

装配式混凝土剪力墙结构节点连接质量无损检测技术应用

袁 达

贵州皓天工程质量鉴定检测有限公司 贵州贵阳 550016

摘 要: 装配式混凝土剪力墙结构在建筑领域应用广泛, 节点连接质量直接关系到结构安全与稳定性。本文聚焦该结构节点连接质量的无损检测, 详细阐述了冲击回波法、超声法、X射线法等多种无损检测方法的原理、特点及应用情况, 并结合实际案例进行分析。通过对比不同检测方法, 为工程实践中选择合适的检测手段提供参考, 以保障装配式混凝土剪力墙结构的施工质量 and 安全性能。

关键词: 装配式混凝土剪力墙结构; 节点连接质量; 无损检测

引言

随着建筑工业化的发展, 装配式混凝土剪力墙结构凭借其施工速度快、质量易控、节能环保等优势, 在现代建筑中得到越来越广泛的应用。在装配式混凝土剪力墙结构中, 节点连接是确保结构整体性和稳定性的关键环节。节点连接质量的优劣直接影响结构在正常使用和地震等极端荷载作用下的性能表现。若节点连接存在缺陷, 如灌浆不饱满、钢筋连接不可靠等, 可能导致结构承载能力下降、变形过大甚至发生破坏, 严重威胁人民生命财产安全。因此, 对装配式混凝土剪力墙结构节点连接质量进行准确、有效的检测至关重要。无损检测技术因其不破坏结构、检测速度快、可大面积检测等优点, 成为装配式混凝土剪力墙结构节点连接质量检测的首选方法。本文将对多种常用的无损检测技术进行详细探讨。

一、装配式混凝土剪力墙结构节点连接形式

(一) 套筒灌浆连接

套筒灌浆连接是装配式混凝土剪力墙结构中应用最为广泛的竖向钢筋连接方式。其原理是通过在套筒内填充高强度灌浆料, 将上下钢筋连接在一起, 实现钢筋应力的有效传递。具体操作时, 先将带肋钢筋插入套筒, 然后从套筒一端注入灌浆料, 使其充满套筒与钢筋之间的间隙。套筒灌浆连接的优点是连接可靠、传力明确, 但施工过程中对灌浆质量要求极高, 若灌浆不饱满或存在空洞, 将严重影响连接性能。

(二) 浆锚搭接连接

浆锚搭接连接是利用预埋在构件中的金属波纹管或

预留孔道, 在孔道内填充灌浆料, 实现钢筋的搭接连接。这种连接方式施工相对简单, 但对孔道的定位精度和灌浆质量同样有严格要求。浆锚搭接连接适用于一定直径范围内的钢筋连接, 在一些多层装配式混凝土建筑中应用较为普遍。

(三) 焊接连接

焊接连接是通过将钢筋端部焊接在一起, 实现节点连接。焊接连接具有连接强度高、整体性好的优点, 但焊接过程中易产生焊接缺陷, 如气孔、裂纹等, 同时对施工人员的技术水平要求较高, 且焊接过程会产生高温, 可能对钢筋的力学性能产生一定影响。

(四) 螺栓连接

螺栓连接是通过螺栓将预制构件连接在一起。螺栓连接施工方便、可拆卸, 但螺栓的紧固程度对连接质量影响较大, 需要定期进行检查和维护, 以确保连接的可靠性。在装配式混凝土剪力墙结构中, 螺栓连接常用于一些次要构件或临时连接部位。

二、无损检测方法原理及应用

(一) 冲击回波法

(1) 原理

冲击回波法是在混凝土表面通过机械冲击激发低频冲击弹性波, 该波传播到结构内部, 遇到缺陷表面或构件底面时会反射回来。冲击弹性波在结构表面、内部缺陷表面或底面边界之间来回反射, 产生瞬态共振, 其共振频率能在振幅谱中辨别出来, 通过分析共振频率的变化来确定内部缺陷的深度和构件厚度。当注浆存在缺陷时, 激振的弹性波在缺陷处会产生提前反射, 同时弹性波绕过缺陷反射回来也会产生滞后反射, 弹性波的滞

后反射所用时间比注浆密实处长。接收器接收到反射的冲击回波后,利用频谱分析技术将时域数据转化为频域数据,然后确定回波的频率峰值。若存在缺陷,其反射应力波频率会减小。例如,在预制混凝土竖向构件之间的灌浆层检测中,如果灌浆层与墙体紧密贴合,应力波可以通过界面进行传播,反射波也会由于边界固结的影响而相对于板厚频率变大;而如果在界面上存在脱层缺陷,脱层处形成混凝土/空气界面,其反射应力波频率会减小。

(2) 应用及特点

现阶段,实验室中冲击回波法可对单排钢筋套筒灌浆密实度进行定性判断,但检测精度有误差;对双排钢筋套筒,难以定性判断密实区与非密实区。实现现场检测需在测试方式、分析方法等方面进一步研究以提高精度和可靠性。该技术主要用于检测混凝土内部缺陷和厚度,能克服其他检测技术的一些缺陷,信号直观、快速、准确。其特点是可快速定性测试和实现缺陷定位,达到测试效率和精度最优化,且是单面检测方法,使用便捷,在混凝土结构检测中广泛应用。但装配式混凝土结构钢筋套筒连接多为多排套筒,需提出多排灌浆孔道密实度检测方法及步骤;且套筒材质会使反射相互抵消影响判别效果,需改进完善检测原理以保证缺陷判别正确率。

(二) 超声法

(1) 原理

超声法通过低频超声仪测量超声纵波在结构灌浆料中的声学参数变化判断缺陷情况。采用对测法,将发射与接收探头置于试件相对面,利用声学参数相对变化分析判断缺陷。在钢筋连接套筒检测中,超声波通过不同密实度的套筒传播路径不同,可据此检测灌浆料密实度。该方法可在装配式节点浇筑混凝土前检测与横向钢筋连接的套筒灌浆料密实度,通过声速和幅值判断与竖向钢筋连接的套筒密实性。

(2) 应用及特点

目前超声法广泛应用于混凝土结构无损检测,CECS21:2000标准记录了检测程序和判定办法。该方法在检测钢筋套筒灌浆密实度有一定应用,但需对测,对探头位置和接触面要求严格,测试费时,不适用于接收探头难进入的构件,还受多种因素干扰,检测效率低、作业性差,难以实用。近年来,国内外研究主要在接收波频谱分析和检取接收波形突变点两方面。在预制剪力

墙底部接缝缺陷检测中,单面平测法和穿透式对测法可有效识别缺陷,纵波直达波信号幅值变化大,可作判断指标,单面平测法适用于快速检测,穿透式对测法适用于局部抽检,现场可综合应用。

(三) X射线法

(1) 原理

放射线具有穿透性和直线性,根据其传播中的衰减、吸收和再生散射定律,将受不同程度吸收的射线投射到X射线胶片上,显影后获对应图像,确定缺陷情况,判定危害性和质量等级。

(2) 应用及特点

目前,大功率X射线技术可在实验室对各种布置形式的钢筋套筒无损检测,但设备庞大、放射性高,无法用于工程现场。小功率便携式X射线机质量小、放射性小、可现场应用,但受设备参数影响,对部分预制剪力墙套筒不能有效成像。大规模现场推广需解决设备放射性和受参数影响程度等问题。便携X射线检测有特定操作要求,适用范围有限,厚度不宜超200mm,仅适用于部分布置形式的预制剪力墙,常需局部破损法验证,检测时有辐射,人员需在安全区域。

(四) 其他无损检测方法

(1) 红外成像法

红外成像法是一种基于物体表面温度分布差异来检测其内部缺陷的高科技技术。具体来说,这种方法通过使用先进的红外热成像仪,精准捕捉物体表面的微小温度差异,进而通过这些温度变化来判断物体内部是否存在潜在的缺陷。这种检测方式具有显著的非接触性特点,避免了直接接触可能带来的二次损伤,同时检测速度相对较快,能够在较短的时间内完成大面积的扫描工作,极大地提高了检测效率。然而,红外成像法在实际应用中也存在一些不容忽视的局限性。首先,它容易受到环境因素的干扰,如环境温度、湿度等,这些因素的变化会导致检测结果的准确性受到一定程度的影响。其次,该方法在缺陷的定量分析方面表现较为薄弱,难以精确确定缺陷的具体尺寸和深度,给后续的修复工作带来一定的困难。尽管如此,红外成像法仍然在装配式混凝土剪力墙结构节点连接质量的初步筛查中发挥着重要作用,尤其是在大面积缺陷区域的识别方面显示出独特的优势。不过,由于其在缺陷性质和程度判断上的不足,通常需要结合其他检测方法进行进一步的确认和分析,以确保检测结果的全面性和可靠性。

（2）探地雷达法

探地雷达法是一种利用高频电磁波的发射和接收来探测结构内部情况的高效技术。具体操作过程中，探地雷达设备会向被检测物体发射高频电磁波，并通过高灵敏度的接收装置捕捉反射回来的电磁波信号，通过对这些信号的特征进行分析，推断出物体内部是否存在缺陷。该方法在检测浅层结构缺陷方面表现尤为出色，特别适用于混凝土内部的钢筋分布、空洞等缺陷的精准检测。然而，探地雷达法的应用也面临一些挑战和限制。首先，该方法对检测人员的技术水平要求较高，需要检测人员具备丰富的实践经验和扎实的专业知识，才能准确解读复杂的雷达数据。其次，数据处理和解释过程相对复杂，通常需要借助专业的软件和先进的算法进行深入分析，增加了操作的难度和复杂性。此外，检测结果容易受到周围环境中金属物体的干扰，这些金属物体可能会引起电磁波的反射和折射，导致信号失真，进而影响检测的准确性和可靠性。尽管存在这些局限性，探地雷达法仍然是一种行之有效的结构内部缺陷检测手段，尤其在混凝土结构的质量评估和隐患排查中发挥着不可替代的重要作用。

三、实际案例分析

（一）工程概况

某装配式混凝土剪力墙结构住宅项目，共18层，采用套筒灌浆连接和浆锚搭接连接方式。为确保结构节点连接质量，在施工过程中采用了多种无损检测方法进行质量控制。

（二）检测方法及结果

在该项目中，首先采用冲击回波法对部分节点进行了快速筛查，初步判断节点连接是否存在明显缺陷。对于疑似存在缺陷的节点，进一步采用超声法进行详细检测，通过对超声纵波传播声时、波幅等参数的分析，确定缺陷的具体位置和范围。同时，选取了少量节点采用X射线法进行验证检测。检测结果显示，在部分节点的套筒灌浆连接中存在灌浆不饱满的情况，通过超声法和X射线法的联合检测，准确确定了缺陷位置和严重程度。对于存在缺陷的节点，及时采取了补救措施，如重新灌浆等，确保了节点连接质量满足设计要求。

（三）经验总结

通过该项目的实践，发现多种无损检测方法联合使用能够有效提高装配式混凝土剪力墙结构节点连接质量检测的准确性和可靠性。冲击回波法可作为快速筛查手段，初步判断缺陷情况；超声法适用于对疑似缺陷区域

进行详细检测，确定缺陷具体信息；X射线法可作为验证手段，对关键节点或复杂缺陷进行精准判断。在实际工程中，应根据项目特点和检测要求，合理选择检测方法，制定科学的检测方案，以保障结构施工质量。

四、结论与展望

（一）结论

装配式混凝土剪力墙结构节点连接质量直接关系到结构的安全性能和使用寿命，无损检测技术在节点连接质量检测中发挥着重要作用。冲击回波法、超声法、X射线法等多种无损检测方法各有其原理、特点和适用范围。冲击回波法检测快速、可单面检测，但对于多排套筒的检测精度有待提高；超声法应用广泛，但对检测条件要求苛刻，检测效率较低；X射线法检测精度高，但设备存在局限性且有辐射风险。在实际工程中，应根据结构形式、节点连接方式、检测成本等因素综合考虑，选择合适的无损检测方法或多种方法联合使用，以实现装配式混凝土剪力墙结构节点连接质量的准确、高效检测。同时，通过实际案例分析可知，严格按照检测方案进行检测，并对检测结果及时进行分析和处理，能够有效保障节点连接质量，确保装配式混凝土剪力墙结构的安全可靠。

（二）展望

随着科技的不断进步，无损检测技术在装配式混凝土剪力墙结构节点连接质量检测领域将迎来更广阔的发展空间。未来，一方面应加强对现有无损检测方法的改进和优化，提高检测精度和可靠性，降低检测成本和对环境的影响；另一方面，积极探索新的无损检测技术和方法，如基于人工智能、大数据等技术的检测手段，实现对节点连接质量的智能化、自动化检测。此外，还需进一步完善无损检测标准和规范，建立统一的检测质量评价体系，为装配式混凝土剪力墙结构的推广应用提供更有力的技术支持和质量保障。

参考文献

- [1] 顾官琴. 预制装配式混凝土剪力墙施工技术要点与应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (17): 138-140. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202517046.
- [2] 师华伟. 建筑工程新型装配式混凝土剪力墙结构连接节点性能研究[C]// 重庆市大数据和人工智能产业协会, 重庆建筑编辑部, 重庆市建筑协会. 智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(二). 四川顺泰恒建筑工程有限

公司, 2025: 937-940.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2025.026709.

[3] 武瑞印. 基于Navisworks的装配式混凝土剪力墙结构施工工艺优化[J]. 建筑技术开发, 2025, 52(03): 96-99.DOI: 10.20259/j.jzjskf.2025.03.0096.

[4] 刘来福. 装配式建筑混凝土剪力墙结构施工工艺研究[J]. 工程建设与设计, 2025, (05): 190-192.DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2025.03.059.

[5] 刘春晓, 张婷. 土建工程全装配式混凝土剪力墙结构施工技术研究——以某工程项目为例[J]. 房地产世界, 2025, (01): 143-145.

[6] 李晨光, 李行言. 装配式叠合混凝土剪力墙结构施工关键技术研究[J]. 中国住宅设施, 2024, (12): 176-178.

[7] 冯巍. 房建工程中装配式混凝土剪力墙结构施工技术应用分析[J]. 居舍, 2024, (28): 34-37.

[8] 许海珍. 装配式混凝土剪力墙结构抗震性能分析[J]. 江苏建筑职业技术学院学报, 2024, 24(03): 15-18.DOI: 10.19712/j.cnki.jsjyxb.2024.03.016.

[9] 魏子阳. 装配式型钢约束混凝土剪力墙结构体系抗震性能研究[J]. 江西建材, 2024, (07): 313-315.

[10] 王宇轩, 高强, 张歆, 等. 影响装配整体式混凝土剪力墙结构质量的因素及预防措施[C]//《施工技术(中英文)》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2024年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(上册). 北京城建建设工程有限公司, 2024: 163-168.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.028537.