

# 高层建筑结构抗震性能优化设计研究

孙与廷

大连昕晔工程项目管理有限公司 辽宁大连 116000

**摘要:**随着我国城市化进程的加快,城市用地日益紧张,一批又一批高楼应运而生。而高层建筑的抗震性又是全国人民最关心的建筑参数。鉴于此,本文先是阐述了抗震设计的重要性和基本要求,接着从结构、材料、场地三个方面介绍了影响高层建筑抗震性能的因素,最后提出了结构体系优化、结构布置优化、构件设计优化、新型材料优化等优化高层建筑结构抗震性能的方法,以期对相关人士提供参考。

**关键词:**高层建筑;抗震性能;优化设计

## 一、抗震设计的重要性和基本要求

高层建筑的抗震设计作为守护人民群众生命与财产安全的重要防线,意义重大。这类建筑通常人员密集,若在地震中坍塌或严重受损,必然导致大量人员伤亡,无数家庭也将因此支离破碎,酿成无法挽回的惨剧。同时,建筑物及其附属设施的损毁会造成巨大经济损失,既包括建筑本身的重建成本、内部设备与物资的损耗,也涵盖因建筑无法正常使用而导致的经济活动停滞等间接损失。

抗震设计在维护社会稳定方面作用显著。若地震发生导致大量高楼损毁,民众将失去工作与生活的依托,人心惶惶之下,极易引发社会秩序的混乱。而科学合理的抗震设计,既能增强民众对建筑安全性的信任,又能在震后为民众提供相对安全的避难场所,从而有效维护社会稳定。同时,抗震设计对经济发展也具有促进作用。具备较强抗震能力的高层建筑,可大幅降低地震对经济活动的冲击,保障企业正常的生产经营。这种稳定的生产环境能够吸引更多投资,进而推动城市经济的持续发展。

高层建筑抗震设计需满足安全、经济与适用性三大基本需求。安全是首要标准,要求建筑在地震中保持结构稳定,避免坍塌或严重损毁,从而切实保障人员生命安全。经济则是在确保抗震安全的前提下,合理控制工程造价,既要防止过度设计造成的资源浪费,也要杜绝以牺牲抗震性能为代价的成本压缩。而从适用性来看,需保证建筑在震后仍能维持正常功能,比如室内空间布局不受影响、各类设施正常运转,以保障居民日常生活与工作的连续性。

## 二、影响高层建筑抗震性能的因素

### (一) 结构因素

在高层建筑中,结构系统是决定其抗震能力的核心因素。目前,我国常用的结构形式包括框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构及钢管混凝土结构等。

由梁柱组合而成的框架结构具备显著优势:灵活性强且改建潜力大,能很好地适应不同使用需求。但其缺点也较为突出:抗侧刚度偏低,抗震性能较差,在地震中易发生损坏。例如,部分低层办公建筑若未进行充分的抗震设计规划,在强震作用下,梁柱节点会首先受损,进而引发建筑整体破坏,严重时甚至导致坍塌。

以钢筋混凝土墙(RC墙)为主要抗侧构件的剪力墙结构,具有抗侧刚度大、能有效抵抗水平地震作用、变形小、抗震性能优异等优点。但由于墙体的存在,建筑的空间灵活性受到一定制约,室内分区也相对单一。例如,在高层住宅中,这类结构虽能更好地保障房屋的抗震安全,但后期的空间改建却较为困难。

框架-剪力墙结构是一种集两者优点于一身的新型建筑结构,兼具较好的空间灵活性和较强的抗侧移性能。地震发生时,剪力墙会承担大部分水平荷载,框架则主要承受竖向荷载和部分水平地震荷载,两者协同工作,显著提升了建筑物的抗震能力<sup>[1]</sup>。

### (二) 材料因素

不同建材在地震作用下的表现存在显著差异,而这种差异与高层建筑结构的地震反应能力密切相关。以混凝土为例,它因具备良好的抗压性和耐久性,且造价低廉,已被广泛应用于建筑领域。但其缺点也十分突出:抗拉强度低、延性较差,在地震中极易出现裂缝;一旦

裂缝过度扩展,就可能导导致整个建筑结构失效。例如,在钢筋混凝土(RC)框架中,当地震荷载超过混凝土的抗拉强度时,梁、柱等构件会产生裂缝,若遭遇强震,裂缝会持续扩展直至构件破坏。不过,通过合理布置钢筋以增强其抗拉能力,或采用高性能混凝土提升其强度与韧性,均可有效改善混凝土结构的抗震性能。

钢铁材料凭借高强度、高韧性、质量轻等特点,在高层建筑结构的地震反应中展现出独特优势。其优异的延性使其能在强震下产生较大范围的塑性变形,并通过这一过程消耗地震能量,从而保障建筑物的稳定性。同时,钢材重量较轻,可有效减轻建筑自重,进而降低地震作用下产生的惯性力。

近年来,以碳纤维加固技术为代表的复合材料,逐渐在高耸结构建设中得到广泛应用。这类材料具有轻质、高强、高韧性等特性,能有效提升结构的抗震响应能力。其中,碳纤维增强复合材料(CFRP)的力学性能优于钢筋,且在质量上更具优势。在强震作用下,它不仅能显著减弱结构的地震反应,其良好的塑性还能通过自身变形吸收和分散地震波能量。

### (三) 场地因素

地基土体特性对建筑物的抗震性能影响显著,其刚度、密实度、含水率等特性,会直接作用于地震动信号的传递过程及高层建筑结构的地震反应。对于刚性极强的地基(如硬质岩体),地震波传递速度快,地基对震动的放大效应较弱;而软弱地基(如软土地基等)虽会降低地震动的传播速率,却会显著放大震动能量,反而可能加剧结构所受的地震作用。压实度高的地基土壤具有良好的承载力与稳定性,能在强震中为建筑物提供可靠支撑;反观疏松土层,在地震中易出现液化、沉降等问题,会严重威胁结构安全。

在高层建筑结构中,若地基不够稳固——例如存在滑坡、坍塌、断层等不良地质条件,可能导致地基发生滑动、坍塌等损伤,使建筑物失去稳固支撑,进而引发严重破坏。此外,地基的不均匀性还可能放大建筑物的地震反应,导致结构内部产生额外应力,引发构件开裂与变形,最终削弱整个建筑的抗震性能。为保障地基稳定,建筑选址应尽量避免不利地质条件;若无法避开,则需对地基开展细致勘察,并采取地基加固、设置挡墙等针对性措施。在地基设计环节,还需充分考虑其变形特性,确保建筑物对地基的变形具备良好的适应性。

## 三、高层建筑结构抗震性能优化设计方法

### (一) 结构体系优化

对于高层建筑而言,构造形式的选取直接影响其地震反应能力。不同类型的建筑结构在抗震性能、空间利用效率及建造难度上各有特点。由梁柱组合而成的框架结构,是一种具有弹性的空间结构系统。其布局灵活,可根据实际需求进行分区与改建,因此非常适用于商业综合体、展厅等对空间弹性要求较高的建筑。但在强震作用下,由于框架结构抗侧刚度不足,在水平地震荷载影响下易产生较大范围的水平变形,严重威胁结构稳定;且梁柱连接处因存在较大应力集中,极易发生破坏。因此,框架结构通常适用于楼层较少的建筑。

正如上文所言,框架-剪力墙结构融合了框架结构与剪力墙结构的双重优势,既具备框架结构的空间灵活性,又拥有剪力墙结构较强的抗震能力。在这一结构体系中,剪力墙凭借其高抗侧刚度承担绝大部分水平震动荷载,能有效抵抗水平力以减小结构的横向变形;框架结构则在承担竖向荷载方面发挥主要作用,同时也分担部分水平力。两者协同工作,大幅提升了整个建筑的抗震性能。该体系适用于中高层住宅,既能满足房屋的正常使用需求,又能保障其在强震下的安全。

筒体结构是一种高效的抗侧力承载系统,主要包括单筒型、筒中筒型和多筒型等形式。以组合型钢-混凝土组合结构(简称“组合型筒体结构”)为例,其在结构内外均设有较强的“封闭”式构造,具备较高的侧向刚度与承载力。该体系既能承受横向荷载,又能承担竖向荷载,因此在超高层建筑中展现出优异的抗震性能。

以上海的超高层建筑为例,其采用的“巨框-芯筒”结构体系中,“芯筒”是主体抗侧承载能力最强的部分,而“巨框-芯筒”这种新型结构形式通过协同工作,能够确保建筑在强风、地震等自然灾害作用下的安全性与稳定性。

### (二) 结构布置优化

结构布置的合理性直接关系到高层建筑结构的地震反响能力。为使结构的刚度中心与质量中心尽量重合,平面设计应遵循简单、规则、对称的原则。若结构存在过大偏心率,会引发明显的扭转效应,导致结构端部变形加剧,进而产生局部应力集中,增加结构失效的风险。

已有研究表明,结构形式的不规则会导致其偏心率显著增大,抗震计算结果显示,此类结构的端部会出现明显应力集中,部分部位的受力甚至超过结构承载极限。

工程实例也清晰证明,建筑物平面布局的不均匀会使其抗震性能显著下降。

若建筑平面存在过多凸出部位,会加剧结构的扭转效应。设计过程中,可通过概念设计法大致计算刚心、形心及偏心度,以此判断是否超出限值;此外,还可对比结构最外侧的最大位移与中心位置的位移,若二者比值过大,则表明结构存在明显的扭转现象及不规则性。对于复杂的非规则空间布局,可将其划分为多个规则性较强的独立构件,以此减轻地震作用下的扭转影响,降低结构失效风险。

建筑物的竖向布局应遵循规则统一的原则。若需进行形态变化,应保持有序过渡,避免沿竖向发生剧烈的结构突变——因为地震发生时,这类突变会导致结构产生明显位移差,进而引发严重破坏。因此,抗震设计中通常遵循“下大上小”的原则,即结构尺寸与刚度从底层到顶层逐步递减,以确保强震时建筑的变形能得到合理分配。若底层结构强度不足,易引发局部破坏并导致整体结构失效。实际工程中存在典型反例:部分高层建筑因忽视竖向布局的一致性,在某一楼层设置过大间距,导致竖向刚度急剧下降,地震时该楼层成为结构的薄弱层而遭受严重损伤。

### (三) 构件设计优化

采用大断面设计可使结构具备足够的抗震性能,提升整体承载力。以RC柱为例,增大其横断面能显著提高抗压与抗弯承载力,从而降低结构的破坏风险。但断面并非越大越好。断面尺寸增大会导致建筑自重增加,进而加剧地震作用下的惯性力;同时,过大的断面会占用更多建筑空间,降低使用效率。因此,设计时需综合考量结构的受力需求、抗震性能及建筑空间利用效率,通过精准的计算与分析,最终确定能平衡各方因素的最优断面方案。

钢筋混凝土柱的配筋率是影响混凝土结构地震响应的关键指标。在此基础上,提高钢筋混凝土梁的配筋率,能有效改善梁的受力性能与塑性。例如,适当提高纵筋配筋率可增强构件承载力,进而提升其在强震作用下的承载能力。

在抗震设计中,配筋的合理布置对钢筋能起到良好的约束作用,可防止构件在地震时发生过度剪切变形与开裂。在梁柱节点等关键部位设置箍筋,能显著提高节点的受剪承载力和延性,从而强化整个建筑结构的整体性能。不过,过高的配筋率会导致工程造价上升,且由

于钢筋过于密集,易造成混凝土浇筑质量下降(如振捣不密实、出现蜂窝麻面等)。因此,在结构设计中,需结合结构的受力特点和地震作用需求,通过精准计算确定合理的配筋率,以实现抗震性能、经济性与施工质量的平衡。

轴压比限值是指设计柱轴力与柱全横截面面积及混凝土轴心抗压强度设计值乘积之比<sup>[2]</sup>。当轴压比超过限值时,混凝土柱在地震作用下易发生脆性破坏(如突然压溃),显著降低其延性和抗震耗能能力。因此,设计中需严格控制柱的轴压比。例如,对于抗震设防类别为甲类的框架柱,其轴压比限值通常较为严格(通常在0.6~0.7);而抗震等级为二级、三级的框架柱,轴压比限值可适当放宽。通过这种差异化控制,能够确保各类框架柱在地震作用下均具备足够的变形性能与承载能力。

### (四) 新型材料优化

新型建筑材料新型结构为高耸建筑的地震防护开辟了新路径,其中最具代表性的便是碳纤维复合材料(CFRP)<sup>[3]</sup>。这类复合材料具备轻质、高强、高韧性的显著优势——其强度高于普通钢材,且质量更轻,在强震作用下能显著减弱结构的地震反应;同时,凭借良好的塑性,它可通过自身形变吸收并耗散地震波能量,进而提升建筑物的抗震性能。

### 结语

高层建筑结构抗震性能优化设计研究对于提高我国的抗震安全具有重要的意义。通过对结构体系的优化、材料的选择和构造的优化,达到安全、经济和适用性的平衡,为高层建筑的抗震性能研究提供理论支持。在未来,需要将智能算法和新材料相结合,研究更加精确的抗震设计方法,为建设韧性城市、降低震害提供科学依据。

### 参考文献

- [1]郭勇.高层建筑结构抗震性能优化设计研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(2):132-135.
- [2]陈青.基于抗震性能的带加强层高层建筑结构优化设计研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(1):188-191.
- [3]陈青.基于抗震性能的带加强层高层建筑结构优化设计研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(1):188-191.