

结构类型视角下大跨度建筑造型设计方法分析

张燕华 李先林 施进萍

昆明理工大学设计研究院有限公司

摘要: 本文基于结构类型视角, 简单分析了大跨度建筑造型结构的特点以及结构表现的内在需求, 探讨了大跨度建筑造型的结构类型, 以形态作用结构、向量作用结构和面作用结构为主, 研究大跨度建筑造型设计需要遵循的形态与形象统一、形态和造型统一、形态和环境意向统一基本原则, 从构件参数控制以及构件调整优化两个方面, 分析了大跨度建筑造型在结构类型视角下的设计方法。

关键词: 结构类型; 大跨度; 建筑造型; 造型设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.04.101

现如今, 建筑设计及其结构理论逐渐趋向完善, 建筑结构也能够满足人们多元化的需求。设计人员可以在保障建筑结构符合基本受力原理的前提下, 不断进行创新和优化, 产生出多种结构类型以及形态特征, 类型丰富的大跨度结构形态也为建筑造型设计带来了全新的机遇, 设计人员在长时间发展中思考的主要问题是设计出优秀的建筑造型, 在保障建筑结构质量的同时, 确保建筑工程可以满足人们在功能和审美方面的需求。如此一来, 本文通过研究结构类型视角下的大跨度建筑造型设计方法, 为大跨度建筑造型的设计、调整提供参考。

一、大跨度建筑造型结构特点及结构表现内在需求

(一) 结构特点

一是造价水平较高。大跨度建筑工程量较大, 工程造价远远超过普通工程, 在大跨度建筑设计和建造的过程中, 需要投入的人力、物力和其他社会资源数量明显增加。虽然鸟巢经过了多次的设计方案优化, 但工程造价仍旧高达22.67亿元。二是有着较高的技术含量。大跨度建筑因为工程造价明显提升, 内部功能组成较为复杂, 在建筑造型、内部设计过程中需要综合考虑各种技术问题。大跨度建筑通常会成为一个区域的地标性建筑, 需要综合考虑造型设计的美学因素以及建筑领域出现的全新技术成果, 最终创造出融合时代、地域和文化特征的建筑形式^[1]。三是结构、建筑的关联度较高。大跨度建筑结构和建筑关联性明显高于一般的民用建筑, 大跨度建筑的设计和创作与结构之间有着十分密切的关联。从设计理论层面看来, 大跨度建筑也是一种结构表现, 换言之, 最完美的结构表现就是大跨度建筑自身。

(二) 结构表现内在需求

一是安全性需求。大跨度建筑结构必须要具备牢固性, 能够有效承载各种内外引力的作用, 维护建筑工程的安全性, 建筑结构安全性也是现代建筑行业关注的核心问题。设计人员必须保证建筑结构具备合理的力学传

承关系, 符合建筑工程外在表现以及内在功能的要求。二是经济性要求。对于任何工程设计方案而言, 尤其是大跨度建筑的造型设计, 经济性是决定性的影响因素, 即便设计方案如何优秀, 如果无法满足经济性方面的需求也无法成为现实。主要是因为大跨度建筑的造价本就十分高昂, 经济性便成了大跨度建筑造型设计的核心因素。具体包括了建造费用、耐久性以及使用中的节能指标等方面。三是艺术性要求。大跨度建筑的结构本就是建筑艺术的重要组成部分, 视觉表现力和美学表达形式十分特殊, 建筑结构想要拥有层次化、一体化的美感, 需要在宏观、中观和细节方面具有不同的审美表达形式, 具体分为平衡美, 稳定美和强度美^[2]。

二、大跨度建筑造型的结构类型分析

(一) 形态作用结构

与传统的建筑结构造型相比, 大跨度建筑的造型特征有着十分明显的差异, 形态作用结构作为大跨度建筑最为常见的结构, 一般可以分为拱和索两种。前者要负责承受大跨度建筑物的轴向压力, 承受弯矩作用较小, 本质上是一种单一应力调节体系。后者按照一定的规律将边缘构件和支撑结构进行悬挂, 形态没有固定的要求, 通常会跟随荷载分布形式产生变化。拱这一结构体系有着十分多元的形式, 通常能够和其他大跨度结构综合应用, 应用条件较为广泛。索结构类型较为多, 一般会与膜材、拱这类大跨度结构融合应用, 建筑造型有着自由的表达空间。

(二) 向量作用结构

向量作用结构具体又可以分为桁架、网架和网壳三个部分。桁架作用结构是指单元构件轴受到拉力或者是压力影响, 平面拥有着较高的外刚度数值, 对于支座方面并没有横向推力。这类单元构件的组合形式多元, 同样可以和其他大跨度结构组合应用。网架结构作为较接杆系结构, 在节点荷载作用的影响下, 各个杆件能够承受对应的轴力, 通常用于体育馆或者高铁站、候机楼这类大跨建筑物的施工建设。网壳作为杆系类的空间结构, 作用力可以通过壳内外两个方向的拉力或者剪力进行传递, 曲面类型较为多元, 通常能够结合参数调整进行形态的变化, 应用范围较为广泛。

(三) 面作用结构

面作用结构以薄壳和折板为主, 薄壳一般会接受两个方向的薄膜轴力和薄膜剪力的影响, 有着较高的结构强度和刚度, 薄壳结构曲面造型十分多样, 通常可以根据参数变化对其形态进行调整, 一般包括了球面壳、双曲扁壳等。折板一般会受到双向受力的影响, 包括折缝以及端部支座和中部横格的夹心作用, 这种结构形式能

够营造出一种建筑的韵律感，同时能够根据大地景观综合进行设计，但因为结构形式受到限制，这种结构下的大跨度建筑数量正在逐渐减少。

三、结构类型视角下的大跨度建筑造型设计基本原则

（一）结构形态和形象的统一原则

大跨度建筑结构的形态本就是内在规律的主要体现，设计人员想要实现一种结构形式，结构布置必须符合建筑整体的外力作用以及内力分布和材料性能多项条件的要求。对于建筑工程而言，建筑形态同样具备一定的审美原则，建筑与结构从形态构成方面都有着内在分布规律，设计人员需要保障建筑艺术和建筑集成二者完美结合，不仅需要实现建筑与结构二者形式方面的结合，而且需要保证二者的内在规律有效对接^[3]。以空间结构作为主体的大跨度建筑要求设计人员利用尽可能少的材料覆盖建筑的较大空间，结构方面要做到形态合理、受力明确，建筑设计方面需要做到抛弃传统的繁琐装饰，实现建筑结构和建筑形式二者的统一发展。

（二）结构形态和造型的统一原则

建筑造型作为大跨度建筑设计和施工的重要内容，建筑形象是与结构骨架没有丝毫联系的虚装饰，或者是能够真实反映结构性的逻辑关系，也是检验设计人员个人的专业能力的重要内容^[4]。小沙理宁作为美国知名的建筑师，在建筑表现和结构的统一方面为人们提供了诸多的工程案例。比如圣路易斯的杰夫逊纪念拱门（如图1所示）是1967年建成，结构为倒悬链线型钢结构，高度为200米，截面为三角形，底部长度为19米，顶部的收束为6米，这种拱结构形式能够在自重力荷载均匀分布的情况下，保障工程内部只存在压力，不存在任何的弯矩和剪力。设计人员通过这种方法证明结构形式和内力状态二者之间的协调一致性，以一种简练舒缓的形态，为人们带来的心理方面的安慰。

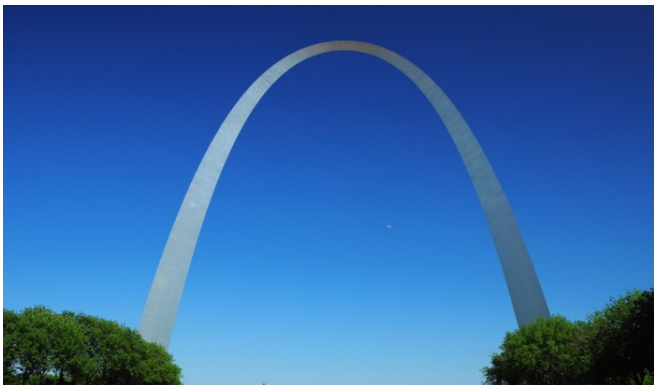


图1 杰夫逊纪念拱门

（三）结构形态和环境意象的统一原则

大跨度工程建筑只有与环境有效融合，并和周边的建筑工程共同组成为一个整体方能够体现出其表现力。如果大跨度建筑脱离环境孤立存在，即便建筑本身如何完美，也会因为缺乏环境因素的衬托，而失去其原有的

色彩。在结构类型视角下的大跨度建筑造型设计，必须要保障结构形态和环境的有效统一，结构选型方面附近的周边环境将会产生十分明显制约，如果附近空间环境宽阔，设计人员需要尽可能地减少划分数量，有效控制环境。如果附近的空间紧张，通常都会选择尺度较小，且宜人结构形态。比如，最为常见的壳体和组合结构，便是适合在拥堵环境中使用的结构造型。如果大跨度建筑附近存在坡地、山地这类地势起伏的特殊条件，可以在因地制宜原则的指导下，将结构造型和地势环境有效结合，提高建筑造型设计的美感。

四、结构类型视角下的大跨度建筑造型设计方法分析

（一）构件参数控制

一是构建的分形设计。构建分形设计方法通常会在拱形结构、悬索结构、桁架结构和网架结构等大跨度结构类型的建筑设计中应用，常见于各种非整体性构件的设计，以拱形结构的拱身、悬索结构的承重索等为主。这种构件设计方法是在保障大跨度建筑的结构以及造型整体受力机制不受到影响，并保障结构形态不受影响的前提下，使用分叉、分裂、凹入、折叠等手法进行非整体构件的设计。而在完成构件分形设计工作之后，需要将多个杆件进行连接，保障大跨度建筑整体结构保持稳定^[5]。同时，构建分形设计方法能够帮助大跨度建筑的造型摆脱之前结构固定的弊端，整体结构的受力状态能够合理进行调整和优化，自然地创造出入口、建筑采光带这类空间形式。比如，南非的摩西马布海达体育场是由跨度104米的钢拱以及沿看台基座安置的压力环、放射性分布拉索共同组成主体结构，具体如图2所示。在设计过程中，设计人员选择将拱身的一端分叉为两部分落地，进一步提高了建筑结构的稳定性和美观性。同时赋予了建筑结构巨大的视觉张力，分叉的建筑朝向也与周边环境产生了密切的联系，和当地的城市带状公园的主入口遥相呼应。



图2 摩西马布海达体育场

二是三维度平面变化。这种设计方法的基本思路是以X、Y、Z三维度平面为基础，针对结构构件进行长短、高低、宽窄等方面的调整，并且结构的整体受力机制不会受到影响，原有的结构特征能够保留。拱结构能够沿着X、Y、Z轴分别针对拱身的长短、矢高参数、宽

度等参数进行调节。悬索结构则可以在三维度平面的支持下进行下部支撑结构的高低、旋转角度参数的调节。比如,法国的里昂沙特拉斯火车站,最长的建筑跨度达到了120米。设计人员使用6条参数各异的拱身支撑整个建筑工程的屋面荷载,并且设计人员沿着三维平面的X、Y、Z轴方向针对其中的三条拱,调节了构件的长短、宽度以及矢高参数,将各个拱结构在一个点进行组合,最终形成了6条大拱类型的建筑结构主体,配合其他杆件的连接,整个火车站建筑的视觉十分轻盈飘逸,并形成了如同飞鸟一般的大跨度建筑造型,为受众带来强烈的视觉冲击。

三是空间扭曲。在大跨度建筑的造型设计工作中,构件的空间扭曲通常用于悬索结构、网架结构等设计工作中,主要是因为这类结构带有明显的空间层次,空间扭曲与结构的三维形态变化有着密切的联系,需要设计人员利用电脑的参数,将数据公式生成的造型为基础反复进行调整,保障工程的结构和造型能够符合功能、美学方面的需求。同时,设计人员可以局部的扭转构件空间,或者调整结构原型曲面参数,在保障大跨度建筑整体结构受力机制不受影响的情况下,改变其形式,进一步丰富建筑的造型层次。

比如,伦敦奥运会的自行车馆,其主体结构是以单层悬索屋盖结构为主,整个建筑的椭圆形长轴和短轴分别为120米、100米,最多能够容纳的观众数量为6000人。设计人员选择了空间扭曲的设计方法,使得整个建筑结构转变成层次性较为丰富的马鞍形态,带有良好的几何雕塑感。同时,伦敦奥运的水上中心主体结构选择了弧度和截面高度存在差异的纵向主钢桁架和横向的次钢桁架共同组成网格结构,最大的建筑跨度为120米。设计人员是将原始的桁架结构构件进行了空间扭曲设计,最终得到了不规则的单体形式,合理调整单体形式的参数,并通过空间组合形成了带有张力的大跨度建筑造型。

(二) 构件调整优化

一是合理置换。用于大跨度建筑构件合理置换的设计方法,通常会在悬索结构、网架结构、壳体结构中应用,主要是用于各种非整体性构件的设计。这种设计方法的基本思路是要求设计人员在最大跨度建筑结构的受力机制不受任何影响,甚至优化原有内地传递机制的情况下,替换构件形式,全面满足大跨度建筑在采光结构、重量和造型美感等方面的设计需求。设计人员常用的方法是将建筑的实体柱使用V型结构、Y型结构等结构取代,或者实现传统的结构转变为张弦结构或其他特殊结构,提高大跨度建筑工程的力学性能^[6]。比如,德国汉诺威26号展厅的主体结构则是选择了连续三跨索结构建筑,累计长度和宽度分别为220米以及116米,设计人员将项目支撑柱利用空间格构支承结构进行替换,确保屋顶荷载能够借由承重所传递到竖向的格构结构上,进一步提高建筑受力的稳定性。

二是支撑屋顶的一体化设计。随着我国建筑材料和施工技术发展,建筑结构形态能够突破之前工业结构的交接形式,结构构件的界限也变得越发模糊,构件之间产生的空间能够直接作为大跨度空间使用。设计人员可以在不影响大跨度建筑总体受力结构的前提下,突破之前梁板柱的传统交接形式,使用支撑结构和大跨度固定结构的一体化设计方法。比如,我国的上海东方体育中心游泳馆,则是选择了空间钢管桁架体系作为主体结构,最大跨度为120米。设计人员利用空间扭曲的方法,将桁架结构原有的上下弦杆进行变形处理,最终转化为拱形杆件,配合腹杆连接能够形成拱形桁架的基本单元,同时在组合不同拱形桁架基本单元的前提下,能够形成简约外表稳定的大跨度建筑造型。

三是构建仿生。现如今,仿生设计已经成为大跨度建筑设计的主要灵感,而这也是诸多设计师的常用方法。设计人员可以通过模仿贝类、植物的叶脉形成,将其转化为建筑的优美造型以及合理的结构,能够赋予建筑造型有机和几何雕塑感的特性,一般用于悬索结构、桁架结构和网架结构的设计。比如,在蓬皮杜梅斯艺术中心造型设计环节,设计人员选择了彼此叠加穿插的六边形木质空间网架作为主体结构,并且将PTFE薄膜在表面进行覆盖。设计人员在设计方案制定的过程中选择将木质网架进行非线性变化,最终组成了较为平滑的屋面。随后,利用仿生模拟设计,在利用树枝伸展形态的情况下,形成了多个树枝的支撑结构,使得整体的建筑造型变得十分轻盈。

总结

总而言之,在目前大跨度建筑结构类型多元的背景下,造型设计工作对于满足工程的功能、审美需求有着十分重要的作用。设计人员需要在促进结构形态形象统一、形态造型统一的基础上,针对大跨度建筑结构的基础结构类型,合理选择构建参数控制以及构建调整优化的设计方法,保障大跨度建筑设计能够符合具体需求,为人们带来更加良好的视觉审美。

参考文献

- [1] 赵丹. 复杂性视阈下的大跨度建筑参数化形态生成策略研究[D]. 长安大学, 2021.
- [2] 孙文波, 周伟坚. 多层转换桁架体系在某大跨度钢结构工程中的应用[J]. 广东土木与建筑, 2021, 28(02): 25-29.
- [3] 郭剑飞, 庄程宇, 刘秀宏. 悬索结构在大跨度建筑中的应用技巧探讨[J]. 建筑与文化, 2018(04): 110-112.
- [4] 张婧娴. 大跨度建筑的结构表现与实现途径[D]. 山东大学, 2016.
- [5] 范宝君. 大跨度建筑结构形式与建筑造型[J]. 科技创新与应用, 2012(17): 185.
- [6] 谢浩. 建筑设计中的结构美学思考[J]. 江苏建材, 2011(02): 51-53.