

最小作用量原理指导下的 膜构建筑形态设计方法

Membrane architecture form design method under
the guidance of the least action principle

□ 熊瑞源

(福建交通职业技术学院 安全技术与环境工程系, 福建 福州 350007)

[摘要]膜构建筑的建筑形式反映了现代仿生设计理念,与自然界中的最小作用量原理密切相关,是最经济也是最美的形态,在当今绿色生态设计背景下具有重要现实意义。我们可以以最小作用量原理为指导,以自然为师,运用形态类比的方法,通过对自然界中最小曲面的形态研究,借助计算机技术手段,构建具体的膜构建筑形态设计方法。

[关键词]膜构建筑;仿生设计;最小作用量原理

[中图分类号]TU-8 **[文献标志码]**A

[文章编号]1009-3729(2011)04-0015-03

膜构建筑作为 21 世纪大跨度空间建筑的主流,在建筑领域已得到广泛运用。世界各地相继建设了许多宏伟而富有特色的大跨度膜构建筑,并已成为当地的标志性建筑和著名的人文景观。膜构建筑的迅速发展得益于现代柔性膜材料、计算机科学和施工技术的进步,其建筑形式与自然界最小作用量原理密切相关,凸显出现代仿生设计理念。本文拟从膜构建筑形式的发展入手,研究膜构建筑形式与自然界最小作用量原理之间的联系,以期发现规律,探索膜构建筑形态设计的具体方法途径。

一、膜构建筑形式的探索与发展

膜构建筑是利用钢索将高强度柔性薄膜材

料拉紧,经张拉作用而形成稳定曲面,以张力来抵抗外部负载的、能够覆盖大跨度空间的结构体系建筑。它是建筑材料科学、建筑学、结构力学、计算机科学、施工技术及现代环境学综合的产物。自德国建筑师弗赖·奥托(Frei Otto)于 1955 年在德国联邦花园展示会上建造第一个张拉膜结构建筑,到 2010 年上海世博会的世博轴出现阳光谷膜构建筑(见图 1),膜构建筑经过了近 60 年的发展,已被广泛用于滨海、博览会、文体等大型空间的公共建筑设计上。

膜构建筑以曲线、曲面塑造的形态给人以别具一格的艺术感染力,比起司空见惯的矩形建筑,它生动活泼,充满张力,其力动性的表现具有很高的美学价值。不仅如此,膜构建筑用最少的膜面材料覆盖广大的空间,这在地球资源日益紧



图1 上海世博会的世博轴阳光谷膜构建筑

张的今天,具有重要的现实意义和推广价值。本研究的必要性正在于此。

奥托是膜构建筑的先行者和践行者,他十分重视从自然中寻找灵感。为了研究张拉膜结构的形态构成,寻求合理的膜结构形式,他研究了许多自然现象,包括水滴、气泡等,最后以肥皂膜作为主要研究对象,并做了许多装置来模拟张拉膜结构。比如:他把毛发系在针或细杆的端部,将针或细杆钉在有机玻璃板的孔洞里,把这个装置浸入肥皂溶液,再取出,这时形成的肥皂膜表面积总是最小的,并且各处的表面张力完全相同,肥皂膜形成面积最小的类似帐篷那样的奇妙形态(见图2)。^[1]这种形式遵从的是自然规律,并不以设计者的意志为转移。

此后,美国发明家和工程师富勒(B. Fuller)设计了被称做迄今人类最强、最轻、最高效的空间围合结构——多面体张力杆件穹窿(Geodesic Dome)。富勒认为,“自然界存在着能以最少结构提供最大强度的向量系统”。他一生都在为“少费而多用”这一信条而奋斗,并提出了张拉整体(Tensegrity)的概念,即以连续的受拉钢索为主、以不连续的压杆为辅,组成一种结构体系。^[2]后来美国的建筑师们创造性地把这个概念运用到以索、膜与压杆组成的索穹顶设计,其后又使之不断发展,逐渐形成了现今的膜构建筑结构体系。

二、膜构建筑的形态设计与最小作用量原理

1. 奥托以自然为师的形态设计方法

奥托注重从自然中寻求灵感而不是从技术体系本身入手。他认为技术只是一种工具,建筑技术的目的是为了更好地表达自然而不是炫耀

自身。这种“以自然为师”的设计观与中国传统道家文化的“师法自然”有异曲同工之妙。在这种“以自然为师”的设计理念指导下,膜构建筑的找形,是从研究自然入手,如研究最小曲面的制作物理模型,然后对这种肥皂膜模型进行测量和几何分析,最终把这些模型优化并用于建筑的形态设计之中。

2. 富勒理性形态设计方法

受富勒的影响,一直被当做设计科学而提出的膜构建筑形态设计——找形(formfinding),是“依据理性的原则进行的一种操作”^[2]。在这种设计理念下,随着计算机技术和有限元方法的发展,膜构建筑的找形已变得越来越简单,运用现代计算机软件,通过计算机的几次迭代运算,就可确定膜结构的初始形状,从而直接完成空间曲面结构找形分析。

3. 膜构建筑形态蕴含的最小作用量原理

我们周围的世界在结构上具有一定的规律性,这些规律形态启示我们利用其规律的普适性进行艺术设计有望获得更好的效果。古希腊哲学家在考察自然现象时就认为:自然界总是有根据地去它该做的事情,并在所有的行动中选择最短或最容易的路线。人们通过对自然的观察,发现“简单性”正是我们所要寻找的原理。^[3]

自然界是最经济的,它不仅避免多余的努力,而且避免那些不是绝对必需的努力。1744年法国科学家皮埃尔·莫佩蒂(Pierre Maupertuis)提出了宇宙的总体模式,莫佩蒂坚信自然界行为的简单性,而这种简单性正是通过某个称为“作用”的量的最小化展示出来的,这就是“最小作用量原理”。也就是说:自然界总是使作用量减至最小。^[1]如:蜜蜂建造蜂窝,为了使所花费的蜂蜡尽



图2 奥托研究膜构建筑的肥皂膜构型

量少,而采用了最经济的方式——正六边形的形式。自然界中的液滴总是尽可能地趋于稍扁的球体,使液滴总是呈现为表面势能和重力势能之和的最小状态。^[4]

奥托在膜构建筑形式的找形过程中,通过对肥皂膜的研究而发现的“最小曲面”原则,正是莫佩蒂最小作用量原理在自然界的又一证明:自然生成的肥皂膜用最小的膜面积(最小的材料消耗)形成受力均匀的曲面形态是最经济的。苏联建筑师塔特林(Tatli)曾提出:最美的形式也是最经济的形式。这种遵从了自然规律的、最经济的形态也是最美的。我们要以自然为师,在自然中发现更多最经济的形式,以实现最美的设计。

三、膜构建筑形态设计的具体方法探讨

在膜构建筑形态设计中,我们可以以最小作用量原理为指导,以自然为师,借鉴奥托与富勒的找形方法进行膜构建筑形态设计的找形。

首先,我们可以通过对大量自然或生物原型进行分析研究,用模型寻求自然生成的形态。比如,可以通过肥皂膜模拟膜结构形态,找出其形态、结构及构造之间的内在联系,建立起用以指向建筑形态设计的物理模型。^[5]弹性织物很容易被塑形,同张拉膜非常相像,也可以用来做模型材料。这些模型不仅可以让我们直观地看到设计的表现和视觉效果,而且可为后续的数字化的建立提供依据。

其次,通过测量模型的空间坐标来确定形状,用数学的语言把物理模型“翻译”成具有一定意义的数学模型,即通过计算机处理,将模型数字化。比如,可以利用三坐标测量仪对膜构模型进行扫描,对膜构模型的膜面进行数据点采集,从而获得膜表面上各测点的坐标位置,根据这些点的空间坐标值,通过计算机软件的处理,完成对测点(点群)的分析拟合,经计算求出几何曲面的尺寸、形状和位置,最终还原出被测的几何曲面,完成膜构建筑的数字化模型的建立。

最后,通过计算机软件对数学模型进行结构

分析,对其形体和构造进行优化,并衍化为应用模型,完成膜结构曲面找形分析和膜构建筑的形态设计。比如,在计算机上用有限元法进行结构分析是一种非常有效的方法——把有限元结构分析程序 COSMOS 安装到 CAD 设备上,与图形软件相连接;通过对膜结构进行找形分析,得到相应的找形结果与分布比较均匀的应力云图;再考虑膜结构的重力情况,分析膜重力对找形结果的影响,得到与实际情况更为接近的膜结构曲面。至此,便完成了膜构建筑的形态设计。

四、结语

膜构建筑的建筑形式与自然界中的最小作用量原理密切相关,在膜构建筑形态设计中,我们可以以最小作用量原理为指导,以自然为师,运用形态类比的方法,通过对自然界中最小曲面的形态研究,借助现代计算机技术,构建出具体的膜构建筑形态设计方法。

在最小作用量原理指导下的这种设计方法遵循自然规律的选择,最为经济,在当今提倡绿色生态设计的背景下具有非常重要的现实意义。

【参 考 文 献】

- [1] [美]斯特凡·希尔德布兰特,安东尼·特隆巴. 怪怪宇宙——自然界里的形态和造型[M]. 沈蕊,译. 上海:上海教育出版社,2004:205.
- [2] 赖德霖. 富勒:设计科学及其他[J]. 世界建筑, 1998(1):59.
- [3] 许良. 最小作用量原理与物理学的发展[M]. 成都:四川教育出版社,2001:34.
- [4] 刘建林. 表面浸润的内在机制:最小作用量原理[J]. 力学与实践,2009(5):85.
- [5] 王雪松,王莉英. 建筑结构仿生的形体建构模式初探[J]. 城市建筑,2007(8):11.

【作者简介】熊瑞源(1969—),男,福建省南平市人,福建交通职业技术学院高级讲师,陕西科技大学硕士研究生,主要研究方向:环境艺术设计。