

后发企业技术创新的演化动力机制研究

——以华为早期(1988—1995)研发为例

张毅¹, 闫强²

(1.北京邮电大学 经济管理学院, 北京 100876; 2.北京邮电大学 现代邮政学院(自动化学院), 北京 100876)

摘要:以演化经济学和系统动力学视角,综合运用文献分析和访谈等研究方法,对华为早期技术研发进行系统性分析,建立后发企业技术创新及其演化的系统动力模型。研究发现:新产品开发是资本增长的动力,技术创新是产品开发的动力,人才和研发组织是技术创新的动力,同时人才也是组织结构优化的动力,而发挥人才价值的关键是人才激励;市场既为后发企业提供不断进化的市场动力,也传递先发企业和后发企业的竞争压力,促使后发企业不断产品开发和集成创新,供应商为后发企业快速进入市场并对关键技术进行模块化创新提供动力;企业家和研发组织把外部动力和压力转化为内部动力,使内部动力及进化选择机制与外部市场竞争协调一致。

关键词:技术创新;人才激励;分工组织;华为研发;演化动力

中图分类号: G315 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002—980X(2022)2—0038—12

一、引言

后发企业的高质量发展本质是通过不断技术创新和技术追赶实现竞争优势(魏婕和安同良,2020;刘海兵等,2020),但是如何实现后发企业的技术创新和技术追赶一直以来都是后发经济体的升级转型面临最重要的问题之一(Lee和Lim,2001;刘培林等,2015;柳卸林等,2017;刘海兵等,2020)。目前关于后发企业技术创新的研究分别从创新模式、创新路径、创新能力几个方面开展:后发追赶的模式包括跟随和蛙跳、模仿创新、二次创新、自主创新、开放式创新等模式(陈劲,1994;傅家骥,1998;Lee和Lim,2001;刘海兵等,2020);创新路径理论进一步根据依赖不同创新资源形成技术驱动、市场驱动、创新网络等不同创新路径(杨志刚和吴贵生,2003;Chesbrough,2004;单娟和董国位,2017;郭年顺和李君然,2019),但是创新路径理论仍然没有解释创新动力;创新能力理论从技术积累的视角提出后发企业技术创新的机会和动力,包括内部的技术积累、产品平台及外部的市场创新(Johnsen et al,2006;路风,2018;郭年顺和李君然,2019),后发企业的技术创新既需要稳定的外部市场和内部可靠的技术平台,也需要企业家、创新策略、创新团队等关键要素(喻登科和严红玲,2019;Liang et al,2020),但对于企业的内外部创新因素的相互作用及其演化动力机制缺少研究。本文以华为早期研发的演化过程,分别构建企业创新的内外部因素的系统动力及相互作用机制,填补这部分理论空缺。

华为公司成立于1987年,注册资本2.1万元,以代理销售交换机起家,逐步走上自主研发的道路,到1995年华为的营业额达到15亿元,年均增长142%,初步建立大型研发组织和复杂产品研发平台,并在此后25年持续保持着高速增长。早期的成功经验为华为后来成长为国际一流高科技企业奠定坚实基础,但目前关于华为的大多数研究主要关注后发追赶成功后的产品开发流程、创新能力和战略、内部市场、企业家、动态能力等各种现象(郭年顺和李君然,2019;喻登科和严红玲,2019;Liang et al,2020;刘海兵等,2020),基本上很难解释华为高速发展的真正原因。由于华为早期的数据资料较少,很多研究无从下手;同时,大多数研究缺少对技术研发的具体过程的研究,因而很难解释高科技企业的竞争力机制(郭年顺和李君然,2019)。华为早期高速发展的内在机制到底是什么,为什么可以在短短几年从一无所有快速完成通信核心技术的后发追赶?本文以演化经济学和系统动力学视角,对华为早期技术研发的演化内外动力分析,研究发现华为早期的研发

收稿日期:2021-08-29

基金项目:国家社会科学基金重点项目“企业自营及合作网络商城的消费者偏好、选择机理及发展策略研究”(17AGL026)

作者简介:张毅,北京邮电大学经济管理学院博士研究生,研究方向:区域经济与创新管理;(通讯作者)闫强,博士,北京邮电大学现代邮政学院(自动化学院)教授,研究方向:区域经济与创新管理。

的动力机制包括内外两个方面,并通过企业家和研发组织形成内外部动力的转化,解释了华为一直以来高速发展的背后原因,对中国后发企业的技术创新和高质量发展具有重要的启示意义。

二、文献回顾

(一)后发企业的技术创新能力

相对于先发者的规模效应、学习效应、协作效应和自适应效应,不断强化自身优势地位(Arthur, 1989),后发企业创新存在巨大劣势。Kim(1980)提出后发企业创新过程是引进、吸收和创新的模式;Lee和Lim(2001)通过分析中韩企业的技术追赶,提出跟随和蛙跳两种技术创新模式;中国学者也提出后发企业的技术追赶的模仿创新、二次创新、自主创新等模式(陈劲,1994;傅家骥,1998;杨志刚和吴贵生,2003;刘海兵等,2020);Chesbrough(2004)提出综合利用内外部资源的开放式创新模式。对于后发企业不同的创新模式和路径的形成原因,杨志刚和吴贵生(2003)通过对比中国不同通信企业的产品研发,进一步提出不同技术来源是企业不同的路径依赖的内在因素;单娟和董国位(2017)由市场和技术两个维度对华为技术的演化过程分析,逐步由模仿创新到技术领先、由新兴市场向核心市场扩散的逆向创新过程;郭年顺和李君然(2019)认为华为半导体依靠通信设备市场的技术积累和内部市场支持,为麒麟芯片提供产品平台和迭代发展的稳定应用和改进机会;刘海兵等(2020)通过对华为创新能力演化分析,提出后发企业通过模仿创新、二次创新、集成创新、原始创新实现市场与技术的升级演化过程。可见,后发企业的技术积累和创新能力全面落后,后发企业的追赶更多是创新能力和知识存量积累的追赶,不同的资源依赖方式形成不同的技术创新的路径模式,后发企业技术创新需要对内外部创新资源的集成和创新能力的优化,然而对于内外部资源和创新能力之间作用机制却缺少研究。

(二)后发企业技术创新的内部动力

喻登科和严红玲(2019)、刘海兵等(2020)提出后发企业的技术追赶过程中采取与创新能力匹配的创新战略,结合商业模式创新与技术创新获取企业的发展机会;Liang et al(2020)通过对华为的成长过程研究,发现有远见的领导通过影响组织学习而提高组织的动态能力,应对快速变化的电信市场。可见,企业家通过对组织学习、创新团队及创新战略的重要作用,进而影响企业的技术创新。然而对于企业家对组织学习、创新团队、创新战略及技术创新的影响机制仍然缺少解释;刘海兵等虽然对企业的创新战略、创新范式和创新能力之间关系做整体定性分析,并尝试通过知识循环积累、知识演化及集成产品开发(IPD)等组织流程等因素对华为创新内在机制分析,仍然没有对人才与技术积累之间的动力机制深入研究;喻登科和严红玲(2019)也把技术研发及其组织作为黑箱进行处理。因而,还需要进一步分析技术创新本身及创新主体之间的微观关系,即从技术创新本身的特点及创新者的动力两个方面深入研究。技术创新具有随机性(Schumpeter, 1934; Silverberg和Lehnert, 1993),创新投入与产出成非线性关系(Arthur, 2007),技术创新是技术的学习、搜索和选择过程,具有很强的路径依赖(Arthur, 1989);对于创新主体的激励,包括物质激励、工作环境、领导支持、乐观情绪、压力和工作需要等外在激励和内在激励可以提高创新的效率(Teresa et al, 2003;李春玲等, 2019);张毅和闫强(2021)进一步提出综合采用物质激励、组织激励、精神激励、内在激励的饱和激励实现企业的核心技术创新。目前研究仍然需要对企业家、激励因素、创新团队、创新策略之间的作用机制深入分析。

(三)后发企业技术创新的外部动力

Teece(2009)提出企业的技术创新需要从市场上获取商业价值才能成功;对于后发企业,Christensen和Rosenbloom(1995)提出边缘市场为后来者提供技术改良和进步的市场机会。对于市场对技术创新的作用机制,郭年顺和李君然(2019)认为企业通过与用户交互中自主开发和持续改进,获得企业的特定和难以简单模仿的资源 and 能力,即产品开发平台和技术能力;技术能力是在产品开发和市场应用的反复迭代中,不断集体学习和探索逐步积累而来(路风, 2018;郭年顺和李君然, 2019);路风(2018)提出面向市场的自主产品开发平台是后发企业技术学习的有效方式。可见,市场通过产品为企业成长提供所需资源,同时也为企业创新能力演化提供动力,其中产品开发平台作为技术创新到产品的中介,连接技术、产品和市场的价值链。此外,Johnsen et al(2006)研究发现市场和供应商在企业创新中也扮演着重要角色;Faems et al(2010)提出摆脱竞争中被动状态是企业创新的内在动力;韦铁和鲁若愚(2011)通过对封闭创新、半开放创新和开放式创新模型的理论分析和比较,发现市场、企业、供应商的充分合作下的开放式创新模型的各方福利及总剩余最优。可

见,市场同时也为企业提供竞争者、供应商等其他主体,市场竞争促进企业技术创新,而合作提高企业创新效率,但对于后发企业在市场上其他主体的竞争与合作关系及对技术创新的作用机制的研究还存在理论缺口。

三、研究设计

(一)研究方法

本文采用纵向单案例研究方法,以演化经济学和系统动力学视角,综合运用文献分析和访谈等定性方法对华为早期(1988—1995)研发的技术、人才、组织和企业家等内部因素及市场、竞争对手及产业链等外部环境进行结构化分析,建立后发企业技术创新及高速增长的内外动力模型;由于后发企业的技术创新演化动力机制属于探索性问题,研究对象时间跨度较大,涉及内外部多种因素的相互作用的动态过程,采用纵向单案例深入分析可以得到全面和启发性的观点并构建理论(Yin,2014)。

(二)案例选择

基于理论抽样原则,选择华为早期(1988—1995)研发作为研究对象:第一,典型性。华为早期研发是在资本、技术和人才积累较弱的情况下实现技术创新和快速追赶的成功案例(刘海兵等,2020;Liang et al,2020),对于研究问题具有极强的说服力(Siggelkow,2007),也对其他后发企业的技术创新具有重要的参考意义。第二,数据获取性。案例企业的数据易于获取,作者长期在案例企业从事产品研发工作,同时能够对研究对象进行深入观察。第三,案例与研究内容的适配性。华为于1988年进入交换机产业,属于无资本、无人才、无技术、无管理的后发企业;经过企业持续地技术创新和追赶,至1995年,华为年收入15亿元,拥有800名员工,并建立自主产品开发平台及大型研发团队。华为早期(1988—1995年)研发完整展现了华为在交换机领域的代理销售、散件组装、模仿研制、自主研发和技术领先的过程,为研究后发企业的技术创新和追赶的演化提供了丰富的素材。

(三)数据收集

本文通过华为早期研发人员的半结构化访谈、作者在华为的研发工作经历及二手资料建立了华为早期研发的坚实文献库,并对多方面材料进行“三角验证”,提高研究的信度和效度(Yin,2014)。如表1所示,通过访谈主要对华为早期研发进行情境恢复和资料验证,访谈对象为华为早期资深研发和管理人员,包括12位匿名的华为产品研发部门的资深研发和管理人员的匿名记录、5名华为高级研发管理人员的实名访谈记录及华为CEO的视频访谈;作者在华为的研发经历,能够以内部视角建立研究对象的深刻认识,也便于与访谈对象联系和资料获取,并对获取的访谈内容和二手资料有效鉴别;二手资料包括华为前资深研发管理人员关于华为研发工作的专著、华为官网、心声论坛、华为人报等公开资料。

表1 主要数据来源说明

资料类型	被访谈人员	时间	职务	内容
匿名访谈	12名华为研发人员	2017年3月—2020年12月	资深研发管理人员	华为产品研发过程情境恢复,并对二手资料进行校验,共整理访谈纪要7.9万字
实名访谈	吕克、陈珠芳、江西生、张顺茂、曹怡安	2013年7月—2020年1月	资深研发管理人员	华为早期产品研发管理等工作(《华为访谈录》,6.5万字)
高管访谈	任正非	2019年1月—2020年3月	企业CEO	华为企业经营及早期研发情况的视频访谈的纪要,7.1万字
作者经历	2004年9月—2007年7月,作者在华为核心网部门的研发工作,深入观察研究对象的产品研发、技术管理、组织结构、人才激励和行业环境等情况			
二手资料	张丽华、李仪等华为早期资深研发管理人员关于华为早期产品研发的民族志资料 华为官网、心声论坛、华为人报(1993—1995年)			

(四)华为早期研发的基本情况

华为公司成立于1987年,注册资本2.1万元,成立后的一年时间内基本处在生死线挣扎,卖过减肥茶、墓碑等各种产品,毫无高科技企业的影子,直到1988年才开始通过代理销售进入交换机市场;1989年,华为积极从国内高校和研究所寻求人才和技术合作,通过购买散件组装BH01设备,开始走上自主研发的道路;1990年,由于购买的散件经常断货影响市场销售,研发BH3K替换BH01中使用的散件;1991年,自主研发的BH3U产品性能首次超过进口设备;1992年,销售额首次超过1亿元,开始进入程控交换机研发,先后研发模拟交换机JK1000和数字交换机CC08;1993年,模拟交换机JK1000研发成功,但由于数字交换机已经成为主流,而且关键元器件稳定性不够,很快被市场淘汰,在企业濒临破产情况下,华为把剩余资源全部投入CC08产品开发并最终成功;1994年,CC08产品在电信市场获得巨大成功,基于CC08的产品平台和模块化技术,快

速开发出智能网、无线接入和光传输设备；1995年，基于CC08产品平台和光传输技术，快速开发出接入网和ATM设备。由图1、图2可见，1989—1995年，华为销售额年均增长142%，1995年华为的销售额达到15亿元，产品的技术规格由24线增长到近10万线。

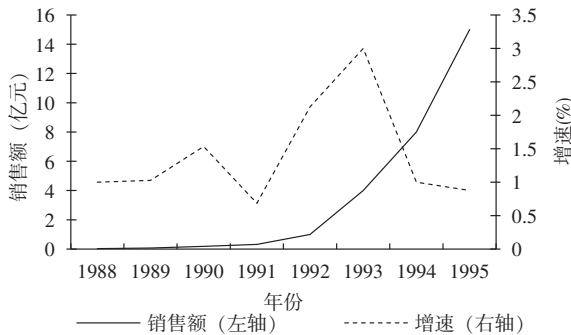


图1 1988—1995年华为的销售额和增速

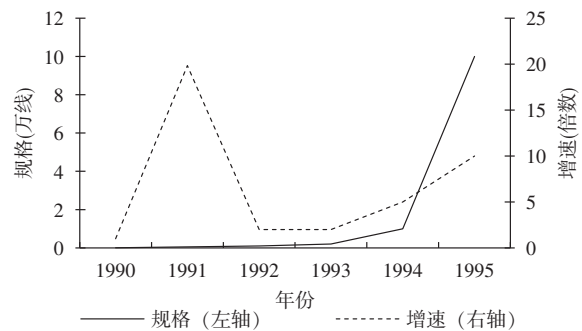


图2 1990—1995年华为产品规格及增速

四、华为研发演化的内部动力

(一) 人才的激励

早期华为面临严重的人才缺乏问题，1988—1991年员工数仅增长30人，总数达到50人，包括制造、销售和管理人员，而研发人员更少，人才缺乏成为制约华为持续发展的首要问题。华为采取饱和激励的措施（张毅和闫强，2021），薪酬水平远高于市场水平，以1993年一名员工为例，从上海高校辞职进入华为后年薪7.2万元左右，相当于此前收入的15倍左右，也是该校校长年收入的5倍左右，而且工资几乎每个月都在涨；此外，企业为员工配发股份，股份分红也成为员工收入的主要部分；同时采取较高水平的组织激励和精神激励（张毅和闫强，2021）。饱和激励为华为建立尊重人才和求贤若渴的口碑，在人才市场释放强烈信号，吸引大批优秀人才的主动加入，成功打开人才和知识网络。如图3所示^①，1988年郭平进入华为，1989年郭平推荐同学郑宝用，1992年郑宝用又推荐校友李一男，1992年李一男推荐同班同学洪天峰；由于聂建林BH03U产品开发中的突出表现，华为积极引进各大高校少年班人才；通过同事关系搜寻人才，每年春节员工回家都需要联系旧同事和朋友加入华为；通过参与邮电部的专业技术会议寻找人才，包括毛生江、杨汉超、孔令柏等CC08研发骨干。华为早期的人才和技术主要来自高校和邮电研究所，程控交换技术人才的主要来源于西安邮电十所，合作的同时高薪聘请相关人才，更多人才通过同学和同事等社会关系寻找，这些人才后来多数成为华为核心管理层。1992年员工数增加到270人，至1995年增加到800人，年均增长43.6%。可见，通过少数人才向整个人才网络发出饱和和激励信号，推动华为人才规模按指数级增长。

命题 1a 华为通过饱和激励向人才市场和员工发出强烈信号，促进企业人才快速增加。假定员工激励投入 I ，企业第 i 周期员工增加数为 $N_i(I)$ 随激励 I 提高增加，如式(1)。

$$\frac{\partial N_i(I)}{\partial I} \geq 0 \quad (1)$$

同时，人才的积极性也激发出来，华为人均产值持续增加，由1988年的18.5万元到1995年的187.5万元，增长9.1倍。企业的激励水平越高，可以吸引更多人才加入，企业的净利润仍然可以增加。员工与企业之间关系类似于囚徒困境演化博弈，企业与员工的收益最高的策略都是“一报还一报”策略（Axelrod和Hamilton，1981），企业首先采取饱和激励措施，向人才释放明确的合作信号，吸引大量人才进入企业，同时激励员工创造更多价值，促进员工与企业之间由雇佣关系的演化为合作关系。由此可得：

命题 1b 员工给企业创造更多价值是企业采取激励措施的动力，企业除了可以人均产值增加外，还拥有规模收益。假定员工没有激励情况下的劳动投入为 I_0 ，创造的价值为 V_0 ，企业对每位员工的激励均为 I 时，员工的额外劳动投入为 L ，创造剩余价值为 V ，则企业正常利润 P_0 为 V_0 与 I_0 的差乘以员工总数，企业超额净利

① 图3的纵坐标代表华为通信设备（程控交换机）的技术的性能指标，即通信设备连接用户电话数量，数量的单位是线（是该类产品的行业通用名称），该技术指标同时意味着华为研发的技术积累水平。

润 P_e 为 V 与 I 的差乘以员工总数,企业总利润 P_t 为 P_0 与 P_e 之和,员工超额净收入 Y_e 为 I 与 L 之差,分别为式(2)~式(5),约束条件分别为式(6)~式(8)。

$$P_0(I) = \sum N_i(I) \times (V_0 - I_0) \tag{2}$$

$$P_e(I) = \sum N_i(I) \times (V - I) \tag{3}$$

$$P_t(I) = P_e(I) + P_0(I) \tag{4}$$

$$Y_e(I) = I - L \tag{5}$$

$$\text{s.t. } V - I \geq 0 \tag{6}$$

$$\text{s.t. } I - L \geq 0 \tag{7}$$

$$\text{s.t. } \frac{\partial P_t(I)}{\partial I} \geq 0 \tag{8}$$

$$L \leq I^* \leq V + V_0 - I_0 \tag{9}$$

对于员工来说,有效激励条件为 $I > L$,即式(7)。对于企业来说,从雇佣员工的平均收益来看,大部分企业家不愿意对人才额外投资和激励,只能得到正常企业利润 $P_0(0)$;部分企业家采用激励可以得到额外的净收入,即 $V > I$ 时才开始对人才激励,如式(6)所示;考虑到 $N_i(I)$ 及总员工数增加,企业的正常利润随员工总数增加,企业激励的总净收益增加的条件是式(8),且最大化条件为该式为零,假设此时激励为 I^* , I^* 的范围为 $[L, V+V_0-I]$,如式(9)所示。由此可得:

命题 1c 企业采取饱和激励策略的前提是企业家的理性水平,企业家的理性可以分为三个层次:采取最小化人力资本投入而不激励;员工的激励收益严格大于等于激励投入,如式(6)所示;持续提高激励投入,获取人才规模收益最大化,如式(8)所示。

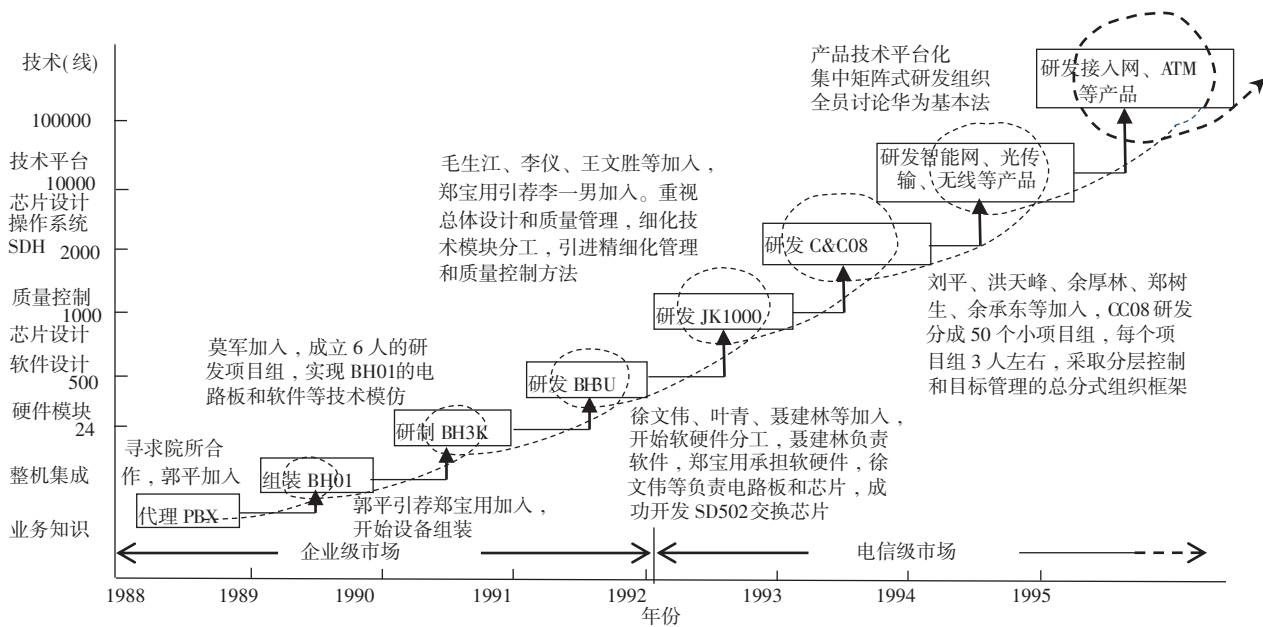


图3 华为研发早期的人才、技术、产品和组织演进过程

(二)技术和产品的演进

饱和激励使人才的创造力和责任心完全爆发出来,虽然华为研发规模较小,仍然能够不断研发出新产品和新技术。由图2,1989—1995年,华为产品性能规格平均年增长301%,远高于摩尔定律的增长率,快速赶上世界先进技术,成功避免了大多数后发企业的低端锁定,完成由企业级技术到电信级技术的升级。华为早期并没有电信市场和技术积累,首先从代理销售开始积累业务知识,通过与院所合作获取初步技术,从边缘技术和产品开始,通过组装和模仿研发积累整机集成和硬件模块技术;BH3U项目初步形成系统级的硬件、软件和芯片设计的技术和能力,为电信级产品开发积累了软硬件技术;JK1000产品虽然在市场上没有成功,但为华为获取电信产品开发资质,并积累了复杂产品系统的开发和质量控制经验;CC08产品中成功开发支

持 32000 路用户的 SD509 型号的 TDM 交换芯片、准 SDH 光接口技术、32 位保护模式操作系统等关键核心技术,并实现技术模块化和平台化,极大提高华为的核心技术开发能力,为智能网、无线网、光传输、接入网等产品的快速开发奠定技术平台基础。CC08 产品是典型的复杂产品系统(Liang et al, 2020; 刘海兵等, 2020),其研发成功标志着华为完成了大规模复杂产品研发的技术积累,然而华为整个 CC08 研发团队只有 50 人左右,平均年龄不足 30 岁,缺少复杂产品的研发经验,而先发企业的研发团队通常在万人以上,并具有丰富的技术积累。华为开发人员在教科书的基础上经过无数次尝试和激烈讨论中解决光纤互联、智能化、保护模式操作系统等当时最先进的技术的设计思路和技术难关,除了技术积累和技术本身挑战性,饱和激励是研发人员挑战高难度技术的强大动力,推动人才创造力的彻底爆发。由此可得:

命题 1d 饱和激励是华为员工创造力和责任心爆发的动力,通过产品开发实现个体潜能的最大发挥及技术不断积累,实现企业技术研发能力由整机集成、简单模仿、自主研制到复杂产品开发的不断升级。假定员工第 i 周期技能进步为 $K_i(I)$,激励促进员工努力工作,有利于员工的知识和技能提升,如式(10)所示;企业整体技术积累 $S(I)$ 为所有员工知识和技能之和,如式(11)所示。

$$\frac{\partial K_i(I)}{\partial I} > 0 \quad (10)$$

$$S(I) = N(I) \sum K_i(I) \quad (11)$$

命题 1e 企业技术在新产品的持续迭代开发中不断向核心技术推进和深化,实现集成技术、模块技术向平台技术的技术积累。

(三)组织的演进

饱和激励使人才与企业形成利益共同体,不仅减少了企业的管理和监督成本,同时人才还主动承担企业运营的职责,推动企业的组织结构优化。华为开始以销售和制造为主,采取直线型组织,如图 4(a)和图 4(b)所示,产品研发的规模较小,技术水平低,主要服务于市场和制造部门,也使华为研发从一开始就是以市场为导向;研制 BH3K 时成立 6 人的项目组,研发与测试、生产和销售共用一间办公室;研发 BH3U 时开始进行软件、硬件和芯片设计分工;研发 JK1000 时开始注重总体设计和质量控制,进一步细化模块分工;随着 CC08 产品技术复杂度提高和研发人才增多,研发才逐步从制造部门独立出来,建立总体组-项目组研发组织,如图 4(c)。CC08 产品的技术复杂度和人员规模超过之前所有产品,分成 7 个模块,每个模块再细分成若干个小模块,由总体组和各模块的总体组分别负责总体和各模块的分解和集成,由小型项目组实施小模块的开发,极大降低大型产品研发的复杂度。CC08 的产品研发时虽然面临巨大的技术困难,整个团队经验不足,也无借鉴对象,整个产品经过分解为一系列小模块后,每个小模块由 2~3 人的项目组完成,逐个突破操作系统、光接口技术及 ASIC 交换芯片等关键技术后再集成为整体方案。CC08 产品开发组织适合复杂产品系统的分解和集成(郝斌等, 2007; 麦强等, 2018),有效实现了研发人员集体智慧的高效整合,成为团队合作创新的典型。由此可得:

命题 1f 华为采用总体组-项目组的组织结构的符合复杂产品系统的系统分解及模块化开发的分工要求。

1995 年,华为进一步把分散在 CC08 及其他产品共计 100 名左右的研发人员集中起来,成立中央研究部,建立产品和技术管理两个维度的集中矩阵式开发组织。如图 4(d)所示,产品部门负责产品的开发和销售,分为交换机部、智能业务、无线及新业务部;技术管理为产品开发提供技术管理和技术支撑,总体办管理各产品的总体组,基础研究部负责软硬件基础平台和芯片等共性技术的开发,计划处负责企业范围内仪器设备的统一调度,提高设备的利用率,软件工程部负责各产品的软件开发的质量管理,干部部负责各产品干部管理。集中矩阵式开发组织同时实现了不同产品平台的快速开发与技术积累:整个组织以产品部门为主,避免矩阵式组织的权力分散,一旦需要快速开发新产品,产品部门可以快速整合基础部门、总体办和产品部门等部门的人员,形成资源聚集优势;同时,分散在不同产品部门的技术管理人员,可以把技术平台快速应用在不同产品形成平台式技术开发,不同产品的共性问题解决及技术改进也可以在其他产品快速同步。华为早期研发组织优化主要由早期引进的郑宝用等人推动,根据技术研发分工特点及组织规模逐步调整。由此可得:

命题 1g 研发组织的直线型结构能够面向市场完成简单产品和技术研发,总体组-项目组型结构提高复杂产品系统的研发能力,集中矩阵式型结构进一步提高研发组织的多产品开发、技术积累及资源聚集能力,研发组织结构演化过程充分吸收之前组织结构的优点。

命题 1h 产品开发的技术复杂性及研发人员数量仅仅是华为研发组织结构演化的外部原因,饱和激励

后的人才成为华为研发组织优化的主要动力。

命题 1i 研发组织建立前企业研发对人才个体的依赖性较强,任何人才的流失都会对产品研发造成较大影响,建立研发组织后对个人依赖降低。因此,研发组织建立前人才激励水平较高,研发组织后人才激励水平适度下降。

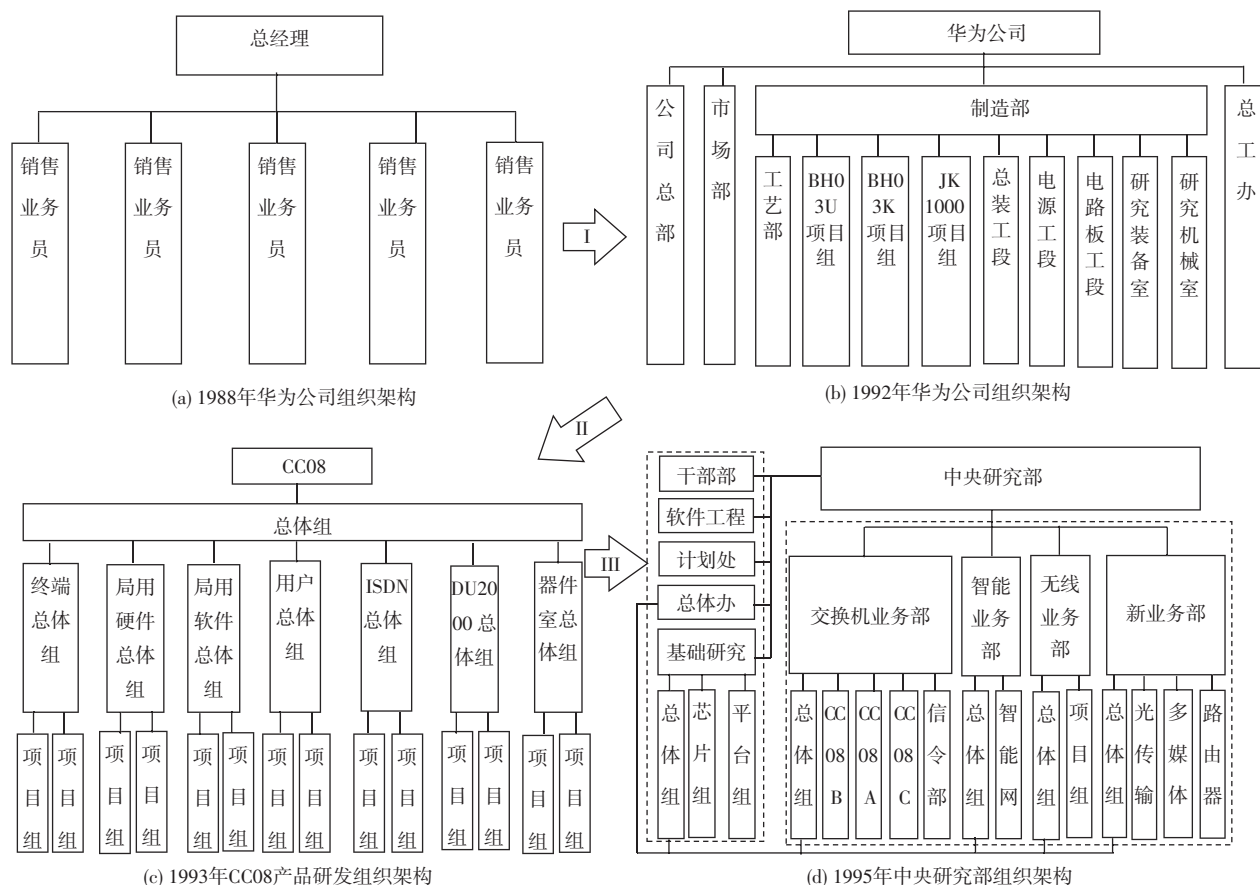


图 4 华为早期研发组织架构的演变

(四) 内部动力的相互作用

由以上分析可见,华为为仅用 1 年时间实现从销售公司转变为制造公司,1 年时间实现由制造公司转变为研发公司,4 年时间实现由开始研发到建立大型研发组织。华为增长直接动力是技术创新和新产品开发,并以产品为载体进行人才、技术、组织的演化;技术创新和产品开发的动力是人才,饱和激励是人才价值发挥的动力,通过饱和激励实现人才与企业由博弈关系演变为利益共同体:人才的创造潜力的全面激发,同时人才引进更多优秀的人才形成组织规模的增长,并推动组织结构的不断演化,快速适应企业的技术创新和外部市场动态;企业家的理性程度决定企业的激励水平,也决定组织结构优化和产品研发方向选择。因此,企业家是人才激励、组织演进、技术创新的制度保障,由企业家、人才激励、研发组织、技术和产品研发及资本之间形成增强回路,推动企业按指数级快速发展。

五、华为研发演化的外部动力

(一) 中国通信市场的兴起

中国经济的快速发展,带动企业和社会大量通信需求,为通信设备商提供了巨大的市场机会:矿山、宾馆等企业大量使用企业级交换机;电话普及率由 1990 年的 1.11% 快速增长到 1995 年的 4.76%,平均年增长 43.9%;每年电信设备投资 200 亿元以上。早期企业级交换机主要由国内厂商提供,电信级交换机各县级独立采购,但主要由国外厂商提供;后期华为、中兴、巨龙和大唐等国内厂商在企业级市场成长起来,并后先进入电信级市场。华为从边缘市场起步,实现技术和资本的积累,逐步向核心技术和市场演进,边缘市场收

入也是华为饱和激励的基础。高速发展的通信市场是华为等国内企业高速发展的基础,华为早期发展的巨额投入主要靠产品销售实现,饱和激励本身需要资本的密集投入,1995年华为一年的研发经费超过2亿元,相当于当时中国一所重大大学的年科研经费的2倍左右。如果没有中国电信市场华为就无法获取巨额利润支持研发投入。由此可得:

命题 2a 中国通信市场为华为技术演进提供充足的市场需求,也是华为高强度研发投入的资金来源。边缘市场的技术积累是华为进入核心市场的基础和前提。假定市场规模为 M 包括边缘市场规模为 M_s 及核心市场规模 M_c 两部分,如式(12)所示;企业人才激励的资本 $C(I)$ 如式(13)所示,在边缘市场和核心市场阶段的约束条件分别如式(14)及式(15)所示,其中边缘市场激励系数 α 为企业激励投入与边缘市场规模的占比,核心市场激励系数 β 为企业激励投入与核心市场规模的占比。

$$M = M_s + M_c \quad (12)$$

$$C(I) = \sum N_i(I) \times (I + I_0) \quad (13)$$

$$C(I) = \alpha M_s \quad \text{s.t. } 0 < \alpha < 1 \quad (14)$$

$$C(I) = \beta M_c \quad \text{s.t. } 0 < \beta < 1 \quad (15)$$

(二)与后发企业之间的博弈

华为代理销售及研发企业级交换机设备期间,由于技术壁垒较低,市场上很快就出现几百家同类型的企业,完全市场竞争使企业级交换机的利润很快趋近于零,为保持技术和市场的相对竞争优势,拉开与同类企业的技术差距,华为不断加大技术研发投入,而没有研发或研发投入较少的企业,市场份额逐步降低而退出市场,市场演变为少数大企业的寡头竞争;经过几轮产品和技术迭代后,华为的技术积累已经远超同类企业,1989—1995年华为产品性能规格平均年增长301%。后发企业之间的竞争可以抽象为通过技术创新获取市场份额的演化博弈模型,后发企业在博弈中稳定于创新策略。由此可得:

命题 2b 后发企业在边缘市场的竞争中需要不断技术创新才能幸存。假定华为的市场份额为 M_{1s} ,其他后发企业的市场份额为 M'_{1s} ,如式(16)所示。

$$M_s = M_{1s} + M'_{1s} \quad (16)$$

(三)与先发企业之间的博弈

先发企业与华为技术差距巨大,拥有高利润,华为等后发企业进入电信市场时没有采取主动降价等措施,导致华为早期的产品利润较高,CC08立项时计划卖10台左右即达到市场目标,华为拥有的巨大自主创新红利,以同类产品的1/2的价格出售仍然可以获取大量利润。国产程控交换机进入市场后,市场竞争促使产品价格快速下滑,几年内从300美元/线降到30美元/线(杨志刚和吴贵生,2003),大量先发企业退出市场;吸取程控交换机的失败教训后,先发企业在华为成功研发无线等新产品时主动大幅降价,导致华为无线产品虽然研发成功,却无法进入中国市场,被迫开拓海外的边缘市场,在边缘市场经过10年左右才进入中国核心市场。可见,后发企业与先发企业之间的竞争可以抽象为两阶段演化博弈模型:第一阶段先发企业有降价和不降价两个策略,后发企业有进入和不进入市场两个策略。先发企业基于以往经验,忽视后发企业的进入,并没有采取降价措施,华为等后发企业进入市场很快成为技术领先者,先发企业虽然降价仍然逐步退出核心网市场;第二阶段先发企业吸取核心网失败的教训,采取主动降价同时加大创新力度措施,成功阻止了后发者进入核心市场。先发者通过价格降至后发者的成本附近,多数后发者在连续几个产品周期无利可图,无法持续进行巨额创新投入,在技术和市场两方面全面落后先发者而被迫退出核心市场,先发者在消除后发者后可以继续垄断市场。后发企业再次通过进入边缘积累技术,逐步扩大市场份额,经过长期迭代后再次进入核心市场。由此可得:

命题 2c 后发企业与先发企业的竞争中最佳策略是进入市场,同时采取降价和不断创新策略。假定后发企业的市场份额为 M_{1c} ,先发企业的市场份额为 M_{ec} ,如式(17)所示。

$$M_c = M_{1c} + M_{ec} \quad (17)$$

命题 2d 后发者与先发者第二阶段竞争,先发者通过长期低价促使后发者无法获利,导致后发者的研发组织崩溃和人才流失,技术积累也随着人才流失而中断甚至消失,进而导致后发者内部动力机制失效,内部动力由增强回路变为负反馈回路,如式(18)所示。

$$M_{lc} < C(I) \tag{18}$$

命题 2e 后发者与先发者第二阶段竞争,后发企业通过进入边缘市场代替核心市场继续加快技术迭代,同时以已有市场的资本和优势资源补偿内部动力不足和失效,即边缘市场是进入核心市场的技术积累和资本投入的基础。假定后发企业的内部激励的补偿为 γ ,如式(19)所示。

$$M_{lc} + \gamma = C(I) \tag{19}$$

(四)与上游供应商的合作

华为代理销售期间,由于高利润和低门槛,市场上交换机的代理商的快速增加,不仅需要预付定金,设备经常无法正常供货,产品质量问题也不能及时解决,严重影响华为的正常销售和资金链安全;购买散件组装也出现类似的问题,散件供应也经常出现问题;设备集成后由于部分关键芯片价格昂贵,甚至占到整个设备的 50% 成本以上,而且还存在严重的质量问题无法解决。由此可见,与供应商的关系可以分为两个阶段:进入市场初期,后发企业在与上游供应商合作,采用供应商设备和组件可以快速占领市场,同时后发企业在合作过程中从先进供应商那里扩散获得模块技术和质量管理等知识;但随着市场份额的进一步扩大,需要提高产品的供货水平、服务质量及技术竞争力,但上游供应商缺少为后发企业进行技术创新的动力,华为只能加大自主研发投入,通过产品组装和集成解决了预付资金的占用和设备的及时供应,通过芯片、操作系统等关键技术的模块创新,极大降低产品成本,并为产品提供差异化技术优势。

命题 2f 供应商虽然可以提高后发企业的产品进入市场速度,促进后发企业的知识和技术积累,但市场份额扩大后由于缺少成本和技术优势,市场竞争促使后发企业对上游供应商包括从整机组装到关键技术的自主创新和替代。

(五)内外部动力的相互作用

如图 5 所示,外部市场为后发企业的技术创新提供资源动力和竞争压力:从而转化为企业内部创新动力,企业人才激励来自产品的市场收入,高激励同时吸引外部人才进入企业研发组织;但外部市场动力仍然需要与其他后发者与先发者进行竞争,华为采取创新策略进入边缘市场、降价和创新的组合策略进入核心市场均取得较好的收益,随着核心市场竞争者对华为策略的适应,华为再次进入边缘市场进行技术和资本积累,并依靠已有市场利润对技术创新动力进行补充;外部市场的竞争策略由企业家选择,同时通过产品竞争向企业内部研发组织传递;由于员工与企业之间的利益共同体关系,使外部竞争压力传递到每一个员工,推动外部市场压力转化为员工技术创新的动力,提高技术和产品竞争力;上游供应商通过提供模块技术加快后发企业市场进入速度,同时企业内部通过产品集成形成对上游模块技术的技术积累,为企业核心技术的自主研发替代提供动力;外部市场竞争和市场利润需求推动企业对核心模块的创新和替换。内部技术创新通过产品参与市场竞争,由内部动力向外部动力转化:通过对上游供应商技术的集成实现了后发企业技术积累,通过对上游供应商技术的不断替代实现技术创新能力不断升级及业务的垂直整合;后发企业的技术积累和创新能力的提升,进一步推动产品竞争力的提升,通过与其他后发企业和先发企业的竞争形成企业市场份额的不断扩大,同时市场竞争和供应商合作增加对技术创新的内在需求,形成企业技术创新的内部动力与外部动力相互增强。

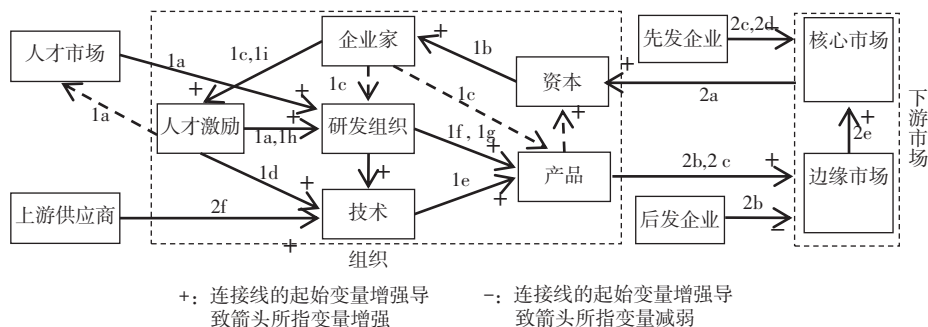


图 5 华为早期研发的系统动力模型

六、结论和建议

(一)主要结论

通过对华为早期研发演化过程研究,发现后发企业在内外部动力作用下实现技术快速创新和高速发展,其主要的演化动力机制如下:

1. 后发企业技术创新的内部动力

饱和激励使人才与企业形成利益共同体,同时实现人才技术创新效率的提高、企业监督和管理成本的降低、外部人才的汇聚及研发组织的优化,企业家主要由技术创新的规模效益激励,人才、组织、技术和产品、企业家之间形成企业内部的增强回路,推动后发企业以指数级规模增长。

2. 后发企业技术创新的外部动力

外部市场为后发企业提供产品集成创新动力,市场竞争为技术创新提供外部创新压力,对供应商关键技术的自主研发和替代推动后发企业模块化创新,获取核心技术和成本优势。与其他后发企业在边缘市场的竞争及先发企业在核心市场的竞争均可抽象为二阶段博弈,后发企业在市场竞争中均采取进入市场和技术创新的策略,由边缘市场实现技术积累和研发规模扩大,为进入核心市场竞争奠定了基础;后发企业与上游供应商的关系分为两个阶段:后发企业集成上游供应商技术模块快速进入市场并积累模块技术,对关键技术的自主研发和替代实现技术和成本优势。

3. 内外部动力的相互作用

通过饱和和激励实现外部市场动力转化为内部动力;通过选择进入市场和技术创新的策略,实现外部竞争压力转化为内部创新压力;通过与供应商合作为核心模块技术创新积累技术基础。外部市场动力和压力也推动研发组织结构不断演化,并由组织继续向内部员工传递动力与压力,根据外部市场动态进行快速技术创新,并通过集成创新提供具有竞争力的产品,参与外部市场竞争,实现资本增值及对企业家的激励,内在动力向外部动力转换;企业家对于内部的激励策略及外部的竞争合作的策略实现了企业的内外部动力相互增强。

(二)理论贡献及实践意义

本文深化了后发企业技术创新和演化动力理论,在以下方面做出了边际贡献,研究结论对于后发企业的技术创新、人才管理及高质量发展具有较高的启发意义:第一,此前研究分别从企业家(Liang et al, 2020)、激励(张毅和闫强, 2021)、组织流程(刘海兵等, 2020)等不同方面对企业技术创新的内部动力进行单独分析,缺少不同内部动力的结构性的研究,本文完善了人才激励、组织、技术和产品之间的系统动力机制研究,提出企业家的理性对于人才激励及组织演变的决定性影响,通过人才激励使员工与企业的博弈关系转化为利益共同体,推动组织优化、技术积累及产品研发,形成内部动力机制的增强回路。第二,对于企业的外部动力机制,虽然已有研究提出市场动力(Christensen 和 Rosenbloom, 1995; Teece, 2009)及市场中不同主体的合作(Johnsen et al, 2006; 韦铁和鲁若愚, 2011)对企业创新的积极影响,但对于后发企业、先发企业、供应商与后发企业之间的竞争合作的动态关系缺少分析,本文通过后发企业及先发企业的多阶段博弈分析,分析后发企业在不同阶段技术创新的策略选择及动力机制,通过对供应商与后发企业合作的两阶段分析,分析供应商对后发企业市场进入及模块技术积累的作用,进一步深化和完善了企业开放式创新理论。第三,本文进一步对后发企业内外部动力的相互作用进行分析,首次提出企业创新的内外部动力机制统一模型,解释内外部动力相互作用和转化的路径和机制,为进一步对后发企业技术创新的网络博弈及演化动力的仿真分析提供了理论基础。

(三)管理启示及政策建议

为促进后发企业的技术创新和产业升级,提出以下建议:

1. 从内部动力来看

人才激励即价值分配体系对技术创新、产品研发及整个组织的发展起的关键作用,但人才激励需要企业家具备较高的理性水平和知识积累,对于大多数企业家还具有较大挑战:目前很多企业争相模仿华为员工的高绩效文化,只强调员工的贡献和执行力,而配套的激励措施不足,无法形成内部动力机制的增强回路,只能偶尔提升创新效率,而不能形成持续创新动力;从研发组织的演化阶段来看,还有部分企业争相学习华为当前的流程化、专业化和国际化,却忽视企业当前的人才、技术、组织和资本的积累情况,以及面临不同内外部

演化动力,生搬硬套大企业的经验和组织模式不仅成本巨大,也很难提高企业的创新效率;我国大多数企业研发部门和科研院所同样面临创新乏力的问题,尤其国家重点实验室,人员规模通常在100人以上,基本达到大规模复杂技术和产品团队规模,但还需要在人才激励措施和组织结构方面持续改进,才能真正释放出人才的创造力。

2. 从外部动力来看

中国已经成为全球最大的国内市场,可以为后发企业的技术创新提供充足的市场动力和创新压力,但仍然需要调整市场结构为新兴产业的自主创新提供市场动力,也需要坚持开放的市场政策,积极引进外部竞争者和上游供应商,培育和构筑多元化多层次的竞争合作生态,促进企业技术创新不断由中低端向高端演进;对于市场、技术和人才组织的增长率较高的后发企业,提供适度金融和政策支持,避免后发企业因资本不足而进化中断,但对于跨越过资本不足阶段的大型企业,主要通过市场环境治理为企业营造良好外部发展环境,避免先发企业利用垄断地位进行恶性价格战、专利战和歧视性技术限制等手段破坏市场的公平竞争环境。

3. 从内外部动力的作用来看

企业家和研发组织需要承把外部动力和压力转化为企业的内部动力,根据自身的内外部情况进行研发组织的结构调整,使研发组织能够具备同时面向市场的集成创新和面向核心技术的模块化创新的能力;企业应通过与外部供应商合作提高自主创新效率;坚持和加快技术创新和产品研发,积极参与和应对外部市场竞争。

(四)不足及后续研究

本文虽然整体给出了华为早期研发的进化的系统动力模型,仍然需要对华为研发的内外部动力模型进行实证检验和系统仿真,并结合实证研究和仿真结果对该模型进一步完善,同时没有深入研究组织结构、企业文化等因素的作用;本文以通信产业的后发企业作为研究案例,研究结论可能具有一定局限性,需要通过其他行业案例进一步完善;此外,没有对华为后续大规模的技术创新进行研究,企业大规模创新的内外部条件与后发企业差距较大,需要在后续研究中完善。

参考文献

- [1] 陈劲, 1994. 从技术引进到自主创新的学习模式[J]. 科研管理, 15(2): 32-34, 31.
- [2] 傅家骥, 1998. 技术创新学[M]. 北京: 清华大学出版社: 96-139.
- [3] 郭年顺, 李君然, 2019. 本土半导体企业打破“后进者困境”的路径和机制——以华为海思为例[J]. 企业经济, (6): 97-106.
- [4] 郝斌, 任浩, GUERIN A M, 2007. 组织模块化设计: 基本原理与理论架构[J]. 中国工业经济, (6): 80-87.
- [5] 李春玲, 张西英, 仇勇, 等, 2019. 不同激励偏好下创新奖励对研发人员创新行为的影响——自我决定与特质激活理论整合视角[J]. 科技进步与对策, 36(24): 153-160.
- [6] 刘海兵, 杨磊, 许庆瑞, 2020. 后发企业技术创新能力路径如何演化? ——基于华为公司1987—2018年的纵向案例研究[J]. 科学学研究, 38(6): 1096-1107.
- [7] 刘培林, 贾坤, 张勋, 2015. 后发经济体的“追赶周期”[J]. 管理世界, 31(5): 6-17.
- [8] 柳卸林, 高雨辰, 丁雪辰, 2017. 寻找创新驱动发展的新理论思维——基于新熊彼特增长理论的思考[J]. 管理世界, 33(12): 8-19.
- [9] 路风, 2018. 论产品开发平台[J]. 管理世界, 34(8): 106-129, 192.
- [10] 麦强, 安实, 林翰等, 2018. 重大工程复杂性与适应性组织——港珠澳大桥的案例[J]. 管理科学, 31(3): 86-99.
- [11] 单娟, 董国位, 2017. 新兴市场后发企业逆向创新路径研究——来自华为公司的案例分析[J]. 科技进步与对策, 34(2): 87-93.
- [12] 魏婕, 安同良, 2020. 面向高质量发展的中国创新驱动[J]. 中国科技论坛, (1): 33-40.
- [13] 韦铁, 鲁若愚, 2011. 多主体参与的开放式创新模式研究[J]. 管理工程学报, 25(3): 133-138.
- [14] 杨志刚, 吴贵生, 2003. 复杂产品技术能力成长的路径依赖——以我国通信设备制造业为例[J]. 科研管理, (6): 13-20.
- [15] 喻登科, 严红玲, 2019. 技术创新与商业模式创新二元耦合组织成长路径: 华为30年发展历程研究[J]. 科技进步与对策, 36(23): 85-94.
- [16] 张毅, 闫强, 2021. 企业核心技术创新的激励结构分析[J/OL]. 科学学研究: 1-11[2021-12-11]. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20211123.006>.
- [17] ARTHUR W B, 1989. Competing technologies, increasing returns, and 'lock-in' by historical events[J]. Economic

- Journal, 99(3): 116-131.
- [18] ARTHUR W B, 2007. The structure of invention[J]. *Research Policy*, 36(2): 274-287.
 - [19] AXELROD R, HAMILTON W D, 1981. The evolution of cooperation[J]. *Science*, 1(1): 1390-1396.
 - [20] CHESBROUGH H, 2004. Managing open innovation[J]. *Research Technology Management*, 47(1): 23-26.
 - [21] CHRISTENSEN C M, ROSENBLOOM R S, 1995. Explaining the attacker's advantage: Technological paradigms, organizational dynamics, and the value network[J]. *Research Policy*, 24: 233-257.
 - [22] FAEMS D, LOOY B V, DEBACKERE K, 2010. Interorganizational collaboration and innovation: Toward a portfolio approach[J]. *Journal of Product Innovation Management*, 22(3): 238-250.
 - [23] JOHNSEN T, PHILLIPS W, CALDWELL N, et al, 2006. Centrality of customer and supplier interaction in innovation[J]. *Journal of Business Research*, 59(6): 671-678.
 - [24] KIM L, 1980. Stages of development of industrial technology in a developing country: A model[J]. *Research Policy*, 9(3): 254-277.
 - [25] LEE K, LIM C, 2001. Technological regimes, catching-up and leapfrogging: Findings from the Korean industries [J]. *Research Policy*, 30(3): 459-483.
 - [26] LIANG X, XIU L, FANG W, et al, 2020. How did a local guerrilla turn into a global gorilla? Learning how transformational change happened under dynamic capabilities from the rise of Huawei[J]. *Journal of Organizational Change Management*, 33(2): 401-414.
 - [27] SCHUMPETER J A, 1934. *Theory of economic development*, English translation of Schumpeter(1912)[M]. MA: Harvard University Press.
 - [28] SIGGELKOW N, 2007. Persuasion with case studies[J]. *Academy of Management Journal*, 50(1): 20-24.
 - [29] SILVERBERG G, LEHNERT D, 1993. Long waves and 'evolutionary chaos' in a simple Schumpeterian model of embodied technical change[J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 4(1): 9-37.
 - [30] TEECE D J, 2009. Business models, business strategy and innovation[J]. *Long Range Planning*, 43(2-3): 172-194.
 - [31] TERESA M A, ELIZABETH A S, GIOVANNI B M, et al, 2003. Leader behaviors and the work environment for creativity: Perceived leader support[J]. *The Leadership Quarterly*, 15(1): 5-32.
 - [32] YIN R K, 2014. *Case study research: Design and methods*(5th Edition)[M]. CA: Sage.

Research on the Evolutionary Dynamic Mechanism of Technological Innovation of Latecomer Enterprises: Take Huawei's Early R&D(1988—1995) as an Example

Zhang Yi¹, Yan Qiang²

(1. School of Economics and Management, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;

2. School of Modern Post(School of Automation), Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: From the perspective of evolutionary economics and system dynamics, by comprehensively using research methods such as literature analysis and interview, through systematic analysis of Huawei's early technology R&D, a system dynamic model of technological innovation and evolution of late developing enterprises was established. The results show as follows. New product development is the driving force of capital growth, technological innovation is the driving force of product development, talents and R&D organization are the driving force of technological innovation, talents are also the driving force of organizational structure optimization, and the key to give full play to the value of talents is talent incentive. The market not only provides the evolving market power for the late developing enterprises, but also transmits the competitive pressure of the early developing enterprises and the late developing enterprises, which promotes the late developing enterprises to continuously develop products and integrate innovation. Suppliers provide the power for the late developing enterprises to quickly enter the market and carry out modular innovation of key technologies. Entrepreneurs and R&D organizations transform external power and pressure into internal power, so as to coordinate the internal power and evolutionary selection mechanism with the external market competition.

Keywords: technological innovation; talent incentive; division of labor organization; Huawei R&D; evolutionary dynamics