

## 交互式信息检索研究中的眼动追踪分析\*

吴丹 刘春香

**摘要** 眼动追踪技术在信息检索领域的应用研究较为广泛,对该技术进行分析可以更加深入地理解信息搜索背后的行为动机。交互式信息检索研究中常用的眼动设备分为远程眼动仪、头戴式眼动仪和开源资源三种类型,常用的眼动指标有功能识别指标和情感识别指标,眼动分析方法常与其他方法结合使用,主要有 Eye-Mouse 协同模式、Eye-NP 协同模式和 Eye-Cognition 协同模式,眼动追踪方法主要用于信息搜索行为影响因素研究,以及搜索引擎结果页面上的浏览行为、隐性相关反馈和预测推荐研究。基于上述发现,本研究构建了基于眼动的交互式信息检索模型,并提出眼动追踪在交互式信息检索研究中的四个应用趋势,包括:交互式信息检索中的认知差异研究;基于眼动的移动搜索研究;自然环境下的交互信息检索行为眼动研究;眼动追踪方法与其他多元化的分析方法的结合。图 1。表 4。参考文献 74。

**关键词** 交互式信息检索 信息搜索行为 眼动追踪 搜索引擎

**分类号** G254

## Eye-Tracking Analysis in Interactive Information Retrieval

WU Dan & LIU Chunxiang

### ABSTRACT

Eye-tracking was first used in the study of reading behavior, and with the development of this technology, it has been widely used in psychology, medicine, advertising, human-computer interaction and other fields. At present, the application of eye-tracking technology in the field of information retrieval is also a frontier topic. Interactive Information Retrieval (IIR) has a strong interdisciplinary nature, involving psychology, sociology, computer science and other fields. It is beneficial to use eye-tracking technology to better understand the motivation and mechanism of information seeking behavior. Although some studies have sorted out the application of eye tracking technology in the field of Library and Information Science, they have not yet elaborated the application of eye tracking technology in IIR and these studies only pointed out a general overview of eye tracking measurement indicators and the combination of eye tracking and other methods. The purpose of this paper is to expound the application of eye tracking technology in IIR as comprehensively as possible, and put forward the prospect of the research trends of eye tracking technology

\* 本文系国家自然科学基金面上项目“多设备融合的用户网络搜索行为建模与技术实现研究”(编号:71673204)和武汉大学人文社会科学青年学者学术发展计划学术团队项目“人机交互与协作创新团队”(编号:Whu2016020)的研究成果之一。(This article is an outcome of the project “Research on Modeling and Technology Implementation of Web Search Behavior Based on Multi-Device Fusion” (No. 71673204) supported by National Natural Science Foundation of China and the project “Human-Computer Interaction and Collaboration Team” (No. Whu2016020) supported by Wuhan University Independent Research Project (Humanities and Social Sciences).)

通信作者:吴丹,Email: danwoo@126.com, ORCID:0000-0002-2611-7317 (Correspondence should be addressed to WU Dan, Email: danwoo@126.com, ORCID:0000-0002-2611-7317)

in IIR.

The literatures used in this paper mainly come from databases such as WoS, ACM, Springer, Elsevier, Emerald, IEEE and CNKI. All of the selected literatures are closely related to IIR, the main method of which is eye-tracking. The retrieval methods of English documents are (“interactive information retrieval” or “information retrieval” or “information search behavior” or “information seeking behavior” or “web search”) \* (“eye-tracking”), and Chinese documents are (“交互式信息检索”OR“信息检索行为”OR“信息搜索行为”OR“信息搜寻行为”OR“网页搜索行为”).

Through reviewing the related researches, four findings can be concluded: 1) Eye-tracking devices used in the research of IIR can be divided into three types: remote eye-tracker, head-mounted eye-tracker and open resources; 2) Eye-tracking analysis indicators commonly used in IIR research can be divided into two categories: functional identification indicators (i.e. indicators inferring that stimulate materials can be noticed, found and recognized by the subjects) and emotional identification indicators (i.e. indicators that reflect the emotional and cognitive state of the subjects to stimulate); 3) Eye-tracking is often used in combination with other methods, including three patterns: Eye-mouse collaboration model, Eye-NP collaboration model and Eye-cognition collaboration model; 4) Four research topics about eye-tracking in IIR are identified: the factors that influence the information search behavior, the browsing behavior on SERP, implicit relevance feedback on SERP and the prediction and recommendation on SERP.

Based on the findings above, an eye-tracking-based interactive information retrieval model is constructed. Meanwhile, three limitations of the current work are pointed out, including: there is a lack of in-depth study on the factors affecting IIR, such as individual characteristics, memory load and cognitive style and so on; most studies focus on the application of eye-tracking technology in desktop, lacking of the application in mobile; most eye-tracking studies are performed in the controlled laboratory, and there is a lack of IIR research performed in real environment. In view of the current limitations, we propose four research trends of eye-tracking research in IIR, including: cognitive difference research in IIR, mobile search behavior based on eye-tracking, IIR research in natural environment, and the combination of eye-tracking and other research methods, especially neuropsychological methods. 1 fig. 4 tabs. 74 refs.

## KEY WORDS

Interactive information retrieval. Information search behavior. Eye-tracking. SERP.

## 0 引言

交互式信息检索(Interactive Information Retrieval, IIR)是信息检索领域的一个新兴研究主题。随着计算机技术、网络通讯技术,尤其是互联网技术的快速发展,人与信息检索系统之间的交互逐渐得到改善,开始由传统的以面向检索系统为主的交互方式逐渐向人与检索系统相融合的交互方式转变。用户在人机交互过程中

所起的作用与影响逐渐受到重视,如何更好地融合用户与检索系统的优势,提高信息检索系统的交互性能,从而更好地为用户提供精准、优质、便捷、高效的信息服务,是信息检索领域重点关注的课题之一。

在人机交互环境下,用户与信息检索系统之间的交互存在复杂性,用户的信息搜索、查询式构造、浏览、相关性判断、满意度反馈等行为需要通过与信息交互的方式来完成。此外,交互式信息检索环境下用户信息搜索行为

还包括用户的信息需求、信息搜索任务、认知研究、信息搜索策略、交互模型等<sup>[1]</sup>,这进一步增加了交互式信息检索研究的难度。交互式信息检索既涵盖了人机交互理论与人机交互技术,还涵盖了用户认知理论等,具有很强的学科交叉性。近几年,随着眼动追踪技术在心理学、医学以及人机交互领域中的广泛使用,其在交互式信息检索中的应用也逐渐引起了图书情报界的重视,眼动追踪成为传统的交互式信息检索研究的新兴研究方法,如搜索引擎结果界面(Search Engine Result Page, SERP)研究、信息搜索行为中的个体认知研究、搜索任务的影响研究等。2011年, Eileen 对 1986—2011 年眼动的有关研究进行综述,重点梳理了三种类型的眼动,即注视控制(Gaze Control)、平滑追踪运动(Smooth Pursuit)和扫视(Saccades),并且分析了这三种眼动与视觉之间的交互;指出过去 25 年的眼动研究主要集中于基础性问题,如保持注视稳定性的机制、眼动注视区域、眼动注视的原因以及执行复杂任务的时间等<sup>[2]</sup>。2016 年, Lund 较为全面地论述了眼动追踪技术在图书与情报科学中的应用,内容包括眼动追踪设备的类型、眼动追踪测量指标、眼动追踪技术在传统研究中的应用(包括视觉搜索、阅读任务、自然场景的认知和有用性研究)、眼动追踪与其他分析方法的结合(主要为出声思考法、日志分析法、面部表情和问卷调查)<sup>[3]</sup>。据笔者所知,目前尚未有研究就眼动追踪技术在交互式信息检索中的应用展开全面梳理。虽然 Lund 对眼动追踪技术在图书情报领域的应用研究进行了一定的梳理,但其内容尚未具体阐述眼动追踪技术在交互式信息检索中的应用,其对眼动追踪测量指标以及眼动与其他方法相结合的综述也较为笼统,侧重于描述性统计。

本研究在前人已有综述的基础上,尽可能全面地阐述眼动追踪技术在交互式信息检索中的具体应用,并就眼动追踪技术在交互式信息检索中的未来应用提出展望。本文综述的文献主要来源于 WoS、ACM、Springer、Elsevier、Emerald、

IEEE 以及中国知网(CNKI)等数据库,所选择文献的主题范畴为交互式信息检索,并且文献的研究方法主要为 eye-tracking。英文文献的检索式为(“interactive information retrieval” OR “information retrieval” OR “information search behavior” OR “information seeking behavior” OR “web search”) \* (“eye-tracking”),中文文献的检索式为(“交互式信息检索” OR “信息检索行为” OR “信息搜索行为” OR “信息搜寻行为” OR “网页搜索行为”)等。

## 1 眼动追踪技术与工具

### 1.1 眼动追踪发展概述

眼动追踪(Eye-tracking)是一种神经心理学方法(Neuro-Physiological, NP),目前广泛使用的神经心理学方法还包括脑电描记法(Electroencephalography, EEG)和功能性磁共振成像(Functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)等。同心脏周期变化(Heart Period Variability, HPV)、皮肤电导(Skin Conductance, SC)、瞳孔大小等一样,眼动追踪技术也是获取生理数据的重要来源<sup>[4]</sup>。眼动追踪技术就是利用特定的眼动设备或者眼动系统来记录一个人在某一环境中注视物体而产生的眼动数据,比如浏览文本、图像、视频、网页、真实场景的具体事物(如建筑、马路等)。

眼动追踪研究主要经历了三个发展阶段,第一阶段在 19 世纪末,眼动追踪首先运用于阅读行为研究中;第二阶段在 20 世纪初,眼动追踪运用于心理学的认知过程研究中;第三阶段在 20 世纪 70 年代,眼动追踪技术运用于眼动数据记录的获取,并且越来越多的研究领域关注眼动技术与眼动数据分析<sup>[5]</sup>。随着技术的不断完善,眼动追踪为心理学、医学、广告学、人机交互、市场决策、可用性研究等领域广泛采用<sup>[3]</sup>。

眼动追踪方法是交互式信息检索研究中最先使用的一种神经心理学方法<sup>[6]</sup>, Granka 等关于互联网用户行为的眼动研究被认为是第一个利用眼动追踪方法调查互联网搜索行为的研究

成果<sup>[7]</sup>。眼动追踪技术直接记录了用户本人的眼动活动,可以直接反映用户的生理和心理特征,因此眼动追踪方法广泛运用于信息搜索过程的研究中,如信息搜索过程的心理认知研究、搜索策略研究、信息浏览行为研究、网页可用性研究等。相比交互式信息检索研究中较为传统的基于日志数据的研究方法,眼动追踪方法更加关注用户自身的心理认知,可以更好地解释用户信息搜索行为背后更加深层次的动机,从而完善用户信息搜索行为的激励机制。

## 1.2 眼动追踪工具

眼动研究的热潮催生了诸多眼动设备。根据眼动研究的性质与特点,研究人员会对市场中的眼动设备进行相应的选择。Katti 等将眼动设备的选择范围划分为三种,即低价的开放资源、基于桌面端的眼动设备和基于头戴式的眼

动设备<sup>[8]</sup>。Lund 对图书情报领域中眼动研究所采用的眼动设备品牌进行了整理,将眼动设备分为两大类型:远程眼动仪和头戴式眼动仪<sup>[3]</sup>。本文基于交互式信息检索眼动研究的文献,将该领域研究中使用的眼动设备分为三种类型。第一种为远程眼动仪,可以进行远程遥控,对系统的要求较高,需台式机或者笔记本系统。第二种为头戴式眼动仪,非常适用于自然环境中的眼动研究,实验者可以随意移动,不受实验场所的限制。第三种为开源资源,一般为研究者开发的可记录眼动数据的算法和脚本等,通过相关程序开启电脑、笔记本、手机、平板等设备所带的摄像头来记录眼动数据;此类算法或脚本一般为开源性的,不仅可以免费获取,还可以方便地嵌入系统源代码中。交互式信息检索研究中使用的眼动设备产品以及分类如表 1 所示。

表 1 眼动设备产品及其分类

类型	品牌	用途及特点
远程眼动仪	Tobii, ASL, SMI, FaceLab, EyeLink, Smart Eye Pro, Arrington Research, Eye Response, LC Technologies, MyGazeEyetracker, EMR-AT VOXER, Motion Image Corporation, SensoMotoric	基于桌面,可远程控制
头戴式眼动仪	SMI, ISCAN, Motion Image Corporation, Quick Glance, EyeLink II, NAC EMR-8, Tobii Glasses	移动式,适用于自然环境或者移动任务中
开源资源	INTERFACE System <sup>[4]</sup> , SearchGazer ( <a href="http://webgazer.cs.brown.edu/search/">http://webgazer.cs.brown.edu/search/</a> ) <sup>[9]</sup>	开源算法或脚本,使用灵活度非常高

视觉刺激材料是眼动研究中不可或缺的实验工具。为了使研究的数据来源和数据质量更加可靠,不少研究采用了规模较大的视觉对象数据集。本文整理了交互式信息检索研究领域采用的数据集,如表 2 所示。NUSEF (the National University of Singapore Eye-Fixation database) 是专门用于眼动注视研究的免费数据库,数据来源为 18—35 岁本科生和研究生的眼动注视。NUSEF 数据库的主题包括 face (单个或多个人脸)、portrait (单个人的脸和身体)、

action (有一组交互对象的图像,如浏览、阅读等)、affect-variant group (2—3 组具有不同影响的图像) 以及其他主题。MART (Museum of Modern and Contemporar Art of Trento and Rovereto) 是社会网络中最活跃、最受欢迎的国际博物馆之一,与谷歌文化研究所展开合作,提供了大量高分辨率的作品,并提供在线浏览功能。deviantArt 是美国流行的国际性艺术社区,艺术作品类别包括摄影、数字艺术、传统艺术、文学等。

表 2 视觉刺激材料数据集

开放数据集	网址
NUSEF <sup>[8]</sup>	<a href="http://mmas.comp.nus.edu.sg/NUSEF.html">http://mmas.comp.nus.edu.sg/NUSEF.html</a>
MART	<a href="http://www.mart.trento.it/">http://www.mart.trento.it/</a>
deviantArt	<a href="https://www.deviantart.com/?offset=0">https://www.deviantart.com/?offset=0</a>

## 2 交互式信息检索研究中的眼动追踪方法及应用

### 2.1 眼动追踪的测量指标

眼动主要分为四种类型<sup>[5,10,11]</sup>,即注视(Fixations)、扫视(Saccades)、瞳孔扩张(Pupil Dilations)和扫视路径(Scan Path)。注视是指眼睛在某个特定的点上停留一段时间;扫视是指眼睛在注视点之间的快速移动或延续;瞳孔扩

张主要用于揭示用户浏览内容时的兴奋或兴趣<sup>[11,12]</sup>;扫视路径是指眼睛在注视点之间快速移动形成的轨迹。

注视是评估信息搜索过程中最相关的一种眼动指标<sup>[12]</sup>。通过注视点,可以清晰地知道用户搜索的内容以及用户关注的兴趣区域(Area of Interest, AOI)。目前多数研究集中在注视和扫视两个眼动中,尤其是注视。每种眼动都有其相应的变量,根据文献整理内容,主要研究的指标及其相应的变量解释见表 3。

表 3 眼动追踪指标分类

眼动特征	细分变量	变量解释
注视 (Fixations)	注视点个数 (fixation counts)	每个被试者在 AOI 区域内的注视点个数
	平均注视点个数 (average fixations)	所有被试者在 AOI 区域的注视点个数的平均值
	总注视时长 (total fixation duration 或 total fixation time 或 total length of fixations)	被试者在 AOI 内的注视时间总长度。长度的计算方式为:兴趣区内每个注视点的持续时间与每两点之间眼跳的时间之和
	平均注视时长 (average fixation duration 或者 average fixation time 或者 average length of fixations)	每个被试者在每个 AOI 内的注视时间长度
	首次进入前注视点个数 (previous fixations 或者 fixations before)	参与者首次注视 AOI 区域之前的所有注视点个数
	首次进入用时 (time to first fixation)	每个被试者从实验开始到第一个注视点进入 AOI 所用的时间
	注视点访问次数 (gaze visits)	被试者在选择目标之前访问注视该目标的次数
	注视位置 (fixation location)	参与者在 AOI 区域内注视的空间位置,用二维坐标表示
	注视序列 (sequence of fixations)	注视点出现的顺序

续表

眼动特征	细分变量	变量解释
扫视 (Saccades)	扫视频度 (frequency of saccade)	被试者扫视的频数
	扫视时长 (duration of saccade)	被试者扫视时长
	平均向前扫视长度 (average forward saccade length)	被试者从左到右扫视时的长度
瞳孔扩张 (Pupil dilations)	平均归一化右瞳孔直径 (average normalized right pupil diameter)	可以用于测量被试者的精神压力状况。当一个被试者在某件事中需要集中所有精力,他的精神压力就很高,那他完成任务的表现可能较差
	平均归一化左瞳孔直径 (average normalized left pupil diameter)	
	平均右瞳孔扩张速度 (average right pupil dilation speed)	瞳孔扩张可以反映出被试者的情绪变化,如果看到感兴趣的或者兴奋的区域,瞳孔会扩张
	平均左瞳孔扩张速度 (average left pupil dilation speed)	
扫视路径 (Scan path)	眼睛路径序列 (eye-path sequences)	被试者所有注视点按照出现的先后顺序连接而成的路径

注视是最能反映被试者信息搜索和浏览过程特征的一种眼动, AOI 内的注视点数量、注视时长、注视位置等变量, 可用于研究用户的浏览行为模式、相关性判断以及用户感兴趣的页面元素、页面设计的可识别性等。

扫视眼动可以反映被试者的浏览模式, 通过扫视频度、扫视时长等变量分析被试者采取的信息浏览策略, 如快速浏览策略 (Skimming Strategy)、阅读策略 (Reading Strategy) 等, 除此之外, 扫视眼动指标也可以用于分析目标物的可找到性 (Findability)。

瞳孔扩张是分析被试者认知过程 (Cognition Progressing) 的重要眼动。当被试者注视到感兴趣的目标, 通过瞳孔扩张反映其对目标物的出现感到兴奋, 从而看出被试者的情绪变化。

Sari 等<sup>[13]</sup>将眼动变量的功能分为两大类: 吸引力指标 (Attraction Measurement) 和表现指标 (Performance Measurement)。吸引力指标又分成注意力区指标 (Area Noticeable Measurement, ANM)、兴趣区指标 (Area Interest Measurement, AIM) 和情绪激发指标 (Emotional Arousal Meas-

urement, EAM); 表现指标又分成精神负荷指标 (Mental Work Load Measurement, MWM)、认知过程指标 (Cognition Processing Measurement, CPM)、目标可找到性指标 (Target Findability Measurement, TFM) 和目标识别指标 (Target Recognizability Measurement, TRM)。该眼动变量的功能分类虽然是从网页设计的角度进行归纳的, 但从眼动分析角度而言, 网页与图像、视频等都是交互式信息检索中重要的视觉刺激材料, 因此该眼动变量的分类也适用于交互式信息检索眼动研究。

基于 Sari 归纳的眼动变量分类, 本文根据眼动变量在交互式信息检索研究中所起的具体作用, 将其分为两大类: 功能识别指标 (Functional Recognition Measurement) 和情感识别指标 (Emotional Recognition Measurement)。

(1) 功能识别指标: 反映刺激材料 (文本、图片、视频、网页等) 呈现的方式, 即刺激材料能够被试验者注意、找到以及识别其功能的指标。该类指标具体包括:

①首次进入前注视点个数 (previous fixa-

tions):该值越高,说明 AOI 区域内的目标的识别性越低,越不能被试验者注意到。

②首次进入用时(time to first fixation):该值越高,说明 AOI 区域内的目标越难被试验者找到。

③扫视时长(duration of saccade):扫视时间越长,说明试验者浏览速度越慢,目标越难被找到。

④注视点访问次数(gaze visits):该值越高,说明试验者需要花更多的努力去识别目标的功能。

(2)情感识别指标:反映被试者对刺激对象的情感与认知状态,包括被试者对刺激对象感兴趣的程度、情绪的兴奋程度、精神负荷程度等,该类具体指标包括:

①注视时长(fixation duration):该值越高,说明试验者对 AOI 内的对象越感兴趣。

②注视点个数(fixation counts):该值越高,说明试验者集中于 AOI 内的注意越多,对 AOI 内的对象越感兴趣。

③瞳孔半径(pupil diameter):该值越高,说明试验者需要更加集中注意力于目标任务,其精神负荷越大。

④瞳孔扩张速度(pupil dilation speed):该值越高,说明试验者对 AOI 内的刺激对象的兴奋程度越高,对该刺激对象越感兴趣。

## 2.2 眼动追踪方法在交互式信息检索研究中的应用模式

### 2.2.1 Eye-Mouse 协同模式

除了运用眼动数据记录用户生理状态外,在交互式信息检索研究中,不少文章探索运用多种定量分析方法相结合的方式更全面地分析用户信息搜索行为。Eye-Mouse 协同模式的定量分析方式经常应用于 SERP 研究中<sup>[14-18]</sup>。眼动和点击是信息搜索过程中用户反馈行为的两个重要表现。通过眼动数据可以分析用户的浏览行为,如分析页面浏览的方式是 Top-Bottom 或者 Bottom-Top,此外,还可以通过眼动数据分析搜索结果页面中用户感兴趣的元素(如概要、

片段、图片、广告等);而通过鼠标数据,则可以分析用户的点击行为,如分析搜索结果列表的点击行为来判断搜索结果的相关性、搜索结果链接的点击深度等。Eye-Mouse 协同模式最明显的好处就是可以比较直观地分析用户鼠标移动、结果页面浏览行为以及点击行为之间的关系。Rodden 等<sup>[17]</sup>发现用户鼠标多数情况是静止状态,只有当浏览到第 5 个结果时才会移动鼠标并且决定点击结果链接。由于当前市场上大多数眼动设备是商业类型的,价格昂贵,因此也有研究在探讨鼠标移动替代眼动工具的可能性,如 Chen M.C 等<sup>[19]</sup>描述了注视位置与光标位置之间的关系,结果发现这两者之间存在很强的相关关系,即如果用户注视在某一个兴趣区,那么其光标也会移动到该兴趣区,因此鼠标移动替代眼动工具或者眼动系统成为可能,尤其在网页的可用性研究中。

### 2.2.2 Eye-NP 协同模式

随着神经生理(Neuro-Physiological, NP)数据记录手段的进步,其他神经生理方法(如面部肌肉、心率、皮肤、瞳孔等)与眼动方法相协同的定量分析方法也逐渐被运用到信息检索领域。2015 年,谷歌举办了主题为“信息检索研究中的神经生理方法”(Neuro-Physiological Methods in IR Research, NeuroIR 2015)的研讨会,介绍了信息检索领域中应用的 NP 工具,如 fMRI、fNIRS、EEG、Eye-Tracking、GSR、HR、面部表情等<sup>[20]</sup>。在交互式信息检索研究中,与 Eye-Tracking 协同使用的 NP 方法主要包括脑电描记法(Electroencephalography, EEG)、肌电描记术(Electromyography, EMG)以及功能性磁共振成像(Functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)。EEG 可以记录与大脑活动相关的电子信号,辅助研究者调查试验者对刺激材料或者搜索任务的大脑反应。EMG 是记录肌肉活动的一种生理方法,能够记录用户的面部表情,从而判断用户在信息搜索过程中的情绪变化。fMRI 也是一种记录大脑活动的方法,能够调查搜索活动对大脑的影响,如与大脑记忆、决策过程有关的大脑

活动,能够评估大脑特定区域对执行搜索任务的贡献,能够通过 fMRI 进行阅读行为和搜索结果相关性判断分析。fMRI 给用户 提供刺激材料或者简单的任务,并要求用户重复任务或者相似的任务,也叫作基于事件的会话或设计(event-based 或 event-based design)。fMRI 往往需要一个完整的搜索流程,包括提问题、构造查询式、执行搜索、重新访问、解释等。

NP 方法在探索信息搜索过程中的用户角色方面有重要作用。Mostafa 等<sup>[6]</sup>描述了 NP 方法的三种模式,即 Eye-Tracking、EEG、fMRI,并提出了 NP 反应与行为反应的双向(Two-way Street)模型。模型的第一阶段为:在搜索情境中将 NP 反应与某特定行为反应相关联;第二阶段为:随着行为反应自信度的提高,增强试验者的适应性并改善交互行为。脸部表情研究方法逐渐运用到图书情报领域<sup>[3,21]</sup>,如 Knäusl 等<sup>[22]</sup>在评估搜索行为中情境、用户偏好以及搜索内容三者关系的研究中记录了两种面部肌肉活动,即皱眉肌和颧骨,用以分析用户的情感反应。Anita 等<sup>[4]</sup>在分析信息行为的文化差异研究中,运用四种生理数据,即心率变化(Heart Period Variability,HPV)、皮肤电传导(Skin Conductance,SC)、瞳孔大小(Pupil Size)和眼动追踪数据,用以分析用户高负荷精神努力过程以及用户的情绪反应。

### 2.2.3 Eye-Cognition 协同模式

定量分析方法可以较为客观地反映用户的信息行为特征,为信息搜索行为分析提供可量化的数据指标,但是交互式信息检索不仅包括用户的搜索行为本身,还包括了心理认知的过程。虽然包括眼动在内的生理数据记录技术能够在一定程度上为心理认知过程提供客观数据,但也存在局限性。如生理记录技术本身存在局限性;定量分析方法往往无法深入地分析用户实际的心理活动,无法深入挖掘用户背后隐藏的行为动机。因此,认知方法也常作为辅助手段用于交互式信息检索研究。认知方法指的是能够通过交谈、观察等方式直接获取用户

感觉、知觉、情绪、喜好等心理认知状态的一种研究方法。问卷是运用最普遍的认知方法,通常包括两种类型,第一种是人口统计信息问卷,包括性别、年龄、文化水平、背景、上网经历、信息搜索经历等;第二种是用户认知类型问卷,主要用于判断结果的相关性、偏好、满意度等<sup>[23]</sup>。访谈也是重要的认知方法,尤其半结构化的出声思考法,包括回顾型出声思考法(Retrospective Think-aloud, RTA)和并发型出声思考法(Concurrent Think-aloud, CTA)<sup>[3,24-27]</sup>。出声思考法是网络信息行为研究的一个重要分析方法,可以为认知过程模型和理论提供科学支持,发现和理解信息交互行为的模式,同时还可以用于网页可用性研究。问卷与眼动协同,能够应用于信息搜索行为影响因素研究。如有研究通过眼动实验,研究问卷中所涉及的个人特征差异(性别、年龄、文化背景、先验知识等)对用户搜索、浏览、相关性判断、信息决策等行为的影响<sup>[4]</sup>;也有研究通过出声思考法辅助理解用户对任务复杂度的认知情况(如对高亮单词或词组的识别难度)<sup>[25]</sup>,或者通过出声思考法判断用户在任务执行过程中的精神负荷、心理感受以及对目标对象的注意力等<sup>[27]</sup>,通过眼动数据的定量分析与问卷、访谈等认知方法的定性分析,可以更加全面、准确地理解用户信息搜索行为的特征及行为动因。

## 3 基于眼动追踪的信息搜索行为影响因素研究

### 3.1 个体特征对信息搜索行为的影响

信息搜索过程是用户心理反应与行为反应相互作用的认知过程,涉及长期和短期记忆、背景知识、空间认知和心理模型等关键因素<sup>[6,28]</sup>。认知因素与用户个体特征等对信息搜索行为具有重要的影响,这两者间的关系常常作为预测信息搜索行为倾向的一种工具<sup>[28]</sup>。

认知因素反映的是信息搜索过程中的个体差异,即反映用户根据自身的认知技能和能力

在信息搜寻、信息表示、信息处理、信息检索等方面存在的偏好与差异。知觉速度(Perceptual Speed)与工作记忆(Working Memory)是认知技能和能力的重要体现<sup>[29]</sup>,也是影响认知流畅性的重要因素。认知流畅性(Cognitive Fluency)指的是以快速、顺利的方式来完成任务的能力<sup>[30]</sup>,在信息搜索过程中具有重要的作用。通过结合客观的眼动数据和主观数据可以分析信息搜索过程中的认知流畅性,如追踪用户的浏览时间、处理信息的速度与准确性、用户对任务难易程度的主观描述等。工作记忆是认知能力的重要考量因素,人类的心理能力会受到有限的工作记忆的限制。Gwizdka等<sup>[31]</sup>通过一个眼动实验调查了工作记忆对搜索努力(Search Effort)的影响,眼动变量包括查询式进入时长、网页访问数量与时长、SERP访问数量与时长、阅读与扫视注视点数量等,通过该实验发现,具有较高工作记忆的信息搜索者会执行更多的行动,并且与Brennan等<sup>[32]</sup>的结论相反,低工作记忆能力的搜索者在任务中所花的时间更少,但是高工作记忆组与低工作记忆组之间的差异不明显,说明除了工作记忆外,还有其他因素会影响搜索任务中所投入的努力程度,如其他认知能力、个人兴趣和先验知识。

个体特征反映的是个体在一定环境下表现出的差异性,包括性别、年龄、文化背景、性格特征、认知风格等。近年来,许多研究采用眼动方法来分析个体差异对信息搜索行为的影响<sup>[28,33,34]</sup>。Lorigo等<sup>[35]</sup>使用眼动方法分析了性别与任务对谷歌搜索引擎上的搜索行为的影响,通过实验发现,注视时间与瞳孔扩张会受到任务而不是性别的影响,而评价查询结果的模式却会受到性别而不是任务的影响,男性在结果列表中往往会进一步查看摘要,查看摘要的顺序更加线性并且更少出现返回行为。老人、年轻人、青少年、儿童等不同年龄段的信息搜索者,在信息搜索策略、信息浏览行为、结果相关性判断、网页可用性评估等方面可能存在差异。如Gossen等<sup>[36]</sup>利用眼动方法比较成年人和儿

童在标准化搜索引擎(Google)与儿童专用搜索引擎(Blinde-Kuh)上信息搜索行为的区别,实验发现成年人和儿童都更加偏向使用标准化搜索引擎,但是两者对SERP元素的认知存在差异,孩子在搜索结果相关性判断方面存在更大的困难,儿童使用广度优先搜索策略来检查整个结果列表,而成人只检查第一个结果并重新生成查询。文化差异也是近年来信息搜索行为眼动研究的重点因素,从文化认知的视角考察人们在信息搜索策略、信息浏览行为、搜索结果相关性判断、SERP元素的视觉浏览等方面的差异,涉及搜索风格、认知风格、语言差异、搜索系统差异、信息分类差异等因素<sup>[4,11,14,37-41]</sup>。目前,性格特征对信息搜索行为的影响研究相对缺乏,Al-Samarraie<sup>[28]</sup>等探索了人格五因素模型(Five Factor Model of Personality,也称为“Big Five”)对在线搜索行为的影响,发现注视数量、注视时长、瞳孔大小等眼动变量能够反映和预测一个人在信息搜索中的性格特征,基于此发现,该文提出利用眼动特征来描述个体性格,从而使人工智能系统能够定制个性化的信息搜索设置。用户偏好是个体性格的一个方面,用户偏好与情境、搜索内容等有很大的关系,对浏览等信息搜索行为会产生重大影响<sup>[22,40]</sup>。

### 3.2 任务对信息搜索行为的影响

情境(Context)是影响个体信息搜索行为的客观要素,具体包括时间、地点、任务等要素<sup>[42]</sup>。目前信息搜索行为眼动研究主要集中于探索任务情境(Task Context)对搜索行为的影响。

信息搜索行为眼动研究中,搜索任务一般分为三类,第一类为导航任务(Navigational Task),即搜索特定的网页;第二类为信息任务(Informational Task),即寻找某个话题的相关信息;第三类为交易任务(Transactional Task),即具体执行某种行为,如网上购物<sup>[35]</sup>,其中导航任务和信息任务是研究中最常用的两种任务类型。在SERP研究中,任务是研究者们重点关注的要素之一,任务类型对查询式构造、浏览、点

击、满意度反馈等行为过程中的眼动特征等具有重要的影响,如 Kim<sup>[16]</sup>在不同大小屏幕上的浏览行为差异研究中发现,不同的任务类型,浏览行为的眼动特征存在差异,无论是大尺寸还是小尺寸的屏幕上,信息任务所花的注视时长均高于导航任务。Hofmann 等<sup>[43]</sup>通过用户与自动查询式的交互行为眼动研究,也发现不同任务类型下的查询式构造时间存在差异。卢万饒<sup>[44]</sup>在研究中发现用户在一般信息需求的搜索任务中更加忙碌并且满意度更低。

任务具有多个维度,比如任务复杂度、任务成果、任务目标(即任务数量)和任务水平、任务顺序、任务紧急性以及任务的独立性等<sup>[45]</sup>,其中任务复杂度和任务水平是眼动研究中最受关注的两个维度。任务复杂度通常与信息类型和信息来源有关,任务复杂性主要通过任务数量、任务所需时间、导航页面的路径深度等来测量。任务水平体现搜索内容的细粒度水平。在信息搜索行为眼动分析中,搜索水平主要划分为两类,一种为粗粒度搜索内容,如整个文档,另一种为细粒度搜索内容,如某一个片段、摘要等。任务复杂度对信息搜索行为的多个方面都会产生影响,如交互系统的选择(即信息来源的选择)、信息需求的定义(即查询式的构造)、信息决策、网页搜索结果页面的浏览行为、点击行为、用户交互体验、满意度、搜索目标的成功率等。任务复杂度和任务水平的不同,用户的注视点数量、注视时间、扫视路径、瞳孔半径变化等会有所不同。如 Liu 等<sup>[45]</sup>利用眼动方法探究了四个不同任务类型下的搜索行为特征,并探究了任务以及任务的四个维度(包括任务的复杂度、任务水平、搜索任务的成果、搜索任务的数量)对眼动的影响,通过实验发现,只有平均扫视距离数据不是正态分布的,任务对平均扫视距离以及阅读行为转为扫视行为的比率具有显著影响,任务复杂度和任务水平两个维度对平均扫视距离也具有显著影响。Rayner 等<sup>[5]</sup>的实验结果也发现搜索任务的难度会影响眼动,在一系列的搜索任务中,用户的注视越长,扫视

越短,意味着有更多的眼动行为。

## 4 基于眼动追踪的搜索引擎结果页面 (SERP) 研究

### 4.1 基于眼动的 SERP 页面元素

SERP 页面元素指的是参与者浏览 SERP 时所关注的页面要素。随着眼动的运用,SERP 研究中所关注的内容更加细粒度化,研究对象由过去以整个文档或者整个页面为主逐渐向以页面的具体元素转变。如表 4 所示,目前,基于眼动的 SERP 研究关注的页面元素主要包括:排序 (ranking)、片段 (snippet 或 surrogate, caption, abstract, summary, introduction)、标题 (title)、图片 (image 或者 thumbnail)、导航 (navigation)、链接 (URL)、搜索框 (search box) 等,除此之外,还有研究者关注广告 (ads)、相关搜索 (related search)、社会化标注 (social annotation)、自动搜索结果 (organic search result)、自动拼错校正 (automatic misspell correction)、站点地图 (sitemap)、页脚地图 (footer sitemap)、元数据 (metadata)、跨设备搜索的历史信息等<sup>[7,15,27,33,46-55,56-59]</sup>。

SERP 页面元素的位置、样式(如大小、加粗、颜色)、页面元素的丰富性等是信息搜索行为眼动研究中重点关注的内容。页面元素的位置直接影响用户的浏览行为和决策行为。研究表明左上、中左和中心是获得首次注视点最多的三个区域,此外,通常排在第一个和第二个位置上的搜索结果所获得的注视点最多,在排序位置较低的搜索结果中,第一个和第二个单词最能吸引用户注意力<sup>[7,33,47]</sup>。此外,页面元素的位置对搜索目标的搜索效率具有影响,如用户在浏览高校图书馆门户网站主页时,目标对象处在左上、左下、中部、右上、右下五个不同位置时的搜索效率是不同的<sup>[60]</sup>。

元素样式是影响用户与 SERP 交互的重要因素,页面元素的大小、加粗、颜色等样式不仅影响元素的可见性,还因用户的审美、兴趣等对 SERP 的眼动行为产生重要影响。有研究

表 4 SERP 页面元素及眼动特征

页面元素	研究角度	研究目的	主要眼动特征
标题、摘要	位置排序; 元素样式(关键词加粗)	相关性判断; 视觉策略	①前三个(尤其第一和第二)标题注视数量最多、注视时间最长,排在底部的标题注视数量更少; ②加粗关键词获得更多的注视点和更长的注视时间,并且更容易被认为与查询词相关。
URL、作者、社会化标注	页面位置	相关性判断; 可信度判断	①相比标题和摘要,其受到较少的关注; ②先验知识和领域知识影响其眼动特征;往往具有丰富领域知识的用户更加关注 URL、作者、社会化标注等的权威性,以此作为相关性判断依据; ③元素在页面位置的不同,获得的眼动注视也不同。
图片、广告	页面位置、大小、元素组合	视觉策略; 相关性判断	①图片的大小影响眼动注视:大图片获得更多的注视点,而缩略图获得更少的注视点; ②页面顶部位置的图片或者广告获得更多的注视点和更长的注视时间; ③图片或者广告的质量影响眼动注视,高质量图片或者广告获得更多注视; ④经济型搜索者一般优先注视广告或者图片,然后再注视其他页面元素。

表明,页面元素的大小本身不会引发注意力,但是对注意力的维持具有显著影响<sup>[55]</sup>,但也有研究表明图片的大小对眼动注意力产生较大的影响,较大的图片往往能够获取更多的眼动注视,而缩略图则获得更少眼动注视<sup>[27]</sup>。页面元素的加粗样式不仅影响用户的浏览行为,还影响 SERP 的相关性判断以及用户的信息决策行为。标题元素或者摘要元素中加粗关键词更容易受到用户的注视,并且经济型信息搜索者一般不会对 SERP 页面进行穷尽式浏览,他们往往选择跳跃式方式浏览,当浏览到的加粗关键词与查询词相同或者相近时,便不会再继续浏览详细信息,而是跳转到下一个搜索结果查看加粗关键词,并对其进行相关性判断,进而进行信息决策。用户通过加粗关键词进行相关性判断时,往往容易忽略关键词在整个文本信息中的语义相关性<sup>[7,61]</sup>,用户更加强调和重视加粗关键词与查询词的一致性。此外,由于具备较少的先验知识或者领域知识,年龄较小

的孩子也更容易注视到加粗关键词,并且更加信任加粗关键词的相关性<sup>[61]</sup>。颜色样式主要对图像视觉搜索具有影响,研究表明颜色数量和颜色一致性均对图标的搜索效率产生影响,单色图标以及颜色不一致时的图标搜索效率会更高<sup>[62]</sup>。

页面元素的丰富程度不同, SERP 的眼动特征也不同。Marcos 等<sup>[15]</sup>研究了单一(Plain) SERP 与丰富(Rich) SERP 的眼动差异。单一 SERP 只包含原始搜索结果,一般由文本类页面元素构成,而丰富的 SERP 不仅包括原始搜索结果,还包含图片、广告等多种形式的搜索结果。研究结果表明,元素的丰富性(plain 还是 rich)不会对 top-rank 位置上的眼动产生影响,但是元素的丰富性仍然是影响 bottom-rank 眼动的重要因素,相比较单一 SERP,丰富性高的 SERP 元素会更早被注意到,并且被注视的时间更长。此外,多媒体信息是最容易受到注视的 SERP 元素。有研究表明无论网页信息是否过载,用户

视觉搜索都是以图为导向的,并且都呈现周边特性<sup>[63]</sup>,并且图片复杂程度会对搜索效率产生影响,用户在简单图片上对目标对象的搜索效率更高<sup>[64]</sup>。

除了页面元素自身特征会对眼动产生影响外,用户搜索意图也会对眼动产生重大影响。用户搜索意图不同,用户关注的页面元素也会有所不同。如信息类中,用户更加关注片段以便快速查看搜索结果是否能够解决问题;导航类信息中,用户则会更加仔细阅读标题以查看是否相关;交易类信息中,用户将更多地关注链接,特别是广告的标题;在自动化结果中,它将检查标题和代码片段,但不像在信息搜索中那样,而在多媒体信息中,用户则将注意力集中在图片上<sup>[48]</sup>。

#### 4.2 基于眼动的 SERP 隐性相关反馈 (IRF)

眼动是隐性相关反馈 (Implicit Relevance Feedback, IRF) 的重要表现形式。搜索结果的相关性反馈主要是根据 SERP 眼动视觉行为特征进行判断的。视觉理论 (Examination Hypothesis) 认为当且仅当搜索结果吸引用户以及被用户监视时,该搜索结果才会被用户点击,也就是说视觉行为是点击行为的先决条件<sup>[65,66]</sup>。基于眼动的视觉行为可以隐性地反映用户在搜索结果的注意力分布、精神负荷、偏好程度等。根据眼动的注视和扫视路径特征,视觉行为可以分为两种类型:浏览行为 (Skimming 或者 Scanning) 和阅读行为 (Reading)<sup>[18,25]</sup>。浏览行为是指快速查看搜索结果,而阅读行为是指慢速、仔细地查看搜索结果。这两种类型的视觉行为在眼动特征方面存在明显差异,相比较浏览行为,阅读行为的眼动注视点数量更多、注视时间更长、扫视路径更具连续性。

目前,多数研究将注视数量和注视时长作为搜索结果相关性反馈的主要依据。相关性反馈模式主要分为两种,第一种为“注视—点击 (fixation-click)”模式,该模式认为注视即点击,搜索结果的注视点数量越多,注视时间越长,其相

关性越高,用户点击行为发生的可能性越高;第二种为“浏览—阅读—点击” (skimming-reading-clicking) 模式,该模式主张注视是阅读行为的先决条件,而阅读搜索结果是点击搜索结果的先决条件,并且认为简单地将注视数量、注视时长等眼动特征作为搜索结果判断的基础依据是不够准确的,可能会误导我们对信息搜索行为的理解<sup>[18]</sup>。第二种模式包括两个过程,分别为“浏览—阅读” (skimming-reading) 和“阅读—点击” (reading to clicking)<sup>[18]</sup>。这两个过程均涉及相关性判断,但各阶段相关性判断采用的信号不同。Skimming-reading 阶段,用户需要快速判断该搜索结果是否相关,然后再决定是否需要阅读,因此这个阶段所获取的信息一般比较少,相关性判断不会太依赖于片段文本内容的理解,为了提高浏览效率,用户往往会选择线索跳跃式的浏览方式,比如查看标题是否包含查询词、摘要中的加粗关键词是否符合查询条件、URL 的地址是否为熟悉领域的“权威”地址等<sup>[7,61,67]</sup>。此外,在该阶段,搜索结果的排序位置对相关性判断尤为重要,一般而言,前三个结果 (尤其第一个和第二个结果) 被注视的最多,并且用户倾向于选择第一个搜索结果<sup>[18,46,47]</sup>。Reading-clicking 过程一般获取的信息比较多,相关性判断更加基于片段文本内容的理解,阅读行为有助于提高搜索结果的准确性<sup>[68]</sup>,因此该过程的注视数量往往更多,注视时间更长。

值得注意的是,基于眼动的隐性相关性反馈是一个复杂的过程,搜索结果相关性反馈行为与用户的个体特征以及用户所在的情境密切相关,并非所有被阅读或者被长时间注视的搜索结果 (即使该搜索结果高度相关) 都会被用户点击,在浏览或者阅读过程中,还会受到各种因素的干扰,比如搜索任务的回忆、搜索历史回顾、相关知识的联想等。因此要利用眼动方法更好地理解信息搜索行为,不能只简单地关注搜索结果的眼动注视特征,还应该关注用户个体特征以及所在情境,同时还需要

结合鼠标点击、出声思考法等显性相关反馈的方法。

### 4.3 基于眼动的 SERP 预测与推荐

眼动作为隐性相关反馈的重要表现形式之一,通过眼动注视和瞳孔扩张特征,可以隐性地反映用户对 SERP 的认知,如反映用户在 SERP 上的兴趣区域、反映用户对页面组织结构以及页面元素显著性的认知、对搜索结果排序的认知、对搜索结果相关性以及权威性的判断等。近年来,眼动隐性反馈被广泛运用于 SERP 预测与推荐研究中,比如自动化查询式推荐、搜索结果推荐等。

自动化查询式推荐(Query Auto Completion),即“即时检索”(just-in-time)或者“零努力查询”(Zero-Effort Queries)是指通过所给的查询式,结合用户所在的情境,为用户自动提供新的相关查询词,使用户能够以最少的努力搜索到所需的信息。近年来,许多学者基于眼动隐性反馈,采用技术手段自动挖掘查询术语之间的潜在语义关系,挖掘用户潜在查询意图,为用户提供查询式建议,如 Chen Y 等<sup>[41]</sup>利用 LDA 方法,提出了基于实时眼动追踪的查询式扩展方法,Hardoon 等<sup>[69]</sup>采用 SVM 技术,在考虑到眼动的情况下,生成一个“查询”的预测器,为不具有先验知识的用户提供“可选查询式”。此外,许多研究利用眼动方法分析人与自动化查询式推荐系统的交互行为,如 QAC 的使用倾向性、QAC 排序质量的影响、QAC 查询式的视觉注意力等<sup>[23,43,70,71]</sup>。

用户在 SERP 上的眼动注视特征和瞳孔扩张特征,在很大程度上可以反映出用户对搜索结果相关性的判断以及用户的兴趣,用户在搜索结果上的注视点数量越多,注视时间越长,说明搜索结果的相关性可能就越高,用户对该结果越感兴趣。因此,许多研究基于眼动特征,抽取出一系列用于描述 SERP 页面元素的特征值,并利用一定的技术手段,预测用户可能浏览的搜索结果,从而向用户推荐高相关性的搜索结果,比如 Vrochidis 等<sup>[12]</sup>基于眼动特征,抽取视

频特征,运用 SVM 方法训练了一个二进制分类器,预测新用户可能浏览的视频,从而为以后提交相似查询式的用户推荐搜索结果。Xu 等<sup>[21]</sup>基于脸部表情和眼动特征,提出了一个新的网页个性化推荐算法,可以用于预测用户在 SERP 上潜在的阅读兴趣,从而为用户提供个性化推荐。此外,眼动还被用于推荐系统的优化研究中,如 Beckers 等<sup>[72]</sup>利用眼动数据、系统日志数据以及调查问卷,开发了 IIR-PRP 系统(Interactive Information Retrieval Probability Ranking Principle),提高搜索结果选择的效率,从而优化交互式信息检索系统。Zhao 等<sup>[73]</sup>利用小规模眼动数据,采用线性模型和 Hidden Markov 模型来预测其他用户的眼动注视模式,从而优化推荐系统。Giordano<sup>[74]</sup>等开发了一种基于主动内容的推荐系统,该系统利用眼动特征来捕获用户的兴趣,优化了推荐系统的性能,从而为用户推荐产品。

## 5 总结

### 5.1 基于眼动的交互式信息检索模型构建

基于 Raptis 等<sup>[29]</sup>提出的“认知风格隐式诱发的眼动多因素模型”(eye-tracking multifactorial model for implicit elicitation of cognitive styles),结合相关的交互式信息检索眼动研究成果,本文构建了“基于眼动追踪的交互式信息检索模型”。这一模型是对 Raptis 模型的具化和完善,具体体现在:①模型进一步具化了信息搜索行为的影响因素,除了 Raptis 提及的个体因素外,还增加了情境因素;②模型详细指出眼动追踪在交互式信息检索中的应用,如浏览行为和隐性相关反馈行为等;③模型归纳了眼动方法的具体应用模式。此外,Raptis 模型更加侧重于视觉搜索行为,其适用范围更加广泛,而本文模型则聚焦于交互式信息检索,其适用范畴更加专指。本文提出的模型包括三大部分:眼动变量、眼动追踪方法的应用模式,以及眼动在交互式信息检索中的应用主题(见图 1)。

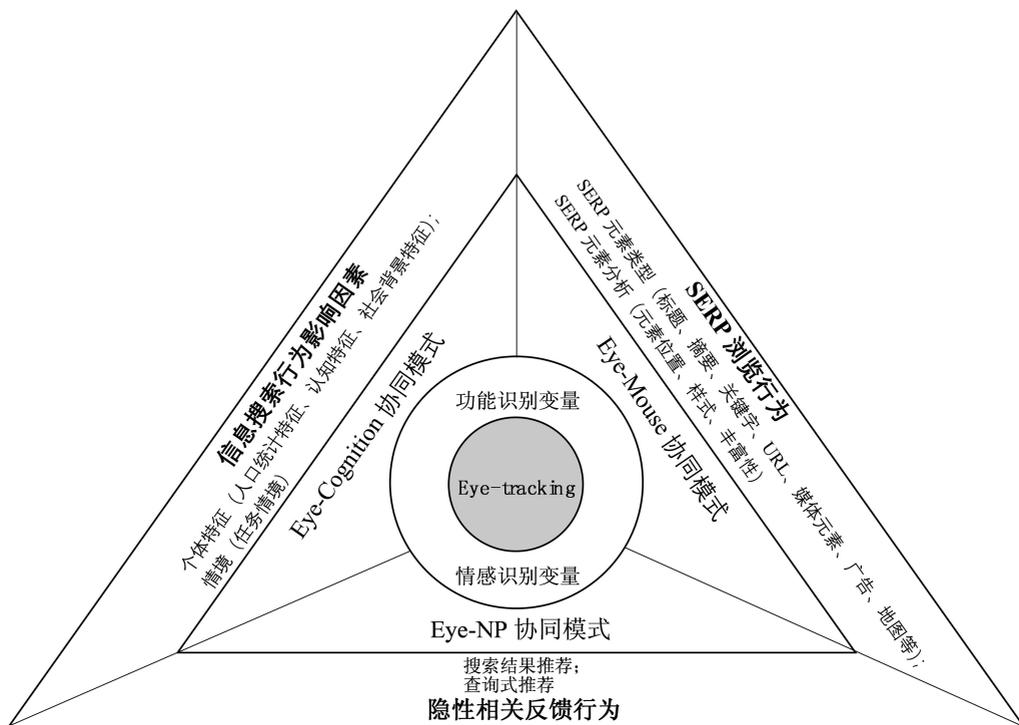


图1 基于眼动追踪的交互式信息检索模型

眼动变量分为功能性识别类变量和情感识别类变量。功能性识别类变量指的是刺激材料（即视觉对象）能够被试验者注意、找到以及能够识别其功能的指标变量，如首次进入前注视点个数、首次进入用时等。情感识别类变量指的是反映试验者对刺激对象的情感与认知状态的变量，包括试验者对刺激对象感兴趣的程度、情绪的兴奋程度、精神负荷程度等，如注视点个数、注视点时长、瞳孔半径与扩张速度等。

在交互式信息检索眼动研究中，眼动分析方法往往不会单独应用，而是通常会与其他方法结合应用，结合模式主要分为三种：Eye-Mouse 模式、Eye-NP 模式和 Eye-Cognition 模式。Eye-Mouse 模式主要应用于 SERP 相关性反馈研究中，利用眼动数据与鼠标日志数据，可以更好地研究 SERP 浏览行为与点击行为之间的关系。Eye-NP 模式则可以从多个生理维度，如眼动、面

部表情、心跳、大脑活动等来解释信息搜索活动的认知过程，以及个体特征（如记忆）对信息搜索行为的影响。Eye-Cognition 模式通过定量分析与定性分析两种方法，可以更加全面地获取用户认知特点，眼动设备能够记录信息搜索活动中的人机交互过程，而问卷调查、访谈、出声思考法等定性方法能够收集用户的个体情况、用户偏好、用户即时的精神负荷情况、用户对周围环境的认知情况等。因此 Eye-Cognition 模式可以应用于信息搜索行为的影响因素研究，如个体特征和情境因素等。

眼动追踪方法在交互式信息检索研究中的应用主题主要包括：SERP 浏览行为研究、隐性相关反馈行为研究和信息搜索行为影响因素研究三个方面。在 SERP 浏览行为研究方面，通过研究页面元素（如标题、摘要、URL、媒体元素等）的眼动特征以及页面元素的位置、样式、元

素所呈现的信息密度等对眼动的影响,来分析 SERP 浏览行为的特点,如 SERP 浏览模式等。眼动是隐性相关反馈的重要表现形式,而相关性反馈主要是根据 SERP 眼动视觉行为特征进行判断的。注视点数量和注视时长是相关性判断的重要指标变量,一般认为, SERP 搜索结果上的注视点数量越多,注视时间越长,说明该搜索结果越相关。因此,基于眼动隐性相关反馈,许多研究提出或开发了基于眼动的 SERP 预测与推荐技术,包括基于眼动的搜索推荐技术和基于眼动的查询式推荐技术。交互式信息检索是复杂的认知过程,因此眼动追踪方法也被用于信息搜索行为影响因素研究,如个体特征(性别、年龄、文化背景等)和情境(任务等)。

## 5.2 基于眼动的交互式信息检索研究趋势

(1) 交互式信息检索中的认知差异研究。视觉行为是交互式信息检索中重要的隐性行为,通过眼动可以隐式地反映个体在信息搜索过程中的认知特点,如视觉偏好、对 SERP 页面元素的认知、记忆负荷、文化认知差异等。虽然前人已经展开了大量有关个体特征对交互式信息检索的影响研究,但多数集中于性别、年龄、文化背景等较为浅层次的特征,而缺乏对个体性格特征、记忆负荷、认知风格、认知速度、搜索动机等深层次特征的探讨。随着眼动追踪技术的逐渐成熟,其在交互式信息检索的认知差异研究中的深入应用将是学术界未来重点探讨的课题。

(2) 基于眼动的移动搜索研究。目前交互式信息检索的眼动研究主要集中于桌面端,而较少研究将眼动追踪技术应用于移动搜索上。前人大量的研究表明移动搜索与桌面搜索存在明显差异,如信息搜索需求、交互界面、搜索情境、查询式构造、相关性判断等。虽然前人已展开了大量的有关移动搜索与桌面搜索对比的研究,但多数研究是基于日志数据,集中探讨信息搜索的主题、时间、地点、查询式构造、基于点击的相关判断等显性行为在移动端与桌面端的差

异,极少数研究对眼动这一隐性行为在移动端和桌面端的差异展开探讨。目前市场上出现了大量的可应用于移动搜索设备上的眼动仪,其移动化、便捷化、经济化的特点为研究人员展开移动端的交互式信息检索的眼动研究提供了技术支持。

(3) 自然环境下的交互式信息检索行为眼动研究。目前多数交互式信息检索的眼动研究是在实验室环境中开展的,这一方面是实验变量控制的需要,另一方面则是眼动设备本身的限制。但是随着交互式信息检索的场景化(如地理位置),实验室环境无法模拟出自然环境中的多元情境要素,而情境要素是影响交互式信息检索的重要变量,这使得实验室环境下的信息搜索行为与自然环境下的信息搜索行为存在不一致。随着移动式眼动设备的普及(如头戴式眼动仪、可穿戴眼镜等),探讨个体在真实环境下信息搜索行为的眼动特征成为可能,这也是学术界越来越关注的一个研究主题。

(4) 眼动追踪方法与其他多元化分析方法的结合。总体上来讲,眼动追踪方法目前广泛用于交互式信息检索研究中,是常见的用户搜索行为数据收集方法。尽管眼动追踪方法能够较为客观地记录用户的眼动生理数据,隐性地反映用户信息搜索的认知过程、搜索行为特点等,但由于眼动设备以及眼动分析软件等本身存在局限性,在物理技术以及软件技术层面还无法真正实现眼动数据分析的精准化。此外,信息搜索过程不仅仅是人机交互的过程,还是人与环境的交互过程。眼动设备能够即时客观地记录人机交互的过程,但是却无法记录人与环境的交互过程,也无法获悉用户个体特征情况,因此无法完全反映外在环境、个体特征等因素对信息搜索行为的影响。基于此,随着眼动追踪技术的逐渐成熟,学术界对眼动追踪技术在交互式信息检索研究中的使用也将更加科学,多种技术手段的结合使用,尤其是与神经生理(NP)技术手段的结合,将是基于眼动的交互式信息检索研究的趋势之一。

## 参考文献

- [ 1 ] 刘萍,李斐雯,杨宇.国外交互式信息检索研究进展[J].情报理论与实践,2017,40(5):132-138.(Liu Ping, Li Feiwen, Yang Yu. Research progress of interactive information retrieval at abroad[J]. Information Studies: Theory & Application, 2017,40(5):132-138.)
- [ 2 ] Eileen K. Eye movements: the past 25years[J]. Vision Research,2011,13(1):1457-1483.
- [ 3 ] Lund H. Eye tracking in Library and Information Science: a literature review[J]. Library Hi Tech, 2016, 34(4):585-614.
- [ 4 ] Anita K, Károly H. Exploring cultural differences in information behavior applying psychophysiological methods [C]// CHI'10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2010:4153-4158.
- [ 5 ] Rayner K. Eye movements in reading and information processing[J]. Psychological Bulletin, 1978, 85(3):618-660.
- [ 6 ] Mostafa J, Gwizdka J. Deepening the role of the user: neuro-physiological evidence as a basis for studying and improving search[C]// ACM on Conference on Human Information Interaction and Retrieval. ACM, 2016:63-70.
- [ 7 ] Lorigo L, Haridasan M, Brynjarsdóttir H, et al. Eye tracking and online search: lessons learned and challenges ahead[J]. Journal of the Association for Information Science & Technology, 2014, 59(7):1041-1052.
- [ 8 ] Katti H, Kankanhalli M. Eye-tracking methodology and applications to images and video[C]// ACM International Conference on Multimedia. ACM, 2011:641-642.
- [ 9 ] Papoutsaki A, Laskey J, Huang J. SearchGazer: Webcam eye tracking for remote studies of web search[C]// Proceedings of the 2017 Conference on Conference Human Information Interaction and Retrieval. AMC, 2017:17-26.
- [ 10 ] Joachims T, Granka L, Pan B, et al. Accurately interpreting click through data as implicit feedback[J]. ACM SIGIR Forum,2017,51(1):4-11.
- [ 11 ] Joachims T, Granka L, Pan B, et al. Evaluating the accuracy of implicit feedback from clicks and query reformulations in web search[J]. Acm Transactions on Information Systems, 2007, 25(2):7.
- [ 12 ] Vrochidis S, Patras I, Kompatsiaris I. An eye-tracking-based approach to facilitate interactive video search[C]// ACM International Conference on Multimedia Retrieval. ACM, 2011:1-8.
- [ 13 ] Sari J N, Ferdiana R, Santosa P I, et al. An eye tracking study: exploration customer behavior on web design [C]// International Hci and Ux Conference in Indonesia. ACM, 2015:69-72.
- [ 14 ] Chizari S. Exploring the role of culture in online searching behavior from cultural cognition perspective[C]// Proceedings of the 2016 ACM on Conference on Human Information Interaction and Retrieval. ACM, 2016:349-351.
- [ 15 ] Marcos M C, Gavin F, Arapakis I. Effect of snippets on user experience in web search[C]// Proceedings of the XVI International Conference on Human Computer Interaction. ACM,2015:1-8.
- [ 16 ] Kim J, Thomas P, Sankaranarayana R, et al. Comparing scanning behaviour in web search on small and large screens[C]// Seventeenth Australasian Document Computing Symposium, 2012:25-30.
- [ 17 ] Rodden K, Fu X, Aula A, et al. Eye-mouse coordination patterns on web search results pages[C]// Extended Abstracts Proceedings of the 2008 Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2008, Florence, Italy, April. DBLP, 2008:2997-3002.
- [ 18 ] Liu Y, Wang C, Zhou K, et al. From skimming to reading: a two-stage examination model for web search[C]// Acm International Conference on Conference on Information & Knowledge Management. ACM, 2014:849-858.

- [19] Chen M C, Anderson J R, Sohn M H. What can a mouse cursor tell us more? correlation of eye/mouse movements on web browsing [C]// CHI'01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2001: 281-282.
- [20] Gwizdka J, Jose J, Mostafa J, et al. NeuroIR 2015: Neuro-physiological methods in IR research[J]. ACM SIGIR Forum, 2015, 49(2): 83-88.
- [21] Xu S, Jiang H, Lau F C M. Observing facial expressions and gaze positions for personalized webpage recommendation [C]// International Conference on Electronic Commerce: Roadmap for the Future of Electronic Business, 2010: 78-87.
- [22] Knäusel H, Ludwig B. Assessing the relationship between context, user preferences, and content in search behaviour [C]// Proceedings of the 5th Ph.D. Workshop on Information and Knowledge. ACM, 2012: 67-74.
- [23] Smith C L, Gwizdka J, Feild H. Exploring the use of query auto completion: search behavior and query entry profiles [C]// Proceedings of the 2016 ACM on Conference on Human Information Interaction and Retrieval, 2016: 101-110.
- [24] Dewitt A J. Examining the order effect of website navigation menus with eye tracking [M]. Usability Professionals' Association, 2010.
- [25] Bilal D, Gwizdka J. Children's eye-fixations on google search results [C]// Asist & Meeting: Creating Knowledge, Enhancing Lives Through Information & Technology. American Society for Information Science, 2016: 89.
- [26] Päivi M, Aula A. Effects of feedback on eye typing with a short dwell time [C]// Symposium on Eye Tracking Research & Applications. ACM, 2004: 139-146.
- [27] Muralidharan A, Gyongyi Z, Chi E. Social annotations in web search [C]// Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2012: 1085-1094.
- [28] Al-Samarraie H, Eldenfria A, Dawoud H. The impact of personality traits on users information-seeking behavior [M]. Pergamon Press, Inc. 2017.
- [29] Raptis G E, Belk M, Belk M, et al. Using eye gaze data and visual activities to infer human cognitive styles: method and feasibility studies [C]// Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization. ACM, 2017: 164-173.
- [30] Chrobot N. The role of processing fluency in online consumer behavior: evaluating fluency by tracking eye movements [C]// Symposium on Eye Tracking Research and Applications, 2014: 387-388.
- [31] Gwizdka J. I can and so I search more: effects of memory span on search behavior [C]// Proceedings of the 2017 Conference on Conference Human Information Interaction and Retrieval, 2017: 341-344.
- [32] Brennan K, Kelly D, Arguello J. The effect of cognitive abilities on information search for tasks of varying levels of complexity [C]// Information Interaction in Context Symposium. ACM, 2014: 165-174.
- [33] Dumais S T, Buscher G, Cutrell E. Individual differences in gaze patterns for web search [C]// Symposium on Information Interaction in Context. ACM, 2010: 185-194.
- [34] Pan B, Hembrooke H A, Gay G K, et al. The determinants of web page viewing behavior: an eye-tracking study [C]// Symposium on Eye Tracking Research & Applications. ACM, 2004: 147-154.
- [35] Lorigo L, Pan B, Hembrooke H, et al. The influence of task and gender on search and evaluation behavior using

- Google[J]. *Information Processing & Management*, 2006, 42(4):1123-1131.
- [36] Gossen T. Usability and perception of young users and adults on targeted web search engines[C]// *Information Interaction in Context Symposium*. ACM, 2014:18-27.
- [37] Faiola A, Matei S A. Cultural cognitive style and web design: beyond a behavioral inquiry into computer mediated communication[J]. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 2006, 11:375-394.
- [38] Maqbali H A, Scholer F, Thom J A, et al. Using eye tracking for evaluating web search interfaces[C]// *IEEE International Conference on Wireless Communications, NETWORKING and Information Security*. IEEE, 2013: 2-9.
- [39] Buscher G, Cutrell E, Morris M R. What do you see when you're surfing? using eye tracking to predict salient regions of web pages[C]// *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2009:21-30.
- [40] Krämer N C, Preko N, Flanagan A, et al. What do people attend to when searching for information on the web: an eye-tracking study[C]// *The Technology, Mind, and Society*, 2018:1-1.
- [41] Chen Y, Zhang P, Song D, et al. A real-time eye tracking based query expansion approach via latent topic modeling[C]// *Acm International on Conference on Information & Knowledge Management*. ACM, 2015:1719-1722.
- [42] Talja S, Keso H. The production of 'context' in information seeking research: a metatheoretical view[M]. Pergamon Press, Inc., 1999.
- [43] Hofmann K, Mitra B, Radlinski F, et al. An eye-tracking study of user interactions with query auto completion [C]// *Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Conference on Information and Knowledge Management*, 2014:549-558.
- [44] 卢万譞. 基于眼动跟踪的网络搜索行为分析与预测[D]. 北京:北京理工大学, 2015. (Lu Wanxuan. Web search behavior analysis and prediction based on eye-tracking[D]. Beijing:Beijing Institute of Technology, 2015.)
- [45] Liu J, Cole M J, Liu C, et al. Search behaviors in different task types[C]// *Joint Conference on Digital Libraries*. ACM, 2010:69-78.
- [46] Gossen T, Hobel J, Nurnberger A. A comparative study about children's and adults' perception of targeted web search engines[C]// *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2014: 1821-1824.
- [47] Granka L A, Joachims T, Gay G. Eye-tracking analysis of user behavior in WWW search[C]// *International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*. ACM, 2004:478-479.
- [48] Marcos M C, Gonzalez-Caro C. User behavior in the search engines results page: a study based on the eye tracking technique[J]. *Professional de la Information*, 2010, 19(4): 348-358.
- [49] Bando L L, Scholer F, Turpin A. Constructing query-biased summaries: a comparison of human and system generated snippets[C]// *Proceedings of the third symposium on Information interaction in context*, 2010:195-204.
- [50] Cutrell E, Guan Z. What are you looking for? an eye-tracking study of information usage in web search[C]// *Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2007, San Jose, California, Usa, April 28 - May*. DBLP, 2007:407-416.
- [51] Lagun D, Agichtein E. ViewSer: enabling large-scale remote user studies of web search examination and interaction[C]// *International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*. ACM,

- 2011;365-374.
- [52] Vakkari P. Result list actions in fiction search[C]// *Acm/ieee-Cs Joint Conference on Digital Libraries*. ACM, 2015;7-16.
- [53] Lagun D, Agichtein E. Re-examining search result snippet examination time for relevance estimation[C]// *Proceedings of the 35th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 2012;1141-1142.
- [54] Grauer L, Lomakina A. On the effect of “stupid” search components on user interaction with search engines [C]// *ACM International on Conference on Information and Knowledge Management*. ACM, 2015;1727-1730.
- [55] Granka L, Hembrooke H, Gay G. Location location location: viewing patterns on WWW pages[C]// *Symposium on Eye Tracking Research & Applications*. ACM, 2006;43-43.
- [56] 王宇,张云秋.探索式搜索行为的眼动研究[J].*图书情报工作*,2014,58(11):29-35.(Wang Yu, Zhang Yun-qiu. An eye tracking study on exploratory search behaviors[J].*Library and Information Service*,2014,58(11):29-35.)
- [57] 梁少博,吴丹,董晶,等.跨设备搜索引擎结果页面注意力分布研究——基于眼动视觉数据的实证分析[J].*图书情报知识*,2018(1):4,27-35,15.(Liang Shaobo, Wu Dan, Dong Jing, et al. A research on the distribution of attention in cross-device search engine result page: an empirical study based on eye tracking data analysis[J]. *Documentation Information & Knowledge*, 2018(1):4,27-35,15.)
- [58] 栗觅,钟宁,吕胜富.Web 页面信息的视觉搜索行为特征的研究[J].*计算机科学与探索*,2009,3(6):649-655.(Li Mi, Zhong Ning, Lü Shengfu. A study about the characteristics of visual search on web pages[J]. *Journal of Frontiers of Computer Science & Technology*, 2009,3(6):649-655.)
- [59] 盛金根,李永建,夏曦.电子商务网页信息搜索中的视觉优选效应[J].*工业工程与管理*,2011,16(6):79-83.(Sheng Jingen, Li Yongjian, Xia Xi. A visual priority selection effect of searching information in e-commerce web page[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2011,16(6):79-83.)
- [60] 许鑫,曹阳.基于眼动追踪实验的高校图书馆门户网站网页设计研究[J].*大学图书馆学报*,2017,35(3):46-52.(Xu Xin, Cao Yang. Research on web design of university library portal website based on eye tracking experiment[J]. *Journal of Academic Libraries*, 2017,35(3):46-52.)
- [61] Jérôme Dinet, Bastien J M C, Kitajima M. What, where and how are young people looking for in a search engine results page?: impact of typographical cues and prior domain knowledge [C]// *Conference on L'interaction Homme-Machine*. ACM, 2010;105-112.
- [62] 宫勇,张三元,刘志方,等.颜色对图标视觉搜索效率影响的眼动研究[J].*浙江大学学报(工学版)*,2016,50(10):1987-1994.(Gong Yong, Zhang Sanyuan, Liu Zhifang, et al. Eye movement study on color effects to icon visual search efficiency[J]. *Journal of Zhejiang University(Engineering Science)*, 2016,50(10):1987-1994.)
- [63] 栗觅,卢万谔,吕胜富,等.网页信息过载时视觉搜索策略与信息加工方式的眼动研究[J].*北京工业大学学报*,2012,38(3):390-395.(Li Mi, Lu Wanxuan, Lü Shengfu, et al. Strategy and processing mode of visual search under information overload on web pages: an eye-tracking study[J]. *Journal of Beijing University of Technology*, 2012,38(3):390-395.)
- [64] 杨海波,汪洋,张磊.电商手机 APP 界面背景和图片特征对消费者搜索效率影响的研究[J].*包装工程*,2016,37(20):45-49.(Yang Haibo, Wang Yang, Zhang Lei. Influence of the background and picture features of

- the mobile APP interface on the consumer search [J]. Packaging Engineering, 2016,37(20):45-49.)
- [65] Richardson M, Dominowska E, Ragno R. Predicting clicks: estimating the click-through rate for new ads[C]// International Conference on World Wide Web. ACM, 2007:521-530.
- [66] Craswell N, Zoeter O, Taylor M, et al. An experimental comparison of click position-bias models[C]// Proceedings of the 2008 International Conference on Web Search and Data Mining, 2008:87-94.
- [67] Balatsoukas P, Ruthven I. What eyes can tell about the use of relevance criteria during predictive relevance judgment?[C]// Symposium on Information Interaction in Context. ACM, 2010:389-394.
- [68] Buscher G, Dengel A, Elst L V. Query expansion using gaze-based feedback on the subdocument level[C]// International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, 2008:387-394.
- [69] Haroon D R, Shawe-Taylor J, Ajanki A, et al. Information retrieval by inferring implicit queries from eye movements[J]. Journal of Machine Learning Research, 2007, 2(1):179-186.
- [70] Moore R J, Churchill E F, Kantamneni R G P. Three sequential positions of query repair in interactions with internet search engines[C]// ACM 2011 Conference on Computer Supported Cooperative Work. ACM, 2011: 415-424.
- [71] Seifert C, Mitschick A, Dachselt R. Focus paragraph detection for online zero-effort queries: lessons learned from eye-tracking data[C]//Proceedings of the 2017 Conference on Conference Human Information Interaction and Retrieval, 2017:301-304.
- [72] Beckers T, Korbar D. Using eye-tracking for the evaluation of interactive information retrieval[C]//9th Internet Workshop of the Initiative for the Evaluation of XML Retrieval. ACM, 2010: 236-240.
- [73] Zhao Q, Chang S, Harper F M, et al. Gaze prediction for recommender systems[C]// ACM Conference on Recommender Systems. ACM, 2016:131-138.
- [74] Giordano D, Kavasidis I, Pino C, et al. Content based recommender system by using eye gaze data[C]// Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications. ACM,2012:369-372.

吴丹 武汉大学信息管理学院教授,博士生导师。湖北 武汉 430072。

刘春香 武汉大学信息管理学院硕士研究生。湖北 武汉 430072。

(收稿日期:2018-10-03;修回日期:2018-11-28)