

地震作用下钢筋混凝土框架结构抗震性能分析

张志华

广东省建筑设计集团股份有限公司武汉分公司 湖北 武汉 430000

摘要：随着地震灾害频发，钢筋混凝土框架结构的抗震性能成为建筑设计与研究的重点。本文全面分析了地震作用下钢筋混凝土框架结构的动力响应、变形模式及破坏机制，深入探讨了结构布置、材料性能、地震动特性和场地条件对结构抗震性能的影响。在此基础上，提出了优化结构设计、加强关键部位连接及应用新型抗震技术等策略，以提高结构的延性、耗能能力和整体稳定性，为建筑结构抗震设计提供理论依据和实践指导。

关键词：地震作用；钢筋混凝土；框架结构；抗震性能

引言：地震作为一种自然灾害，对建筑结构的安全生产构成了严重威胁。钢筋混凝土框架结构作为现代建筑中广泛采用的结构形式，其抗震性能的研究对于确保建筑安全具有重要意义。本文旨在通过深入分析地震作用下钢筋混凝土框架结构的抗震性能，探讨影响结构抗震能力的关键因素，并提出有效的抗震设计策略。这对于提高建筑结构在地震中的稳定性和安全性，减少地震灾害带来的损失，具有重要的理论价值和实践意义。

1 地震作用与抗震设计原理

1.1 地震作用的基本概念

地震作用，作为建筑学术语，指的是由地球内部的地壳运动引发的结构动态作用。地震波是地震时由震源向四周辐射的弹性波，它主要包括纵波（P波）和横波（S波），这些波在地壳中传播并对地表及建筑物产生破坏性的影响。（1）地震波的传播与影响：地震波在地壳中的传播是一个复杂的过程，它不仅受到介质特性的影响，还与波的传播方向、距离震源的远近以及地震波的类型有关。纵波传播速度较快，能引起地面上下振动，而横波传播速度较慢，但振幅较大，能引起地面水平方向的晃动。这些振动和晃动对建筑物的安全构成严重威胁。（2）地震烈度与震级的关系：地震烈度表示地震对地面影响和破坏的程度，而震级则代表地震释放的能量大小。一次地震的震级只有一个，但烈度在不同地区可能有所不同。一般来说，震级越大，烈度也越大，但受到地质条件、距离震源的远近以及建筑物类型等多种因素的影响，烈度的分布并不均匀。

1.2 抗震设计的基本原理

抗震设计旨在确保建筑结构在地震作用下能够保持稳定，减少变形和破坏，保障人员的生命安全。（1）结构动力响应分析：抗震设计需要进行结构动力响应分析，以了解结构在地震中的动态行为。这包括结构的位

移、加速度、应力等参数的变化，以及结构在地震作用下的变形模式和破坏机制。（2）抗震设防标准与要求：根据《建筑抗震设计规范》，抗震设防烈度在6度及以上地区的建筑必须进行抗震设防。抗震设防标准是根据地震环境、建设工程的重要程度、允许的风险水平等因素综合考虑而制定的。抗震设计要求采取一系列措施，包括合理的结构设计、选用高性能的材料、设置多道抗震防线等，以提高建筑结构的抗震性能。

2 钢筋混凝土框架结构的抗震性能分析

2.1 框架结构的组成与特点

钢筋混凝土框架结构是一种由梁、柱等构件通过节点连接形成的空间受力体系，它广泛应用于现代建筑中，特别是在地震多发地区。（1）梁、柱等构件的作用与连接：在框架结构中，梁主要承担竖向荷载并将其传递给柱子，而柱子则负责将荷载传递至基础。梁柱节点是结构的关键部位，它确保各个构件能够协同工作，共同抵抗外力。节点的设计直接影响到结构的整体稳定性和抗震性能。通常采用焊接、螺栓连接或现浇混凝土等方式来确保梁柱节点的连接强度。（2）框架结构的整体性能：框架结构具有较好的整体刚度和稳定性，能够很好地抵抗水平荷载，如风和地震。同时，由于框架结构各构件的连接较为灵活，它能够在一定程度上适应地震作用下的变形，减少结构的破坏。然而，这也要求在设计时充分考虑结构的延性和耗能能力，以确保在极端情况下结构能够保持整体稳定。

2.2 地震作用下框架结构的响应

地震作用会对框架结构产生显著影响，主要体现在结构的变形和内力分布上。（1）水平地震作用下的变形与内力分布：在水平地震作用下，框架结构会发生显著的变形，包括层间位移、顶点位移等。这些变形会导致结构内部产生较大的内力，如弯矩、剪力和轴力。合理

的结构设计能够确保这些内力在结构构件的承载能力范围内,避免结构发生破坏。(2)竖向地震作用的影响:虽然竖向地震作用对框架结构的影响相对较小,但在某些情况下(如高层或高耸结构),其影响也不容忽视。竖向地震作用可能导致结构产生竖向变形,进一步加剧结构的整体变形和内力分布^[1]。

2.3 抗震性能评估指标

评估钢筋混凝土框架结构的抗震性能需要关注多个关键参数和破坏形态。(1)延性、耗能能力等关键参数:延性是指结构在承受极限荷载时能够发生显著变形而不发生脆性破坏的能力。耗能能力则是指结构在地震作用下能够吸收和耗散地震能量的能力。这两个参数是评估结构抗震性能的重要指标。通过合理的结构设计和选用高性能的材料,可以提高结构的延性和耗能能力,从而增强其抗震性能。(2)框架结构的破坏形态与机制:在地震作用下,框架结构的破坏形态和机制反映了结构的整体性能和抗震能力。常见的破坏形态包括梁端塑性铰破坏、柱端塑性铰破坏和节点破坏等。了解这些破坏形态和机制有助于在设计时采取相应的措施来提高结构的抗震性能,如加强梁柱节点的连接强度、优化梁柱截面尺寸等。

3 影响钢筋混凝土框架结构抗震性能的因素

3.1 结构布置与形式

(1)平面与立面布置的合理性:结构的平面与立面布置是影响其抗震性能的关键因素。合理的平面布置能够确保结构在地震作用下受力均匀,避免出现应力集中和薄弱部位。立面布置方面,应避免楼层高度突变,以减少因刚度突变引起的地震反应。此外,结构的对称性和规则性也有助于提高其抗震性能,因为对称结构在地震作用下更容易保持整体稳定性。(2)竖向抗侧力子结构的协同工作:在高层或大型框架结构中,竖向抗侧力子结构(如剪力墙、筒体等)的协同工作对整体抗震性能至关重要。这些子结构能够有效地抵抗水平地震作用,并通过合理的连接方式与框架结构共同工作,提高整体刚度。协同工作的好坏直接影响到结构在地震作用下的变形模式和耗能能力。

3.2 材料性能与施工质量

(1)钢筋与混凝土的力学性能:钢筋与混凝土的力学性能是影响结构抗震性能的重要因素。高质量的钢筋和混凝土能够提供足够的强度和韧性,从而增强结构的延性和耗能能力。在设计中,应充分考虑材料的力学性能,合理选择钢筋的屈服强度和混凝土的抗压强度,以确保结构在地震作用下的安全性。(2)施工过程中的质

量控制:施工质量直接影响结构的抗震性能。在施工过程中,应严格按照设计要求进行钢筋的绑扎、混凝土的浇筑和养护等工作。此外,还应加强施工过程中的质量检查,及时发现并纠正问题,以确保结构的整体质量和抗震性能^[2]。

3.3 地震动特性与场地条件

(1)地震动的频谱特性:地震动的频谱特性(如加速度峰值、频谱成分等)对结构的抗震性能有显著影响。不同频谱特性的地震波对结构的响应也不同。因此,在抗震设计中,应充分考虑地震动的频谱特性,选择适当的分析方法进行结构动力响应分析,以确保结构的安全性。(2)场地土类型与地震响应:场地土类型对地震波的传播和结构的响应有显著影响。不同类型的场地土对地震波的放大和衰减作用不同,进而影响结构的动力响应。在抗震设计中,应根据场地土类型选择合适的抗震设计参数和分析方法,以确保结构在不同类型场地上的安全性。

4 提高钢筋混凝土框架结构抗震性能的措施

4.1 优化结构设计

(1)选择合理的结构形式与布置:结构形式与布置的优化是提高抗震性能的基础。首先,应选择适宜的框架结构类型,如对于高层建筑,可考虑采用带剪力墙或筒体的框架-剪力墙结构,以增强整体刚度。同时,应合理控制结构的高度与宽度比、长宽比等参数,确保结构在地震作用下的变形协调与整体稳定。在结构布置方面,应注重平面的规则性与对称性,避免平面过于复杂或不规则的形状,以减少因地震波反射、折射造成的局部应力集中。此外,还应避免楼层刚度突变,确保各楼层之间的刚度分布均匀,从而降低因刚度差异引起的结构震害。(2)设置多道抗震防线:为了提高结构的整体抗震性能,应在设计中设置多道抗震防线。这意味着在地震作用下,结构能够先通过某些部位(如耗能支撑、剪力墙等)吸收并耗散地震能量,而主体结构则能够保持较高的完整性。当这些耗能部位发生塑性变形甚至破坏时,主体结构仍能继续承受地震作用,为逃生和救援争取宝贵时间。多道抗震防线的设置应遵循“强柱弱梁、强剪弱弯”的设计原则,即在设计中故意使柱的承载能力高于梁,使剪力墙的承载能力高于框架,以确保在地震作用下梁端或剪力墙端能够先形成塑性铰,吸收并耗散地震能量,从而保护主体结构的安全。

4.2 加强构造措施

(1)确保梁柱节点的连接可靠性:梁柱节点是框架结构中的关键部位,其连接可靠性直接关系到结构的整

体抗震性能。为了确保节点的连接强度,应选用高质量的连接材料和构件,并严格按照设计要求和施工规范进行施工。同时,还应在设计中考虑节点的耗能能力,如通过合理的节点形式和配筋设计,使节点在地震作用下能够发生一定的塑性变形,从而吸收并耗散地震能量。此外,对于节点的抗剪、抗弯承载力也应进行充分计算与校核,以确保其在地震作用下的安全性能。在实际工程中,可采用预制节点构件、现场焊接或螺栓连接等方式来加强节点的连接可靠性^[3]。(2)提高填充墙的抗震性能。填充墙在框架结构中不仅起到分隔空间的作用,还对结构的整体抗震性能产生重要影响。为了提高填充墙的抗震性能,首先应选择轻质、高强度的填充材料,以降低填充墙对主体结构的附加荷载。同时,还应考虑填充墙与框架结构的可靠连接,如通过设置连接钢筋、锚固件等方式,使填充墙在地震作用下能够与框架结构共同工作,提高其整体刚度与耗能能力。此外,还应在设计中充分考虑填充墙的布置方式,避免在地震作用下产生过大的变形或倒塌。例如,可将填充墙设计成带有弱连接或耗能支撑的形式,使其在地震作用下能够发生一定的变形,从而吸收并耗散地震能量。

4.3 应用新型抗震技术

(1)消能减震技术的应用。消能减震技术是一种有效的抗震措施,它通过引入耗能装置(如耗能支撑、耗能器等)来吸收并耗散地震能量,从而降低结构的地震反应。这些耗能装置通常由阻尼器、弹簧、液体等部件组成,能够根据地震波的特点和结构的需求进行自动调节。在实际工程中,消能减震技术可以应用于框架结构的各个部位,如梁柱节点、楼层间连接处等。通过合理的选择与布置耗能装置,可以显著提高结构的整体抗震性能,并减少地震对建筑物的破坏。(2)高强钢筋与高性能混凝土的使用。高强钢筋与高性能混凝土的使用是提高钢筋混凝土框架结构抗震性能的另一种有效途径。

这些新型材料具有较高的强度和韧性,能够显著提高结构的承载能力和变形能力。高强钢筋具有较高的屈服强度和极限强度,能够抵抗更大的地震力。同时,其良好的延性也使得结构在地震作用下能够更好地吸收和耗散能量,减少结构的破坏。在设计中,应充分考虑高强钢筋的力学性能,合理确定其配筋率和布置方式,以确保结构的安全性和经济性。高性能混凝土则具有高强度、高耐久性、高工作性等优点,能够显著提高框架结构的整体性能。其高强度特性使得结构在地震作用下能够保持较高的承载能力,减少结构的变形和破坏。高耐久性则意味着结构在长期使用过程中能够更好地抵抗环境侵蚀和疲劳损伤,延长使用寿命。高工作性则使得混凝土在施工过程中易于浇筑、振捣和养护,提高施工质量和效率。

结束语

综上所述,地震作用对钢筋混凝土框架结构的抗震性能提出了严峻挑战。通过深入理解地震作用的基本原理,分析框架结构的组成与特点,探讨其在地震作用下的响应及抗震性能评估指标,我们认识到优化结构设计、加强构造措施以及应用新型抗震技术是提升框架结构抗震性能的关键。未来,随着科技的进步和抗震设计理论的不完善,我们有理由相信,钢筋混凝土框架结构在地震作用下的安全性和可靠性将得到进一步提升,为人们的生命财产安全提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]周建中,陈立群.地震作用下钢筋混凝土框架结构的抗震设计方法[J].建筑结构学报,2020,(09):85-93.
- [2]张晓东,刘洋.基于性能的钢筋混凝土框架结构抗震设计研究[J].地震工程与工程振动,2019,(11):97-98.
- [3]陈煜焱,刘鑫鹏,兰仁才.基于抗震性能准则的钢筋混凝土框架结构设计优化研究[J].贵阳学院学报,2023,(13):101-102.