

## 促进中学生科学学习的 WiMVT 科学学习环境设计与研究

### Facilitate Secondary School Students' Science Learning: Design of WiMVT Science Learning Environment

<sup>1</sup>孙丹儿 <sup>1</sup>吕赐杰 <sup>1</sup>陈文莉 <sup>2</sup>张宝辉

daner.sun@nie.edu.sg; cheekit.looi@nie.edu.sg; wenli.chen@nie.edu.sg; baohui.zhang@nju.edu.cn

1. 南洋理工大学国立教育学院学习科学研究所

2. 南京大学教育研究院

**【摘要】** WiMVT 系统是一款面向初中学生科学学习的多功能学习网站。该系统旨在通过基于模型的合作探究学习方式，促进学生对科学概念的深度理解，加强其探究方法和技能的习得，培养其合作学习和交流能力。本文首先阐述该系统设计的理论基础、基本架构和特点；其次分析简化版系统的教学应用测试，测试结果表明，将复杂学习环境阶段性地应用于实际课堂，有助于系统设计的改进和优化，有利于初步探索系统的学习效果。这种将阶段性设计与现实教学相结合的测试，可以为加强设计和实践应用之间的沟通提供有力支持。

**【关键词】** WiMVT 系统；科学学习；合作式探究；模型；测试

*Abstract: WiMVT system is a web-based multifunctional learning environment supporting secondary school students' science learning. The system is designed to improve students' deep understanding of scientific conceptions, enhance their inquiry skills as well as collaborative learning skills. In this paper, we firstly describe the design rationale of the system's framework, the components and core features; then we analyze a pilot study to examine the functionalities and learning efficiency of the system. The results indicated that the pilot study of the complex learning environment in actual class would help developers to improve the existing functionalities of the system and diagnosis its impact on students learning. More important, the pilot study of WiMVT implementation will narrow the gap between the design and the actual usage and enactment of in the class.*

*Keywords: WiMVT system, science learning, collaborative inquiry, model, pilot study*

## 1. 前言

当前，计算机技术的不断更新和发展，促进了其在教育领域中的广泛应用。尤其是科学教育领域中，技术与核心理念或学习理论的结合设计成为一种重要趋势。如将探究式学习理论与环境开发相结合形成的探究式学习环境：WISE, Inquiry Land；将科学建模理论与环境开发相结合形成的基于模型的学习环境：Co-Lab, ModelingSpace，均是当前学习环境开发和研究的典型。研究表明，这些学习环境在科学教育中的应用，不但有助于促进学生科学概念的深度认知，还有助于激发学习动机、促进合作学习能力、思维能力、推理能力和自我调控能力等 (Goldsmith, 2007; Minocha & Thomas, 2007; Schwarz & White, 2005)。

基于此，本研究结合当前主流科学学习环境的特点，提出设计和开发一个综合性学习系统 WiMVT，全称为“建模和可视化技术支持下的探究学习环境” (Web-based inquirer with Modelling and Visualization Technology)。该系统结合合作式探究和科学建模理论设计而成，旨在提高初中年级学生科学概念的深度认知，加强其合作学习能力和科学探究能力，同时，借助科学建模理论，为促进学生建模能力、推理能力以及反思能力等提供支持。建构多功能的复杂学习系统是一个需长期投入和不断研发的过程，目前，该系统已经实施了一系列的功能测试和改进，取得了良好的反馈，且简化版的教学应用试验也已经开展。本文将阐述 WiMVT 系统设计的理论基础、基本架构和运作方式，结合简化版教学应用测试的结果分析，从中呈现理论设计和实践应用之间的矛盾，体现通过对理论设计的改进和教学方式的优化来解决矛盾的研究思路，为相关设计和开发提供借鉴。

## 2.理论基础

WiMVT 系统的特点是强调科学建模和合作学习在科学探究过程中的重要性。因此，系统架构的实现与科学探究、合作学习以及科学建模相关理论密切有关。其理论基础主要概括为以下几个方面。

### 2.1. WiMVT 科学探究基本步骤的设计

基于模型的探究是系统中科学探究基本步骤设计的理论依据。基于模型的科学探究模式及其教学相关研究诸多。如 White 和 Frederiksen (1998) 应用“问题-预测-实验-建模-应用”的探究模式和反思性评价活动相结合，能够促进不同学习水平学生的概念认知、探究技能和反思能力；Inquiry Island 中使用“提问-假设-计划-实施-记录和分析-建模-评价”探究模式，该方法有助于学生的社会性认知和元认知的发展(White, et.al, 2002)；Christina 和 Gwekwerer (2007) 设计了 EIMA 探究模式：参与-探究-建模-应用，该模式提倡教师通过设计一定的教学情境使得学生能够参与到一系列以建构、应用和修改科学模型为主的探究活动中，从而促进学生对科学概念的深度认知。因此，科学建模已经成为科学探究的重要步骤，基于模型或建模的科学探究可以使学生在探究技能以及思维等方面取得积极的学习效果。综上，基于模型的科学探究基本步骤可以由：提问、假设、计划、调查、建模、总结等环节组成 (Bell, et al., 2010)。

此外，建模作为一种重要评价学生概念认知的手段，被广泛地应用于概念教学领域。为考察学生的前概念及促进其反思性思维能力，借鉴 POE [预测 (Predict)-观察(Observe) -解释 (Explain)] 模式 (White & Gunstone, 1992)，本研究提出前模 (Pre-model) 环节，该环节与建模环节前后呼应，促使学生在探究前建构基于前概念的模型，并与探究后的模型进行对比和反思以改进先前模型，最终形成正确的科学模型，这种对比、评价、反思的过程可以使学生获得概念的深度认知，对概念形成更为准确和完整的认识。基于以上分析，我们提出基于模型的 WiMVT 科学探究基本步骤：情境(Contextualize)-问题与假设(Question&Hypothesize)-前模(Pre-model)-计划(Plan)-调查(Investigate)-建模(Model)-反思(Reflect)-应用(Apply)。WiMVT 科学探究基本步骤的形成，为 WiMVT 科学探究活动的基本界面形成提供了依据。也是本系统设计的核心界面。如下图所示：

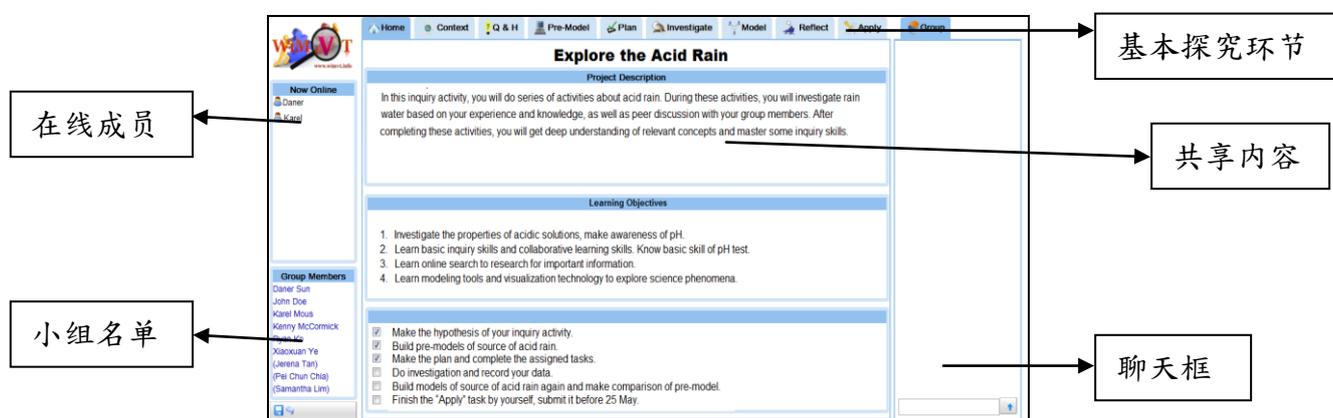


图 1. WiMVT 系统科学探究主界面

### 2.2. WiMVT 科学建模方式的形成

本系统作为面向多种年级水平学生的学习环境，引用渐进式建模的观点，为学生提供了三种自行开发的建模工具，从简单到复杂依次为：绘图工具、定性建模工具和定量建模工具。在前模环节，学生主要以绘图工具绘制其头脑中的概念模型；在建模环节学生则可以选择三种建模工具描述概念模型，不同的建模工具可以体现不同层次的概念理解水平，因此，学生

对于建模工具的选择和使用也可成为其概念学习水平的评价依据之一。绘图工具除具备基本绘图功能外，还可以导入图片组合模型；定量建模工具为学生提供了组建科学模型的基本要素，如主体，变量及其属性框，定义变量关系的公式编辑器等，学生在建立模型后，可以运行模型，来检验变量之间的线性关系；定性模型是以趋势（增加，减少，不变等）来定义变量关系，较定量建模简单、具体。如下图所示为使用已开发的建模工具绘制的2组模型示例：

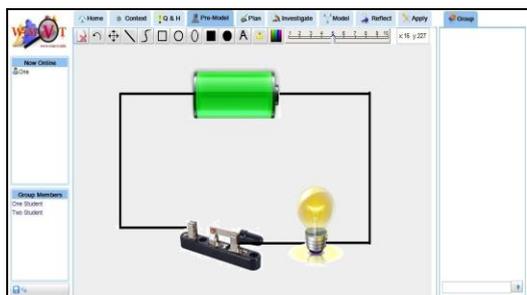


图 2a.绘图工具所建模型

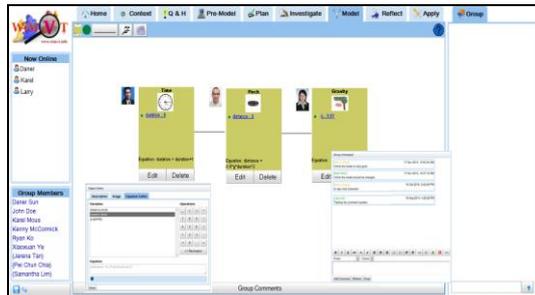


图 2b.定量建模工具所建模型

### 2.3. WiMVT 合作学习系统

WiMVT 旨在通过多种方式的合作学习来促进学生与学生、学生与教师之间的交流、互动、评价和反思。系统设计了2种形式的合作，一种为实时合作，另一种为非实时合作。实时合作通过在同时共享工作界面及聊天工具来实现，它是当前计算机支持的合作学习设计中一种重要的设计元素，为远程实时合作提供支持 (Gutwin & Greenberg, 2002)；非实时合作较为常见，本系统通过邮件、审阅和批注等工具的设计来实现。本系统的独特功能在于：在前模和建模环节学生可以进行实时合作建模，即在此过程中，同组学生可借助聊天工具讨论、建构和评价合作的模型，并实时修改。在问题与假设、计划、调查、反思等环节则使用了共享界面，已有的文字内容均可以共享，但文字输入和编辑为非实时合作。活动结束后，教师可以通过审阅和批注的方式对小组合作成果如文字、模型等进行查看和评价。

## 3. WiMVT 系统基本架构及运行方式

WiMVT 是一个网站系统 (URL: <http://www.sstsl-wimvt.sg/wimvt/>)，因此，需在网络环境下使用。系统分4个工作模块：网站管理员工作区，学校管理员工作区，教师工作区和学生工作区。网站管理员具最大使用权限，可修改其他工作区的任何内容，学校管理员是负责为学校师生建立和修改账户及密码；教师工作区和学生工作区是本系统的核心模块，是教师设计和管理教学内容、学生建立学习内容核心区域。系统的功能模块主要是工作模块、学习内容、评价工具以及支持性工具等四个部分。如下图3所示，是以学生为主体的 WiMVT 系统的基本运行方式，描述如下。

学生在登录系统后，可看到由“个人资料”、“探究项目”、“小组管理”和“邮箱”构成的4个工作区。在“探究项目”区选择教师设计的探究活动后，学生则进入探究界面（如上图1）。在每个探究环节，均显示相应的内容和活动任务、小组名单和在线成员，小组在线成员可借助聊天工具随时与同学进行交流和讨论。探究环节的活动内容依次为：在阅读和讨论相关情境内容后，思考并联系实际（情境）；在教师引导下，界定探究的问题及作出假设（问题与假设）；依据前概念，使用建模工具合作绘制概念模型（前模）；在教师指导下制定计划（计划）；依据计划深入实践探究，将调查报告或数据上传（调查）；结束调查后，根据理解，建立新的模型或修改之前的模型（建模）；对活动内容进行反思（反思）；将所学应用于问题解决中（应用）。在实际教学中，教师可以按照教学计划，选择适当的步骤或调整一定的顺序设计活动内容。另外，本系统为满足教学的需要，在“调查”环节设计了两种运行界面：模拟实验的探究界面和真实实验的探究界面。在探究的各环，系统还提供了相应的使用说

明，尤其是建模环节，开发了指导说明，便于学生更好地使用工具。探究活动结束后，教师可以对学生编辑的文本内容、建构的模型等进行审阅，并由批注工具对内容进行评价，学生可及时获得反馈，并对内容进行改进。

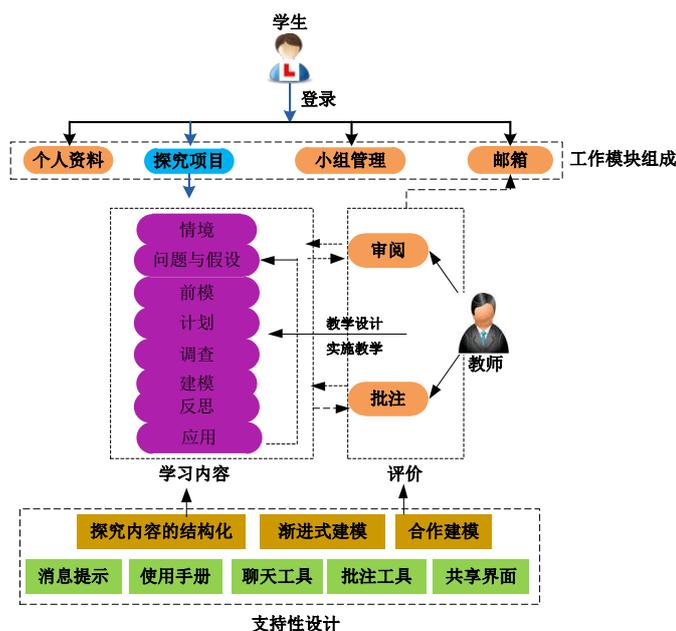


图 3. WiMVT 系统运行示意图

## 4. WiMVT 系统教学应用测试

由于本系统是融合探究、合作以及建模等理论要素的综合性系统，开发过程借鉴快速应用开发理论 (Rapid Application Development)，即按照抽取核心部分边设计，边开发和边测试的方法来开发系统。开发流程包括理论研究和—设计四个工作区框架开发—建模工具开发—简化版的开发—高级版的开发。期间，使用合作设计的模式 (Penuel, et al., 2007)，每个阶段的设计开发均由设计者、编程者、教育研究者和教师等多方讨论，再结合多次功能测试以完善设计，使得每个阶段的开发能在理论最大化符合实际教学的需要。当前正处于简化版的测试和改进阶段，本研究将对简化版教学应用测试进行分析，说明本系统对于科学学习的初步效果，并对测试中发现和存在的问题进行讨论，提出相应的改进策略，为系统的进一步修改提供参考。

### 4.1. 被试

被试为 46 名来自新加坡未来学校初中二年级 2 个班级的学生 (每班分 8 组 2-3 人一组)，授课老师是具有 9 年教学经验的物理老师，且参与了本系统的设计和阶段性讨论。因以未来学校模式建立，该学校计算机软硬件设施齐全，相对于其他学校，该校学生在计算机技能方面具有特长。因此，大多数学生可以在短时间内掌握系统的基本操作，便于测试中能够尽量避免因学生本身操作问题而产生的测试问题。

### 4.2. 研究方法

本测试选取物理学科“电流和电路”单元，由 3 名物理教师合作设计教学内容，本系统的研究团队和来自相关学科的合作研究者对教学内容提出反馈和建议，教师进行修改后，再将内容与系统进行结合，最终形成 WiMVT 课例内容。该主题的教学主要分 8 个课时，每课时 50 分钟，其中 4 节课使用本系统若干功能模块。具体如下表 1 所示：

表 1. 教学设计及其具体内容

教学内容	WiMVT	活动内容
1. 在线前测；依据情境绘制电路模型	情境，前模	思考问题情境；合作绘制电路的概念模型

2. 单个灯泡的电路连接	—	动手实验；绘制和总结多种连接方式
3. 电路图；模拟电路	调查	探究模拟电路，观察灯泡的亮度和电流方向
4. 并联电路和串联电路	调查	依据并联电路和串联电路图，分别探究模拟实验，观察灯泡亮度和电流大小、方向等
5. 复习和反思	建模，反思	模型修改和反思
6. 电路实验	—	连接电路，训练实验技能
7-8. 电阻	—	观察不同电阻对电路的影响

本测试采用多种途径收集数据。数据来源包括课堂观察记录、系统操作视频、定点视频和音频以及学生活动内容和成果、半结构式访谈。在课堂观察中，重点记录学生参与情况和系统使用情况；为保证数据分析的全面性和有效性，采用视频录制软件记录学生的系统操作情况；另外，为更全面观察师生互动情况，在教室不同观察点放置了摄像机，每组学生放置录音器；课程结束后，对老师和每组选取一名学生（共16名）进行访谈。数据分析时，对视频和音频数据的分析考察学生在系统使用过程中存在的问题；在建模活动中的表现情况；以及整体活动中学生的互动和参与情况。对师生访谈数据的分析主要了解师生对系统及其教学应用的看法；收集使用中存在的问题和合理的改进意见。本研究采用定性和定量相结合的方法对相关数据进行描述和统计，从中得出本系统对学生学习活动的初步影响，及其使用中存在的功能和教学方面的问题。

### 4.3. 数据分析

#### 4.3.1. 系统功能问题

本研究对学生使用的功能模块中出现的2类问题进行了人数和比例的统计。一类为使任务不能完成的问题，另一类为使任务完成更为耗时的问题(Nielsen, 1994)。通过对学生表现的观察来判断问题和统计问题出现的人数，从而判断系统功能存在的缺陷，在确定并非系统功能引起的活动表现时，考虑教学策略的修正。系统功能问题分析结果如下图所示。

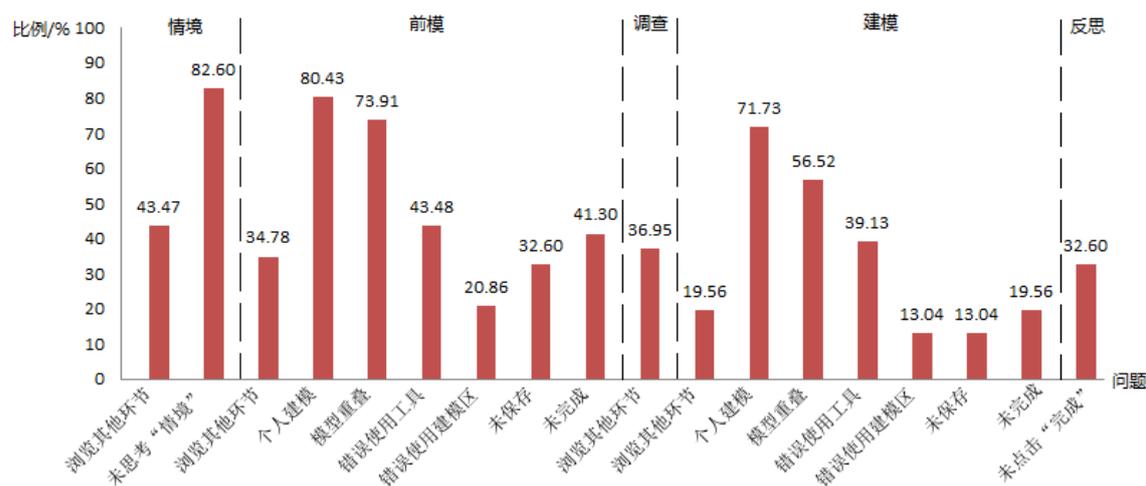


图4. 系统使用中存在的问题统计

上图中所列学生活动表现，均对学生完成学习任务造成一定程度的影响。据统计，学生在登录和选择活动项目时，未出现问题。而在进入各种活动环节时，出现了程度不一的问题。在“情境”环节，由于教师只用简单描述性文字设计问题情境，导致绝大多数学生（82.6%）只是浏览内容，而未对内容进行深入地思考；在“前模”环节出现了诸多问题，80.43%的学生不适应合作建模方式，而是采用个人建模的方法。还有一部分学生因错误使用建模工具（43.48%）、建模工作区（20.86%）以及模型重叠（73.91%）等问题，导致未能完成建模任务或者模型质量不高。错误使用包括学生用“画笔”涂鸦导致系统因流量而迟滞；未经组员同意随意使用“清除”工具删除小组成果。我们也发现很多学生进入“前模”环节会忽略合作建模的功能，造成同一小组的模型在同一界面重叠的问题。在“建模”阶段，虽然同样的问题存在，

但由于教师加强了对学生合作建模的指导和正确使用工具的演示,使得学生的任务完成数量和质量有所提高。在“反思”环节,主要表现为学生在填写内容完毕时,未点击“完成”,导致其他同学不能补充填写。另外,在进入各活动环节时,学生面对多个活动环节并列的界面,往往会随意进入其他环节,与同组学生的活动不能保持一致。这样的问题促使我们在设计方面做出一定的改进,如对未开始环节进行锁定。依据上述数据分析,本研究在系统改进和教学策略修正两个部分提出了一定的建议:(1)系统改进方面:对活动环节增设锁定和解锁功能;为学生提供个人建模和合作建模两种方式;改进“画笔”功能,减少对带宽的要求;对“清除”操作增加小组提示功能;将“保存”按钮放置到建模界面的底部;增大建模界面的面积;关闭系统时提示保存;在“反思”编辑时,增加定时提示点击“完成”的功能。(2)在教学策略方面:教师需对学生的小组合作进行引导,如分工、讨论、评价等;在设计情境内容时,能够使内容与现实相联系,尽量采用图像、模型等可视化材料,激发学生探究兴趣,引起其思考;在学生建模前,需对建模任务进行强调,呈现多种模型示例,便于学生规范建模;在学生建模过程中,加强监督和给予适时指导。

#### 4.3.2. 学生建模活动表现

本测试中,学生的建模任务是在“前模”环节设计由3组学生参加的抢答竞赛的抢答提示系统,原理为开关键按下,则灯亮。模型为含3个分别连有开关键的灯泡的并联电路,并标明电流方向。学生在“建模”阶段将“前模”中的模型进行改进。本研究通过对两个环节中模型质量的变化来评价学生建模表现。基于文献研究(Grosslight, et al., 1991; Halloum, 1997),我们将模型质量分三个水平:(1)高质量模型(HQM):对科学现象或概念进行准确的描述,表现为对模型组成的主体、主体属性以及各主体之间的关系等均用一定的符号进行了完整的表达;(2)中等质量模型(MQM):对科学现象或概念的描述达到了局部准确,表现为对模型组成的主体、主体属性或各主体之间关系使用了错误的符号进行描述,或者描述不完整;(3)低质量模型(LQM):对科学现象或概念的描述完全不准确,表现为对模型组成的主体、主题属性或各主体间的关系表述错误。如下图所示为学生所建的三种水平的模型。

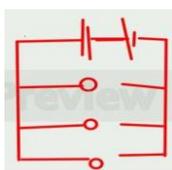


图 5a.LQM

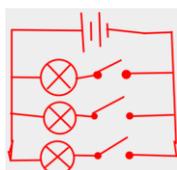


图 5b.MQM

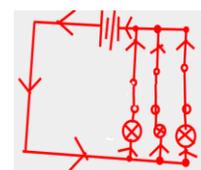


图 5c.HQM

图中的LQM使用了错误的符号来描述灯泡和电源,也缺少开关符号;MQM则使用了正确的符号对电源、灯泡、开关等组成了并列电路,但未标注电路方向;HQM使用正确的符号对整个电路进行了描述,也标注了电流方向。在本次测试中,我们收集了“前模”环节的11个模型和“建模”环节的14个模型,模型的质量及其数量如下表所示。

表 2. 模型的质量及其数量统计

模型质量水平	前模	建模
低质量模型	1	0
中等质量模型	5 (未标注电流方向) 3 (电流方向标注错误) 1 (短路)	3 (未标注电流方向) 1 (电流方向标注错误) 6 (电流方向正确, 断路)
高质量模型	1	4

由统计可知,在建模环节,学生完成模型的数量明显增加(模型数量以小组为单位),而MQM在两个阶段分别为82%和71%。在前模环节所建MQM中,学生均用准确的符号描述了灯泡、开关以及电池,但有5组未标注电流方向,3组标注错误和1组电路短路;在建模环节,学生电流方向标注正确的数量增加为6组,只有3组学生未标注电流方向,1组学

生标注错误；可见模型建构中，前后阶段学生在电路概念理解方面有了明显提高，HQM 数量在建模阶段也增加为 4 组。这样的变化初步体现了学生在深入探究电路前后，电路概念理解的变化情况。另外，通过对学生反思性内容的分析，也可以知道学生对于自身概念理解变化的认识，本研究摘录如下内容：

学生 A: 总之，我发现并列电路和串联电路构成方式的不同。

学生 B: 我之前认为电路很复杂，尤其是并列电路，我以为每个灯泡的电流会不一样。但是现在我明白了并联电路中每个灯泡的电路量是一样的，所以会有相同的亮度。只有开关闭合时，才会有电流通过。相同的电源，在并联电路上的灯泡亮度会比串联电路上的亮。

学生 C: 我认为我们的设计是正确的，是并联电路中 3 个灯泡每个连接一个控制开关，当一个控制开关闭合时，相应的灯泡就会亮。

#### 4.3.3. 学生活动表现

学生活动的表现呈现一定的阶段性。随着学生对系统功能的深入认识和建模技能的掌握，他们在后续课堂活动中表现得相对活跃。第一节课中，一些学生并未参与到合作建模活动中，只是在观望同组成员的操作，也未参与讨论。多数学生遇到问题也并未及时咨询老师和身边的研究人员，表现出对合作活动兴趣不大，求知欲望不强；而在后续的课堂中，学生表现相对活跃和积极，尤其是在合作活动中，有些小组进行了分工，将小组成员分为负责绘制模型、观察模型和评价以及书写反思内容等。积极地活动表现主要源于学生通过前模的体验积累了更多的经验、教师对合作建模的指导以及研究人员在“前模”环节结束后对系统所作出的必要改进。

#### 4.3.4. 师生访谈

访谈分析发现，师生对系统在教学活动中的应用给予了积极的反馈，并且在设计和改进方面提出了建设性意见，本文总结如下：

##### (1) 学生反馈

大多数学生认为系统参与的教学活动比之前教学活动中其他平台有趣，更能增强他们的参与性，提高了他们的学习效率。主要有如下观点：系统中的小组合作形式提供每位小组成员更多体验的机会；实时合作的方式使得合作活动变得更快更有效率；合作建模的方式有助于学习，因为可以在同一个界面表达自己的想法，小组成员可以学习并提出意见；两个不同阶段的模型比较以及反思性活动的结合，使得思维变得更为深入和清晰；比起其他建模后拍照再上传的传统共享方式，系统采用直接建模和保存并共享的方法，更为省时。在系统功能方面，学生认为系统的导航和操作等均比较简单，界面也比较友好，但是色调比较单一，不够生动；在聊天工具中建议加入语音功能，因为有些用文字难以表达的可以通过语音传达；希望加强系统的稳定性。

##### (2) 教师反馈

教师在教学和系统改进方面均提出了一定的建议，主要有以下几点：建议选择更加适合系统特点的教学内容，如主题式探究活动；在前模阶段可以使用个人建模，以考察学生不同的前概念，而在建模环节则可以合作建模，形成高质量的模型。建议系统增设更为灵活的建模界面，使得学生间合作建模的冲突降到最低；为学生设计独立建模界面，以适应不同教学设计的需要；为控制学生的活动进度，建议教师具有锁定和解锁活动环节的权力；当学生完成所有活动内容时，系统可以形成一个活动内容档案袋，该档案袋主要存储学生的活动成果。这些内容能够输出和打印成纸质文档，便于老师和家长留档、查看和评价。

## 5. 结论与后续工作

以上本文对 WiMVT 系统设计的理论基础进行了阐述，介绍了系统的理论架构和运作方式，最后结合简单版本的教学应用测试，说明了系统在教学应用中的初步学习效果，检测了功能上的主要问题，并对相应的教学策略作了建议，为系统改进和教学修正提供了参考。WiMVT 是一个综合性系统，当前简化版本也只是实现了部分功能，还有一部分功能有待改进和开发。目前，在合作方面，系统可以实现实时合作和非实时合作，批注功能有待开发；在建模工具设计方面：绘图工具和定量建模工具已实现，定性建模工具有待开发；在探究活动环节，基本功能已经实现，但“计划”、“调查”以及“反思”的界面结构正在开发，已实现，但未测试。在系统开发阶段，会面临一系列的技术问题，需要大量的测试对已有功能做出评价，在系统完成阶段，还需要进行一系列与认知相关的教学研究测试，同时，还需要研究人员与教师合作设计能够最大程度体现系统特点的课程材料。因此，本研究只是冰山一角，测试过程的呈现是为了体现复杂学习环境设计和开发与教学实践之间的沟通，使得最终形成的系统能够更适合实际教学的需要。

## 6.参考文献

- Bell, T., Urhahne, D., Schanze, S., & Ploetzner, R. (2010). Collaborative inquiry learning: Models, tools, and challenges. *International Journal of Science Education*, 32(3), 349-377.
- Goldsmith, D. J. (2007). Enhancing learning and assessment through e-portfolios: A collaborative effort in connecticut. Published online in Wiley InterScience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com)) • DOI: 10.1002/ss.247, 119, 31-42.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C., L. (1991). Understanding models and their use in science - conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Gutwin, G., & Greenberg, S. (2002). A descriptive framework of workspace awareness for real-time groupware. *Computer Supported Cooperative Work* 11, 411-446.
- Halloum, I. (1997). Schematic concepts for schematic models of the real world: The Newtonian concept of force. *Science Education*, 82(2), 239-263.
- Minocha, S., & G.Thomas, P. (2007). Collaborative learning in a wiki environment: Experiences from a software engineering course. *New Review of Hypermedia and Multimedia*, 13(2), 187-209.
- Nielsen, J. (1994). Heuristic evaluation. In J. Nielsen (Ed.), *Usability Inspection Methods* (pp. 25-62). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Penuel, W. R., Roschelle, J., & Shechtman, N. (2007). Designing formative assessment software with teachers: An analysis of the co-design process. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 2(1), 51-74.
- Schwarz, C. V., & N.Gwekwerer, Y. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support preservice K-8 science teaching. *Published online 17 August 2006 in Wiley InterScience ([www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com))*, Inc. *Sci Ed* 91:158 – 186.
- White, B., Frederiksen, J., Frederiksen, T., Eslinger, E., Loper, S., & Collins, A. (2002). Inquiry Island: Affordances of a multi-agent environment for scientific inquiry and reflective learning. In P. Bell, R. Stevens & T. Satwic (Eds.), *Proceedings of the Fifth International Conference of the Learning Sciences (ICLS)*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- White,B.,Frederiksen,J.(1998).Inquiry,modeling and metacognition: Making science accessible to all students.*Cognition and Instruction*,16(1), 3-118.
- White, R., & Gunstone, R. (Eds.). (1992). *Probing understanding*: London and New York: The Falmer Press.

