

大学生问题发现过程的眼动研究*

陈丽君¹ 郑雪²

(¹广东技术师范学院教育学院, 广州 510665) (²华南师范大学心理学院, 广州 510631)

摘要 在潜藏式与矛盾式两类问题发现情境中, 以眼动仪为研究工具, 问题发现能力高与低的大学生各20名为被试, 探讨大学生在问题发现总体和4个兴趣区中的眼动特征及其与发现问题数量和质量之间的关系。研究表明: (1)不同能力大学生在不同情境及其兴趣区中的问题发现差异, 能够体现在眼动指标上。回视是反映问题发现能力的敏感指标。回视次数和发现问题数量与质量之间的正相关, 以及在高能力组学生上的优势, 体现了信息的联系和整合性加工在问题发现中具有积极意义。(2)潜藏式问题发现中, 个体平均注视时间更长, 反映其认知加工难度更大。在提供重要信息的区域, 被试会投入更多精力, 表现为在注视时间、注视次数和瞳孔直径大小等指标的上升。(3)眼睛注视区域与发现问题区域间存在对应关系, 显示出“眼随心动”现象。在问题发现的最初和最终阶段, 被试都会出现跨区信息搜寻行为, 分别代表了对问题线索的寻找和最后的检查评估。高能力被试在每个稳定注视阶段的注视时间更短, 这种信息转换的灵活性体现出其信息加工上的优势。动态眼动轨迹分析揭示了单个静态指标难以反映的新特点。

关键词 问题发现; 兴趣区; 眼动; 问题情境; 眼动轨迹

分类号 B842

1 引言

当个体觉察到现有的某一状态与预想的目标状态之间存在差距, 但却不知如何消除这种差距时, 他就有了问题(Hayes, 1981)。问题发现是指在解决一个已清晰呈现问题之前经历的所有活动、过程与事件, 是人类探究未知世界的第一步(Csikszentmihalyi & Getzels, 1970), 其认知实质是为不理想的起始状态设置相对理想的目标状态的过程(陈丽君, 郑雪, 2009)。作为一种复杂的认知加工活动, 问题发现能力的重要性很早就得到了学术界的认同(Einstein & Infeld, 1938)。

许多学者都尝试对问题发现过程进行观测和分析, 探索其特征与规律。但问题发现活动本身的复杂性、隐蔽性、潜伏性与开放性等特点(陈丽君, 2012), 给研究的深入带来了很大困难。已有研究大多考察了问题发现的影响因素(Lee & Cho, 2007; Reiter-Palmon & Robinson, 2009)、外部表现(韩琴,

胡卫平, 2005; 肖浩宇, 张庆林, 史慧颖, 2006; 李明昆, 洪振方, 2011)、评价方法(Ramirez, 2002; Norton-Meier, Hand, Hockenberry, & Wisw, 2008)、相关关系(Colbert, Olson, & Clough, 2007; Liu, Hu, Adey, Cheng, & Zhang, 2013)及实践应用(Gautier & Solomon, 2005; Hofstein, Navon, Kipnis, & Mamlok-Naaman, 2005)等方面, 考察问题发现内部认知加工过程, 揭示问题发现认知机制与规律的研究较少。

在问题发现研究中, 一个关键问题是如何有效测评和记录问题发现过程及其结果。已有研究对问题发现过程的记录, 主要采用了外部行为观察(陈家富, 1998; 杨千慧, 2002)、纸笔测验(Carson & Runco, 1999; Chand & Runco, 1993)、问卷调查(Subotnik, 1988)、口头访谈(郑瑛珍, 2000)或出声思维(Getzels & Csikszentmihalyi, 1976; Patrick, 1937)等方法, 缺乏对问题发现信息加工过程更精确地记录和分析。由于上述方法是通过比较间接或主观的途径追踪问题发现过程, 其准确性和可靠性往往受

收稿日期: 2012-05-28

* 广东省哲社规划项目“问题发现思维研究”(GD11HXL01)。

通讯作者: 陈丽君, E-mail: foxclj@163.com

到质疑。如何提高观测与记录的有效性是深入探索问题发现过程需要解决的重要问题。采用能够更精确地反映个体信息加工活动的测评方法和指标,将有助于更客观地认知问题发现过程的特点与规律。Magliano 和 Graesser (1991)在谈到如何提高出声思维报告的可靠性时指出,可以在分析口语报告数据时,收集其他行为测量指标,比如时间、眼动数据等,这些数据之间的一致性越高,口语报告就越可靠。问题发现中,对信息的注意、选择、停留、转换等反映出个体对信息的加工过程与特点,有助于对问题发现认知规律和机制的揭示。传统的行为研究方法无法精确记录个体在问题发现中对信息的加工和处理过程,而眼动技术在这方面具备优势。

眼动即眼球的运动,它与注意以及内部信息加工机制之间存在密切关联。作为一种重要的心理学研究方法,眼动技术已经被广泛应用于心理学的各种基础和应用研究领域。眼动记录法能够较好地体现心理学实验的生态效度,眼动技术也被视为洞悉个体信息采集行为的最佳工具(Pieters, Warlop, & Wedel, 2002)。很多学者都借助眼动仪更精确地探索了各类认知加工活动,包括创造性活动的隐秘过程。邓铸(2005)指出,眼动反映了视觉信息的选择模式,利用眼动技术探索人在各种不同条件下的信息加工机制是当今心理研究的重要范型。Knoblich, Ohlsson 和 Raney (2001)用眼动仪考察了对火柴棒算式顿悟问题的解决;沃建中、陈婉茹、刘扬和林崇德(2010)比较了创造能力不同学生的分类加工过程差异的眼动特点;周鹏生和周爱保(2011)认为,眼动指标通常能够反映人们对问题的内部表征过程,对问题的注视时间、注视次数、瞳孔直径等指标能够在很大程度上体现出对问题的感知和理解过程。可见,运用眼动仪对认知加工过程做更客观、更精确地探讨是可行的。借助眼动仪对问题发现思维过程做进一步地深入考察,可以更精确地记录与分析问题发现过程的相关规律和特点,以便清晰把握个体信息加工的发生、发展与变化过程。比如,注视时间有助于考察被试对哪些区域加工时间更长,回视次数有助于了解被试在加工后期信息时,对早期信息的重新关注与提取;瞳孔直径有助于认识被试在信息加工中的认知负荷情况;眼动轨迹记录则能反映个体在整体问题发现中注视点随时间的变化序列,进而了解被试的信息加工顺序和轨迹。基于问题发现领域已有研究多采用主观、外部方式收集数据的不足,本研究拟借助眼动技术,更准确地

考察个体在问题发现过程中的信息采集行为,以探索问题发现活动的内部加工过程与规律。

发现问题的心理实质是个体觉察到现有状态与预想状态之间存在差距(Hayes, 1981),这个差距可能是明显的,也可能是隐藏的,前者代表了矛盾式问题情境,后者代表了潜藏式问题情境。Dillon (1982)指出,矛盾式和潜藏式问题是现实中最典型的两类问题发现活动,矛盾情境本身包含缺陷、不调和或矛盾等问题事件,问题发现的任务就是找出这些已经存在的矛盾、错误、不足等问题;而潜藏情境本身不存在错误和矛盾,需要个体在不具有任何现成问题的情境中去发现和挖掘潜藏的问题事件。Shepardson 和 Pizzini (1991)提出,前者仅需要回忆信息,后者则需要以新的方式来假设、推测、概括、创造和评价以超越已有信息。因此,个体在两类问题发现情境中的认知加工过程各有其重点。相应的,在完成问题发现任务中的眼动指标也会存在差异。已有研究缺乏对矛盾式和潜藏式问题发现过程在具体信息的注意、选择、加工等方面的差异性比较,本研究拟借助眼动技术对此进行探索,以揭示两者在信息加工机制上的特点。

此外,以往对问题发现过程的研究,往往采取整体研究的方式,即把构建的问题情境视为一个整体进行考察,缺乏对构成整体的各个部分,及其在问题发现中的作用和地位进行区分性研究。在现实问题发现中,个体会基于一个主题收集各个类别和各个层面的信息,这些信息之间观点可能一致,也可能矛盾,就需要对其进行分析、判断、取舍、整合,进而提出发现的问题。在整体研究之外,对代表不同观念的各部分信息进行独立考察,有助于探索个体在面临信息叠加或冲突时做出的判断和选择,更精确地揭示问题发现过程信息加工的特点与规律。因此,本研究也将对构成问题情境的各个独立段落(兴趣区),及其相应的眼动特征进行考察。

在认知研究中的一个重要范式是专家与新手的对比研究。对比研究能够反映出问题发现过程的认知差异情况,有助于探索问题发现的信息加工机制。比如林沂升(2003)探讨了研究生与小学生科学问题发现的思维模式差异,发现研究生在思维方式的多样化和复杂性上远高于小学生。邓铸(2005)指出,将眼动分析应用于问题解决研究,可以探究与比较不同学生在解决问题时对外部信息的提取差异并推断其表征问题的过程与机制。而沃建中等(2010)以及冯虹、阴国恩和陈士俊(2009)也在眼动

研究中采用了专家与新手的对比研究范式。本研究也拟借鉴专家-新手对比研究范式,通过比较能力高和 low 两类被试的表现,分析两者在眼动指标上的异同及特点。

综上,本研究拟在矛盾式与潜藏式两类问题情境中,以眼动仪为工具,探讨高低能力大学生问题发现过程的整体以及各兴趣区中的眼动规律与特点,并借此更细致地分析问题发现的内部认知加工过程。研究假设,高能力组学生在问题发现上的优势主要体现在对关键信息区域的准确判断并投入更多的注意,而并非总体加工时长,因此,他们对关键兴趣区的回视次数可能会高于低能力组学生,在注视时间和注视次数上与低能力组相当。潜藏情境的问题更不明显,认知加工难度更大,因此在平均注视时间上可能高于矛盾情境,其余眼动指标差异可能不显著。在两个情境的多个兴趣上,第一兴趣区均是介绍情境的背景,后面的兴趣区各自提供不同方面和层次的信息,因此被试对提供具体信息的后面的区域将给予更多关注,各项眼动指标均有增加的趋势。对信息注意得越多,加工时间越长就越有助于问题发现,注视时间、注视次数、回视次数等与问题数量和质量之间可能存在正相关关系。眼动轨迹描绘了个体注视点随时间变化的序列,个体在认知过程中的眼部活动情况反映出他们的信息加工情况,即眼睛注视的区域为正在加工的信息区域,因此,发现的问题与其注视的区域之间可能存在对应关系。

利用眼动技术对问题发现信息加工过程中的信息搜寻、选择、停留、转换等关键性环节进行考察,有助于提高实验研究的精确性,对相关问题发现理论进行验证或补充,并为揭示问题发现的认知加工机制提供依据,为建构科学的问题发现认知模型奠定基础。也可以从信息加工角度,提出促进问题发现能力提升的相关对策,提供理论依据与实践指导。

2 实验方法

2.1 实验设计

实验采用 2(问题情境:矛盾式情境、潜藏式情境)×2(组别:高能力组、低能力组)×4(兴趣区:第一到第四兴趣区)混合设计。问题情境和兴趣区为组内因素,组别为组间因素。因变量是问题的数量与质量,以及问题发现过程中被试的眼动情况,包括整体和在 4 个兴趣区中的注视时间、注视次数、

回视次数、瞳孔直径、眼动轨迹等。

2.2 被试

在预备研究中,采用团体实验对 620 名大学生(男 302 人,女 318 人,平均年龄 20.82 岁)问题发现能力的基本状况进行考察。从团体实验得分较高(高问题发现能力组,以下简称高能力组)和较低(低问题发现能力组,以下简称低能力组)的前后 20% 大学生中,随机各挑选出 20 名参与眼动实验。40 名大学生中,男女各半;最大年龄 23 岁,最小年龄 19 岁,平均年龄 21.26 岁。所有被试均视力(或矫正视力)正常,无眼动实验经验,被试完成实验后可获得一份礼物。

2.3 材料

在材料设置上,参考了邵惠靖(2001)和林沂升(2003)的设计。从网络中收集数十篇候选材料,根据专家建议结合本研究的特点筛选并整理出矛盾式与潜藏式情境备选材料各 5 段。请 20 名大学生从难度、启发性和熟悉性等三个方面对材料进行 5 点评分,选择难度与熟悉性适中,启发性较强的材料作为正式实验材料。

团体实验中,矛盾式情境材料介绍了一种“排毒基强离子排毒仪”,其中存在多处错误与漏洞;潜藏式情境材料则讲述对“外星生命存在的探索”,材料本身没有任何现成的矛盾和错误。两段材料难度($M_1 = 3.15$, $M_2 = 3.35$; $t(1,19) = -1.17$, $p > 0.05$)与熟悉性($M_1 = 3.00$, $M_2 = 3.05$; $t(1,19) = -0.30$, $p > 0.05$)适中,启发性($M_1 = 3.95$, $M_2 = 3.85$; $t(1,19) = 0.53$, $p > 0.05$)较强,材料间差异不显著,团体实验材料没有有在字数上作控制。基于问题总数量、思维产品得分、思维层次得分、变通性、深刻性、精致性、新颖性和矛盾问题击中率(仅在矛盾式情境)等 8 个指标,对大学生问题发现能力做出评价。各指标的具体含义如下:(1)问题总数量指被试在一个情境中发现问题的总数。(2)思维产品得分的评价依据是 Guilford (1959)提出的,把思维产品分为单元、门类、关系、系统、转换、蕴含等 6 类,评分时将问题归属于其中一类,并依次赋予 1~6 分的分值。(3)思维层次得分的评价基于将问题按照思维层次高低分为事实性、推论性、综合性和评价性等 4 类(Blosser, 1973; Shepardson & Pizzini, 1991),评分时将问题归属于其中一类,并依次赋予 1~4 分的分值。(4)变通性代表问题的发散程度,评价方法是把问题按照内容进行分类,问题的类别数量就是变通性得分。(5)深刻性指问题的概括性、间接性和抽象

程度,由评分者以 5 分制评价。(6)精致性指对问题描述的准确和细致程度,以及问题中修饰语和专有名词的运用情况,以 5 分制评价。(7)新颖性指问题的新奇性和独创性,与问题的出现频率有关,也以 5 分制评价。(8)矛盾问题击中率指在矛盾情境中,被试发现矛盾问题的比率高低,计算公式为:矛盾问题击中率=矛盾问题数量/问题总数量。将 8 个指标上的得分转化为标准分后求和即为总评分,并依据此选择眼动实验的被试。

眼动实验则在矛盾式与潜藏式情境中,分别选取了一段科学骗局“脑纹测试仪”和一段科学探索故事“50 万年后的未来”作为实验材料。两段材料在难度($M_1 = 3.20$, $M_2 = 3.15$; $t(1,19) = 0.30$, $p > 0.05$)与熟悉性($M_1 = 3.05$, $M_2 = 3.15$; $t(1,19) = -0.81$, $p > 0.05$)上得分中等,启发性($M_1 = 4.10$, $M_2 = 3.95$; $t(1,19) = 1.00$, $p > 0.05$)较强,材料之间差异不显著。眼动实验的两段材料均分为 4 个段落(对应于 4 个兴趣区),包含 10 句话,477 个字。

2.4 仪器

实验仪器为加拿大 SR Research 公司开发的 EyeLink II 型眼动仪。该设备由两台计算机组成,通过以太网连接。其中一台计算机呈现实验材料,另一台计算机记录眼动数据。实验材料由 19 英寸显示器呈现,显示器的刷新率为 85 Hz,分辨率为 1024×768 像素。眼动仪采样频率为 250 Hz。实验材料呈现和数据记录均由眼动仪专用软件完成。此外,还准备了一支录音笔,用来记录被试发现的问题。

2.5 程序

实验在隔音和匀光的实验室进行。为排除主试个人因素对实验的干扰,对主试在实验中的行为做了书面上严格的规范。眼动实验程序分为以下 4 个步骤。

第一步,实验前的准备。包括主试向被试介绍实验程序和要求、测试录音效果、被试填写个人资料等内容。

第二步,眼动实验训练程序。目的是训练被试熟悉整个眼动实验过程,并要求被试在实验中大声说出发现的问题。具体程序包括:①被试坐在显示器前面,与显示器中心的距离约为 0.65 m,眼睛正对显示器中心。②戴好眼动仪头盔。③对被试进行眼矫正。④呈现练习材料训练被试。

第三步,正式实验。被试按照顺序依次完成两段材料的实验。每一段材料的实验程序与训练程序

相同。整个实验过程大约需要 20 分钟。为避免顺序效应,每个组别的大学生各随机分配一半先参加矛盾式情境实验,另一半先参加潜藏式情境实验。实验没有时间限制。

第四步,实验结束后的工作。包括拷贝录音和眼动实验数据,给被试纪念品等。

为了区分被试在阅读材料时的眼动数据和发现问题过程中的眼动数据,把每一张材料的图片都呈现两次。第一次呈现图片时,要求被试完整地阅读完一次实验材料,读完之后进行报告。在被试报告读完以后,更换第二张图片让被试开始发现问题活动。由于两张图片的内容完全相同,因此,被试并不会感觉到有差异。这样,收集到的眼动数据就把阅读数据和问题发现数据区分开了。

2.6 兴趣区的划分

兴趣区是指研究者关注和感兴趣的被试对刺激信息的注视区域,是分析眼动结果的基本单位。为了对问题发现的内部认知过程进行更精确地考察,在导出眼动数据之前作了兴趣区的划分。由于每一个情境材料都分为 4 个段落,并且在每一个段落中都有相对独立的含义,因此对兴趣区的划分就是基于这 4 个段落进行的。也就是说,一个自然段落就对应一个兴趣区,它代表了一个意义相对独立和完整的认知加工区域。

在矛盾式情境的“脑纹测试仪”材料中,第一兴趣区介绍脑纹测试仪的风行现状,第二兴趣区介绍脑纹收集器的工作情况,第三兴趣区介绍脑纹数据分析软件,第四兴趣区介绍脑纹修复 CD。4 个兴趣区的内容相对独立,并按照“背景—工作过程—数据分析—结果应用”4 个方面逐次推进。

在潜藏式情境的“50 万年后的未来”材料中,第一兴趣区介绍科学家对 50 万年后人类开展研究的背景,第二兴趣区介绍积极进化论观点,第三兴趣区介绍消极进化论观点,第四兴趣区介绍稳定进化论观点。4 个兴趣区的内容也相对独立,按照“背景—积极观点—消极观点—中立观点”4 个方面展开论述。

从现实发现问题活动来看,个体往往会针对一个主题,收集并获取多个层面或角度的信息,每一类信息都为发现问题提供新的思路和启发。本研究对 4 个兴趣区的设置,正是基于对现实情境的模拟,即考察在接收到多方面信息后,被试对信息的注意、选择、加工、转换等情况,及其与发现问题结果之间的关系。着重分析产生这种选择和加工差异

的原因、影响因素，以及带来的效果差异。

2.7 眼动指标

眼动指标的选取，参考了姚海娟和沈德立(2006)、沃建中等人(2010)以及陈俊杰、严会霞和相洁(2011)的研究，同时也基于本研究对问题发现认知过程眼动情况的预期和假设。在问题发现中，个体会根据信息的重要性、情境的启发性和自身的兴趣、需求等，对部分信息投入更多的关注和加工，表现出在注视时间、注视次数和瞳孔直径大小上的差异。同时，根据前面信息的意义，在需要进行前后信息的联系性加工时，表现出回视次数的变化。而整个问题发现过程中，眼睛会随着加工信息的内容和区域的不同，一直处于运动变化中，对整体眼动轨迹变化的记录有助于我们探索问题发现全过程的信息选择、变换、采集等特点。基于上述分析，本研究拟选取以下眼动指标进行考察。

(1)总注视时间。总注视时间指被试在某一兴趣区内所有注视时间的总和，注视时间越长表示对该区域的信息加工时间越长。

(2)平均注视时间。指平均每次注视所需要的时间，即注视点的持续时间。在眼动研究中，通常将被试视线在注视目标上停留时间超过 100ms、面积不大于 1°×1°视角的停留点定义为一个注视点。

(3)注视次数。在注视材料过程中，被试的眼睛不是连续运动，而是跳跃式前进的，每次跳跃之后都会紧跟一次注视。注视次数就是指注视点的数量。

(4)回视次数。在阅读中，回视是指眼睛的注视点从右向左的运动(不包括从每行行尾到每一行行首的眼动)，即眼睛又退回到刚才注视过的内容上。在本实验中，由于对材料作了兴趣区的划分，因此，将回视次数定义为注视点离开某个兴趣区后，又从

后面区域重新返回到该区的次数。

(5)瞳孔直径大小。瞳孔直径大小是指被试注视某一区域时，瞳孔直径变化的平均大小。

(6)眼动轨迹。眼动轨迹指注视点随时间变化的序列，动态反映出个体在认知过程中的眼部活动情况。

3 实验结果

用 SR Research 公司提供的数据分析软件对全部数据进行整理，用 SPSS 17.0 统计软件对数据进行统计分析。

3.1 发现问题的数量与质量

表 1 列出了发现问题的数量与质量的总体情况，以及按照组别、问题情境和兴趣区因素分类统计的问题在各个主要指标上的得分情况。

以组别、问题情境和兴趣区为自变量，发现问题的数量与质量评分为因变量进行重复测量方差分析，结果显示，在组别因素上，高能力组学生在问题总数量($F(1,38)=31.07, p<0.001$)、变通性($F(1,38)=35.96, p<0.001$)和新颖性($F(1,38)=6.42, p<0.05$)得分上，均高于低能力组。在情境因素上，被试在矛盾式情境中，发现问题的精致性高于潜藏式情境， $F(1,38)=15.11, p<0.001$ 。在兴趣区因素上，被试在第二、三、四区的矛盾问题击中率显著高于第一区($F(1,38)=16.88, p<0.001$ ； $F(1,38)=30.41, p<0.001$ ； $F(1,38)=73.07, p<0.001$)；第四区的矛盾问题击中率高于第二、三区($F(1,38)=22.94, p<0.001$ ； $F(1,38)=19.50, p<0.001$)。被试在第二、四区的思维层次得分高于第一区($F(1,38)=4.55, p<0.05$ ； $F(1,38)=13.93, p<0.001$)；第四区的思维层次得分高于第二、三区($F(1,38)=6.14, p<0.05$ ； $F(1,38)=8.80,$

表 1 问题数量与质量的基本情况

评价指标	总体		组别				问题情境				兴趣区							
			高能力组		低能力组		矛盾情境		潜藏情境		第一区		第二区		第三区		第四区	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
问题数量	13.85	9.89	20.40	10.26	7.30	2.27	6.68	4.17	7.18	6.42	1.87	1.11	1.92	1.58	1.86	0.97	1.58	0.88
矛盾问题 击中率	0.55	0.36	0.49	0.35	0.60	0.38	0.55	0.36	—	—	0.13	0.26	0.41	0.37	0.49	0.36	0.74	0.39
思维产品得分	2.35	0.26	2.32	0.24	2.38	0.28	2.34	0.34	2.35	0.36	2.31	0.36	2.26	0.41	2.15	0.26	2.32	0.50
思维层次得分	2.21	0.26	2.24	0.27	2.18	0.26	2.25	0.29	2.16	0.37	2.01	0.03	2.08	0.24	2.05	0.17	2.21	0.33
变通性	4.66	2.20	6.18	2.06	3.15	0.92	4.78	2.08	4.55	2.59	1.43	0.84	1.42	0.59	1.75	0.83	1.43	0.68
深刻性	2.92	0.24	2.96	0.22	2.89	0.26	2.96	0.30	2.88	0.33	2.71	0.29	2.89	0.36	2.74	0.30	3.13	0.39
精致性	3.16	0.16	3.18	0.16	3.15	0.16	3.25	0.27	3.08	0.14	3.03	0.10	3.19	0.30	3.13	0.24	3.35	0.52
新颖性	2.17	0.43	2.33	0.35	2.01	0.46	2.16	0.61	2.19	0.53	2.52	0.61	1.50	0.63	2.51	0.63	2.64	0.84

$p<0.05$)。被试在第一、二、四区的思维产品得分高于第三区($F(1,38)=26.57, p<0.001; F(1,38)=10.82, p<0.01; F(1,38)=12.48, p<0.01$)。被试在第三区的变通性高于第二区, $F(1,38)=5.46, p<0.05$ 。被试在第二、四区的深刻性得分高于第一区($F(1,38)=7.95, p<0.01; F(1,38)=31.54, p<0.001$); 第四区的深刻性还要高于第二、三区($F(1,38)=14.16, p<0.001; F(1,38)=23.53, p<0.001$)。被试在第二、三、四区的精致性得分高于第一区($F(1,38)=13.47, p<0.01; F(1,38)=5.38, p<0.05; F(1,38)=16.20, p<0.001$); 第四区的精致性还要高于第二、三区($F(1,38)=5.99, p<0.05; F(1,38)=6.64, p<0.05$)。被试在第一、三、四区的新颖性得分高于第二区($F(1,38)=60.89, p<0.001; F(1,38)=56.39, p<0.001; F(1,38)=41.79, p<0.001$)。其余主效应和交互作用均不存在显著差异。

总体来看,在问题数量与质量上,高能力组被试优于低能力组,这说明团体实验筛选出的被试在问题发现活动中保持了较高的一致性,显示出本研究实验材料的选取是可信的,被试的选择也是可靠的。各个兴趣区之间在问题数量上没有差异,但在问题质量上存在较大差异,普遍趋势是后面兴趣区的质量高于前面兴趣区。

3.2 问题发现过程的眼动情况

从总注视时间、平均注视时间、注视次数、回视次数和瞳孔直径等5个方面对问题发现过程中大学生的眼动情况进行考察。在分析中,比较了4个兴趣区之间的眼动指标差异,以及情境和组别因素对各个眼动指标的影响。由于在研究中只控制了情境总字数,对每个兴趣区内部的字数没有进行控制,因此,拟采用事后控制的补救措施,在对总注视时间、注视次数和回视次数等指标的统计中,将兴趣区的字数作为协变量纳入方差分析。

3.2.1 总注视时间

表2列出了两组被试分别在两类情境,及其各自包含的4个兴趣区中的总注视时间(单位: s)的基本情况。

以组别、问题情境和兴趣区为自变量,问题发现过程的总注视时间为因变量,各兴趣区的字数为协变量进行重复测量的方差分析,结果显示,在组别和情境因素上,总注视时间的所有主效应和交互作用差异均不显著。在兴趣区因素上,总注视时间存在显著差异。在矛盾情境中,第二、三、四区长于第一区($F(1,38)=21.97, p<0.001; F(1,38)=15.73, p<0.001; F(1,38)=22.57, p<0.001$)。在潜藏情境中,

第二、三、四区长于第一区($F(1,38)=16.39, p<0.001; F(1,38)=25.56, p<0.001; F(1,38)=19.21, p<0.001$)。

表2 问题发现过程的总注视时间

问题情境	兴趣区	高能力组		低能力组	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
矛盾式情境	总体	238.64	205.99	157.44	115.07
	第一区	20.12	18.89	14.02	10.63
	第二区	79.00	70.43	45.00	38.54
	第三区	72.59	78.22	44.67	44.70
	第四区	65.55	65.20	53.42	41.55
潜藏式情境	总体	246.70	125.56	183.71	129.12
	第一区	28.29	26.22	19.12	23.93
	第二区	65.99	47.89	47.05	40.08
	第三区	79.86	51.27	67.94	63.93
	第四区	71.23	48.01	48.40	41.10

3.2.2 平均注视时间

表3列出两组被试在两类情境,及其各自包含的4个兴趣区平均注视时间(单位: ms)的基本情况。

表3 问题发现过程的平均注视时间

问题情境	兴趣区	高能力组		低能力组	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
矛盾式情境	总体	252.50	32.83	264.54	38.39
	第一区	251.86	36.43	250.04	43.32
	第二区	246.26	28.57	257.48	35.62
	第三区	253.47	39.25	263.84	44.70
	第四区	257.78	38.37	270.61	40.50
潜藏式情境	总体	266.53	44.61	267.27	36.03
	第一区	258.26	47.81	244.66	28.86
	第二区	261.60	47.49	259.69	39.42
	第三区	262.94	41.90	274.22	46.30
	第四区	272.48	52.03	266.41	46.16

以组别、问题情境和兴趣区为自变量,问题发现过程的平均注视时间为因变量进行重复测量的方差分析,结果显示,在情境因素上,被试在潜藏情境的总体和第二、三区的平均注视时间长于矛盾情境($F(1,38)=5.56, p<0.05; F(1,38)=4.14, p<0.05; F(1,38)=5.41, p<0.05$)。在兴趣区因素上,平均注视时间存在显著差异。在矛盾情境中,第四区长于第一、二区($F(1,38)=8.30, p<0.01; F(1,38)=16.98, p<0.001$),第三区长于第二区($F(1,38)=4.43, p<0.05$);在潜藏情境中,第四区长于第一区($F(1,38)=7.70, p<0.01$),第三区长于第一、二区($F(1,38)=5.80, p<0.05; F(1,38)=4.73, p<0.05$)。其余主效应与交互

作用均不显著。

3.2.3 注视次数

表 4 列出了两组被试分别在两类情境，及其各自包含的 4 个兴趣区中的注视次数的基本情况。

表 4 问题发现过程的注视次数

问题情境	兴趣区	高能力组		低能力组	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
矛盾式情境	总体	943.55	774.96	622.25	490.74
	第一区	77.50	69.83	57.40	42.50
	第二区	319.50	267.28	182.85	168.02
	第三区	284.25	296.21	173.05	176.64
	第四区	257.70	247.98	208.25	183.11
潜藏式情境	总体	930.45	472.42	700.20	500.33
	第一区	106.30	96.65	75.75	91.53
	第二区	252.65	180.85	186.10	159.45
	第三区	305.30	196.13	253.25	233.79
	第四区	262.20	181.81	181.40	150.46

以组别、问题情境和兴趣区为自变量，问题发现过程的注视次数为因变量，各兴趣区的字数为协变量进行重复测量的方差分析，结果显示，在组别和情境因素上，注视次数的所有主效应和交互作用均不存在显著差异。在兴趣区因素上，注视次数存在显著差异。在矛盾情境中，第二、三、四区多于第一区($F(1,38)=23.81, p<0.001$; $F(1,38)=16.12, p<0.001$; $F(1,38)=21.80, p<0.001$)；在潜藏情境中，第二、三、四区多于第一区($F(1,38)=17.19, p<0.001$; $F(1,38)=25.80, p<0.001$; $F(1,38)=18.16, p<0.001$)。

3.2.4 回视次数

表 5 列出了两组被试分别在两类情境，及其各自包含的 4 个兴趣区中的回视次数的基本情况。

表 5 问题发现过程的回视次数

问题情境	兴趣区	高能力组		低能力组	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
矛盾式情境	总体	47.45	28.52	32.40	25.00
	第一区	12.75	9.00	9.60	7.21
	第二区	19.10	13.17	11.20	10.23
	第三区	15.60	13.98	11.60	10.08
	第四区	15.60	13.98	11.60	10.08
潜藏式情境	总体	56.40	26.88	35.65	26.99
	第一区	13.85	10.67	11.10	10.43
	第二区	23.50	16.95	13.15	12.18
	第三区	19.05	10.34	11.40	10.99
	第四区	19.05	10.34	11.40	10.99

由于在划分兴趣区时，是按照段落进行区分的，

4 个兴趣区从上到下依次排列。这样，依据本研究的定义，在第四兴趣区中是不存在回视的。因此，只有前三个兴趣区的回视次数数据。以组别、问题情境和兴趣区为自变量，问题发现过程的回视次数为因变量，各兴趣区的字数为协变量进行重复测量的方差分析，结果显示，在组别因素上，矛盾情境中，高能力组在第二区的回视次数多于低能力组， $F(1,38)=4.49, p<0.05$ ；潜藏情境中，高能力组在总体、第二、三区的回视次数多于低能力组($F(1,38)=5.93, p<0.05$; $F(1,38)=4.92, p<0.05$; $F(1,38)=5.14, p<0.05$)。在兴趣区因素上，各主效应与交互作用均不显著。

3.2.5 瞳孔直径

表 6 列出了两组被试分别在两类情境，及其各自包含的 4 个兴趣区中的瞳孔直径的基本情况。

表 6 问题发现过程的瞳孔直径

问题情境	兴趣区	高能力组		低能力组	
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
矛盾式情境	总体	1723.95	564.84	1863.66	590.75
	第一区	1708.22	552.04	1707.46	504.10
	第二区	1775.35	587.68	1816.21	557.86
	第三区	1797.04	613.53	1903.37	604.71
	第四区	1819.30	671.51	2008.26	658.42
潜藏式情境	总体	1601.43	501.93	1802.57	571.53
	第一区	1677.30	586.62	1679.19	527.88
	第二区	1673.59	526.82	1766.42	545.26
	第三区	1677.45	529.29	1850.20	566.26
	第四区	1674.04	598.92	1911.24	620.88

以组别、问题情境和兴趣区为自变量，问题发现过程的瞳孔直径大小为因变量进行重复测量的方差分析，结果显示，在情境因素上，被试在矛盾情境的总体和第二、三、四区的瞳孔直径均大于潜藏情境($F(1,38)=10.65, p<0.01$; $F(1,38)=4.83, p<0.05$; $F(1,38)=8.43, p<0.01$; $F(1,38)=14.14, p<0.001$)。在兴趣区因素上，在矛盾情境中，第四区大于第一、二、三区($F(1,38)=25.57, p<0.001$; $F(1,38)=17.00, p<0.001$; $F(1,38)=15.24, p<0.001$)，第三区大于第一、二区($F(1,38)=17.18, p<0.001$; $F(1,38)=7.85, p<0.01$)，第二区大于第一区($F(1,38)=15.85, p<0.001$)；在潜藏情境中，第四区大于第一、二区($F(1,38)=9.44, p<0.01$; $F(1,38)=5.96, p<0.05$)，第三区大于第一、二区($F(1,38)=10.39, p<0.01$; $F(1,38)=5.14, p<0.05$)，第二区大于第一区， $F(1,38)=4.38,$

$p<0.05$ 。其余主效应与交互作用均不显著。

3.3 眼动指标与问题数量和质量的关系

3.3.1 总体眼动指标与问题数量和质量之间的关系

为了全面考察问题发现过程中的眼动情况与实际发现问题数量和质量之间的关系,把各个眼动指标与问题的数量和质量求相关。其中,问题数量是指问题总数量,问题质量是指问题总评分,总评分计算公式是:问题总评分 = $Z_{思维产品得分} + Z_{思维层次得分} + Z_{流畅性} + Z_{变通性} + Z_{深刻性} + Z_{精致性} + Z_{新颖性}$ 。总体上,各眼动指标与问题数量和问题质量之间的相关系数见表 7。

从表 7 可看到以下特点:(1)在矛盾情境中,总注视时间、注视次数、回视次数与问题数量之间正相关显著;在潜藏情境中,回视次数与问题数量之间正相关显著。(2)相关显著的项目大多出现在问题数量与眼动指标的相关上,在问题质量上,仅矛盾情境中的回视次数与问题质量正相关显著。

3.3.2 各兴趣区内眼动指标与问题数量和质量之间的关系

考察在每一个兴趣区内,眼动指标与问题数量和质量之间的关系。把每一个问题从内容上进行判断,并把它归类为某一个兴趣区的问题。如果一个问题同时涉及到两个或两个以上兴趣区的内容,就把问题归为跨区问题,不列入 4 类兴趣区问题的任何一类。之后,把每一个兴趣区内的问题数量和质量,与对应兴趣区的各眼动指标之间进行相关分析,结果见表 8。

从表 8 可看到以下特点:(1)在矛盾情境中,第二、三区的总注视时间、注视次数与问题数量之间正相关显著;在潜藏情境中,第一区的瞳孔直径,第二区的回视次数,第三区的总注视时间、注视次数、回视次数与问题数量之间正相关显著。(2)相关显著的项目大多出现在问题数量与眼动指标的相关上。在问题质量上,仅潜藏情境中,第一区的瞳孔直径和第二区的回视次数与问题质量正相关显著。

表 7 总体眼动指标与问题数量和质量之间的相关系数

评价指标	问题情境	总注视时间	平均注视时间	注视次数	回视次数	瞳孔直径
问题数量	矛盾式情境	0.46**	-0.17	0.47**	0.43**	-0.15
	潜藏式情境	0.29	-0.04	0.28	0.41**	-0.00
问题质量	矛盾式情境	0.27	-0.09	0.28	0.45**	0.04
	潜藏式情境	0.15	0.15	0.12	0.19	-0.03

表 8 各兴趣区内的眼动指标与问题数量和质量之间的相关系数

评价指标	问题情境	兴趣区	总注视时间	平均注视时间	注视次数	回视次数	瞳孔直径
问题数量	矛盾式情境	第一区	0.31	-0.02	0.30	0.14	0.06
		第二区	0.44**	-0.07	0.44**	0.14	0.04
		第三区	0.40*	-0.16	0.43**	0.31	-0.07
		第四区	0.06	-0.10	0.049	-	-0.18
	潜藏式情境	第一区	0.14	0.27	0.13	0.13	0.36*
		第二区	0.26	-0.06	0.27	0.43**	0.01
		第三区	0.50***	0.03	0.48**	0.59***	-0.09
		第四区	0.09	-0.04	0.08	-	-0.18
问题质量	矛盾式情境	第一区	0.26	-0.12	0.26	-0.00	-0.06
		第二区	-0.08	-0.13	-0.07	0.09	-0.01
		第三区	0.07	0.03	0.06	0.28	-0.26
		第四区	0.11	-0.24	0.14	-	-0.18
	潜藏式情境	第一区	-0.11	-0.03	-0.08	-0.01	0.50**
		第二区	0.26	0.14	0.26	0.41**	-0.08
		第三区	0.09	-0.07	0.07	0.10	0.11
		第四区	0.28	-0.02	0.29	-	0.08

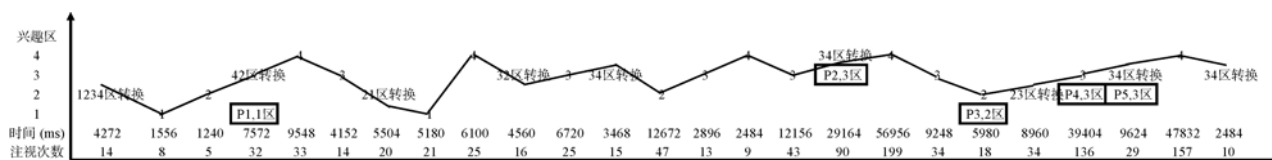


图4 潜藏情境低能力组个案问题发现过程眼动轨迹

过 25 个相对稳定的注视阶段, 每阶段的平均注视次数 41.84 次, 平均注视时间 11982.72 ms, 发现问题 5 个。

4 讨论

4.1 问题发现过程的眼动特点

4.1.1 眼动指标的组别差异

分析高、低能力组被试的眼动指标差异, 有助于了解问题发现能力强的个体在信息加工过程中的眼动特点。结果显示, 在矛盾情境中, 高能力组在第二区的回视次数多于低能力组; 潜藏情境中, 高能力组在总体、第二、三区的回视次数多于低能力组。在其余眼动指标上, 组别差异均不显著。可见, 眼动的组别差异仅出现在回视指标上。本实验中, 回视是指注视点离开某个兴趣区后, 又从后面的兴趣区返回到该区域进行再次注视, 回视次数是指回视的数量。已有研究表明, 当材料难度加大时, 回视次数会明显增加(Rayner & Sereno, 1994; Rayner, 1998; 左银舫, 杨治良, 2006)。此外, 回视也显示出被试对某个兴趣区的再次关注, 回视次数越多说明该区对解答问题的贡献越大(陈俊杰等, 2011)。本研究中被试的任务是从材料中发现问题。在矛盾情境中, 4 个兴趣区按照“背景—工作过程—数据分析—结果应用”的顺序进行叙述, 其中, 第二区是一个承前启后的关键区域, 三、四区的内容都是基于第二区展开的。白学军、张兴利和史瑞萍(2004)提出, 对兴趣区回视越多, 表明该区对认知加工活动越重要。高能力被试对第二区的回视更多, 显示出他们对于关键信息的准确判断和关注。在潜藏情境中, 问题设置是隐蔽的, 被试需要在发现问题过程中对情境进行更深入地“挖掘”, 做更加细致地分析, 经常联系前后文进行推敲和理解。Hoover 和 Feldhusen (1994)在其假设成分理论中, 将问题发现阐述为将新的数据、经验或信息整合到组织化的记忆结构中, 并基于知识之间的联结而形成假设的过程。陈丽君和郑雪(2009)的研究指出, 联系性表征对问题发现有积极影响。回视体现出将前、后信息进行连接和整合加工的过程。高能力组被试

回视次数更多, 表明对材料的整合和反复加工对发现问题有促进作用。如果能够更有意识地关注新旧信息、前后信息之间的联系, 并进行有效地关联和重构, 将有助于问题的发现。

4.1.2 眼动指标的情境差异

情境材料与任务性质的差异会不会在眼动指标中体现呢? 研究显示, 被试在潜藏情境的总体和第二、三区的平均注视时间长于矛盾情境, 这与我们的设想以及相关研究结论一致。平均注视时间反映出被试对各个加工区域的重视程度, 以及信息加工中的视觉重心分布(陈俊杰等, 2011)。造成两类情境平均注视时间出现差异的主要原因可能是材料本身和任务性质的差异。Dillon (1982)指出, 潜藏式与矛盾式情境的问题发现涉及不同的认知加工过程。在矛盾式情境中, 个体仅需要去知觉、认知与辨识问题; 而在潜藏式情境中, 问题是潜在的, 个体必须去创造、建构和发明问题。在潜藏情境中, 问题本身是不存在的或处于隐含状态的, 需要学生调用更多的内部信息或者外部联想来理解和加工信息, 难度更大, 所以在平均注视时间上会更长。这也体现出, 任务难易程度与平均注视时间长短之间可能存在正相关关系。

在矛盾情境的总体和第二、三、四区的瞳孔直径均大于潜藏情境。瞳孔直径变化可能与认知加工负荷有关。闫国利等(2013)指出, 瞳孔大小变化可以作为心理加工的强度指标, 用于推测认知加工的努力程度或认知负荷大小。瞳孔扩大是心理负荷的敏感指标(吴燕, 隋光远, 2006), 瞳孔放大意味着认知活动中更大的加工负荷或心理努力(Verney, Granholm, & Marshall, 2004)。被试在矛盾情境中瞳孔更大, 反映出他们在矛盾情境中投入了更多的努力, 认知负荷更大。由于矛盾情境本身存在矛盾或错误, 被试在问题发现中往往能够感受到这个科学骗局中包含的疏漏与不足, 这对问题发现活动提出了挑战, 促使他们在认知加工中投入更多的努力去发现问题, 认知负荷变大。

在组别和情境因素上, 总注视时间和注视次数的各主效应和交互作用均不显著, 其差异只出现于

各个兴趣区之间,这与研究假设一致。高能力组学生在问题发现上的优势可能主要体现在对关键信息区域的准确判断并投入更多的精力,而并非整体加工时间。陈丽君和郑雪(2009)指出,对问题情境的高质量表征需要个体摒弃和剔除无关因素,把握关键信息并理顺各要素之间的内在联系,高能力学生在信息搜寻后能够更有效地筛选和辨识出关键信息。对于不同情境信息加工的差异,也不在于总体加工时长和次数上,而与对具体兴趣区的注视时间和次数分配有关。Mumford, Roni 和 Redmond (1994)在问题建构的心智过程模型中指出,问题发现初期个体会选择并注意那些与个人期待相关,但却还没有达到理想目标的事件作为发现问题的线索。可见,信息的选择从一开始就已经存在,之后个体将把认知资源投入到他们已选择的区域上。本研究结果也反映出对关键信息的准确辨识和加工,有助于个体集中认知资源深加工有效信息,促进问题发现。

4.1.3 眼动指标的兴趣区差异

本研究的两类情境材料均划分为4个相对独立和完整的兴趣区,每一个兴趣区均从不同的侧面提供情境信息。Tsai 和 McConkie (2003)指出,在阅读时,眼睛会移动到文章的不同位置以获取必要信息来理解材料。因此,对不同兴趣区眼动指标的考察,有助于进一步了解被试在信息注意、选择、加工和转换等方面的特点。研究结果显示,所有观测的眼动指标在兴趣区上均存在显著差异。

总注视时间直接反映出被试对某个区域加工时间的长短。在总注视时间方面,两个情境都是第二、三、四区长于第一区。一方面,这可能与第一区文字较短有关。Pieters 和 Wedel (2004)研究显示,文字的吸引力往往与其大小成正比,即文字部分所占表面积越多,就越能吸引注意。另一方面,也可能与第一区的文字性质有关。从具体内容上看,第一兴趣区都是介绍整个材料的背景资料,提供一个展开内容的大环境。因此,通常只需要对其理解并形成一个大体认识就可以了,它并不是发现问题的关键区域。大学生对第一区的总注视时间更少,也反映出他们对信息重要性的整体判断是合理的。

在平均注视时间上的总趋势是,后面的兴趣区要长于前面的兴趣区,这也与材料性质有关。通常,在加工难度大或者不熟悉材料时,平均注视时间会更长(左银舫,杨治良,2006;潘玲娜,赵广平,黄发杰,2009)。在本研究中,一方面,第二、三、

四区的内容比第一区更多,更有难度。另一方面,由于各个区域的材料之间是相互关联的,因此在理解后面兴趣区的内容时,往往需要结合前面各区的内容进行综合分析,这也进一步增大了理解和加工信息的难度,所以表现出对越后面的兴趣区平均注视时间越长。

在注视次数方面,从总体来看,大学生对第二、三、四区的注视次数要多于第一区,这与总注视时间的研究结果是一致的。注视次数是指注视点的数量,反映出对问题的理解情况(姚海娟,沈德立,2006)。由于对材料的认知加工主要是在注视时进行的,因此注视次数越多就意味着对信息的加工次数越多。前面阐述过,第一区主要是介绍整个材料的背景信息。相对来说,其内容比较短,难度比较低,理解起来更加容易,第一区也不是发现问题的关键区域。大学生对这一区的注视次数相对较少,说明他们在整体上对材料的理解和判断是合理的。

在瞳孔直径大小方面,总的来看,后面兴趣区的瞳孔直径普遍大于前面区域。瞳孔直径是反映认知加工活动中资源分配和心理负荷的灵敏指标(Martinsen, 1995)。在加工难度较大的材料时,心理负荷大,瞳孔直径会相应变大。在后区瞳孔的增大可能是由于,随着问题发现过程的推移,被试逐渐投入更多的精力,想到的内容越来越多,思考的程度也越来越深,因此心理负荷逐渐增加,瞳孔直径也相应变大。

综上所述,在材料总体以及各个兴趣区上,各眼动指标均会随着材料内容、加工性质和思维活动的变化而发生相应的改变。在各个眼动指标数据上,整体趋势是后面兴趣区高于前面兴趣区。已有研究表明,被试在完成难度高的题目时,注视时间、注视次数、瞳孔直径等均高于难度低的任务(任桂琴,韩玉昌,周永垒,任延涛,2007;汪夏,陈向阳,2012)。后面区域在眼动数据上的普遍提升,可能与材料和问题发现任务难度的加大有关。值得注意的是,虽然在总注视时间、注视次数、瞳孔直径等指标上,后面兴趣区普遍高于前面,尤其是第一兴趣区,但在发现问题的数量上,4个区却是相当的。也就是说,对第一区的注视时间等虽然明显少于其他兴趣区,但发现问题的数量却并不少。这反映出,被试在刚接触到一个情境主题时,会出于新鲜感、求知欲等多个因素,直接发现很多问题并在该区中提出,甚至不需要从情境中获取更多的支持信息。也就是说,刚开始问题很多,越到后面越难发现问

题。但在问题质量上,后面的兴趣区却明显优于前面的兴趣区,尤其是第一区。结合眼动指标的变化,我们发现,在开始接触到一个新主题时,个体仅基于背景信息的介绍,就能够较容易地发现较多的问题,问题大多属于较浅层次的基本问题。此时并不需要对情境信息进行较深入的加工,各项眼动指标均处于低位状态。随着基本问题已经提出,要发现新问题的难度增加,就必须充分利用和挖掘情境提供的信息,结合更多的新材料进行更深入、细致地加工,这时在注视时间、次数、瞳孔直径等指标上,会出现明显的上升,表现出积极加工情境信息的特点。从问题空间角度看,问题发现的心理实质是个体觉察到现有的某一状态与预想的目标状态之间存在差距(Hayes, 1981),从而基于问题情境,设定不同于其起始状态的目标状态,即找出起始状态与目标状态之间的“动态差距”的过程(Brown, 1989)。这种差距的寻找往往从最明显的地方开始,所以初期比较容易,越到后面越难。而要发现更高质量的问题,则还要对情境提供的多个角度和多个层面的材料进行联系性和整合性加工,需要通过更多的回视来促进这种信息的整合,表现出高能力组被试在回视次数上占优的特点。

4.2 眼动指标与问题数量和质量之间的关系

4.2.1 总体眼动指标与问题数量和质量之间的关系

从总体上,对各眼动指标与问题数量和质量之间的相关关系进行考察。结果显示,在眼动指标与问题数量和问题质量的关系上,存在以下特点。首先,在矛盾情境中,总注视时间、注视次数、回视次数与问题数量之间正相关显著。在注视期间人们能够获得大量有用信息(朱滢, 2000)。以上三个指标均体现了信息获取的时间长度和频次,说明在注视期间,被试可能通过对情境信息的有效提取,获得问题发现的新线索,促进发现更多数量的问题。因此,对材料内容给予更多次的注视和更长时间的加工,可能有助于提高问题发现数量。在潜藏情境,回视次数与问题数量之间正相关显著。回视意味着对信息更多的关注和加工,潜藏情境更需要通过信息之间的关联来挖掘出潜在的问题,因此回视促进了更多问题的发现。

其次,出现显著性相关的项目大部分是问题数量与眼动指标的相关。在问题质量与眼动指标之间,仅矛盾情境中,回视次数与问题质量正相关显著。阎国利(2004)指出,回视通常发生在被试阅读过程

中出现加工困难或者进行深加工时。问题发现中,当被试对某段信息进行回视,意味着可能之前没有很好地理解该内容,需要再次注视并进行理解,或者结合后面的信息对先前材料进行更深层次地加工。由于这种回视可以促进对材料更清晰的理解和更深入的整合性加工,往往也有助于发现更高质量的问题。在问题发现中,眼动数据可以较好地反映出问题数量这类只需要较低层次思维活动的指标,而在问题质量这类需要较高层次思维活动的指标上则较难体现。这说明,在反映更高级和更复杂的信息加工活动上,大多数静态眼动数据可能并不是很敏感的指标。

4.2.2 各兴趣区内眼动指标与问题数量和质量之间的关系

本研究把每一个问题从内容上进行判断,并归类为某一个兴趣区的问题,这样就把所有的问题进行了分区。之后,把每一个兴趣区内的问题数量和质量与对应兴趣区的各眼动指标之间进行了相关分析。结果显示,在矛盾情境中,被试在第二、三区的总注视时间、注视次数与问题数量之间正相关显著;在潜藏情境中,第一区的瞳孔直径,第二区的回视次数,第三区的总注视时间、注视次数和回视次数与问题数量之间正相关显著。总注视时间、注视次数和回视次数等三个指标都在2个以上的项目上与问题数量之间存在显著相关,说明这三个指标可能是反映问题数量的敏感指标。这与对材料的整体分析结果基本一致。

相关显著的项目大多出现在问题数量与眼动指标的相关上。在问题质量上,仅潜藏情境中,第一区的瞳孔直径和第二区的回视次数与问题质量正相关显著。这可能是由于对第一区的瞳孔直径大小体现了被试对材料和任务的感兴趣程度,对材料的积极关注促进了高质量问题的发现。第二区的回视反映了被试对于关键信息的特别关注和反复加工,对关键材料的有效关注也促进了高质量问题的发现。在所有眼动指标中,仅回视次数不管在总体还是在分区中,都同时与问题数量和质量呈现出显著正相关,说明回视是反映问题发现能力的一个敏感指标。

4.3 关于眼动轨迹的分析

眼动轨迹包含了非常丰富的信息。仅对静态的单个眼动指标进行统计分析,得到的结论比较有限,而动态的眼动轨迹分析更有助于对思维模式的解读(陈俊杰等, 2011)。通过对4个被试眼动轨迹的详

细记录和分析,本研究考察了以下问题。

4.3.1 注视点与问题一致性的考察

在问题发现中,是否存在“眼随心动”现象呢?即眼睛注视到哪一个兴趣区,就会提出那个区域的问题。为此,对4个被试眼动轨迹中注视点与问题的一致性进行考察。在本研究中,只要问题区域与注视点区域有重合(不需要完全吻合)就可判定为一致。比如,如果注视点在14区转换,而提出的问题是4区的,或者3~4区的,均为一致。按照这个标准,研究结果显示,全部27个问题中,不一致的问题有2个,4个被试的一致性比例分别为:85.71%,100%,90%,100%。一致性程度均在85%以上,说明在问题发现过程中,也存在着“所思即所看”现象,即个体通常会提出与当前注视区域一致的问题。有学者指出(Just & Carpenter, 1987),在问题解决中,阅读理解和解题过程与注视之间存在关联,当被试注视某个词时,他就在对其进行心理加工,本研究结果与其一致。进一步对两个不一致问题做分析。第一个不一致是,高能力组个体在矛盾情境的第2个问题,注视第3区,问题在第2区。由其眼动轨迹可知,被试在此之前注视的三个阶段都涉及到了第2区。另一个不一致则是,高能力组个体在潜藏情境的第10个问题,注视第2、3区,问题在第1~4区,眼动轨迹显示,被试在此之前注视的三个阶段也都涉及到了第1和第4区。这反映出对问题的发现可能会有稍微延后的现象。Reichle, Rayner 和 Pollatsek (2003)指出,个体能在一定知觉范围内提取注视点以外的信息,从而为后继信息识别提供必要的语境基础。也就是说,在阅读中注视一个词,并不一定是在加工这个词,也可能是将该词与前面内容进行整合。本研究中,注视点与问题不一致的情况也可能是由于被试在以该注视区域为基点,与之前注视的内容进行整合性加工。本研究在两个不一致问题中发现,问题区域与当前注视区之前的几个区域保持一致,正好反映出该加工特点。

4.3.2 注视轨迹的顺序分析

整体来看,学生在问题发现中的注视轨迹呈现出波浪型起伏的特点,说明被试会将注视点在各个兴趣区之间划过,不间断地从中获取和加工相关信息。而从发现问题的区域性来看,有的学生会按照材料的呈现顺序,依次提出第1、2、3、4区的问题,而有的学生则将4个兴趣区的顺序打乱来提问,还有的学生会大量提出跨区域(即问题同时涉及到两

个以上的兴趣区)。那么,这些学生在问题发现过程中的注视轨迹存在哪些相应的特点呢?为此,从这三类学生的眼动轨迹进行考察。由图2可知,学生的问题分别在2、3、4、4、1~4区,可作为依序提出问题的代表。在其注视轨迹中,可以看出从低区向高区渐次移动的趋势,之后注视点重回第1区,再次从低区向高区依序移动。而由图4可知,学生提出的问题分别在2、3、2、3、3区,可作为无序提出问题的代表,他的注视轨迹相对也没有明显地从低区到高区渐次移动的顺序,而是在各个区域无序转换。两类学生在高低能力组均有出现,说明注视顺序可能更反映出被试的认知风格,而非认知水平。Palmquist 和 Kyung-Sun (2000)提出,不同认知风格个体对信息系统的反应不同。柯青和王秀峰(2011)在其融合认知风格的信息搜索模型中,将认知风格视为影响信息搜索的关键要素。Liu 和 Reed (1995)发现,在信息加工时,场独立型个体倾向于自由地从一个节点跳至另一个节点,而场依存型倾向于从头到尾的遵循顺序。本研究中,学生对各区域注视轨迹的顺序差异也可能是认知风格差异在问题发现信息加工中的体现。也有学生提出跨区问题,如图3中的8、9、10题,图2中的5题。由轨迹可知,跨区问题大多在眼动的后阶段才会出现,且对应的注视点也多为跨区。这可能是由于跨区问题涉及到对信息的综合加工,它是在信息独立加工基础上才产生的,所以会较晚出现。

4.3.3 注视区域特点分析

由4个眼动轨迹图可知,被试的第一个和最后一个注视区域,均是跨区的。Reiter-Palmon 和 Robinson (2009)在其构建的问题发现心智过程理论将由情境信息引发问题线索视为问题发现的第一步。陈丽君和郑雪(2011)指出,问题发现过程可以划分为现状搜寻与表征、目标探索、提出问题、评价和修正问题等4个阶段。被试在第一个注视区域的跨区性,可能体现出被试对现有信息的搜寻和捕捉,也是寻找问题线索的过程。而最后一个区域的跨区注视,则可能反映出被试在问题发现完毕后,在各个区域之间扫视、检查,确保没有遗漏和疏忽的过程。Jay 和 Perkins (1997)提出,问题发现中需要定期评估所形成问题的质量,并不断地重新构建问题。可见,与问题解决有明确的终点不同,问题发现中,个体即使已经提出了多个问题,还是会不断地检索和整合信息,不断尝试重构问题。因为,在最后阶段,注视点依然会在多个区域之间来回搜

索。此外,从注视区域的稳定性来看,高能力组两位被试在每一个注视阶段的平均注视时间和注视次数分别是 8053.25 ms (31.96 次), 8247.78 ms (38 次); 低能力组两位被试分别是 12039.56 ms (47.22 次), 11982.72 ms (41.84 次)。可见,在每一个相对稳定的注视阶段,低能力组注视时间更长,注视次数更多。左银舫与杨治良(2006)的研究指出,被试在加工难度大的材料时,平均注视时间会更长。可能对低能力组被试来说,加工情境材料的难度更大,因此需要更多的注视。高能力组被试在每个稳定注视阶段注视时间更短,注视次数更少的特点,反映出他们在信息转换上更具灵活性,这可能也是其信息加工优势的体现。在对单个眼动指标的分析中,平均注视时间的组别差异并不显著,但通过动态眼动轨迹对注视阶段进行划分后,却显示出两组被试在注视时间上的差异,这也反映了眼动轨迹在分析中的优势。

4.4 小结

虽然眼动技术已经得到广泛运用,但在问题发现领域尚未充分体现。本研究利用眼动技术对问题发现信息加工过程进行考察,在传统眼动指标基础上,增加了对眼动轨迹的分析,比较直观地展示了问题发现中眼动与认知过程之间的关系。基于眼动特征,分析了问题发现中各类信息加工过程的规律和特点。同时,比较了高低问题发现能力个体在完成矛盾式与潜藏式两类典型问题发现任务中的整体和多个兴趣区上的眼动差异,为揭示问题发现的认知加工机制奠定了基础。对问题发现信息加工过程的细致探索,也将有助于从对信息的注意、选择、采集、转换等更微观的层面对促进问题发现能力的提高提供实践指导。

本研究以客观的眼动数据验证了问题发现的相关信息加工理论。如回视次数的组别差异和与问题数量、质量的正相关,证实了多类信息的联系和整合性加工在问题发现中的积极作用(Hoover & Feldhusen, 1994); 平均注视时间的情境差异,验证了学者提出的,对于矛盾式问题发现仅需要知觉、识别与辨认问题,而潜藏式问题发现则需要创造、产生和发明问题,后者认知难度更大的观点(Dillon, 1982)。此外,也得到了传统行为研究难以发现的一些信息加工规律。如在问题发现的最初和最终阶段,都会出现信息的跨区搜寻现象,前者可能体现对问题线索的寻找(Reiter-Palmon & Robinson, 2009),后者可能在做最后的检查和评估,以避免疏漏(Jay

& Perkins, 1997); 高能力被试在信息转换上更加灵活,在每个稳定注视阶段的注视时间更短,反映其信息加工的优势所在等。但由于是一次基础性地尝试,研究在对眼动指标的充分利用上,还有待进一步提高。比如在自变量的观测区上,除了划分为几大兴趣区域,还可以考虑对一些关键性词汇进行追踪观察和记录。也可以通过一些典型自变量的特殊设置(如情境干扰信息、冲突信息、冗余信息等),进一步探索问题发现的信息加工特点。而这些,也是未来研究需要进一步去尝试与探索的方面。

5 结论

不同能力大学生在不同情境及其兴趣区中的问题发现差异,能够体现在眼动指标上。回视是反映问题发现能力的敏感指标,其次数与发现问题数量与质量之间的正相关,以及在高能力组学生上的优势,体现了信息的联系和整合性加工在问题发现中具有积极意义。潜藏式问题发现中,个体平均注视时间更长,反映出认知加工难度更大。在提供重要信息的区域,被试会投入更多精力,表现出在注视时间、注视次数和瞳孔直径大小等指标的上升。

问题发现中,眼睛的注视点反映了对当前注视区域的关注,眼睛注视区域与发现问题区域存在对应关系,体现出“眼随心动”现象。注视轨迹顺序反映被试认知风格的差异。在问题发现的最初和最终阶段,被试都会出现跨区信息搜寻行为,分别代表对问题线索的寻找和最后的检查评估。高能力被试在每个稳定注视阶段的注视时间更短,这种信息转换的灵活性体现出其信息加工的优势。动态眼动轨迹分析揭示出单个静态指标难以反映的新特点。

参 考 文 献

- Bai, X. J., Zhang, X. L., & Shi, R. P. (2004). The eye movement on linear syllogistic reasoning: Working memory, premises relationship, the premises expression. *Studies of Psychology and Behavior*, 2, 519-523.
- [白学军, 张兴利, 史瑞萍. (2004). 工作记忆、表达方式和同质性对线性三段论推理影响的眼动研究. *心理与行为研究*, 2, 519-523.]
- Blosser, P. E. (1973). *Handbook of effective questioning techniques*. Washington, Ohio: Education Associates.
- Brown, R. T. (1989). Creativity: What are we to measure? In J. A. Glover, R. R. Ronning, & C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of creativity* (p. 23). NY: Plenum Press.
- Carson, D. K., & Runco, M. A. (1999). Creative problem solving and problem finding in young adults: Interconnections with stress, hassles, and coping abilities. *Journal of Creative Behavior*, 33(3), 167-190.

- Chand, I., & Runco, M. A. (1993). Problem finding skills as components in the creative process. *Personality and Individual Differences*, 14(1), 155–162.
- Chen, J. F. (1998). *The role of problem-finding in architectural design creativity: A cognitive study*. Unpublished master's thesis, Taiwan University of Communications, 45–48.
- [陈家富. (1998). 发现问题在建筑设计创造力中的角色. 硕士学位论文, 台湾交通大学, 45–48.]
- Chen, J. J., Yan, H. X., & Xiang, J. (2011). Study of decoding mental state based on eye tracks using SVM. *Computer Engineering and Applications*, 47(11), 39–42.
- [陈俊杰, 严会霞, 相洁. (2011). 基于 SVM 的眼动轨迹解读思维状态的研究. *计算机工程与应用*, 47(11), 39–42.]
- Chen, L. J. (2012). The research paradigm, difficulty and breakthrough in study of problem-finding. *Science and Technology Management Research*, 32(13), 257–262.
- [陈丽君. (2012). 问题发现研究: 范式、困境与突破. *科技管理研究*, 32(13), 257–262.]
- Chen, L. J., & Zheng, X. (2009). The Study of the representation of thinking in problem-finding process of the undergraduates. *Psychological Development and Education*, 25(3), 46–53.
- [陈丽君, 郑雪. (2009). 大学生问题发现过程的表征层次研究. *心理发展与教育*, 25(3), 46–53.]
- Chen, L. J., & Zheng, X. (2011). The exploratory study of cognitive stages in problem-finding process. *Psychological Exploration*, 31(4), 332–337.
- [陈丽君, 郑雪. (2011). 问题发现过程认知阶段划分的探索性研究. *心理学探新*, 31(4), 332–337.]
- Colbert, J. T., Olson, J. K., & Clough, M. P. (2007). Using the web to encourage student-generated questions in large-format introductory biology classes. *CBE Life Sciences Education*, 6, 42–48.
- Csikszentmihalyi, M., & Getzels, J. W. (1970). Concern of discovery: An attitudinal component of creative production. *Journal of Personality*, 38(1), 91–105.
- Deng, Z. (2005). Theories, techniques and applied researches about eye-movement psychology. *Journal of Nanjing Normal University (Social Science Edition)*, (1), 90–95.
- [邓铸. (2005). 眼动心理学的理论、技术及应用研究. *南京师大学报(社会科学版)*, (1), 90–95.]
- Dillon, J. T. (1982). Problem finding and solving. *The Journal of Creative Behavior*, 16, 97–111.
- Einstein, A., & Infeld, L. (1938). *The evolution of physics* (p. 95). New York: Simon and Schuster Press.
- Feng, H., Yin, G. E., & Chen, S. J. (2009). A study on eye movement in the process of solving algebra word problems. *Psychological Science*, 32(5), 1074–1077.
- [冯虹, 阴国恩, 陈士俊. (2009). 代数应用题解题过程的眼动研究. *心理科学*, 32(5), 1074–1077.]
- Gautier, C., & Solomon, R. (2005). A preliminary study of students' asking quantitative scientific questions for inquiry-based climate model experiments. *Journal of Geo-science Education*, 53(4), 432–443.
- Getzels, J.W., & Csikszentmihalyi, M. (1976). *The creative vision: Longitudinal study of problem finding in art* (pp. 163–165). New York: Wiley.
- Guilford, J.P. (1959). Three faces of intellect. *American Psychologist*, 14(8), 469–479.
- Han, Q., & Hu, W. P. (2005). The development of creative literature question-asking ability of elementary school students. *Psychological Development and Education*, 21(3), 83–88.
- [韩琴, 胡卫平. (2005). 小学生创造性文学问题提出能力的发展研究. *心理发展与教育*, 21(3), 83–88.]
- Hayes, J. R. (1981). The complete problem solver. *Review of Educational Research*, 60, 549–571.
- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M., & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(7), 791–806.
- Hoover, S. M., & Feldhusen, J. F. (1994). Scientific problem solving and problem finding: A theoretical model. In M. A. Runco (Ed.), *Problem finding, problem solving, and creativity* (pp. 201–219). New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Jay, E. S., & Perkins, D. N. (1997). Problem finding the search for mechanism. In M. A. Runco (Ed.), *The creativity research handbook* (pp. 258–260). NY: Hampton Press, Inc..
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1987). *Psychology of reading and language comprehension* (pp. 370–375). Boston: Allyn and Bacon Inc..
- Ke, Q., & Wang, X. F. (2011). Study on the integration of cognitive style with information seeking behavior. *Information Studies: Theory & Application*, 34(4), 35–39.
- [柯青, 王秀峰. (2011). 认知风格与信息搜寻行为整合研究. *情报理论与实践*, 34(4), 35–39.]
- Knoblich, G., Ohlsson, S., & Raney, G. E. (2001). An eye movement study of insight problem solving. *Memory and Cognition*, 29(7), 1000–1009.
- Lee, H., & Cho, Y. (2007). Factors affecting problem finding depending on degree of structure of problem situation. *The Journal of Educational Research*, 101(2), 113–125.
- Li, M. K., & Hung, Z. F. (2011). Research of asking and revising science questions for the 9th graders. *Research and Development in Science Education Quarterly*, 61, 51–80.
- [李明昆, 洪振方. (2011). 九年级学生探究性科学问题提问与问题发现形态之个案研究. *科学教育研究与发展季刊*, 61, 51–80.]
- Lin, Y. S. (2003). *Case study of the thinking model of "scientific problem finding" for graduate students and elementary school students*. Unpublished master's thesis, Taiwan Ping Dong Normal College, 39–43.
- [林沂升. (2003). “科学问题发现”之思考模式诠释研究——以研究生与小学生的个案为例. 硕士学位论文, 台湾屏东师范学院, 39–43.]
- Liu, M., & Reed, W. M. (1995). The effect of hypermedia assisted instruction on second-language learning through a semantic- network-based approach. *Journal of Educational Computing Research*, 12(2), 159–175.
- Liu, M. X., Hu, W. P., Adey, P., Cheng, L., & Zhang, X. L. (2013). The impact of creative tendency, academic performance, and self-concept on creative science problem-finding. *PsyCh Journal*, 2, 39–47.
- Magliano, J. P., & Graesser, A. C. (1991). A three-pronged method for studying inference generation in literary text. *Poetics*, 20(3), 193–232.
- Martinsen, Ø. (1995). Cognitive style and experience in

- solving insight problems: Replication and extension. *Creativity Research Journal*, 8(3), 291–298.
- Mumford, M. D., Roni, R. P., & Redmond, M. R. (1994). Problem construction and cognition applying problem representations in ill-defined domains. In M. A. Runco (Ed.), *Problem finding, problem solving, and creativity* (pp. 3–39). New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Norton-Meier, L., Hand, B., Hockenberry, L., & Wisw, K. (2008). *Questions, claims, and evidence: The important place of argument in children's science writing*. Arlington, VA: National Science Teacher Association Press.
- Palmquist, R. A., & Kyung-Sun, K. (2000). Cognitive style and on-line data-base search experience as predictors of Web search performance. *Journal of the American Society for Information Science*, 51(6), 558–566.
- Pan, L. N., Zhao, G. P., & Huang, F. J. (2009). The application of the eye tracker in the difficulty analysis of graphical reasoning. *Psychological Science*, 32, 1442–1444.
- [潘玲娜, 赵广平, 黄发杰. (2009). 眼动仪在图形推理难度分析中的应用. *心理科学*, 32, 1442–1444.]
- Patrick, C. (1937). Creative thought in artists. *Journal of Psychology*, 4, 35–73.
- Pieters, R., Warlop, L., & Wedel, M. (2002). Breaking through the clutter: Benefits of advertisement originality and familiarity for brand attention and memory. *Management Science*, 48(6), 765–781.
- Pieters, R., & Wedel, M. (2004). Attention capture and transfer in advertising: Brand, pictorial, and text-size effects. *Journal of Marketing*, 68(2), 36–50.
- Ramirez, V. E. (2002). Finding the right problem. *Asia Pacific Education Review*, 3(1), 18–23.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372–422.
- Rayner, K., & Sereno, S. C. (1994). Eye movements in reading: Psycholinguistic studies. In M. A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (pp. 57–81). San Diego: Academic Press.
- Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2003). The E-Z Reader model of eye movement control in reading: Comparisons to other models. *Behavioral and Brain Sciences*, 26, 445–526.
- Reiter-Palmon, R., & Robinson, E. J. (2009). Problem identification and construction: What do we know, what is the future? *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 3(1), 43–47.
- Ren, G. Q., Han, Y. C., Zhou, Y. L., & Ren, Y. T. (2007). Eye movement study on phonological mediation effects of Chinese word. *Psychological Science*, 30(2), 308–310.
- [任桂琴, 韩玉昌, 周永奎, 任延涛. (2007). 汉语词汇语音中介效应的眼动研究. *心理科学*, 30(2), 308–310.]
- Shao, H. J. (2001). *The relationships between divergent thinking, mathematical problem finding, and mathematical achievement*. Unpublished master's thesis, Taiwan National Chengchi University, 163–164.
- [邵惠靖. (2001). 扩散性思考、数学问题发现与学业成就的关系. 硕士学位论文, 台湾政治大学, 163–164.]
- Shepardson, D. P., & Pizzini, E. L. (1991). Questioning levels of junior high school science textbooks and their implications for learning textual information. *Science Education*, 75(6), 673–682.
- Subotnik, R. F. (1988). Factors from the structure of intellect model associated with gifted adolescents' problem finding in science: Research with Westinghouse science talent search winners. *Journal of Creative Behavior*, 22(1), 42–54.
- Tsai, J. L., & McConkie, G. W. (2003). Where do Chinese readers send their eyes? In J. Hyona, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), *The mind's eyes: Cognitive and applied aspects of eye movement research*. New York: Elsevier Science.
- Verney, S. P., Granholm, E., & Marshall, S. P. (2004). Pupillary responses on the visual backward masking task reflect general cognitive ability. *International Journal of Psychophysiology*, 52, 23–36.
- Wang, X., & Chen, X. Y. (2012). The study on eye movements in figure reasoning of students holding different working memory capacity. *Studies of Psychology and Behavior*, 10(1), 18–24.
- [汪夏, 陈向阳. (2012). 大学生工作记忆容量对图形推理影响的眼动研究. *心理与行为研究*, 10(1), 18–24.]
- Wo, J. Z., Chen, W. R., Liu, Y., & Lin, C. D. (2010). The eye movements differences during category learning process between high and low creativity students. *Acta Psychologica Sinica*, 42, 251–261.
- [沃建中, 陈婉茹, 刘扬, 林崇德. (2010). 创造能力不同学生的分类加工过程差异的眼动特点. *心理学报*, 42, 251–261.]
- Wu, Y., & Sui, G. Y. (2006). Eye movements performance under endogenous and exogenous cue in learning disabilities. *Psychological Development and Education*, 22(1), 23–28.
- [吴燕, 隋光远. (2006). 内外源提示下学障儿童注意定向的眼动研究. *心理发展与教育*, 22(1), 23–28.]
- Xiao, H. Y., Zhang, Q. L., & Shi, H. Y. (2006). Development of pupil's question-asking. *Psychological Development and Education*, 22(1), 58–62.
- [肖浩宇, 张庆林, 史慧颖. (2006). 小学儿童提问能力的发展. *心理发展与教育*, 22(1), 58–62.]
- Yang, Q. H. (2002). *The female earth scientists' scientific research progress of this generation*. Unpublished master's thesis, Taiwan Normal University, 54–57.
- [杨千慧. (2002). 当代女性地球科学家科学探索历程. 硕士学位论文. 台湾师范大学, 54–57.]
- Yao, H. J., & Shen, D. L. (2006). Eye movement study on the effects of heuristic information in insight problem solving. *Studies of Psychology and Behavior*, 4(3), 207–212.
- [姚海娟, 沈德立. (2006). 启发信息对个体顿悟问题解决影响的眼动研究. *心理与行为研究*, 4(3), 207–212.]
- Yan, G. L. (2004). *The application of eye-movement analysis in psychology research* (pp. 75–76). Tianjin, China: Tianjin Educational Press.
- [阎国利. (2004). 眼动分析法在心理学研究中的应用 (pp. 75–76). 天津: 天津教育出版社.]
- Yan, G. L., Xiong, J. P., Zang, C. L., Yu, L. L., Cui, L., & Bai, X. J. (2013). Review of eye-movement measures in reading research. *Advances in Psychological Science*, 21(4), 589–605.
- [闫国利, 熊建萍, 臧传丽, 余莉莉, 崔磊, 白学军. (2013). 阅读研究中的主要眼动指标评述. *心理科学进展*, 21(4), 589–605.]
- Zheng, Y. Z. (2000). *Case studies on two physicists' problem*

- finding and problem solving mechanisms. Unpublished master's thesis, Taiwan Normal University, 47–52.
- [郑瑛珍. (2000). 物理学家问题发现与问题解决之个案研究. 硕士学位论文. 台湾师范大学, 47–52.]
- Zhou, P. S., & Zhou, A. B. (2011). Influencing factors for the THOG problem: An eye-movement study. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 33(2), 167–172.
- [周鹏生, 周爱保. (2011). THOG 推理影响因素的眼动研究. *西南大学学报(自然科学版)*, 33(2), 167–172.]
- Zhu, Y. (2000). *Experimental psychology* (p. 570). Peking, China: Peking University Press.
- [朱滢. (2000). *实验心理学* (p. 570). 北京: 北京大学出版社.]
- Zuo, Y. F., & Yang, Z. L. (2006). A research on the eye movement of second language reading of different cultural language backgrounds and reading levels. *Psychological Science*, 29(6), 1346–1350.
- [左银舫, 杨治良. (2006). 不同文化语境与难度下第二语言阅读的眼动追踪研究. *心理科学*, 29(6), 1346–1350.]

An Eye-movement Study on Problem Finding Process of Undergraduates

CHEN Lijun¹; ZHENG Xue²

(¹ Educational school, Guangdong Polytechnic Normal University, Guangzhou 510665, China)

(² Psychological school, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract

Using the eye tracker, the present study was conducted to explore the cognitive process of problem finding of undergraduates in the contradictory and potential conditions, which focused on the four eye-movement areas of interest. Based on our hypothesis, we expected the quality and quantity of problem finding of two groups (high ability group and low ability group) would show significant difference in the contradictory and potential problem finding conditions, which would be reflected in the eye movement model. Furthermore, the eye movement characteristics would be correlated with the quantity and quality of problem finding. We think the analysis of eye track can show the eye movement rules which could not be reflected by the static indicators.

The mixed design with 2 (question situation: a contradictory situation, a potential situation) \times 2 (subject category : high ability group, low ability group) \times 4 (interest areas: the first to the fourth interest area) was conducted in the study. The question situation and interest area were within-group factors, while the subject category was a between-group factor. The dependent variable included the quantity and quality of problem finding and the eye movement indexes (e.g. the fixation duration, fixation frequency, regression frequency, pupil diameter and eye track in the overall and four areas of interest). In the experiment, subjects were required to find problems in the contradictory and potential situations. The eye tracker recorded eye movement parameters when subjects found problems.

The results were as follows. First, the average fixation duration in the potential situation was significant longer than the time in the contradictory situation, which may reflect that the cognitive processing in the potential situation was much more difficult than it in the contradictory situation. The pupil diameter size in the contradictory situation was bigger than it in the potential situation. The regression frequency for high ability group was more than that for low ability group, which indicated the positive role of the relationship and integration of information in the problem finding. Second, the eye movement in problem finding was significant different in the four areas of interest. In the region with essential information, many eye movement indexes

raised, such as fixation duration, fixation frequency, and pupil diameter, which indicated subjects would put more effort. Particularly, the total fixation duration and fixation frequency in the second, third and fourth areas were more than these in the first area. The average fixation duration and pupil diameter size of undergraduates in the rear area were more than these in the front area. The regression frequency in the second area was more than it in the first area. In the contradictory situation, the total fixation duration, fixation frequency and regression frequency were correlated significantly with the quantity of problems, while the regression frequency was correlated significantly with the quality of problems in the contradictory situation. The regression frequency was correlated significantly with the quantity of problems in the potential situation. The relationship between the eye movement indexes and the quantity or the quality of problems in the areas of interest was almost the same with in total. Third, the fixation area matched the problem finding area which indicated the eye movement followed the thinking in problem finding. Searching behavior across area was observed in the first and the last fixation area which means the search for clues and final inspection and evaluation. High ability group spent less time in a stable fixation phase, which reflected their superiority of the flexibility in information conversion.

For problem finding, the factors of group category and situation were reflected in eye movement indexes. Because of the differences in material property and difficulty, there was a significant difference of eye movement in the situation between each area of interest. All kinds of static eye movement indexes could better reflect the quantity rather than the quality of problem finding. However, the regression frequency was a sensitive index of reflecting the problem-finding ability, and the analysis of the dynamic eye track revealed the rules that a single static index cannot. Overall, using the eye tracker to investigate the cognitive process of problem finding could not only improve the accuracy of the experimental research, but also conduce to deeply explore the internal information processing mechanism of problem finding.

Key words problem finding; area of interest; eye movement; problem situation; eye track