

特高压关键核心技术供应商的原始 创新战略实施路径研究

——基于特变电工的案例分析

龚晓叶^{1,2}, 沈鑫玥², 周荣耀², 程佳惠²

(1. 重庆工商大学 企业管理研究中心, 重庆 400067; 2. 重庆工商大学 工商管理学院, 重庆 400067)

摘要:原始创新具有原创性、探索性和突破性的特点,是解决科技“卡脖子”问题的重要手段,也是推动我国科技自立自强、实现中国式现代化的重要战略。我国的特高压技术和产业,依托于原始创新和核心技术突破,不断获取全球性市场竞争优势,逐渐成长为“中国创造”的典型。基于特高压产业的关键核心技术供应商——特变电工的创新突破案例,分析该企业在特高压这个国家创新战略背景下如何实施原始创新战略,实现由0到1的关键核心技术突破。对于推动我国复杂装备产业原始创新,培育更多的专精特新企业具有重要启示。

关键词:特高压产业;关键核心技术供应商;原始创新;战略实施路径;案例分析

中图分类号:F274 文献标志码:A 文章编号:1671-1807(2023)16-0171-08

党的二十大报告提出以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴。装备制造业作为制造业的核心组成部分,其创新发展对于实现中国式现代化具有重要基础性作用^[1]。然而工业机器人、大飞机、高铁等复杂装备作为国之重器,发展过程中受到关键核心技术受制于人、基础材料难以支撑产业创新等卡脖子难题^[2]。如何在关键领域、卡脖子的地方下大功夫,集合精锐力量,作出战略性安排,尽早取得突破,力争实现中国整体科技水平从跟跑向并行、领跑的战略性转变,在重要科技领域成为领跑者^[3],是我国目前面临的重要创新议题。复杂装备是典型的复杂产品系统,其创新高度依赖跨边界的组织间协同合作^[4]。如何突破我国复杂装备产业在发展过程中遇到的卡脖子难题,除了依赖装备制造企业在架构设计、组装适配、集成引领等方面创新突破,还离不开关键核心技术供应商的原始创新^[5-6]。原始创新是最根本性的自主创新,意味着进行具有重大技术进步不依赖于他人技术、完全不受他人知识产权影响,是提高科技创新能力的重要基础和提升科技竞争力的重要源泉^[7]。以往关于原始

创新的研究多从企业自身的创新与知识管理出发,探索提升企业原始创新的措施,较少从创新系统互补者视角,从创新战略管理出发去分析关键核心技术供应商的原始创新实施路径及实现机制^[8]。基于此,以国家重点创新工程特高压产业的创新发展为研究情境,聚焦特高压关键核心技术供应商——特变电工,分析其原始创新背景、原始创新战略选择与实施,以期为复杂装备相关企业及政府提供管理启示与政策建议。

1 特高压产业发展概述

1.1 特高压产业发展历程

1.1.1 中国特高压产业源起

特高压输电技术是指电压等级在交流1 000 kV及以上和直流±800 kV及以上的输电技术,具有输送容量大、距离远、效率高和损耗低等技术优势。迄今为止,在全球范围内,只有中国完全掌握并应用特高压输电技术。美国停留在实验室阶段,日本因为难以承受巨额的资金投入选择放弃,苏联勉强建成一条线路但难以持续稳定运行从而不得不降压至500 kV。

收稿日期:2023-04-18

基金项目:重庆市社科规划博士项目(2020BS59);重庆工商大学高层次人才科研启动经费项目(2155003)。

作者简介:龚晓叶(1987—),女,四川射洪人,重庆工商大学工商管理学院讲师,博士,硕士研究生导师,研究方向为技术创新管理;沈鑫玥(2000—),女,四川崇州人,重庆工商大学工商管理学院,硕士研究生,研究方向为技术创新管理;周荣耀(1999—),男,重庆垫江人,重庆工商大学工商管理学院;程佳惠(2003—),女,安徽安庆人,重庆工商大学工商管理学院。

19世纪70年代,电力的发现和应用掀起了第二次工业化高潮。最初人类的输电电压只有10 kV,最远的传输距离只有20 km,最大的传输容量只有2 MW。电力发展到现在,绝大多数国家掌握的是超高压(即500~1 000 kV输电电压)输电技术。由于特高压输电技术建设成本比超高压低,传输量却是超高压的5倍,一根顶五根,损耗也只有超高压的1/4,经济传输距离可以达到3 000 km以上。因此特高压输电技术逐渐成为很多国家电力输送研究前沿。

2005年6月21—23日,国家发改委在北戴河组织召开特高压输电技术研讨会。来自全国的200多位电力专家围绕“中国到底要不要搞特高压输电技术”展开激烈论证。论证焦点主要有两个。一是,特高压技术在中国具有天然的市场需求。其原因在于,中国2/3的水资源都集中于西南区域,太阳能资源也主要聚集于西部地区,就连煤炭也是2/3在西北地区,但2/3的用电需求却集中在东部沿海地区,主要发电点和集中用电点相距1 500~3 000 km,只凭借超高压技术根本无法调节资源分布与经济发展的不均衡^[9]。二是,中国在电力领域技术薄弱,一直以来采用跟随追赶战略。同时,考虑到特高压技术当时在国外被证明既不经济又很危险,结合中国当时的电力发展水平,3 000多亿元投入资金很可能打水漂。研讨会上,专家们把特高压技术的问题展开了全面的讨论,特别是在项目必要性、核心技术难度、国产化门槛等问题上反复拉锯。经过三天三夜激烈讨论,国家电网公司的特高压方案通过,最终决议,由国家出面组织300多家单位,上千名科研技术专家合力攻坚。因此,为实现能源资源大范围优化配置,助力构建全球能源互联网,特高压输电工程在中国正式拉开帷幕,中国特高压产业也快速兴起^[10]。

1.1.2 特高压产业发展脉络

特高压输电工程启动前,我国电网工程运行问题主要体现在以下4个方面:①发展方面,中国电网发展水平落后,发展速度缓慢,配电网、跨区电网都十分薄弱;②投入方面,电网总体投资不足,投资水平较低;③设备方面,设备水平较低且装备老旧严重,网架结构稳定有待提高,远距离输电能力较弱,老旧设备多,维修、更新不及时,低电压、“卡脖子”等问题层出不穷;④安全方面,电力供需形势紧张,近年电力事故频发,多次发生全国性“电荒”。为解决上述主要难题,来自政府、产业、协会各个层面的

力量积极参与到特高压产业建设中。中国特高压产业发展可分为以下4个阶段(图1)。

第一阶段:战略规划阶段(2004—2008年)。特高压输电技术的国家发展战略构想始于2004年底。特高压输电的不断发展,依托于2005年2月16日发布的《百万伏交流和80万伏直流输电技术初步研究》。该文件对特高压输电技术前期研究进行了充分指导和部署。2005年3月21日,国务院办公厅发布会议纪要,明确提出国家要大力发展特高压,并将发展特高压纳入国家重大装备规划。2006年,发展特高压输电工程被政府列入《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》。2007年,特高压输电工程的发展被政府列入《中国应对气候变化国家方案》。2008年,我国特高压输电工程在国际上得到高度认可,我国特高压交流输电标准电压成为国际标准电压。

第二阶段:研究探索阶段(2009—2013年)。2009年,我国首个特高压交流输电试验示范工程投入运行。2011年,特高压发展被列入《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》。到2012年,特高压交流输电技术及其工程应用已产生较为丰富的研究成果,特高交流压输电关键技术、成套设备及工程应用于当年获得国家科技进步特等奖。

第三阶段:应用推广阶段(2014—2017年)。2014年,中共中央政治局常委、国务院总理李克强在北京主持召开新一届国家能源委员会,会议提出,中国要进一步发展远距离、大容量输电技术,在西电东送建设多个特高压重点工程。2016年3月的政府工作报告首次将特高压发展写入其中。2017年,特高压直流输电工程获得国家科技进步特等奖。

第四阶段:持续突破阶段(2018年至今)。“十四五”规划强调要建设特高压电力枢纽,提高特高压输电利用率。2021年,国家电网发布碳中和行动计划,重点关注加快吸收清洁能源、加快特高压主电网建设、完善特高压工程战略布局。截至2021年12月,我国已有31个特高压输电工程成功投运,正在运营建设的特高压输电线路总长为4.8万km。

1.2 特高压产业构成

1.2.1 特高压输变电系统解决方案的构成

特高压输变电系统解决方案主要由“产品+服务”构成,并以系统解决方案的形式提供给用户。

1)特高压输变电系统的构成。特高压输电包含特高压直流输电和特高压交流输电两种形式。特高压直流输电方式主要是针对点对点的长

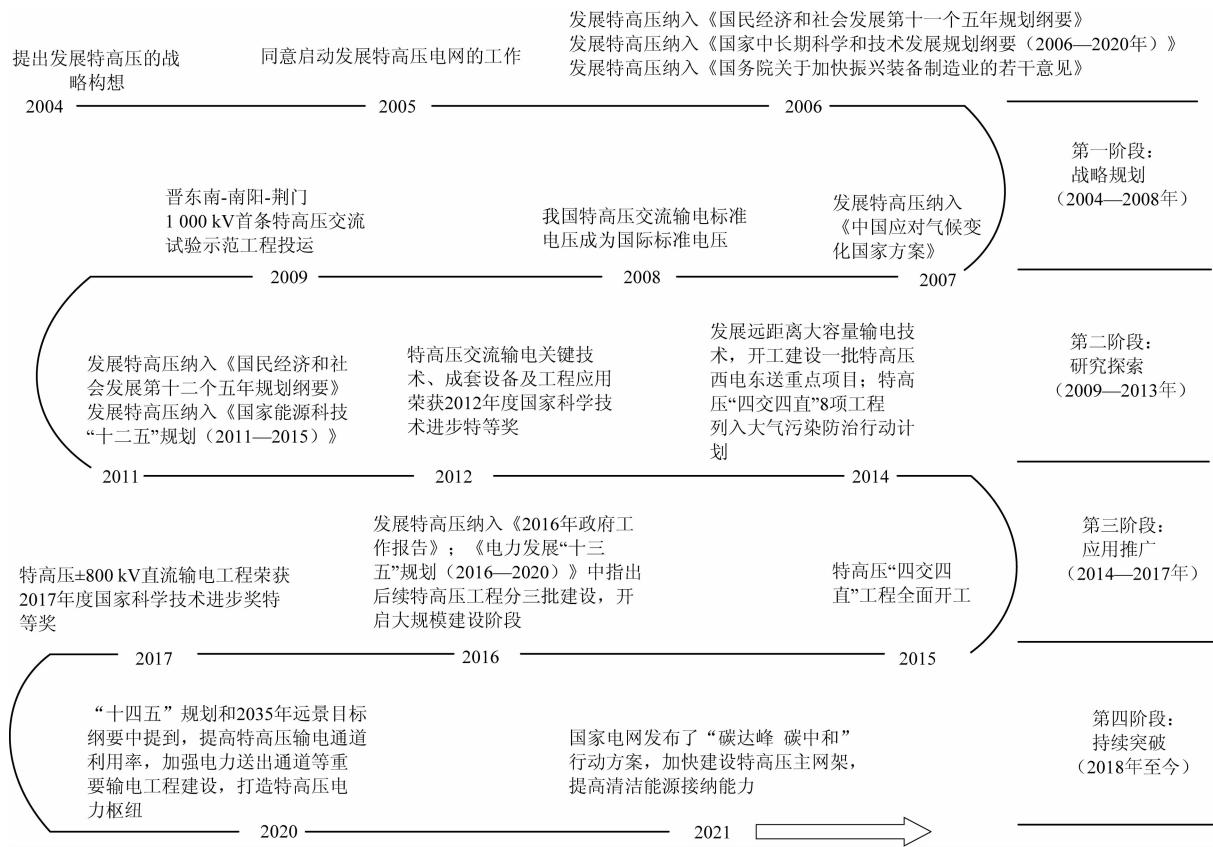


图1 特高压产业发展时间脉络

距离传输。特高压交流输电方式主要是交流环网和短距离传输。特高压输变电的核心模块产品有直流输电的换流阀、换流变压器、互感器、直流断流器等；交流输电的气体绝缘金属封闭开关设备(gas insulated switchgear, GIS)、变压器、电抗器、电容器等。辅助模块产品有输送端缆架的电缆、架空导线、电缆连接件等。

2)特高压输变电系统的服务构成。特高压输变电系统的服务主要包括两个方面：基于一体化网络模型，为特高压的输变电设备，尤其是变压器、GIS开关、变电站综合自动化等企业自主核心输变电设备产品，提供产品和装备的远程监控、维修、管理、升级等整个系统循环的维护和建设；为输变电行业提供核心主设备的全生命周期运维管理和服务的云计算、大数据、人工智能、物联网等技术深度融合的工业互联网平台搭建和运行。

1.2.2 特高压产业创新网络的构成

特高压产业创新网络是以国家电网为主导的，高校及科研院所、设备制造商、设计单位等协同合作，产学研用携手攻关，所创建的平台型产业创新网络^[6]。特高压产业创新网络主要由国家电网、科

研院所、设备制造企业、设计单位、政府等模块所构成(图2)。其中，国家电网公司是特高压产业创新网络的主导者，主要承担战略规划、产业组织、面向用户等任务。科研院所模块主要包括国网电科院、国网经研院以及清华大学、西安交通大学、华北电力设计院、华东电力设计院、华中电力设计院等，它们联合攻关科研问题及技术，探索我国在电力领域的创新潜能。设计单位模块主要包括华北电力设计院、华东电力设计院、华中电力设计院、西南电力设计院等，主要负责勘察设计、工程咨询等任务。设备制造商模块主要包括负责生产变压器、继电器等关键核心设备的特变电工、国电南瑞、中国西电、许继电气等设备制造企业，以及负责生产电线、电缆等辅助设备的通光线缆、通达股份、东材科技等设备制造企业。政府主要制定发布特高压相关政策、提供资金支持等。通过国家电网、科研院所、设计单位、政府等的协同创新，最终以“产品+服务”所构成的解决方案的形式将电力输送给用户。特高压产业创新网络有助于打破各科研单位与企业等创新主体间的壁垒，关键核心技术的研究与应用突破，研发出更具创新和核心竞争力的解决方案。

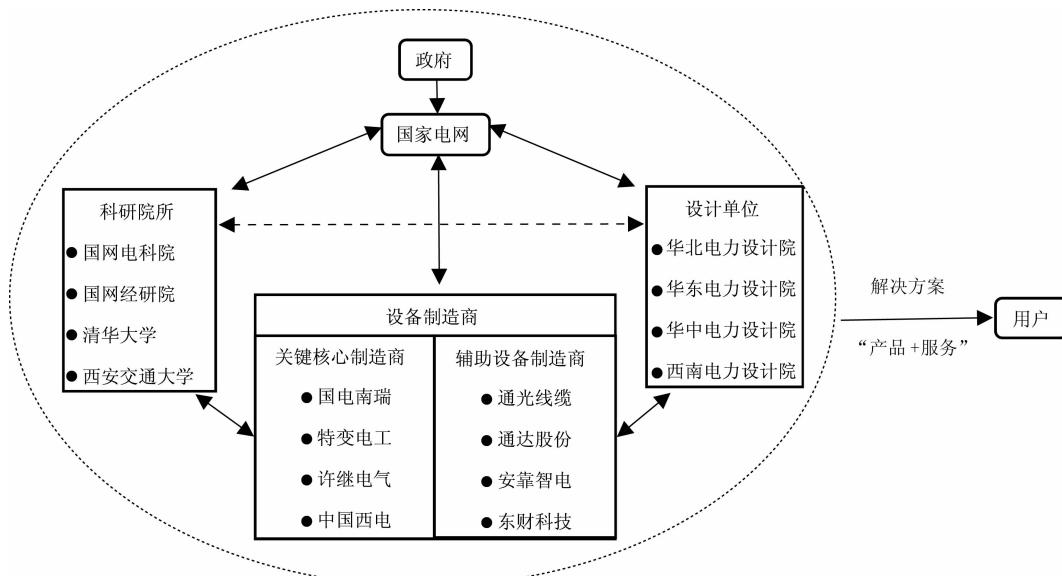


图2 特高压产业创新网络构成

2 特变电工原始创新背景

2.1 特变电工企业简介

特变电工,全称为特变电工股份有限公司,是中国变压器行业首家上市公司。作为国家级高新技术企业和中国大型能源装备制造企业,特变电工培育了“输变电高端制造、新能源、新材料”国家三大战略新兴产业,成功构建了特变电工、新疆众和、新特能源三大上市公司集团。通过检索官方网站资料可知,特变电工秉持“二十一个字”的企业宗旨,坚持创新,转化升级,为全球的能源产业做出贡献的社会使命(表1)。正是在上述企业宗旨与使命的激励下,特变电工不断夯实创新,坚持走高质量发展路线,围绕国家的重大装备制造业“卡脖子”技术、特高压交直流输变电技术开展技术创新,助力我国能源事业的发展。

特变电工取得了一大批专利技术和自主知识产权,平均每年获得专利授权220项,变压器产量处于世界领先水平,综合实力居世界机械第228位、中国企业第313位,连续多年上榜ENR全球百强工程承包商^[1]。

表1 特变电工的宗旨与使命

宗旨	一个理念	可靠
	二装目标	装备中国 装备世界
	三心宗旨	客户称心 员工安心 股东放心
	四特精神	特别能吃苦 特别能战斗 特别能奉献 特别能学习
	五则世界观	诚则立 变则通 康则荣 简则明 和则兴
使命	特变电工始终专注于“输变电、新材料、新能源”三大领域的开拓与协同发展,通过坚持不懈的努力为全球的能源事业和人类的进步做出贡献	

2.2 特变电工在特高压产业创新网络中的位置及市场地位

2.2.1 特变电工在特高压产业创新网络中的位置

特变电工核心产品是变压器,该企业在特高压创新网络中属于设备制造商模块,其主要相关产品是换流变压器和电抗器。换流变压器用于长距离直流输电或电网之间联网的电能转换。电抗器用作直流系统换流站平波电抗器、桥臂电抗器或220 kV以下交流系统限流电抗器。这两种技术产品都是特高压输电技术的关键核心技术,由此,特变电工成为特高压产业创新网络中的关键核心设备制造商。

2.2.2 特高压的市场地位

特变电工不断进行关键核心技术突破,现已成为中国输变电行业的领军企业,其市场地位主要表现为以下两个方面。

第一,研发水平为世界一流。特变电工的研发资金投入持续增加,其中,工艺、质量、成本改善和科研攻关等项目投入占比最高。特变电工拥有中国唯一的特高压变压器工程技术研究中心,建立特高压直流换流变压器的研发及产业化平台,实现了一系列核心技术和关键技术的巨大突破。例如,在完成±1100 kV的换流变压器出线装置样机后,又成功研发出±800 kV换流变压器出线装置样机,在青海-河南特高压直流工程中,特变电工研制的±800 kV干式直流套管发挥重大作用,打破往日特高压直流换流变压器套管、出线装置等核心组部件依赖国外进口的局面。总的来讲,特变电工在技术

方面以及体系已具备成熟完整的技术基础。

第二,市场表现逐年提升并稳居第一。特变电工经过数十年的发展不断扩大规模,超越许继电气、中国西电等设备制造商,成长为输变电行业龙头企业。同时,该企业早在2000年就进军新能源行业并逐步形成光伏风电资源开发及电站建设及多晶硅生产制造两大细分主业,发展至今已成为中国乃至是全球光伏新能源产业发展的关键参与者和重要助推力。

2.3 特变电工原始创新环境分析

特变电工前身是资产不到15万元、年收入不足10万元,并负债73万元的资不抵债、濒临倒闭的街道小厂。在面临倒闭之时,特变电工决定探寻适合企业持续发展的创新战略。

2.3.1 特变电工创新环境 PEST 分析

为了厘清特变电工原始创新战略选择的背景,采取PEST分析(PEST是politics、economy、society、和technology的首字母缩写,是指对宏观环境的分析)法对特变电工当时所处的宏观环境展开梳理,具体分析如图3所示。

由图3可知,持续向好的政策、经济体制改革、长距离电力输送需求旺盛、电力前沿技术探索必要性突出等政治、经济、社会、技术环境为特变电工的创新发展奠定积极的推动作用并提供良好的历史机遇。

2.3.2 特变电工创新环境 SWOT 分析

进一步采用SWOT分析(SWOT是strengths、weaknesses、opportunities和threats四个单词首字母的缩写,是指从优势、弱点、机会、和威胁四个方面

面进行分析)法对特变电工的内外部创新环境展开综合分析(图4)。

由图4可知,特变电工的创新优势在于具有较强的输电设备研制技术基础、经验和企业文化,劣势在于经营管理能力较弱,机会在于行业发展前景宽广,威胁在于研发难度大,替代输能途径逐步发展。强大的研发实力及宽广的前景为特变电工的创新发展提供基础与机遇,同时该企业在创新发展中还面临经营管理和技术难度、替代技术等的威胁与制约。

3 特变电工的原始创新战略实施路径

3.1 特变电工的原始创新战略选择

在对特变电工创新环境分析的基础上,采用创新矩阵模型,对特变电工的原始创新战略选择展开分析,具体分析如图5所示。

综上,特变电工在实施原始创新战略寻求技术突破的过程中,在创新基础方面,强调以应用为导向的基础研究;在创新对象方面,关注新产品和新技术的开发;在创新方式方面,重视合作开发;在创新时机方面,选择先发制人战略。

3.2 特变电工的原始创新战略实施历程

特变电工的原始创新战略实施主要经历以下四个阶段(图6)。

第一阶段:战略改革阶段(1988—1997年)。特变电工在这一阶段刚进入成长期,主要生产制造特种变压器产品,同时率先在行业内进行了股份制改造、锚定特种变压器目标市场、增资扩股等举措^[9,12],实现战略改革。

第二阶段:研发积累阶段(1998—2008年)。这

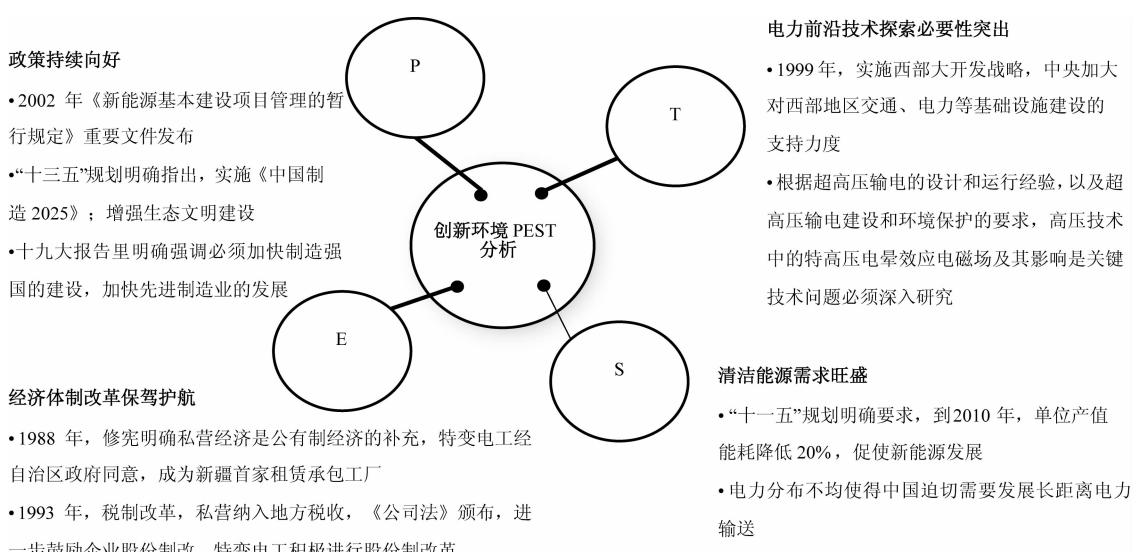


图3 特变电工创新环境PEST分析

S 较强的技术研发基础、经验和创新文化 <ul style="list-style-type: none"> • 特变电工属于国内领先的变压器生产企业，自中华人民共和国成立以来具有多项“国内第一台变压器”研制经验 	W 经营管理能力较弱 <ul style="list-style-type: none"> • 基础管理水平遇瓶颈 • 营销管理能力较弱 • 企业的激励机制不足
O 行业发展前景宽广 <ul style="list-style-type: none"> • 输变电用地的约束条件限制了超高压输电的发展，特高压输电因成本小、能耗低受到欢迎 • 线缆行业市场逐步走向规范和成熟 • 中国经济发展和能源分布不均衡，决定了需要数量巨大的电力远距离输送 	T 研发难度大，替代输能途径逐步发展 <ul style="list-style-type: none"> • 国内外没有可供借鉴的特高压输电核心设备研制成熟经验和技术 • 中国经济发展和能源分布的不均衡以及环境容量对发展煤电的限制，决定了需要开辟其他新的高效率、低能耗的输能途径

图4 特变电工创新环境SWOT分析

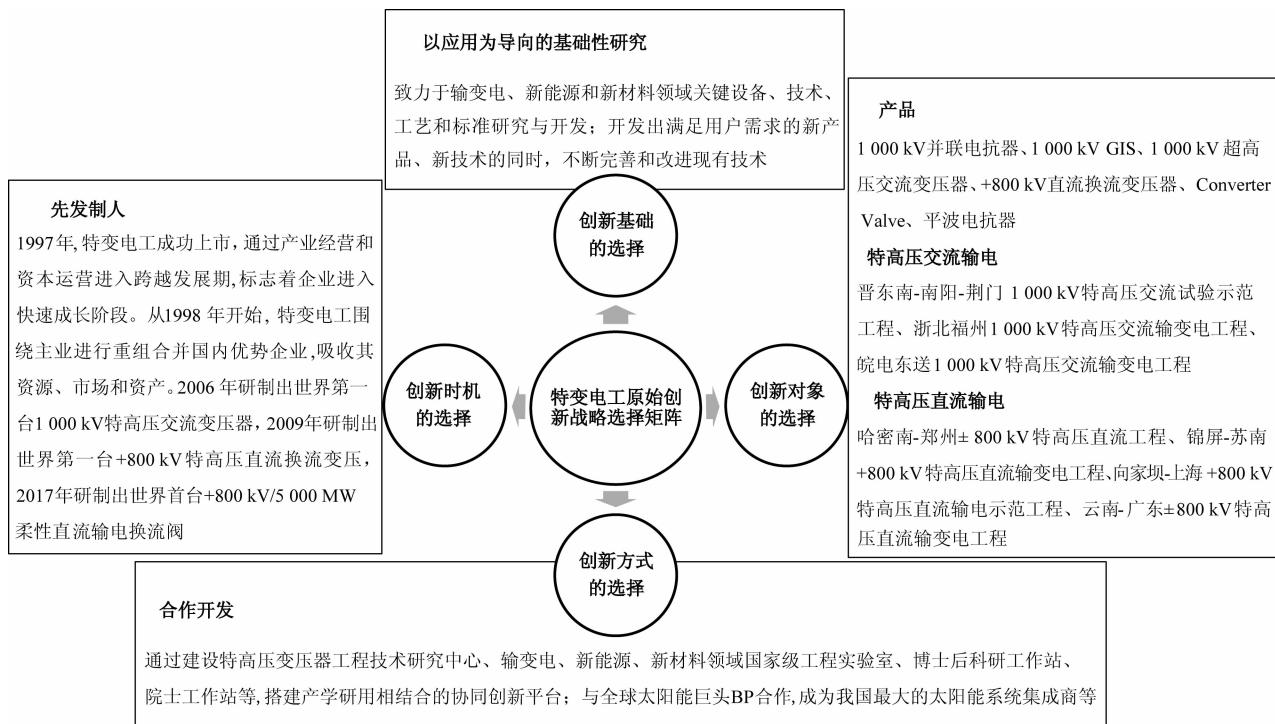


图5 特变电工原始创新战略选择矩阵

一阶段特变电工专注研发积累、瞄准技术赶超，企业通过兼并重组等方式拓宽企业研究基础，并且开始开拓海外业务。在后续的发展中企业实现跨越式发展，研发出中国第一台1 000 kV试验变压器、世界第一台±800 kV直流换流变压器等多个具有标志性的变压器产品，夯实技术基础。变压器制造能力晋升为亚洲第一，奠定了公司在输变电行业的龙头地位。

第三阶段：创新突破阶段（2009—2017年）。这一阶段特变电工持续推进原始创新，打造输变电科技产业园，进军柔性直流输电领域这一新的技术领

域，通过不断的创新突破，成功研制出世界首台最大容量500 kV单相自耦变压器、世界首台电厂特高压变压器、世界第一台±800 kV/5 000 MW特高压柔性直流换流阀塔、世界首台柔性直流输电耦合电抗器等多个世界第一的突破性技术产品。

第四阶段：持续领跑阶段（2018年至今）。2018年以来，在特种变压器领域，特变电工凭借各种突破性技术产品，已成为当之无愧的领跑者。企业持续推进原始创新战略，特变电工首个±1 100 kV换流变压器试制成功并一次性通过试验、我国首台百万机组800 kV三相共体变压器成功发运、新疆首

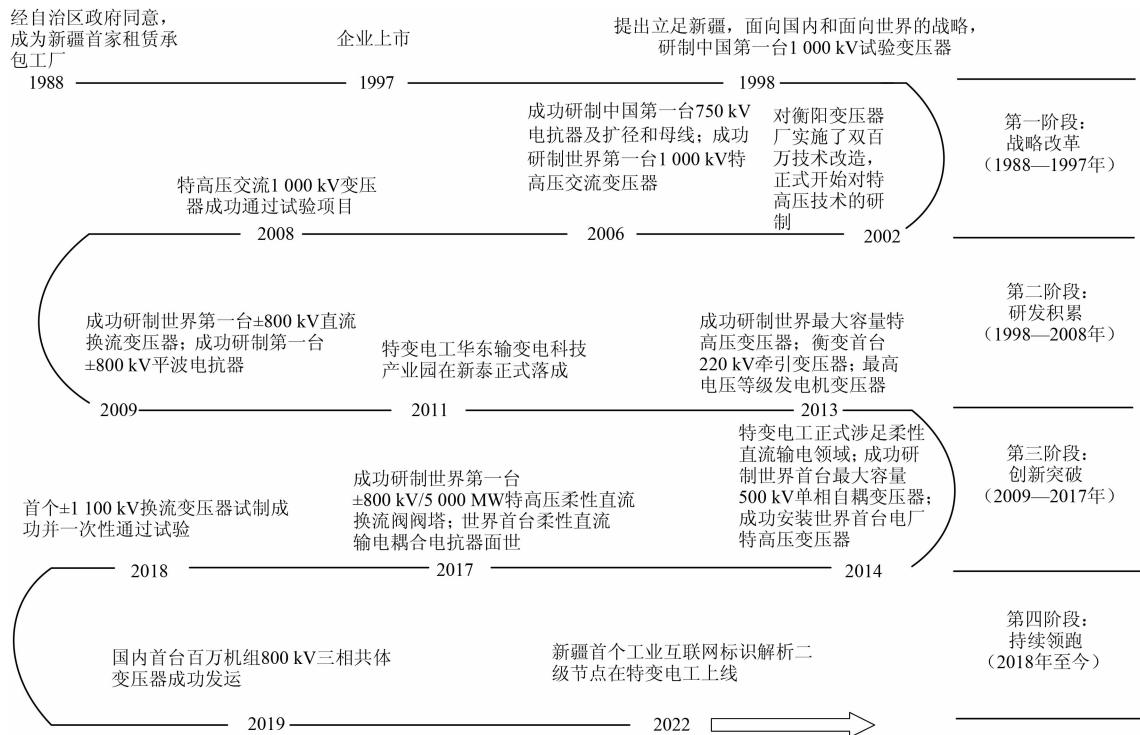


图 6 特变电工的原始创新历程

个工业互联网标识解析二级节点在特变电工上线等多项标志性创新成果持续涌现。

3.3 特变电工的原始创新战略实施效应

3.3.1 企业创新能力大步跃迁

特变电工通过技术积累，核心技术突破，最终实现原始创新，创新能力大步跃迁。在创新的过程中，研发出多项突破性技术产品、参与多项国家重大创新项目，成为特种变压器行业创新龙头。不仅如此，由于特变电工的原始创新战略成功实施，特变电工还不断推动新的业务发展战略，积极培育新产品、新业态、新动能，进一步增强研发创新能力，突破各类卡脖子创新困境。

3.3.2 产业影响力飞速提升

通过原始创新，特变电工已成为国内少有的具有自主知识产权的变压器制造企业，其变压器和输变电设备产品凭借优异的性能和良好的稳定性被多家厂商采购，订单储备充足，销售市场稳定性较强，产业影响力在行业内位居前列。

4 启示

通过探究特高压关键核心技术供应商特变电工的创新突破案例，分析了企业在成长过程中是如何推动技术突破，实现由0到1的原始创新，梳理了中国特高压产业的发展历程，探索了特高压产业关键核心技术部件特种变压器供应商—特变电工的

原始创新战略实施路径。研究对于复杂装备产业关键核心技术供应商和其他制造企业及政府，都有现实意义与启示。

对于政府而言，充分支持和合理引导是抓手。一方面承担为各企业主体提供良好的制度和政策支持；另一方面根据企业在不同阶段发展的实际状况，加深对行业布局和发展前沿的理解，以便能够给予企业切实的创新支持。

对于相关企业而言，第一，创新合作是重点。技术创新是工程建设的金钥匙，制造企业想实现突破式创新，建立动态的核心技术突破机制和协同创新网络是重中之重，整合已有知识基础，重视校企合作，正向学习和逆向学习相结合，不断自主创新。第二，全方位的原始创新战略的选择与实施是关键。从本文分析特变电工原始创新战略矩阵可以看出，特变电工以应用为导向的基础性研究以及抢占先发制人的时机，采取与其他科研院校合作开发的战略，专注于自身产品和工艺的创新，研制出该领域中龙头设备，走进了特高压工程建设的胜利之门。

本研究案例资源主要来自特变电工公司官网、上市公司年报、行业研究报告、研究文献等公开资料。未来可寻找机会，增强调研访谈环节，以期获得更加丰富的一手数据，丰富本案例的内容和管理启示。

参考文献

- [1] 黄群慧,贺俊.中国制造业的核心能力、功能定位与发展战略——兼评《中国制造 2025》[J].中国工业经济,2015(6):5-17.
- [2] 江瑶,陈旭,胡斌.“卡脖子”关键核心技术两阶段漏斗式甄选模型构建及应用研究[J/OL].情报杂志.<https://kns.cnki.net/kcms/detail//61.1167.G3.20230131.1651>.
- [3] 周松兰,冷希宇.跟跑、并跑、领跑:语境结构与内在创新机理[J].科技和产业,2021,21(11):74-78.
- [4] 蒋丽芹,李思卉.网络结构嵌入、双元学习对企业突破性创新的影响[J].商业经济研究,2020(13):116-119.
- [5] 王海军,冯军政,邹华.协同创新视角下战略性模块供应商的评价及管理机制研究[J].科研管理,2016,37(3):1-12.
- [6] 李柏洲,高硕.企业合作型原始创新知识流动演化研究[J].科学学研究,2019,37(8):1506-1516.
- [7] 茅辰,张光明,唐华平.基于 U-L 模型的企业实施自主创新战略路径研究[J].科学技术与工程,2009,9(2):333-336.
- [8] 韩晨,高山行.员工导向提升原始性创新的机制研究[J].科研管理,2022,43(5):131-140.
- [9] 赵晶,刘玉洁,付珂语,等.大型国企发挥产业链链长职能的路径与机制——基于特高压输电工程的案例研究[J].管理世界,2022,38(5):221-240.
- [10] 魏寅孔,李振华,李振兴,等.特高压直流输电线路合成电场的天气影响因素及预测模型[J].科学技术与工程,2023,23(9):3769-3778.
- [11] 郭钇杉.用自主创新“装备中国装备世界”[N].中华工商时报,2023-03-12(008).
- [12] 霍彬.企业动态能力的演变研究——基于特变电工持续成长的案例[J].管理案例研究与评论,2013,6(1):21-31.

Research on The Implementation Path of Original Innovation

Strategy of key Technology Supplier of UHV:

Based on the case study of TBEA

GONG Xiaoye^{1,2}, SHEN Xinyue², ZHOU Rongyao², CHENG Jiahui²

(Research Center for Enterprise Management, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China;

School of Business Management, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: Original innovation has the characteristics of originality, exploration and breakthrough, which is an important means to solve the problem of “bottleneck” in science and technology, and also an important strategy to promote Chinese science and technology self-reliance and realize Chinese modernization. Relying on original innovation and core technology breakthrough, China's ultra-high pressure technology and industry continue to gain global competitive advantages in the market, and gradually grow into the “created in China” model. Based on the innovation breakthrough case of TBEA, a key core technology supplier in the UHV industry, how the enterprise implements the original innovation strategy under the background of the national innovation strategy of UHV was analyzed, and the key core technology breakthrough from 0 to 1 was achieved. This research has important implications for promoting original innovation in complex equipment industry and cultivating more specialized new enterprises.

Keywords: ultra-high pressure industry;key core technology suppliers;original innovation;strategy implementation path;case study