

探讨复杂高层与超高层建筑结构设计要点

梁冉

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 随着我国城市化进程的加快, 土地资源日益紧张, 高层和超高层建筑成为解决土地资源短缺的重要手段。复杂高层与超高层建筑结构设计是建筑领域的难点和热点, 复杂高层与超高层建筑结构设计主要用途是办公、写字楼等。文中从结构设计的基本原则、关键技术和设计要点等方面进行探讨, 以期为我国复杂高层与超高层建筑结构设计提供参考。

[关键词] 复杂高层; 超高层建筑; 结构设计; 设计要点

DOI: 10.33142/ec.v7i6.12139

中图分类号: TU318

文献标识码: A

Exploration on the Key Points of Structural Design for Complex High-rise and Super High-rise Buildings

LIANG Ran

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization in China, land resources are becoming increasingly scarce, and high-rise and super high-rise buildings have become an important means to solve the shortage of land resources. The structural design of complex high-rise and super high-rise buildings is a difficult and hot topic in the field of architecture. The main uses of complex high-rise and super high-rise building structural design are office buildings, office buildings, etc. This article explores the basic principles, key technologies, and design points of structural design, in order to provide reference for the structural design of complex high-rise and super high-rise buildings in China.

Keywords: complex high-rise buildings; super high-rise buildings; structural design; design points

引言

近年来, 我国高层建筑取得了举世瞩目的成就, 复杂高层和超高层建筑不断涌现。这些建筑在满足城市空间需求的同时, 也对结构设计提出了更高的要求。为确保结构安全、降低成本、提高建筑品质, 本文对复杂高层与超高层建筑结构设计要点进行探讨。

1 复杂高层与超高层建筑结构概述

1.1 复杂高层建筑结构

复杂高层建筑结构是指在高层建筑中采用非传统结构体系, 在高度、功能、形式和结构方面具有较高复杂性的建筑物, 例如带转换层的高层结构、带加强层的高层结构、错层结构、多塔楼结构等。这些结构通常需要采用先进的设计理念、建筑技术和材料来实现其功能和美学需求。复杂高层建筑结构一般位于城市核心区域, 为满足土地利用需求, 建筑高度相对较高。建筑结构往往涵盖了多种功能, 如住宅、办公、商业、文化、休闲等, 以满足不同用户的需求。在结构方面表现为形式多样、受力复杂, 需要采用先进的设计理念 and 建筑技术来实现其功能和稳定性。

1.2 超高层建筑结构

超高层建筑是指建筑高度超过 100 米的建筑物, 其结构类型主要包括钢筋混凝土结构、钢结构及混合结构等。超高层建筑的高度远远超过一般建筑, 空间布局复杂。为

满足功能需求, 通常需要采用分层设计, 内部包含办公、住宅、酒店、商业等多种功能区域。超高层建筑结构类型多样, 主要包括钢筋混凝土结构、钢结构及混合结构。不同结构类型具有各自的优缺点, 如钢筋混凝土结构具有重量轻、施工速度快的特点, 能够实现大跨度的设计^[1]。

1.3 复杂高层、超高层建筑结构的特征

复杂高层、超高层建筑结构的多样性体现在其采用多种结构体系以满足创新造型和功能需求。常见的结构体系包括框架结构、剪力墙结构、框剪结构、钢结构、筒体结构以及混合结构等。这些结构体系的选择取决于建筑物的设计目标和使用功能, 旨在实现结构的经济性、安全性和舒适性。在这些结构体系中, 框架结构以其良好的承载能力和灵活的空间布局而受市场需求大。框架结构通过柱梁连接形成框架, 再由框架之间的支撑体系保证整个结构的稳定性。框剪结构则将框架与剪力墙相结合, 以剪力墙的刚度来弥补框架在抗侧力方面的不足, 提高了建筑物的整体抗震性能。另一方面, 钢结构以其高强度、轻质和施工速度快的特点, 在超高层建筑中具有重要作用。钢结构建筑可以实现大跨度空间, 减少结构柱网, 提供更大的使用面积。同时, 其施工速度快, 有利于缩短整个建设周期。筒体结构则是围绕核心筒体进行设计, 通过楼板的周边支撑来形成整体的受力体系。筒体结构能有效地抵抗水平力,

适用于地震多发区域的超高层建筑。剪力墙结构通过连续的墙体来承担水平力，其刚度大、抗侧力性能好，常用于高档住宅和商业建筑。混合结构则是将上述几种结构体系相结合，以取长补短，实现结构的最优化设计。例如，在核心区域采用钢结构，而在周边采用框架结构，这样既保证了结构的承载能力，又实现了经济的合理性。

此外，复杂高层、超高层建筑中构件间的连接方式也是多种多样的，如焊接、螺栓连接等。这些连接方式的选择直接关系到结构的稳定性和安全性，因此连接节点的设计和施工要求非常严格。施工技术是复杂高层、超高层建筑建设的关键环节。由于结构复杂、构件重量大、施工现场受限等因素，其施工技术要求较高。合理的施工顺序、先进施工技术的应用以及精细化管理都是确保工程顺利进行的重要因素。

2 复杂高层与超高层建筑结构设计要点

2.1 结构体系选择

在复杂高层与超高层建筑结构设计中，结构体系的选择和结构布置的合理性是关键。结构体系的选择应考虑建筑的高度、形状、功能需求以及地质条件等因素。同时，结构布置的合理性直接影响到结构的经济性、安全性和舒适性。首先，结构体系的选择是建筑设计的基石。在复杂高层与超高层建筑中，结构体系的选择至关重要。例如框架-核心筒结构体系是一种常见的选择，它通过框架和核心筒的结合，实现了空间布局的灵活性和结构的稳定性。另外，筒中筒结构体系也是一种常用的选择，它通过多个筒体的组合，提高了结构的抗风能力和抗震能力。此外，桁架结构、空腹桁架结构以及钢框架结构等也是可供选择的对象。每种结构体系都有其独特的优点和适用条件，因此在选择结构体系时需要综合考虑各种因素，以确保结构的安全性和经济性。其次，结构布置的合理性是实现结构功能的关键。在复杂高层与超高层建筑中，结构布置需要考虑建筑的空间布局、功能需求以及美观要求等因素。例如，在核心筒的布置中，需要考虑电梯、楼梯、管道等设施的布局，以实现功能的便捷性和舒适性。同时，在框架的布置中，需要考虑柱子的间距、梁的截面尺寸等因素，以实现空间的灵活性和结构的稳定性。此外，还需要考虑结构的抗风、抗震能力，以及施工和维护的便利性。因此，在结构布置过程中，需要综合考虑各种因素，以实现结构的功能需求。此外，在结构布置中，还需要考虑结构的经济性。在满足结构和功能要求的前提下，结构的经济性是衡量设计优劣的重要指标。例如，在选择结构体系时，需要比较不同体系的材料用量、施工难度和维护成本等因素，以确定经济性最优的方案。另外，在结构布置中，可以通过优化柱梁截面尺寸、合理布置支撑等方法，降低结构的材料用量和施工难度。

2.2 结构计算

在复杂高层与超高层建筑结构设计中，结构计算不仅需要

考虑建筑物的自重，还需要考虑各种荷载，如雪荷载、风荷载、地震荷载等。此外，还需要考虑建筑物的使用功能，如住宅、办公楼、商场等，以确定建筑物的结构体系，如框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构等。在结构计算中，宜采用弹塑性静力或动力分析方法进行补充计算，传统的弹性时程分析已经无法满足要求。目前各弹塑性分析软件均以有限元软件为基础，以 ANSYS、MIDAS 为首的有限元分析软件都有较为成熟的体系进行静力、动力弹塑性时程分析。由于受到材料、规格、尺寸参数、强度、构造等限制，必然在结构中存在相对的抗震薄弱环节，这些薄弱环节在强烈地震中将率先发生塑性变形并屈服，导致不同程度的塑性变形集中，通过动力弹塑性分析，可以直观看到结构的薄弱层位置，屈服机制及从弹性到弹塑性过渡的变化过程。相较弹性假定的理想化模型，弹塑性时程分析更贴合实际作用下建筑物的受力状态。同时，采用时程分析法，记录相当数量的实际地震波与人工模拟的加速度时程曲线，就可以得到结构任意时刻的单元体的内力、加速度、速度及位移，以进行结构裂缝与损失的评估。

超高层建筑由于其结构的复杂性，往往难以避免多根形态各异的型钢杆件在某一空间位置的交汇，我们称这一空间节点为复杂节点。这一节点，受力大，受力方向多，夹角小，汇交构件多，应力应变复杂。为了更精确的确定复杂节点的应力应变状态，我们需对复杂节点进行三维实体建模，通常这类三维实体模型直接采用有限元软件进行分析。最优化的方案为，结构工程师通过 AutoCAD 等建模软件来建立构件复杂节点的空间形态，并将几何实体模型导入有限元软件，对材料进行材料与单元性质的赋值后，离散节点模型，并对单元进行网格划分，确定合理的网格类型和单元网格密度。目前，复杂节点的有限元分析已成为一项成熟的分析技术。

超限高层建筑需要进行专门的抗震审查，以确保结构设计的合理性和安全性。主要是审查其超限的可行性、限值严重不规则的建筑结构。对于超高或特别不规则的结构，则需要审查其理论分析、实验研究或所依据震害经验的可靠性、所采取的抗震措施是否有效。

2.3 合理的使用高强钢筋

(1) 高强钢筋在高层及超高层建筑中的使用可以有效提高结构的承载能力。由于高强钢筋具有较高的抗拉强度，因此在相同截面尺寸的情况下，可以承受更大的荷载。这使得在高层及超高层建筑中，可以使用较少的钢筋数量来实现相同的安全性能，从而降低了建筑成本。高强钢筋具有良好的韧性，可以提高建筑结构的抗震性能。在地震等自然灾害发生时，高强钢筋能够吸收更多的能量，降低结构的破坏程度。在选择高强钢筋时，有多种型号可供选择，每种型号都有其特定的性能特点。这些型号包括 HRB400、HRB500、HRBF400 和 HRBF500 等。这些高强钢筋不仅在抗拉强度上有优异表现，同时也具有良好的抗震性

能和耐久性。HRB400 和 HRBF400 型号的高强钢筋,是在普通钢筋基础上发展起来的。它们具有较高的抗拉强度和良好的塑性,适用于各种建筑结构。而 HRB500 和 HRBF500 型号的高强钢筋,则具有更高的抗拉强度,适用于更高级别的结构承载要求。

(2) 高强钢筋的使用还可以优化建筑设计。通过合理配置高强钢筋,可以实现建筑物的轻量化,提高空间利用率。在有限的土地资源下,将有助于提高建筑物的经济性能。然而,在高强钢筋的应用过程中,也存在一定的问题。例如,高强钢筋的焊接性能相对较差,施工过程中容易产生焊接裂缝,这就要求施工单位在钢筋的焊接过程中,严格把控质量,确保焊接质量达到规范要求^[2]。

(3) 高强度钢材的选择和应用需要根据建筑的使用功能和设计要求进行。在选择钢材时,需要考虑其强度、韧性、可焊性等性能指标,以确保其能够满足结构设计和施工要求。此外,还需要根据建筑的地理位置和使用环境,选择合适的钢材类型和规格,以保证其具有良好的耐久性和抗腐蚀性能。高强度钢材在建筑结构中的应用需要考虑到其对施工技术的要求。由于高强度钢材的强度较高,因此在施工过程中需要采用相应的连接方式和施工工艺,以确保结构的稳定性和安全性。例如,在焊接过程中需要采用合适的焊接方法和参数,以保证焊接接头的强度和稳定性;在螺栓连接过程中需要保证螺栓的紧固力和预紧力,以防止松动和脱落。

2.4 消能减震设计

高层与超高层建筑在结构设计中,采用了先进的抗震技术,如屈曲约束支撑、粘滞阻尼器等,提高了建筑的抗侧移刚度和整体稳定性。这些技术的应用,使得建筑在地震发生时能够迅速吸收地震能量,从而减小结构的震动响应。屈曲约束支撑是一种先进的抗震技术,通过在建筑结构中设置可屈曲的支撑系统,能够在地震发生时迅速发挥作用。支撑系统能够在地震力作用下产生屈曲,从而吸收地震能量,减小结构的震动响应。屈曲约束支撑的设计和应用,不仅提高了建筑的抗侧移刚度,还提高了建筑的整体稳定性。粘滞阻尼器是另一种先进的抗震技术,它通过在结构中引入粘滞材料来实现能量耗散。当地震力作用于建筑物时,粘滞材料会发挥作用,将地震能量转化为热能进行耗散。这种技术不仅能够有效减小建筑的震动响应,还能够保护建筑结构的完整性。除了屈曲约束支撑和粘滞阻尼器,还有其他一些先进的抗震技术也得到了广泛应用。例如,摩擦耗能支撑通过在建筑结构中设置摩擦耗能装置,能够在地震发生时吸收地震能量,减小结构的震动响应。弹性橡胶支座则是一种具有良好弹性和柔韧性的支座,它能够有效地减小建筑的震动响应,并保护建筑结构的稳定性。总的来说,高层与超高层建筑在结构设计中采用了多种先进的抗震技术,如屈曲约束支撑、粘滞阻尼器、摩擦

耗能支撑和弹性橡胶支座等。这些技术的应用,使得建筑在地震发生时能够迅速吸收地震能量,从而减小结构的震动响应,提高建筑的抗侧移刚度和整体稳定性。

2.5 风荷载分析

风荷载是在高层和超高层建筑结构设计中必须考虑的一个重要因素。随着建筑高度的增加,风力对建筑物的影响也变得更加显著。因此,在设计过程中,需要进行风荷载分析,以确定合理的风荷载参数,并采取相应的结构措施来增加抗风设计强度。风荷载分析通过分析建筑物所处的地理环境、气象条件以及建筑结构的特性,我们可以得出适用于该建筑物的风荷载参数。这些参数包括风速、风向、风荷载分布等。通过准确地确定这些参数,能够更好地评估建筑物在不同风力作用下的稳定性和安全性。为了确保建筑物能够承受风荷载带来的压力,需要采取一系列的结构措施。首先,可以增加抗风设计强度,即在设计过程中提高建筑物的结构强度和刚度。这样可以有效地抵抗风力的作用,提高建筑物的整体稳定性。其次,可以利用风洞试验来验证设计方案的合理性。风洞试验是一种模拟真实风场环境的实验方法,通过在缩比模型上施加风荷载,可以获得建筑物在不同风速下的响应情况。这样可以更加准确地评估建筑物的风荷载性能,并根据试验结果进行必要的调整和改进。除了抗风设计强度和风洞试验外,还可以采用其他的结构措施来增加建筑物的风荷载承载能力。例如,可以在建筑物的外墙表面增加风阻力,通过改变建筑物的形状和轮廓来减小风荷载的作用。此外,还可以在建筑物的顶部增加减风装置,如风淋室、风帽等,以减小风力对建筑物的冲击。

2.6 结构新材料选择

在复杂高层与超高层建筑结构设计中,结构材料应具有足够的强度、刚度和耐久性,以满足建筑物的安全性和使用寿命要求。在选择材料时,需要综合考虑材料的物理性能、经济性和可行性等因素。

钢材作为一种常用的结构材料,具有高强度和良好的延展性,能够承受大量的荷载和抵抗外部力的作用。钢材的使用可以有效地减轻建筑物的自重,提高结构的稳定性和抗震性能。此外,钢材的施工速度较快,可以缩短工期,提高施工效率。然而,钢材也存在一些缺点,如易受腐蚀和火灾的影响,需要采取防腐和防火措施来保护其性能。混凝土具有较高的压缩强度和耐久性。它可以根据不同的需要进行预制和现场浇筑,适用于各种结构形式。混凝土的使用能够提供较好的隔热和隔声性能,同时还具有良好的防火性能。此外,混凝土还可以与钢材相结合,形成钢筋混凝土结构,充分发挥两者的优势。然而,混凝土的施工过程较为复杂,需要严格控制配合比和养护条件,以确保其强度和耐久性。

新材料在高层和超高层建筑中的应用具有重要意义。

建筑物在遭受外部因素如风力、地震等影响时,需要具备一定的刚度来抵抗这些影响,以保持其稳定性。因此,新材料如碳纤维复合材料和玻璃纤维增强塑料等被广泛应用于此类建筑中,以提高其刚度,增强其抗变形能力。碳纤维复合材料具有高强度、轻质、高刚度等特点,能够有效抵抗风力和地震等外部因素对建筑物的影响。此外,碳纤维复合材料还具有良好的耐腐蚀性和耐久性,能够延长建筑物的使用寿命。因此,在高层和超高层建筑中使用碳纤维复合材料可以提高建筑物的稳定性和耐久性。玻璃纤维增强塑料也是一种广泛应用于高层和超高层建筑中的新材料。玻璃纤维增强塑料具有高刚度、高强度、轻质等特点,能够有效抵抗外部因素对建筑物的影响。此外,玻璃纤维增强塑料还具有良好的耐热性和耐腐蚀性,能够适应各种恶劣环境。因此,在高层和超高层建筑中使用玻璃纤维增强塑料可以提高建筑物的稳定性和耐久性。

3 工程实例

某超高层建筑工程位于我国某城市核心区域,总建筑面积约为 80,000 平方米,建筑高度为 120 米,地上 24 层,地下 4 层。采用钢筋混凝土框架-核心筒结构,抗震设防烈度为 7 度。

3.1 结构体系选择

针对本项目的高度和抗震设防要求,结构体系选择为钢筋混凝土框架-核心筒结构。框架结构具有良好的承载能力和抗侧移性能,核心筒结构能有效提高结构的抗扭性能,两者结合形成了具有优良抗震性能的超高层建筑结构。

3.2 结构布置

结构布置遵循“强柱、强节点、强锚固”的原则,柱网采用近正方形布局,柱距约为 7.2 米,层高约为 4.5 米。核心筒尺寸为 14 米×14 米,布置在建筑物的中心位置,承担大部分垂直荷载和水平荷载^[5]。

3.3 材料选用

根据结构受力特点和抗震要求,柱、梁、板等构件采用高性能混凝土,强度等级为 C30~60。核心筒墙体采用钢筋混凝土剪力墙,厚度为 400 毫米,混凝土强度等级为 C30~60。桩基采用钻孔灌注桩,承载力满足设计要求。

3.4 结构计算与分析

采用多种软件进行结构计算,考虑双向地震作用下的结构响应。根据计算结果,结构满足强度、刚度和稳定性要求。同时,针对不同地震烈度下的结构性能进行评估,确保结构在地震作用下的安全性能。首先,建立结构模型,定义材料属性、边界条件和加载方式。然后,通过有限元方法对结构进行详细建模,包括梁、柱和基础等部件。接下来,进行地震波输入分析,选取合适的地震波并根据设

定的地震烈度进行加速度时程分析。根据计算结果,分析结构的位移、应力和变形情况,评估结构在地震作用下的安全性能。结果表明,该钢筋混凝土框筒结构在所考虑的地震烈度下能够满足强度、刚度和稳定性要求。

3.5 构造措施

加强连接节点的设计,确保节点具有良好的承载能力和抗疲劳性能;设置防震缝,减小地震作用下结构的连续倒塌风险;采用弹性支座和非弹性支座相结合的支承体系,提高结构的适应性;加强构件的锚固长度和连接强度,提高结构的抗剪承载力。加强构件的锚固长度和连接强度,是提升结构抗剪承载力的核心。通过增加钢筋的锚固长度和使用高强度的连接材料,可以极大地增强建筑物的整体稳定性。特别是在对抗剪力要求较高的区域,如楼板和梁柱节点,这种加强措施尤为重要。高强度的连接不仅能提升结构的承载力,还能在遭遇极端条件时,有效防止结构的快速脆性破坏。设置合理的防震缝也是降低地震风险的关键措施。防震缝通过在建筑物的某些部分设置可移动的缝隙,使得在地震时各个部分能够相对独立地移动,从而减少了整体结构的应力,降低了连续倒塌的风险。这种设计使得建筑能够在地震后仍然保持整体稳定,便于救援和修复工作。

4 结语

由于和普通建筑相比,超高层建筑以及复杂高层建筑整体结构相对较为特殊,施工方面的要求也相对较高,所以在进行该类型结构设计过程中,需要严格按照设计目标以及设计要求等具体情况,对结构各部分内容展开合理设置。文章分析了复杂高层与超高层建筑结构设计要点,并探究了复杂高层与超高层建筑结构设计优化策略,希望能够为相关工作提供一定帮助。

[参考文献]

- [1]廖学忠.某复杂高层结构设计分析与探讨[J].福建建设科技,2024(1):17-19.
 - [2]李福帅.塔楼偏置的复杂高层结构设计研究[J].砖瓦,2023(10):67-69.
 - [3]龙业平,曾祖望.长沙某超限复杂高层结构设计[J].居舍,2023(10):118-121.
 - [4]杨连森.复杂高层结构多灾害性能评估与减振优化设计[D].江苏:苏州科技大学,2022.
 - [5]施澄宇,张敏,宋鸿誉,等.凯博易控产业园研发办公楼复杂高层结构设计[J].建筑结构,2022,52(7):73-79.
- 作者简介:梁冉(1981.10—),毕业院校:中国矿业大学(北京),所学专业:结构工程,当前就职单位:河北建筑设计研究院有限责任公司,职称级别:高级工程师。