

基于正多面体演变的正星体状模块化灯具设计研究

杨晓丹, 成旭东, 周玉华
(南昌大学, 南昌 330031)

摘要: **目的** 在现有的立体几何模块化灯具基础上, 研究灯具模块之间组合变化的设计新方法。**方法** 通过对立体几何灯具的原型柏拉图立体、阿基米德立体、卡塔兰立体等的观察和研究, 进而在立体几何模块化灯具的基础上, 寻找立体几何模块化灯具设计的共同点, 总结立体几何模块化灯具设计的规律, 根据对模块化灯具连接点规律的探索, 使灯具架构不变, 改变相邻造型因子达到创造各种立体几何灯具衍生造型的目的, 以此指导模块化灯具设计研究。**结论** 在立体几何模块化灯具的基础原理上, 将相邻造型因子组合变化, 在其架构不变的基础上改变模块化灯具的外观, 丰富了模块化灯具设计的种类, 提出了模块化灯具设计的新方法。

关键词: 正多面体; 正星体; 模块化; 灯具设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)02-0113-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.02.017

Design of Regular Star Modular Lamps Evolved Based on Regular Polyhedrons

YANG Xiao-dan, CHENG Xu-dong, ZHOU Yu-hua
(Nanchang University, Nanchang 330031, China)

ABSTRACT: The work aims to study the new design method for the combination change between lamp modules based on the existing three-dimensional geometric modular lamps. Through the observation and research on the prototypes of three-dimensional geometric lamps like Plato stereo, Archimedes stereo, Catalan stereo, etc., the common point of the three-dimensional geometric modular lamp design was found on the basis of the three-dimensional geometric modular lamps, and the design rules of the three-dimensional geometric modular lamp were summarized. According to the exploration on the connection point rules of modular lamps, the lamp structure was kept unchanged, but the adjacent modeling factor was changed to achieve the purpose of creating various three-dimensional lamp derived shapes, and guide the design and research of modular lamp. In the basic principle of the three-dimensional geometric modular lamps, the adjacent styling factors are combined and changed, the appearance of the modular lamps is changed on the basis of the same structure, the types of modular lamps design are enriched, and the new method for modular lamp design is proposed.

KEY WORDS: regular polyhedron; regular star; modular; lamp design

模块化作为标准化的前沿技术和现代化标志, 为信息时代“多品种、小批量”产品的设计制造模式指明了方向和途径^[1]。现代灯具设计从以前的小作坊, 自给自足的特点已经转变成了标准化、模块化、多种类, 在原始实践基础上衍生出来的立体几何为现代模块化灯具设计提供了十分契合的模板。将立体几何转变成模块化灯具, 由简入难, 再将灯具模块组合变化,

进行更纷繁复杂的设计探索, 提出新的模块化灯具设计方法便是本文讨论的目的。

1 模块化灯具概述

模块化从 20 世纪 60 年代开始蓬勃发展, 作为产品设计的一种重要方法, 为这个世界带来了数不胜数

收稿日期: 2020-10-06

基金项目: 国家社会科学基金艺术学青年项目 (12CG097); 江西省学位与研究生教育教学改革研究项目 (JXYJG-2017-028); 南昌大学研究生创新专项资金资助和创新基金号 (CX2019017)

作者简介: 杨晓丹 (1975—), 女, 江西人, 硕士, 南昌大学副教授, 主要从事产品设计理论与实践方面的研究。

的优秀产品,如现在使用方便的组合桌椅,笔记本电脑,甚至于航天飞机,都是由模块构成的,将复杂产品分解成单元个体再加以组合,从而完成复杂产品的设计制造。

模块化灯具的设计采用了立体几何的架构,这为模块化灯具设计带来了新的设计方法。在立体几何的基础上分解出来的造型因子上可以继续做出平面内的刻画,使立体几何在艺术的手法下表达出来,呈现了理性和感性交叉融合之美。

立体几何基础上的模块化灯具是以标准化、模块化为技术基础的,模块化在灯具设计制作方法时占据主导地位,而“模块化是复杂产品系统发展的必由之路”,相应的模块化灯具也是未来复杂灯具设计的必由之路,产品模块化也是一种很好的通用的产品绿色设计和制造技术^[2]。它将复杂的整体在可重新组合的情况下分解成简单的单元个体,降低了制造的难度,包装的成本,减少了运输的成本,从而在产品系统设计中节约资源,使用者也可以自己动手,感受组装的乐趣,从而获得满足感和参与感。

2 模块化灯具的特征

2.1 模块化灯具的柔性特征

模块化灯具是在立体几何架构上的造型因子的组合体,而且是柔性的组合体。它的优势不仅仅在于使用者亲自动手制作的参与感,重要的是灯具模块化使得灯具不再是刚性的整体,使用者可以随时替换损坏或者不想要的部分,只需替换单元个体,适应了市场的快速更新换代的需求。

模块化设计应以尽可能少的模块组成尽量多的不同规格的产品,以满足市场多样化需求^[3]。比如带磁性的模块化灯具见图1,每种模块化灯具中只有架构是固定不变的,也就是它的虚拟造型不变,而多个造型因子成为模块化灯具的物质技术条件,不同数量的造型因子可以按照不同的立体几何形态组合成不同的模块化灯具,整体灯具就是由多个造型因子在架构上组合而成,造型因子就成为模块化灯具具有柔性的物质承担者,改变单个造型因子也不会牵一发而动全身。

2.2 模块化灯具的立体几何特征

立体几何基础上的模块化灯具包括两个主要内

容:其一是立体几何架构;另一个是模块化设计。立体几何模块化灯具是以立体几何为架构,通常包括柏拉图立体、阿基米德立体、卡塔兰立体等,通过对立体几何的拆解、提取、抽象、重新组合等步奏使立体几何以艺术的手法再现,立体几何不仅仅是数学的语言也是艺术的一种表达手法,而模块化灯具是通过对立体几何的提取衍变得到的更是一种标准化、模块化的实用灯具产品。

3 基于现有模块化灯具的特征进行灯具设计规律的探索

3.1 立体几何概述

立体几何是理性的,艺术是感性的。将几何学与模块化设计相结合,一方面突出了灯具设计的科学性,同时,也为模块化灯具设计提供了一种设计准则和理论依据^[4]。

柏拉图立体最早由柏拉图及其追随者研究而得名,包括正四面体、正六面体、正八面体、正十二面体、正二十面体,在全部的三维形状中,柏拉图多面体被认为是完美的,因为它的每一个面都是正多边形,是最有规律的三维立体^[5]。从某种意义上来说,阿基米德立体是从柏拉图立体衍变而来的,它不再那么完美,但却多了一些变化之美,大部分阿基米德多面体是由柏拉图多面体经过截角、截半、截边得来,其余两个由柏拉图多面体扩展而来,其余两个由柏拉图多面体中的立方体和十二面体各个面向外推并且扭转而来。如下将从柏拉图立体、阿基米德立体和卡塔兰立体中各选取几个案例进行讨论。

3.2 立体几何在模块化灯具上的演变应用

在现代设计理念中,通常将造型的构成元素分为点、线、面、体四要素^[6]。为了更好地呈现立体几何原本的样貌,将立体几何拆解成线和面进行衍变,然后再使用单独的线或面的衍生体按照立体几何的架构组合起来,个别面类造型因子可能需要作出平面内的刻画,甚至一种轮廓的改变,但是无论是单纯的线类造型因子、面类造型因子或者线面结合类造型因子组合的模块化灯具都不改变立体几何的架构,只改变造型因子,在改变造型因子的情况下来改变整体灯具设计,这是模块化灯具与立体几何一脉相承的地方。



图1 带磁性的模块化灯具
Fig.1 Modular lamps with magnetism

立体几何架构上组合的模块化灯具还有另一个特点：灯具模块之间的连接点和立体几何的顶点有对应的关系，五角化扭棱十二面体顶点和线面结合类灯具模块连接点对比见图 2。模块化灯具是按照立体几何的架构来设计，这使得模块化灯具不仅在形状上与立体几何相似，还有一点是模块化灯具的造型因子无论如何变化，将其组合起来之后，立体几何的顶点总会以某一种形式存在，或者成为单个模块的连接点，或者成为多个模块组合之后的折叠点。这也给我们探索模块化灯具设计多样化的方向提供了一些灵感，以立体几何为架构的模块化灯具可以按照顶点对应连接点的方式进行组合，同时可以进行造型因子之间的组合变化，顶点位置不变，改变灯罩模块，使得模块化灯具具有多样性，可以作为模块化灯具设计探索的新方向。

4 模块化灯具“设计规则”指导下的实际应用

4.1 以立体几何简单衍变造型因子设计模块化灯具

阿基米德立体中的五角化扭棱十二面体为原型的模块化灯具，灯具造型因子之间的连接点对应立体几何的顶点，要进行立体几何模块化灯具设计的改变，可以按照改变造型因子，而固定点位不变的原则来设计。

在批量化生产技术条件下，灯具设计在灯体的形态设计上才有了可持续性的重复化转变^[7]。丹麦设计师奥尔赫史托姆设计了一款 IQ 灯，意思是连锁的四

边形，整体灯具由相同类菱形面类造型因子组合而成，该灯具设计原理是卡塔兰立体中的菱形三十面体，通过对卡塔兰立体的拆解、提取、衍变进而重新组合得到的一种面类造型因子，并且改变面类造型因子的轮廓，这样的面类造型因子不仅能按照原结构组合成卡塔兰立体的架构，而且可以通过减少单位面因子组合成其它各种各样的灯具，获得各种想要的效果，菱形三十面体和组合变化的 IQ 灯见图 3，IQ 灯通过在立体几何架构基础上的标准化、模块化的造型因子实现了多种形态的组合。

4.2 以组合变化的造型因子设计模块化灯具

根据模块化灯具的制作原理，各个模块都是单独的造型因子，即使在造型因子上使用一些雕刻，镂空的艺术手法，也是在平面内的变化，想要使得模块化灯具更加具有立体美感，就需要做立体方面的改变，比如正十二面体到正星体的模块化灯具衍变过程见图 4。以正十二面体为例，正十二面体在拆解完成后成为十二个全等的正五边形，将每一个正五边形划分成相等的五个三角形，相邻两个三角形可以抽象组合在一起衍变成一个菱形提取出来，延长菱形对角线和较短边来扩大菱形，沿较短对角线折叠，使两个三角形呈 125°角，每五个折叠的菱形组合在一起，也就是图 4 中的拆解、抽象、提取、衍变、拼接等步奏使正十二面体最终成为每个面都有立体变化的模块化灯罩。在每个面上也可以继续使用雕刻，镂空等艺术手法，做出一些平面的刻画，达到更好的视觉效果，在这里仅对立体几何整体造型进行变换。



图 2 五角化扭棱十二面体顶点和线面结合类灯具模块连接点对比

Fig.2 Contrast of pentagonal torsional dodecahedron vertex and line surface combined with lamp module connection points

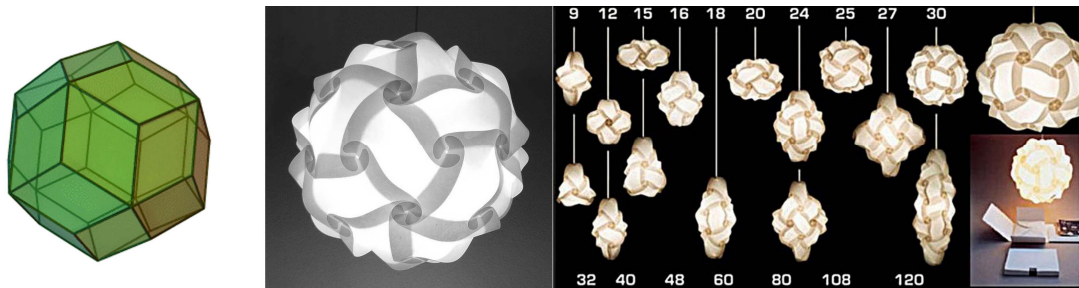


图 3 菱形三十面体和组合变化的 IQ 灯

Fig.3 Rhombic triacontahedron and IQ lamps with combination change

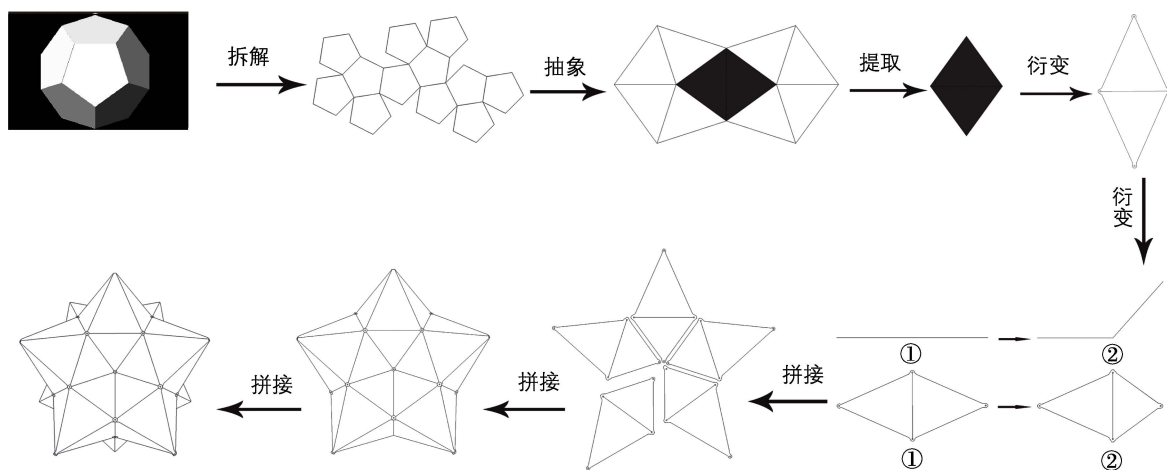


图4 正十二面体到正星体的模块化灯具衍变过程

Fig.4 Modular lamp evolution process from dodecahedron to regular star

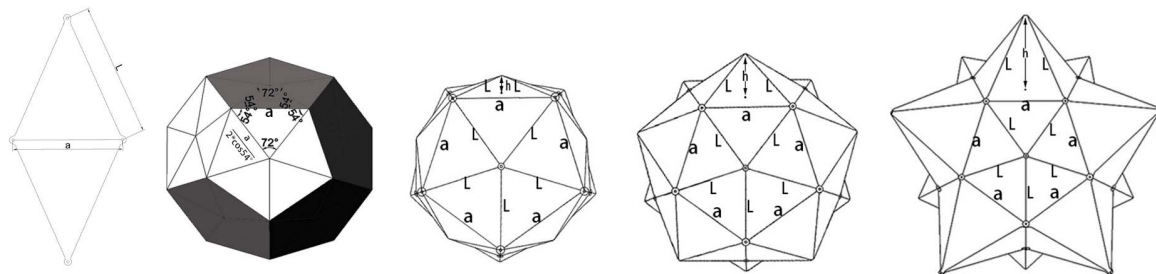


图5 不同边长的菱形组合而成的十二角星体

Fig.5 Dodecagonal star composed of diamonds of different sides

正星体是以正 N 面体为底面, 向外做正棱锥, 使这些棱锥的侧面皆为相等的正三角形, 这样得到的若是凹多面体, 则称它为正(n 角)星体^[8]。以正十二角星为架构的模块化灯具就是从正十二面体演变过来的, 也被称为小星状正十二面体。

正星体是以多个造型因子也就是菱形组合而成, 不同边长的菱形也可以组成不同的星体, 不同边长的菱形组合而成的十二角星体见图5, 假设正十二角星体的造型因子菱形较短对角线为 a , 可推出其衍变来源的正十二面体上每个正五边形的边长为 a , 将正五边形通过中心点分成五个相等的等腰三角形, 每个三角形底角都为 54° , 顶点为 72° , 所以正五边形顶点到中心点的距离为 $\frac{a}{2 \times \cos 54^\circ}$, 菱形边长为 L , 每个正五边形上都有一个五棱锥, 五棱锥的棱长等于菱形的边长 L , 根据勾股定理, 则正十二面体的每个面上的棱锥高 h 为:

$$h = \sqrt{L^2 - \left(\frac{a}{2 \times \cos 54^\circ} \right)^2} \quad (1)$$

从公式(1)中可知正十二面体每个面上的棱锥高度与边长 L 和正五边形边长 a 有关, L 越大, a 越小, h 越大。 h 与 L 呈正相关, 与 a 呈负相关。如图5是不同 h 的星体, 通过调节 L 和 a 的长度来可以调节星体扩张的大小。

从立体几何到组合变化的模块化灯具的一系列改变不仅是对数学几何的应用, 也是对艺术在其他领域的拓展, 因为艺术设计本身就是一个综合性、交叉性、边缘性的学科^[9]。模块化灯具从对立体几何的再现到对造型因子的组合变化, 改变了模块化灯具设计的传统造型, 也拓展了模块化灯具设计的思维模式, 在满足灯具功能前提条件下, 在造型和物质技术条件上为模块化灯具设计带来创新。

5 立体几何灯具照明及光影分析

模块化灯具在造型上应用了立体几何, 再将立体几何分解为线和面, 进而由线和面构成体。灯具整体照明及光影效果由构成它的线、面和光源决定。

几何线框构成的立体几何灯具若将光源放在几何中心位置, 形成点光源, 线框实体会遮挡点光源, 形成较明显阴影。若将光源放置在几何体的线框上, 形成线光源, 这样相当于增加了发光面积, 既不会形成过大的阴影, 也不会造成刺眼的效果, 形成柔和的散光, 且减少了较大光源的成本, 线框几何灯具、面类几何灯具照明及光影比较见图6, 面类立体几何灯具每个面若是不镂空状的, 则其形成的效果类似于面光源, 它不会产生镂空状的照明和阴影, 具有光线柔和、不伤眼、省电、自然的特点。

正星体灯具的照明效果和阴影取决于照明面积



图6 线框几何灯具、面类几何灯具照明及光影比较

Fig.6 Comparison of lighting and shadow of wireframe geometrical lamp and surface geometry lamp

和镂空面的大小,在正星体灯具中,若每个面都是由镂空面构成,且光源不变,镂空面越大,阴影越小。随着镂空面的增大阴影逐渐减小,但光源会暴露在视野中,形成刺眼的光线。若每个面都是封闭面,则会形成柔和自然的照明效果,也不会有过多的阴影出现。相比于面类立体几何灯具,将正星体制作成线框立体几何灯具,因为只有结构框架,光源被放置在线框上,也具有光线柔和,节省成本,便于运输等特点,形成和图6二类似的照明效果。若镂空面大小不变,光源面积越大,形成的阴影越模糊,随着光源面积变小,阴影越清晰,相当于从面光源逐渐变为点光源,本影增大,半影减小,照明效果也就会减弱。

6 结语

设计并不复杂,它与几何原理的推导过程一样,一切皆有据可循^[10]。以立体几何为原型,模块化灯具的造型因子在组合变化之后仍然具有立体几何的架构,使模块化灯具改变外形却不改变架构,以此为原理来设计模块化灯具,以期模块化灯具的设计带来了新的思考方式。

参考文献:

- [1] 童时中. 模块化是复杂产品系统发展的“必由之路”——献给标准化大师李春田教授[J]. 中国标准导报, 2015(11): 18-23.
TONG Shi-zhong. Modulization is the Only Way on Development of Complex Products and Systems: Dedicated to the Standardization Master Professor Li Chun-tian[J]. China Standard Review, 2015(11): 18-23.
- [2] 李达, 仲梁维. 产品族广义模块化设计研究[J]. 现代制造工程, 2015(7): 66-70.
LI Da, ZHONG Liang-wei. Research of Product Family Generalized Module Design[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2015(7): 66-70.
- [3] 顾新建, 杨青海. 产品模块化是中国成为制造强国的必由之路[J]. 中国机械工程, 2018, 29(9): 1127-1133.
GU Xin-jian, YANG Qing-hai. Product Modularity is the Only Way for China to Become a Manufacturing Power[J]. China Mechanical Engineering, 2018, 29(9): 1127-1133.
- [4] 刘雨佳, 程宝飞, 杨晓丹. 阿基米德立体在模块化灯具中的应用研究[J]. 包装工程, 2017, 39(10): 204-208.
LIU Yu-jia, CHENG Bao-fei, YANG Xiao-dan. Application of Archimedes Solid in the Modular Lighting Design[J]. Packaging Engineering, 2017, 39(10): 204-208.
- [5] 杨晓丹, 刘雨佳, 程宝飞. 基于立体几何的模块化灯具设计研究[J]. 包装工程, 2017, 38(16): 123-127.
YANG Xiao-dan, LIU Yu-jia, CHENG Bao-feng. Modular Lighting Design Based on Solid Geometry[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(16): 123-127.
- [6] 刘国余, 沈杰. 产品基础形态设计[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006.
LIU Guo-yu, SHEN Jie. Products Basic Design[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2006.
- [7] 康丽娟. 灯具设计研究[J]. 美术观察, 2018: 131.
KANG Li-juan. Lighting Design Research[J]. Art Observation, 2018: 131.
- [8] 何思谦. 数学辞海[M]. 青岛: 山西教育出版社, 2002.
HE Si-qian. Mathematic Dictionary[M]. Qingdao: Shanxi Education Press, 2002.
- [9] 郑阳. 论艺术设计专业跨学科教育[J]. 美术大观, 2008(11): 166-167.
ZHENG Yang. Analysis of Interdisciplinary Art Design Education[J]. Art Panorama, 2008(11): 166-167.
- [10] 李昊宇. 几何与设计: 探索另一种设计方法[J]. 装饰, 2016(9): 104-106.
LI Hao-yu. Geometry and Design: Exploring Another Design Method[J]. Zhuangshi, 2016(9): 104-106.