

# 哈佛大学提高和保障物理教学质量的举措分析

张立彬<sup>1</sup>, 张功<sup>2</sup>

(1. 南开大学外国教材中心, 天津, 300071; 2. 南开大学泰达应用物理学院, 天津, 300071)

**摘要:** 探讨了哈佛大学提高和保障物理教学质量, 培养一流物理人才的举措, 诸如卓越的教学研究、高效的教学评价、全面的教师培养、科学的教学指导等。哈佛大学的这些全面、细致、具体、实用的举措对我国大学物理教学质量的提升具有一定的借鉴意义。

**关键词:** 哈佛大学; 教学质量; 教学研究; 教学评价; 教师培养; 教学指导

“大学的物理系必须同时具备教学和研究双重职能”, 正是在这样一个理念的指引下, 哈佛大学物理系的教师和学生致力于开创性的研究和出色的教学, 为哈佛一直以来雄踞世界高等教育的最高峰做出了重要贡献。在哈佛大学 43 位诺贝尔奖获得者中, 有 10 位是物理系的教师。今天, 新一代哈佛物理学家们继续致力于所有尺度物理学基本问题的研究, 而将出色创新的教育机会留给那些才华横溢的本科生和研究生。

也正是基于教学与研究并重的理念, 哈佛大学在保证并提升物理教学质量方面做出了不懈的努力。本文将对哈佛大学在教学研究、教学评价、教师队伍建设、教学指导等方面的举措进行分析, 以求能够对提高我国大学物理教学质量提供一定的借鉴。

## 1 卓越的教学研究——寻找科学高效的物理教学方法

哈佛大学拥有一个出色的物理教学研究团队——Mazur 研究团队, 他们致力于各种物理教学方法和教育技术的研究, 并将许多先进的教学研究成果应用于哈佛大学物理教学。

### 1.1 Peer Introduction 教学法

传统物理教学的问题在于它仅仅是对各种来自于教科书和讲义上的物理概念和知识的陈述, 学生只是被动地听, 很少能够积极地参与到课堂中去。传统的物理教学就像是一个老师在一群消极听众面前的独白。在这种教学模式下, 仅仅有极少数出色的教师能够使学生在一堂课中始终保持注意力, 而要求学生通过讨论进行批判性的思考则更难。

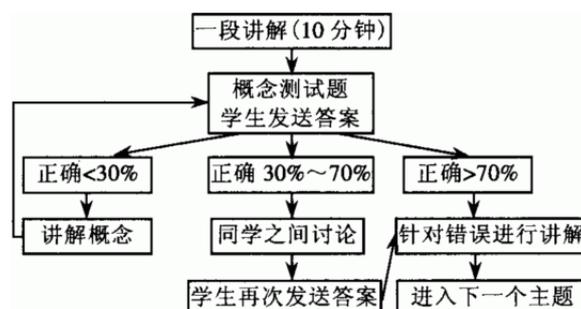
为了解决这个问题, 哈佛大学著名物理教授 Eric Mazur (埃里克·马祖尔) 发明了可以实现大班互动教学的方法——Peer Introduction, 并应用于哈佛大学基础物理课程中, 该教学方法使用专门设计用于揭示学生错误概念和引导学生

深入探究的概念测试题 (Concept Tests)，这些精心挑选的概念测试题使学生能够发现并纠正自己对物理概念的错误理解，在思考，回答，然后小组讨论的过程中，学生们真正学到了物理的主要思想。借助计算机投票系统 (Computerized Voting System)，组织大班课堂教学，变传统单一的讲授为基于问题的自主学习和协作探究，有效地改变了传统课堂的教学手段、教学模式。在大班课堂教学中，此教学法可实现学生自主学习、合作学习、师生互动、生生互动。

这种教学法使学生真正参与到课堂学习中，使学生的注意力集中在基本的概念上，课堂中穿插着概念性的问题，称为概念测试题，目的在于揭示物理知识中的难点。学生有一到两分钟的时间思考然后阐述他们的答案，之后再花两到三分钟的时间以三至四人组成的小组的形式对答案进行讨论。这个教学过程促使学生通过讨论进行思考，使学生和教师能够在课堂结束之前评估自己对物理概念的理解，见图一。[1]

PI 教学法在哈佛大学的物理教学中取得了很好的效果，通过对比和标准化测试结果表明：PI 教学方法在促进学生深入理解物理概念和提高物理计算能力方面优于传统教学方法，见表一。[2]2000 年哈佛大学 Mazur Research Group，对在全世界使用 PI 教学方法的教师进行了大规模调查，获得的数据中，有 108 名物理课程的教师表示定量测量过 PI 教学方法的有效性，其中 81% 使用评价工具 FCI 评价他们的课程，有 11 个学院和大学提供了他们的数据，共涉及 30 门课程，汇总数据分析的结果也支持上述结论。[3]

值得一提的是：PI 教学法在几乎任何课程和班级中都很容易实施，它不要求课程的重新安排，也不要求时间和金钱的巨大支出。所需要的只是概念测试题的搜集和准备并分配一定的课堂时间用于学生讨论。如今，哈佛大学的 PI 教学法已经广泛应用于其他大学并取得了相似的良好效果。



图一 PI 教学法法则[4]

表一：哈佛大学传统讲演式教学与PI 教学成效之比较

传统讲演式教学					PI 教学			
考题名称	年度	前测	后测	增益	年度	前测	后测	增益
FCI	1990	70	78	27%	1991-1997	67-71	85-92	49%-74%
MBT	1990		66		1991-1997		71-79	

注：哈佛大学并未进行MBT前测，虽无法推算出哈佛在MBT的增益，但表中三项MBT与FCI后测的比值均非常接近（0.83-0.86）显示两项检测工具的一致性。Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992) 以及Mechanics Baseline Test (MBT) (Hestenes & Wells, 1992) 是两份来自美国的力学能力测试工具，是经过许多文献检验及修改的标准化考题，并广为物理教育学者采用，(eg., Hake, 1998; Savinainen & Scott, 2002; Willson, Ackerman & Malave, 2000)。FCI与MBT都是单选题类型，其中FCI着重于物理概念的理解，而MBT则整合物理概念题与简单的数学。

## 1.2 性别与物理

最近，女性在化学和生物科学中的表现越来越突出，然而，在物理科学中，女性仍然处于劣势。一般来说，女生在大学物理课程学习中的表现不如男生，初等教育和中等教育的研究表明这种不平等源自初中和高中时期。那么，在大学物理课堂中应该怎样做才能扭转这种趋势呢？教学法真的能够改善物理教学中的性别差异吗？怎样才能让女性在物理课程学习中获得成功？

哈佛大学 Mazur 物理教学研究团队致力于研究在物理教学中如何促进女生的学习，改善物理学习中的性别差异。有关研究表明：在理科的课堂教学中，相比于竞争性的课堂气氛，女生在合作性的课堂氛围中表现的更好；而且，在使学生能够思考并回答问题的课堂教学氛围中女生学习进步更多。Peer Introduction 教学法显然符合这一点。

哈佛大学物理教学研究团队收集了多所大学在第一学期物理学导论课程的大量数据，这些数据包括学生背景、在考试中的成绩、最终等级等。在这些课程中，有些采用传统教学模式，有的采用PI 教学法，通过对数据的分析显示：Peer

Introduction 提供了课程中每位学生都要去思考的一种合作学习的环境，确实缩小了物理学习中的性别差异，这被认为促进了女学生在学习物理上的成功。[5]

### 1.3 课堂演示教学

课堂演示主要有两个目的，一是提高学生对演示概念的理解，二是增加课堂教学的乐趣。然而，先前的研究发现课堂演示并不能促进学生对相关概念的理解。事实上，许多学生会改变对课堂演示的记忆以匹配他们的基本物理学思想。

哈佛大学物理教学研究团队研究了影响演示教学效果的因素，并寻找提高课堂演示教学效果的方法。他们认为：如果要求学生在观察演示之前预测结果，然后与其他同学讨论他们的预测结果，他们会更加积极地去思考物理过程，并且有机会去发现他们自己思考过程中的不一致性和弱点。为了研究这种策略是否能够促进学生对课堂演示的理解，他们将演示教学分为以下四种模式，在不同班级进行实验。这四种模式分别为：（1）没有演示；（2）展示、讲解（传统方式）；（3）预测（每个学生在观察演示之前预测结果）；（4）预测并讨论（每个学生在观察演示之前预测结果，然后与其他同学讨论他们的预测结果）。初步的分析显示：要求学生在看到演示之前进行预测的这种方法能够提高课堂演示教学的效果。进一步的分析正在进行中。[5]

### 1.4 技术与教学

自从1984年，哈佛大学就开始在物理教学中使用一些技术，1989年，物理教学研究团队推出了一个交互式的软件包，这个软件包可以个性化地对一学年的物理学课程进行辅导总结。自从1990年，哈佛大学物理教学研究团队开始使用技术来改变物理教学。首先，他们启动了伽利略计划，这是一个包括 Peer Instruction 和 Just-in-Time-Teaching的教学改革计划的开端，他们也开发了教室网络以帮助教师在PI教学中获得学生对问题的投票。

现在他们正致力于开发各种基于网络的教学技术以帮助哈佛大学物理教师实施创新的教学方法。比如ILT（交互式学习工具箱）是一个非常有效的学习管理系统，它帮助教师开发课程并监控学生的学习进程。他们正与其他致力于教学革新的研究人员合作，力图将ILT与完全交互式的教室系统集成起来，它可以使用各种各样的设备，从红外课堂表决器到手机，再到无线掌上电脑和笔记本电脑。其目的在于将基于笔记本电脑的交互性教室与基于服务器的课程和内容管理系

统联合起来。[5]

## 2 高效的教學评价——一个師生双赢的机制

目前，哈佛學院本科生教學評估主要是本科生教育委員會(CUE)評估。CUE 評估已經開始電子化，用於對教學人員的評估和獎勵。

哈佛大學的教學評價可以追溯到 1925 年，Crimson 首先請求學生評價一些大的課程，起先它作為學院課程的秘密指導。1973 年，哈佛大學本科生教育委員會決定把課程評價的程序正規化，於是在 1975 年設立了第一個課程評價，被廣泛稱為 CUE (Committee on Undergraduate Education) 評價。2005 年，CUE 評價從原來的在課堂散發的紙質形式變為在線評價系統，在 2006 年哈佛學院和文理學院整合它們的課程評價系統的時候，又被改進成表格的形式。之後 CUE 評價又改名為 Q 評價，現在 Q 評價系統每學期被用來評價接近 1000 門課程和超過 2000 名教師。Q 評價系統由文理學院註冊辦公室和它的研究與分析辦公室運行。

在每學期的結束時，學生都會收到電子郵件讓他們評價自己的課程，然後點擊連接就可以進行在線的課程評價。在學期結束後，Q 評價的結果被製成表格形式並且可以供教師查看，大多數課程的總結每年以 Q Guide 的形式刊登出來。Q 評價提供了學生對課程和教師很重要的反饋，Q 評價數據幫助學生選擇課程、有助於哈佛大學補充課程指導，學校還會根據 Q 評價數據對某些班級進行監察。教師們都非常嚴肅地對待 Q 評價（有超過半數的教師在 Q 評價數據公布的一天內查看學生對他們所教課程的反饋）。[6]

毫無疑問，Q 評價體系是一個双赢的機制：學生的評價被合計成 Q Guide，教師可以知道並辨別教學中存在的問題並從學生的視野中學習以改進教學。因此，Q 評價體系強化了哈佛大學的教學，最終是哈佛大學的課程教學質量得到提高。

基於 Q 評價，the Bok Center 每學期都會舉辦一次特別的招待會，在招待會上獎勵本學期在教學方面表現出色的教師。the Bok Center 會頒發三個獎項，分別是：哈佛大學榮譽教學證書、哈佛大學卓越教學證書以及 Derek C. Bok 獎。哈佛大學榮譽教學證書是獎勵給研究生講師和助教的，哈佛大學卓越教學證書是獎勵給講師和學生指導教師的。這兩個證書的獲得者將得到在 Q 評價的 5 項績點

量表中超过 4.5 的综合评分。Derek C. Bok 奖是奖励给在本科生教学方面出色的研究生讲师的。每年有五个名额，奖励包括 1000 美元的奖金和 David G. Nathan 博士（哈佛大学医学院著名教授）和他的妻子 Jean Louise Friedman Nathan 赠送的礼物。

另外，哈佛大学文理学院和物理系还会给教学出色的教师颁发其他奖项，诸如，Roslyn Abramson 奖（初级教员）、哈佛学院教授职位奖（高级教员）、Thomas Temple Hoopes 奖（督导学生工作的出色教员）、Joseph R. Levenson 纪念教学奖（全体教员和研究生讲师）、Harold T. White 卓越教学奖（物理系研究生讲师）等。[7]

哈佛学院也开发出许多替代性评估方法：比如，期中评估、同行评估（特别适用新任教师和研究生助教评估）、匿名在线反馈表（博克中心提供）、富有经验的导师（mentor）的观察（与奖惩不挂钩，帮助小组讨论课老师改进教学）。

### 3 全面的教师培养——大学的真正进步依赖于教师

哈佛大学第 21 任校长艾略特曾说：“大学的真正进步必须依赖于教师。”哈佛大学物理系之所以卓越，一个非常重要的因素是拥有一支一流的教授队伍。第 23 任校长科南特说：“大学者，大师云集之地也，如果学校的终身教授是世界著名的，那么这所大学必定是最优秀的大学。”哈佛大学现任校长博克在回答“为什么哈佛能长期保持第一流学府的声誉”这一问题时说：“要使我们的学校始终保持前列，归根到底要有好的教授。”[8]

哈佛教授的聘任是面向全世界的，有一套复杂的考核系统和考核周期，要广泛征求校内、校外、以及世界范围内同一学科专家的意见。哈佛认为：“请全世界的专家对候选人进行评价，是保证每个领域都能找到最优秀人才的关键所在。在做出高级教师任命决策时，一定要认真考虑候选人所在学校最优秀教师对他的看法。”[9] 这种全方位的严格选拔保证了哈佛的教授都是世界一流的学者。另外，哈佛编内讲师，聘期为 5 年，期满不能升级者，便不再聘用。这条“非升即走”的原则，避免了无能教师的滥竽充数，平庸教师不求进取，杰出教师不得提升的弊端。除此之外，哈佛极力避免近亲繁殖，不直接从本校毕业生中留人任教。哈佛教师中确实约 30% 是本校的毕业生，但其中很多人是到校外工作了一段时间，取得出色的学术成就后，又被“挖”回来的，有些在本专业领域出类拔萃的外校

教师,被哈佛看中后,便直接聘来任终身教职。

哈佛大学物理系的教授都是世界范围内精选的顶尖级学术精英,其中有10名诺贝尔奖获得者,他们都曾经或者正在承担着一定的教学任务,因为哈佛大学不能接受只研究而不任教的教授。

哈佛十分注重对物理教师的培训和指导,哈佛大学有一个专门指导本科生教学的机构, The Derek Bok Center, 该中心成立于1975年,其目的是为了提高哈佛学院(哈佛大学本科生学院)本科生的教学质量,哈佛大学对该中心一如既往的支持反映了哈佛大学最初的办学理念:使研究和教学达到最高程度的兼容。The Derek Bok Center 真诚和免费地为教师(不管是教授,讲座教师,访问教师,兼任教学工作的研究生还是助教)提供各种各样的培训和资源以推动更好的教学。The Derek Bok Center 当然也为物理系教师提供的各种资源和服务。包括教师培训,安排教学实习,提供资料和咨询服务,特别是教学录像带的使用。借助于以往的教学录像带,新任教师可以一脉相承地并有批判性地继承和发扬课程教学。物理系还配有专门的教学顾问,他的职责是帮助物理系教师提高教学技能并帮助解决教学中的任何问题。现在的物理系常驻教学顾问是 Kirill Korolev,还有两位教学顾问是 David Hoogerheide 与 Jason Dowd。

### 3.1 微格训练

在每学期开课前,即将给本科生上物理相关课程的研究生讲师将统一组织进行小组微格教学训练。哈佛大学的微格训练教学还分为以下三种[10]:

**标准微格训练:**教师的教学被录像然后回放并与物理学科的教学顾问进行一对一的单独讨论;**实验微格训练:**一组新教师轮流在微格教室中讲课,物理系教学顾问和其他教师充当学生,教师在微格课堂上与其他充当学生角色的教师互动,之后听取他们的评论,发现教学中的问题和优点,还讨论使用哪一种教学方法更为有效;**微格说课训练:**每一位新教师对他们准备的一节课进行介绍并讲述他/她将怎样给学生上这节课,然后他会得到教学顾问和其他教师的建议以改善自己的教学,并且获得再一次说课的机会。

微格训练的目的在于发现新教师们在课堂上的问题并在真正进入课堂教学前解决它,微格训练还能帮助新教师在进入教室或实验室前克服紧张,另外,微格训练还能帮助某一门物理课程负责人在课程开始之前观察新教师的教学行为并

给出指导。微格训练使每一位新教师受益，当然最终受益的是学生，因为他们不是新教师的课堂试验品，他们所听到的课程都是充分准备和训练之后的，这使得哈佛大学物理课程教与学更为有效。

### 3.2 教学录像

The Derek Bok Center 为教师们提供免费课堂教学录像服务，借助于教学录像，物理教师在课后可以与有经验的物理课程教学顾问一起进行私密的讨论，这种讨论可以涉及课堂教学的任何方面。教师们也可以拷贝自己的教学录像自己保存下来。[11]

### 3.3 课堂观察

教师可以请一位资深物理教学顾问参观旁听他的课堂教学，并在课下与教学顾问进行私密地交谈，教学顾问会就教师的课堂教学细节方面加以分析和指导，从教学顾问的观察和交谈中，教师可以得知他的课堂教学是怎样被一个客观独立的教学观察者所感知的，他的课堂教学中存在哪些问题，怎样更加有效地讲解物理概念，推导演算公式，怎样与学生互动，怎样让学生理解晦涩的物理概念和理论。这种举措显然对教学大有帮助。帮助教师更好地教学就等同于帮助学生更好地学习。

教学录像与教学观察各有优缺点，但它们都是提供教学反馈的十分有效的方法，教学观察更适合小班教学和不便进行教学录像的环境，或者在教师认为录像会分散学生注意力的情况。教师们可以选择对自己的课堂教学进行录像或者请物理教学顾问进行观察，也可以两者都选。值得说明的是，教学录像和教学观察都是私密的，不经教师的允许，Bok Center 不会泄露任何教学观察和教学录像的信息给任何人。[11]

### 3.4 个人教学咨询

哈佛大学物理教学顾问还可以向所有物理教师提供个人教学咨询服务，当然所有的咨询都是为教师保密的。咨询内容也许包括：教学技巧、课程设计、作业布置、论文和考试、课程和研究生讲师管理、领导技巧、学生作业的评价和反馈、大课质量评价、课程教学中的特别问题、Q 评价、教学录像和教学观察。[11]

### 3.5 经典授课案例

哈佛大学 Bok Center 提供物理课程的经典教学录像，这些物理课程教学案

例在教学技巧、学生互动、课堂组织、教学内容设计、概念讲解等等各个方面都堪称经典，现在的物理教师们可以从这些经典教学案例中借鉴一些东西以提高自己的教学水平。

### 3.6 教学方法讲座

一些出色的教师和教学研究人员会把他的教学方法、技巧和研究成果与全校教师分享，他们被邀请做关于怎样教好某一门物理课程的讲座，供相关教师学习借鉴。这些讲座都有录像带供哈佛大学物理教师学习使用。例如，Eric Mazur 教授的讲座《从问题到概念：物理教学中的互动》讲述了 Peer Instruction 和 Just-in-Time teaching，两种创新的物理教学技术，它们使用课堂讨论和立即反馈来提高学生的学习效率。Robert Kirshner 教授的讲座《教宇宙学》介绍了怎样教授非科学专业的学生宇宙学课程。[12]

## 4 科学的教学指导——做好教学的每一个环节

要取得最好的教学效果，就得做好教学的每一个环节，从课程设计，到课堂讨论，从课程评估到教学反馈，还有先进教育技术的应用。哈佛大学几乎在教学的每一个环节上都对物理教师进行了科学的指导。

### 4.1 课程设计

哈佛大学的每一位物理课程任课教师在新学期课程开始之前都要提交本课程的教学大纲并上传到该物理课程网站上供学生查阅。一方面，教学大纲可以让学生知道该课程的目的和大体情况，另一方面，教学大纲可以当作课程教师和学生之间的一种合约——据此可以期望作业安排和成绩评定，教学大纲还可以作为一种指导性的参考，学生和教师可以参考它来得知一些诸如课程安排和办公时间的信息，也可以把它作为课程教学法和课程内容的基础。

一般来说，教学大纲应包含：学习目的，课程基本原理，课程基本信息，课程内容，学生任务，成绩评定方法，课程材料及获取途径，教学理念等。[13]

### 4.2 课堂讨论

哈佛大学的物理教学不像中国的大学物理那样的填鸭式教学，它注重教师与学生的互动，它把课堂教学的重点放在学生的“学”上，而不是教师的“教”，它注重学生的学习过程和学习效果，注重学生对物理概念的理解和掌握。基于此，课堂讨论式教学广泛地应用于哈佛大学的物理教学中。

哈佛大学要求领导课堂讨论的教师不仅仅要知道讨论的范围和讨论的去向，还要有能力去追踪和即兴评论课堂上讨论的一切。领导课堂讨论还要求教师了解每一位学生，并找到方法对每一位学生的给予合适的回应。教师用问题、倾听、和回应与评论作为课堂讨论的基本架构。

哈佛大学 Bok Center 向教师提供如何进行课堂讨论的大量资料，这些资料包括领导讨论的技术、方法、注意的问题，还有课堂讨论式教学方法的系统教程 [14][15][16][17]，其目的是提高教师领导课堂讨论的能力，除此之外，还向教师们提供物理课堂讨论课的经典录像带，供现在的物理教师借鉴。

#### 4.3 课程评估

对课程和课堂教学进行评估不管对学生还是教师来说都很重要。一般来说当这种评估基于多种信息源时最为有效，评估的方法包括学生评价、小测验、考试、设置问题、作业等。当采用每一种评估方法时，哈佛大学建议教师们应该考虑以下问题：我的主要目的是什么？哪一点似乎使学生迷惑？怎样做的更好？我接下来该做什么？

课程评估的三种简单而有效的方法：（1）对学生进行预测验，这样可以知道学生的现有水平，并与课程结束时的表现进行比较；（2）做中期或者早期反馈，这样教师可以及早知道自己的教学和学生学习中的问题，并及时做出调整。

（3）在下课时让学生写一个小报告或者做个小测验以便于学生们能够及时向教师指出他们仍然存在的迷惑。[18]这些课程评估的措施使得哈佛大学的物理教学更为有效。

#### 4.4 评级和反馈

评级和反馈是教师与学生最有效的沟通方法，是教师有效的工具，借助于他们，教师可以表达他认为学生应该学习什么并帮助学生朝着教师希望的目标前进。[18]

哈佛大学建议教师在评级和反馈中注意以下问题：

（1）目的：在任何课程中都要告知学生评级和反馈的目的，是学习成效的测试还是与其他学生的对比，或者与绝对标准的比较，学生在收到教师的反馈后应该做什么。总之，评级和反馈目的透明会帮助学生的期望和行动与老师达成一致。（2）清晰：不管采用什么样的课程评级标准，都要写进学期开始的教学大

纲中,如果学生不知道评级的方法,评级将成为一种学生猜测教师的想法的游戏,而不会专注于学习课程的内容。同样,对学生的反馈也需要清晰地表达出来,比如表扬学生在哪方面做的比较好,他们还需要做什么,怎样取得进步等。(3)一致性:哈佛大学要求教师在整个课程的教学中的都要保持评级标准的一致性,建议一门物理课程全体教师们一起讨论评级标准,同样,教授同一门物理课程的教师们必须在给学生的反馈的数量和类型(书面的,口头的,或者量化的)上取得一致。

#### 4.5 先进教育技术的应用与指导

为了使物理课程更加丰富多彩,哈佛大学特别重视先进教学设备的应用,比如课程网站、演示软件、交互式教学系统、课堂表决器以及其它的教学技术工具,并向教师提供这些先进教学工具的使用指导。[19]

个人课堂表决系统(Personal Response Systems)可以让学生实时地给出物理概念问题的答案,这帮助教师获得班级学生对物理概念理解的情况,如果许多学生对某一物理概念仍然迷惑,教师就会再次讲解相关物理知识,直至得知学生的理解达到满意的效果。1.1节提到,PI教学法的关键在于大量概念问题的设计,哈佛大学 Bok center 也给物理教师提供概念问题设计方面的指导。即使对于广泛应用的演示文稿(PowerPoint),BOK CENTER 都会对教师进行使用和制作指导。除此之外,哈佛大学文理学院技术团队为了推动先进教育技术的使用也像教师提供技术培训和咨询,帮助他们学会使用哈佛大学课程管理系统,协助教师开发在线多媒体系统和物理课程软件。

通过以上的调查研究,我们不难发现:哈佛大学在提高和保障物理教学方面采取了诸多行之有效的举措,这些举措全面、细致、具体、实用,正是基于这些举措,哈佛大学打造了一流的物理教学,培养出了一流的人才。显然,哈佛大学的这些举措对我国大学物理教学质量的提高是有借鉴意义的。

#### 参考文献:

- [1] E.Mazur. Peer Instruction: A user's manual. NJ: Prentice Hall,1997:10-16.
- [2]张慧贞.由哈佛到逢甲:普通物理互动教学的实施与成效.科学教育學刊,2003(4):391-406.
- [3] Mazur Research Group.Methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. American Journal of Physics, 66(1): 64-74.

- [4]张萍, Eric Mazur. Peer-Instruction—哈佛大学物理课程教学新方法, 中国大学教学, 2010 (8) .
- [5]Mazur Research Group .<http://mazur-www.harvard.edu/research>
- [6]Q evaluation. <http://q.fas.harvard.edu/harvardQ/about.jsp>.
- [7]Teaching Award.  
<http://bokcenter.harvard.edu/icb/icb.do?keyword=k1985&pageid=icb.page29684>
- [8] 张家勇. 世纪哈佛大学本科生课程改革的若干重点问题. 辽宁教育研究, 2007 (8): 85~89.
- [9]向洪. 哈佛理念. 青岛出版社, 2005: 75-78.
- [10]Practice teaching.  
<http://isites.harvard.edu/icb/icb.do?keyword=k1985&pageid=icb.page29686>
- [11] Videotaping, Class observation, Consultations.  
<http://isites.harvard.edu/icb/icb.do?keyword=k1985&pageid=icb.page29687>
- [12]Lecturing.  
<http://isites.harvard.edu/icb/icb.do?keyword=k1985&pageid=icb.page29696>
- [13]Course planning.  
<http://isites.harvard.edu/icb/icb.do?keyword=k1985&pageid=icb.page29695>
- [14] Eds. C.R. Christensen, D.A. Garvin and A. Sweet. In Education for Judgment: The Artistry of Discussion Leadership: 15-36.
- [15] 《the Arts of Questioning》  
<http://isites.harvard.edu/fs/html/icb.topic58474/questioning.html>.
- [16] 《Techniques for responding》  
<http://isites.harvard.edu/fs/html/icb.topic58474/responding.html>.
- [17] 《Ten Strategies for Effective Discussion Leading》  
[http://isites.harvard.edu/fs/html/icb.topic58474/Dawes\\_DL.html](http://isites.harvard.edu/fs/html/icb.topic58474/Dawes_DL.html).
- [18] Grading & Feedback.  
<http://isites.harvard.edu/icb/icb.do?keyword=k1985&pageid=icb.page29701>
- [19]Clickers and other tech.  
<http://isites.harvard.edu/icb/icb.do?keyword=k1985&pageid=icb.page29705>

[作者简介]张立彬 (1964—), 男, 河北石家庄人, 教育部南开大学外国教材中心副教授, 现主要从事信息文化、信息技术与物理学外国教材研究; 张功 (1987—), 男, 安徽阜阳人, 南开大学泰达应用物理学院研究生, 主要从事光子学与光子技术的研究。

本文系教育部2009年度研究项目“中美一流大学物理教育比较研究”的阶段成果之一。