

大型仪器设备与人才培养的思考

张学鳌, 张 森

(国防科学技术大学 理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 大型仪器设备是科学研究的技术和物质基础, 也是培养创新人才的重要平台。本文针对当前大型仪器设备的使用现状, 阐述了大型仪器设备在人才培养中的作用与意义。同时, 结合我校物质与材料科学实验中心的大型仪器设备体系, 分析了实验教学、科技活动和短期培训等方式对于人才培养的实践探索。

关键词: 大型仪器设备; 人才培养; 探讨

中图分类号: G642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-8874(2016)03-0103-06

On Large Instruments and Talents Training

ZHANG Xue - Ao, ZHANG Sen

(College of Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Large instrument is not only the technical and material bases of scientific research, but also an important platform for training innovative talents. According to the current service status of the large instruments, the role and significance of large instruments and equipment on talents-training are elaborated. Combined with the system of large instruments in Center of Materials Science from National University of Defense Technology, multi-mode functions of large instruments such as the experimental teaching, science and technology activities and short-term training for students are explored and discussed.

Key words: large instruments; talents training; exploration

一、引言

随着我国经济快速发展和综合国力不断增强, 科研经费的投入逐年增加, 自2006年起, 我国在科研创新上投入的绝对值已经达到世界第二的水平, 仅次于美国。尤其是在大型科研平台的建设方面, 许多高校与科研院所都开始注重重大科研基础设施和大型科研仪器购建, 这也成为高校创建一流大学过程中的重要任务之一^[1]。大型仪器设备在一定程度上体现出学校的综合实力和教学、

科研水平, 为我国科学技术的发展起到了重要作用, 进一步提升了相应学科在国际上的科技竞争力。同时, 大型仪器设备由于价格昂贵、结构复杂、专业性强, 加上近几年过快地建设, 其效用并没有得到充分、高效地发挥, 利用率不高的问题逐渐凸显出来^[2]。早在2012年, 教育部对我国高校的仪器设备总体状况的调查数据显示, 高校仪器设备的总价值将近2000亿人民币^[3]。如此众多、贵重的设备, 如果没有很好地利用, 将是对国家资源的巨大浪费。在2014年, 国务院发布了《关于国家重大科研基础设施和大型科研仪器向社

会开放的意见》,明确提出“加快推进科研设施与仪器向社会开放,进一步提高科技资源利用效率”。因此,如何提高大型仪器设备的使用效益,合理配置仪器资源,让大型仪器设备在教学、科研和社会服务中得到充分利用^[4-5],特别是如何发挥大型仪器设备在人才培养中的作用是高等学校值得深入探讨的问题。

二、大型仪器设备在人才培养中的作用与意义

大型仪器设备应该为人才培养服务,这是毋庸置疑的^[6]。大型仪器设备在高校的教学、科研中具有不可或缺的基础性地位,不但强有力地支持了高水平的科学研究,在人才培养方面也应发挥重要的支撑作用。将大型仪器设备用于人才培养,既可以充分发挥设备的效益,提高设备的利用率,又可以培养学生的动手能力、创新能力等科研素养,两者有机结合与统一,是一种双赢的实践模式,对于高等教育具有重要作用和深远意义。

(一) 充分发挥仪器设备使用效益

目前,高校大型仪器设备存在的最大问题就是使用效率较低。教育部2012年的信息统计表明全国高校的大型仪器设备的年平均使用机时刚刚超过800小时。如果按一年2个学期,每学期20个教学周,每周5天工作日,每日8小时计算,仪器每年可利用机时多达1600小时,目前利用率刚刚超过50%。因此,清华大学实验室与社会处武晓峰处长认为还有较大的挖掘空间^[7]。因此,如何充分发挥现有仪器设备的效益一直是实验室管理探讨的热点,这比仪器平台建设本身更具现实意义。很多专家学者提出了仪器设备开放共享模式——建立开放共享机制,实现资源共享,从而提高仪器使用效益。与此同时,部分高校也积极开展探索实践,如在国家发改委、财政部和教育部的支持下,由清华大学牵头的“高等学校仪器设备和优质资源共享”项目,其目的就是推进高校之间的仪器设备开放共享。另一方面,大型仪器设备的使用主要集中在科研和公共服务,用于教学的份额比较小,即使是目前最流行的开放共享模式,其目的也还是提高大型仪器设备在科学研究方面的利用率。因此,有许多学者提出将大型仪器设备直接用于实验教学,以起到促进人

才培养和科学研究工作的共同发展,同时使得仪器设备能够得到进一步使用,充分发挥其教学方面的效用。

以笔者所在的国防科技大学物质与材料科学实验中心为例,通过“十一五”和“十二五”的重点建设支持,中心建成了功能薄膜制备、微观特性表征、全能带光谱测试和纳米器件加工四个平台,拥有亚洲第一台太赫兹成像光谱仪、世界上最高分辨率的超高分辨率光谱仪、高分辨率场发射透射电子显微镜,以及亚原子级生长精度分子束外延等一大批世界一流的设备。分析近年来大型设备的使用情况,年平均机时刚刚超过600小时,低于高校机时平均利用率;在使用的机时中,60%以上机时用于对外公共服务^①,约30%用于中心自身科学研究,另有不到10%机时用于教学工作。根据国务院发布的《关于国家重大科研基础设施和大型科研仪器向社会开放的意见》中提出“加快推进科研设施与仪器向社会开放,进一步提高科技资源利用效率”的指示,中心在为学校提供服务的同时已注重加强宣传工作,吸引诸如中信湘雅、湖南有色金属研究院等单位来中心开展合作研究,但由于社会和高校对于设备功能和指标需求的差异,同时受限于军校和地方合作的不便之处,收效并不明显。在设备用于支撑学校科学研究方面,由于每年学校整体所承担的项目数量、实验人员及其年均工作时间趋于稳定,因此设备用于科研的机时需求变化不大、利用率难以明显提高。然而,机时对于教学工作方面,只占不足10%的份额,仍有较大的提升潜力;我们可以通过开设大型仪器设备相关的实验课程,增加利用大型仪器设备开展毕业设计项目数量,提高大型仪器设备在实验教学、人才培养方面的使用率,进一步提高设备的使用效益。我国高校学生众多,在校生超过一万人的大学比比皆是,做一个大胆的假设:如果通过各种形式,让每个学生都能接触到当今世界最先进的大型精密仪器,设备的使用机时自然提高了,其使用效益和由此带来的社会效益将是无法估量的。

(二) 积极探索人才培养新模式

高等学校的中心工作是人才培养!近年来,国家提出“创新性人才培养”对高等教育提出了新的挑战,培养具有创新意识 and 创新能力的高素质人才是当前高等教育改革的主题。习近平总书记于2014年6月9日在中国科学院第十七次院士

大会、中国工程院第十二次院士大会开幕会的讲话中指出:“我国要在科技创新方面走在世界前列,必须在创新实践中发现人才、在创新活动中培育人才、在创新事业中凝聚人才,必须大力培养造就规模宏大、结构合理、素质优良的创新型科技人才。”

要实现中华民族的伟大复兴,人才是关键。作为高校教师,人才培养的工作首当其冲,刻不容缓,这也迫使我们思考,如何才能培养出国家和社会所亟须的人才?尤其是素质优良的创新型科技人才?笔者认为,方式之一就是结合大型仪器积极探索创新型人才培养的新模式。大型仪器设备本身就是一个综合、创新的体系,现代仪器无论是从原理、设计,还是从操作、数据分析等诸多方面都体现出创新元素。以进行纳米技术研究重要的仪器设备——扫描隧道显微镜为例,其原理是物理学上的量子隧道效应,利用针尖与样品表面之间产生的隧道电流随距离的变化而进行样品表面分析,物理实现上则融合了探针技术、弱信号检测技术、精密位移技术、控制反馈技术、低温真空技术等,可以实现原子尺度的空间分辨率。正是这样一台设备,开创了纳米技术研究的新纪元。其发明者 G. Binnig 和 H. Rohrer 也因为发明扫描隧道显微镜而获得 1986 年的诺贝尔物理学奖。因此,大型仪器设备对于人才培养方面有着得天独厚的优势,在培养学生自己动手解决实际问题的能力、自我学习能力、创新精神和创造能力等方面将能发挥其应有的作用和潜能。

三、大型仪器设备在人才培养中的实践探索

许多学校开展了大型仪器设备用于创新人才培养的探索,并取得了一定成效。其组织与实施方案呈现多样化特点,最为常见的就是利用大型仪器设备进行开放式实验教学,并与大学生创新实验、学科竞赛等科技活动相结合,定期举办仪器短期培训,最大限度地发挥仪器设备在人才培养中的作用与效益。我校物质与材料科学实验中心在借鉴校外开放式实验教学的基础上,进行了大型仪器在人才培养中的积极探索。

(一) 结合大型仪器开设新型实验教学课程

本科实验教学实验所使用的仪器设备一直以来都是一些较为简单、基础的实验教学仪器,偶

尔采用大型仪器也只是以实验演示为主,注重理论知识的了解而非实验技能的培养,或者采用虚拟教学的方式,以虚拟软件为平台进行模拟操作,学生并没有真正地接触到仪器设备,仅是一些感性认识。在与学生的接触中我们发现,当今高速发展的信息技术使他们每天都能接收到大量的科技资讯,学生强烈渴望了解到这些新知识,开阔视野,希望能够零距离接触到这些前沿科技。我校物质与材料科学实验中心成立于 2005 年 9 月,作为国防科技大学公共测试分析平台,承担为学校和其他单位提供公共检测和科研技术支撑。中心具有一大批世界一流高精尖的仪器设备和一支主体由具有博士学位人员组成的高水平科研团队,2008 年被评为湖南省高校重点实验室,2009 年通过中国合格评定国家认可委(CNAS)实验室认可。中心已经为校内外用户提供了大量的高精度的微观形貌、光谱特性、物质成分等测试服务,为我校的科研发展发挥了重要作用。每次,学校组织本科生到物质与材料科学实验中心参观见学的时候,学生们都会被这些“高大上”的设备所震撼,表现出极大的兴趣。基于此,我们结合中心的仪器设备开设了“现代显微学”、“光谱技术与应用”、“纳米电子学”、“表面物理”等相关课程,取得了较好的教学效果。

以“现代显微学”为例,该课程是针对当前新学科研究的发展趋势,尤其是与纳米科技相关的交叉学科的快速发展而对研究生知识体系提出的新要求,结合物质与材料科学实验中心现有的设备条件(透射电子显微镜、扫描电子显微镜、扫描探针显微镜等)和研究基础(低维物理与纳米器件),而开设的一门全校研究生选修课程。该课程涵盖了现代显微学的主要原理、电子显微镜和扫描探针显微镜的基本结构和显微图像的解析、现代显微分析技术的最新前沿进展等内容。其最大的特点是课程设计,共 54 个学时,包含基础理论和实践课程两部分,学生有三分之一的课时利用中心的仪器设备开展实验学习。对于每一类大型设备,一般先进行理论讲述,然后上机操作,一次 3 学时,让学生有足够的时间了解仪器设备并能够亲手操作设备。同时,实验内容与科技前沿紧密结合,比如讲授完透射电子显微镜的结构、原理及进展后,我们随后安排上机实验,让学生利用高分辨率透射电子显微观察当前最受关注的碳纳米管、石墨烯等材料的微观结构,学生也可

以根据自己的研究方向准备相关实验样品。课程一经开出,就吸引了物理学、材料科学与工程、生物医学工程、仪器科学与技术、光电工程等多个专业的研究生前来选修,从课堂教学与课后反馈的情况来看,效果比较好。学生普遍认为,通过这门课的学习,基本掌握了电子显微镜和扫描探针显微镜两大类显微技术的工作原理和功能特性,为自己的毕业课题和进一步相关科研工作打下了良好的理论与实践基础。

再以本科生“光谱技术与应用”课程为例,课程计划学时36,其中24学时理论讲述,12学时实验操作,实验、理论课时比高达1:2。由于该课程让学生在本科阶段就能接触到本学科的一些先进的光谱仪器,了解一些前沿性的光谱技术知识,激发学生对专业方向的认知度,反响很不错。例如,光谱分辨率是一个非常重要的概念,为探测光谱辐射能量的最小波长间隔,它反映光谱仪的探测能力。为了加深学生对这一重要概念的理解和掌握,我们安排学生在一台Bruker IFS125HR型高分辨傅里叶光谱仪上开展有关气体光谱实验,当学生面对这台世界上迄今为止最高分辨率(千分之一波数)光谱仪时,兴趣一下子调动起来,他们迫切想知道为什么这台光谱仪具有如此高的分辨率。老师这时候顺势引导他们进行思考,让他们将理论上讲述的影响分辨率的因素与实际的光谱仪联系起来,找出这台光谱仪与普通光谱仪的不同之处,并鼓励他们开动脑筋,也来设计一台高分辨率光谱仪,学生们积极性很高,变被动为主动,提出了许多行之有效、富有创新的想法。

值得一提的是,鉴于我单位大型仪器设备利用率与全国高校平均水平相比偏低,在教学方面挖掘潜力较大的特点,在我们新开设的课程中,实验操作的比例相当高(实验课时占总课时的1/3),这种理论讲授与实验操作紧密结合的教学方式,能够引导学生通过实际操作消化理解知识,进一步领会、理解理论知识,从而使学生在最短的时间内掌握抽象的基础理论和具体的实验技巧,能够让学生围绕所学的理论知识动脑、动手完成实验操作,提高他们分析问题、解决问题的能力。最近,为了紧跟凝聚态物理的发展态势,利用中心已有大型仪器设备,结合我校低维物理与纳米器件研究方向,我们计划开设一门以实验为主的研究生课程——“高等凝聚态物理实验”,让更多

的学生了解凝聚态物理的最新动向,增强动手与运用仪器设备的能力,积极促进我校凝聚态物理学学科的发展。此外,我们也欢迎学校其他院系利用中心设备开展教学活动,提供实验条件支撑,进一步增大仪器的开放力度,发挥其在人才培养中的作用,已经实施的有“仪器分析”、“微观分析与表征技术”、“材料失效分析”等课程。

(二) 利用大型仪器进行创新科技活动

大学生课外科技活动,是指学生根据自己的学习兴趣,以解决实际科学或社会问题为切入点,利用课余时间,在学校的组织引导以及教师的帮助指导下,以学生自主钻研为主的科技实践活动^[8]。它主要包含三个方面的内容:一是课外科技学习活动;二是课外科技实践;三是课外科技创新。这三个方面共同构成了大学生课外科技活动的完整体系。课外科技活动是培养学生实践能力和创新精神的重要途径,也是应用型创新人才培养必不可少的重要环节。学生在开展课外科技活动的过程中,通过自身的刻苦钻研和集体协作,充分发挥学习的主动性和创造性,激发自身的创新思维,最终起到培养学生的创新意识,从而提高学生的创新实践能力的作用。

为进一步加强本科创新人才培养工作,湖南省启动了省级大学生创新性实验活动,我校也设立了校级大学生创新性实验项目,并采用自主申请、专家评审、择优资助的方式立项。大多创新性实验项目聚焦于具有创新性和应用价值的各类科技发明和实验装置,在实践过程中往往需要大型精密仪器设备的支撑,这为进一步提升大型仪器设备在人才培养中的作用提供了很好的契机。笔者曾经指导过几名本科学子依托中心的仪器设备开展创新实验活动,并获得了湖南省大学生创新性项目的支持,该创新项目的目标是制备一个基于碳纳米管修饰电极的甲醛生物传感器。为了很好地完成这个项目,项目组同学在老师的带领下设计规划了实验方案,并将中心的仪器设备充分考虑进去。在后续的实验过程中,学生们在老师的指导下,利用扫描电子显微镜观察碳纳米管的微观结构,利用拉曼光谱仪表征碳纳米管的光谱特性,利用聚焦离子束对碳纳米管进行加工,利用电化学工作站对传感器进行传感性能测试。该实验项目完成得很好,成功构建出对一定浓度的甲醛具有快速响应的碳纳米管生物传感器,并发表了一篇SCI论文^[9],结题评价结果为优。依托中心

开展的类似这样的创新实验活动还有很多,效果都很不错,学生反映良好。结合大型仪器设备开展创新实验活动,不但调动了学生学习的主动性和创造性,而且让他们如此近距离的接触大型科学装置,进一步激发了他们对科学的兴趣和探索力,提高了创新实践能力。

(三) 针对大型仪器开展短期培训

将大型仪器设备的开放式教学与本科生、研究生毕业论文环节相结合,对有需求的学生进行短期培训,取得仪器的上岗资格后,学生可以利用大型仪器自主完成毕业论文,提高科研创新能力。同时,也可以在不同实验课程中开展开放式实验教学,与学科竞赛、星火基金等学生科技活动相结合,开展仪器短期培训。

低年级的研究生刚刚开始进入实验室,具有强烈的了解大型仪器设备的需求,希望进行短期、有针对性的培训。不定期的短期大型仪器设备操作培训,正好满足其需求。培训一般每学期至少1次,内容包括应用讲座和实际操作训练,所有培训学生均经过严格的考核,考核合格后获得大型仪器设备培训合格证书,为以后大型仪器设备面向科研开放、学生自己上机测试做好了准备。以清华大学材料系X射线衍射分析中心为例,研究生和高年级本科生经过短期培训,具备了常规X射线衍射测试的基本理论和操作技巧,通过预约机时,即可以在老师的监督下自主完成实验。我校物质与材料科学实验中心针对使用频率较高的微观结构表征和光谱测试大型仪器设备,如扫描电子显微镜、原子力显微镜和拉曼光谱仪等,曾经在夏季学期面向全校研究生组织过类似的短期培训,培训的内容分为基础理论和上机操作两部分。大家的参与积极性很高,培训效果明显。许多学生反映说,以前只知道中心有很多仪器设备,但是对于其原理和功能并不是十分了解,通过培训,让他们对许多仪器设备有了较为深刻的认识,为以后开展相关研究工作奠定了基础,最直接的收获就是知道了通过什么样的仪器设备能够获得什么数据信息,用以支撑自己的研究课题;还有的学生通过培训直接掌握了实验研究所需的大型仪器设备的使用方法,培训合格,能够在老师的指导下直接开展实验研究,提高了科学研究效率。

除上述实践教学、科技活动和短期培训三种有关创新人才培养的实践之外,我们也结合学校特色积极探索利用大型仪器设备进行军事创新人

才培养的新模式。比如,将中心的太赫兹时域光谱仪作为学校中、高级培训班重点演示仪器,向他们阐释太赫兹波段的电磁波在物质识别、侦察探测方面的应用,体现了大型仪器设备在战场信息化人才培养方面的意义与作用;结合大型仪器设备,鼓励学生开展面向军事应用的科技小发明、小创造,我们曾经指导学生利用聚焦离子束/电子束系统制备出石墨烯光电探测器,让学生领会到高速探测、感知的军事意义。这些创新实践探索,不但提高了机时利用率,扩展了大型设备的功能,而且让学生从这个过程中得到锻炼与培养。

四、结束语

作为现代教学和科研不可或缺的组成部分,大型仪器设备将在人才培养中发挥愈来愈重要的作用。要积极创造条件、营造氛围,将大型仪器设备打造成学生自主学习、独立探索的平台,成为其提高观察能力、实践操作能力和研究创新能力的重要基地。作为高等教育的主体,高校教师应解放思想,就如何通过开放大型仪器设备来培养学生的创新能力进行积极有效的尝试和探索。近年来,我们利用中心的大型仪器设备与教学工作相结合,开展了创新型人才培养的初步探索,取得了一定成效,同时也发挥仪器设备的最大效益和作用,提高设备利用率。当然,我们也要认识到,开展大型仪器设备在人才培养中的实践探索的同时,会带来诸如管理模式、运行成本、设备安全等新的问题。因此,还需不断探讨有效的仪器设备开放机制与管理措施,完善各种制度建设,用制度来规范管理工作的各个环节,设立专项基金,加强仪器设备管理技术队伍建设,确保实验室在开放中具有良好的运行环境,协调、健康、可持续发展。

大型仪器对人才培养,尤其是高等创新性研究人才的培养具有重要意义。而面对国内高校大型仪器设备普遍存在的使用效率较低的问题,我们提出大型仪器设备与人才培养相结合,通过将大型仪器用于实验教学、科技活动和短期培训等方面的初步实践探索,使得大型设备的高效利用与高等人才的创新能力培养有效结合起来,对国内兄弟高校具有一定的借鉴意义。相信大型仪器设备与人才培养的有机结合,必能有效促进教学与科研互动,提升高素质、高层次、多样化创新

人才的培养质量。

注释:

- ① 对外公共服务指笔者所在单位——物质与材料科学实验中心所承担的公共测试服务任务,包括校外兄弟院校以及校内兄弟单位(本中心以外)的测试服务。

参考文献:

- [1] 朱平川,岑卫健,李楠.大型仪器平台应用于本科教学实验的探索[J].实验科学与技术,2012(1):119-121.
- [2] 林兴桃,王小逸,客慧明,等.大型仪器开放式实验教学与学生创新能力培养的探索与实践[J].实验技术与管理,2013(5):117-119.
- [3] 武晓峰.推动高校大型仪器设备共享促进人才培养和科学研究工作[J].管理观察,2013(32):21-24.

- [4] 汤云晖,王波,李耳.大型仪器设备实验教学与本科生、研究生创新能力培养的探索实践[J].中国现代教育装备,2010(17):129-133.
- [5] 周云,阴金香,张四纯,等.大型仪器设备在大学创新型人才培养中的应用[J].实验室研究与探索,2011(11):274-277.
- [6] 李素琴,张有生.高校大型仪器应为培养人才服务[J].煤炭高等教育,1993(3):83-84.
- [7] 武晓峰.推动高校大型仪器设备共享促进人才培养和科学研究工作[J].管理观察,2013(32):21-24.
- [8] 杨涛涛.开展大学生课外科技活动的实践与探索[J].实验室研究与探索,2013(3):184-186,189.
- [9] 张仁彦,张学鹜,贾红辉,等.基于碳纳米管修饰电极的甲醛生物传感器[J].分析化学,2012(6):909-914.

(责任编辑:陈勇)

(上接第75页)

- [4] 童桦,唐慧君,唐晖.高校科技创新能力评价研究[J].技术与创新管理,2005(5):30-32.
- [5] 中华人民共和国科学技术部.关于改进科学技术评价工作的决定[EB/OL].[2016-05-19].http://www.most.gov.cn/tjcw/tczcwj/200708/t20070813_52375.htm.
- [6] 中华人民共和国科学技术部.科学技术部关于印发《科学技术评价办法》(试行)通知[EB/OL].[2016-05-19].http://www.most.gov.cn/fggw/zfwj/zfwj2003/zf03wj/zf03fw/200409/t20040901_31458.htm.
- [7] 中华人民共和国教育部.关于进一步改进高等学校哲学社会科学研究的意见[EB/OL].(2011-11-07)[2016-05-19].http://www.moe.edu.cn/publicfiles/business/htmlfiles/moe/A13_zcwj/201111/126301.html.
- [8] 中华人民共和国教育部.关于深化高等学校科技评价改革的意见[EB/OL].(2013-12-20)[2016-05-19].http://www.gov.cn/gzdt/2013-12/20/content_255/954.htm.
- [9] 童桦,唐慧君,唐晖.高校科技创新能力评价研究.科技论坛[J].技术与创新管理,2005(5):30-32.
- [10] 刘书雷,吕蔚,韩琰.高校科技创新能力的要素构成及评价体系研究[J].科学学研究,2008(S2):467-470.
- [11] 王守栋.高校科技创新团队绩效评价研究[D].天津:天津大学,2010:3-51.
- [12] 李淑平,张雪梅.河南省高校科技创新能力评价——基于数据包络分析[J].中原工学院学报,2015(2):

86-89.

- [13] 辛宝忠.黑龙江省高校科技创新能力评价研究[J].学术交流,2016(3):123-129.
- [14] 姜春林,孙军卫,田文霞.人文社会科学成果评价若干指标内涵及其关系[J].情报杂志,2013(11):43-50.
- [15] 熊渠邻,阮建海,李雨露,等.高校人文社会科学学术影响力的评价指标体系研究[J].西南师范大学学报:自然科学版,2013(11):40-44.
- [16] 中华人民共和国教育部.教育部办公厅关于印发《高等学校人文社会科学重点研究基地建设计划实施办法》的通知[EB/OL].(2012-12-26)[2016-05-19].http://www.moe.gov.cn/srcsite/A13/moe_2557/moe_2558/201212/t20121226_146418.html.
- [17] 刘书雷,沈雪石,吕蔚,等.高校科研团队创新能力评价研究[J].国防科技大学学报,2010(1):138-141.
- [18] 王守栋.高校科技创新团队绩效评价研究[D].天津:天津大学,2010:3-51.
- [19] 陆根书,张晓磊,席西民,等.构建我国高校科研评价系统的政策建议[EB/OL]. [2016-05-19].http://www.moe.gov.cn/s78/A16/s3719/s3808/201007/t20100701_91114.html.
- [20] 吴晓波,李冬琴,李靖华.高校科技竞争力评价指标体系之构建[J].高等工程教育研究,2004(2):37-40.

(责任编辑:胡志刚)