

强震影响下多层建筑层间结构抗倒塌数值模拟

窦子凯

中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃 兰州 730000

摘要: 本研究旨在通过数值模拟方法,探讨强震影响下多层建筑层间结构的抗倒塌性能。随着地震灾害的频繁发生,建筑结构的抗倒塌能力成为了重要的研究课题。论文首先介绍了多层建筑层间结构抗倒塌理论基础。接着,通过建立有限元模型,对多层建筑层间结构在不同地震作用下的响应进行了模拟分析,重点研究了层间位移与层间应力的关系、结构损伤演化与倒塌机制。最后,提出了针对多层建筑层间结构的抗倒塌优化设计策略和加固方案。论文不仅有助于深入理解多层建筑层间结构在强震作用下的行为特性,而且为实际工程中的抗震设计和加固提供了理论依据和指导。

关键词: 强震影响下; 多层建筑层间结构抗倒塌; 数值模拟

引言

地震是一种常见的自然灾害,其造成的破坏和人员伤亡往往与建筑结构的倒塌密切相关。多层建筑作为城市中常见的建筑形式,其层间结构的抗倒塌性能对于保障生命财产安全具有重要意义。随着数值模拟技术的不断发展,利用计算机模型对建筑结构进行地震作用下的模拟分析已经成为研究热点。论文将通过数值模拟方法,深入研究强震影响下多层建筑层间结构的抗倒塌性能,以期在实际工程提供有益的参考和指导

1 多层建筑层间结构抗倒塌理论基础

1.1 建筑结构抗倒塌基本概念

建筑结构的抗倒塌能力是衡量建筑物安全性能的重要指标。在地震、飓风、爆炸等极端事件下,建筑结构必须具备足够的抗倒塌能力,以保证人民生命财产的安全。抗倒塌能力主要取决于建筑结构的整体稳定性和关键构件的强度与刚度。

1.2 地震作用与结构反应

地震是导致建筑结构倒塌的主要自然灾害之一。地震作用会导致地面震动、建筑物位移和加速度等效应,进而引发结构的振动和变形^[1]。结构的反应程度取决于其自身的动力特性和地震的强度。深入研究地震作用下的结构反应规律,对于提高建筑结构的抗倒塌能力至关重要。

1.3 多层建筑层间结构特性分析

多层建筑层间结构是建筑物的主要承重结构,其特性直接关系到建筑物的整体稳定性和抗震性能。层间结构的特性分析主要包括以下几个方面: 1) 材料特性: 如混凝土的抗压、抗拉强度,钢筋的屈服强度等。2) 构件设计: 如梁、柱、板的尺寸、配筋等。3) 连接与节点: 如梁柱节点的抗震性能、楼板与梁的连接方式等。4) 动力特性: 如自振周期、振型、阻尼比等。5) 数值模拟方法

简介。数值模拟方法是研究建筑结构抗倒塌性能的重要手段。通过数值模拟,可以模拟建筑结构在地震作用下的动态响应,预测其可能的破坏模式,为结构的优化设计和加固提供依据。常用的数值模拟方法包括有限元法、有限差分法和离散元法等。6) 通过数值模拟方法,可以深入了解结构在不同地震作用下的响应特征,为抗倒塌设计提供理论支持和实践指导。同时,数值模拟还可以用于评估现有结构的抗震性能,为既有建筑的加固和维护提供依据。

2 数值模拟模型的建立与验证

2.1 有限元模型的建立

在建立有限元模型时,首先需要对实际结构和问题进行详细的调研和分析。明确模型的范围、边界和约束条件,然后根据这些条件选择合适的有限元网格进行划分。网格的尺寸和类型需要根据实际问题进行选择,以获得准确的模拟结果。

2.2 模型假设与简化

在建立数值模拟模型时,为了简化问题并降低计算成本,通常需要进行一些假设和简化。这些假设可能涉及忽略次要因素、将复杂材料属性简化为理想化模型等。然而,这些假设必须基于对实际问题的深入理解,并确保不会对模拟结果的准确性产生显著影响。

2.3 材料模型及本构关系

选择合适的材料模型对于数值模拟至关重要。材料模型描述了材料的物理性质和行为,包括应力-应变关系、热传导、电磁响应等。根据问题的性质选择材料模型,确保能够准确地描述材料的响应。此外,还需定义材料的本构关系,包括应力、应变、温度等与模型参数之间的关系。

2.4 连接方式与边界条件

在模拟结构时,各个部分之间的连接方式和边界条

件对结果有重要影响^[2]。需要定义各个组件之间的连接方式，如焊接、螺栓连接等，以及边界条件，如位移约束、载荷分布等。边界条件应根据实际情况进行设定，以确保模拟结果的准确性和可靠性。

2.5 模型的验证与有效性检查

在完成数值模拟模型的建立后，需要对其进行验证和有效性检查。这可以通过对比模拟结果与已知实验数据或实际观测数据进行。通过对比分析，可以评估模型的准确性和可靠性，并确定是否需要调整模型或优化。如果存在显著差异，需要仔细检查模型假设、材料属性、连接方式和边界条件等，以找出可能的原因并进行修正。

3 强震作用下多层建筑层间结构抗倒塌性能分析

3.1 层间位移与层间应力的关系分析

强震作用下，建筑物的层间位移和层间应力是评价其抗倒塌性能的重要参数。层间位移指的是楼层之间的相对位移，而层间应力则是楼层之间由于外力作用产生的应力。在地震作用下，楼层之间的相对位移和应力分布会发生变化，可能导致结构的损伤和倒塌。因此，对层间位移与层间应力的关系进行深入分析，有助于理解多层建筑在强震下的行为，并为抗倒塌设计提供依据。

3.2 结构损伤演化与倒塌机制研究

在强震作用下，结构的损伤演化与倒塌机制是决定建筑是否能够承受地震作用的关键因素。通过模拟地震动输入，观察和分析结构的损伤演化过程，可以深入了解结构在地震作用下的破坏模式和倒塌机制。这有助于识别结构的薄弱环节和潜在的失效路径，为抗倒塌优化设计提供依据。

3.3 关键因素对结构抗倒塌性能的影响分析

影响多层建筑层间结构抗倒塌性能的关键因素有很多，如材料特性、连接方式、楼层高度、地震强度等。对这些因素进行详细的分析，可以确定它们对结构抗倒塌性能的具体影响^[3]。例如，材料的弹性模量、屈服强度等特性直接影响结构在地震作用下的响应；连接方式决定了楼层之间的传力和变形性能；楼层高度和地震强度则影响结构所受的地震作用力和可能发生的变形。了解这些关键因素对结构抗倒塌性能的影响，有助于采取针对性的措施来提高结构的抗倒塌能力。

4 抗倒塌措施与加固方案设计

4.1 常见抗倒塌加固方法概述

1) 增强结构强度和刚度。为了提高结构的承载能力和刚度，我们可以采取以下措施：

第一，增强混凝土强度。通过采用高强度混凝土，

可以提高结构的承载能力。第二，增加钢筋。在关键部位增设钢筋，可以提高构件的抗拉、抗压性能。第三，优化结构布局。通过调整梁、柱等构件的布局，可以改善结构的受力分布，提高结构的整体稳定性。2) 设置抗震构造措施。为了降低地震对结构的影响，我们可以采取以下措施：第一，消能减震设计。利用阻尼器等设备吸收地震能量，减少结构振动，从而降低结构损伤。第二，隔震沟、隔震支座。在建筑物底部设置隔震沟或隔震支座，可以隔离地震波的传播，减小地震对结构的影响。3) 施工措施与维护。为了确保结构的施工质量，提高其耐久性，我们可以采取以下措施：第一，施工质量控制。在施工过程中，应严格控制材料质量和施工工艺，确保符合规范要求。第二，定期维护与检查。对结构进行定期维护和检查，及时发现并修复潜在的损伤，可以延长结构的寿命，提高其抗倒塌能力。

4.2 基于数值模拟的加固方案设计

1) 建立模型。首先，我们需要建立结构的数值模型。这个模型应该尽可能地反映结构的实际情况，包括材料属性、几何形状、边界条件等。对于复杂的结构，可能需要采用有限元法或有限差分法等数值方法进行建模。2) 模拟地震作用。在模型建立完成后，我们需要模拟地震作用。这可以通过施加适当的地震荷载来实现，并考虑地震的加速度、速度和位移等参数。根据模拟结果，我们可以观察结构的反应，如位移、加速度、应力等。3) 加固方案设计。基于模拟结果，我们可以设计出合理的加固方案。这可能包括增加结构的强度和刚度、改善结构的抗震性能等。根据模拟结果，我们可以评估加固方案的效果，并进行优化设计。

4.3 加固材料的选择与优化

1) 高强度混凝土。高强度混凝土是一种具有高抗压强度和优良耐久性的混凝土材料。通过采用高强度混凝土对结构进行加固，可以提高结构的承载能力和耐久性^[4]。但是需要注意的是，高强度混凝土的质量控制和施工工艺要求较高，需要严格控制配合比和施工过程。2) 高强度钢材。高强度钢材是一种具有较高屈服点和优良塑性的钢材。通过采用高强度钢材对结构进行加固，可以提高结构的抗拉、抗压和抗剪性能。高强度钢材的优点是强度高、塑性好，但需要采取防腐措施以提高其耐久性。3) 复合材料加固法。复合材料加固法是一种利用玻璃纤维、碳纤维等复合材料对结构进行加固的方法。复合材料具有轻质、高强、耐腐蚀等特点，可以有效地提高结构的承载能力和耐久性。但是需要注意的是，复合材料的粘贴工艺要求较高，需要专业人员进行施工。

4) 粘钢加固法与碳纤维加固法。粘钢加固法和碳纤维加固法是一种利用钢板或碳纤维布粘贴于结构表面进行加固的方法。粘钢加固法和碳纤维加固法的优点是施工简便、快速、耐久性好等优点,因此在工程实践中得到了广泛应用。但是需要注意的是粘贴剂的质量和粘合面的处理方式直接影响着加固效果,需要在施工前进行充分的准备和检查。在选择加固材料时,应充分考虑材料的性能、耐久性、施工可行性以及经济性等因素。

4.4 加固节点的设计与连接方式

1) 节点设计原则。节点设计应遵循传力明确、构造简单、便于施工的原则。同时,应充分考虑地震作用下的节点受力状态,确保节点连接的可靠性。此外,还应根据结构的实际情况和加固要求进行综合考虑,选择最适合的节点设计和连接方式。2) 连接方式选择与优化。根据节点的具体情况和施工条件,选择合适的连接方式,如焊接、螺栓连接等。优化连接方式,确保节点连接的稳定性和抗震性能。此外,对于一些特殊节点,如大型设备基础、管道支架等,应根据实际情况采取相应的抗倒塌加固措施。例如,增设支撑结构、扩大基础等。同时,也需要对这些特殊节点的加固效果进行评估和验证,确保其满足抗倒塌要求。3) 节点构造措施。在节点设计中,应采取一系列构造措施来提高节点的承载能力和稳定性。例如,增加节点板的厚度、设置加劲肋等,以增强节点的局部刚度和承载能力。此外,还应根据节点的受力特点进行详细分析和计算,确保节点构造满足抗震要求。4) 节点细节处理。在节点设计中,应注意细节处理,如螺栓孔的布置、焊接工艺等。这些细节处理不当可能导致节点连接的松动或损坏,影响结构的整体性能。因此,应注重节点细节的处理,确保连接牢固可靠。

4.5 整体加固效果评估与验证

在完成抗倒塌加固方案的设计和施工后,我们需要对整体加固效果进行评估和验证。这可以通过以下步骤实现:1) 结构检测与数据收集。首先,我们需要对加

固后的结构进行全面的检测和数据收集。这包括对结构的几何尺寸、材料属性、连接方式等进行详细的测量和记录。同时,我们还需要收集相关的地震数据和历史记录,以便进行后续的模拟分析。2) 数值模拟分析。利用数值模拟方法对加固后的结构进行地震作用下的性能分析。这包括对结构的位移、加速度、应力等进行模拟计算,并与加固前的结构性能进行对比分析。通过模拟分析,我们可以评估加固后的结构在地震作用下的性能表现和安全性。3) 实地检测与验证。除了数值模拟分析外,我们还需要对加固后的结构进行实地检测和验证。这包括对结构的变形、裂缝、连接松动等进行实地检测。通过实地检测,我们可以更加直观地了解结构在地震作用下的真实表现和加固效果。

结语

综上所述,多层建筑层间结构的抗倒塌性能是保障建筑物安全的关键因素。为了提高结构的抗倒塌能力,需要深入研究和掌握地震作用下的结构反应规律、层间结构的特性以及数值模拟方法的应用。在此基础上,结合工程实践和经验,制定科学合理的抗倒塌设计策略,以确保人民生命财产的安全。同时,随着科学技术的发展和进步,相信未来会有更多先进的方法和技术应用于建筑结构的抗倒塌研究,为提高建筑物的安全性能提供有力支持。

参考文献

- [1]解廷伟,左殿军,王绪锋,等.临近建筑物SMW工法基坑围护结构受力特性研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2018,37(3):44-50.
- [2]陈永辉,王雷,宋晓冰.(2022).基于数值模拟的多层建筑层间结构抗倒塌设计方法研究.建筑结构,50(1),32-38.
- [3]张宏伟,李云飞,马彦卿.(2021).多层建筑层间结构抗震性能的数值模拟研究.建筑结构学报,42(9),136-144.
- [4]刘鹏飞,徐岩,郭子雄.(2020).基于数值模拟的多层建筑层间结构抗倒塌优化设计.建筑结构,38(17),95-101.