



ISSN 0577-6686
CODEN CHHKA2

机械工程学报[®]

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING



CMES 中国机械工程学会主办

半月刊 | **11** / 2012
第 48 卷

ISSN 0577-6686



9 770577 668125

11 >

本刊荣获

- ★ 首届“国家期刊奖”(1999年)
- ★ 第二届“国家期刊奖”(2003年)
- ★ 第三届“国家期刊奖”(2005年)
- ★ “中国期刊方阵”双高期刊
- ★ 中国科协精品科技期刊工程项目资助期刊
- ★ 国家自然科学基金委员会资助
- ★ 第二届中国出版政府奖期刊奖

机械工程学报

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

2012年第48卷第11期 6月5日出版

Vol.48 No.11 Published on June 5, 2012

(半月刊, 1953年创刊)

(Semimonthly, started in 1953)

版权所有: ©2012 Journal of Mechanical Engineering

主管: 中国科学技术协会

主办: 中国机械工程学会

编辑出版: 《机械工程学报》编辑部

编辑部地址: 北京百万庄大街22号(100037)

主编: 宋天虎

常务副主编: 王淑芹

编辑部主任:

副主编: 郑小光

责任编辑: 岑伟

电话: (010)88379907

传真: (010)88379504

DOI: 10.3901/JME

http://www.cjmenet.com.cn

E-mail: jme@cmes.org

cjme@263.net

印刷: 北京机工印刷厂

国内发行: 北京报刊发行局

订购处: 全国各地邮局

Responsible Department:

China Association for Science and Technology

Sponsored by:

Chinese Mechanical Engineering Society

Edited and Published by:

Editorial Office of JOURNAL OF
MECHANICAL ENGINEERING

Address:

22 Baiwanzhuang Dajie, Beijing 100037, China

Chief Editor: Song Tianhu

Executive Chief Editor: Wang Shuqin

Deputy Chief Editor: Zheng Xiaoguang

Tel: 0086-10-88379907

Fax: 0086-10-88379504

DOI: 10.3901/JME

http://www.cjmenet.com.cn

E-mail: jme@cmes.org

cjme@263.net

Distributed Abroad by:

China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing, China)

Code: M201

《机械工程学报》董事会

董事长:

宋天虎(中国机械工程学会)

副董事长:

王文斌(机械工业信息研究院)

董事:

王田苗

(北京航空航天大学机械工程及自动化学院)

王庆丰

(浙江大学流体传动及控制国家重点实验室)

王时龙(重庆大学机械传动国家重点实验室)

王祖温(大连海事大学)

王润孝(西北工业大学)

邓宗全(哈尔滨工业大学)

仪垂杰(青岛理工大学)

刘宏民(燕山大学)

吕明(太原理工大学)

孙汉旭(北京邮电大学自动化学院)

闫献国(太原科技大学)

严新平(武汉理工大学)

何存富(北京工业大学)

张义民(东北大学机械工程与自动化学院)

张宪民(华南理工大学机械工程学院)

李大勇(哈尔滨理工大学)

李圣怡

(国防科技大学机电工程与自动化学院)

李杨民(澳门大学)

李剑峰(山东大学)

李荣彬(香港理工大学)

李荣德(沈阳工业大学)

杨兆军(吉林大学)

邵新宇(华中科技大学机械科学与工程学院)

季林红(清华大学精密仪器与机械学系)

姚振强(上海交通大学机械与动力工程学院)

胡燕平(湖南科技大学)

赵韩(合肥工业大学)

项昌乐(北京理工大学)

徐西鹏(华侨大学)

徐金梧(北京科技大学)

袁寿其(江苏大学)

贾振元(大连理工大学机械工程学院)

郭隐彪(厦门大学)

高健(广东工业大学)

梅雪松(西安交通大学机械工程学院)

黄田(天津大学机械工程学院)

黄明辉(中南大学机电工程学院)

黄洪钟(电子科技大学机械电子工程学院)

葛世荣(中国矿业大学)

韩旭(湖南大学机械与运载工程学院)

谭援强(湘潭大学机械工程学院)

檀润华(河北工业大学)

ISSN 0577-6686

CN11-2187/TH

国内邮发代号: 2-362 国外发行代号: M201

国内定价: 35元/期, 840元/年

机械工程学报

JIXIE GONGCHENG XUEBAO

2012年第48卷第11期 6月5日出版

目次

*** 创新设计专栏 ***

- 机械功能对称的概念体系及其应用 冯培恩 曾令斌 邱清盈等 (1)
- 基于技术进化理论的破坏性创新预测与实现模型 孙建广 檀润华 江屏 (11)
- 异构模块组合耦合分析的完全关联矩阵 陈羽 滕弘飞 (21)
- 面向功能创新的功能进化、组合与失效研究 曹国忠 郭海霞 檀润华等 (29)
- 专利设计知识的创新性评估方法及其在创新设计中的应用 邱清盈 薛驰 冯培恩等 (39)
- 基于功能裁剪的专利规避设计 江屏 罗平亚 孙建广等 (46)
- 模块化产品族演进创新方法研究 侯亮 王浩伦 穆瑞等 (55)
- 基于 TRIZ 的可拆卸联接改进设计 刘志峰 胡迪 高洋等 (65)
- 集成 TRIZ 的产品生态设计方法研究 刘征 潘凯 顾新建 (72)
- TRIZ 辅助功能周期确立方法 张鹏 檀润华 (78)
- 基于复杂网络与公理设计的产品平台设计方法 刘曦泽 祁国宁 纪杨建等 (86)
- 基于公理设计和设计关联矩阵的产品平台设计新方法 肖人彬 程贤福 陈诚等 (94)
- 基于相似性与结构敏感性分析的产品平台设计过程模型 张换高 赵文燕 江屏等 (104)

机械学

机构学及机器人

- 虚拟轴机床并联机构的自适应动态滑模运动控制 高国琴 郑海滨 (119)
- 基于蛇形魔方机构分析的模块化可重构机构理论 丁希仑 吕胜男 (126)
- 基于非瞬时支链位形设计的并联机构内部奇异消除方法 刘延斌 李志松 韩建海 (136)

机械动力学

- 高速主轴系统静止及运转状态下动力学特性对比分析 孙伟 汪博 闻邦椿 (146)
- 调制式永磁齿轮气隙磁场及转矩分析计算 葛研军 聂重阳 辛强 (153)
- 二维声学数值计算的径向插值有限元法 夏百战 于德介 姚凌云 (159)
- 甚低频拖曳天线的稳态动力学研究 郑小洪 侯志强 韩维等 (166)

制造科学与技术

制造工艺与装备

- 基于数值仿真技术的单颗磨粒切削机理 言兰 姜峰 融亦鸣 (172)
- 大口径轴对称非球面气囊抛光进动运动建模及控制 潘日 王振忠 郭隐彪等 (183)
- 基于 Hermite 插值的复杂光学曲面车削加工路径规划 王兴盛 康敏 (191)

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

Vol.48 No.11 June 2012

CONTENTS

- Research on Mechanical Function Symmetry Architecture and Its Application
..... FENG Peien ZENG Lingbin QIU Qingying et al (1)
- Model for Roadmapping Disruptive Innovation Based on Technology Evolution Theory
..... SUN Jianguang TAN Runhua JIANG Ping (11)
- Comprehensive Dependency Matrix for Heterogeneous Modular Combination
Coupling Analysis..... CHEN Yu TENG Hongfei (21)
- Research on Function Evolution, Combination and Failure Mode for Product Function Innovation
..... CAO Guozhong GUO Haixia TAN Runhua et al (29)
- Novelty Evaluation Method of Patent Design Knowledge and Its Application in Creative Design
..... QIU Qingying XUE Chi FENG Peien et al (39)
- Method about Patent Design Around Based on Function Trimming
..... JIANG Ping LUO Pingya SUN Jianguang et al (46)
- Research on the Evolution & Innovation for Modular Product Family
..... HOU Liang WANG Haolun MU Rui et al (55)
- TRIZ Based Revised Design for Disassembly of Joint Structure
..... LIU Zhifeng HU Di GAO Yang et al (65)
- Research on Product Ecological Design Method Integrating TRIZ
..... LIU Zheng PAN Kai GU Xinjian (72)
- Method of Establish Functional Period Assisted by TRIZ
..... ZHANG Peng TAN Runhua (78)
- Product Platform Design Method Based on Complex Network and Axiomatic Design
..... LIU Xize QI Guoning JI Yangjian et al (86)
- New Approach to Product Platform Design Based on Axiomatic Design
and Design Relationship Matrix..... XIAO Renbin CHENG Xianfu CHEN Cheng et al (94)
- Product Platform Design Process Model Based on Similarity
and Structural Sensitivity Analysis.....ZHANG Huangao ZHAO Wenyan JIANG Ping et al (104)
- Adaptive Dynamic Sliding Mode Motion Control for the Parallel Mechanism of
Virtual Axis Machine Tool.....GAO Guoqin ZHENG Haibin (119)
- Reconfiguration Theory of Modular Reconfigurable Mechanism Based on
Analysis of Snake Cube.....DING Xilun LÜ Shengnan (126)
- (下转封三)

DOI : 10.3901/JME.2012.11.011

基于技术进化理论的破坏性创新预测与实现模型*

孙建广 檀润华 江 屏

(河北工业大学河北省制造业创新方法工程技术研究中心 天津 300130)

摘要：破坏性创新是一种便宜、方便、简单的产品技术创新，它的实现可以使企业技术实现有效增长，也可以利用其开发出的新产品创立新的企业。由于现有破坏性创新预测与实现方法无法有效地对破坏性技术进行搜索，在激烈的市场竞争中，对于处于成熟期的产品，有效的新产品开发变得极为困难。基于破坏性创新的发生条件，对破坏性创新的预测与产生方法进行了深入研究，为了考察破坏性技术的可预测性，研究技术进化路线上的破坏性创新节点及其破坏性创新的技术进化过程，建立了新市场破坏创新和低端破坏创新的详细的实现模型。所提出的方法既可用于新兴企业的新产品开发，也可用于市场主流企业的未来技术规划。

关键词：破坏性创新 技术进化 破坏性进化节点 技术预测 破坏性创新实现模型

中图分类号：TH122

Model for Roadmapping Disruptive Innovation Based on Technology Evolution Theory

SUN Jianguang TAN Runhua JIANG Ping

(Manufacturing Innovation Methods Engineering Technology Research Center of Hebei Province, Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

Abstract : Disruptive innovation (DI) is a kind of technology innovation which is cheaper, better, and more convenient. DI can create enterprise technology growth and establish entirely new enterprises through its newly developed products. Because existing Disruptive innovation roadmapping can't search for disruptive technologies effectively, to develop effective new products in the maturity period becomes quite difficult, in intensive of fierce market competition. DI roadmapping is in-depth studied based on the occurring conditions of DI. In order to investigate the predictability of disruptive technology, the disruptive bifurcation points on technological evolution path and the technological evolution process of DI are discussed. Finally, detailed process models of new-market DI and low-end DI are established. This methodology can be used for both developing new products of newly built enterprises and helping more senior enterprises to predict the future of technologies.

Key words : Disruptive innovation Technological evolution Disruptive bifurcation point Technology forecasting Process model of disruptive innovation

0 前言

破坏性创新(Disruptive innovation, DI)的概念是由 CHRISTENSEN^[1]在 1997 年提出,并经过不断完善而建立的一种技术创新理论^[2-5]。通常意义上的产品技术创新是以提高产品性能为目标的,而 DI 是指引入低于主流市场上定型产品性能的产品,但这种产品的一些特征可以吸引不重要用户或新用

户,经过发展能取代主流市场上已定型的产品,导致拥有这些产品的企业击败主流市场在位企业。虽然 DI 产品引入时性能差,但一般具有比较便宜、简单、体积小、使用方便等特征,或者具有吸引新顾客群体的辅助功能。破坏性技术(Disruptive technology, DT)就是 DI 实现过程中所采用的技术,是 DI 实施的具体措施。破坏性技术的特点是一种非主流技术,是偏离产品技术进化路线主干的技术,甚至可能是暂时还不能满足企业主流用户需求的创新技术。破坏性技术在其发展初期短期内在产品主流技术性能上低于原有技术产品,但随着技术的完

* 国家自然科学基金(70972050, 51105128)和科技部创新方法工作专项(2011HM010200)资助项目。20110626 收到初稿,20111203 收到修改稿

善和市场份额的不断扩大,会很快超越并替代原有技术。成功的破坏性技术可以为现有市场客户提供额外的产品特性,来满足他们未满足的需求,这些额外的产品特性通常是小的、轻的、便宜的、功能丰富的、容易使用的、可靠性高的、高效节能的^[6]。

与其他技术一样,破坏性技术也是技术进化的结果,并处于进化状态,是技术进化路线上的一个特殊节点,运用技术进化理论,可以对其进行预测。技术进化受很多因素的影响,但这些因素只能影响技术进化的步伐,不能在很大程度上改变技术进化的方向,也就是说技术进化类似于生物进化,具有特定的规律和路线。世界上的所有发明人的活动大多是相互独立的,其工作的目标似乎也是随机的,但他们所从事的创新目的都是为了满足人类的需要。一项新技术或新产品是否能够取得成功取决于技术或产品是否满足技术进化的一般规律。

从 SCHUMPETER 提出技术创新理论以来,许多学者不断从事技术创新理论与实践的探索,不断完善技术创新研究。20 世纪 70 年代, NELSON 等^[7]在生物进化理论的启示下创立了创新进化论这一理论分支, NELSON 认为,一个进化系统应该包括创新机制、选择机制和系统搜寻能力等三个要素。ZIMAN^[8]对技术进化和生物进化的相似性进行了深入的研究,他认为技术创新可以被视为一个“生态”过程,其中大量不同类型的实体—物质的、社会的和认知的,相互作用并随着它们之间的相互适应而协同进化。

经济学范畴的技术创新进化研究在我国也得到迅速发展,文献[9]中认为,技术创新产生的原因是由于技术创新过程的底层因子如知识、信息及其载体技术相互作用而导致。这些底层因子之间也是互为条件并相互进化的。另外,技术创新的外部宏观系统—社会系统也是不断进化的,技术创新的外部环境是由市场、组织、制度、文化等要素组成的,这些要素也是相互作用的,且是不断进化的。与生物进化论的自然选择理论相似的是,技术创新的产生归根结底是由于社会或市场对技术创新进行了选择,也就是技术创新适应了社会、文化,满足了市场需求,这才是成功的创新,若技术创新不能适应社会、市场,也就是社会或市场没有对技术创新选择,技术创新就是失败的。

在 ALTSHULLER 创立的 TRIZ 理论中,重要内容之一就是技术系统进化论,他认为技术系统的进化并非随机的,所有的系统都是向“最终理想化”进化的,在他之后许多学者对 TRIZ 技术进化理论

进行了补充和完善,随着技术进化理论的发展,对其研究结果已有多个版本,例如:SAVRANSKY^[10]的技术进化理论(Evolution of technique, ET)、FEY 等^[11]的技术进化引导理论(Guided technology evolution, GTE)、ZUSMAN 等^[12]的直接进化理论(Directed evolution, DE)、PETROV^[13]的技术进化定律,它们都是 ALTSHULLER 的 TRIZ 传统进化理论的发展,但每个版本都有各自的特色。迄今为止尚未形成统一的技术进化法则。

产品设计是从用户或市场需求开始的,技术进化研究结果与设计过程中的其他活动结合,使创新设计更容易实现^[14]。综上所述,技术创新进化路线是由市场需求进行选择,技术创新应该适应市场需求。需求为技术创新进化提供了约束条件,满足了市场需求才是成功的创新,这就为技术进化路线的搜索提供了方法,也使得产品技术预测成为可能。

DI 技术机会来自于产品性能的进化过度和新需求市场的出现,扩展到技术系统进化领域,实质上就是在用户需求约束的条件下,子系统进化不平衡带来的技术机会。本文认为 DI 是发生在产品进化成熟期的进化分支,因此,对 DI 的预测就是对产品成熟期技术进化分支的预测,包括分支的形成条件、分支的分类和分支潜力技术状态的预测。DI 技术进化分支的形成,使得产品具有吸引低端用户和新市场用户的性能,从而使得创新产品很快形成市场规模并获利。通过对产品进行技术系统分解,考察各个技术子系统的进化情况,最终形成了 DI 的技术预测模型,并在此基础上建立了 DI 产品的实现模型,使得新兴企业创新效率大大增加,保证创新投资的可靠性,节省了社会资源,缩短了新产品开发时间。

1 DI 产生条件

1.1 DI 产生的时间条件

DI 是产品进化到一定阶段时,形成特殊技术机会后的产物,DI 的发生首先必须具备一定的时机条件。在产品进化过程中,将适合 DI 发生的时间段定义为 DI 窗口(Disruptive innovation window, DIW)。

在产品技术进化过程中,所发生的创新过程分为破坏性创新(DI)和持续性创新(Sustaining innovation, SI),其中 SI 是常规的技术进化,是技术曲线上的正向正常更迭(图 1 虚线所示),通常 SI 的特点是以更先进的技术替代当前技术。SI 又分为渐进性创新(Incremental innovation, II)和突破性创新(Radical innovation, RI)。如图 1 所示,产品 S 曲线

A、B、C均由婴儿期、成长期、成熟期和退出期组成。其中在同一S曲线上出现的DI,表现为暂时的进化回退 $P_A - P_{A1}$,这种DI称之为低端破坏性创新(Low-end disruptive innovation, LDI)。另外,DI还表现为不同性能进化体系的S曲线成熟期的跨越,如图1中A、B曲线间的跨越 $P_A - P_B$,这种DI称之为新市场破坏性创新(New-market disruptive innovation, NDI)。

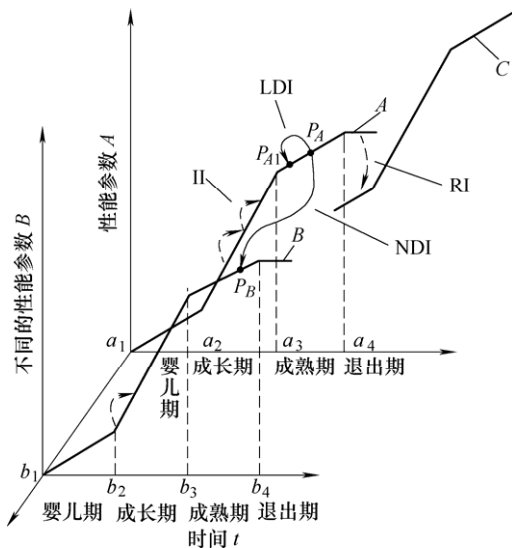


图1 S 进化曲线上的DI 过程

在同一个产品性能进化平面内,产品的进化曲线呈多个S形重叠衔接。在产品的成长期,逐步建立了完善的市场机制,用户不断提出新的需求,相应的企业进行技术持续改进,产品性能不断提高,此时企业和用户都对产品性能狂热的追求,因此不会出现破坏性增长的机会;在相邻两条S曲线的交叠部分,老产品性能仍然高于新产品性能,但此时老产品性能趋近性能极限,已经逐渐进入衰退期,被新产品取代是必然规律,这种规律性已被熟知市场的主导企业所掌握。因此在产品达到技术极限之前,市场主导企业就已经组织力量研发下一代产品,为S曲线的正常更迭做准备,可见,S曲线的正常更迭并没有给新兴企业很好的市场进入机会,因此DI不适合在产品退出期进行。

在产品的成熟期,由于技术惯性的作用和市场竞争的需要,面对用户需求的下降,产品设计者仍在片面追求性能的提高,导致需求过剩的发生,出现了低端破坏性技术机会,引起了进化回退 $P_A - P_{A1}$ 的发生。

从图1中可以看出,新市场DI窗口出现时,是老产品的成熟期到新产品成熟期早期的直接过渡 ($P_A - P_B$),这和RI的过渡过程是不一样的,如图1中A曲线到C曲线的过渡就是RI的过渡,一般是

退出期到成长期的过渡。

由DI发生条件可知,基于DI的技术机会依赖于用户需求过剩和产品技术进化失衡。用户需求并非恒定不变的,伴随着产品的进化,用户需求也处于进化过程之中,当用户需求进化到过度满足的状态时,出现了低端破坏的创新机会。同样,一个新产品刚刚诞生时,组成新产品各项分功能往往都采用当前领域主流技术,因此,进化起始的技术状态通常是均衡的,随着产品的进化发展,为了满足用户需求,逐渐形成主流技术和非主流技术,进化的不平衡性也就逐渐形成了,出现了新市场破坏的创新机会。可见,DI实现时机是由上述两个创新时机决定的。

根据产品在S曲线上各阶段的特点,处于成熟期的产品是获利的,企业在保证质量、降低成本的同时,制造与销售该类产品,和生产此类产品的其他企业竞争,为企业赚取利润,同时,随着成熟期的延续,企业开始开发新的替代技术,以便推出新一代产品,使企业在未来市场竞争中取胜。如图2所示^[15],C曲线为突破性创新实施概率 P_C ,起始于成熟期后期,老产品性能趋近性能极限,已经逐渐进入衰退期,被新产品取代是必然规律,B曲线为DI实施概率 P_B ,可见在产品成熟期的早期,市场格局已经确定,具有了DI机会,这种机会会持续到产品的退出期,但这段时期也有可能出现RI,如图2中A曲线 P_A 所示,因此有效的DI实施概率为DI实施概率减去RI实施概率: $P_A = P_B - P_C$ 。

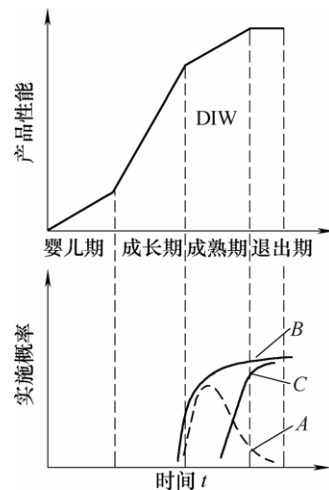


图2 DIW 分布状态
A. DI有效实施概率
B. DI实施概率
C. RI实施概率

综上所述,DI时机出现在产品生命周期的成熟期,其最佳实现时机为成熟期的中前期。

1.2 DI 产生的技术条件

形成新市场破坏创新，需要满足以下技术条件。

(1) 产品技术进化严重不平衡。处于超前位置的主流技术和处于滞后位置的非主流技术的潜力差越大，实现 DI 后的技术增长就越快。

(2) 存在着一定规模的对进化滞后技术有需求的用户群。

形成低端破坏创新，需要满足以下技术条件。

(1) 产品主流技术进化过快，导致用户需求过度满足。主流技术的增长相对于用户的需求出现了过度满足，相应增加的产品价格因素也成了过剩产物。

(2) 对主流技术需求过度满足的用户具备一定的规模。

2 DI 过程的技术预测

2.1 DI 过程的可预测性

技术创新是涉及多种学科因素的复杂系统，其宏观总体进化过程是从低级向高级进化的。作为技术创新的一种，DI 也适用于技术进化理论，也是沿着特定的技术进化路线进化的，这就使得 DI 的预测成为可能。

从本质上来说，技术进化的目的是为了市场需要，也就是满足用户需求，由于用户需求进化的波动性，在产品技术进化的特殊阶段，产品的技术进化过程也呈现出特殊的波动性。图 3 分别表示了持续性创新、低端破坏创新和新市场破坏创新的技术进化当前状态附近情况。在 SI 过程中，为了满足市场竞争的要求，企业不断提高产品主流性能，因此产品的下一状态表现为主流性能提高的下一进化状态^[16]。在 LDI 过程中，由于低端用户的出现，对产品的性能要求出现了过剩，而对产品的价格提出了更高要求，此时为了达到 DI 目的，采取暂时削减主流性能从而达到降低成本的目的，从而出现了图 3 中所示的反向进化现象。在 NDI 过程中，由于不同性能要求的新市场用户的出现，产品进化路线产生了分支，产品进化偏离原来路线，过渡到新的进化性能路线。

在技术进化路径上，相邻的线性进化段以创新节点互相连接。节点间的进化路径段具有线性特征，根据已知的 TRIZ 进化路径，可以进行技术预测。而由于进化过程整体所体现的非线性，跨越节点的技术预测是很困难的。

如图 4 所示，由 DI 产生时机条件可知，DI 机

会总是出现在产品的成熟期，也就是技术极限节点的前面，一旦其他条件也适合，此点就成了 DI 节点。

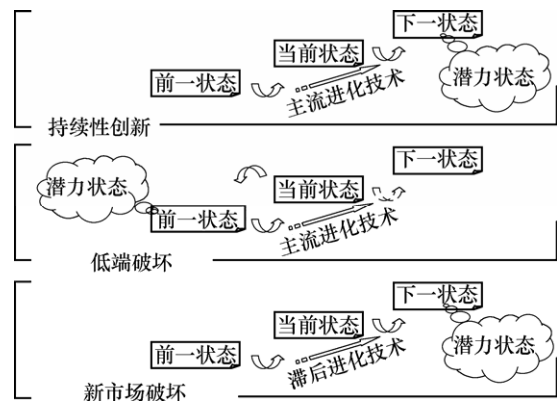


图 3 SI、LDI 和 NDI 的技术进化状态

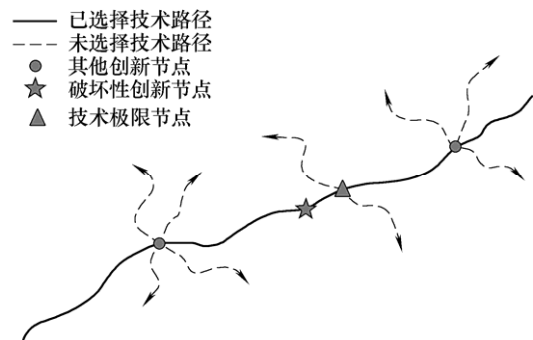


图 4 DI 节点

(1) 新市场破坏创新节点。如图 5 所示，节点 *b* 为新市场 DI 节点。当进行新市场破坏时，产品进化方向由主流进化技术改为新市场用户感兴趣的一种滞后进化技术，并向其技术极限 *c* 进化。此时 *b* 点的技术分支就是所有的产品分功能技术，也就是说这些分支是已知的，因而跨越 *b* 点的 *c'* 点前的技术状态是可以预测的。

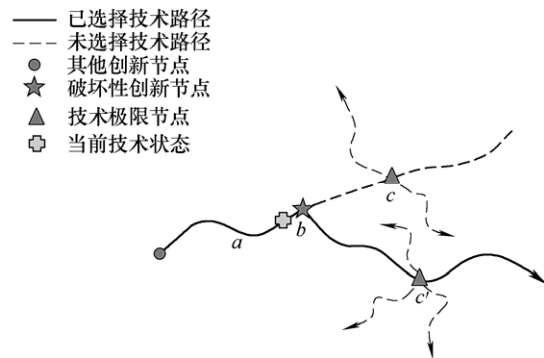


图 5 新市场 DI 节点

(2) 低端破坏创新节点。如图 6 所示，节点 *b* 为低端破坏节点。当进行低端破坏时，为了满足低端用户的需求，降低产品价格，产品主流技术进化暂时倒退到 *a* 点，在此点新兴企业以较小的投入吸引了大批的低端用户，建立了自己的市场体系。*a*

点的技术状态是已知的，只要根据用户需求状况确定出 a 点所在位置的时间，就可以确定 a 点的技术状态。

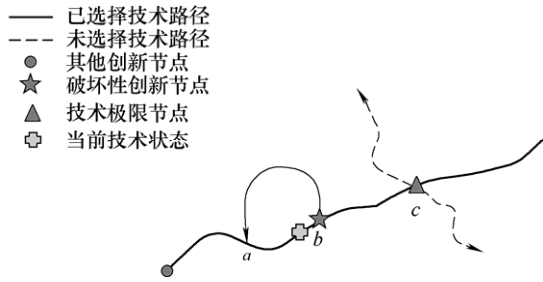


图6 低端DI节点

(3) 混合破坏创新节点。混合破坏创新是 LDI 和 NDI 相结合的产物，在实际产品技术进化过程中，往往 LDI 和 NDI 是伴随发生的。如图 7 所示，节点 b 为混合破坏节点。为了降低产品价格，产品主流技术进化暂时倒退到 a 点，再沿着新市场用户感兴趣的一种滞后进化技术进化。在满足新市场用户需求的同时，也吸引了大量的低端用户。类似于新市场破坏的情况， $a-c$ 间的技术状态也是可以预测的。

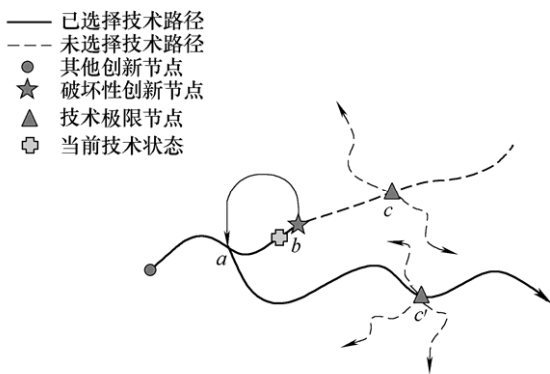


图7 混合DI节点

综上所述，DI 节点后的潜力技术是可以预测的。

2.2 DI 过程的潜力技术预测

技术进化路线定性地指出了技术系统沿每一进化方向的具体进化规律，可以从结构进化的特点描述产品技术所处的状态序列。其实质是产品如何从一种核心技术移动到另一新的核心技术，可以根据进化路线确定新一代产品的创新设想。因此，正确运用进化路线可以进行产品技术预测。

图 8 中 P_s 为某进化定律下的一条持续性技术进化路线， P_d 为在当前状态破坏性创新后形成的新的技术进化路线。该路线图所示的进化路线当前状态是 S_n ，产品沿着 P_s 进化的潜力技术状态是 S_{n+1} ，由于这个过程的 P_{sn} 以前的状态是已知的，所以根据已知的技术状态可以得出 P_s 的解，然后根据 P_s 可以预测出 S_{n+1} 。如果在当前状态 S_n 进行破坏性创新，

产品将沿着 P_d 进化路线进化，而 S_n 之前没有破坏性创新 S_d 状态，因此破坏性创新后的进化路线 P_d 是无法求出的，所以无法求出技术状态 S_d 。

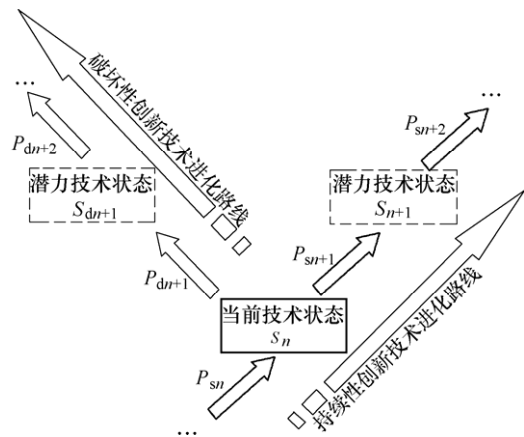


图8 DI技术进化分支

为了求出 DI 的潜力技术状态 S_d ，如图 9 所示，首先进行创新策略选择，运用 DI 创新策略，选择目标产品的一个需要强化的辅助功能，进而针对这个功能进行功能分解，逐步分解出对应的技术结构，针对此技术结构进行技术进化预测^[15]。在此过程中，由于这部分结构的进化是连续的，所以可以求出其潜力技术状态，将这一状态集成到产品中，就得出产品的潜力 DI 技术状态 S_{dn+1} ，也就是产品的 DI 解。图 9 中给出了搜索进化路线进化的方法。首先，选择一个相关的进化定律，在该进化定律下的相关进化路线也被选择；然后确定产品沿被选择的进化路线进化的当前进化状态。则当前进化状态与 IFR 之间就存在进化潜力，具有进化潜力的状态应该有一个或多个。该搜索过程即可手工实现，也可通过 CAI 软件实现，如计算机辅助创新软件系统 Invention Tool3.0。

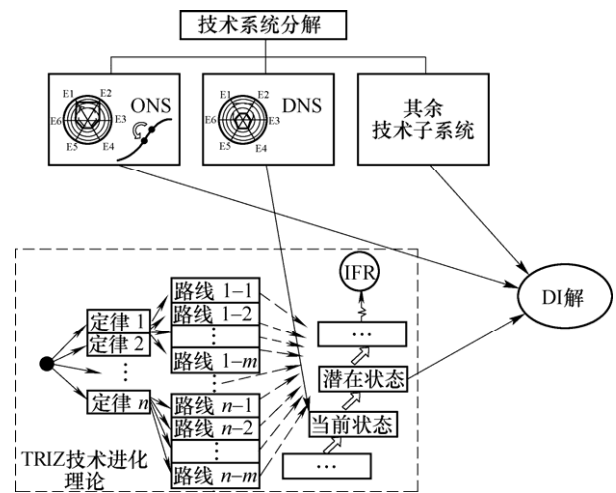


图9 基于技术进化理论的DI预测模型

3 DI 过程实现模型

3.1 新市场破坏创新实现模型

新市场破坏吸引的是对产品性能具有不同价值取向的潜在用户群体。在 DI 技术产生之前,他们由于缺少资金、设备或技术,无法来亲自完成某件事情,因此只能是要么完全不做,要么花钱请专业人士替自己完成这些工作,或者去具有专业设备的场所完成这项工作。如在微型计算机产生之前,大量的用户由于经济条件及场地空间所限,所有的数据处理工作都需要到装备有小型计算机的单位去完成,他们并不是小型计算机的潜在买主,但他们渴望有一种体积小、重量轻的计算机产品供他们选购,这就促进了微型计算机这一破坏性技术的出现。微型计算机出现的初期,吸引的主要用户是新市场用户,但随着微型计算机技术性能的提高,一部分主流市场的用户也被吸引到新产品用户群中。

图 10 为新市场破坏的实现过程模型。新市场破坏的实现步骤如下。

(1) 选择创新对象产品,进行产品成熟度分析,如果产品不处于成熟期,则证明 DI 技术时机不符合,需要考虑重新选择对象产品。

(2) 对产品技术系统进行分解,这个过程是关键过程,此步骤的误差将导致整个 DI 预测过程的

错误,并最终输出一个错误的解;通常为了得到理想的产品功能分解结果,一般先归纳出产品的最终理想解,对其分解后得到产品基本功能,然后再进行产品功能分解,得到基本功能和辅助功能集合,与设计约束集合合并后形成产品技术系统分解结果。

(3) 对产品各项技术子系统进行技术进化分析和需求分析^[17]。分析数据信息来源包括专利、专业数据库、技术杂志、学术刊物、会议论文集、网站网页以及报刊、电视广播等,也可以结合计算机辅助创新设计软件(Invention Tool)的使用。最终的分析结果是技术系统进化的均衡情况,以及各子系统的进化状态和用户需求情况。如果各技术子系统进化均衡,则可以运用需求预测方法搜索附加的产品辅助功能来实现 DI,或进行持续性创新流程;如果各技术子系统进化不均衡,则按照各子系统进化情况搜索新市场破坏技术机会。

(4) 对目标新市场进行评估调查,确定其是否具有足够的市场容量。

(5) 根据欲提高性能的子技术系统的前期进化轨迹,与 TRIZ 进化路线进行吻合,预测目标技术子系统的潜力技术状态。在对目标技术子系统的潜在技术状态的预测后,进入实际技术开发阶段,此时采用图 10 中 TRIZ 原理解决产品设计中的各种问题。

(6) 最终得到产品的新市场破坏性创新解。

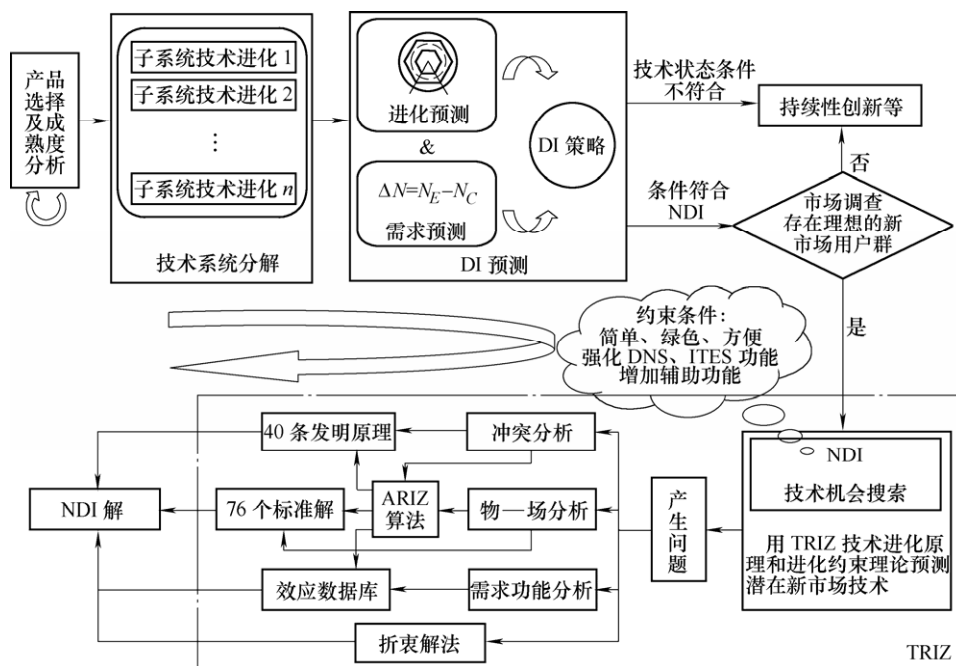


图 10 新市场 DI 过程模型

3.2 低端破坏创新实现模型

随着产品进入成熟期,由于技术惯性和市场激烈竞争的作用,作为用户兴趣点的主流技术一直优

先获得发展,而用户的需求进化逐渐过渡到重视产品的价格,形成了产品部分性能对用户需求的过度满足,在低端市场上出现大量的愿意以较低的价格

购买性能较差(质量很好)的产品的用户。如果开发一种新产品，在保障用户基本需求得到满足的前提下能够降低产品的价格，就可以从主流市场中吸引低端需求用户群，从而完成低端破坏过程。低端破坏创新的初始用户来自主流市场的低端用户。

例如在便携式计算机的进化过程中，主流的进化功能是运算速度和便携性，而对于学生用户而言，他们具有充沛的体力而且大部分时间在宿舍使用，经常用于上网和玩游戏，对运算速度要求不高，因此他们希望以便宜的价格购买运算速度和便携性较差的计算机产品。如果市场上没有这种产品，他们中的一部分人会选择放弃购买计算机，采用租借等方式代替，成为主流市场外的低端用户，另一部分人只能选择购买高端的商务便捷式计算机，他们是主流用户中的低端用户。

图 11 为低端破坏的实现过程模型。实现步骤如下。

(1) 选择创新对象产品，进行产品成熟度分析，如果产品不处于成熟期，则证明 DI 技术时机不符合，需要考虑重新选择对象产品。

(2) 对产品技术系统进行分解。

(3) 对产品各项技术子系统进行技术进化分析和需求分析。最终的分析结果是技术子系统进化状态，以及低端用户需求情况。预测是否具备低端破坏创新条件。

(4) 对低端市场进行评估调查，确定其是否具有足够的市场容量。

(5) 以降低产品成本为约束进行技术搜索。最有效的方法是通过削减过度满足用户需求的一些功能来达到降低成本的目的，或者改进现有产品技术达到减少产品成本的目的，还可以利用关键外购功能单元的技术突变来达到降低产品成本的目的。

(6) 输出低端破坏解。

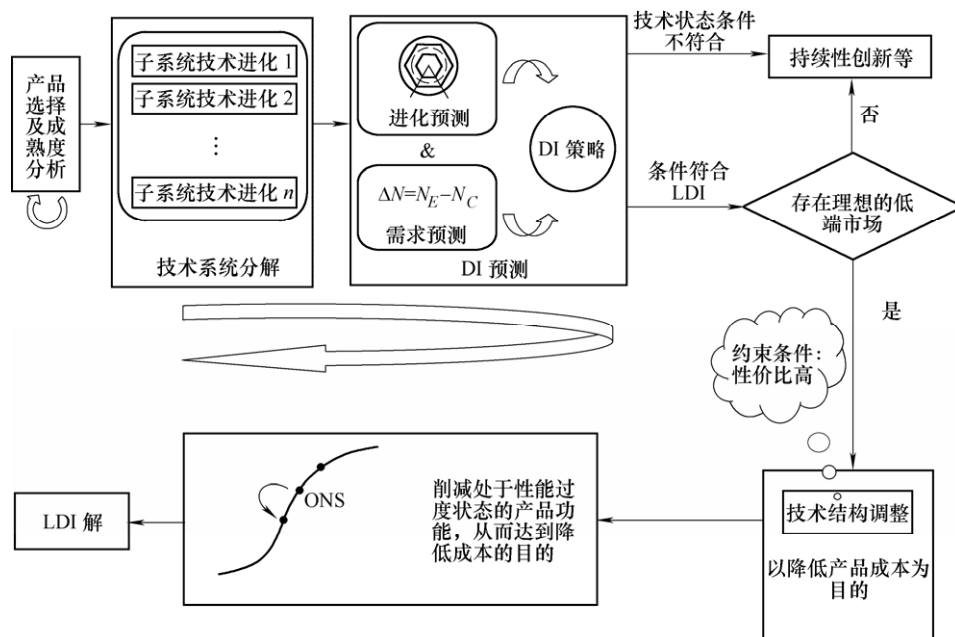


图 11 低端 DI 过程模型

4 应用实例——非电空调

破坏性创新对于新兴企业进入陌生产品成熟市场具有重要的意义。同时，对于成熟市场的在位企业，也可以利用破坏性创新获得蓝海战略的技术起点，实现全新市场的开拓。下面以非电空调机的实例来对前面所述理论进行应用验证，以下实例部分引用了现有市场的部分空调产品资料。

今天，随着社会的发展和水平的提高，空调已经成为生活当中必不可少的家电产品。空调从

诞生发展到今天，各种新型空调一直在不断涌现。从简单的空调扇到传统的制冷空调，再到今天节能化、智能化的超空调时代，已经走过了百余年的历程。

由技术成熟度预测结果可知，空调产品处于技术进化成熟期，市场竞争激烈，可用创新资源匮乏，适合于运用破坏性创新。

现有空调从原理上分为电空调和非电空调两类。电空调的结构原理如图 12 所示，制冷时压缩机高压出口经过四通阀到热交换器进行热交换，使过热蒸汽逐渐变成饱和蒸汽，进而变成饱和液体或过

冷液体。通过毛细管节流降压后的制冷剂液体进入室内机热交换器，从周围介质吸热蒸发成气体，实现制冷。

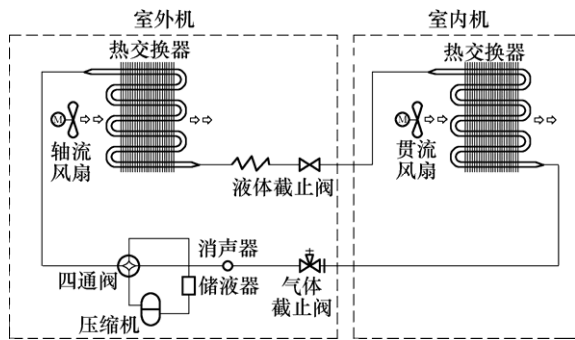


图 12 电空调原理图

现有非电空调的结构原理如图 13 所示^[18]，输入热能加热溴化锂溶液，产生水蒸汽，水蒸汽冷凝成水，水进入蒸发器这个高真空环境骤然降温，喷洒到制冷铜管上，达到制冷目的，水吸收了空调热量变为水蒸汽，被浓溶液吸收，并将热量传递给冷却水释放到大气中，变稀的溶液被泵送到高温发生器、低温发生器，再次被加热，再次产生水蒸汽，如此循环往复，实现了制冷的效果。

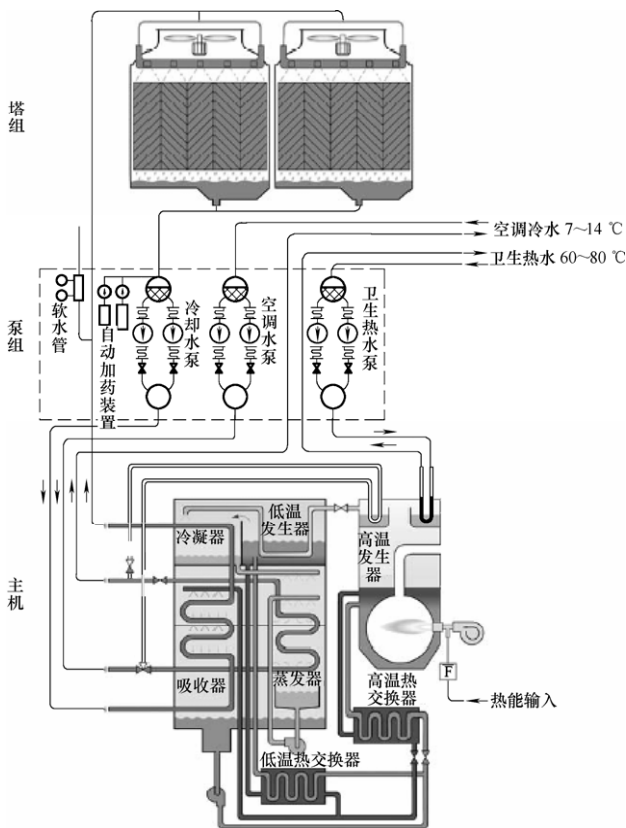


图 13 燃气中央空调原理图

空调的技术进化如图 14 所示。1902 年，美国人威利斯·开利设计了第一个空调系统，1906 年他以“空气处理装置”为名申请了美国专利。1922 年

开利工程公司研制成功在空调史上具有里程碑地位的产品——离心式空调机。1928 年开利公司推出了第一代家用空调。20 世纪 60 年代，新型的燃气空调在日本出现了。20 世纪 70 年代后期，世界各国对太阳能利用的研究蓬勃发展，太阳能空调技术也随之出现。20 世纪 80 年代初期，交流变频空调技术在日本开始运用。1998 年，变频空调技术取得了重大突破，日本研制出了直流变频技术，直流变频空调性能比交流变频空调更加优异。目前家用电空调技术向着智能、美观、舒适、高效的方向发展，展望未来，空调网络信息时代的到来成为不可逆转的潮流。

如图 14 所示，在当前技术状态下，由当前技术发展趋势（智能、美观、舒适、高效）可以看出，主流技术为电空调的电气性能和外观结构设计，这些设计因素成为现有空调市场的竞争焦点，削减这些竞争因素意味着对电气性能的大幅降低，另外昂贵的价格也引起顾客的不满，削减成本也成为 DI 的另一主要任务。考察空调组成结构，其中昂贵的压缩机成为构成空调成本的主要因素，因此可以考虑对空调压缩机进行功能裁剪。对压缩机的裁剪结果就是非电空调，考察空调的技术进化路线，在以前的技术进化状态有非电空调的存在，可以按照图 10 和图 11 的模型，进行技术进化回退，再分支，实现混合 DI。

DI 结果：家用非电空调。如图 15 所示，设计一种非电空调，借鉴非电中央空调技术，结合家用空调的特点（小型化、低成本化），设计一种家用非电空调，采用溴化锂吸收式冷热水机组，通过采用天然气、城市煤气、发电废热、工业废热、太阳能、沼气等任何能产生 80℃ 以上的热能为动力，以溴化锂为冷媒进行热交换，从而降低空调循环水温度，达到制冷目的；供热时，可直接加热，通过水循环散热。非电空调显著特点是主机制冷或供热采用一次能源或工业废热，可直接削减我国夏季电力高峰负荷，还可“一机三用”，能够制冷、采暖、提供卫生热水，此外，它不用氟烃类制冷剂，对大气臭氧层没有任何损害和清洁环保。

5 结论

DI 的事前正确预测是其实现的前提，企业进行 DI 的关键在于创新策略的正确选择和 DT 的有效探索，这取决于市场需求状况和产品技术进化状态。本文论述了破坏性创新的实现过程，破坏性技术机会来自于产品性能的进化过度和新需求市场的出

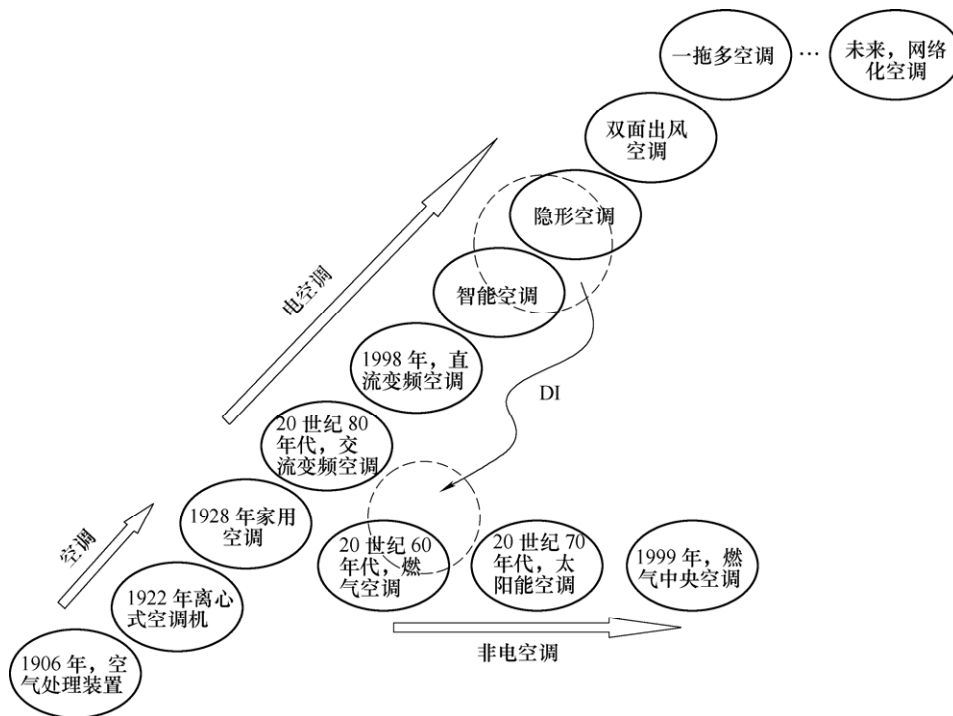


图 14 空调技术进化树

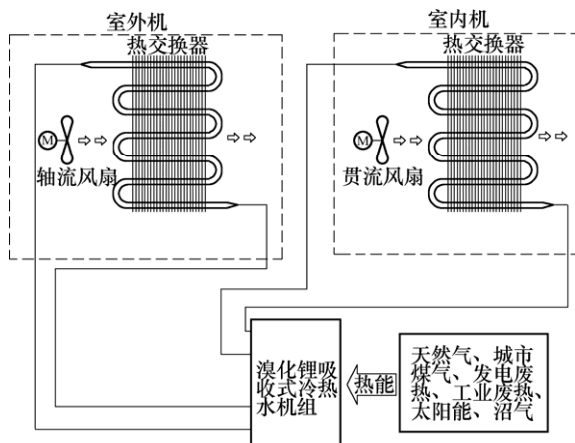


图 15 非电家用空调原理框图

现，扩展到技术系统进化领域，实质上就是在用户需求约束的条件下，子系统进化不平衡带来的技术进化分支过程，包括暂时的进化回退和成熟期进化树分支。根据创新预测结果选择适当的破坏性创新策略，之后进行技术搜索，进行必要的功能裁剪和辅助功能调整，结合用户需求，最终形成破坏性创新的概念解。

参 考 文 献

[1] CHRISTENSEN C M. The innovator's dilemma : When new technologies cause great firms to fail[M]. Boston , MA : Harvard Business School Press , 1997.
 [2] CHRISTENSEN C M , RAYNOR M E. Innovator's solution : Creating and sustaining successful growth[M].

Boston : Harvard Business School Press , 2003.

[3] CHRISTENSEN C M , ROTH E A , ANTHONY S D. Seeing what's next : Using theories of innovation to predict industry change[M]. Boston : Harvard Business School Press , 2004.
 [4] CHRISTENSEN C M , BOWER J L. Customer power , strategic investment , and the failure of leading firms[J]. Strategic Management Journal , 1996 , 17(3) : 197-218.
 [5] CHRISTENSEN C M , OVERDORF M. Meeting the challenge of disruptive change[J]. Harvard Business Review , 2000 , 78(1) : 67-76.
 [6] RONALD N , KOSTOFF R B , GENE R S. Disruptive technology roadmaps[J]. Technological Forecasting and Social Change , 2004 , 71 : 141-159.
 [7] RICHARD R N , SIDNEY G W. An evolutionary theory of economic change[M]. London : The Belknap Press of Harvard University Press , 1982.
 [8] ZIMAN J. Technological innovation as an evolutionary process[M]. London : Cambridge University Press , 2000.
 [9] 毛荐其. 技术创新 - 进化原理、过程与模型[M]. 北京 : 经济管理出版社 , 2006.
 MAO Jianqi. The evolutionary principle , process and model on technological innovation[M]. Beijing : Economy & Management Press , 2006.
 [10] SAVRANSKY S D. Engineering of creativity[M]. New York : CRC Press , 2000.
 [11] FEY V R , RIVIN E I. Guided technology evolution[EB/OL]. [1999-01-08]. http : //www.triz-journal.com/archives/

- 1999/01/c /index.htm.
- [12] ZUSMAN A ,ZLOTIN B ,ZAINIEV G. An application of directed evolution[EB/OL]. http://www.ideationtriz.com/endoscopic_case_study.asp.
- [13] PETROV V. The law of system evolution[EB/OL]. <http://www.triz-journal.com/archives/2002/03/c/index.htm>.
- [14] 檀润华, 苑彩云, 张瑞红, 等. 基于技术进化的产品设计过程研究[J]. 机械工程学报, 2002, 38(12):60-65. TAN Runhua, YUAN Caiyun, ZHANG Ruihong, et al. Study on product design process based on technology evolution[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 38(12): 60-65.
- [15] 孙建广, 檀润华. 基于破坏性技术的产品创新设计方法研究[J]. 工程设计学报, 2011, 18(1): 1-11. SUN Jianguang, TAN Runhua. Product innovative design methodology based on disruptive technologies[J]. Journal of Engineering Design, 2011, 18(1): 1-11.
- [16] SUN Jianguang, TAN Runhua, CAO Guozhong. Achieving effective innovation based on TRIZ technological evolution theory[C]// The 19th CIRP Design Conference, 2009, UK. 2009: 309-315.
- [17] SUN Jianguang, GAO Jinyong, TAN Runhua. Roadmapping the disruptive innovation based on technology system decomposition analysis[C]// 5th IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology, ICMIT. 2010: 748-753.
- [18] 远大集团. 远大 X 型非电空调用户手册[EB/OL]. [2008-09]. http://www.broad.com/pdf/fd_4yhsc.pdf. Yuanda Group. Great x-type non-electric air conditioning user manual[EB/OL]. [2008-09]. http://www.broad.com/pdf/fd_4yhsc.pdf.
-
- 作者简介: 孙建广(通信作者), 男, 1971 年出生, 博士, 高级工程师。主要研究方向为创新理论。
E-mail: sjg@hebut.edu.cn
- 檀润华, 男, 1958 年出生, 博士, 教授, 博士研究生导师。主要研究方向为产品设计理论和创新设计方法。
E-mail: rhtan@hebut.edu.cn
- 江屏, 男, 1977 年出生, 博士, 副教授。主要研究方向为创新理论。
E-mail: jiang_ping23@126.com