

基于信息折叠理念的柔性显示界面设计

郭馨蔚, 张少焕, 覃京燕
(北京科技大学, 北京 100083)

摘要: **目的** 得益于显示技术和智能材料的发展, 信息传播的载体越来越丰富。用户界面的形态从静止的平面转向可折叠、可变形等多样形态。用户获取信息的媒介也从二维空间转向多维空间。上述变化对设计表达和用户体验研究提出了新的问题与要求。**方法** 通过文献调研、案例研究、比较分析和设计实践, 归纳了柔性显示技术驱动下用户界面的形态特征, 分析了柔性显示界面设计中所面临的问题。**结论** 从信息维度、界面呈现和交互行为3个方面, 通过设计实例论述了设计建议与策略。从信息与物理空间的融合、生态智能反馈等角度讨论了未来柔性用户界面的应用场景和设计可能性。

关键词: 柔性显示; 交互设计; 界面设计; 用户体验

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)06-0143-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.06.019

Flexible Display Interface Design Based on Information Folding Concept

GUO Xin-wei, ZHANG Shao-huan, QIN Jing-yan
(University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: Benefiting from the development of display technology and intelligent materials, the carriers of information dissemination are becoming more and more abundant. The form of the user interface is gradually endowed with the possibility of various forms such as folding and deforming from the static plane display. The medium through which users acquire information also extends from two-dimensional space to multidimensional space. The above changes put forward new problems and requirements for design expression and user experience research. Through literature research, case studies, comparative analysis and the method of design practice, this paper summarizes the morphological characteristics of flexible display technology driven by user interface, and analyzes the problems faced in the design of the flexible display interface. Design suggestions and strategies are discussed through design examples from three aspects of information dimension, interface presentation and interaction behavior. Then, the application scenarios and design possibilities of flexible user interface in the future are discussed from the perspectives of the integration of information and physical space and ecological intelligence feedback.

KEY WORDS: flexible displays; interaction design; user interface design; user experience

卡里姆·拉希德(Karim Rashid)在其著作《I Want to Change the World》中提到, 所设计的世界应是充满“Blobs”^[1]的, 这是一个由“Blob”和“Object”组合而来的合成词。该词语描述的是一种流畅、充满曲面的形态, 是一种没有尖锐边缘的产品造型, 而在以平面、刚性屏幕为主导的显示世界中, 上述形态是

较为少见的。得益于电子墨水、有机发光二极管、有机化合物、电子纺织品等智能材料的发展, 创新者们在显示载体和设计应用场景方面有了新的方向与探索。与此同时, 技术的发展也会带来设计过程中新的需求与挑战。面向柔性显示场景中的界面设计策略研究、信息交互行为分析, 以及对未来应用场景的展望

收稿日期: 2021-12-06

基金项目: 北京市哲学社科规划(19YTC042); 中央高校基本科研业务费资助(FRF-BR-18-007A)

作者简介: 郭馨蔚(1986—), 女, 硕士, 讲师, 主要从事人机交互、用户界面设计及用户体验设计方面的研究和实践。

通信作者: 覃京燕(1976—), 女, 博士, 教授, 主要从事交互设计、信息设计及大数据信息可视化研究。

将是以下讨论的重点。

1 柔性显示界面的形态特征及分类

回顾用户界面的发展,其过程是从早期的依靠外部设备输入的命令行语言界面(Command-Line Interface, CLI),到第1台所见即所得的图形用户界面(Graphic User Interface, GUI)^[2],再到现在简单、易学的自然用户界面(Nature User Interface, NUI)。科学技术的发展、显示技术的承载、算法能力的提升、人工智能的赋能、各类传感器的加持都是用户界面发展历程中的重要因素。

柔性显示界面是一种以非平面显示作为主要输入和输出媒介的用户界面。其物理形态是柔性、非平面的,并以多种形态而存在,甚至是流体的或由计算控制的。随着有机发光二极管(Organic Light-Emitting Diode, OLED)的研发与成熟,诺基亚公司于2008年2月首次发布了基于柔性显示材料的概念设计——“Morph”,见图1^[3],这创立了在消费电子设备中使用柔性显示屏幕的概念。



图1 Morph概念设计
Fig.1 Morph concept design

柔性显示界面根据其不同的形态及状态,可分为3种类型^[4]:柔性显示界面、形状显示界面和动态显示界面。

1.1 柔性显示界面

柔性显示界面的特征为显示屏幕可变形,比如可折叠、可弯曲、可卷曲等。同时,屏幕变形的过程也是用户输入信息的过程。2019年初,小米、华为、三星等手机生产厂家陆续发布了形态各异的折叠手机、双折叠手机等屏幕可变形的个人通讯设备。此后,越来越多的消费电子产品将柔性显示技术应用于手机、可穿戴设备及各类智能产品的设计和展示中。

1.2 形状显示界面

形状显示界面也称之为非平面显示界面,界面的形状可以是球体、锥体、圆柱体等非平面状态。柔宇科技、维信诺公司已在柔性显示领域进行了多年的研究,见图2。家用的智能首饰盒、智能水杯、电子书



图2 形状显示界面
Fig.2 Shape display interface

等日常用品及各类非平面的物品都可以被赋予显示的属性。汽车驾驶空间内的柔性显示也是形状显示界面的重要领域,其中方向盘上的曲面信息界面、全屏幕的中控操作台等信息显示承载媒介,都是基于OLED显示技术在形状显示界面中的典型应用。

1.3 动态显示界面

动态显示界面是指显示界面可根据计算机算法的控制而改变不同的形状,从而实现多场景的应用。LG公司在2018年国际消费电子展上首次发布了可卷曲的电视机^[5],见图3。显示屏幕共有3种状态,全屏状态可提供“全视图(Full View)”体验;卷曲状态呈现的是“线视图(Line View)”体验;当屏幕全部收起时,为用户提供的是“零视图(Zero View)”体验,此时用户可使用产品的音频系统。在2021年深圳未来科技大会上,OPPO公司也推出了X2021,这是一款卷轴屏的概念机^[6],通过动力滚轴(Roll Motor)的物理驱动,可以实现屏幕形态的动态改变。



图3 LG可卷曲电视
Fig.3 LG rolled-up Screen TV

2 柔性显示界面中所面临的设计问题

2.1 信息显示空间与区域发生改变

屏幕显示区域的演变见图4,其显示的是早期的九宫格按键手机及全键盘设备逐渐发展成人们熟知并熟练操作的触屏手机,并不断演变成形态愈发丰富的智能产品的过程。信息显示的空间和区域,例如



图 4 屏幕显示区域的演变

Fig.4 A change in the display area of the screen

屏幕显示区域、用户操作区域和产品功能分区等一直在改变。这些改变对设计提出了新的要求,设计师需要根据不同的任务场景和用户操作情境,并结合目标产品的功能定位及用户人群需求,对设计任务进行描述与定义。

在未来,柔性显示的界面形态将不再是静态的。一方面,用户能够对柔性界面像对纸张或塑料片一样进行折叠、弯曲、翻折。同时,显示界面可由计算机算法控制而发生形态的改变或动态的反馈,甚至可以主动适应用户的物理环境,因此,设计者需要考虑不同状态下柔性显示界面显示空间、范围及用户使用场景。

2.2 用户交互行为发生改变

交互逻辑涵盖 2 个方面的内容:交互行为的设定和交互效率的判断。不论是基于鼠标键盘输入的图形用户界面,或是可直接操作的自然用户界面,以及多通道用户界面中的多模态交互,在设计过程中都需要根据硬件设备的不同、操作系统的不同、设计规范的不同来定义与其适配的交互方式。谷歌(Google)公司曾针对安卓(Android)系统中的单点触摸手势定义了设计准则,苹果(Apple)公司也对苹果(iOS)系统中多点触摸屏幕的手势进行了设定。

在面向柔性显示界面的设计中,如何与各种形状的界面进行交互,如何输入信息,系统将如何给用户反馈,都会影响用户体验的质量。显示技术的发展促使用户界面和人机交互的发展,当柔性显示技术的发展将可变形的、柔性的物理载体作为显示媒介时,设计的角色愈发重要。设计师在考虑用户交互行为的同时,还需要考虑用户手持设备的情境,以便更精准地定义柔性显示界面中合理的触控区域和操作区域。

2.3 对交互效率判断标准的继续讨论

交互效率是设计结果评价的重要指标,也是影响用户体验的因素之一。在传统的基于鼠标点击的图形用户界面和通过触摸和手势交互的自然用户界面中,费茨定律被广泛应用在人机交互效率评估中。女王大学(Queen's University, QU)的媒体实验室曾依据费茨定律,对柔性显示屏幕的操作效率进行了测试和研究,在实验中以单维度目标为任务,结果表明弯曲输入在位置和速度控制方面都与费茨定律高度相关^[7]。在非平面的用户界面中,部分输入方式仍可延续费茨定律的基本规则来评估交互效率,但由于曲率的变

化、显示内容的多样及交互行为的特性,如何在柔性显示中建立全面的人机交互效率的评估还需要进一步测试和挖掘。

3 基于信息折叠理念的界面设计策略

通过对柔性显示界面中的设计问题进行分析,总结了信息显示和交互行为两大核心变化。在用户界面的设计流程中,衔接设计原型与实践量产的重要环节是设计标准和设计规范的建立。不论是工业产品的技术规范、算法程序的开发规范,还是用户界面的视觉设计规范,不同系统下的用户界面、不同硬件标准下的服务系统都需要遵循操作系统或运行平台的设计原则和主旨。主流移动操作系统设计规范见表 1。

通过梳理苹果操作系统(iOS)、谷歌材料设计系统(Google Material Design)和微软通用设计系统(Universal Windows Design)三大核心移动操作平台的设计规范,将各平台的设计重点总结为“信息架构”“界面布局”和“交互逻辑”三大分支。结合团队前期基于柔性显示屏幕的设计实践案例,以这 3 个方面为切入点,讨论将信息折叠的理念加入柔性显示界面中的设计策略。

3.1 可折叠的信息架构

信息架构是整理和归纳数据的工具,其研究的对象是设计需求与功能数据。通过对各类数据元的整理、分类和组合,将相似的数据元根据设计需求整合为信息组,进而形成信息架构,作为用户获取信息时的支撑。将抽象的数据具象化成可读取的信息,是信息架构在界面设计中的任务。

在柔性显示界面的设计过程中,信息间的逻辑层级与界面弯折的呼应是设计的重点。柔性显示界面的可变形属性,使其具备了多样的形态特征和信息显示区域,对比常规的用户界面设计,信息架构不再是一成不变的常态化的层级表现,用户需求也会随着界面形态的变化而改变,见图 5。“常态信息”即为常规用户界面里的层级信息架构,当柔性显示界面发生形变时,用户的认知会伴随交互任务的发生而改变。在这个变化过程中,每一个信息元素会依据形态的走向而动态迁移,可将其抽象为“动态信息”。当柔性界面的形变结束后,每一个信息元素的动态迁移结束,“折叠态信息”便应运而生。相反,当柔性显示界面

表 1 主流移动操作系统设计规范
Tab.1 Design specification for mainstream mobile operating systems

iOS	Material Design	Universal Windows Design
主题 (themes)	环境 (environment)	概览 (overview)
界面概要 (interface essentials)	布局 (layout)	导航 (navigation)
信息架构 (APP architecture)	导航 (navigation)	命令指令 (command)
交互 (interaction)	颜色 (color)	内容 (content)
系统功能 (system capabilities)	文字 (typography)	教程 (tutorials)
视觉设计 (visual design)	图标 (icon)	布局 (layout)
图标和图片 (icons and images)	形状 (shape)	控件 (controls)
呈现 (bars)	动效 (motion)	风格 (style)
控件 (controls)	交互 (interaction)	动效 (motion)
扩展 (extensions)	交流 (communication)	通知 (shell)
		输入和交互 (input and interaction)
		设备 (devices)
		可用性 (usability)

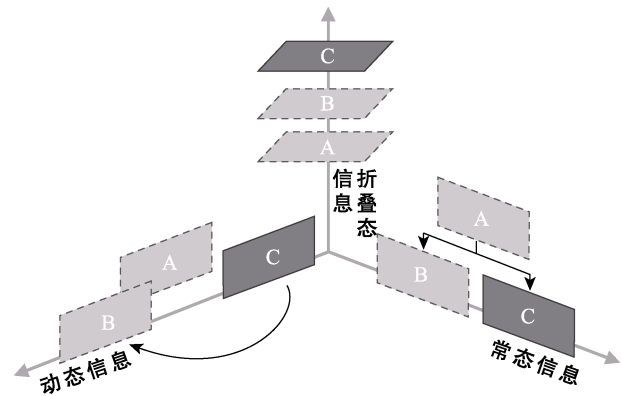


图 5 多维度信息架构
Fig.5 Multidimensional information architecture

由弯折形态展开时，信息架构同样需要从“折叠态信息”经过“动态信息”的演变，最终还原至“常态信息”，因此不论用户的行为路径走向如何，对信息架构的分析设计都是与柔性界面的形变相互呼应并动态匹配的。

以笔者团队的设计课题“FlexPaper——柔性显示

在智能读写场景的应用设计”为例，见图 6。该设计课题是从读写场景入手，来探索柔性显示与读写的结合，力求还原自然的读写体验，为用户提供全新的智能读写体验。在定义产品的信息架构时，首先需要对常态信息架构进行分析，并将信息情境细化为折叠态信息与动态信息。例如，当用户卷曲或翻折阅读屏幕时，在常态模式下处在第 1 层级的系统菜单、操作工具栏等界面控件，需要动态地适配到系统“后台”。当设备相对静止于卷曲或弯折模式时，信息架构需要经过动态适配过程后转为折叠状态，而当前场景不需要的功能信息组件便会智能地“折叠”到最后层。

谷歌 (Google) 曾在其推出的设计语言“Material Design”中强调了“交互方式趋同于自然、视觉呈现并回归于生活”的理念。其中，在关于导航 (Navigation) 的定义中提到了信息层级的三维空间关系，并将纸张叠放和抽取的动态关系直观地映射到系统的信息架构中。相较于常规界面中静态的层级结构，在柔性显示界面设计中，是以三维的层次感来区分操作区域的^[8]，通过可折叠的层级结构来架构信息

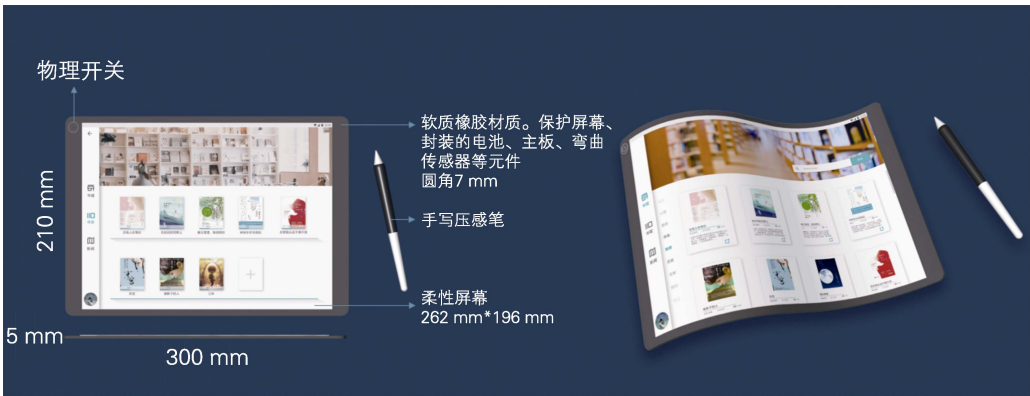


图 6 FlexPaper——柔性显示在智能读写场景的应用设计
Fig.6 FlexPaper: Flexible display for intelligent read/write scenarios

元素,以此实现用户在不同交互情境下的认知与需求变化,进而营造出更加自然与灵活的交互体验。

3.2 可折叠的界面布局

隐喻表达是用户界面设计中常用的表现手法之一。隐喻是将受众的已有认知,通过设计表达转接到设计目标的表现中。常规的图形用户界面,通常是基于桌面的隐喻,将设计目标抽象为桌面,可以帮助用户降低认知负荷。在面向柔性显示界面的设计中,不论是屏幕的物理形态,还是界面中内容元素的布局,都应与产品功能紧密相连。当柔性界面的物理形态发生形变时,原有图形用户界面的本体和喻体发生了改变,固定的“桌面”转为可弯折的新形态。这就需要在定义界面布局时,由基于桌面的隐喻转向基于弯折的隐喻。

安卓(Android)系统曾对部分折叠手机中的布

局进行了重新的设计和规划,规范了手机在折叠状态和展开状态时界面内容的布局变化。安卓工程副总裁戴夫·伯克(Dave Burke)在描述柔性手机的弯曲功能时说:“随着你的展开,系统应用会无缝地转移到更大的屏幕上,不会错过任何一个细节。”

当把相对静止的内容迁移到形态可变、曲率可变的柔性屏幕中时,需要定义适配于多样性的界面展现形式。与物理形态相呼应的界面布局见图7,其描述的是在“FlexPaper”的设计过程中,对屏幕在不同状态下对应的界面布局的设定。屏幕在水平状态时,界面显示的布局与常规阅读类产品一致。当用户对屏幕进行外折操作时,界面元素会向外扩展,阅读内容放大,系统的信息架构也会发生动态变化。反之,当用户对屏幕进行内折的交互行为时,操作界面元素向内挤压,界面内容与其对应的卷曲力度等比例缩小,此时的界面布局是阅读界面的缩略效果。

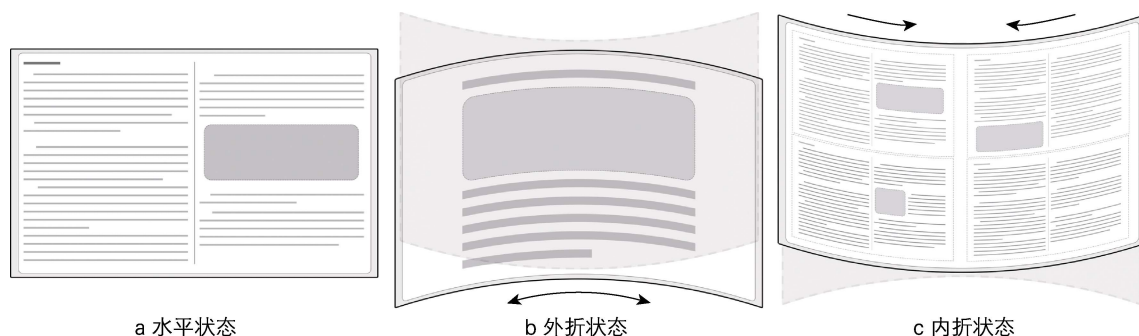


图7 与物理形态相呼应的界面布局

Fig.7 User interface layout corresponding to physical form

建筑师沙利文曾倡导建筑或物体的形状应该基于其预期的功能;包豪斯通过废除日常设计中的装饰来推广其理念;美国心理学家詹姆斯·吉布森(James Jerome Gibson)于1977年最早提出了可供性(Affordance)的概念。这些理论都指向了同一个主旨,即不论空间环境还是物体形态,都应面向用户行为来提供操作。在面向柔性显示界面的设计时,需要考虑基于弯折隐喻的界面布局设计,使界面布局与产品物理弯折形态相呼应。

3.3 软件硬件相结合的“所做即所得”

认知心理学家唐纳德·诺曼曾提到,设计实际是一种沟通行为,而设计师是在创造“行为”。针对输入和输出行为的研究是界面设计中的重要环节,交互行为的设计直接影响产品的用户体验。“所见即所得”(What You See is What You Get)是图形用户界面的设计理念之一,用户通过操作界面中的视觉元素来实现与信息互动。实验表明,形状的改变与人类正面或负面的情感表达有一定关系^[9],因此,在柔性显示界面的应用中,在遵循使用“所见即所得”设计理念的同时,需要将用户交互行为与产品“柔”的特性相结合,并引入针对柔性界面本身形态的操作,比如折

叠、翻转、弯曲等。软件与硬件的直观呼应,在概念上更简单,对用户的认知基础要求更低,因此将其称之为“所做即所得(What You Do is What You Get)”的交互逻辑。

在面向柔性阅读场景的交互行为研究中,在真实的柔性屏幕上引入弯曲手势,对有强烈方向性提示的动作,用户的交互行为与界面功能的反馈呈现出一致性。在研究过程中,依次通过假设、测试和验证等环节,最终定义了屏幕形态的10种交互行为,并针对不同的交互手势提出了对应的产品功能和界面反馈设计建议,见图8。除了点击、手势等操作之外,对柔性屏幕进行的弯折、卷曲等直接操作,都是面向柔性显示界面的输入方式。

在图形用户界面中,输入设备与输出设备是不同的且可以分离的,常表现为鼠标输入、显示器输出,这种分离与实体对象的交互通常是间接的^[10]。在柔性显示界面中,输入与输出是密不可分的,用户可以通过对产品硬件的操作来完成一部分输入,以此达到与屏幕状态、界面内容和信息反馈的真实映射。柔性界面状态的可变性和多样性极大地丰富了用户的输入体验,同时,屏幕曲率和形态的变化也是探索用户情感表达的通道之一。“所做即所得”的交互逻辑在遵



图 8 柔性阅读产品中的交互行为设定

Fig.8 Interactive behavior settings in flexible reading products

循使用自然交互语言的同时,与用户的心智模型也更加匹配,可以有效实现柔性显示中输入与输出的结合。

3.4 常规界面与柔性界面设计对比

相比常规的用户界面的设计原则与规范,在柔性显示界面的设计过程中,信息架构、界面布局和交互逻辑等方面都有较多改变,见表 2。首先,在信息架构的搭建过程中,需要依据产品情境来考量多维的信息架构,在信息传递、折叠等不同状态下设计可折叠的层级结构。其次,在基于桌面隐喻的基础上,需要更多地围绕柔性产品的形态特征及变化,引入弯折隐喻的设计表达方法,将设计语义与功能形态相匹配。此外,充分考虑用户的交互行为也是界面操作的一部分,需要将“所做即所得”的交互逻辑运用到用户交互行为和产品交互流程的设计中。

表 2 常规界面与柔性界面设计要点对比
Tab.2 Comparison between conventional interface and flexible interface design

	常规界面	柔性界面
信息架构 Information Architecture	静态的层级结构	可折叠的层级结构
界面布局 Layout	基于桌面隐喻的 界面布局	基于弯折隐喻的界 面布局
交互逻辑 Interaction	所见即所得	所做即所得

4 面向柔性显示的设计应用场景探究

随着学者在智能显示材料中的不断探索,任何一种媒介都有可能成为显示的载体。科技探索与设计创新之间始终存在互利共生的关系,从无处不在的计算逐渐发展为无处不在的显示,万物互联(IoT, Internet of Things)与万物显示(DoT, Display of Things)的愿景近在眼前。

4.1 将信息柔软的嵌入物理空间

非刚性、可变形是柔性显示界面的核心特征。在面向柔性显示界面的设计中,依托其“柔”的特性,

信息可以超越传统的刚性屏幕,从 X、Y 轴的二维空间逐渐向 X、Y、Z 轴的三维空间发展,为信息的展现提供了更多样的可能性。

例如在面向智能驾舱的设计探索中,“透明”A 柱^[11]的设计已经广泛应用于各厂商中。通过 AR 技术与柔性屏的结合,利用柔性显示的特点将 A 柱进行屏幕包裹,依靠外后视镜上的摄像头将 A 柱挡住的外部景象传入车载电脑,再投放到 A 柱内侧的柔性显示屏上,模拟出“透明”A 柱的效果,这解决了视觉盲区问题,并大幅提升了驾乘安全性。

1954 年建筑师弗兰克·劳埃德·赖特(Frank Lloyd Wrigh)倡导人类居住与自然世界和谐相处,并强调万物相互关联及自然界的共生秩序体系^[12]。基于柔性显示场景中可折叠的动态信息架构,在设计中将抽象的信息架构与具象的物理空间相融合,从而为原本无法显示的物理空间赋予一定的显示意义。此外,通过物联网、人工智能算法等技术,将虚拟与现实、信息与空间相融合,可以更加智能地将信息嵌入物理空间。

4.2 更为生态的智能反馈

柔性技术的应用不仅限于迭代已有屏幕的交互体验^[13],随着新的驱动装置和智能材料的增加,信息显示将从平面、有限、刚性的屏幕,逐渐拓展至灵活、无限、柔性的有机世界。纸、纺织物、木材、玻璃、毛发^[14]等任何材质都可以成为显示的载体,产品能否智能感知情境、解析环境,并通过动态变化来给予反馈,也是未来柔性显示场景的探索方向之一。2001 年布坎南(Richard Buchanan)提出了“设计四阶”模型^[15],其是从符号化的图形设计,到工业设计对物的定义,再到交互设计对行为的研究,最后到对环境的关注、对思维的解析,见表 3。这也对应了唐纳德·诺曼在情感化设计中提到的设计的 3 个维度:本能、行为、反思^[16]。

学者对智能建筑^[17]、动态雕塑^[18]、艺术装置^[19]等产品在主动感知、智能反馈等方面的研究已经展开。传统的图形用户界面通常由用户的“输入”触发“输出”,如滑动手势解锁、语音唤醒智能音箱、体

表 3 “设计四阶”模型
Tab.3 "Fourth order" design model

Symbols	Things	Action	Thought
Graphic Design			
	Industrial Design		
		Interaction Design	
			Environmental Design

感游戏中的挥拍打球等，通常以用户的行为引发运算并执行预设的任务。在智能感知和生态反馈的场景中，无处不在的计算与显示使普通大众可以更自然地体验智能生活场景，例如，柔性智能产品通过自身的形变来提醒用户，智能建筑通过主动开合窗扇来调节温度，动态雕塑通过环境的感知来调节自身的视觉呈现等。

不论是基于何种载体的显示媒介，对用户界面的研究终将超越传统的屏幕定义，设计对象最终关注的是技术与环境的融合，并以此构建人与自然、人与环境的关系。柔性显示形态的多样性、输入与输出的融合、交互方式灵活性等特征都会为设计者带来更多的创新机会。

5 结语

柔性显示技术的进步为界面设计的研究范围和应用场景提供了新的方向与构想，同时也充满了机遇与挑战。柔性显示界面的设计表达使传统用户界面中的数据信息和产品服务从二维的平面化陈列转向三维空间的延伸与扩展，信息架构从静态的层级表现转向动态的可折叠状态，柔性形态的多样性、输入与输出的融合、“所做即所得”等设计特征，都为界面设计的探索提供了生动的载体。

用户界面是信息传递的媒介，在设计过程中研究的始终是信息传递的路径和效率，研究的是人与人、人与物、人与系统、人与自然的关系，在柔性显示界面的设计中亦是如此。用户的认知习惯、心智模型和交互行为在不同的产品使用场景中具有明显的差异，而用户完成任务的时长、系统的可用性、命令的有效性，以及信息的易读性等指标都将直接影响产品的用户体验。设计准则与设计规范是保证产品质量和品牌价值的重要标准之一。在面向柔性显示的设计研究中，需要锲而不舍地探索、测试、迭代，从信息、交互、视觉等不同层面来多维度地构建完美的用户体验，并充分利用柔性显示载体所能提供的智能环境，通过智慧的解决方案，将人与数据、智能与情感、自然与社会更加优质地整合起来，以此不断追求绿色、可持续的设计理想。

参考文献：

[1] RASHID K, LIBESKIND F. Karim Rashid: I Want to Change the World[J]. Space, 2014, (10): 26-27.

[2] SMITH D, IRBY C, KIMBALL R, et al. Designing the Star User Interface[J]. Byte, 1990, 7(4): 653-661.

[3] Nokia Research Center. The Morph Concept[EB/OL]. (2008-02-12)[2021-05-01]. [Http://research.nokia.com/morph](http://research.nokia.com/morph) Nokia's Page Describing the Morph concept.

[4] VERTEGAAL R, POUPYREV I. Session Details: Organic User Interfaces[J]. Communications of the ACM, 2008, 51(6): 48-55.

[5] LG China. LG Flexible TV[EB/OL]. (2019-02-08)[2021-06-01]. <https://www.lg.com/global/lg-signature/rollableoled-tv-r>.

[6] 张千城. OPPO X 2021 卷轴屏概念机柔性屏手机新形态[J]. 计算机与网络, 2020, 46(23): 29.

ZHANG Qian-cheng. Oppo x 2021 Scroll Screen Concept Machine New form of Flexible Screen Mobile Phone[J]. Computer & Network, 2020, 46(23): 29.

[7] BURSTYN J, CARRASCAL J P, VERTEGAAL R. Fitts' Law and the Effects of Input Mapping and Stiffness on Flexible Display Interactions[C]// JOFISH K. CHI '16: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2016.

[8] 席乐, 尤阳. 浅析柔性显示技术在产品触摸操作界面设计中的应用[J]. 河南科技, 2013(11): 17-26.

XI Le, YOU Yang. Application of Flexible Display Technology in Product Touch Operation Interface Design[J]. Journal of Henan Science and Technology, 2013(11): 17-26.

[9] VERTEGAAL R. Organic User Interfaces (Oui!): Designing Computers in any Way Shape or Form[C]// AKL S G, CALUDE C S, DINNEEN M J. Unconventional Computation, Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Springer, 2007.

[10] STROHMEIER P, CARRASCAL J P, CHENG B, et al. An Evaluation of Shape Changes for Conveying Emotions[C]// JOFISH K. CHI '16: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2016.

[11] Visionox. "Transparent" A-Pillars in Cars[EB/OL]. (2019-04-16) [2020-05-01]. <http://www.visionox.com/news/show-1292.html>.

[12] TERRANOVA C, TROMBLE M. The Routledge Companion to Biology in Art and Architecture[M]. London: Routledge, 2016.

[13] 李北辰. 柔性技术将迎来“物种大爆发”[J]. 大数据时代, 2020(10): 52-57.

LI Bei-chen. Flexible Technologies will Usher in a “Big Bang”[J]. Big Data Time, 2020(10): 52-57.