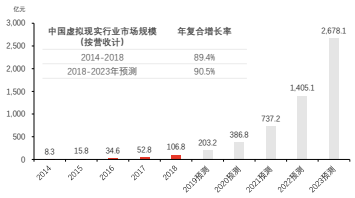
头豹 LeadLeo

400-072-5588

2019 年
中国虚拟现实关键技术概览

行业走势图



虚拟现实团队

贾雁 分析师

邮箱：eva.jia @frostchina.com

相关热点报告

- 虚拟现实系列深度研究——2019 年中国虚拟现实应用概览
- 虚拟现实系列深度研究——2019 年中国虚拟现实头显设备行业市场研究
- 虚拟现实系列深度研究——2019 年中国虚拟现实内容行业概览

报告摘要

虚拟现实呈像技术依托放大镜原理，在屏幕和透镜之间设定人眼一倍焦距（7 厘米）以内距离，通过镜片修正入射光、折射光，达到人眼能够看清眼球前 3 厘米至 7 厘米距离范围画面，并产生自然视觉体验的目标。虚拟现实技术链对应产业链，分为硬件、软件、交互、服务等部分。随虚拟现实设备结构逐渐成熟，其硬件技术趋于无线化，软件技术趋于云化，交互技术以全场景为发展目标。软硬件及交互技术成熟将带动虚拟现实消费级市场快速成长，远期在 5G 通信条件驱动下，虚拟现实产品形态将更加丰富。

热点一：虚拟现实硬件技术

虚拟现实核心硬件结构包括传感器、屏幕、处理器、光学组件。其中，透镜功能及屏幕质量是影响虚拟现实呈像效果的决定性因素。相对手机等较为普及的移动设备，虚拟现实设备组装件数量多，作业流程复杂，现阶段较难通过代工完成组装。

热点二：虚拟现实软件技术

虚拟现实软件技术可根据内容制作流程分解为建模、真实世界数据跟踪、仿真、渲染等关键步骤。虚拟现实内容以建模技术（静态建模、动态建模）、全景拍摄技术为基础，以绘制、渲染、仿真等技术为辅。其中，拍摄、绘制步骤成本较低，建模、渲染、仿真步骤成本较高，约占内容创作成本 70%或以上。

热点三：虚拟现实交互技术

人机交互技术以人类交流方式作为参考，意在通过设备和界面实现人与机器之间的类人交流。虚拟现实交互技术相对传统人机交互更强调沉浸式交互体验，更具备拟人特征。具体技术包括眼动追踪交互、手势交互、表情交互、语音交互等。多通道交互技术条件下，虚拟现实用户沉浸感更强。

目录

1 方法论 5

1.1 方法论 5

1.2 名词解释 6

2 虚拟现实技术综述 8

2.1 虚拟现实工作原理 8

2.2 虚拟现实技术分类 8

3 虚拟现实硬件技术 10

3.1 传感器 10

3.2 屏幕 11

3.3 光学透镜 14

4 虚拟现实软件技术 18

4.1 三维建模技术 18

4.2 动态绘制技术 21

4.3 物理仿真技术 22

4.4 三维全景技术 24

4.5 虚拟现实软件工具 25

5 虚拟现实交互技术 27

5.1 眼动追踪交互.....27

5.2 手势、姿势交互.....30

5.3 表情交互.....33

5.4 语音交互.....34

5.5 多通道交互.....35

图表目录

图 2-1 虚拟现实设备通过左右眼屏幕不同画面呈现虚拟现实效果 8

图 3-1Oculus 系列虚拟现实设备组装件拆分简图 10

图 3-2 不同参数级别屏幕对应产品定位分类 12

图 3-3 虚拟现实硬件设备搭载不同比例屏幕 13

图 3-4 不同像素密度水平画面质量对比 14

图 3-5 传统菲涅尔透镜及创新混合型菲涅尔透镜 15

图 3-6Valve 开发并采用双晶光学透镜 16

图 3-7 纳米材料超薄透镜结构及原理 17

图 4-1 虚拟现实内容制作流程分解示意图 18

图 4-2 几何物体模型体素示例 19

图 4-3 线性插值法建模（左）与三次样条插值法建模（右） 20

图 4-4 主流 3D 设计软件根据成本、使用难度指标划分 21

图 4-5 图形实时动态绘制、图像实时动态绘制示例 22

图 4-6 碰撞检测分为硬碰撞、软碰撞、间隙碰撞三种 24

图 4-7 三维全景拍摄工具软件示例（QuickTimeVR、杰图造景师） 25

图 5-1 眼动仪探测瞳孔及普尔钦斑位置原理 28

图 5-2 不同眼动追踪方法性能表现 29

图 5-3 代表性虚拟现实手套产品及其特点 31

图 5-4 视频手势识别代表产品（微软 Kinect、Leap Motion） 31

图 5-5 虚拟现实手套惯性单元手势识别示例 32

图 5-6 虚拟现实表情交互系统组成部分简图 33

图 5-7 二叉树分类器方案应用于表情交互系统.....34

1 方法论

1.1 方法论

头豹研究院布局中国市场，深入研究 10 大行业，54 个垂直行业的市场变化，已经积累了近 50 万行业研究样本，完成近 10,000 多个独立的研究咨询项目。

- ✓ 研究院依托中国活跃的经济环境，从 8K 屏幕、建模仿真、人机交互等领域着手，研究内容覆盖整个行业的发展周期，伴随着行业中企业的创立，发展，扩张，到企业走向上市及上市后的成熟期，研究院的各行业研究员探索和评估行业中多变的产业模式，企业的商业模式和运营模式，以专业的视野解读行业的沿革。

- ✓ 研究院融合传统与新型的研究方法，采用自主研发的算法，结合行业交叉的大数据，以多元化的调研方法，挖掘定量数据背后的逻辑，分析定性内容背后的观点，客观和真实地阐述行业的现状，前瞻性地预测行业未来的发展趋势，在研究院的每一份研究报告中，完整地呈现行业的过去，现在和未来。

- ✓ 研究院密切关注行业发展最新动向，报告内容及数据会随着行业发展、技术革新、竞争格局变化、政策法规颁布、市场调研深入，保持不断更新与优化。

- ✓ 研究院秉承匠心研究，砥砺前行的宗旨，从战略的角度分析行业，从执行的层面阅读行业，为每一个行业的报告阅读者提供值得品鉴的研究报告。

- ✓ 头豹研究院本次研究于 2019 年 11 月完成。

1.2 名词解释

- **普尔钦斑**：由进入瞳孔的光线在角膜外表面反射产生的亮光点。
- **虹膜**：眼球壁中层的扁圆形环状薄膜，位于角膜和晶状体之间。虹膜主要由结缔组织构成，内含色素、血管、平滑肌。
- **角膜**：眼球壁外层前部圆形透明部分，占外层面积六分之一，约 1 毫米厚，主要由无血管结缔组织构成，具备折光作用。
- **瞳孔**：动物眼或人眼内虹膜中心小圆孔，为光线进入眼睛的通道。瞳孔括约肌收缩可使瞳孔缩小，瞳孔开大肌收缩可使瞳孔散大，瞳孔通过开大与缩小控制进入人眼的光量。
- **视场**：摄像头能观察到的最大范围，通常以角度表示，视场越大则观测范围越大。
- **FOV**：视场角，光学环境中以光学仪器镜头为顶点，被测目标可通过镜头最大范围两条边缘构成的夹角。显示系统中指显示器边缘与观察点（眼睛）连线形成的夹角。
- **马尔可夫模型**：统计模型，广泛应用于语音识别、词性自动标注、音字转换、概率文法等自然语言处理场景。
- **视觉算法**：机器视觉，机器模拟动物视觉的算法。视觉算法由图像算法、分类和拟合算法组成。
- **惯性传感器**：用于检测和测量加速度、倾斜、冲击、振动、旋转和多自由度（DoF）运动数据指标的传感器，是解决导航、定向问题和进行运动载体控制的重要部件，包括加速度计（或加速度传感计）、角速度传感器（陀螺）等。
- **DoF**：Degree of Freedom，力学系统中表示独立坐标个数，包括平移自由度、转动自由度、振动自由度等。
- **SDK**：软件开发工具包，广义上指辅助开发某一类软件的相关文档、范例和工具集合。狭义上指针对软件工程师的特定软件包、软件框架、硬件平台、操作系统等软件创作开

发工具集合。

- **双晶：**两个或两个以上同种晶体规则连生，其中一个晶体是另一个晶体的镜像反映或其中一个晶体旋转 180°后与另一个晶体重合或平行。
- **余晖：**动态播放内容在终端呈现上一帧画面残留的现象。
- **体素：**体积元素，数据于三维空间可被分割的最小单位，概念上类似二维空间最小单位“像素”，应用于三维成像、科学数据与医学影像等领域。
- **交互：**互联网平台交流互动功能。用户通过具有交互功能的互联网平台可获得所需资讯、信息、服务，且可与其他用户或平台之间相互交流、互动。
- **线性插值：**插值函数为一次多项式的插值方式，插值节点误差为零。线性插值相对其他插值具有简单、方便等特点。
- **三次样条插值：**通过求解矩阵方程组得出曲线函数组的过程，表现为通过一系列插值点的光滑曲线。
- **关键帧：**角色或物体运动、变化中关键动作所处的帧。关键帧与关键帧之间动画可由软件创建，称为过渡帧、中间帧。
- **PPI：**Pixels Per Inch，像素密度，表示每英寸画面像素数量。PPI 数值越高，代表显示屏能以越高密度显示图像，密度越高，拟真度越高。
- **RGB：**工业界颜色标准，通过对红（R）、绿（G)、蓝（B)三个颜色通道变化及其叠加效果获得各类颜色。
- **曲率：**表示曲线偏离直线的程度。数学上指曲线在某一点弯曲程度的数值。

2 虚拟现实技术综述

2.1 虚拟现实工作原理

人眼观察事物主要依靠晶状体折射并传递光线功能。因晶状体弹性有限，人眼难以看清眼球前方 7 厘米以内画面。虚拟现实呈像技术依托放大镜原理，在头显设备屏幕和透镜之间设定一倍焦距以内距离，通过透镜修正入射光、折射光，以达到人眼能够看清眼球前方 3 厘米至 7 厘米距离范围画面并产生自然视觉体验的目标。**虚拟现实设备根据人眼观察事物原理，左右眼屏幕设置不同观察角度画面，以达到虚拟现实自然仿真效果**（见图 2-1）。

图 2-1 虚拟现实设备通过左右眼屏幕不同画面呈现虚拟现实效果



来源：头豹研究院编辑整理

2.2 虚拟现实技术分类

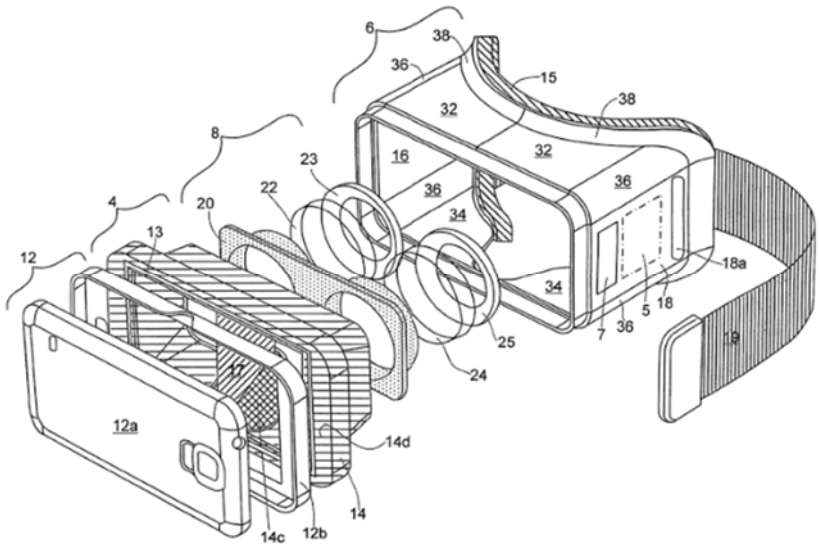
虚拟现实技术链对应虚拟现实产业整体构成（硬件设备、软件系统、交互辅助设备、运营服务等），可分为硬件技术、软件技术、交互技术等。其中，硬件核心技术涉及传感器、显示屏、处理器、光学设备等。软件技术以内容制作相关建模技术、绘制技术、全景技术、仿真技术为主。交互技术从传统手柄手势交互逐渐拓展至语音、表情、眼动追踪等多元交互技术领域。

随虚拟现实设备结构逐渐成熟，其硬件技术将趋于无线化，软件技术趋于云化，交互以全场景应用为发展目标。技术成熟将带动虚拟现实消费级市场快速成长，远期在 5G 通信条件驱动下，虚拟现实产品形态将更加丰富，商业模式将更加成熟。

3 虚拟现实硬件技术

虚拟现实核心硬件结构包括传感器、屏幕、处理器、光学组件**。其中，透镜功能及屏幕质量是影响虚拟现实呈像效果的决定性因素**虚拟现实设备相对手机等较为普及的移动设备较为复杂，组装件数量多，作业流程复杂，现阶段较难通过代工完成组装。如 Facebook 开发的 Oculus 系列虚拟现实设备元件数量超过 200 个，约为智能手机组装件数量 4 倍至 5 倍（见图 3-1）。

图 3-1Oculus 系列虚拟现实设备组装件拆分简图



来源：Facebook 官方，头豹研究院编辑整理

3.1 传感器

传感器设备可赋予物体感知压力、气味、光线、温度等指标的信息检测能力，在信息处理层面包括数据传输、存储、显示、记录等功能。传感器基本元件可按检测指标对象不同分为十种（力敏、磁敏、放射线敏感、热敏、光敏、色敏、湿敏、气敏、声敏、味敏）。随落地场景不断拓展（机械加工、智能手机、汽车制造等），传感器向智慧化、云化、多元化方向发展，在规格上趋于微型化、系统化。

虚拟现实是对现实世界的高精度仿真，其硬件设备对传感器数据传输精度和速率要求较

高，多采用 IMU 惯性传感器、动作捕捉传感器及其他类型传感器。

IMU 惯性传感器多用于人头部动作跟踪、捕捉，是虚拟现实硬件设备中的核心构成。虚拟现实数字视觉画面主要以人体头部朝向作为校准坐标，IMU 惯性传感器捕捉头部运动的准确性和实时性决定用户体验（视觉画面随头部运动实时变化、交互信息随头部运动实时更新）。根据感知对象不同，IMU 惯性传感器可细分为陀螺仪、地磁传感器、加速度传感器等。

动作捕捉传感器多用于交互，可全方位捕捉肢体动作（横向移动、纵向移动）。根据具体方案不同，动作捕捉传感器可细分为红外传感器、激光定位设备等。

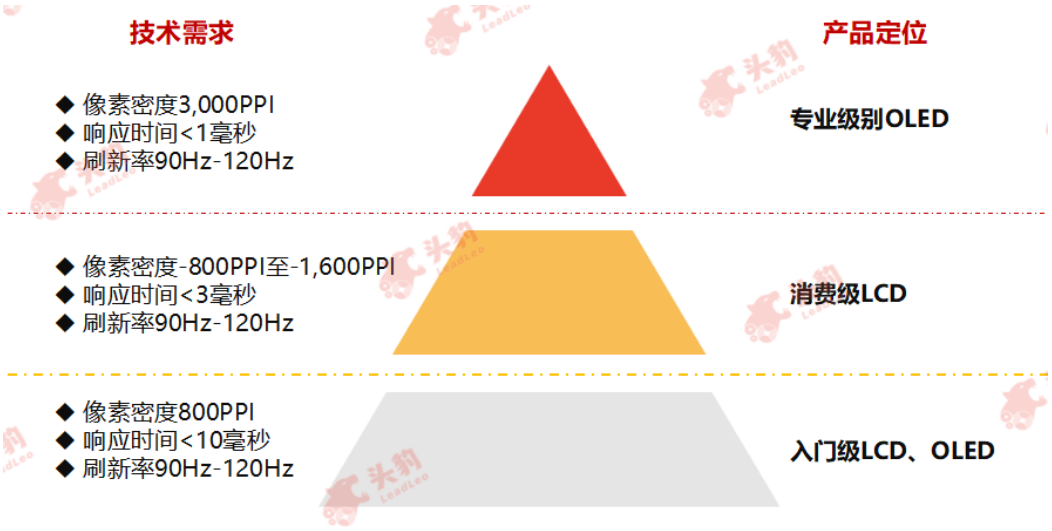
其他类型传感器包括眼动追踪红外摄像头、电容感应传感器、接近传感器等，具备手势识别、眼球活动追踪等功能。

现阶段，中国虚拟现实设备传感器以进口产品为主（多从美国、日本进口），国产化率较低。全球范围内，一流大厂垄断虚拟现实传感器市场。为进一步降低虚拟现实终端硬件配置成本，完善设备功能，提高用户体验，中国企业需加大传感器自主研发力度。

3.2 屏幕

屏幕显示方式包括直视显示、微显示等，直视显示多应用于电视、手机、平板电脑、笔记本电脑等设备。虚拟现实设备属于直视型设计人眼可见画面设备，其直视显示方式主要包括 LCD、OLED 两种（见图 3-2）。

图 3-2 不同参数级别屏幕对应产品定位分类



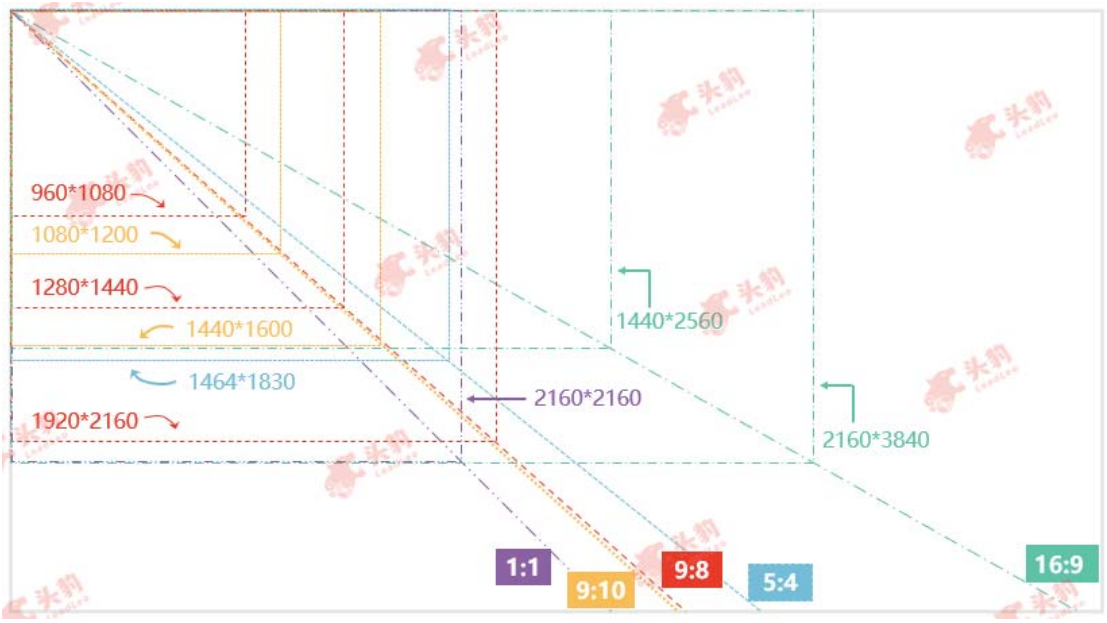
来源：头豹研究院编辑整理

虚拟现实屏幕呈像效果受视场角、分辨率、像素密度等因素影响。现阶段具备虚拟现实屏幕研发制造能力的企业包括京东方、创维、三星、Kopin、JDI 等。远期随显示屏产业链技术成熟，虚拟现实屏幕成本有望持续降低。

（1） 分辨率

虚拟现实设备引发视觉疲劳、眩晕等问题多由屏幕呈像质量较低导致。为保证终端用户良好视觉体验，头显设备屏幕需达到单眼 4K 分辨率、双眼 8K 分辨率水平。不同厂商采用头显设备屏幕规格不同，其比例需满足单眼 4K 分辨率要求（见图 3-3）。

图 3-3 虚拟现实硬件设备搭载不同比例屏幕



来源：头豹研究院编辑整理

（2） 像素密度

像素密度是决定画面质量的核心参数，屏幕像素密度越高，画面细节越丰富。视网膜级别屏幕像素密度为每度 60 像素，高于每度 60 像素时，人眼已无法分辨额外画面细节差异。

虚拟现实屏幕像素密度可通过基本计算获得。以 Oculus DK1 为例，该头显屏幕具备单眼 640×800 像素体量，单眼水平视场度为 90，以单眼横向像素数量除以水平视场度可得到 7 像素密度，明显低于人眼视网膜像素密度。随技术发展，虚拟现实屏幕像素密度不断提高，如 Sensics 系列产品最高已可达到 32 屏幕像素密度（见图 3-4）。

图 3-4 不同像素密度水平画面质量对比

硬件型号	单眼水平像素	像素密度
Oculus DK1	640	7
HTC Vive	1080	11
Sensics dSight	1920	20
Sensics zSight1920	1920	32
人眼视网膜	/	60



低像素密度



高像素密度

来源：头豹研究院编辑整理

3.3 光学透镜

虚拟现实硬件设备核心光学组件为透镜。为在虚拟视觉环境中实现自然画面深度、扩大视觉范围，虚拟现实硬件设备需采用特定形状透镜。**透镜与眼球间距离较小情况下，可采用薄透镜扩大视场；透镜较厚情况下，需缩短透镜与眼球间距以扩大视场。**

虚拟现实头显设备重量影响终端用户体验，薄透镜有助于减小头显体积、减轻头显重量，轻型透镜受到设备厂商推崇。**但相对普通厚度透镜，薄透镜加工难度较高（普通透镜厚度为毫米级别，薄透镜厚度为纳米级别，最薄约 6.3 纳米），且易导致呈像失真、色差大等问题。**

虚拟现实硬件设备多采用菲尼尔透镜，并逐步向混合型菲涅尔透镜、双晶透镜、超材料薄透镜等方向发展。

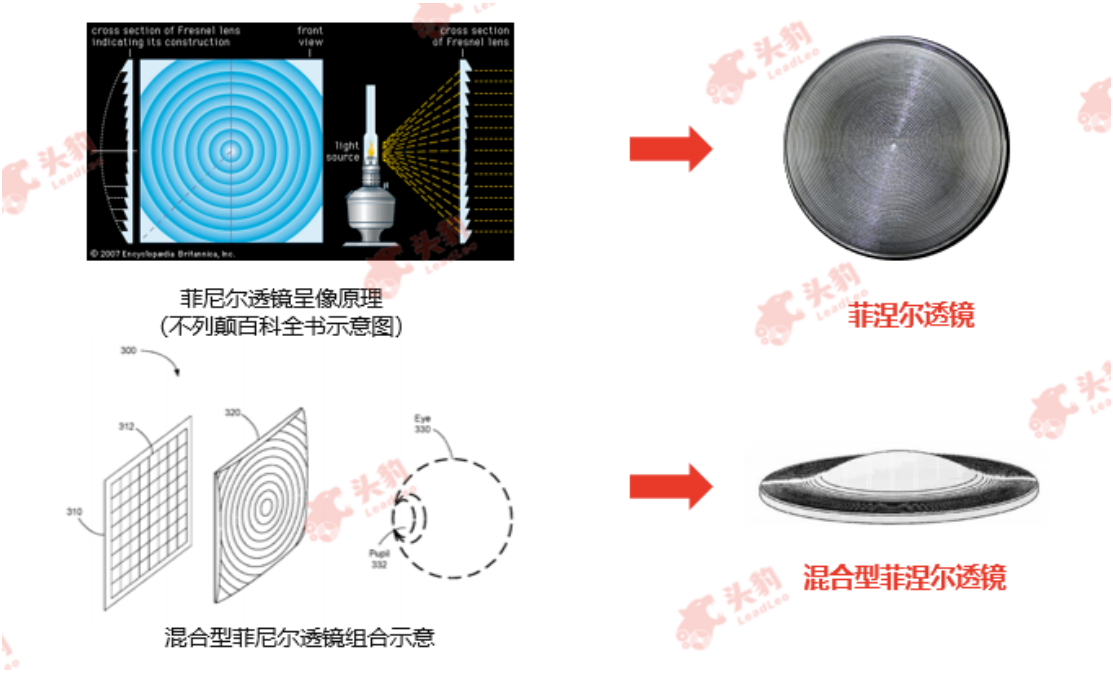
（1） 菲涅尔透镜

菲尼尔透镜较为轻薄，其锯齿状侧面结构有利于保证近距离画面呈像效果稳定性。受制于设备构造及功能要求，头显硬件开发工程师多选择菲涅尔透镜。当前采用菲涅尔透镜的主流虚拟现实设备包括 HTC Vive、Oculus Rift 等。

菲涅尔透镜在具备轻薄、稳定等优势的同时，在曲率准确性方面存在局限。光线通过菲

涅尔透镜表面多层次螺纹后，无法聚焦于同一点，影响画面清晰度，曲率准确度相对普通透镜较低。为弥补曲率及焦点部集中问题，Facebook 研发人员尝试开发混合型菲尼尔透镜，将菲涅尔脊体向外围移动，以提高光学清晰度，优化曲率准确性（见图 3-5）。

图 3-5 传统菲涅尔透镜及创新混合型菲涅尔透镜



来源：不列颠百科全书官网、阿里巴巴官网、美国专利局，头豹研究院编辑整理

（2） Valve 双晶透镜

HTC 基于菲涅尔透镜研发 Valve 双晶透镜，并通过搭配屏幕柔光镜来提高虚拟现实呈像效果。Valve 系列 Index 头显是采用双晶透镜的具体案例（见图 3-6）。双晶透镜有助于提高画面透明度并减少透镜失真问题，但可能导致透镜眩光等不良视觉效果。

图 3-6Valve 开发并采用双晶光学透镜



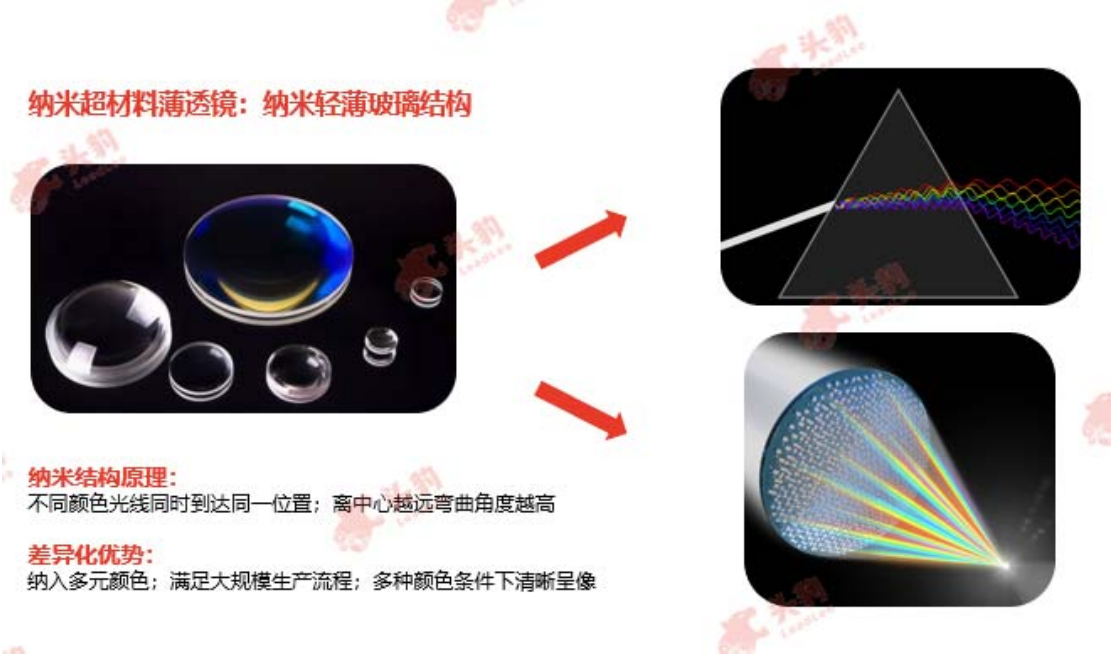
来源：GamerToTheEnd 官网，头豹研究院编辑整理

为缓解双晶光学组件可能产生的不适感，设备厂商可选择搭配屏幕柔光镜（柔焦镜）。屏幕柔光镜表面凹凸不平，本质为经过腐蚀的透明玻璃。光线通过柔光镜发生散射现象，进而达到画面轮廓柔化效果。轮廓柔化有助于减少因图像模糊而导致的纱窗效应，改善用户视觉体验。

（3） 新型透镜

应用于虚拟现实设备的新型透镜可以纳米超材料薄透镜为例。2018 年，哈佛大学保尔森工程研究员发表以纳米超材料透镜为主题的论文。该透镜通过特殊结构可控制不同波长的光线聚焦水平，有助于达到薄透镜清晰呈像目标（见图 3-7）。

图 3-7 纳米材料超薄透镜结构及原理



来源：Nature Nanotechnology 官方、《光学快报》期刊，头豹研究院编辑整理

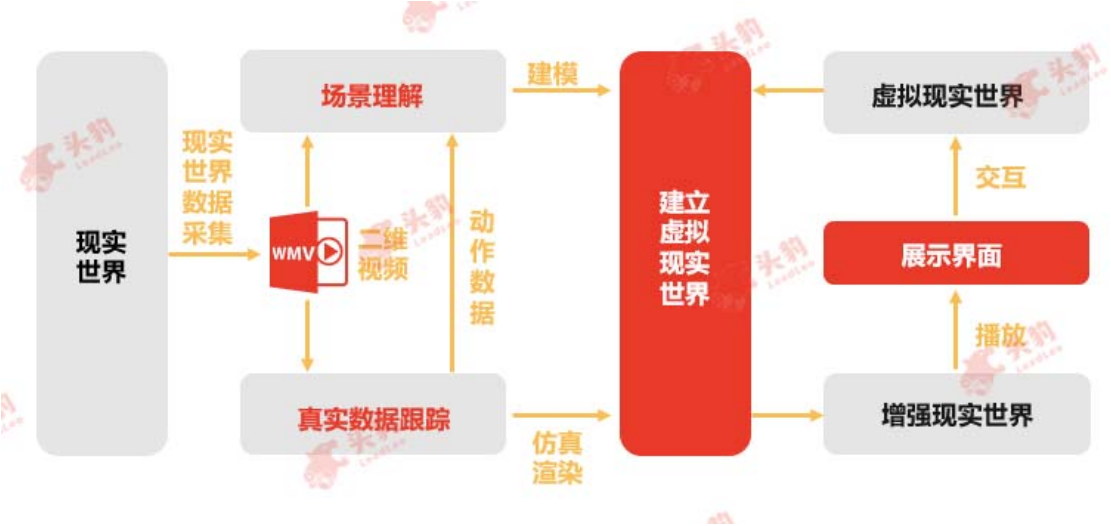
传统透镜采用曲面玻璃，不同波长光线通过曲面玻璃无法聚焦于相同位置，从而导致画面模糊问题。传统设备厂商多采用多透镜设置方式，但多透镜导致设备重量、厚度、复杂度增加，同时推高制造成本。

纳米超材料薄透镜采用矩形纳米结构，相对玻璃结构厚度降低约 1,000,000 倍。该种透镜由二氧化钛制成，构造更加紧凑，可将光谱中不同颜色光线聚焦于一点，支持更广光谱范围高质量成像，无需多透镜设置即可实现多种颜色环境下清晰呈像。

4 虚拟现实软件技术

虚拟现实软件技术可根据内容制作流程分解为数据跟踪、建模、仿真、渲染等关键步骤（见图 4-1）。虚拟现实内容以建模技术（静态建模、动态建模）、全景拍摄技术为基础，以绘制、渲染、仿真等技术为辅。**其中，拍摄、绘制步骤成本较低，建模、渲染、仿真步骤成本较高，约占内容创作成本 70%或以上。**

图 4-1 虚拟现实内容制作流程分解示意图



来源：头豹研究院编辑整理

4.1 三维建模技术

（1） 建模技术指标

建模过程是将真实物体几何信息数据结构及物体运动数据结构复刻至虚拟环境的过程。虚拟现实内容建模质量直接影响用户体验，建模水平可根据以下四个关键技术指标衡量：

① **精确度：**不同类型内容对建模精确度要求各异。2018 年以来，中国约 30%虚拟现实内容产品围绕 To B 端企业培训主题制作，其中高危、高精尖类职业培训内容（如手术、军事训练等）对建模精确度要求较高，手术培训场景精确度须达到 90%或以上。

② **显示速度：**为保证用户获取连续视觉观感，基于模型的虚拟图像更新频度须达到每秒 20 次以上。显示频度低于 20 次时，用户易受余晖、画面延迟等问题干扰。

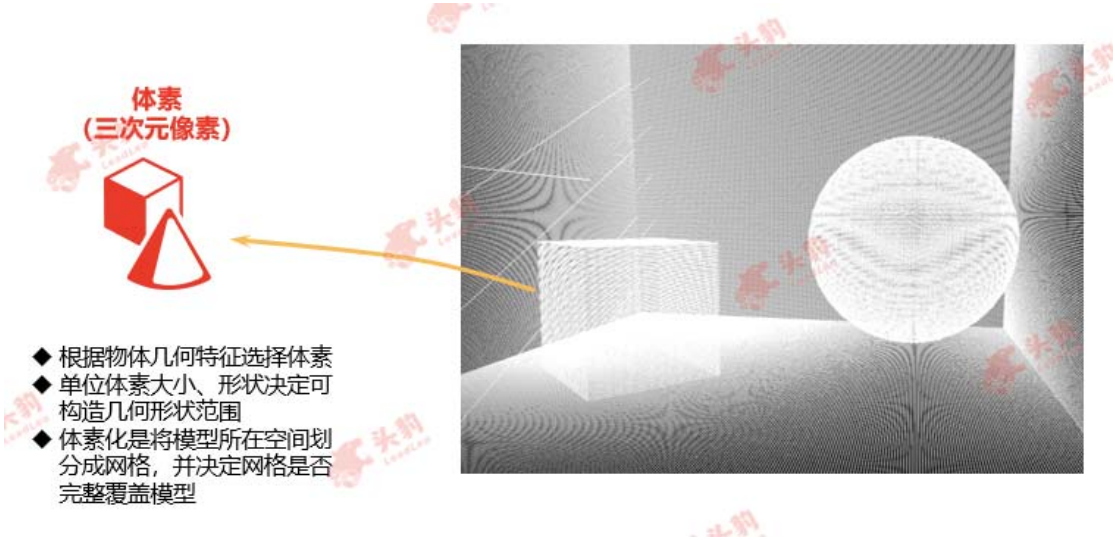
③ **操作效率：**模型建立需充分考虑物体运动路径之间是否有冲突，不同物体运动频度是否协调。运动轨迹协调度对终端用户交互体验影响较大，运动速率不协调易导致晕动症等问题。

④ **构造难度：**过于复杂的模型构造易导致计算量过大，构造迟缓等问题。模型建立需满足快速构造、快速显示的需求。

（2） 静态几何建模技术

技术人员基于物体几何性质，研究图形数据结构，在数字世界构造物体原子单位。原子单位表现形式为“体素”，模型体素大小、类型选择决定几何物体范围（见图 4-2）。

图 4-2 几何物体模型体素示例



来源：CDSN 官网，头豹研究院编辑整理

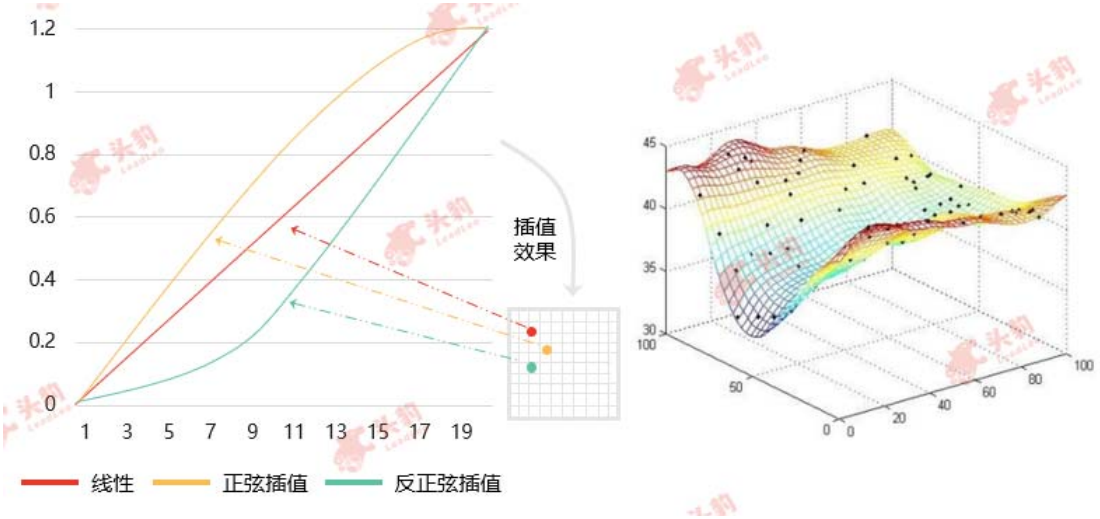
几何建模具体方法包括层次建模和属主建模两种。层次建模用树形结构分析实际物体几何形状构成，树形图示有利于复杂物体结构简单化及后续修改。属主建模法具备多元母版几何模型，属主母版包含详细几何结构，技术人员可在复制属主母版基础上进行加工达到具体物体建模需求。

（3） 动态行为建模技术

行为建模以物体运动轨迹为描述对象，多以动画形式呈现。行为建模技术可具体分类为运动学法和动力学仿真法（见图 4-3）。

① **运动学法**通过几何变换（平行移动、旋转等）描述运动，无需掌握物体运动力学物理特征。以关键帧动画为例，设计人员可通过几何图形快速变化实现物体运动效果。以内插帧动画为例，设计人员可采用线性插值和三次样条插值等手段达到动态建模效果。

图 4-3 线性插值法建模（左）与三次样条插值法建模（右）



来源：阿里云、MATLAB 论坛官网，头豹研究院编辑整理

② **动力学仿真法**区别于运动学法，技术人员需充分了解物体运动物理特征，通过严格计算得到描述物体质量、惯性、作用力等物理属性的数据。动力学仿真法描述运动更符合真实物体运动规律，适合交互操作较为复杂的内容。如培训类虚拟现实内容对交互仿真度要求较高，更适于采用动力学仿真法建模。

（4） 虚拟现实建模软件

技术人员常用虚拟现实建模软件包括 3dsMax、MAYA、Creator 等，不同软件价格、使用难度各异（见图 4-4）。随软件技术成熟，操作简单、成本低廉的 3D 建模软件如谷歌、Block、Medium、Quill、微软 Paint3D 等平台可为设计人员提供沉浸式控制器简易 3D 模型制作服务。

图 4-4 主流 3D 设计软件根据成本、使用难度指标划分



来源：头豹研究院编辑整理

成本、使用难度较为适中的常用虚拟现实建模软件可以 3dsMax、MAYA、Creator 为例：

① **3dsMax** 软件由美国 Autodesk 开发，具备三维建模、体素制作、光效设定、高速摄像机、特效创作、渲染等多元功能，可提供静态建模及动态建模解决方案。

② **MAYA** 具备建模、动画、特效创作、渲染等功能，相对 3dsMax 更适于制作大型游戏、电影等内容建模。

③ **Creator** 由 MultiGen Paradigm 开发，具备矢量建模、各种地形精确生成等功能，可提供大面积 3D 地形构造方案，可生成、优化三维数据库。

4.2 动态绘制技术

（1） 动态绘制技术原理

动态绘制技术以形状或图像为描述对象，通过计算机绘制手段为用户提供可从任意角度、任意视点实时观察的三维图像。评价动态绘制效果的关键技术指标包括图像刷新频率及反馈时长等。

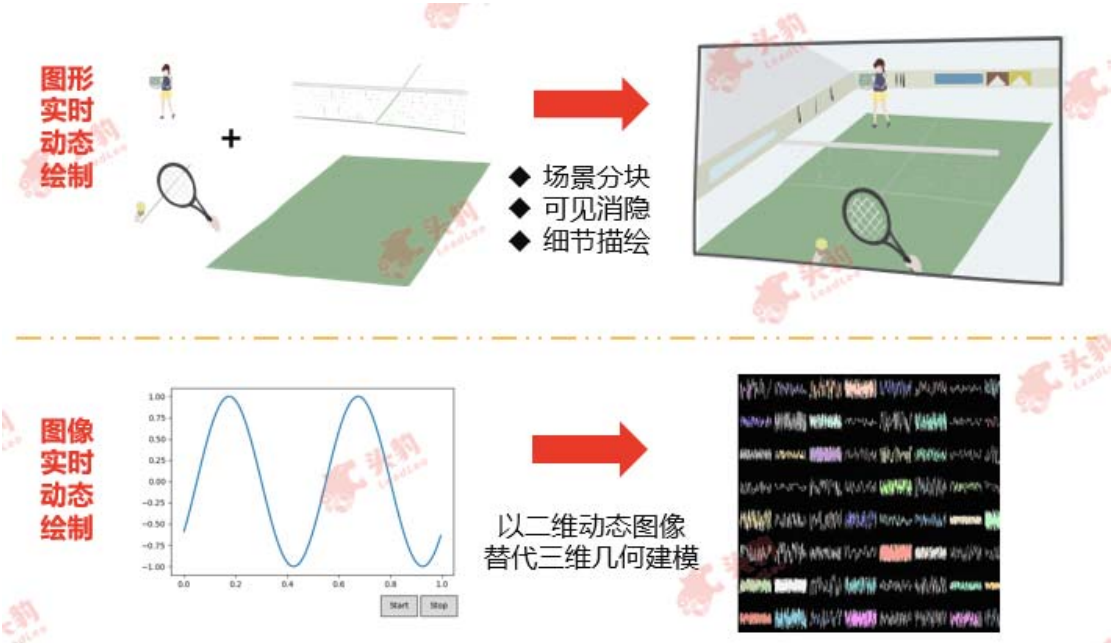
① **刷新频率：**为保证虚拟现实动态画面正常演示，设计人员需保证动态绘制刷新频率不低于每秒 60 帧。

② **反馈时长：**虚拟现实内容交互过程中，从用户发起动作到显示器给予反馈之间的时差称为响应时长，动态绘制画面响应时长需保持在毫秒级别。

（2） 动态绘制技术分类

根据绘制对象不同，动态实时绘制技术可细分为图形绘制、图像绘制两种（见图 4-5）。其中，图形动态绘制包括场景分块、细节选择等具体操作。图像动态绘制多用二维空间形状动态实时变化替代三维几何建模。虚拟现实内容创作过程采用图像动态绘制技术相对采用三维几何建模技术可节省约 40%时间成本。

图 4-5 图形实时动态绘制、图像实时动态绘制示例



来源：CDSN 官网，头豹研究院编辑整理

4.3 物理仿真技术

（1） 物理仿真技术原理

物理仿真技术基于动力学、生物力学等物理定律，模拟、控制数字化物体运动模式。采用该技术创作的虚拟现实内容普遍受物理规律支配。通过物理仿真技术，创作人员可设计出

高度自然、逼真的动画效果。

（2） 物理仿真技术特点

物理仿真技术在几何运动控制方面相对建模技术、绘制技术更具优势，具体如：

① 可创建完全符合真实运动特征、力学特征的运动轨迹（如体育训练、军事训练内容）；

② 交互层面相对关键帧技术、动态图像实时绘制技术精确度提高 30%以上。

该技术劣势在于计算量过于庞大，需占用大量 CPU 处理时间解决力学运动公式计算问题。**同类画面内容条件下，物理仿真技术计算量约为建模技术计算量 5 倍或以上，约为动态绘制技术计算量 10 倍或以上。**

（3） 物理仿真技术示例

① 建立数学模型

技术人员根据虚拟现实内容需求，建立行为、运动数学方程组，并通过数学模型公式设定对象外观特征（体积、颜色、形状）、物理特征（重量、硬度）及相关物理规则（引力、阻力）。

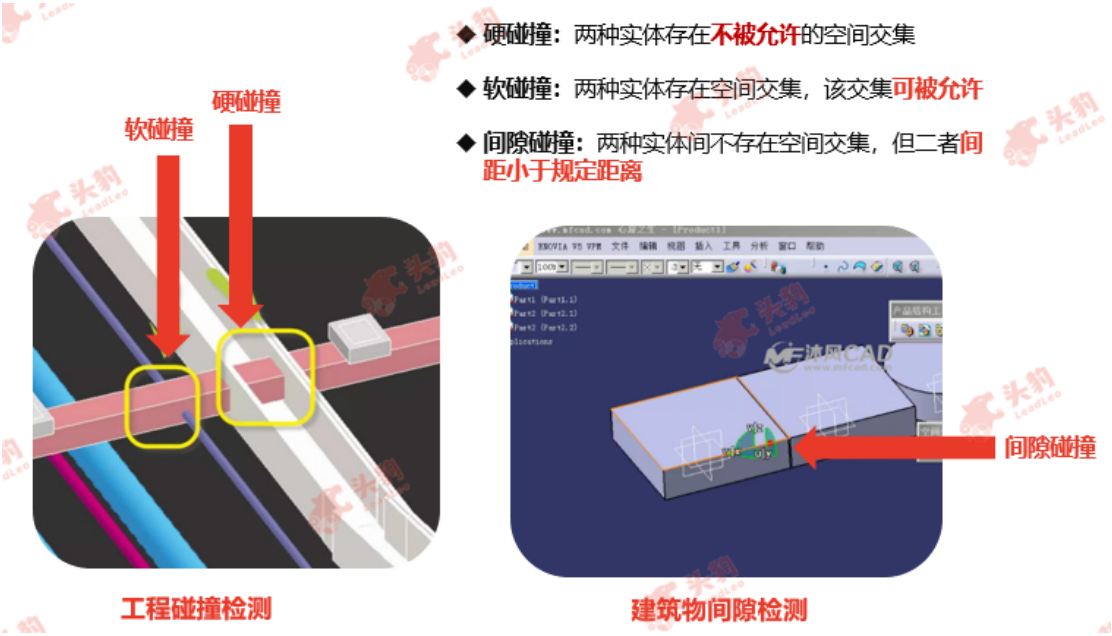
② 设定物理属性

设计人员预先设定虚拟物体运动物理过程，利用软件公式描述物理过程，通过计算机命令程序实现模型物理属性、力学特征。

③ 进行碰撞检测

碰撞检测是虚拟现实内容创造沉浸感的关键技术环节，技术人员需通过仿真软件检测画面是否存在物体碰撞，并推算碰撞位置、碰撞连续反应（见图 4-6）。

图 4-6 碰撞检测分为硬碰撞、软碰撞、间隙碰撞三种



来源：轨道科技官网、Navisworks 官网，头豹研究院编辑整理

4.4 三维全景技术

（1） 三维全景技术原理

三维全景技术以图像绘制技术为基础，通过相机拍摄获取图像，并按序列进行样本折叠、变换，最终投影至观察表面（可为柱体表面、立方体表面、球面等）。画面投影后需进一步进行拼接、融合等技术处理。

三维全景拍摄工具软件包括 QuickTimeVR、IPIX、杰图造景师等（见图 4-7）。

图 4-7 三维全景拍摄工具软件示例（QuickTimeVR、杰图造景师）



来源：杰图软件官网、QuickTime 官网，头豹研究院编辑整理

（2） 三维全景技术分类

① **全景图拍摄技术：**原始平面图像获取工具包括特殊摄像设备（全景照相机、鱼眼镜头相机、全景头摄像机）和普通照相机。拍摄方法包括定点拍摄（以三脚架为支撑围绕相机光心旋转）、视点拍摄（相机于统一水平面，不同位置完成拍摄）。

② **全景图拼接技术：**通过定点拍摄方法获取的图像为同一视线不同视角画面，图像拼接过程较为简单，可以重叠区域为参考进行平滑拼接。通过视点拍摄获取的图像取自不同视点，拼接过程需对重叠区域进行缩放操作，通过视图变换等方式求解不同图像对应点。

③ **全景图融合技术：**融合技术目的在于消除拼接过程造成的图像缝隙，大幅缩减图像拼接处亮度、色度、对比度等方面的差异。具体操作方法包括渐入渐出、像素重新融合等。

4.5 虚拟现实软件工具

现阶段可应用于虚拟现实内容开发的常用软件工具约有 50 款或更多，每年全球新增相关软件工具约 10 款。虚拟现实软件具体可以 Vega Prime 及 Virtools 为例。

（1） Vega Prime

Vega Prime 由 MPI 开发，该软件基于 MPI 原有 API Vega Scene Graph 升级而成，

具备源代码单一、高定制化、跨平台、可扩展等优势。技术人员利用该款软件可进行虚拟现实界面设计、仿真程序设计等开发工作。

（2） Virtools

Virtools 由法国 Dassault 集团开发，是一款 3D 环境实时编辑软件，具备界面完善、学习成本低、2D 与 3D 图像声音整合等优势。

技术人员可利用 Virtools 制作沉浸感较强的虚拟环境，通过视觉、听觉、触觉多角度设置人机交互机制。通过 Virtools 制作虚拟现实 3D 产品可广泛应用于游戏、建筑设计、交互视频、教育等多元领域。

当前该软件在中国台湾地区普及率达到约 70%以上，设计人员基于该软件在虚拟现实汉语教学内容方面已积累较多开发经验。

5 虚拟现实交互技术

人机交互技术以人类交流方式作为参考，意在通过设备界面信息传输实现人与机器之间的类人交流。虚拟现实交互技术相对传统人机交互更强调沉浸式交互体验，更赋拟人特征。具体技术包括眼动追踪交互、手势交互、表情交互、语音交互等。虚拟现实设备通过多维度交互界面为用户创造高沉浸感数字环境。

现阶段，中国已成为全球范围虚拟现实设备最重要产地之一。在交互技术方面，小米、华为、歌尔等企业在应用传统手势、姿势实现交互之余，利用眼动追踪、表情、语音等多元通道交互技术，大幅提升终端仿真体验。

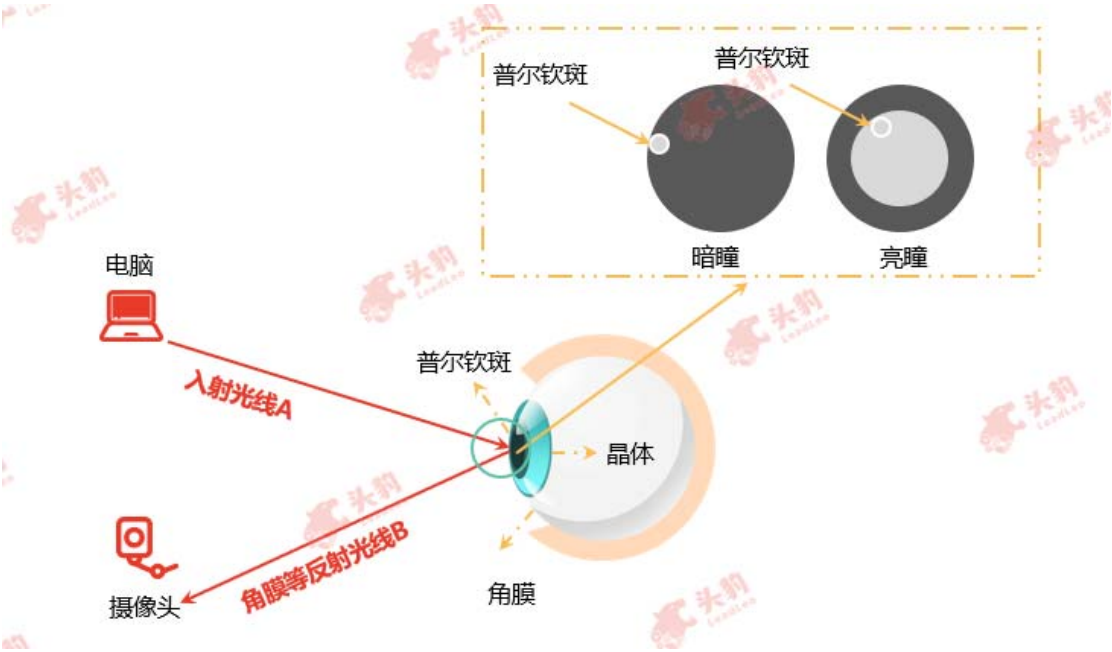
5.1 眼动追踪交互

（1） 眼动追踪原理

眼动追踪工作原理为基于图像识别、图像处理技术，**利用高速追踪摄像头确定瞳孔位置，获取瞳孔中心坐标，**通过人体虹膜、角膜、瞳孔等部位反射红外线追踪视线变化，并做相应记录、分析。眼动追踪相对其他交互技术在信息传输准确性方面有显著优势，准确率高达 95%以上。

以固定式眼动仪为例，假设电脑屏幕等光源位置固定，且眼球中心位置不变，普尔钦斑位置相对瞳孔及眼球位置不断变化（平视目标，普尔钦斑位于瞳孔正中，抬头观察目标，普尔钦斑位于瞳孔下方）。眼动仪只需探测瞳孔及普尔钦斑位置，即可算出角膜反射向量，通过计算得出用户视角方向，获取用户观察内容（见图 5-1）。

图 5-1 眼动仪探测瞳孔及普尔钦斑位置原理



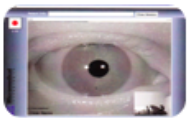
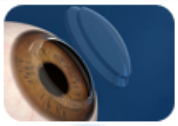
来源：头豹研究院编辑整理

（2） 眼动追踪技术分类

人体眼球活动模式主要包括跳动、注视、平滑尾随跟踪等。眼球跳动视角范围约为 1 度至 40 度，持续停留时间范围约为 30 毫秒至 120 毫秒，最高跳动幅度可达约每秒 600 度。在被观察物之间跳动且在单个目标不间断停留时间小于 100 毫秒的眼球活动称为跳动，在被观察目标不间断停留时间超过 100 毫秒的眼球活动称为注视。

眼动追踪设备可分为强迫式、非强迫式、穿戴式、非穿戴式、接触式、非接触式。眼动追踪技术可分为眼电图追踪、虹膜识别追踪、角膜反射追踪、瞳孔追踪、接触镜追踪等。不同装备、技术在成本、精度、舒适度等方面表现不同。其中，瞳孔追踪模式对人体舒适度影响最小，精确度最高（见图 5-2）。

图 5-2 不同眼动追踪方法性能表现

眼动追踪方法		测量参照元素	误差	舒适度干扰
眼电图仪（EOG）		人体头部	精度较低，不适于注视点测试	较大
虹膜识别		头显设备	垂直视角精度较低	较大
角膜反射		头显设备	精度较低	较小，非接触式，无侵入性
瞳孔追踪		头显设备、室内环境	精度较高	无干扰，接触式，无侵入
接触镜		人体头部	精度最高	干扰最大，存在对人体侵入性

来源：优听控股官网、石家庄市第一医院官网，头豹研究院编辑整理

（3） 虚拟现实眼动追踪案例：

现阶段，初步具备竞争力的虚拟现实眼动追踪品牌可以 Tobii、七鑫易维为例。

① **Tobii 集成方案：**Tobii 针对虚拟现实场景开发 Tobii Pro VR 集成方案，已成功于 HTC Vive 虚拟现实套装集成 120Hz 眼动追踪模块。该方案采用非接触式眼动追踪形式，通过硬件无缝集成在不干扰用户用眼舒适度前提条件下采集眼动追踪数据。

② **Tobii 虚拟现实数据分析：**Tobii Pro VR Analytics 数据平台可对眼动数据进行全方位分析，数据内容包括虚拟现实用户注意模式和行为模式等，平台可根据眼动交互行为生成可视化结果。

③ **七鑫易维 VR 一体机眼球追踪：**七鑫易维代表产品为 Pico G2 K4 VR 一体机眼球追踪软件。该产品包括 SDK 软件开发包，可满足大于 110 度视场角画面需求，追踪模式为双眼同步追踪，精度较高。具体跟踪数据点包括视线方向、瞳孔直径、瞳孔位置、眼皮开合度、眨眼状态、眼部图像、注视深度等。

5.2 手势、姿势交互

（1） 手势交互技术原理：

在广义层面，手势指人手部、手臂、身体物理运动，人类借助手势运动传达信息、达到目的。**手势、姿势运动包括手部姿势、臂部姿势、头部姿势等。功能性手势可分为记号手势、认知手势和活动手势。**其中，记号手势可增强交流信息，并进一步分为图标式（表示事件等）、隐喻式、节奏式（头部小幅用力）等。活动手势涉及对周边环境的操作和改变，附带作业性质。手势、姿势识别系统跟踪人类身体部位运动，将运动与具有语义的命令相匹配。

（2） 手势交互技术分类

① 手套手势识别：

手势手套设备通过搭载驱动马达、温度调节器等传感设备赋予玩家交互手段，上手沉浸感较强。虚拟现实手套传感器软件底层算法包括马尔可夫模型、神经网络识别等。

手套手势在形式上包括滑动、捏掐等。滑动窗口手势精确度较高，可进行按钮点击、定位、计算等操作。捏掐手势依托手指关节角度测量算法实现，可进行虚拟装备拾取等操作。远期，手套手势或成虚拟现实环境主流交互方式之一，新创企业积极开发虚拟现实手套产品（见图 5-3）。受限于校准困难，手套手势识别尚未在虚拟现实领域展开规模化应用。

图 5-3 代表性虚拟现实手套产品及其特点



来源：Kickstarter 官网、Senso VR 官方、manus 官方、Indiegogo 官网、Ultra VR 官网，头豹研究院编辑整理

② 视频手势识别：

视频手势识别系统依托计算机视觉算法（小孔成像模型、装备镜头相机模型、厚镜头相机模型、镜头畸变等）识别手、手指、肢体、头部姿势，是基于视频的手势交互。具体可以微软 Kinect 深度相机及 Leap Motion 跟踪设备为例。Kinect 深度相机包括 RGB 摄像头、红外摄像头等，识别精度较高。Leap Motion 设备采用双目摄像头，可对手指运动进行精细追踪，且具备小尺寸优势（见图 5-4）。

图 5-4 视频手势识别代表产品（微软 Kinect、Leap Motion）



来源：微软官网、Leap Motion 官网，头豹研究院编辑整理

③ 惯性单元手势识别：

该技术依托手部佩戴的 IMU（惯性传感器）采集手、手关节运动角度、速度、加速、冲

击、倾斜等数据信息，集合成手势模式。具体可以任天堂 Wii Remote、索尼主机手柄等为例。

惯性单元应用于虚拟现实终端设备多附着于人体手部关节、身体关节、头部等部位。如诺亦腾推出的动作捕捉系统 Perception Neuron Studio，通过惯性追踪器、光学追踪器、全指捕获手套等设备采集用户全身动作数据，可广泛支持力学分析、虚拟现实运动模拟等工作（见图 5-5）。

图 5-5 虚拟现实手套惯性单元手势识别示例



Noitom Hi5

	参数表现
传感器	高性能九轴惯性传感器
精度	滚转、俯仰角精度（动态）可达到1度 分辨率0.1度
续航	7小时连续工作（2,100毫安5号电池）
延迟	小于5毫秒
震动反馈	单位手套手腕处配备1个编程振子
射频范围	工作范围5米*5米 最多支持6人同时使用（自动防碰撞）
重量	单位手套105克

来源：星点数字官网，头豹研究院编辑整理

④ 电磁信号手势识别

电磁信号识别工作原理为设备持续发射高频电磁波信号，手部电极感知装置持续反射电磁波信号，计算机通过测量、统计、分析反射信号识别精细动作变化。电磁信号识别具体可以谷歌开发电磁信号识别系统为例，该系统包括转盘手势、刻度手势、按键手势、位置移动手势四种手指动作指令。虚拟现实设备搭载电磁信号识别系统有助于用户更简捷、精确地与虚拟现实内容深度互动。

（3） 手势、姿势交互技术痛点：

现阶段手势、姿势交互技术多用于浏览网页、移动位置等较为简单的交互场景。远期手

势交互应用于复杂交互场景需着重解决以下重要问题：

① 连续运动判别失效

手势识别系统无法明确判断人手连续运动过程中手势发起、结束时间点，对用户造成较大困扰。具体解决案包括：用户手指于特定位置静止 3 秒至 5 秒以通知系统开始手势；用户以特定姿势通知系统手势开始；结合语音输入系统通知系统手势开始。通过应用具体解决方案，系统可准确判断连续手势起始和结束时间。

② 学习时间成本较高

基于不同虚拟现实内容，用户需经过学习、记忆过程方可掌握手势交互方法。系统设置过多手势将为用户造成学习负担。根据虚拟现实平台运营商经验反馈，用户对学习时间超过 2 分钟的手势识别系统放弃率超过 90%，不利于虚拟现实设备普及。

5.3 表情交互

虚拟现实终端设备可通过硬件组件（头盔摄像头、主机摄像头等）采集用户表情数据，并分析数据变化执行命令程序。**表情交互系统主要由图像采集、表情编码、表情解码三个部分组成。**虚拟现实系统基于大量机器学习训练掌握图像分析、形状匹配、情绪分析能力，最终输出数据结果，触发下一步代码执行命令（见图 5-6）。

图 5-6 虚拟现实表情交互系统组成部分简图

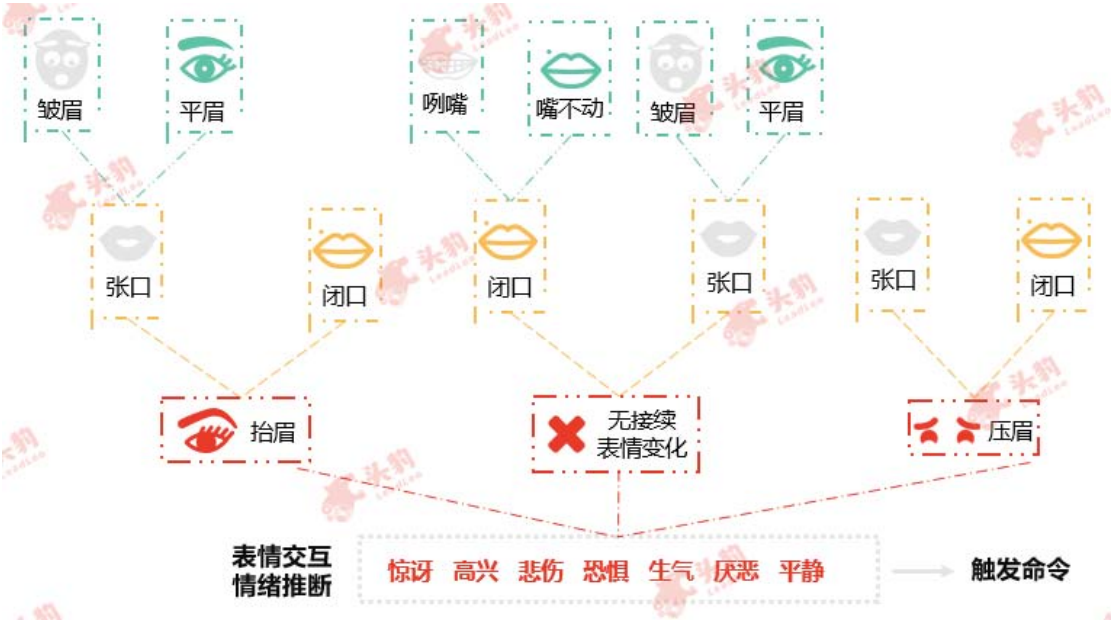


来源：头豹研究院编辑整理

（1） **采集、跟踪表情：**表情采集系统通过头显设备摄像机或外部摄像机捕捉人类面部表情。具体可以美国动画解决方案开发商 SimGraphics 开发的 Vactor 系统（虚拟演员系统）为例，该系统可多方位采集人脸细分部位表情图像，肢体动作图像，并依托机器学习等新技术识别、归纳表情形状。

（2） **表情编码：**表情交互系统对眉毛、眼睛、嘴唇等面部器官不同形状进行分类、重组，采用二叉树分类器等方案完成情绪推断和分类，再对推断结果进行编码，将原始表情信息转换为数字信号（见图 5-7）。

图 5-7 二叉树分类器方案应用于表情交互系统



来源：头豹研究院编辑整理

（3） **解码触发命令：**交互系统将情绪数字信号传递至虚拟现实主机系统，主机系统根据内容设定触发后续命令程序。不同情绪推断结果触发不同内容结果。

5.4 语音交互

语音交互技术应用于虚拟现实系统主要依托语音传输通道。**根据是否得到设备语音反馈，可将语音交互技术分为语音识别技术和语音对话技术。**语音交互可释放用户双手，实现文本信息大量、高效输入功能，适用于非图形命令交互场景（如请求系统执行命令、改变系统状态等）。为保证语音交互有效运行，系统需具备语义、语法过滤、纠错功能。

虚拟现实系统搭载语音交互模块需准确定义语音界面交互任务量。模块词汇量大小根据交互任务不同而各异，任务越复杂，所需词汇量越大。具体产品可以微软 Speech API、科大讯飞语音输入法、IBM ViaVoice 等为例。随技术发展，语音识别算法开源平台日趋增加（如 HTK-Cambridge、ASR 等），交互系统开发技术门槛降低。

5.5 多通道交互

多通道交互技术指融合 2 个或 2 个以上输入通道（眼动追踪、手势识别、表情交互、语音识别等）的协同交互模式。虚拟现实设备用户可通过多通道界面，采用语音、手势、表情、姿势等多种方式实现人与机器主动交流。多通道技术大幅提升人机交互有效性，远期或成虚拟现实主流交互方式。

具体案例如 La Viola 设计的 MSVT 系统，该系统采用手势识别和语音识别两个输入通道，可实现手势、语音系统互补、并发效果。再如 Cohen 团队与美国海军研究实验室合作打造 QuickSet 三维系统，使用搭载语音、手势识别系统的 6DoF 设备，进行视点控制、导航等工作。

多通道交互技术优势包括但不限于以下方面：①多界面纠错、修正信息输入错误；②多维信息输入模式降低用户学习成本；③不同交互界面信息可互补。

头豹研究院简介

- 头豹研究院是中国大陆地区首家 B2B 模式人工智能技术的互联网商业咨询平台，已形成集行业研究、政企咨询、产业规划、会展会议行业服务等业务为一体的一站式行业服务体系，整合多方资源，致力于为用户提供最专业、最完整、最省时的行业和企业数据库服务，帮助用户实现知识共建，产权共享
- 公司致力于以优质商业资源共享为基础，利用大数据、区块链和人工智能等技术，围绕产业焦点、热点问题，基于丰富案例和海量数据，通过开放合作的研究平台，汇集各界智慧，推动产业健康、有序、可持续发展



四大核心服务：

企业服务

为企业提供**定制化报告**服务、**管理咨询**、**战略**调整等服务

云研究院服务

提供行业分析师**外派驻场**服务，平台数据库、报告库及内部研究团队提供技术支持服务

行业排名、展会宣传

行业峰会策划、**奖项**评选、行业**白皮书**等服务

园区规划、产业规划

地方**产业规划**，**园区**企业孵化服务

报告阅读渠道

头豹科技创新网 —— www.leadleo.com PC端阅读全行业、千本研报



头豹小程序 —— 微信小程序搜索“头豹”、手机扫右侧二维码阅读研报


图说


表说


专家说


数说

详情请咨询

客服电话

400-072-5588

上海

王先生： 13611634866

李女士： 13061967127

南京

杨先生： 13120628075

唐先生： 18014813521

深圳

李先生： 18916233114

李女士： 18049912451