

# Application and Development of Membrane Structure in Long-span Structures

Heyuan Yang

School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei, 056038, China

## Abstract

The paper discusses the application and technological innovation in membrane structure in large span structure. This paper analyzes the wide application of membrane structure in large-span structure, shows its unique advantages, and expounds the related fields of membrane structure in technological innovation, the research and development and application of new membrane materials, structural optimization and design innovation, connection technology and node innovation, and intelligent monitoring and maintenance technology. These technological innovations improve the performance of the membrane structure, and also broaden its application scope, to meet the requirements of modern buildings for aesthetics, functionality and sustainability. With the continuous progress of science and technology and the continuous renewal of architectural concept, the application of membrane structure in large-span structure will pay more attention to green, energy saving and sustainable development, and inject new vitality and innovation into the field of modern architecture.

## Keywords

membrane structure; large span structure; new membrane material; structure optimization; intelligent monitoring

## 膜结构在大跨度结构中的应用与发展研究

杨贺媛

河北工程大学土木工程学院, 中国·河北 邯郸 056038

## 摘要

论文探讨了膜结构在大跨度结构中的应用及其技术创新。分析了膜结构在大跨度结构中的广泛应用,展示了其独特的优势,阐述了膜结构在技术创新方面的相关领域,新型膜材料的研发与应用、结构优化与设计创新、连接技术与节点创新以及智能化监控与维护技术。这些技术创新提升了膜结构的性能,还拓宽了其应用范围,满足了现代建筑对美观性、功能性和可持续性的要求。随着科技的不断进步和建筑理念的持续更新,膜结构在大跨度结构中的应用将更加注重绿色、节能和可持续发展,为现代建筑领域注入新的活力和创新。

## 关键词

膜结构; 大跨度结构; 新型膜材料; 结构优化; 智能化监控

## 1 引言

随着现代建筑技术的不断进步和审美观念的不断演变,膜结构作为一种轻质、高强、具有良好透光性和形态可塑性的新型建筑结构形式,在大跨度结构领域的应用日益广泛。膜结构以其独特的魅力和优势,满足了现代建筑对美观性、功能性和可持续性的要求,还为大跨度建筑的设计和施工提供新的思路和解决方案。

## 2 膜结构在大跨度结构中的应用

膜结构,作为一种由薄膜材料和支撑体系共同构成的结构形式,凭借其轻质、高强、灵活多变的特性,在大跨度

空间建筑中发挥着越来越重要的作用。膜结构在大跨度结构中的应用,首先体现在其能够创造出开阔无柱的空间感。相较于传统的钢结构或混凝土结构,膜结构能够利用钢索、骨架等支撑体系,将薄膜材料绷紧形成建筑空间,无须设置中间支撑柱,从而实现了大跨度的覆盖(如图1所示)。这种设计提供了更广阔的使用空间,还使得建筑内部的光线分布更加均匀,自然采光效果更佳。在体育场馆、会展中心、机场航站楼等大型公共设施中,膜结构的应用尤为广泛。例如,2008年北京奥运会的国家体育场(鸟巢)就采用了膜结构设计,其独特的形态和开阔的空间感,成为了全球瞩目的焦点<sup>[1]</sup>。

【作者简介】杨贺媛(1999-),女,中国河北定州人,硕士,从事索膜结构振动控制研究。

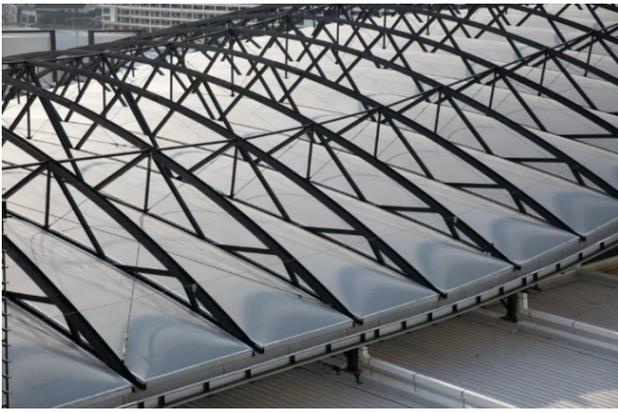


图1 膜结构

除了创造开阔空间外,膜结构在大跨度结构中的应用还体现在其美观性和艺术性的提升上。膜结构能够采用各种形状和曲线设计,灵活性强,可以满足不同建筑形式和功能需求,设计师能够计算机辅助设计(CAD)和数字制造技术,精确模拟膜结构的形态变化,优化结构布局,使得建筑外观更加美观、独特。例如,深圳文化中心的屋顶就采用了巨大的钢网架鸟翅形膜结构,成为建筑的亮点之一。膜结构的材料通常是可回收的,且轻质化设计能减少对环境的影响,因此具有较好的环保可持续性。膜结构的施工周期较短,能够更快速地完成建筑项目,缩短工期,在能源消耗方面,膜结构能够充分利用自然采光和通风,减少对人工照明和空调系统的需求,从而降低能源消耗和成本。由于膜材料长期暴露在室外环境中,会受到紫外线、风雨等自然因素的侵蚀,导致材料老化、性能下降,研发具有更高耐久性的膜材料,是膜结构领域亟待解决的问题之一。虽然一些高性能膜材料具有阻燃性,但在极端情况下,膜结构的防火安全仍需引起高度重视<sup>[2-3]</sup>。

### 3 膜结构在大跨度结构中的技术创新

#### 3.1 新型膜材料的研发与应用

随着材料科学的不断进步,新型膜材料的研发取得了显著成果,这些新型膜材料不仅具有更高的强度和耐久性,还具备优异的透光性、自洁性和防火性能,为膜结构在大跨度结构中的应用提供有力支持。例如,ETFE(乙烯-四氟乙烯共聚物)膜材料就是一种具有代表性的新型膜材料。它以其轻质、高强、高透光性和自洁性等特点,被广泛应用于大型体育场馆、会展中心、机场航站楼等大跨度建筑。ETFE膜材料能够形成连续而轻盈的覆盖层,提供良好的自然采光效果,还降低了建筑的能耗和维护成本,ETFE膜材料还具有良好的耐候性和耐腐蚀性,能够在恶劣的环境条件下保持稳定的性能,延长建筑的使用寿命。PTFE涂层织物以其卓越的耐候性、高温稳定性和非粘性而著称,它能够承受极端气候条件下的考验,如高温、低温、强风、暴雨等,同时具有良好的防火性能。

在新型膜材料的研发过程中,科研人员采用环保材料、优化生产工艺等手段,降低膜材料的能耗和排放,提高其环保性能,这些环保型膜材料具有优异的物理和化学性能,还能够减少对环境的污染和破坏,符合现代建筑对可持续发展的要求。例如,一些生物基膜材料就采用可再生资源作为原料,具有与传统膜材料相似的性能,还具有更好的生物相容性和可降解性,为建筑行业的绿色发展提供新的选择。随着新型膜材料的不断涌现,设计师们能够更加注重建筑的美观性和功能性,创造出更加独特和实用的建筑形态,施工技术人员也能够利用新型膜材料的特性,优化施工流程和方法,提高施工效率和质量。例如,在膜结构的安装过程中,采用预应力张拉技术将膜材料绷紧形成建筑形态,能够提高膜结构的稳定性和耐久性,还能够减少施工过程中的材料浪费和能源消耗。

#### 3.2 结构优化与设计创新

设计师们精确的有限元分析和计算机辅助设计,能够模拟出膜结构在不同荷载条件下的应力分布,进而对结构形态进行微调,以达到最优的力学性能,这种优化减少了材料的浪费,提高了结构的稳定性,还使得膜结构在形态上更加流畅、优雅。例如,在一些大型公共设施的屋顶设计中,膜结构被塑造成各种独特的形状,如波浪形、穹顶形、伞形等,既增强建筑的艺术表现力,还使得建筑与环境之间形成了良好的互动关系。膜结构可与灯光、音响等多媒体设备相结合,创造出丰富的视觉和听觉效果,为建筑增添更多的活力和趣味性。

现代膜结构的施工技术已经相当成熟,能够确保结构在施工过程中的精确度和安全性,安装传感器和监控系统,实时监测膜结构的运行状态,及时发现并处理潜在的安全隐患,确保结构的长期稳定运行。膜结构在大跨度结构中的技术创新还体现在其与其他建筑元素的融合上。例如,膜结构可以与钢结构、混凝土结构等传统建筑元素相结合,形成复合结构体系,既保留了传统结构的稳定性,又发挥了膜结构的轻盈感和美观性。随着膜结构技术的不断进步和应用范围的扩大,越来越多的企业开始涉足这一领域,推动了膜材料、膜结构构件、施工设备等相关产业的发展,为膜结构技术的创新提供有力的支撑,也为建筑行业的整体进步注入了新的活力。

#### 3.3 连接技术与节点创新

连接技术的创新成为膜结构技术发展的重要方向。现代膜结构连接技术注重节点的强度,还强调其密封性和耐久性。例如,热合连接技术就是一种常用的膜材连接方式,它利用高温将膜材边缘熔化并压合在一起,形成连续且坚固的连接面,这种连接方式强度高,而且密封性好,能够有效防止水汽渗透,保障膜结构内部的干燥环境。随着焊接技术的不断进步,一些新型焊接方法如高频焊接、激光焊接等也被应用于膜结构的连接中,进一步提高了连接的强度和精度。

在节点创新方面,膜结构的设计者们不断探索新的节点形式和连接方式,以适应不同形状和规模的膜结构。例如,在一些大型膜结构工程中,设计师们采用了新型的节点连接件,如球形节点、锥形节点等,这些节点连接件具有优异的力学性能,还能够适应膜结构在受力过程中的变形,从而提高了整个结构的稳定性和耐久性。

连接技术与节点创新的结合,使得膜结构在大跨度结构中的应用更加广泛和灵活。一方面,这些创新技术提高了膜结构的整体性能和稳定性,使得膜结构能够承受更大的荷载和更恶劣的环境条件。另一方面,这些创新技术也丰富了膜结构的设计语言和表现力,使得设计师们能够创造出更加独特和富有艺术感的建筑形态。例如,在一些大型体育场馆和会展中心的设计中,设计师们充分利用了膜结构的轻盈感和形态可塑性,利用创新的连接技术和节点设计,创造出了既符合功能需求又富有艺术美感的建筑形态。创新的连接技术和节点设计则能够简化施工流程、提高施工效率。例如,在一些大型膜结构工程中,设计师们采用了预制化的膜单元和标准化的节点连接件,这些预制化的膜单元和标准化的节点连接件能够在工厂进行精确加工和组装,还能够方便地在施工现场进行快速安装和调试。

### 3.4 智能化监控与维护技术

在大跨度膜结构中,由于结构跨度大、受力复杂,其安全性与稳定性至关重要。智能化监控系统能够实时采集膜结构的应力、位移、温度、湿度等关键参数,及时发现结构异常,预警潜在风险。例如,在膜材的关键部位安装应力传感器,实时监测膜材的受力状态,一旦发现应力超过预设阈值,系统便会自动报警,提示管理人员采取相应措施,从而有效避免结构失效或安全事故的发生。智能化监控系统还能对膜结构的振动特性进行监测,识别结构是否存在损伤或疲劳累积,为结构的健康评估与维护决策提供科学依据。在智能化维护技术方面,随着人工智能、机器人技术及远程控制系统的不断发展,膜结构的维护管理正逐渐从人工密集型向智能化、自动化转型。智能化维护技术,如无人机巡检、机器人维修等,能够实现对膜结构的高效、精准维护。无人机搭载高清摄像头及热成像仪等设备,对膜结构进行高空巡

检,快速发现裂缝、脱落等异常情况,对问题进行初步分类与评估。根据评估结果,可派遣具备相应功能的机器人前往现场,进行修补、清洁或更换受损部件等工作,机器人维护能够提高工作效率,减少人工干预,还能在极端或危险环境下作业,保障人员安全。

建立膜结构健康档案,记录每次监测与维护的数据,利用大数据分析技术,预测结构未来的变化趋势,制定更为科学合理的维护计划。智能化系统还能够实现远程监控与远程维护,管理人员只需通过电脑或手机,即可实时查看膜结构的运行状态,远程调整监控参数,或下达维护指令,极大地提高了维护管理的便捷性与灵活性。智能化监控与维护技术的应用,有助于提升膜结构的环保性能与可持续性,以精确控制维护周期与维护方式,减少不必要的材料消耗与能源消耗,降低维护成本。智能化系统还能够对膜结构的能耗进行监测与优化,实现自然光的有效利用,减少照明能耗,促进绿色建筑的发展<sup>[4,5]</sup>。

## 4 结语

膜结构在大跨度结构中的应用与发展呈现出蓬勃的生机和广阔的前景。随着新型膜材料的不断涌现、设计技术的不断创新、施工技术的日益成熟以及智能化监控与维护技术的广泛应用,膜结构在大跨度结构中的性能将得到进一步提升,应用范围也将更加广泛。

### 参考文献

- [1] 王军.钢结构在大跨度建筑中的应用与设计[J].科技资讯,2023,21(12):141-144.
- [2] 舒涛,孙晓彦.钢结构在大跨度仿古建筑中的应用[C]//钢结构与绿色建筑技术应用.北京清华同衡规划设计研究院有限公司,2019:7.
- [3] 李中立,宋小兵.膜结构在大跨度结构中的应用[C]//天津大学.第十三届全国现代结构工程学术研讨会论文集.北京中天久业膜建筑技术有限公司,2013:8.
- [4] 陈艳丽,杨国力.膜结构在大跨度结构中的应用[J].科技信息,2007(6):108.
- [5] 李中立,吴健生.国外膜结构在大跨度结构中的应用与发展趋势[J].空间结构,1996(3):52-56.