

结构仿生在家具设计中的应用研究

——以蜂巢结构为例

潘 苇, 毛 斌*

山东建筑大学艺术学院, 山东 济南

收稿日期: 2024年9月4日; 录用日期: 2024年10月4日; 发布日期: 2024年10月11日

摘 要

仿生设计即是以对自然界中形态与结构的观察和借鉴, 来为设计提供新的灵感和解决方案。本文则基于仿生学的视角下, 探讨蜂巢结构在家具设计中的应用。蜂巢以其独特的结构造型在现代家具设计中提供了新的可能性, 通过对蜂巢结构特征的分析, 探讨其在家具形态, 功能及材料设计中的应用策略, 并通过案例分析展示蜂巢结构在家具设计中的应用与实现效果。最后, 本文总结了蜂巢结构在仿生家具设计中的应用策略, 并对未来仿生家具的发展方向进行了思考。

关键词

仿生设计, 蜂巢结构, 材料优化, 家具设计, 结构仿生

The Application Research of Structural Bionics in Furniture Design

—Taking the Honeycomb Structure as an Example

Wei Pan, Bin Mao*

College of Art, Shandong Jianzhu University, Jinan Shandong

Received: Sep. 4th, 2024; accepted: Oct. 4th, 2024; published: Oct. 11th, 2024

Abstract

Bionic design is to observe and learn from the form and structure in nature, to provide new inspiration and solutions for the design. From the perspective of bionics, the application of honeycomb structure in furniture design. Honeycomb provides new possibilities in modern furniture design

*通讯作者。

文章引用: 潘苇, 毛斌. 结构仿生在家具设计中的应用研究[J]. 设计, 2024, 9(5): 374-384.

DOI: 10.12677/design.2024.95570

with its unique structural shape. Through the analysis of the structural characteristics of honeycomb, it discusses its application strategy in furniture form, function and material design, and shows the application and realization effect of honeycomb structure in furniture design through case analysis. Finally, this paper summarizes the application strategy of honeycomb structure in the design of bionic furniture, and considers the development direction of bionic furniture in the future.

Keywords

Bionic Design, Honeycomb Structure, Material Optimization, Furniture Design, Structural Bionic

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

家具不仅是人们日常生活的物质载体,更是文化传承与社会变迁的映射。随着现代科技与设计理念的不断发展,传统家具的功能与形式面临着新的挑战。如何在有限的材料资源和空间限制下,创造出兼具功能性、艺术性和生态友好型的家具,成为家具设计中的重要课题。

仿生学作为一门跨学科的前沿科学,正逐渐为现代设计领域注入新的活力。通过对自然界生物形态、结构和功能的深入研究,仿生设计为家具领域提供了创新的思路 and 解决方案。特别是自然界中的蜂巢结构,以其高效的利用与结构稳定性,成为家具设计中一个理想的参考模型。

本研究旨在探讨蜂巢结构在家具设计中的应用及其仿生学价值。通过分析蜂巢的结构特点及其在现代设计中的具体实践,本研究希望为未来家具设计提供更具参考性和实用性的创新策略。同时,本文将通过案例研究,展示蜂巢结构在家具形态、功能及材料设计中的具体应用效果,进而为后续仿生设计在家具领域的应用奠定基础。

2. 结构仿生设计的理论基础

2.1. 仿生学的定义与发展

仿生学(Biomimetics)是起源于 20 世纪的新型交叉类学科。最早于 1960 年由美国的斯蒂尔博士(J. E. Steele)提出,涵盖了科学,工程学,生物学和设计等多个领域,是对自然界中生物特征的观察与模仿。仿生学最早是由信息科学而始的,在传统定义中,仿生模本都是生物,仿生模拟都是非生物制造,然而在现代定义中,仿生学已经渗透到人类社会的众多领域,远远超过了仿生学诞生时所界定的范畴。随着探索的不断深入,仿生学也经历了孕育、发展到成熟的不同历程。与传统定义相比,现代定义在研究内容上已不仅仅是对生物的模拟,而是对人类生活以及人类与生物的生存环境所发生的一切现象进行探索和摹写。由于内容与领域的不断扩展,仿生学的内涵与外延也在不断的变化,产生了相应的仿生子学科[1]。而在家具设计中,仿生学的应用体现在多个方面,例如形态仿生、功能仿生、结构仿生、色彩仿生、肌理仿生、意象仿生等。

2.2. 结构仿生学的原理与应用

结构仿生学主要研究自然界中生物的结构形式及其功能,对于结构的含义,一般则是指组成整体各部分的搭配与安排,是各组成部分之间及整体的构成关系[2]。利用人对于自然界生命体内部以及外部构

造的了解和探索,并根据所获取到的内容将自然构造原理运用于现代设计之中,使产品具有生命的意义和自然的美感。例如鸟的骨骼结构,植物的根茎脉络结构,以及自然生物显著的特征等。仿生家具则是通过对于自然界中结构的模仿,创造出具有自然结构特征的家具。

早期的仿生家具设计主要注重自然形态的美学模仿,通过对于自然界中动植物的观察,将其显著的形态特征转化为日常家具的设计元素,在这一阶段中仿生家具以获得视觉效果为主,强调装饰性,对于结构和功能的关注度较低。例如赫克托·吉马德所设计的巴黎地铁出入口对于植物根茎的摹写,以及新艺术运动中埃米尔·加莱的家具设计,都能够看到自然结构的曲线美以及装饰美在设计中的应用,整体构造具有强烈的视觉冲击力。

而随着科技的发展,家具设计逐渐从单纯的形态模仿过渡到对自然结构和功能的深入探索。开始提取借助自然界中优异的结构和功能特性,并将其应用到家具设计之中,是综合学科在设计领域的集中体现。例如现代家具中的海星角结构、脊椎骨结构以及蜂窝结构等(如图1和图2)。

在现代家具中,随着环保意识的增强,人们开始崇尚天然材料所带来的质感,例如“侘寂风”住宅风格的流行。“侘寂”意为用最简单的材料,最少的雕琢,来实现家具产品的极致感受。仔细端详侘寂风的家具,能够清晰的看到树木的纹理。除了这种表面肌理特征的仿生,还有对于材料组织构造的仿生,设计者根据需要复制材料结构所特有的独特的功能。例如当代蜂窝纸的应用,模仿蜂巢构造来达到满足支撑强度的情况下减少材料消耗的目的。



Figure 1. Starfish foot structure

图1. 海星脚结构^①



Figure 2. Spine structure

图2. 脊椎骨结构^②

3. 蜂巢的结构特征与仿生价值

蜜蜂在第三纪晚期化石中被大量发现, 在漫长的进化过程中, 发展出了独特的巢穴结构, 对于现代设计具有极高的借鉴意义。

蜂巢是自然界中最具代表性的结构之一, 其六边形单元状排列的方式, 在提供强度和稳定性支持的同时, 最大限度的节约了材料, 是一种典型的高效结构。而如今蜂巢结构在建筑材料以及航空等领域广泛应用, 并逐渐引入家具设计之中, 通过仿生蜂巢结构可以创造出高强度、轻量化、美观、功能性多样、储藏性好的现代家具, 为现代家具的设计提供了全新的思路(如图 3 和图 4)。



Figure 3. Wabi-sabi wind furniture

图 3. 侘寂风家具®



Figure 4. Honeycomb paper

图 4. 蜂窝纸®

3.1. 蜂巢的形态与结构分析

蜂巢由大量相互连接的六边形单元蜂房组成, 这种独特的单元结构在数学上被认为是能够有效的填充平面空间, 避免空隙浪费的有机形状。巢壁薄而坚固, 因其独特的几何特征, 能够在耗材最小的情况下, 提供最大的空间利用率和结构强度。

除此之外, 每个蜂巢结构并不是像正六棱柱一样拥有平的底面, 而是由三个全等的突出菱形组件组成的锥形[3]。多排蜂巢相互堆叠排列, 通常垂直于重力方向, 能够最大限度的利用空间并在结构上提供

支撑。同时蜂巢通常以略微向上的倾斜角度排列, 约为 13° , 有助于防止密封和蜂蛹从蜂房中滑落, 复杂的结构体现着蜜蜂长期进化发展以来的群居智慧, 这也使得蜂巢成为了理想的仿生模型。蜂巢的结构不仅在自然界中表现出色, 也为现代设计提供了高效、节材的设计灵感(如图 5 和图 6)。



Figure 5. Honeycomb physical picture

图 5. 蜂巢实物图^⑤

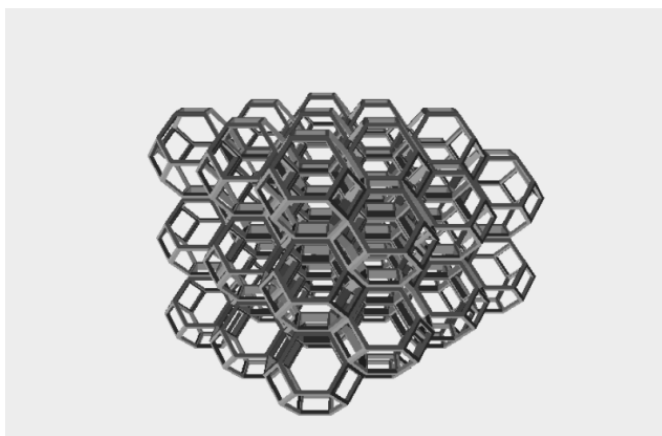


Figure 6. Honeycomb structure model

图 6. 蜂巢结构模型^⑥

3.2. 蜂巢结构在家具设计中的仿生应用潜力

蜂巢经过数百万年的演化, 展现其他生物结构所不具备的结构特点, 以其质量轻, 强度高等特性在现代建筑、航空等领域得到了广泛应用。蜂巢结构在现代家具中应用广泛, 无论是基于蜂巢整体形态的书架, 基于巢房个体单元的储物坐具, 都显示出蜂巢结构在现代家具设计中的强大生命力。其六边形单元式的排列方式, 使得蜂巢在结构和承载能力上表现优异, 具有良好的抗压性。在承重家具, 例如现代桌子, 书架等产品上可以得到有效利用, 能够为其提供稳定的支撑, 并减少材料的消耗。

此外, 蜂巢结构具有轻质高强的特点, 能够在材料用料最少的情况下提供最为简约轻便的组合能力, 便于搬运和安装。其独特的单元性特征使其更易于实现模块化设计。根据需求灵活的调整家具的形状和排列方式, 满足多种不同的空间需求。适用于设计储物功能的家具, 例如储物柜, 鞋架等, 能够实现有效的组织和存储物品, 提高空间利用率。在具体的设计上, 蜂巢结构的利用则可以体现在形态创新、功能优化、和材料应用上(如图 7 和图 8)。



Figure 7. Honeycomb bionic bookshelf
图 7. 蜂巢仿生书架^⑦



Figure 8. Honeycomb structure bench
图 8. 蜂巢结构坐凳[®]

4. 基于蜂巢结构仿生的家具应用设计策略

4.1. 可动态调节的蜂巢模块家具系统

在设计中,蜂巢结构可以用来创建复杂而美观的几何形态,这些形态不仅具有视觉吸引力,而且规律的几何图案更加适用于现代感的设计风格,提供独特的美学效果。蜂巢的六边形结构具有天然的模块化特性,因此可以利用这种几何特性,设计基于蜂巢结构的可动态调节的模块化家具系统,实现家具设计的衔接和拓展。例如一些可以用不同方式拼接形成的各类家具,如书架、隔断、储物柜等,通过简单的旋转、移动或添减模块,家具可以从桌子转换为椅子,或者从书架变为展示架。这种设计不仅节省空间,还能够适合小户型的居住空间和多功能的办公空间,提高家具的使用效率和灵活性。

4.2. 与新材料相结合的自适应家具

现有智能材料(如形状记忆合金材料或热敏材料)与利用蜂巢结构的灵活性相结合,使家具能够根据

环境的变化调整其形态或功能。蜂巢结构的六边形单元可以结合可形变的材料,以反馈外部刺激如温度、压力或光线。例如椅子的设计,通过材料的特性,使椅身应用蜂巢结构部分可以在温度升高时自动打开一些单元,形成通风孔,保持空气流通。在确保每个单元都能够提供基础支撑和保护的同时增加用户的舒适度。或桌子的设计,设置在感应到物体放置时拓展桌体表面。这种自适应设计不仅增强了家具的功能性,还提高了用户的体验感,适用于现代智能家居环境。

4.3. 声学优化的蜂巢结构隔音家具

蜂巢结构具有天然的声学特性。蜂巢多孔的形态使其能够有效捕捉和减弱声波。当声波进入蜂巢孔洞时,部分声波会被反射,而大部分声波会在蜂巢孔洞内形成多次反射,并逐渐衰减。因此通过蜂巢框架内部填充高效吸音材料,例如羊毛毡或专业的声学泡沫,可以起到有效的隔音作用,适用于开放式的办公空间、会议室或家庭影院中,通过减少环境噪音,提升工作或生活的专注度和舒适度。此外,这种声学优化家具还可以在家庭中用作床头板或沙发靠背,提供更加私密的休憩空间。

4.4. 利用蜂巢结构的光影互动家具

蜂巢的六边形单元提供了独特的光线路径,光线通过蜂巢独特的六边形单元时,易被边缘反射、散射,从而在空间中创造出复杂的光影效果。独特的几何形状使得光影变得有序并富有层次感,在一定空间内改变了传统灯具单一的光照效果。在家具设计中可以利用蜂巢结构与室内照明的结合,设计能够与环境光源互动的家具,为室内空间提供具有互动性的光影效果和氛围。例如在灯具设计中,可以设置允许用户手动调节或自动调节的调节器来控制光线的投射方向,通过改变蜂巢单元的开闭状态,达到调节灯光强度和方向的目的,或采用不同透明度和反射率的材料来进一步增强光影效果。这种利用蜂巢结构营造光影效果的家具可以让家具与人的情感活动产生互动,或在餐厅营造出亲密的用餐氛围,或在卧室提供舒缓的光影模式,帮助人们放松入眠。

4.5. 便携的蜂巢结构户外折叠家具

在户外活动、露营和临时办公场所中,折叠式的家具广受欢迎。折叠式家具需要在携带时节省空间并减轻重量,并需要在使用过程中能够承受较大的负荷。蜂巢结构的六边形单元之间角度分布均匀而稳定,这种设计使得蜂巢在扩展或收缩时能够保持结构的整体性和稳定性。在折叠家具中,这种六边形单元可以均匀分布,提供坚固的支撑,而当需要折叠时,六边形的边缘可以彼此靠拢,使得整个结构压缩成一个更紧凑的形态。蜂巢结构独特的几何形状便于实现灵活的折叠和展开,蜂巢的折叠方式属于旋转平行,每个顶点都可以作为轴心,并且蜂巢结构具有较好的稳定性和抗压能力,多次折叠和展开的过程中便于保持形状和功能,从而起到延长家具的使用寿命的作用。例如户外折叠椅、凳,能够在不使用时折叠成扁平或紧凑的形状,而在使用时展开为功能齐全的家具。这种从平面到立体的转化过程,就像蜂巢中的蜂房盖一样,既灵活又稳定,可以通过六边形单元的大小、材料的弹性和连接方式的设计适应不同的场景和需求。

4.6. 蜂巢结构力学特性的生态友好型家具

蜂巢结构内部由多个单元构筑网格状空间,单元内部大部分是空心的,六边形的排列使蜂巢结构具有极高的强度和刚性,能够承受较大的压力并且不易变形,每个单元通过互相支持,均匀分布外力,从而具有良好的承载能力。这种力学特性不仅能够保持结构的稳定性,而且可以显著降低使材料的使用量,使家具设计更加轻量化,并且利于与可再生生物基材料的结合,实现生态友好的设计理念。例如减少材料的使用、承受日常使用中的重量而不失稳固性,这种特性特别适用于儿童家具、户外家具以及需要频

繁移动的家居产品, 如办公隔断和展示架。蜂巢结构不仅作为一种力学的解决方案, 更是一种生活方式的倡导, 通过仿生设计将自然的智慧融入到日常接触的产品中, 在使用兼具功能性与美观性家具的同时, 也在构筑一个生态友好、可持续的未来生活空间。例如蜂巢形仿生材料——蜂窝纸, 这种纸通常由再生纸或牛皮纸制成, 将内部加工成蜂巢状结构, 在满足支撑需要的同时, 减少材料的使用[4]。这不仅有助于降低生产成本, 还能减少资源消耗。例如, 利用蜂巢结构的家具设计可以减少木材、金属等传统材料的使用量, 降低对材料的消耗和环境的影响。

5. 蜂巢结构在现代家具中的应用案例分析

5.1. B and Bee 帐篷: 模块化的蜂巢形住宿解决方案

现代设计中, 许多家具作品以蜂巢结构仿生为灵感, 设计了许多创新的形态和功能, 不仅在结构、形态、外观上, 甚至在构造工艺上都有所体现[5]。蜂巢结构是理性与感性的共同体现, 然而在结构中最显著的属性便是其六边形态与无限重复性。从构成角度来说, 重复的结构具有安定、整齐、规律的美学特性, 显示出一种严谨的秩序感[6]。这种结构性特点不仅增强了家具的功能性与实用性, 还赋予其独特的视觉吸引力, 体现了现代设计中形式与功能相结合的理念(如图9和图10)。



Figure 9. Honeycomb bionic tent is assembled
图9. 蜂巢仿生帐篷拼装[®]



Figure 10. Honeycomb bionic tent is stacked
图10. 蜂巢仿生帐篷堆叠[®]

例如比利时设计公司 Achilles 的创新发明 B and Bee 蜂巢帐篷, 仿生了天然蜂巢结构。与传统帐篷不相同的是, 这种结构能够提供无限制的堆叠和延伸, 并且更加坚固耐久, 独立的单元使得其能够在临时活动中完成快速搭建。蜂巢结构的使用确保了帐篷的强度和稳定性, 即使遇到户外大风天气也能保持稳定, 这种结构还减少了部分支撑框架, 使得整个帐篷系统更为轻巧并极具辨识度。整体采用木材与金属组装而成, 外层包裹帆布, 内部则设有可以变形为座椅的大床。六边形的结构时使它的占地面积较小, 却呈现出比传统帐篷更为广阔的居住空间。这种理念似乎类似于日本的胶囊旅馆, 都是一种体积极小化却能够最大化利用空间的设计理念。蜂巢帐篷可以实现一次性大量的堆叠, 并且便于运输和组装, 是蜂巢结构应用于户外家居的独特设计, 为户外旅行者提供了一个既功能性又美观的住宿解决方案(如图 11 和图 12)。



Figure 11. Honeycomb nest bionic tent skeleton

图 11. 蜂巢仿生帐篷骨架^①



Figure 12. Honeycomb bionic tent use scenario

图 12. 蜂巢仿生帐篷使用场景^②

5.2. KUUSIO 桌子：轻便而坚固的办公家具

KUUSIO 桌子是由芬兰设计公司 MIUNN 设计的一款结合了蜂巢结构和模块化理念的家具作品, 该桌子在设计上实现了轻量化, 高强度以及环保特性, 体现了北欧设计的简约美学和蜂巢结构仿生理念的完美结合(如图 13)。



Figure 13. KUUSIO table table leg structure

图 13. KUUSIO 桌子桌腿结构^⑬

KUUSIO 桌子的核心优势在于其仿生蜂巢结构的设计能够提供卓越的强度和稳定性。桌面似蜂巢结构六边形的排列方式确保了桌子在承受外力时,能够均匀分散压力从而避免局部受力过大导致的损坏,不仅使桌面具有了优异的抗压性和抗弯性能,还大幅减少了材料的使用,实现轻量化,更易于搬运和重新布置办公空间。内部结构的空隙也为电线和其他物品的连接提供了便利,模块化设计,便于组装和拆卸,运输和储存,用户可以根据自己的需要组合和调整桌子的大小、形状,根据不同的使用场景自由更换桌面或桌腿的部件,提供了极大的灵活性和空间自适应性。除了功能上的出色表现,其外观设计也让人印象深刻。桌面的蜂巢纹理不仅增加了视觉上的层次感,还可以防止物品滑落,增加了使用的安全性。KUUSIO 桌子秉承了北欧设计简约、实用、美观的设计理念,同时借鉴了蜂巢简洁的几何线条,成为北欧设计的佳作,更是展示了设计与功能的巧妙结合(如图 14)。

通过具体案例分析,我们可以看到蜂巢结构在实际家具设计中的多样应用,例如, B and Bee 蜂巢帐篷不仅具备较高的承重能力,还因其独特的六边形单元排列实现了传统帐篷所不具备的自由拼接。在另一个案例中,蜂巢结构被应用于桌面的支撑结构,通过减少材料使用量实现了重量轻、强度高的设计。这两个案例清晰的展示的蜂巢结构在家具设计中的应用思路,从优化空间利用到提高结构支撑力,从轻量化设计到环保材料的结合,蜂巢结构通过其独特的几何形态和力学特性,为家具设计提供了新的解决方案。因此,蜂巢结构在现代家具设计中的应用,不仅是一种仿生学上的灵感转化,更是对自然秩序美学的理性表达。



Figure 14. KUUSIO table splicing

图 14. KUUSIO 桌子拼接^⑭

6. 结论

本文通过探讨蜂巢结构的特性和其在家具设计中的广泛应用,揭示了蜂巢结构仿生设计的潜力和优势,为家具设计的发展提供了新的方向和灵感。蜂巢结构在家具设计中的仿生潜力巨大,不仅具有良好

的空间利用和结构强度,也能够带来良好的生态效益。通过合理运用蜂巢结构的仿生,不仅可以实现轻质高强的结构设计,还能够实现产品的美学与功能性,迎合市场对于环保和创新设计的要求。

未来仿生家具的发展呈现多样化的趋势,自然结构结合先进材料和制作工艺,将实现更具创新性和实用性的设计,特别是随着环保材料的出现和可持续理念的深入,仿生设计将会在家具设计中发挥更大的作用。

注 释

- ①图 1 来源: 网络 <http://www.xhsspace.com/product/19571>
- ②图 2 来源: 普象网 <http://www.pushthink.com/galleries/13fd12f5480ae09123d5e83c1565437c>
- ③图 3 来源: 网络 <https://www.thetigerhood.com/wabisabi-fj/>
- ④图 4 来源: 快懂百科 <https://www.baike.com/wikiid/846271359563927122>
- ⑤图 5 来源: 百度 <https://zhidao.baidu.com/question/84038731.html>
- ⑥图 6 来源: 网络 <http://www.mohou.com/moxingku/121131.html>
- ⑦图 7 来源: 网易 <https://www.163.com/dy/article/ES6KN6OI0520AQTK.html>
- ⑧图 8 来源: 笔者拍摄
- ⑨图 9 来源: 网络 <http://www.toodaylab.com/67298>
- ⑩图 10 来源: 搜狐 <http://mt.sohu.com/20170124/n479474957.shtml>
- ⑪图 11 来源: 网络 http://www.d2ziran.com/default/article-act_detail_id_881.htm
- ⑫图 12 来源: 网络 http://www.d2ziran.com/default/article-act_detail_id_881.htm
- ⑬图 13 来源: 普象网 <https://www.puxiang.com/galleries/39489d1c6856c3fc79bcb1fd82687c2d>
- ⑭图 14 来源: 网络 <https://www.ugainian.com/news/n-7367.html>

参考文献

- [1] 任露泉, 梁云虹. 仿生学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 1-6.
- [2] 刘佳. 感·悟·设计 设计艺术文集[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2010.
- [3] 练舒涵, 胡福良. 浅谈蜜蜂及其仿生领域的发展[J]. 蜜蜂杂志, 2020, 40(11): 29-32.
- [4] 王强, 王宁, 王铃伟, 吴新风. 轻质蜂窝形仿生材料在家具设计中的应用与发展研究[J]. 家具与室内装饰, 2020(10): 82-84.
- [5] 刘青春, 何霞. 产品仿生设计探究[J]. 包装工程, 2006, 27(2): 3.
- [6] 李帆, 胡福良. 基于蜂巢结构的模块化建筑设计研究[J]. 蜜蜂杂志, 2022, 42(6): 28-30.