

2022年08月27日

传媒

# VR 拆机报告：全拆解其架构、迭代路径、组件、算法、内容生态、市场、未来趋势

■继 2021 年硬件入口 (VR) 的销量迈过了 1000 万台的临界点, 2022 年人形机器人的关注度迅猛提升, 诉诸于“交互”“智能”最终能实现的终极目标, 基于元宇宙的新硬件未来将呈燎原之势, 故我们以本篇“拆机报告”, 先聚焦于硬件入口 VR, 我们以小派科技 3 季度将正式发售的 Pimax Crystal 为样机进行系统拆解, 详细回答下述 6 个问题:

- 1) VR 与智能手机相比, 底层架构上, 究竟有哪些区别?
- 2) 一台 VR 硬件, 其迭代新产品的经典路径是怎样设计的?
- 3) Pimax Crystal 全拆解出来的 5 大组件共 54 块, 组件 (外壳模组、核心计算模组、光学与现实模组、电池及声学模组、人体工学模组) 的具体构成、最重要的部分、分别的作用; 每一块硬件的名称、构成数量、参数、作用、作用范围、重要性、应用模式、供应商、供应商对此硬件的预估与反馈、特定设计的考量、改进或创新之处、改进或创新后的效用提升比例、成本占比等?
- 4) 与硬件配套的操作系统?
- 5) 与硬件配套的内容、生态、销售策略?
- 6) 以 Pimax Crystal 为代表的 VR 硬件入口, 其未来趋势?

■围绕这 6 个问题, 我们首先回答了市场关心的第一个问题: XR 作为新硬件, “新”在哪里? 针对这个问题, 或许换一个问法更为合适: “继智能手机之后的下一代计算平台是什么?” 我们强调, 基于未来计算平台的新硬件, 将与智能手机及之前的硬件有本质性的区别; 基于对沉浸感的追求, VR 技术迭代的目标分别是接近人眼的视觉、接近自然的交互。用户对沉浸感的需求却时刻伴随着眩晕感, 为降低 VR 眩晕感, 我们细密分析了硬件、软件、内容分别的精进之路。

■其次我们回答了 VR 与智能手机相比, 架构的区别在哪里? 第一, 需明确 VR 技术与 VR 设备是完全不同的概念, VR 整个产业链包括硬件、软件、应用及服务, Virtual Reality (虚拟现实技) 技术囊括计算机、电子信息、仿真技术于一体, 其基本实现方式是计算机模拟虚拟环境从而给人以环境沉浸感; VR 设备只是产业链中的其中一环; 第二, VR 是对过去 50 年一系列二维设备的全部生态的迭代, 经过近十年的发展, 相关技术、产品形态及内容应用已经呈现一定的成熟度, 第三, 在开发引擎上, 智能手机是基于 UI 的架构, 而 VR 是基于三维图形渲染的, 也即以 Unity 与 Unreal 等游戏引擎为主。同时, 我们以小派、Oculus、Pico 为例, 尝试勾画出 VR 产品的迭代路径。

■再次, 我们阐述了本次拆机报告, 为何会为什么选 Pimax (小派科技)? 为什么拆 Pimax Crystal? 并给出了全拆解地图, 包括五大组件

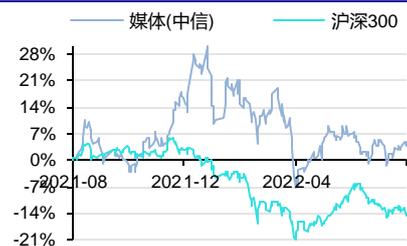
## 行业深度分析

证券研究报告

投资评级 **领先大市-A**  
维持评级

首选股票 目标价 评级

### 行业表现



资料来源: Wind 资讯

%	1M	3M	12M
相对收益	2.23	-3.85	18.82
绝对收益	-0.82	-0.76	4.55

焦娟

分析师

SAC 执业证书编号: S1450516120001

jiaojuan@essence.com.cn

021-35082012

冯静静

分析师

SAC 执业证书编号: S1450522030003

fengjj@essence.com.cn

### 相关报告

从智能的角度看元宇宙与机器人  
2022-07-31

科技巨头布局新硬件系列报告 2: 微软, 有新硬件但仍侧重软件主导, 关注其配套新硬件的元宇宙软件服务  
2022-07-22

科技巨头布局新硬件系列报告 1: 百度, 以 AI 为内核, 新硬件将不止于智能汽车与 VR  
2022-06-28

由特斯拉机器人回溯智能交互硬件 50 年发展史  
2022-06-27

海内外 NFT 发展路径的分化及长短期展望  
2022-04-16

共 54 块拆解出来的硬件；同时，详细描述了与硬件配套的算法、内容与生态、定位与市场。

■由小派 Pimax 预判 VR 未来发展趋势的同时，我们根据安信构建的元宇宙数据库，更新了国内外 VR 硬件厂商 2022 年以来的新品迭代；新硬件作为元宇宙六大版块之一，我们也给出了对其 2023 年的展望。

■参考交互硬件 50 年的发展史，由“垂类”到“通用”、从“大型”到“小型”，硬件玩家的竞争从来都是全球性的，门槛高、竞争激烈；以对行业的挚爱为起航、关键技术节点上的引领、市场推广时的对打、硬件之外的短板补足、行业拐点时的避坑……最终的胜利者，都是时代皇冠上的明珠。在全行业静待 Apple 这一顶级吨位的航母下水之际，国内以小派科技为代表的 VR 与 AR 厂商，均在“定义新一轮交互”这一总目标下，构建基于自身资源禀赋与行业理解力的技术路径。无论“定义新一轮交互”的顶级创意与璀璨才华将花落谁家，显示、光学、交互等关键部位的创新与进步，都须“积跬步”；且“软硬一体”的大趋势愈发明显，产业链与价值链的映射关系，难以再直接参考智能手机时代的经验。

■显示&光学，交互（即操作系统），内容与生态，是 VR 为代表的硬件入口的价值链中，占比较高的部位；结合中国优势，硬件入口的产业链配套（尤其是光学部位）、内容与生态，我们认为将是最值得关注的核心投资领域；相较而言，交互（即下一代操作系统）则是 Apple 等海外科技巨头更擅长的，我们亦关注这一方向上的国内突破。

■展望 2023 年新硬件的发展趋势，我们认为硬件入口、分布式垂类硬件在 2023 年，均是“大年”。此外，与硬件入口相匹配的内容、应用、场景等，我们认为 2023 年有望真正跑出有元宇宙部分“精气神”的爆款，但顺序可能先是应用、场景甚至是模式，最后才是真正的爆款内容出现。

■投资建议：本篇拆机报告，我们全拆解以襄助于市场对硬件入口的认知，目前各厂商均在探索各自的技术路径，产业链并未定型，但产业链的关键部位在于光学、显示与交互；根据我们对备战元宇宙投资的三个阶段的划分，当下仍处于第一阶段，即筛选的投资标的，标准只有一个——它有元宇宙（如硬件产业链）的相关业务。

回到元宇宙的整体性行情上，我们认为当下元宇宙行情再起，在 2021 年虚拟数字人、NFT、元宇宙的基础上，我们认为细分方向有望新增 Web 3、人形机器人、XR 硬件相关等，各方向相关标的在去年基础上会有明显的发散，但核心仍然在于弹性：

1) 2021 年的元宇宙行情，源于海外相关板块的映射效应；目前海外年初以来的调整正处于修复过程中，对国内元宇宙行情的启动有映射作用；

2) 2021 年的元宇宙行情，相关个股目前基本已调整回 2021 年 8 月份启动时的股价水平；

3) 2018 年以来的政策性调整（产业政策收紧、金融资本严格约束），有望推动产业出清以来的拐点；

4) 内容产业是供给决定需求的行业属性，新的计算平台、技术、机制

有望带来新的内容、应用、场景、模式；

5) 二季度业绩预告，部分子方向相对靓丽。

**关注标的：**

- 1) NFT 与区块链：数码视讯、安妮股份、中文在线、平治信息、网达软件、光一科技、华媒控股、数字认证、捷成股份、视觉中国、三六零；
- 2) 营销：立昂技术、天下秀、宣亚国际、蓝色光标、省广集团；
- 3) 游戏：宝通科技、中文传媒、吉比特、中青宝；
- 4) 影视广电教育等：新文化、幸福蓝海、广电网络、国联股份、中公教育、国新文化；
- 5) 产业链：歌尔股份、共达电声、闻泰科技、国光电器、鹏鼎控股、兆威机电；
- 6) 光学：苏大维格、远光软件、中光学、利亚德；
- 7) 智能穿戴：合力泰、万祥科技、深天马 A；
- 8) 3D 引擎：全志科技、乾照光电、北京君正；
- 9) 3D 打印：银邦股份、亚太科技、蓝光发展；
- 10) 人工智能：长安汽车、华西股份、科大讯飞、高乐股份；
- 11) 脑机接口：冠昊生物、航天长峰、新智认知、浙大网新；
- 12) 溢出效应：爱尔眼科；
- 13) 港股：腾讯控股、网易、心动公司、百度。

■**风险提示：**技术路径探索不成功的风险、市场推广不成功的风险、中美贸易战带来的产业链配套低于预期的风险、公司治理风险。

## 内容目录

1. 概述.....	9
2. VR 与智能手机的架构对比.....	12
2.1. XR 作为新硬件，“新”在哪里？ .....	12
2.2. 基于沉浸感的需求，VR 技术迭代的目标.....	17
2.2.1. 接近人眼的视觉.....	17
2.2.1.1. 分辨率.....	17
2.2.1.2. PPD.....	19
2.2.1.3. 视场角.....	20
2.2.2. 接近自然的交互.....	22
2.2.2.1. 头手 6DoF.....	22
2.2.2.2. 面部追踪、眼球追踪.....	23
2.3. 为降低 VR 眩晕感，未来硬件、软件、内容的精进路径.....	24
2.3.1. 硬件技术迭代：降低四大 MTP 延迟.....	24
2.3.1.1. 传感器延迟.....	24
2.3.1.2. 计算延迟.....	27
2.3.1.3. 刷新率/传输延迟.....	29
2.3.1.4. 屏幕响应延迟.....	29
2.3.2. 软件算法优化：Runtime 环节有望创新与突破.....	30
2.3.3. VR 内容制作的标准化及优化.....	32
2.4. 产业链的关键部位在于光学、显示与交互.....	33
3. 以小派、Oculus、Pico 为例，探寻 VR 产品迭代路径.....	35
4. 为什么选 Pimax？为什么拆 Pimax Crystal？ .....	42
4.1. Pimax 占据全球高端 VR 头显标杆地位 .....	42
4.2. 高性能 VR 硬件是进入元宇宙的必经之路.....	43
4.3. Reality 系列 Crystal 将首发.....	45
5. Pimax Crystal 拆解 .....	47
5.1. Pimax Crystal 总体结构 .....	47
5.2. 外壳模组——①-⑥ .....	47
5.3. 核心计算模组——⑦-⑳ .....	51
5.4. 光学与显示模组——㉘-㉚ .....	63
5.5. 电池及声学模组——㉛-㉞ .....	70
5.6. 人体工学模组——㉟-㉜ .....	75
5.7. 成本&供应商拆解.....	77
5.8. 主流 VR 设备设计对比.....	79
6. 配套硬件的算法&内容生态&销售策略.....	80
6.1. 算法.....	80
6.2. 内容生态.....	80
6.3. 销售策略.....	84
7. 由小派 Pimax 预判 VR 未来发展趋势 .....	87
7.1. 软硬一体将是大势所趋.....	87
7.1.1. VR 硬件的研发门槛高于手机行业.....	87
7.1.2. 算法也是构成 VR 硬件的高门槛之一.....	88
7.1.3. 内容设计需要与硬件达成良好适配.....	89

7.2. 光学：非球面-菲涅尔透镜-Pancake .....	90
7.3. 显示：LCD-Micro OLED-Micro LED.....	94
7.4. 交互：头手 6DOF-眼动追踪-手势识别.....	97
7.5. VR 头显趋于完美所面临的十大挑战.....	98
<b>8. 国内外 VR 硬件厂商新品迭代.....</b>	<b>101</b>
8.1. Meta：Cambria .....	101
8.2. Apple：首款 MR 设备.....	101
8.3. 索尼：PSVR2.....	102
8.4. 字节跳动：Pico4&Pico pro4 .....	103
8.5. 2022 年上半年 VR 发布/上市新品一览.....	104
<b>9. 新硬件作为元宇宙六大版块之一，2023 年展望.....</b>	<b>106</b>
<b>10. 投资建议.....</b>	<b>109</b>
<b>11. 风险提示.....</b>	<b>110</b>

## 图表目录

图 1：新硬件是元宇宙六大投资版图的一部分.....	9
图 2：交互硬件 50 年的历史梳理.....	10
图 3：硬件集成了各时代最先进的生产力.....	11
图 4：MTP（动显延迟）产生的过程与构成因素.....	15
图 5：MTP 与晕动症人群曲线.....	16
图 6：VR 中端到端系统延迟的产生过程.....	17
图 7：电脑中端到端系统延迟的产生过程.....	17
图 8：AMD 对全沉浸式体验的定义.....	19
图 9：人眼视网膜分辨率对比.....	19
图 10：PPD 的概念及计算公式.....	20
图 11：视场角 FOV 的概念.....	20
图 12：人裸眼视场角的范围.....	21
图 13：视场角越大，沉浸感越强.....	22
图 14：视场角需搭配合适的屏幕.....	22
图 15：3DoF 与 6DoF 的概念.....	23
图 16：HTC Vive 面部追踪器.....	24
图 17：VR 中的空间定位方案分类.....	25
图 18：HTC Vive 头显及配套的激光定位器.....	26
图 19：Oculus Rift 头显及配套的红外摄像机.....	26
图 20：Android 应用程序 UI 总体架构 .....	27
图 21：Qualcomm XR 平台架构 .....	28
图 22：VR 光学畸变.....	30
图 23：VR 中的渲染过程及 Runtime .....	31
图 24：小派 VR 四大核心自研技术.....	43
图 25：通过 UVI 衡量视觉沉浸感，影响因素为 PPD、FOV、刷新率.....	45
图 26：Pimax Crystal 全拆解.....	47
图 27：外壳膜组①——B 壳 .....	48
图 28：外壳膜组②——中框.....	48
图 29：外壳膜组③——屏金属支架.....	49

图 30: 外壳模组④——摄像头.....	49
图 31: Pimax Crystal 机身摄像头.....	50
图 32: 外壳模组⑤——A 壳.....	50
图 33: Pimax Crystal Lighthouse 面罩.....	51
图 34: 外壳模组⑥——灯条.....	51
图 35: 核心计算模组⑦——主板.....	52
图 36: MTP 原理图.....	52
图 37: ASW 原理图.....	53
图 38: 核心计算模组⑧⑨——散热片&散热风扇.....	53
图 39: Pimax Crystal 的散热片&散热风扇.....	54
图 40: 核心计算模组⑩——调节绑带及电源线.....	54
图 41: 核心计算模组⑪——70pin 连接器.....	55
图 42: 核心计算模组⑫——70pin 连接 FPC.....	55
图 43: 核心计算模组⑬——耳机板连接线.....	56
图 44: 核心计算模组⑭——主副板连接 FPC.....	56
图 45: 核心计算模组⑮——Eye Tracking 小板.....	57
图 46: 核心计算模组⑯——下摄像头连接 FPC.....	57
图 47: 核心计算模组⑰——屏转接 FPC.....	58
图 48: 核心计算模组⑱——TypeC-Dmic FPC.....	58
图 49: 核心计算模组⑲——上摄像头连接 FPC.....	59
图 50: 核心计算模组⑳——耳机板.....	59
图 51: 核心计算模组㉑——距离传感器.....	60
图 52: 核心计算模组㉒——5G 金属板.....	60
图 53: 核心计算模组㉓——眼追摄像头 FPC.....	61
图 54: 核心计算模组㉔——小电池.....	61
图 55: 核心计算模组㉕——60G FPC.....	62
图 56: WiGig 60G 无线接收模块.....	62
图 57: 核心计算模组㉖——指纹 FPC.....	63
图 58: 核心计算模组㉗——Auto-IPD 电动马达.....	63
图 59: 光学与显示模组㉘——QLED + Mini-LED 显示屏.....	64
图 60: 光学与显示模组㉙——镜筒.....	64
图 61: 光学与显示模组㉚——Crystal Lens-35PPD 透镜.....	65
图 62: 理论 PPD 上限.....	65
图 63: 杂散光比较: 普通树脂镜片 VS Crystal 玻璃镜片.....	66
图 64: Crystal Lens 拥有防蓝光涂层、防尘涂层、抗反射涂层.....	66
图 65: Crystal Lens 相比树脂镜片的莫氏硬度提升 33%.....	66
图 66: 光学与显示模组㉛~㉜——三对透镜支架.....	67
图 67: 光学与显示模组㉝——IR LED 盖板.....	67
图 68: 光学与显示模组㉞——包布支架.....	68
图 69: 光学与显示模组㉟——螺杆支架.....	68
图 70: 光学与显示模组㊱——Auto-IPD 螺杆.....	69
图 71: Auto-IPD 螺杆细节图.....	69
图 72: 光学与显示模组㊲——小压片.....	70
图 73: 电池及声学模组㊳——头箍后壳.....	70
图 74: 电池及声学模组㊴——头箍前壳.....	71

图 75: 电池及声学模组 <a href="#">41</a> ——后脑支架.....	71
图 76: 电池及声学模组 <a href="#">42</a> ——后脑海绵.....	72
图 77: 电池及声学模组 <a href="#">43</a> ——电池仓后盖&大电池.....	72
图 78: 电池及声学模组 <a href="#">44</a> ——电池仓上盖.....	73
图 79: 电池及声学模组 <a href="#">45</a> ——DMAS 耳机.....	73
图 80: 电池及声学模组 <a href="#">46</a> ——金属挂耳.....	74
图 81: 电池及声学模组 <a href="#">47</a> ——旋钮组件.....	74
图 82: 电池及声学模组 <a href="#">48</a> ——电池小板.....	75
图 83: 人体工学模组 <a href="#">49</a> ——护脸罩.....	75
图 84: 磁吸式面罩细节图.....	76
图 85: 人体工学模组 <a href="#">50</a> ——鼻贴.....	76
图 86: 人体工学模组 <a href="#">51</a> ——护脸罩海绵.....	77
图 87: 人体工学模组 <a href="#">52</a> ~ <a href="#">54</a> ——左右齿条模组.....	77
图 88: Pimax Crystal 各模组成本占比&供应商情况.....	78
图 89: Omni All-In-One.....	81
图 90: 小派与 iRacing 达成深度内容合作.....	82
图 91: 小派的 SDK 接口.....	83
图 92: 小派 2B 应用案例之一.....	83
图 93: 小派 2B 应用案例之二.....	84
图 94: 抗畸变算法已融入图像处理系统.....	88
图 95: 支持从 57-72mm 的 IPD 范围.....	88
图 96: 动态注视点渲染的眼动追踪技术.....	89
图 97: full rendering vs dynamic foveated rendering.....	89
图 98: HFOV (VR1.0-2.0-reality).....	90
图 99: VFOV (VR1.0-2.0-reality).....	90
图 100: 双目视觉 (VR1.0-2.0-reality).....	91
图 101: 菲涅尔 VS 非球面 VS 仿生镜片.....	91
图 102: 非球面透镜: 玻璃材料 VS 聚乙烯材料.....	92
图 103: VR 光学方案沿革方向.....	92
图 104: Pancake 光学方案应用情况.....	93
图 105: Pancake 方案优点.....	94
图 106: Pancake 方案缺点.....	94
图 107: 4K-8K-12K 的分辨率变化.....	95
图 108: 250PPI-1200PPI 的像素点密度变化.....	95
图 109: Pimax QLED&Mini-LED 方案.....	95
图 110: QLED VS OLED.....	95
图 111: Pimax 与其他产品的刷新率对比.....	96
图 112: 硅基 OLED 微显示器件结构示意图.....	97
图 113: Cambria 示意图.....	101
图 114: Apple AR/MR 头显的 3D 渲染图——by Antonio De Rosa.....	102
图 115: PSVR2——VR 模式.....	103
图 116: PSVR2——电影模式.....	103
图 117: Pico 4 线稿.....	104
图 118: 元宇宙的通用型硬件入口与分布式垂类硬件.....	107
图 119: 元宇宙投资六大版图.....	109

表 1: 2016-2021 年部分 VR 产品的分辨率情况.....	18
表 2: Outside-in 与 Outside-out 定位追踪技术的对比.....	26
表 3: 小派 (Pimax) 产品迭代.....	35
表 4: Oculus 产品迭代.....	37
表 5: Pico 产品迭代.....	39
表 6: VR 设备参数对比.....	42
表 7: Pimax Crystal 成本拆分&供应商溯源.....	78
表 8: Pico Neo3、Quest 2、Pimax Crystal 产品设计对比.....	79
表 9: 菲涅尔与 Pancake 模组对比.....	93
表 10: LCD、OLED、Micro OLED、Micro LED 技术对比.....	97
表 11: Pico 4 与 Quest 2 参数对比.....	103
表 12: 2022 年上半年上市/发布的 VR 硬件产品.....	105

## 1. 概述

元宇宙作为新一代计算平台，大幕已拉开。根据我们建立起的研究框架，元宇宙共有硬件入口及操作系统、后端基建、底层架构、人工智能 (AI)、内容与场景、协同方六大版块，2021 年全球科技巨头在硬件入口、内容与场景两大版块上均有重磅入局与探索，2022 年的焦点与动态将呈现在底层架构上，2023 年预计后端基建与人工智能 (AI) 两大版块将有重大进展，进而驱动硬件与内容的新一轮迭代。

图 1：新硬件是元宇宙六大投资版图中的一部分



资料来源：中译出版社《元宇宙大投资》

国内外在元宇宙研究方向上的认知路径有一定差异，相较海外以“智能”来提纲挈领，国内的研究则沿袭了“硬件”、“软件”的分门别类。在硬件方面，我们提出了“新硬件主义”的认知思路，即将基于元宇宙这一新计算平台的新硬件，分类成硬件入口、垂类硬件两大类，前者以 VR/AR 为典型，后者则以人形机器人为代表；硬件入口的核心是“定义新一轮的交互”，垂类硬件的命门则是“基于现实世界的智能能力”。

继 2021 年硬件入口 (VR) 的销量迈过了 1000 万台的临界点，2022 年人形机器人的关注度迅猛提升，诉诸于“交互”“智能”最终能实现的终极目标，基于元宇宙的新硬件未来将呈燎原之势，故我们以本篇“拆机报告”，先聚焦于硬件入口，我们联合小派科技，以其 3 季度将正式发售的 Pimax Crystal 为样板，详细回答下述 6 个问题：

1. VR 与智能手机相比，底层架构上，究竟有哪些区别？
2. 一台 VR 硬件，其迭代新产品的经典路径是怎样设计的？
3. Pimax Crystal 全拆解出来的 5 大组件共 54 块，每一块的名称、作用、性能、供应商、成本占比等？
4. 与硬件配套的操作系统？

5. 与硬件配套的内容与生态?
6. 以 Pimax Crystal 为代表的硬件入口, 其未来趋势?

参考交互硬件 50 年的发展史, 由“垂类”到“通用”、从“大型”到“小型”, 硬件玩家的竞争从来都是全球性的, 门槛高、竞争激烈; 以对行业的挚爱为起航、关键技术节点上的引领、市场推广时的对打、硬件之外的短板补足、行业拐点时的避坑……最终的胜利者, 都是时代皇冠上的明珠。在全行业静待 Apple 这一顶级吨位的航母下水之际, 国内以小派科技为代表的 VR 与 AR 厂商, 均在“定义新一轮交互”这一总目标下, 构建基于自身资源禀赋与行业理解力的技术路径。无论“定义新一轮交互”的顶级创意与璀璨才华将花落谁家, 显示、光学、交互等关键部位的创新与进步, 都须“积跬步”; 且“软硬一体”的大趋势愈发明显, 产业链与价值链的映射关系, 难以再直接参考智能手机时代的经验。

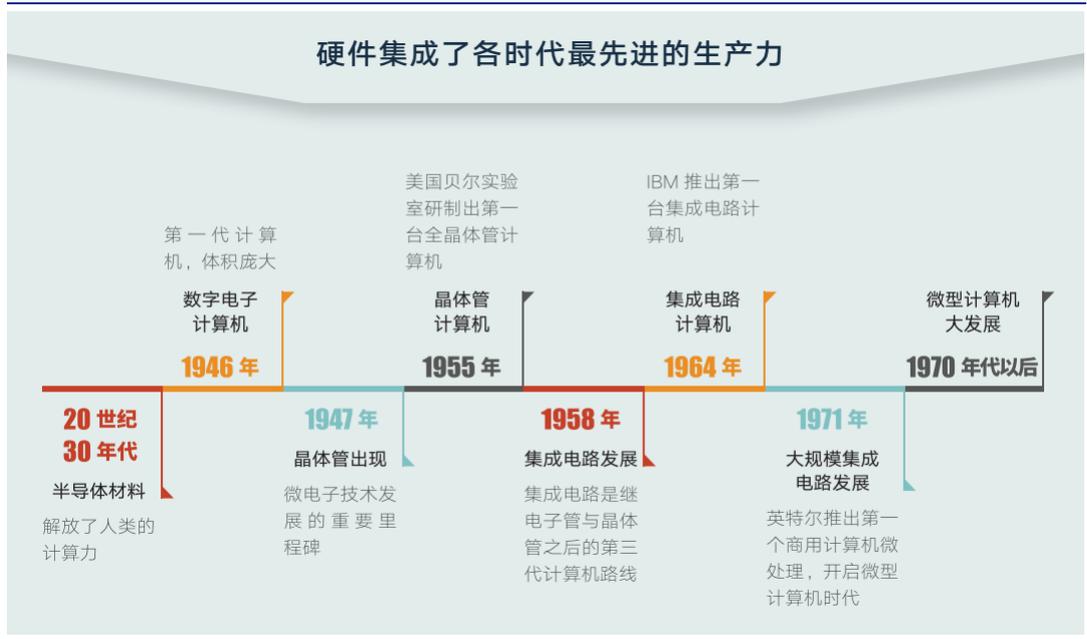
图 2: 交互硬件 50 年的历史梳理



资料来源: 中译出版社《新硬件主义》

显示&光学, 交互 (即操作系统), 内容与生态, 是 VR 为代表的硬件入口的价值链中, 占比较高的部位; 结合中国优势, 硬件入口的产业链配套 (尤其是光学部位)、内容与生态, 我们认为将是最值得关注的核心投资领域; 相较而言, 交互 (即下一代操作系统) 则是 Apple 等海外科技巨头更擅长的, 我们亦关注这一方向上的国内突破。

图 3：硬件集成了各时代最先进的生产力



资料来源：中译出版社《新硬件主义》

## 2. VR 与智能手机的架构对比

### 2.1. XR 作为新硬件，“新”在哪里？

在《由特斯拉机器人回溯智能交互硬件 50 年发展史》这一报告中，我们以人机交互技术为重要节点去回看了硬件发展历史，在计算机技术出现之后，人与硬件/机器的关系发生变化，即人与硬件开始有交互，尤其是有了人工智能技术加持之后，我们进入了硬件的智能化时代。过去 50 年，我们历经了多种交互硬件的迭代，依次为游戏主机→个人电脑→智能手机，大致是遵循垂直计算硬件→通用计算硬件→小型化硬件这样的发展路径，相应的计算平台也在迭代。

上一个改变世界的计算平台的载体是智能手机。但手机这一概念很早就有，最早是作为通信工具而存在，以 BB 机、大哥大、小灵通等产品形态出现，然而并不是所谓的计算产品，其主要的功能是通讯，也是手机最本质的用途。直到 2010 年左右智能手机的普及之后，人们对于手机的认知从功能机转变为智能交互硬件。

智能手机发展至今经过十余年的时间，已经深刻改变了人们的生活，基于智能手机这一计算平台上的应用、内容产品越来越丰富。对很多人而言，用一部智能手机就能处理好生活的方方面面，可以进行通讯、社交、阅读、办公、娱乐、打车、购物，所以智能手机可以是人们的电话、报纸、电脑、游戏机、电视、随身听、出租车、超市、钱包等。随着集成的功能越来越多，智能手机凭一己之力淘汰了其他众多技术产品或蚕食了其他产品的市场份额，如 MP3 播放器、傻瓜数码相机、GPS、掌上游戏系统、闹钟、电子阅读器、录音机、字典、网络会议设备等。

目前智能手机从一个简单的通信工具，转变为一个功能不断更新的包罗万象的平台。在智能手机的功能已经如此丰富的当下，很多人提出“有了功能如此强大的手机，为什么我们还需要发展 VR？”疑问。

针对这一问题，我们从以下几个角度去探讨。

**从硬件本身发展的角度来看：手机性能提升的边际效用递减。**全球智能手机市场已经从蓝海转化为红海，智能手机的人口红利不复存在，而手机厂商竞争格局却在不断加剧，具体体现为：一方面，手机性能与质量不断提升，拉长了人们的换机周期；另一方面，智能手机的计算硬件的更新迭代速度放缓，已难以做出巨大的提升，所能带来的特别惊艳的迭代并不多，为保持竞争力，厂商不得不在续航、摄像头、屏幕上下功夫。

**从产品形态与功能来看：未来“智能”硬件的形态是多样化的。**我们需明白“手机”与“智能手机”的区别，手机最本质或最早期的用途是电话通讯，两者之间最核心的区别在于“智能”。既然“智能手机”的内核在于“智能”，那未来智能硬件长什么样子并不重要，手机依然可能会存在，如插了电话卡的手表/平板也可以作为稳定的通讯工具，就像智能手机并没让个人电脑消失一样，个人电脑仍然承载着在特定环境下的功能作用。我们认为未来的智能交互硬件会越来越多，本质上是 AI 的内核，只是根据场景的需求呈现为不同的形态或物理装置。

**从体验与交互的角度来看：新硬件正在定义新一轮的“交互”。**过去 50 年，智能硬件从只能运行大白方块的游戏机发展到今天的智能手机，体验与交互不断升级。首先，在体验上，智能手机作为一个计算平台，很好地为各类软件、内容应用提供了应用环境，而这在 VR/AR 硬件上却表现着更大的发展潜力，如社交的临场感、游戏的逼真感或是全新的感官体验（视听触味嗅），更强调沉浸式；其次，在交互上，从电脑到智能手机的发展，人机交互方式相

应的从键盘鼠标等外接设备升级到触控，以 iPhone 为代表的智能手机定义了过去十余年的交互方式，再到现在已出现了语音、手势等交互方式，交互越来越直接与自然。我们认为，以 VR/AR、智能机器人等为代表的新硬件，核心是“智能”，定义的是“新一轮交互”。

综上所述，在用户增长、计算性能、应用生态、交互方式等方面上，智能手机的发展已遇到了瓶颈。现在亟待新的计算平台以及基于其上的新硬件来重构生产生活方式，除了 VR/AR 这类可穿戴的设备，汽车机器人、人形机器人等独立移动设备也陆续出现，亦有望催生出下一代计算平台。回到刚开始提出的问题“有了功能如此强大的手机，为什么我们还需要发展 VR？”针对这个问题，或许换一个问法更为合适：“继智能手机之后的下一代计算平台是什么？”

**我们强调，基于未来计算平台的新硬件，将与智能手机及之前的硬件有本质性的区别：**

- 1) 软硬一体将大势所趋。**软硬一体有助于实现算法调优，软硬件一体化显然已经成为当下智能科技产品的核心命脉。如智能电动车之所以被冠以“智能”二字，便是其以软硬件一体化为基础的车机系统，这也是当下智能汽车区别于传统汽车的关键；再如 VR/AR 并不完全是硬件，而是“硬件+软件”的概念，VR/AR 技术可以应用于头戴设备上，也可以应用于智能手机上（如 AR 游戏《Pokémon》）。
- 2) AI 的重要性更加凸显。**硬件在我们看来，仅仅是外在的表现形式，内核仍然是服务于人的交互的 AI，AI 的智能化升级最大的影响就体现在硬件的智慧程度上。
- 3) 入局的玩家将前所未有的广泛。**既然未来智能硬件的本质是 AI，什么样的长相并不重要，不一定是 VR/AR 头显、机器人的形态，也有可能是智能音箱、智能台灯、智能宠物等垂类硬件形态，未来的智能交互硬件会越来越多，目前新计算平台的入局方可以是六大框架中的每一个企业，进而重塑硬件产业链的过往惯性路径，难以再直接参考智能手机时代的经验。

总结来看，从游戏主机到个人电脑再到智能手机，我们已经见证了多次计算平台的迭代，不管下一代计算平台是什么，我们本篇报告先立足于当下的 VR，去探寻相关技术的迭代路径。**首先**，需明确 VR 技术与 VR 设备是完全不同的概念，VR 整个产业链包括硬件、软件、应用及服务，Virtual Reality（虚拟现实技）技术囊括计算机、电子信息、仿真技术于一体，其基本实现方式是计算机模拟虚拟环境从而给人以环境沉浸感；VR 设备只是产业链中的其中一环；**其次**，VR 是对过去 50 年一系列二维设备的全部生态的迭代，经过近十年的发展，相关技术、产品形态及内容应用已经呈现一定的火候。**最后**，未来新计算平台的入口不局限于 VR 这种单一的产品形态，预计会独立发展出其他硬件体系，带来更多元的交互与应用体验。

参考 PC 互联网、移动互联网的发展经验，PC/智能手机从最开始出现到普及耗费了约 20-30 年的时间。VR 头戴设备预计也将遵循 PC/智能手机时代的发展规律，2015-2021 年，VR 硬件形态从 VR 盒子到 PC VR/游戏主机 VR 再到移动 VR 一体机的进化，产品形态越来越便携化、小型化。我们认为未来 VR 普及的关键因素在于：用户体验的改善、技术壁垒的攻克、内容与应用生态的全面起步，三者是相辅相成的关系。

**VR 的近眼显示设计可提供逼真的视觉体验，同时也更强调可用性与舒适性。**VR 普及的关键之一是用用户体验的改善，相较于智能手机，VR 硬件体验的舒适度尤为重要，原因在于 VR 头显是带在头上的设备，且离眼睛非常近，更强调沉浸感，同时也更容易带来眩晕感。因此，从 VR 问世的第二天起，体验问题一直备受关注，晕动症是 VR 发展过程中的主要痛点之一。

而构成 VR 用户体验的要素大体可归纳为以下几个方面，即硬件、软件、内容及其他个体等要素。同时，构成 VR 用户体验的各要素也会影响用户产生眩晕的几率及眩晕程度。

### (1) 什么是晕动症?

每个人在不同状态下都可能有过眩晕体验，比如常见的晕车与晕船，由于乘客关于身体的视觉输入让其以为他们似乎没有移动，但前庭系统的感知信号却表示他们正在移动，这时乘客就会产生晕眩与恶心的症状。从生理层面来讲，晕动症是我们视觉所见与前庭感觉系统体验不一致所导致的结果，其基本表现为头晕、恶心、想吐、冒虚汗、体温上升、耳鸣、打瞌睡等表象。

简单来说，晕动症的产生是由于预期运动与实际经历的运动在感官上不一致，这背后是人的生理防御机制在起作用，类似的防御机制体现在很多方面，如人酒喝多之后的呕吐、人多度运动后会产生乳酸堆积等。

### (2) VR 晕动症

VR 晕动症产生的原理与晕车晕船类似。VR 晕动症是特指用户在虚拟空间中，即戴上 VR 头显设备进行空间位移行为时，大脑因为视觉信号与平衡感知信号冲突而导致的晕眩甚至呕吐的症状。

VR 晕动症根据其具体引发原因又可以分为**视觉晕动症**与**模拟晕动症**。模拟晕动症本质是由于用户视觉上观察到的状态与身体的真实状态之间的不一致引发的。视觉晕动症就是单纯的由头显的视觉系统引起的眩晕感，跟用户身体自身无关。主要是由于头显本身的刷新率、闪烁、陀螺仪等引起的高延迟问题导致的眩晕感。

综合而言，造成 VR 设备用户体验差、引起晕动症的原因，包括硬件本身、软件系统、内容设计以及其他个体等因素。从技术的角度来看，VR 头显设备本身所带来的眩晕问题，即视觉晕动症会随着软硬技术的迭代而逐步得到解决。

### (3) VR 晕动症与 MTP

虚拟现实是融合多种前沿综合科技的集合体，包括实时三维计算机图像图形技术，宽幅视野立体显示技术，用户头、眼、身、手、心等追踪识别技术，以及触觉力觉反馈、立体声效、空间声效、网络传输、数据分析、语音输入输出、空间识别等技术。

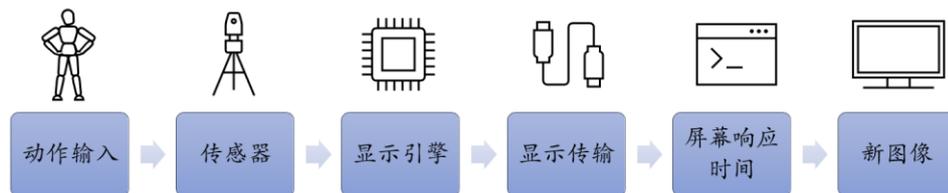
通常来说，利用计算机进行三维建模渲染去建立图形图像模拟并不难。若拥有足够准确的参照资料，在充足的时间条件下，就可以利用三维建模渲染技术生成在不同光照条件下针对各种物体模拟的精确图像。但由于虚拟现实技术提供的图像是基于实时渲染的，对于需要快速变换图像内容、快速变换视角内容的重建来说问题就变得相当困难。例如驾驶和飞行模拟等内容，图像的实时更新就相当重要。

**影响头戴式 VR 显示设备沉浸感的其中一个非常重要的因素是 MTP。**对于头戴式 VR 头显系统来说，在 VR 画面经过用户输入、传感器识别、信号传递、计算机 CPU&GPU 运算、显卡绘制、屏幕响应，之后最终输出到 VR 头显供用户可以看到，实现以上多个环节所需的时间叫做 Motion To Photons Latency，指从用户运动开始到相应画面显示到屏幕上所花的时间，这个时间越短，设备的沉浸感越好，时间越长，用户的眩晕感越强烈。MTP（动显延迟）是 VR 领域中非常重要的一个概念。

**MTP 低于 20 毫秒能大幅降低晕动症的发生可能。**人类的感官系统在一定范围内能感知到视觉与听觉中相对较小的延迟，VR 晕动症主要看 MTP，MTP 数值越大越容易引起眩晕。人类

生物研究表明，人类头动与视野回传的延迟须低于 20 毫秒，否则将产生视觉拖影感从而导致强烈眩晕，极大程度上破坏 VR 沉浸感。其表象为用户已经做完了一个指令输入，但是没有同步取得输入结果，有一定延迟存在。而正常的人类感知行为，是当进行一个动作时，视觉反馈与动作输入的结果几乎是完全同步的。VR 中的延迟会在极大程度上破坏沉浸感，带来前庭系统的不适，从而引起眩晕。因此，VR 对 MTP 要求通常以不高于 20 毫秒为目标。

图 4：MTP（动显延迟）产生的过程与构成因素



资料来源：安信证券研究中心

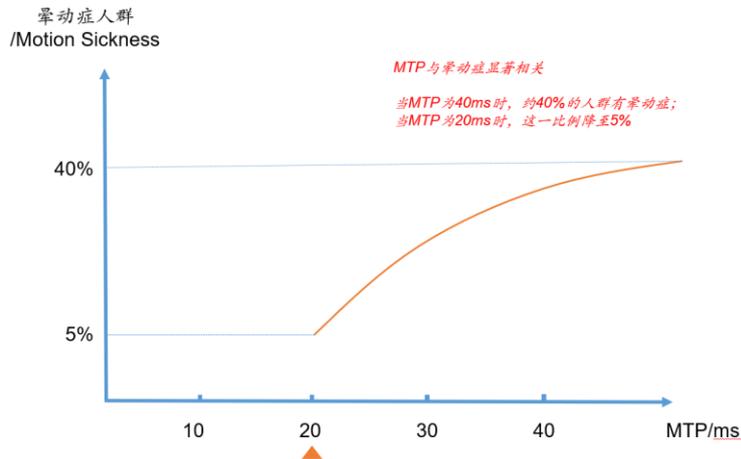
目前 VR 头戴式显示设备的软硬件方案中，MTP 的主要由传感器延迟、计算延迟、传输延迟与屏幕显示延迟这四个方面组成。

- **第一部分是传感器延迟**，指用户与头部运动数据的采集，与追踪定位系统相关，位置跟踪器需要一定的时间来采集与处理这些数据，用时约 1-2 毫秒；
- **第二部分是计算延迟**，指主机计算出用户与头部运动姿态以及根据相应的数据渲染出对应的画面，与 CPU、GPU 的计算性能相关，用时约 3-7 毫秒；
- **第三部分是刷新率/传输延迟**，指 GPU 将渲染好的画面传输至显示系统的过程，用时约 8-16 毫秒；
- **第四部分是屏幕显示延迟**，指屏幕的响应时间，不同显示屏的差异较大。

低 MTP 依赖于高性能的主机(CPU&GPU)、高刷新率的显示屏，以及相关的软件算法优化。在 MTP 的组成中，其中与显示屏相关所带来的延迟占有很大的比重。显示屏延迟实际上包含两个部分：1) 输入延迟，与刷新率相关，显示屏的刷新率决定了单位时间内人眼可以看到多少画面的变化，比如 90hz，表明人眼每秒可以看到 90 帧变化的画面，更高刷新率可以让人眼在单位内时间看到更多的变化画面，相应地画面的变化间隔时间也就越短，最终的 MTP 就越小。2) 屏幕响应时间，指像素收到输入信息时响应并改变颜色所用的时间。以 Oculus Rift 为例，Oculus Rift 总延时为 19.3 毫秒，其中屏幕显示延迟 13.3 毫秒，延时占比达到 69%。

2016 年，VR 行业的平均 MTP 约为 40 毫秒，依然会产生眩晕的问题；2018 年之后，VR 的 MTP 可以达到 20 毫秒以内，使得大部分人在体验 VR 时不会有眩晕感。MTP 时延的降低，离不开 VR 设备厂商、芯片厂商、光学模组厂商、显示屏厂商等的合力推动。

图 5: MTP 与晕动症人群曲线



资料来源: 小派科技公司调研, 安信证券研究中心

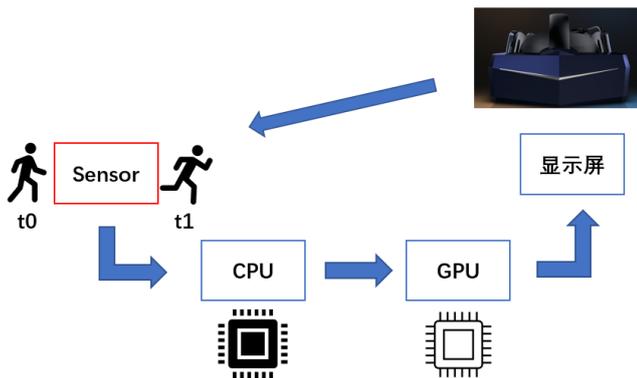
#### (4) 相较于手机/电脑, 为什么 VR 更容易产生晕动症?

晕动症与延迟的问题不只是存在于 VR 中, 也可能在手机、平板与电脑中产生, 如 3D 眩晕症。3D 眩晕症是一种在游玩 3D 游戏时产生恶心感的病症, 也是由于人在视觉上观察到的状态与身体的真实状态不一致而产生的。

VR 在开发的过程中与手机/电脑这些硬件最大的不同之处在于要尽可能的降低 MTP。目前当用户在电脑上玩大屏游戏的时候, 一般情况下延迟的存在并不对人的体验产生很大的影响, 而 VR 虚拟环境中的 MTP 的重要性非常凸显, 更容易引发晕动症, 这主要源于手机/电脑与 VR 是基于完全不同的操作与显示逻辑。以电脑为例, 电脑与 VR 的延迟的构成要素不同, 电脑的延迟指从点击鼠标/键盘到显示器画面的显示时间, 从硬件路径来看, 依次是鼠标/键盘-主板-CPU-GPU 渲染-显示器。其中, 在输入这一环节存在非常大的差异, VR 的输入端的关键性在于要先感知人到在空间中的定位变化, VR 对输入的延迟性要求很高; 而电脑的输入主要是通过鼠标/键盘来完成, 延迟极低。同时, 由于涉及到复杂的 3D 空间定位, VR 中的 3D 画面的渲染难度也在加大, VR 需要针对两只眼睛同时渲染 2 张图像, 比常规的 PC 渲染量都要大得多。

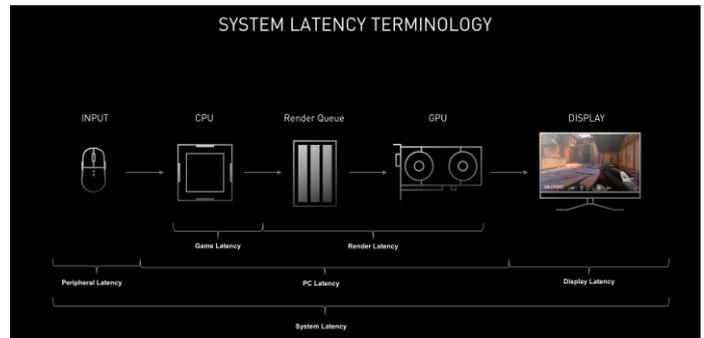
总结来说, VR 所显示的内容与用户所处的位置有非常强的相对关系, VR 显示的前提是必须先感知到人在空间中的定位变化, 即用户改变位置的状态被 CPU 计算并提交至 GPU, GPU 再将显示区域渲染出来, 最后投送至显示屏幕上, 这一系列的过程涉及到复杂的空间定位, 若处理不好, 就会有较大的延迟存在。而手机的操作逻辑是类似 PC 的窗体逻辑 (触屏去下达指令), 手机与电脑的输入延迟主要是由触屏或外设所带来的。

图 6: VR 中端到端系统延迟的产生过程



资料来源: 小派官网, 安信证券研究中心

图 7: 电脑中端到端系统延迟的产生过程



资料来源: 英伟达官网

除了以上与 MTP 相关的软硬件技术之外, 还有其他因素都能够造成 VR 的眩晕感, 如内容设计、个体生理差异、外部环境变化等。

## 2.2. 基于沉浸感的需求, VR 技术迭代的目标

VR 的英文全称为 Virtual Reality (虚拟现实), 根据其定义, VR 技术囊括计算机、电子信息、仿真技术, 其基本实现方式是以计算机技术为主, 利用并综合三维图形技术、多媒体技术、仿真技术、显示技术、伺服技术等多种高科技的最新发展成果, 借助计算机等设备产生一个逼真的三维视觉、触觉、嗅觉等多种感官体验的虚拟世界, 从而使处于虚拟世界中的人产生一种身临其境的感觉。总结来说, VR 整体发展迭代的重点在于沉浸感, 以期达成的目标: 接近人眼的视觉、接近自然的交互。

就目前的 VR 头显来看, 主要通过视觉与交互两方面来达到沉浸感的目的:

- 1) 一是视觉方面, 通过放大的显示屏技术, 能够在用户眼前显示出一个放大的局部虚拟景象, 目前显示视场角在介于 90-110 度, 在这个显示范围内, 主要通过三维引擎技术, 实时渲染出 3D 图像。
- 2) 二是交互方面, 通过和头部的位姿传感采集的数据配合, 让三维引擎响应头部转动方向, 以很高的频率实时改变显示的三维头像, 用户头部转动的角度刚好与三维引擎模拟的三维画面视觉一致, 让用户觉得与虚拟环境发生了交互。

### 2.2.1. 接近人眼的视觉

接近人眼的视觉体验, 具体拆解为显示与光学两部分。

- 显示部分与像素密度即分辨率相关, 涉及到 PPI (像素每英寸)、PPD (像素每度);
- 光学部分与视场角相关, 涉及到 VFOV (垂直视场角)、HFOV (水平视场角)。

其中, PPI 与 PPD 均是描述分辨率的单位, PPI 是像素每英寸, 是图像分辨率, 指的是图像中存储的信息量。但这个概念在 VR 中不太准确, 因为那只是物理屏幕上的像素数, 而不是带上 VR 头显之后人在空间的一个区域内所感受到的像素数, 所以 VR 中有个新的概念叫 PPD(Pixels Per Degree), 像素每度, 为角分辨率, 指视场角中的平均每 1 度夹角内填充的像素点的数量。

#### 2.2.1.1. 分辨率

分辨率, 又称为屏幕解析度或解像度, 决定了位图图像细节的精细程度。通常情况下, 图像的分辨率越高, 所包含的像素就越多, 图像就越清晰, 印刷的质量也就越好。

分辨率可以具体分为显示分辨率与图像分辨率两大类。

**屏幕分辨率**（显示分辨率）是指显示器所能显示的像素有多少，一般是以（水平像素数×垂直像素数）表示。由于屏幕上的点、线、面都是由像素组成的，显示器可显示的像素越多，画面就越精细，同样的屏幕区域内能显示的信息也越多，所以分辨率是个非常重要的指标。显示分辨率一定的情况下，显示屏越小图像越清晰，反之，显示屏大小固定时，显示分辨率越高图像越清晰。

**图像分辨率**是指在计算机中保存与显示一幅数字图像所具有的分辨率，与图像的像素有直接的关系。图像分辨率表示的是图片在长和宽上占的点数的单位。例如，一张分辨率为 640x480 像素的图片，其分辨率达到了 307200 像素，也就是常说的 30 万像素；而一张分辨率为 1600x1200 的图片，其像素约 200 万。图像分辨率决定图像的质量。对于同样尺寸的一幅图，如果图像分辨率越高，则组成该图的图像像素数目越多，像素点也越小，图像越清晰、逼真。

而对于 VR 头显来说，头显屏幕分辨率最容易被人所误解，源于 VR 头显屏幕与普通屏幕有一个关键区别，即用户不是通过肉眼直接看屏幕，而是通过近眼显示与透镜来观看一个尺寸被放大数倍的屏。针对这样的 VR 视觉的分辨率就产生了显示上的区别。

2016 年初，三大 VR 头显厂商（PSVR、Oculus Rift、HTV vive）普遍使用双眼 2K 的分辨率，即单眼 1080\*1200，双眼 2160\*1200 像素，他们定义了 2016 年度时间点的硬件标准，但在 2K 的分辨率下，VR 头显显示有比较明显的纱窗感。2019 年，主流 VR 头显的分辨率达到双眼 4K 的水平，可以提供 800 多万像素。

表 1：2016-2021 年部分 VR 产品的分辨率情况

产品	发布日期	分辨率
PSVR(PlayStation VR)	2016 年 10 月 13 日	单眼 960x1080
Oculus Rift	2016 年 3 月 28 日	单眼 1080x1200
HTC vive	2016 年 4 月 4 日	单眼 1080x1200
Pico Goblin	2017 年 12 月 20 日	单眼 1280x1440
Oculus Go	2018 年 5 月 1 日	单眼 1280x1440
Pico NeoIG2	2018 年 7 月 31 日	单眼 1440x1600
HTC vivo Pro	2018 年 4 月 4 日	单眼 1440x1600
HTC vive Focus	2019 年 4 月 15 日	单眼 1440x1600
Oculus Quest	2019 年 5 月 21 日	单眼 1440x1600
Oculus Quest 2	2020 年 10 月 13 日	单眼 1832x1920
Pico Neo 3	2021 年 5 月 10 日	单眼 1832x1920

资料来源：各公司官网，安信证券研究中心

2016-2019 年，对于 VR 头显来说，分辨率的提升是最大的进步之一，从 2K 提升至 4K 的分辨率。到 2019 年之后，在 4K 屏的加持下，用户能够感受到的纱窗感大幅减弱，当用户观看反光细节、远处的目标物时，能够明显感觉到分辨率的提升。

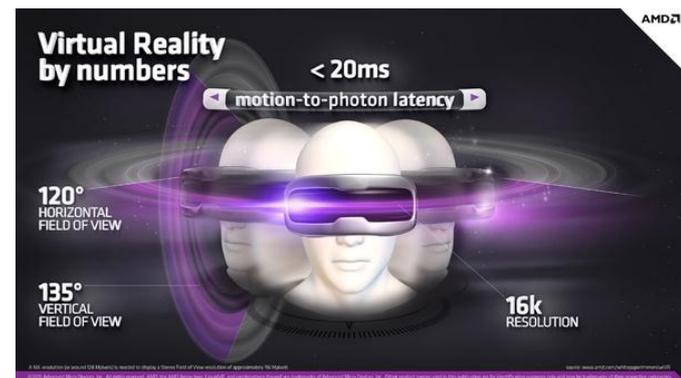
一般来说，1400P 显示分辨率的头显会比 1080P 更清晰。但在 VR 中的逻辑不一定这样，4K 分辨率的 VR 头显内的图像并不像电脑 4K 显示器那样清晰，仍有一定的纱窗效应出现，VR 头显中的图像细节与消费级 1080P 显示器差不多。另外，同样分辨率、不同 VR 头显的成像质量可以差异很大，一个可能很清晰，另一个可能拥有更大的视野。

那么当 VR 的分辨率达到什么程度才能够达到人眼“视网膜”效果？2015 年，AMD 公司已

经开始为开发者、生产商研发了 LiquidVR SDK，同时他们还做了相关虚拟现实研究：全沉浸式体验需要什么？根据 AMD 的定义，全沉浸式体验是指 20 毫秒以下的时延，120 度的水平视角，135 度的垂直视角，以及单目 8K、双目 16K 的综合分辨率。

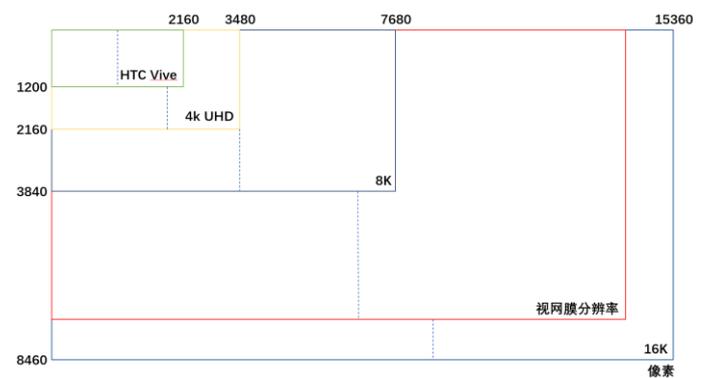
理论上来说，人类视网膜中央凹能达到 60 个 PPD(角分辨率)的可视度，在水平 120 度与垂直 135 度的视角下，根据测算，要达到“视网膜”效果，就需要 8100(135\*60)x7200(120\*60) 分辨率，双眼就需要 16200(8100\*2)x7200 分辨率，约 1.2 亿的像素数，也即接近 16K 分辨率的水平。

图 8：AMD 对全沉浸式体验的定义



资料来源：AMD

图 9：人眼视网膜分辨率对比



资料来源：安信证券研究中心

提高 VR 设备的像素密度，并不是单纯地把高密度显示面板造出来然后放进头显这么简单。从 2K 到 4K、4K 到 8K 的升级，每次升级表面上看只是数字翻了一倍，然而像素数量却是呈平方级提升的，4K 是 2K 的 4 倍，8K 是 2K 的 16 倍。同时也要考虑硬件的计算性能，也要相应地提升数倍，以及数据传输等因素。

然而 16K 分辨率也只是从理论上推出的极限数值，实际屏幕的分辨率只要达到 12K 左右就基本没有晶格感了。

总体来说，目前市场上主流的 VR 头显分辨率基本上为 4K、8K，低于 4K 会感觉不清晰，从而带来眩晕感，且影响程度较为明显。

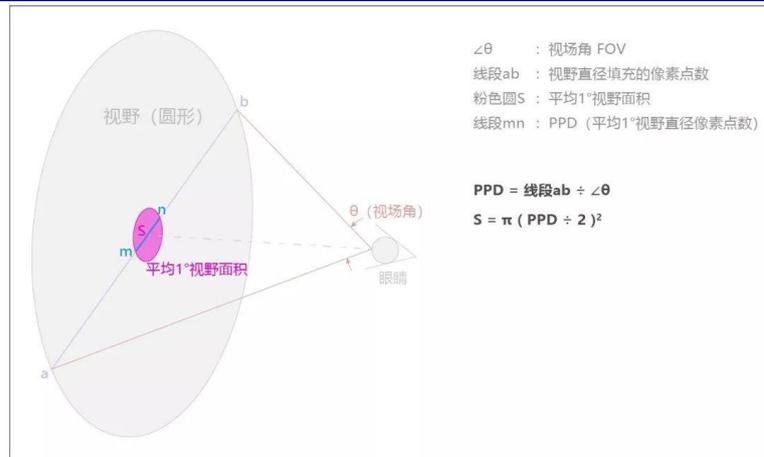
### 2.2.1.2. PPD

在传统硬件体系中，除了用每厘米像素数（PPC，Pixel Per Centimeter）来衡量图像的分辨率，也会用每英寸的像素数（PPI，Pixel Per Inch）来衡量。对于手机来说，苹果将视网膜分辨率的屏定义为 300 PPI，也就是每英寸有 300 个像素数时，用户在使用手机时感觉不到像素颗粒。

尽管对目前的手机来说，PPI 数值基本都已达到视网膜屏的程度来了。但是在 VR 硬件，用 PPI 来衡量屏幕清晰度其实不太准确，且 VR 体验对 PPI 的要求更高。因为 VR 头显是透过光学系统看放大后的虚拟图像，而不是直接看屏幕，单用 PPI 是无法衡量头显清晰度的。因此，我们需要引入一个更加跨平台、与使用场景无关的通用衡量标准——角分辨率（PPD，Pixel Per Degree），指每一度视角的像素数。

对于头戴显示类产品，PPD 数值越大，意味着人眼视野中单位区域的画面内填充的像素点的数量越多，视觉感受越清晰细腻。PPD 提高一倍，则代表着同一视野区域内填充的像素点数量增加为原来的 4 倍。

图 10: PPD 的概念及计算公式



资料来源: 百度百科

PPD 的计算公式为,  $PPD = \text{光学覆盖最大像素数} / \text{视场角度数}$ 。就目前市面上的 VR 头显设备来说, 知道分辨率与视场角度数就能计算出 PPD 的数值。目前市场主流 VR 头显的双眼分辨率为 4K, 其 PPD 计算如下。

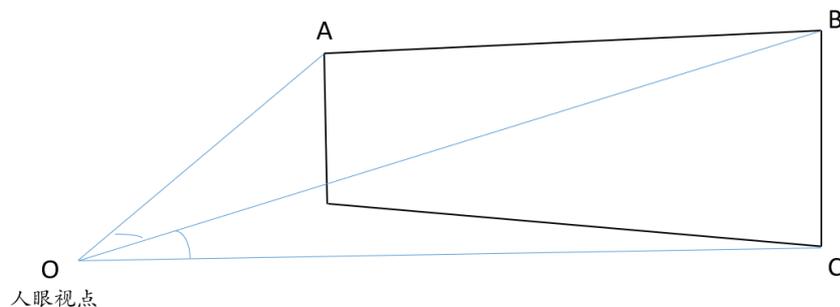
- **Oculus Quest 2**: 单眼分辨率 1832x1920 像素数, 最大视场角为 97 度, 单眼 PPD 约为 19.79。
- **Pico Neo 3**: 单眼分辨率 1832x1920 像素数, 最大视场角为 98 度, 单眼 PPD 约为 19.59。
- **Pimax Vision 8KX**: 单眼分辨率 3840x2160 像素数, 最大视场角为 159 度, 单眼 PPD 约为 24.15。

经过计算, 我们发现目前市场上主流 VR 头显设备的 PPD 约为 20-25。而人眼的极限 PPD 为 60, 即 60PPD 的显示分辨率是理想的视网膜分辨率, 但是在 30PPD 左右时, 人眼基本上就感受不到像素颗粒, 视频看起来也较为清晰。因此, 目前行业水平的 20 多 PPD, 离 30PPD、甚至是 60PPD, 还有较大的提升空间。

### 2.2.1.3. 视场角

视场角 (FOV, Field of View), 即可见区域或可见角度, 代表了人眼所能看到的空间区域范围。在计算机相关显示系统中, 视场角就是显示器边缘与观察点 (眼睛) 连线的夹角。如图所示, 设定 O 为用户观察点 (眼睛), AOB 角为水平视场角, BOC 为垂直视场角。

图 11: 视场角 FOV 的概念



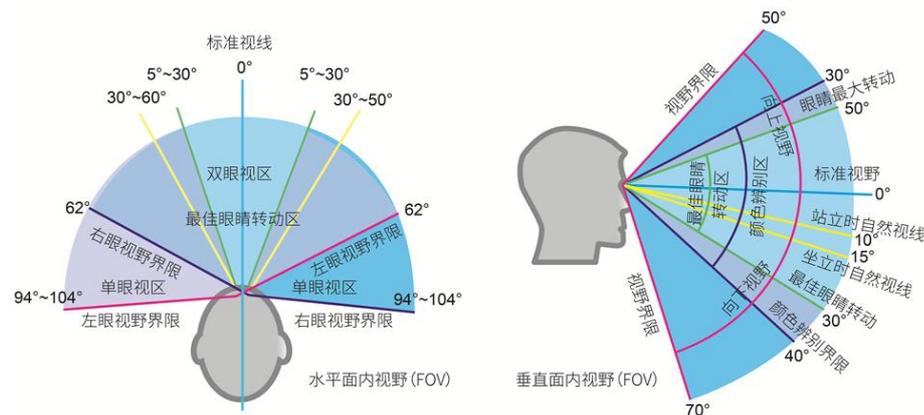
资料来源: 安信证券研究中心

正常来说, 人眼视场角大致为 30 度到 100 度, 双眼的裸眼水平视场角略大于 200 度, 垂直

视场角约 130 度。其中又可分为几个视域：

- 1) 分辨视域，约 15 度，指映在人眼视网膜上的图像，只有中心部分能分辨清楚；
- 2) 有效视域，十几度到 30 度，人还不需转动头部，也能够立刻辨别清楚在该区域内物体及其状态，但分辨能力已有所下降；
- 3) 诱导视野，超过 30 度的周边部分，俗称眼睛的余光，人只能感觉到物体的存在或有动作出现，需转动头颈才能看清楚。这一角度为 30 度到 100 度，不同人之间的差异较大。

图 12：人裸眼视场角的范围



资料来源：多普微光学设计

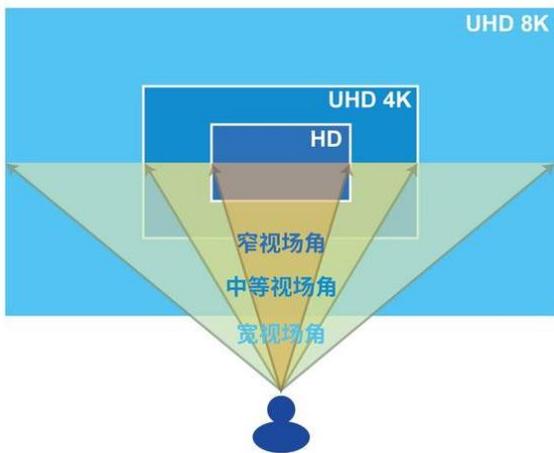
视场角的大小影响到 VR 的沉浸感与清晰度。视场角在 VR 中的作用主要是与沉浸感密切相关，一般来说，视场角越大、越不容易产生眩晕感，沉浸感也就会越强；视场角小意味着看到的影像小，对分辨率的要求低。人眼正常的视场角为 120 度左右，现实应用中，较小的视场角如 60 度，就会产生黑边效应。因此，对于 VR 设备而言，其水平视场角至少要达到 90 度左右，才能够保证用户获得较高的沉浸感。目前市场上主流 VR 设备的视场角范围在 90 度-110 度之间，如 Oculus Quest 2 的水平视场角为 97 度，Pico Neo 3 的水平视场角为 98 度，能支持大多数的 VR 游戏与应用场景，Pimax Vision 8KX 的水平视场角甚至做到了 159 度。

VR 中的视场角受多因素影响，并非越大越好，需搭配合适的屏幕。增大视场角是目前 XR 光学领域依然需要攻克的难题之一，但视场角并非越大越好，视场角只是影响 VR 沉浸感的因素之一，需综合考虑诸如分辨率、对比度、透光率、失真、尺寸、重量、成本等因素，此外更大的视场角也将对设备计算力、功耗等提出更高要求。

若不考虑其他因素，以屏幕大小为例，合适的视场角要搭配合适尺寸的屏幕才能展现出最佳的显示效果，屏幕越大，相对应的视场角也是越大越好；但对于小屏幕来说，大的视场角反而会破坏沉浸感。若一味的将视场角做大，不仅会造成视角浪费，在屏幕 PPD 还不够高的情况下，还会带来更强烈的颗粒感。

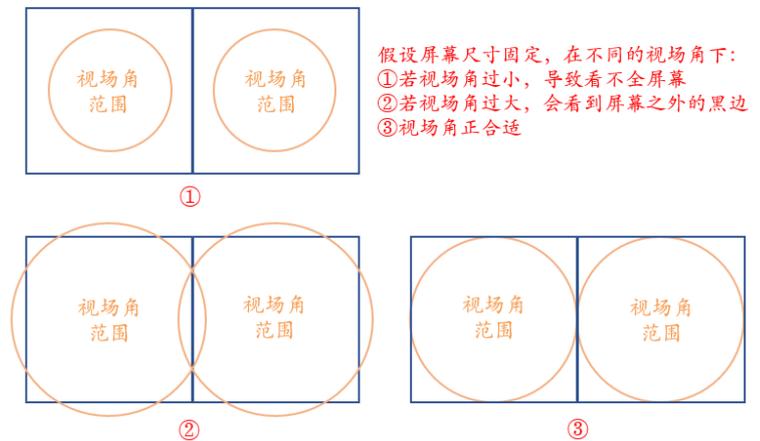
我们认为，VR 视场角并非越大越好，而是要视具体的使用环境，从屏幕尺寸、分辨率等方面进行综合考量。以当前的软硬件技术水平来看，100 度的视场角已基本能保证舒适的用户体验与沉浸感。

图 13：视场角越大，沉浸感越强



资料来源：多普微光学设计

图 14：视场角需搭配合适的屏幕



资料来源：安信证券研究中心

### 2.2.2. 接近自然的交互

每一次的技术革新及产品升级，都会带来重大的人机交互方式变化。在 PC 时代与移动互联网时代，人们分别通过键盘鼠标与触摸操作与数字信息进行互动。这些都是建立在二维世界的 2D 界面交互，并不适用于 VR 中的 3D 虚拟世界，2D 交互远远不足以满足沉浸感的需求。这就要求 VR 中的交互方式需被重构，一方面是交互方式变得更加多样化，另一方面是交互体验更加自然。

不同于智能手机，VR 产品的交互场景设计是产品的核心壁垒之一。从感官体验的角度，人的视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉可以直接关系到 VR 的沉浸感，其中立体视觉与立体音效已经可以实现，触觉、嗅觉与味觉的交互反馈技术也在加快发展。另外，在目前的 VR 交互体系之中，交互方式方式包括语音识别、手势识别、面部追踪、眼动追踪等，未来还可能加入脑波控制、意念识别等。

VR 头显设备发展至今，市场上主流产品的交互方案已从早期的 3DoF 升级为 6DoF，且有的产品在未来的交互设计上还将加入面部追踪与眼球追踪技术。为区别于智能手机已有的交互方式（如按键触摸、语音识别），本文着眼于 VR 这一头显设备所特有的交互方式进行分析。

#### 2.2.2.1. 头手 6DoF

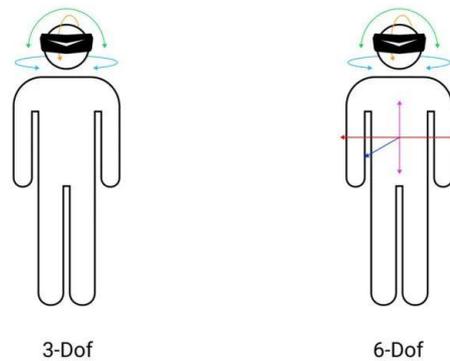
人眼通过 VR 设备所看到的画面是通过透镜将显示器上的画面折射到视网膜，而人眼所看到的画面会随着身体与头部的运动而不断变化，陀螺仪的作用就是实时监测到头部的运动，通过处理器来计算与生成显示器上显示的画面。超强沉浸感的实现，除了全方位虚拟景象的展现，实时的交互也很重要。根据可交互程度的不同，VR 设备常提到 3DoF 与 6DoF 的概念。DoF (Degree of Freedom)，即自由度。

3DoF 是指当头部处于一个固定位置时，VR 设备中的陀螺仪可以检测到头部向不同方向转动的角度，并呈现全景画面中相对应的部分，从而使用户在视觉上拥有被场景包裹的感受，实现基础的视觉沉浸。

在 3DOF 的 VR 体验中，一切观察的基点都来源于头部的视角。但 3DOF 头显无法自动捕捉用户视野高度。因此，3DOF 头显的弊端在于：一是无法通过头部位移的微动作来调整视距，二是无法自动捕捉用户身高来匹配视野高度，影响沉浸感。

6DoF 就是 6 自由度，用户除了具备在 X、Y、Z 三轴上旋转的能力之外，也具备在 X、Y、Z 三轴上移动的能力。即在 6DOF 的 VR 体验中，用户不仅可以体验到头部的转动带来的视野角度变化外，还能够体验到由于身体移动带来的上下前后左右位移的变化。

图 15: 3DoF 与 6DoF 的概念



资料来源：小派公众号

VR 设备从 3DoF 到 6DoF 的交互升级，也带来了应用场景的拓展与体验的升级。一般来说，3DoF 的 VR 设备对于不需要完全沉浸式的应用来说已经够用，比如看 VR 电影，而要达到玩游戏时与场景进行交互，则需要能够支持 6DoF 的 VR 设备，增加位置追踪功能可以带来更多的参与体验，比如用户可以在游戏中进行躲避障碍、跳跃等互动动作。

在具体的交互方式上，3DoF/6DoF 的头部交互主要是通过射线投射（Ray casting）的方式来进行操作，其原理是从标定的视野中心向正前方射出一束射线，射线与空间中的界面产生交集。常规的交互设计中会将双目视线中央的一条线作为视中心，这样一来视中心的射线就会与界面产生交点，从而引导用户的视线落焦在相应的信息上，也就是常说的 Cursor（光标）。

目前 6DoF VR 一体机已成为主流产品。2019 年之前的 VR 产品形态大多以 PC VR 出现，且以 3DoF 交互为主。2019 年之后，6DoF VR 一体机出现，HTC 与 Oculus 分别发布了旗下的 Vive Focus Plus、Oculus Quest 产品，支持头手 6DoF 自由度追踪，并配备了升级版的手柄。自 6DoF VR 一体机开始，VR 头显才真正实现了无线、移动、便携、全沉浸自由交互等特点。相比于电脑/智能手机的指尖交互，带来了更多的可扩展性与差异性。目前市场上主流 VR 设备大多都属于 6DoF VR 一体机的类型，如 Oculus Quest 2、Pico Neo 3、奇遇 VR 等。

#### 2.2.2.2. 面部追踪、眼球追踪

人的身体有视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉五大感知系统，我们所接收的 80% 的信息都来自于眼睛，且人的头部占据了四大感官系统。为追求更自然的交互，继 6DoF 之后，面部追踪、眼球追踪等是众多 VR 厂商都在极力研发与使用的技术。面部追踪与眼球追踪的概念由来已久，但在现阶段将多项追踪技术集成到一个 VR 头显中，还存在一定的难点，需要更多的组件，也意味着额外的成本，依赖软硬件的共同进步。

眼球追踪又称注视点追踪，是利用传感器捕获、提取眼球特征信息，测量眼睛的运动情况，估计视线方向或眼睛注视点位置的技术。眼动追踪被认为可以实现新的输入方式，且可以提供注视点渲染。相较于面部追踪，眼球追踪技术还远未成熟，比如人与人之间的生物学差异大，不同国家不同人群的瞳距、散光等不同，很难全面覆盖人群。

面部与眼球追踪技术除了能够带来更自然的交互体验之外，还能带来更广阔的应用场景，甚至可以优化屏幕显示效果。

- **更自然的交互：**现实生活中，人们优先以眼球转动来锁定注视目标，眼控交互可以让 VR 更人性。比如用神经处理技术来捕捉微笑、皱眉等人类面部表情，并基于这些表情可以去触发虚拟现实环境下的特定动作；
- **更广阔的应用场景：**捕捉用户快乐、愤怒、惊讶等常见面部表情以及眼神的变化，用于头像功能，使得用户在 VR 社交与办公场景中的 3D 化身更加真实；
- **优化屏幕显示效果：**人的瞳距不同、佩戴方式不同会影响用户体验，运用眼球追踪技术来测量玩家的瞳距以帮助最大限度得发挥 VR 头显内的屏幕 3D 效果；另外，由于眼球追踪技术可以获取人眼的真实注视点，通过注视点渲染技术，使得 VR 显示屏只专注于提升渲染玩家眼前的画面细节，以节省硬件算力。

各大硬件厂商在面部追踪、眼球追踪等技术领域早有布局，方案不尽相同。

- **HTC：**推出了面部追踪器的外置配件，售价 1099 元，Vive 面部追踪器可以精确捕捉面部表情与嘴部动态，实时解读使用者的意图与情感，且其具备超低的延迟率，使得嘴部动态和声音可以同步。新 VR 产品 HTC VIVE Flow 有眼动追踪版本可选。
- **Meta：**正在研制的高端 VR 头显 Project Cambria 有望加入面部追踪与眼球追踪的功能。Cambria 拥有传感器来记录面部动作，同时面部追踪也会与眼球追踪共同用于头像功能，是否用于输入与注视点渲染还不确定。
- **Pico：**已获得“基于虚拟现实的眼球追踪方法、系统”的相关专利。Pico Neo 3 Pro 设备有眼动追踪版本可选。

图 16: HTC Vive 面部追踪器



资料来源：HTC Vive 官网

## 2.3. 为降低 VR 眩晕感，未来硬件、软件、内容的精进路径

### 2.3.1. 硬件技术迭代：降低四大 MTP 延迟

#### 2.3.1.1. 传感器延迟

**追踪定位方案的不同影响 MTP。**VR 显示系统，技术路径是经典的“输入——计算平台——输出”，即感知并认知世界、决策、执行这三个环节。按照技术的实现路径，在 MTP 的构成之中，输入端承载着重要的作用，从深度映射到头部追踪，再到注视点追踪与手势传感器等一系列的传感器对于 VR 体验而言至关重要。因为有实时渲染的需求存在，开发低延迟传感器至关重要。

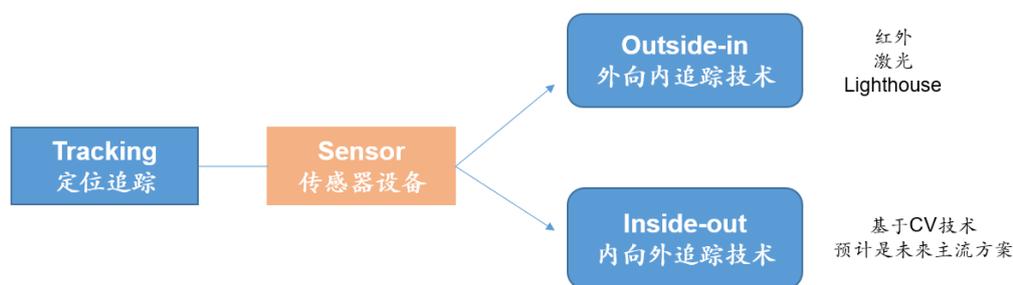
如果人在 VR 中发生了移动、转动，而画面没有及时得到相应的变化，那么人就会感到不自然，所以需要对人的动作与状态进行定位追踪 (Tracking)。人移动的方向有三组，前后左右

上下，头部的转动方向也是有三组，左看右看，上看下看，还有左右歪着头看，所以一共是有 6 个自由度的运动。而普通的手机追踪系统是基于 3DOF、陀螺仪，手机上的应用与游戏只能感知到用户在转动，但是不能确定用户具体在什么样 3D 空间中进行转动，即只能感知到用户在平面内做运动。

不同的空间定位技术对 MTP 会带来影响，目前 VR 主流空间定位方案有两种：

- **Outside-in tracking (由外而内的定位)**：也叫灯塔追踪，需要事先在环境中布置定位器，一般两个以上，实现从外到内的位置计算。早期如 HTV VIVE pro、Oculus Rift、Varjo VR 等均采用该类定位系统。
- **Inside-out tracking (由内而外的定位)**：不需要额外布置空间定位设备，借助 VR 头显本身的摄像头与传感器进行环境的感知与位置计算。如 Oculus Quest 2、HTC VIVE Cosmos、HTC VIVE Focus、Pico Neo 等 VR 设备，以及 Hololens1/2、Nreal 等基于视觉 SLAM 算法的 AR/MR 设备，均采用该类定位系统。

图 17：VR 中的空间定位方案分类



资料来源：安信证券研究中心

### (1) Outside-in 外向内追踪技术

根据定位信息采集的方式，由外向内的定位方式又可以分为**被动式定位**与**主动式定位**。其中，被动式定位由事先放置的定位点收集信息进行反馈，主动式定位由头盔主动收集信息进行反馈。相较于被动式定位，主动式定位属于第二代定位技术，便利性更高。典型案例中，HTC VIVE 采用的 Lighthouse 以及 Oculus Rift 采用的外置光学摄像头属于主动式定位。

**HTC Vive -Lighthouse 定位技术**：采用红外激光定位，基本原理是在空间对角线上安装两个配套的定位“灯塔”，分别在水平与垂直方向轮流对空间发射激光扫描定位空间，再通过自身头显与手柄上的接收器接收光束之后，计算两束光线到达定位物体的角度差，从而计算出头显/手柄的空间坐标。

**Oculus Rift 主动式红外光学定位技术**：有别于 HTC Vive 的 Lighthouse 定位技术，Rift 头显与手柄上配备了可以发出红外光的红外灯（为标记点），利用配套的摄像机去捕捉头显与手柄上的红外灯，过滤掉头显及手柄周围环境的可见光信号后，随后再利用程序计算得到头显/手柄的空间坐标。

图 18: HTC Vive 头显及配套的激光定位器



资料来源: HTC Vive 官网

图 19: Oculus Rift 头显及配套的红外摄像机



资料来源: Oculus 官网

## (2) Inside-out 内向外追踪技术

Inside-out 是一种光学跟踪系统，基于计算机视觉技术 (CV, Computer Vision)，其原理是以三角定位算法为基础，基于环境中设备自身的摄像头与传感器进行周边环境的实时动态感知，并经过视觉算法 (SLAM 算法) 计算出摄像头的空间位置数据，从而实现对目标的位置跟踪。

在 VR 设备中,主要是利用头显自身的摄像头或视觉传感器,让设备自己检测外部环境变化,并经过视觉算法计算出 VR 头显的空间位置。

而根据光源发射装置 (摄像头) 数量,可分为多目视觉定位 (如 Oculus Quest)、单目视觉定位 (如微软系列 VR 头盔)。对于多目视觉定位来说,因为多目传感器自身角度关系,既可以进行静态的位置估计,也可以进行动态的位置估计。单目视觉定位则只能在动态环境中获取不同时刻的目标图像,再根据坐标的变换进行位置估算。当前主流的 VR 设备大多为多目视觉定位。

表 2: Outside-in 与 Outside-out 定位追踪技术的对比

	Outside-in 外向内追踪技术	Inside-out 内向外追踪技术
原理	由外而内的定位: 需要事先在环境中布置定位器, 一般两个以上, 实现从外到内的位置计算	由内而外的定位: 不需要额外布置空间定位设备, 借助 VR 设备自身的传感器进行环境的感知与事实位置计算
追踪精度	准确度较高	目前的准确度略低 (算法依赖)
延迟	延迟相对低	延迟相对高
可移动范围	仅限于传感器监测范围	无空间限制, 活动自由
成本	较高	较低
对算力的需求	较低	较高
事先环境部署	需要	不需要
外部传感器	需要	不需要
主流设备应用	HTV VIVE pro、Oculus Rift、Varjo VR 等	Oculus Quest 2、HTC VIVE Cosmos、HTC VIVE Focus、Pico Neo 等
总结	成熟但昂贵	未来主流方案

资料来源: 安信证券研究中心整理

总结来看, Outside-in 与 Inside-out 定位技术在 VR/AR 领域均有较为广泛应用, 两者各有优劣势。Outside-in 定位技术的主要优点在于计算精度高、延迟低, 缺点在于成本高昂 (需配备众多传感器及提前进行部署环境)、活动空间范围受限等; 而 Inside-out 定位技术的主要优

点在于成本较低、无空间限制,但缺点在于目前的精确度略低且有延迟、对算力要求较高。

Oculus 旗下的 Quest 版本的头显均采用 Inside-out 定位技术,但第一代产品的体验仍不够好,随着算法的优化,真正带动体验跃升的是 Quest2 版本,进而对行业整体的提振很大。Pico 旗下新一代 Neo 系列头显亦采用了 Inside-out 定位技术,追踪摄像头数量从两个变成了四个,与 Quest 一样分布在头显的四角边缘位置。2021 年 1 月,爱奇艺奇遇 VR 召开发布会,正式推出国内首个 CV 头手 6DoF VR 交互技术,以及定位为“发烧级游戏大作”的国内首款 CV 头手 6DoF VR 一体机“奇遇 3”。

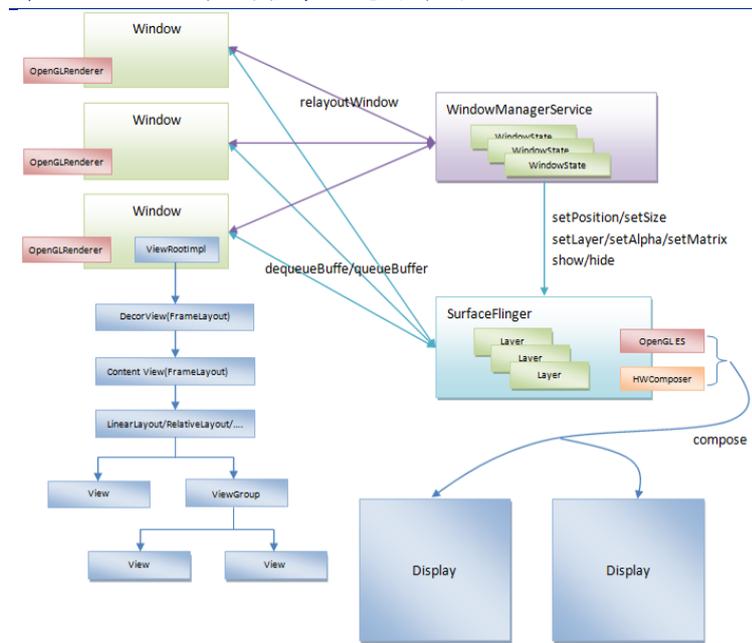
我们认为,基于 CV 技术的 Inside-out 定位技术未来将成为主流方式,且具备非常大的想象空间。目前市场上主流的 VR 头显基本上都采用了 Inside-out 定位技术,从未来虚拟现实发展的趋势来看,更高的沉浸感、更自然的交互、更逼真的场景体验都对虚拟现实定位技术提出了更高的要求,Inside-out 空间定位技术预计将成为未来主流方式。另外,由于 CV 技术是算法依赖的,其优点是可以与 AI 深度融合,能够不断的提升,因此随着算法的优化,相关技术成为众多行业应用底层技术,如在自动驾驶、智能机器人、无人机等领域的应用已落地,未来前景广阔。

### 2.3.1.2. 计算延迟

根据 CSDN 平台用户“限量发行”的观点,Android 系统采用一种称为 Surface 的 UI 架构为应用程序提供用户界面。在 Android 应用程序中,每一个 Activity 组件都关联有一个或者若干个窗口,每一个窗口都对应该有一个 Surface。有了这个 Surface 之后,应用程序就可以在上面渲染窗口的 UI。最终这些已经绘制好了的 Surface 都会被统一提交给 Surface 管理服务 SurfaceFlinger 进行合成,最后显示在屏幕上面。无论是应用程序,还是 SurfaceFlinger,都可以利用 GPU 的算力来进行 UI 渲染,以便获得更流畅的 UI。在 Android 应用程序 UI 架构中,还有一个重要的服务 WindowManagerService,它负责统一管理协调系统中的所有窗口,例如管理窗口的大小、位置、打开与关闭等。

在传统的智能手机 UI 架构上,用户与手机交互的过程中,手机屏幕最终所显示的信息是一层层刷上来的。这就带来了延迟的问题,但手机的操作延迟对用户的体验并影响不大。

图 20: Android 应用程序 UI 总体架构



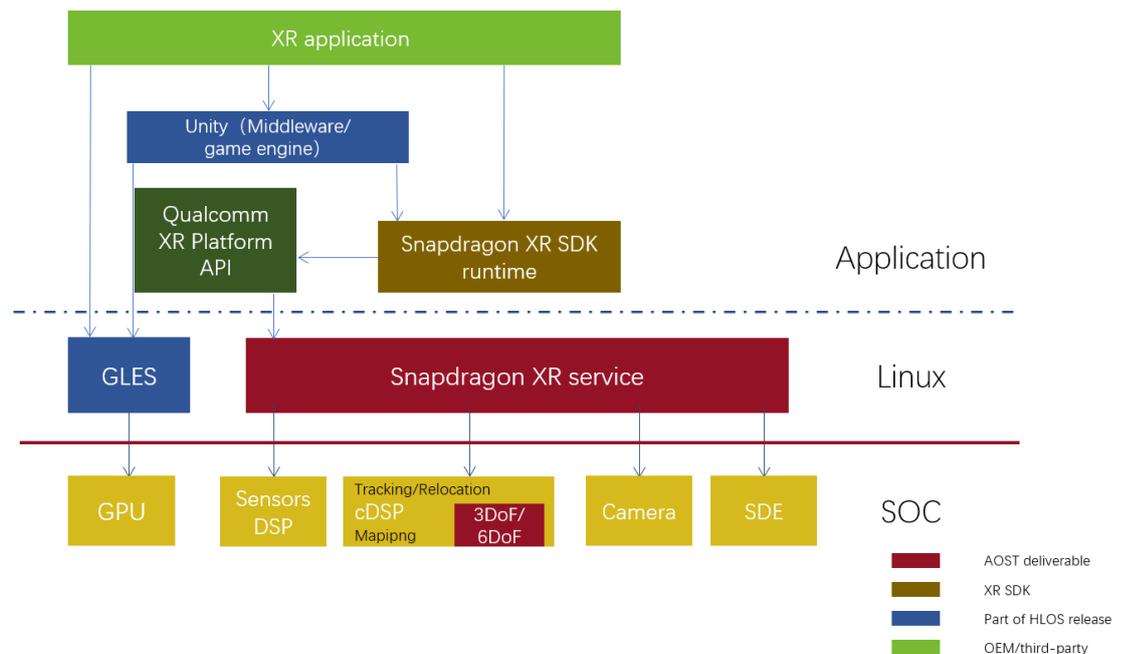
资料来源: CSDN “限量发行”

UI 用户界面，主要包含视觉（比如图像、文字、动画等可视化内容）以及交互（比如按钮点击、列表滑动、图片缩放等用户操作）。1973 年第一台图形界面操作系统电脑 Alto 问世，UI 开始走上历史舞台，此时的 UI 是黑白块与简单的图形。到 2015 年 UI 的发展到达一个顶峰，UI 是伴随智能手机的崛起而发展壮大，随后开始缓慢发展。

智能手机与 VR 硬件架构运行逻辑有非常大的不同。当前智能手机上的 UI，模式化太严重，很难区别一个产品与另外一个产品在界面表现上有多少特立独行的地方。UI 属于非沉浸操作，用户很容易被打扰，被其他东西分散注意力。UI 带来的主要是视觉体验，而 VR 带来的却是更多的感官体验，包括视觉、听觉、触觉等。

降低 MTP 延迟的要求，使得传统的智能手机 UI 架构已不适用，移动计算平台的性能很大程度上影响了移动 VR 设备的体验。2018 年，在增强现实世界博览会（AWE）前举行的发布会上，高通推出 XR 专用平台 Qualcomm 骁龙 XR1 平台，XR1 是向主流用户提供高品质 XR 体验、同时支持 OEM 厂商开发主流终端的下一代平台，支持 3DoF、6DoF 的头部追踪及控制器功能，捕捉延迟在 20 毫秒以内。

图 21: Qualcomm XR 平台架构



资料来源: Qualcomm

在开发引擎上，智能手机与 VR 硬件运行架构逻辑最大的不一样在于，手机是基于 UI 的架构，而 VR 是基于三维图形渲染的，也即以 Unity 与 Unreal 等游戏引擎为主，其中高通起到了非常关键的作用。

高通 XR 计算架构解决了底层计算架构的问题，促进了 VR 一体机的发展。高通 XR 计算架构的过程简单高效，绕过 SurfaceFlinger，以最快的速度能够直接将画面渲染并传输至屏幕上，有效降低了 MTP 延迟。过去几年，高通公司一直在产业链的最上游，即算力领域，支持着 VR/AR 的发展，且深度布局 XR 生态。

➢ XR 芯片：高通针对 VR/AR 设备打造了专用的芯片 XR1、XR2，涵盖 Oculus Quest、3Glasses、微软 Hololens2、Nreal、爱奇艺 VR 等 40 余款 VR/AR 设备。同时高通还提

供包括平台 API 在内的软件与技术套装以及关键组件选择、产品、硬件设计资料的参考设计，并在软件算法端加入眼球/手势追踪、场景理解等功能应用，为开发者提供了强大的性能支持。

- XR 平台：高通推出骁龙 Spaces XR 开发者平台，该平台具有成熟的技术、开放的生态系统、并支持第三方平台拓展。围绕这一平台，高通还推出了“探路者计划”，旨在通过让 AR 创新者或企业提前获得平台技术、项目资助、联合营销与推广和硬件开发套件的支持，助力构建活跃的开发者社区。

### 2.3.1.3. 刷新率/传输延迟

传输延迟是指显卡传输图像到显示器的时间。VR 头显对于头部运动的传输延迟与屏幕本身刷新率的过低会增加 MTP 延迟，进而导致 VR 晕动症的产生。

屏幕刷新率是指显示器每秒钟的显示信号刷新次数，单位是赫兹（Hz），取决于显示器。以计算机显示系统为例，是显卡将显示信号输出刷新的速度，如 60Hz 就是每秒钟内显卡向显示器输出 60 次信号。刷新率不仅仅包括绘制完全不同的内容，也包括对完全相同的帧画面的绘制。刷新率越高越好，图象就越稳定，图像显示就越自然清晰，对眼睛的影响也越小；而刷新频率越低，图像闪烁与抖动的就越厉害，眼睛疲劳得就越快。一般来说，当刷新率低于 60Hz 的时候，屏幕会有明显的抖动感与图像闪烁，而一般要到 70Hz 以上才能较好的眼睛体验。

由于 VR 的近眼显示的特性，如果 VR 头显的显示屏刷新率低于 60Hz 人眼会感到明显的闪烁，从而会引起眩晕。提高刷新率是提升 VR 体验的关键因素之一，刷新率越高 VR 延时越小，屏的闪烁感以及延时也会得到改善，体验也越好。因此目前行业的主流屏幕刷新率标准为 90Hz，支持刷新率在 75Hz~90Hz 区间的 VR 设备为入门级标准指标；高于 90Hz 的 VR 设备为中阶 VR 产品。如 Oculus Quest 2 的刷新率为 120Hz，Pico Neo 3 的刷新率为 90Hz。

原则上来说，屏幕刷新率的指标越高越好。但是受到相关行业发展的限制，显示屏的刷新率在短时间也很难提高到一个很高的程度。影响刷新率最主要的因素是显示器的带宽，同时刷新率也跟屏幕的分辨率相关。一般对于同一台显示器而言，假设将分辨率调至 1024 x 768，刷新率最高能达到 85Hz，调高至 1280 x 1024，刷新率最高只能达到 70Hz，调低至 800 x 600，刷新率却能达到 100Hz。因而，分辨率越高，在带宽不变的情况下，刷新率就越低，要想保持高刷新率，只有采用高的带宽。

### 2.3.1.4. 屏幕响应延迟

显示屏延迟实际上包含两个部分：1) 输入延迟，又叫显示传输延迟，与刷新率相关，显示屏的刷新率决定了单位时间内人眼可以看到多少画面的变化；2) 屏幕响应时间，指像素收到输入信息时响应并改变颜色所用的时间。

VR 显示系统的刷新率高低只会影响显示传输的时间。以 60Hz 的刷新率为例，1 秒刷新 60 帧，每一帧时间为  $T=1/60=16.7ms$ ，即 60Hz 刷新率的输入延迟需要 16.7ms，75Hz 刷新率的输入延迟需要 13.3ms。同时还要考虑显示器将图像显示出来的时间，即屏幕响应时间。屏幕响应时间是 VR 设备延时的最主要因素之一，所需时间占比较高。

降低屏幕显示延时的方法，一是提高刷新率，减少帧间延时；二是降低屏幕响应时间，这个主要与屏幕本身所使用的材质显示面板相关，所以盲目提高刷新率是没有效果的。目前市面上智能手机与笔记本电脑的屏幕材质主要以 LCD、OLED 为主，由于两者先天显示原理的不同，屏幕响应时间差异非常大。LCD 显示器的发光原理主要依靠背光层，背光层发出白光，背光层上有一层有颜色的薄膜，透过薄膜之后就能显示出彩色，在背光层与颜色薄膜之间液

晶层,调整红蓝绿的比例,所以传统的LCD显示器需要15-30ms不等的时间来响应;而OLED屏幕采用了有机发光材料,每个像素都可以发光,也就是可以自发光,不需要LCD屏幕那样的背光层、液晶层,也能点亮,因此OLED技术能够有效地减少显示屏延迟问题。

但LCD屏幕也有一定的优势,在VR头显中,LCD屏幕相比OLED的优点包括:成本更低;标准RGB、显示更细腻;可明显减轻OLED存在的纱窗效应等。故目前的VR产品硬件会综合考虑多种因素,在LCD、OLED或更好的屏幕上去做选择。

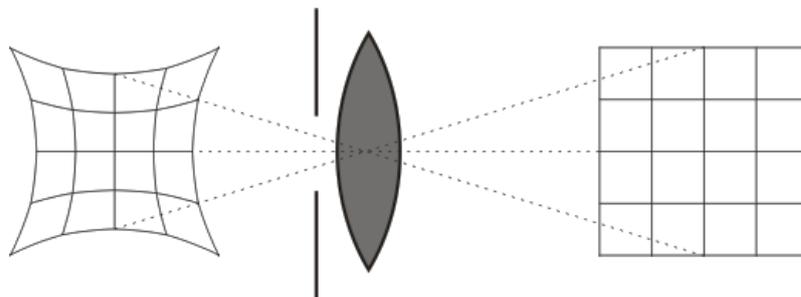
**VR的显示屏幕方案迭代趋势正在由Fast-LCD向Micro OLED过渡。**目前来看,主流VR显示屏幕以Fast-LCD为主,兼顾高刷新率与性价比。短中期具备高像素密度、高刷新率、轻量化的Micro OLED更有优势。远期看Micro LED高集成半导体信息显示技术或为最佳解决方案。

### 2.3.2. 软件算法优化: Runtime 环节有望创新与突破

相比听觉、体感、操作,VR产品最重要的一个体验因素是观看舒适度。VR头显成像质量的高低会影响用户的眩晕程度,成像质量包括图像细节的精细程度、色彩,以及是否畸变扭曲等方面。当前VR头显的设计大多从电子硬件的角度去精进,而光学系统却鲜有突破。一个好的光学系统,对于优化VR的观看体验至关重要。

**VR头显所使用的透镜会带来图像畸变的问题。**VR显示的本质是通过透镜及光学系统将屏幕放大并投射到人眼中,人眼所看到的其实是屏幕的虚像,从而营造出一种虚拟的沉浸感。但是,任何图像经过透镜之后都会发生光学畸变,也就是在不经一定的光学处理的时候,VR头显将图像投射到人眼中时,图像是扭曲的。畸变与光学镜片有着固有特性关系,无法被完全消除,只能改善。

图 22: VR 光学畸变



资料来源: 百度百科

因此,为了使最终人眼观察看到的图像不扭曲变形,需要先将屏幕上的图像进行一定的光学处理,这处理的过程就是反畸变。为改善或者尽可能减小畸变,不仅要从VR硬件本身去着手,还涉及到光学算法,即**软与硬两种解决方案**。

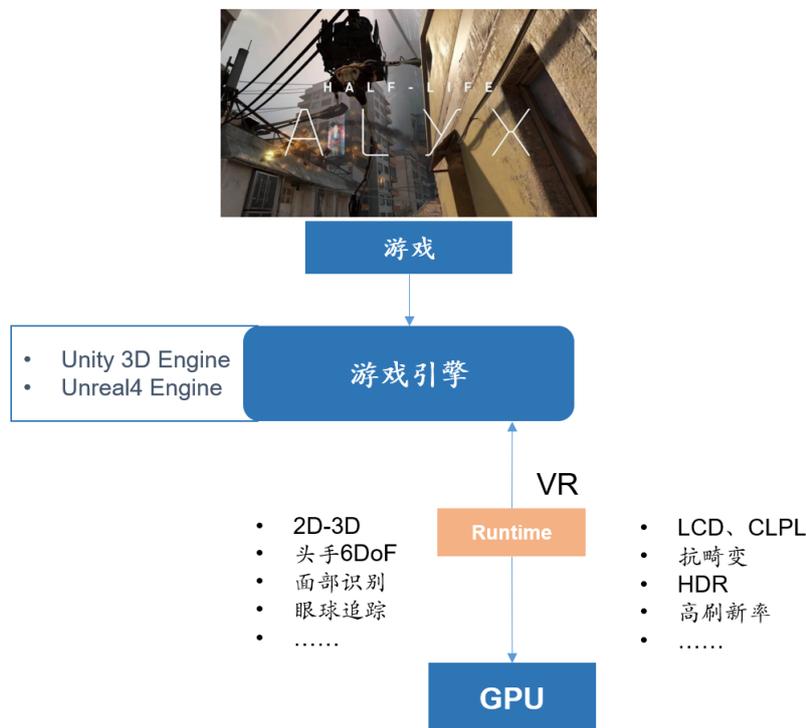
- 硬件解决方案是指通过光学设计来减小成像畸变,比如采用多镜头组合,该方法的技术门槛较高,且没有过硬的光学设计能力与镜头制造技术很难做到。
- 软件解决方案是指通过对输入到屏幕的内容进行定制化来改善原本的畸变,如对内容做了非标准长宽比的特殊处理,主要与算法相关。

由于不同厂商的不同透镜的畸变参数不同,所以反畸变的参数需要与之相匹配,否则最终的成像仍然还会有一定的扭曲。各VR厂商若采用不同的透镜,这将大大增加内容厂商针对不同的畸变量去逐一提供经过畸变补偿与修正内容的难度。

因此，在软硬一体化的趋势下，有实力的企业能够特别地针对自研的光学畸变参数对内容进行修正，推出相应的软件架构或程序（Runtime），去实现兼容，可以有效屏蔽了系统的差异性，当 VR 应用启动时，会根据应用运行的系统要求自动选取对应的 Runtime。比如 Oculus SDK 有专门的 Distortion Mesh 内容渲染开发指南等。

在 VR 中，Runtime 指的是一整套软件架构或程序，是偏软件算法的部分。传统流程下，游戏引擎驱动 GPU 进行画面的渲染，然后投射到屏幕之上。但是在 VR 的流程下，在游戏引擎与 GPU 渲染之间额外增加了一层 Runtime 的过程，VR 厂商以及 OEM 公司把大量与 VR 相关的算法加进来，其实是作为 VR 的补丁框架。

图 23: VR 中的渲染过程及 Runtime



资料来源: Steam, 安信证券研究中心

Runtime 环节是各 VR 厂商可以进行发力与创新的地方。高通芯片解决了底层架构的问题，其贡献在于降低了 VR 一体机的制作门槛；Open XR 帮助构建统一标准，高效对接 OEM 厂商与内容厂商。但各 VR 厂商又会有自己的 Runtime，基于自己的产品定义以及对于需求场景的理解，在算法上进行优化与改进。

以小派的 Runtime 算法为例，主要思路是从定位、交互、渲染、内容对接等方面完善改进 Runtime，具体围绕以下功能的实现：

- 1) 实现 3DOF 定位以及 ATW 渲染技术；
- 2) 实现大视角相关渲染技术（特殊的畸变算法，平行投影等）；
- 3) 实现 6DOF 定位及手柄相关功能；
- 4) 对接主流 VR 游戏平台的，兼容所有 PCVR 游戏；
- 5) 对接 Unreal, Unity 游戏引擎，提供开发 SDK；
- 6) 实现智能补帧技术提升游戏低帧率的表现；
- 7) 实现注视点渲染技术提高游戏的帧率。

### 2.3.3. VR 内容制作的标准化及优化

晕动症除了由 MTP 造成的延时之外，其实还有其他好多因素，比如 VR 内容制作本身也是非常重要的因素。在 Oculus 的开发者手册中，明确了有关晕动症的内容设计要求，针对 VR 内容制作给出了一系列的指导。在做 VR 内容的开发团队，往往此前都是做 3D 内容的，因此他们需要知道不同内容制作的差别在哪。

#### (1) 内容本身设计及渲染

很多 VR 游戏，本身的内容就会产生晕眩。比如人在坐“VR 过山车”时，视觉上人正处于画面中的状态，在做剧烈的高速运动，但是前庭系统却表示并没有在运动，这时就会导致头晕。

闪烁是导致 VR 中晕动症的一个重要因素，通常呈现为部分或全部屏幕上的亮暗之间的快速“脉冲”。有些人对闪烁非常敏感，因此会出现眼睛疲劳，疲惫或头痛；而另一些人甚至从未意识到它 并没有任何不良症状。不要故意制造会产生闪烁的内容，高对比度，闪光（或快速交替）会引发某些人的光敏性癫痫。与此相关，高空间频率纹理（例如精细的黑白条纹）也可以触发光敏性癫痫发作。

使用视差贴图而不是法线贴图。法线贴图提供逼真的光照提示，以传达深度和纹理，而无需添加给定 3D 模型的顶点细节。尽管在现代游戏中广泛使用，但在 3D 立体中观看时却不那么引人注目。因为法线贴图不考虑双目视差或运动视差，所以它产生的图像类似于绘制在对象模型上的平面纹理。视差贴图建立在法线贴图的基础上，并且提供深度线索。视差贴图通过使用由内容创建者提供的附加高度图来移动采样表面纹理的纹理坐标。使用在 shader 级别计算的每像素或每顶点视图方向应用纹理坐标移位。视差贴图最适用于具有不会影响碰撞表面的精细细节的表面，例如砖墙或鹅卵石路径。

#### (2) 内容场景设置

在 VR 游戏中，经常提供平移与瞬移两种可选位移方式。选择平移时，游戏中的场景持续相对玩家进行移动。但由于移动由手柄控制，人体无法产生运动感，导致大脑产生错觉，容易造成眩晕。

相对应的解决的办法是，将移动方式由平移改为瞬移、通过软件设置提升画面刷新率等方式都可以减轻视觉运动感错位的情况。位移方式的修改一般需要在各游戏的游戏内菜单完成。将位移方式改成瞬移的话，我们人眼所见的移动场景真实感下降。此时沉浸感降低，反而不容易混淆大脑，从而缓解晕动症状。

#### (3) 视野高度

人们的视觉有一个舒适的高度，比如用户是 1.7m，那以 1.7m 的高度去看内容与场景是正常的，如果在 VR 中以 1.85m 的高度看内容就会感到不舒服，好多内容开发者根本就不在乎这个因素，若以太高的视角去看内容与场景，可能会有高空眩晕感。所以 VR 的内容设计对视野的高度也是有要求的，这也是为什么有的 VR 设备要求用户输入身高的信息，为的是使得内容与用户的视野高度一致。

#### (4) 空间化的音频

为所有具有明显位置来源的声音进行空间化处理，音频应该与其来源的方向相同，音频应该在用户佩戴耳机时跟随用户的头部动作而有所变化。

允许用户在游戏设置中选择他们的输出设备，并应考虑到头部相对于输出设备的位置，从而确保游戏中的声音看起来从正确的位置发出。此外，对于有位置跟踪的 App，声音应该随着用户接近其来源而变大，即使 avatar 是静止的。

随着越来越多好内容、标准化的内容出现，内容制作带来的眩晕问题都会慢慢被解决。

## 2.4. 产业链的关键部位在于光学、显示与交互

我们认为，VR 是对过去 50 年一系列二维设备的全部生态的迭代。参考个人电脑与智能手机发展经验，未来 VR 普及的关键因素在于：用户体验的改善、技术壁垒的攻克、内容与应用生态的全面起步。相较于智能手机，VR 硬件体验的舒适度尤为重要，原因在于 VR 的近眼显示设计可提供逼真的视觉体验，同时也更容易带来眩晕感。因此，从 VR 问世的第一天起，体验问题一直备受关注，晕动症是 VR 发展过程中的主要痛点之一。

由于 VR 与智能手机两者在底层架构上的逻辑不同，实时渲染的要求使得 MTP（动显延迟）的概念被凸显，MTP 数值越大越容易引起眩晕的问题。为解决延迟带来的眩晕问题，各 VR 厂商无非是从硬件与软件两个角度去着手。

VR 硬件带来的延迟主要是 4 个地方：传感器、GPU、传输、显示屏，其中在传感器与 GPU 渲染方面，VR 与智能手机的运行逻辑存在巨大差异。从硬件角度，使用性能最好的硬件就可以尽可能减少硬件层面的延迟问题。但现阶段市场总体上还是认为 VR 硬件还不够成熟，原因在于，一是厂商要将成本纳入重要的考量范围，做出性价比较高的设备；二是在软硬一体大趋势下，软硬件的配套尤为凸显。

从设备整体的角度来说，硬件与软件结合的不完美也是造成晕眩的重要因素之一。因此不同于智能手机时代的纯堆砌硬件参数，目前来看，各大 VR 厂商均有在软件算法领域去提出自己的解决方案。

未来是硬件发挥的作用更大，还是软件算法发挥的作用更大？这不能孤立来看。比如性能上，芯片算力的增长一定程度可以预期，但是云计算的普及就非常难判断；显示上，显示屏分辨率的增长一定程度可以预期，但是光学的进展就很难判断。

总结来说，相较于智能手机，VR 硬件架构的核心体现在光学、显示与交互，未来重点关注这三方面的进展突破。

### （1）显示：预计不太可能成为短板

VR 有一个长期发展的核心矛盾——显示，VR 的显示=显+光。其中显示屏是一个延续的进展，可以借助过去几十年的行业积累，目前显示屏的成像质量预计已经不是最关键的因素，比如即使到达不了 8K 的显示质量，2K、4K 也能被消费者所接受。即显示屏还不足以影响大家对于 VR 的接受度，不太可能成为 VR 发展过程中的短板。

### （2）光学：核心技术与难题

但 VR 显示中的“光学”预计现阶段比较大的限制因素，比如轻薄小型化、视觉辐辏问题等。在 VR 设备结构中，光学模组作为连接显示屏和人眼的重要桥梁，是最为关键的组件之一，直接影响到最终的显示效果与使用体验。光学技术的发展缓慢，一直是 VR 快速扩张的瓶颈。

因光学技术的门槛高低不同，VR 目前的内容生态已经起步，而 AR 则依旧在解决光学技术难题的道路上摸索前进。

### (3) 交互：等待拐点发生

上一个定义人机交互的是苹果 iPhone，目前 VR 的交互发展还较为缓慢。交互上的进展，分两方面，一是硬件上的进展，增加更多的传感器，以调动更多的感官体验，比如当前面部追踪、眼动追踪等技术正在发展；二是软件上的进展，就像 Windows 之于计算机、Android 与 iOS 之于手机，操作系统的本质是一种交互方式，需要有类似乔布斯这样的天才制作来进行定义，等待拐点发生。

目前来看，VR 的竞争还还未达到操作系统这个阶段。上半场的竞争是硬件与内容生态的竞争，下半场才轮到操作系统。

### 3. 以小派、Oculus、Pico 为例，探寻 VR 产品迭代路径

#### ➤ 以小派为例：Pimax 4K→Pimax Vision 8KX→Pimax Reality 12K QLED

2017 年到 2021 年，小派产品迭代两次。**分辨率方面**，产品的分辨率从 4K 逐渐提高到 12K，清晰度越来越高；**镜片光学方面**，4K 与 8K 产品的镜片都是菲涅尔镜片，12K 的产品采用复合镜片，结合了菲涅尔镜片与非球面透镜的优势；**刷新率方面**，从 4K 产品的 60 赫兹提高到 8K 产品的 120 赫兹，再到 12K 产品的 200 赫兹；**视场角方面**，从 4K 产品的水平 110 度，垂直 90 度，到 8K 产品的水平 130 度，垂直 95 度，到 12K 产品的水平 200 度，垂直 135 度，逐渐接近人眼的视场角；**跟踪类型方面**，从 3DoF 升级到 3DoF 交互，12K 通过 4 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自内到外；增加了无线连接。内容平台是 SteamVR 与 Pimax 自建平台。

表 3：小派（Pimax）产品迭代

	Pimax 4K	Pimax Vision 8KX	Pimax Reality 12K QLED	
基本 信息	设备类型	PC VR	VR 一体机	
	平台	SteamVR	SteamVR, Pimax	
	已宣布 发布日期	2017 年 1 月 1 日	2018 年 11 月 1 日	2021 年 10 月 25 日
	零售价格	375 美元	1299 美元	1599 美元带控制器
	停产	1849 美元，带控制器、基站	带控制器 2399 美元带控制器	
光学	光学	菲涅耳镜片	复合菲涅耳/非球面透镜	
	IPD 范围	58-71 毫米软件可调（手动）	60-72 毫米硬件可调（手动）	57-72 毫米硬件可调（自动）
	可调屈调器	X	X	X
显示器	直通	X	X	通过跟踪摄像头直通
	显示类型	单液晶双筒望远镜	2 x CLPL 双筒望远镜	2 个 QLED 双筒望远镜
	子像素布局	RGB 条纹	RGB 条纹	RGB 条纹
	峰值亮度	每个像素 3 个子像素	每个像素 3 个子像素	每个像素 3 个子像素
	分辨率	1920x2160 每只眼睛	3840x2160 每眼	PC-VR 模式：每只眼睛 6K。独立模式：每只眼睛 4K
	刷新率	60 赫兹	90 赫兹 115 Hz，可升级	200 赫兹 PC-VR 模式。独立模式：120Hz
图像	可见 FoV	水平 110°、垂直 90°	水平 159°、垂直 103°	水平 200°、垂直 135° PC-VR 模式。独立模式：120° (H)、135° (V)、200° (D)
	渲染 FoV		水平 160.29° 垂直 102.7° 153.42°对角线	
	双目重叠		82.89°	估计 118°
	Foveated 渲染	X	X	动态凹渲染
设备	尺寸		280 x 108 x 136 毫米，不含头带	
	重量	499 克，带头带	500 克，不含头带 850 克，带头带	
	材料	塑料、泡棉	塑料、泡棉	塑料、泡棉
	头带	带集成扬声器的织物头带	硬衬垫模块化音频带 (Pimax DMAS)	硬衬垫可伸缩头箍
	颜色	黑色	黑色，蓝色	黑色
	合规性			
跟踪	跟踪类型	3 DoF 非定位	6 个基于 DoF 标记	通过 4 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自

		内到外		
		SteamVR 2.0 跟踪面罩分开出售		
跟踪频率		1000 赫兹		
基站	X	2 x SteamVR 2.0	选配	
眼睛追踪	X	X	✓	
面部跟踪	X	X	✓	
手动跟踪	X	X	✓	
身体追踪	X	X	✓	
控制器		2 个激光 6 DoF 控制器	2 个 Pimax 真人控制器 6 DoF	
重量		196 克		
输入方法		电容式拇指杆、触控板、电容式面部按钮、电容式指数触发器、压力敏感握把	面部按钮、操纵杆、触发器	
手指跟踪		全拇指和手指跟踪		
触觉		✓	✓	
电池		可充电 8 小时电池续航时间		
扬声器		集成立体声耳机	露耳立体声扬声器	集成立体声扬声器
麦克风		✓	✓	✓
3.5 毫米音频插孔		X	✓	
港口		X	X	3 个 USB-C
有线视频		HDMI 1.4, USB 3.0	DisplayPort 1.4、USB 3.0	DisplayPort
无线视频		X	X	WiFi/WiGig 流媒体
WiFi		X	X	WiFi 6E
蓝牙		X	X	蓝牙
操作系统		Windows	Windows	Windows/安卓
芯片组		Analogix	Analogix	高通骁龙 XR2
CPU				八核 Kryo 585 (1 x 2.84 GHz, 3 x 2.42 GHz, 4 x 1.8 GHz)
GPU				阿德雷诺 650
记忆				8GB
存储				256GB
SD 卡插槽				

资料来源: VRcompare, 小派官网, 安信证券研究中心

### ➤ 以 Oculus 为例: Oculus Rift S→Oculus Quest→Oculus Quest 2

分辨率仍处在 4K 阶段, 最新产品单眼 1832x1920, 远低于小派一代产品单眼 1920x2160; 镜片一直采用菲涅尔镜片; 刷新率从 Oculus Go 的 60 赫兹, 到 Oculus Quest 的 72 赫兹, 到 Oculus Rift S 80 赫兹, 再到 Oculus Quest2 的 120 赫兹; 视场角方面, 逐步提升, 但变化不大, 最新的产品视场角是水平 97 度, 垂直 93 度; 跟踪类型方面, Oculus Go 是 3 DoF 非定位, Oculus Rift S 通过 5 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自内到外, 后面两代产品都是通过 4 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自内到外; Wifi 与蓝牙逐步提升。

### 不同于小派:

**CPU** 选择上, Oculus Go 采用四核 Kryo, Oculus Quest 采用八核 Kryo 280, 最新产品 Oculus Quest2 采用八核 Kryo 585; **GPU** 升级到 Adreno 650; **存储** 越来越大, 从 32G 达到 128G; **充电时间** 从 3 小时缩短到 2.5 小时; **控制器续航时间** 从 AA20 小时升级到 AA30 小时。

表 4: Oculus 产品迭代

	Oculus Rift S	Oculus Quest	Oculus Quest 2	
设备类型	PC VR	VR 一体机	VR 一体机	
平台	SteamVR, Oculus 主页	Oculus Home, SteamVR 需要 Facebook 帐户	Oculus Home, SteamVR 需要 Facebook 帐户	
基本信息	已宣布	2019 年 3 月 20 日	2018 年 9 月 26 日	
	发布日期	2019 年 5 月 21 日	2019 年 5 月 21 日	
	零售价格	399 美元, 带控制器	399 美元, 带控制器	299 美元带控制器
		停产	128 GB 型号: 299 美元, 256 GB 型号: 399 美元	
		128 GB 型号: 499 美元		
光学	光学	菲涅耳镜片	菲涅耳镜片	
	IPD 范围	58-72 毫米	58-72 毫米硬件可调 (手动)	58-68 毫米硬件可调 (手动) 3 个固定 IPD 设置: 58 毫米、63 毫米、68 毫米
	可调屈调器	X	X	X
直通	通过跟踪摄像头进行灰度	通过跟踪摄像头进行灰度	通过跟踪摄像头进行灰度	
显示器	显示类型	单液晶双筒望远镜	2 个 OLED 双筒望远镜	单快速开关液晶双筒望远镜
	子像素布局	RGB 条纹 每个像素 3 个子像素	PenTile 钻石 每个像素 2 个子像素	RGB 条纹 每个像素 3 个子像素
	峰值亮度			100 尼特
	分辨率	每只眼 1280x1440	每只眼 1440x1600	每只眼 1832x1920
	刷新率	80 赫兹	72 赫兹	120 赫兹
	可见 FoV	估计 水平 88° 垂直 88°	水平 93° 垂直 93°	水平 97° 垂直 93° FoV 范围在 85°到 97°之间, 具体取决于 IPD
图像	渲染 FoV	水平 88° 垂直 94° 对角线 101.95°	水平 104° 垂直 100° 115.52°对角线	水平 104° 垂直 98° 113.46°对角线
	双目重叠	92°	84°	90°
	平均像素密度	14.22 PPD 水平 13.61 PPD 垂直	15.31 PPD 水平 14.4 PPD 垂直	18.88 PPD 水平 18.69 PPD 垂直
峰值像素密度				
Foveated 渲染	X	固定的凹渲染	固定的凹渲染	
设备	尺寸			191.5 x 102 x 142.5 毫米, 不含头带
	重量	450 克, 不含头带 500 克带头带	571 克, 带头带	503 克, 带头带
	材料	塑料、泡棉	塑料、织物、泡棉	塑料、泡棉
	头带	硬质可伸缩衬垫光环带	柔韧的塑料头带	柔韧的织物头带
	颜色	黑色	灰色	白色
	合规性			
跟踪	跟踪类型	通过 5 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自内到外	通过 4 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自 内到外	通过 4 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自 内到外
	跟踪频率	1000 赫兹 跟踪摄像头: 60 赫兹	60 赫兹	1000 赫兹 跟踪摄像头: 60 赫兹
	基站	X	X	X
	眼睛跟踪	X	X	X
	面部跟踪	X	X	X
	手动跟踪	X	✓	✓
身体跟踪	X	X	X	
控制器	控制器	2 x Oculus Touch (第二代) 6 DoF	2 x Oculus Touch (第二代) 6 DoF	2 x Oculus Touch (第三代) 6 DoF

	135 克	135 克	126 克
重量	135 克	135 克	126 克
输入方法	电容式脸部按钮、电容式操纵杆、电容式触摸板、电容式索引触发器、中指触发器	电容式脸部按钮、电容式操纵杆、电容式触摸板、电容式索引触发器、中指触发器	电容式脸部按钮、电容式操纵杆、电容式触摸板、电容式索引触发器、中指触发器
手指跟踪	通过电容式传感器进行手指和拇指部分跟踪	通过电容式传感器进行手指和拇指部分跟踪	通过电容式传感器进行手指和拇指部分跟踪
触觉	✓	✓	✓
电池	AA 20 小时电池续航时间	AA 20 小时电池续航时间	AA 30 小时电池续航时间
声音	扬声器	集成立体声扬声器	集成立体声扬声器
	麦克风	✓	✓
	3.5 毫米音频插孔	✓	✓
连接性	港口	X	USB-C
	有线视频	DisplayPort 1.2、USB 3.0	USB-C
	无线视频	X	Oculus Link WiFi 流媒体 AirLink, 虚拟桌面
	WiFi	X	WiFi 5
	蓝牙	X	蓝牙 5.0 LE
	操作系统		安卓 10
	芯片组		高通骁龙 835
系统	CPU	八核 Kryo 280 (4x 2.45 GHz, 4x 1.9 GHz)	八核 Kryo 585 (1x 2.84 GHz, 3x 2.42 GHz, 4x 1.8 GHz)
	GPU	阿德雷诺 540	阿德雷诺 650
	记忆	4 GB	6 GB
存储	存储	64 GB	128 GB
	SD 卡插槽	128 GB 也可用	256 GB 也可用, 64 GB 型号已停产
		X	X
电池	电池容量	3648 毫安	3640 毫安时
	电池寿命	3 小时	3 小时
	充电时间	2 小时	2.5 小时

资料来源: VRcompare, Oculus 官网, 安信证券研究中心

### ➤ 以 Pico 为例: Pico G2→Pico Neo 2→Pico Neo 3

分辨率仍处在 4K 阶段, 最新产品单眼 1832x1920, 低于小派一代产品单眼 1920x2160; 镜片一直采用菲涅尔镜片; 刷新率维持在 90 赫兹; 视场角方面, 不同系列有些许变化, 但总体变动不大, 最新的产品视场角是水平 98 度, 垂直 90 度; 跟踪类型从 3DoF 到通过 2 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自内而外, 再到最新产品的通过 4 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自内到外; Wifi 与蓝牙逐步提升。

#### 不同于小派的地方:

存储越来越大, 从 32G 达到 256G; CPU 在 Pico neo 3 系列开始采用八核 Kryo 585, 过去的产品, 如 Pico G2 采用八核 Kryo 280, Pico neo 2 采用八核 Kryo 385 (4x 2.8 GHz, 4x 1.7 GHz); GPU 升级到 Adreno 650; 跟踪类型从 3 DoF 非定位, 到通过 2 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自内而外, 再到最新产品的通过 4 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自内到外; 重量越来越重 (没有小派重量全部信息); 有自己的平台。

表 5: Pico 产品迭代

	Pico G2	Pico Neo 2	Pico Neo 3
基本信息	设备类型	VR 一体机	VR 一体机
	平台	Pico 商店, Viveport	Pico 商店, Viveport
	已宣布	2018 年 8 月 1 日	2020 年 1 月 6 日
	发布日期	2018 年 7 月 31 日	2020 年 5 月 27 日
	零售价格	249 美元带控制器	699 美元带控制器
光学	光学		菲涅耳镜片
	IPD 范围	54-71 毫米	54-71 毫米
	可调屈调器	X	X
	直通	X	通过跟踪摄像头直通
显示器	显示类型	单液晶双筒望远镜	单液晶双筒望远镜
	子像素布局	RGB 条纹 每个像素 3 个子像素	RGB 条纹 每个像素 3 个子像素
	峰值亮度		
	分辨率	每只眼 1440x1600	每只眼睛 2048x2160
	刷新率	90 赫兹	75 赫兹
	峰值亮度		
图像	可见 FoV	水平 92° 垂直 92°	水平 101° 101° 垂直 水平 101° 垂直 101°
	渲染 FoV		119.52° 对角线
	双目重叠		101°
	平均像素密度		20.27 PPD 水平 20.27 PPD 垂直
	峰值像素密度		
	Foveated 渲染	X	X
设备	尺寸		
	重量	268 克, 无头带	350 克, 不含头带 670 克带头带
	材料	塑料、泡棉	塑料、泡棉
	头带	柔韧的织物头带	硬衬垫可伸缩头带
	颜色	白色/黑色	白色/黑色
	合规性		
跟踪	跟踪类型	3 DoF 非定位	通过 2 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自内而外
	跟踪频率		通过 4 个集成摄像头进行 6 个 DoF 自内到外
	基站	X	X
	眼睛追踪	X	X
	面部跟踪	X	X
	手动跟踪	X	X
	身体追踪	X	X
控制器	控制器	1 个 Pico G2 控制器 3 DoF	2 x Pico Neo 2 控制器 6 DoF
	重量		
	输入方法	触控板、面部按钮、索引触发器	操纵杆、面部按钮、索引触发器、侧握按钮
	手指跟踪	X	
	触觉		
	电池		
声音	扬声器	X	集成立体声扬声器
			集成立体声扬声器

	麦克风		✓	✓
	3.5 毫米音频插孔	✓	✓	✓
连接性	港口	USB-C	USB-C	USB-C 3.0
	有线视频	X	X	X
	无线视频		WiFi 流媒体	WiFi 流媒体
	WiFi	WiFi	WiFi 5	WiFi 6
	蓝牙	蓝牙	蓝牙	蓝牙
系统	操作系统	安卓	安卓	安卓
	芯片组	高通骁龙 835	高通骁龙 845	高通骁龙 XR2
	CPU	八核 Kryo 280 (4 x 2.45 GHz, 4 x 1.9 GHz)	八核 Kryo 385 (4 x 2.8 GHz, 4 x 1.7 GHz)	八核 Kryo 585 (1 x 2.84 GHz, 3 x 2.42 GHz, 4 x 1.8 GHz)
	GPU	阿德雷诺 540	阿德雷诺 630	阿德雷诺 650
存储	记忆	4 GB	6 GB	6 GB
	存储	32 GB 64 GB 也可用	128 GB	128 GB
	SD 卡插槽			
电池	电池容量	3500 毫安	5000 毫安时	5300 毫安时
	电池寿命	3 小时	3 小时	3 小时
	充电时间			

资料来源: VRcompare, Pico 官网, 安信证券研究中心

## (1) 显示方面

### 为何小派要自研屏幕?

从**解决需求**的角度来说, 针对眩晕感的问题, 传统的屏幕满足不了小派解决眩晕感的要求。针对像素颗粒感的问题, 三星的 OLED 屏幕达不到小派的高视觉标准。

从**提高竞争力**的角度来说, 小派决定自主研发, 使之成为自己的核心技术。

## (2) 光学方面

为实现自然的观看体验, VR 镜头行业主流解决方案是使用菲涅尔透镜或非球面透镜, 它们都有其优缺点, 包括图像质量、眩光、尺寸、重量及其他方面。

小派设法将菲涅尔透镜与非球面透镜组合在一起, 采用了前所未有的复合镜设计, 仔细的调整以弥补彼此的不足, 创造了较为先进、前沿与最具有创造力的光学设计——**仿生镜片 Bionic Lens System**, 这是一项颠覆性的技术, 耗费了小派四年时间尝试无数次设计和建模才取得的成果。

仿生镜片使得 Reality 系列实现了又一次飞跃, 这包括 200 度的超宽水平**视角场**, 仅比人眼小 20 度, 并具有 135 度的垂直视角场, 覆盖人类整个垂直视觉。不止于此, Reality 系列也使双目视觉感实现了巨大飞跃, 这是立体视觉的基础和深度感知的基础, 它现在覆盖了用户双目视觉的全部 118 度, 仅比平均 120 度的双目视觉少了 2 度。小派正在尽可能地**接近人眼感知效果**, 这极大地增加了用户**视觉中心的重叠度**。由于有效的双眼视觉的扩大, 随着用户的眼睛接收到更多深度信息, 一切变得更加立体。

得益于非凡的复合设计, 小派不仅可以提供更宽的视野和更好的双眼视觉, 也可以确保它具有出色的图像质量、极少的眩光、难以察觉的上帝光(God ray)和巨大的甜点区(Sweet spot)。

最重要的是，小派的光学工程团队在**厚度和重量**方面做的很好，这样用户可以更长时间地完全沉浸在精彩的 VR 内容中，而不会感到疲倦。

由于物理定律，拥有超宽 FOV 的同时畸变效应几乎是不可避免的。Reality 系列现在几乎在用户的整个视野范围内具有**0 畸变效果**，同时完全保持用户的双眼视觉。小派新的内部抗畸变算法现已融入图像处理系统，所有这些变化加起来，使 VR3.0 用户能够告别畸变效果。

小派正在将内置的自动瞳孔间距调整(Auto IPD(inter-pupillary distance) Adjustment)纳入 Reality 系列。得益于新的**眼球追踪系统和重新设计的镜片周围结构**，小派现在支持从 57-72mm 的 IPD 范围了。

### (3) 产品定位与内容生态方面

**小派的产品定位与高端市场。**产品定位不同，细分市场不同。小派追求的是高精尖的产品，对算法、内容等都有高要求。它面向的是高端客户，质量高、售价高。其他企业，如 Oculus，面向的是全球所有用户，其产品价格低于小派，相应的需要在价格与产品质量上做好平衡。主流用户更倾向于普通质量、低价格的产品，超高质量的产品对他们来说性能过剩。

## 4. 为什么选 Pimax? 为什么拆 Pimax Crystal?

### 4.1. Pimax 占据全球高端 VR 头显标杆地位

小派科技聚焦高端 VR 头显设备的研发与生产，在光学/显示/可穿戴技术/智能硬件开发等方面积累多年经验，占据全球最强性能消费级 VR 硬件标杆地位，在全球高端 VR 头显（1000 美金以上）中市场份额占比第一。从市占率看，2021 年 Steam 平台 VR 设备使用榜单的数据显示，小派在 1000 美金以上的 VR 设备市场占有率超过 80%，其性能标杆意义可见一斑。从用户画像看，据小派公众号披露，2021 年其收入的 80% 来自海外市场，主流客户群体为 VR 爱好者与科技发烧友，该群体追求头显的高品质体验，消费能力强，平均客单价在 700 美元以上。从竞争策略看，小派的定位不是做区域差异化，而是通过产品差异化与 Meta 等巨头进行有效地错位竞争。小派目前要做的是一方面在性能上继续突破，另一方面则是拓展更多元的产品线，服务更广泛的客户群体。

小派坚持研发高性能 VR 头显，旗下产品矩阵由经典机型（Pimax 4K、Pimax 5K Plus&5K Super、Pimax 8K&8K Plus）、旗舰机型（Pimax Vision 8K X）、待发布机型（Pimax Reality 12K QLED、Pimax Crystal）等构成。从最初发布的小派 4K、8K、到旗舰款 Pimax 8K X、再到 Reality 系列的 12K、Crystal，小派系列产品以宽视场角与高分辨率为核心特色，视觉上 FOV（Field of View 视场角）、PPD（Pixel per Degree 角分辨率）、刷新率等均领先行业主流消费级 VR 设备。

表 6: VR 设备参数对比

型号	Oculus Rifts	Valve Index	HTC Vive Cosmos	HTC Vive Pro 2	Pimax 5K Super	Pimax Vision 8K Plus	Pimax Vision 8KX
分辨率	2.5K 2x1280*1440	2.5K 2X1440*1600	2.5K 2x1440*1700	5K 2X 2448*2448	5K 2x 2560*1440	8K 2x 3840*2160	8K 原生 2X 3840*2160
视场角	115°	130°	110°	120°	200°	200°	200°
SDE	轻微	轻微	轻微	几乎无	几乎无	几乎无	无
刷新率	80Hz	80/90/120/144 Hz	90Hz	90/120Hz	90/120/144/160/180Hz	75/90Hz	75/90Hz
屏幕材质	ICD	LCD	pixel-packed	LCD	CLPL	CLPL	CLPL
定位方案	Inside-out Camera	Outside-in SteamVR 2.0	Inside-out Camera	Outside-in SteamVR 1.0/2.0	Outside-in SteamVR 1.0/2.0	Outside-in SteamVR 1.0/2.0	Outside-in SteamVR 1.0/2.0
上市时间	2019.5	2019.8	2019.6	2021.6	2020.1	2019.12	2020.7

资料来源：Pimax 官网，Oculus 官网，36 氪，安信证券研究中心

支撑小派高性能 VR 的是四大核心自研技术。

#### （一）高 PPI 技术：同时支持高分辨率和高刷新率

小派 VR 头显是目前世界上清晰度最高的消费级 VR 头显，最新公布的 Reality 系列的 12K QLED 的分辨率达到双目 12K，性能显著领先于主流竞品的 4K-5K；刷新率高达 120Hz，传输带宽要求是同期竞品的 2-3 倍。

#### （二）双显示屏技术：200 度大视场角

采用双显示屏方案，结合 Pimax 独有的精密光学结构，小派 Pimax 5K/8K 系列横向 FOV 已达到 170 度，斜对角 FOV 高达 200 度，接近了人眼的极限 FOV，能够大大增加沉浸感。

#### （三）高精度低延迟 CV 定位：稳定精准的 6DOF 定位跟踪

采用机器视觉定位技术，实现毫米级定位精度，保持高效稳定追踪。

#### (四) Brain-warp 技术：保持低延迟

Brain-warp 技术降低了运行 VR 游戏对电脑硬件配置的要求，减少了延迟现象，并能提高刷新率，从而实现同时获得高画质内容与平滑 VR 体验的目标。

图 24：小派 VR 四大核心自研技术



资料来源：Pimax 官网，36 氪，安信证券研究中心

## 4.2. 高性能 VR 硬件是进入元宇宙的必经之路

Roblox 公司曾经定义元宇宙的八个要素为：身份、朋友、沉浸感、文明、经济系统、低延迟、多元化与随时随地。我们认为这八大要素并不是平行关系，而是有主次之分。其中，沉浸感是支撑元宇宙概念成立的核心要素。

在 PC 所处的桌面互联网时期及手机所处的移动互联网时期，身份、朋友、文明、经济系统、低延迟、多元化、随时随地等要素早已存在。我们已经可以做到在微信进行身份认证，在朋友圈里进行高质量的互动。然而桌面与移动互联网唯独没有“沉浸感”这一要素。PC 与手机没有开启元宇宙的根本原因是，用户通过二维设备“观看”三维世界，缺少足够的“沉浸感”。缺少沉浸感，我们就无法“进入”虚拟世界中，也就无法相信元宇宙是真实存在的。

VR 技术通过模拟物理环境——光、声音、气味、味道、运动，并以模拟出的物理环境来影响我们的眼、耳、鼻、舌、体感、触觉，由此产生化学激素和电信号来影响到本我，继而影响到自我和超我。这也就是 VR 让人们产生“身临其境感”的心理基础。手机与 PC 之所以无法产生“身临其境感”就是因为手机与 PC 仅仅模拟了光源与声音，无法像 VR 一样模拟整个物理环境。

借助高性能 VR 硬件提供的真正的沉浸感，人才能进入元宇宙。了解设备在解决什么问题，参数才有意义。如果只是一块屏，尺寸更大，或者分辨率、刷新率更高，是有意义的。PC 是一款大的不动的屏幕，手机是可移动的，所以有移动相关的参数，有网络，比如说支持 2G、2.5G、3G、4G、5G，使用包括手机应用、游戏。VR 是框在视野前的一套显示设备，包裹住人类将近 2000 英寸的视野，提供一个沉浸式的效果，不但能看，还能在里面移动，因此有穿戴相关的参数，如果是一体机，还有续航相关的参数。XR 未来要提供高沉浸感的娱乐、办公、社交体验，需要在视觉沉浸感、物理沉浸感、认知沉浸感三方面性能达标。

#### (一) 视觉沉浸感——UVI 当量和刷新率

屏幕靠在眼前，通过放大镜，以 5-6 倍的放大倍率投射在视网膜上面，占据整个视野，包括显示和光学参数。角分辨率 (PPD) 和视场角 (FOV) 此消彼长，难以判断整体好坏，因此

有外国人提出视觉沉浸感（UVI）当量，FOV 做 Y 轴，PPD 做 X 轴，做一个分布，相当于在第一象限当中把 FOV 和 PPD 展开。

算力是有限的，单位时间处理的像素点数量有限。FOV 越大，每个角度得到的像素（PPD）就越小，每个角度得到的像素（PPD）越多，FOV 就越小。人眼 FOV 极限是 220 度，Pimax 可以做到 200 度，几乎涵盖整个视野。PPD 的极限精度是视网膜水平，在 60 度，甚至 75 度。现在主流的 VR 产品的 FOV 在 90-110 度之间，PPD 在 20 度，未来极限在 60 度。

刷新率业内最早是 60Hz，现在做到 90Hz，小派能够做到 120Hz，小派的 5K Super 能做到 180Hz。刷新率的极限是 180Hz 左右，倒数是 6-7 毫秒，延时可以控制在 15 毫秒内，就不会有眩晕感。未来 5 年内，刷新率预计平均都会到 180Hz 左右。

目前各厂商在 VR 参数动态调整上处于补短板阶段。VR 厂商希望实现左右视场角 220 度，上下视场角 135 度，刷新率达到 180Hz 的参数水平，将整个视野占满。行业内一直在向着这个方向接近，谁能在这个参数上跑得快，就会有一定的优势。具体来看行业内在视觉沉浸感（光学显示）方面达到的水平，以及需要补足的短板情况：①视场角。人类极限为上下视场角 135 度，左右视场角 220 度，目前全球的参数是在左右视场角 110 度，小派的左右视场角在 180、200 度左右；②PPD。人类极限是 60，行业内大概是 20，小派在 35、42 左右；③刷新率。现在是 75、90Hz，未来预计会做到 180Hz。

## （二）物理沉浸感——重量、大小、佩戴舒适度

物理沉浸感也是 VR 继续努力的方向。物理沉浸感指的是 VR 头戴设备的重量、大小、佩戴，这与手机外观的重量、握感和续航时间不同。在 VR 中穿戴的舒适度很重要。小派的产品是针对极客和早期的爱好者，所以产品机器较大，在未来也会出小白产品，会往轻便型产品发展。产品小型化后存在一个问题，即小型化要使用移动芯片，但移动芯片算力有限，因此需要在小型化与移动芯片算力之间达到一个平衡。这也是在未来发展中需要解决的问题。

物理沉浸感要考虑计算机算力的问题。电脑主要是 CPU，在 VR 世界中 GPU 相当重要。高通在 GPU 方面，以及整个运动延时的调整上面做得很好，加上小派的算法，我们将整个延时做到 15 毫秒以内。物理沉浸感牵扯到的算力、算法，还要在目前商用基础上增加 8-10 倍，符合摩尔定律，是需要一段时间的。现在的算力虽然不能实现线下交互那样自然，但是已经不错，可以玩很大的游戏，下一代产品整体体验也相当不错。

## （三）认知沉浸感——面部表情识别和手势识别是 VR 社交和办公的必要技术

VR 中还有一点较为重要的是认知沉浸感。人们在看电视时，电视与人之间没有互动，电视里的画面会随着搬动电视而移动，但 VR 不是这样的。VR 在 3D 建模之后，场景相对固定，佩戴头显在场景里进行移动，会涉及到头部运动和手部运动。VR1.0 采用的是头部和手部 6DoF 运动，之后要逐步实现面部识别、手势识别。

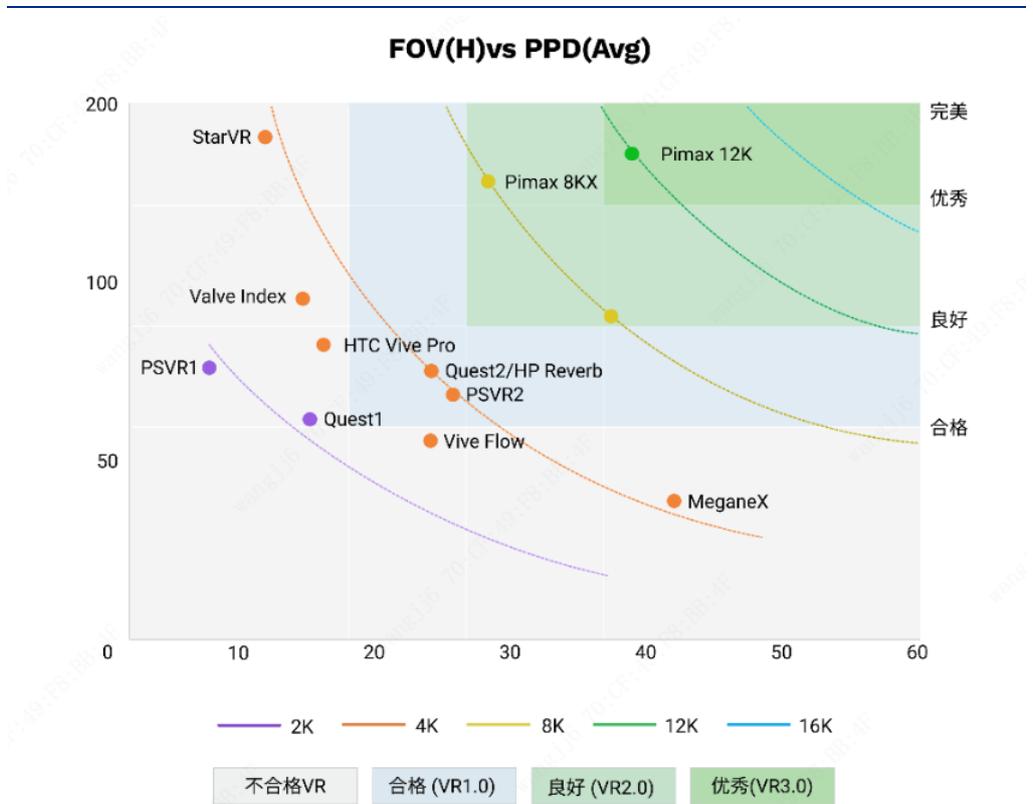
在认知沉浸感方面，感知到人们的面部表情和手部动作是很重要的。目前用户在 VR 中很难感知到周边人的面部表情、身体动态等一系列动作操作，这样会影响人们沉浸式体验。像手部也仍然是持有手柄，仅仅是把手柄游戏化，向游戏机发展。实际上各大厂商都是在补短板，但只要有一项新技术出来，就像鼠标出现成为了下一代电脑的标准输入设备一样，这种技术就会让厂商具有长板的示范效应。

基于面部识别和手势识别技术，VR、AR 可以很快进入到社交和办公，比如线上会议、狼人杀等。VR 和 AR 设备最终投射的是，尽可能还原真实世界，包括真实世界中缺少的东西。比如说实物交易，在 VR 中的体现就是基于 NFT 进行的数字产品的交易；再比如办公会议，

目前可以进行电话会议、腾讯会议、zoom 会议等，未来随着技术发展，完全可以进行 VR 会议，会有更加充分的交流。大的方向实际上还是数字化时代，在 VR 或 XR 的 3.0 之后，人们将进入元宇宙。

**VR 硬件越高端，性能越好，沉浸感越好。**最重要的视觉沉浸感可通过 UVI (Unit of Visual Immersion) 指标来衡量，影响 UVI 的三大指标是 PPD 分辨率、FOV 视场角和刷新率。三大指标都分别存在绝对的天花板水平，其中 60PPD 代表了视网膜水平，水平 220 度代表了人眼自然视场角，大于 180Hz 人眼基本无法分辨、不易产生眩晕。每个指标的实际值除以其天花板水平得到一个百分比就是在该指标上的得分，三个百分比的加权调和平均值就是 UVI。100%的 UVI 就意味着用户带上头显睁开眼睛，完全无法分辨看到的是头显中的图像还是真实的世界。小派已经发布的 Reality 系列 12K QLED 头显的 UVI 高达 73%，已经非常接近“优秀”的标准。

图 25：通过 UVI 衡量视觉沉浸感，影响因素为 PPD、FOV、刷新率



资料来源：Pimax 公众号，36 氪，安信证券研究中心

### 4.3. Reality 系列 Crystal 将首发

2021 年的 Pimax Frontier 发布会上，小派公开展示了研发团队两年多来一直在努力实现的技术突破——VR 3.0 将带来完全身临其境的体验，并将专注于三个特征：自然（视觉沉浸感）、自由（物理沉浸感）和自我（认知沉浸感）。Pimax Frontier 发布会上展示的 Pimax Reality 12K QLED 作为 VR 3.0 的划时代产品，各项性能参数均遥遥领先。Pimax Reality 12K QLED 分辨率可达到双眼 12K，刷新率最高可达 200Hz，使用 Mini-LED 背光，结合 QLED 量子点技术。独创的仿生透镜技术让水平视场角可达 200 度，垂直视场角可达 135 度，双眼视觉重合区域达 118 度，比人眼小 2 度。12K 还将搭载 Inside-out 6DOF SLAM 定位、空间音响，支持 PC VR 与一体机的全能机形态，由高通骁龙 XR2 芯片驱动，可对表情、眼神、情绪、动作等进行捕捉和追踪。

2022年6月，同样隶属于Reality系列的**Pimax Crystal QLED**首发，Crystal顾名思义，主打视觉清晰，除选择了极具特色的玻璃材质非球面镜片外，Pimax Crystal还推出了包括可换玻璃非球面透镜模组、高清晰度显示屏、PCVR和一体机双模式、无线连接方案等在内的多项技能更新。

Crystal作为Reality系列的首款产品，在**光学创新、显示面板、计算平台三大维度实现自有产品的突破与行业产品的领跑。**

#### （一）光学创新：玻璃材质非球面透镜

主打极致清晰体验的Pimax Crystal选择了玻璃材质的非球面透镜方案，使头显的显示色彩更鲜明、图像更锐利，从而将头显清晰度提升至更高水平。玻璃与聚乙烯由于材质不同，应用在VR头显中会呈现出不同的视觉效果。

相比聚乙烯透镜，玻璃透镜有三个主要优势，即透光率更高、杂散光更少、像差更小，从而使视野内呈现的图像更清晰。透光率较高，意味着光线在传播途中的损耗较少。目前常见的聚乙烯透镜透光率一般在85%至90%左右，Pimax Crystal的透镜在进行光学镀膜后，透光率能够达到99%，使用户接收到的图像色域更广、色彩更加鲜明。杂散光少，是由于在进行光学镀膜后，光线在透镜内部不容易被反射、折射，有效减少了鬼影、眩光等负面效果，使Pimax Crystal的视觉效果如水晶般清透、分明。像差小，意味着用户双眼所接收到的图像与屏幕显示一致性更高，有效减少了模糊，也降低了对反畸变算法的压力，能够有效节省算力。

#### （二）显示面板：QLED+Mini-LED屏幕+HDR算法

与前置旗舰款“性能天花板”Pimax 8K X相比，Crystal所拥有的像素的总数与8K X保持相同，但密度更高。参数显示，Crystal的屏幕水平分辨率为5760像素，垂直分辨率为2880像素，拥有高达160Hz的刷新率。头显屏幕采用QLED+Mini-LED结合技术，为用户呈现了极致丰富的色彩。同时，创新采用HDR算法，使头显能够充分利用其高对比度硬件和准确的色彩空间。

#### （三）计算平台：双模机一体机Omni All-In-One

Crystal在硬核标配方面与Reality系列的12K QLED保持基本相同。二者拥有相同的双平台处理，搭载高通XR2处理器及Pimax定制PC VR引擎双处理器芯片——Omni All-In-One，让性能比率最大化，自由切换PC与一体机模式，保证高性能及流畅体验。

此外，据产品发布会信息，Crystal计划将于今年Q3开始发货，且价格会显著低于小派12K QLED。Pimax软件生态与硬件升级也将实现“两翼齐飞”。Pimax Store将在Crystal头显中首次亮相，目前已签约的内容供应商数量可观，涵盖诸多热门内容。通过Pimax自有内容平台的搭载，与Crystal头显的顶级性能相结合，用户的VR体验会更极速流畅。

## 5. Pimax Crystal 拆解

### 5.1. Pimax Crystal 总体结构

经过拆解，我们将 Pimax Crystal 的总体结构划分为外壳模组、核心计算模组、光学与显示模组、电池及声学模组、人体工学模组共计五大模块。

**绿色部分**：外壳模组（①-⑥）—Reality 系列通用；

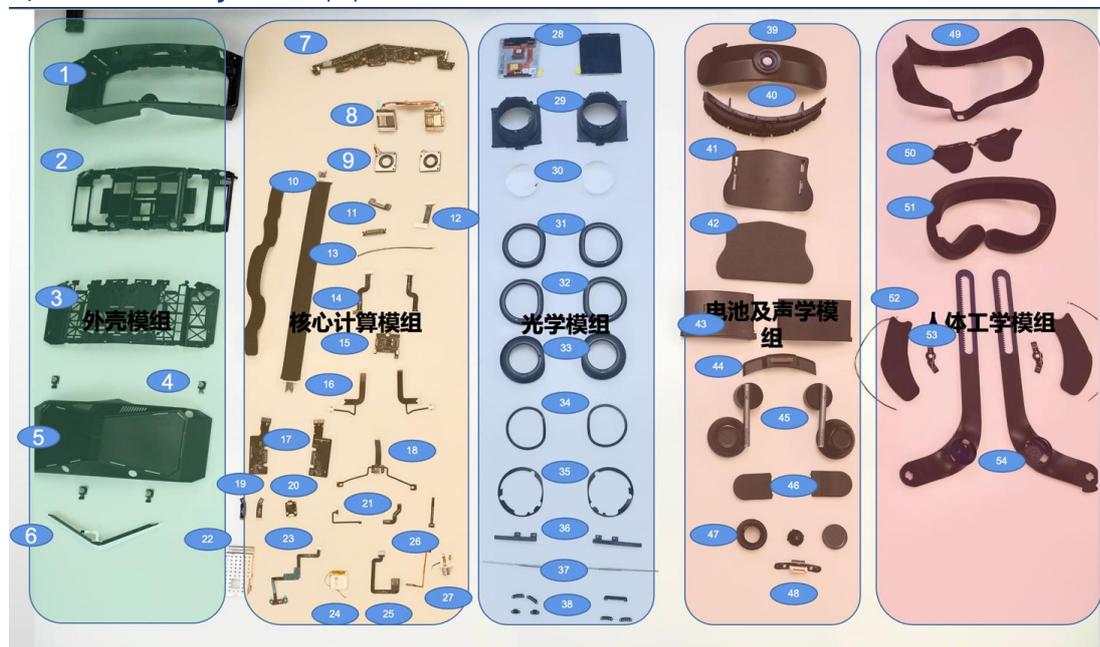
**黄色部分**：核心计算模组（⑦-⑳）—负责头显核心计算部分；

**蓝色部分**：光学与显示模组（㉑-㉓）——核心模块；

**橙色部分**：电池及声学模组（㉔-㉖）—Reality 系列通用；

**粉色部分**：人体工学（㉗-㉙）—Reality 系列通用。

图 26: Pimax Crystal 全拆解



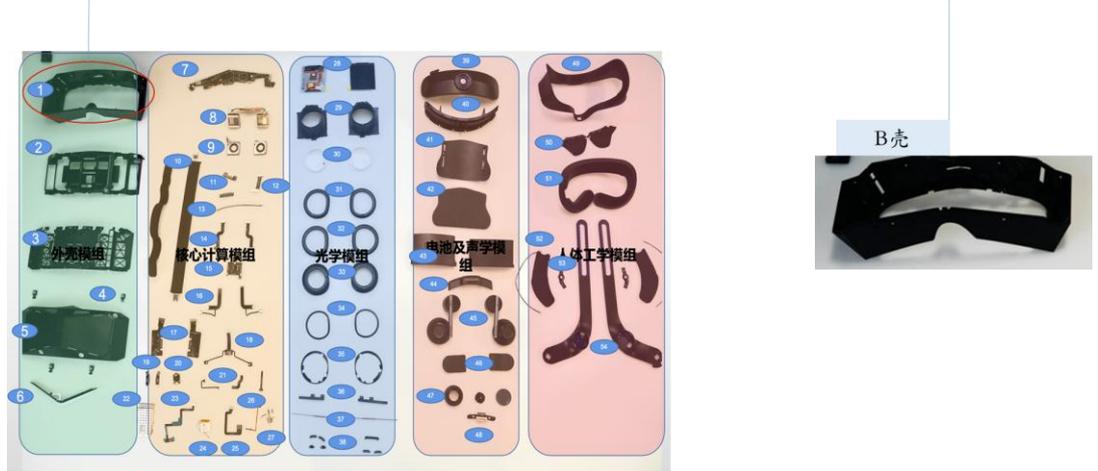
资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

### 5.2. 外壳模组——①-⑥

Pimax Crystal 的外壳模组由 B 壳、中框、屏金属支架、摄像头、A 壳、灯条六部分组成；其中，摄像头是外壳模组最重要的组成部分，负责实现位置追踪、Passthrough 与手部追踪等功能。

① B壳：与A壳共同组成头显的主要外观。

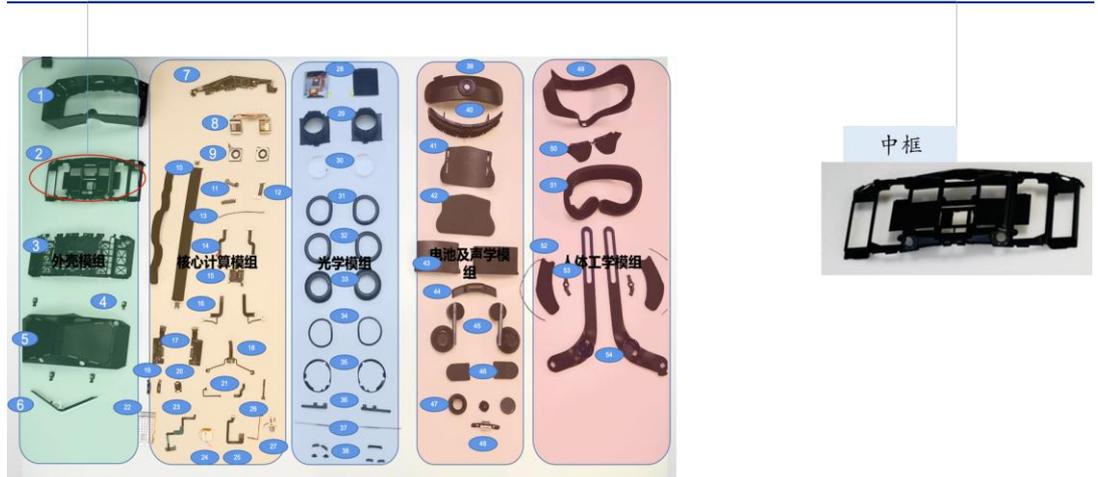
图 27：外壳模组①——B壳



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

②中框：B壳与A壳之间的衔接区域。

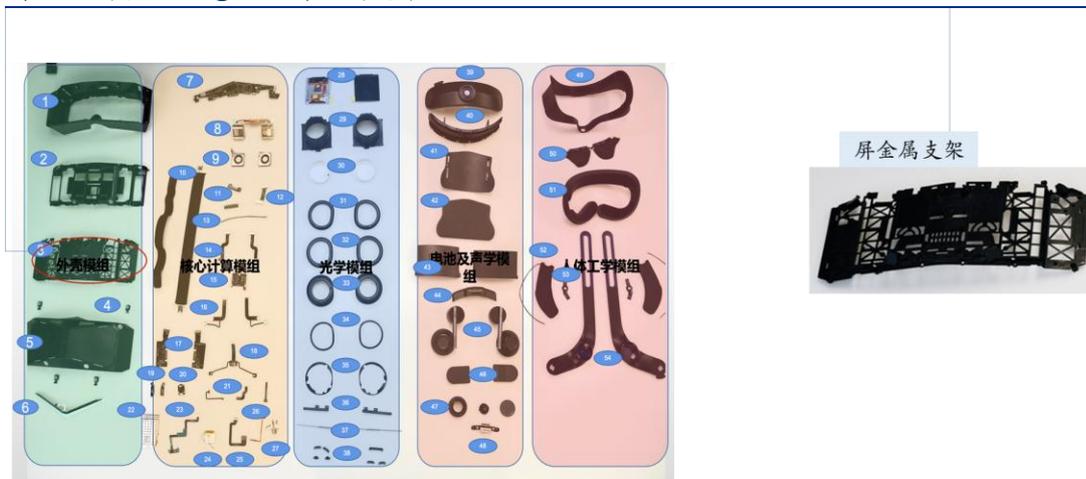
图 28：外壳模组②——中框



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

③屏金属支架：与中框一起保护保护头显外壳不脱离屏幕外的一个支架。

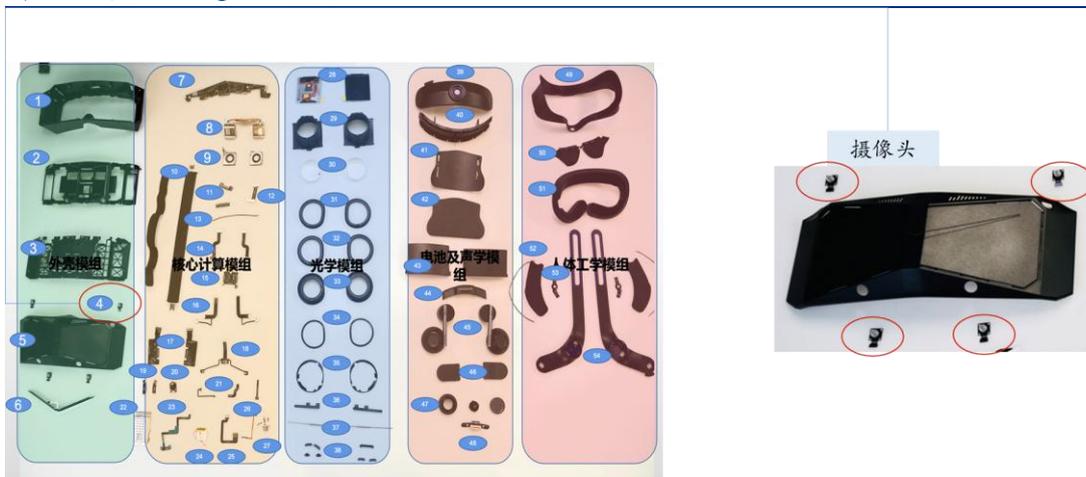
图 29：外壳膜组③——屏金属支架



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

④摄像头：组件四周有序分布共 4 个摄像头，分别用于位置追踪、Passthrough 与手部追踪。摄像头对于在头显与控制器上启用 6DOF 追踪至关重要，4 个摄像头的视图会合并在一起，以允许在头显上使用 Passthrough 视觉模式，该模式可用于追踪游戏空间的边界。

图 30：外壳膜组④——摄像头



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

Pimax Crystal 机身共有 13 个摄像头，可以对用户的任何反应进行捕捉，除了头手 6DOF 识别，还包括面部捕捉、全身动作。机身可识别用户人体做出的动作并实时反映在虚拟世界中。

图 31: Pimax Crystal 机身摄像头

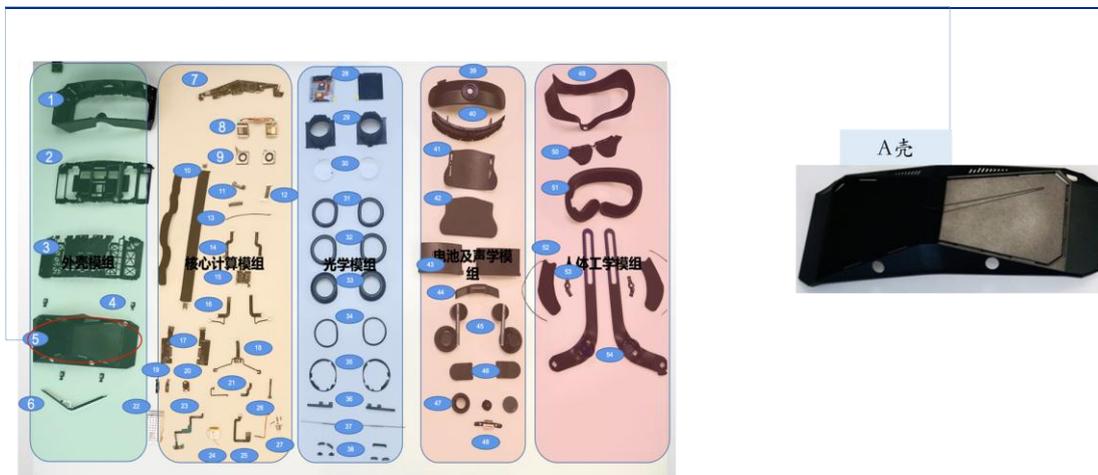


资料来源: Pimax 官网, 安信证券研究中心

⑤A 壳: 与 B 壳共同组成头显的主要外观, Crystal 实现可更换 Faceplate 功能。

目前市场上的 VR 产品与 AR、MR 产品泾渭分明, 通过创新的模块化设计, Crystal 实现了可更换 Faceplate 功能, 让用户通过面罩更换就可以实现 VR 与 AR、MR 模式的切换。

图 32: 外壳模组⑤——A 壳



资料来源: Pimax Crystal 产品实拆, 安信证券研究中心

可更换Faceplate功能让Crystal同时具有VR与AR、MR功能, 可以做到彩色的Passthrough。在此基础上, Pimax还开发了Lighthouse面罩, 让用户通过更换Lighthouse Faceplate以实现PC VR模式体验。Lighthouse面罩能够与Lighthouse定位兼容的设备一起使用, 并且完全与Steam VR兼容, 可接入一体机与PC VR两类内容。

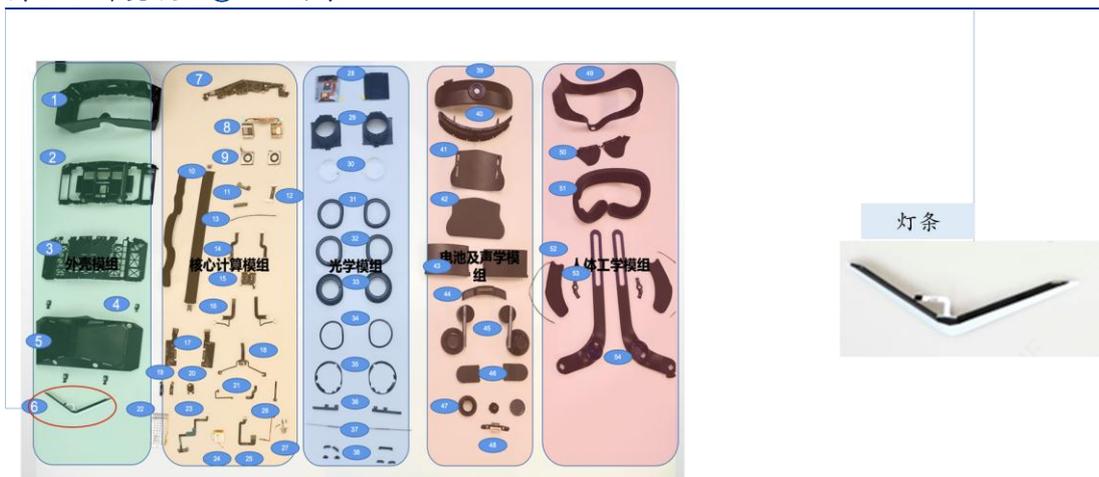
图 33: Pimax Crystal Lighthouse 面罩



资料来源: Pimax 官网, 安信证券研究中心

⑥灯条: 已取消。

图 34: 外壳膜组⑥——灯条



资料来源: Pimax Crystal 产品实拆, 安信证券研究中心

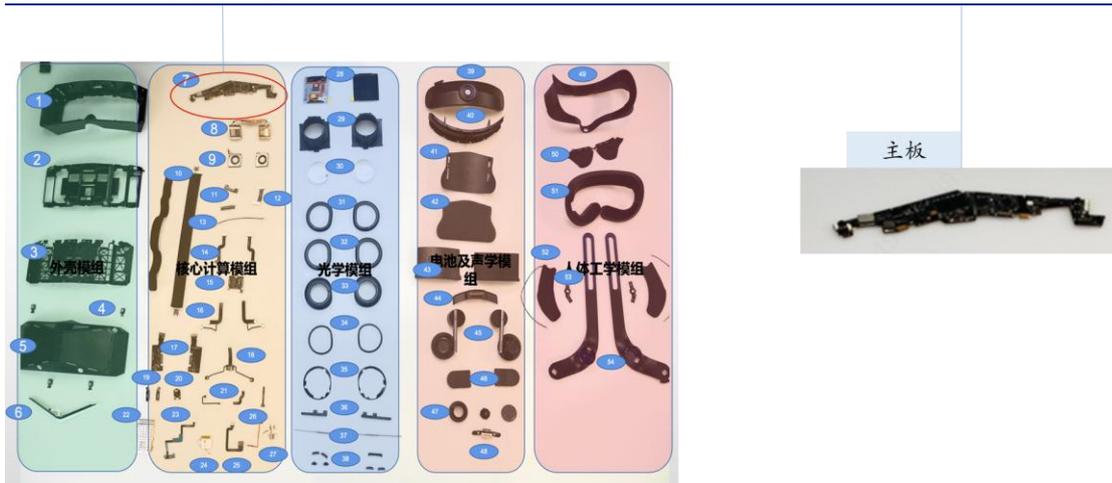
### 5.3. 核心计算模组——⑦-⑳

Pimax Crystal 的核心计算模组由主板、散热片&散热风扇调节绑带及电源线、70pin 连接器、70pin 连接 FPC、耳机板连接线、主副板连接 FPC、Eye Tracking 小板、下摄像头连接 FPC、屏转接 FPC、TypeC-Dmic FPC、上摄像头连接 FPC、耳机板、距离传感器、5G 金属板、眼追摄像头 FPC、小电池、60G FPC、指纹 FPC、Auto-IPD 电动马达构成。

⑦主板: 核心模块为高通 XR2 芯片。VR 设备需要大量运算、图像处理以及多摄像头支持, 需要一款专门设计的高性能芯片, 目前主流是使用高通 XR2 芯片。

高通根据 VR 设备需求需要专门设计的 XR2 芯片是目前算力最强的 VR 设备芯片。也被主流 VR 设备采用, 但目前的设备受限于硬件还没有发挥出这块芯片的全部性能, 高通的预估是这块 XR2 芯片还可以满足 2~3 年的主流设备迭代需求。而 Crystal 的极致性能高分辨率、高刷新率及散热设计得以将这块芯片的性能压榨到极致。

图 35: 核心计算模组⑦——主板



资料来源: Pimax Crystal 产品实拆, 安信证券研究中心

小派在 XR2 芯片的基础上, 开发了 MTP 以及 ASW 技术, 以减少眩晕和延时。

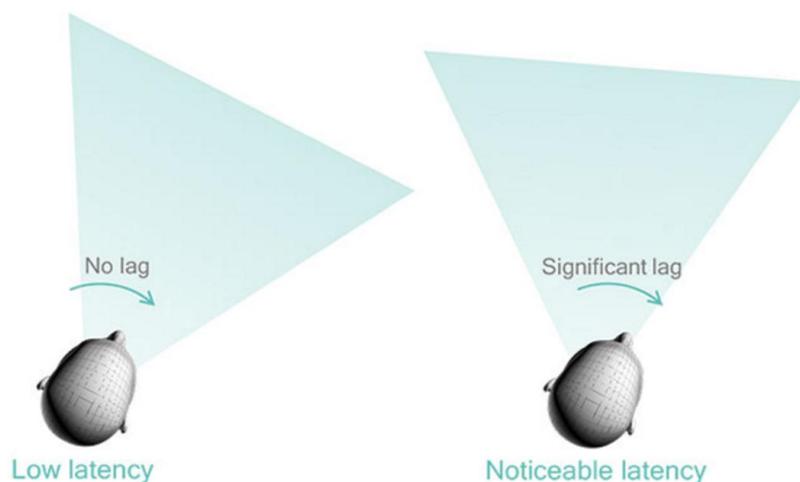
MTP(Motion to photon latency):

VR 在普及过程中面临的巨大挑战之一是减少眩晕, 即输入运动 (头部转动) 和屏幕内容刷新 (光从更新的屏幕发出) 之间的时间差, 这被称为“MTP(Motion to photon)”延迟。

图 36: MTP 原理图

Motion to photon latency

One of the biggest challenges for VR is reducing the amount of time between an input movement (head turns) and the screen being appropriately updated (light emitted from the updated screen), which is known as “motion to photon” latency (MTP).

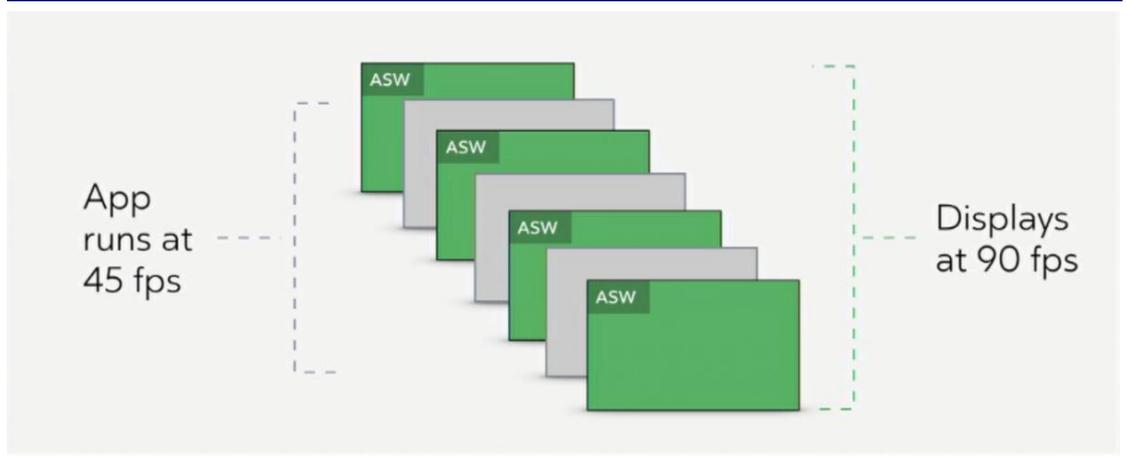


资料来源: CSDN

ASW (Application SpaceWarp):

Application SpaceWarp: 允许应用以实际显示刷新率的一半进行渲染, 例如 90fps 的一半 45fps。除了标准的眼睛缓冲区外, 应用同时必须渲染运动矢量缓冲区和深度缓冲区, 然后我们的系统将使用所述缓冲区合成新帧, 并向显示器输出 90 FPS。从而提升应用的性能。

图 37: ASW 原理图

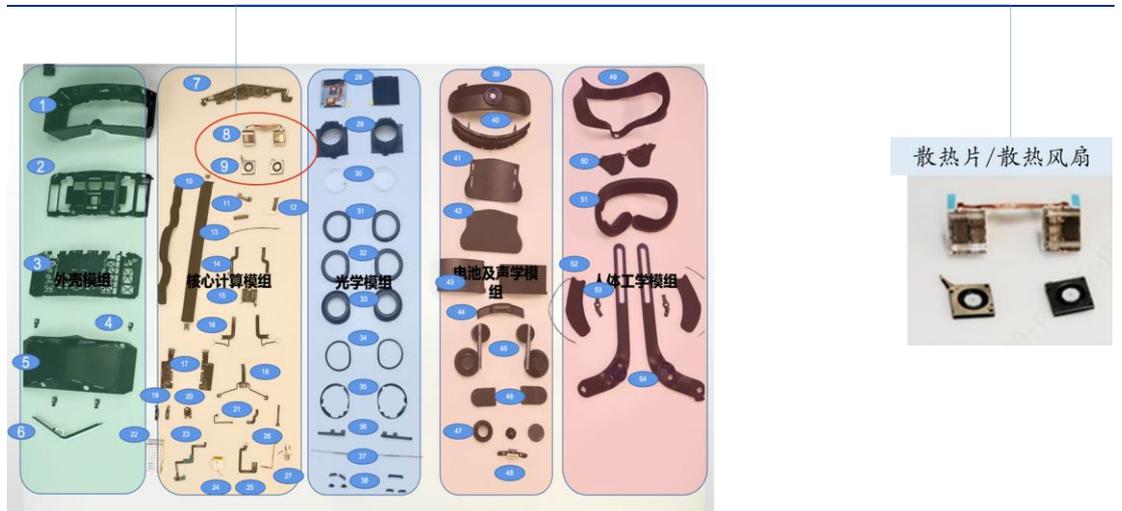


资料来源: CSDN

高通根据 VR 设备需求需要专门设计的 XR2 芯片是目前算力最强的 VR 设备芯片。也被主流 VR 设备采用，但目前的设备受限于硬件还没有发挥出这块芯片的全部性能，高通的预估是这块 XR2 芯片还可以满足 2-3 年的主流设备迭代需求。而 Crystal 的极致性能高分辨率、高刷新率及散热设计得以将这块芯片的性能压榨到极致。

⑧⑨——散热片&散热风扇：任何对图像处理要求很高的设备，对散热的需求都很高。Pimax 通过双风扇以及散热片和风扇紧密贴合的设计，将头显的散热性能发挥到极致，同时帮助 Pimax 将高通芯片的性能压榨到极致。

图 38: 核心计算模组⑧⑨——散热片&散热风扇



资料来源: Pimax Crystal 产品实拆, 安信证券研究中心

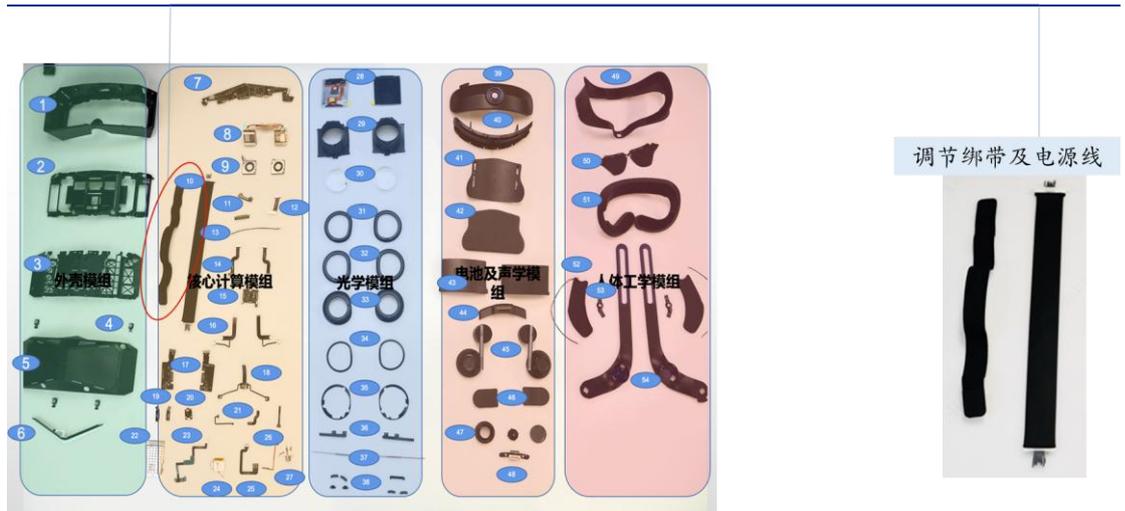
图 39: Pimax Crystal 的散热片&散热风扇



资料来源: Pimax 官网, 安信证券研究中心

⑩调节绑带及电源线: 调整佩戴及连接电源。

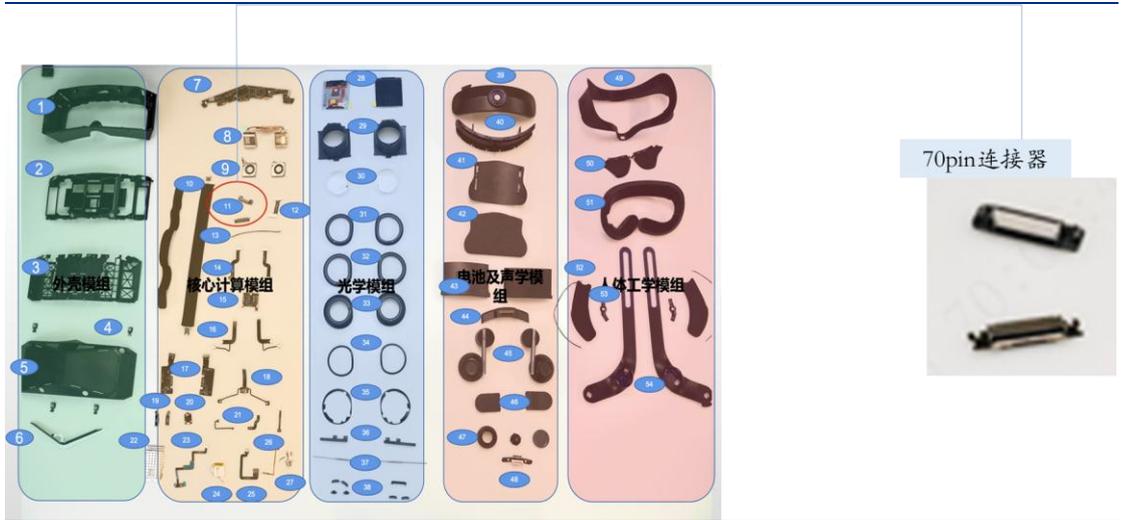
图 40: 核心计算模组⑩——调节绑带及电源线



资料来源: Pimax Crystal 产品实拆, 安信证券研究中心

⑪ 70pin 连接器：连接电流与信号。

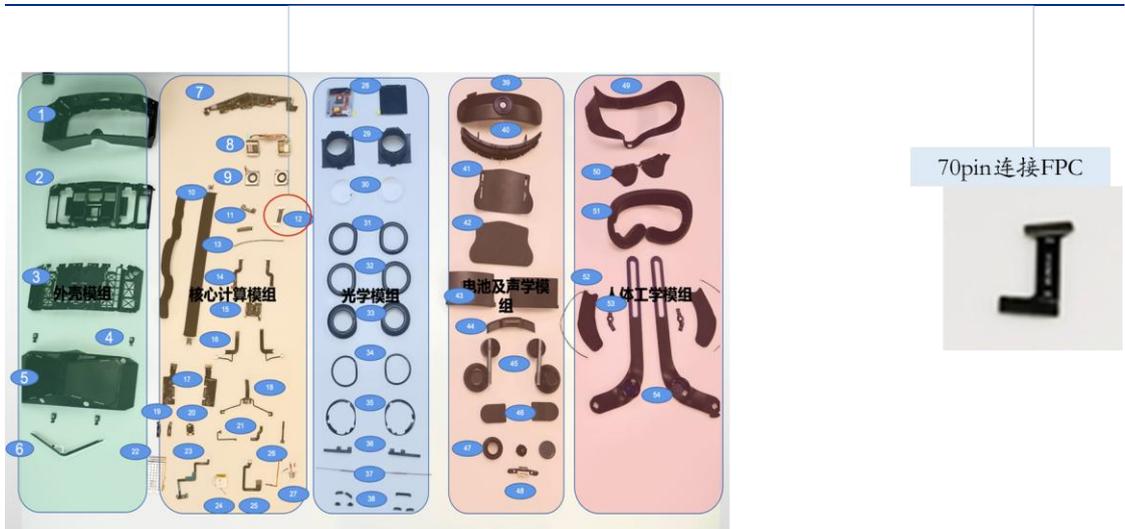
图 41：核心计算模组⑪——70pin 连接器



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

⑫ 70pin 连接 FPC：用于 LCD 显示屏到驱动电路 (PCB) 的连接。

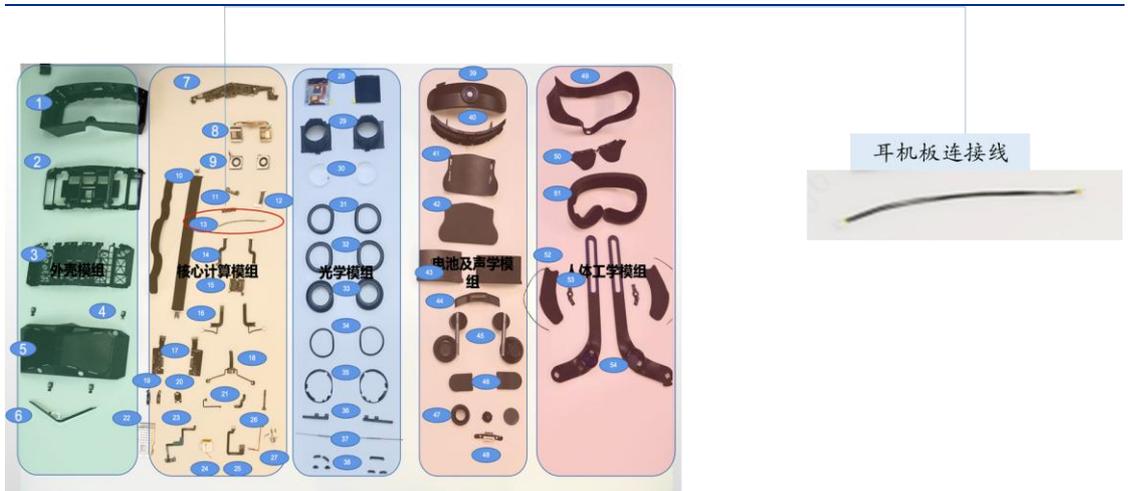
图 42：核心计算模组⑫——70pin 连接 FPC



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

⑬ 耳机板连接线：用于连接外设耳机。

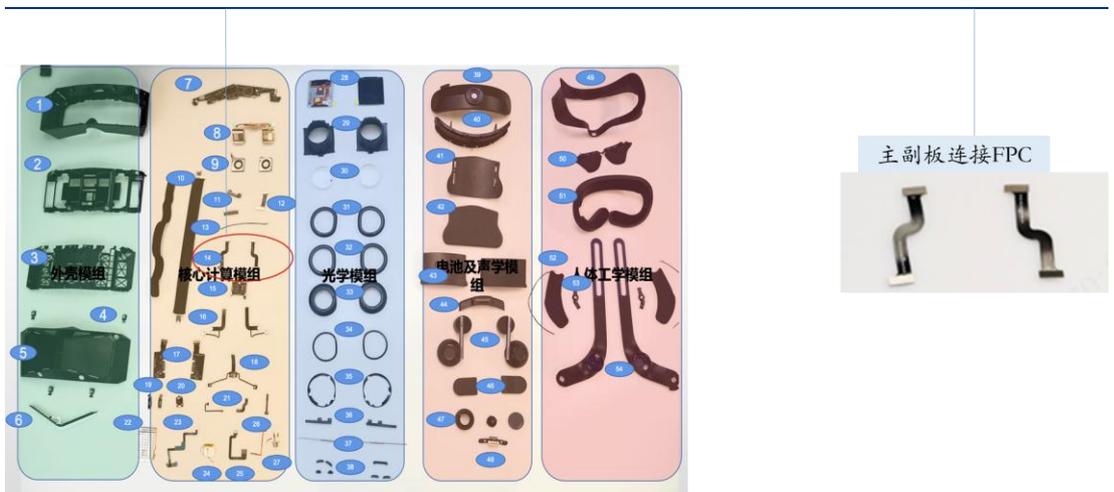
图 43：核心计算模组⑬——耳机板连接线



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

⑭ 主副板连接 FPC：用于连接主板与副板。

图 44：核心计算模组⑭——主副板连接 FPC



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

⑮ Eye Tracking 小板：主要服务于 Eye Tracking 眼动追踪。该模块主要功能为 Eye Tracking 眼动追踪。眼球的定向追踪在两方面对于 VR 体验有至关重要的影响，分别是：社交存在感；Auto-IPD（自动瞳距调节）

社交存在感：

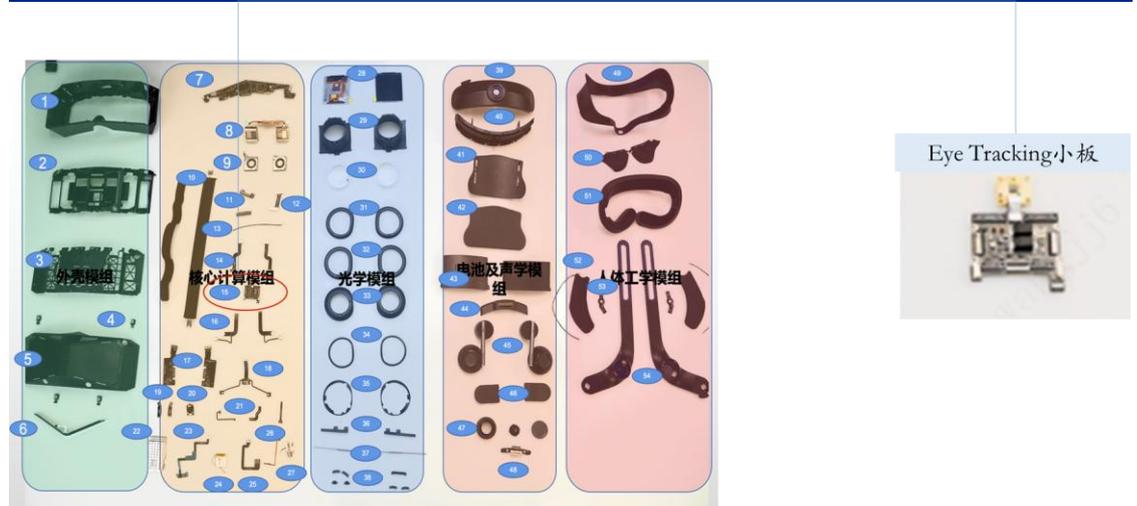
Crystal 通过 Eye Tracking 眼动追踪，可以帮助用户在 VR 聊天等社交应用程序中获得临场感。随着用户的头像眼睛的自然移动，其他用户将能够准确地看到用户正在查看的内容。

Auto-IPD（自动瞳距调节）：

VR 头显是一款通用型设备，但头显的用户在个体上有差异，例如头围，瞳孔间距离（IPD）

等，这会影实际佩戴设备时的用户体验。例如，由于两个用户瞳孔之间的 IPD 差异，与另一个用户相比，一个用户的内容可能在显示上出现离焦或偏心。通过眼动追踪，即可精准识别两个眼球位置，从而调整透镜组的位置，让每个用户都能实现最佳的视觉效果。

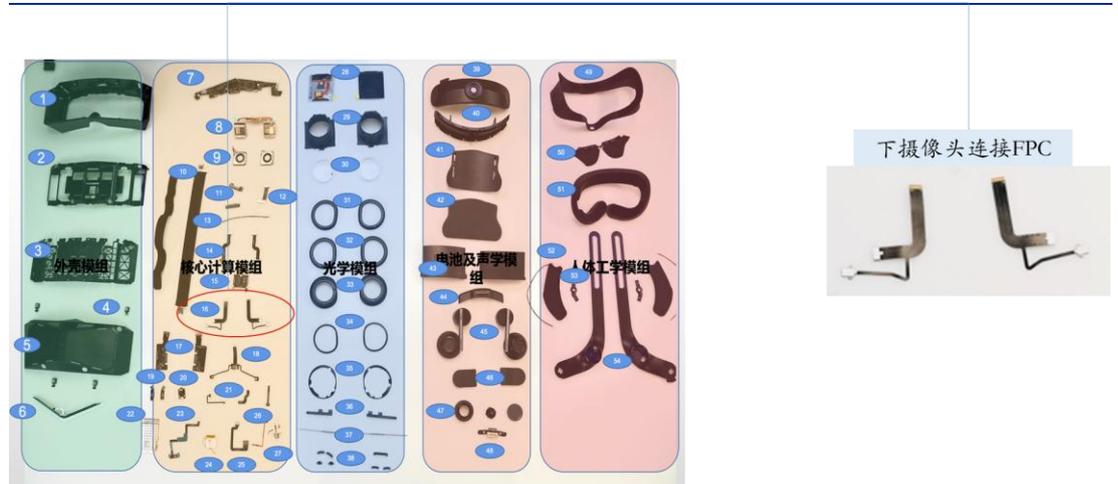
图 45：核心计算模组⑮——Eye Tracking 小板



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

⑮ 下摄像头连接 FPC：用于连接摄像头。

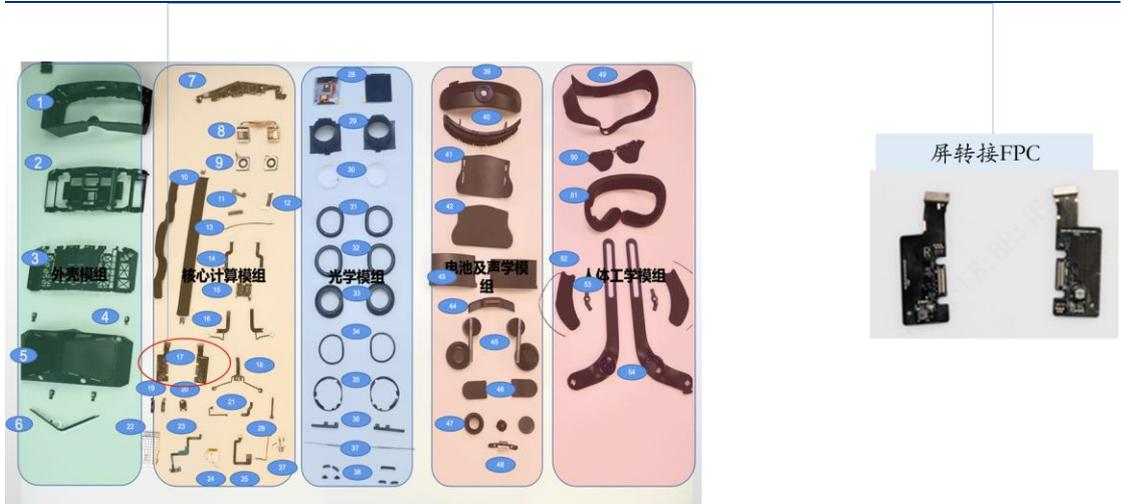
图 46：核心计算模组⑮——下摄像头连接 FPC



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

⑰ 屏转接 FPC：用于连接屏幕。

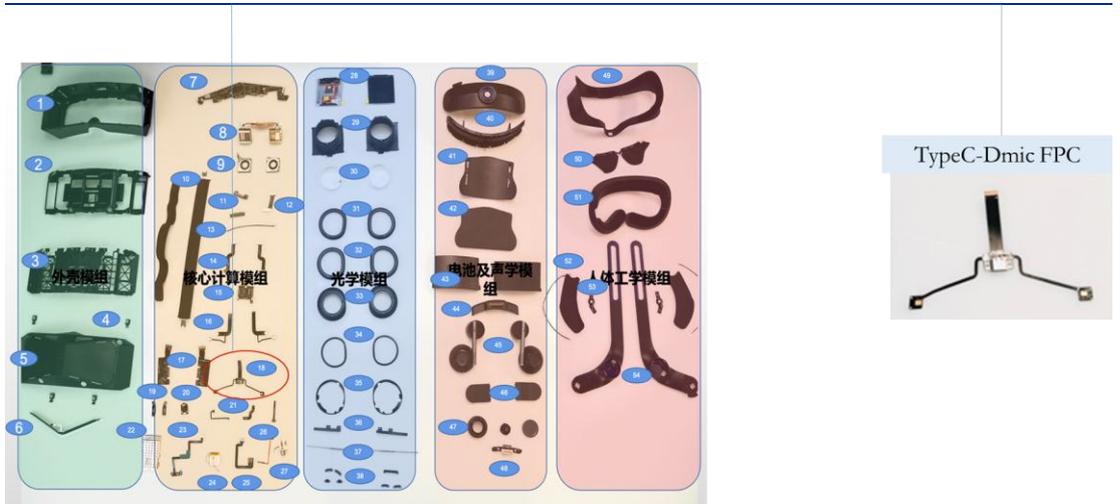
图 47：核心计算模组⑰——屏转接 FPC



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

⑱ TypeC-Dmic FPC：用于连接 TypeC 接口。

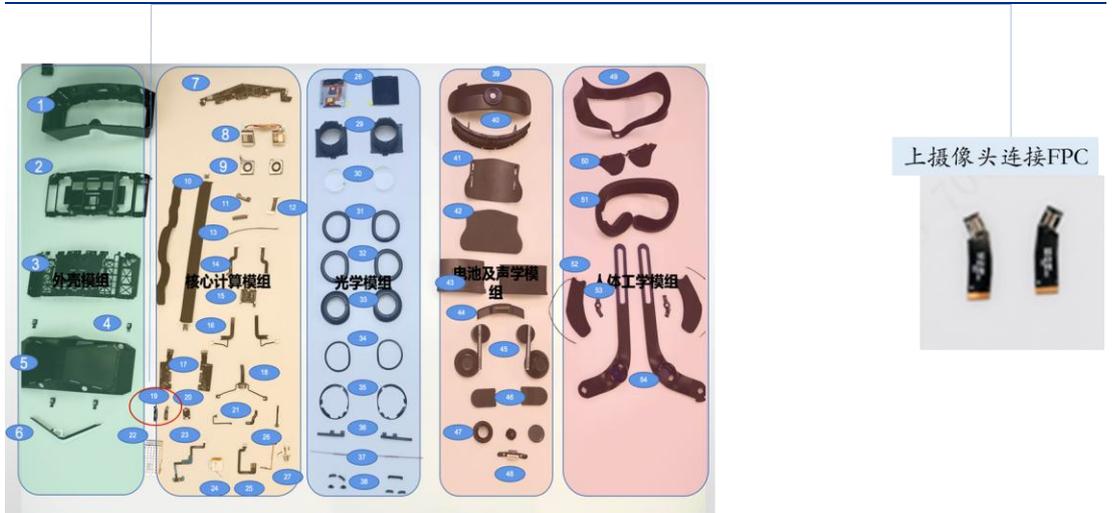
图 48：核心计算模组⑱——TypeC-Dmic FPC



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

⑱ 上摄像头连接 FPC：用于连接上摄像头。

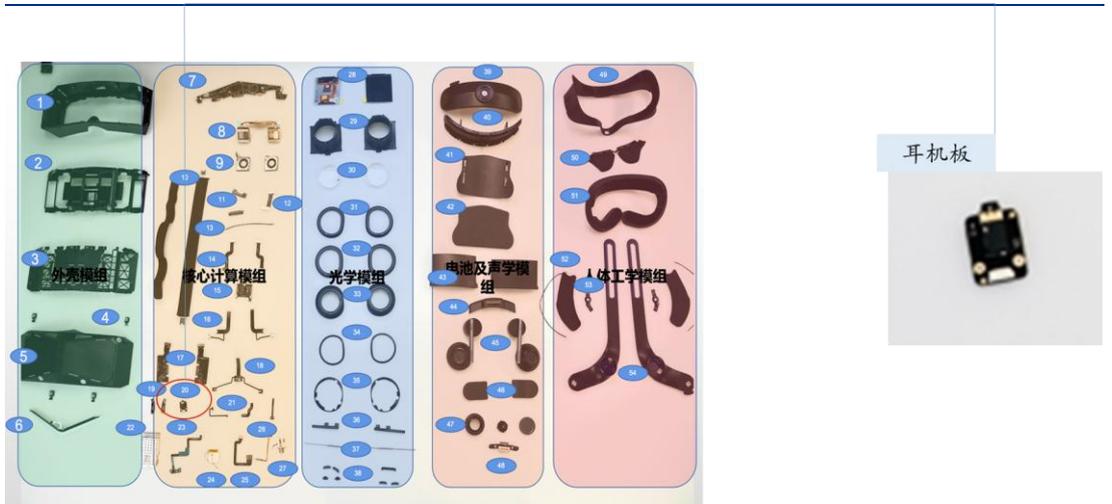
图 49：核心计算模组⑱——上摄像头连接 FPC



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

⑳ 耳机板：支持外设耳机。

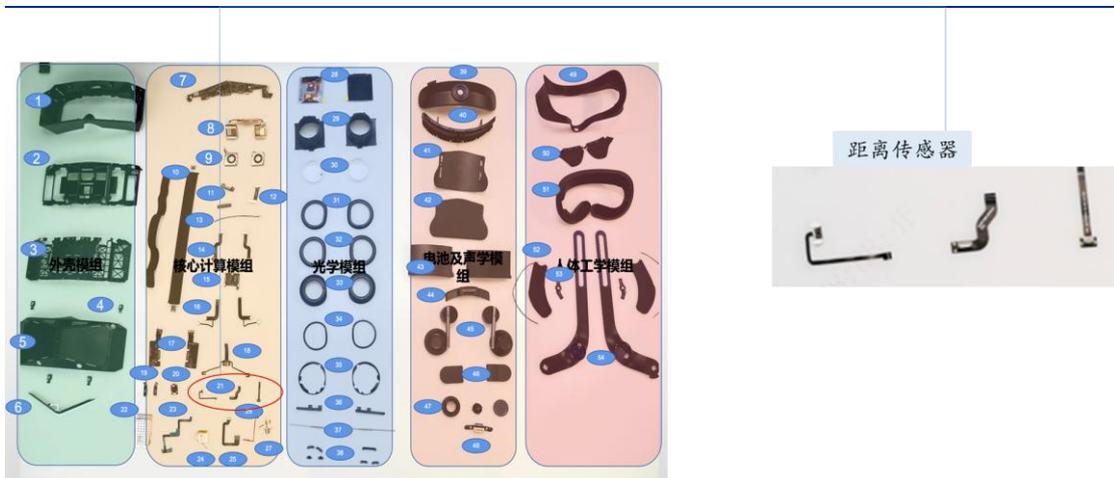
图 50：核心计算模组⑳——耳机板



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

②1 距离传感器：又叫做位移传感器，是传感器的一种，用于感应其与某物体间的距离以完成预设的某种功能。

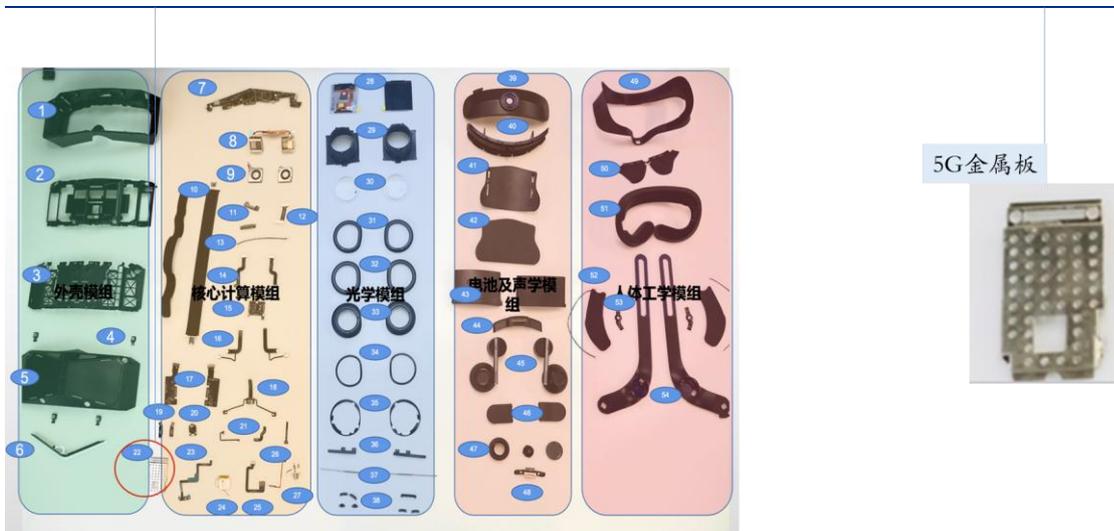
图 51：核心计算模组②1——距离传感器



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

②2 5G 金属板：传输 5G 信号。

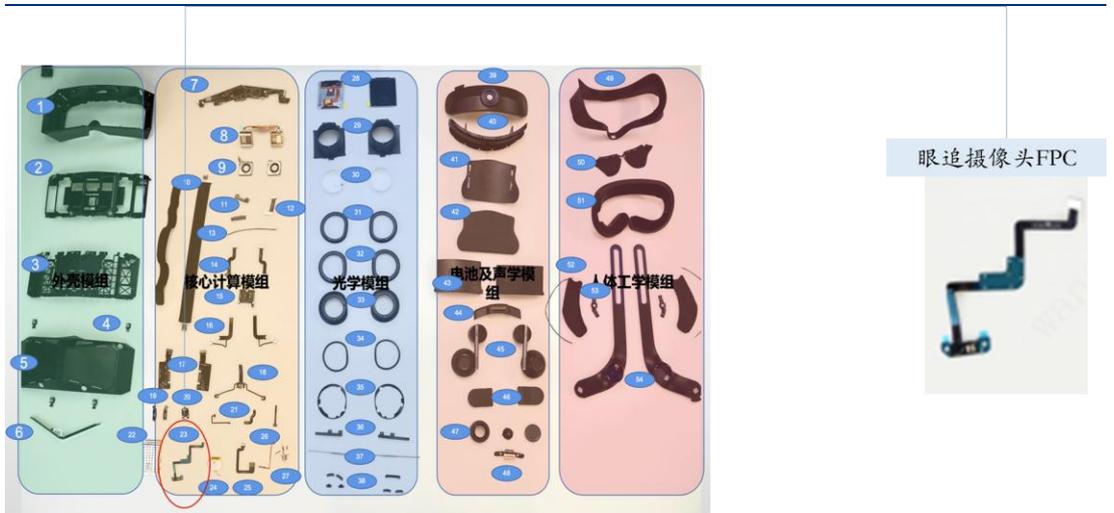
图 52：核心计算模组②2——5G 金属板



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

②③ 眼追摄像头 FPC：支持眼动追踪摄像头的电路板。

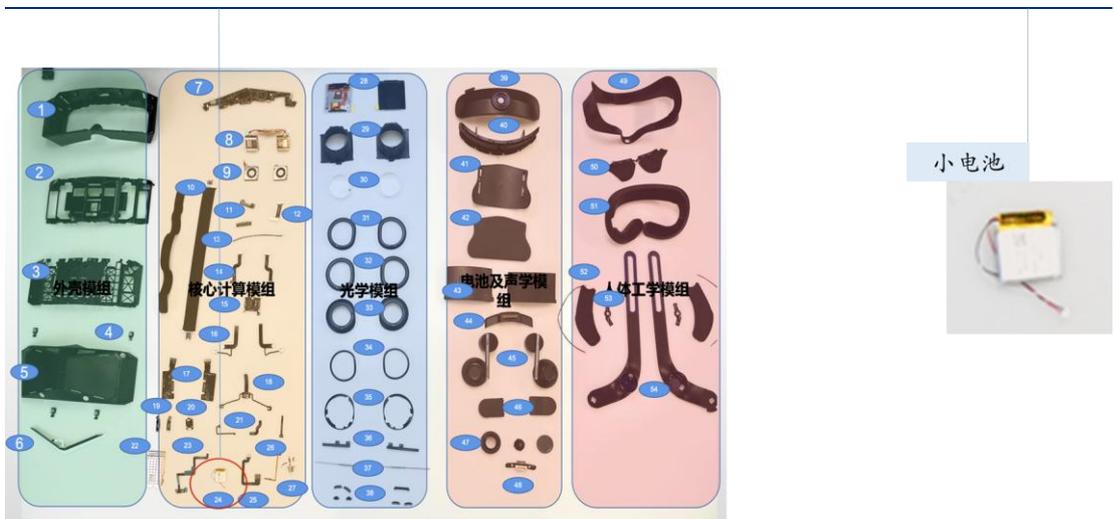
图 53：核心计算模组②③——眼追摄像头 FPC



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

②④ 小电池：供电。

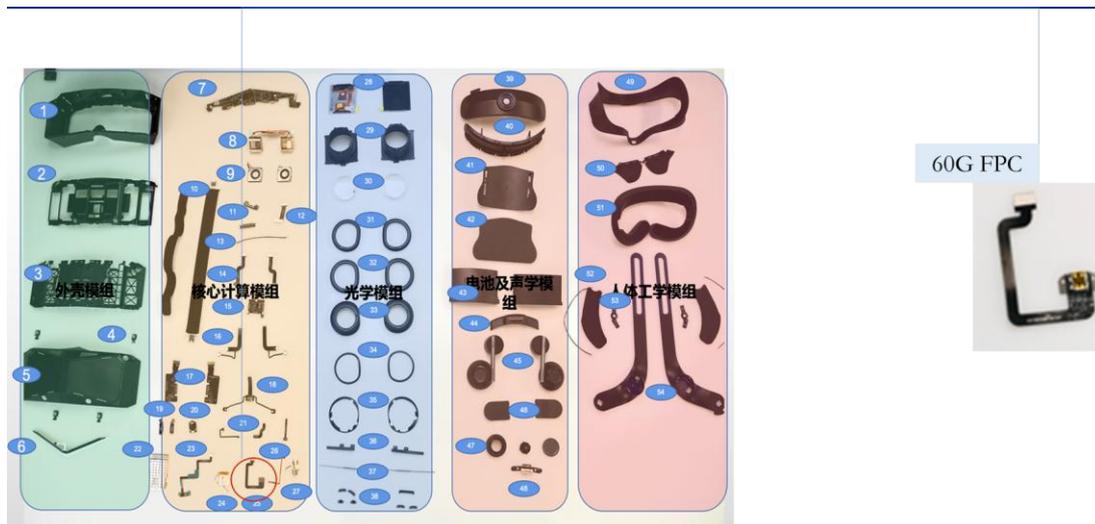
图 54：核心计算模组②④——小电池



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

②⑤ **60G FPC**: 该部件主要为支持 Pimax 开发的 **WiGig 60G 无线接收模块**。现有的无线频段为 2.4G、5G、还有最新的 Wifi 6.这些频段还都是有延迟而且会受到干扰的。Pimax 开发的 WiGig 模块可以实现原生串流的效果,不受信号干扰,同时近乎 0 延迟,提供较好的无线体验。

图 55: 核心计算模组②⑤——60G FPC



资料来源: Pimax Crystal 产品实拆, 安信证券研究中心

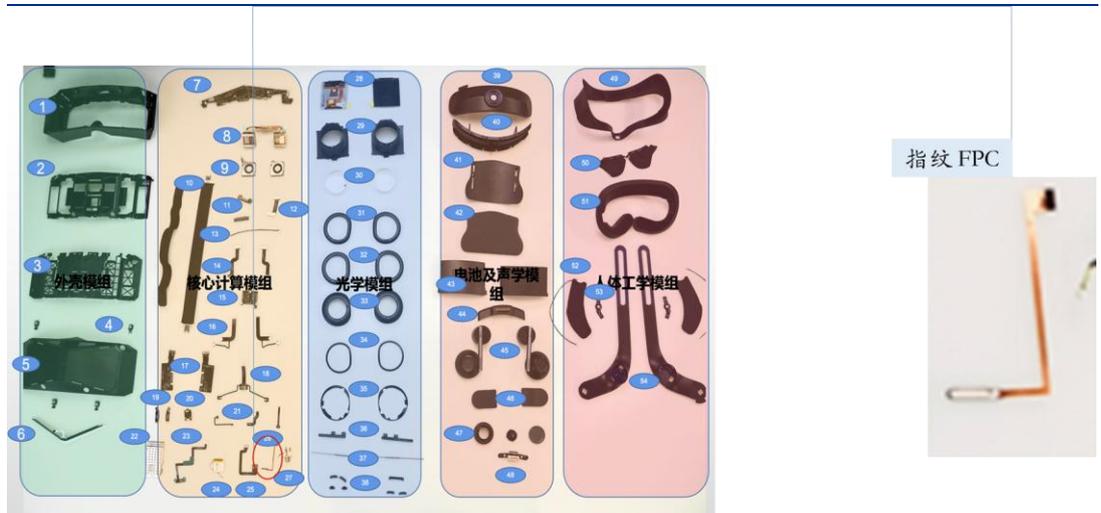
图 56: WiGig 60G 无线接收模块



资料来源: Pimax Crystal 产品实拆, 安信证券研究中心

⑳ 指纹 FPC：适配指纹解锁。

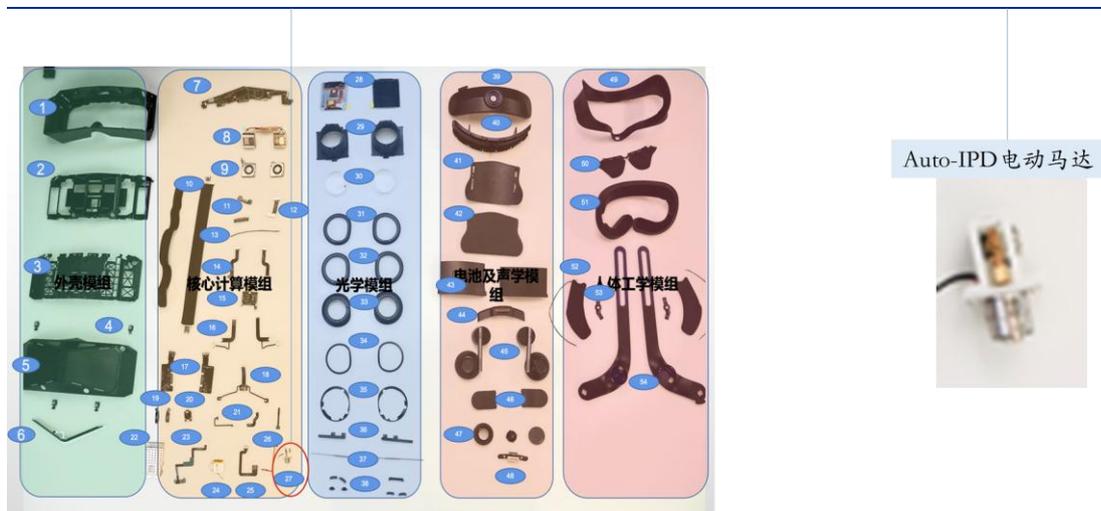
图 57：核心计算模组⑳——指纹 FPC



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

㉑ Auto-IPD 电动马达：与 ⑮ 的眼动追踪一起，共同实现电动的自动眼距调节。

图 58：核心计算模组㉑——Auto-IPD 电动马达



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

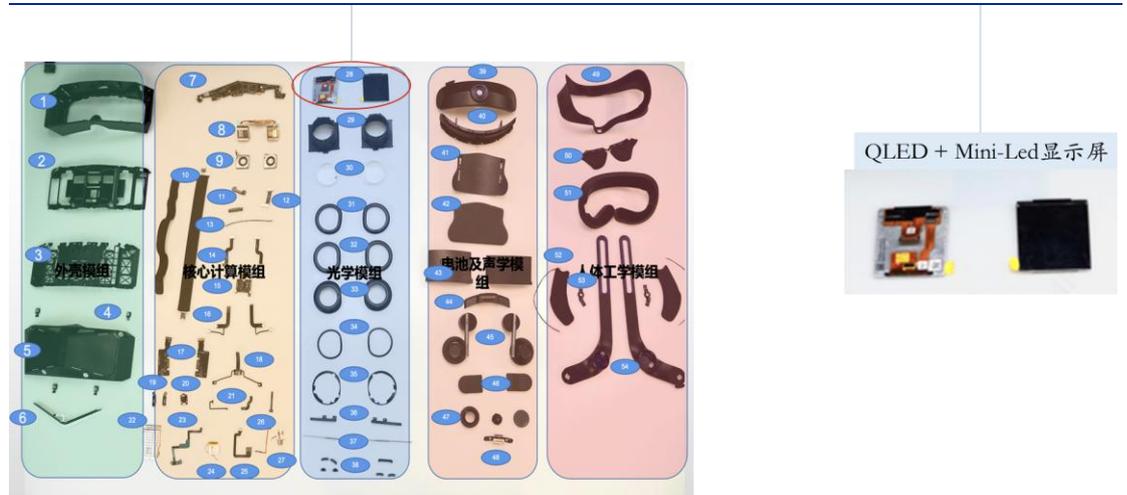
#### 5.4. 光学与显示模组——㉒-⑳

Pimax Crystal 的光学与显示模组由 QLED + Mini-LED 显示屏、镜筒、Crystal Lens-35PPD 透镜、三对透镜支架、IR LED 盖板、包布支架、螺杆支架、Auto-IPD 螺杆、小压片构成。

㉒ QLED + Mini-LED 显示屏：结合了 OLED 与 Mini-LED 两方的优势，非常适合应用于 VR。QLED 能够比尺寸相仿的 OLED 屏幕，提供宽广 20% 的色域，并能够再现 90% 以上的最新的视频广播 BT.2020 色域标准。OLED 仅覆盖该标准约 70% 的范围。小派新背光系统

采用 Mini-LED 技术可以实现堪比 OLED 的黑色。同时, Crystal 的屏幕为每只眼睛都有效地提供了 2880×2880 分辨率。同时支持 HDR、160hz 的刷新率。

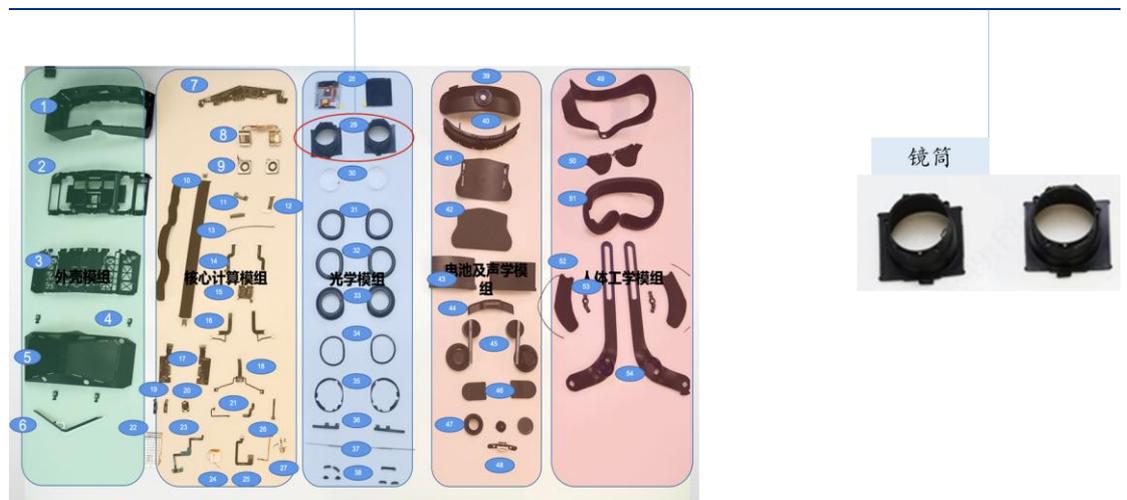
图 59: 光学与显示模组 28——QLED + Mini-LED 显示屏



资料来源: Pimax Crystal 产品实拆, 安信证券研究中心

29 镜筒: 支撑镜片。

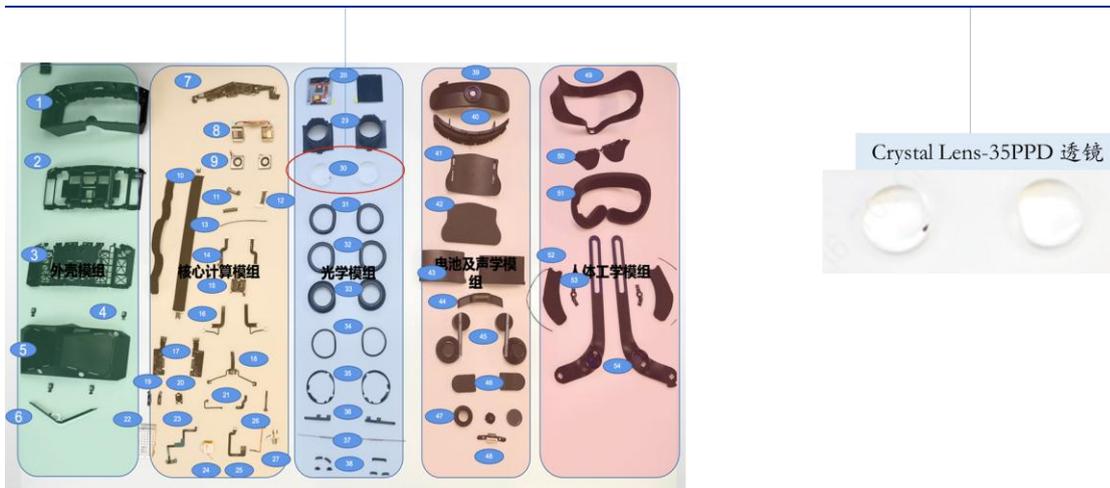
图 60: 光学与显示模组 29——镜筒



资料来源: Pimax Crystal 产品实拆, 安信证券研究中心

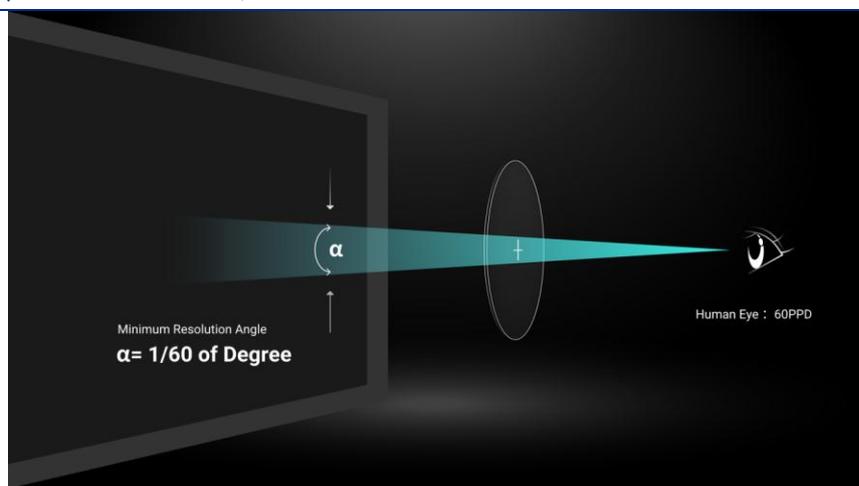
**③0 Crystal Lens-35PPD 透镜：**小派自研的玻璃材料的非球面透镜，达到全球最高的 PPD 水平。PPD 是 VR 中衡量清晰度最关键的指标，当屏幕相邻像素与眼睛形成的角度小于最小分辨率视角  $\alpha$  时，达到人眼的极限，人眼不再能区分屏幕上的单个像素。人眼的 PPD 是 60PPD。目前市场上主流的 PPD 只有 20，也就是只达到了人眼的 33%。而图中透镜为 35PPD，占到了人眼的接近 60%，可选的 42PPD 透镜组更是达到了人眼的 70%。

图 61：光学与显示模组③0——Crystal Lens-35PPD 透镜



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

图 62：理论 PPD 上限



资料来源：Pimax Crystal 产品发布会

**Pimax 独创玻璃非球面透镜，而目前市面上的非球面镜片材质均为树脂材质。该透镜具备突出的光学优势与材质优势。**

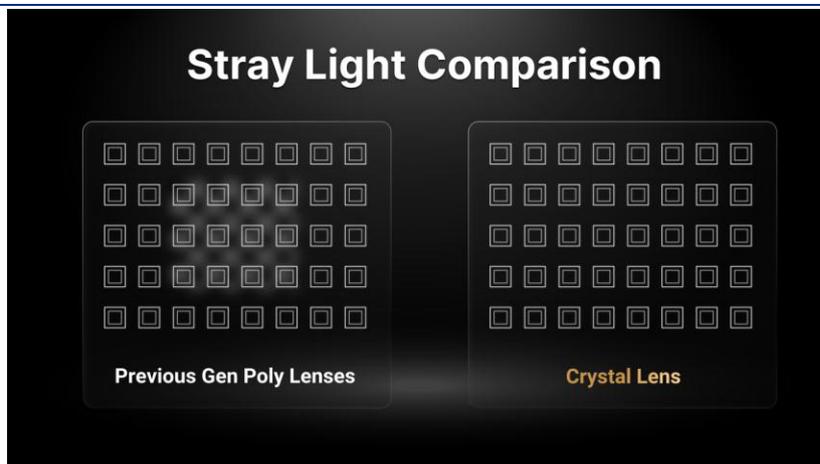
**光学优势：**Crystal 采用了独特的高品质玻璃非球面镜片，相比于目前市面上的树脂材质在三个方面提高了清晰度：更高的高透光率、更少的杂散光、和更低像差。

- 更高透光率：在相同的光照条件下，聚乙烯镜片通常只允许 85% 到 90% 的光通过，而玻璃镜片在使用最好镀膜的情况下，透光率可以接近 100%。
- 更少的杂散光：杂散光的光路在我们的正常视线外会分散和反射，使图像看起来不那么

清晰并导致整体质量下降。

- **更低像差**：当光穿过介质时，无论是水、塑料还是玻璃，它的行进路径改变了。因此我们需要通过软件算法来矫正图像，更低的像差可以减少通过软件进行失真校正的需求。

图 63：杂散光比较：普通树脂镜片 VS Crystal 玻璃镜片

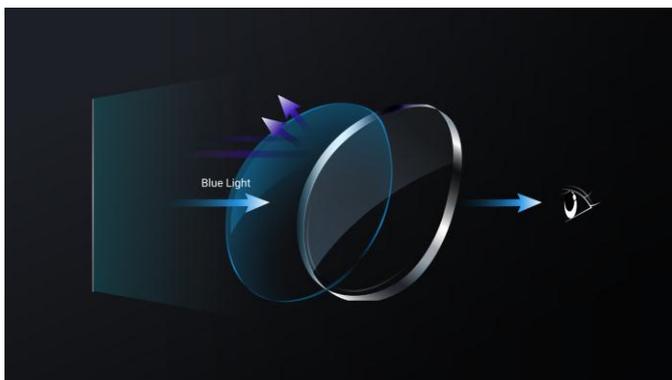


资料来源：Pimax Crystal 产品发布会

**材质优势**：Crystal Lens 的材质优势主要体现在**可镀膜性与耐用性**。

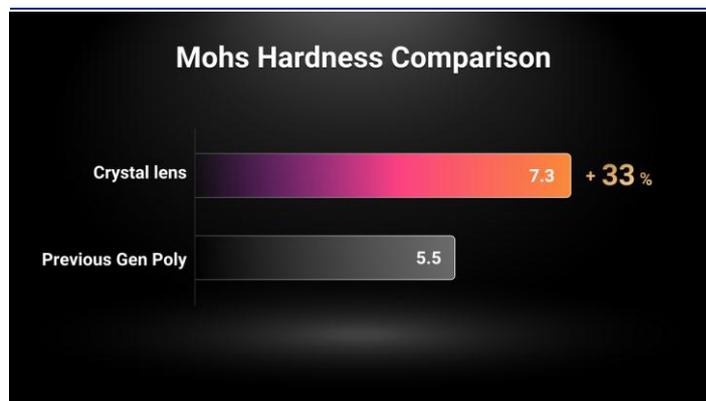
Crystal Lens 采用全新的三层镀膜工艺：防蓝光涂层可去除 99% 的蓝光；防尘涂层，可以有效减少灰尘附着在镜头上；利用抗反射涂层，消除了大多数反射。莫氏硬度标度常用来表示并测量材料表面抗划痕的能力。相比于树脂镜片，玻璃镜片的莫氏硬度提升了 33%。

图 64：Crystal Lens 拥有防蓝光涂层、防尘涂层、抗反射涂层



资料来源：Pimax Crystal 产品发布会

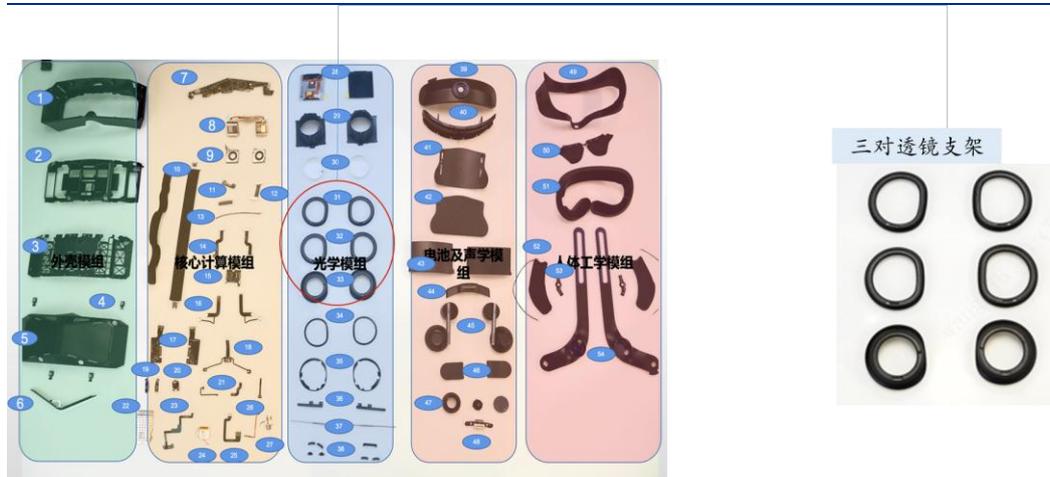
图 65：Crystal Lens 相比树脂镜片的莫氏硬度提升 33%



资料来源：Pimax Crystal 产品发布会

③1~③3 三对透镜支架：与镜筒一起支撑镜片。

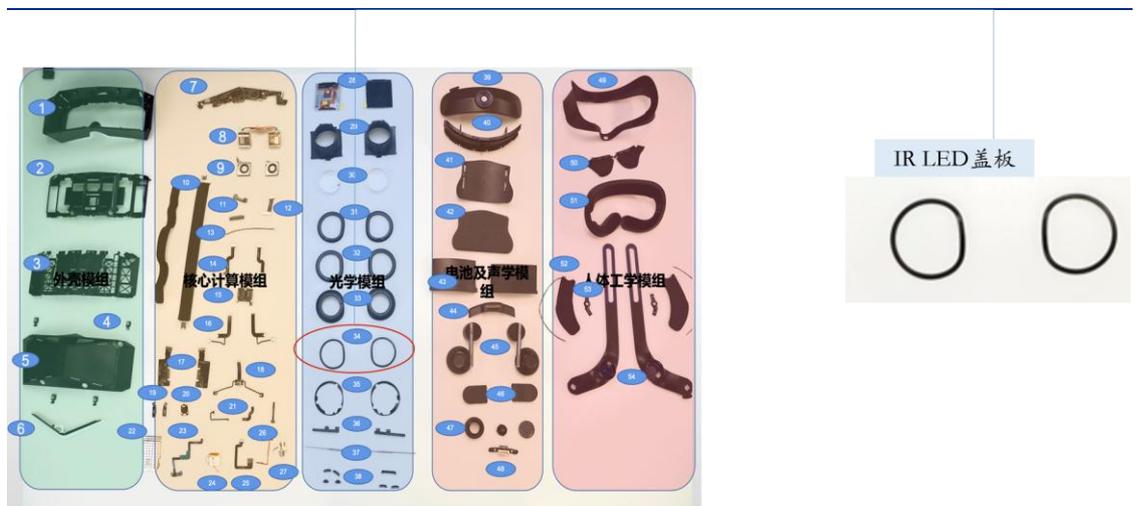
图 66：光学与显示模组 ③1~③3——三对透镜支架



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

③4 IR LED 盖板：能让红外线透过，同时也可将可见光和紫外线遮挡。

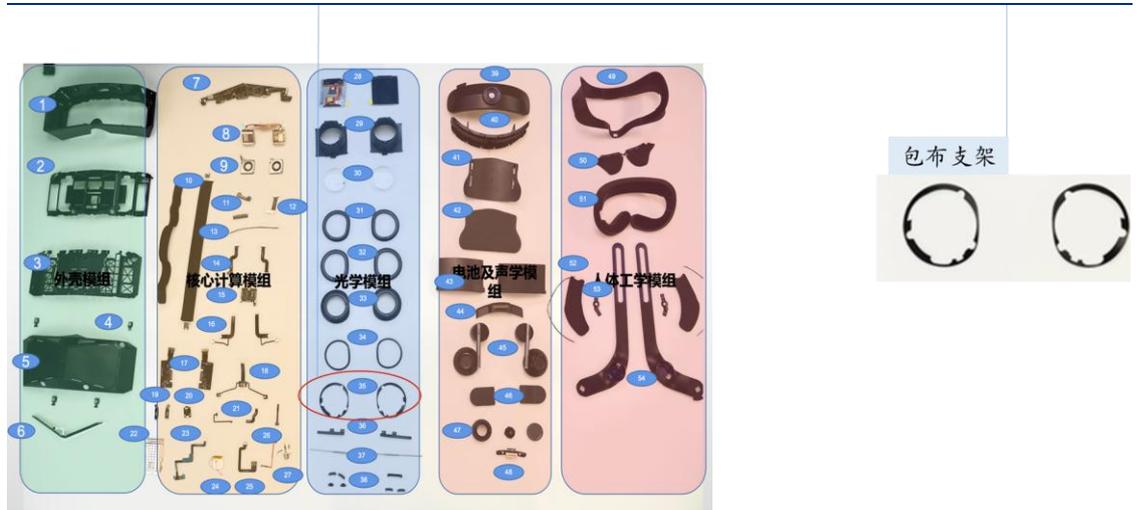
图 67：光学与显示模组 ③4——IR LED 盖板



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

③⑤ 包布支架：支撑镜片及镜片的支架。

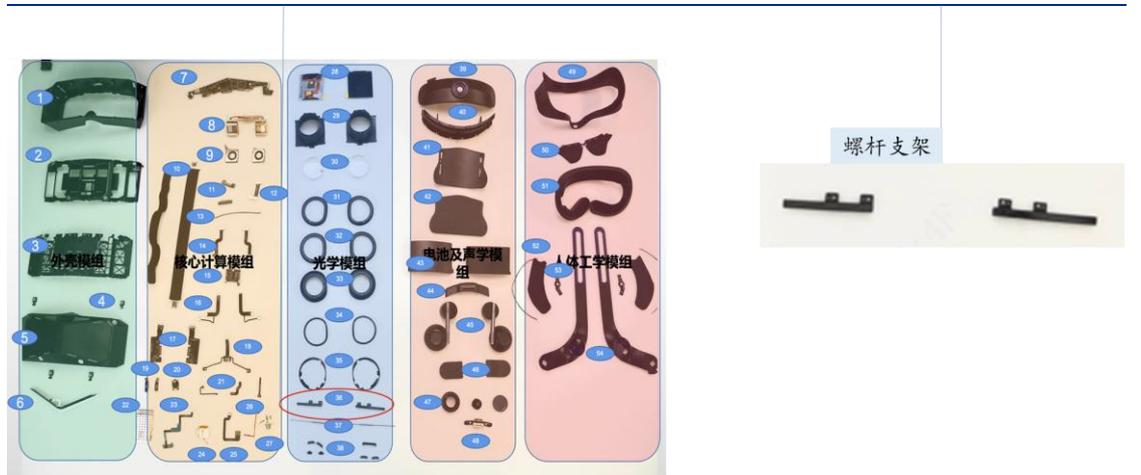
图 68：光学与显示模组③⑤——包布支架



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

③⑥ 螺杆支架：辅助实现瞳距调节。

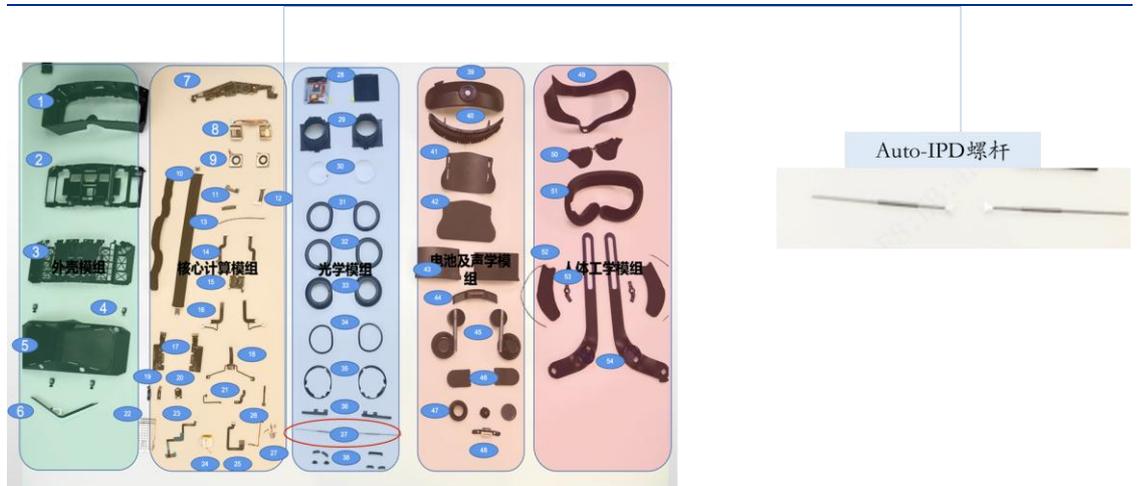
图 69：光学与显示模组③⑥——螺杆支架



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

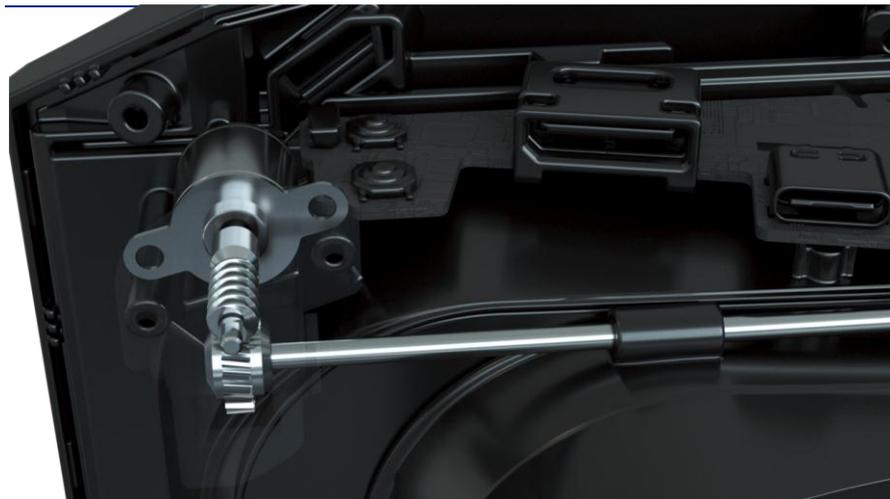
③7 Auto-IPD 螺杆：与配合 AUTO-IPD 马达（15、27 结合）共同实现自动瞳距调节。

图 70：光学与显示模组 ③7——Auto-IPD 螺杆



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

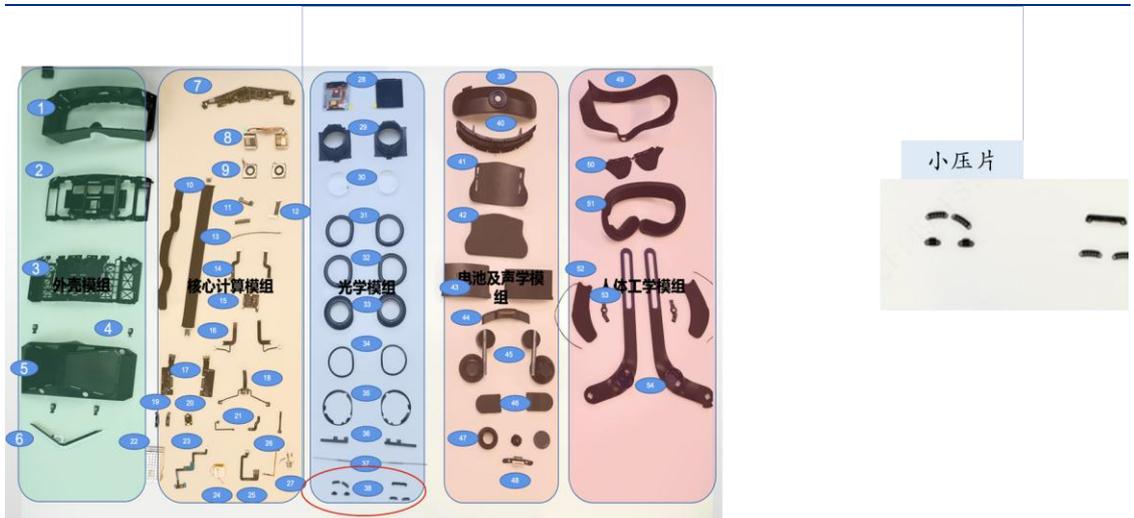
图 71：Auto-IPD 螺杆细节图



资料来源：Pimax Crystal 产品发布会

③⑧小压片：压连接器以及 Auto IPD 的杆。

图 72：光学与显示模组③⑧——小压片



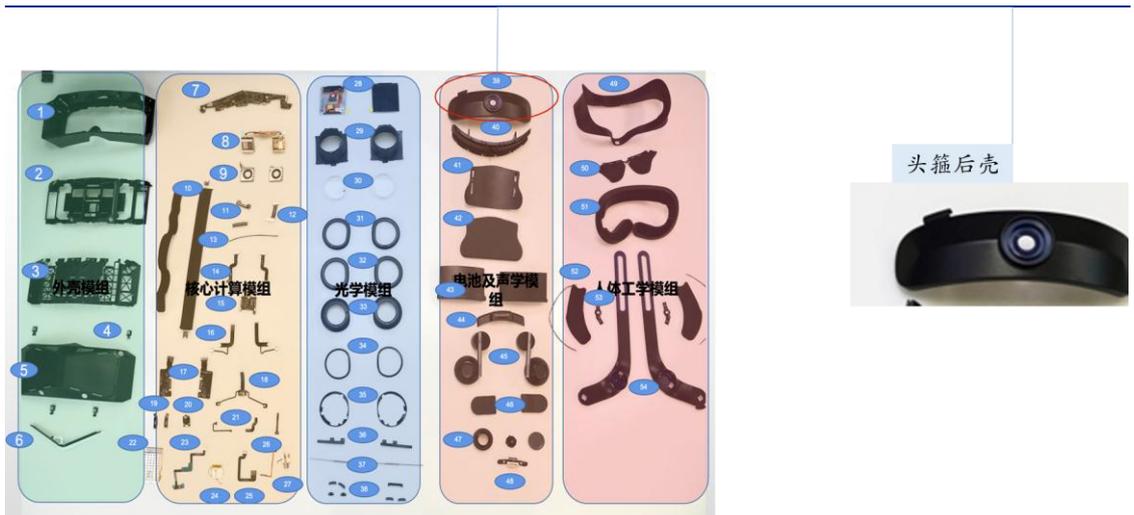
资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

### 5.5. 电池及声学模组——③⑨-④⑧

Pimax Crystal 的电池及声学模组由头箍后壳、头箍前壳、后脑支架、后脑海绵、电池仓后盖 & 大电池、电池仓上盖、DMAS 耳机、金属挂耳、旋钮组件、电池小板构成。

③⑨头箍后壳：与前壳一起构成头箍。

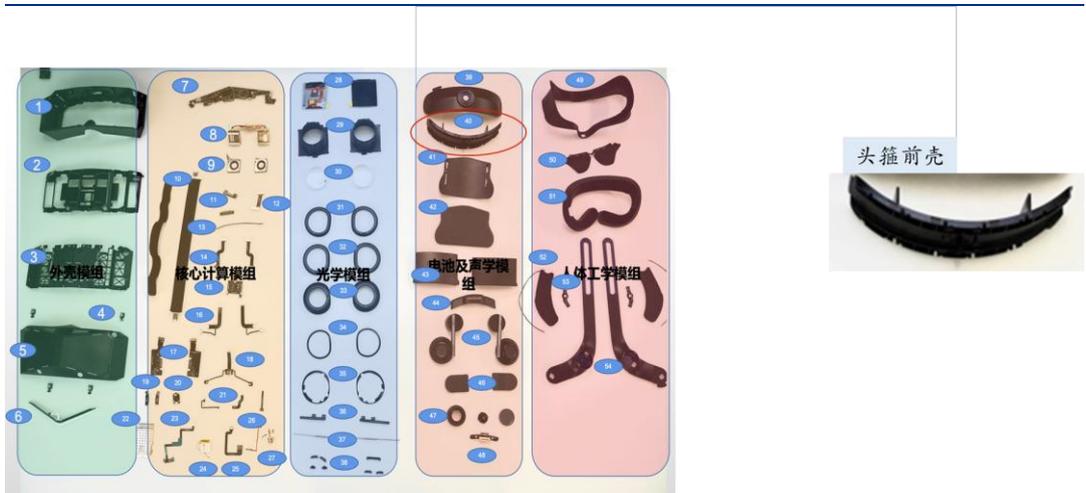
图 73：电池及声学模组③⑨——头箍后壳



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

④0 头箍前壳：与后壳一起构成头箍。

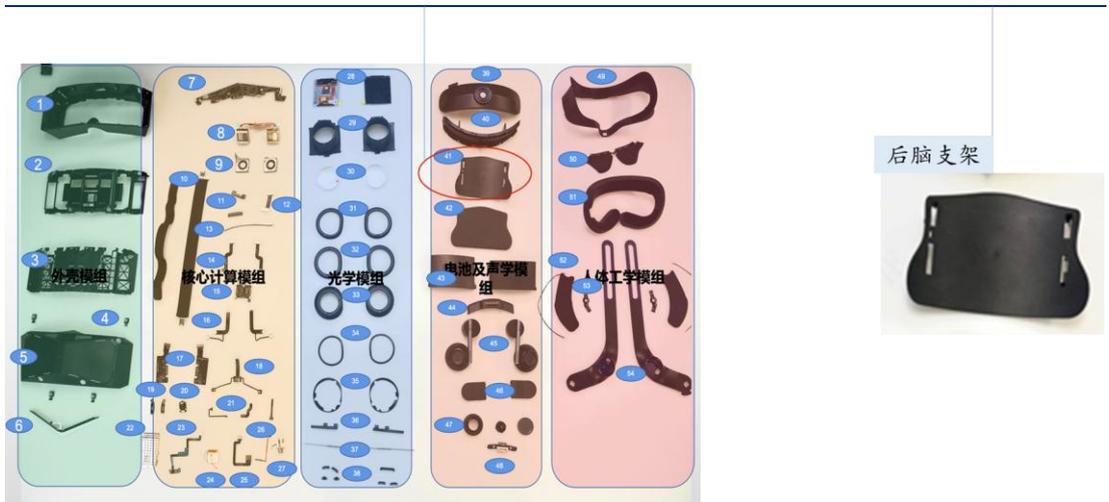
图 74：电池及声学模组④0——头箍前壳



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

④1 后脑支架：与前后壳共同构成。

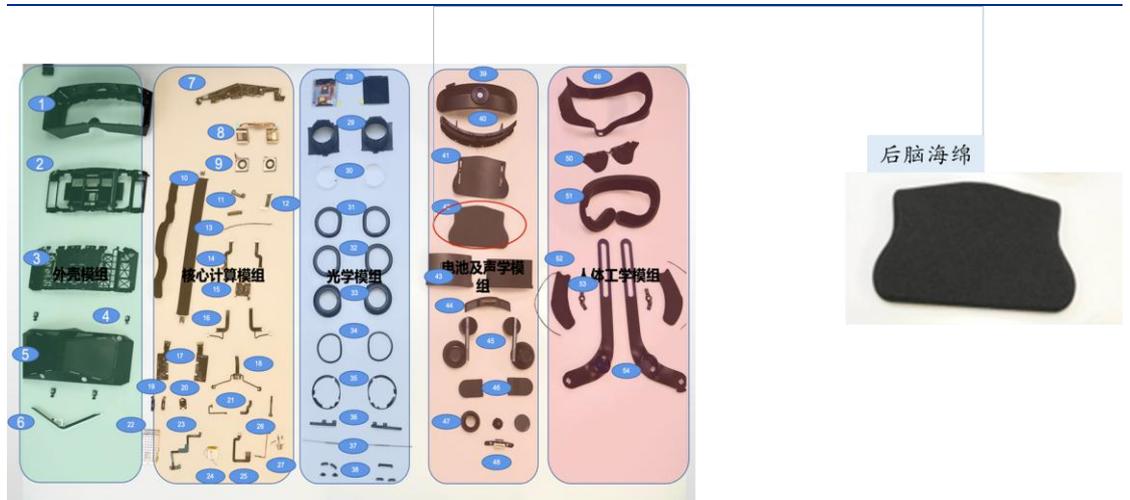
图 75：电池及声学模组④1——后脑支架



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

④② 后脑海绵：增强佩戴舒适度。

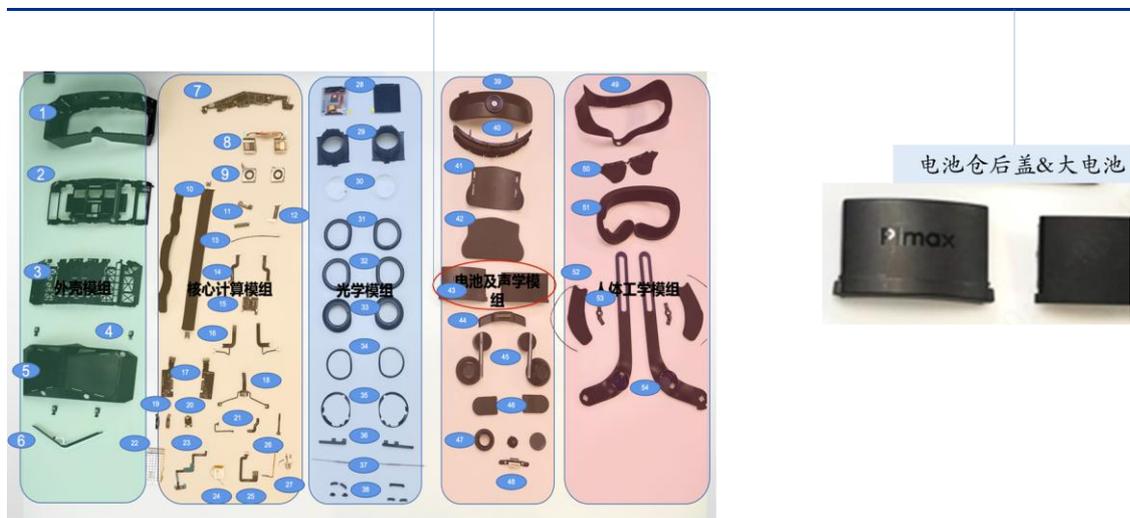
图 76： 电池及声学模组④②——后脑海绵



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

④③ 电池仓后盖&大电池：电池容量 6000mah，是其他设备的一倍。同时后置的设计更利于重量分布，并且首创可更换电池设计，解决了 VR 设备续航的痛点问题。

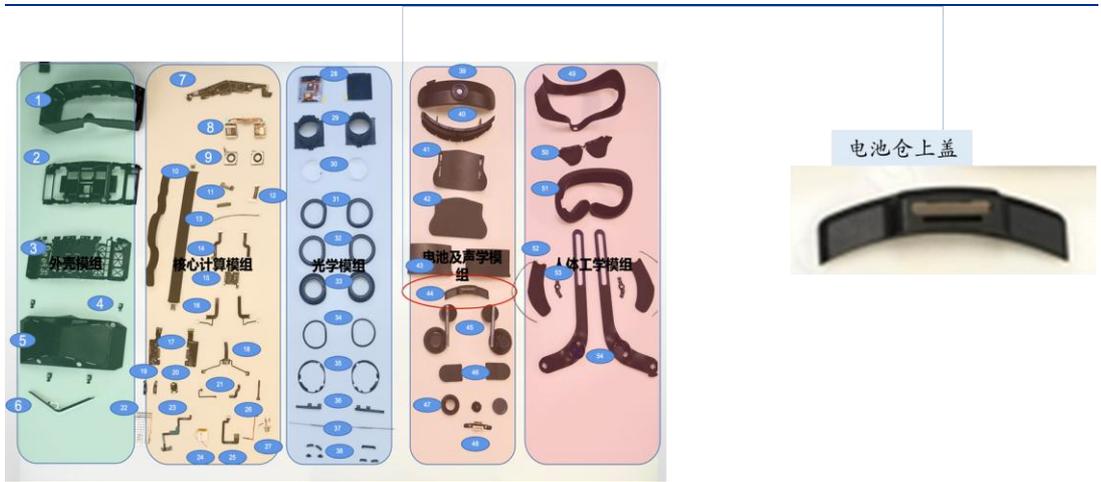
图 77： 电池及声学模组④③——电池仓后盖&大电池



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

④④ 电池仓上盖：保护电池。

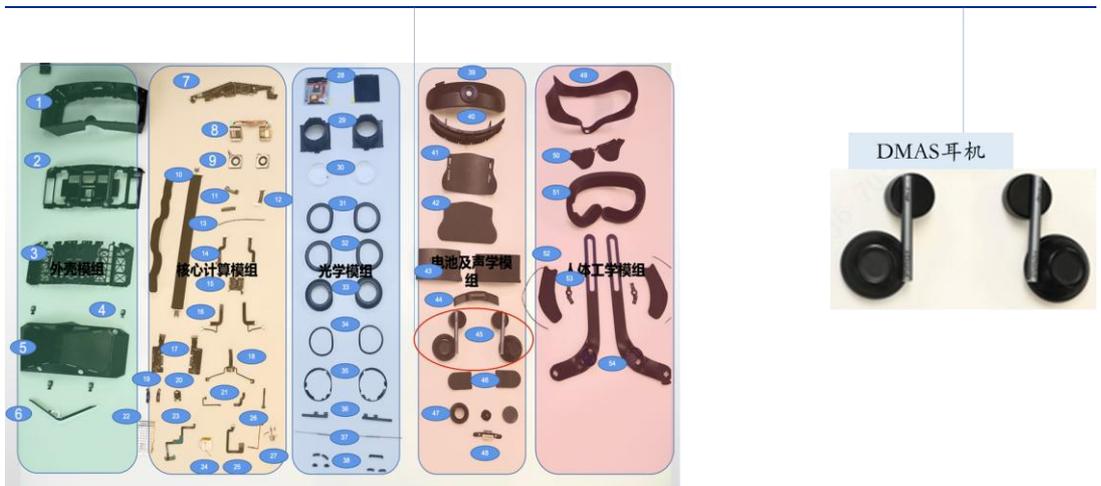
图 78： 电池及声学模组④④——电池仓上盖



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

④⑤ DMAS 耳机：目前主流 VR 头显一般都是扬声器；或者插外置耳机。

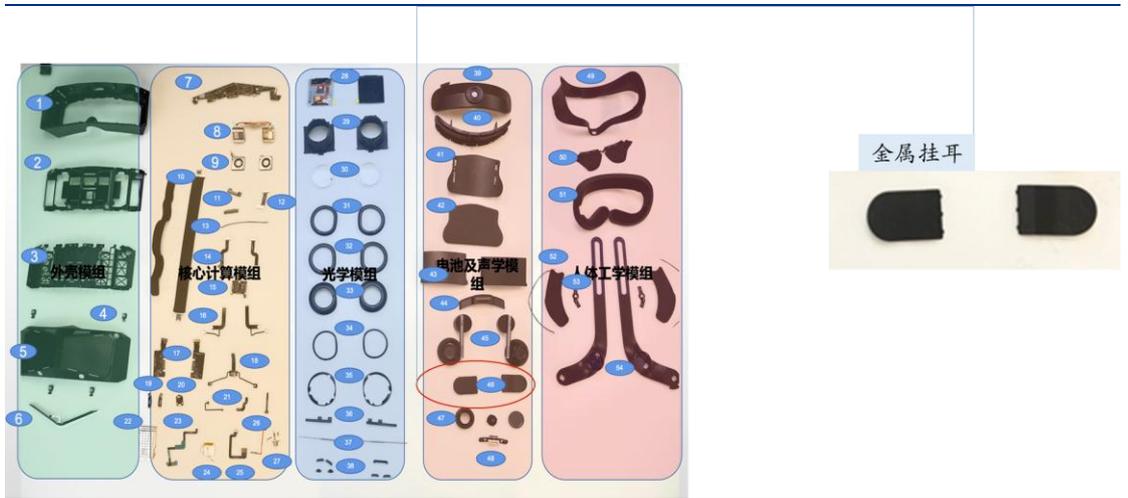
图 79： 电池及声学模组④⑤——DMAS 耳机



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

④6 金属挂耳：适配耳机。

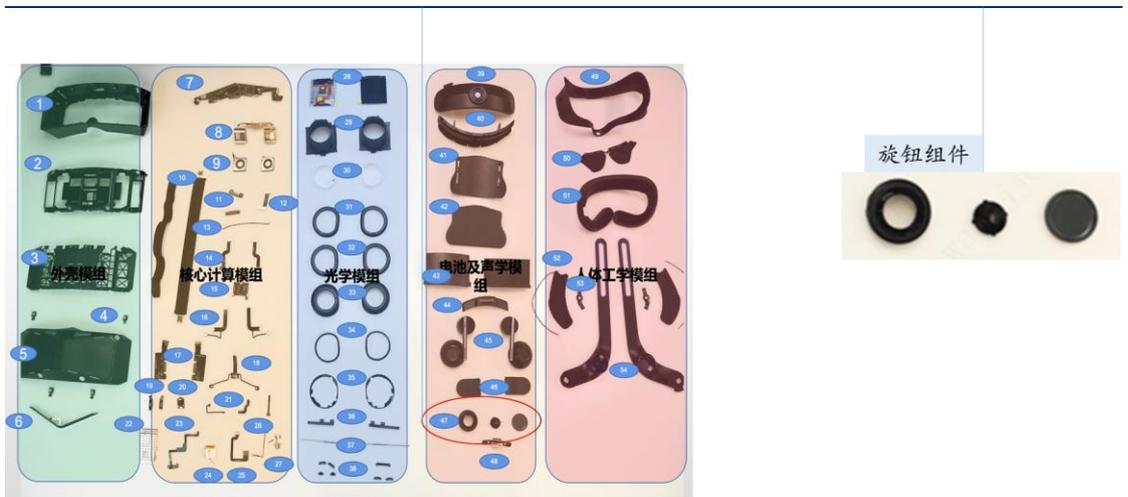
图 80：电池及声学模组④6——金属挂耳



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

④7 旋钮组件：辅助调节声音。

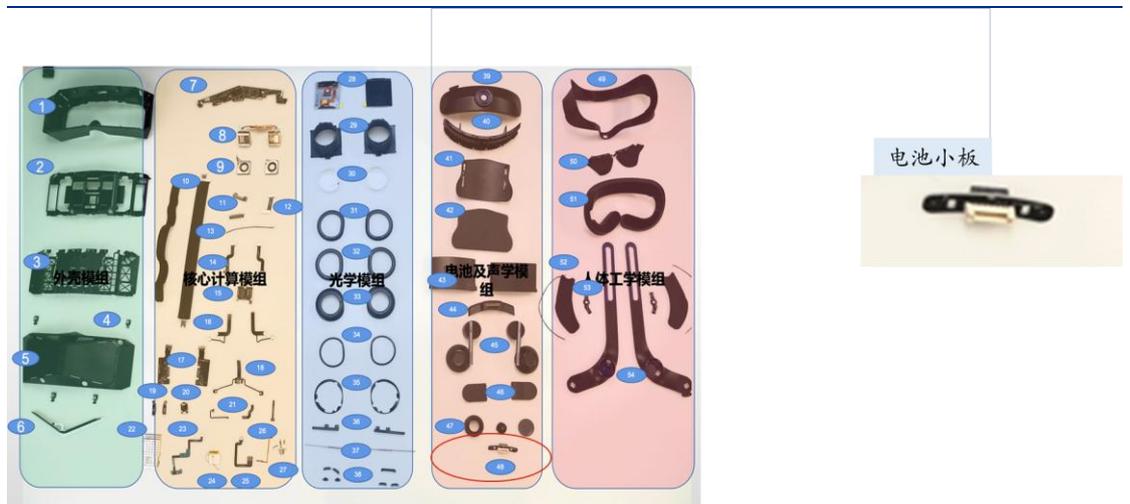
图 81：电池及声学模组④7——旋钮组件



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

④8 电池小板：连接电源。

图 82： 电池及声学模组④8——电池小板



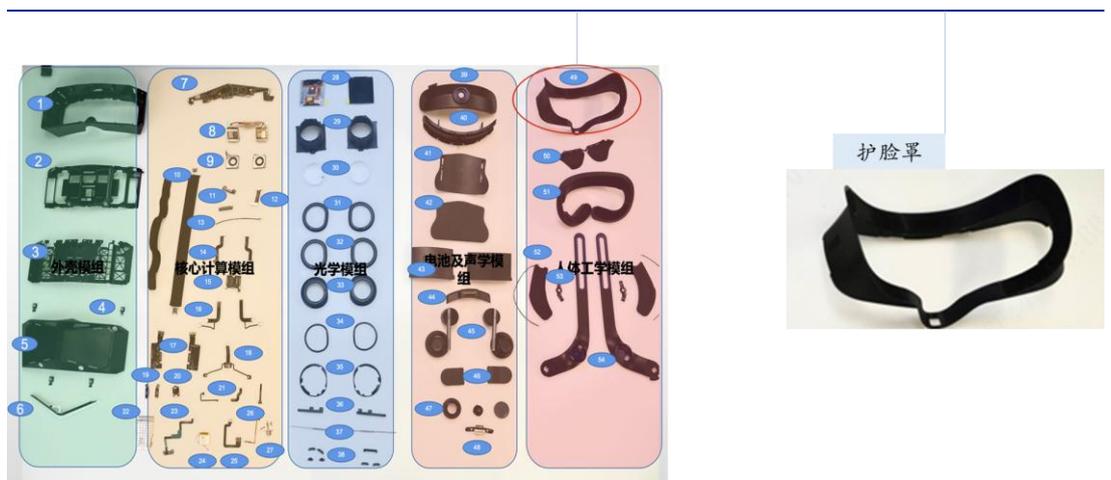
资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

## 5.6. 人体工学模组——④9-⑤4

Pimax Crystal 的人体工学模组由护脸罩、鼻贴、护脸罩海绵、左右齿条模组构成。

④9 护脸罩：磁吸式可更换面罩。

图 83： 人体工学模组④9——护脸罩



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

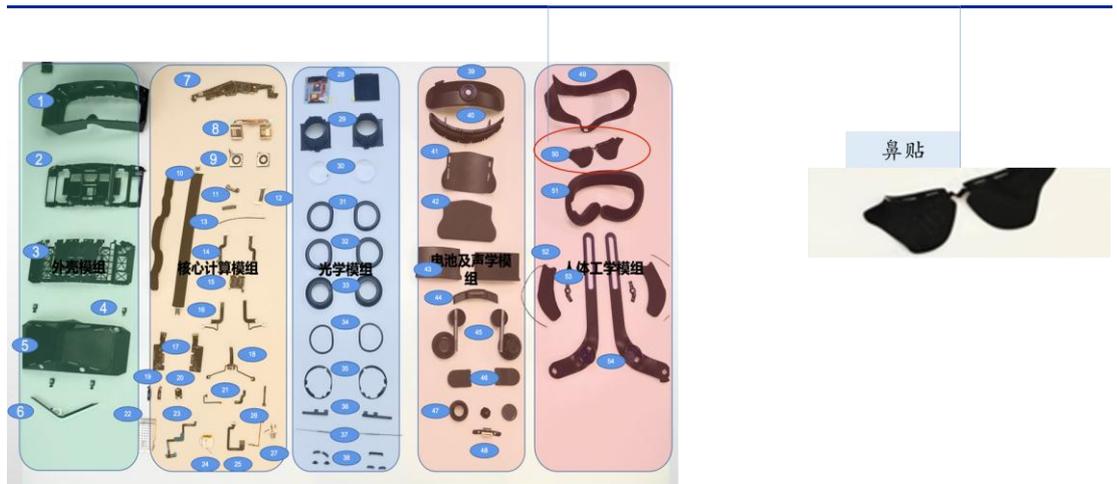
图 84：磁吸式面罩细节图



资料来源：Pimax Crystal 产品发布会

⑤ 鼻贴：增加佩戴舒适度。

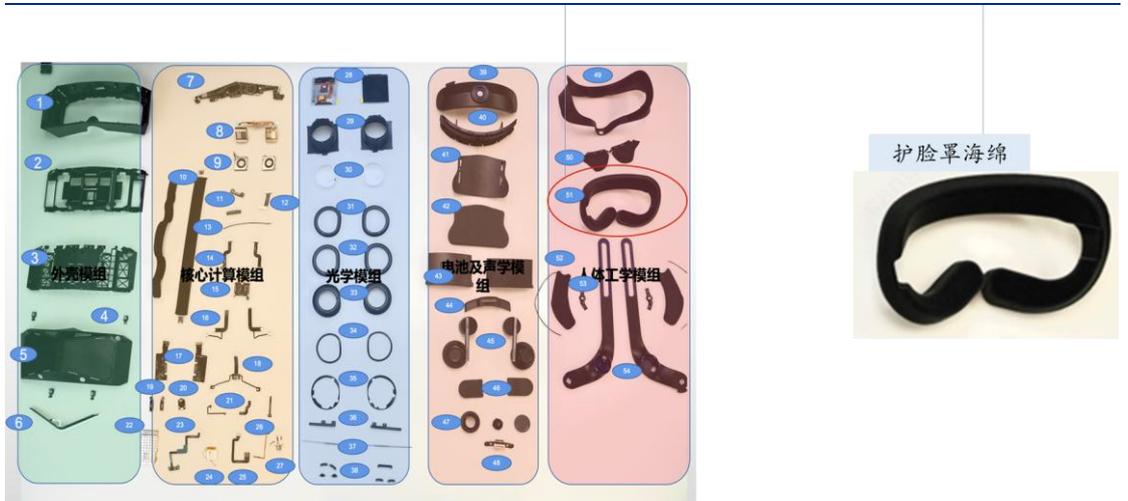
图 85：人体工学模组⑤——鼻贴



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

⑤1 护脸罩海绵：增加佩戴舒适度。

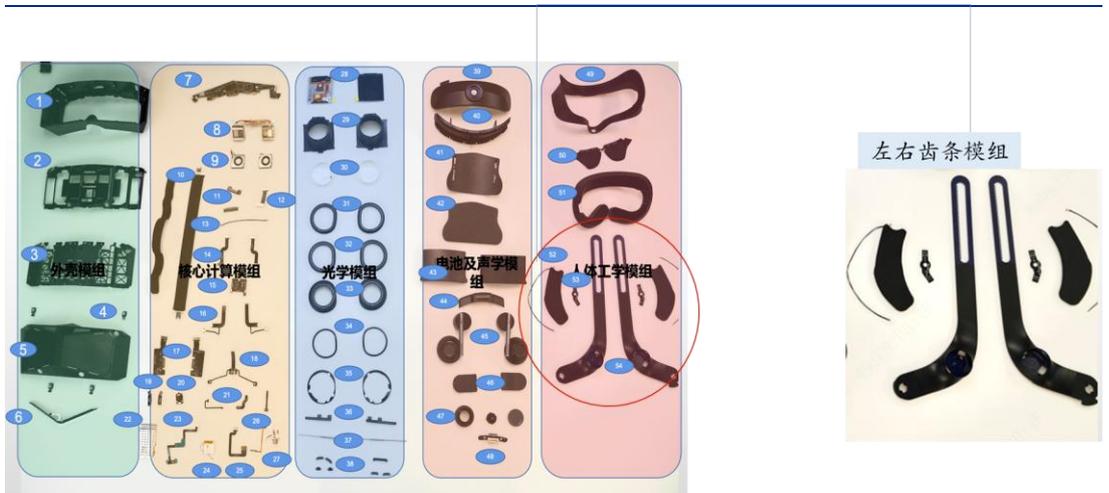
图 86：人体工学模组 ⑤1——护脸罩海绵



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

⑤2 ~ ⑤4 左右齿条模组：相当于头显的支架，调整头围的大小。

图 87：人体工学模组 ⑤2~⑤4——左右齿条模组



资料来源：Pimax Crystal 产品实拆，安信证券研究中心

## 5.7. 成本&供应商拆解

Pimax Crystal 总成本约为 618.5 美元，按照各模组拆分成本，其中，外壳模组占比 10.75%，核心计算模组占比 27.16%，光学与显示模组占比 43.65%，电池及声学模组占比 5.82%，包装占比 2.43%、制造占比 6.47%。显然，光学与显示模组成本占比最高，同时也是 Crystal 最重要的一块模组。

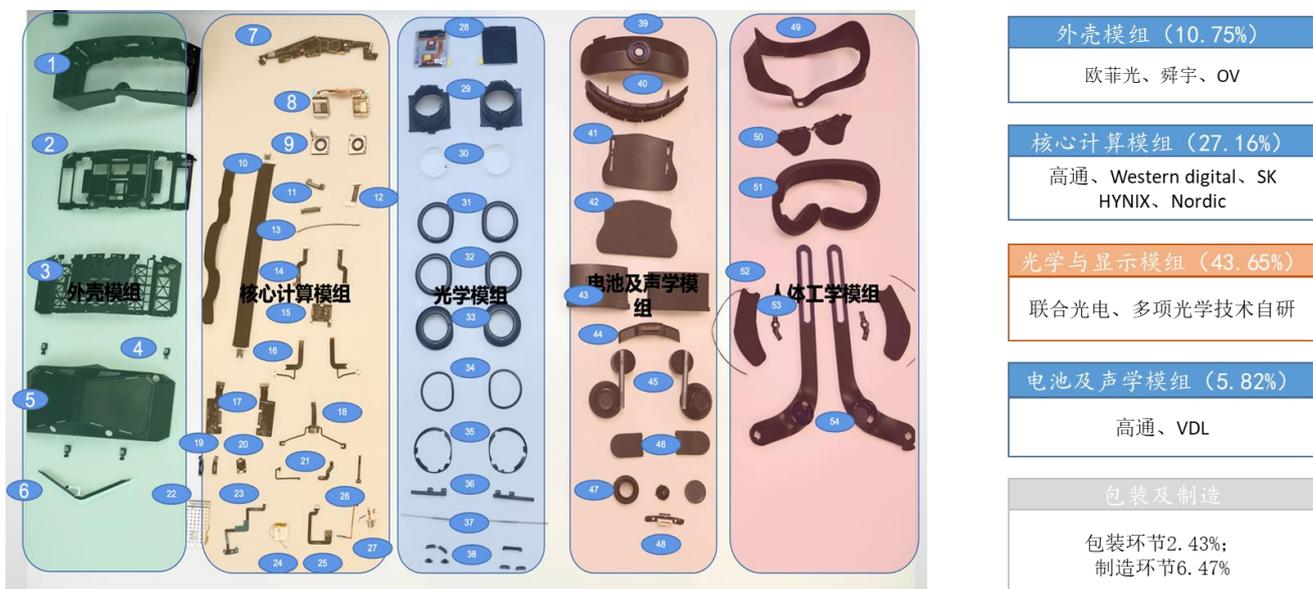
表 7: Pimax Crystal 成本拆分&供应商溯源

组件	供应商	规格/型号	价格区间	占比
操作系统 OS		谷歌	Android 12	—
处理器	CPU	高通	SXR-2130P(QC)	\$80.00 12.93%
	GPU	高通	Qualcomm® Adreno™ 650	
光学环节	35PPD 玻璃透镜	联合光电	定制	\$10.00 1.62%
	42PPD 玻璃透镜	联合光电	定制	\$20.00 3.23%
屏幕	QLED+Mini-LED	未知	3.2inch X 12	\$240.00 38.80%
摄像头和传感器	摄像头芯片	OV	OV7251	\$1.50 0.24%
	摄像头模组	欧菲光/舜宇	F00V08AM-200-OJG	\$6.00 0.97%
	Eye-Tracking 摄像头模组	OV	OV6211	\$30.00 4.85%
	电源管理	高通	PM8009(QC)	\$1.00 0.16%
存储	ROM	Western digital	SDINFDK4-256G(Western Digital)	\$20.00 3.23%
	DDR	SK HYNIX	H58GG6MK6GX037(SK HYNIX )	\$28.00 4.53%
散热	风扇	台达	ND35B00	\$4.50 0.73%
无线	WIFI	高通	WCN-6851(QC)	\$8.00 1.29%
	BT 芯片	Nordic	nRF52832	\$2.50 0.40%
声学	CODEC 芯片	高通	WCD9385	\$1.00 0.16%
	喇叭			\$20.00 3.23%
电源管理	芯片	高通	QC PM8150B/L	\$2.00 0.32%
	电池 6000mAh	VDL	VDL 104052-2P	\$13.00 2.10%
架构框			\$8.00 1.29%	
外壳件			\$20.00 3.23%	
60G 接收 FPC			\$25.00 4.04%	
头箍	头箍件		\$8.00 1.29%	
	喇叭组件		\$15.00 2.43%	
包装			\$15.00 2.43%	
制造及其他			\$40.00 6.47%	
总计成本			\$618.50 100.00%	

资料来源: Pimax Crystal 产品实拆, 安信证券研究中心

注: 供应商及成本价格信息由小派公司提供

图 88: Pimax Crystal 各模组成本占比&供应商情况



资料来源: Pimax Crystal 产品实拆, 安信证券研究中心

## 5.8. 主流 VR 设备设计对比

从品牌定位来看，Pico 与 Oculus 同为兼顾性能与价格的品牌，Pico NEO 3 与 Oculus Quest2 在硬件参数和定价上几乎无差别，区别在于前者舒适度更高、后者定位水平更高。Pimax 的品牌定位则较为高端，追求高参数、高性能，在宽视场角、高分辨率两大维度在消费级 VR 设备中遥遥领先。

从产品设计来看，头戴显示器+手柄的产品形态差异不大，Quest2 一定程度上确立了产品范式——头戴显示器+双手柄。

表 8: Pico Neo3、Quest 2、Pimax Crystal 产品设计对比

产品名称	Pico Neo 3	Quest 2	Pimax Crystal QLED	
整体外观	整体构成	头戴显示器+左右手柄	头戴显示器+左右手柄 (PC VR 和一体机双模式头显)	
	面罩	1) Neo3 的面罩设计更宽大，与 Quest2 相比上端更凹口更宽、更浅； 2) Neo3 深度 7.5cm, 长度 17.7cm, 面罩两侧为镜腿预留空间	面罩设计比 Neo3、Quest2 都更加宽大，前额部分受力面积更大，优化受力部位，减轻压脸问题。	
	电池	Neo3 将电池移出主机，通过连接线置于脑后位置。因此虽然整体重量与 Quest2 接近，但正面主机只有 440g (官方 395g)，后部 220g 电池容量 5300mAh	电池容量 3640mAh	头箍后方配置 6000mAh 超大电池容量，支持热插拔，保障超长“续航”时间的同时优化头盔配重平衡。
	手柄	由面板上的摇杆、两个功能按键，侧按键和正面板机组成；环绕手柄换装部分外侧，使用时可发出难以观测的弱光，暂时是一种通用的识别方案	由面板上的摇杆、两个功能按键，侧按键和正面板机组成；环绕手柄换装部分外侧，使用时可发出难以观测的弱光，暂时是一种通用的识别方案	由面板上的摇杆、两个功能按键，侧拾取键和正面板机组成；环绕手柄换装部分外侧，使用时可发出难以观测的弱光，暂时是一种通用的识别方案
	成像方案 (透镜)	菲涅尔	菲涅尔	纳米涂层非球面镜片
光学结构	显示屏幕	LCD	LCD	
	瞳距调节	3 档齿轮啮合的手动调节，瞳距分别为 58mm、63.5mm、69mm	3 档齿轮啮合的手动调节，瞳距分别为 58mm、63mm、68mm	过 Auto-IPD 实现瞳距自动调节
	近视适配	可戴镜佩戴	可购买磁吸镜片辅助使用	支持 0-700 度屈光度调节
其他核心零部件	摄像头	4 个追踪黑白摄像头	4 个追踪黑白摄像头	4 个追踪黑白摄像头 (MR 面罩下将额外配备 2 个摄像头实现彩色 see-through 效果)
	主控芯片	高通骁龙 XR2	高通骁龙 XR2	高通 XR2 和 Pimax 定制的 PC VR 引擎双处理器芯片
	声音设备	扬声器分布在头显两侧	扬声器分布在头显两侧，支持外设耳机	高保真的豪华扬声器

资料来源: Pimax、Pico、Meta 官网, 安信证券研究中心

## 6. 配套硬件的算法&内容生态&销售策略

### 6.1. 算法

小派目前掌握的自研核心技术覆盖领域广泛，尤其在显示、光学、定位与优化算法四大领域，已经形成明显的领先优势。小派在 2021 年 10 月的 Pimax Frontier 2021 全球发布会发布的新品 Pimax Reality 12K QLED，分辨率可达到双眼 12K，刷新率最高可达 200Hz，使用 Mini LED 背光，结合 QLED 量子点技术。独创的仿生透镜技术让水平视场角可达 200 度，垂直视场角可达 135 度，双眼视觉重合区域达 118 度，比人眼小 2 度。12K 还将搭载 Inside-out 6DOF SLAM 定位、空间音响，支持 PC VR 与一体机的全能机形态，由高通骁龙 XR2 芯片驱动，可对表情、眼神、情绪、动作等进行捕捉和追踪。

小派的光学模块多是自己设计的，举例来看小派已在算法方面建立的优势。

**第一部分算法是，DSC 压缩技术。**小派目前在做一个相关的显示流压缩技术、无损压缩技术，就是有压缩但还原后几乎看不到任何色彩的损失。

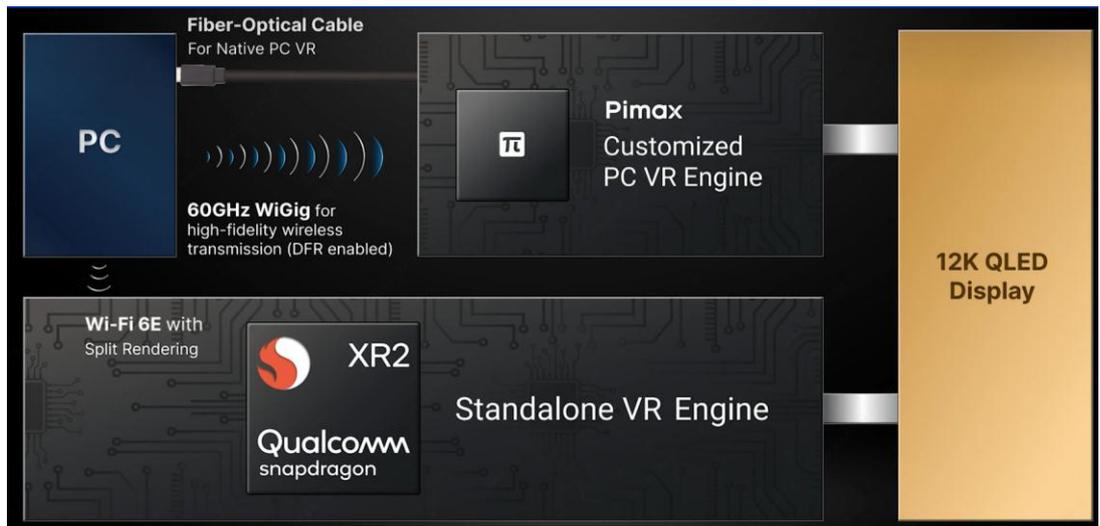
**第二部分算法是，动态注视点技术。**人的视野范围中，只有眼球正面差不多 30 度范围内的区域看得非常清楚，其他区域只要感知物体是否存在就可以。因此得益于仿生学的研究，小派将有限算力集中在清晰区域，对这一部分进行高清晰的渲染，其他部分逐级降级，从而节省算力，对芯片的价格和电池的待机时长都有影响。未来会将这项技术加入到产品中。

**第三部分算法是，MTP 的优化。**运动延时是 VR 产品必须解决的问题。小派对此有 Brainwarp 技术，行业内还有 ATW 等技术。

### 6.2. 内容生态

**联合技术龙头，构建软硬协同的 VR 内容生态。**小派一直注重硬件性能与软件生态的协同构建，VR 内容生态的搭建离不开上游硬件供应链的配合，为此，据 Pimax Frontier 发布会，小派已与业内顶尖技术和硬件厂商高通 (Qualcomm) / 英伟达 (Nvidia) 达成合作伙伴关系。其中，高通提供了业内顶尖的移动处理平台 XR2，相比第一代，XR2 的 CPU/GPU 性能提升 2 倍、视频带宽提升 4 倍、分辨率提升 6 倍、AI 性能提升 11 倍，为 Pimax Reality 12K QLED 的超高视觉表现打下良好基础，并让其在摆脱线缆之后还能拥有极高的显示效果。英伟达作为 PC 显示芯片的领导者，已与小派合作多年，并在 PCVR 层面合作无间。他们将共同助力小派 Omni All-in-One 全能机在视场角，分辨率与刷新率上获得更优异均衡的性能。Reality 不是 PCVR 也不是一体机，称之为 Omni All-In-One。工作核心在于研发一种新的硬件架构——Gemini，这是业内前所未有的创新硬件架构，内置小派的定制 PCVR 处理引擎和一体式 VR 引擎双引擎。其中，PCVR 引擎可以处理原生 PCVR 信号，从显卡直接接收数据；一体式引擎是由最新最先进的高通 XR 芯片驱动的，使得小派 12K QLED 在独立运行时能够驱动更多的像素，有着更好的 AI 处理性能和无线信号表现。高性能的硬件能够承载更优质的内容，当硬件具备多种交互方式，比如视觉、触觉、听觉等，会更大程度激发内容的潜力。小派 VR 头显通过扩展用户的交互方式来刺激更多元的内容生态，也让用户内容体验变得更丰富、更多元。

图 89: Omni All-In-One



资料来源: Pimax Frontier

在生态内容构建上，小派采取的是外部引进与深度合作开发双管齐下的策略。小派一方面兼容其他厂商的内容，内容厂商可以基于小派新的交互和性能，修改原有内容来提升用户体验。据小派官方公众号，目前已有多家知名开发商就建设新的 VR 内容分发平台 Pimax Store 与小派达成协议，为应用能够上架 Pimax Store 进行针对性优化。其中包括包括热门应用 Steam2021 年 VR 游戏黄金榜中的 SURVIV3，被称作 VR 版“Minecraft”的 cyubeVR，最适合 VR 初学者的 FPS 游戏 ARK-ADE，以及 BoomBox，HereSphere VR Video Player, Dragon Fist: VR Kung Fu, OVR Toolkit, Vengeful Rites 等。

Pimax Store 建成后，将为目前的 PC-VR 系列头显和下一代高性能 VR 一体机服务。小派头显极致卓越的硬件性能可以最大程度上还原画质，其清晰度、刷新率和视场角的优势也为用户带来更强的沉浸感和拟真度。因此，从提高用户体验的追求出发，Pimax Store 会特别注重高品质的内容合作；而那些独特的、硬核的、甚至小众的 VR 内容，小派也愿意在保证品质的前提下作出一定的扶持和帮助，希望可以让其发光或者重新闪光。

另一方面是基于小派的产品定制相关内容，进行深度合作。比如小派与业内王牌拟真赛车游戏厂商 iRacing 建立了深度的内容合作，进一步巩固小派产品在拟真游戏应用上的绝对首选地位。iRacing 作为一项集中式赛车和竞赛服务而开发，在世界各地的虚拟赛道上，组织和主持赛车；拥有毫米级精度、高保真、极富沉浸感，影响体验的关键因素包括高帧率（无延时）、高保真（清晰）、分辨率（有细节）。此外，视野也很重要，玩家可以观察周遭环境，提升沉浸感。因此，使用小派 VR 是享受 iRacing 最身临其境的方式之一。

在 2021 全球发布会上，小派宣布即将成立的 Pimax Studio 将与富有创造力的开发者合作，推动 VR 3.0 的愿景成为现实。并且，小派还推出了鼓励开发者的一系列支持政策，包括了资金、技术、本地化、市场推广、商店界面运营等方面，该计划称之为先锋计划。

图 90：小派与 iRacing 达成深度内容合作



资料来源：Pimax Frontier

小派的内容生态预计将具备两大优势：第一，同时拥有 PC VR 内容生态和一体机内容生态。小派将成为除 Meta 商店外，第二家支持 cross-buy 的 VR 应用商店，即用户购买 PC VR/一体机应用的任一版本，将免费获得另一个版本。第二，发挥小派头显的高分辨率和高色彩还原度的优势，商店重点引入 3A 游戏、人文或自然风景、博物馆、VR 演唱会等场景和色彩丰富的 VR 应用，消费者足不出户，就能够体验到最具沉浸感和真实性的数字生活。截至目前，小派商店规划了 40 款 PC VR 应用，20 款一体机 VR 应用的首发阵容，并保持每月上架 5-7 款 VR 新应用。目前小派内容商店正在内测中，PC VR 商店已经上线 20 余款，一体机 VR 应用正在积极适配中。

在标准化接口方面，小派的 PiTool SDK 与硬件接口可接入其他 VR 内容与配件。新发布的 Pimax Reality 系列支持 PC VR 与一体机两种模式，开放了软硬件接口 (HDK & SDK) 来适配不同应用场景的使用需求，用户可使用一个账号上同时接入至少 Steam 和小派两个生态。小派的通用接口包括 U3D、Ureal、手势追踪、头手 6DOF 等，个性化的接口还包括身体追踪、面部识别、脑电波等。除了游戏和娱乐，开发者希望可以基于小派的个性化功能界面开发更多包括医疗、教育、通信、设计、电影、现场活动等。

图 91：小派的 SDK 接口



资料来源：Pimax Frontier

在 2B 行业应用方面，据小派官方微信信息，小派为 500 余家政府与企事业单位提供过服务，涉及教育、医疗、文旅、公共安全、数字工厂等多个领域。小派目前已有的 toB 端客户案例包括德国大众奥迪采用 ARCWare+8K 来研发车模，日本世嘉乐园将小派 5K XR 应用于大空间多人对战游戏，上海迪士尼将小派 4K 头显应用于太空舱体验游戏，德国科隆 TimeRide 的旅游体验、瑞典的 Birdly 的模拟飞鸟体验等。

图 92：小派 2B 应用案例之一



设计仿真案例 德国大众奥迪采用ARCWare+8K 用于研发车模



LBE案例 美国奥兰多 NOMADIC



乐园案例 上海迪士尼VR太空舱



机顶盒案例 华为Cloud VR

资料来源：Pimax 公众号

图 93：小派 2B 应用案例之二



资料来源：Pimax 公众号

### 6.3. 销售策略

对于未来的竞争格局，小派除了在中高端市场的布局，未来也会依托原创性的研发能力和中高端产品的造血能力，策略性地选择在某些市场和某些时点，通过差异化竞争和可持续的价格战进入主流市场。

从行业角度，VR 的 2B 与 2C 市场存在不同特点，B 端稳定性较好，C 端成长性较好。

#### （一）B 端——周期性长，稳定性好

B 端应用存在防灾教育、文化旅游、室内乐园等方案，专做 B 端的团队来分别对接头显厂家和内容，制作成方案。

- ① 防灾教育。比如消防、避震、防性侵，这类的特点是偶发但致命，不太适合日常教育。
- ② 文化旅游。比如，游览杭州西湖或者苏州拙政园，可看到美景，却不知古人身处场景如何生活。VR 可以场景再造，拙政园的 VR 项目一直广受欢迎。
- ③ 室内乐园。迪斯尼受刮风、下雨、严寒、酷暑的影响，但 VR 乐园不会。在 2-3 万平米的综合体内开 2000 平米的 VR 乐园，基于位置的定位，会很受欢迎。

2B 特点是周期较长，稳定性好。投资早期可能需要 1 年至 2 年的准备，但是发展起来后比较稳定。弊端是 2B 成长速度不如 2C，因为 B 端订单周期都很长，但只要客户养成 VR 产品使用和消费的习惯，会周期性复购。

#### （二）C 端——成长性好，能自定义性能

C 端特点是成长性好。VR 行业在全球的 C 端产品成长性非常好，据 IDC 数据，2020 年全球消费级 VR 出货量仅 300 万台，2021 年超过 1000 万台，2022 年预计在 2000 万台左右。

C 端另一优点是可以自定义性能。2B 对技术的依赖往往被客户驯化，很难推动技术积累，无法决定能否做极致的角分辨率（PPD）、视场角（FOV）。C 端市场是基于全球的开放市场竞争，参数和性价比很重要。因此，致力于 C 端市场的硬件公司，会有更好的技术积累和用

户积累。

从公司角度，小派做 VR 销售的策略是从高端 2C 的 PC VR 开始切入，主要基于市场、硬件、内容生态三重逻辑去做创业初期的探索。

### （一）基于市场：尊重海内外消费电子市场差异

海外和国内市场的差异由海内外消费类电子市场的成熟度决定。消费电子市场最早期的研发和市场都来自海外。PC 供应链来自英特尔和微软，手机也来自海外，先是美国，然后欧洲，智能手机也先是美国的安卓和高通，都是先在海外培育用户，然后转入国内的过程。

消费电子市场的不同是海盗文化和农耕文化的根本区别。虽然中国电子消费市场慢慢成熟，但最多叫早期使用者，称不上极客，这是文化上的根本区别。比如，马斯克说要做 SpaceX 火箭的时候，愿意拿出 100 美金支持他的就叫极客，愿意尝试坐他的飞船去火星或者月球，但开始的时候不支持，就不是极客。

中国是一个渐进的过程，北上广深一线城市之后，二线城市会跟上，但三四线城市挺不一样。与各国消费电子市场不同，美国市场大一统，欧洲市场更分化，中国市场呈现出阶梯状，主力是三四线城市。北上广深市场最多只占中国的百分之十几，OPPO 和 VIVO 有这么好的市场份额，是因为三四线市场下沉得好。

基于 PC 的 VR 率先在海外成功，是因为几乎每个西方成年男人的家里都有一台台式电脑。而中国游戏市场主要是手游，主机游戏市场比重不大。也许北上广深的 80、90 后家里有台式电脑，玩端游，但是三四线城市年轻人玩的第一款游戏不是红白机、PC 游戏，而是手游。三四线城市年轻人没有主机游戏情结，更乐意接受手机或者基于移动的游戏平台。小派现在回到中国耕耘，是因为一体机适合中国市场。

依据市场渗透模型，行业发展的早期主要由创新者（innovator）介入，之后是新产品的早鸟用户（early adopter），再是早期大多数用户（early majority）。VR 从 2017 年开始流行，现在依然处于创新者阶段，海外叫极客。极客无条件地支持优秀的硬件产品，不会追捧平庸的产品，因此公司做高端产品。

### （二）基于硬件：VR 对硬件性能的要求区别于手机、PC

VR 性能非常依赖硬件。VR 之所以发展慢，就是因为对硬件要求是几何式增长的。PC 只要求能计算、能显示，最早的计算力 286、386、486 都能用，图形界面不行就敲键盘。手机应用刷帧，刷新率 30 帧以内就可以。而 VR 不一样，所有内容都基于实时渲染，算力要求非常高，关键指标，运动延迟（MTP）要在 20 毫秒以内，越低越好。为了提升体验，消除眩晕感，要提升刷新率。如果刷新率是 90Hz，倒数 11.1 毫秒，但直到 120Hz 才能消除眩晕。正因 VR 的内容显示基于实时渲染技术，当时所有移动计算平台都做不到，只有 PC 平台可以，所以小派决定从 PC VR 开始做。

### （三）基于内容生态：借力 Steam 内容，靠近 C 端用户

小派没有从一体机开始做是因为一体机没有配套的内容生态。一体机最早的生态内容来自于 HTC 和 Valve 联合成立的公司 HTC Vive，Valve 提供专利和技术框架，HTC 制造硬件。小派从 PC VR 开始做起，并和 Steam 建立了良好的合作关系，借力 Steam 的内容生态填充自身内容的短缺与空白。

在 C 端，小派早期积极地与用户协作，利用社群的力量。2017 年，小派在 Kickstarter 上众

筹获得了第一名并保持吉尼斯世界纪录至今（据小派官微）。小派的产品自带网红属性，往往是 KOL 评测的对象，因此小派市场投入很小，但是媒体声量很大。目前，小派已构建起一张由硬件开发商、软件开发者 KOL，游戏发烧友、专业玩家共同构成的海外影响力价值网。

小派在 2021 年 10 月的全球发布会 Pimax Frontier 上展示的 Pimax Reality 12K QLED，2022 年 6 月发布的 Pimax Crystal QLED 均是全能机，有 PC VR、一体机双模式，相关性能参数和功能创新都代表了行业天花板水平，标志着小派即将进入一体机市场。基于全球高端 PC VR 市场的洗礼，小派已形成技术和品牌方面的双重优势。据 Pimax Frontier，2022 年小派将会进军一体机市场，进军中端消费市场，并在国内市场发力。

## 7. 由小派 Pimax 预判 VR 未来发展趋势

### 7.1. 软硬一体将是大势所趋

VR/AR 时代，与过去的 PC 或者移动互联网时代的一个最大的区别就是走向软硬一体的趋势会更加明显。我们会发现，纯粹做操作系统、纯粹做软件、纯粹做硬件都很难发展起来，因为对算力、体验、软件，对融合和微调的要求很高，很难做到用通用的软件去服务所有的硬件。例如手机使用的安卓系统，可以找到几百种终端，各种应用都可以运行，运行速度有区别，但不影响使用。但是如果在 VR/AR 上面，即使有 0.1 秒的延迟，都会严重影响使用感受，VR/AR 则天然没有性能上的容忍度。XR 硬件厂商会发现，即便找到一个公司提供通用的平台，与其之间打磨的频繁度、复杂度和成本将远远超过自己自研配套平台。

未来 VR/AR 公司大概率会是软件、硬件、算法诸多核心部位在一个公司高度集成，类似苹果的闭环生态。大苹果虽然很耀眼，但苹果的闭环生态并不是主流。在过去 30 年、40 年的时间里，开放平台结合标准化的硬件和软件整合为一个平台是主流。由于 XR 硬件与手机、PC 有着本质上的区别，我们推断未来的 VR/AR 时代一定是软硬结合的时代。进一步往软硬一体的方向上演进，下一代计算平台上可能分给内容应用的分成比例会更低，原因在于软硬一体后的生态体系很难剥离，终端厂商（包括操作系统）会更强势，能够掌握主要的市场占有率，强者愈强的格局可能会更加显著。

接下来，我们尝试从硬件技术门槛、算法门槛、内容生态三大维度具体解读为什么软硬一体会是大势所趋。

#### 7.1.1. VR 硬件的研发门槛高于手机行业

相比手机，VR 所涉及到的技术领域更加广泛，包括硬件、软件、显示、光学、传感、传输、感知、计算机视觉、计算机图形学、UI、OS、人机工学、空间音响、认知科学、心理学，甚至包括生理学和医学的很多方面。VR 对技术是对部分领域提出了更高要求，这些要求在手机领域是没有的，或者要求是没有这么高的。

首先看**光学领域**，超大视场角的同时要实现畸变与色差可控、体积与重量可控，这对 VR 光学系统的设计与制造提出了非常高的要求。这在手机行业是不存在的。由于需求不存在，上游厂商也没有类似规格的产品可迁移，因此 VR 整机厂商就需要自己研发。

其次是**显示领域**，VR 需要大视场角、高分辨率、高刷新率的屏幕，未来要达到 16K 才能满足要求，而现有的屏幕也不过是 4K 左右。对手机来说，2K 屏幕已经是天花板，再高根本没有意义。

再看**定位领域**，VR 行业一般用 SLAM(simultaneous localization and mapping) 做 inside-out tracking。SLAM 原本的使用场景是机器人导航、自动驾驶等。对大多数机器人场景来说，超低延迟不是刚需。但对 VR 来说，直接使用普通 SLAM 技术会导致严重眩晕，因为它的 MTP (Motion-to-Photon, 即 VR 头显的端到端延迟) 难以做到 20 毫秒以下。目前某些高端手机也开始使用 SLAM 技术支持一些 AR 功能，但是跟 VR 对 SLAM 的要求远远不在同一水平。VR 里的 SLAM 定位必须做到亚毫米级高精度、毫秒级低延时、超高鲁棒性，也就是不丢、不漂、不卡。这都意味着极高的技术门槛。

再看**操作系统**，3D 化与多任务的特性决定了 XR 时代的操作系统与智能手机时代有根本性的不同。XR 让内容脱离了屏幕，直接以 3D 的形式呈现在真实空间中，因此也带来了如手势、眼动、空间感知等更丰富的空间交互方式。相比智能手机，XR 在 360 度范围内都能够呈现内容，为用户带来了更大的视场角 (FOV)，用户自然会期待能够同时操作多个任务。同时，

为了呈现 3D 化的内容, XR 场景有更多的算力需求, 就需要借助多端的算力进行处理, 手机、云端、PC 甚至车都可能参与到计算当中。这更对操作系统的多端算力分配和协同提出了要求。此外, 智能手机操作系统里的传统的显示调度机制, 完全不能满足 VR 的超低 MTP 延迟的要求。

从以上光学、显示、定位、操作系统等 VR 的关键技术领域看, 我们认为 VR 行业跟手机行业是非常不同的两个行业, VR 的研发门槛是显著高于手机的, 研发过程中需要硬件、软件等多种技术的集成。

### 7.1.2. 算法也是构成 VR 硬件的高门槛之一

与硬件配套的算法同样是高端 VR 的门槛。UVI (视觉沉浸感) 提高的瓶颈在于 GPU 算力一定程度上决定了总像素数, 在总像素数一定的情况下, PPD 和 FOV 成反比, 也就是说必须在 PPD 和 FOV 之间权衡和妥协。要想同时提高视场角和角分辨率, 必须提升像素点总数(比如从 4K 提升至 8K, 甚至 12K)。如何在同样的 GPU 平台上支持更多的总像素数呢? 最重要的是优化算法体系, 再加上必要的硬件支持以提升对有限算力的利用效率。

(一) **抗畸变算法&自动瞳孔间距调整**, 根据物理定律, 拥有超宽 FOV 的几乎同时不可避免会产生畸变效应, 但 Reality 做到了在整个视野内都是 0 畸变效果, 原因在于将内部抗畸变算法现已融入图像处理系统。由于建立了新的眼球追踪系统以及重新设计的镜片周围结构, reality 系列现在可以支持从 57-72mm 的 IPD 范围。

图 94: 抗畸变算法已融入图像处理系统



资料来源: Pimax Frontier

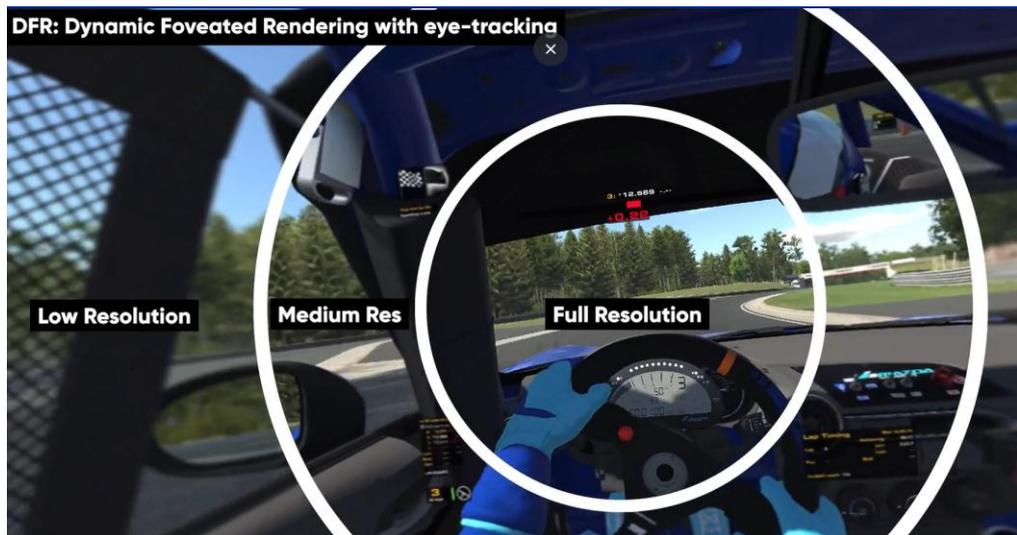
图 95: 支持从 57-72mm 的 IPD 范围



资料来源: Pimax Frontier

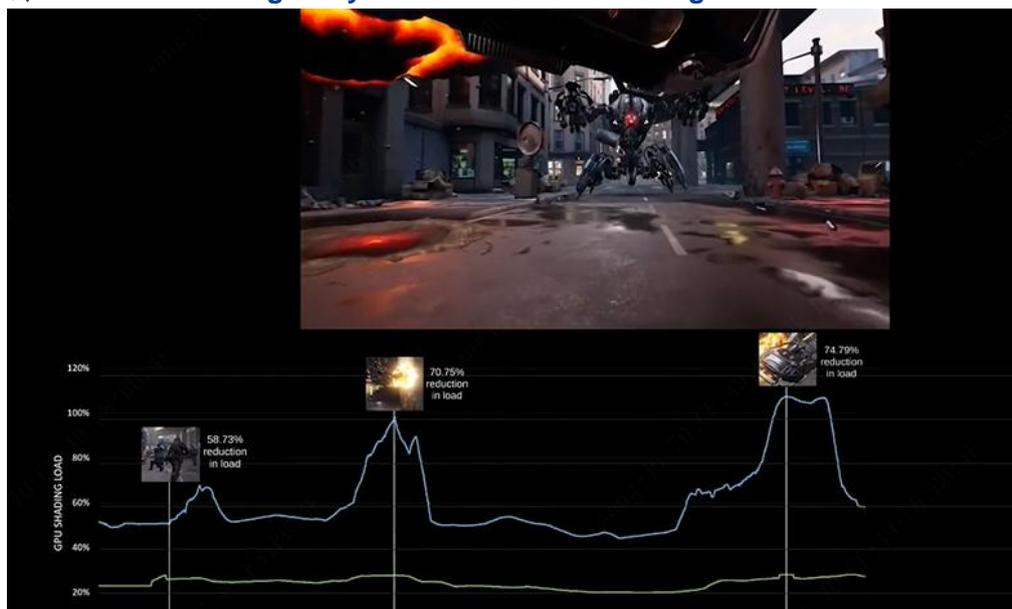
(二) **眼动追踪技术**, 在支持非常高刷新率的同时, 还大幅降低支持 FOV 和分辨率的算力成本。小派能做到这一点, 归功于 Tobii 的全球领先的眼动追踪技术。眼动追踪技术已成为 XR 中的一项基础技术, Tobii 和小派、VR OEM 厂商、高通等生态合作伙伴一起合作, 将注意力转移到元宇宙。Tobii 用于动态注视点的 Spotlight 技术, 通过动态注视点渲染, VR 头显能够轻松运行大量 VR 内容, 有助于提高和保持高帧率, 并减少 GPU 着色负载和电池消耗。

图 96：动态注视点渲染的眼动追踪技术



资料来源：Pimax Frontier

图 97：full rendering vs dynamic foveated rendering



资料来源：Pimax Frontier

### 7.1.3. 内容设计需要与硬件达成良好适配

**从内容开发角度如何看 VR 3.0?** 为迎接 VR 3.0 时代，小派已经推出了硬件的技术标准（视觉沉浸、物理沉浸、认知沉浸），并且相信内容需要从一开始与硬件达成良好适配，诸如满足接近人眼的分辨率与视场角、眼动追踪、肢体追踪等。目前的生态系统已经无法满足下一代头显的需求。

以 VR 游戏开发为例，从开发流程看，VR 游戏开发与传统 3D 游戏开发基本一致。VR 游戏的前提是开发一个 3D 游戏，再在 3D 游戏的基础上进行适合 VR 的改进。目前主流 3D 引擎都支持 VR，也就是说，传统 3D 游戏只要稍作调整，就很容易修改出一款 VR 游戏。理论上，使用主流 3D 游戏引擎已经足以开发出 VR 游戏，但是事实上，国内外市场（特别是国内市场）的优质 VR 游戏及优质 VR 开发团队仍然非常稀缺。因此，我们需要思考，落实到具体开发工作，从传统 3D 游戏修改至 VR 游戏的核心步骤有哪些？

援引知名科技媒体雷锋网对哈视奇科技联合创始人兼制作人潘翔的报道，潘翔认为 VR 游戏相比普通游戏更为注重**基础体验**（注：基础体验与游戏数值、系统设计同属游戏体验的决定因素，国内厂商普遍重视数值与系统设计，却对创造基础体验重视程度不足），而**观察方式、操作方式、硬件瓶颈**是影响 VR 游戏基础体验的三大核心要素。

**（一）观察方式：从 2D 屏幕变为 3D 空间，需要调整 VR 游戏视角方案。**

传统游戏的内容呈现在一个固定大小的屏幕上，玩家通过摄像机观察世界，摄像机决定玩家能看到的内容。而在 VR 环境中玩家是直接用自己的双眼观察世界，玩家的眼镜就是游戏的视角，移动摄像机就等于移动玩家在游戏的位置。

**（二）操作方式：人机交互模式发生改变，玩家操作模式随之改变。**

PC 的人机交互模式是键鼠模式，手游的交互模式是触摸屏模式，而 VR 游戏的交互模式是体感控制器作为输入设备，相应的操作模式也就迭代为眼球追踪、面部追踪及手柄操作。同时，操作方式的改变必然带来 UI 设计的改变。与传统游戏相比，VR 游戏不存在屏幕空间概念，传统游戏按钮式 UI 设计不再适用。

**（三）硬件瓶颈：VR 游戏的沉浸式体验对硬件提出更高要求。**

VR 游戏由于需要沉浸式体验，对画面精度与运行流畅度的要求较传统游戏更高，相应对 VR 硬件的算力、显示、屏幕、传输提出更高要求。当前的主流机型，无论是 PCVR、PSVR 还是 VR 一体机，硬件的性能参数均已可基本满足需求，实现与传统游戏基本一致的画面精度与运行流畅度。

因此，对下一代硬件的要求需要从产品的早期阶段就将内容与技术紧密结合，以便硬件能够最大限度地发挥其潜力，并以内容开发者想要的方式展示愿景。

**7.2. 光学：非球面-菲涅尔透镜-Pancake**

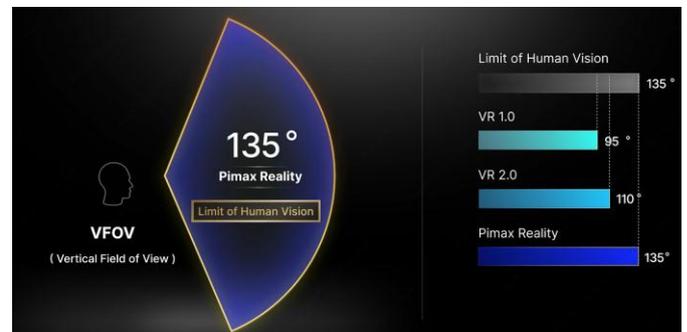
光学方案的设计目标是在**宽视场角实现极致的清晰度**。作为对照，人眼 HFOV 极限是 220 度，VFOV 是 135 度，双目视觉平均 120 度。小派 Reality 系列已经做到 1) HFOV200 度，VFOV135 度，双目视觉 118 度；2) 双目视觉，立体视觉和深度感知的基础，显著增加视觉中心的重叠区。

图 98: HFOV (VR1.0-2.0-reality)



资料来源: Pimax Frontier

图 99: VFOV (VR1.0-2.0-reality)



资料来源: Pimax Frontier

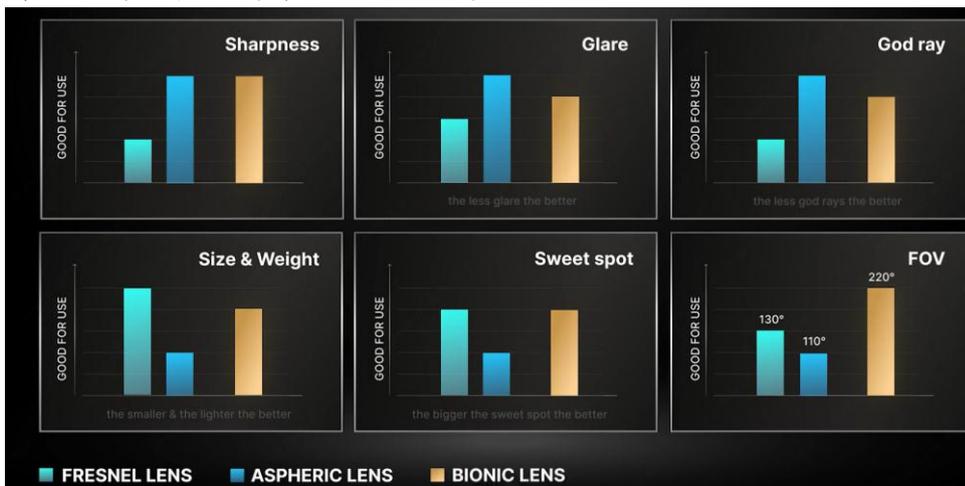
图 100：双目视觉（VR1.0-2.0-reality）



资料来源：Pimax Frontier

Pimax Reality 12K QLED 使用的是仿生镜片（Bionic Lens System）-复合镜设计，能够自主研发的仿生镜片-复合镜设计，综合了菲涅尔和非球面的优势。仿生镜片采用了前所未有的复合镜设计，设法将菲涅尔透镜与非球面透镜组合在一起。因此，仿生镜片有着更高的清晰度、更广的视场角、更大的甜点区和更低的眩光、更少的上帝光、较轻的重量和体积。

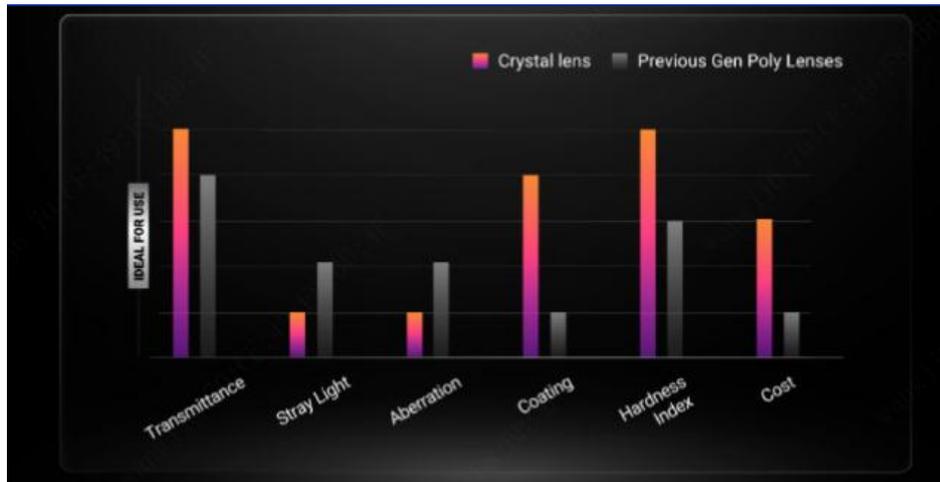
图 101：菲涅尔 VS 非球面 VS 仿生镜片



资料来源：Pimax Frontier

Pimax Crystal 选择了玻璃材料的非球面透镜方案，使头显的显示色彩更鲜明、图像更锐利，从而将头显清晰度提升至更高水平。玻璃与聚乙烯由于材质不同，应用在 VR 头显中会呈现出不同的视觉效果。相比聚乙烯透镜，玻璃透镜有三个主要优势，即透光率更高、杂散光更少、像差更小，从而使视野内呈现的图像更清晰。玻璃透镜在加工工艺上也大有潜力。Pimax Crystal 的透镜计划采用三层镀膜技术，达到防蓝光、防尘、抗划伤的效果，能够有效环节用户视觉疲劳、提升使用舒适度。

图 102：非球面透镜：玻璃材料 VS 聚乙烯材料



资料来源：Pimax Frontier

主流 VR 设备的光学方案迭代趋势大致是从非球面透镜、菲涅尔透镜向 Pancake 方案迭代升级。非球面透镜凭借成本低、成像质量可控的优势为早期 VR 设备采用，如 3Glasses D1 和 Oculus Rift。但非球面透镜在色彩、畸变、厚度等方面的问题仍旧棘手，随着更先进的光学方案的迭代，非球面透镜正在逐渐淡出市场。目前主流的头显大多采用菲涅尔透镜，相较于非球面透镜，菲涅尔透镜在一定程度上降低镜片厚度、重量的同时能够基本满足 VR 设备的成像质量要求，并且具备成本较低、技术成熟、可大规模量产的优势，目前 Oculus Quest2、Pico Neo3 Link 等主流 VR 设备正在使用菲涅尔透镜。但随着 VR 设备在消费市场的渗透，成像质量较低且厚重的菲涅尔透镜已经不能满足用户的舒适性和沉浸感的高需求。折叠光路 Pancake 逐渐成为 VR 光学方案的迭代方向，核心是平衡轻薄和光效。Pancake 方案以折叠光路为原理，使光学模组进一步轻薄化，大大降低了头显的质量和体积，并且具备成像质量好、画面畸变小、可调节屈光度等优点，大幅提升了用户的体验感和舒适度，目前 Meta、华为、松下、HTC、苹果等已经推出或即将推出采用 Pancake 方案的头显。我们预测在科技巨头的引领下，Pancake 方案在未来会有更明显的催化和应用，有望成为多数消费级 VR 的首选光学方案。但当前技术门槛和成本高成为制约厂商加入的重要因素，同时产品效果有待进一步优化。此外，业界正逐步探索液晶、自由曲面、全息元件等前沿方案，有望进一步压缩光学模组的厚度和重量，为用户提供更好的沉浸体验。

图 103：VR 光学方案沿革方向



资料来源：产品官网、VRcompare、安信证券研究中心

Pancake 方案加速商用化进程，为多款 VR/MR 新品采用。2022 年 1 月，松下子公司 Shiftall

发布了采用 Pancake 方案的超短焦 VR 头显 MeganeX。2022 年 4 月，arpara 发布了采用 Pancake 方案的 VR 设备 Gaming Kit。2022 年 7 月，创维 VR 发布的全新产品 PANCAKE1 也是采用 Pancake 方案的超短焦 VR 一体机。据科创板日报，Meta 代号为 Project Cambria 的 Pancake 方案 VR 头显将于 2022 年 10 月的 Connect 大会上正式发布。据新浪新闻，美国 Fcc 的一份文件显示 Pico 的下一代 VR 一体机 Pico4 将采用 Pancake 方案。

图 104: Pancake 光学方案应用情况



资料来源: Wellsenn XR, 安信证券研究中心

Pancake 方案将光线进行多次折叠，缩短了人眼与显示屏之间的距离，缩减了 VR 设备的体积与重量，使其比采用菲涅尔透镜时更加轻薄。Pancake 方案还具备菲涅尔透镜无法实现的屈光调节功能。此外，Pancake 方案理论上可实现 220 度视场角和视网膜级分辨率，能有效解决画面畸变，显著提高 VR 设备画质。而菲涅尔透镜最高只能达到单眼分辨率 4K 和 140 度视场角。因此，Pancake 方案在分辨率及视场角方面有着更高的成长上限。但折叠光路会使光损增加、光效降低，所以 Pancake 方案需搭配更高亮度显示屏幕使用，而且 Pancake 光学器件生产工艺较复杂，良率较低，仍有一定改进空间。

表 9: 菲涅尔与 Pancake 模组对比

	菲涅尔透镜	80 度 FOV Pancake 模组	100 度 FOV Pancake 模组
模组示意图			
模组尺寸	52*65*6mm	50*50*21.6mm	49*49*25.8mm
视场角 (FOV)	95 度	80 度	100 度
理论视场角 (FOV) 上限	~140 度	~200 度	~200 度
出瞳距离 (Eye relief)	17mm	13mm	13mm
模组厚度 (TTL)	44mm	18mm	23.4mm
屏幕尺寸	3.5"	2.1"	2.1"
材质	PMMA		
眼动范围 (Eye shift)		4 ± 3mm	4 ± 3mm

资料来源: 歌尔股份官网, Meta, 安信证券研究中心

图 105: Pancake 方案优点

模组轻薄	Pancake方案有效压缩了屏幕与透镜间的距离，从而缩小了光学模组总长，将头显重量降至200g以内，体积缩减至传统终端的三分之一。
成像质量好	图像性能出色，畸变小。
屈光度可调节	除单片式外，Pancake方案支持屈光度调节，近视的用户无需佩戴眼镜即可使用，视觉舒适度较高。

资料来源：艾邦 VR/AR 网，中国信通院，安信证券研究中心

图 106: Pancake 方案缺点

易重影	杂散光线在透镜中折返容易产生重影或眩光，会降低图像的对对比度、MTF等质量，影响用户体验。
光损高	光每次经过半透半返镜会损失50%，Pancake的折叠光路会使光损增大，理论最高光学效率为25%，对显示器亮度的要求较高。
成本高制造难	折叠光路技术精度要求较高，1/4相位延长片、反射偏振片等光学膜核心材料目前国际上只有3M、旭化成等少数企业能够提供，模组价格偏高。
FOV较小	由于Pancake方案在压缩模组尺寸时也压缩了透镜直径，导致FOV大与设备轻薄无法兼得，现有产品距理论FOV上限200°仍有较大差距。

资料来源：VR 陀螺，安信证券研究中心

### 7.3. 显示：LCD-Micro OLED-Micro LED

显示屏幕是决定沉浸体验重要的决定因素之一，对分辨率/PPI/PPD 及刷新率要求较高。高次像素排列密度 PPI 可以解决纱窗效应。纱窗效应是指在像素不足的情况下，实时渲染引发的细线条舞动、高对比度边缘出现分离式闪烁现象。造成纱窗效应主要与次像素排列密度不足有关，次像素之间的间距越大，不发光的部分越明显，透过 VR 看起来就像是在眼前蒙了纱窗一般有种模糊感，影响 VR 的沉浸感及视觉清晰度。人眼正常视力下极限角分辨能力约 60PPD,而现有单屏 4K(分辨率为 3840×2160)、视场角 120 度的 VR 头显设备约为 18PPD;单屏 2K (分辨率为 1920×1080)、视场角 60 度的 VR 头显设备约为 36.7 PPD。

高刷新率降低余晖效应，减少画面延迟与重影，同时缓解眩晕感。余晖效应指人眼在观察景物时，光信号传导至人大脑神经，需经过一段短暂的时间，光的作用结束后视觉形象并不立即消失从而产生眩晕感。为了降低眩晕感，VR 设备需要高刷新率来降低屏幕余晖。一般而言 VR 设备不眩晕至少需要有 120Hz 及以上的刷新率以及 4K 及以上分辨率。时延为刷新率的倒数，120Hz 的刷新率对应的时延是 8.33ms，人眼可以明显察觉 90-120Hz 到 160-180Hz 的提升，超过 250Hz 后，人眼对刷新率提升的敏感程度将逐步递减。

小派定制低余晖液晶显示器——第二代 CLPL(customized low persistence liquid display)，Reality 系列做到 12K 的分辨率，领先 4K 竞争对手 4.8 倍；做到 35PPD/1200PPI，纱窗效应完全消失。

图 107: 4K-8K-12K 的分辨率变化



资料来源: Pimax Crystal 产品发布会

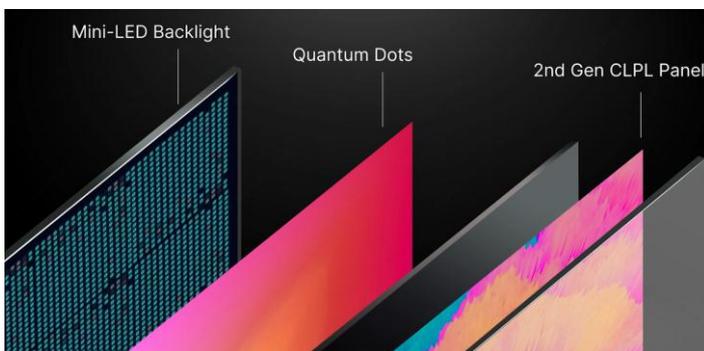
图 108: 250PPI-1200PPI 的像素点密度变化



资料来源: Pimax Crystal 产品发布会

显示面板的选择方面，综合比较 LCD、OLED、Mini-LED、QLED 的优劣势。OLED 提供更鲜艳的色彩但 LCD 提供更好的 PPI、分辨率和刷新率，即 OLED 有颗粒感，LCD 不够黑沉浸感不足。Q 表示包含在显示顶部薄膜中的量子点，QLED 覆盖了 BT.2020 90% 以上的色域（BT.2020 是最新的视频播放标准），OLED 仅覆盖该范围的 70%。小派 Reality 系列产品的显示方案是在引擎盖（2nd Gen CLPL Panel）下加入一层量子点（Quantum Dots），并在整个显示器背面加入先进的 Mini-LED 背光阵列（Mini-LED Backlight）。QLED+Mini-LED 屏幕，QLED 面板提供了更广的色域，Mini-Led 面板则提供了更纯粹的黑色；同时，HDR 算法使硬件的高色彩对比与准确的色彩空间得以发挥，为玩家与专业用户提供了极优显示效果。

图 109: Pimax QLED&Mini-LED 方案



资料来源: Pimax Crystal 产品发布会

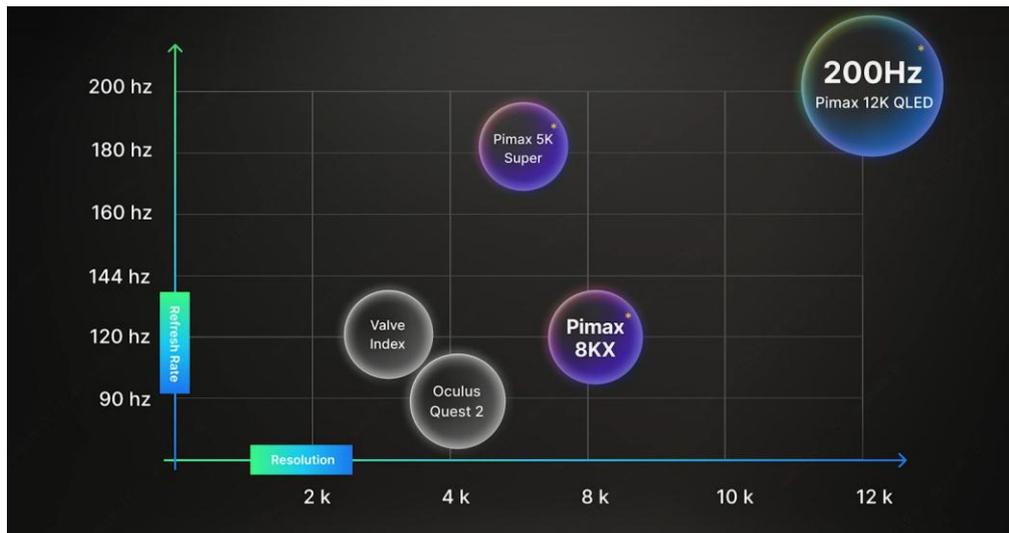
图 110: QLED VS OLED



资料来源: Pimax Crystal 产品发布会

此外，刷新率方面，到 Reality 系列，最高刷新率将进一步提升至 200Hz。小派一直致力于将高刷新率引入到 VR 头显当中，目前已有的 5K、8K 产品最高支持 180HZ 的刷新率，

图 111: Pimax 与其他产品的刷新率对比



资料来源: Pimax Crystal 产品发布会

VR 的显示屏幕方案迭代趋势正在由 Fast-LCD 向 Micro OLED 过渡, 远期 Micro LED 或为最佳解决方案。目前主流 VR 显示屏幕以 Fast-LCD 为主, 兼顾高刷新率与性价比。一般 OLED 屏幕的刷新率明显有优势, 但纱窗效应较明显, 且成本较高, LCD 屏幕的次像素间距比 OLED 要小, 纱窗效应减轻很多, 改良后的 Fast-LCD 技术使用全新液晶材料 (铁电液晶材料) 与超速驱动技术 (overdrive) 有效提升刷新率至 75-90Hz, 同时也具有较高的量产稳定性及良率, 兼具效果与性价比。2018 年, 京东方 VR 专用显示模组出货量就达 100 万片, 涉及 VR 整机产品已超 20 款, 包括 Oculus Quest 2、华为 VR。Oculus Quest 2 即采用一块改良后的 Fast-LCD 替换上代 Quest 产品中的两块 AMOLED。

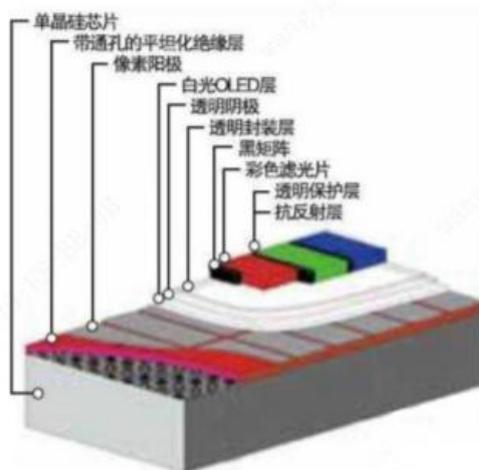
短中期具备高像素密度、高刷新率、轻量化的 Micro OLED 更有优势。AMOLED 器件背板普遍采用非晶硅、微晶硅或低温多晶硅薄膜晶体管, 而 Micro OLED 创新性结合半导体与 OLED, 显示器件采用单晶硅芯片基底。单晶硅芯片采用现有成熟的集成电路 CMOS 工艺, 实现显示屏像素的有源寻址矩阵的同时可实现如 SRAM 存储器、T-CON 等多种功能的驱动控制电路, 大大减少了器件的外部连线, 增加了可靠性, 实现了轻量化。此外, 硅基 OLED 微显示器件像素尺寸为传统显示器件的 1/10, 精细度远远高于传统器件。

**Micro OLED 的优越性能包括: 1) 超高分辨率:** VR 设备分辨率 PPD 拉满至人眼角分辨率上限, 提升沉浸感体验。人眼正常视力下极限角分辨率能力约 50~60PPD, 而现有单屏 4K (分辨率为 3840×2160)、视场角 120 度的 VR 头显设备约为 18PPD; 单屏 2K (分辨率为 1920×1080)、视场角 60 度的 VR 头显设备约为 36.7 PPD。硅基 OLED 2000PPI 分辨率较传统低温多晶硅 LTPS-OLED 显示器 800PPI 大幅提升, 从而提升 VR 设备 PPD 至 60PPD。

**2) 超高刷新率:** 刷新率可达 2000Hz, 有效减缓 VR 设备使用眩晕感。低刷新率导致更强的图像闪烁和抖动感, 最终带来眼睛酸痛、头晕目眩等症状, 是使用 VR 设备带来眩晕感的重要原因。刷新率达到 120Hz, 即可改善运动镜头的画面跳停现象和模糊现象, 完全消除高亮度、宽视角情况下的临界闪烁现象。硅基 OLED 刷新率可达 2000Hz, 大幅超越现有 VR 设备最高刷新率 90Hz。

**3) 体积小、重量轻, 大幅改善使用体验:** 硅基 OLED 微型显示器件像素仅为传统显示器件的 1/10。此外, 硅基 OLED 以单晶硅芯片为基底, 减少了器件的外部连线, 比采用其他显示方案减重 50% 以上。

图 112: 硅基 OLED 微显示器件结构示意图



资料来源: OLED industry

远期看 **Micro LED** 高集成半导体信息显示技术或为最佳解决方案, Micro LED 指以自发光的微米量级的 LED 为发光像素单元, 将其组装到驱动面板上形成高密度 LED 阵列的显示技术。由于 Micro LED 芯片尺寸小、集成度高和自发光等特点, 在显示方面与 LCD、OLED 相比在亮度、分辨率、对比度、能耗、使用寿命、响应速度和热稳定性等方面具有更大的优势。区别于 LCD、OLED, Micro LED 无需对大基板进行光刻或蒸馏, 也不需要借助复杂制程来转换颜色或防止亮度降低, 理论上成本更低。

Micro-LED 的显著优势构建在复杂的工艺流程与严苛的技术门槛上。Micro-LED 显示主要包括外延生长、驱动背板制作、芯片制作、批量转移等工艺流程。其中, **芯片制造、巨量转移、驱动是 Micro-LED 产业化的主要痛点, 巨量转移更是“难上加难”**。目前, 业界推出了 Stamp 转移、激光转移、自组装转移以及 bonding、Interpose 等转移技术, 但总体来看, 转移技术的成熟度和良率水平还有待提升, 需要全产业链的持续探索和优化。

表 10: LCD、OLED、Micro OLED、Micro LED 技术对比

显示技术	LCD	OLED	Micro OLED	Micro LED
技术类型	需要背光	自发光	自发光	自发光
亮度(nit)	~500	>500	>2000	>5000
对比度	5000:1	∞	—	∞
寿命	中等	中等偏低	中等	长
反应时间	毫秒级	微秒级	微秒级	纳秒级
运行温度/°C	-40~100	-30~85	—	.1 00~120
功耗:同尺寸		LCD 的 60-80%	低	LCD 的 30-40%
驱动方式	Driver IC	Driver IC	TFT/CMOS	TF T/CMOS
良率	很高	至少 8 成以上	—	低

资料来源: 集邦科技, AppliedMaterials, 安信证券研究中心

#### 7.4. 交互: 头手 6DOF-眼动追踪-手势识别

小派 VR3.0 Reality 支持所有追踪技术, 包括 **6DOF 头手追踪、眼动追踪、面部识别、全身追踪**, 允许用户像一个自然人一样存在于元宇宙中。

Pimax Reality 12K QLED 最高搭载 11 枚定位及追踪摄像头, 采用 inside-out 空间定位, 内

置眼球追踪，并通过扩展模组实现完整的面部表情捕捉，在元宇宙中重塑自我意识，希望能实现生动的 VR 社交。

**基于手柄的“6+6”头手交互为当前主流交互方式。**定位技术的原理简单概括，就是“信号源+传感器”，使用相应的算法计算出物体的位置信息(包括三轴及旋转共六个自由度,6DOF)。随着算法及算力的成熟，VR 设备从初期的 3DOF 向 6DOF 演进，如 Vive Focus 升级为 6DOF 手柄的 Vive Focus Plus；Oculus 推出首款 6DOF 一体机 Oculus Quest；Pico 将其 3DOF 的 Pico 小怪兽一体机升级为 6DOF 的 Pico Neo。目前手柄控制依然是主流，融合 Inside-out 6DOF 头动+ 6DOF 手柄交互的“6+6”交互路线是主流方案，代表厂商包括 Oculus Quest、Pico、Nolo、Ximmerse 等。各厂商的 VR 手柄设计有较大不同，通常会配置摇杆，小型触摸板，A、B 操作按钮，以及握柄部分的电容感测，可识别压力、触感、以及光学数据。

**裸手交互是未来的发展趋势。**裸手交互(原生手势识别)方案需要识别出手部骨架的 21 或 26 个关键点，并将每个点用 3 个自由度衡量，输出 21/26\*3 维的矢量，并由专业算法来识别手部的姿态和位置。裸手交互的硬件方案包括 RGB 摄像头、3D 摄像头(TOF、结构光、双目视觉)和数据手套等，业界标杆是以 Leap Motion 与 uSens 为代表的双目红外相机方案，支持双手交互、单手 26DOF 跟踪，广泛用于一体式、主机式虚拟现实终端，而在手机式产品方面，华为 AR Engine 利用结构光器件实现单手 26DOF 交互方案。

## 7.5. VR 头显趋于完美所面临的十大挑战

道格拉斯·兰曼(Douglas Lanman)在 Meta 公司工作了 8 年，是开发显示系统的部门负责人。在 2022 年的 Siggraph 会议上，兰曼发表了演讲(译文来自 VR 陀螺)，主题是开发一个趋于完美的 VR 头显所面临的十大挑战：**更高的分辨率、更广的视场角、人体工程学(佩戴舒适)、视觉校准(支持屈光度调节)、可变焦、眼球追踪、畸变矫正、HDR(高亮度显示)、视觉逼真度(双向可透视)、面部重建。**

### (一) 更高的分辨率

目前的 VR 头显在分辨率方面还远没有达到人类的视觉分辨率。为了使虚拟世界看起来像实物一样真实和清晰，并且即使在中等距离也能很好地阅读文本，VR 显示器的分辨率必须大幅提高。Meta Quest 2 只达到了单眼 2K 和 20 PPD。6 月公开的原型机之一 Butterscotch 已经实现了接近视网膜级别的分辨率，达到 55 PPD。

不过，高分辨率显示器的开发和生产并不是最大的问题，问题在于要有相应的计算能力来支持高分辨率显示器。**注视点渲染和云串流技术可以提供帮助。**

### (二) 更广的视场角

人类的水平视场角大约是 200°。现阶段，商业上可用的 VR 头显一般能达到 100°的水平视场角，在垂直视场角方面也仍有改进的余地。

更广的视场角给透镜技术带来了巨大的挑战，这表现在视场边缘的图像失真上。同时，这也关系到计算能力的问题，视场角越宽，VR 头显所要显示的像素就越多，这将导致更高的功率要求和更多的发热。

### (三) 人体工程学

消费端市场的 VR 头显仍然很笨重。Meta Quest 2 的重量超过 1 磅，从面部突出近 3 英寸。理想情况下，VR 头显需要足够舒适以支持长时间佩戴，因此在设计上要更窄、更轻。**Pancake**

透镜和全息透镜可以提供帮助。

为了实现纤薄的效果，Meta 开发了两项新技术：平面全息透镜和偏振反射。但问题在于，两项技术都要使用定制的激光器作为光源，而这些激光器还没有发展到可以大规模生产的程度。

#### （四）带视觉校准的显示器

完美的 VR 头显应该能够检测并补偿用户的视觉缺陷，这样无需佩戴传统的眼镜或隐形眼镜就能在虚拟现实看得清楚。

这个问题可以通过特殊的附件来解决，但更好的方案是，显示器带有视觉校准功能，可以根据用户自己的视力来进行适配。

#### （五）可变的焦点

在 VR 环境中，人眼不能自然聚焦，时间长了就会导致眼睛疲劳和头痛。这种现象在技术术语中被称为“视差适应冲突”。

为了解决这个问题，Meta 公司开发了一款支持“渐进式视觉”的原型机 Half Dome。该显示器能模拟不同的焦平面以及模糊，帮助眼睛更自然地观察虚拟世界。

#### （六）面向所有人的眼球追踪

眼球追踪是虚拟现实的一项关键技术，它是许多其他重要的 VR 技术的基础，如渐进式视觉、注视点渲染和畸变校正。它还能在社交体验和新的互动形式中实现眼神交流。

#### （七）畸变校正

透镜本身就会产生图像畸变，必须通过软件进行校正。瞳孔最轻微的移动都会导致细微但明显的畸变，它们损害了视觉的真实性，特别是在与其他技术（如渐进式视觉）结合时。

#### （八）高动态范围显示（HDR）

实体物体和环境的亮度远高于 VR 显示器。针对这一问题，Meta 公司开发了原型机 Starburst，其最高亮度可达 2 万尼特。作为比较，一台好的 HDR 电视能达到几千尼特，而 Meta Quest 2 只有 100 尼特。

据 Meta 公司称，HDR 对视觉真实性的贡献比分辨率和可变焦距等更大，但距离实际应用却最远。

#### （九）视觉逼真度（双向可透视）

完美的 VR 头显必须在两个方向都是半透明的。VR 用户应该能够看到环境，就像环境能够看到 VR 用户一样。这既是出于用户舒适度的考虑，也是出于社会接受度的考虑。Meta Quest 2 提供了一种颗粒状的黑白透视模式。Meta Quest Pro 应该会以更高的分辨率和色彩来改善这种显示模式。

然而，这还不足以实现对物理环境的完美重建。其中一个有待解决的问题是，透视技术捕捉到的世界视角在空间上与眼睛存在偏差，这在长时间使用时可能会引起不适。为此，Meta 公司正在研究人工智能辅助的凝视合成技术，该技术能实时生成视角正确的视点，并具有高视觉逼真度。

在相反的情况下，Meta 公司称之为“反向透视”，即外人能看到 VR 用户的眼睛和脸，凭此

得以进行眼神交流或阅读面部表情。这可以通过朝内的传感器和外部(光场)显示器来实现。

#### (十) 面部重建

共处和元宇宙是 Meta 公司的最终目标。该公司希望有一天人们能在虚拟空间中会面，并感觉他们就像在同一个房间里一样。

这个方向的第一步是VR头显可以实时读取VR用户的面部表情,并将其转移到虚拟现实中。

**Quest Pro 将是 Meta 公司首款提供面部追踪的头显。**

我们看到，**VR 硬件的发展趋势是，新一代的 VR 设备正在逐渐向完美的 VR 头显靠拢。**目前已经可以观察得到的靠拢路径包括分辨率由 4K 向 5K 甚至更高过渡，定位与追踪方式越来越多加入眼动追踪与面部识别，VR 增加透视 (See through) 功能，光学辅以软件/算法解决畸变、变焦等问题等。

## 8. 国内外 VR 硬件厂商新品迭代

### 8.1. Meta: Cambria

Meta 未来两年已有四款 VR 新品储备，兼顾中端与高端消费级市场。据 The Information 报道的 Meta VR/AR 路线图，Meta 未来两年计划推出四款 VR 头显产品，内部代号分别为 Cambria（高端旗舰 VR 头显）、Funston（Cambria 的迭代版本）、Stinson（预计 2023 年推出）、Cardiff（Stinson 的迭代产品）。也就是说，Meta 将交替发布高端 VR 头显和低端 VR 头显，不同价格档位的 VR 头显将帮助 Meta 抢占大部分 VR 市场份额。

其中，Cambria 由 Meta CEO 扎克伯格首次在 Connect 2021 大会上透露，该设备拥有全彩透视、面部追踪功能、Pancake 光学方案三大亮点：

- 1) 全彩透视 (See through)：Cambria 搭载的外向摄像头可以让 VR 头显的屏幕呈现现实世界的场景。该设备所拥有的全彩透视功能不但可以让 VR 头显呈现完全虚拟的场景，也可以让 VR 头显同时显示现实世界和虚拟世界的信息，就像 AR 眼镜那样。
- 2) 面部识别追踪：Cambria 内置的传感器能够实时跟踪用户的眼睛和面部表情，可以帮助用户在 Meta 的 Horizon Worlds 和 Workrooms 等应用程序中生成用户的虚拟头像。
- 3) Pancake 光学方案：利用折叠光路技术，使得光机厚度更薄、头显重量更轻。显示方面，使用单眼 2160\*2160 的 Mini-LED，叠加光波导 (digilens 的 T-REx) 来减轻像素间的间隙，看起来比 Mini LED 原有的物理像素更清晰。

图 113: Cambria 示意图



资料来源：Meta Connect2021

此外，据智东西援引报道，Reality Labs 的内部研发人员有时会将 Cambria 看成“laptop for the face”或“Chromebook for the face”。由此可见，Meta 的 VR 头显定位正在从一款娱乐设备转变为一款适用于办公场景的效率工具。

### 8.2. Apple: 首款 MR 设备

知名苹果分析师郭明錤 (Ming-Chi Kuo) 对于 Apple 的产品规划路线预测——头盔式-眼镜式-隐形眼镜式。郭明錤预测的 Apple MR/AR 产品蓝图三大阶段分别是——2022 年的头盔式 (Helmet type) 产品、2025 年的眼镜式 (Glasses type) 产品、与 2030 - 2040 年的隐形眼镜式 (Contactlens type) 产品。其中，头盔式产品可同时提供 AR 与 VR 体验，而眼镜式产品与隐形眼镜式产品则较可能专注于 AR 服务。

据雷科技报道，2022 年 5 月中旬，苹果公司向其董事会成员演示了正在测试中的混合现实 (Mixed Reality, MR) 头盔。与此同时，苹果加速了对 ROS (Reality OS, “现实操作系统”) 的研发，该系统将用于混合现实硬件设备。虽然苹果官方没有表态，但据彭博估计，这套产品很可能在几个季度内满足公开发布的条件。如果上述报道属实，那将是继 2015 年 Apple Watch 发布以来，苹果首次开启一条全新的产品线，这也将意味着苹果继 Meta (Facebook)、微软、谷歌之后，正式加入“元宇宙新硬件”的格局。

**产品设计方面**，设计师 Antonio De Rosa 制作了 Apple MR/AR 头显的 3D 渲染图。该渲染图的主要灵感源于 The Information 提供的基本草图，The Information 将这款头显的设计描述为“时尚的弧形遮阳板通过网状材料和可更换的头带连接到面部”。**生产进度方面**，据 Digitimes 报道，Apple 首款 MR/AR 设备已完成 P2 原型机测试，或将于 2022 年二季度投入量产，或有望于 2022 年下半年正式上市。

图 114: Apple AR/MR 头显的 3D 渲染图——by Antonio De Rosa



资料来源：设计师 Antonio De Rosa

**Apple 首款 MR 设备渐行渐近，关注 WWDC2022 发布最新信息。**根据苹果发布的专利信息及外媒苹果分析师，苹果的首款 MR 设备或将 1) 自有操作系统 realityOS (据 App Store 上传日志和苹果开源代码); 2) 显示器的配置将包括两个微型 OLED 显示器和一个 AMOLED 面板 (据显示器分析师 Ross Young); 3) 芯片将采用代号 Staten 的 M2 芯片衍生版本，外加一个协处理器 Bora 芯片 (据芯片供应链专家 @Mobile chip Expert); 4) 价格被预测为 1000 美元、2000 美元或 3000 美元级别，需要额外的月度订阅 (据 TrendForce)。

### 8.3. 索尼：PSVR2

据新浪 VR 报道，自 2022 年 1 月公布 PSVR2 以来，索尼陆续放出了有关该头显的详细信息。其中包括采用 4K 120Hz HDR 显示屏、110° 视场角和注视点渲染技术，其 OLED 显示屏将提供每眼 2000×2040 的分辨率和 90/120hz 刷新率，内置眼动追踪功能、重新设计的手柄、触觉反馈以及各种其他改变游戏规则的增强功能。内容方面，PSVR2 将在发布时同步首发超过 20 款 VR 游戏，涵盖第一方和第三方游戏，包括《Horizon Call of the Mountain》，以及《无人深空》和《生化危机 8》的 VR 版本。8 月 23 日，索尼官方宣布 PSVR2 将于 2023 年正式上市。

**PSVR2 支持透视视图。**索尼的 PSVR2 透视视图可以让玩家保持佩戴头显的同时观察周围环境，这要归功于头显前部嵌入的摄像头。索尼高级产品经理 Yasuo Takahashi 解释说：“当

用户想要轻松检查 PSVR2 Sense 控制器在房间内的位置时，它会派上用场，而无需摘下头显。”该视图听起来很像 Meta 的 Quest 头显提供的视图功能。

**PSVR2 将有 VR 模式和电影模式两种主要模式。**VR 模式专为虚拟 360 度环境中的 VR 游戏内容而设计，它将以 4000x2040 HDR 视频(单目 2000x2040)的最大分辨率和 90Hz 或 120Hz 的帧速率显示。而电影模式专为 VR 中的所有其他内容而设计，它将分辨率降至 1920x1080 HDR 视频，具有 24Hz、60Hz 和 120Hz 帧速率选项。电影模式是为看视频而设计的，玩家将能够看到 PS5 系统 UI，然后切换到虚拟影院屏幕观看内容。

图 115: PSVR2——VR 模式



资料来源: 新浪 VR

图 116: PSVR2——电影模式



资料来源: 新浪 VR

#### 8.4. 字节跳动: Pico4&Pico pro4

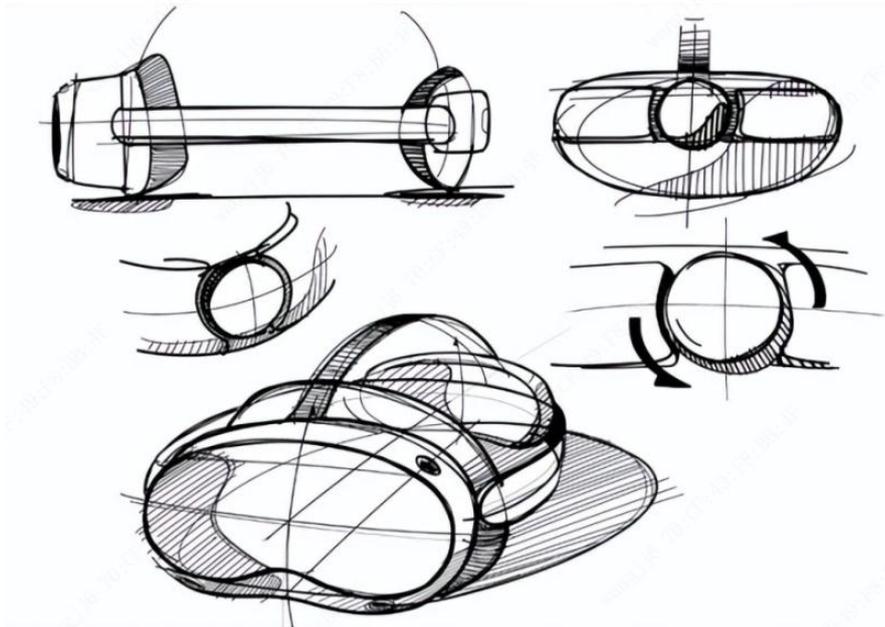
从 8 月曝光的 Pico 4 系列的参数配置和设计线稿来看，Pico 4 系列不管是从外观还是佩戴方式均采用了全新的设计，在参数配置上 Pico 4 系列明显领先 Quest 2，并且 Pico 4 系列搭载了很多创新功能，如 Pancake 光学方案、彩色透视 (See-Through)、瞳距无级调节等。相比于普通版本，Pro 版本将支持面部识别与眼球追踪。

表 11: Pico 4 与 Quest 2 参数对比

对比项	Pico 4	Quest 2
电池容量	5300mAh	3640mAh
分辨率	单眼 2160*2160	单眼 1832*1920
PPI	1200	773
视场角	可视角度 105°	可视角度约 100°
瞳距调节	无级调节	58mm,63mm,68mm
镜片方案	Pancake	菲涅尔透镜
裸手识别	支持	支持
面部识别	支持(仅 Pro 版本)	不支持
眼球追踪	支持(仅 Pro 版本)	不支持
彩色透视	支持	不支持,为黑白透视

资料来源: 中关村在线, 安信证券研究中心

图 117: Pico 4 线稿



资料来源：中关村在线

Pico 4 系列所采用的 Pancake 超短焦光学方案，有效减少设备重量。根据爆出的线稿，前端采用的类似泳镜式设计，可以更贴合面部，让用户在运动健身时不易脱落；其后端采用的衬垫与波轮调节的方式，则能够更好地减轻用户头部和颈部的负担，使得用户的佩戴更加舒适。

### 8.5. 2022 年上半年 VR 发布/上市新品一览

元宇宙概念掀起的浪潮仍在奔涌，市场也在加速拥抱 VR/AR 行业新风口。根据 VR 陀螺统计，2022 年上半年全球 VR 头显的出货量约 684 万台，其中 Quest 2 上半年累计销量约为 590 万台，呈现出一家独大的局面。上半年国内 VR 头显出货量约 60.58 万台，其中 Pico 销量约为 37 万台。

从国内、国外数据对比来看，Quest2 上线于 2020 年 10 月，随后以 299 美元极具性价比大推，Pico neo3 上线于 2021 年 5 月，8 月被字节收购后开始大推。国内的出货量以旗舰产品的上线为关键节点较国外落后 1 年左右，Pico2022 年的出货量目标是 180 万台，超过 Oculus2018 年的出货量。

从全球出货量数据来看，2021 年底，我们所做的预测是，VR 硬件 2022 年的出货量达到 3000 万台、2023 年的出货量达到 5000 万台、2024 年的出货量达到 1 亿台。该预测建立在苹果、Meta、索尼新一代产品与 2022 年中推出的条件上。由于苹果、Meta、索尼新品均延期，因此出货量 3000 万台预测的时间点也需要相应后移 1-2 年左右。

从 2022 年上半年发布的 VR 硬件来看，**6DoF Pancake 短焦光学的 VR 一体机的产品形态成为主流趋势**。在上半年发布的 9 款 VR 新品中，松下子公司 Shiftall、arpara、Glature、佳能的 4 款新品均采用了 Pancake 光学，其中 3 款支持 6DoF 定位。**4K 向 5K 分辨率的过渡趋势也较为明显**，arpara AIO 5K VR 头显的 PPI 达 3514，刷新率达 90Hz，Shiftall MeganeX、Simula One 也均达到 5K 分辨率水准，刷新率分别为 90Hz、120Hz。小派 Pimax 在 2021 年底发布的 Reality 12K QLED 更是达到 12K 分辨率。

表 12: 2022 年上半年上市/发布的 VR 硬件产品

公司	松下 Shift all	索尼	VRgineers	SimulaVR	小派科技	Glature	arpara	佳能	
产品名称	Megane X	PSVR 2	XTAL 3 VR/ XTAL 3 MR	Simula One	Pimax Crystal	GXRVerse	arpara AIO 5K VR	M REAL X 1	
产品形态	分体式 VR	主机 VR	PC VR	VR 一体机	VR 一体机	分体式 VR	VR 一体机	PC VR	
处理器	高通骁龙 XR1	PS5 主机	\	英特尔 i7, 集成 Iris XE GPU	高通骁龙 XR2	\	高通骁龙 XR2	\	
屏幕	1.3inch Micro-OLED	OLED	LCD	LCD	Q LED+Min-LED	\	1.03inch Micro-OLED	\	
显示	分辨率	双目 4K 单目 2000*2040	双目 8K 单目 3840*2160	双目 5K 单目 2448*2448	双目 6K 单目 2880*2880	3K 双目 3200*1600	5K 双目 5120*2560 4K 双目 3840*1920	单目 1920*2160 双目 3840*2160	
	刷新率	120Hz	120Hz	75Hz(QHD 时 120Hz)	90Hz	160Hz	\	5K70Hz/4K90Hz	120Hz
光学	光学方案	Pancake	菲涅尔透镜	菲涅尔透镜	菲涅尔透镜	非球面玻璃镜片	Pancake	Pancake	Pancake
	视场角	未知	110°	180°/170°	100°	120°	94°	95°	58°水平 *60°垂直
	IPD	未知	支持-	60-76mm	55-77mm	58-72mm	\	56-72mm	57-76mm
	屈光度	—	—	—	—	0-700 度	0-800 度	500°近视-100° 远视	\
交互	头部	6DoF	6DoF	6DoF	6DoF	6DoF	3DoF	6DoF	6DoF
	手柄	\	6DoF	6DoF	\	6DoF	3DoF	6DoF	6DoF
	眼动追踪	—	支持	支持	支持	支持	—	—	—
	空间定位	Inside-Out	Inside-Out	Inside-Out	Inside-Out	Inside-Out	—	6D oF	Inside-Out
存储	RAM	\	\	\	16GB1TB	\	\	8GB	—
	ROM	\	\	\	1TB	\	\	128GB	—
操作系统	\	\	微软 Windows	Linux	\	Windows	Android	—	
电池	\	\	\	\	6000mAh	\	6500mAh	—	
重量	250 克	\	600 克/700 克	\	\	130 克	380 克	359 克	
官方定价	900 美元	\	8900 美元/11500 美元	2699 美元	1899 美元	1007.33 美元	5999 元起	约 10 万元	
发布/上市日期	2022/01 曝光	2022/01 曝光	2022/01 发布 2022/04 上市	2022/02 曝光	2022/06 发布	2022/06 发布	2022/05 发布	2022/04 曝光	

资料来源: VR 陀螺, 安信证券研究中心

## 9. 新硬件作为元宇宙六大版块之一，2023 年展望

新硬件是相对于智能手机及智能手机之前的历代硬件的统称；站在当下，基于元宇宙的新硬件可以分为硬件入口与分布式垂类硬件两大类。

硬件入口范畴广，凡是作用于人的眼耳鼻舌身意、旨在让用户进入元宇宙的新交互硬件，均可被称为硬件入口，故 VR/AR/MR 等作用于人的眼睛的硬件，只是硬件入口的技术路径之一，故“可穿戴设备”“脑机接口”都是广义上有可能成为入口的交互硬件的技术路径。

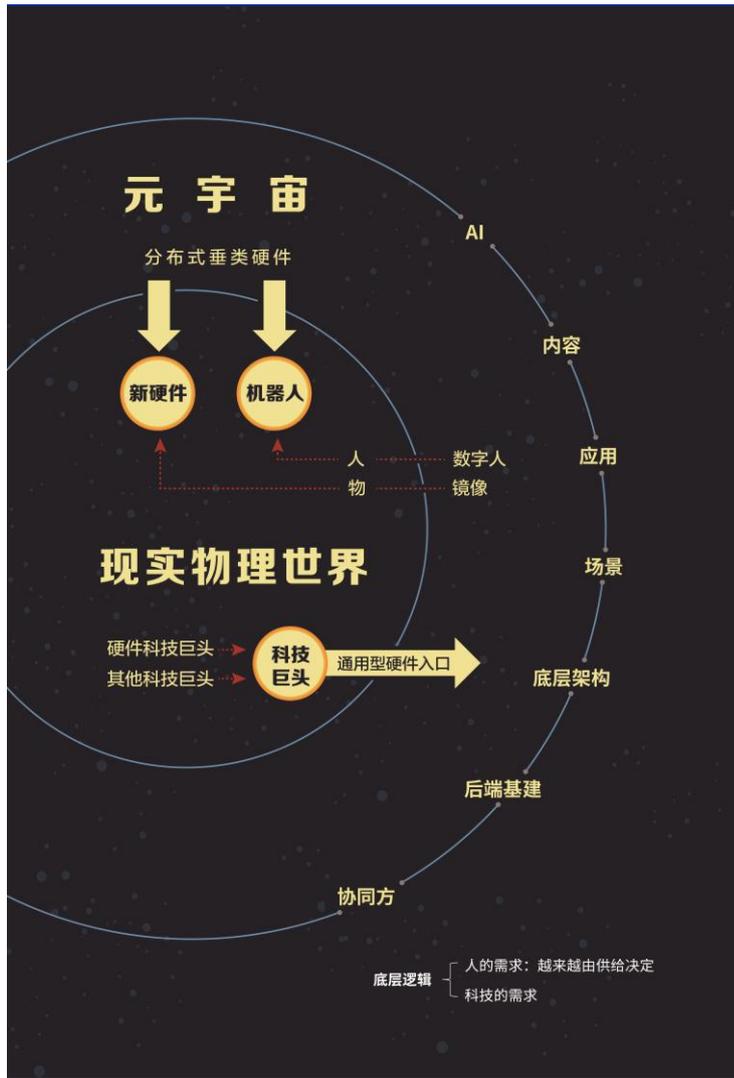
分布式垂类硬件在《新硬件主义》一书中，被我们列为与“硬件入口”并列关系的另一类新硬件，相较于硬件入口的“交互”，分布式垂类硬件更重要的是“智能”的真正实现；分布式垂类硬件又分为三小类：基于情感需求的智能交互新硬件、机器人、当下现实物理世界中未来要被智能改造的“物”。2022 年年初冬奥会的冬奥村中，各式“黑科技”硬件，已有了“分布式”的雏形，只是各个“黑科技”尚未真正实现智能化。

2022 年以来，市场特别关注人形机器人，但尚未意识到在元宇宙视角下，人形机器人作为分布式垂类硬件的一类，与硬件入口有何关系？

从人的需求出发，硬件入口解决了用户进入元宇宙的需求，但进入元宇宙后的用户，其用户时长终究有一部分，还是要花在现实物理世界中，故围绕用户在现实物理世界中的时间消耗，未来的现实物理世界要被智能化重塑，以匹配用户在元宇宙中已升级的各类需求（尤其是情感需求）；且元宇宙作为新一代计算平台，预计将抢占更高比例的用户时长（移动互联网时代的用户，其分配在移动互联网上的时间比例，远大于 PC 互联网时代的比例），当用户更多时间沉浸于虚拟时空时，机器人则需替代部分人的功能；新计算平台代表着技术升级、生产关系重塑，新的硬件（在元宇宙时代则是智能交互硬件）也将应运而生。

从科技的需求来看，真正的“智能”若要实现，元宇宙与混合平台是两条路径；其中元宇宙是重新架构的时空，混合平台则是以人为载体重塑人的“硬件”，当人的“硬件”被重塑后，替代人的部分功能的机器人、服务于被重塑的人的新智能交互硬件则是确定性的未来趋势；当“智能”真正能实现时，当下的现实物理世界的各类硬件，淘汰或被升级，亦是必然趋势。

图 118：元宇宙的通用型硬件入口与分布式垂类硬件



资料来源：中译出版社《新硬件主义》，安信证券研究中心

硬件入口、分布式垂类硬件既然是并列关系，我们关注硬件入口的发展趋势，是否可以将其与分布式垂类硬件割裂开单独研究？

当下市场对硬件入口的认知，并未完全意识到新一代的硬件入口，最重要的使命是“定义下一代交互”，如果要去定义交互，就必须意识到元宇宙对交互的重塑是革命性的：1) 过往的PC 互联网时代、移动互联网时代，技术服务于人与人之间的交互，但元宇宙时代，交互则不仅囿于人与人之间，交互主体将扩展至人、数字人、虚拟人、机器人这4类，故交互将呈现为前所未有的复杂性与多样性；2) 元宇宙最终的实现是最终能“模糊虚拟与现实的边界”，故以上4类交互主体的交互场景，预计是虚拟与现实之间高频切换的。而机器人，则是分布式垂类硬件的一种，严格来说，数字人与虚拟人也是机器人的一种。

故，硬件入口与分布式垂类硬件的研究，是无法割裂开来单独去研究的。展望2023年新硬件的发展趋势，我们认为硬件入口、分布式垂类硬件在2023年，均是“大年”。

» 按照我们对元宇宙六大版图轮动顺序的分析，首先，硬件入口与内容先行，硬件作为第一入口，硬件之上需要配套的内容相互促进发展，内容则以VR 游戏、链游等元宇宙初级内容形态为主；其次，底层架构要开始发挥作用，新内容/场景的制作、生产、运行、

交互，依赖底层架构的大力升级（游戏引擎/工具集成平台等）；再次，随着底层架构的升级带动数据处理的量级大幅提升，后端基建与人工智能才能真正发挥大的功效；数据洪流下，即物理世界充分数字化后，人工智能的作用将越来越大，人工智能不仅依赖于底层架构与数字基建的完善，也非常依赖于内容与场景丰富的程度，此时 AI 将替代或辅助人去发挥建设性的作用，成为元宇宙中的核心生产要素；最后落脚到内容与场景，相较于其他板块，内容与场景的变数最大，元宇宙将会催生出远超我们当下所预期的新内容、新场景、新业态，重塑内容产业的规模与竞争格局；过程中有大量繁荣整个生态的技术、服务方，协同于每一轮轮动。基于上述判断，全球范围内，预计科技巨头们率先在硬件产业链、内容、底层架构上发力，继 2021、2022 年硬件入口、内容、底层架构的发力，2023 年后端基建、人工智能的加持下，有望真正迭代出爆款应用、场景、模式、内容，以匹配性能持续升级的各硬件入口；

- » 分布式垂类硬件中的人形机器人，核心仍然在于“基于现实世界的智能”，2023 年人形机器人的进展，核心仍取决于“智能”的实现程度；
- » 硬件入口 2023 年最大的变数，在于 Apple 的发力程度；人形机器人 2023 年的进展，也取决于特斯拉的推进速度。

此外，与硬件入口相匹配的内容、应用、场景等，我们认为 2023 年有望真正跑出有元宇宙部分“精气神”的爆款，但顺序可能先是应用、场景甚至是模式，最后才是真正的爆款内容出现。目前的内容、应用、场景，更多是基于“沉浸感”去做升级，而非真正创新性的。

## 10. 投资建议

本篇拆机报告，我们全拆解以襄助于市场对硬件入口的认知，目前各厂商均在探索各自的技术路径，产业链并未定型，但产业链的关键部位在于光学、显示与交互；根据我们对备战元宇宙投资的三个阶段的划分，当下仍处于第一阶段，即筛选的投资标的，标准只有一个——它有元宇宙（如硬件产业链）的相关业务。

图 119：元宇宙投资六大版图



资料来源：中译出版社《元宇宙大投资》，安信证券研究中心

回到元宇宙的整体性行情上，我们认为当下元宇宙行情再起，在 2021 年虚拟数字人、NFT、元宇宙的基础上，我们认为细分方向有望新增 Web 3、人形机器人、XR 硬件相关等，各方向相关标的在去年基础上会有明显的发散，但核心仍然在于弹性：

- 1) 2021 年的元宇宙行情，源于海外相关板块的映射效应；目前海外年初以来的调整正处于修复过程中，对国内元宇宙行情的启动有映射作用；
- 2) 2021 年的元宇宙行情，相关个股目前基本已调整回 2021 年 8 月份启动时的股价水平；
- 3) 2018 年以来的政策性调整（产业政策收紧、金融资本严格约束），有望推动产业出清以来的拐点；
- 4) 内容产业是供给决定需求的行业属性，新的计算平台、技术、机制有望带来新的内容、应用、场景、模式；
- 5) 二季度业绩预告，部分子方向相对靓丽。

关注标的：

1. NFT 与区块链：数码视讯、安妮股份、中文在线、平治信息、网达软件、光一科技、华媒控股、数字认证、捷成股份、视觉中国、三六零
2. 营销：立昂技术、天下秀、宣亚国际、蓝色光标、省广集团
3. 游戏：宝通科技、中文传媒、吉比特、中青宝
4. 影视广电教育等：新文化、幸福蓝海、广电网络、国联股份、中公教育、国新文化
5. 产业链：歌尔股份、共达电声、闻泰科技、国光电器、鹏鼎控股、兆威机电
6. 光学：苏大维格、远光软件、中光学、利亚德
7. 智能穿戴：合力泰、万祥科技、深天马 A
8. 3D 引擎：全志科技、乾照光电、北京君正
9. 3D 打印：银邦股份、亚太科技、蓝光发展
10. 人工智能：长安汽车、华西股份、科大讯飞、高乐股份
11. 脑机接口：冠昊生物、航天长峰、新智认知、浙大网新
12. 溢出效应：爱尔眼科
13. 港股：腾讯控股、网易、心动公司、百度

## 11. 风险提示

技术路径探索不成功的风险、市场推广不成功的风险、中美贸易战带来的产业链配套低于预期的风险、公司治理风险。

## ■ 行业评级体系

### 收益评级:

领先大市 — 未来 6 个月的投资收益率领先沪深 300 指数 10%以上;

同步大市 — 未来 6 个月的投资收益率与沪深 300 指数的变动幅度相差-10%至 10%;

落后大市 — 未来 6 个月的投资收益率落后沪深 300 指数 10%以上;

### 风险评级:

A — 正常风险, 未来 6 个月投资收益率的波动小于等于沪深 300 指数波动;

B — 较高风险, 未来 6 个月投资收益率的波动大于沪深 300 指数波动;

## ■ 分析师声明

本报告署名分析师声明, 本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格, 勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责, 保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据, 特此声明。

## ■ 本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

安信证券股份有限公司(以下简称“本公司”)经中国证券监督管理委员会核准, 取得证券投资咨询业务许可。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告, 是证券投资咨询业务的一种基本形式, 本公司可以对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析, 形成证券估值、投资评级等投资分析意见, 制作证券研究报告, 并向本公司的客户发布。

## ■ 免责声明

。本公司不会因  
为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。  
本报告基于已公开的资料或信息撰写，但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断，本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期，本公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时公开发布。同时，本公司有权对本报告所含信息在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准，如有需要，客户可以向本公司投资顾问进一步咨询。

在法律许可的情况下，本公司及所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务，提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，无论是否已经明示或暗示，本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。在任何情况下，本公司亦不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告版权仅为本公司所有，未经事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“安信证券股份有限公司研究中心”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

本报告的估值结果和分析结论是基于所预定的假设，并采用适当的估值方法和模型得出的，由于假设、估值方法和模型均存在一定的局限性，估值结果和分析结论也存在局限性，请谨慎使用。

安信证券股份有限公司对本声明条款具有惟一修改权和最终解释权。

### 安信证券研究中心

深圳市

地址：深圳市福田区福田街道福华一路119号安信金融大厦33楼

邮编：518026

上海市

地址：上海市虹口区东大名路638号国投大厦3层

邮编：200080

北京市

地址：北京市西城区阜成门北大街2号楼国投金融大厦15层

邮编：100034