

装配式建筑结构设计要点分析

郭栋

山东省人民防空建筑设计院有限责任公司

摘要：本文全面分析了装配式建筑结构设计的关键要点，从结构系统设计、节点与连接设计、材料选择与性能、抗震设计，到节能环保设计等多个维度进行深入探讨。首先介绍了装配式建筑的设计原则，随后详细阐述了各设计环节的具体内容和技术要求，特别是在结构稳定性、耐久性和环境可持续性方面的考虑。文章旨在为装配式建筑的设计和实施提供全面的理论支持和实践指导，对推动装配式建筑行业的发展具有重要意义。

关键词：装配式建筑；结构设计；节点设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.06.094

一、装配式建筑结构设计原则

装配式建筑结构设计原则着重于标准化和模块化，旨在实现构件的统一生产和快速组装，提高生产效率的同时降低设计和建造的复杂性。在设计阶段考虑构件的可重复使用性，确保设计的构件适用于不同建筑项目，实现规模经济和降低成本。重视构件的预制工艺以保证高质量和精确度，设计时须适应工厂生产的限制并考虑运输和现场组装的便利性。确保建筑结构的稳定性和安全性是设计的首要原则，包括合理的结构布局、足够的承载能力以及良好的抗震性能和耐久性。节能环保的设计理念体现在使用高效的隔热材料、优化自然光利用和通风，减少能源消耗和环境足迹。强调材料和资源的可持续性，包括选择可再生或可回收的材料，设计易于拆卸和重用的构件，从而提升建筑的整体可持续性。设计时考虑建筑的整体性和协调性，确保各部分和构件在功能和美观上的和谐统一。同时，确保设计满足使用者的舒适性和功能性需求，包括合理的空间布局、良好的室内环境质量和足够的自然光照，以提升居住或使用体验。

二、装配式建筑结构设计要点

（一）结构系统设计

（1）主体结构类型选择：框架结构、剪力墙结构等

框架结构，特别是钢筋混凝土框架，是装配式建筑中最常用的结构形式。它由立柱和横梁组成的骨架体系，有效承担垂直荷载和水平荷载。框架结构的设计遵循相关规范，如《工程结构通用规范》（GB 55001-2021）和《混凝土结构通用规范》（GB 55008-2021），确保其对侧向力（如风荷载和地震力）的抗力。在装配式建筑中，框架结构的构件（如预制梁、柱）通常在工厂预制，现场进行组装和连接。这种方法不仅提高了施工效率，而且由于工厂化生产，保证了构

件的质量和尺寸精度。

剪力墙结构在装配式建筑中同样重要，尤其适用于高层建筑中。剪力墙能有效地承受来自风和地震的侧向力，提供良好的结构刚性和稳定性。在《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB55002-2021）中，有明确的剪力墙设计和计算要求，指导设计师进行精确的力学分析和尺寸设计。装配式剪力墙的设计需要考虑预制构件的接缝和连接细节，确保整体结构的连续性和一致性。

在选择装配式建筑的结构类型时，设计师需要综合考虑建筑的用途、高度、地理位置和地震等级等因素。此外，还应考虑到预制构件的尺寸和运输限制，以及现场组装的可行性。通过合理的结构类型选择和精确的设计计算，可以确保装配式建筑的安全性、实用性和经济性，同时满足建筑节能、环保和可持续发展的要求。

（2）楼板和屋面系统：预制楼板和屋面板的设计考虑

预制楼板通常由混凝土制成，其设计需要确保足够的承载能力和刚度，以适应建筑的使用需求。在设计预制楼板时，重要的是要遵循《混凝土结构通用规范》（GB 55008-2021）中的相关规定，确保楼板能够安全承受预期的活载和静载。楼板的厚度、钢筋配置和混凝土强度等都应根据具体荷载情况进行计算。例如，楼板的设计荷载可能包括人员行走、家具重量、雪荷载等。这些荷载的组合和分布需要按照规范进行合理计算，以确定楼板的最终设计参数。

屋面系统的设计则涉及防水、隔热和承重等方面。预制屋面板同样多为混凝土材料，其设计应兼顾结构安全和建筑物理性能。在屋面板设计中，除了考虑荷载承载能力，还需特别注意其隔热和防水性能，屋面板应具有良好的保温隔热层，以减少能源消耗并提高居住舒适性。此外，屋面的排水设计也是关键，需要确保有效的雨水排除，防止积水和渗漏^[2]。

在预制楼板和屋面板的设计过程中，还必须考虑到构件的运输和安装条件。这些构件的尺寸和重量需在运输和吊装设备的承载能力范围内。此外，楼板和屋面板之间的连接细节也需精心设计，以确保整体结构的连续性和密封性。连接部位的设计应符合《预应力混凝土结构设计规范》（JGJ 369-2016）的要求，确保连接的可靠性和安全性。

（3）地基与基础：适用于预制建筑的地基和基础设计

首先，在进行地基与基础设计时，必须对建筑场地进行详细的地质勘察，了解土壤类型、承载力、水文地

质情况等。这些信息是基础设计的关键依据，直接影响到基础类型的选择和设计参数的确定。根据《建筑与市政地基基础通用规范》（GB55003-2021），设计师需要根据土壤的承载力和建筑荷载来选择合适的基礎类型，如条形基础、板式基础或桩基础等。

对于预制建筑，由于其构件通常较重，因此在基础设计上需要特别注意对重量的支撑。例如，在计算基础尺寸和承载能力时，除了考虑常规的建筑荷载（如永久荷载、活荷载等），还需考虑预制构件在安装过程中可能产生的额外荷载。此外，基础的设计还需考虑地震荷载的影响，特别是在地震多发区域。根据《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB55002-2021），基础设计必须保证足够的抗震性能，以确保整个建筑的安全^[3]。

（二）节点与连接设计

（1）关键节点类型：如梁柱连接、墙板连接

梁柱连接是装配式建筑中最常见的节点之一。这种连接通常需要承受较大的力和力矩，因此其设计必须确保足够的强度和刚度。在设计梁柱连接时，通常考虑采用螺栓连接或焊接等方式。根据《钢结构设计规范》（GB 50017-2017）梁柱连接的设计需要满足相应的力学性能要求，包括承载力、抗剪力和抗弯矩能力。例如，对于预制混凝土构件的梁柱连接，需要通过合适的锚固长度和锚杆配置来确保连接的可靠性。同时，还需考虑连接部位的构造细节，如垫板、加劲肋等，以提高连接处的局部刚度和稳定性。

墙板连接则是另一种关键的节点类型。在装配式建筑中，墙板之间的连接不仅需要保证结构稳定性，还要满足防火、隔音和隔热等建筑物理性能要求。墙板连接的设计需考虑到连接的紧密性和密封性，以防止漏风和渗水。例如，预制混凝土墙板的连接可以采用插销、螺栓或焊接等方式，根据《预应力混凝土结构设计规范》（JGJ 369-2016）进行设计和施工。此外，还需注意连接部位的热桥效应，可能需要设置隔热材料以减少热损失。

（2）连接方式与技术：螺栓连接、焊接

螺栓连接是装配式建筑中常用的一种连接方式，特别适用于预制构件之间的连接。螺栓连接的优点在于施工快捷、方便调整和拆卸。在设计螺栓连接时，必须考虑到连接的力学性能，包括螺栓的剪切和拉伸强度。根据《高强度螺栓连接钢结构技术规程》（JGJ 82-2011），螺栓的选型需满足预期的荷载要求。

焊接是另一种在装配式建筑中广泛应用的连接技术，尤其适用于钢结构的连接。焊接能提供更高的强度和刚性，适合承受较大荷载的结构。在设计焊缝时，需要根据《钢结构焊接规范》（GB 50661-2011）来确定焊缝的类型、尺寸和焊接方法。焊接强度的计算涉及焊缝的长度和厚度，以及材料的焊接性能。

在装配式建筑的节点与连接设计中，无论是采用螺

栓连接还是焊接，都必须确保连接的质量和可靠性，同时考虑到结构的整体性能和施工的可行性。此外，连接设计还应考虑长期使用过程中可能出现的疲劳和腐蚀问题，采取适当的保护措施。通过合理的设计和精确的施工，可以保证装配式建筑结构的稳定性和耐久性，满足长期使用的需求^[4]。

（3）节点的抗震和力学性能分析

在力学性能分析方面，节点的设计需要确保足够的承载力、刚度和稳定性。这通常涉及复杂的力学计算，考虑到节点在结构中的实际位置和作用方式。例如，对于一个典型的梁柱连接节点，其设计需要满足梁端的弯矩、剪力和轴力的承载要求。这些力的计算可以通过结构力学的基本原理来进行，结合实际荷载情况和材料特性。具体的计算公式取决于节点的类型和构造，但通常会涉及弯矩、剪力和轴力的平衡条件。

抗震设计的关键是确保节点在地震作用下不发生脆性破坏，并具有一定的延性，以便在遭受超过设计水平的地震作用时能够通过塑性变形来消耗能量，避免整体结构的倒塌。例如，对于预制混凝土框架的梁柱节点，其抗震设计需要考虑到节点区的详细配筋方案，以确保足够的延性和韧性。此外，对于装配式结构，还需要特别关注节点处的构件连接方式，如螺栓或焊接，这些连接方式在抗震设计中必须具备足够的强度和变形能力。

（三）材料选择与性能

（1）预制混凝土和钢结构材料的选择

预制混凝土作为装配式建筑中常用的材料，其选择需基于混凝土的强度等级、耐久性和工作性。根据《混凝土结构通用规范》（GB 55008-2021），混凝土的强度等级通常根据结构部件承受的荷载和使用环境确定。例如，对于承受较大荷载的主要承重结构，推荐使用高强度混凝土，如C40、C50等级的混凝土。混凝土的耐久性则需要考虑环境因素，如抗冻性、抗渗性和抗化学腐蚀能力，这些性能指标直接关系到结构的使用寿命和维护成本。混凝土的工作性，包括流动性和易塑性，也是重要的考虑因素，这决定了预制构件的成型质量和生产效率。

钢结构材料的选择则需要重点考虑钢材的强度、韧性和焊接性能。通常基于结构部件的受力特点和设计荷载来确定。高强度钢材，如Q345、Q390等，通常用于承受较大荷载或高层建筑的关键构件。钢材的韧性尤其在抗震设计中至关重要，它决定了结构在极端荷载下的变形能力和安全性。此外，钢材的焊接性能也是一个不可忽视的因素，这直接影响到连接节点的制造质量和施工效率。

（2）材料性能要求：如耐久性、抗震性能

耐久性是评估建筑材料性能的关键因素，尤其是对于预制混凝土和钢结构材料而言。混凝土的耐久性主要取决于其抗渗透性、抗冻融能力和抗化学侵蚀能力。混

混凝土的抗渗性能通常通过渗透深度来评估，渗透深度越小，表明混凝土的抗渗性能越好。此外，混凝土在不同环境条件下的耐久性能也需考虑，如在冻融循环条件下的耐久性能评估，确保混凝土在低温环境下不会因冻融作用而破坏。

钢材的耐久性则主要与其抗腐蚀性能相关。钢材在潮湿或腐蚀性环境中使用时，其耐腐蚀性能尤为重要。钢材的耐腐蚀性能可以通过涂层保护、使用不锈钢或其他抗腐蚀处理方式来提高。例如，热镀锌处理是提高钢材耐腐蚀性能的常用方法，可以显著延长钢材在恶劣环境中的使用寿命。

抗震性能的评估则是另一个关键方面。在装配式建筑中，材料的抗震性能直接影响到建筑在地震作用下的安全性。对于混凝土材料，其抗震性能不仅取决于混凝土本身的强度和韧性，还与构件的设计和细部加固方式有关。在《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB55002-2021）中，对混凝土构件在地震作用下的性能有明确的要求，如延性设计和细部配筋。钢结构材料的抗震性能评估则侧重于材料的韧性和焊接连接的质量。高韧性的钢材和高质量的焊接连接能够在地震作用下提供更好的变形能力，从而避免脆性破坏^[5]。

（四）抗震设计考虑

（1）抗震设计原则和标准

抗震设计原则和标准的核心在于确保建筑在遭受地震作用时能够有效地保护人员安全，并限制结构损伤。这些原则基于建筑结构在地震作用下的反应，包括延性设计以确保结构在弹性极限超过后仍具备变形能力，强柱弱梁原则以保障整体结构稳定，以及避免结构设计中的剧烈刚度和强度变化，从而降低地震引起的破坏。在执行标准方面，建筑设计需要严格遵循《建筑与市政工程抗震通用规范》（GB55002-2021），根据建筑所在地区的地震活动水平和建筑的重要性类别来决定设计地震作用。

（2）装配式建筑特有的抗震设计技术

针对装配式建筑，抗震设计还需采用特有的技术和方法，包括设计灵活且能适应地震作用下相对位移的结构连接点，如采用滑动支座或可变形的连接件。高层或大跨度的装配式建筑可能需要引入减震或隔震系统，如粘滞阻尼器或摩擦摆系统，以减轻地震力的影响。此外，加强构件的局部抗震能力，如在节点和连接部位增加配筋量，使用高强度材料，以及通过模块化设计保证结构单元间的一致性和协调性，均是提高整体结构抗震性能的关键措施。

（五）节能环保设计

（1）节能材料的应用和设计方法

节能材料在装配式建筑中的应用旨在提高能源效率，减少建筑运行过程中的能源消耗。这包括使用高效

的保温隔热材料、节能玻璃、以及高反射率的屋面材料等。例如，保温隔热材料如聚苯乙烯泡沫板（EPS）和聚氨酯泡沫板（PU）在墙体和屋顶的应用可以显著提高建筑的保温性能，减少热能损失。节能玻璃，如低辐射（Low-E）玻璃，能有效降低窗户的热损失，同时减少夏季的太阳辐射热。

设计方法上，节能设计不仅仅是材料选择，更涉及整个建筑的设计理念。这包括合理的建筑方位布局、有效的自然通风设计、以及自然光照利用的优化。通过这些设计方法，可以最大限度地减少建筑对人工照明和空调的依赖，从而降低能源消耗。

（2）绿色建筑与可持续性考量

绿色建筑与可持续性考量则更加强调建筑设计、施工和运营过程中的环境影响。这包括使用可回收或再生材料，减少建筑过程中的废物产生，以及提高建筑的整体环境性能。

在材料选择上，优先使用可回收和可再生材料，如再生混凝土、再生钢材等，不仅减少了资源的消耗，也降低了建筑项目的碳足迹。在施工过程中，通过精确的预制和有效的现场管理，可以显著减少材料浪费和施工过程中的环境污染。

建筑的整体设计应考虑到雨水回收、绿色屋顶和墙体、以及生态景观的整合。这些设计不仅提升了建筑的环境质量，也增加了建筑与自然环境的和谐共生。此外，考虑到建筑的生命周期，设计中还应包括建筑维护的便捷性和拆除后材料的再利用性。

结语

本文通过对装配式建筑结构设计进行系统分析，强调了结构系统、节点连接、材料选择、抗震设计及节能环保设计的重要性。这些设计要点是确保装配式建筑安全、可靠和环境友好的关键。随着技术的发展和市场需求的变化，装配式建筑的设计理念和技术也将不断进步和创新。未来，装配式建筑有望在建筑行业中扮演更加重要的角色，为实现绿色建筑和可持续发展目标作出贡献。

参考文献

- [1] 石华, 黄俊. 装配式建筑结构设计要点分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(16): 239-240.
- [2] 蔡杞芝. 装配式建筑结构设计分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(13): 186-187.
- [3] 赵智慧. 装配式建筑结构设计要点与应用分析[J]. 建筑经济, 2021, 42(04): 159-160.
- [4] 马倩. 装配式建筑结构设计要点分析[J]. 居舍, 2021, (08): 84-85.
- [5] 李亚楠. 基于装配式建筑结构设计要点分析[J]. 工程建设与设计, 2020, (11): 54-55+59.