

高层建筑施工中的抗震结构设计与施工技术研究

● 李晓宇 张作宇



[摘要] 在地震频发地区,高层建筑的抗震设计与施工技术直接关系到人民生命财产的安全以及城市的可持续发展。本文通过探讨高层建筑抗震设计与施工技术的优化方法,可以为建筑行业提供更加科学、合理、有效的抗震解决方案。通过对抗震结构设计和抗震施工技术的系统研究,可以在理论与实践上提升建筑的抗震能力,从而有效减少高层建筑在地震灾害中受到的损毁程度,保护人民生命安全,减少经济损失。此外,抗震能力的提升也能够增强公众对建筑物安全性的信心,推动社会稳定与发展。

[关键词] 高层建筑施工;抗震结构设计;施工技术

Q 高层建筑抗震结构设计技术

(一) 结构体系选择

柱框结构体系是最常见的高层建筑结构体系之一,其主要特点是通过柱和梁的连接构成框架结构,并通过框架构件传递水平荷载。柱框结构体系的抗震性能较好,因为其能较好地吸收和分散地震能量。在地震时,框架结构通过柱和梁的刚性连接,能够有效地传递水平荷载和扭矩。此外,框架的柔性特性使其能够承受一定程度的变形,降低建筑物因局部破坏引发的倒塌风险。柱框结构适用于中高层建筑,尤其是建筑物不需要过多抗震支撑的情况。

剪力墙结构体系是一种通过设置剪力墙来提供抗侧力的高层建筑结构体系,剪力墙通常与框架结合使用,形成框架-剪力墙结构体系,以提高建筑物的抗震能力。剪力墙是承受水平地震力的主要构件,可以有效地将地震力传递到基础。由于剪力墙具有较高的刚度,能够有效抵抗地震引起的横向位移,因此剪力墙结构在地震中表现出较好的稳定性。剪力墙结构常用于高层建筑、超高层建筑及大型建筑群,尤其适用于地震烈度较高的地区。剪力墙系统不仅提供抗侧力作用,还能有效控制建筑物的整体变形,防止大幅度的震动和倒塌。

钢结构与混凝土结构的结合,通常称为钢筋混凝土-钢结构混合体系,这种结构体系通过将钢结构的轻质和高强度特点与混凝土结构的刚性和耐久性结合起来,充分发挥两种材料的优势。钢结构与混凝土结构结合后,能够在地震时有效分担荷载,并且具备较高的韧性和延展性。钢结构在

抗震中起到能量吸收的作用,而混凝土结构则提供较强的抗压能力,两者的结合提高了建筑的整体抗震性能,特别是在强震中表现更为优越。钢-混凝土组合结构广泛应用于超高层建筑、钢结构的大跨度建筑以及需要较大空间和灵活布局的建筑设计中,特别是在一些特殊功能建筑如体育馆、展览馆等中,这种结构体系具有很大的优势。

(二) 抗震构件设计

1. 基础抗震设计

基础抗震设计是建筑抗震设计的首要步骤,目的是保证建筑的基础能够有效地传递地震力并提供足够的支撑。基础抗震设计需要考虑地震力的大小、基础土壤的承载力、基础的结构形式以及建筑物的重量等因素。刚性基础主要通过大面积的基础板将建筑物的重量均匀分布到地基上,减少局部变形,其适用于土层较为坚固的地区。柔性基础常用于软土层地区,可以吸收地震波的能量并减少地震对建筑物的影响,柔性基础包括橡胶支座、弹性基础等,其设计能够允许建筑与地基之间发生相对位移,从而降低地震力对建筑物的冲击。桩基是通过桩体深入地下强固层来传递建筑物荷载的基础形式,对于地基承载力较低的地区,采用桩基可以提高基础的抗震能力。

2. 核心筒设计

核心筒是高层建筑中最重要的承载和抗震构件之一,通常位于建筑物的中心,负责提供抗侧力和稳定性,核心筒通常由钢筋混凝土或钢结构构成,能够有效抵抗地震力并确保建筑物的稳定。核心筒通过其较大的刚度提供抗侧力,在

地震时集中承受建筑物的水平地震力，减少其他部分的变形。核心筒提供结构刚度，防止高层建筑在地震时发生过度摇晃或扭曲，核心筒不仅提供抗震功能，还常用于分隔建筑物的内部空间，如电梯井、楼梯间、管道井等。

3.梁柱连接设计

梁柱连接是高层建筑抗震设计中的关键构件之一，连接的设计直接影响建筑物的抗震性能，梁柱连接的作用是确保水平地震力能够有效地传递到柱上，并保证建筑物的整体稳定性。刚性连接通过焊接、螺栓等方式将梁和柱牢固连接在一起，具有较高的抗震性能，刚性连接能够有效地分担地震力，并确保梁柱之间的力传递。铰接连接通过铰接点如插销、销钉等将梁和柱连接起来，在地震时允许梁柱之间发生一定的相对位移，铰接连接通常适用于不需要承受过大地震力的结构。

4.结构连接与加固技术

钢筋混凝土连接常用于框架结构中，通过钢筋与混凝土的协同工作，增强结构的抗震性能。钢筋的布置和连接方式对抗震性能至关重要，合理的钢筋配置能够提高建筑的抗震能力。钢结构连接一般采用焊接或螺栓连接，钢结构连接在地震中的优势在于其良好的韧性和延展性，能够承受较大的地震力。抗震支撑如斜支撑、X型支撑等可以增强结构的刚度并有效减小地震力传递到建筑的其他部分，耗能装置如阻尼器、隔震支撑等能够吸收地震波的能量，减小建筑的震动幅度。

外包钢加固通过在建筑的梁、柱、墙等构件外部包裹钢板或钢筋网，以增强其抗震性能，该方法能够提高构件的强度和刚度，适用于已建成建筑的抗震加固。碳纤维加固通过将碳纤维材料粘贴到建筑构件表面，能够显著提高构件的抗拉强度和抗震能力，这种加固方式轻巧、强度高，并且不增加建筑物的重量。隔震与减震技术通过设置隔震器或减震器，在建筑的基础或结构中设置可调节的支撑点，能够有效隔离地震波的传播，减少地震对建筑物的影响。

(三)抗震振动控制技术

1.阻尼器

阻尼器通过吸收震动能量来减少建筑物响应的一种设备，其能够有效降低地震引起的结构振动，增强结构的稳定性。其中，粘滞阻尼器通过液体流动或气体流动来实现能量耗散，在地震时，阻尼器内部的流体产生的阻力与振动速度成正比，能够有效地将地震能量转化为热能，从而减小建筑物的振动幅度。摩擦阻尼器利用摩擦力来耗散能量，在地震时，摩擦阻尼器通过相对运动产生的摩擦力，消耗震动能量，该类型的阻尼器通常用于高强度地震环境中，具有较高的抗震效果。调谐质量阻尼器通过将质量、弹簧和阻尼器结合在一起的系统，专门用于减少高层建筑的共振效应，

通过调节质量、刚度和阻尼器的参数，使其与建筑物的固有频率匹配，从而有效吸收地震引起的振动。

2.隔震器

隔震器通过在建筑物与基础之间设置弹性支撑装置，隔离地震波的传播，从而减少建筑物受震的影响，隔震技术能够显著提高建筑物的抗震性能，尤其适用于地震活动频繁的地区。橡胶隔震器利用橡胶材料的弹性和能量耗散特性，在建筑物与基础之间设置柔性支撑，吸收地震波能量，从而减少震动传递。铅芯隔震器将铅芯和橡胶材料结合起来，能够提供更高的能量吸收能力，在地震时，铅芯部分可以通过塑性变形吸收震动能量，显著减小建筑物的震动响应。滑动隔震器使用滑动摩擦系统来减小地震荷载对建筑物的影响，滑动隔震器在地震时通过相对滑动吸收地震能量，从而降低建筑物的水平位移。

Q 高层建筑抗震施工技术分析

(一)抗震结构施工要点

1.基础施工中的抗震技术要点

高层建筑的基础设计必须考虑到地震波对地基的影响，特别是在地震活跃地区，地基的承载力和稳定性至关重要。常见的地基处理方法包括加固地基、深层搅拌、灌浆等技术，旨在提高地基的强度和均匀性，减少地震时的沉降和变形。针对不良土质，常采用隔震基础或抗震基础技术，如采用隔震垫层、橡胶隔震器等措施，在建筑物基础与地面之间形成缓冲区，减少地震波的传递。高层建筑的基础通常采用桩基、筏板基础或井点基础等方式，在施工时，要确保基础结构的抗震性能，尤其是基础桩的布置、桩与桩间距的设置等，能够有效分担地震荷载。基础的设计要确保水平刚度和纵向延展性，特别是对多层建筑采用筏板基础时，基础板的厚度、钢筋配比和加强筋的设置必须符合抗震要求。在高层建筑基础设计中，应考虑到建筑物自身的振动频率与地震波的频率匹配问题，通过调整基础的设计，使建筑物的共振频率尽量避免与地震波的频率发生共振，从而减轻地震对建筑物的影响。

2.剪力墙、核心筒施工技术要点

剪力墙通常布置在建筑物的中部、核心区域，构成建筑物的抗震骨架，剪力墙的尺寸、数量和位置应根据建筑物的抗震设计要求来确定。在施工过程中，确保墙体的垂直度和表面平整度，避免出现墙体开裂、错位等问题。常采用现浇混凝土剪力墙，其施工工艺包括钢筋绑扎、模板安装和混凝土浇筑等步骤，施工过程中要确保每个环节的精度，以避免墙体变形或缺陷。剪力墙与梁、柱的连接部位是抗震设计的重点，施工时应确保钢筋的绑扎和连接节点的加固。通过合理的配筋和构造设计，确保剪力墙的抗弯、抗剪

能力。

核心筒是高层建筑中的核心抗震构件，通常设置在建筑物的中央区域，核心筒不仅承担抗震作用，还起到垂直交通、管道布置等功能。核心筒通常采用钢筋混凝土结构，其施工过程包括钢筋施工、模板施工和混凝土浇筑，特别是在核心筒的施工过程中，要保证钢筋绑扎精度，确保核心筒的强度与稳定性。核心筒应设计为具有足够的强度、刚度和韧性，以有效抵抗地震荷载。施工时要确保核心筒各层之间的连接无缝衔接，避免施工过程中产生空隙或缺陷，影响核心筒的抗震功能。

3. 建筑结构拼接与抗震支撑要点

高层建筑的不同结构部分，如梁柱、剪力墙、核心筒之间的连接节点，需要特别关注，确保拼接部分的强度和稳定性。常见的拼接方式包括焊接、螺栓连接和钢筋搭接等，每种拼接方式均需确保在地震荷载作用下能够有效传递力学性能。在拼接过程中，要特别注意节点的抗震设计，确保拼接部分能够在震动过程中吸收能量，并保证建筑整体结构的连续性。

在施工过程中，支撑装置需要根据设计要求进行精确安装，确保支撑的刚度和承载力能够达到设计标准。抗震支撑的安装和连接必须与建筑物的主体结构密切配合，施工时，需确保支撑与建筑物结构的连接牢固，避免出现连接松动或脱落的现象。支撑的布置应根据建筑的结构特点进行合理规划，通常采用X型、V型或倒三角型布置，以最大限度提高抗震效果。

(二) 抗震结构的施工质量管理

抗震结构的施工质量管理不仅仅是对常规施工的控制，更侧重于结构的耐震性、韧性、稳定性以及施工过程中的每一个环节。在施工前，必须对设计图纸进行严格的审核，确保设计方案符合抗震设计要求，特别是抗震构件如剪力墙、核心筒、抗震支撑等的布置、尺寸、钢筋配比等要严格审查。施工团队要根据图纸，确保施工材料的质量符合要求，如高强度钢筋、优质混凝土等，施工人员应熟悉抗震结构设计的特殊要求，并进行针对性的培训。在材料质量控制中，钢筋的直径、强度等级以及混凝土的配比和抗压强度要符合设计要求，在施工前，需要对钢筋和混凝土进行严格的质量检查，确保其符合标准。每批次材料都需进行抽样检测，确保其符合国家及行业标准，混凝土的强度、抗冻性、抗渗性等都要通过实验室检测。

抗震结构中的钢筋必须按照设计要求正确布置，并严格按照规范绑扎。焊接部位特别是连接节点的焊接质量尤为关键，施工时要确保焊接强度和焊接点的均匀性，防止出现虚焊、假焊等问题。剪力墙、核心筒等重要构件的模板安装

要牢固、稳定，避免因模板变形导致混凝土浇筑时出现偏差，混凝土的浇筑过程中要严格控制振捣密实度和浇筑速度，确保无冷接缝。在抗震结构中，梁柱、剪力墙等节点的连接尤为重要，必须保证节点连接的稳定性和强度，施工时要严格按照设计图纸中的连接方式进行连接。在施工过程中，施工单位要加强现场的质量监控，尤其是对钢筋绑扎、混凝土浇筑、抗震构件的连接和拼接等关键环节要有专人负责检查，并采取适当的质量监督手段，如拍照、测量等方式，确保施工质量不打折扣。同时，要加强施工人员的培训，提高施工人员的专业素养，特别是对关键环节的施工人员进行专项培训，确保他们能够按照标准和要求进行施工。设立专门的质量监督团队，进行现场实时监督和检查，并及时反馈问题，采取有效措施解决施工中的问题。施工完成后的抗震构件，如剪力墙、核心筒等，需进行完整的验收，验收内容包括构件的尺寸、钢筋配置、混凝土强度等。验收不合格的部位需要重新处理，确保其符合设计要求。

Q 结束语

总之，在高层建筑施工中，抗震设计与施工技术必须紧密结合，确保设计的方案能够在施工过程中准确实施。施工阶段是抗震设计的落地阶段，施工技术的精准性、质量控制的严格性以及施工安全管理的完善程度，直接决定了建筑物抗震性能的实现。尤其是在复杂的抗震构件施工如剪力墙、核心筒、抗震支撑等中，施工的每一个环节都至关重要。

参考文献

- [1]李涛.高层建筑工程结构抗震设计及其大震弹塑性分析[J].四川水泥,2022,(12):79-81,84.
- [2]李晔.超高层结构抗震设计中若干问题的探讨[J].建设科技,2022,(13):109-111.
- [3]吴化伟.高层建筑结构抗震设计分析[J].江西建材,2022,(06):150-151.
- [4]李武林.超限高层结构抗震性能设计研究[J].砖瓦,2022,(06):74-76.
- [5]沈春艳.论建筑物结构抗震概念设计[J].中国建筑金属结构,2022,(05):114-116.

作者简介:

李晓宇(1990—),女,汉族,山东烟台人,本科,工程师,上海中建建筑设计院有限公司青岛分公司,研究方向:建筑设计。

张作宇(1982—),男,汉族,山东潍坊人,本科,助理工程师,上海中建建筑设计院有限公司青岛分公司,研究方向:建筑设计。