

从海蒂·拉玛发明跳频技术看科学想象在技术创新中的作用

杨可鑫, 李斌*

中国科学院大学人文学院, 北京 100049

摘要 海蒂·拉玛借鉴自动演奏钢琴原理发明了跳频技术, 该技术使通信收发双方的传输信号在一组预先指定的频率上按编码序列规定的顺序同步、离散地跳变, 从而扩展频谱并实现通信。从创造性思维视角梳理了海蒂·拉玛技术创新的4个步骤: 接触扩频、灵感来源、原理设计、原理应用, 表明科学想象对于海蒂·拉玛的创新发明起到基础性、关键性的作用; 探究了科学想象作为创造性思维的一种非逻辑的表现形式, 认为其不仅可为技术创新的“瓶颈”难题提供新思路, 还可为技术创新的“解题”活动提供新方案。

关键词 海蒂·拉玛; 科学想象; 创造性思维; 技术创新

科技创新需要好奇心, 更需要想象力。好奇心是探索的起点, 想象力是科学的翅膀。科学想象作为创造性思维的一种非逻辑的表现形式, 对于提升科研人员的创新能力具有重要的促进作用。科技创新成果往往不是靠“计划”产生, 而是灵光一现的突发奇想。然而, 这种突发奇想不是随意的想象, 它的提出有一定的科学背景, 是以科学知识为前提, 以解决特定的技术问题为目标。例如海蒂·拉玛(Hedy Lamarr)发明的跳频技术(frequency-hopping spread spectrum)。

海蒂·拉玛没有接受过严谨的科研训练, 但是她熟知许多无线电通信的科学知识, 并将其运用到

特定的鱼雷抗干扰难题, 通过科学想象借鉴自动演奏钢琴原理发明了跳频技术, 实现了“单一频率”到“跳跃频率”的转换。

跳频技术是最常用的扩频方式之一, 其原理可以描述为通信收发双方的传输信号在一组预先指定的频率上按编码序列规定的顺序同步、离散地跳变, 从而扩展频谱并实现通信^[1]。2006年, 罗布·沃尔特斯(Rob Walters)在《扩频: 海蒂·拉玛与手机》一书中介绍了跳频技术如何成为移动电话和Wi-Fi等技术发展的首选方案^[2]。2010年, 露丝·巴顿(Ruth Barton)在《海蒂·拉玛: 电影中最美丽的女人》传记中叙述了海蒂·拉玛对电影和技术发明的

收稿日期: 2020-11-25; 修回日期: 2021-01-20

作者简介: 杨可鑫, 硕士研究生, 研究方向为科学技术与社会, 电子信箱: yangkexin19@mails.ucas.ac.cn; 李斌(通信作者), 副教授, 研究方向为英国科学技术史、科学技术与社会, 电子信箱: libin08@ucas.ac.cn

引用格式: 杨可鑫, 李斌. 从海蒂·拉玛发明跳频技术看科学想象在技术创新中的作用[J]. 科技导报, 2021, 39(14): 166-172; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.14.016

贡献,也揭示了她充满争议和冲突的一生^[3]。2011年,普利策奖获得者理查德·罗兹(Richard Rhodes)出版了《海蒂的蠢事:世界上最漂亮的女人海蒂·拉玛的生活与突破性发明》,以海蒂·拉玛发明跳频技术为主线系统地介绍了她的一生^[4]。

国内学者对海蒂·拉玛的关注目前还比较少,较为详细的是王颖在《自然辩证法通讯》2019年第12期发表的文章《海蒂·拉玛:从性感影星到发明家》,从电影明星和发明家2个视角叙述了海蒂·拉玛的生平,指出她的技术发明反映了女性发明家在科学技术发展史上的艰难地位^[5]。从已有文献可以看出,学者大都聚焦于海蒂·拉玛影星和发明家的身份,鲜有学者从创造性思维的视域关注并分析她进行技术创新的过程。海蒂·拉玛作为科学共同体之外的特殊发明家,如何实现高科技的技术创新是引人深思的重要问题。本文深入探究海蒂·拉玛发明跳频技术的过程,并挖掘科学想象在该项技术突破过程中所起到的关键作用。

1 科学想象:海蒂·拉玛发明跳频技术的关键

科学想象是科学技术创造领域的想象,是根据现有的科学知识和事实,发挥高度的抽象和联想能力,超越现实条件,猜测未知的客观规律,设想未知的变化过程^[6]。科学想象本质上属于创造性思维的一种认知形式。创造性思维,乃是认识主体在科技实践中,由于发现合适问题的导引而以该问题的解决为目标的前提下,基于其意识与无意识两种心理能力的交替作用,当暂时放弃意识心理主导而由无意识心理驱动时,突然出现认知飞跃而产生出新观念,并通过逻辑与非逻辑两种思维形式协作互补以完成其过程的思维^[7]。由此可以看出创造性思维产生的3个条件:(1)发现合适问题并以解决该问题为目标;(2)意识与无意识心理能力的交替过程中产生新观念;(3)通过逻辑与非逻辑的思维形式完成创造过程。海蒂·拉玛发明跳频技术的过程可以分为4个步骤:接触扩频(发现问题)、灵感来源(新观念)、原理设计、原理应用(完成创造)。

1.1 接触扩频

海蒂·拉玛在与第一任丈夫弗里茨·曼德尔(Fritz Mandl)的婚姻生活中掌握了大量的无线电、扩频通讯、鱼雷等科学和技术知识。曼德尔在奥地利是一位重量级人物,是当时奥地利非常富有的军火商人,他的财富来自于家族所拥有的弹药厂。1933年希特勒上台后,曼德尔开始同纳粹做军火生意。与纳粹的频繁交往使海蒂·拉玛接触了德国的军事技术,尤其是扩频通讯技术。1936年,海蒂·拉玛与德国机械工程师赫尔穆特·瓦尔特(Helmut Walter)相识,并通过瓦尔特了解德国海军的鱼雷控制工作。德国海军在1935年就开始了鱼雷的控制工作。由于无线电信号在海水中的传播距离有限,针对潜艇鱼雷的无线电控制是很困难的,大多数德国专家都喜欢用导线制导。当鱼雷离开潜艇时,它后面会放出一根细细的绝缘导线,这根导线将潜艇电连接到一个引导它前进的控制器上。当时正在研发的用于飞机发射的反舰滑翔炸弹是由无线电控制的。此外,德国海军使用了一种频率选择系统,这可能为海蒂·拉玛提供了如何防止无线电控制信号被干扰的想法。当曼德尔与德国武器专家讨论无线电信号遥控鱼雷和无线通讯干扰的相关技术时,海蒂·拉玛被允许旁听甚至记录。她曾经与曼德尔坐在一起观看鱼雷系统现场测试的录像。这些高级机密为海蒂·拉玛日后的发明提供了契机和知识基础。

1.2 灵感来源

发现合适的问题是科学想象的前提条件,也是创造性思维的“启动器”。1940年,海蒂·拉玛开始着手研发无线电控制的鱼雷干扰问题。安泰尔作为海蒂·拉玛的合作伙伴为她的设计提供了至关重要的灵感来源。海蒂·拉玛最初的想法很简单:如果无线电发射机和接收机同步,同时改变它们的调谐,从一个频率到另一个频率随机地跳在一起,那么在它们之间传递的无线电信号就不会被干扰,她称这个想法为“频率跳跃”。首先,她通过菲尔科落地式收音机联想到了用遥控器控制鱼雷,就像她换台一样远程改变鱼雷的方向。但是,如果不调整遥控器发出的信号,就会发生像车库门遥控器有时会

向邻居的车库门发出信号的情况。于是海蒂·拉玛开始做进一步的思考。

1940年某天下午,安泰尔漫不经心地敲击钢琴琴键,海蒂·拉玛也跟着敲击,这时海蒂·拉玛突然有了新的想法:如果改变钢琴按键就能改变音乐,那么改变无线电信号频率同样能改变信号。如果不停随机地改变信号频率,敌人的干扰影响就会减小很多^[8]。安泰尔得知后想出了具体的实践方法——借助自动演奏钢琴的原理(图1)。安泰尔曾经在芭蕾舞剧《机械狂》(Ballet Mecanique)演奏中用电子技术控制几台钢琴的同步演奏。这些钢琴由滚筒驱动(图2),演奏原理为:演奏器用打孔纸卷控制,纸卷绕过一个打满小孔的金属管,管上每一个小孔对应一个演奏器的机械手指,用脚踏风箱鼓风(后来发展为用电鼓风),气流通过缓缓转动的纸卷上的小孔,驱动连动的机械手指敲击琴键奏出音乐^[9]。接下来,海蒂·拉玛和安泰尔就把她的原创性想法转为实际的设计。

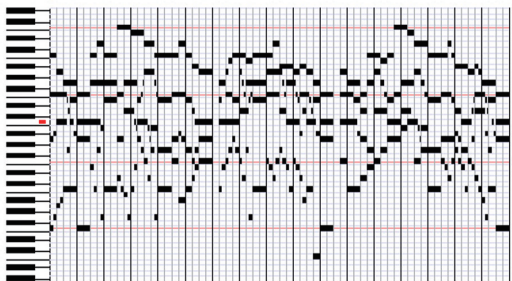


图1 自动钢琴演奏原理(展开图)



图2 钢琴卷轴

1.3 原理设计

海蒂·拉玛与安泰尔将设计蓝图寄给了美国国家发明家委员会。美国国家发明家委员会立刻表

示对这个项目很感兴趣,并要求进一步的说明。海蒂·拉玛和安泰尔在第一次迭代中提出的想法还不是他们后来申请的秘密通信系统专利,但基本概念已经形成。他们的发明由“两个姊妹系统”组成:(1)用于发送船舶和接收鱼雷的同步可变无线电波长装置;(2)用于加倍确保鱼雷抗干扰的最小广播时长装置。第一个是他们在1941年冬至1942年春两季开发的新系统,安泰尔将其称为“同步交替”,即发射机和接收机同步跳频。第二个是1941年12月23日海蒂·拉玛和安泰尔提交给美国国家发明家委员会的系统,该系统依靠的是在无线电静默时段的短暂爆发来限制敌方干扰^[4]。因此,在船和鱼雷之间传递的信号现在不仅会非常短暂,而且会从一个频率跳到另一个频率。跳跃不是手动控制的,而是由“飘带”控制的。

“飘带”是海蒂·拉玛和安泰尔在这里使用的一个术语,指的是一种控制装置,比如一架钢琴的滚动纸卷。在发射机和接收机中使用与播放钢琴类似的纸卷,在纸上切出槽来编码频率的变化。当插槽滚过控制头时,它们将启动一种真空装置(vacuum mechanism),类似于弹钢琴时的装置,只不过操作的最终结果不是推杆(pushrod)移动钢琴动作,而是推杆关闭一系列开关。这些开关将排列在推杆下方。关闭一个特定的开关,就可以将几个不同调谐的电容器(存储电荷的设备)连接到振荡器上。振荡器是一种电子电路,它产生定期变化的无线电信号,称为载波。每一个不同的电容器都会对载波施加不同的频率——每秒的循环数或多或少,系统的频率跳数最多可达与钢琴键数相同的数目即88个。无线电频谱上到处都是跳频信号,跳频是任意的,这样敌人将无法跟踪它,传输就不会被干扰。如果信号恰好在那里跳跃,敌人可能会意外地干扰一个频率,但由于每分钟可能有数百次跳跃,这种微小的干扰几乎不会造成信息的丢失。任何只听一个频率的人甚至都不会意识到信号被传送了,因为他最多只能听到一个偶然的短暂信号。

为了使干扰更加困难,安泰尔和海蒂·拉玛提议在发射机上使用7个调谐电容器,而在接收机上只使用4个。因此,有3个发射通道会发出一个假

信号,其中一个没有操作功能,这使确定哪些传输需要阻塞的工作变得更加复杂。为了在接收机上解决假信号问题,他们在发射站提供了一个指示灯,当发射单元处于频率之间的转换时,指示灯就会闪烁,但当3个错误通道被占用时,指示灯就会亮着。另一个重要的附加组件,是基于广播电台控制器遥控原理的新型鱼雷转向装置。这种电子元件可以处理鱼雷接收到的信号,并将其转换成指令(以电信号的形式),将鱼雷的方向舵移动到左舷或右舷,引导武器朝向目标^[4]。

1941年6月10日,海蒂·拉玛和安泰尔向美国专利局申请专利,并于1942年8月11日获美国专利局颁发的名称为“秘密通信系统”专利,专利批号为2292387,专利解释文书的附页阐释了该专利的主要原理和功用:“本发明广泛涉及使用不同频率载波的秘密通信系统,尤其适用于飞船的远程控制,如鱼雷。本发明的目的是提供一种操作相对简单可靠,但同时又难以发现或破译的保密通信方法。”^[10]海蒂·拉玛还结合设计图详细介绍了如何使用钢琴装置以便远程控制鱼雷等设备的相关信息,并附上了详细的构造图(图3)。其中最重要的技术创新就是运用钢琴唱片装置中的滚动纸卷,使得88个不同的载波频率在发射站和接收站之间完成跳频。

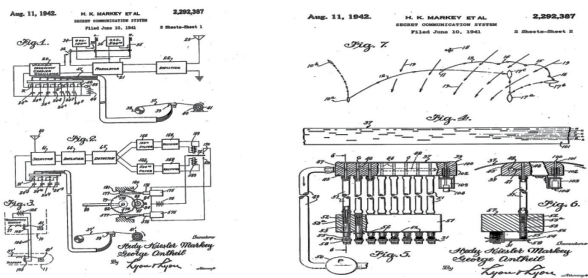


图3 秘密通信系统技术专利设计图

1.4 原理应用

1941年12月7日,珍珠港事件爆发后,美国正式参加第二次世界大战,大规模扩建海军,海蒂·拉玛的发明有了用武之地。但当海蒂·拉玛把专利递交给美国国家发明家委员会时,却遭到了拒绝。美

国国家发明家委员会一方面表示没有几个人能听懂发明的构思,因而不敢轻易做出判断;另一方面认为海蒂·拉玛曾是纳粹军火供应商曼德尔的妻子,对她的身份表示怀疑,更不敢相信电影明星发明的技术能解决鱼雷的抗干扰问题。他们建议,海蒂·拉玛可以凭借美貌发放战争债券,以表爱国忠心。于是,海蒂·拉玛积极投身于推销战争债券,到全国各地巡回义演,以实际行动表达她的爱国热情。

1942年,美国政府以海蒂·拉玛不是美国公民为由将她的专利以“外籍财产”名义没收。从此,跳频技术专利尘封在美国专利局。20世纪50年代,美国军方秘密启用名叫“秘密通讯系统”的专利,将海蒂·拉玛的专利副本作为合同项目的基础材料传给了洛杉矶霍夫曼实验室(Hoffman Laboratories),要求实验室基于该技术制造一种防堵塞声纳浮标以及伴随飞机的跳频无线电系统。那时,这项技术已经超过了合法的专利保护期,为了保密起见,专利作者的名字从技术文件上删除了。今天,从无线电话到蓝牙技术再到全球定位系统都在使用这种基于海蒂·拉玛跳频构思的通信技术。全球电信业著名专家戴夫·莫克(Dave Mock)评价海蒂·拉玛:“只要你使用过移动电话,你就有必要了解并感谢她。”^[11]

2 科学想象对技术创新的作用

技术创新不仅包括开发新技术,还包括将已有的技术进行应用创新。海蒂·拉玛发明的跳频技术就属于后者。海蒂·拉玛的跳频通信技术建立在之前发明家对无线电通讯的研究上。文献记载中最早提到跳频内容的是尼古拉·特斯拉(Nikola Tesla)在1903年3月17日获得的“信令系统”(system of signaling)专利(专利批号:725605)^[10,12]。虽然特斯拉没有直接提及“跳频”一词,但在专利中暗示了这一点。该系统能够进行无线电通信,通过该系统可以按预定顺序更改载波频率以避免干扰,从而使发送器和接收器同步并在两个通道之间跳变,而不会以任何方式干扰或拦截信号。但是这样一个有

趣的想法并没有引起军方的注意,到1915年,德国人才开始利用原始的跳频无线电通讯来阻止英国人的窃听^[11]。1942年,海蒂·拉玛以前瞻性的眼光,首次将全新的跳频技术应用于解决鱼雷的抗干扰问题,在当时无线信号频率的基础上扩展了多个无线电频率,解决了单独无线信号频道的技术瓶颈,并说明了具体的设计方案,成功申请了美国专利。但是由于一系列特殊原因,该专利技术被搁置。20世纪50年代,当跳频技术的专利被重新激活时,跳频技术成为了通讯领域的共性技术,是CDMA、WLAN、Bluetooth等无线通讯方式的基础。海蒂·拉玛也被《Time》誉为“Wi-Fi之母”^[13]。通过梳理海蒂·拉玛的案例可以看到科学想象在技术创新中有两个重要的作用:一方面,科学想象可以为技术创新的“瓶颈”难题提供新思路;另一方面,科学想象还可以为技术创新的“解题”活动提供更多的可能性和新方案。

2.1 科学想象为技术创新“瓶颈”难题提供新思路

海蒂·拉玛起初对于如何解决鱼雷的抗干扰问题并没有合适的方案,但是她听到跳跃的钢琴声时,突然想象将自动演奏钢琴的原理应用到鱼雷中的可能图景,并即刻模拟想象中的方案。1945年,海蒂·拉玛在接受军报《Stars and Stripes》采访时谈到:“她和安泰尔坐在客厅的地毯上,用一个银色的火柴盒,里面的火柴模拟了‘发明的东西’的线路。”^[14]日内瓦大学科学哲学中心研究员迈克尔·斯图亚特(Michael T. Stuart)曾在两个生物学实验室对科学想象进行定性研究,主要包括调查科学想象不同的使用方式,以及如何使用科学想象力。实验的参与者包括实验室首席调查员、研究生、博士后以及实验室首席研究员。斯图亚特的研究从实验室会议、座谈会和非正式会议中记录了超过10个小时对科学家的深入访谈,并收集了超过20小时的观察数据。调查结果发现资历越高的科学家赋予科学想象越重要的角色,并认为想象力甚至是其工作基本组成部分。参与者对科学想象的积极态度主要是由于想象力在解决问题中的作用,尤其在所有其他可用方法都失败时,科学想象就会发挥其独特的作用^[15]。从海蒂·拉玛的案例和斯图亚特的调研

中可以看出科学想象在科研活动的解题中有重要作用。科学想象有利于科研工作者进行创造性的思考,“想他人所未想”,以提出全新的想法。并且当其他方法已经失败,或者其他方法需要太多努力,或者由于其他原因不可行时,科学想象就能发挥出关键的作用。想象力可以创造或抽象出不存在的形象,而这种抽象的力量能够加深科学法则的理解,把以前分散的研究流结合在一起,从而创造出新的东西。

2.2 科学想象为技术创新“解题”活动提供新方案

科学想象常常是创新的先导,它又贯穿于科学研究的整个过程。近年来,人们对想象力的研究越来越深入。它的性质、使用和发展正在以哲学的、历史的、计算的和科学的方式分析动物、人类、机器、社区、科学家和发明家。不管是技术的原始创新还是应用创新都是一项客观、严谨、真实的研究事业,有时会受到特定学科、领域、研究和规律的约束,而科学想象能够打破“金科玉律”的框架和束缚,实现技术跨学科、跨领域的沟通联系,为科技创新的“解题”活动提供更多的可能方案。跳频技术的发明就是将科技与艺术紧密结合的典例。海蒂·拉玛的技术创新打破了科学与艺术的界线,提出了当时很多科学家都尚未想到的可能方案,这与她丰富的科学想象不无关系。科技创新是通过解题实现的,解题就是寻找答案。在不知答案的情况下,科研人员力求大胆地想到各种可能,并尽量想到更多的可能。包括海蒂·拉玛在内的众多科技史案例表明,唯有科学想象能囊括各种创新的可能性。爱因斯坦关于人以光速跟随光线跑、牛顿关于月亮是大苹果、狄拉克关于真空空穴、霍金关于黑洞蒸发等想象都是科学想象的典范^[16]。爱因斯坦认为:“想象力比知识更重要,因为知识是有限的,而想象力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识化的源泉。”^[17]

3 结论

随着科技的发展愈来愈精深化、专业化,科学共同体以外的非科研人员几乎难以进行高精尖技

术的创新与发明。值得注意的是,海蒂·拉玛未获得过大学学位,16岁时就跟随制片人马克斯·莱因哈特(Max Reinhardt)去德国柏林学习表演,之后一直从事影视行业,不曾接受过严格、系统的科研训练。她的技术发明一部分源于所接触的无线电及扩频知识,一部分依赖于日常生活中所积累的经验常识。人类的知识累积始于常识,而且也正是常识为知识的理论化和系统化提供了背景框架,然而,从伽利略开始,科学史实告诉我们,仪器和实验所揭示出来的现象表明常识并不具有终极的说服力。常识式的理性不够用了,人们学会求助于数理式的理性^[18]。20世纪,科学发现和技术发明与常识经验更为疏远,科学理论的解释力也无须依赖常识和直观的理解,高新技术的发明愈来愈精深化。在这种背景下,跳频技术出自身处科学共同体之外的海蒂·拉玛之手,可以说是一个奇迹。在海蒂·拉玛的技术发明过程中,科学想象尤其是联想或类推联想起到至关重要的作用。如果海蒂·拉玛没有丰富的科学想象,就不会运用收音机的遥控器原理来遥控鱼雷;即使明白自动演奏钢琴的运行机制,可能也不会联想到将它运用到无线电鱼雷的抗干扰技术中。海蒂·拉玛的技术创新是科技与艺术相结合的典范,她以“局外人”的视角提出许多科学家所未能提供的想法。作为一位跨界女性技术科学人才,她身上独具的创造性思维和智慧同样是新时代培养科技人才的重要目标和发展方向。

参考文献(References)

- [1] 石颢,王铮.基于跳频技术的无线网络路由[J].计算机工程,2008,34(22):145-147.
- [2] Walters R. Spread spectrum: Hedy Lamarr and the mobile phone[M]. North Charleston: Book Surge Publishing, 2006.
- [3] Barton R. Hedy Lamarr: The most beautiful woman in film [M]. Lexington: University Press of Kentucky, 2010.
- [4] Rhodes R. Hedy's folly: The life and breakthrough inventions of Hedy Lamarr, the most beautiful woman in the world[M]. Philadelphia: Doubleday, 2011.
- [5] 王颖.海蒂·拉玛:从性感影星到发明家[J].自然辩证法通讯,2019,41(12):109-118.
- [6] 钱玉峰.科学想象及其在思维活动中的作用[J].齐鲁学刊,2005(3):125-128.
- [7] 傅世侠,罗玲玲.科学创造方法论[M].北京:中国经济出版社,2000:285.
- [8] Wallace D. Exiles in Hollywood [M]. New York: Hal Leonard Corp, 2006.
- [9] 杨万钧.从自动钢琴看计算机音乐发展及特点[J].演艺科技,2011(7):45-49.
- [10] Hedy Kiesler Markey, Los Angeles, and George Antheil. Secret communication system: US2292387[P/OL]. 1942-08-11. <https://pdfpiw.uspto.gov/.piw?docid=02292387>.
- [11] 戴夫·莫克.高通方程式[M].闫跃龙译,北京:人民邮电出版社,2005.
- [12] EE Times. A short history of spread spectrum[EB/OL]. (2012-01-26). <https://www.eetimes.com/a-short-history-of-spread-spectrum..>
- [13] McMillan G. The Hollywood starlet who made Wi-Fi and bluetooth possible[EB/OL]. (2011-12-05). <https://techland.time.com/2011/12/05/the-hollywood-starlet-who-made-wi-fi-and-bluetooth-possible/>.
- [14] Hedy Mixture. The Guardian[EB/OL]. (2019-05-10). <https://www.theguardian.com/culture/1999/jul/29/arts-features2>.
- [15] Michael T Stuart. Everyday scientific imagination[J]. Science & Education, 2019, 28(6-7):711-730.
- [16] 林德宏.想象与科技创新[J].中国矿业大学学报(社会科学版),2014,16(4):1-4.
- [17] 严加安.科学与艺术[J].科技导报,2020,38(10):23-25.
- [18] 陈嘉映.哲学·科学·常识[M].北京:中信出版社,2018:161.

The function of scientific imagination in technological innovation as seen from Hedy Lamarr's Invention of frequency hopping technology

YANG Kexin, LI Bin*

School of Humanities, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract The frequency-hopping technology was invented by Hedy Lamarr, based on the principle of the auto-playing piano, which enables the transmission of signals from both the receiver and the sender to jump synchronously and separately on a set of pre-specified frequencies according to the sequence specified in the coding sequence, thus spreading the spectrum and realizing the communication. From the perspective of the creative thinking, Hedy Lamarr's technological innovation can be described in four steps: the contact spread spectrum, the inspiration source, the principle design, and the principle application. It is suggested that the scientific imagination plays a fundamental and key role in the Hedy Lamarr's innovation. The scientific imagination can be regarded as an illogical manifestation of the creative thinking, which not only provides new ideas for the "bottleneck" problem of the technological innovation, but also provides new solutions for the "problem-solving" activity of the technological innovation.

Keywords Hedy Lamarr; scientific imagination; creative thinking; technological innovation ●



(责任编辑 陈广仁)