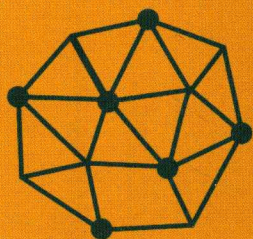


廖 磊 著



交互式 远程实验系统的 研究及实践



科学出版社

交互式远程实验系统的研究及实践

廖 磊 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在“互联网+”教育的大背景下研究远程实验系统产生的背景、历史沿革和发展现状,并对远程实验相关的概念、网络通信、自动测试系统、网络结构、典型架构、远程网络协作实验系统以及实验资源调度等相关知识做了研究。本书着重以第三届全国高等学校自制实验教学仪器设备展评二等奖获奖作品交互式远程 EDA 实验系统为范例,详细阐述了系统的整体架构设计、可编程逻辑验证平台、控制服务器、视频服务器、实验计算机、实验服务器、客户机等模块的设计过程和关键实现。

本书可供从事远程实验系统相关方面研究与开发的专业人员参考,也可作为电子和信息相关专业研究生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

交互式远程实验系统的研究及实践 / 廖磊著. —北京: 科学出版社, 2017.12

ISBN 978-7-03-052813-1

I. ①交… II. ①廖… III. ①远程教育-实验研究 IV. ①G43-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 107607 号

责任编辑: 张 展 李小锐 / 责任校对: 韩雨舟

责任印制: 罗 科 / 封面设计: 墨创文化

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年12月第 一 版 开本: B5 (700×1000)

2017年12月第一次印刷 印张: 19 3/4

字数: 390 千字

定价: 138.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

在理工科的学习中，实验是教学过程的重要组成部分，是学生理论联系实际，培养其分析和解决问题能力的重要环节，也被认为是理工科“学习的核心”^[1]。实践教学具有直观性、开放性、综合性和创造性等特征，有助于加深学生对基础知识的理解，训练学生的动手操作、观察思考、综合调查、分析测试、方案设计和创新实践等能力。实验实践有助于确保学生的主体地位，培养学生主动建构知识体系、增强就业竞争力。

随着信息技术的高速发展，信息技术为经济、政治、文化、社会等各个领域带来了广泛而深刻的影响。尤其是在教育领域，教育信息化已成为国家优化教育结构、改善教育资源配置、缩小东西部和城乡教育差距、全面推进教育公平、提高教育投资效益、推进素质教育、创新教育的重要手段。全民教育、优质教育、个性化学习和终身学习已成为信息时代教育发展的重要特征。

2012年3月，教育部正式发布了《教育信息化十年发展规划(2011—2020年)》(简称《规划》)，提出了我国教育信息化的总体发展目标：到2020年，全面完成《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》所提出的教育信息化目标任务，形成与国家教育现代化发展目标相适应的教育信息化体系，基本建成人人可享有优质教育资源的信息化学习环境，基本形成学习型社会的信息化支撑服务体系，基本实现所有地区和各级各类学校宽带网络的全面覆盖，教育管理信息化水平显著提高，信息技术与教育融合发展的水平显著提升。教育信息化整体接近国际先进水平，对教育改革和发展的支撑与引领作用充分显现。《规划》明确提出：以信息技术促进教育与产业、学校与企业、专业与岗位、教材与技术的深度结合；提出构建继续教育公共服务平台，采用信息化手段完善终身教育体系。

2015年7月国务院正式发布了《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》。“互联网+”正式成为国家战略。“互联网+教育”正迅速成为一种教育新形态。

在教育信息化的大背景下，国内外教育信息化已成为研究与开发的热点之一。远程实验室包括远程虚拟实验室和远程实物控制型实验室。远程虚拟实验以LabVIEW、Matlab等仿真软件建立的仿真虚拟模型作为实验对象，而远程实物控制型实验则是以真实的实验硬件设备为实验对象。远程实验系统突破了传统实验实践中时间和空间，使授权的任何人(anyone)、任何时间(anytime)、任何地点(anywhere)可以开展任何实验(any experiment)，这将为终身教育提供强

有力的支持。

自 1989 年美国弗吉尼亚大学 William Wulf 教授、Kouzes R T 教授等首次提出虚拟实验的概念以来, 已有大量的虚拟实验室发展成熟, 并被广泛应用于实践教学中。如美国北卡罗来纳大学的物理虚拟实验平台 LAAPhysics、美国 Simulation Plus 公司设计研发 Futurelab 虚拟实验室、美国 Michigan 大学设计 VRICHEL 虚拟化学化工实验室、同济大学创建的普通物理网上仿真实验室以及可以对建筑景观结构进行仿真的虚拟现实实验系统等。

随着电子技术、通信技术、自动控制技术的发展, 基于实物控制的远程实验室也得到迅速发展。比如美国麻省理工学院(MIT)的 iLab 远程实验系统、澳大利亚悉尼工程技术大学(UTS)的远程实验系统、美国得克萨斯州立大学的远程倒立摆实验系统、新加坡国立大学的在线共享远程实验系统、日本法政大学的硬件逻辑设计远程实验系统、英国阿尔斯特大学基于 Internet 的远程嵌入式系统实验室等。在国内, 远程实验室研究工作起步较晚, 但发展较快, 也取得了大量成果。比如浙江大学电工电子网络实验室(Netlab)、大连理工大学 iLab 远程实验室、中国科学院自动化研究所与英国格拉摩根大学联合开发的远程网络控制系统实验室(NCSLab)、西安交通大学远程网络测控实验室、华东理工大学化工过程先进控制和优化技术教育部重点实验室的远程实验系统、国防科技大学计算机体系结构课程的远程实验室、四川师范大学的交互式远程 EDA 实验系统和热电传感器远程实验系统、中国科技大学的基于 Internet 的扫描探针显微镜(SPM)远程实验室等。

目前, 远程实验系统主要有三种类型: 批量类实验、交互式实验和整合类实验。批量类实验, 学生不与实验设备直接交互, 而是由实验室服务器控制实验仪器和设备进行实验, 实验完成后将数据与结果返回给学生。交互式实验, 允许学生通过实验室服务器实时直接操作实验设备, 实验现象、数据可立即反馈给学生。整合类实验, 也就是将批量类和交互式实验整合到一个 iLab 实验系统中, 同时实现仪器共享和远程仪器的操作与控制, 这也是最新的 iLab 共享架构(ISA)所支持的。

在远程实验系统的研究热潮中, 四川师范大学也开展了远程实验的研究和开发工作。2012 年成功开发出交互式远程 EDA 实验装置, 学生可以通过互联网远程操作 EDA 实验平台, 完成 FPGA 设计。实验系统操作简单, 保留了与现场实验基本一致的操作步骤, 通用性好, 支持多门课程实验和创新设计; 临场感强, 学生既可以实时直接操控实验设备, 也可以直观观察实验现象, 精确测量实验数据; 安全性高, 待机时可彻底切断交流供电系统。该实验系统参加了由中国高等教育学会、教育部高等学校实验室建设指导委员会、教育部高等学校实验教学指导委员会、国家级实验教学示范中心联席会、中国高等教育学会实验室管理工作分会联合组织的第三届全国高等学校自制实验教学仪器设备评选并获得二等奖。

此外,2014年又完成了热电传感器远程实验系统的开发,该实验系统既可以实现PT100、PN节、热电偶、AD590、NTC热敏电阻等温度传感器的特性测试和标度,也可以实现PID控制实验等。该远程实验装置在第四届全国高等学校自制实验教学仪器设备评选中获得三等奖。这些远程实验系统也均获得了国家专利。

本书主要以交互式远程EDA实验系统为基础展开。第1章阐述远程教育与远程实验的发展。第2章介绍了远程实验相关的概念、网络通信、自动测试系统、网络结构、典型架构以及远程网络协作实验系统等。第3~9章则以交互式远程EDA实验系统为范例,详细阐述系统的整体设计、可编程逻辑验证平台、控制服务器、视频服务器、实验计算机、实验服务器、客户机等模块的设计与实现方法。

本书在写作过程中得到了周晓林教授的大力支持,研究生罗宇翔同学为本书的写作做了大量工作,在此表示感谢。

随着电子技术、通信技术、信息技术及自动控制技术等相关技术的发展,远程实验的方法和实现技术也将持续演进,远程实验室的研究与建设任重而道远。本书所做的工作仅仅是远程实验系统研究的一个开端,书中疏漏之处在所难免,望各位读者批评指正。

廖 磊

2017年11月于成都

目 录

第 1 章 远程实验的发展	1
1.1 远程教育的发展	1
1.2 互联网+教育	4
1.3 虚拟实验与远程实验	6
1.4 研究现状	7
1.4.1 虚拟实验	8
1.4.2 远程实物实验	9
第 2 章 远程实验系统研究	14
2.1 远程实验的概念	14
2.2 远程实验的分类	14
2.2.1 基于虚拟仿真的远程实验	15
2.2.2 基于远程控制的远程实验	16
2.2.3 控制型远程实验的分类	17
2.3 远程实验系统的网络通信	17
2.3.1 TCP/IP 协议	18
2.3.2 工业以太网	20
2.3.3 LXI 总线	23
2.3.4 CAN 总线	25
2.3.5 FF 总线	27
2.3.6 其他现场总线技术	30
2.4 自动测试系统与远程实验	34
2.4.1 自动测试系统的逻辑结构	34
2.4.2 自动测试系统的基本原理	35
2.4.3 自动测试系统的发展	36
2.4.4 自动测试系统的组建	38
2.5 远程实验系统的网络结构模式	39
2.5.1 基于 C/S 模式的网络结构	40

2.5.2	基于 B/S 模式的网络结构.....	44
2.5.3	基于 C/S 和 B/S 混合模式.....	46
2.6	远程实验系统的典型架构.....	47
2.6.1	远程实验系统简单架构.....	47
2.6.2	UTS 架构.....	48
2.6.3	iLab 架构.....	50
2.7	远程网络协作实验系统.....	51
2.7.1	基于 CSCL 的远程实验系统.....	52
2.7.2	远程实验室的协同.....	54
2.8	远程实验系统中的调度.....	57
2.8.1	调度方法.....	58
2.8.2	Sahara 的体系结构.....	59
2.8.3	Sahara 的预约调度.....	60
2.8.4	Sahara 的排队调度.....	60
第 3 章	系统分析与设计.....	62
3.1	需求与任务分析.....	62
3.2	系统结构设计.....	65
3.3	组网与通信.....	67
第 4 章	可编程逻辑验证平台.....	68
4.1	系统总体结构.....	68
4.2	FPGA 核心模块.....	72
4.2.1	硬件概述.....	72
4.2.2	FPGA 器件.....	72
4.2.3	配置电路.....	74
4.2.4	时钟电路.....	77
4.2.5	存储电路.....	77
4.2.6	按键与 LED 指示电路.....	80
4.2.7	用户 I/O 接口.....	81
4.2.8	电源电路.....	82
4.3	底板硬件设计.....	83
4.3.1	信号发生与测控模块.....	83
4.3.2	多模式输出控制模块.....	88
4.3.3	其他外围实验单元.....	90

4.4 信号发生与测控模块固件设计	91
4.4.1 系统设计规划	91
4.4.2 频率脉宽测量模块	93
4.4.3 信号发生模块	101
4.4.4 旋转编码开关处理模块	104
4.4.5 单片机接口模块	106
4.4.6 单片机程序设计	112
4.5 多模式输出控制模块	116
第5章 控制服务器	118
5.1 控制服务器总体结构	118
5.2 系统硬件	120
5.2.1 微控制器	120
5.2.2 供电控制	123
5.2.3 开关机控制	124
5.2.4 开关机检测	125
5.2.5 通信模块	126
5.2.6 蓄电池管理	132
5.2.7 其他模块	141
5.3 系统配置与软件实现	147
5.3.1 以太网模块配置	147
5.3.2 软件实现	151
5.3.3 单片机低功耗实现	158
第6章 视频服务器	160
6.1 嵌入式硬件平台	160
6.1.1 嵌入式处理器资源	161
6.1.2 板载外设资源	163
6.2 嵌入式Linux系统开发环境	163
6.2.1 Bootloader 移植	164
6.2.2 嵌入式Linux内核移植	165
6.2.3 根文件系统构建	166
6.3 V4L2 驱动	166
6.3.1 V4L2 驱动框架	167
6.3.2 V4L2 驱动调用流程	168

6.4 视频的采集与传输	171
6.4.1 视频采集	173
6.4.2 视频传输	182
6.5 视频服务器的编译与运行	187
6.6 摄像机与镜头	189
6.6.1 摄像机	189
6.6.2 光学镜头	193
第7章 实验服务器	198
7.1 数据通信	199
7.1.1 Winsock 控件	199
7.1.2 与客户端的通信	201
7.1.3 与控制服务器的通信	206
7.2 数据管理	213
7.2.1 数据库创建	213
7.2.2 数据库操作	218
7.2.3 数据库维护	222
第8章 实验计算机	226
8.1 FPGA 的配置方法	228
8.1.1 AS 与 Fast AS 配置	228
8.1.2 FPGA 的 PS 配置	230
8.1.3 FPGA 的 JTAG 配置	232
8.2 JTAG 原理	234
8.2.1 边界扫描	234
8.2.2 测试访问端口	235
8.2.3 JTAG 指令	239
8.3 基于嵌入式平台的配置实践	240
8.3.1 Jam STAPL	240
8.3.2 Jam Player	242
8.3.3 Jam Player 移植	245
8.4 基于 PC 的配置实践	249
8.4.1 Quartus 的命令行设计	251
8.4.2 基于命令行的编程与配置	254
8.4.3 编程实现	263

8.5 系统通信.....270

 8.5.1 数据接收与转发.....270

 8.5.2 配置文件接收.....279

第9章 客户机系统.....282

 9.1 客户机系统构成.....282

 9.2 客户端软件结构.....283

 9.3 服务请求.....285

 9.4 开关机控制.....285

 9.5 音视频.....286

 9.6 远程配置.....288

 9.6.1 配置文件的发送.....289

 9.6.2 配置命令的发送.....291

 9.7 测量数据接收与控制命令发送.....291

 9.7.1 测量数据接收与显示.....291

 9.7.2 控制命令发送.....293

参考文献.....295

第1章 远程实验的发展

随着信息技术的高速发展,信息技术为经济、政治、文化、社会等各个领域带来了广泛而深刻的影响,并使人们的生产方式、生活方式、学习方式等发生了深刻的变化。尤其是在教育领域,信息技术的应用也逐渐深入,教育信息化已成为国家优化教育结构、改善教育资源配置、缩小东西部和城乡教育差距、全面推进教育公平、提高教育投资效益、推进素质教育、创新教育的重要手段。全民教育、优质教育、个性化学习和终身学习已成为信息时代教育发展的重要特征。

远程教育在教育的一个重要组成部分。远程教育是使用邮件、电视、互联网等传播媒体开展的一种教学模式,是各类通信媒介应用于教育后产生的新概念。它突破了时间与空间的限制,使任何人(anyone)在任何时间(anytime)、任何地点(anywhere)学习任何知识(anyknowledge)成为可能。近年来随着信息技术的发展,尤其是网络技术、大数据、云计算、移动互联、测控技术、视频会议、视频监控等技术的发展,远程教育中的远程实验也逐渐兴起。

1.1 远程教育的发展

远程教育(distance education)是一种非面对面的、异地或异时进行的教育方式。在远程教育中,教师和学生时间或空间上是相对分离的,教学活动通过各种教育技术和媒体资源相联系。

远程教育最早发源于19世纪中期的英国,伊萨克·皮特曼(Isaac Pitman)首先采用邮寄方式开始教授其发明的速记法,以此开创了最早的远程教育——函授教育^[2]。1849年,英国伦敦大学开创了校外学位制度,开始了远程高等教育^[3]。基于函授的远程教育主要以印刷资料作为学习资源,指导自我学习。1902年,著名教育家蔡元培先生等在上海成立了“中国教育学会”,采用通信教授法进行函授教育,开启了我国函授教育的先河^[4]。

在20世纪60年代,随着广播、电视、录音、录像等新媒体的发展,开始了运用新媒体的远程教育阶段——多媒体远程教育。1969年,英国政府创办英国开放大学,提供远程高等教育。同一时期,我国在北京、上海等地先后成立了广播电视大学,率先开展了基于广播电视的远程高等教育。1978年,邓小平同志批准

创立中央广播电视大学,利用广播、电视、文字、音像等多种媒体,面向全国开展了远程开放教育。

20 世纪 90 年代以来,随着电子信息技术的发展,尤其是通信技术、计算机技术以及网络技术的发展,以网络为基础的现代远程教育逐渐兴起,进入了网络远程教育阶段。1999 年 1 月,国务院正式通过教育部制定的《面向 21 世纪教育振兴行动计划》^[5],提出实施“现代远程教育工程”,形成开放式教育网络,构建终身学习体系。1999 年 3 月,教育部批准清华大学、北京邮电大学、浙江大学、湖南大学四所高校开展远程教育试点^[6],正式开启了中国的网络远程教育。

2000 年 7 月,教育部发布《关于支持若干所高等学校建设网络教育学院开展现代远程教育试点工作的几点意见》^[7],提出在高校设立“网络教育学院”,并赋予试点院校网络教育的办学自主权。此后,更多的大学加入了试点高校的行列。目前全国共有 67 所普通高校和中央广播电视大学开展现代远程教育试点工作。教育部允许这 68 所试点高校在校内开展网络教学工作的基础上,通过现代通信网络,开展远程学历教育 and 非学历教育。对达到本、专科毕业要求的学生,由学校按照国家有关规定颁发高等教育学历证书。

2001 年 12 月 30 日,“中央广播电视大学现代远程教育校外教学支持服务体系建设项目”获得教育部批准立项,正式开启我国对远程教育公共服务体系的运行模式、运行机制和管理办法的探索^[8]。2002 年 12 月,中央电大远程教育公共服务体系建设试点正式启动,由中央广播电视大学和电大在线远程教育技术有限公司共同组建“奥鹏远程教育中心”,正式开启我国的第一个远程教育公共服务体系^[9]。

2004 年 3 月,国务院批准《2003—2007 年教育振兴行动计划》^[10],再次提出要“大力发展现代远程教育,探索开放式的继续教育新模式”。2005 年 4 月,教育部正式启动“现代远程教育公共服务体系”建设,公共服务体系正式进入全面运行阶段。2007 年,党的十七大报告中指出“优先发展教育,建设人力资源强国”“发展远程教育和继续教育,建设全民学习、终身学习的学习型社会”。时任教育部部长周济也指出“以信息技术的应用作为提高教学质量的新手段”。同年,“知金教育”和“弘成科技”两家公司获得教育部批准,开展现代远程教育公共服务。网络远程教育从一种继续教育的手段,提升到了提高教育质量、改变教育思路、建设全民学习、终身学习的学习型社会的重要手段。

2010 年 7 月,《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》^[11](简称《规划纲要》)正式发布。在这个进入 21 世纪后发布的第一个教育规划中明确指出“信息技术对教育发展具有革命性影响,必须予以高度重视”,提出“到 2020 年,基本实现教育现代化,基本形成学习型社会,进入人力资源强国行列”。制定了从业人员继续教育人数在 2020 年达到 35000 万人次的发展主目标。制定了继续教育和远程教育的发展任务,明确提出构建灵活开放的终身教育体系,开发社

区教育资源,大力发展现代远程教育,建设以卫星、电视和互联网等为载体的远程开放继续教育及公共服务平台,为学习者提供方便、灵活、个性化的学习条件。搭建终身学习“立交桥”。健全“宽进严出”的学习制度,办好开放式大学,改革和完善高等教育自学考试制度。在保障措施中指出“加强优质教育资源开发与应用。加强网络教学资源体系建设。引进国际优质数字化教学资源。开发网络学习课程。建立数字图书馆和虚拟实验室。建立开放灵活的教育资源公共服务平台,促进优质教育资源普及共享。创新网络教学模式,开展高质量高水平远程学历教育。继续推进农村中小学远程教育,使农村和边远地区师生能够享受优质教育资源”。强化信息技术应用,改进教学方法,提高教学效果,鼓励学生利用信息手段主动学习、自主学习,增强运用信息技术分析解决问题的能力。《规划纲要》还明确将提高中小学每百名学生拥有计算机台数,为农村中小学班级配备多媒体远程教学设备,建设有效共享、覆盖各级各类教育的国家数字化教学资源库和公共服务平台作为重大项目和改革试点的目标之一。

2012年3月20日,教育部正式发布了《教育信息化十年发展规划(2011—2020年)》(简称《规划》),提出了我国教育信息化总体发展目标^[12]:到2020年,全面完成《规划纲要》提出的教育信息化目标任务,形成与国家教育现代化发展目标相适应的教育信息化体系,基本建成人人可享有优质教育资源的信息化学习环境,基本形成学习型社会的信息化支撑服务体系,基本实现所有地区和各级各类学校宽带网络的全面覆盖,教育管理信息化水平显著提高,信息技术与教育融合发展的水平显著提升。教育信息化整体上接近国际先进水平,对教育改革和发展的支撑与引领作用充分显现。

《规划》首次从国家层面对今后十年的教育信息化工作进行了整体设计和全面部署,为下一阶段教育信息化发展提供了行动纲领,首次提出建设教育信息化体系,首次强调“融合、创新”的工作目标。其核心目标是:到2020年,基本建成“人人皆学、处处能学、时时可学”、与国家教育现代化发展目标相适应的教育信息化体系,基本实现教育信息化对学生全面发展的促进作用和对深化教育领域综合改革的支撑作用以及对教育创新发展、均衡发展、优质发展的提升作用。

《规划》明确提出:以信息技术促进教育与产业、学校与企业、专业与岗位、教材与技术的深度结合。大力发展远程职业教育培训,共享优质数字教育资源,支撑职业教育面向人人、面向社会。并将远程教育资源面向社会的开放情况作为职业教育社会服务能力的主要考核维度之一。

《规划》还明确提出:构建继续教育公共服务平台,完善终身教育体系。持续发展高等学校网络教育,采用信息化手段完善成人函授教育和高等教育自学考试,探索中国特色高水平开放教育模式。根据现代远程教育发展和学习型社会建设的需要,探索开放大学信息化支撑平台建设模式,建立遍及城乡的一站式、多

功能开放学习中心,促进终身学习公共服务体系建设。加强继续教育公共信息管理与服务平台建设,建设支持终身学习的继续教育考试与评价、质量监管体系,形成继续教育公共信息管理与服务平台,为广大学习者提供个性化学习服务,为办学、管理及相关机构开展继续教育提供服务。

1.2 互联网+教育

互联网(Internet)诞生于1969年,其前身是美国国防部高级研究计划署(Defence Advanced Research Projects Agency, DARPA)的阿帕网(ARPAnet)。20世纪80年代中期,美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)建立的NSFnet,允许研究人员对Internet进行访问,以使其能够共享研究成果并查找信息,以满足各大学及政府机构的迫切需求。在1990年,NSFnet彻底取代了ARPAnet成为Internet的主干网,并向全社会开放。

互联网从诞生至今只有短短几十年,但作为信息技术的重要组成部分和标志之一,已经深深渗透生活的方方面面,并对经济、政治、文化、生产、生活、教育等方面带来了革命性的影响,各行各业的“互联网化”也在不断快速演进。

2012年11月14日,易观国际集团(Analysys International)董事长兼首席执行官于扬在国际第五届移动互联网博览会上发表了主题演讲“互联网+”,前瞻性地提出了“互联网+”概念。并指出,互联网是基础设施,是资源,也是工具,所有的产品与服务都能与互联网找到结合点,所有传统和服务都应该被互联网改变^[13]。

2015年3月5日,在十二届全国人大三次会议上,李克强总理在政府工作报告中首次提出“互联网+”行动计划。通过“互联网+”行动计划,推动移动互联网、云计算、大数据、物联网等与现代制造业结合,促进电子商务、工业互联网和互联网金融健康发展,引导互联网企业拓展国际市场。

2015年5月23日,由联合国教科文组织与中国政府共同举办的首届国际教育信息化大会正式开幕。习近平在致国际教育信息化大会的贺信中表示:“当今世界,科技进步日新月异,互联网、云计算、大数据等现代信息技术深刻改变着人类的思维、生产、生活、学习方式,深刻展示了世界发展的前景。因应信息技术的发展,推动教育变革和创新,构建网络化、数字化、个性化、终身化的教育体系,建设‘人人皆学、处处能学、时时可学’的学习型社会,培养大批创新人才,是人类共同面临的重大课题。^[14]”

2015年7月4日,国务院正式发布了《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》。“互联网+”正式成为国家战略。“互联网+”是“把互联网的创新成

果与经济社会各领域深度融合,推动技术进步、效率提升和组织变革,提升实体经济创新力和生产力,形成更广阔的以互联网为基础设施和创新要素的经济社会发展新形态”^[15]。通过推进“互联网+”的发展,重塑创新体系、激发创新活力、培育新业态和创新公共服务模式,推动大众创业、万众创新,增加公共产品、公共服务“双引擎”。

教育作为一种公共服务,是21世纪公共行政和政府改革的核心之一。在“互联网+”所形成的新背景下,互联网、大数据、云计算等技术逐渐与教育紧密相连,它正在用“智能”的力量重塑教育的新形态。“互联网+教育”成为各教育机构和教学参与人员必须高度重视的新命题。探索基于互联网的各类教育创新,提高教育质量和效益,推进传统教育与互联网的融合,推进人文和科技融合等都是各教育机构和教学参与人员所面临的新任务。

2015年10月24日,在杭州召开的第十五届中国教育信息化创新与发展论坛,以“互联网+教育”为主题,探索了现代信息技术与教育的全面深度融合,以及对教育理念和教育模式创新的引领作用,助力我国教育信息化走向“深度融合,引领创新”的新阶段。“互联网+教育”也是教育信息化的一种必然趋势,其中“互联网”代表了以大数据、云计算和人工智能、虚拟现实等为主的新型信息技术,而“+教育”则代表互联网对教育的变革作用,通过互联网的渗透来催生传统教育行业的变革与发展。

“互联网+教育”是新型信息技术手段在教育上的应用,也是利用新型信息技术手段开展的新型教育形态。它以学习者为主体,学生和教师之间主要以互联网为载体,开展多种交互进行系统教育。互联网、人工智能、多媒体信息处理、云计算等信息技术为网络在线教育的发展提供了坚实的支撑,特别是基于社交网络的互动技术和基于大数据(big data)分析的学习效果测评技术的应用,使通过互联网共享优质教育资源成为可能,也使大规模且个性化的学习成为可能。由此也涌现出了多种新型教学形式,其中最典型的代表就是慕课。慕课(MOOC)是大规模网络开放课程(massive open online courses)的英文缩写。MOOC的概念最早出现在2008年,由加拿大爱德华王子岛大学(University of Prince Edward Island)的戴夫·科米尔(Dave Cormier)、国家通识教育技术应用研究院(National Institute for Technology in Liberal Education)的布莱恩·亚历山大(Bryan Alexander)联合提出^[16, 17]。自2012年以来,MOOC在全球迅速兴起。与慕课相对应,在2013年,出现了小规模限制性在线课程私播课(small private online course, SPOC)。这个概念是由福克斯教授最早提出。其中,small和private是相对于MOOC中的massive和open而言。“small”是指学生规模一般在几十人到几百人;“private”是指对学生设置限制性准入条件,达到要求的申请者才能被纳入SPOC课程^[18]。

互联网,尤其是伴随着智能终端的普及而迅速发展的移动互联网,使个性化的学习逐渐成为现实。以MOOC和SPOC为代表的“互联网+教育”将引发全球

高等教育的一场重大变革。对于高校来讲,“不单是教育技术的革新,更会带来教育观念、教育体制、教学方式、人才培养过程等方面的深刻变化”^[19];对于教师而言,过去“舞台上的智者”(sage on the stage)逐步转变为“边上的向导”(guide on the side),过去的讲授者、讲解者将变为学习的激励者、启发者^[20]。

互联网的交互功能使学生可以轻易地通过虚拟的学习社区与教师、同学自由交流。教育大数据的分析可以深入每个学生学习过程的各个环节中,使教师能随时掌握每个学生的学习情况,并能及时进行反馈指导。从教育大数据中总结提炼的教育规律,可以持续改进课程教学内容和教学环节,使针对每个学生的因材施教能落实到位。

1.3 虚拟实验与远程实验

实验是发现客观规律的重要方法,实践则是认识的来源。对于物理、化学、生物、电子技术、计算机技术等理工类而言,实验实践的地位则更加重要。实验实践教学可以有效调动学生探究学习的主动性,帮助学生理解抽象的理论知识,培训学生的观察能力、动手能力、独立思考能力、分析解决问题的能力、综合应用能力和创新能力等。实践教学是人才培养的重要组成部分,是深化理论的重要环节,是将知识转化为能力的关键。2012年2月,教育部出台了《关于进一步加强高校实践育人工作的若干意见》^[21],并指出:“实践教学是学校教学工作的重要组成部分,是深化课堂教学的重要环节,是学生获取、掌握知识的重要途径。各高校要结合专业特点和人才培养要求,分类制订实践教学标准,增加实践教学比重,确保人文社会科学类本科专业不少于总学分(学时)的15%、理工农医类本科专业不少于25%、高职高专类专业不少于50%,师范类学生教育实践不少于一个学期,专业学位硕士研究生不少于半年。”

受条件的限制,在远程教育中,学生无法到实验室参加实验教学和实践训练。因此,一般认为远程教育比较适合于知识的传授,在实验实践教学方面则比较欠缺,在对学生能力的培养、综合素质的培养上存在明显短板。远程实验实践问题是制约远程教育发展的因素之一,也直接影响了远程教育的质量。为解决远程教育中的实验问题,国内外远程教育机构做了大量尝试,比如采用家庭实验箱、口袋实验室、实验流动车或开设课程时不开设实验,而在毕业时再组织集中实验等方式。家庭实验箱、口袋实验室等由于成本较高,利用率较低而难以普及;集中实验成本低,设备利用率相对较高,但不能在理论教学中同步配合开设,从而影响了教学质量。远程实验开设的难题也直接导致了目前远程教育的专业设置大多回避实验教学,而主要偏向文史、财经、政法等无须