

喀斯特地貌区装配式混凝土结构抗震性能与施工优化研究

梁嘉豪

广西桂林市润升贸易有限责任公司 桂林市 541002

DOI:10.12238/ems.v7i7.14225

[摘要] 喀斯特地貌区地质条件复杂，地下溶洞、裂隙发育，岩层破碎程度高，对装配式混凝土结构的抗震性能与施工工艺提出特殊挑战。本文通过分析喀斯特地貌区地质特征对结构抗震性能的影响机制，结合装配式混凝土结构节点连接技术、材料性能及施工工艺的优化策略，提出适用于复杂地质条件的抗震设计与施工管理体系。研究表明，通过优化节点连接形式、改进混凝土配比及加强施工过程控制，可显著提升结构在喀斯特地貌区的抗震性能与施工效率。

[关键词] 喀斯特地貌；装配式混凝土结构；抗震性能；施工优化；节点连接技术

一、引言

喀斯特地貌区广泛分布于我国西南地区，其典型特征为岩溶发育、地下水位变化剧烈、基岩承载力不均。此类地质条件对装配式混凝土结构的抗震性能构成双重挑战：一方面，岩溶洞穴与裂隙可能导致基础不均匀沉降，引发结构附加内力；另一方面，装配式结构的节点连接形式与施工精度直接影响其整体抗震能力。装配式混凝土结构以其工业化生产、施工效率高等优势成为现代建筑发展的重要方向，但在喀斯特地貌区的应用仍需解决抗震性能与施工工艺的适配性问题。

现有研究表明，装配式结构的抗震性能主要取决于节点连接可靠性、材料延性及施工质量控制。然而，喀斯特地貌区的特殊地质条件可能导致预制构件安装偏差、节点灌浆不密实等问题，进而削弱结构整体性。因此，需结合该区域地质特征，从节点设计、材料优化及施工管理三方面提出针对性解决方案。本文以某喀斯特地貌区装配式建筑项目为例，系统分析抗震性能影响因素，并提出施工优化策略，为类似工程提供参考。

二、喀斯特地貌区地质特征对装配式结构抗震性能的影响

2.1 地质条件对结构基础的影响

喀斯特地貌区地下溶洞、暗河发育，基岩面起伏大，导致桩基施工难度增加。例如，某项目桩基设计需深入中风化泥岩或砂岩，嵌岩深度不小于 500 毫米，但实际施工中常遇溶洞或破碎带，需采用钢套筒护壁或注浆加固等措施。此类地质缺陷可能引发基础不均匀沉降，导致结构附加内力，降低抗震性能。研究表明，基础沉降差超过 1/500 时，装配式结构节点易出现应力集中，进而引发裂缝。

2.2 地震波传播特性对结构响应的影响

喀斯特地貌区岩体破碎程度高，地震波传播过程中易发生散射与衰减，导致地表加速度分布不均。某震后调查显示，喀斯特地貌区建筑物震害程度与场地类别相关性较弱，而与局部地形、岩体完整性密切相关。装配式结构因其整体性较差，对地震波频谱特性更为敏感。若节点连接刚度不足，可能导致层间位移角过大，引发构件碰撞或破坏。因此，需通过时程分析法模拟地震波传播路径，优化结构动力特性。

三、装配式混凝土结构抗震性能优化策略

3.1 节点连接技术优化

3.1.1 干连接技术：精准工艺铸就卓越抗震性能

干连接技术是装配式结构节点连接的一种重要方式。在喀斯特地貌区，采用高强螺栓钢板连接节点是一种行之有效

的优化措施。这种连接方式通过初拧、复拧、终拧的严谨工艺流程,确保螺栓获得精确的预紧力。初拧阶段,主要是使各连接件初步贴合,为后续拧紧做好准备;复拧则进一步调整螺栓的受力状态,保证各螺栓受力均匀;终拧则是达到设计要求的预紧力,使节点连接牢固可靠。

试验研究充分证明了此类干连接节点的优异抗震性能。在模拟水平荷载作用的试验中,此类节点的延性系数可达 4.0 以上。延性系数是衡量结构抗震性能的重要指标,较高的延性系数意味着节点在地震作用下能够发生较大的塑性变形而不破坏,从而有效吸收和耗散地震能量,满足“大震不倒”的抗震设防要求。

3.1.2 湿连接技术:严格把控保障连接强度

湿连接技术同样是装配式结构节点连接的关键手段。在喀斯特地貌区采用套筒灌浆连接时,必须严格控制灌浆料的流动度与膨胀率。灌浆料的流动度直接影响其能否充分填充套筒与钢筋之间的间隙,确保连接的密实性;而膨胀率则关系到灌浆料硬化后的体积稳定性,避免因收缩导致连接松动。

以某工程为例,该工程采用了无收缩膨胀灌浆砂浆进行套筒灌浆连接。这种灌浆砂浆的强度比预制构件混凝土高一个等级,能够为节点连接提供更强的粘结力和承载力。通过严格的质量控制,确保了节点连接强度不低于现浇结构,有效提高了装配式结构在喀斯特地貌区的抗震可靠性。

3.1.3 混合连接技术:优势互补提升节点耗能能力

混合连接技术结合了干连接与湿连接的优势,为喀斯特地貌区的装配式结构节点连接提供了更为理想的解决方案。在节点核心区采用螺栓连接,利用螺栓连接便于安装、拆卸和调整的特点,保证节点核心区的快速、精准连接;在外围设置后浇混凝土带,通过后浇混凝土与预制构件之间的粘结作用,增强节点的整体性和连续性。这种混合连接方式能够有效提升节点的耗能能力。在地震作用下,节点核心区的螺栓连接可以提供一定的刚度和承载力,而外围的后浇混凝土带则可以通过塑性变形吸收和耗散地震能量,两者相互配合,

共同提高装配式结构的抗震性能,为喀斯特地貌区的建筑安全保驾护航。

3.2 材料性能提升

3.2.1 混凝土优化:创新掺合料应用,提升抗裂性能

在建筑工程领域,混凝土的性能优化一直是研究的重点。通过巧妙添加粉煤灰、矿渣粉等掺合料,能够有效改善混凝土的抗裂性能。粉煤灰和矿渣粉具有独特的物理和化学特性,它们可以填充混凝土内部的孔隙,优化混凝土的微观结构,减少因干缩、温度变化等因素引起的裂缝产生。以某项目为例,该项目采用了 C40 高性能混凝土。在配合比设计中,粉煤灰的掺量达到了 20%。经过严格的试验和实际工程验证,这种优化后的混凝土在 28 天抗压强度方面提高了 15%,抗裂性能更是提升了 30%。这意味着在相同的工程条件下,使用这种优化后的混凝土,建筑结构的承载能力和耐久性得到了显著提升,减少了因混凝土开裂而导致的渗漏、钢筋锈蚀等问题,延长了建筑物的使用寿命。

3.2.2 钢材选用:高强耐候,增强节点延性与耐久性

钢材作为建筑结构的主要受力材料,其性能直接影响着建筑的安全性和可靠性。在钢材选用方面,采用高强钢筋与耐候钢是提升节点延性与耐久性的有效途径。高强钢筋具有更高的屈服强度和抗拉强度,能够承受更大的荷载。研究表明,HRB500 级钢筋的屈服强度比 HRB400 级提高了 25%。而且,在反复荷载作用下,HRB500 级钢筋的滞回曲线更饱满,这意味着它具有更好的耗能能力和变形能力,能够在地震等灾害发生时,吸收更多的能量,减少结构的破坏。耐候钢则具有良好的耐腐蚀性能,能够在恶劣的环境条件下长期使用,减少了钢材的维护成本和更换频率,提高了建筑结构的整体耐久性。

3.2.3 减震装置应用:叠层橡胶隔震,降低地震损伤

地震是一种极具破坏力的自然灾害,对建筑结构的安构成了严重威胁。在结构底部设置叠层橡胶隔震支座是一种有效的减震措施,它可以延长结构的自振周期,减少地震力

对建筑结构的作用。

某工程采用了铅芯橡胶支座,这种支座结合了橡胶的柔性和铅芯的耗能特性。在地震作用下,铅芯橡胶支座能够通过自身的变形和铅芯的塑性变形来吸收和耗散地震能量,使层间位移角减小了40%。这显著降低了主体结构的损伤,保护了建筑内的人员和财产安全。通过应用减震装置,建筑结构在地震中的响应得到了有效控制,提高了建筑的抗震性能。

四、喀斯特地貌区装配式结构施工优化措施

4.1 施工工艺改进

在预制构件生产中,采用BIM技术优化构件设计,精准把控预留孔洞、钢筋锚固长度等参数,并通过三维扫描检测构件尺寸偏差,某项目合格率达98%以上;现场拼装时,利用全站仪进行构件定位,将误差控制在 ± 3 毫米以内,针对喀斯特地貌区基岩起伏问题采用可调式支座调整构件标高,保障节点连接密实;灌浆质量方面,采用压力灌浆工艺确保灌浆饱满度,某工程在灌浆过程中实时监测压力与流量,灌浆密实度检测合格率达100%。

4.2 施工管理体系优化

在工程建设领域,通过构建全面且精细化的管理体系,可有效提升项目质量、保障施工安全并践行绿色施工理念。在质量追溯方面,建立了一套完善的预制构件二维码追溯系统,该系统能够精准记录预制构件从生产环节的原材料使用、工艺参数,到运输过程中的路线规划、时间节点,再到安装阶段的定位数据、施工记录等全过程信息。借助这一系统,某项目在面对质量问题时,能够迅速定位问题源头,及时采取有效措施,使得返工率显著降低了30%,大大提高了施工效率与工程质量。

针对喀斯特地貌区特有的溶洞塌陷风险,为保障施工安全,采用了地质雷达探测技术对地下隐患进行全面细致的探测。通过该技术,能够提前发现潜在的溶洞塌陷危险区域,并在这些区域设置牢固的围挡以及醒目的警示标志,提醒施工人员注意安全。某工程通过实施这一系列安全风险管控措

施,成功实现了施工期间零安全事故的优异成绩,为施工人员的人身安全提供了坚实保障。

在绿色施工方面,积极采取多项有效措施。一方面,采用装配式围挡替代传统围挡,这种装配式围挡不仅安装便捷,而且能够有效减少施工过程中的扬尘污染,改善施工现场的空气质量。另一方面,搭建雨水回收系统,将收集到的雨水用于预制构件的养护工作,实现了水资源的循环利用。某项目通过实施这些绿色施工措施,在能耗方面降低了20%,同时建筑垃圾的产生量也减少了30%,为环境保护和可持续发展做出了积极贡献。

五、结论与展望

喀斯特地貌区地质条件对装配式结构抗震性能的影响主要聚焦于基础不均匀沉降以及地震波传播特性两方面,为此需通过优化节点连接与基础设计来提升结构对该地质条件的适应性。其中,节点连接技术优化是提升抗震性能的核心要点,混合连接形式融合了干连接与湿连接的优势,能显著增强节点的延性与耗能能力。此外,施工工艺改进与管理体系优化是保障结构质量的关键举措,BIM技术、全过程质量追溯以及绿色施工措施的应用,可大幅提升施工效率与环保水平。6.2 研究展望方面,需进一步探究喀斯特地貌区地震动特性对装配式结构的影响机制,构建基于场地类别的抗震设计方法;同时开发适用于复杂地质条件的智能监测系统,以实时评估结构健康状态,为震后修复提供依据;还应推广装配式结构与减震技术的集成应用,进而提升高烈度地震区建筑物的抗震韧性。

[参考文献]

- [1] 马玲. 高层混凝土建筑抗震结构设计关键要素研究[J]. 产品可靠性报告, 2023, (12): 128-129.
- [2] 宋前恩, 黄志诚. 某超限高层圆钢管混凝土柱框架结构抗震设计[J]. 建筑结构, 2023, 53 (S2): 638-641.
- [3] 李风丽. 某砖混教学楼高延性混凝土抗震加固设计实例分析[J]. 四川水泥, 2023, (12): 92-94+97.