

1

第 1 章

第 1 章

虚拟现实简介

计算机技术和硬件的高速发展推动电影、动画以及电子游戏产业的发展，使其内容制作流程不断优化完善、视觉特效技术日益精进，让更多人类想象的奇幻世界与超现实（如魔法效果）等得以实现。电影院 IMAX 巨幕和 3D 影厅、天文台或博物馆所采用的更广视角的穹顶环绕屏幕，增加了互动式机构装置来模拟情境的座椅，家用游戏主机振动的控制手柄，以及提升嗅觉感受的喷雾系统、环绕音效多声道等，都能尝试着去创造可以让人更为沉浸的虚拟世界。虚拟现实头戴式显示器再度冲击了世人的目光，身临其境的视觉震撼搭配 3D 环绕音效能让观众更深入地沉浸在虚幻的世界里。当戴上头戴式 VR 显示设备和耳机以后，人最常使用的接受外界信息的感官——视觉和听觉系统，与真实世界隔绝，使体验者仿佛身处另一个时空。这时体验者可以随意四处观看，如同在现实世界中的自然行为。VR 硬件设备的发展，提供了在视觉和听觉上可以说是目前最大化提升沉浸感的前沿技术。

1.1 虚拟现实技术应用范围

虚拟现实技术给人们带来的最大惊喜就是体验者终于可以进入幻想虚构的世界。除动画领域外，在其他领域应用虚拟仿真的主要目的就是用计算机模拟出真实世界的实际状况。图 1-1 所示就是将仿真模拟运用于军事航天领域的实例，其主要目标是让驾驶员能够通过模拟设备来进行仿真训练。虚拟现实头戴式显示器能够在视觉上提供更沉浸的模拟效果，让驾驶员通过模拟训练之后再行实机操作。



图 1-1 早在 1943 年时的飞行模拟训练系统“Link-Trainer”

医疗项目、工业仿真和应急推演的虚拟仿真都是基于此目的，因为要考虑真实应用的安全问题和仿真环境的重建。某些真实世界情境如果直接进行演练是极具危险性的，通过虚拟现实可以让受训人员在相对安全的状态下进行拟真操作和危机应对训练。

在商业空间展示领域运用虚拟仿真也非常适合。在房地产和室内设计领域，当建筑或室内装修处于设计阶段还未有实际建筑空间时，可以让客户通过虚拟现实来验证设计，如宜家（瑞典家具品牌）的 VR 体验。在教育领域，历史悠久的文物与古迹也能运用数字化技术重现甚至模拟其随时间流动的变化，其目的也是创造出尽可能仿真的场景，让体验者能够不受时间和空间的局限，直观地进行感受和欣赏。

相对来说，VR 在创造性工具领域的应用没有太多的案例，较为知名的即 Google 推出的 Tilt Brush，如图 1-2 所示。其运用粒子特效系统的条状发射器生成类似笔刷的样式，然后使用者佩戴头戴式显示器，手持控制器在虚拟空间中进行创作。不同于平面绘画，使用该工具创作的作品是以 3D 的形式存在的，创作者可以全方位地在虚拟空间中观察作品。虚幻引擎 4 也提供了利用 VR 来创作的模式，但不及常规的操作方式便捷和舒适。

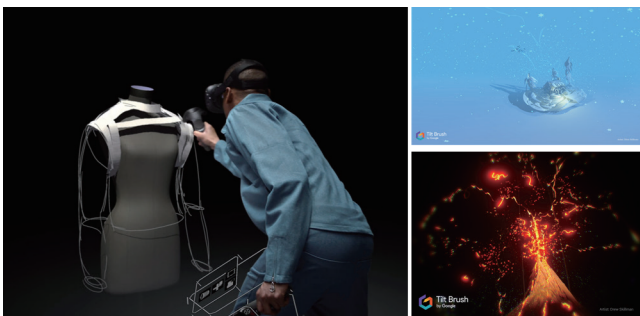


图 1-2 Google 推出的 Tilt Brush，以 VR 的方式来创作 3D 绘画

当然，最常见的应用还是更多地集中在娱乐产业。影视和游戏领域，除了创造具有艺术性的虚构的奇幻世界，或者还原真实世界场景，叙事性故事内容及娱乐交互体验是设计师的设计重点。当预判将体验的是影视或游戏类型的内容时，单纯的虚拟现实场景体验以及功能性的交互对用户来说是最基本的，他们更关注的是从内容体验到创作者想表达的故事或娱乐互动有趣与否。电影和动画目前在虚拟现实领域的挑战，主要是表达叙事性内容的基础镜头语言需要作出改变；娱乐游戏面对的问题则是面临设计的交互方式改变。VR 娱乐相关的作品或案例，皆可在 Steam 平台中找到，部分动画可免费欣赏，而交互类游戏则多为付费项目。

对于商业空间、教育体验、历史文化与古迹等配合交互设计制作的应用，其制作流程和交互设计思维都能够在娱乐产业中找到。前沿的技术和应用案例，大多需要通过实时渲染技术流程来实现，本书将以虚幻引擎作为教学使用引擎，对实时渲染技术流程进行基础介绍。

虚拟现实令人惊奇的虚拟环境给人强烈的沉浸感，让人置身于幻想的世界之中。这种体验并不是现今才有的，在很早以前，人们就已经尝试运用当时所能利用的技术或艺术手法来强化沉浸体验的视觉感受。下一节将探讨虚拟现实的历史发展脉络，回顾在没有计算机设备辅助模拟下，过去的艺术家们是如何展现和表达具有虚拟现实概念的沉浸空间的。

1.2 全景影像历史脉络

虚拟现实的概念可能不是近几年才出现或实现的，早在 18 世纪末，已有艺术家尝试将建筑与绘画相结合，呈现大尺度全景（Panorama）效果来增强观众欣赏画作时的沉浸感体验，其绘画结构形式与现代虚拟现实画面的结构相似，受限于计算机技术尚未问世，艺术家们运用了他们所拥有的传统技法实现了虚拟现

实的初步概念，所以虚拟现实发展历史的久远可能超乎我们的预期，如图 1-3 所示为建筑空间与大尺度全景绘画的结合，我们可以将其理解成早期没有计算机辅助和头戴式显示器装备时的一种沉浸式空间。

全景绘画

全景绘画（Panoramic Paintings）是一种展现大规模场景的艺术作品，通常来说，它以广泛、包罗万象的视角，揭示某种特定的题材，通常是风景、军事战斗或历史事件。根据《不列颠百科全书》（*Britannica*）的释义，全景作为一种视觉艺术，最为突出的特征是：（1）连续不断的叙事或场景；（2）作品能够环绕观者营造全面铺开的视觉特征，全景画的画面大多前后连接呈圆形，画面超出观者在固定视点的可视范围，因此在观看时往往需要改变视点才能欣赏全画；（3）以直接的方式绘制，类似于场景或戏剧绘画，为使观众有一种身临其境的感觉，全景画往往配以与主题有关的道具、模型，以及特殊的灯光、音响、旁白等。

全景绘画的出现始于 18 世纪晚期，19 世纪在欧洲和美国十分流行，是立体声和电影的前身，有学者认为它是全景电影的前身。早期的全景绘画在大型圆柱体墙壁上展出，最早的版本直径约 18 米，随着画面的不断拓宽，圆柱直径一度高达 40 米。观众站在圆柱体中心的平台上，通过不断转身，可以连续地观赏到所有情节。全景绘画通常与辅助设备共同使用，例如，使用间接照明，给观众一种错觉——光源似乎来自绘画本身，以增强被“包围”的效果。无论是观察视点的变化，还是辅助工具的使用，都是为了增加视觉所带来的沉浸感，使观众体会到“身临其境”的感觉，这种表现形式及背后的设计理念与现今流行的 VR 如出一辙。



图 1-3 通过建筑空间展示全景画

“全景”（Panorama）一词来自希腊语“pan”（全部）和“horama”（观点），是由爱尔兰画家罗伯特·巴克（Robert Barker）于 1792 年创造的，用来描述他在苏格兰爱丁堡圆柱形表面上的画作。1793 年，巴克将他的全景图搬到了莱斯特广场，如图 1-4 所示。展出所在的全景楼是世界上第一座专门建造的砖砌全景圆形大厅，由罗伯特·米歇尔（Robert Mitchell）所设计，如图 1-5 所示。巴克的全景画获得了巨大的成功，并催生了一系列令人“身临其境”的全景画。罗伯特·巴克的作品很快引起了伦敦艺术界的关注，并举办了一系列的全景画展览（1793 年至 1863 年），共计展出 126 幅全景画。另一位早期的全景绘画家是美国的约翰·范德林（John Vanderlyn），他于 1816 年至 1819 年创作的《凡尔赛宫和花园》（*The Palace and Gardens of Versailles*）在纽约的一座圆形建筑中持续展出至 1829 年。

在欧洲，全景画的题材大部分由历史事件和战争题材占据，最著名的当数俄罗斯画家弗朗茨·鲁博（Franz Roubaud）的作品《塞瓦斯托波尔围城战》，如图 1-6 所示。在这幅巨大的战役全景绘画中，描绘出了逼真的军事场景，拥有非常多的细节。



图 1-4 罗伯特·巴克于 1793 年在伦敦展出的全景绘画

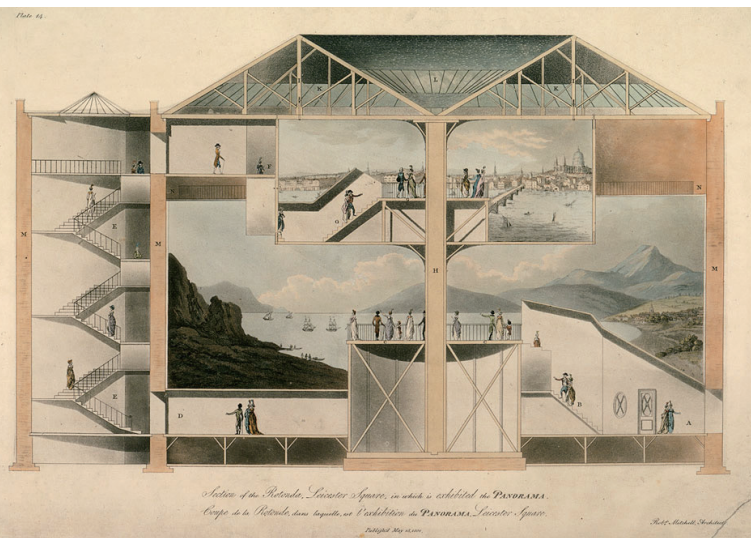


图 1-5 罗伯特·米歇尔全景画建筑设计剖面



(a)



(b)



(c)

图 1-6 《塞瓦斯托波尔围城战》

图 1-7 所示的《博罗季诺战役全景》画长 115 米、高 15 米，描绘了 1812 年 9 月 7 日在博罗金诺村附近发生的战斗，画中人物接近真实比例，栩栩如生。



(a)



(b)



(c)



(d)

图 1-7 《博罗季诺战役全景》

到了 19 世纪中期，全景绘画作为一种娱乐形式得到了广泛传播。这一时期的重要作品有亨利·菲利波托 (Henri Philippoteaux) 创作的《巴黎围城战》(Siege of Paris)，描绘了普法战争的宏大场面。保罗·菲利波托 (Paul Philippoteaux) 创作于 1883 年的《葛底斯堡战役》(The Battle of Gettysburg) 在美国数十个城市巡展。大多数欧洲主要城市都有专门举办全景绘画展的建筑物。这些固定的全景画在 19 世纪后不再受欢迎，尽管在美国经历了短暂的复兴。在这一时期，它们通常被称为大风景画幕或者圆形幻画 (Cyclorama)。伴随着全景绘画逐渐走向没落的，是全景摄影的兴起与冲击。

全景摄影概况

摄影技术的诞生给风景绘画和人物肖像画带来了相当大的冲击，而全景摄影（Panoramic Photograph）的技术也随之产生。全景摄影是一种摄影技术，使用专门的设备或软件，捕捉水平拉长的视野内的图像。它有时被称为宽式摄影（Wide Format Photography）。



图 1-8 摄于卢考特山顶，1864 年 2 月，乔治·N. 巴纳德

全景摄影的发展与欧洲现代化的进程紧密相关。事实上，摄影发明家之一的路易·达盖尔（Daguerre），其职业生涯始于制作流行的全景和立体画。在 1840 年前后，达盖尔摄影技术开始广泛地为更多人提供服务，主要用于拍摄城市内部建筑的图片，例如大型广场、大厅、纪念碑等。19 世纪晚期，欧洲一些重要城市迎来了“改造潮”，新城的改造必然面临对旧有建筑与街道的拆除，而摄影技术在古建筑和文化遗产等领域愈发受到欢迎，摄影的定位也从对绘画的辅助走向了更为广阔的场景。

使用需求的出现不断推进摄影技术的发展，已知最早的摄影技术可追溯到 1843 年，奥地利的约瑟夫·普格伯格（Joseph Puchberger）申请了手摇镜头全景摄影技术专利，该相机具有 8 英寸（8 英寸约为 203 毫米，1 英寸为 2.54 厘米）焦距的镜头，覆盖 150° 的景象，曝光在 19 英寸×24 英寸银版上成像，如图 1-9 所示；1844 年，德国的弗里德里希·冯·马滕斯（Friedrich von Martens）发明的全景摄影相机 The Megaskop，增加了固定齿轮结构，这部相机第一次采用了 4.7 英寸×15 英寸的曲面银版摄影工艺，使得其在摇摄时能够提供更稳定的速度，提高全景摄像的水平图像质量，奠定了全景摄影技术的基础；1851 年，英国雕刻家费德里科·斯科特·阿切尔（Fredrick Scott Archer）开创了湿版摄影工艺，The Megaskop 后继模型也升级成为湿版摄影工艺；1857 年，英国的 M. 加拉（M. Garella）获得了旋转摄影器材的专利，不仅镜头可以旋转，内部的感光片也可以与镜头反方向 360° 旋转；1862 年，约翰逊和哈里森（John R. Johnson and

虽然广角（Wide-angle）摄影和全景摄影之间没有正式的划分（“广角”通常是指一种镜头类型），但使用这种镜头类型并不一定使图像成为全景。用超广角鱼镜头拍摄的图像覆盖正常胶片帧（1:1.33）不会自动被视为全景，显示视场近似或大于人眼的图像可称为全景（图 1-8）。

John A. Harrison）全景摄像机采用了新技术，在 7 个平面胶合板上制作了一幅 110° 的视图。摄影师布劳恩（Braun）使用这款相机拍摄了 400 幅阿尔卑斯山的全景图片，并因其“出色的技术素质、云彩和空中效果”而广受赞誉。

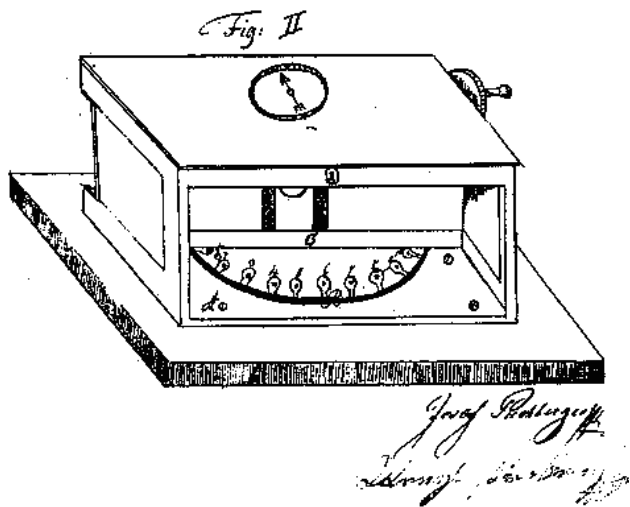


图 1-9 约瑟夫·普格伯格的手摇镜头全景相机，1843 年

1888 年，柔性胶片问世，全景摄影发生了革命性的发展。其中许多品牌代表了这个时代：Cylindrograph 摄像机（1884）、Kodak Panoram 摄像机（1899）、Wonder Panoramic 摄像机（1890），以及 Cyclo-Pan 70 摄像机（1970）。

全景摄影，以及后来的立体摄影（Stereophotographs），持续流行到 20 世纪 20 年代，同时它的应用领域也不断朝着大众娱乐的方向前进，比如著名的“凯

撒全景”（图 1-10），它为观众提供了一种“立体幻灯片”式的装置，来表演不同的故事与母题，但与之类似的装置能否被称为“全景摄影”仍然存疑，可以肯定的是，全景摄影开辟了一种全新的叙事模式，并将动态与场景呈现更加紧密地联系在一起，为后来的全景电影，以及 VR 技术奠定了核心基础。



图 1-10 凯撒全景（Kaiser-Panorama in prater），1900 年

全景摄影现代阶段

以卡尔·雷根斯伯格（Karl Regensburger）为代表的学者将过去 50 余年视为全景摄影的现代发展阶段，这一阶段的重要特征是全景摄影技术更加细化，出现了不同类型的设备及对应的摄影方法。摄影技术的细分是该项技术走向成熟的标志之一，也为后续的数码摄影铺垫了道路。根据摄影机镜头旋转方式及角度范围，现代全景摄影机大致可分为以下 3 种类型：摆动镜头摄影机（Cameras with Swing Lens）、自由旋转摄影机（Freely Rotating Cameras）和鱼眼摄影机（Cameras with Spherical Lens）。

摆动镜头摄影机（Cameras with Swing Lens）：具有固定的摆动角度，摄影机的薄膜被放置在圆柱形表面，并通过一个小缝隙曝光，视野受镜头和固定胶片有限摆动角度的限制。1926 年，伊士曼柯达公司宣布推出“3A 柯达全景摄影机”（图 1-11），于 1926 年获得威廉·里德尔（William A. Riddell）的专利。1930 年，著名的德国莱卡设计师奥斯卡·巴内克（Oscar Barneck）制作了一个摆动镜头原型为 35 毫米的全景相机。

自由旋转摄影机（Freely Rotating Cameras）：原理是使用某种电机装置旋转摄像机，使胶片同步移动，可以实现 360° 或以上角度的成像。1931 年，No. 6 Charcot Camera 相机由罗切斯特的福尔默·格拉夫雷克斯（Folmer Graflex of Rochester）投入生产，该相机能够在 6 英寸胶卷上拍摄 360° 的图像。

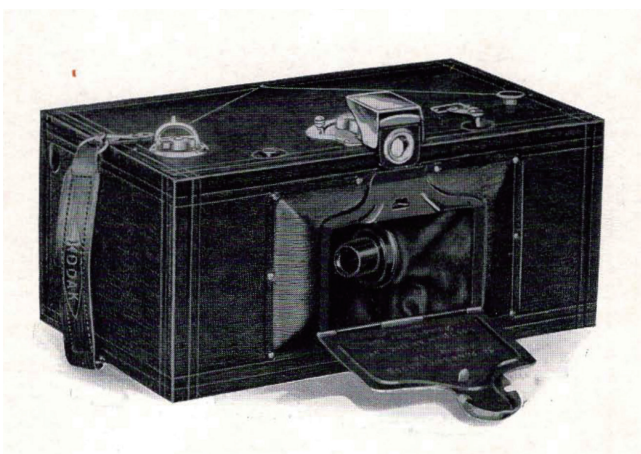


图 1-11 3A 柯达全景摄影机

鱼眼摄影机（Cameras with Spherical Lens）：配备球形鱼眼镜头的摄像机可以实现全景拍摄且无须任何扫描过程，这些摄像机可以在移动的车辆上应用。这种摄影镜头的前镜片呈抛物状向镜头前部凸出，与鱼的眼睛颇为相似，因此得名“鱼眼镜头”。鱼眼镜头属于超广角镜头中的一种特殊镜头，它的视角力求达到或超出人眼所能看到的范围。鱼眼镜头在接近被摄物拍摄时能造成非常强烈的透视效果，强调被摄物近大远小的对比。

20 世纪初，随着现代化科技水平的快速提升，全景摄影与其他科技的结合产生了全新的应用发展，例如，航空摄影在技术理论上有了可能，然而摄影胶片的材料不能支持该项技术，呈现效果也不尽如人意。因此，在 20 世纪初，第一批摄像机被开发出来，由一些圆形排列的镜头组成，以扩大相机视角。1904 年前后，奥地利的希奥多·莎姆禄格（Theodor Scheimpflug）制造了一台相机，由 7 个斜镜头围绕一个中央镜头组成，可以在热气球上进行航拍。拍摄获得的图像可以通过一个特殊的校正仪器转换成中央投影的照片。

在第二次世界大战期间和随后的几十年里，超广角全景相机技术发展迅速，特别是用于侦察目的和小规模测量的摄像机。在 20 世纪 50 年代至 60 年代，扫描式摄影机问世，它可以沿着观测方向对广阔的视野进行成像。摄影与摄像技术在“二战”后呈集中迸发的态势，一系列新技术的实现为电视、电影等动态视觉艺术提供了可能，从而对 20 世纪的大众文化及娱乐产业产生了极为深刻的影响。

数码全景摄影阶段

数码全景相机自 1990 年前后开始上市，随后数字全景图像得到广泛普及。使用数码摄影制作全景照片最常见的方法，是拍摄一系列照片拼接在一起。它主

要有两种类型：主要用于静止摄影的圆柱形全景图和用于虚拟现实图像的球形全景图。细分全景，也称为拼接全景，通过将多个照片与稍微重叠的视野连接在一起，创建全景图像。这种拼接式的拍摄理念在艺术领域找到了自己的一席之地。1954年，铃木吉子在日本建筑书籍《银座、川岛、银座哈乔》中，制作了东京银座街每栋建筑的手风琴折叠全景图。1966年，爱德华·约瑟夫·鲁斯查四世（Edward Joseph Ruscha IV）从一辆小货车的后部连续拍摄建筑物外墙，沿街行驶4千米，形成一组照片作品《日落大道上的每栋建筑》（*Every Building on the Sunset Strip*）。作者以长条的形式在一本折叠式书籍中出版了这组作品，意在从一端或另一端看拍摄街道的两面。

艺术家大卫·霍克尼（David Hockney）也为拼接技术做出了重要贡献，他的作品呈现出人类主观的观察视角，后来他将这种蒙太奇剪辑方式称为“拼接”（Joiners）。他最著名的拼接作品是盖蒂博物馆的《皮尔布洛森公路》（*Pearblossom Highway*）。艺术家扬·迪贝茨（Jan Dibbets）的《荷兰山系列》（1971）依靠全景序列的拼接来制作荷兰海滨的一座山，营造一种全新的艺术风格。

在近20年内，高分辨率和图像精度对于数字全景相机的摄影使用至关重要，数种新型工具和数学解决方案的提出，再次提高了数码全景摄影的精度，卓越的彩色图像质量再一次扩大了数码全景摄影的应用领域，也为AR、VR等技术提供了核心技术支持。单张数码照片就可获得准确的全景图，专业数码相机的像素可高达4000像素×4000像素，其通过标准方法校准和定位，可为圆柱形或球形全景图像的精确重新采样提供必要的几何信息。关键技术的发展指向了更新

的方向——3D扫描与成像。三维激光扫描技术的最新发展表明，三维传感器与成像设备具有深度结合的潜力。

小结

在过去，通过建筑空间的大尺度环绕绘画，以及使用全景摄像技术来表现虚拟现实的内容创作形式，都是让人们在圆柱体、半球体、球体的空间里自由观看全景影像来营造沉浸式体验。随着技术的发展，人们也依循相似的概念，利用计算机和硬件的发展，制造了虚拟现实的头戴式设备，将自身视觉隔离在外界，沉浸感更是得到极大的提升。虚拟现实技术早在20世纪中期，计算机还未走入大众消费品行列的年代，就已经具备了雏形并延续至今，下一节将介绍其发展脉络。

1.3 虚拟现实硬件发展简介

或许许多人都听过2016年是VR的元年，但是虚拟现实技术的发展却不是这个世纪才开始的，它早就已经有了非常基础的雏形设计。大致可以将其分成两个发展阶段。1968年之前为技术萌芽期，许多概念设计和相关技术都在此前就已经有了研究基础。1987年后正式确立了虚拟现实（Virtual Reality）这一名词，也迎来了第一次消费级虚拟现实设备的市场发展，但是遭遇到了技术瓶颈，再次沉寂，如图1-12所示。直到2010年之后，技术持续加速发展，使得虚拟现实得以再次走入消费市场，而这次也让更多的群众认识和体验了虚拟现实技术带来的冲击。

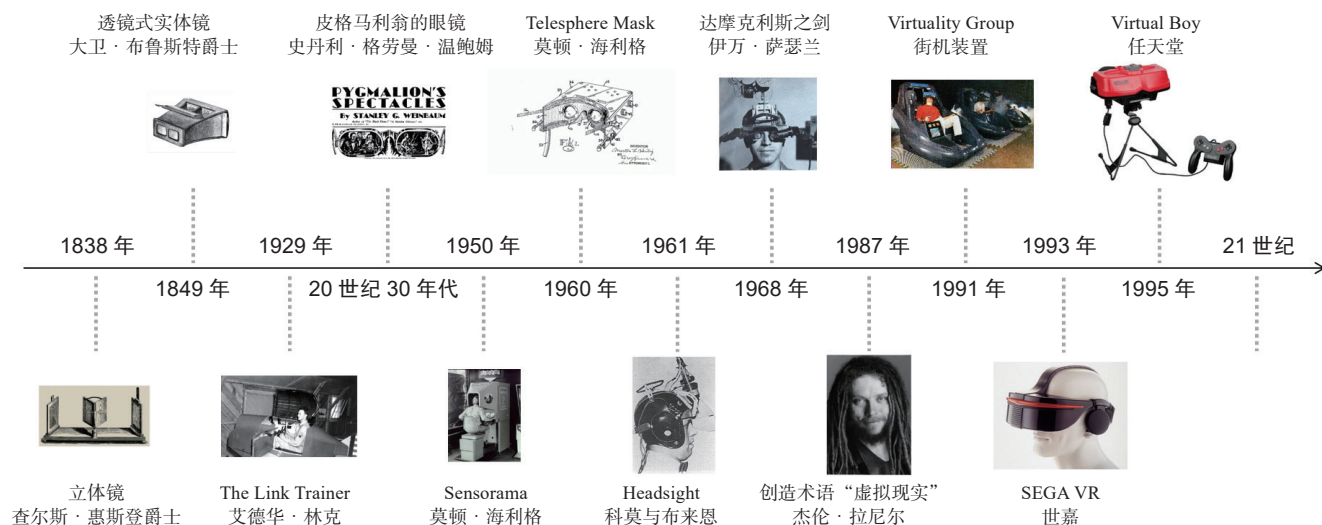


图 1-12 VR 技术和设备早期历史发展时间表

VR 硬件技术早期阶段

虚拟现实硬件的发展，可以追溯至立体成像时期，1838年，英国著名的科学家与发明家查尔斯·惠斯登爵士（Sir Charles Wheatstone），研究发现人类大脑通过左右眼不同角度的图像来构成物体在三维空间的表现（图 1-13）。

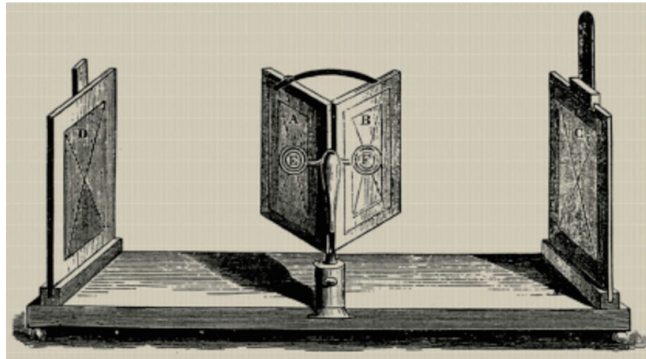


图 1-13 查尔斯·惠斯登立体镜设计

1849年，数学、物理、天文等多重领域的学者苏格兰的大卫·布鲁斯特爵士（Sir David Brewster），改良了简易手持的透视立体镜，现代的 Google 的简易纸板 VR 眼镜和低成本适用于手机的 VR 头戴式显示器就是运用此原理设计的（图 1-14）。



图 1-14 现代低成本的纸盒版虚拟现实立体成像原理
源自于 1849 年

1930年，一位科幻小说家史丹利·格劳曼·温鲍姆（Stanley G. Weinbaum）创作了一部小说《皮格马利翁的眼镜》（*Pygmalion's Spectacles*），想象通过戴上类似护目镜的设备进入一个虚拟的世界，这已经有了现代虚拟现实的概念。1957年，影像创作家莫顿·海利格（Morton Heilig）设计的 Sensorama（1962年申请专利）被认为是最早具有沉浸感和多模式交互装置（Multimodal Interaction）的机器设备，具备视觉、听觉、触觉（座椅震动、风扇）等多感官体验，整体更像是现代 4D 多感街机，可以说是现代虚拟现实的先驱。此外，他还设计了名为 Telesphere Mask 的头戴式装备，如图 1-15 所示。

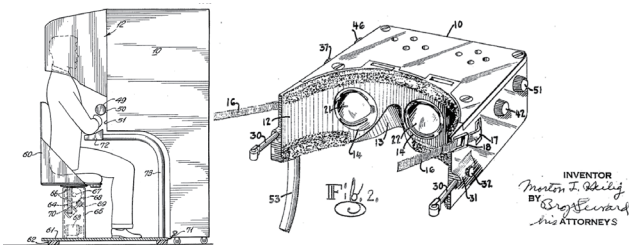


图 1-15 莫顿·海利格设计的 Sensorama（左）
和 Telesphere Mask（右）

1961年，科莫（Comeau）与布莱恩（Bryan）两位工程师开发了名为 Headsight 的头戴式显示器装备，将远程摄像头的影像投射到眼前的屏幕，并通过磁定位系统来追踪头部运动。此设备是开发给军方，用于远距离观察的一套设备，通过摄像头传输影像，没有与计算机整合，并不是为虚拟现实开发的，但是头部追踪的技术却也让 VR 头戴式显示器有了进一步的发展。

1968年，伊凡·萨瑟兰（Ivan Sutherland）在学生鲍勃·斯普劳尔（Bob Sproull）的帮助下创造了被认为是第一个虚拟现实头盔的显示器，为其命名“达摩克利斯之剑”（The Sword of Damocles）。在此之前，1965年，伊凡·萨瑟兰（Ivan Sutherland）就在《终极显示》（*The Ultimate Display*）报告中提出了由计算机模拟真实世界的概念，认为通过头戴式显示器、立体声响系统与触觉反馈，可以在计算机构建的虚拟世界观察，也提到了计算机硬件能够实时构建和维护虚拟世界。近年来，实时渲染技术在电子游戏产业的发展越来越接近离线渲染的视觉效果，这对于在虚拟现实构建真实视觉感有极大的作用。他还提出了用户能以真实世界的自然交互行为与虚拟世界的物件交互，这些概念可以说就是如今虚拟现实的基本要素。

该领域在之前所有进程中一直没有形成特定的描述性名词。直到 1987 年，Visual Programming Lab（VPL）的创始人杰伦·拉尼尔（Jaron Lanier）提出了术语“虚拟现实”，这一切都发生了变化，虚拟现实研究领域有了专属名词。VPL 也是第一个贩售 VR 相关设备的公司，如图 1-16 所示，至此虚拟现实触觉领域有了重大发展。

1991年，Virtuality Group Arcade Machines 开始让虚拟现实走进大众视野，还实现了多人连线的游戏交互体验。至今 VR 基础设备依然只能提供视觉和听觉的极佳沉浸感，要提升多维沉浸交互体验，还得依靠其他机件设备的模拟，所以着重硬件体感交互的街机（Arcade Game）在 VR 的应用上更能体现多维沉浸感。



图 1-16 Visual Programming Lab (VPL) VR 销售相关设备

同年，美国世嘉（SEGA）宣布开发的头戴式 VR 显示器名为 Sega VR。它使用液晶显示屏，配备立体声耳机，同时还拥有头盔追踪技术来追踪用户的头部移动。直到 1993 年，才在该年消费电子展（CES）亮相。不过它后续因为开发问题没有正式发布。当时美国世嘉的首席执行官汤姆·卡林斯克（Tom Kalinske）表示，解决不了戴上 VR 设备导致的严重晕眩和头痛等问题，所以在 1994 年就终止了开发计划。不过日本世嘉与 Virtuality Group 通过合作开发了另一个虚拟现实设备，名为 Mega Visor Display，被运用在日本世嘉旗舰 Joypolis 室内主题公园、伦敦世嘉世界和悉尼世嘉世界的 VR-1。

1995 年，任天堂公司发布 VR 头戴式显示器 Virtual Boy（图 1-17），这是有史以来第一个可以显示真正 3D 图形的便携式头戴显示器，基于 1985 年美国 Reflection 科技有限公司开发出的一种基于扫描线性阵列的红色 LED 目镜显示技术，但是受限于当时的技术，只能呈现单色。当时的硬件和计算机图形技术无法跟上这种超越时代的概念产品，由于没有相对优质的内容，成本又过于昂贵，没能使消费者产生购买该设备的欲望，该产品最终以失败收场。



图 1-17 1995 年任天堂公司发布的 VR 产品 Virtual Boy

法国的新媒体艺术家和理论家莫里斯·贝纳永（Maurice Benayoun）的作品通常采用各种当代新技术，包括视频、虚拟现实、网络、无线技术、表演、大型城市艺术装置和互动展览。《大西洋底隧道》（*The Tunnel Under The Atlantic*，图 1-18）创作于 1995 年。这是一个远程通信结合虚拟现实的项目，此项目同时在巴黎的庞毕度中心（Centre Georges Pompidou）和蒙特利尔的当代美术馆（Musée d'Art Contemporain）展出，相隔大西洋两岸的观众通过网络技术在通过虚拟现实设备和计算机技术建构的环境中相遇和交互，这在 1995 年是超越当时普遍技术的，是第一个洲际虚拟现实作品。



图 1-18 1995 年新媒体艺术作品，《大西洋底隧道》
（*The Tunnel Under The Atlantic*）

VR 技术设备于 21 世纪的发展

2012 年 Oculus 公司成立，使 VR 再次受到世人的关注。2014 年被 Facebook 以巨额资金收购之后，VR 开启了新的浪潮。Oculus 2016 年 3 月 28 日正式推出 VR 头戴式显示器，而 HTC Vive 也紧接着在同年 4 月 5 日正式销售 VR 头戴式显示器。这两款设备可以说是当时最为专业且适合 PC 端用户的 VR 头戴式显示器。2016 年 10 月 13 日，索尼互动娱乐所研发的 PlayStation VR 也正式推出，不同于前两者，它是针对索尼 PlayStation 4 游戏主机开发配对应用的。相较于前两者，索尼的 VR 设备在视觉呈现上因为需要降低成本显得有所不足，但是购买整套 PlayStation 家用主机即含自带的 VR 设备，其价格对于消费者来说更具有优势。Oculus 和 HTC Vive 针对 PC 端用户，一方面，高性能、高画质的 VR 设备自身价格不菲，另一方面，要推动 VR 的 PC 端设备要求也相对提高，其中单一中高阶显卡价格就几乎与 VR 设备相当。如图 1-19 所示为 2010 年后 VR 硬件设备的发展概况。

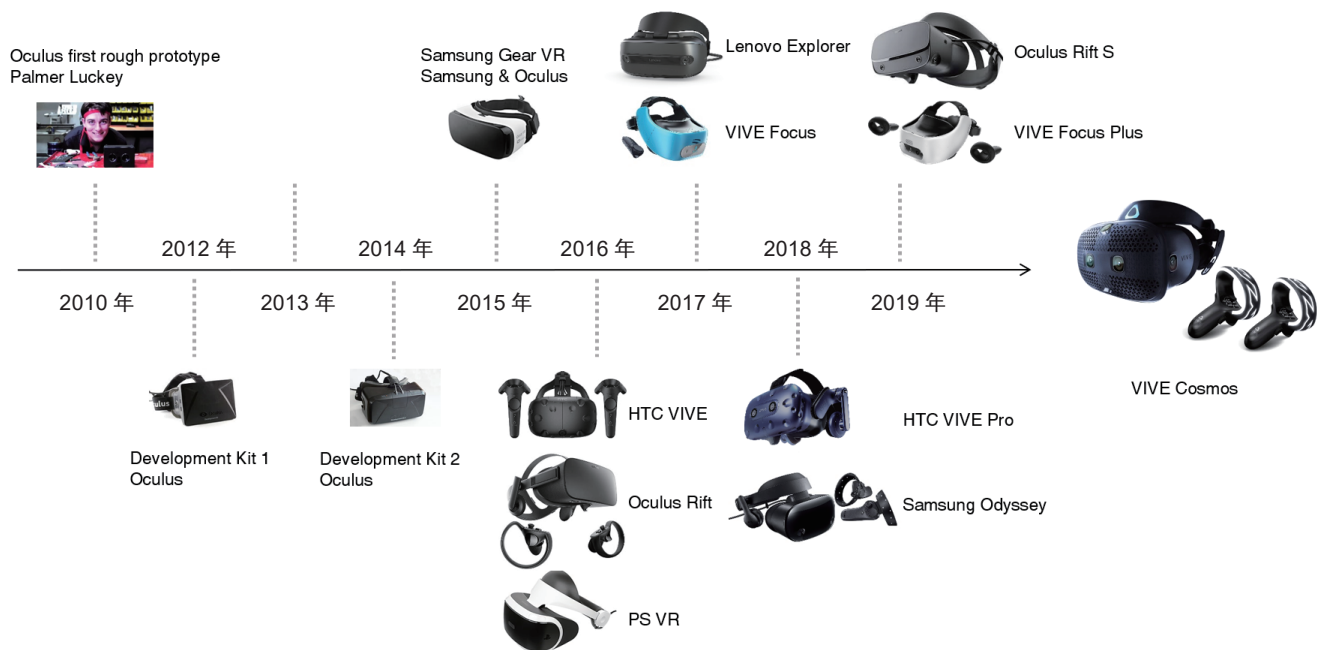


图 1-19 VR 技术设备 21 世纪后发展时间表

为什么 VR 能在这次浪潮中成功在消费市场普及？关键原因就在于计算机图像技术和硬件设备发展已经达到足以让 VR 呈现的内容更丰富的水平。Oculus 在发布消费者机型之前就开发了许多原型机，公开展示了 5 款，其中 2 款原型机部分公开贩售，作为开发工具包提供给第三方内容开发者。这样在消费者机型正式发布时就能有相应的内容来支持硬件设备的销售。PlayStation VR 适配其 PlayStation 4 主机，间接降低了 VR 所需的计算机主机预算（VR 头戴式显示器对于运行环境硬件有一定的要求），再加上 Sony 本就拥有众多第三方内容开发商支持，也能为其 VR 设备提供良好的支持基数。Facebook 对 Oculus 的重大投资对于资本市场的刺激，也让 VR 相关产业瞬间上升到风口浪尖。

随着手机、平板计算机等移动装置的普及发展，因其轻便易携的特质，以及其体量庞大的用户族群，内容开发厂商相继转移和拓展至移动装置平台开发。VR 设备也因此推出可携带轻便类型，如 2015 年 11 月 27 日发布的 Samsung Gear VR，但是只能与其旗下的 Samsung Galaxy 系列手机配对。而在 2017 年底，Oculus 和 HTC 更是相继发布了 VR 一体机，性能相当于高阶手机，优势在于不需要与 PC 和手机等设备连接就能体验 VR。VR 一体机非常适合开发虚拟影院播放传统形式的影视内容，以及 360° 全景式影片。若从游戏开发角度分析，移动端手机游戏的优势在于随手拿起就能游玩的方便性，以及随时能中断的自由度，能灵活运用于碎片化时间。VR 一体机则是遵循高度

专注和沉浸式的行为模式，更受限其硬件效能和操作，不如 PC 端的高阶 VR 设备体验感好。2021 年以后，Facebook 将企业品牌重塑，更名为 Meta，Oculus 也相继更名为 Meta Quest，不再研发和销售 PC 端的 VR 产品，而是将产品全部投入 VR 一体机 Meta Quest2。目前 VR 头戴式显示设备还在持续进化发展，这里不再赘述。

小结

虚拟现实硬件的发展，在 19 世纪末至 20 世纪 70 年代打下研究基础，到了 1987 年正式有了“虚拟现实”一词，使得此领域成为专业领域，虚拟现实也从此开始转向大众消费市场。虽然历经失败，但无疑为 21 世纪以后其良好的发展奠定了基础，也让其在 2016 年再次进入大众视野，直到现在。而伊凡·萨瑟兰（Ivan Sutherland）提出的虚拟现实通过计算机技术构建虚拟世界的未来发展概念也极具远见，即现今的实时渲染技术概念。想要拥有丰富的交互体验，需要借助游戏产业多年的技术发展和实践案例。360° 全景摄影作为虚拟现实影像的轻体验带来了不同于平面摄影的感受，例如体育赛事项目、新形态的叙事影像，这些内容创作借由虚拟现实技术带给人更强烈的沉浸感，同时也带来了创作开发的新困难。虚拟现实技术目前在视（听）觉上能够提供最大限度的沉浸感，但是还存在许多尚未克服的技术困难，交互行为还无法达到理想的状态。这些问题更多的是创作开发过程中需要

考虑的，消费者和观众更关注的是体验效果，只有创作者势必会面对和需要解决问题或取舍设计方案。下一节我们试着探讨 VR 技术特性对创作叙事作品和交互体验的影响。

1.4 VR 技术特性对创作叙事作品的影响

关于 VR 特性对于叙事作品的影响，可将讨论界定在讲故事 (Storytelling)，因为叙事学领域非常广泛，而这里更着重于叙事艺术的美学，有着可识别的开头、中间、结尾，还有连贯的阐述、发展、冲突、结局的情节线，以及时间性的特征等。本节更倾向于对创作或设计者可能面临的 VR 技术特性如何影响讲故事的表现方式，在设计和创作上可能遇到的问题的探讨。

VR 视觉维度——全景视频与计算机实时渲染技术差异

目前，传统影视（包括动画）在 VR 虚拟现实领域的主要发展方向就是 360° 全景影像。现在的电影艺术通过导演使用的镜头语言，呈现了近乎真实的场景，虽然受到屏幕框架的限制，但是观众对所看到的画面的真实性是满足的。影视叙事作品（不考虑故事内容非线性、时间穿插倒序等）通常是时间线性的推进，而 360° 全景拍摄增加了更多对故事剧情发展没有帮助的画面，影响了观众的注意力，又要求观众专注某个角度才能欣赏故事内容，且基于离线渲染影片格式，除了通过外部程序操作切换播放另一段影片，没有其他与内容交互的解决方案。360° 拍摄的难度与成本高，多线程剧情的交互式电影从成本预算角度来看并不现实。

360° 全景式影像类似于将影像包裹在体验者周围播放，影片基本就是连续的平面影像，其优势在于拍摄 4K 以上和离线渲染动画的视觉效果时可以做得非常精致，而且影片播放对于 VR 设备硬件要求不算高，一体机和手机性能均可以负荷。不过就空间感来说，尽管目前 3D 电影的技术可以增加立体感，但不能实现随用户观看时在空间中的移动而产生空间变化，因此仍达不到实时渲染 3D 的实际空间感。

风景类的体验就是单纯的视听场景感受，而体育类可以让体验者宛如置身现场观看比赛。体验者自己就会去关注比赛内容，而且一般比赛中间都会有休息或暂停时段，可以让体验者有时间去感受其他视角，

况且一般运动赛事错过某些片段是不影响体验者对于比赛的理解和感受的，观众在关键的胜负时刻自己也会去关注，体验者不需要通过特殊的镜头语言来感受一个故事，与讲故事类的单线程是有区别的。360° 全景式影像适合纪录片、风景类及体育赛事转播，讲故事类型的作品可以但其实不太需要运用全景式影片来表达，其叙事艺术的发展已经完善，不易被 360° 全景式影像的形式给取代。目前 VR 相关的影视产业尚在发展中。

利用实时渲染技术构建的 3D 虚拟世界，戴上 VR 头盔显示器所看到的空间感、深度感更能带给体验者真实的空间感受，原因在于当体验者戴上头盔显示器，处于实时渲染虚拟 3D 世界时，其本身在计算机运算中确实处于三维空间坐标里的一个位置。假设三维空间里有一个物件与体验者在虚拟空间里的相对位置距离 1 米，体验者可以通过真实地移动改变自身坐标位移 1 米接近该物件；又如，同样一个由计算机构建的三维空间，里面设置了可以用于判断自身相对位置的 3D 物件当作参照物，体验者自主改变自身的位置，会发现物件并不随着体验者改变位置而跟着改变自身的坐标位置，空间距离感与真实世界双眼所建立的是吻合的，所以要在虚拟现实达到如在真实世界般的沉浸感，必须使用由计算机实时渲染技术运算描绘出来的结果。只有这样，在严格意义上才算是体验者真正处于虚拟世界。

目前基于实时渲染开发的 VR 内容不足的地方在于其视觉表现并没有让多数人觉得更有真实感。伴随着硬件效能提升，计算机图形实时渲染技术大幅提高，基于平面屏幕开发的 3A 级游戏视觉效果已经逼近离线渲染效果。不同用户对于视觉效果程度上的认知存在差异，时常玩计算机游戏的玩家和开发者们接触的虚拟画面从最早期的 3D 技术起步时代一直到现代，每年实时渲染技术领域在视觉效果方面的突破，玩家们都能将之与上一代作品做出比较，从而感受到计算机图形发展的进步，所以对于实时渲染技术的视觉效果更为宽容。而较少或没接触过游戏的其他群体，对于 3D 真实感的要求反而更高，如果没有达到电影级别的 3D 渲染或是由摄像机拍摄的真实世界实拍感，他们就认为不真实。这种认知上的差异，导致部分群体眼中只有将运用摄像机拍摄的 360° 全景影片加上叠层处理出立体感才是虚拟现实，且视觉效果的好坏只由影像的分辨率解析度而决定。

基于平面屏幕的 3A 游戏能呈现出非常好的视觉效果，却无法将它的制作方式运用在 VR 头戴式显示

器游戏制作。最大的原因在于同样的资源，在 VR 头盔显示器里呈现需要消耗更高的运算力，而且与看平面屏幕相比，体验 VR 可以在更近的距离观察到细节，需要更多的资源提升像素来维持视觉效果，其所需的效能更难以支撑，对计算机硬件设备要求就会非常高，超出一般消费者能承受的范围。所以，目前实时渲染开发的内容，都必须以降低视觉效果品质或艺术风格化来维持效能，避免 FPS 不稳定，令用户产生晕眩感，也避免过高的硬件需求让消费者受众群变得非常小，这是目前实时渲染技术开发 VR 内容在视觉上的难题。如表 1-1 所示为全景式 VR 与实时渲染 VR 的差异。

表 1-1 全景式 VR 与实时渲染 VR 的差异

摄影 / 离线渲染与实时渲染 VR 的优劣	
360° 全景式 VR 的优缺点	实时渲染技术 VR 的优缺点
优势	
拍摄和预渲染动画的视觉效果，4K 以上，可以做得非常精致	计算机运算出三维空间的深度，空间感更符合真实世界的视觉认知
影片播放对 VR 设备硬件要求不算高，一体机和手机效能负荷尚可	体验者可以任意移动，于虚拟现实空间里改变观察位置
网页支持 360° 视频播放，内容便于传播	可以实现更多、更复杂的交互行为
体验成本相对较低，移动式头显即可	—
劣势	
鱼眼效果，画面容易产生拉扯变形，接图处也可能产生接缝线，不过更先进的算法可以解决	受限于硬件效能，提升视觉效果较困难，必须降低视觉效果品质或艺术风格化来维持效能，避免造成 FPS 不稳定，令用户产生晕眩感
只有头部旋转，没有位移	体验所需设备成本高（VR 头显，计算机、空间环境）
360° 拍摄的难度与成本都增高	—

基于 VR 创作而受限制于 VR 特性

目前基于 VR 技术创作影像类作品或游戏交互类作品尚有必须妥协和无法解决的地方。影视类讲故事类型的作品在 VR 特性下完全改变了镜头语言和制作方法；游戏类作品则是在交互设计方面遇到了难题，解决方案只有限制住观众的行为。如果没有外接设备（头盔无线、手套或手部追踪、滑步机等），除了视觉

和听觉，VR 无法实现模拟真实的其他感知体验，只能通过其他方式来进行交互，或者在设计之初就排除该功能。

以影视类（例如叙事动画）的 VR 创作来说，由于虚拟现实世界是全景开放的空间，体验者可以任意选择观看视角和方向，因此遵循时间为基准的叙事型作品就需要策略来引导体验者看向正确的视角方向。例如，有人指出可以运用灯光设计强调该观看的方向，弱化其周围的明暗，又或者利用声音方位来提示体验者。但是这些方法其实只能在特殊情况下符合剧情需要的合理运用。叙事型 VR 作品需要不断引导观众关注故事的发展，这是由于传统电影或动画本身的特征，即通过连续性的镜头推动情节，不需要用户进行介入，更适合群体在相同时空下的静态观赏。虚拟现实体验和某些类型的游戏具有相同的性质，都偏向个人实际体验感受，而用户更希望能够代入自身进入故事，也期待自己能够对剧情产生影响，如同游玩注重剧情的角色扮演游戏。这类游戏发展早已自成一派，运用碎片化剧情加上交互体验的模式来讲故事。玩家们并不会因为这样而觉得脱离了故事，交互体验让体验者有了培养自己角色、使之成长的过程，可以慢慢地去发掘故事，或享受其他所谓的支线故事。虚拟现实的特性更适配这种需要用户主动触发推进剧情的叙事方式，让体验者们自由决定什么时候专注体验故事，什么时候想要探索环境，创作者们不用担心这样会让观众脱离剧情感受。角色扮演游戏的叙事模式足以证明，片段式剧情和娱乐性的交互并不影响体验者对于故事的理解和沉浸感受。

游戏交互类 VR 创作遇到的最大问题，就是移动方式。如果能将真实行走转化为移动操作，可以让体验者在虚拟现实世界中提升体验感。但体力消耗也是一个问题，一般游戏用户可以长时间坐在屏幕前体验，而真实体感游戏造成的体力消耗成了 VR 游戏用户的障碍。大部分用户不是奔着燃烧脂肪健身的预期去游玩游戏的，尤其在需要加购额外设备才能得到完整体验的情况下。这对消费者来说是非常大的消费动机阻碍，目前高阶 VR 设备一般只包含感应侦测器、操作手柄和控制器，搭配计算机硬件后，整体价格不是一般消费者愿意和能够承受的，所以目前还是得在操作手柄和控制器上去解决交互问题。

通过控制器操作目前有两种方案：一种是选定位置瞬间传送，另一种是持续移动。瞬间传送能够有效地解决 VR 的 3D 晕眩，但是会破坏沉浸感，甚至限制创作题材。而持续移动能够维持一定的沉浸感体验，

而且持续移动的操作方式符合大部分题材类型，缺点就是持续移动所带来的晕眩感非常强烈。两种方式各有优缺点，当然对轻度用户来说，在体验感上（并非指沉浸感，而是生理反应）或许选定位置然后瞬间移动更适合，毕竟 VR 带来的强烈晕眩感是非常难受的。2020 年 3 月，Valve 发布 Half-Life: Alyx，在移动模式中，除了目前最常见的两种方法，其还综合运用了两种特性，将位置传送的过程保留（非瞬间移动），以极快的速度到达指定位置作为第三种移动模式。

VR 影视和游戏——交互需求性探讨

交互是人与计算机之间的沟通方式，用户通过键盘、鼠标、操作手柄控制器、麦克风收音、摄像头、红外按感应等装置来与计算机传递信息，计算机再回传视觉、听觉等信息给用户。从广义角度来说，自然交互更贴近于人在现实世界的常态行为，如用手拿起一个物件、与人对话、眼睛观看接收信息，以及听觉、嗅觉和触觉等，对于 VR 内容的本能交互需求，目前在视觉和听觉上已经突破了界限，但是其他的自然交互如自然语言、嗅觉、触觉等距离满足需求还是非常遥远的。

有些人把手势操作也当作自然交互，其实手势操作并不自然，少数常用且自然的手势不能满足更多、更复杂的指令输入。所以设计师又设计了他们认为较为自然的手势，训练用户去记忆、熟练和习惯。而用户记忆复杂的动作手势除了不容易熟练外操作还费力，且计算机还得识别手势精准度。曾经风靡一时的体感类游戏就是因在设计交互设计时有更大的题材限制，游戏开发商和设计师难以发挥，不再对此领域投入更多精力，而就此沉寂没落。但是，现在 VR 却拥有着体感交互的自然需求，在目前的设备中，除了 Valve 推出的 Valve Index 的手柄控制器等少数设备自带手指侦测，其余设备可能都需要额外加购第三方手套之类的设备才能实现。

对于传统影视作品，观众已经习惯坐在舒适的椅子上，专注于眼前屏幕里的画面来感受与接收创作者所要传达的信息或故事，观众不用也不需要其他交互操作，只是单纯进行视听享受。导演设计的每个镜头语言已经将最重要的信息浓缩在屏幕里，会被切出的信息都是他们觉得不会影响观众感受的，而 VR 会把这些会干扰的信息全部还原回来。如果多余的信息对剧情画面所要呈现的张力会造成影响，又为何要执着地使用 VR 全景式主观视角来呈现作品呢？或许 VR 能为某些特殊类型的影视题材提供更好的效果。电影

和动画都是通过导演设计和想呈现的画面来讲故事的，经过长年发展这些形式已经有了自己的艺术语言，影视作品如同文学作品，由作者创造一个世界，塑造许多角色，然后讲一个我们感兴趣的故事。虽然观众观看影视与文学作品时，都是被动地接收作者通过故事传达的自我理念与观点，无法改变剧情发展，但每个人对于作品的理解与想象已形成了个人化、差异性的解读。当提及看一场电影或动画时，就是预设能在两小时左右的时间内好好享受即将欣赏到的作品，感受导演怎样通过视觉效果和精心设计的镜头来说好一个故事，专注于眼前的艺术作品。VR 不会影响或改变电影/动画目前的艺术呈现形式，就像电影和动画不会取代文学作品作为叙事性作品一样。

当体验者戴上 VR 设备进入虚拟世界时，其心里所期待的不仅仅是视听效果，更多的是与虚拟世界进行交互，甚至是体验游戏设计。因为 VR 已经突破了屏幕限制，让体验者进入了计算机构建的虚拟世界。而有这种心理预期也是因为 VR 给了他们这不是传统平面影视的印象，虚拟世界的一切已经没有屏幕的限制，物件就在身旁，触手可及，体验者期待能有物理性的触碰。进入虚拟现实更会期待自己能在这里产生影响，不再满足于只是旁观。这种感觉类似于一个玩家进入了游戏世界，创建了一个属于自己的角色，然后进入游戏里面，开始享受扮演在另外一个世界的自己，把自身意识投射到了虚拟角色里。

电子游戏设计师们创造一个虚拟世界，制定规则，让所有来体验的玩家们遵守这些规则去享受故事内容和交互娱乐。比如让体验者去扮演角色来体验内容；让玩家成为主角去体验一个故事、一个角色的成长历程或创造一个虚拟世界；让玩家自己游玩，幻想述说自己的故事。其与影视作品的不同在于多了丰富的交互体验，玩家可以依据自己的时间安排或进度去触发体验段落式的剧情，而整个故事也会通过游戏设计分散至游戏的各角落等着玩家去探索、发现，玩家甚至可以影响剧情的发展。所以大部分游戏镜头呈现的都是玩家们自己的视角，而影视作品呈现的是导演想要给观众看的视角。

VR 头戴式显示器就是一个由体验者来控制观看视角的镜头，这与游戏的镜头语言是一致的，加上视觉和听觉带来的完全沉浸于虚拟世界里的真实感，让人们戴上它时觉得自己进入了另一个世界，想要寻找自己在这个虚拟世界里的存在感，从而主动与里面的人、事、物交互。产生了交互就会更认为自己是真的存在于这个虚拟世界里，而这些交互只能由设计师通

过计算机程序模拟和制定，VR 体验者只能被动地在设计师的规范下做出有效的交互，这些都与电子游戏体验是一致的。而在故事叙述方面，参考游戏，段落式触发剧情，留给玩家探索虚拟世界的时间，也能让 VR 体验者不容易错过剧情发展。同时，VR 内容使用实时渲染流程去开发，也与游戏开发流程一致。总体而言，VR 给体验者带来更多的是游戏般的体验。

在自然交互需求中，也能体现不同群体对交互程度的认知差异。轻度游戏玩家或不玩游戏的群体可能对虚拟现实的交互需求程度低于常玩游戏的群体，简单的交互行为就能让他们有惊喜的体验感；而对于长

期接触数位游戏的玩家，简单的功能性交互体验难以满足他们的需求，需要设计师在架构上设计游戏性交互，给玩家更深度体验。如果内容单薄，体验时间过短，很难吸引这类玩家群体买单。VR 不同于传统屏幕的特性让体验者自然地产生交互需求，而当简单的基本交互不再满足体验者对 VR 的期待时，他们会更倾向于游戏类型所能带来的互动娱乐感。图 1-20 展示了线性体验与非线性体验的不同，由此可见 VR 或许更适合拥有游戏体验的自由探索，由用户决定剧情是否推进。

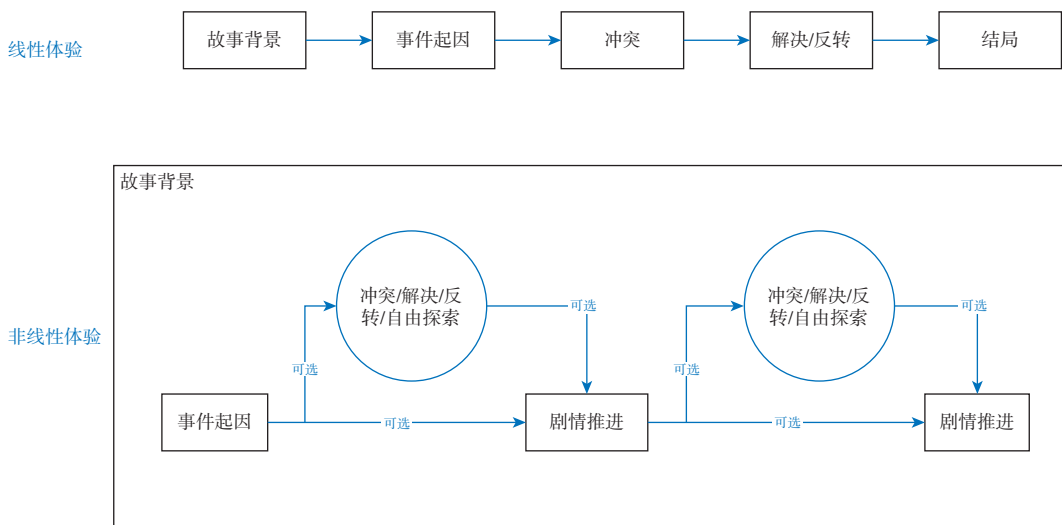


图 1-20 线性体验与非线性体验

小结

虚拟现实作品的创作具有一定的设计难度，前面讨论的都是目前已知且常见的问题。对于新兴的技术，总是需要更多的尝试与实践才有可能找出突破的方法，虚拟现实领域还是一个充满未知的领域，可以持续挖掘探究，只有实践才可能对其有更深入的理解，才有机会为这一领域做出贡献。

当然，本书的受众是非专业人员或初学者，是以学习如何实现基础交互功能为目的。

接下来将开始进入实时渲染的基础教程部分，第 2 章~第 6 章为基础部分，从面向实时渲染的前期资产规划，到接触游戏引擎环境的基础操作、搭建三维场景、灯光系统、材质系统、简单粒子特效系统和运用引擎如何快速输出影像视频等，最后 3 章则会正式进入虚拟现实部分，从搭建虚拟现实环境到蓝图系统的使用，让大家理解基础的交互设计流程与实现方法，希望通过这些基础教程的学习，读者能够实现创作属于自己的虚拟现实交互体验作品。