

云南复杂地质条件下装配式建筑适配性分析

普 庆

云南省玉溪市建设工程质量监督管理站, 云南 玉溪 653100

[摘要]云南省地处高地震烈度区域,地质构造活跃、地形地貌复杂,传统预制装配式结构因节点抗震性能薄弱、整体刚度适配性差,难以在省内规模化推广。基于此,文中跳出传统装配式结构应用思维,从新型装配式建造工法、整体厨卫一体化装饰装修、智慧建筑数字化管控三大维度,开展复杂地质条件下装配式建筑适配性研究。文章系统分析了云南地质构造、地形地貌及地质灾害对装配式建筑应用的约束机制,从建造模式、集成装修、智慧运维三方面研判核心适配短板,梳理技术、经济、政策三大制约因素,针对性地提出适配云南高抗震、复杂山地工况的装配式优化策略。研究结果可为云南地区装配式建筑差异化推广、建筑产业绿色智能化升级提供理论参考与实践支撑。

[关键词]云南; 复杂地质条件; 装配式建造; 集成装修; 智慧建筑; 抗震适配性

DOI: 10.33142/ec.v9i8.20230

中图分类号: TU191

文献标识码: A

Adaptability Analysis of Prefabricated Buildings under Complex Geological Conditions in Yunnan

PU Qing

Yunnan Yuxi Construction Quality Supervision and Management Station, Yuxi, Yunnan, 653100, China

Abstract: Yunnan Province is located in a high seismic intensity area with active geological structures and complex topography. Traditional prefabricated structures are difficult to promote on a large scale in the province due to weak seismic performance of nodes and poor overall stiffness adaptability. Based on this, the article breaks away from the traditional application thinking of prefabricated structures and conducts research on the adaptability of prefabricated buildings under complex geological conditions from three dimensions: new prefabricated construction methods, integrated kitchen and bathroom assembly and decoration, and digital control of smart buildings. The article systematically analyzes the constraint mechanisms of Yunnan's geological structure, topography, and geological hazards on the application of prefabricated buildings. It identifies the core adaptation shortcomings from three aspects: construction mode, integrated decoration, and intelligent operation and maintenance. It summarizes the three major constraints of technology, economy, and policy, and proposes targeted optimization strategies for prefabricated buildings that are suitable for Yunnan's high seismic resistance and complex mountainous conditions. The research results can provide theoretical reference and practical support for the differentiated promotion of prefabricated buildings and the green and intelligent upgrading of the construction industry in Yunnan region.

Keywords: Yunnan; complex geological conditions; prefabricated construction; integrated decoration; smart buildings; seismic adaptability

引言

装配式建筑凭借施工高效、低碳节能、质量可控等优势,成为行业高质量发展的主流模式^[1]。云南省位于青藏高原东南断褶带,隶属喜马拉雅强地震带,地震动参数区域差异显著。特殊的地质工况导致传统梁柱预制装配式结构节点延性不足、整体协同抗震能力弱,无法适配云南高抗震、复杂场地的建设要求。当前行业针对云南装配式建

筑的研究多聚焦传统结构体系优化,忽视了装配式建造工法革新、全屋集成装修、智慧建筑赋能的适配价值^[2]。基于地域地质特征,构建适配云南高烈度抗震、山地复杂工况的装配式发展路径。

1 新型装配式建筑体系核心特征与地域适配优势

1.1 革新装配式建造模式核心特点

区别于传统预制混凝土构件拼装的粗放式建造,适配

云南地质条件的新型装配式建造模式以模块化干式施工、柔性节点装配、轻量化集成建造为核心,通过柔性连接构造适配山地地基微量形变,同时轻量化构件设计能有效降低建筑自重^[3]。现阶段适配云南工况的主流建造体系为钢混混合装配式、轻型钢框架装配式体系,兼具刚度稳定性与变形耗能能力,规避了传统预制混凝土结构抗震短板。

1.2 整体厨卫集成装修装配式优势

整体厨房、整体浴室作为装配式集成装修的核心模块,是适配云南建筑发展的重要装配式应用形式,区别于传统现场零散装修模式,具备标准化、集成化、抗震稳定性强的突出优势。整体厨卫通过工厂一体化预制生产,将墙体、吊顶、防水、管线、洁具厨具等模块集成一体,现场仅需精准吊装拼接,无需现场砌筑、抹灰、防水涂刷等湿作业。

从地域适配性来看,云南整体气候偏干燥,但区域内降雨集中、局部山地湿度波动大,加之区域地质活动频繁,传统装修极易出现墙体开裂、防水层脱落、管线错位等问题,而整体厨卫集成模块采用一体化成型工艺,整体性强、抗形变能力突出,可有效抵御地基轻微不均匀沉降与地震晃动带来的破坏;同时模块化装配施工工序简洁,可大幅缩短山地工程施工周期,减少野外施工受雨季、地质灾害的影响,适配云南山地施工条件差、气候复杂的工况特点^[4]。

1.3 智慧建筑装配式赋能优势

结合云南多山地、海拔偏高的特点,装配式建筑采用工厂提前预制构件,搭配 BIM 技术提前排布好管线,屋内配齐整套智能线路、一体化厨卫。进门配有无感安防、室内温湿度感应,手机就能远程操控家电小区里同样用装配式建造的智慧配套用房,装上智能门禁、高空抛物监测、电梯智能联网系统,打造便捷生活圈。房屋内部采用管线分离式装修,提前预留适老化改造空间,康养户型能灵活调整布局。建造施工阶段,扬尘、噪音污染和建筑垃圾都会大幅减少,践行低碳环保理念^[5]。

2 云南复杂地质与气候工况综合分析

2.1 高烈度抗震地质特征

云南省地处欧亚板块与印度洋板块碰撞挤压核心区域,境内分布小江、红河等多条大型活动断裂带,全域90%以上区域抗震设防烈度为7度及以上,部分核心区域达8~9度高烈度设防,地震活动频率高、强度大、影响范围广。区域地壳活动性强,场地土类型复杂,地基土刚度不均,极易发生地基不均匀沉降。传统装配式混凝土结构刚性拼接节点抗变形、抗疲劳能力差,强震下易出现节点开裂、构件脱落等安全隐患,这也是传统装配式结构难以在云南推广的核心原因,而柔性装配体系、集成装修模

块、智慧监测体系可有效适配该抗震特征。

2.2 山地复杂地形地貌特征

云南山地、高原面积占比超90%,坝区平缓用地稀缺,地形切割剧烈、坡度起伏大,施工作业面狭小、大型设备进场困难。高海拔区域存在季节性冻融土层,易引发地基冻胀融沉;山间盆地沉积层土质松散、地基承载力低,需专项地基加固处理。复杂地形导致传统装配式大件构件运输、吊装难度极大,施工成本高、精度难以保障,而轻量化、模块化、小型化的新型装配式建造体系与集成厨卫模块,可适配狭小场地施工,降低山地施工难度。

2.3 区域地质灾害与气候特征

云南是地震、滑坡、泥石流、山洪等地质灾害高发区,汛期强降雨易诱发浅层土体滑移、沟谷泥石流冲击,对建筑基础、围护结构、装修体系造成破坏。同时昼夜温差大,对装配式建筑的结构稳定性、装修耐久性、风险预警能力提出更高要求,亟需通过集成装配技术与智慧监测系统提升建筑防灾耐候性能。

3 云南复杂地质下新型装配式建筑适配性分析

3.1 装配式建造工法适配性

针对云南高抗震、山地复杂工况,轻量化、柔性化的新型装配式建造工法适配性显著优于传统装配式结构。一是结构抗震适配,钢混混合装配式、轻型钢结构装配式体系自重轻、阻尼比合理,搭配柔性拼接节点,具备良好的变形耗能能力,可有效消耗地震能量,抵御高烈度地震作用,同时能适配地基轻微不均匀沉降,避免结构整体开裂破坏;二是山地施工适配,模块化拆分后的小型预制构件、集成模块无需大型吊装设备,可通过分段分层吊装、滑移就位等工艺适配狭小山地作业面,解决传统大件构件施工难题;三是工期适配,干式装配施工不受雨季、场地积水影响,可全天候施工,规避云南多雨气候对施工进度的制约。

3.2 整体厨卫集成装修适配性

整体厨房、整体浴室一体化装配式装修体系,高度适配云南复杂地质与气候环境,解决了传统装修适配性差的痛点。其一,结构整体性适配,整体厨卫为工厂一体化成型模块,无现场拼接缝隙,整体刚度均匀,在地震晃动、地基微量形变作用下,不会出现传统墙砖、地砖开裂脱落,防水层破损渗漏等问题,适配高震地质工况;其二,耐候性适配,模块采用防水、防潮、抗温差形变的专用复合材料,可抵御云南高湿、昼夜温差大的气候影响,杜绝霉变、开裂病害;其三,施工适配,集成厨卫现场装配工序简单,无需湿作业,大幅减少山地施工现场材料堆放、设备调度压力,适配狭小施工场地,同时可有效规避山区施工扬尘、

污水污染，保护云南脆弱的生态环境。

3.3 智慧建筑体系适配性

智慧建筑体系可实现装配式建筑全周期安全管控，精准适配云南复杂地质灾害风险。在设计施工阶段，依托 BIM 技术完成装配式构件、集成厨卫模块的参数化建模与碰撞检测，结合场地地质勘察数据优化模块拆分、节点设计与施工方案，规避山地地形、地基缺陷带来的装配隐患；在施工阶段，通过智慧工地物联网系统，实时监测边坡位移、地基沉降、构件吊装精度、节点应力变化，实现施工风险动态预警与闭环管控；在运维阶段，搭载结构健康监测、地震预警、地质灾害监测传感器，实时采集建筑运行数据，提前预判结构疲劳、地基形变、灾害冲击风险，解决云南偏远山地建筑运维监测难度大、风险响应滞后的难题，全方位提升装配式建筑安全储备。

4 云南装配式建筑推广的核心制约因素

4.1 技术因素

一是适配高烈度抗震的装配式核心技术不完善，目前国内通用装配式建造标准、集成厨卫设计规范多针对平原地区，缺乏适配云南高震、山地形变特征的柔性节点设计、模块抗形变技术标准，本地企业对钢混混合装配式、轻量化集成建造技术掌握不足；二是集成装修与主体结构适配性技术欠缺，整体厨卫模块与装配式主体的连接固定、防水防渗、形变协同技术不成熟，易出现衔接缝隙、受力不均等问题；三是智慧建筑融合应用程度低，多数装配式项目仅简单套用智慧工地设备，未结合云南地质灾害特征搭建专属监测预警系统，BIM 技术未实现设计、生产、施工、运维全流程贯通，智慧赋能效果有限；四是山地预制构件运输、精准装配施工技术不成熟，施工人员专业化水平不足，影响工程质量。

4.2 经济因素

首先，云南山地交通条件差，装配式集成模块、智慧监测设备运输成本高，偏远县域缺乏标准化预制生产基地，模块需跨区域调运，叠加山地转运难度大，大幅提升材料与物流成本；其次，复杂地质条件下需开展专项地基加固、边坡防护、地质灾害治理工程，增加了装配式项目的基础建设成本；最后，新型装配式建造、集成装修、智慧建筑均为新兴技术，本地专业施工团队、技术设备储备不足，需额外投入技术培训、设备采购成本，导致项目整体造价高于传统建筑，市场推广积极性不足。

4.3 政策因素

当前国家及云南省装配式建筑扶持政策多针对传统装配式结构体系，未结合本地高抗震、山地地质特征，针

对性缺失明显。一是缺乏专项技术标准，暂无适配云南复杂地质的装配式模块化建造、整体集成装修、智慧建筑运维地方规范，设计、施工、验收无专属依据；二是产业扶持政策不完善，现有财政补贴、税收优惠政策未向新型装配式、智慧化装配式项目倾斜，市场主体转型升级动力不足；三是监管体系滞后，未建立适配集成装修、智慧装配式建筑的全流程质量溯源监管机制，行业标准化、规范化发展程度低。

5 复杂地质下云南装配式建筑适配优化策略

5.1 构建地域适配的装配式技术体系

聚焦云南高抗震、山地复杂工况，重构装配式建筑技术体系，摒弃传统刚性装配模式。一是优化装配式建造技术，推广钢混混合、轻型钢结构装配式体系，研发适配高烈度地震的柔性耗能连接节点，优化模块拆分设计，采用小型化、轻量化预制构件，适配山地狭小施工场地；基于性能的抗震设计方法（PBSD），结合场地地震参数、地基条件差异化制定装配抗震方案。二是升级集成装修技术，优化整体厨卫与主体结构的柔性连接工艺，研发抗形变、高防水的集成模块衔接构造，适配地基微量沉降与地震晃动，同时针对云南高湿气候优化模块防潮、防霉、抗老化性能。三是深化智慧建筑融合应用，搭建适配云南地质特征的装配式智慧管控平台，整合 BIM 建模、物联网监测、地震预警、地质灾害预警功能；建立装配式建筑数字孪生模型，精准预判结构安全风险。四是针对性地优化山地施工工法，推广分段分层吊装、构件滑移就位、干式快速装配技术，配套边坡智能监测设备。

5.2 打造全链条降本增效模式

针对云南装配式项目造价偏高问题，从生产、运输、施工、运维全链条优化降本。一是本地化产能布局，在各州市核心区域搭建装配式模块预制生产基地，重点生产集成厨卫、轻型装配构件，减少跨区域长途运输成本，针对偏远山区设置临时预制加工点，就地取材、就地生产。二是数字化降本，依托 BIM 系统实现构件标准化设计、精准下料，减少原材料损耗，优化施工工序，压缩交叉作业工期，降低劳务与设备租赁成本。三是资源共享降本，推动政企、校企合作，搭建装配式产业协同平台，共享吊装设备、智慧监测设备、专业技术团队，分摊固定资产投入成本。四是工艺降本，全面推行干式装配施工，减少地基处理、现场湿作业等增量工程，依托智慧系统减少返工、病害维修成本，实现全生命周期降本增效。

5.3 建立专属化产业扶持体系

结合云南地质特征与产业发展需求，完善差异化装配

式建筑政策体系。一是编制地方专项技术标准,出台适配高烈度抗震、山地工况的装配式模块化建造、整体厨卫集成装修、智慧建筑运维地方规范,明确设计、施工、装配、验收全流程技术要求,填补地域技术标准空白。二是优化产业扶持政策,加大对新型装配式、集成装修、智慧装配式建筑项目的财政补贴、税收减免力度,对星级绿色智慧装配式项目给予专项奖补,降低企业转型升级成本。三是健全质量监管体系,构建覆盖模块生产、现场装配、智慧施工、后期运维的全链条质量溯源监管机制,压实各参建主体责任。四是强化人才培育,依托本地高校、职业院校开设装配式建筑、智慧建筑相关专业,开展施工人员专项技能培训,培育本地化专业技术团队,夯实产业发展基础。

6 结论

以新型装配式柔性建造、整体厨卫集成装修、智慧建筑数字化管控为核心的现代化装配式体系,可完美适配云南高抗震、多灾害、山地施工条件差的地域特征。未来需立足地域地质特征,通过技术创新构建柔性化、集成化、

智能化的装配式技术体系,推动云南建筑业实现绿色化、智能化高质量发展。

[参考文献]

- [1]江晓欣.装配式建筑发展水平时空特征及提升路径研究[D].郑州:郑州大学,2025.
- [2]孔垂炼,赵星.云南加快推进装配式建筑发展[N].云南经济日报,2023-09-08(01).
- [3]赵林姣,韩利红.双碳背景下装配式立体绿化建筑的发展[J].绿色建筑,2023,15(1):63-65.
- [4]罗静.云南省装配式建筑发展制约因素及对策研究[D].昆明:昆明理工大学,2022.
- [5]闫积刚.装配式建筑与城市更新融合发展的适配性及实施路径研究[J].住宅产业,2026(4):54-56.

作者简介:普庆(1981—)女,云南玉溪市人,高级工程师,重庆大学工程管理专业毕业,现就职于云南省玉溪市建设工程质量监督管理站,从事建设工程质量安全监督管理工作。