

基于 BIM 的大跨度空间钢结构抗震性能优化与试验研究

何明昊

绿盟（北京）国际工程设计有限公司江西分公司，江西南昌，330025；

摘要：大跨度空间钢结构在现代建筑工程中应用广泛，但其抗震性能一直是结构设计的关键问题。本文基于建筑信息模型（BIM）技术，对大跨度空间钢结构的抗震性能进行优化与试验研究。通过介绍 BIM 技术在结构抗震设计中的应用优势，阐述利用 BIM 进行抗震性能优化的流程，包括结构建模、参数化分析及性能评估；详细探讨基于 BIM 的抗震优化策略，如结构体系调整、构件性能提升和节点设计优化；结合试验研究验证优化效果，包括试验方案设计、加载过程与结果分析；并总结 BIM 技术在抗震性能优化中的应用价值与未来发展方向。研究表明，BIM 技术能够有效提升大跨度空间钢结构的抗震性能优化效率和精度，为工程实践提供有力支持。

关键词：BIM 技术；大跨度空间钢结构；抗震性能；优化

DOI：10.64216/3104-9664.25.03.062

引言

大跨度空间钢结构因其独特的空间利用优势和建筑美学效果，在体育场馆、会展中心、机场航站楼等大型公共建筑中得到广泛应用。然而，这类结构因其跨度大、构件长细比高、结构自振频率低等特点，在地震作用下容易产生较大的变形和内力响应，抗震性能面临严峻挑战。传统的抗震设计方法在处理复杂大跨度空间结构时存在诸多局限性，如设计周期长、优化效率低、难以直观展示结构抗震性能等。建筑信息模型（BIM）技术的出现为解决这些问题提供了新的思路 and 工具。BIM 技术能够实现结构的三维可视化建模、参数化设计和多专业协同，为抗震性能优化提供了强大的技术支持。本文旨在通过基于 BIM 的抗震性能优化与试验研究，探索提高大跨度空间钢结构抗震性能的新方法和新途径，为相关工程设计提供参考和借鉴。

1 BIM 技术在抗震设计中的应用优势

1.1 三维可视化与协作设计

BIM 技术以三维数字化模型为核心，能够直观呈现大跨度空间钢结构复杂的形态特征与空间联系。设计人员可利用 BIM 模型多方位观察结构细部，预先识别设计中可能存在的问题，例如构件之间的干涉、空间排布不协调等。在结构抗震设计中，BIM 技术便于不同专业之间的协同作业，结构、建筑、设备等专业工程师可在同一模型平台上交流配合，保证各专业设计相互衔接、彼此统一。此类协同设计模式有助于减少因专业信息不一致引发的抗震设计疏漏，从而提升设计质量与工作效率。

率。

1.2 参数化建模与高效迭代

BIM 技术具备参数化建模能力，设计人员可通过设定参数控制结构模型的几何形态、尺寸及相关属性。在抗震性能优化阶段，能够迅速调整如构件截面、支撑布置、节点构造等结构参数，并同步更新模型，考察不同参数组合对结构抗震表现的影响。这种高效的迭代设计方式显著缩短了优化周期，帮助设计者在较短时间内探索更多可行的优化策略，从而确定最优的抗震设计参数配置。与传统设计方法相比，BIM 的参数化建模显著增强了抗震设计过程的灵活性与工作效能。

1.3 性能模拟与分析的集成应用

BIM 技术能够与结构分析软件实现有效对接，将三维模型直接载入有限元分析程序以进行抗震性能仿真。通过在 BIM 模型中设定材料参数、边界条件与荷载信息，可较为精确地模拟地震作用下大跨度空间钢结构的动态行为，包括其变形、内力与应力分布等情况。BIM 技术支持包括模态分析、时程分析、弹塑性分析在内的多种抗震性能评估方法，为设计人员提供全面的结构抗震性能判断依据。此类一体化的模拟分析方式使设计者能够在设计阶段即对结构的抗震性能形成清晰认识，及时识别抗震薄弱部位，并采取针对性强化措施。

2 基于 BIM 的抗震性能优化流程

2.1 模型构建与信息整合

优化过程始于建立精准的大跨度空间钢结构 BIM 三维模型。模型需包含结构几何形态、构件规格、材料

特性、节点连接等完整信息。建模时应保证模型精度与完备性，为后续抗震分析提供可靠数据支撑。同时，将抗震设计相关参数（包括设防烈度、阻尼系数、地震影响系数等）融入 BIM 模型，使其具备抗震分析功能。此外，还需在模型中关联结构所处环境要素（如场地条件、邻近构筑物等），以综合评估地震作用下结构与周边环境的相互作用。

2.2 参数化抗震性能分析

基于 BIM 模型，运用参数化分析工具评估结构抗震性能。通过调整结构参数（如构件截面规格、支撑系统布置、节点刚度等），分析参数变动对结构抗震表现的影响。例如，可研究不同截面尺寸构件在地震作用下的内力与变形规律，明确合理截面范围；分析各类支撑布置方案对结构整体稳定性的作用，优化支撑配置；探究节点刚度对结构抗震性能的影响机制，选取适宜的节点连接方式。参数化分析能为抗震性能优化提供量化依据，辅助设计人员快速识别关键影响参数。

2.3 抗震性能评价与设计反馈

根据参数化分析结果，系统评估大跨度空间钢结构的抗震性能。评估内容包括结构位移响应、内力分布特征、应力集中区域、弹塑性发展过程等指标。通过对照抗震规范要求，判断结构是否满足既定抗震目标。对不达标的结构，依据分析结果反馈至 BIM 模型，调整相关参数或修改设计方案，重新进行性能分析与评估，直至达到预期抗震要求。该过程需多次迭代完成，BIM 技术所具有模型快速更新与高效分析能力在此发挥关键作用，可大幅提升优化工作效率。

3 基于 BIM 的抗震优化策略

3.1 结构体系调整优化

大跨度空间钢结构的结构体系对其抗震性能有重要影响。基于 BIM 技术，可以对不同的结构体系（如网架结构、网壳结构、桁架结构等）进行抗震性能对比分析。通过调整结构体系的几何形状、跨度分布、支撑形式等参数，优化结构的整体抗震性能。例如，对于网壳结构，可以通过调整网壳的曲率半径、肋高和网格尺寸，提高结构的刚度和稳定性，减少地震作用下的变形；对于桁架结构，可以优化桁架的腹杆布置和截面形式，提高结构的抗侧刚度和抗扭性能。BIM 技术能够直观地展示结构体系调整后的变化，并通过性能分析验证调整效果，为选择最优的结构体系提供支持。

3.2 构件性能提升优化

构件的性能是影响大跨度空间钢结构抗震性能的基础因素。基于 BIM 技术，可以对构件的截面形式、材料选择和连接方式进行优化。例如，选择高强度、高韧性、良好的抗震性能的钢材作为构件材料，提高构件的承载能力和延性；优化构件的截面形式，如采用变截面构件或组合截面构件，使构件在满足承载要求的前提下，具有更好的抗震性能；改进构件的连接方式，如采用焊接与螺栓连接相结合的方式，提高连接节点的刚度和可靠性。

3.3 节点设计优化

节点是大跨度空间钢结构的关键部位，其抗震性能直接影响结构的整体稳定性。基于 BIM 技术，可以对节点的几何形状、连接形式和构造细节进行优化设计。例如，设计合理的节点几何形状，使节点在地震作用下能够有效地传递内力，避免应力集中；选择合适的连接形式，如刚性连接、半刚性连接或柔性连接，根据结构的抗震需求调整节点的刚度和延性；优化节点的构造细节，如增加节点的加强板、优化螺栓布置等，提高节点的抗震性能。通过 BIM 模型的精细化设计和性能分析，可以验证节点设计优化的效果，确保节点在地震作用下能够可靠地工作，提高结构的抗震性能。

4 抗震性能优化的试验研究

4.1 试验方案设计

为了验证基于 BIM 技术的抗震性能优化效果，需要进行试验研究。试验方案设计应根据优化目标和结构特点进行制定。首先，确定试验对象，可以选择优化后的关键构件、节点或小型结构模型进行试验；其次，设计合理的试验加载方案，模拟地震作用下的荷载工况，包括水平往复加载、拟静力加载或动力加载等；最后，确定试验测量参数，如位移、内力、应变、加速度等，以全面评估结构的抗震性能。试验方案设计应充分考虑 BIM 技术在试验中的应用，如通过 BIM 模型生成试验加载路径、指导试验装置的布置等，确保试验结果能够准确反映优化后的结构抗震性能。

4.2 加载过程与数据采集

在试验过程中，严格按照试验方案进行加载操作。通过加载设备对试验对象施加预定的荷载，模拟地震作用下的结构响应。同时，利用先进的测量仪器和数据采集系统，实时采集试验过程中的各项数据，如位移、内

力、应变等。BIM技术可以在此过程中发挥数据管理的作用，将采集到的数据与BIM模型中的相应位置进行关联，实现数据的可视化展示和分析。通过加载过程的实时监测和数据采集，可以获得结构在地震作用下的详细响应信息，为后续的性能评估和优化验证提供数据支持。

4.3 试验结果分析与优化验证

对采集到的试验数据进行分析处理，评估结构的抗震性能。分析内容包括结构的位移响应规律、内力分布情况、构件和节点的破坏形态等。将试验结果与基于BIM技术的抗震性能优化分析结果进行对比，验证优化措施的有效性。如果试验结果表明优化后的结构抗震性能达到预期目标，则说明基于BIM的优化策略是成功的；如果存在差异，则需要进一步分析原因，调整优化方案，重新进行试验验证。通过试验研究与BIM技术的结合，可以为大跨度空间钢结构的抗震性能优化提供科学可靠的依据，推动抗震设计方法的创新和发展。

5 BIM技术在抗震性能优化中的应用价值与发展

5.1 提升设计效率与质量

BIM技术在大跨度空间钢结构抗震性能优化中的应用，显著提高了设计效率和质量。通过三维可视化和参数化建模，设计师能够快速构建和修改结构模型，直观地了解结构的抗震性能变化；集成化的性能模拟与分析功能使设计师能够在设计阶段就对结构进行全面的抗震评估，及时发现并解决潜在问题。相比传统设计方法，BIM技术减少了设计周期和成本，提高了设计的准确性和可靠性，为复杂大跨度空间结构的抗震设计提供了有力支持。

5.2 推动抗震设计方法创新

BIM技术为抗震设计方法的创新提供了新的平台。它支持多种先进的抗震分析方法和优化技术，如基于性能的抗震设计、智能优化算法等。通过与这些新技术的结合，BIM技术能够实现更精细化、更高效的抗震性能优化。例如，利用智能优化算法（如遗传算法、粒子群算法等）与BIM参数化模型相结合，可以自动搜索最优的抗震设计参数组合，提高优化效果。此外，BIM技术还促进了多学科交叉的抗震设计研究，如结构工程与地震工程、材料科学等学科的融合，为抗震设计方法的创新提供了更广阔的空间。

5.3 未来发展方向与挑战

随着BIM技术的不断发展和应用，其在大跨度空间钢结构抗震性能优化中的应用前景广阔，但也面临一些挑战。未来，BIM技术将与物联网、大数据、云计算等新兴技术深度融合，实现结构抗震性能的实时监测与智能评估。通过在结构中安装传感器，将监测数据实时传输到云端，结合BIM模型进行数据分析和处理，能够提前预警结构的抗震安全隐患，为结构的维护和加固提供依据。然而，BIM技术在抗震性能优化中的应用还存在一些技术难题，如模型精度与分析精度的平衡、多软件集成的兼容性问题、复杂结构的高效参数化建模等。此外，BIM技术的应用还需要相关标准和规范的支持，以确保其在抗震设计中的科学性和合理性。因此，未来需要加强技术研发和标准制定，推动BIM技术在大跨度空间钢结构抗震性能优化中的广泛应用。

6 总结

本文基于BIM技术对大跨度空间钢结构的抗震性能优化与试验研究进行了系统探讨。通过分析BIM技术在抗震设计中的应用优势，阐述了基于BIM的抗震性能优化流程，包括结构建模、参数化分析和性能评估；提出了基于BIM的抗震优化策略，如结构体系调整、构件性能提升和节点设计优化；并通过试验研究验证了优化效果。研究表明，BIM技术能够显著提升大跨度空间钢结构的抗震性能优化效率和质量，为抗震设计方法的创新提供了有力支持。未来，随着BIM技术与其他新兴技术的融合以及相关标准的完善，其在大跨度空间钢结构抗震性能优化中的应用将更加广泛和深入，为保障大型公共建筑的抗震安全发挥重要作用。

参考文献

- [1] 施伟. 大跨度空间钢结构安装施工技术研究[J]. 城市建设, 2025, (22): 65-67.
- [2] 张玉权. 基于BIM的大跨度空间钢结构施工技术探析[J]. 建材发展导向, 2025, 23(08): 115-117.
- [3] 牛婧. 大跨度空间钢结构施工技术及质量控制研究[J]. 中国金属通报, 2025, (04): 237-239.
- [4] 张军. 简述有限空间大跨度钢结构提升施工技术[J]. 中国住宅设施, 2025, (02): 191-193.
- [5] 侯朝, 郝丁默, 杨阳, 等. 基于BIM的大跨度空间钢结构预制化施工管理及应用[J]. 建筑技术, 2025, 56(01): 23-26.