

# 绿建装配式结构抗震性能探析

任智杰

天津中怡建筑规划设计有限公司 300110

**【摘要】**在绿色建筑与建筑工业化深度融合的发展背景下，绿建装配式结构凭借节能降耗、施工高效、低碳环保的核心优势，已广泛应用于住宅、公共建筑等多个领域，但其抗震性能直接决定建筑结构的安全等级，是制约其规模化推广应用的关键瓶颈。本文从结构专业视角出发，结合绿建装配式结构的核心特征，探析其抗震性能的主要影响因素，包括构件连接方式、结构体系选型、材料性能及施工质量等，结合实际工程应用场景分析不同类型绿建装配式结构的抗震表现，提出针对性的抗震优化技术措施，为绿建装配式结构在地震多发地区的合理设计、规范施工及安全应用提供理论参考与实践指导。研究结果表明，通过科学的节点设计、合理的体系搭配及严格的施工管控，绿建装配式结构可实现与现浇结构相当甚至更优的抗震性能，兼顾绿色环保与结构安全的双重需求。

**【关键词】**绿建装配式结构；抗震性能；构件连接；结构体系；绿色建筑

Analysis of Seismic Performance of Green Building Prefabricated Structures

Ren Zhijie

Tianjin Zhongyi Architectural Planning & Design Co., Ltd. 300110

**【Abstract】**Against the backdrop of deep integration between green building practices and industrialized construction, prefabricated structures have gained widespread adoption in residential and public buildings due to their core advantages of energy efficiency, construction efficiency, and low-carbon environmental benefits. However, their seismic performance directly determines structural safety classifications, posing a critical bottleneck for large-scale application. This study examines seismic performance factors from a structural engineering perspective, integrating key characteristics of green building prefabricated structures. Key variables include component connection methods, structural system selection, material properties, and construction quality. Through practical engineering case analyses, seismic performance of various prefabricated structures is evaluated, followed by targeted optimization measures proposed to guide rational design, standardized construction, and safe application in earthquake-prone regions. Research findings demonstrate that scientifically designed joints, optimized system configurations, and rigorous construction controls enable prefabricated structures to achieve seismic performance comparable to or even surpassing cast-in-place structures, effectively balancing environmental sustainability with structural safety requirements.

**【Key words】**Green building prefabricated structure; Seismic performance; Component connection; Structural system; Green building

## 引言

在“双碳”目标引领与建筑行业转型升级的大背景下，绿色建筑已成为行业发展主流，装配式施工作为其核心实现路径，凭借工厂标准化生产、现场模块化装配的突出优势，大幅减少现场湿作业量与能源消耗，契合绿色建筑发展理念，绿建装配式结构也凭借轻量化、模块化的特点广泛应用于各类建筑场景。我国作为地震多发国家，绿建装配式结构与传统现浇结构在构造形式、施工工艺上的差异，使其在构件连接可靠性等方面存在明显短板，早期装配式建筑在地震中暴露的各类问题，凸显了优化其抗震性能的紧迫性；尽管当前装配式技术不断成熟完善，抗震性能得到一定提升，但工程应用中设计、施工层面的不足仍影响其抗震可靠性。基于此，本文从结构专业视角切入，结合实际应用场景分析绿

建装配式结构抗震性能的影响因素，探讨相应优化策略并结合工程案例验证，为其在地震多发地区的规范应用提供支撑，推动绿色环保与结构安全协同发展。

## 一、绿建装配式结构的核心特征及应用场景

### 1.1 核心特征

绿建装配式结构是绿色建筑与装配式施工技术的有机结合体，相较于传统现浇结构，其核心特征主要体现在三个方面：一是绿色环保性，构件采用工厂标准化批量生产，可精准控制材料用量，减少建筑废弃物的产生，现场装配施工无需搭设大量脚手架、模板，降低了施工扬尘与噪声污染，同时部分构件可实现回收再利用，契合低碳发展理念；二是模块化装配性，结构构件（如墙板、梁、柱、楼板等）均在

工厂预制完成,现场通过螺栓连接、灌浆连接等方式拼接组装,施工效率大幅提升,可缩短工期30%以上;三是结构轻量化,绿建装配式结构多采用轻质高强材料(如轻质混凝土、钢结构、复合墙板等),相较于传统现浇钢筋混凝土结构,自重可降低20%~40%,大幅减小地震作用下的结构荷载,为抗震性能优化提供了良好基础。

与早期装配式结构相比,现代绿建装配式结构更注重结构整体性与连接可靠性,通过遵循“强节点、弱构件”的设计原则,搭配高强灌浆套筒、后浇混凝土等配套技术,有效弥补了传统装配式结构连接薄弱的短板,同时兼顾了绿色节能与结构安全的双重需求。

## 1.2 应用场景

结合结构专业特点与绿建装配式结构的性能优势,其应用场景主要集中在以下三大领域:

**住宅建筑领域:**这是绿建装配式结构应用最广泛的场景,尤其是高层住宅。装配式剪力墙结构、装配式框架-剪力墙结构凭借其整体性好、空间利用率高、施工高效的优势,成为高层住宅的首选结构形式,如广州新建住宅已全面推行装配式技术,大量采用装配式剪力墙结构,既满足绿色建筑相关要求,又能适配城市住宅规模化建设需求。此类结构可有效抵御中低烈度地震,契合住宅建筑对安全性、舒适性的核心需求。

**公共建筑领域:**主要应用于学校、医院、办公楼等建筑,多采用装配式框架结构、装配式钢结构。这类建筑对施工工期、环保要求较高,且需具备良好的抗震性能以保障人员生命安全,如四川某学校采用装配式框架结构,结合减隔震技术,在6.8级地震后主体结构完好无损,充分体现了其抗震可靠性。装配式钢结构凭借其自重轻、延性好、耗能能力强的特点,也广泛应用于大跨度公共建筑,可有效应对地震作用下的结构变形。

**工业辅助建筑领域:**如工业厂房的附属用房、仓库等,多采用装配式轻型钢结构,此类建筑荷载较小,对工期要求严格,装配式结构可实现快速施工,同时具备一定的抗震性能,可抵御低烈度地震,满足工业建筑的基本使用需求。

## 二、绿建装配式结构抗震性能的影响因素

绿建装配式结构的抗震性能受设计、材料、施工等多方面因素的综合影响,其中构件连接方式、结构体系选型、材料性能及施工质量是核心影响因素,直接决定结构在地震作用下的承载能力、延性及耗能能力。

### 2.1 构件连接方式

构件连接是绿建装配式结构的核心薄弱环节,也是影响其抗震性能的最关键因素。装配式结构的构件拼接处(如墙板与墙板、梁与柱、柱与基础的连接部位)是应力集中区域,地震作用下易发生连接失效、构件脱落等破坏现象,进而导致结构整体坍塌。早期装配式建筑因采用简单拼接方式,连

接强度不足,在汶川地震中出现大量预制板坠落、墙体倾覆等问题,而绵竹等地采用梁柱节点现浇、预制柱主筋浆锚连接的装配式结构,实现了“倒而不塌”的抗震目标,充分证明了连接方式对结构抗震性能的重要性。

目前,绿建装配式结构的连接方式主要分为干式连接与湿式连接两大类:干式连接(如螺栓连接、销钉连接)施工便捷、效率较高,但连接刚度较低,地震作用下易出现松动、滑移现象,适用于低烈度地震地区的轻型结构;湿式连接(如灌浆套筒连接、后浇混凝土连接)通过灌浆材料或后浇混凝土将预制构件连成整体,连接刚度与强度较高,可有效传递地震内力,提升结构整体性,适用于中高烈度地震地区的多层、高层结构,但施工工艺要求较高,灌浆不密实等施工缺陷会严重影响连接性能。

### 2.2 结构体系选型

结构体系选型直接决定绿建装配式结构的抗震承载力与变形能力,不同结构体系的抗震性能差异显著,目前工程中常用的主要有装配式剪力墙、框架、框架-剪力墙及钢结构四种类型。其中,装配式剪力墙结构整体性与抗侧移能力较强,适配高层住宅但自重较大、对连接要求严苛;框架结构施工便捷、空间布置灵活,适用于多层公共建筑但抗侧移能力较弱;框架-剪力墙结构兼具两者优势,适配高层住宅与公共建筑;钢结构自重轻、延性好、耗能能力强,适配大跨度、高层及地震多发地区建筑,但成本较高且防火防腐要求严格。此外,结构体系布置的合理性也会影响抗震性能,构件布置不均、抗侧力体系不对称会引发结构受力不均和扭转效应,加剧地震破坏,《装配式混凝土建筑技术标准》也对装配式剪力墙结构的划分高度提出了更严格的要求,相较于现浇结构降低10米。

### 2.3 材料性能

绿建装配式结构的材料性能直接影响构件的承载能力、延性及连接可靠性,进而影响结构整体抗震性能。绿建装配式结构常用材料包括预制构件材料(如轻质混凝土、高强度钢筋、钢结构型材)、连接材料(如灌浆料、高强螺栓、密封胶)及保温节能材料(如复合保温墙板、保温砂浆)。

预制构件材料方面,高强度钢筋、高性能混凝土可有效提升构件的承载能力与延性,减少地震作用下构件的脆性破坏;轻质混凝土可降低结构自重,减小地震荷载,同时具备良好的保温节能性能,契合绿色建筑发展要求。连接材料方面,高强灌浆料需具备较高的强度、流动性及粘结力,确保预制构件连接牢固,传递内力可靠;高强螺栓需具备足够的抗剪、抗拉强度,避免地震作用下出现松动、断裂现象。若材料性能不达标,如灌浆料强度不足、螺栓抗剪能力不够,会直接导致连接失效,大幅降低结构抗震性能。

### 2.4 施工质量

绿建装配式结构的施工质量对其抗震性能的影响不容忽视,施工过程中的构件安装精度、连接施工质量、节点处理效果等,都会直接影响结构的整体性与连接可靠性。

构件安装精度方面,若预制构件安装偏差过大,会导致构件拼接处受力不均,地震作用下易产生应力集中,引发连接失效;连接施工质量方面,灌浆套筒灌浆不密实、螺栓连接扭矩不足等施工缺陷,会降低连接强度,导致构件之间无法有效协同工作;节点处理方面,后浇混凝土振捣不密实、钢筋搭接长度不足等问题,会影响节点的承载能力与延性,地震作用下节点易发生破坏,进而影响整个结构的抗震性能。此外,施工过程中的质量管控缺失,会导致材料浪费、施工缺陷等问题,既违背绿色建筑理念,又降低结构抗震可靠性。

### 三、绿建装配式结构抗震性能优化措施

针对上述影响因素,结合绿建装配式结构的应用场景与结构专业要求,从设计、材料、施工三个核心层面提出抗震性能优化措施,兼顾绿色环保与结构安全,确保结构在地震作用下实现“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震设计目标。

优化结构设计是提升抗震能力的核心举措,需结合地震烈度与应用场景合理选型结构体系,严格遵循“强节点、弱构件”原则优化结构布置,减少扭转效应;同时针对性优化构件连接与节点设计,中高烈度地震地区优先采用湿式连接,低烈度地震地区采用干式连接并强化防松措施,搭配耗能件提升结构延性,结合绿色建筑理念与 BIM 技术优化构件设计、提升施工精度。严控材料质量是保障抗震性能的基础,需建立进场检验与生产管控双重机制,选用高强度、高性能建筑材料,杜绝不合格材料投入使用,同时推广绿色可回收材料,兼顾环保与抗震耐久性。规范施工流程可确保抗震性能落地,需做好施工前技术培训与构件管理工作,严控构件安装精度与连接施工质量,强化节点处理与养护环节,建立完善的质量管控体系,结合智能监测技术,及时整改施工缺陷、提升施工质量,确保各项优化措施落地见效。

### 四、工程实例分析

以某高层绿建装配式住宅项目为例,该项目位于地震烈度 7 度区,总建筑面积 28000 m<sup>2</sup>,地上 18 层,地下 2 层,

### 参考文献

- [1]师育珂.绿色建造理念在智能建造体系中的融合与实践——基于 BIM 与装配式建筑的分析[J].土木工程,2025,14(3):518-523.
- [2]中华人民共和国住房和城乡建设部.装配式混凝土建筑技术标准(GB/T 51231-2016)[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [3]苏小卒,余志武.装配式混凝土框架结构抗震性能试验研究[J].建筑结构学报,2023,44(7):123-130.
- [4]王清湘,李岷昌.绿建装配式钢结构抗震设计与优化[J].土木工程学报,2022,55(11):34-42.

采用装配式剪力墙结构,预制构件包括剪力墙板、楼板、梁、柱等,装配率达到 65%,契合绿色建筑二级标准。该项目在设计、施工过程中,严格按照上述优化措施执行,重点优化构件连接设计与施工质量。

构件连接采用灌浆套筒连接与后浇混凝土连接相结合的方式,剪力墙竖向钢筋采用高强灌浆套筒连接,确保连接强度不低于构件本身强度;楼板与剪力墙、梁与柱的连接采用后浇混凝土连接,增强结构整体性;节点处设置箍筋加密区,采用高强箍筋,提升节点延性。材料选用高强度钢筋(HRB400E)、高性能轻质混凝土(C35),连接材料选用高强度灌浆料(强度等级 CGM-100)与高强螺栓,确保各类材料性能达标。

施工过程中,严格控制构件安装精度,采用 BIM 技术进行施工模拟,优化安装流程;加强灌浆施工质量管控,采用压力灌浆工艺,灌浆完成后进行 7 天保湿养护;对螺栓连接扭矩进行全面检测,确保连接牢固可靠。项目竣工后,经专业机构检测,结构的抗震性能符合《装配式混凝土建筑技术标准》(GB/T 51231-2016)要求,在模拟 7 度地震作用下,结构无明显破坏,构件连接可靠,整体变形符合规范要求,实现了绿色环保与结构安全的双重目标。该项目的实践应用表明,通过科学的设计、严格的材料管控与规范的施工,绿建装配式结构可具备良好的抗震性能,适用于地震多发地区的高层住宅建筑。

### 五、结论

绿建装配式结构作为绿色建筑与建筑工业化融合的核心载体,凭借节能降耗、施工高效、低碳环保的优势,在住宅、公共建筑等领域得到广泛应用,其抗震性能直接关系到建筑结构安全与人员生命财产安全,是行业发展过程中必须解决的关键问题。本文从结构专业视角出发,探析了绿建装配式结构的核心特征与应用场景,分析了构件连接方式、结构体系选型、材料性能及施工质量对其抗震性能的影响,提出了针对性的优化措施,并结合工程实例验证了相关措施的有效性。