

# The Effects of Redundant Text and Learning Materials on Multimedia Learning and Cognitive Load

Deying Gong<sup>1</sup>, Dajun Zhang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of Educational Science, Sichuan Normal University, Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing

Email: [gdyl121@126.com](mailto:gdyl121@126.com), \*[zhangdj@swu.edu.cn](mailto:zhangdj@swu.edu.cn)

Received: Feb. 24<sup>th</sup>, 2015; accepted: Mar. 5<sup>th</sup>, 2015; published: Mar. 11<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The study employed a 2 (redundant text: summarized vs. whole text) × 2 (learning material: theoretical vs. phenomenal) mixed factor design, to study the effect of two factors on external cognitive load and learning outcome in multimedia learning. The results revealed that the theoretical material induced higher intrinsic cognitive load than descriptive material. Both redundant text and learning material had significant main effect and interactive effect on extraneous cognitive load. In the learning of theoretical material, participants with whole text got higher extraneous cognitive load, but outperformed both on retention and transfer test than those with summarized text. However, the results didn't duplicate when participants were learning descriptive material. The results indicated that same instructional design didn't always induce same cognitive load, and cognitive load was not the only factor which influenced learning outcome; characters of learning material also had effect on learning outcome.

## Keywords

Redundant Text, Learning Material, Cognitive Load, Multimedia Learning

---

## 冗余文本和材料特性对多媒体学习及认知负荷的影响

---

\*通讯作者。

龚德英<sup>1</sup>, 张大均<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>四川师范大学教育科学学院, 四川 成都

<sup>2</sup>西南大学心理学部, 重庆

Email: [gdy1121@126.com](mailto:gdy1121@126.com), [zhangdj@swu.edu.cn](mailto:zhangdj@swu.edu.cn)

收稿日期: 2015年2月24日; 录用日期: 2015年3月5日; 发布日期: 2015年3月11日

## 摘要

采用2 (冗余文本: 概括文本vs.全文文本) × 2 (材料特性: 原理性vs.现象性)的混合设计, 探讨两因素对多媒体学习中外部认知负荷和学习结果的影响。结果表明, 原理性材料比现象性材料所导致的内部认知负荷更高; 冗余文本和材料特性对外部认知负荷的主效应显著, 交互作用显著。在原理性材料中, 冗余文本的全文呈现比概括呈现导致更高的外部认知负荷, 记忆和迁移测试成绩都更好。而在现象性材料中, 冗余文本的概括呈现和全文呈现没有导致认知负荷和学习结果的显著差异。结果表明同样的教学设计在不同材料中导致的认知负荷并不一样, 且认知负荷也不是决定学习成绩的唯一因素, 还受到学习材料本身特性的影响。

## 关键词

冗余文本, 学习材料, 认知负荷, 多媒体学习

## 1. 引言

认知负荷是指个体在学习或认知任务完成过程中进行信息加工所需要的认知资源。认知负荷理论研究的主要目的是在复杂任务学习中, 通过教学设计控制工作记忆负荷, 降低阻碍学习的认知负荷、优化促进学习的认知负荷, 使学习者合理地利用有限的认知资源, 达到最好的学习效果(Kirschner, 2002)。根据影响因素的不同, 认知负荷可分为三类。第一类是内部认知负荷, 体现了在工作记忆中同时进行加工的、将被整合进要学习的图式中的元素的数量, 即学习材料的复杂性和学习者的先前知识。如果学习材料较为复杂, 且学习者在该领域的专业知识较为欠缺, 那么要理解所学材料就必须同时注意许多不同的元素, 这些元素同时在工作记忆中进行加工, 必然会增加工作记忆的负担, 产生较高的内部认知负荷(Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998)。第二类是外部认知负荷, 这种认知负荷与学习材料的组织和呈现方式有关, 是由学习过程中对学习没有直接贡献的心理活动引起的, 当教学要求学生从事一些与图式获得或自动化没有直接关联的活动时, 便会产生外在认知负荷(Paas, Renkl, & Sweller, 2003)。比如, 如果教学材料中包含文字和图解, 而这些文字和图解的内容又没有多大关联时, 便会给学习者造成外在认知负荷。第三类是相关认知负荷, 也称有效认知负荷, 它产生于学习者在学习某一个任务未用完所有的认知资源时, 这时学习者便可以把剩余的认知资源用到与学习有直接相关的加工(如图式构建)中去, 通过更高级的认知加工(如重组、抽象、比较和推理等)支持图式构建。这样的加工也会增加认知负荷, 不过这种认知负荷不会阻碍学习, 反而会促进学习(Park, Moreno, Seufert, & Brünken, 2011)。

目前关于认知负荷的控制研究主要是降低内部、外部认知负荷, 增加相关认知负荷(Bannert, 2002), 这些控制都有利于学习效果和效率的提高。内部认知负荷的降低主要通过减少学习材料中元素间的相互作用(Gerjets, Scheiter, & Catrambone, 2004)和增加学习者的先前知识(Renkl, Atkinson, & Grobe, 2004)。降

低外部认知负荷的主要途径有使用图表(Carlson, Chandler, & Sweller, 2003)、避免注意分散(Tarmizi & Sweller, 1988)、消除冗余材料(Mayer, Heiser, & Lonn, 2001), 提供操作支持(Danielson, 2002)等。增加相关认知负荷主要是通过激励学习者更多地投入到学习中去, 如增加变化性(Paas & van Merriënboer, 1994)或是上下文干扰(van Merriënboer, Schuurman, de Croock, & Paas, F. G. W. C. 2002)等, 提示学生在工作样例的解答步骤之后自己解释基本原理也可能会产生相关认知负荷(Atkinson, Renkl, & Merrill, 2003)。

在已有研究中, 同一研究多采用一种材料, 较少通过其他材料来验证研究其结果。同时, 已有研究所用的实验材料多为原理解释性知识, 如闪电形成(Mayer et al., 2001)、心血管系统(Brünken, Plass, & Leutner, 2004)、地热泵(Bodemer & Faust, 2006)、概率知识(Gerjets, Scheiter, & Catrambone, 2006)、数据库(Li & Liu, 2007)、营养学知识(Corbalan, Liesbeth, Kester, & van Merriënboer, 2008)、水的双极子特征(Leutner, Leopold, & Sumfleth, 2009)、肾脏功能(Cierniak, Schneiter, & Gerjets, 2009)等, 较少涉其他性质的知识, 也很少考虑学习材料的其他特征的影响。另外, 已有研究多假设教学设计与认知负荷之间是一一对一的映射关系, 但越来越多的研究表明, 同一教学设计对不同背景的学习者所产生的认知负荷并不完全一样, 如 Scott 等人(Scott & Schwartz, 2007)的研究就表明, 超媒体学习环境中导航地图既可以产生相关认知负荷, 也可以导致外部认知负荷, 当学习者的元认知技能较低时, 产生的是相关认知负荷, 而当学习者的元认知技能较高时, 产生的却是外部认知负荷。学习者的专长水平和教学模式间有显著的交互作用, 新手学习者从静态图片中学习到的知识更多, 而先前知识更丰富的学习者从动态图表中学到更多知识(Kalyuga, 2008)。

多媒体学习材料通常包含两种以上的文本、声音、图像和动画等元素。与传统打印材料相比, 多媒体文本具有形象、生动、丰富的特点, 更能吸引学习者的注意力, 激发其学习动机和兴趣, 因而在日常教学和远程教育中使用越来越广泛(Mayer, 2003)。但由于材料丰富, 多媒体学习很容易由于材料冗余而导致过高的外部认知负荷, 从而降低学习效果(Mayer et al., 2001)。因此关于多媒体学习的研究多注重讨论通过减少冗余材料的呈现来提高学习效果, 如 Mayer 等人(Mayer et al., 2001)的研究表明, 在学习闪电形成的介绍材料时, 在动画的同时呈现语音叙述的概括性文本或完整文本都使被试的记忆和迁移测试成绩更差, 作者把这种现象解释为多媒体学习中的冗余效应, 即在已有语音叙述的条件下, 屏幕文本为冗余材料, 降低了学习效果。但 Mayer 等人(Mayer & Johnson, 2008)后来又比较了概括性冗余文本和无冗余文本对学习结果的影响。在该研究中, 冗余文本为屏幕上出现叙述内容中的 2~3 个关键词, 无冗余组则不出现任何文字, 结果发现冗余组被试的记忆测试成绩要好于无冗余组被试, 但两种文本方式导致的迁移测试成绩没有差异。作者认为其后期研究结果与之前研究(Mayer et al., 2001)结果不一致主要有三个原因: 屏幕文本非常短, 只有 2~3 个词; 文本的文本位置与表格接近; 其画面是静态图片而不是先前实验中的动画。根据该研究, 作者修正了其早期观点, 认为冗余文本可以起到引起学习者注意的作用, 但不能启动深入的认知加工。

Mayer 和 Moreno 等人对多媒体学习中的认知机制进行了一系列的研究, 并提出了多媒体学习的认知理论, 认为在多媒体学习中, 学习者同时通过视觉和听觉两个通道进行学习, 进入工作记忆的图像和声音分别形成视觉心理模型和言语心理模型, 并和长时记忆中存储的先前知识进行整合, 最终达到对新知识的获得(Mayer, Heiser, & Lonn, 2001; Mayer & Moreno, 2002; Mayer, 2003; Mayer & Massa, 2003; Moreno, 2004; Moreno & Mayer, 1999, 2000, 2002, 2005; Moreno, Mayer, Spires, & Lester, 2001)。Mayer 等人的研究中多采用学习结果来评价教学设计是否达到优化学习的作用, 没有涉及到认知负荷的测量, 但其优化学习的方法实际与认知负荷的控制有异曲同工之处, 因此, 我们希望在 Mayer 等人的研究中加入认知负荷的测量, 将认知负荷理论与多媒体学习的认知理论结合起来, 为多媒体学习领域中控制认知负荷的研究提供更多的证据支持。另外, 在 Mayer 等人的两个研究中, 所用的材料包括闪电形成和刹车系统功能,

均为原理解释性材料，未涉及其他性质的学习材料，其研究成果能否推广到所有学习材料中，也是值得探讨的问题。鉴于以上因素，我们拟从认知负荷的角度来探讨在不同特性的材料中，与语音叙述相同的冗余文本在屏幕上呈现的多少对认知负荷和学习效果的影响。我们假设加入更多的冗余文本会导致更高的外部认知负荷，但其对学习结果的影响因学习材料的特性而异。

## 2. 方法

### 2.1. 实验设计

采用 2 (冗余文本：概括文本、全文文本) × 2 (材料特性：原理性、现象性) 的混合设计，前者为被试间因素，后者为被试内因素。概括文本是在语音解释的同时，屏幕上同步出现解释内容中包含的关键概念或概括性短句；全文文本则是与语音解释相同的文本同步呈现在屏幕上相应的位置。原理性材料是阐述有关移动通信原理的知识，现象性材料是描述四种动物的生活习性和特点。

因变量为二级任务反应时、材料难度评价、记忆和迁移测试成绩，其中二级任务反应时和材料难度评价分别为外部和内部认知负荷的测量指标(Brünken et al. 2002, 2004; Ayres, 2006)。

### 2.2. 被试

被试为大学一年级学生 79 名，其中男生 24 人，女生 55 人。概括文本组被试 40 人，全文文本组被试 39 人。

### 2.3. 材料

#### 2.3.1. 学习材料

学习材料采用 authorware7.0 设计，在 VB6.0 环境下运行和记录结果。原理性材料为移动通信知识，介绍从主叫手机按下呼叫号码到被叫手机来电铃声响起这段时间所经历的过程，注重对该过程中各设备及通信原理解释，在视频演示的同时用女声对演示内容进行解释，材料在系统控制下播放时间为 410 秒。现象性材料为动物知识，介绍变形虫、蜻蜓、几维和负鼠四种动物的特点及生活习性，同样为视频呈现的同时加入女声的解释，材料在系统控制下播放的时间为 350 秒。

所有被试都学习两种材料，为避免顺序效应，每个实验组一半被试先学习原理性材料，后学习现象性材料，另一半被试先学习现象性材料，后学习原理性材料。

冗余文本的不同文本方式，如图 1 所示：(左图为概括文本，右图为全文文本)。

#### 2.3.2. 测试材料

测试材料包括先前知识测查、认知负荷测量、记忆和迁移测试题。

先前知识测查考查被试对两个材料所涉及到的先前知识情况。原理性材料的先前知识测查是提供一些选项，让被试根据自己的实际情况选择 1~5 中的一个数字，如“对于两个手机通话成功，中间要经过哪些过程，你\_\_\_\_\_”，从 1 到 5 依次表示完全不清楚、基本不清楚、基本清楚、比较清楚和非常清楚。现象性材料的先前知识测查是给出一些描述性的句子，让被试选择，如“我了解很多动物的特点”，从 1 到 5 依次表示极不符合、较不符合、基本符合、较符合、非常符合。

外部认知负荷用双重任务方式进行测量。根据 Brünken 等人(Brünken et al., 2002; Brünken, Plass, & Leutner, 2004)的研究，二级任务成绩可以作为初级任务认知负荷的指标。在本实验中，对多媒体材料的学习为初级任务，二级任务是在学习材料呈现过程中，随机时间内屏幕上的随机位置出现一个移动的红色气球，上面有闪烁的“点我”两个字，指导语要求被试一看到该气球就点击它，点击后气球消失，电脑记录从气球出现到被点击的间隔时间。气球在原理性材料中文本 5 次，在现象性材料中呈现 4 次，结



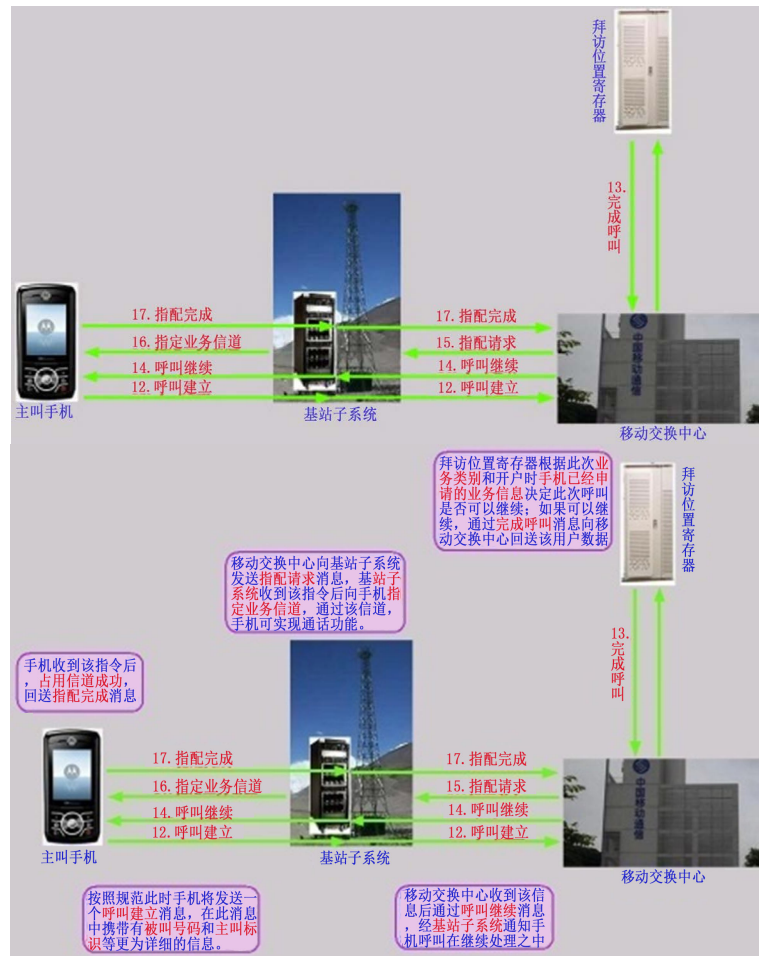


Figure 1. The different types of redundant text (the summarized in left and whole text in right)  
图 1. 冗余文本的不同文本方式(左图为概括文本，右图为全文文本)

果分析时采用平均反应时。反应时越长，说明学习材料导致的外部认知负荷越高。内部认知负荷以对材料难度的评价为指标，题目为“你认为刚才的学习材料难度如何？请从以下 9 个数字中选择你认为合适的数字。”从 1~9 表示从非常容易到非常困难(Ayres, 2006)。内部认知负荷体现了两种材料本身难度和复杂性的差异。

学习结果包括记忆和迁移测试。记忆测试考察被试对所学知识的记忆情况，所有的知识点都可以在学习材料中找到。原理性材料的记忆测试包括填空题和问答题，如“SIM 卡上存有\_\_\_\_\_的信息，是\_\_\_\_\_的必备条件”，总分为 13 分。现象性材料的记忆测试包括匹配题和简答题，总分同样为 13 分。迁移测试要求被试运用学习材料中所涉及到的原理来解决新情境中的问题，如“小王拿出手机打电话，但他的手机已欠费，那么该手机的通话流程会在哪个阶段中断，为什么？”。两种材料的迁移测试总分均为 8 分。

除记忆和迁移测试采用纸笔测试外，所有学习和测试均由电脑呈现并记录结果。

#### 2.4. 程序

被试通过输入课程编号和密码的方式随机进入各实验组。每一环节之前都会在电脑上呈现指导语，要求被试在完全理解指导语之后点击相应按钮进入下一环节。首先进行第一份材料的先前知识测试，测

试完后学习材料，学习完第一份材料后，被试举手索要相应的测试问卷，完成后交给主试。休息 2 分钟后进行下一份材料的先前知识测查和学习，程序同前。全部测试完成后，被试将获得一份小礼物。整个实验完成的时间为 50~60 分钟。

### 3. 结果

各测量指标的描述性结果如表 1 所示。重复测量的方差分析结果表明，冗余文本不同的两组被试在先前知识上没有显著差异， $F_{(1,77)} = 0.02, p > 0.05$ ；被试在两种材料上的先前知识也没有显著差异， $F_{(1,77)} = 2.21, p > 0.05$ ；两因素的交互作用也不显著， $F_{(1,77)} = 0.67, p > 0.05$ 。先前知识结果说明两组被试在两种材料所涉及领域的已有知识没有显著差异。

#### 3.1. 认知负荷

重复测量的方差分析结果表明，在二级任务反应时上，冗余文本的主效应显著， $F_{(1,77)} = 19.34, p < 0.001$ ，材料特性的主效应显著， $F_{(1,77)} = 11.40, p < 0.01$ ，同时二者的交互作用也显著， $F_{(1,77)} = 6.62, p < 0.05$ 。进一步分析发现，只有在原理性材料中，冗余文本程度不同的两组间在二级任务反应时上才存在差异， $F_{(1,77)} = 21.92, p < 0.001$ ，概括文本组被试的二级任务反应时明显低于全文文本组。在现象性材料中，两组被试的二级任务反应时不存在显著差异， $F_{(1,77)} = 1.53, p > 0.05$ 。

在材料难度评价上，材料特性的主效应显著， $F_{(1,77)} = 47.53, p < 0.001$ ，被试对原理性材料的难度评价( $6.26 \pm 1.43$ )显著高于对现象性材料的难度评价( $5.16 \pm 1.56$ )；但冗余文本的主效应不显著， $F_{(1,77)} = 1.10, p > 0.05$ ；两者交互作用也不显著。结果说明原理性材料所导致的内部认知负荷较现象性材料高；在原理性材料中，冗余文本采用概括文本比全文文本所导致的外部认知负荷更低，但在现象性材料中，冗余文本的概括呈现和全文呈现导致的外部认知负荷没有差异。

#### 3.2. 学习结果

由于两种材料的记忆和迁移测试题所考察的知识难易程度不相等，相同的分数代表的意义并不完全相同，所以对学习结果的分析是将不同材料的测试结果分别进行比较。独立样本  $t$  检验的结果表明，概括文本组在原理性材料中的记忆测试成绩显著低于全文文本组， $t_{(1,77)} = -2.98, p < 0.01$ ，迁移成绩同样低

**Table 1.** The descriptive data of cognitive load and test scores  
**表 1.** 各测量指标的描述性结果( $M \pm SD$ )

测量指标	冗余文本	原理性材料	现象性材料
先前知识	概括文本	2.05 ± 0.54	2.27 ± 0.68
	全文文本	2.14 ± 0.50	2.20 ± 0.66
二级任务反应时(ms)	概括文本	1709.08 ± 518.57	1904.04 ± 1477.99
	全文文本	2093.69 ± 1010.63	2284.91 ± 1627.74
材料难度评价	概括文本	6.19 ± 1.52	4.93 ± 1.56
	全文文本	6.33 ± 1.34	5.40 ± 1.54
记忆测试成绩	概括文本	4.95 ± 2.55	7.83 ± 1.44
	全文文本	6.65 ± 2.52	7.78 ± 1.50
迁移测试成绩	概括文本	1.20 ± 0.80	1.81 ± 1.31
	全文文本	1.63 ± 0.94	2.14 ± 1.31

于全文文本组,  $t_{(1,77)} = -2.19$ ,  $p < 0.05$ 。两组在现象性材料的记忆和迁移测试成绩上都没有显著差异。结果说明在内部认知负荷较高的原理性材料学习中, 冗余文本采用全文文本提高了被试的记忆和迁移测试成绩, 但在内部认知负荷较低的现象性材料知识学习中, 冗余文本无论采用全文文本还是概括文本对学习结果的影响都没有差异。

## 4. 讨论

### 4.1. 冗余文本对外部认知负荷的影响

本研究的结果表明, 与语音叙述相同的冗余文本的概括呈现比全文呈现所导致的外部认知负荷更低, 而二者对内部认知负荷的影响没有差异, 这与认知负荷理论的观点一致, 个体同时加工的信息越多, 所需认知资源就越多, 认知负荷也就越高。在本实验中, 在视觉通道中既出现动画画面, 又出现与听觉叙述相同的文本时, 文本和动画同时进入视觉工作记忆进行加工, 在动画相同的情况下, 文本越多, 用于加工视觉信息所需的资源也越多, 但与文本内容相同的信息已经在听觉通道中通过语音解释呈现了, 这样就产生了冗余, 导致了认知资源的浪费, 造成不必要的外部认知负荷。对概括文本组的被试而言, 视觉通道中没有出现全部的叙述文本, 仅出现概括性的文本内容, 这样既节约了认知资源, 没有造成不必要的外部认知负荷。因此, 在视觉文本动画内容时, 语音叙述文本的概括呈现比全文呈现导致的外部认知负荷更低。

### 4.2. 冗余文本对学习结果的影响

本研究与 Mayer 等人(Mayer et al., 2008)的研究结果部分一致, 在原理性材料中, 冗余内容更多的全文文本比概括文本导致更好的记忆和迁移成绩, 但该结果没有出现在现象性材料中。

记忆测试中涉及到的内容都是一些现象性的知识, 可以在学习材料中直接找到答案。原理性的移动通信材料对被试来说相对较困难, 有一些专业术语从来没有接触过, 当与语音解释相同的文本内容采用概括呈现时, 可能部分术语并没有出现在屏幕上而在记忆测试中出现了, 被试听到了这些术语但不知道到底是哪些文字, 而测试中要求答题的方式是填空和简答, 这样被试在答题时不知道应该如何表达。全文文本组是将所有的讲解内容都呈现在屏幕上了, 被试在听到语音叙述的同时, 可以看到相关的文字, 这样在答题的时候就更容易给出正确的回答。迁移测试要求被试运用学习材料中涉及到的原理来解决新的问题, 如果被试没有完全掌握材料的内容, 自然会影响他们对原理的运用, 因此更多的文本呈现同样会促进被试的迁移测试成绩。现象性材料中几乎没有专业术语和新概念, 语音叙述足够被试对材料进行必要的记忆和加工; 同时, 材料本身的内部认知负荷较低, 所需要的认知资源较少, 文本是否冗余或冗余多少所增加的认知负荷都没有超出个体认知资源的总量, 也就不会阻碍学习的完成。因此, 冗余文本呈现多少对现象性材料的记忆和迁移成绩的影响没有显著差异。

### 4.3. 材料特性在教学设计对认知负荷影响中的调节作用

本实验的结果表明冗余文本对认知负荷的影响受材料特性的影响, 在原理性材料中, 减少不必要的文本呈现对降低外部认知负荷有显著作用, 而当学习材料为现象性时, 文本呈现多少的影响就不是很明显。这说明同样的教学设计应用于不同性质的材料时, 对认知负荷的影响是不同的。原理性材料重点关注原理, 前后知识点之间的逻辑关系较为密切, 动画中对通信过程中涉及到的各系统设备之间的关系体现较为丰富; 现象性材料前后知识点之间的逻辑联系不是特别密切, 前后画面内容的关联更少。也就是说, 原理性材料的视觉信息比现象性材料的视觉信息更丰富, 所需要的认知负荷本身会更高。另外, 原理性材料的内部认知负荷要高于现象性材料, 而两种负荷是可以相加的, 因此原理性材料的总体认知负

荷要高于现象性材料。在本身认知负荷较高的情况下，语音解释的全文文本所导致的外部认知负荷比概括文本更高，影响了被试的二级任务成绩，也就被测量出来了。但当材料本身的认知负荷较低时，不同程度冗余文本所导致的认知负荷的差异未达到显著水平，也就不能被测量出来。因此，教学设计对认知负荷的影响并不是一对一的映射关系，可能还受到学习材料的调节作用。

根据本研究的结果，认知负荷理论已有的结论应用到多媒体学习领域并不是完全适合的。认知负荷理论的研究并不局限于多媒体学习领域，而是针对所有学习场所，而多媒体学习有其特殊性，其中外部认知负荷表现较为明显，但这也是其独特性之一。根据认知负荷理论，外部认知负荷越高，学习效果应该越差，因为它浪费了更多的认知资源。但在多媒体学习中，似乎不完全是这样，虽然全文文本导致的外部认知负荷更高，但它却使学生获得了更好的学习成绩。因此，探讨多媒体学习中认知负荷的产生及其控制，对丰富认知负荷理论的内容，整合多媒体学习的认知理论都有较大的意义。将来的研究可以采用更丰富的材料、更多类型的教学设计探讨教学控制与认知负荷、学习结果之间的关系。

## 5. 结论

本研究的结果表明，在内部认知负荷更高的原理性材料中，当听觉呈现对材料的解释时，如果视觉呈现与听觉叙述相同的文本全文，则比呈现概括性文本所导致的外部认知负荷更高，但记忆和迁移测试成绩都更好。在内部认知负荷更低的现象性材料中，冗余文本的概括呈现和全文呈现对认知负荷和学习结果的影响没有显著差异。

## 基金项目

教育部人文社会科学研究项目(11XJC190001)。

## 参考文献 (References)

- Atkinson, R. K., Renkl, A., & Merrill, M. M. (2003). Transitioning from studying examples to solving problems: Effects of self-explanation prompts and fading worked-out steps. *Journal of Educational Psychology, 95*, 774-783.
- Ayres, P. (2006). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction, 16*, 389-400.
- Bannert, M. (2002). Managing cognitive load—Recent trends in cognitive load theory. *Learning and Instruction, 12*, 139-146.
- Bodemer, D., & Faust, U. (2006). External and mental referencing of multiple representations. *Computers in Human Behavior, 1*, 27-42.
- Brünken, R., Steinbacher, S., & Leutner, D. (2004). Assessment of cognitive load in multimedia learning with dual-task methodology: Auditory load and modality effects. *Instructional Science, 32*, 115-132.
- Brünken, R., Steinbacher, S., Plass, J. L., & Leutner, D. (2002). Assessment of cognitive load in multimedia learning: Using dual-task methodology. *Experimental Psychology, 49*, 109-119.
- Carlson, R., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). Learning and understanding science instructional material. *Journal of Educational Psychology, 95*, 629-640.
- Cierniak, G., Schneider, K., & Gerjets, P. (2009). Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load? *Computers in Human Behavior, 25*, 315-324.
- Corbalan, G., Kester, L., & van Merriënboer, J. J. G. (2008). Selecting learning tasks: Effects of adaptation and shared control on learning efficiency and task involvement. *Contemporary Educational Psychology, 33*, 733-754.
- Danielson, D. (2002). Web navigation and the behavioral effects of constantly visible site maps. *Interacting with Computers, 14*, 601-618.
- Gerjets, P., Scheiter, K., & Catrambone, R. (2004). Designing instructional examples to reduce intrinsic cognitive load: Molar versus modular presentation of solution procedures. *Instructional Science, 32*, 33-58.
- Kalyuga, S. (2008). Relative effectiveness of animated and static diagrams: An effect of learner prior knowledge. *Computers in Human Behavior, 24*, 852-861.



- Kirschner, P. A. (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction, 12*, 1-10.
- Leutner, D., Leopold, C., & Sumfleth, E. (2009). Cognitive load and science text comprehension: Effects of drawing and mentally imagining text content. *Computers in Human Behavior, 25*, 284-289.
- Li, R., & Liu, M. (2007). Understanding the effects of databases as cognitive tools in a problem-based multimedia learning environment. *Journal of Interactive Learning Research, 18*, 345-363.
- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: Using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction, 13*, 125-139.
- Mayer, R. E., & Johnson, C. I. (2008). Revising the redundancy principle in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology, 100*, 380-386.
- Mayer, R. E., & Massa, L. (2003). Three facets of visual and verbal learners: Cognitive ability, cognitive style, and learning preference. *Journal of Educational Psychology, 95*, 833-846.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2002). Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction, 12*, 107-119.
- Mayer, R. E., Heiser, J., & Lonn, S. (2001). Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology, 93*, 187-198.
- Moreno, R. (2004). Decreasing cognitive load for novice students: Effects of explanatory versus corrective feedback in discovery-based multimedia. *Instructional Science, 32*, 99-113.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology, 91*, 358-368.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2000). A coherence effect in multimedia learning: The case of minimizing irrelevant sounds in the design of multimedia instructional message. *Journal of Educational Psychology, 92*, 117-125.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2002). Verbal redundancy in multimedia learning: When reading helps listening. *Journal of Educational Psychology, 94*, 156-163.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2005). Role of guidance, reflection, and interactivity in an agent-based multimedia game. *Journal of Educational Psychology, 97*, 117-128.
- Moreno, R., Mayer, R. E., Spires, H. A., & Lester, J. C. (2001). The case for social agency in computer-based teaching: Do students learn more deeply when they interact with animated pedagogical agents? *Cognition and Instruction, 19*, 177-213.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist, 38*, 1-4.
- Park, B., Moreno, R., Seufert, T., & Brünken, R. (2011). Does cognitive load moderate the seductive details effect? A multimedia study. *Computers in Human Behavior, 27*, 5-10.
- Renkl, A., Atkinson, R. K., & Grobe, C. S. (2004). How fading worked solution steps works—A cognitive load perspective. *Instructional Science, 32*, 59-82.
- Scott, B. M., & Schwartz, N. H. (2007). Navigational spatial displays: The role of metacognition as cognitive load. *Learning and Instruction, 17*, 89-105.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review, 10*, 251-296.
- Tarmizi, R., & Sweller, J. (1988). Guidance during mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology, 80*, 424-436.
- van Merriënboer, J. J. G., Schuurman, J. G., de Croock, M. B. M., & Paas, F. G. W. C. (2002). Redirecting learners' attention during training: Effects on cognitive load transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction, 12*, 11-37.