

# Discussion on the Performance-oriented Seismic Design Method of Foldable Large-span Steel Structure and Its Application Study of 60-meter Span Structure

Minwen Chen

China Railway Fourth Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Fuzhou, Fujian, 350004, China

## Abstract

This paper focuses on the folding large-span steel structure, studies the performance-oriented seismic design method, and discusses the 60-meter span structure as a case. This paper introduces the technical characteristics of folding large-span steel structure, including the flexibility and variability of structural design, as well as the innovation of structural materials and processes. The seismic design methods are summarized, including the review of traditional methods, the introduction of performance-oriented design methods, and the importance of performance-oriented seismic design in folding large-span steel structures. On this basis, the application of performance-oriented seismic design method in large-span steel structure is discussed in detail, covering the selection of structural performance evaluation index, seismic load simulation and analysis, the optimization of material and structural performance, and the verification and adjustment of structural performance. Taking 60 meters span folding large span steel structure as an example, the specific design and analysis process is introduced, and the application of performance oriented seismic design, structural analysis and performance verification of the design are expounded. Through this paper, it provides practical methods and theoretical support for the seismic design of folding large-span steel structure.

## Keywords

folding large-span steel structure; performance-oriented seismic design; structural performance verification; 60-meter span structure

# 折叠式大跨度钢结构的性能导向抗震设计方法探讨及其 60 米跨度结构应用研究

陈敏文

中铁第四勘察设计院集团有限公司, 中国·福建福州 350004

## 摘要

论文围绕折叠式大跨度钢结构展开, 深入研究了性能导向抗震设计方法, 并以 60 米跨度结构为案例进行探讨。论文介绍了折叠式大跨度钢结构的技术特点, 包括结构设计的灵活性与可变性, 以及构造材料与工艺的创新。对抗震设计方法进行了综述, 包括传统方法回顾、性能导向设计方法的介绍, 以及在折叠式大跨度钢结构中性能导向抗震设计的重要性。在此基础上, 详细探讨了性能导向抗震设计方法在大跨度钢结构中的应用, 涵盖了结构性能评估指标的选择、地震荷载模拟与分析、材料与构造性能优化, 以及结构性能验证与调整。再以 60 米跨度折叠式大跨度钢结构为例, 介绍了具体的设计与分析过程, 阐述了性能导向抗震设计的应用和结构分析与性能验证。通过论文的研究, 为折叠式大跨度钢结构的抗震设计提供了实用的方法和理论支持。

## 关键词

折叠式大跨度钢结构; 性能导向抗震设计; 结构性能验证; 60 米跨度结构

## 1 引言

近年来, 城市化进程的迅速推进和建筑业的蓬勃发展对建筑结构提出了更高的性能和安全要求。折叠式大跨度钢结构作为一种创新的结构形式, 由于其独特的设计理念和灵活性, 逐渐受到了广泛关注。这种结构形式以其卓越的抗震

性能和空间利用效率而备受青睐, 尤其在大型体育馆、展览中心等场馆的设计与建造中得到了广泛应用。然而, 由于折叠式大跨度钢结构在设计 and 施工过程中面临的复杂性, 特别是在地震频繁的地区, 传统的抗震设计方法已经不能完全满足其性能和安全要求。随着工程结构抗震设计理论的不断深入和性能导向设计方法的兴起, 越来越多的研究关注如何在折叠式大跨度钢结构中应用性能导向抗震设计方法, 以提高其整体抗震性能。论文旨在深入探讨折叠式大跨度钢结构的性能导向抗震设计方法, 并以一座 60 米跨度的结构为研究

【作者简介】陈敏文(1971-), 男, 中国福建人, 本科, 高级工程师, 从事结构工程研究。

对象,通过结合结构设计的灵活性与可变性以及构造材料与工艺的创新,寻求更为合理和高效的抗震设计策略。这一研究不仅有助于推动折叠式大跨度钢结构领域的设计理论创新,还为解决大型建筑工程在地震等自然灾害面前的挑战提供了实用的技术支持。

## 2 折叠式大跨度钢结构技术特点

### 2.1 结构设计的灵活性与可变性

折叠式大跨度钢结构形式的灵活性体现在多样化的折叠机制上。通过对结构各部分的设计巧妙组合,折叠式结构能够在不同使用阶段实现结构形态的变化,以适应不同的功能需求。这种设计灵活性不仅使得结构能够在不同用途场合中得到最优的性能发挥,同时也提高了建筑的可持续性和适用性<sup>[1]</sup>。

折叠式大跨度钢结构的可变性主要表现在结构的可调整性和可拓展性上。结构设计考虑到不同的荷载情况和使用要求,通过巧妙的设计和结构部件的可调整性,实现结构的及时响应和调整。这种可变性使得折叠式大跨度钢结构不仅能够适应不同环境和使用条件,还能够在未来的使用过程中进行灵活的改造和扩展,以适应城市发展的变化和建筑功能的更新需求。

### 2.2 构造材料与工艺创新

折叠式大跨度钢结构在构造材料和工艺方面的创新为其在设计和施工中带来了显著的优势。构造材料的创新主要表现在采用高强度、轻质的先进材料,如高强度钢材和复合材料。这些材料的应用不仅减轻了整体结构的自重,提高了结构的承载能力,同时还增加了结构的耐久性和抗腐蚀性,延长了结构的使用寿命。工艺创新方面,折叠式大跨度钢结构采用了先进的数字化设计和制造技术。通过建模软件的精确设计和计算,结合先进的数控制造工艺,实现了结构构件的精确加工和装配,提高了结构的制造精度和一致性。这不仅提高了结构的整体质量,还大幅缩短了施工周期,降低了建筑成本。

## 3 抗震设计方法综述

### 3.1 传统抗震设计方法回顾

传统抗震设计方法在工程实践中长期发挥着重要作用。其核心思想包括按照建筑物在地震作用下的弹塑性性能进行设计,通过设定刚度、强度等参数来保证结构在地震发生时有足够的稳定性。然而,传统方法在考虑结构整体性能时往往较为简化,未能充分考虑到结构在地震作用下的动力响应和变形特性,导致设计结果与实际工程实际性能之间存在差异。

传统抗震设计方法通常以满足最小设计要求为目标,缺乏对结构在地震作用下的全面性能了解,容易忽视结构在非线性阶段的行为。这在大跨度钢结构等复杂工程中显得尤为突出,因为这些结构的几何形态和材料性质较为特殊,需

要更为精细和全面的设计手段来确保其在地震中的稳定性和安全性。

### 3.2 性能导向设计方法介绍

性能导向设计方法以结构在地震作用下的性能为设计的出发点,强调对结构整体性能的深入理解和准确描述。相较于传统方法,性能导向设计不再将结构简化为刚体系统,而是通过先进的分析方法,全面考虑结构的非线性行为、动力响应和耗能能力<sup>[2]</sup>。这一方法更注重结构在地震发生时的整体性能表现,使得设计更贴近实际工程需求,为折叠式大跨度钢结构等特殊结构提供了更为科学和精准的设计手段。性能导向设计方法的引入还使得设计阶段更为灵活。通过设定结构在地震作用下的性能目标,设计者可以更加灵活地选择材料、构造形式和施工方法,以最大化地满足性能要求。这为复杂结构的设计提供了更为综合和个性化的方案,有助于充分发挥结构的优势。

### 3.3 折叠式大跨度钢结构中性能导向抗震设计的重要性

在折叠式大跨度钢结构的设计中,性能导向抗震设计显得尤为重要。这种结构形式由于其独特的构造特点和广泛应用领域,其在地震环境中的响应更加复杂多变。传统的抗震设计方法在考虑这些复杂性时显得力不从心,往往导致结构在地震中性能未能得到有效的保证。

性能导向抗震设计为折叠式大跨度钢结构的安全性能提供了更为精确的保障。通过深入分析结构的非线性行为、动力特性和耗能能力,设计者能够更好地了解结构在地震中的实际性能,并据此合理设置性能目标。

## 4 性能导向抗震设计方法在大跨度钢结构中的应用

### 4.1 结构性能评估指标的选择

在大跨度钢结构的性能导向抗震设计中,合理选择结构性能评估指标是确保结构在地震中表现优越的重要一环。考虑到这类结构的特殊性,评估指标的选择应该是全面的、多维度的。除了传统的强度和刚度指标,还需关注结构的变形控制、动力特性、耗能能力等。这种全面性的评估能够更全面地反映结构在地震作用下的真实性能,为后续的设计和施工提供科学的依据。

### 4.2 地震荷载模拟与分析

在性能导向抗震设计中,地震荷载模拟与分析扮演着确保结构性能准确预测的关键角色。尤其在大跨度钢结构中,由于结构形状的复杂性和地震荷载的多样性,采用高级的数值模拟方法是必要的,而有限元分析则是一种广泛应用的工具,能够准确模拟结构在地震中的动态响应。

地震荷载的模拟需要深入研究结构所处地区的地震特性,包括地震波的频谱、幅值等。通过详细的地震荷载模拟,设计者能够获取真实而复杂的地震荷载时间历程,为后续的

结构分析提供精确的输入条件。这对于大跨度钢结构,尤其是那些处于地震多发区域的结构而言,显得尤为关键。在地震荷载分析阶段,采用有限元分析方法对结构进行模拟。这种方法能够考虑结构的非线性行为、动力响应和局部细节,全面而准确地描绘结构在地震中的实际响应。通过模拟不同地震强度下结构的动态特性,设计者可以更好地了解结构的强度、刚度和耗能能力<sup>[3]</sup>。

地震荷载模拟与分析阶段还可以进行灵敏性分析,即通过改变一些关键参数,如结构几何形状、材料特性等,来评估这些变化对结构性能的影响。这有助于确定结构的脆弱性,并为后续的优化设计提供指导。通过精细的地震荷载模拟与分析,设计者可以更全面地了解大跨度钢结构在地震中的动态行为,为后续的设计和优化提供可靠的基础。

### 4.3 结构性能验证与调整

性能导向抗震设计方法的最终验证和调整是确保设计成功的关键步骤。通过在实际工程中设置传感器进行实时监测,可以获取结构在地震中的响应数据。这些实测数据不仅验证了模拟结果的准确性,同时也为结构的长期监测提供了数据基础<sup>[4]</sup>。

在性能验证后,如果发现实际性能与设计要求存在差异,设计者需要进行相应的调整。这包括材料参数的修正、结构构造的调整等。通过不断地调整和优化,确保设计实际性能与预期目标相一致,进一步提高了大跨度钢结构在地震作用下的安全性和可靠性。

## 5 60米跨度折叠式大跨度钢结构的设计与分析

### 5.1 工程案例介绍

以杭州未来科技城的“未来之星”体育馆为例,这是一座具有60米跨度的折叠式大跨度钢结构工程。该工程致力于为未来科技城提供多功能、创新型的体育场馆,具有标志性的设计与独特的空间结构。“未来之星”体育馆采用了折叠式大跨度钢结构,克服了传统结构在大跨度方面的限制,提供了更加灵活的空间使用。通过对工程地理环境、用途需求的深入分析,设计师采用了高强度、高韧性的钢材,确保了结构的抗震性能。

### 5.2 性能导向抗震设计的具体应用

在“未来之星”体育馆的设计中,性能导向抗震设计方法的充分应用产生了显著的效果,为结构性能的全面提升和灵活性的增强做出了实质性贡献。

地震分析与特性考虑:通过深入的地震分析,设计者精确捕捉了未来科技城地区的地震特性,从而为后续的设计提供了精准的地震荷载信息。这一步骤确保了设计过程中对地震作用的全面考虑,为体育馆在地震中的表现提供了实际依据。

地震荷载模拟与有限元分析:通过采用有限元分析方法,设计者成功地模拟了不同强度的地震作用下体育馆结构的动态响应。这一应用使得设计团队得以全面理解结构在地

震中的行为,包括强度、刚度和变形等性能。通过对这些方面的深入研究,体育馆在地震中的整体性能得以准确评估。

灵敏性分析与设计方案调整:性能导向抗震设计方法的灵活性体现在对结构参数的灵敏性分析上。通过调整结构参数,设计者评估了不同设计方案对抗震性能的影响,而这不仅仅是简单的模拟变化,更是为设计的灵活性提供了直接的指导。这一步骤的结果为设计的进一步优化提供了有力的数据支持,确保了设计的稳健性和可靠性。

通过性能导向抗震设计方法的应用,“未来之星”体育馆在抗震性能上取得了实质性的提升,不仅具备了足够的强度,更在动态特性和韧性方面表现出色。这为大跨度折叠式大跨度钢结构的实际工程中的抗震设计提供了成功的案例和有益的经验,推动了这一领域的进步。

### 5.3 结构分析与性能验证

在“未来之星”体育馆的建设中,结构分析与性能验证是性能导向抗震设计方法中的关键步骤。通过在实际工程中设置传感器,设计者实时监测了体育馆在地震中的响应数据。

通过实测数据与模拟结果的对比,设计者验证了模型的准确性,发现了结构实际行为与设计要求之间的差异。设计团队对这些差异进行了深入分析,并在设计中进行了相应的调整。在性能验证过程中,通过对结构的动态响应数据进行详细分析,发现了某些构件的位移略有超过设计值。设计团队通过对这些构件的材料参数和截面尺寸进行微调,最终使结构的实际性能与设计目标达到一致。

## 6 结语

本研究系统性地探讨了折叠式大跨度钢结构的抗震设计。通过性能导向设计方法在大跨度钢结构中的应用,结构的动力特性、耗能能力等多方面得到了优化和提升。具体案例中,地震荷载模拟与分析为准确预测结构性能提供了关键支持,而材料与构造性能的优化进一步确保了结构的整体抗震性。60米跨度折叠式大跨度钢结构的设计与分析案例更是展现了性能导向抗震设计方法在实际工程中的成功应用,使得结构不仅在地震中具备卓越的强度,更在动态响应和韧性等方面表现出色。因此,性能导向抗震设计方法为大跨度钢结构的抗震设计提供了一种先进而可行的途径,为未来类似工程的设计和和实施提供了有力的指导和借鉴。

### 参考文献

- [1] 李双红.大跨度索结构桥梁抗震设计与加固方法研究[J].交通世界,2023(4):217-219.
- [2] 丁小峰.基于性能的大跨度钢结构设计分析[J].建筑工程技术与设计,2021(424).
- [3] 张旭.基于性能的大跨度钢结构设计方法分析[J].建筑工程技术与设计,2018(6):794.
- [4] 董银.基于性能的大跨度钢结构设计研究[J].科技创新与应用,2020(5):89-90.