叙事可视化中的电影技法

Matthew Conlen Our World in Data
matt.conlen@ourworldindata.org

Jeffrey Heer 华盛顿大学 jheer@uw.edu

Hillary Mushkin 加州理工学院 hmushkin@caltech.edu

Scott Davidoff 喷气推进实验室 加州理工学院
scott.davidoff@jpl.nasa.gov

arXiv:2301.03109v1 [cs.HC] 8 Jan 2023

摘要

叙事可视化的多种体裁（例如数据漫画、数据视频）各自具有独特的优势与限制。为了更好地理解一种我们称为电影式可视化的体裁——即通过有意运用摄像机来传达叙事的三维可视化——我们收集了50个实例，并分析其传统电影要素，以确定这种形式的优势与局限。尽管电影式可视化方法可能违背传统的可视化规则，我们发现，通过精心控制摄像机，电影式可视化能够让人沉浸于由数据驱动、以人为中心的环境中，并自然地融入现场叙述者、具体尺度和视觉类比。我们的分析为一系列电影式可视化作品的设计提供了指导，这些作品是为美国国家航空航天局地球科学传播团队创作的。我们以其中一个作品为案例研究，提出涵盖电影摄影、灯光、布景设计和声音的设计指南，并讨论创作电影式可视化所面临的挑战。

1 引言

在叙事可视化 [57], 领域，研究人员已经识别出若干体裁（如数据漫画 [3] 和数据视频 [1]），以便更好地阐释和定位其特定应用及所采用的特征。**电影式可视化**将数据嵌入一个随时间变化的三维场景中，运用一台或多台摄像机引导观看者与场景之间的关系，从而讲述一个戏剧性的数据驱动故事。这种电影式方法不同于信息可视化中通常采用的方法：后者将图形简化至极简形式，只纳入坐标轴和数据驱动标记 [64]等必要元素。电影式可视化则更为丰富：非数据标记不会被压缩或简化，而是围绕数据点构建完整的数字世界，并将其纳入可见画框。这种手法使观看者仿佛置身于经数据绑定对象增强的地点之中，这类体验称为数据具身可视化 [41]。通过对电影摄影、剪辑、场面调度和声音 [5]进行精心的编辑指导，可以创作叙事纪录片式可视化 [10] 。

通过分析 50 个现有的电影式可视化，我们识别出四种显著的技术（现场叙述者、尺度协调、人类中心视角和叙事驱动型摄像机），电影式可视化借助这些技术，通过情感共鸣的数据故事吸引受众。我们展示了这些技术如何贯穿所分析的案例，并讨论与之相关的限制，同时探讨为何尽管三维可视化存在已知的弊端，电影式可视化仍可能有效。

基于这项形式分析中汲取的经验，我们制作了一篇基于网页的文章，其中包含一系列与气候变化相关的电影式可视化，并由美国国家航空航天局的地球科学传播团队发布 [1]。我们以其中一个可视化为案例研究，介绍在设计流程中创建的设计产物（包括成功和不成功的成果），并为电影式可视化设计师提供具体指南。我们的分析和设计产物可见于 https://cinematic-visualization.github.io/。

2 相关工作

叙事可视化用于提高记忆性 [7, 8]、、培养共情或情感 [9], 、构建信息框架 [33], 以及提升参与度 [19, 28]。Segel & Heer [57] 首次描述了叙事可视化的设计空间，之后又有研究对其进行了扩展，纳入了更多技术 [60]。Hullman 等人 [34] 关注序列在叙事可视化中的作用，描述了一组转场类型以及用于可视化排序的其他高层次策略。人们开发了支持叙事可视化创作的工具 [2, 11, 18, 56],，并对少量叙事可视化开展了实证评估 [9, 19, 46, 69]。后续研究探讨了叙事可视化的具体体裁，例如数据漫画 [3],；此外，在 Segel & Heer 最初提出的体裁集合之外，也出现了新的体裁，例如“滚动叙事”。在此，我们通过界定另一种体裁——电影式可视化——为围绕叙事可视化的持续讨论增添新的内容。Kosara & McKinley [39] 指出，叙事可视化研究者可以向其他高度重视叙事和多媒体的学科学习；本文借鉴电影艺术研究，将电影风格的形式化体系纳入对电影式可视化的分析、讨论与设计之中。

2.1 数据视频与虚拟现实

数据视频 被纳入 Segel & Heer [57] 提出的最初体裁集合，并由 Amini 等人 [1]首次进行深入研究。并非所有数据视频都是电影式可视化（例如，我们不认为由一系列二维信息图组成的视频属于电影式可视化），而且并非所有电影式可视化

[1]https://climate.nasa.gov/news/2933/visualizing-the-quantities-of-climate-change/



图1：风暴潮的危险 （CV42）是由天气频道制作的一部混合现实视频。视频以一个特写镜头开场：一名身穿雨衣的新闻主播站在一栋房屋前（1A）。主播说话时，背景中可以听到雨声，以及水从房屋窗户上滴落的声音。摄像机向后拉，展现出这名现场主播被合成到一场风暴潮期间的郊区社区三维场景中（1B）。实际上，作为视觉元素编码的数据点非常少。该作品只是简单地展示水位从零英尺上升到三英尺、六英尺和九英尺（1C-D），同时主播详细讲述与飓风相关的风暴潮危险。

都是数据视频（例如，可视化与交互式新闻文章文本紧密结合的情形）。Amini 等人主要关注数据视频的叙事结构和注意力线索，而我们还详细考察了电影式可视化的视觉与听觉风格。在我们的形式风格体系中，我们对剪辑 的分析与 Amini 的研究最为密切相关，但这只是我们考察的四个维度之一。

Bradbury和Guadagno [10]研究了观众对纪录片叙事可视化 的偏好（这是一种数据视频的子类型，数据通过纪录片电影的技术呈现），发现受众可能更喜欢包含画外音旁白和屏幕内叙述者的纪录片数据视频。我们在他们对叙述者和旁白使用方式的分析基础上展开研究，尤其是在讨论现场叙述者 与以数字方式渲染、置于其周围空间中的数据绑定物体进行互动，以及电影式可视化中声音的使用时。视频制作人拓展了传统的纪录片可视化格式，使其支持交互性，例如允许用户选择内容中的路径以及操控图形 [29, 63]。

沉浸式数据故事 [35] 已在新兴的沉浸式分析领域 [44] 中得到探讨，并且研究表明，这类故事能够让观众以多种尺度考察数据、支持沉浸式探索，并创造与数据相关的情感化个人体验 [36]。Lee等人 [41] 提出了数据具身可视化，即在三维虚拟现实场景中将物理量可视化。本文通过展示如何运用电影化技法，借助数据具身可视化创建作者引导的叙事可视化，帮助弥合数据内脏化与叙事可视化之间的差距。电影化可视化同样旨在让观众沉浸其中，并创造具有情感共鸣的体验；不过，与沉浸式可视化不同，这类可视化通常呈现在标准的二维屏幕上，用户对摄像机的控制有限，甚至完全没有控制权。目前已有若干工具包，可用于在增强现实设备上创建沉浸式数据可视化和数据故事 [21, 55, 59]。

2.2 三维计算机图形学

动画 [62] 长期以来一直是可视化的相关学科。经典动画原理 [61] 已被改编用于数字使用 [40]，随后又应用于信息可视化 [30]。随着真实感摄像机模型 [38] 和渲染能力 [20] 的不断提升，数字动画成为了制作好莱坞电影的工具 [31]。虽然三维图形在可视化中的应用取得的成效有限，例如用于展示层次信息 [17], , 但信息可视化通常会避免使用三维图形。大量研究记录了其中的潜在问题，包括体积并非一种在感知上有效的编码通道 [16], , 以及三维投影会引入失真和遮挡 [67]。我们发现，电影式可视化的设计师可能会有意采用次优编码，以支持更具直观冲击力 [41] 、更能引发情感共鸣 [28]的图形。

三维技术确实更常用于科学可视化 [4, 65], , 包括用于叙事 [22, 43]。Borkiewicz 使用“电影化科学可视化” [6] 一词，指一类聚焦科学数据的叙事数据视频。我们在此以类似方式使用电影式可视化，但不将数据限制为严格意义上的科学数据或固有的空间数据。与 Borkiewicz 不同，我们的描述涵盖了未嵌入电影中的可视化，例如作为动画随新闻文章一同呈现的可视化。

2.3 电影艺术

Bordwell和Thompson [5] 将叙事和风格定义为电影的两大形式系统。尽管以往研究探讨了数据视频中的序列 [34] 、叙事结构与注意力线索 [1] ，但我们发现，电影风格在数据可视化的批评词汇中几乎未受关注。风格在电影制作中起着至关重要的作用，使导演能够“印证我们的预期，或改变预期，或欺骗我们，或挑战我们。 [.....] 导演指导的不仅是演员阵容和剧组，也指导着我们，引导我们的注意力，塑造我们的反应。” [5] 本文将 Bordwell和Thompson 的电影风格形式系统引入数据可视化领域，并借此探讨叙事可视化如何借鉴电影技巧，同时又偏离可视化研究所倡导的许多传统做法。

风格由四个特征构成，它们共同形成电影的风格，下面逐一简要介绍。场面调度 指画框内所见的一切，包括灯光、演员、物体、背景等 [27]。电影摄影 指对

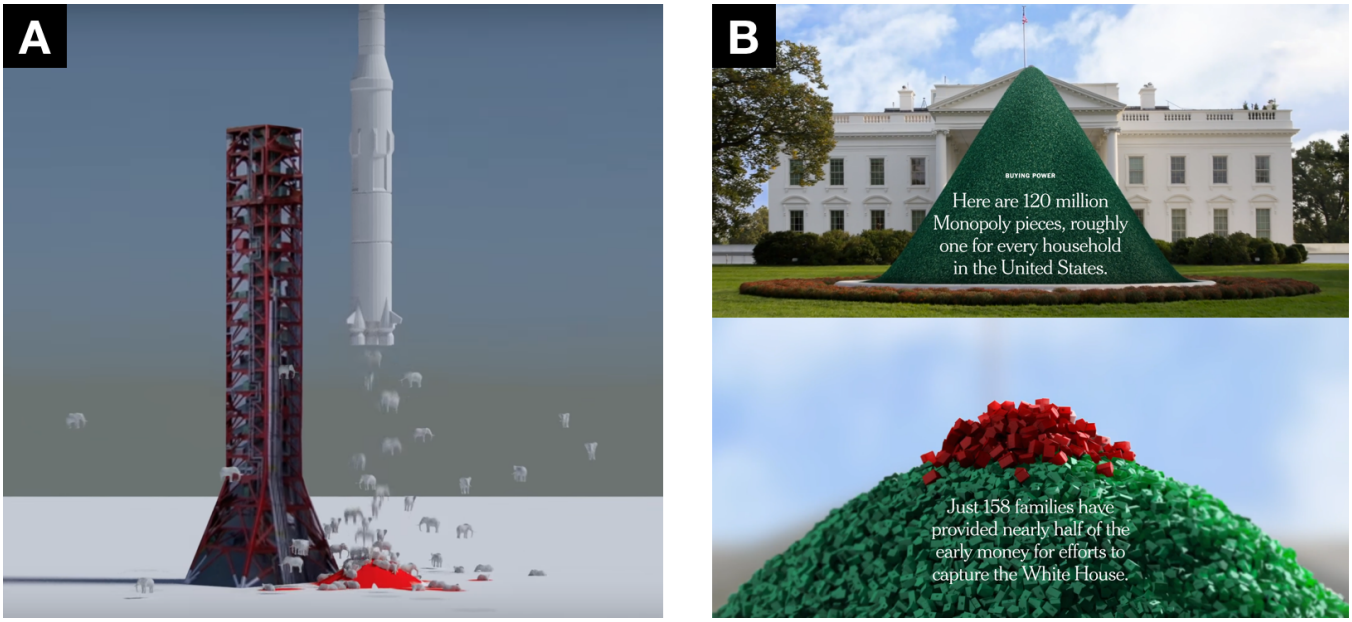


图2：（A）在 *[写实]* 大象火箭燃料——土星五号（**CV29**）**中，一枚土星五号火箭模型升空；然而，航天器底部喷出的不是火焰，而是大象。大象的数量代表相应的燃料质量。就传达精确数量而言，这段视频可能算不上特别有效的可视化，但它成功运用幽默风格，提醒人们火箭发射所消耗的燃料数量极其庞大，甚至适合用几十头大象来衡量。（B）在**《纽约时报》的这里有***1.2***亿枚大富翁棋子，美国几乎每户人家一枚（**CV6**）中，读者最初从远处看到一堆大富翁棋子，随后向下滚动页面，触发摄像机推近棋堆的最顶端，戏剧性地揭示出，提供政治资金的家庭所占比例是多么微不足道。**

摄像机的运用，以及镜头如何构图和取景 [26]。通过将元素放置在画框中的特定位置，可以使其被视为图像的主体或背景 [25]。剪辑是指在时间或空间上组合多个影像素材片段，从而在不同视角和场景之间创造转场 [54]。声音指所使用的音频，无论是音乐、画外音，还是来自屏幕中角色或物体的声音 [32]。我们对电影可视化的分析，确定了设计师可运用的风格维度相关技巧，以增强数据叙事的呈现效果。

3 电影式可视化综述

我们通过调查叙事可视化相关文献、浏览信息可视化奖项网站 Information is Beautiful [45] 以及 PacificVIS 叙事竞赛 [50]，并搜索采用以下关键词组合进行描述的新闻文章、博客文章、会议演讲和视频，收集电影式可视化进行分析：电影式、数据、数据视频、数据可视化、数据可视化、可视化、新闻、新闻游戏、沉浸式、混合现实、三维，以及 视频。我们还搜索了最初找到的可视化作品创作者及其合作者的作品集。本文附录中的图7列出了所有电影式可视化；全文中我们以标识符指代这些案例（例如，CV4 指表格中的第四个案例）。我们的分析涵盖了 50 个电影式可视化。尽管这些案例并非穷尽所有作品，但它们展现了电影式可视化所涉及的多种媒体形式（交互式新闻文章、YouTube 视频和电视片段）以及它们传达的信息。这些案例将广泛的数据类型可视化呈现出来，包括具有和不具有物理维度及地理维度的数据集。

我们没有对可视化中使用的特定设计模式进行实证评估，而是转而探讨理解情节手法 [57], 序列编排 [1], 和电影风格 [5]的方法。我们采用Bordwell和Thompson [5], 提出的四步分析流程——一种经典的电影分析方法——从<款式 id='4'>场面调度</款式>、<款式 id='6'>电影摄影</款式>、<款式 id='8'>剪辑</款式>和<款式 id='10'>声音 </款式>几个维度分析了每个示例的风格。针对每个示例，我们首先确定可视化的主要交流目标，然后研究场面调度、电影摄影、剪辑和声音中用于支持这些叙事目标的显著技巧。随后，我们通过迭代编码对各个示例中使用的显著技巧进行分类。图7展示了这些技巧的使用情况。例如，我们记录了许多引导观众注意力的方式（通过场面调度中的色彩、光线、注释和叙述者），以及电影摄影技巧的运用，例如主观视角和用户控制的摄像机。该表显示，电影式可视化所采用的媒介会对技巧的使用产生一定影响。例如，嵌入在线文章中的电影式可视化很少使用声音，但经常采用由用户控制节奏的片段；而以视频形式呈现的可视化则大量运用声音。



图 3：特效艺术家揭示宇宙的真实尺度展示了一位真人叙述者，以及按比例缩小的天体三维模型。

3.1 设计技巧

通过这项分析，我们确定了一些反复出现的显著技巧，它们常用于支持可视化的交流目标，包括使用原位叙述者、人类中心视角、尺度协调和叙事驱动型摄像机。

现场叙述者调解人与故事内数据之间的互动。我们在电影式可视化中发现的最具新意的技巧，或许是运用现场叙述者：在这种技巧中，场面调度包含一名角色，该角色会直接与屏幕上的故事内数据互动。[2] 与传统纪录片可视化中的叙述者不同，后者可能从画外参与（“上帝之声”），或者提及以二维全息影像形式呈现或合成在视频画面上的数据可视化 [10]，现场叙述者则让观众认为，他们能够通过叠加的数据具身可视化来观察并与故事内数据互动（CV35、40、42、43），或在一个案例中，通过数据实体化 [37]（CV41）。这种（通常为）混合现实环境在叙事可视化中发挥着重要作用，使屏幕上的叙述者能够调解受众与图形之间的互动，让他们提供额外的背景信息并推动故事情节发展。这些叙述者是场面调度的重要组成部分，也有助于具体呈现可视化中的人类中心视角，强化这样一种观念：数据是以符合人类尺度的方式呈现的。

在天气频道制作的《风暴潮的危险》（CV42）中，有一个此类技巧的典型示例（图 1）：一位身穿蓝色夹克的新闻主播讲解风暴潮引发洪水的相关危险。图形与叙述者的讲稿相协调，似乎会响应他的对话；画框的构图引导观众比较主播与水位的高度。短片一开始，叙述者便是主要主体，他位于画框中央，并凭借鲜亮的蓝色外套、脚下的圆形平台以及镜头构图等视觉线索持续吸引观众注意。为了在关键时刻强调水位高度，一条色彩鲜明的注释被投射在潮头上。

人类中心视角能够带领观众身临其境，并营造戏剧效果。电影的一个显著特点是，摄像机能够将受众带入场景之中：观众会暂时放下怀疑 [24]，全心全意地想象，或者“相信”自己就在场景之中，并透过摄像机镜头观看事物。也就是说，摄像机的透视变成了观众视角，二者合而为一。摄像机相对于场景中物体的高度、角度和距离，都会影响观众如何解读并回应最终看到的画框 [5]。摄像机位于某个场景上方高处时，观众也会觉得自己身处高处；摄像机处于视线高度时，观众则会觉得自己仿佛站在那里观看主体。例如，CV1 和 CV26 都采用单位可视化和具体尺度，借助曼哈顿的大小来呈现数量，但它们分别运用透视，以不同方式影响观众的体验。CV1 展示的数据（塑料瓶使用量）与用作具体尺度参照物的地点并无直接关系，而且采用全景镜头，让观众领会数据的规模，而非城市本身的细节和质感。相比之下，CV26 开始时采用一个平视镜头，摄像机对着几辆随处可见的黄色出租车，将观众带到城市的街道上，并迫使他们以更切身的方式面对所展示的数据（纽约市的年度温室气体排放量） [41]。

有些电影式可视化将摄像机的透视置于人类不可能到达的位置。然而，如果受众暂且放下怀疑，摄像机便能带领观众穿过这些原本无法进入的空间。例如，CV12 展示了卡西尼号航天器绕土星运行并最终坠入土星的动画。*Choice and Chance*（CV11）将 2016年 坦帕湾 Pulse 夜总会枪击案的经过可视化，并将摄像机置于一个仿佛“穿过”夜总会屋顶的位置。由于该场景使用数字模型而非真实拍摄地点进行拍摄，因此只需移除俱乐部屋顶，遮挡问题便迎刃而解。改变视角还可以转移场景的主题，或增添情感内容；例如，当摄像机移动到

[2]在屏幕上，与角色处于同一宇宙中的事物称为故事内事物；我们用故事内数据这一术语，指代属于画面场景本身、而非叠加在场景之上的数据驱动元素。

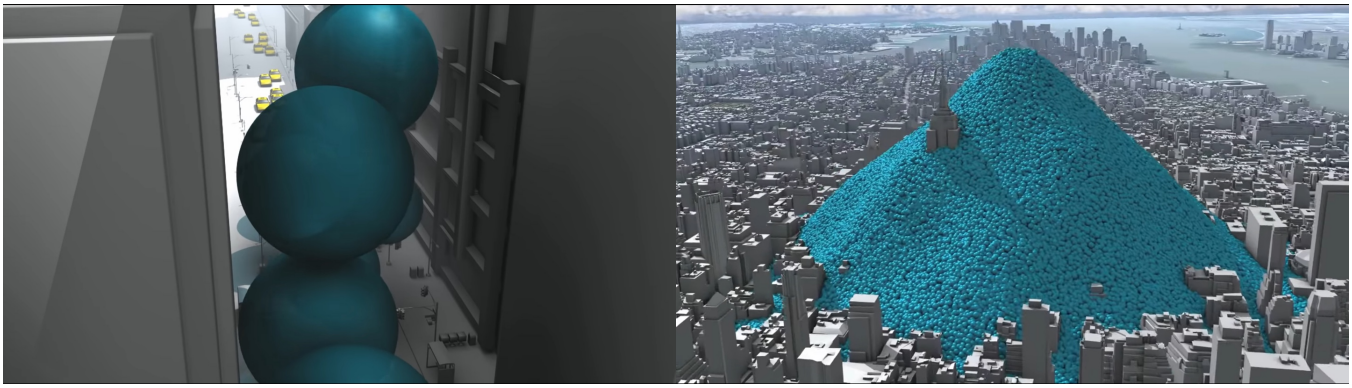


图4：纽约市的温室气体排放以一吨一球的二氧化碳球体表示，**这是由 Carbon Visuals 制作并在线发布的电影式可视化。该电影式可视化运用了多种不同的摄像机视角，并结合醒目的色彩，引导观众理解该城市温室气体排放的规模。蓝色球体的数量由排放速率决定。随着数量增加，城市建筑为其提供了具体的尺度参照。**

揭示画框中原本未呈现的内容时，受众会体验到首次看到它的感觉。在 *Choice and Chance* 中，随着故事推进，摄像机在模型中移动到不同的观察位置。摄像机在该文章的大部分时间里都保持全景镜头，但在高潮部分移动到地面高度，通过将观众置于旁观者的视角中，提升了镜头的紧张感。

由作者定义的摄像机轨迹可由观众播放、暂停并进行（轻微）修改。我们分析的电影式可视化往往采用作者驱动的叙事结构 [57]，其中大多数用户交互都表现为用户点击或滚动，以触发可视化继续进入下一阶段（例如 CV2、5 17、21 22- - ）。在操作层面，这需要沿着作者指定的轨迹，为数字摄像机模型设置位置和方向的动画；这种方式被大量用于嵌入文章中的电影式可视化（22个案例中有16个）。受限交互的另一种使用方式，是允许用户操纵三维模型。在大多数情况下，这意味着用户可以将摄像机定位在模型周围的特定位置（参见 CV17，这是一个典型示例）。这些模型可能是科学对象（CV13、17）或文化对象（CV5），而对于观看该可视化的受众而言，若非通过这种方式，它们通常难以接触。轨道摄像机的使用十分普遍：它将摄像机的焦点限制在某个特定的目标物体上，同时允许用户控制观看角度和缩放级别（图7D）。支持这些交互的电影式可视化必须实时渲染，因此限制了模型可呈现的细节精度。

可视化技术相结合，以实现尺度协调。 虽然我们通常认为三维图形不适合编码数量，但 [16], 我们的示例反复展现了三维图形如何用于可视化并传达大规模数量（例如 CV1、6、8、26-28）。超出日常生活体验范围的数量（即超物体 [47]），例如纽约市每年排放的二氧化碳量（CV26），可能尤其难以让人们想象，因为我们很少（如果有过的话）接触到如此巨大的数量。电影式可视化可以通过电影摄影从地面视角确立观众的视点，这一位置往往充当 y轴的隐含零点。我们发现，若干可视化技术在电影式可视化中能够自然呈现，包括数据感官化 [41], 单位可视化 [51] 和具体尺度 [14]。例如，在 CV27 中，观众可以看到一座城市公园，其中有树木、站在草地上的人，以及一个高十米的蓝色球体，用来表示一公吨二氧化碳的实际体积（数据感官化）。随着场景推进，出现了越来越多的球体，每个都代表一公吨二氧化碳（单位可视化）；球体多到一定程度后，摄像机必须拉远并升至公园上方，观察不断扩大的球体堆与城市建筑之间的对比（具体尺度）。

用作背景的物体——例如城市天际线（CV11）或停放的汽车（CV42，图1）——可以同时充当具体尺度参照物和情境元素。三维图形让设计师能够运用具体尺度（CV1，26）和视觉类比（CV29，36），为物体的大小重新构建情境；数字布景则被设计出来，以便进行在物理世界中无法直接完成的比较（CV1，27），并运用主观视角营造直观的量级感。视觉媒介蕴含着丰富的类比可能性。例如，在 *[写实]* 大象火箭燃料——土星五号（CV29，图2）中，设计师 Maxim Sachs 渲染了土星五号火箭发射的场景，只不过火箭飞行时向后喷出的不是废气，而是大象。这些大象代表正在消耗的燃料质量。通过并置这些画面，Sachs 得以将抽象的火箭燃料数量重新转化为人们更熟悉的概念，同时运用幽默感，使整体可视化更令人难忘，或更能吸引受众 [8]。在一个更常见的例子中，CV40 的叙述者请受众想象地球只有网球那么大，然后以这个新尺度展示不同的行星、卫星和恒星的相对大小。这些行星彼此进行比较，并被渲染进实景影像中，其中还包括一位叙述者，为天体提供讲解和相关事实。

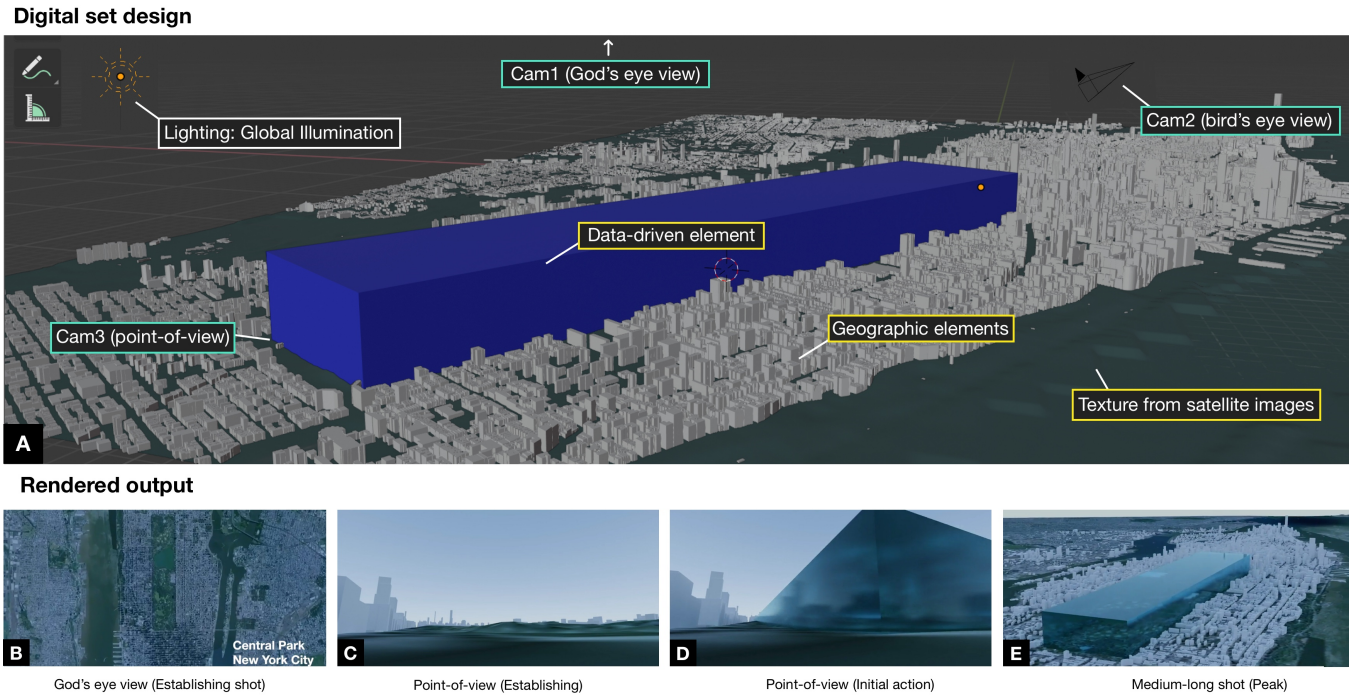


图5：《一千兆吨有多少？》展示了纽约中央公园中的一千兆吨冰。我们设计了一套数字布景（A），其中包含多个摄像机、灯光，以及由数据驱动的元素和情境元素。来自各个摄像机的影像素材经过剪辑，组成最终序列（B-E）。这是我们为一篇发表于美国国家航空航天局气候网站的文章制作的多部视频之一。观看完整视频，请访问 https://cinematic-visualization.github.io/。

它们被置于多种场景中，例如办公室、洛杉矶街道以及纽约市天际线。

3.2 约束

基于时间的格式无法支持高数据密度。传统信息图形通常以最少的“非数据墨水” [64] 呈现数据密集型显示，以消除可能的干扰，并针对数值查找和比较等任务优化显示效果。在某些情况下，设计师可能会选择添加说明性特征，以增强可视化的记忆度 [7]。相比之下，电影式可视化采用故事内数据，将其嵌入三维场景中，并辅以其他元素来构建场景情境（一个引人注目的例子见 CV35）。在电影式可视化中（例如 CV40、42），数据周围的元素兼具数据墨水和非数据墨水的双重作用；它们为可视化增添空间临场感 [12], , 让观众感到自己置身于虚拟世界，同时也充当导向标和坐标轴，以及具体尺度的参照点 [14]。电影式可视化通常不会密集地呈现数据，而是在画框中只展示一个或少数几个数据点，更倾向于加入额外的情境元素，为所讲述的数据故事增添情感共鸣。

设计师需要在感知效果与戏剧性叙事之间权衡。采用三维图形的可视化在感知层面往往效果不佳。这类图形可能会采用体积等次优编码通道，也可能因失真和遮挡而进一步造成判断偏差。电影式可视化并不适用于以数值判断为核心的任务。相反，当只需粗略估算数值，且精确数值并非重点时（例如 CV29），电影式可视化往往能有效发挥作用。我们分析的许多电影式可视化都使用体积编码来呈现数据（CV1、6、26、27、35）。与位置相比，体积是一种效果较差的编码通道，可能会导致受众误估实际数量。是否可以接受这种权衡，取决于所呈现的数据，以及作者希望受众以多高的精度理解这些数据。

4 案例研究：一吉吨有多大？

在探索如何设计内容以支持美国国家航空航天局地球科学传播团队的传播目标时，我们收集并研究了上述电影化可视化。气候变化是一个复杂、多面且关乎全球的重要议题 [49]，该团队负责维护 climate.nasa.gov 网站，该网站追踪地球气候的重要统计数据，并向全球数百万不同受众提供全球变暖的最新信息。团队既使用传统的信息图形 [48], , 也使用叙事可视化（例如， [53]），以突出说明科学家如何确认人为全球变暖确实正在发生、迄今地球气候发生了哪些变化，以及为何即使气候变化看似没有影响到读者，了解这一重要议题仍然至关重要。然而，团队希望创作数据驱动的故事，以更直观、更切身的方式吸引受众，并将

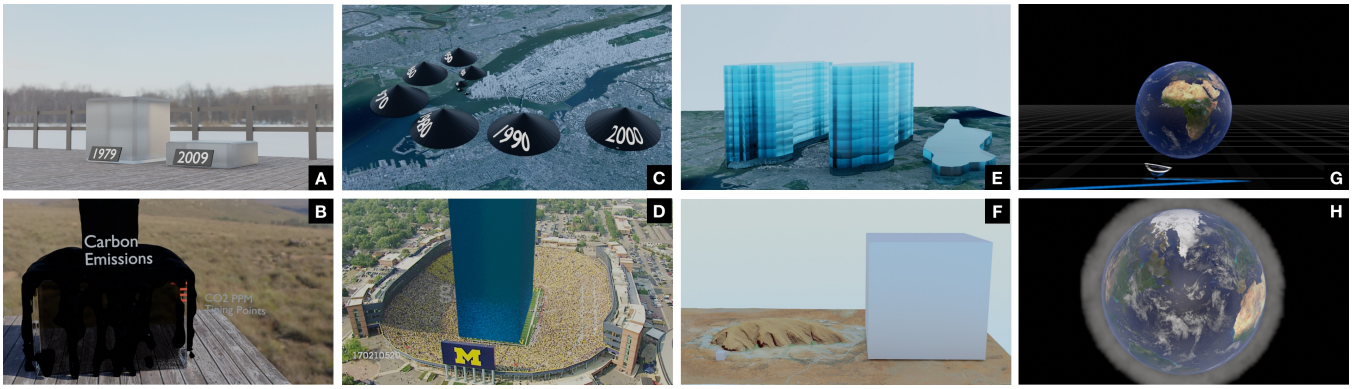


图6：我们探索了许多不同的设计，但最终都被搁置了。放弃这些设计的原因包括感知效果不佳（A-C）、拍摄地点相对于数据规模而言太小（D-F），以及设计过于具象、缺乏足够的物理准确性（G-H）。尤其难以找到既能通过三维重建而广为人知、又适合作为具体尺度参照的地点。

气候变化的行星尺度数据转化为读者易于理解的人类尺度。

在气候变化传播领域，有大量研究探讨如何有效地向广大受众传达最新科学成果。环境决策研究中心 [58]总结了气候变化传播的高级原则。我们认为，电影式可视化非常适合践行“吸引受众注意力”和“将科学数据转化为具体体验”这两项原则。本文将介绍我们的工作如何连接叙事可视化、计算机图形学和电影艺术领域的持续研究，以实现这一目标。

在美国国家航空航天局地球科学传播团队制定的编辑重点指导下，我们制作了一篇文章，其中包含若干电影式可视化，用以传达与气候变化相关的海量数据。我们努力使这些内容易于广大公众理解，并富有意义。这些可视化最终发布后，受众达数百万。本文将介绍我们创作电影式可视化的设计流程，并总结出一套通用工作流程，供希望自行创作此类可视化的从业者参考，也供希望在未来为电影式可视化创作提供更好支持的工具开发者参考。与一般的可视化制作一样，这些步骤不一定是线性的；相反，整个过程是迭代的，也容易出错，一旦发现设计行不通，可能就需要回到前面的步骤。我们经历了许多次失败的尝试（见图6），才最终完成这些设计。

4.1 前期制作

叙事。 冰损失量以吉吨为单位测量，这是一种质量单位，相当于一百万公吨。有关冰损失的统计数据通常以这一单位报告。例如，据撰写本文时的数据显示，地球的极地冰盖每年约损失426吉吨冰。这里采用的单位尺度掩盖了426吉吨冰这一数量之巨大。我们的目标是提供一种可视化方式，帮助受众今后更好地解读这些统计数据。我们收集了格陵兰和南极洲（两大冰盖）在一段时间内的冰损失统计数据，包括重要时期内的数据，例如美国国家航空航天局的GRACE卫星主动观测极地冰盖期间（2002年至2017年）损失的冰量，或自20世纪初以来损失的冰量（分别为5,000吉吨和49,000吉吨）。

我们之所以选择电影式可视化，是因为它非常适合使用具体尺度；我们希望吸引人们的注意力；我们要展示的数据量相对较少；并且我们希望在一种能够传达身体层面紧迫感的语境中呈现数据。鉴于第3节中所确定的能力，对于我们的任务而言，电影式可视化是一个合适的选择：以一种能够吸引受众注意力并让他们以具体方式理解数据的形式，呈现与气候变化相关的数量。最终，我们选择将可视化制作成交互式文章这一形式，其中包含一系列简短的电影式可视化内容。这些可视化内容以预渲染视频的形式嵌入，并可动态加载，从而实现一定程度的交互性。根据使用场景，必须确定是否需要实时渲染。使用实时渲染会限制照片级真实感 [52],，但能实现更高层次的交互性，让用户控制摄像机并与场景中的元素互动（图7D）。我们原本打算让可视化的叙事结构主要由作者驱动 [57],，因此决定不需要实时渲染。

在确定适合采用电影式可视化之后，我们开始拟定可能的脚本并制作分镜脚本，在其中勾勒拍摄地点、电影摄影以及镜头编排等构想。我们首先试图确定能够充当有效背景的地点，让人们能够在熟悉的地点中具体理解数据的规模。我们考虑了大峡谷、纪念碑谷、珠穆朗玛峰和乌鲁鲁等自然地点，休斯敦、纽约市、旧金山和圣路易斯等城市环境，以及足球场和胡佛水坝等其他人造场所。在每种环境中，我们都绘制了草图，以帮助确定可视化所需的摄像机位置、场面调度、数据和注释，并撰写了粗略的脚本来界定叙事结构。

虽然我们希望将数据置于各种不同的环境中，让多元化的受众都能够产生共鸣，

但最终其中许多地点并未被采用。图6展示了一些未能在以人类为中心的透视下同时支持焦点与背景的地点示例。最终，这篇文章由一系列视频组成，分别将一千兆吨冰、5,000吉吨冰和49,000吉吨冰进行了可视化呈现。这些视频嵌入一篇提供背景信息的文章文本中。在第一个和最后一个视频中，用户可以点击选择播放视频，以在不同地点展示相应数量的冰。在此，我们将仔细考察第一个视频的设计流程：展示纽约市中央公园中的一千兆吨冰。

4.2 主体摄影

分镜脚本和脚本准备就绪后，我们需要制作构成最终视频的源影像。我们选择使用 Blender 来完成这项工作，它既提供基于图形用户界面的交互式操作界面，也提供 Python API，使我们能够在三维场景中加载、变换数据并将其绑定到物体上。我们为许多不同的场景制作了渲染图，不过最终在发布的作品中只使用了其中少数几幅。

场面调度。 电影式可视化的场面调度元素需要经过创建和编排。由于我们的许多场景都发生在现实世界的地点，因此我们能够利用现有的开放数据集导入地理数据，包括建筑三维模型和地形数据。除了取材于现实地点的元素之外，我们还添加了由数据参数化的元素，例如放置在中央公园的大块冰（图5）。模型创建完成后，需要为其指定材质；材质与灯光共同决定了它们在最终渲染结果中的呈现效果。我们选择对建筑和其他环境元素采用平面着色。这使这些元素的视觉分量较轻，同时仍易于辨认。我们考虑过对数据元素采用类似的平面风格，但最终决定添加更具照片级真实感的冰材质，使数据在建筑背景下更加醒目，并强化我们展示的是具体冰量这一概念。我们看到的许多示例都采用摄影棚灯光布置来控制阴影和反射，而我们选择使用简单的全局光照，模拟阳光照射在户外场景中的效果。这意味着场景的灯光符合拍摄地点的实际情况，设置也相当简单，但我们因此难以利用灯光引导观众注意力；例如，我们在 CV15 中就看到过这种做法。

场景构建完成后，下一步是绑定数据。正是在这时，我们意识到，许多布景地点都不适合呈现我们希望可视化的数据（“数据改变一切” [66]）。例如，将一千兆吨冰放在足球场中（图 6D），其高度会延伸至 200 多公里的空中，因此很难同时看到故事内数据和足球场本身。对于我们的可视化，我们只是根据特定时期冰融化的质量以及冰的密度进行计算，以此设定三维基本体的尺寸，从而创建出在物理尺度上能体现冰损失数量的冰块。

电影摄影。将数据整合到场景中后，接下来便是添加动画和电影摄影。Blender 支持基于关键帧的动画系统，因此可以轻松为场景中元素的大小和地点，以及摄像机的位置和透视添加基础动画。根据我们制作的分镜脚本，我们放置了摄像机（如图5所示），确保其拍摄效果符合物理规律且为人们所熟悉：我们使用了三台摄像机，一台呈现人类视角，一台呈现鸟瞰视角（仿佛由一架直升机在城市上空盘旋拍摄），还有一台从上方卫星的视角拍摄，呈现“上帝视角”。卫星摄像机让我们得以创建一个初始建立镜头，而其他摄像机则提供了地面视角和全景视角。按序列将这些摄像机视角组合起来后，我们便能向观众呈现焦点与上下文 [13]，并实现我们的叙事目标 [1]。

4.3 后期制作

源素材制作完成后，我们需要对其进行剪辑，以形成连贯的叙事，例如按序列组合多个视频、在视频上添加注释以补充背景信息，以及添加声音以增强临场感、引导注意力并提供细节。任何视觉效果都必须在此阶段添加。例如，若要将数字数据对象嵌入叙述者的实景影像中，就需要执行“匹配移动”流程，使数字场景与实景场景对齐 [23]。

剪辑。 我们将多台摄像机拍摄的影像素材结合起来，把镜头剪辑成一个叙事结构：先是建立镜头，然后是初始行动、高潮，最后是缓和 [1]。图像序列对于推动叙事、把握节奏和营造情绪氛围至关重要。叙事可视化通常会加入注释，以提供更多背景信息，并向观众解释他们所看到的内容。在电影式可视化中，可以使用标准的视频编辑软件将这些注释叠加到源影像上。我们看到的一些案例将注释直接嵌入三维场景中，这就要求将注释直接嵌入源影像。我们选择叠加注释，而不是将其嵌入“原位”，因为这样可以在剪辑过程中更快地迭代，无需重新渲染任何源影像，就能更改注释的时间、位置和内容——重新渲染可能会耗费大量时间。

声音。 在我们的作品中，我们最终没有使用音频，而是选择将视频嵌入一篇更长的文本文章中，为观众提供可视化内容的背景信息。这是一项局限，也值得在未来的工作中进一步探索，因为音频可以成为电影式可视化中设定基调、推动叙事的有效工具。

4.4 发布

文章完成并获准发布后，便发布到了美国国家航空航天局的气候网站上。我们没有收集读者与文章中的视频互动情况的详细指标，但可以看到用户对 NASA Climate Facebook、Instagram 和 Twitter 页面上的帖文作出的反应。这些帖文附有文章链接，并且（部分帖文中）直接嵌入了纽约市的视频集，累计获得数万次观看和数千次互动（点赞、评论、分享）；随后，美国……部等其他组织也分享了这篇文章。

农业部、世界气象组织，以及个别科学家和气象学家也分享了这篇文章。

在所有社交平台上，用户共留下了 94 条直接评论，话题从正面评价（例如，有些人明确表示喜欢这类可视化：“媒体需要更多这类对比”，“这是一项令人惊叹的可视化。谢谢你，美国国家航空航天局！”，也有人询问能否以不同数量绘制类似的可视化：“如果能看到这幅图展示格陵兰和南极洲的冰全部融化后预测的海平面，那会非常有意思。能展示一下吗？”）到对所呈现数据的担忧（“天哪。请来帮助我们。”，“谢谢你帮助我们理解这条悲伤消息有多么严重！”，一张卡通啮齿动物哭泣的 *GIF*），再到气候变化否认（“你的证据在哪里”，“哇，居然有 2 毫米之多。还是用卫星测量的呢”）。这些评论大致均匀地分布在三种类型中（对可视化持正面态度、对气候变化感到担忧和气候变化否认），但在不同平台上的分布差异很大：Facebook 用户表达担忧，或否认存在气候问题；Instagram 用户留下正面和担忧的评论；Twitter 用户则对这幅图表达了各种不同的态度，包括担忧、否认和赞赏。

5 讨论

电影式可视化能够以戏剧化且直观的方式呈现数据，吸引观众，突出特别重要的数据点，并在相关情境中引导观众浏览数据。另一方面，它们可能不适合传达大量数据，在感知效果方面也并非最佳选择。如果采用电影式可视化是合适的，就需要具备多方面的技能——例如电影摄影、叙事、三维建模、视频剪辑，甚至可能还包括表演——并经历耗时的迭代设计流程。

5.1 创建电影式可视化的挑战

电影式可视化能够吸引受众的注意力，并帮助观众以具体的方式理解数据，但制作起来可能既具挑战性又耗时。本文将讨论创建有效电影式可视化时面临的一些固有挑战。

电影式可视化最显而易见的难点之一，是其设计空间可能极为庞大。这类作品通常运用三个视觉维度，以及时间和声音。帮助我们分析和评议电影式可视化的方法（例如 [5]）未必能帮助我们创作此类作品。也就是说，这些方法难以用于生成创作。信息设计师熟悉如何在画框中摆放物体并注重细节，以实现有效的视觉层级；然而在电影式可视化中，画框之外的物体也会影响可视化的风格和基调。例如，摄像机相对于拍摄对象的位置、摄像机的焦距，以及光源的位置和强度，都对创作出观众能够轻松解读的镜头至关重要。

创作电影式可视化需要完成多种任务，每种任务都需要一套不同的技能。例如，除了传统可视化（数据分析、转换和可视化）及叙事可视化（了解受众、叙事、平面设计）所需的技能外，电影式可视化通常还会运用动画、电影摄影、灯光、动态图形、三维建模、声音设计、视频剪辑，有时还包括表演。成为优秀三维建模师所需的技能，与成为优秀叙事者所需的技能未必相同，因此这类图形作品通常需要由技能多元的团队来创作。此外，对于光线追踪渲染器而言，原型与最终渲染效果之间存在很大差距，这给迭代设计流程带来了挑战。

5.2 电影式可视化创作者的注意事项

尽管电影式可视化与更传统的叙事可视化有许多相同的设计目标（例如引导观众的注意力），但实现这些目标的方式有所不同。这里，我们重点介绍这些设计目标如何在风格的四个维度中得到体现，既包括我们自己的作品，也包括所分析的示例。有关各个示例所用技巧的完整分类，请参见图7。

场面调度。物体的大小、颜色、形状、质感，以及彼此之间的位置关系，都可以用来构建有效的视觉层级。例如，为了在电影式可视化中引导用户的注意力，设计者可以通过灯光在某个物体周围投射光晕（CV11），或改变物体的颜色（CV2、CV13），使其脱颖而出。在《一吉吨有多大》中，冰块硕大的体积、颜色和光泽，与周围较小、呈灰度且表面无光的建筑形成对比，吸引观众的注意力。场面调度既用于传达信息——包括使用叙述者（CV42）、故事内数据（CV35）和视觉类比（CV6）——也用于营造戏剧效果（例如 CV11、CV40）。

电影摄影。透视既可推动叙事、营造基调，也可提供焦点与上下文。可以调整摄像机的位置（CV26）、角度（CV28）或焦点（CV2），使物体成为画框中的焦点。为了缩小电影式可视化的广阔可能性，并有效利用画框，电影式可视化的设计师可以研究电影中镜头的构图与编排方式。在一千兆吨有多少？中，我们使用多台摄像机拍摄影像素材，以呈现特写镜头、中景镜头和远景镜头。一些电影式可视化允许用户有限度地控制摄像机，例如让用户触发动画的下一阶段（CV9），或旋转其透视视角（CV13）。摄像机通常需要跟踪场景中的某个特定物体（CV12）。如果该物体正在移动，可能就需要设置摄像机跟踪它。规划摄像机的运动路径，确保感兴趣的物体不会被其他物体遮挡，同时运动流畅且视觉效果悦目，并非易事。这既可以通过算法完成 [15, 68]，也可以手动完成。

剪辑。将影像素材按特定顺序编排，逐步揭示信息，以传达作者意图表达的信息。剪辑师可以使用来自同一地点的一台摄像机拍摄的影像素材（CV29），也可以使用来自多个地点的多台摄像机拍摄的影像素材（CV40）。数据视频中使用的剪辑技巧——尤其是建立镜头的运用，

开场、高潮和缓和 镜头——已由 Amini 等人 [1]进行了更深入的研究。与电影制作人类似，电影式可视化的创作者可能会采用故事板设计，以低保真形式制作场景原型并进行交流，然后再着手进行耗时的三维建模和渲染。在《一吉吨有多大》中，我们使用建立镜头在展开行动前为观众交代场景；随后从地面高度（人类中心视角）展现行动，再切换到直升机的视角，并以城市天际线作为具体的尺度参照。

声音。 音频可以营造基调（CV25）、引导注意力（CV28），并通过旁白补充额外细节，无论旁白来自屏幕内（CV40）还是屏幕外（CV45）。音乐（CV29）和环境音（CV26）会影响可视化的基调，并为场景增添临场感。例如，CV29 将电子舞曲与火箭燃料重量的视觉类比（以大象为单位测量）结合起来，营造出幽默的反差，使可视化更平易近人，也不那么枯燥。CV26 使用故事内声音（出租车鸣笛）来强化人类中心视角。在《一吉吨有多大》中，我们没有使用声音（我们分析的其他大多数采用“文章”形式的可视化也没有使用声音），但研究表明，在多媒体学习情境中，有效运用视觉和听觉渠道都能带来更好的学习效果 [42]。
</output>

5.3 对创作工具的启示

电影式可视化是一种新兴体裁，因此几乎没有专门的工具支持此类可视化的创作。创作者转而使用通用三维软件，这类软件旨在满足广泛的使用场景，例如建筑设计、建模和叙事动画。这些工具虽然功能强大、表现力丰富，却可能因包含与创作电影式可视化无关的复杂功能而令用户不堪重负。例如，物体需要指定材质，而材质由底层着色器代码驱动。用户无法直接选择“写实”或“卡通”等美学风格，而必须组合底层着色器组件才能实现所需效果。

这些工具不支持可视化的基本构建模块，例如轻松导入数据，以及将数据值绑定到场景中的物体。相反，用户必须编写自定义脚本来处理这类任务。总体而言，这些界面采用多模态方式：大部分三维建模工作直接通过图形用户界面完成，但数据驱动的工作则需要编写代码；着色器通过有向图描述。作者不得不在截然不同的环境之间频繁切换，这无疑增加了迭代的难度。

三维渲染任务可能需要大量计算。根据输出分辨率、场景的复杂程度以及可用的计算能力，一段时长较短（30 秒）的动画可能需要数小时才能完成渲染。最终渲染结果的保真度与设计师在构建场景时所看到的内容之间存在很大差距。这种设置使得频繁创建测试渲染结果十分重要，但也使快速反馈循环难以实现。

5.4 我们工作的局限性

我们的调查仅限于从有限来源中选取的 50 个示例。虽然并不全面，但这些示例在各种应用中实现了一系列设计技巧。我们没有对所调查的作品进行实证评估，而是选择使用电影批评技巧来分析所采用的模式，并确定其制作者的传播意图。同样，我们也没有对自己的作品进行实证评估，而是介绍了我们的设计流程，并详细说明了在此过程中所作重要决策的理由。我们的作品并未充分利用所识别出的电影式可视化设计空间；例如，我们完全没有使用声音，所有旁白都通过书面文本完成，视频中仅添加了少量叠加层。通过在屏幕上或屏幕外加入旁白，体验或许可以得到改善 [10]。

6 结论

我们提出了**电影式可视化**，一种运用电影技巧来增强数据驱动故事呈现效果的叙事可视化体裁。本工作的核心贡献之一，是识别出一种新的体裁叙事可视化，并对其进行深入分析。体裁的重要性在文学和电影等其他艺术形式中显而易见；然而，在可视化研究领域，它却较少受到重视。我们认为，这类工作对于理解叙事可视化的设计，以及严谨思考如何构建和部署叙事可视化至关重要。以往关于叙事可视化的研究主要关注叙事结构，而在本文中，我们同时考察叙事与风格这两种形式系统，认为它们共同促成了观看电影式可视化时的戏剧体验。为此，我们借鉴了另一种艺术形式——电影的理论，以便为风格特征提供理论基础，并采用该领域已确立的分析技术，对我们的案例研究进行解构。

我们分析了多种电影式可视化示例，以及这些示例为特定叙事应用所采用的技巧。这些可视化中的许多只展示相对少量的数据（例如，聚焦于单一比率或数量），而非数据密集型内容。场景中的非数据元素发挥着重要作用：它们用于设定镜头拍摄的地点，并向观众提示他们身处何处、正在看什么，以及这为何与他们相关。这种方法与典型的信息可视化截然不同；在后者中，数据可能会被简化至最基本的形式，例如一条线或一个条形。相比之下，电影式可视化往往采取更为丰富的呈现方式：它不会缩减或省略非数据墨水，而是借此围绕数据点构建完整的数字世界。这种风格让观众仿佛置身于融入数据物体的地点之中，或能身临其境地体验过去发生的事件，或正在宇宙遥远之处发生的事件。

以三维形式渲染数据是一项颇具挑战的工作，因为人类估算和比较体积的能力相对有限，可能会掩盖所渲染的数值；而且，读取数值时，三维投影也可能引入失真。为什么创作者会选择电影化的路径，而不采用更清晰、直接且精准地传达底层数据的方式？我们认为，选择将可视化视为一种电影体验时，其作者或许着眼于眼前数据之外的内容，旨在让数据在有意义的语境中获得直观而深刻的根基。换言之，分析精度只是可视化可能实现的多个目标之一。选择三维形式时，我们或许会牺牲精度，以服务于其他目标。

致谢

我们谨此感谢 Susan Callery、Holly Shaftel、Randal Jackson、Daniel Bailey、Michael Gunson、Josh Willis、Joe Witte，以及美国国家航空航天局喷气推进实验室的地球科学传播团队对本研究的支持。本研究的部分工作由喷气推进实验室（加州理工学院）承担，依据与美国国家航空航天局签订的合同（80NM0018D0004）开展。

参考文献

[1] Fereshteh Amini、Nathalie Henry Riche、Bongshin Lee、Christophe Hurter 和 Pourang Irani。2015年。理解数据视频：透过电影摄影的视角审视叙事可视化。载于第33届年度ACM计算机系统中的人为因素会议论文集。美国计算机协会，1459–1468。[2] Fereshteh Amini、Nathalie Henry Riche、Bongshin Lee、Andres Monroy-Hernandez 和 Pourang Irani。2016年。使用DataClips创作数据驱动视频。《IEEE可视化与计算机图形学汇刊》23, 1（2016年），501–510。[3] Benjamin Bach、Zezhong Wang、Matteo Farinella、Dave Murray-Rust 和 Nathalie Henry Riche。2018年。数据漫画的设计模式。载于2018年CHI计算机系统中的人为因素会议论文集。美国计算机协会，38。[4] M Pauline Baker 和 Colleen Bushell。1995年。风暴过后：信息可视化的考量。《IEEE计算机图形学与应用》15, 3（1995年），12–15。[5] David Bordwell、Kristin Thompson 和 Jeff Smith。1997年。《电影艺术：导论》。第7卷。纽约：McGraw-Hill。[6] Kalina Borkiewicz、AJ Christensen、Helen-Nicole Kostis、Greg Shirah 和 Ryan Wyatt。2019年。电影化科学可视化：科学传播的艺术。载于ACM SIGGRAPH 2019课程（加利福尼亚州洛杉矶）（SIGGRAPH '19）。美国计算机协会，纽约，NY，美国，第5篇文章，共273页。https://doi.org/10.1145/ 3305366.3328056[7] Michelle A Borkin、Zoya Bylinskii、Nam Wook Kim、Constance May Bainbridge、Chelsea S Yeh、Daniel Borkin、Hanspeter Pfister 和 Aude Oliva。2015年。超越易记性：可视化识别与回忆。《IEEE可视化与计算机图形学汇刊》22, 1（2015年），519–528。[8] Michelle A Borkin、Azalea A Vo、Zoya Bylinskii、Phillip Isola、Shashank Sunkavalli、Aude Oliva 和 Hanspeter Pfister。2013年。是什么让可视化令人难忘？《IEEE可视化与计算机图形学汇刊》19, 12（2013年），2306–2315。[9] Jeremy Boy、Anshul Vikram Pandey、John Emerson、Margaret Satterthwaite、Oded Nov 和 Enrico Bertini。2017年。呈现数据背后的人：将可视化拟人化是否能唤起人们对人权数据更多的共情？载于2017年CHI计算机系统中的人为因素会议论文集。美国计算机协会，5462–5474。[10] Judd D Bradbury 和 Rosanna E Guadagno。2020年。纪录片式叙事可视化：纪录片在叙事可视化中的特征与模式。《信息可视化》19, 4（2020年），339–352。[11] Matthew Brehmer、Bongshin Lee、Nathalie Henry Riche、Darren Edge、Christopher White、Kate Lytvynets 和 David Tittsworth。2017年。微软时间线叙事工具。https://timelinestoryteller.com。[12] Paul Cairns、Anna Cox 和 A Imran Nordin。2014年。沉浸于数字游戏：游戏体验研究综述。《数字游戏手册》1（2014年），767。[13] S Card、J Mackinlay 和 B Shneiderman。1999年。《信息可视化读本：运用视觉进行思考》。Morgan Kaufmann。[14] Fanny Chevalier、Romain Vuillemot 和 Guia Gali。2013年。使用具体尺度：有效呈现复杂度量的实用框架。《IEEE可视化与计算机图形学汇刊》19, 12（2013年），2426–2435。[15] Marc Christie 和 Eric Languénou。2003年。一种基于约束的摄像机路径规划方法。载于智能图形国际研讨会。Springer，172–181。[16] William S Cleveland 和 Robert McGill。1984年。图形感知：理论、实验及其在图形方法开发中的应用。《美国统计协会杂志》79, 387（1984年），531–554。[17] Andy Cockburn 和 Bruce McKenzie。2000年。锥形树评估。载于《人机交互XIV——可用性至上！》。Springer，425–436。[18] Matthew Conlen 和 Jeffrey Heer。2018年。Idyll：一种用于创作和发布网页交互式文章的标记语言。载于ACM用户界面软件与技术（UIST）。http://idl.cs.washington.edu/papers/idyll [19] Matthew Conlen、Alex Kale 和 Jeffrey Heer。2019年。捕捉并分析网页交互式文章的主动阅读行为。《计算机图形论坛》（欧洲可视化会议论文集）（2019年）。http://idl.cs.washington.edu/papers/idyll-analytics [20] Robert L Cook、Loren Carpenter 和 Edwin Catmull。1987年。Reyes图像渲染架构。《ACM SIGGRAPH计算机图形学》21, 4（1987年），95–102。[21] Maxime Cordeil、Andrew Cunningham、Benjamin Bach、Christophe Hurter、Bruce H Thomas、Kim Marriott 和 Tim Dwyer。2019年。IATK：一种沉浸式分析工具包。载于2019年IEEE虚拟现实与3D用户界面会议（VR）。IEEE，第200–209页。[22] Donna Cox 和 PA Fishwick。2006年。隐喻映射：可视化的艺术。载于《审美计算》（2006年），第89–114页。[23] Tim Dobbert。2006年。《匹配移动：摄像机跟踪的无形艺术》。John Wiley & Sons。[24] Anthony J Ferri。2007年。《自愿悬置怀疑：电影中的诗意信念》。Lexington Books。[25] Michael Freeman。2007年。《摄影师之眼：让数码照片更出色的构图与设计》。CRC出版社。[26] Gustav Freytag。1904年。《戏剧技巧：戏剧构成与艺术论述》。Scott, Foresman。[27] John Gibbs。2002年。《场面调度：电影风格与阐释》。第10卷。Wallflower Press。[28] Esther Greussing 和 Hajo G Boomgaarden。2019年。只有铃铛和口哨吗？数字长篇报道中视觉美学的认知效应。《数字新闻》7卷2期（2019年），第273–293页。[29] Neil Halloran。2015年。《第二次世界大战阵亡者》。http://www.fallen.io/ww2/ [30] Jeffrey Heer 和 George Robertson。2007年。统计数据图形中的动画过渡。《IEEE可视化与计算机图形学汇刊》13卷6期（2007年），第1240–1247页。[31] Mark Henne、Hal Hickel、Ewan Johnson 和 Sonoko Konishi。1996年。《玩具总动员》的制作 [计算机动画]。载于COMPCON'96：《信息高速公路技术论文集》。IEEE，第463–468页。[32] Tomlinson Holman。2012年。《影视声音》。Taylor & Francis。[33] Jessica Hullman 和 Nick Diakopoulos。2011年。可视化修辞：叙事可视化中的框架效应。《IEEE可视化与计算机图形学汇刊》17卷12期（2011年），第2231–2240页。[34] Jessica Hullman、Steven Drucker、Nathalie Henry Riche、Bongshin Lee、Danyel Fisher 和 Eytan Adar。2013年。深入理解叙事可视化中的序列。《IEEE可视化与计算机图形学汇刊》19卷12期（2013年），第2406–2415页。[35] Petra Isenberg、Bongshin Lee、Huamin Qu 和 Maxime Cordeil。2018年。《沉浸式视觉数据故事》。载于《沉浸式分析》。Springer，第165–184页。[36] Alexander Ivanov、Kurtis Danyluk、Christian Jacob 和 Wesley Willett。2019年。《数据漫步》。《IEEE计算机图形学与应用》39卷3期（2019年），第19–28页。[37] Yvonne Jansen、Pierre Dragicevic、Petra Isenberg、Jason Alexander、Abhijit Karnik、Johan Kildal、Sriram Subramanian 和 Kasper Hornbæk。2015年。数据实体化的机遇与挑战。载于第33届ACM计算机系统中的人为因素年度会议论文集，第3227–3236页。[38] Craig Kolb、Don Mitchell、Pat Hanrahan 等。1995年。用于计算机图形学的真实感摄像机模型。载于SIGGRAPH，第95卷，第317–324页。[39] Robert Kosara 和 Jock Mackinlay。2013年。叙事：可视化的下一步。《计算机》46卷5期（2013年），第44–50页。[40] John Lasseter。1987年。将传统动画原理应用于3D计算机动画。载于《ACM计算机图形学》，第21卷。ACM，第35–44页。[41] Benjamin Lee、Dave Brown、Bongshin Lee、Christophe Hurter、Steven Drucker 和 Tim Dwyer。2020年。数据内脏化：利用虚拟现实加深对数据的理解。arXiv预印本 arXiv:2009.00059（2020年）。[42] Renae Low 和 John Sweller。2005年。多媒体学习中的模态原则。《剑桥多媒体学习手册》第147卷（2005年），第158页。[43] Kwan-Liu Ma、Isaac Liao、Jennifer Frazier、Helwig Hauser 和 Helen-Nicole Kostis。2011年。利用可视化进行科学叙事。《IEEE计算机图形学与应用》32卷1期（2011年），第12–19页。[44] Kim Marriott、Falk Schreiber、Tim Dwyer、Karsten Klein、Nathalie Henry Riche、Takayuki Itoh、Wolfgang Stuerzlinger 和 Bruce H Thomas。2018年。《沉浸式分析》。第11190卷。Springer。[45] David McCandless。2012年。《Information is Beautiful》。Collins London。[46] Sean McKenna、N Henry Riche、Bongshin Lee、Jeremy Boy 和 Miriah Meyer。2017年。视觉叙事流：探索塑造数据可视化故事阅读体验的因素。载于《计算机图形论坛》，第36卷。Wiley Online Library，第377–387页。[47] Timothy Morton。2013年。《超物体：世界终结之后的哲学与生态学》。明尼苏达大学出版社。[48] 美国国家航空航天局。2020年。地球生命体征。https://climate.nasa.gov/vital-signs/。[49] Rajendra K Pachauri、Myles R Allen、Vicente R Barros、John Broome、Wolfgang Cramer、Renate Christ、John A Church、Leon Clarke、Qin Dahe、Purnamita Dasgupta 等。2014年。《2014年气候变化综合报告：政府间气候变化专门委员会第五次评估报告第一、第二和第三工作组的贡献》。政府间气候变化专门委员会。[50] PacificVIS。2020年。视觉数据叙事竞赛。https://vimeo.com/pviscontest。[51] Deokgun Park、Steven M Drucker、Roland Fernandez 和 Niklas Elmqvist。2017年。Atom：单位可视化语法。《IEEE可视化与计算机图形学汇刊》24卷12期（2017年），第3032–3043页。[52] Matt Pharr、Wenzel Jakob 和 Greg Humphreys。2016年。《基于物理的渲染：从理论到实践》。Morgan Kaufmann。[53] Carol Rasmussen。2019年。《烈火锻造的伙伴关系》。https://climate.nasa.gov/news/2899/a-partnership-forged-by-fire/。

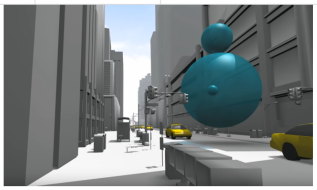
[54] Karel Reisz 和 Gavin Millar。1971年。《电影剪辑技巧》。（1971年）。 [55] Donghao Ren。2019年。数据驱动叙事的可视化创作。博士论文。加州大学圣塔芭芭拉分校。[56] Arvind Satyanarayan 和 Jeffrey Heer。2014年。利用省略号创作叙事可视化。载于《计算机图形论坛》，第33卷。Wiley Online Library，第361–370页。[57] Edward Segel 和 Jeffrey Heer。2010年。叙事可视化：用数据讲故事。《*IEEE*可视化与计算机图形学汇刊》16卷6期（2010年），第1139–1148页。[58] Debika Shome 和 Sabine Marx。2009年。《气候变化传播心理学：面向科学家、记者、教育工作者、政治助理及感兴趣公众的指南》。环境决策研究中心，纽约。[59] Ronell Sicat、Jiabao Li、JunYoung Choi、Maxime Cordeil、Won-Ki Jeong、Benjamin Bach 和 Hanspeter Pfister。2018年。DXR：用于构建沉浸式数据可视化的工具包。《*IEEE*可视化与计算机图形学汇刊》25卷1期（2018年），第715–725页。[60] Charles D Stolper、Bongshin Lee、N Henry Riche 和 John Stasko。2016年。新兴与反复出现的数据驱动叙事技术：对近期精选故事集的分析。（2016年）。[61] Frank Thomas、Ollie Johnston 和 Frank Thomas。1995年。《生命的幻象：迪士尼动画》。Hyperion，纽约。

[62] J Thompson、Z Liu、W Li 和 J Stasko。2020年。《动画数据图形的设计空间与创作范式探究》。载于《计算机图形论坛》，第39卷。Wiley Online Library，207–218页。[63] Hamish Todd。2017年。《病毒：野兽之美》。http://viruspatterns.com/ [64] Edward R Tufte。2001年。《定量信息的视觉呈现》。第2卷。Graphics Press，康涅狄格州切希尔。[65] Craig Upson、TA Faulhaber、David Kamins、David Laidlaw、David Schlegel、Jefrey Vroom、Robert Gurwitz 和 Andries Van Dam。1989年。应用可视化系统：科学可视化的计算环境。《*IEEE*计算机图形学与应用》9，4（1989），30–42页。[66] Jagoda Walny、Christian Frisson、Mieka West、Doris Kosminsky、Søren Knudsen、Sheelagh Carpendale 和 Wesley Willett。2019年。数据改变一切：数据可视化设计交接中的挑战与机遇。《*IEEE*可视化与计算机图形学汇刊》26，1（2019），12–22页。[67] Colin Ware。2012年。信息可视化：设计感知。Elsevier。[68] I-Cheng Yeh、Chao-Hung Lin、Hung-Jen Chien 和 Tong-Yee Lee。2011年。用于人体运动概览的高效相机路径规划算法。《计算机动画与虚拟世界》22，2–3（2011），239–250页。[69] Qiyu Zhi、Alvitta Ottley 和 Ronald Metoyer。2019年。链接与布局：探索叙事中文本与可视化的整合。载于《计算机图形论坛》，第38卷。Wiley Online Library，675–685页。

	ID	Title	Author	Publisher	Realtime rendering	Realistic Background	Mixed Reality	Visual Analogy	In-situ Narrator	Unit Visualization	Concrete Scale	3D model	Annotation - Material	Annotation - Opacity	Annotation - Light	In-Situ Annotations	Composited Annotations	Composited Narrative Text	Moving camera	Point-of-view camera	Overview camera	Camera focus	User-controlled camera	Cameras Cuts	Interactive	User-triggered steps	Embedded	Narration	Music	Diegetic Sound
					Mise-en-scène														Cinematography					Editing				Audio		
Article	CV1	Drowning in plastic	Simon Scarr, et al.	Reuters																										
	CV2	Is This the Neighborhood New York Deserves?	Michael Kimmelman	NYT																										
	CV3	Krigsskipet som krasjet og sank	Stangvik, et al.	VG																										
	CV4	How China Turned a City Into a Prison	Chris Buckley, et al.	NYT																										
	CV5	The Forbidden City's unique architecture	Marco Hernandez	South China Morning Post																										
	CV6	Here are 120 million Monopoly pieces, roughly one...	Confessore, et al.	NYT																										
	CV7	Building Katie's New Face	Jason Treat	NatGeo																										
	CV8	Mass Exodus: The scale of the Rohingya crisis	Christian Inton	Reuters																										
	CV9	This 3-D Simulation Shows Why Social Distancing...	Parshina-Kottas, et al.	NYT																										
	CV10	Tracking China's Muslim Gulag	Simon Scarr	Reuters																										
	CV11	Choice and Chance	Staff	Tampa Bay Times																										
	CV12	Cassini's Grand Tour	Nadia Drake, et al.	NatGeo																										
	CV13	Resurrecting a Dragon	Brian T Jacobs	NatGeo																										
	CV14	Want to fireproof your house? Here's where to start	Kyle Kim, et al.	LATimes																										
	CV15	Apollo 11 - As They Shot It	Jonathan Corum, et al.	NYT																										
	CV16	The Atlas of Moons	NatGeo Staff	NatGeo																										
	CV17	Explore a Toad's Digital Clone	Brian T. Jacobs	NatGeo																										
	CV18	THE THOMAS FIRE: 40 DAYS OF DEVASTATION	Joe Fox	LATimes																										
	CV19	Is the Nasdaq in Another Bubble?	Roger Kenny, et al.	Wall Street Journal																										
	CV20	A 3-D View of a Chart That Predicts The Econom...	Gregor Aisch, et al.	NYT																										
	CV21	Inside the Taser	Simon Scarr	Reuters																										
	CV22	Seeing Earth from Outer Space	Matthew Conlen	The Pudding																										
	CV23	Of Catastrophes and Rescues: Making the Invisib...	Peter Mindek, et al.	PacificVis																										
	CV24	A Visualization of Two-stage Autoignition of n-dod...	Yucong Ye, et al.	PacificVis																										
Video	CV25	How Mariano Rivera Dominates Hitters	Graham Roberts, et al.	NYTimes																										
	CV26	New York City's greenhouse gas emissions as one...	Real World Visuals	Real World Visuals																										
	CV27	CCS: A 2 degree solution	Real World Visuals	Real world Visuals																										
	CV28	CARS	Real World Visuals	Real world Visuals																										
	CV29	[REALISTIC] Elephant rocket fuel - Saturn V	Maxim Sachs	YOUTUBE																										
	CV30	University of Exeter greenhouse gas emissions in R...	Real World Visuals	Real world Visuals																										
	CV31	If The World Were 100 People	Gabriel Reilich, et al.	Good Magazine																										
	CV32	Up - and down - from Ground Zero	Graham Roberts, et al.	NYT																										
	CV33	The Birth of a Virtual Cell	Peter Mindek, et al.	PacificVis																										
	CV34	The Nuclear Threat - The Shadow Peace	Neil Halloran	Youtube																										
	CV35	What if Carbon Left Your Tailpipe as Solid Chunks?	Sukee Bennett	PBS Nova																										
	CV36	Stay Home, Flatten the Curve	keta	Youtube																										
	CV37	Chart Party: We decided to erase the three-pointer	Jon Bois	Youtube																										
	CV38	200 Countries, 200 Years, 4 Minutes	Hans Rosling	Youtube																										
	CV39	The best stats you've ever seen	Hans Rosling	TED																										
	CV40	VFX Artist Reveals the True Scale of the Universe	Wren Weichman	Corridor Crew																										
	CV41	Helge Ingstad	Hallvard Sandberg	NRKbeta																										
	CV42	The dangers of storm surge	The Weather Channel	The Weather Channel																										
	CV43	Survive the Tornado	The Weather Channel	The Weather Channel																										
	CV44	Television Elections Coverage	KING5 TV	KING5																										
	CV45	Powers of Ten	Eames & Eames	IBM																										
	CV46	Strange things happen when you rotate in 4 dimen...	Hamish Todd	Youtube																										
AR/VR	CV47	Discovering Gale Crater	Armand Emamdjomeh	LATimes																										
	CV48	Taiwan earthquake: Survivors found in rubble of Ta...	Malachy Brown,	SketchFab / Australian																										
	CV49	Four of the Best Olympians, as You've Never Seen...	John Branch	NYT																										
	CV50	How We Created a Virtual Crime Scene to Investig...	Malachy Brown,	NYT																										



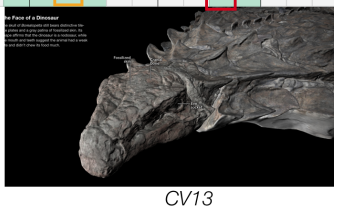
CV40
A. In-situ Narrator



CV26
B. Anthropocentric Perspective



CV35
C. Resolving Scale



CV13
D. Author-Guided Interactive Camera

图7：我们通过场面调度、电影摄影、剪辑和声音等特征，对50个电影式可视化进行了风格分析。此表的 HTML 版本（含每行对应的网址）可在 https://cinematic-visualization.github.io/ 查阅。