

文章编号:1007-2780(2021)XX-0001-07

## 从技术系统进化趋势研判 主要显示技术方向的演进

杨 斌<sup>1</sup>, 王世荣<sup>2\*</sup>

(1. 科学技术部高技术研究发展中心, 北京 100040;

2. 天津大学化工学院, 天津 300072)

**摘要:** 为了指导科技立项、研发资源投入和综合管理评价,对主要显示技术方向的演进趋势进行研判。基于技术系统的S曲线进化趋势对新型显示主要技术系统所处的发展阶段和发展方向进行判断,利用专利数量与时间的关系挖掘研发资源投入与其生命周期的关系。研究表明,液晶和有机发光二极管显示系统分别处于成熟期和成长期,电子纸和激光显示处于过渡期,量子点和微发光二极管处于婴儿期。专利数量多,预示着研发投入大,技术系统的市场生命周期长。技术系统成熟度越低,研发成果的发明级别越高。基础研究投入应侧重于婴儿期,共性关键技术研发投入应侧重于过渡期和成长期的初期。为科技立项和研发投入的内容、主体提出了建议。

**关键词:** 进化趋势; S曲线分析; 显示系统; 研发投入

中图分类号: TN873; TN27 文献标识码: A doi:10.37188/CJLCD.2021-0186

## Development judgment of the main display techniques based on the trends of Engineering System evolution

YANG Bin<sup>1</sup>, WANG Shi-rong<sup>2\*</sup>

(1. High Tech Research and Development Center of Ministry of Science and Technology,  
Beijing 100040, China;

2. School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** In order to assist R & D investment and science and technology projects management, the evolution trend of some main display techniques was evaluated. Based on the S-curve evolution trend, new display technology systems' development stage and direction were judged. And the relationship between R & D investment and market life was analyzed by using the patent quantity in different years. It is showed that liquid crystal and organic light-emitting diode display systems are in the mature and growing period, respectively, E-paper and laser display are in the transitional period, quantum dots and micro light-emitting diodes are in the infancy. A large number of patents indicates a large R & D investment and long market life of a technology. The lower the maturity of the technology system, the higher the invention level of R & D

收稿日期:2021-XX-XX; 修订日期:2021-XX-XX.

基金项目:天津市科技计划项目(No. 20ZLGCX00050)

Supported by Supported by Tianjin Science and Technology Project(No. 20ZLGCX00050)

\*通讯联系人, E-mail: wangshirong@tju.edu.cn

achievements. Therefore, the investment in basic research should focus on infancy, and the investment in R & D of common key technologies should focus on the transition period and the early growth period. The content and leading investors of R & D were put forward.

**Key words:** evolution trends; s-curve analysis; display system; R&D investment

## 1 引言

当前科技研发投入的主体主要是政府和企业。政府科技立项研发内容一方面来自科研工作者的自由探索,另一方面来自根据重大需求形成的指南。企业研发内容主要以市场为导向。本文以国家重点研发计划战略性先进电子材料重点专项的新型显示方向的主要技术系统为对象,运用现代 TRIZ(发明问题解决理论)中的 S 曲线分析工具,根据新型显示技术系统的市场表现、主要价值参数(main parameter of value, MPV)和专利数量等情况,综合研判其所处的发展阶段和进化趋势,从而为研发重点和研发内容的确定提供参考依据。同时,本文根据不同显示技术系统相关专利的年度发表数量与其发展状态的对应关系,分析研发资源投入对产品生命周期的影响。

## 2 新型显示主要技术系统发展阶段和发展方向研判

### 2.1 对新型显示技术系统的发展阶段的分析判断

目前新型显示领域主要的技术系统有液晶显示(LCD)、有机电致发光显示(OLED)、电子纸(E-Paper)、激光显示(LD)、量子点电致发光显示(QLED)和微发光二极管(Micro-LED)显示。根据现代 TRIZ 理论的技术系统 S 曲线进化趋势,可以描述上述显示技术系统分别处于不同的发展阶段。

所谓 S 曲线进化趋势是指工程系统的每个主要价值参数(MPV)都随时间呈 S 型曲线进行演变,并先后经过婴儿期、过渡期、成长期、成熟期和衰退期,如图 1 所示<sup>[1-2]</sup>。MPV 是指对客户价值贡献最大的参数,即影响消费者购买决策的因素。作为显示系统,其主要 MPV 可以是色彩、分辨率、功耗、寿命、尺寸以及重量等。除 MPV

以外,市场表现是判断技术系统所处发展阶段的另一个重要依据。

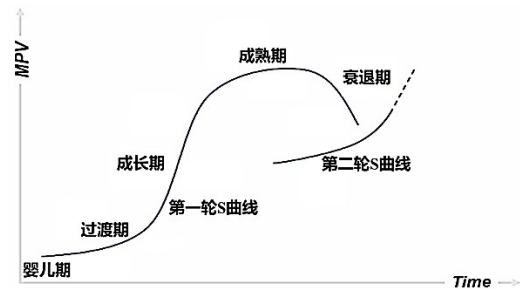


图1 S曲线进化趋势示意图

Fig. 1 Trend diagram of S-curve evolution

处于婴儿期的技术系统往往是概念性的,初步运用作用原理实现了主要功能,但对产品整体的设计还不是十分清晰和精细,MPV 普遍较低且增长缓慢,无法进入市场。技术系统进入过渡期的标志是产品接近上市或拥有小众市场。之所以称为过渡期,是因为在此阶段,技术系统有可能在其他新兴的或成熟度高的技术系统的强烈排斥下停止发展,也可能由于自身显现的优势得到认可而获得更多的投资资源,各种 MPV 开始增长,技术成熟度提升而进入成长期。成长期是技术系统发展最快的阶段,MPV 迅速增长,产品进入批量生产,市场不断扩大。进入成熟期后,技术系统发展放缓,MPV 几乎没有增长。

进入衰退期的技术系统,市场需求减少,产量大幅下降,为了保证整体价值 V 的提升,必须降低功能以大幅降低成本,因此 MPV 有所降低。技术系统的价值如下式所示,是总的功能( $\Sigma F$ )与总的成本( $\Sigma C$ )的比值,总的功能可以通过对技术系统进行功能分析获得定量的数据<sup>[3]</sup>。技术系统的这种进化以使价值 V 总是提高的趋势,是现代 TRIZ 中技术系统的另一个重要进化趋势,即提高价值进化趋势。

$$V = \frac{\Sigma F}{\Sigma C} \quad (1)$$

根据各技术系统的市场表现、主要 MPV 以及自第一件专利出现到 2020 年专利数量的变化

情况(见图 2),综合判断各新型显示技术系统的发展阶段如表 1 所示。

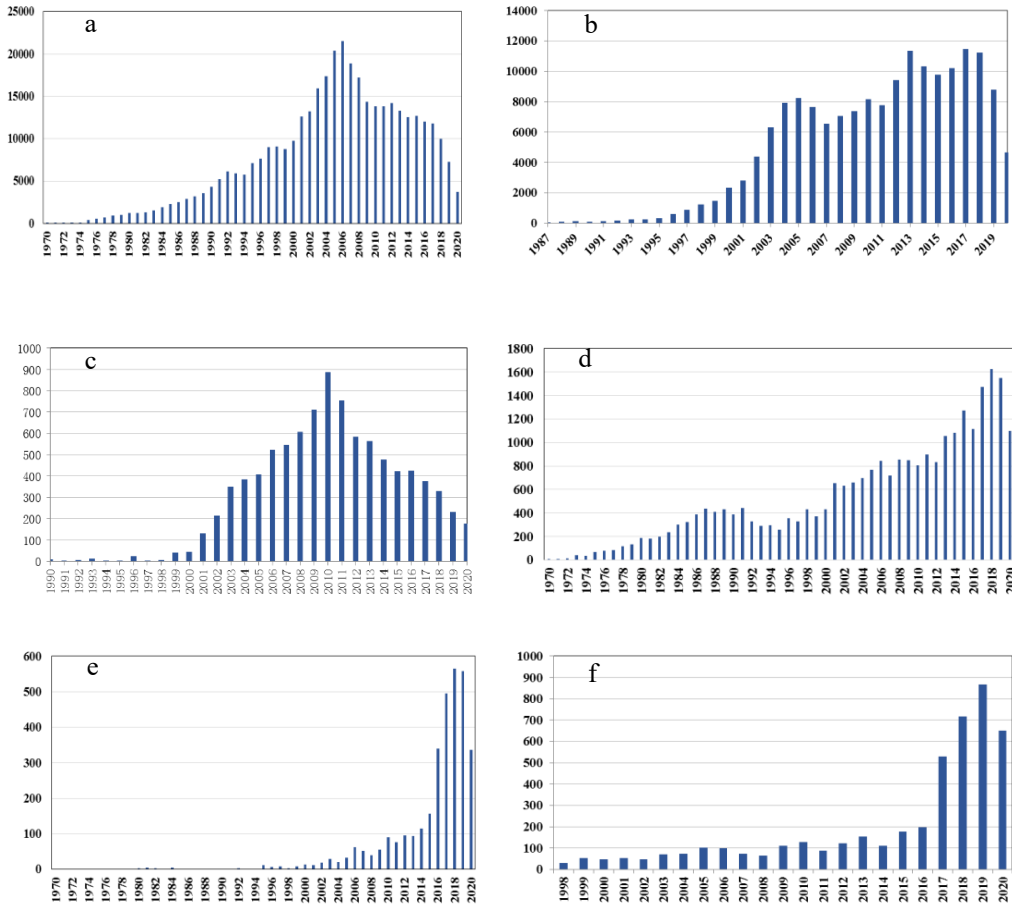


图 2 新型显示技术系统各年度全球专利数量(Innography 数据库)

Fig. 2 Global patents of new display technology system(Innography)(a)LCD,(b)OLED,(c)E-Paper,(d)LD,(e)QLED 和(f)Micro-LED(a)LCD,(b)OLED,(c)E-Paper,(d)LD,(e)QLED 和(f)Micro-LED

表 1 主要新型显示技术系统所处发展阶段分析结果

Tab. 1 Analysis result of development stage of the main new display system

技术系统名称	市场表现	主要 MPV	专利情况	发展阶段
液晶显示(LCD)	大规模生产,市场稳定	基本稳定	越过第一个最高点(图 2 a)	成熟期,仍有发展空间
有机电致发光(OLED)	有批量生产,产量增加,应用领域扩大	有提高,但不明显	处于第二个增长期(图 2 b)	成长后期,近乎成熟
电子纸(E-Paper)	小众市场(电子书)	有待提升	出现一个最高点(图 2 c)	过渡期
激光显示(LD)	小众市场	增长明显	进入第二个增长期(图 2 d)	过渡期
量子点显示(QLED)	无成熟产品,仅有样品	低	处于第一个增长期(图 2 e)	婴儿期
微发光二极管(Micro-LED)	系统结构尚不清晰	很低	处于第一个增长期(图 2 f)	婴儿期

从表1中的市场表现和MPV状态可以看出,LCD处于成熟期,但其功能仍以显示为主,并未获得与主要功能无关的附加功能。从专利内容看,仍以制造工艺、面板、背光技术、驱动和材料等液晶显示器的核心技术为主,并非实用性不大的外观和图案设计等<sup>[4]</sup>,因此可以判断LCD尚有发展空间。OLED处于成长期和快速发展阶段,但其MPV已经没有明显增长或没有明显增长的必要,已接近成熟期<sup>[5]</sup>。E-Paper拥有电子书、商品价签等小众市场、显示性能有待提高、专利出现第一个最高点,因此判断其处于过渡期。LD也处于过渡期,但它的MPV表现与E-Paper不同,在持续明显增长,这与其应用背景较多,MPV的上限不明确造成的。QLED仅有样机, Micro-LED技术系统尚不清晰,二者在市场上均没有成熟产品,均处于婴儿期。

## 2.2 不同阶段显示技术系统的发展方向 and 研发重点

阻止处于成熟期的技术系统的MPV进一步增长的因素主要有:(1)达到了工作原理的物理极限;(2)如果提升性能会造成成本明显升高;(3)受到更先进的技术系统的排斥被而迫退出市场,如LCD面临着OLED的激烈竞争等。此外,达到使用者(用户)需求的极限或外围服务组件的极限,也会限制技术系统MPV的进一步增长。为此,LCD系统的中短期研发目标主要是降低成本,长期研发目标是跳到另一条S曲线。也就是要么发展一个处于早期发展阶段的MPV,如视角、重量、柔性化等;要么针对同一个MPV,通过转变工作原理来克服发展极限。

OLED处于成长期,由于得到研究者和市场的认可,获得了大量的资金、人力等资源。此外,OLED材料及其他专用组件的开发和生产也受到人们的关注,高性能的材料和组件进一步促进了技术系统的提升。处于成长期的技术系统已经较为完善,重点是占据更多的市场,其研发内容应以优化为主,不应有大的改动;因MPV增长放缓,控制成本是保持价值V提高的主要途径。

处于过渡期的技术系统,应尽快进入市场以获得更多的可利用资源,并在性价比最高的优势领域发展自身。对于E-Paper,其突出的优势是类纸性,如双稳态、极低功耗,这是其区别于所有

其他显示技术系统的优势<sup>[6]</sup>。过渡期的技术系统MPV较低,这需要其在技术上有较大的突破以克服技术瓶颈,因为若想在市场站住脚,所有参数必须都是可以使用者接受的。但技术上的较大突破并不意味着改变工作原理,即不应退回婴儿期。

LD也应在最佳优劣比的领域发展自身,针对特定的应用明确系统设计方案,发挥高亮度、高色域的特点。激光投影仪不直接作用于人眼,没有人眼视觉极限的限制,而直接作用于人眼的幕布对显示效果具有决定性的影响<sup>[7]</sup>。当LCD、OLED等显示系统能够满足应用场景的需求时,就会对以激光投影仪和幕布为主要组件的显示系统构成威胁。

QLED和Micro-LED目前处于婴儿期。若想进一步发展以及实现进入市场,必须明确各自的“冠军参数”。所谓“冠军参数”是指一个技术系统明显优于其他所有竞争系统的性能参数,意味着实现实际应用的竞争优势,是技术系统实现实际应用并进入市场的理由。例如,LCD替代阴极射线管(CRT)成为市场上的主流显示技术,是因为其在TFT驱动下的平板显示方式,具有轻薄性、低耗电量、低辐射、高色域、画面柔和等多方面LCD显示不可比拟的优势。高画质、大面积显示在目前是LCD的冠军参数,使其处于无可替代的市场地位。而OLED被市场认可的冠军参数有多个,如主动发光、可实现柔性显示、广视角、高对比度、高色彩饱和度等,这些独特的性能使其具有很大的发展潜力而被市场期待。因此,对处于婴儿期的QLED和Micro-LED等技术系统,应判断自身发展的极限以获得清晰的研发方向和计划,明确相对于LCD和OLED具有那些“冠军参数”,这个阶段的技术系统还可能被明显地改进,甚至是工作方式和系统结构等的重大重构,以期获得市场认可。

E-Paper和LD处于过渡期,也有明确的“冠军参数”,但由于面临完全不同的应用市场,因此必须强化并进一步改进“冠军参数”,以便技术系统得到发展进入成熟期。E-Paper技术系统是独特的反射式显示,其“冠军参数”是类纸性、双稳态、近零功耗和环境友好等特性,是其区别于目前所有其他显示技术系统的特征<sup>[7]</sup>。但其显示速度慢和实现全彩色显示具有很大的技术难度,因此在技术系统的进化

过程中要充分挖掘“冠军参数”的优势,开发有别于LCD和OLED的应用领域,才能进入成熟期,从得到广泛的市场认可。LD显示从RGB晶体激光显示发展到蓝光激光激发荧光粉发光和RGB半导体激光显示等技术路线,其有别于其他显示技术系统的特点是投影式显示,具有超高清、超高色域、临场感强和大面积显示等“冠军参数”,但其便携性差和价格高等因素限制了应用领域。因此,该技术系统应该进一步强化“冠军参数”的特性,深度开发家庭影院、会议场所、指挥系统等显示市场,使其进入成熟期。

由于技术系统在不同阶段的发展方向不同,研发工作的重点不同,研发内容的难度和技术发明的水平不同。通常技术系统成熟度越低,解决其关键技术的发明级别越高。因此,处于婴儿期的技术系统,往往是来自基础理论的或颠覆性的发明;处于过渡期的技术系统,突破技术瓶颈和解决关键问题往往需要借助跨领域的技术。例如,LCD利用电场作用下液晶分子排列方向的变化调控外光源透光率实现显示,OLED利用电场驱动下载流子的注入与复合实现发光,这种技术系统诞生时基本原理上的发明具有很高的创新性。但在发展初期,显示效果并不理想。薄膜晶体管(TFT)技术的运用使LCD克服了彩色显示的瓶颈,迅速成长为市场主流的显示系统,真空蒸镀成膜技术解决了OLED的器件结构和性能优化问题,使其成为有竞争力的显示系统。

显示技术系统是具有显著的电子流动和电能、光能流动和转化的技术系统,而这些过程均与材料的微观结构密切相关。在技术系统进化过程的各个阶段,新材料开发的目标不同。在婴儿期需要特定分子结构的材料根据器件工作原理实现基本功能,如在电场作用下分子排列发生变化的液晶分子,具有特定发射波长的OLED材料,携带特定电荷和电量、在电场作用下发生运动的E-Paper电泳粒子等。过渡期的研发重点是突破技术瓶颈,提高MPV。在成长期和成熟期,技术系统改进较小,材料研发主要是配合整体优化和降低成本。进入衰退期的技术系统可能因为一种新材料或新技术的出现获得重生而重新回到过渡期或成长期。

针对成熟度低的技术系统的研发内容具有

基础性和前沿性,由于经济收益低,往往不会被列为企业的研发投入重点,应得到政府的充分重视。而成熟度高的技术系统,其优化和降低成本的目标有可能通过同一领域的技术和相对简单的优化实验得以实现,虽然创新性不显著,但有望在近期获得显著的经济效益。此外,进入成长期后,技术系统的差异性增加,研发内容逐渐远离共性的关键技术,成果的共享性低,应当以企业自身作为投资主体。

### 3 市场主流显示系统的生命周期分析

除了目前占据主流市场的液晶显示技术和发展迅速的OLED显示技术,曾经活跃于市场的显示技术系统还有阴极射线管显示(CRT)技术和等离子显示(PDP)技术,它们的市场表现明显不同<sup>[8-10]</sup>。通过分析各种显示技术系统相关专利的数量及变化趋势,可以从一个重要角度了解其获得的研发经费、人力投入资源和技术产品应用的发展历程。图3是上述4种显示技术系统从原始申请年至2020年的专利数量变化趋势图。

CRT显示技术发明于1897年<sup>[7]</sup>。从图3可以看出,CRT的第一件专利出现在1949年,其专利数量的快速增长期为1964年(573件)至1973年(4101件);1973年至2001年(6511件)的28年间,专利数量保持了稳定增长;2001年至2014年(509件)为快速减少期。从专利数量开始快速增长的1964年至快速减少的终点2014年,经历了50年的时间。其间,1958年3月,我国第一台黑白电视机“北京牌”14英寸黑白电视机在天津712厂诞生;1970年12月,我国第一台彩色电视机也在天津诞生,拉开了中国彩电生产的序幕,对应于CRT专利的显著增长期,即技术系统开始成长。而专利数量开始显著减少的2001年,也对应于CRT被液晶替代逐渐退出市场的时间。

液晶显示的第一篇专利诞生于1970年,至2020年的50年期间,专利数量经历了明显的增加和降低,并在2006年达到最高值(21561件)。PDP的第一篇专利出现于1957年,1969年专利数量超过100件,1972年超过400件,1991年超过1000件,2005年达到最高值(7416件),之后开始

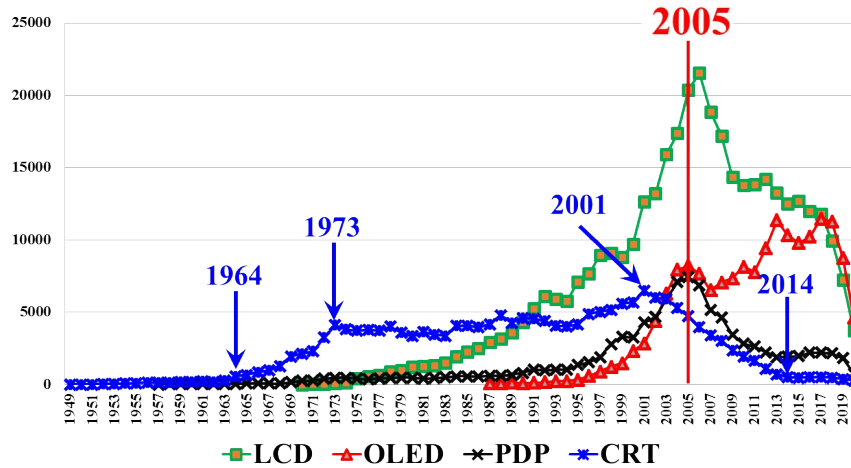


图3 市场主流显示系统的专利数量变化趋势

Fig. 3 Comparison of the number of patents for mainstream display systems in the market

减少。液晶和PDP两种显示技术系统的专利数量变化趋势相同,均经历了一个明显的增长和降低的过程,但从专利总数上看,液晶明显高于PDP。

从图3还可以看出,PDP、液晶和OLED几乎同时在2005~2006年出现专利数量的一个转折点,三者竞争的结果是PDP和液晶专利数量开始减少,而OLED在两年后开始进入第二个增长期,并在2017年超过了液晶显示的专利。专利数量增加或长时期维持较高的水平,代表了持续的研发投入,这会使技术系统不断成长完善并变得强大,从而赋予其较长的生命周期。

## 4 结论

(1)根据S曲线分析判断LCD和OLED显示

分别处于成熟期和成长期,电子纸和激光显示处于过渡期,QLED和Micro-LED处于婴儿期。

(2)处于不同阶段的技术系统的发展方向,研发投入应有不同的侧重点:基础研究投入应侧重于婴儿期,共性关键技术研发投入应侧重于过渡期和成长期的初期;处于成长期后期和成熟期的技术系统研发投入应以企业为主体;婴儿期、过渡期和成长期初期的研发成果应较高的发明级别,是政府科技投入的重点。

(3)专利数量越多,反应出研发投入越大,技术系统发展越完善,生命周期越长。

(4)在科技立项中,确定技术指标(MPV)应考虑技术系统的应用场景和使用者限制;对新技术系统的培育应考察其是否具有明确的冠军参数,考虑其MPV的发展极限。

## 参考文献:

- [1] IkovenkoSergei. MATRIZ 培训讲义[G]. 北京亿维讯同创科技有限公司. 2020.  
Sergei Ikovenko. *Certification Level 3 TRIZ Program*[G]. Beijin Iwintall, Inc. 2020.
- [2] 成思源,周金平,杨杰. 技术创新方法——TRIZ理论及应用(第2版)[M]. 北京:清华大学出版社,2014.  
CHENG S Y, ZHOU J P, YANG J. *Technology Innovation Method — TRIZ Theory and Application (2nd Edition)*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2014. (In Chinese)
- [3] 孙永伟,谢尔盖·伊可万科. TRIZ 打开创新之门的金钥匙(I)[M]. 北京:科学出版社,2015.  
SUN Y W, IkovenkoSergei. *TRIZ - The Golden Key to Innovation(I)*[M]. Beijing: Science Press, 2015. (In Chinese)
- [4] 黄晓丽,孙玉宝,马红梅. 液晶显示器多种显示模式色彩表现的研究进展[J]. 液晶与显示,2021, 36(3): 355-370.  
HUANG X L, SUN Y B, MA H M. Research progress in color performance of LCD with various display modes

- [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2021, 36(3): 355-370. (In Chinese)
- [5] 薛小利. 浅谈 OLED 显示技术进展[J]. 科技与创新, 2019, (24): 28-29.  
XUE X L. Progress of OLED display technology[J]. *Science and Technology & Innovation*, 2019, (24): 28-29. (In Chinese)
- [6] 孙少雪, 杨春莉, 赵育, 等. 电子纸技术的研究进展概述[J]. 今日印刷, 2019, (9): 59-61.  
SUN S X, YANG C L, ZHAO Y, *et al.* Research progress of E-paper Technology[J]. *Print Today*, 2019, (9): 59-61. (In Chinese)
- [7] IkovenkoSergei, PraymusialaMalgorzata, Yatsunenkosergey, *et al.* State-of-the-Art TRIZ, Theory of Inventive Problem Solving[M]. Novismo Ltd., Poland, 2019.
- [8] 李继军, 聂晓梦, 李根生, 等. 平板显示技术比较及研究进展[J]. 中国光学, 2018, 11(5): 695-710.  
LI J J, NIE X M, LI G S, *et al.* Comparison and research progress of flat panel display technology[J]. *Chinese Optics*, 2018, 11(5): 695-710. (In Chinese)
- [9] 李继军, 聂晓梦, 甄威, 等. 显示技术比较及新进展[J]. 液晶与显示, 2018, 33(1): 74-84.  
LI J J, NIE X M, ZHEN W, *et al.* New developments and comparisons in display technology[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2018, 33(1): 74-84. (In Chinese)
- [10] 袁泽明, 杨玉叶, 高锐敏, 等. 现代显示技术的研究进展[J]. 现代显示, 2008, (94): 18-21, 57.  
YUAN Z M, YANG Y Y, GAO R M, *et al.* Progress of Study in the Latest Display Technology[J]. *Advanced Display*, 2008, (94), 18-21, 57. (In Chinese)

## 作者简介:



杨斌(1968-),男,四川南充人,硕士,高级工程师,2002年于二炮西安工程学院获得硕士学位,从事国家重点研发计划管理和政策研究。  
E-mail: yangb@htrdc.com



王世荣(1969-),女,河北望都人,博士,教授,1996年于天津大学获得博士学位,现为天津大学化工学院教师,主要从事有机光电材料及器件研究。  
E-mail: wangshirong@tju.edu.cn.