是落在兴趣区 [也叫关键区（target region）] 上的第一个注视点的持续时间，不管该区域内有多少个注视点，只计算其第一个注视点的时间，如图 1-2 中的注视点（1）、（3）、（4）、（5）、（8）是其对应的 1~5 个区域的首次注视时间。首次注视时间是眼动阅读研究中最常用

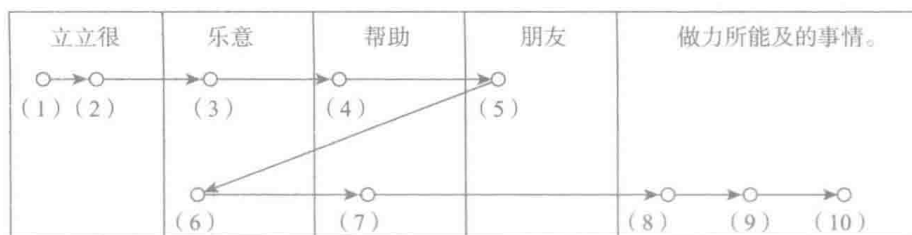


图 1-2 阅读中的眼睛运动轨迹

注：该轨迹图中的兴趣区用竖线隔开，圆点表示注视点，箭头代表眼跳方向，数字序号代表注视次序。

的指标之一，反映了词汇通达的早期特征。它受到正字法特征（White, Johnson, Liversedge, & Rayner, 2008）、语音（Ashby & Clifton, 2005）、词频、词长、词的预测性（Kliegl, Grabner, Rolfs, & Engbert, 2004; Slattery, Pollatsek, & Rayner, 2007; Staub, White, Drieghe, Hollway, & Rayner, 2010）、语境限制（Frisson, Rayner, & Pickering, 2005）等因素的影响。

（二）单次注视时间（single fixation duration）

单次注视时间是指兴趣区内有且仅有一次注视时的注视时间（不包括回视的注视点），如图 1-2 中的（3）、（4）和（5）。单次注视时间也是反映字词识别的良好指标（Rayner, 1998）。它与首次注视时间的相关性非常高，研究者一般选择报告其中一个。单次注视时间受词汇特征的影响较大，如词频、词长、词语的可预测性等。阅读者对高频词的单次注视时间明显短于低频词；随着词长的增加，对词语的单次注视时间也随之增加；对当前注视词的单次注视时间还受到后续词汇特征的影响（Raney & Rayner, 1995; Rayner, Sereno, & Raney, 1996）。

（三）凝视时间（gaze duration）

凝视时间是目标区域首次加工中所有注视点时间的和，它包括当前区域内的再注视，但不包括对之前区域的回视，如图 1-2 中（1）和（2）的时间之和即为区域“立立很”的凝视时间。如果在注视点跳出兴趣区之前对该区域只有一次注视，那么凝视时间就等于该区域的首次注视时间。

有些研究者认为,凝视时间是反映词汇通达早期阶段的最好的指标(Just & Carpenter, 1993),它不仅反映词汇通达的时间,还反映对文章内容的整合(Inhoff, 1984)。如果一个认知操作非常迅速,那么它会影响首次注视时间,如果稍微慢一点,就会影响凝视时间。凝视时间受词汇特征和前词汇特征的影响,同时也受语境和句法信息的影响,大部分影响首次注视时间的变量也会影响凝视时间(Rayner, 1998)。

(四) 多个注视点中的首次注视时间 (first of multiple fixations)

兴趣区在首次加工过程中被多次注视时,计算其第一个注视点的时间,如图1-2中注视点(1)和(8)的时间分别是第一个和第五个兴趣区的多个注视点中的首次注视时间,其他区域则无法计算该指标,因为它们在首次加工中只有一个注视点。该指标对应的指标还有多个注视点中的末次注视时间(last of multiple fixations)。然而,这种类型的指标并不常见,这是因为当兴趣区只有一个词时,在该区域发生再注视的概率只有15%左右,数据缺失率相当高。只有在兴趣区不止一个词,或是加工难度较高的时候,研究者才会分析这种类型的指标。

(五) 回视路径时间 (go-past time 或是 regression-path duration)

回视路径时间是指从首次进入目标区域的注视点(首次注视时间)到向右离开这个区域的时间的总和,这个指标包含了该区域的凝视时间和离开该区域回视到左边阅读材料的时间,如图1-2中“朋友”区域,其回视路径时间是从第一个进入该区域的注视点(5)开始,到注视点(8)向右离开该区域为止,因此是注视点(5)、(6)和(7)的时间之和。该指标反映部分整合加工,例如,难以整合的目标词的回视路径时间会比容易整合的目标词的短。

(六) 第二遍阅读时间 (second pass reading time)

第二遍阅读时间是指首次加工经过目标区域后^①从句子的右边回视到目标区域的注视时间。只要不属于第一遍加工的时间,都属于第二遍加工

^① 包括该区域在第一次加工中被跳读的情况。



的时间，包括第二次注视这个区域后，向左或向右离开该区域后再回来注视的时间。如图 1-2 注视点（6）和（7）的时间分别是“乐意”和“帮助”的第二遍阅读时间。第二遍阅读时间大多反映词汇后期加工，即信息整合过程，某个单词越难跟句子语境整合（理解困难），其第二遍阅读时间会越长（见实验 1 结果）。

（七）总阅读时间（total reading time）

总阅读时间不区分首次或是第二次加工，它指在兴趣区内所有注视时间的总和，如图 1-2 中（4）和（7）的时间之和即为兴趣区“帮助”的总阅读时间，它反映总体加工。总阅读时间对较慢和较长时间的认知加工过程敏感。如果某种效应在兴趣区的总阅读时间上显著，而在首次注视时间和凝视时间上不显著，那么可以推测该效应只在相对后期的加工过程中存在。

需要指出的是，如果目标区域在首次阅读中被跳读（没有注视点），则不计算该区域的首次注视时间、单次注视时间、凝视时间和回视路径时间等涉及首次加工的指标，这些指标的均值只在有数据的试次上平均。但是，也有一些研究者会用 0 表示其首次加工时间，这样会拉低整个首次加工时间的均值，例如，会出现首次注视时间为 160 毫秒的情况（一般情况下注视点时间的均值为 220 毫秒），采用这种计算方法可以把跳读的数据考虑进去，即当跳视率越高的时候，0 数据越多，会更大程度地拉低平均值。当使用 0 代替跳读区域的首次加工时间的时候，需要在文中明确标记出来。但是，跟反映首次加工的指标不同，如果首次通过某个区域后没有回视，那么该区域的第二遍阅读时间为 0，所以第二遍阅读时间的均值可以低于 100 毫秒（具体数值取决于回视的概率、回视注视点的多少和注视时间长短）。

二 空间指标

眼动的空间指标主要反映眼球运动的三个方面的内容：第一，某个字词有没有被注视；第二，注视的位置在哪里；第三，眼跳的方向和长度。围绕这三个方面的内容，研究者会计算跳视率、注视位置和眼跳长度，但是注视次数、再注视比率和回视次数（比率）也是跟空间落点位置相关的，所以研究者也会选择报告这些指标。