

建筑工程结构在抗震设计中的探索

章 韬

杭州临安建筑设计院有限公司 浙江 杭州 311300

摘要: 地震灾害对建筑结构安全性构成严重威胁,抗震设计是保障建筑结构安全的核心环节。本文围绕建筑结构抗震设计展开研究,阐述了地震作用原理与抗震核心准则,分析了框架、剪力墙等常见结构类型的抗震性能,探讨了整体抗震体系优化、节点强化、基础隔震等关键技术,以及高性能混凝土、高强钢材等新型材料的应用要点。研究旨在梳理抗震设计的核心逻辑与技术路径,助力实现“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震目标。

关键词: 建筑结构;抗震设计;关键技术;新型材料

引言: 随着我国城镇化进程的推进,建筑规模不断扩大,而部分地区地震活动频繁,建筑结构的抗震能力直接关系到人民生命财产安全。传统抗震设计理念与技术已难以完全适配复杂建筑结构的抗震需求,新型材料与创新技术的应用为抗震设计提供了新方向。基于此,本文聚焦建筑工程抗震设计,系统探究抗震设计的核心准则、不同结构类型的抗震特性、关键技术要点及新型材料应用,以期完善抗震设计理论体系,为实际工程抗震设计提供科学指导。

1 建筑工程抗震设计的概述

1.1 地震作用的基本原理与荷载特性

地震作用是地震引发的地面运动通过结构基础传递至上部结构的动态作用力,其本质是地面运动与结构动力特性耦合作用的结果。地震产生的地震波包括纵波和横波,分别引发结构的竖向和水平振动,形成周期性的动力荷载。地震荷载的特性主要体现在随机性、复杂性和瞬时性,其强度与地震震级、震中距、场地类别等因素密切相关。在抗震设计中,需基于地震动参数确定荷载幅值与分布,明确结构在地震荷载作用下的动力响应规律,为结构抗震体系的构建提供基础依据。

1.2 结构抗震的核心准则

结构抗震的核心准则是保障结构在地震作用下的整体稳定性与延性,通过合理的结构布置与构件设计,引导结构形成预设的塑性耗能机制。(1)强柱弱梁准则要求柱的抗弯承载力高于梁,使地震作用下梁先于柱形成塑性铰,避免柱过早破坏导致结构整体倒塌。(2)强剪弱弯准则通过强化构件的抗剪能力,确保构件在弯曲破坏前不发生脆性剪切破坏,保障构件的延性耗能能力。(3)抗震设计还遵循强节点弱构件、强锚固等配套准则,通过提升节点连接强度、优化钢筋锚固构造等方式,保障结构各部分协同工作,提升整体抗震性能,实现“小

震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震目标^[1]。

2 常见建筑结构类型的抗震性能分析

2.1 框架结构的抗震特性与薄弱环节

框架结构由梁、柱通过节点连接形成抗侧力体系,抗震特性表现为整体刚度适中、空间布置灵活,可通过构件塑性变形耗散地震能量。其核心短板是水平抗侧刚度较弱,地震作用下易产生较大水平位移,引发整体失稳风险。薄弱环节集中在三方面:(1)节点区域,作为传力关键部位,配筋或构造不合理易发生剪切破坏,中断传力路径;(2)柱构件,底层柱与角柱承受轴力和水平剪力较大,易出现压弯或剪切脆性破坏;(3)整体协同性,跨度不均或刚度突变易导致应力集中,降低抗震能力。实际设计需通过强化节点构造、优化柱截面与配筋、控制高宽比等弥补薄弱点。

2.2 剪力墙结构的抗震优势与设计要点

剪力墙结构以墙体为核心抗侧力构件,核心优势是抗侧刚度大、水平位移小,抗水平荷载能力强,整体稳定性突出。实际抗震性能体现在:(1)承载力与刚度匹配性好,墙体合理布置可形成连续抗侧体系,传力路径清晰,能快速分散地震能量;(2)延性调控空间大,通过优化配筋、设置边缘构件可引导弯曲塑性变形,避免脆性剪切破坏;(3)抗扭性能较强,对称布置可平衡地震扭转效应。设计要点聚焦三方面:(1)控制墙体厚度与高宽比,规避刚度过大导致的脆性破坏;(2)合理划分洞口,减少对墙体整体性的削弱,避免薄弱连梁;(3)保障墙体与楼板可靠连接,确保水平力有效传递,提升协同抗震效果。

2.3 框架-剪力墙混合结构的协同抗震机制

框架-剪力墙混合结构融合两种结构优势,通过抗侧力体系协同工作提升抗震性能,是工程常用结构类型。协同抗震机制主要包括:(1)受力分工明确,地震时剪

力墙承担大部分水平剪力,控制位移;框架承担部分水平荷载和竖向荷载,通过塑性变形补充耗能;(2)刚度过渡平缓,两种体系刚度互补,避免单一结构刚度突变,减少应力集中;(3)冗余度高,某一体系局部受损时,另一体系可继续承载,提升抗倒塌能力。实际设计需重点关注:(1)剪力墙合理布置,兼顾位移控制与空间利用;(2)框架与剪力墙刚度匹配,通过调整截面尺寸实现协同变形,避免体系过早失效;(3)保障连接部位传力可靠,确保协同机制稳定。

2.4 钢结构与组合结构的抗震性能对比

钢结构以钢材为核心构件,抗震核心优势是材料延性好、强度高,可通过大塑性变形耗散能量,抗倒塌能力突出。实际抗震特性包括:(1)自重轻,显著降低地震惯性力;(2)节点连接灵活,螺栓或焊接节点可通过设计实现塑性耗能;(3)整体性强,借助支撑与楼板形成稳定抗侧体系。组合结构通过钢与混凝土组合实现性能互补,常见形式为钢-混凝土组合梁、钢管混凝土柱等,抗震优势体现在:(1)承载力高,材料协同受力提升抗压抗弯能力;(2)刚度与延性均衡,混凝土提升刚度、钢材保障延性;(3)经济性优,兼顾钢材用量与自重控制。两者对比:(1)纯钢结构延性更优,但刚度较弱,需通过支撑强化抗侧能力;(2)组合结构刚度与承载力更均衡,适用于高要求建筑,但构造复杂,需重点保障组合界面连接可靠性^[2]。

3 建筑结构抗震设计的关键技术

3.1 结构整体抗震体系的优化设计技术

结构整体抗震体系的优化设计其核心思路是通过合理的结构布置与参数调控,实现刚度、承载力与延性的均衡匹配,技术要点包括:(1)结构体型与布置优化,需遵循规则性原则,减少平面或竖向不规则引发的应力集中,合理控制结构高宽比、剪重比等关键参数,确保结构整体稳定性;(2)抗侧力体系选型与组合优化,根据建筑功能、高度及场地条件,科学选用框架、剪力墙、框架-剪力墙等单一或混合抗侧力体系,通过刚度叠加与互补提升整体抗侧能力;(3)荷载与刚度分布优化,采用弹性或弹塑性分析方法,精准计算地震作用下各构件受力分布,通过调整构件截面尺寸、配筋量等方式,使刚度分布与荷载分布相适配,避免局部构件受力过载;(4)延性耗能机制优化,通过预设塑性耗能区,合理规划构件塑性铰出现顺序,确保结构在地震作用下能通过可控的塑性变形耗散能量,避免整体倒塌;(5)多维度协同优化,结合建筑抗震规范要求,整合结构抗侧、抗扭、抗倾覆等多方面需求,采用数字化建模与优化算法,

实现整体抗震体系的精细化设计。

3.2 节点连接的抗震强化设计方法

节点连接作其抗震强化设计直接决定结构整体抗震性能,核心目标是提升节点的承载力、延性与可靠性,避免节点先于构件发生脆性破坏。设计方法包括:(1)节点核心区配筋强化设计,根据节点承受的剪力与弯矩,合理配置核心区箍筋,确保箍筋间距、直径满足抗震要求,形成有效约束,提升核心区混凝土抗压、抗剪能力;(2)梁柱节点连接构造优化,对于框架节点,采用梁端箍筋加密、柱纵向钢筋贯穿节点等构造措施,保障梁柱内力有效传递;对于钢结构节点,优化焊缝尺寸、螺栓选型与布置,提升节点连接的刚度与延性;(3)节点刚度与承载力匹配设计,通过计算节点与构件的承载力比值,确保节点承载力高于相连构件,实现“强节点弱构件”设计准则,引导构件先形成塑性铰耗能;(4)装配式结构节点强化设计,针对装配式建筑节点的拼接特性,采用灌浆套筒连接、后浇混凝土叠合层等技术,提升节点的整体性与抗裂性能,避免拼接处出现滑移或分离;(5)节点耐久性与抗震冗余设计,考虑环境侵蚀对节点性能的影响,采用防腐、防锈处理措施,同时预留一定的承载力冗余,应对地震作用下的不确定性荷载。

3.3 基础隔震技术的应用与创新

基础隔震技术通过在建筑基础与上部结构之间设置隔震层,改变结构动力特性,减少地震能量向上部结构的传递,技术要点包括:(1)隔震层选型与布置,根据建筑重量、场地地震动参数及使用要求,合理选用橡胶隔震支座、滑动摩擦隔震支座、弹塑性隔震支座等类型,隔震层布置需保证均匀受力,避免局部受力不均导致隔震失效;(2)隔震支座参数优化,通过计算分析确定隔震支座的刚度、阻尼、承载力等关键参数,确保隔震层能有效延长结构自振周期,降低地震反应加速度;(3)隔震层构造设计,隔震层需设置合理的限位装置,防止地震作用下结构产生过大水平位移,同时保障隔震层的排水、防腐、防火性能,避免环境因素影响隔震效果;(4)基础与上部结构协同设计,隔震建筑的基础需具备足够的承载力与刚度,能有效传递上部结构荷载并适应隔震层的变形,上部结构设计需考虑隔震层变形带来的影响,优化构件连接构造;(5)隔震技术创新应用,发展新型复合隔震支座,整合不同隔震材料的优势提升隔震性能;探索隔震与消能减震技术的协同应用,进一步提升结构抗震冗余;借助数字化监测技术,实现隔震层工作状态的实时监测与评估。

3.4 消能减震装置在结构中的集成设计

消能减震装置通过在结构关键部位设置耗能元件,主动耗散地震能量,降低结构地震响应,其集成设计要实现装置与结构的有机融合,其要点包括:(1)消能减震装置选型,根据结构受力特性与抗震需求,合理选用金属屈服型消能器、摩擦型消能器、粘弹性消能器、粘滞流体消能器等类型,明确装置的耗能机理与适用场景;(2)消能装置布置优化,基于结构地震反应分析结果,将消能装置布置在结构刚度薄弱、位移较大的部位,如层间节点、梁柱节点、支撑端部等,通过合理规划布置数量与位置,实现地震能量的均匀耗散;(3)消能装置与结构的连接设计,采用刚性连接或半刚性连接方式,确保连接节点具备足够的承载力与刚度,能有效传递地震作用力至消能装置,同时避免连接节点先于消能装置破坏;(4)结构与消能装置协同工作设计,通过弹塑性时程分析等方法,模拟消能装置与结构的协同受力过程,优化结构刚度与消能装置耗能能力的匹配关系,确保地震作用下结构与装置同步工作;(5)消能减震系统的集成优化,结合建筑结构的施工工艺与使用功能,简化消能装置的安装流程,降低施工难度;整合消能减震设计与结构日常维护需求,设计便于检修、更换的消能装置构造;探索智能消能减震装置的集成应用,通过传感器与控制系统实时调整装置耗能参数,适应不同强度地震作用^[3]。

4 抗震设计中新型建筑材料的应用探索

4.1 高性能混凝土在抗震结构中的应用

高性能混凝土以高强度、高延性及优良耐久性,成为抗震结构的优选材料。应用要点包括:(1)优化配合比,通过调整胶凝材料用量、掺合料比例及外加剂选型,提升抗拉与抗裂性能;(2)控制体积稳定性,减少收缩裂缝,保障构件整体性;(3)适配抗震构造,优化钢筋与混凝土粘结性能,提升协同受力效果。

4.2 高强钢材与抗震型钢的选型与设计

高强钢材与抗震型钢应用需注重性能适配与设计合理性。核心要点:(1)依据结构抗震等级、构件受力类型选型,选用符合要求的钢材牌号,确保延性与强度匹配;(2)优化截面设计,结合抗震受力特点确定型钢形式与尺寸,提升抗剪抗弯能力;(3)保障连接性能,针对焊接特性优化工艺与节点构造,规避焊接缺陷影响抗震效果。

4.3 纤维增强复合材料的抗震加固应用

纤维增强复合材料凭借轻质、高强、耐腐蚀优势,广泛用于抗震加固。应用要点:(1)精准选型,根据加固构件类型与受力需求,选用碳纤维、玻璃纤维等适配材料;(2)规范加固工艺,采用粘贴、缠绕等方式时,保证与原结构界面粘结牢固,避免剥离破坏;(3)适配加固方案,结合原结构抗震短板,针对性确定加固范围与厚度,确保加固后受力均衡^[4]。

结束语:本文对建筑工程抗震设计的核心内容进行了全面梳理与探索,明确了抗震设计的核心准则与技术逻辑,分析了不同结构类型的抗震性能差异,验证了关键抗震技术与新型材料在提升结构抗震性能中的核心作用。抗震设计是一项系统性工程,要兼顾理论适配、技术创新与材料应用。未来应进一步推动数字化技术与抗震设计的深度融合,研发更具适配性的新型抗震材料与技术,持续优化抗震设计体系。

参考文献:

- [1]王红艳.建筑工程在抗震设计中的探索及工程造价概预算[J].大众标准化,2023(14):84-86.
- [2]刘喆.建筑工程在抗震设计中的探索[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(4):021-024.
- [3]陈旭.建筑工程在抗震设计中的探索[J].建筑与装饰,2021(15):30-30+32.
- [4]申宇杰.浅谈建筑工程的抗震结构设计要点[J].门窗,2025(8):112-114.