

中国制造数控一代产品升级与有组织创新 ——以泉州数控一代创新工程为案例

魏峰^{1,2}, 周源², 薛澜²

(1. 中国工程院, 北京 100088; 2. 清华大学公共管理学院, 北京 100084)

摘要: 本文围绕数控一代创新工程的实践, 以泉州市数控装备升级换代为案例, 在创新治理的框架下, 讨论多元创新主体协同合作而产生的新一代有组织创新模式。通过分析, 说明数控一代创新工程在用户市场强大需求的拉动和研发机构有效技术推动的基础上, 政府通过发挥“四两拨千斤”的作用, 以少量政策资源撬动广泛的市场资源投入, 调动了企业、研发机构、行业中介、金融机构等多元创新主体的积极性, 动员和组织了大量面广的制造业企业, 在市场经济的原则下克服各种障碍, 主动接受关键共性技术, 该案例是推广制造业共性技术扩散的成功范例。同时, 在总结现有成功经验的基础之上查找存在的不足, 为更好地推进制造业广泛升级提供决策依据。

关键词: 数控一代; 共性技术; 技术扩散; 创新治理; 有组织创新

中图分类号: TP13 **文献标识码:** A

Upgrade and Organized Innovation of China's NC Generation Products: A Case Study in Quanzhou City

Wei Feng^{1,2}, Zhou Yuan², Xue Lan²

(1. Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China; 2. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The “Numerical Control (NC) Generation Innovation Project” aims to apply NC technology to the mechanical products of all industries to update and upgrade the overall installed base of manufacturing equipment, thus promoting upgrading of the industrial base. This paper takes the update and upgrade of NC equipment in Quanzhou city as a case study. Focusing on practical experience with the NC Generation Innovation Project within the framework of innovation governance, it discusses a new generation of “organized innovation” generated by the collaboration of multiple innovation participants. Through analysis and on the basis of strong demand pull from the user market and effective technology push from R&D agencies, the NC Generation Innovation Project, by playing a “skillful deflection” role, has enabled the government to kick-start extensive market resource investment with a small amount of policy resources, to mobilize the enthusiasm of multiple innovation participants such as enterprises, R&D institutions, intermediaries, and financial institutions and to organize many manufacturing enterprises in different industries. Using the principles of the market economy, these enterprises overcame all kinds of obstacles, actively accepting key generic technology. The result is a successful example of

收稿日期: 2016-10-28; 修回日期: 2016-11-18

作者简介: 魏峰, 中国工程院和清华大学公共管理学院, 联合博士后, 主要从事智能制造和战略性新兴产业发展研究、公共治理和技术创新扩散研究; E-mail: weifengg@163.com

基金项目: 中国工程院重大咨询项目“制造强国战略研究”(2015-ZD-15); 国家自然科学基金项目(L1524015, 71203117); 中国博士后科学基金项目(2016M601090); 教育部人文社会科学研究基金项目(16JJDGC011); 清华大学绿色经济与可持续发展研究中心研究子项目(20153000181)

本刊网址: www.enginsci.cn

promoting generic technology diffusion in manufacturing industries. At the same time, this project has found existing insufficiencies in the course of summarizing the existing successful experience and has provided a decision-making basis for advancing of a broad-based manufacturing industry upgrade.

Key words: NC generation; generic technology; technology diffusion; innovation governance; organized innovation

一、前言

数控技术是实现不同行业机械产品创新的颠覆性关键共性技术,是先进信息技术与自动控制、机械制造技术相结合的集成技术。加快转变经济发展方式的核心是优化产业结构,关键是产品的升级换代。数控技术及产品(包括数控系统和驱动装置等)作为共性使能技术与各行业机械产品的有机融合,可以实现机械产品的数字化控制,从根本上提升各行业制造装备的功能和性能,修复传统发展动能,提高其市场竞争力,并为机械产品向智能化方向发展奠定坚实的基础^[1~3]。“数控一代机械产品创新应用示范工程”(简称“数控一代创新工程”)是《中国制造 2025》的重大工程,旨在将数控技术应用到各行业机械产品中以实现制造装备整体的升级换代,是共性技术创新和扩散的成功范例,同时也面临严峻的困难和挑战,需要进一步改进和完善。

共性技术创新和扩散是指以市场为导向,以共性技术创新为基础,以提高产业竞争力为目标,以创新技术在企业与企业、产业与产业之间的扩散为重点,从新产品或新工艺设想的生产,通过技术的开发(或引进、消化吸收)、生产、商业化到产业化整个过程的总和^[4]。因此,共性技术扩散是不同机构间复杂相互作用的结果,包括各种创新主体有机联系、相互作用所构成的社会网络系统以及形成的各种复杂关系^[5,6]。“数控一代创新工程”对各行业机械产品而言是产品创新工程,对数控技术而言则是共性技术扩散工程^[1],这类共性技术的扩散推广,不仅关系到广大制造企业,还涉及到创新链条上的其他多个主体和部门。然而传统“自上而下”的命令控制型政策模式以及单靠市场机制的模式都已不再适应这种形式,因此,如何驱动和引导广大制造业企业,在市场经济原则下克服众多障碍接受共性技术的应用,是产业创新面临的一大挑战。在创新工程实施过程中,企业是技术扩散体系的核心,政府起到的是“四两拨千斤”的关键作用,通过少量的政策资源撬动广泛的市场资源投入,充分发挥

高校、科研院所、行业中介、金融机构等多元创新主体的积极性,在创新治理的框架下,以多元治理模式推动新一代的有组织创新。

自 20 世纪 70 年代以来,社会、经济和管理领域出现的一些新问题推动了公共管理和公共行政理论研究的变革^[7,8]。以治理为代表的新理论提出了多元化、自组织、合作和去意识形态的公共治理模式^[9~12]。20 世纪 90 年代以来,西方政治学 and 经济学将治理的概念广泛应用于社会经济领域,并形成了较为统一的定义:治理是指各种公共或私人机构管理共同事务的诸多方式的总和,是使相互冲突或不同的利益得以调和并且采取联合行动的持续过程^[12,13]。所以,治理既涉及公共部门,也包括私营机构,其过程不是控制,而是协调。

创新治理是治理的理念、结构、模式等在科技政策管理中的运用,将解决政府失灵和市场失灵的措施有效结合,旨在提高效率、降低成本、优化资源的有效配置以及促进科技创新与社会经济协同发展^[12]。创新治理主体的多元化为科技政策执行力的提高创造了条件。在推广和应用数控技术的过程中,如何围绕创新链条的多部门、多主体、跨领域完善创新治理开展有组织的创新工程是当前中国产业转型升级急需解决的重大问题。

创新治理不但关系到科技资源的配置,并且和创新体系建设以及产业链、创新链之间的无缝衔接相关联。目前,创新治理的研究方兴未艾,主要集中在创新体系与发展模式的比较^[11,12]。然而关于创新治理的多元主体及其在大规模共性技术扩散中的作用,构建创新治理体系和提升创新治理能力的研究比较少,特别是关于这方面的案例分析和实践研究更少。因此,在创新治理的理念下,本文将围绕数控一代创新工程的实践,以泉州数控一代创新工程为案例,从推动数控技术扩散和制造业升级的视角,讨论多元创新主体协同而产生的新一代有组织创新模式,总结数控一代工程的成功经验,查找存在的问题,为更好地推进中国共性使能技术扩散、带动制造业广泛升级提供决策依据。

二、背景介绍和分析

(一) 数控技术扩散的主要特征

回顾历史上产业结构调整 and 机械产品升级的进程（见图1）：蒸汽机技术使机械工业由人力制作时代进入机械化时代（工业 1.0 或机械一代）；电气技术使机械工业由机械化时代进入电气化时代（工业 2.0 或电气一代）；数控技术正在使机械工业由电气化时代进入数字化时代（工业 3.0 或数控一代）；智能技术将使机械工业由数字化时代跃升为智能化时代（工业 4.0 或智能一代）^[1,2]。

当前数控技术的普及程度是衡量中国制造业核心竞争力和整体技术发展水平的重要标志。而智能制造技术则是在机械产品数字化的基础之上，将新一代信息技术应用在制造系统的关键环节当中，具有一定自主性的感知、学习、分析、决策、通信与协调控制能力，能动态适应制造环境的变化，从而达到某些优化目标，实现智能化。

因此，数控一代产品创新是实现智能制造的基础。结合中国工业发展起步晚、底子薄、区域和行业发展不均衡的实际国情，当前制造业发展的主要任务是实现“2.0 补课，3.0 普及，4.0 试点示范”的战略目标。在此背景下，“十二五”期间我国启动实施了“数控一代创新工程”。

机械产品的演化创新主要有两种方法^[1,2]：一是创新工作原理或工作装置，具有根本性和颠覆性特征，比较罕见但尤为重要；二是创新机械运动的驱动和控制系统。传统机械产品主要包括动力装置、传动装置、工作装置（见图2），机械产品的数控化即是对其运动的驱动和控制系统的创新（见图3）。

对驱动和控制系统进行数控化创新既有鲜明特征也有本质规律，可以广泛适用于各种机械产品，同时引起机械产品的升级换代和制造业的深刻变

革。数控化是实现机械产品创新的有效途径，其技术核心有两方面^[1]：一是用计算机控制系统对机械运动与工作过程进行控制；二是用伺服电机驱动系统代替传统动力和传动装置。数控技术以先进的信息技术与自动控制、机械制造技术相结合，可以使机械产品的内涵和性能产生本质性变化，是典型的机械产品创新的共性技术。

共性技术是能够在多个产业广泛应用、并对其产生深度影响的、处于竞争前阶段的一类技术^[5]。从技术属性看，共性技术处于竞争前阶段，是不同企业专有技术的共同技术平台。从产业属性看，共性技术可以带动相关产业领域中多个企业专有技术的研发，带动多个相关产业集群的技术进步与突破，提高相关产业部门的综合经济效益和社会效益。

作为一种典型共性技术，数控技术的应用兼有技术涵义和产业涵义，可以基于技术学和经济学两个视角，对数控技术及其应用进行分析^[14-16]。

从技术学视角看，数控技术具有以下几个特性：①基础性。数控技术为后续数控化机械产品开发提供技术原理和基础方法，直接影响和制约机械产品研发的水平，是技术产品商业化、市场化的基础。在数控技术的扩散过程中，由于其需要与量大面广的不同工作装置相结合，所以根据不同工作装置的工艺需求进行个性化的技术定制服务和开发非常重要。②关联性。数控技术涉及多个产业部门的不同机械产品，并与其他技术成分共同支撑产品的性能，关联产品范围广泛，技术共性性强。其关联性受数控技术的稳定性和可靠性影响显著。③开放性。数控技术作为技术源，能够为后续相关企业的技术开发提供公共平台，其成果可以在相关企业、产业得到广泛应用，因此在扩散过程中，对技术的开放性也有一定要求。

从经济学角度看，数控技术的应用具有以下特征^[4,5]：①正的外部性。数控技术能够带动其他相



图1 机械产品的升级换代^[1]



图2 传统机械产品的结构

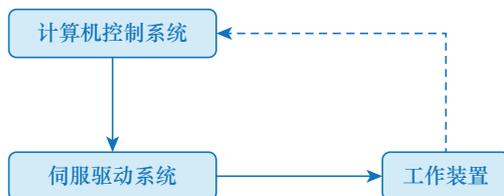


图3 数控机械产品的结构

关产业领域机械装备的整体进步和突破, 数控技术成果容易溢出到相关部门和产业领域, 并为这些部门和领域带来相应的经济效益。②经济效益的潜在性。数控技术属于竞争前技术, 其价值只有与后续专用制造装备相结合才能体现出来, 因此其经济效益是潜在的, 只有在其基础之上研发形成专用制造装备才能产生实际经济效益。

综上所述, 作为处于竞争前阶段的技术, 数控技术在“科学-技术-生产”的整个机械产品创新链条及产业价值链条中, 处于关键基础性地位, 其有效供给可以改善制造业企业获取技术创新的能力, 降低企业后续应用性研发的技术风险, 是企业核心竞争力的源泉。同时, 由于数控技术所具有的经济特性, 使其推广应用更为复杂并充满风险, 单个的技术创新主体很难完成数控技术和产品的开发及扩散过程中的全部活动和相应的风险。因此, 相关创新主体之间需要加强互动合作, 共同推进数控技术和产品的创新及扩散。

(二) 数控一代创新工程“十二五”实施概要

“十二五”期间, “数控一代创新工程”突破数控机械装备设计、专用控制、工艺优化等关键技术, 形成专业化设计工具、控制系统和工艺软件, 全面应用于纺织机械、印刷和包装机械、轻工机械、建材机械、塑料及其他行业, 完成了一系列既定目标。

首先, 研制了一批行业关键数控装备和主导产品, 显著增强了企业的核心竞争力, 加速了制造业转型升级, 促进了高端制造业发展及壮大了地方支柱产业的支撑作用与服务能力; 其次, 在各相关行业推广了数控技术与产品的应用, 实现装备的升级换代, 结合区域发展战略, 在长江三角洲、珠江三角洲、闽南以及中西部重点工业地区开展了示范工程, 提高了区域机械产品的自主创新能力和产品附加值; 再次, 完善了数控技术和产品的应用服务及培训体系, 培育了一批设计应用人才, 提升了中国机械设备制造企业的创新和售后服务能力, 实现了数控技术和产品应用的规范性与标准化, 有力地促进了机械工业的科技进步和产业升级。据不完全统计, 通过创新工程的实施, 总计研发了 150 余种专用数控系统及功能部件和 200 余种数控化机械设备, 实现了 22 万余台(套)、70 余条数控化生产线的示

范应用, 完成了 2 万余人次的专业人才培养。

工程实施 5 年来, 通过以“企业为主体、市场为导向”的技术路线, 实施了有组织的创新。已有 10 多个省级政府制定了具体的实施方案, 带动各级政府投入专项经费超过 10 亿元, 企业投入超过 50 亿元, 金融和社会资本投入超过 100 亿元, 是“产学研金政”相结合的典型示范和较为成功的尝试。

三、案例研究

2016 年 6 月全国数控一代创新应用工程现场工作会在泉州市召开。近年来该市大力贯彻落实数控一代创新工程, 取得了显著成绩。泉州机械装备产业已迈入千亿集群, 研发出各类数控化装备 100 多种, 推广应用国产数控系统 2 000 多套, 累计带动研发投入增长 30%。有近千家企业应用数控技术和产品, 平均减少劳动力 20%~30%, 缩短产品研制周期 20%, 提高生产效率 20%。在泉州数控一代创新工程实施过程中, 充分发挥了以市场为主导、企业为主体的模式, 政府积极转变治理方式起到引导作用, 高校、科研院所、金融机构共同起到支撑作用, 是充分运用创新治理理念成功实施的有组织的创新工程。

(一) 多元创新主体协同的有组织创新

1. 政府转变治理方式, 积极发挥引导作用

政府在市场经济中主要发挥着保持宏观经济稳定、维护市场秩序、弥补市场缺陷、提供公共产品的作用^[17,18]。产业共性技术是企业专有技术和应用技术的基础, 数控技术对企业发展乃至产业升级都有不可替代的作用, 所以在数控技术扩散过程中, 政府可以发挥重要作用。

关键共性技术对整个国民经济有重大影响, 其突破能带动多个产业的技术升级, 经济和社会效益明显。数控技术是一种典型的关键共性技术, 泉州在贯彻实施“数控一代创新工程”中, 政府的职能就是在结合部分行政命令的基础之上, 积极建立健全数控技术和产品的研发与扩散平台, 通过大力支持竞争前共性技术研究与扩散以及建立高效的中介服务体系来推动整个技术体系的升级与完善。泉州市政府创新管理机制, 通过采取不同组织形式来引

导数控技术的扩散和转化,对合作开发各方主体的利益进行协调与补偿,吸引多方参与,使得当地中小企业能够以较低价格较快获得数控技术,在此基础上结合工艺需求进行专用制造装备的开发,实现通过数控技术扩散推动制造业整体的进步、增强产业竞争优势的目的。当地投入大量财政资金引进设立泉州华中科技大学智能制造研究院、中国科学院海西研究院泉州装备制造研究所,哈尔滨工业大学机器人研究所,以及厦门大学、福州大学等10多个研究院所和高校参与技术扩散,促进各类技术服务平台与企业的频繁互动和紧密结合,由单一向企业提供补贴进行技术改造转变为向技术服务平台购买行业共性技术服务,然后低成本转移至中小企业应用推广,加快泉州制造转型升级的步伐;在整机、零部件生产和系统集成、应用企业间组建泉州“数控一代”产业联盟,建立协同创新和互利共赢的运行机制,实现创新资源和产业转型升级的匹配。

2. 企业通过需求推动技术扩散以实现产业升级

科技成果转化是一场接力赛,第一棒就是研发产出,如果研究项目与产业发展需求不匹配,产出的成果不具备潜在应用市场,成果转化就无从谈起。对于正处于转型升级的制造业,首先意味着科研活动要紧密契合企业发展的实际需求。

在泉州数控一代创新工程的实施过程中,企业发挥了显著的主体作用,以强化产业需求为导向,有效提升了制造业的装备技术水平。当地重点企业与相关领域专家通过交流会、培训会等各种形式开展对话洽谈以实现紧密对接。泉州企业对于数控技术有巨大需求,在千家企业技术需求征集中,针对重点产业的数控技术需求进行了全面调研和论证,然后在纺织鞋服、建筑建材、机床和机器人等需求量大的产业进行数控技术开发和产品推广应用,有百个示范项目、百家示范企业得到相关部门的认证。当地企业协同技术专家和创新团队开展联合攻关,通过产学研合作、公开招标等形式寻求解决行业共性和关键性技术难题以实现产业化,推动一批数控装备在装备制造企业和劳动密集型企业得到研发和应用。目前,泉州已有数百家装备制造集群企业和装备应用企业参与了数控技术的创新应用试点示范,并完成423台机器人、1834台3C(中国强制性产品认证)钻攻中心、2239台(套)数控装备的推广应用。

3. 多元化创新主体充分发挥协同作用以保障有效供给

技术创新和扩散不是理想的线性过程,而是在统一的系统内部各要素之间相互作用和反馈的结果^[14,19-22]。由于数控技术扩散关系到不同部门及不同产业的技术基础,在研发投入、技术储备、人才资源以及组织管理等方面有较高要求,其过程是不同创新主体之间复杂而相互作用的结果,需要协同参与,从而实现风险共担、成果共享。

泉州当地企业毫无疑问是核心主体。没有企业的直接参与,数控技术的创新就难以产生实际经济效益。与此同时,各类公共技术服务平台发挥了重要作用。企业开展数控装备研发和创新离不开其他科研机构、大学和中介部门等多元主体的协同合作。在泉州,参与数控技术扩散的各类创新主体为实现既定目标与其他主体之间进行频繁的信息交流、资源交换和各种合作,形成一批产学研合作应用示范项目和创新成果:泉州华中科技大学智能制造研究院、泉州装备制造研究所、哈尔滨工业大学工业机器人研究所等与嘉泰数控科技股份有限公司、海天塑机集团有限公司、瑜鼎机械有限公司等企业在多主轴、多通道数控机床,折弯机控制系统,智能机器人开发和应用方面已经取得实际成效。此外,华侨大学、福州大学等高校与企业合作研发的数控技术项目也分别进入小试、中试、产业化和市场化阶段。在数控机械产品推广和应用过程中,除大学及科研机构提供数控技术基础支撑外,金融机构、各类基金提供资金支持,行业中介部门提供信息保障和协调服务,教育培训部门提供创新人才,科技部门提供制度建设、政策干预和法律环境建设等保障。实践证明,只有包括私营部门(如企业)、公共部门(如政府、公共科研机构、高等院校)及市场中介组织(如行业协会)在内的各类创新主体加强协同配合,系统构建科学合理、运行规范、互利共赢的产业共性技术支撑体系,才能有效规避数控一代创新工程实施中的各种风险,保障数控机械产品研发和应用能够得以规范有序地运行和推进。

(二) 存在不足

过去以财政拨款为主渠道的科技投融资机制难以适应自主创新发展的需求,未来应该充分发挥各类社会资本和金融资本在技术扩散过程中的作用。

目前,在各方利益关系的协调和相关政策的鼓励下,泉州当地融资担保、融资租赁等金融部门已逐步参与到支持共性技术在制造业的创新和扩散当中,当地多个民间组织出资设立了部分基金予以资助。但是,目前泉州制造业企业在开展数控装备升级换代的过程中,大约有超过 80% 的企业依靠自有资金或银行贷款开展设备升级改造,融资方式过于单一使得数控技术扩散的力度和范围影响有限。贴息贷款、融资租赁、风险补偿等多种方式需要及时跟进,从而降低装备数控化升级中的投融资风险,拓宽企业融资渠道,鼓励更多金融和社会资本投入实体经济,有效增强对技术改造的资金供给。

此外,在共性技术创新和扩散的过程中,企业不只是技术应用的主体,更是技术创新的主体。数控技术是共性技术,但是数控技术与不同行业量大面广的机械产品工艺需求相结合则是数控技术的二次开发和应用。面对成千上万的企业需求做二次开发,仅靠高校和科研院所的力量显然不够,需要进一步发挥企业自身的技术能力。此现状在实地调研中也得到了反映,当地企业设备数控化升级改造的首要技术来源是企业自身而非科研院所和高校。与此同时,泉州当地专业化、市场化的技术服务机构较少,因此开展针对企业技能人才的大规模培训培养工程以及扶持培育一批以市场为导向的专业化技术服务公司刻不容缓。

四、结语

数控化是创新机械产品的有效途径,将数控技术及产品与各行业机械设备有机融合,实现机械设备的数字化控制,可以从根本上提升其功能和性能,为最终实现机械设备智能化升级奠定基础。因此,实现数控技术在中国制造业大范围的扩散具有承前启后的重要意义。长期以来,我国科技宏观管理者重研发链条的科研管理,传统“自上而下”的命令控制型政策模式已不适应新的发展形势。如何在创新治理的框架下,围绕创新链条的多部门、多主体、跨领域开展有组织的创新工程,并动员组织量大面广的制造业企业,在市场经济的原则下克服各种障碍主动接受关键共性技术,是当前我国产业升级急需解决的重大问题。本文以数控一代创新工程为实践,通过对泉州数控装备升级换代进行具体分析,

探究在新型创新治理框架下的有组织创新过程中多元创新主体间的协同关系。通过分析,进一步说明数控一代创新工程在用户市场强大需求的拉动和研发机构有效技术推动的基础上,政府通过发挥“四两拨千斤”的作用,以少量政策资源撬动了广泛的市场资源投入,是推广制造业共性技术扩散的成功范例。最后,在总结现有成功经验的基础之上查找存在的不足,为更好地推进数控技术扩散、带动制造业广泛升级提供决策依据。

参考文献

- [1] 周济,邵新宇,周艳红.《“数控一代”机械产品创新工程》的战略意义和技术路线[J].中国机械工程,2012,23(1):1-6.
Zhou J, Shao X Y, Zhou Y H. *Strategic significance and technical route of “NC generation” mechanical product innovation project*[J]. *China Mechanical Engineering*, 2012, 23(1):1-6.
- [2] Zhou J. Digitalization and intelligentization of manufacturing industry[J]. *Advances in Manufacturing*, 2013, 1(1): 1-7.
- [3] 万钢.贯彻落实全国科技创新大会精神大力推动数控一代创新工程[R].泉州:全国数控一代创新应用工程现场工作会,2016.
Wan G. Implementing the spirit of national science & technology innovation conference and promoting the NC generation innovation project[R]. Quanzhou: the National NC Generation Innovative Application Project Meeting, 2016.
- [4] 李纪珍. 共性技术供给与扩散的模式选择[J]. 科学学与科学技术管理, 2011, 32(10):5-12.
Li J Z. Supply and diffusion model selection of generic technology[J]. *Science of Science and Management of S&T*, 2011, 32(10):5-12.
- [5] 傅家骥. 技术创新学[M]. 北京:清华大学出版社,1998.
Fu J J. *The theory of technological innovation*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998.
- [6] 范小虎,陈很荣,仰书纲. 技术转移及其相关概念的涵义辨析[J]. 科技管理研究, 2000(6):44-46.
Fan X H, Chen H R, Yang S G. Analysis the connotation of technology transfer and related conception[J]. *Science and Technology Management Research*, 2000(6):44-46.
- [7] Horbach J. Determinants of environmental innovation -New evidence from German panel data sources[J]. *Research Policy*, 2008, 37(1):163-173.
- [8] Pelkonen A. The problem of integrated innovation policy: Analyzing the governing role of the science and technology policy council of Finland[J]. *Science and Public Policy*, 2006, 33(9):669-680.
- [9] Trianni A, Cagno E, Worrell E. Innovation and adoption of energy efficient technologies: An exploratory analysis of Italian primary metal manufacturing SMEs [J]. *Energy Policy*, 2013, 61:430-440.
- [10] 陆铭,任声策,尤建新. 基于公共治理的科技创新管理:一个整合框架[J]. 科学学与科学技术管理, 2010, 31(6):71-79.
Lu M, Ren S C, You J X. Public governance and science and technology innovation management: An integrated framework[J]. *Science of Science and Management of S & T*, 2010, 31(6):71-79.
- [11] 王焕祥,段学民. 公共科技管理理论的最新发展述评[J]. 科学与科学技术管理, 2008, 29(6):108-113.

- Wang H X, Duan X M. Review of latest development of public science and technology management theory[J]. *Science of Science and Management of S & T*, 2008, 29(6):108–113.
- [12] 杨继明, 冯俊文. 从创新治理视角看我国科技宏观管理体制改革走向[J]. *科技进步与对策*, 2013, 30(3):99–103.
- Yang J M, Feng J W. China's direction of S&T macro management reform from the prospect of innovation governance[J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2013, 30(3):99–103.
- [13] 孙福全. 加快实现从科技管理向创新治理转变[J]. *科学发展*, 2014(10):64–67.
- Sun F Q. Accelerate the transformation from technological management to innovating governance[J]. *Scientific Development*, 2014(10):64–67.
- [14] Zhang X, Shen L, Chan S Y. The diffusion of solar energy use in HK: What are the barriers[J]. *Energy Policy*, 2012(41): 241–249.
- [15] 窦丽琛, 李国平. 对后发优势的国内实证——基于技术创新扩散视角的分析[J]. *经济科学*, 2004(4):27–32.
- Dou L C, Li G P. A domestic empirical study of late mover advantage—Based on the analysis of technology innovation diffusion angle[J]. *Economic Science*, 2004(4):27–32.
- [16] Robertson P, Patel P. New wine in old bottles: Technological diffusion in developed economies[J]. *Research Policy*, 2007, 36(5): 708–721.
- [17] 王诗宗. 治理理论及其中国适用性[D]. 杭州: 浙江大学(博士学位论文), 2009.
- Wang S Z. Governance theory and its applicability in China[D]. Hangzhou: Zhejiang University(Doctoral dissertation), 2009.
- [18] Zhou Y, Xu G, Tim M, et al. How do public demonstration projects promote green-manufacturing technologies—A case study from China[J]. *Sustainable Development*. 2015, 23:217–231.
- [19] Arora S K, Foley R W, Youtie J, et al. Drivers of technology adoption—The case of nanomaterials in building construction[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2014, 87:232–244.
- [20] Liu X, Gao X. A survey analysis of low carbon technology diffusion in China's iron & steel industry[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016(129):88–101.
- [21] George M, Abdullahi D. Cognitive skills, innovation and technology diffusion[J]. *Economic Modelling*, 2013, 30(2):565–578.
- [22] Zhou Y, Zhang H, Ding M. How public demonstration projects affect the emergence of new industries: an empirical study of electric vehicles in China[J]. *Innovation Management Policy & Practice*. 2015, 15(2):1–23.