

基于摩尔纹效应的建筑形态应用初探

Study on the Application of Architectural Form Based on Moiré Effect

马宜勃 | MA Yibo

中图分类号: TU-022/024 文献标志码: A 文章编号: 1001-6740(2022)05-0099-08 DOI: 10.12285/jzs.20220216003

摘要: 摩尔纹效应作为一种常见的物理现象自从发现以来在许多领域已经有了深入的应用,但其在设计学特别是建筑设计上的应用仍然处于初期的探索阶段。摩尔纹效应具有很强的视觉和空间冲击力,具有艺术的动态性及科学的可控性。本文以摩尔纹效应作为主要的研究对象探讨其在概念、形态等在建筑设计上的应用。

关键词: 摩尔纹效应、建筑形态

Abstract: As a common physical phenomenon, the moiré effect has been applied in many fields since its discovery, but its application in design, especially in architectural design, is still in the initial stage. The moiré effect has strong visual and spatial impact, nonlinear and dynamic. This paper takes the moiré effect as the main research object to discuss its application in architectural design in terms of concept and form.

Keywords: Moiré Effect, Architecture Form

当代建筑的发展常常需要借助数学、物理等相关基础学科的借鉴和思考,例如通过建立数学模型解决建造技术难题、通过大量数学运算生成的参数化设计风格等。摩尔纹效应作为一种可直接观察的图像性物理学现象,在许多领域已经有了广泛的应用,在设计上也有许多成功的案例和理论体系。然而由于其图像源于人观察时产生的视错觉而常具有致炫性,在建筑设计上进行应用具有一定的研究难度。随着建筑理论、建筑技术、建筑材料的不断进步,建筑设计向精细化发展,摩尔纹效应在建筑形态的设计上的可利用性在不断提高,可控性不断增强,并在设计上展现了极高的独特性和趣味性。

摩尔效应是一种视觉现象,源于法语词 Moiré pattern,在 18 世纪被法国研究人员摩尔首先发现。

Moiré 一词在法语中是水波的意思,最早是人们在制作织物制品时发现两层织物的叠加而产生如同水波一样的条纹纹样。最常见并利于解释的摩尔纹效应是由两组平行线之间通过一定角度偏差产生的图案叠加效果,在视觉上引起一种错位感受,更加科学的解释为相同频率重复的两组或几组图案相互叠加则产生了一种不规则的、非线性的变化^[1]。摩尔纹常常出现在各种相近频率的任意形式线段的叠加中,所产生的效果也更加复杂多样,几组常见的摩尔纹叠加图案如下(图 1)。

摩尔纹的产生与图案更应该被归纳为一种视觉错觉 (visual illusion),这种错觉源于相近的频率对大脑产生了欺骗性。因此当人们看到特定设计的摩尔纹效果图案是感觉他仿佛是动态移动的图片。这种自然的物理现象体现的是一种固定事物

作者:

马宜勃,宾夕法尼亚大学硕士,北京市建筑设计研究院有限公司朱小地工作室建筑师

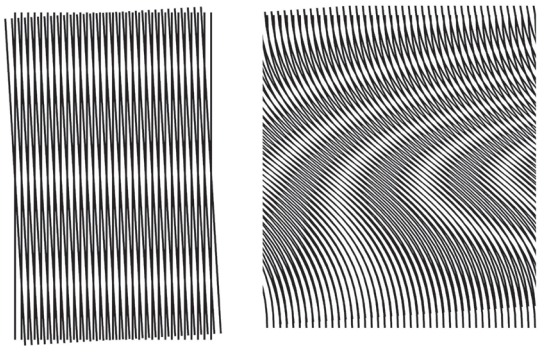


图1: 摩尔纹叠加图案

的动态性和互动性,这在现代主义中对于表皮流动性的设计具有借鉴意义。现代主义建筑在表皮的设计中由弗雷·奥拓利用膜轻质膜结构最早展现了建筑表皮的流动性,使建筑具有了超越表象的意义。这种动态表达出于对建筑传统规则和审美的突破,笨重结构的抵制以及对自然的仰慕^[2]。近代的建筑也同样在讨论建筑的虚拟性问题,通过反射材料、半透明膜材料或者单纯使用电子屏进行建筑外立面的设计,建筑的立面属性被逐渐打破。而在面向未来的数字建筑领域,基于视觉为主的,具有互动性的建筑形式以及空间形式为摩尔纹在空间设计中的应用提供了更多的可能。在这一点上,摩尔纹效应的图案成了建筑表皮和建筑空间可用于表达的一个方向。

一、摩尔纹与设计

对于摩尔纹的应用经过了漫长的过程,摄影的负面效果是摩尔纹最被人们所熟知的原因之一,由于传统的相机、扫描仪等设备的感光元件上受到高频干扰或者拍摄物件有条纹状衣物等,而在图片上出现了彩色和形状不规则的条纹。而随着感光元件精度的提高以及相关理论的普及,人们已经可以极大程度地消除摩尔纹的负面效果,转而对摩尔纹加以利用,例如将原本清晰的图片叠加摩尔纹形成做旧效果,美元上通过高精度的摩尔纹印刷达到防伪的作用等。近年来物理学上的中国天才曹原在其几篇关于石墨超导体的论文中,都在题目中提到的“魔角”一词(magic-angle)其实也和摩尔纹效应息息

相关^[3],而这种 1.1° 的魔角效应也产生了一种特定形式的摩尔纹效应(图2)。而从设计者的角度也可以从中发现其中独特的科学性和趣味性^[4]。

对于设计学科而言,摩尔纹的构成元素常常是直线、曲线、条纹或者网格,这些元素本身也是设计的核心元素。当我们想为一个设计创意增加深度(depth)、动态性(movements)和刺激效果时,摩尔纹可以成为一个非常有用的设计工具。1890年西方服装设计师设计的女士长裙就很好的借鉴了摩尔纹效应来创造视觉焦点(图3)。在发现视觉的基本原理方面,视觉艺术常常利用系统的研究方法(虽然多半依赖直觉)领先于视觉科学。从这个角度讲,美术、错觉和视觉科学实际上常常环环相扣。

欧普艺术(op art)运动诞生之后,视觉错觉逐渐被认可为一种艺术形式。欧普艺术家们探究了视觉感知的许多方面,例如几何形体之间的关系,在现实中不会存在的“不可能图形”,以及关于光亮、颜色和形状感知的幻觉。同时,具有流动性的“可动的”图片引起了特别的关注。经过设计师的精心设计,静止的图案让观看者在主观上产生了强烈的错觉,并误认为它们是动态的。欧普艺术的奠基人维克多·瓦萨雷利(Victor Vasarely)早年在布达佩斯的缪赫利平面艺术学院学习,这是一所模仿德国包豪斯的学院。与德国同行一样,这所学校的重点是将艺术融入日常生活,使其实用性强,易于制作,以达到尽可能广泛的受众。这所学校的理想美学是抽象的,以普遍的形式和原色为中心,

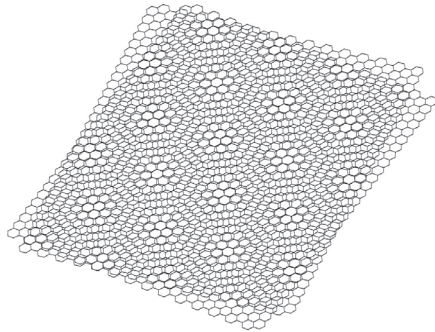


图2: 石墨烯“魔角”效应

应用于从装饰艺术到纺织品、绘画和建筑的一切事物。在谈到他在那里的时代时,瓦萨雷利说:“我们必须通过形式、颜色和材料来表达概念的相应价值,例如尖锐、迟钝、柔和、脆弱、安静”。下图(图4)是他的代表作,利用间隔的黑白线条的变化刻画出栩栩如生的斑马形象^[5]。



图3: 女士穿着云纹晚礼服和新娘礼服, 1885



图4: 《斑马》, 1937

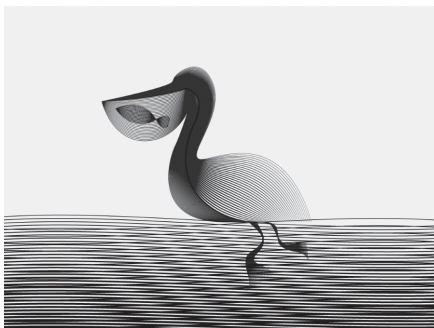


图5: 鵝鵝

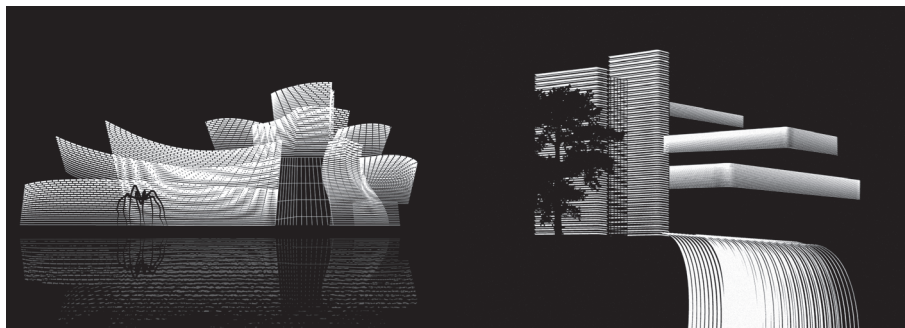


图6: 毕尔巴鄂古根海姆美术馆和流水别墅



图7: 《芝加哥》，1969



图8: 《汇聚》，1937

当代数字成像技术的进步令摩尔纹的应用更加广泛，图形频率的调节和图案的叠加这两个摩尔纹的基本参数可以较为容易被计算机完成，而摩尔纹的表现力也需要经过高分辨率的显示器来体现。例如艺术家 Andrea Minini 的矢量化风格设计动物系列，通过黑白线条勾勒动物的轮廓和体态，形成一种抽象化、极简的艺术形象。例如数字作品《鵝鵝》中（图5），鵝鵝鸟身体各部分都通过不同疏密的渐进曲线描绘，而湖水通过两层波纹进行叠加形成摩尔纹，让人感受到水面的动感，而鱼和鸟嘴的频率差也仿佛是鱼在扭动身体，挣扎逃脱。对于摩尔纹效应的艺术化运用使得画面形成了一种静中有动的质感，并且可以在图面中形成视觉焦点，而对于动态性加以合理运用可以达到高级的图面艺术，同样也是数学图案与自然形态的完美结合。而他的建筑艺术作品，如《毕尔巴鄂古根海姆美术馆》和《流水别墅》（图6）作品同样体现了抽象和极简的理念，通过黑白的点线面的对比和变化表达复杂的建筑形象，对于材质及光影也有清晰的刻画，同时运用摩尔纹对于建筑的概念和特点进行提取和艺术表达。运动雕塑家 Bury 的 Cinetisations 系列将建筑和艺术照片剪成细条然后重新组合，创造出开始转向、弯曲或者坍塌的作品。如作品《芝加哥》（图7）通过对建筑的扭曲形成了一种重力的慢动作，它希望给自认为不可改变的东西一种自由的氛围。通过对于摩尔纹细节的合理控制，让原本混沌的视错觉现象变成了动态性的艺术焦点。以及摄影作品《汇聚》（图8）中，摄影师对美国费城斑马线

和建筑的黑白线条肌理进行摄影重构，以高对比的黑白画风表达作品，同时不同频率的黑白条纹之间也形成了摩尔纹效果的强烈反差。结合以上几个例子，可以看出几个摩尔纹在数字化成像上的几个艺术特点：

由于广泛引用单纯的点线面来表达，可以被概括为其抽象性。

通过高对比叠加来营造视觉交点和艺术化使得整个图面的一致性和简洁性。

摩尔纹所形成的以静为动的视觉效果使其具有动态性，以及强烈视觉刺激而形成美学上的戏剧性。

二、摩尔纹在建筑领域的应用及特点

摩尔条纹的出现是可预测，但是他们建筑物上的出现往往是随机的并破坏了建筑师所理想达到的视觉效果，在设计阶段想要对摩尔纹进行可控编辑，对建筑师是一个极大的挑战，大部分摩尔纹的效果往往在建成之后才被建筑师和投资者恍然发现。对摩尔纹效果的忽略有时可以影响建筑的美感，甚至形成视觉干扰。下文分类讨论集中摩尔纹效果在建筑形态上应用的案例，从相对偶然、随机的摩尔纹效果，到精细化地将摩尔纹效果运用到建筑美学当中。

（一）双、多层网膜系统构成的摩尔纹外部空间

合理控制的多层网膜体系在建筑外皮的使用容易自然地产生优美的摩尔纹图案，衬托建筑物似隐非隐的通透感和神秘

感,例如建筑师史蒂芬·霍尔在阿姆斯特丹设计的办公楼立面(图9)中采用了双层穿孔板作为建筑表皮,大面积双层穿孔板的使用体现了建筑的简洁性和复杂性,由于穿孔率的合理控制,建筑表皮体现出均质化的圆形摩尔纹,丰富了建筑立面的神秘感,使得视线不仅停留在建筑表皮之上。再例如笔者所参与的山西晋城华谊星剧场项目(图10),通过立面大面积的黑色金属网和金色的金属幕墙结合回应山西当地的煤炭文化,建筑主体沿南北向展开,整体呈长条状。内有多功能情景剧场,小型剧场及商业等空间属性,金属网装饰墙沿建筑的长向连续布置,整体呈现起伏的山形。每一片网架通过两到三片网格型的金属框架构成,形体上前后交错呈连续的“凸”字形,形成合理的自承重结构形式。层叠的多层金属网墙若虚若幻,在设计之初我们仅希望通过多层的金属网叠加形成不同的通透效果,形成一种半透明的虚幻感,并没有考虑到类似于摩尔纹等额外效果。然而在实际建筑中,在某些视角下呈现出曲线的摩尔纹效果图案,同时因为层数相对较多而且网架之间的空间关系较为多样,根据视角不同可以带给游客不同的感官变化。在项目设计中,我们基于网格密度、间距以及网格板样式进行了不同的材料选型,并且在计算机辅助建模下进行穷举法尝试组合出相对较优解,并结合选择出的几组较优解在现场进行样板段搭建,通过样板段比对,结合实际光影和视觉效果,挑选出网架间距相对合适的组合,形成移步异景的缥缈场景,结合光影的布置具有很好神秘感和趣味性,并体现了极高的艺术性。以上两种效果是均质化的摩尔纹效应的成功案例,在建筑简洁的立面形体的基础上,通过合理的控制材料密度和双层网之间的距离,增加了建筑的层次性和神秘感。

反之,受到摩尔纹效应而使得建筑美感降低的建筑比比皆是,美国克拉科夫市某办公楼(图11),在外立面设计了多层条状金属网,由于金属网各层相对较稀疏形成了多层次的较为混乱的摩尔纹图案,

并且在受到风作用后还会摆动形成图案变化。这种图案较为错乱、无序的情况对室内的长期使用者来讲是一种视觉干扰,大大降低了建筑师所设想的半通透的缥缈状态^[6]。内部的办公人员抱怨视线会不由自主地受其干扰而无法集中注意力导致头晕目眩。路过的行人和驾驶员可能会受到强烈的视觉刺激,影响驾驶安全,造成类似于光污染的危害。

(二) 摩尔纹效应直接利用

在肌理的合理控制基础上,对叠加后形成图案的直接设计和优化,可以表达出

新颖的建筑创意。下图为曼哈顿一栋40年历史的车库立面改造设计(图12),建筑通过双层铝格栅对建筑立面进行了整体改造,在建筑入口处,设计师将停车场的英文“Park”巧妙地植入了改造后的建筑表皮,单纯地利用摩尔纹效应设置了别具一格的店招,传递了建筑的功能性信息。由于摩尔纹效应本身的可变换性,市民在行进的过程中店招将会出现闪烁的效果,形成了一种被动式的特色化店招,而由于闪烁效果跟随视角不同进行变化,所以也具有极高的互动性。位于伦敦格林尼治岛的

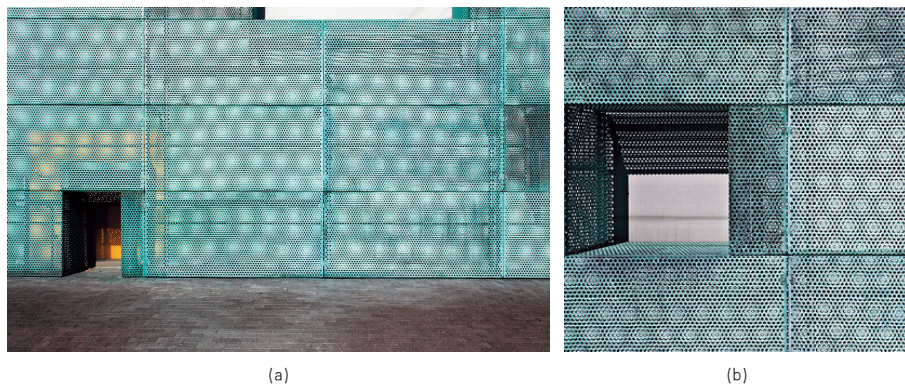


图9: 阿姆斯特丹某办公楼立面

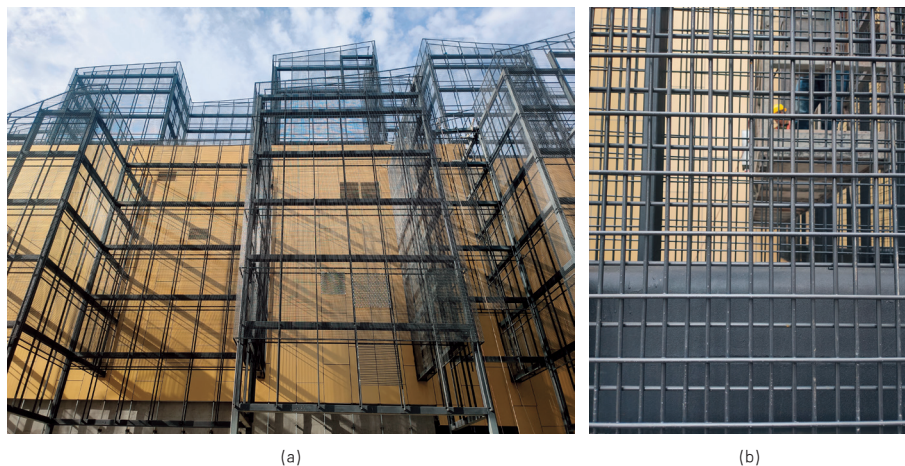


图10: 山西华谊星剧场立面

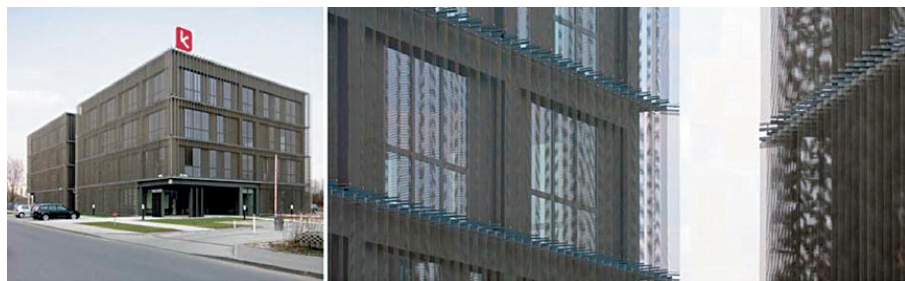


图11: 克拉科夫市某办公楼

“光影外衣”(optic Cloak)(图13), 由于原有建筑过于高耸与周围环境格格不入, 设计师巧妙地通过穿孔铝板给大楼进行包裹, 并将带有摩尔纹效果的图案进入立面, 当人们远远望去, 多变的视觉图案就淡化了

人们对建筑本身巨大体量的关注, 以此增加了建筑的轻盈感。而这个设计的理念也来源于设计师对于第一次世界大战中舰船上的高度炫目伪装的设计灵感。再如布里斯班女子编程学校的西立面通过黑白线条

穿插形成了许多摩尔圆圈(图14)。在设计前期对摩尔纹效果进行控制, 通过在空间上对几层构件进行合理布局可以发挥出意料的效果, 并且在计算机辅助技术的基础上, 难度相对可控。由于摩尔纹效应具有较高的复杂度, 对效应的直接利用已经能够形成优秀的建筑创意表达。

(三) 摩尔纹效果动态表达

上海复兴艺术中心位于上海外滩(图15), FosterPartners 和 Heatherwick Studio 联合设计, 三层独立“流苏”帘幕系统通过移动使建筑展现与众不同的动态之美, 不同的频率叠加形成变换的摩尔纹效应, 建筑的流苏帘幕外轮廓呈现圆筒形。几套动态帘幕的叠加所形成的律动美可以被归纳成单纯竖向构建的频率变化, 在光影效果的叠加下能够自然形成不同宽度的光栅, 而帘幕本身的流动强化了摩尔纹的闪烁效果, 为建筑的动态之美增添了光彩。其他建筑立面如 extex 的 kineticwall(图16), 是一个动态的移动建筑立面, 营造出引人注目的美感。kineticwall 由连接到不锈钢棒的6英寸挡板制成, 可响应风流并起伏, 营造出滚动波浪的外观。结合上述两个例子可以看出, 动态的立面系统所产生的摩尔纹效果是通过局部的移动或者构建的偏转所形成的频率差而产生的闪烁效果, 建筑静止的单帧照片并不体现摩尔纹, 但是当建筑动起来的时候高反差的光影对比则更加体现出摩尔纹效果。

(四) 摩尔纹的效果转译

UN STUDIO 在台湾高雄设计的大力百货大楼外墙立图案如同一个巨大的十字星(图17), 玻璃和金属格栅的交错布置形成向外无限延伸的立面效果, 图形本身是通过对于摩尔纹效果的图案进行转译所实现的, 与单纯的双层膜结构组合所形成的立面效果不相同的是这种立面形式更加完整并且可控, 形式和功能结合密切连贯并且统一。通过不同角度的玻璃拼凑出的图案结合夜间的LED照明系统, 使得每个角度都呈现出不同的感受, 利用的是摩尔纹的效果转译。由于摩尔纹本身是通过多层图像形成的视觉现象, 其结果的表达需要



图12: 曼哈顿某立面改造图案

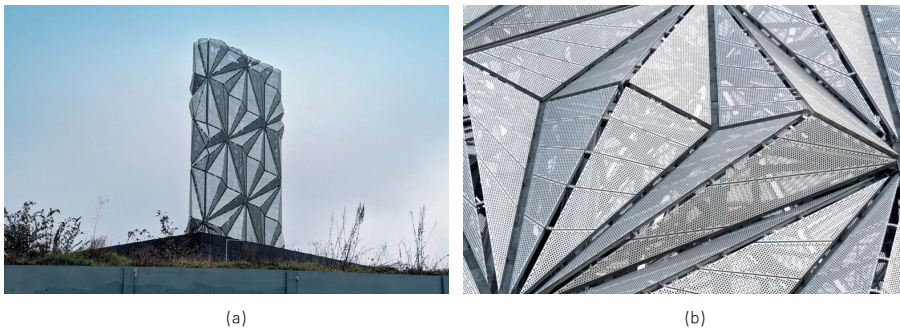


图13: 伦敦格林威治岛的“光影外衣”



图14: 布里斯班女子编程学校的西立面

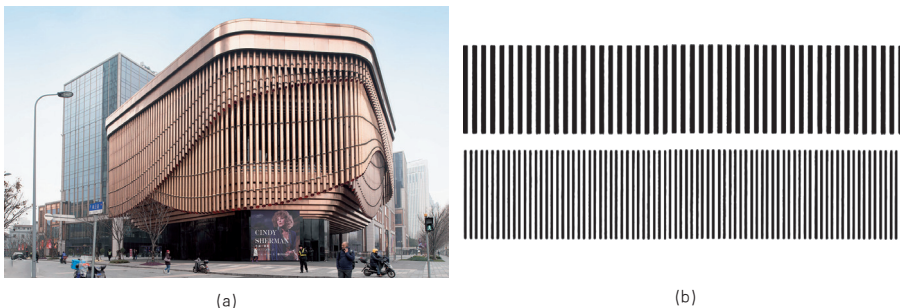


图15: 上海复兴艺术中心与频率原型

借助对图案的结果进行参数化的提取, 并通过计算机算法生成, 或者也可以通过结果反推过程, 即为以较为生动成型的摩尔纹效果图案作为参考, 对具体的构建的位置、尺寸及组合关系进行控制来达到摩尔纹效果的转译。这种转译方法与功能结合十分紧密, 较为成熟, 具有很高的艺术性。

三、一种以摩尔纹为基础的设计方法

摩尔纹效应作为一种具有动态性的二维图像具有极高的复杂程度, 同时可以在

空间中进行叠加和组合。因此, 摩尔纹效应可以在三维空间甚至多维空间中进行拓展和设计上的尝试。由于之前的论述中已经结合建成案例讨论过二维空间层面的摩尔纹效果和设计分类, 这里主要结合本人的研究讨论自由曲线的二维空间、二点五维空间及三维空间的摩尔纹效应尝试。

在二维平面空间中, 将两根手动绘制的有理样条曲线 (nurbs) 通过平均曲线 (tweencurve) 形成阵列型的分层图像。对这一组图像进行复制并绕其中心点进行旋转, 以 0.1° 为基本单元旋转直到无法直接显示清晰的摩尔纹图案 (图 18)。在这

个变换过程中, 图案的主体变化并不大, 但是摩尔纹效果却有极大的差异性。通过多个类似图案的比较和尝试可以简单归纳出以下几点:

1. 图案随着转动效果先逐渐增强, 而后逐渐减弱并显得模糊不清。
2. 原始图案越复杂, 图案在旋转叠加后越复杂并难以预测。

这类型的生型方法较适用于现有建筑的外立面参数化设计, 因为的可控性和可识别性最高, 之前阶段介绍的案例中, 也多通过这一种生型方法进行立面设计的初稿和参考。



(a)



(b)

图 16: exteck 的 kinetic wall

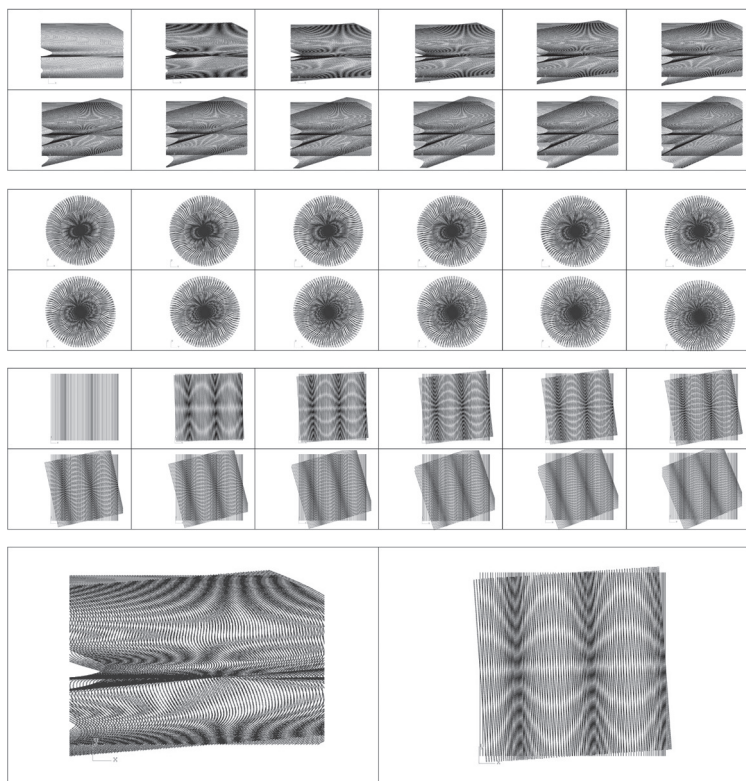


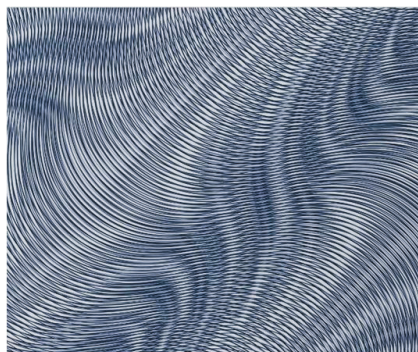
图 18: 二维空间下摩尔纹变换列举



(a)



(b)



(c)

图 17: 大力百货大楼与图案原型

在二点五维的研究中, 尝试使用了新的生型方法 (图 19), 这种生型方法通过沿一条曲线产生的一组平面形成一系列空间平面, 这一系列平面也具有线性关联, 因此称为二点五维, 生型方法的具体步骤如下:

1) 在给定的空间范围内创造一根连续的曲线, 将曲线等分后获取与曲线垂直的截平面。在范围内根据体量的需求将原有曲线进行偏移或缩放并与原有截平面相交后产生相交点。

2) 在连续的两条相交点内依据截平面的顺序绘制圆弧, 圆弧通过三点坐标表达, 其中两端点分别位于截平面与两条线的交点, 并在截平面上确定中点同时给予一个偏移量数值。

3) 依次绘制所有弧线。

这种生型方法即为在空间中绘制成组的、弧度角相同的曲线, 所以每一组弧线具有阵列性, 而每一组弧线之间又存在关联性。这种生型方法是基于二维摩尔纹生型方法的延伸, 在实践中效果也非常明显。使用相似的生形方案在空间上运用, 同样通过列举法生成多套具有空间摩尔纹效应的图案。在二维方案生形的基础上, 方案同样对两套基础图案进行复制、空间缩放及旋转。同时在生型过程中, 输出结果也具有了相应空间感和体量感, 可以成为建筑设计的一个基本体量基础, 而同时各个空间之间关联性强, 语言一致并极具美感和可变性。同时几组体量结果可以再次叠加, 并在不同的体量之间赋予不同的颜色、宽度等信息, 所生成的最后结果具有更高的复杂度。值得注意的是, 这种体量叠加所产生的结果更多是基于特定空间进行进一步设计, 与摩尔纹本身的关联性较低, 可以被认为是一种结果导向的生型优化。如 Frank Michielli 教授的雕塑作品 Moiré3 (图 20) 是基于特定网格材料进行空间扭转所形成的壳体空间, 摩尔纹效果时基于形体的扭转所自然生成, 已经能够对空间的丰富度和视觉感受进行强化, 如果能够基于所形成的空间进行摩尔纹效果的二次设计, 即对于材料单元进行重新排布则有机会产生更强的空间体验和艺术感染力。

三维空间的生型方式与二点五维空间相同, 但生型的基础曲线与生成截面的曲线不再直接相关, 因此截面产生交点的顺序相对复杂, 使得成组产生的圆弧线的组间关联性和连续性降低。同时, 三维空间的生型方法也不仅局限于摩尔纹的图案性, 而是在空间中寻求线在频率的变化, 也会自然而然地在特定的视角产生趣味性摩尔纹效果。在三维空间中对于概念发展的复杂度可以非常高, 以至于过于复杂形

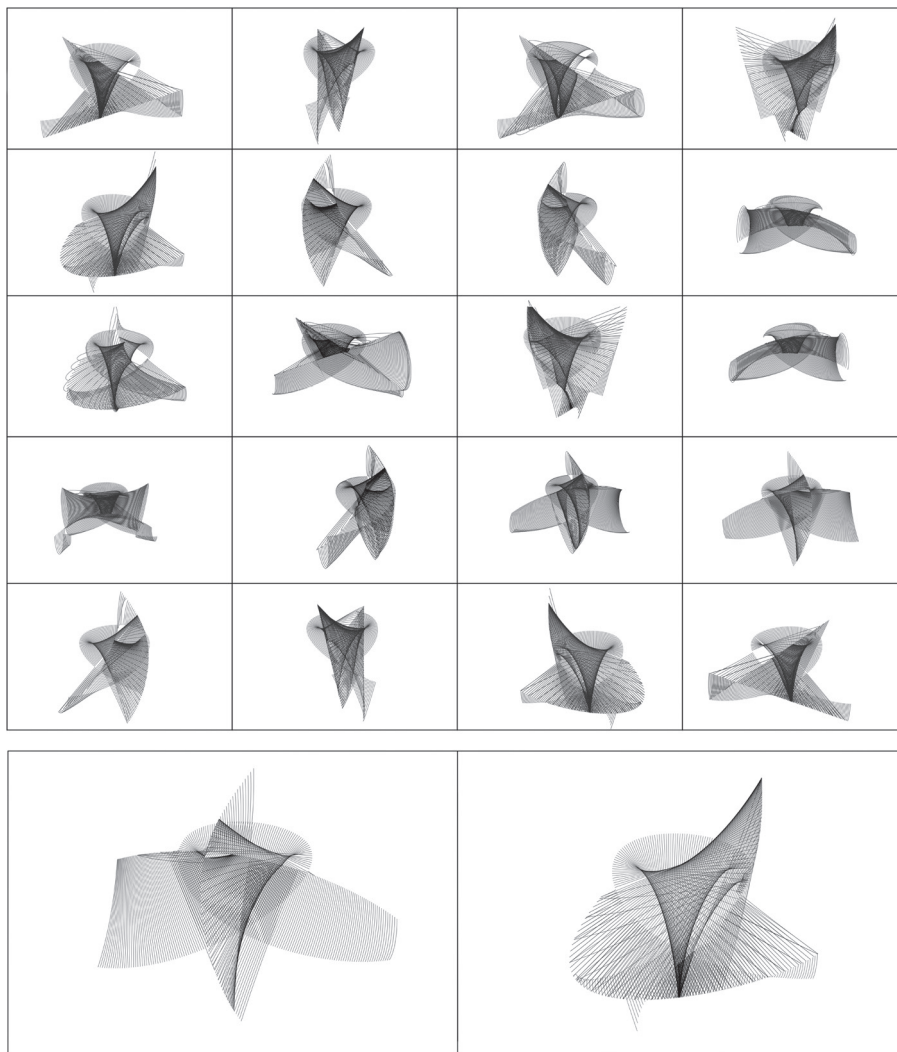


图 19: 二点五维空间摩尔纹变换列举

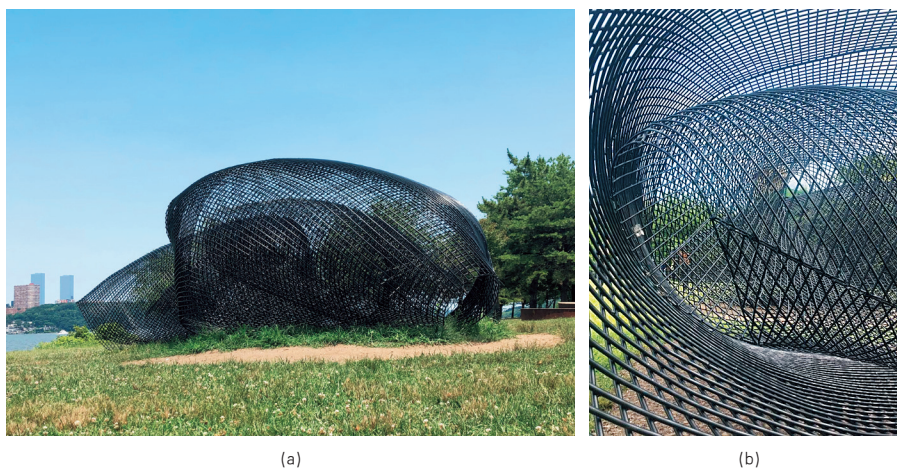


图 20: 雕塑作品 Moiré3

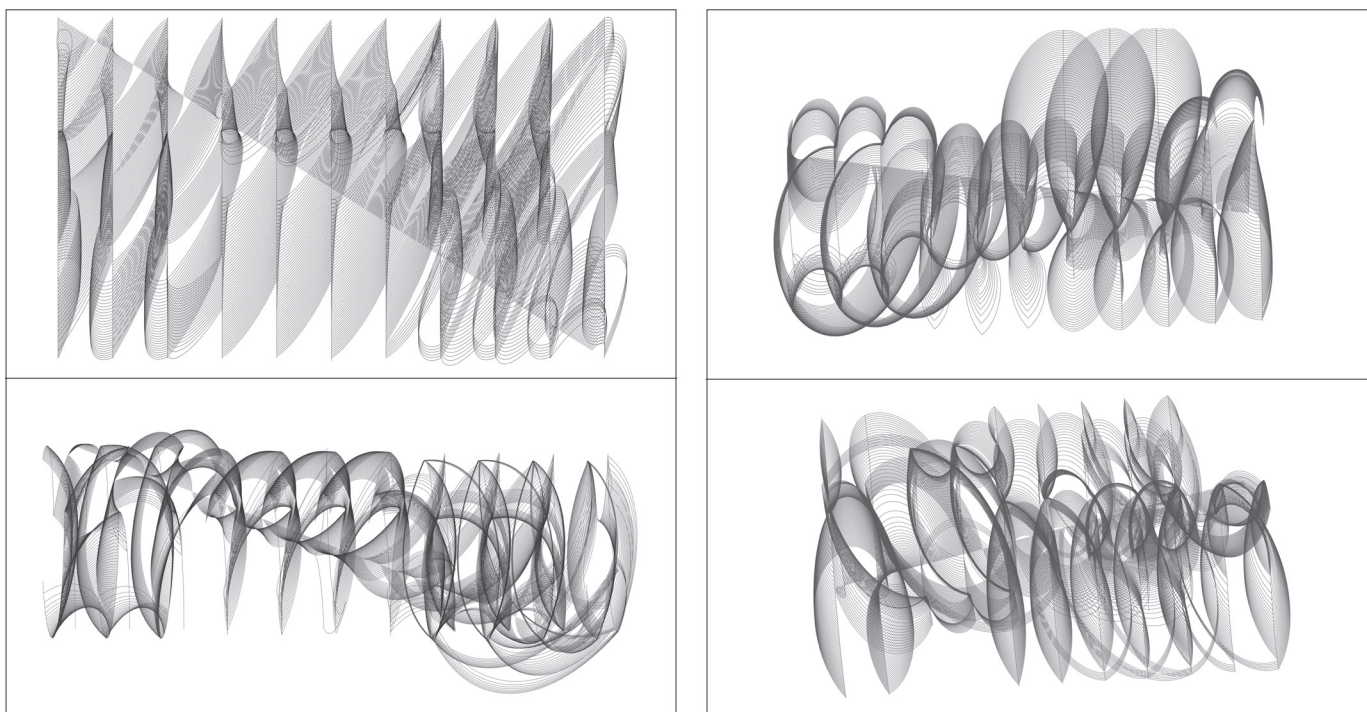


图21: 三维空间摩尔纹变换列举

成混沌的状态,即为无法清晰分辨出形体的空间意象和内在关系。因此,最终生成的体量模型难以直接产生可用于建筑方案深化的体量,往往需要进一步的梳理和提取(图21)。那么,一种可借鉴的生型参考即为将原始生型曲线划分为相对关联的几组初始曲线,比如在空间中一组间距相同的初始线,最终形成的体量模型可以较为清晰地看出原始的几组参考曲线的空间秩序,最终形成的形体是规律性的同样是参数变化的。并可以将参考曲线理解成轴线进行进一步的空间形态的发展基础。

四、结语

建筑学的发展倾向往往需要借助相关学科的进步和发现,人们对于摩尔纹效应等许多具有图案性及活动性的物理效应具有极高兴趣,科学家对于相关的自然科学现象也仍然在探索之中,从本文中所提及的建筑案例和相关研究可以看出,建筑师借助计算机辅助技术已经可以有效控制其

不可预见的致炫性所带来的负面效果,并可以将摩尔纹效应的在建筑设计上进行结合和应用。同时,基于本人对现有建筑案例的梳理和个人的研究成果可以看出,此效应在建筑艺术、建筑形态、材料选型等方面都具有较高的研究价值和继续发展的潜力。

参考文献

- [1] Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. "moiré pattern." Encyclopedia Britannica, June 5, 2013. <https://www.britannica.com/science/moire-pattern>.
- [2] Nerdinger W. Frei Otto: complete works : lightweight construction : natural design[J]. frei otto complete works lightweight construction natural design, 2005.
- [3] Cao Y, Fatemi V, Demir A, et al. Correlated Insulator Behaviour at Half-Filling in Magic Angle Graphene Superlattices[J]. Nature, 2018, 556 (7699) : 80-84.
- [4] Mele E J. Novel electronic states seen in graphene[J]. Nature, 2018, 556 (7699) : 37-38.
- [5] Butt C A. Taïmyr: Victor Vasarely[J]. JAMA The Journal of the American Medical Association, 2016,

315 (23) : 2502-2503.

- [6] Marcin Brzezicki · Designer's controlled and randomly generated moiré patterns in architecture. [IDK]GA2011 – XV Generative Art Conference page292

图片来源

图1、18、19、21: 作者自绘

图2: 参考文献[4]

图3: [EB/OL] <https://crfashionbook.com/fashion-g27435418-beyond-the-trend-moire/>

图4: [EB/OL] <https://www.vasarely.com>

图5、6: [EB/OL] <https://andrea-minini.com/>

图7: [EB/OL] <https://www.metmuseum.org/>

图8: [EB/OL] <https://www.davidoakill.com/>

图9: [EB/OL] <https://www.flickrriver.com/photos/kenmccown/tags/woningbouwvereniginghetoosten/>

图10: 作者自摄

图11: 参考文献[6]

图12、20: [EB/OL] <http://www.frankmichielli.com/>

图13: [EB/OL] <https://www.materialscouncil.com/project-report-conrad-shawcross-and-c-f-moller-optic-cloak/>

图14: [EB/OL] <https://www.m3architecture.com/>

图15: @ Laurian Ghinitoiu 作者改绘

图16: [EB/OL] <https://www.extechinc.com>

图17: [EB/OL] <https://www.unstudio.com/>