

次世代游戏 PBR 流程中的风格化美术表现

陶凯明

上海工商外国语职业学院, 上海 201399

DOI: 10.61369/TACS.2026010002

摘 要 : 电子游戏产业经过几十年的发展, 在画面表现上经历了飞速发展, 如今业界主流的 PBR 流程使游戏画面更接近真实。而与此同时, 与“真实化”相对的“风格化”美术也出现了新的发展趋势, 本文章主要论述了在次世代游戏制作技术的 PBR 流程中风格化美术的定义, 使用范围, 表现方法和技术要点。

关 键 词 : 次世代游戏; PBR 流程; 风格化; Substance Painter

Stylized Artistic Expression in Next-Generation Game PBR Pipeline

Tao Kaiming

Shanghai Industry & Commerce Foreign Language College, Shanghai 201399

Abstract : Over several decades of development, the video game industry has undergone rapid advancements in visual presentation. The currently mainstream Physically Based Rendering (PBR) pipeline has brought game visuals closer to photorealism. Concurrently, a new development trend has emerged in "stylized" art, which stands in contrast to "realistic" representation. This article primarily discusses the definition, scope of application, expressive methods, and technical key points of stylized art within the PBR pipeline of next-generation game production technology.

Keywords : next-generation games; PBR pipeline; stylization; substance painter

1962年, 麻省理工学院的学生 Steve Russell 开发了《太空大战》(Spacewar!) 由四个键控制两艘太空船(两人各一艘), 玩家可以相互发射火箭, 直至一个人用火箭击毁对方的飞船。^[1]虽然这个游戏的画面极其简陋, 但却标志着数字化游戏形式的正式诞生。此后几十年, 电子游戏逐渐发展成为现代社会不可或缺的一部分, 一款优秀的游戏往往是强大的技术支持和出色的艺术表现的结合体。

对于一款电子游戏来说, 优秀的画面表现往往能在第一时间吸引玩家的注意并赢得好感, 因此一代代的游戏制作者为了使电子游戏呈现更完美的画面不断进行探索 1994年12月, 索尼的首款游戏机 PlayStation 发售, 其 CD-ROM 驱动器和 3D 图形能力引领了游戏主机行业的变革, 1996年由 ID Software 制作的《Quake》(雷神之锤) 是目前公认的第一款真正意义上的 3D 游戏, 从此以后三维游戏技术成为了主流。^[2]

早期三维游戏模型大多采用手绘贴图的方式, 制作者使用电脑绘图软件绘制各种材质和表面细节, 如皮肤、衣物、金属等, 然后将这些贴图应用到游戏模型上。由于所有的结构质感都需要手绘表现, 对于游戏美术从业者自身的艺术基本功要求较高。

而随着计算机图形技术的进步, “次世代游戏”(Next-Generation Games) 的概念开始出现, 一般认为这个名词出现于 2005-2006年, 索尼的 PlayStation3 与微软 Xbox360 游戏主机发售时使用的宣传语, 以强调这一代游戏主机上与早期主机完全不同的画面表现。

当年使“次世代游戏”的画面发生根本性进化的就是“法线

贴图”(Normal Mapping) 技术。这种技术允许在 3D 模型的低多边形表面上模拟出高多边形细节的视觉效果, 使得游戏的环境和角色看起来更加真实, 具有更加丰富的纹理和深度感。^[3]

而在电影领域, 一项被称为 PBR 的技术正渐渐发展成熟, 并得到应用。随着硬件性能的提升和算法的优化, PBR 技术开始在实时渲染领域取得突破, 时至今日, PBR 流程已经成为众多主流游戏的标准美术流程。

PBR 技术的全称为 Physically Based Rendering, 即基于物理的渲染。这一技术的发展历程是计算机图形学领域中的一个重要课题。它的核心目标是通过模拟光与材质的物理相互作用, 来实现更加真实和准确的视觉效果。在 PBR 技术加持下, 如今的游戏画面越来越逼真, 在某些 3A 级别的大作中, 画面表现甚至可以媲美 CG。^[4]

这种技术对于传统游戏美术制作流程的改变是革命性的。专门用于 PBR 流程的绘图软件 (Substance Painter 等) 的出现, 使三维游戏模型上的美术效果有相当一部分可以通过软件的运算得到, 也在某种程度上降低了游戏美术行业的门槛。以往纯手绘贴图的应用范围逐渐缩小, 甚至有观点认为在 PBR 流程下, 手绘贴图即将消失。但事实上手绘贴图独特的艺术表现力对于当今的游戏制作者和玩家来说仍然有着不可取代的魅力, 于是在行业中出现了“风格化”(Stylized) 这一名词, 用来指代在画面表现上具有强烈特点, 区别于“写实化”(Realism) 的游戏美术风格。

广义上的“风格化”是一个很大的范围, 包括像素风格, 赛璐璐动画风格, 极简风格, 二次元风格等, 基本上只要是“非写

实”的都可以归入此类，在制作上也往往有独特的技术和流程。而以下主要讨论的是一种较为狭义的风格化，这种风格不以准确再现对象的真实外观为目的，对形状、线条、颜色、图案、表面细节进行了概括与简化，更多地具有卡通化的美术特征，在视觉上通常具有以下特点：

1. 形状和剪影上的夸张
2. 注重大的形状，没有表面细节
3. 小的细节会被忽略，或被做成更大的形状
4. 在最终的美术效果呈现上，具有早期卡通手绘贴图的特点^[5]

这种风格化作品在制作方法和流程上仍然采用业界主流的标准 PBR 流程，但在制作思路和方法上进行了一定的调整，试图使最终作品同时保持手绘的艺术表现力和 PBR 技术下丰富的材质与细节。需要指出的是，所谓“手绘艺术表现力”指的是最终呈现的画面效果，在制作过程中并不一定真的有大量的纯手绘环节，而是利用绘图软件（主要是 Substance Painter）的特点来模拟手绘风格。因为 PBR 流程的优势就是大量使用程序运算，减少对制作人员自身美术素养的依赖，避免因各人的绘画风格不同而造成的效果差异，从而使产出品能保持在一个较平均的水准。当然要真正完成高质量的风格化作品，制作者的美术功底还是不可或缺的。

制作风格化次世代游戏模型的流程与标准 PBR 流程基本一致，包括以下四个步骤：

1. 中模制作：使用主流三维软件如 3DSMax，MAYA 等，以较简单概括的造型表现对象，主要强调比例与结构的准确，不需要太多的细节
2. 高模制作：使用工具主要为 Zbrush 等数字雕刻软件，这一阶段强调尽可能多而准确的细节表现，整个模型的品质很大程度上取决于这个阶段
3. 低模制作：使用主流三维软件如 3DSMax，MAYA 等，按照雕刻完成的高模制作出符合项目要求的最终模型，也就是所谓的“拓扑流程”，低模完成后需要拆分 UV。
4. 贴图材质制作：使用 Substance Painter 等专用软件绘制贴图。^[6]

风格化的作品在高模雕刻上多强调大体块的概括，省略细节；结构上强调较强烈硬朗的转折和块面感，在结构准确的基础上进行适当合理的夸张。

除了高模上的表现以外，风格化表现的另一个重要步骤在模型的贴图与材质制作阶段。传统 3d 模型的贴图完全以 Photoshop 等绘图软件制作，一个模型对应一张或多张贴图，这些贴图称为漫反射贴图（Diffuse Map）。不论一个模型上对应了多少张贴图，这些贴图都需要同时表现对象的结构，光影，质感以及色彩。^[7]

而 PBR 流程中的贴图在概念上与传统手绘贴图有很大不同，可以理解为将原本集中在一张贴图上的结构，光影，质感，色彩等元素进行拆分，用多张贴图进行表现，PBR 流程使用的绘图软件主要为 Substance Painter。

以目前游戏行业中应用最广的“金属度－粗糙度流程”为

例，一个模型所对应的最基础的贴图包括法线贴图（Normal Map），反照率贴图（Albedo Map），金属度贴图（Metallic Map）和粗糙度贴图（Roughness Map）^[8]。

这四张贴图是指最终输出的贴图，而在制作过程中所使用的贴图还包括曲率贴图（Curvature Map），环境光遮蔽贴图（AmbientOcclusion Map），世界法线贴图（WorldNormal Map）等，这些贴图的来源是通过雕刻完成的高模在 Substance Painter 软件中烘焙而来，最终的成品效果取决于对各类贴图的灵活使用。

以下说明在“金属度－粗糙度流程”中各类贴图在风格化游戏美术制作中的作用：

1. 法线贴图（Normal Map）：在低面数模型上应用法线贴图可以表现来自高面数模型的细节信息。其品质取决于雕刻的高模品质。法线贴图可以通过在 Substance Painter 或其他专用软件中烘焙得到，高品质的法线贴图应用于低面数模型后，可以在视觉上达到几乎和高模无异的效果。

2. 反照率贴图（Albedo Map）：这是手绘风格能得到最多表现的一张贴图。反照率贴图在概念上与手绘的漫反射贴图比较接近。但在早期的纯手绘贴图中，对象的所有质感和光影信息都需要靠制作人员在 Photoshop 等二维绘图软件里绘制出来，而在 PBR 流程中的反照率贴图理论上应该只有颜色信息而不包含任何光影信息。但对于风格化的对象来说，在制作时会按照实际需要来进行一些处理。需要再次强调的是，在进行风格化的贴图制作时应不一定需要直接手绘，而是尽量利用 Substance Painter 的软件功能来进行制作。

由于本文不是软件功能的介绍，在此只对 Substance Painter 中最基本也是最重要的一个概念作简单说明，这就是遮罩（Mask）。Substance Painter 中遮罩的概念和功能与 Photoshop 中完全相同，都是通过遮罩中的黑白区分使被遮罩图层的某些部分可见或不可见。在 Substance Painter 中，大量的效果都是通过遮罩完成的。以下说到的几种对于风格化的反照率贴图的处理手法就全部运用了遮罩功能。^[9]

1. 除了表现模型的固有色以外，加入类似亮部与暗部的色彩区分和冷暖对比。这里说“类似”，是因为在 PBR 流程中没有完全等同于纯手绘贴图的光影概念，但我们依然可以通过“环境光遮蔽贴图”计算出模型上类似于“亮部”和“暗部”的区域。

“环境光遮蔽贴图”（AmbientOcclusion Map），是通过计算模型上面与面之间的距离生成的一张黑白图，模型上彼此之间距离越近的面颜色越深，距离越远则越浅。虽然在生成原理上和通过光线照射产生的明暗完全不同，但在视觉上还是可以给我们提供一个较合理的明暗分布依据。在 Substance Painter 中，把这张环境光遮蔽贴图加入颜色图层的遮罩，再加以调整，就可以利用环境光遮蔽贴图的黑白区域在“暗部”和“亮部”添加颜色。

2. 对转折处的适当夸张和强调。前面说过手绘风格化在高模阶段就强调大块面的概括和强烈的转折，在反照率贴图我们也可以对转折处加入一些类似“描边”的手法来加强对象的手感和卡通感，这种“描边”的区域可以通过“曲率贴图”计算得

到，在完全写作的作品中这种过于强烈的描边通常会加以避免，但在手绘风格中却是一个很有特点的元素

3. 对“整体光影”的处理。这里说的“整体光影”的概念和手法来自于纯手绘时代的贴图处理方式。在纯手绘贴图中，模型的光源方向默认为自上而下的天光形式，在绘制时会把头，胸部分提亮，下半身压暗，模拟上亮下暗的光源效果并突出主要部分，这种方法其实是在当时有限的引擎技术条件下的权宜之计。但现在在模型上整体添加一层这样的渐变色却可以使反照率贴图具有更丰富的色彩变化，同时也具有了一种独特的复古风格。

4. 金属度贴图（Metallic Map）：这张贴图是确定对象质感的关键所在。在PBR流程中，物体的材质被分为金属和非金属两种，到底是哪种材质就取决于金属度贴图。这张贴图用最简单的语言来解释就是它只有两个颜色——黑或白，表现在数值上就是0和1，黑色（0）是非金属，白色（1）是金属。因为自然界中几乎没有既是金属又是非金属的物质，所以在使用PBR流程制作质感时只需要确定数值是0还是1就可以了。避免了人为因素造成的材质感不统一。^[10]（这里所说的只是最简单的区分方法，也是游

戏美术人员最容易理解的）。而在风格化制作中，这张贴图的数值并不一定是非黑即白的。虽然金属度贴图可以简单到只有两种颜色，但在Substance Painter软件中依然给出了从0到1之间的所有灰度数值。我们在制作时为了追求特定的效果，可以故意给出一个介于金属和非金属之间的“非现实”材质，也就是说“真实性”对于风格化的作品来说并不是优先级最高的问题。物理规律固然重要，但在电子游戏这种载体里，依然遵循着效果为上的准则。

5. 粗糙度贴图（Roughness Map）：以黑白灰来表现模型表面的粗糙程度，越接近黑色越光滑，越接近白色越粗糙。通过金属度和粗糙度贴图的组合使用就可以表现出丰富多变的材质细节。

目前次世代PBR流程已成为当今游戏发展的必然趋势。早期的纯手绘制作流程确实已渐渐被淘汰，但综合以上的处理手法，可以在保有PBR流程中丰富的细节和材质的同时，将手绘风格的特点融入其中，使模型具备更强的艺术性和表现力，突出游戏设计者的个性，使游戏产业呈现出更多元化的面貌。

参考文献

- [1] 仲兔迪. 电子游戏史：60年代[EB/OL].(2021-11-11)[2025-08-11]. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/431338195>.
- [2] 电子游戏发展史[EB/OL].(2024-08-01).<https://baike.baidu.com/item/电子游戏发展史/12762761>.
- [3] 周飞. 法线贴图技术在次世代游戏图像中的原理及应用[J]. 湖北经济学院学报(人文社会科学版), 2012, 9(6): 40-41.
- [4] 霍家鹏. 基于物理的渲染-PBR[EB/OL].(2022-05-19)[2025-08-11]. <http://hjp.wiki/2022/05/19/PBR/>.
- [5] Kim Aava. Realistic vs. Stylized: Technique Overview[EB/OL]. (2017-12-12)[2025-08-11].<https://80.lv/articles/realistic-vs-stylized-technique-overview>.
- [6] 王兆霖. 浅析次世代游戏模型的制作流程[J]. 电脑知识与技术, 2022, 18(15): 133-135.
- [7] 邵伟程. 游戏美术的技术性与艺术性探讨[J]. 天工, 2024(27): 21-23.
- [8] 姜滢稳, 江自昊. PBR方法在虚拟现实技术中的应用[J]. 黑河学院学报, 2022, 13(6): 178-180.
- [9] 何颀维, 栗云露. PBR方法制作次世代3D游戏道具全流程[J]. 计算机时代, 2023, (3): 129-132.
- [10] 姚超. PBR金属工作流在三维制作中的应用研究[J]. 当代动画, 2022, (2): 81-86.