

Research and application of reinforcement treatment scheme for defects in assembled integral concrete structure nodes

Maohu Chen Wenjing Yao

Jiangxi Jianke Engineering Technology Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330077, China

Abstract

As China's urbanization transitions from rapid expansion to stable development, cities are shifting from large-scale growth to a phase prioritizing quality improvement and efficiency enhancement. Promoting high-quality urban development has become the central theme for current and future decade-long progress. However, potential defects in prefabricated concrete structures caused by inadequate construction quality control have emerged as a critical bottleneck hindering sustainable development. Field observations reveal that these structural nodes predominantly exhibit two typical defects: post-pour concrete joints and sleeve grouting joints, primarily attributed to construction conditions, technical proficiency, and worker accountability. Therefore, implementing targeted reinforcement measures for various types of prefabricated concrete joint defects is crucial to ensure the overall structural integrity of buildings.

Keywords

assembled monolithic concrete structure node; defect; reinforcement; application

装配整体式混凝土结构节点缺陷加固处理方案研究与应用

陈茂虎 尧文静

江西省建科工程技术有限公司, 中国·江西南昌 330077

摘要

随着我国城镇化从快速增长期转向稳定发展期, 城市发展正从大规模增量扩张阶段转向存量提质增效为主的阶段, 推动城市高质量发展成为当前及未来十年发展的主题。然而装配整体式混凝土结构房屋因施工质量控制不足导致的潜在缺陷, 已成为制约装配式建筑可持续发展的关键瓶颈。从实践来看, 装配整体式混凝土结构节点易出现后浇混凝土连接节点与套筒灌浆连接节点两大类典型缺陷等问题, 这主要是因施工条件、工艺熟练程度及工人责任心等影响所致。因而, 基于保障房屋建筑整体结构性能, 对于不同类型装配整体式混凝土结构节点缺陷应用针对性的加固处理方案十分关键。

关键词

装配整体式混凝土结构节点; 缺陷; 加固; 应用

1 引言

装配整体式混凝土结构是通过工业化生产的预制混凝土构件, 以钢筋间的可靠连接为基础, 结合现场后浇混凝土、水泥基灌浆料等现浇部分的协同作用, 将各预制构件有效连接为整体。该结构通过“预制+现浇”的组合方式, 使装配式结构与现浇结构在受力性能、整体性及安全性能上实现“等同”效果, 其综合性能基本达到或接近传统现浇混凝土结构的技术要求, 从而满足建筑结构安全的标准^[1]。该种结构建筑自 2016 年在我国民用建筑领域大面积推广应用, 可以提高生产效率高、提高建筑品质、减少资源浪费, 从而保证工期和质量目标、保护环境, 同时可以把室外的事情室内做、工地的事情工厂做、高空的事情地面做、危险复杂的

事情机械或机器人做, 让农民工更安全更体面更有尊严地工作。为满足结构体系整体及局部上受力要求, 其连接节点的性能就显得至关重要。

2 装配整体式混凝土结构节点加固类型

2.1 后浇混凝土连接节点。

通过在预制构件间预留连接区域, 且在安装完成后进行现场浇筑混凝土来达成整体连接的一种方式即为后浇混凝土连接节点。后浇混凝土连接节点在房屋建筑工程中如预制剪力墙、预制框架柱、预制梁、叠合板等关键部位广泛应用, 这得益于其具备适应性强、能形成良好的整体性以及抗震性能。由实践来看, 该节点施工工艺要求颇高, 要是振捣养护或者界面处理未能做到位容易出现局部强度不均以及界面结合力不足的状况, 进而对整体承载能力产生影响。

2.2 套筒灌浆连接节点。

纵向受力钢筋的连接中, 套筒灌浆连接节点发挥着主

【作者简介】陈茂虎 (1989-), 男, 高级工程师, 从事装配式建筑, 智能建造、建筑结构研究。

要作用，其借助专用套筒以及高强灌浆料使上下钢筋得以锚固，应力传递也由此达成。套筒灌浆连接节点在房屋建筑的装配整体式混凝土预制剪力墙以及预制框架柱中应用较广，得益于其具备施工便捷、质量可控性强以及装配效率高等优点，但该节点存在着安全性高度依赖于灌浆饱满度、插入套筒钢筋锚固长度等情况，若存在锚固长度不够或灌浆不密实会导致节点局部承载力不足甚至失效^[2]。

3 装配整体式混凝土结构节点常见缺陷分析

在实际工程中，节点缺陷问题较为突出，主要表现为后浇混凝土连接节点与套筒灌浆连接节点两大类典型缺陷，这些缺陷的产生既与施工阶段的工艺控制密切相关，也受到后期使用环境的影响，对结构整体性能构成潜在威胁。

3.1 后浇混凝土连接节点常见缺陷分析

1) 新旧混凝土界面粘结不足。后浇混凝土连接节点的核心功能是通过新旧混凝土的可靠粘结实现预制构件间的协同受力。在工厂生产的预制构件后浇界面，若未严格执行凿毛或设置键槽处理，将显著降低新旧混凝土的机械咬合作用，使得界面处粘结强度不足，该问题会引发节点在荷载或温度应力下出现剥离、开裂，甚至整体性失效，需通过系统性加固处理恢复界面粘结性能及节点协同受力能力。

2) 钢筋违规（剪断/掰弯）处理。现场施工人员为方便安装，违规剪断预制构件预留连接钢筋（如梁纵筋未锚入节点核心区）或强行掰弯钢筋，将直接破坏“预制-现浇”协同传力路径，导致节点抗拉、抗剪承载力大幅降低，危及结构整体安全。

3.2 套筒灌浆连接节点缺陷

1) 灌浆不饱满。灌浆时浆体的饱满度以及流动性较差，将导致灌浆料无法充分填充套筒内部空隙，易产生夹渣或者空鼓现象，最终致使钢筋和套筒之间的界面粘结力不够，无法有效传递拉压应力。

2) 握裹力不足。套筒锚固钢筋预留长度不足的情况，会直接削弱钢筋与套筒的握裹力，导致节点传力失效，若为关键受力节点（如上下层预制柱-柱节点、预制剪力墙构件连接节点），可能引发局部破坏甚至整体结构失效，后果极为严重。

4 装配整体式混凝土结构节点加固缺陷处理方案

4.1 后浇混凝土连接节点加固缺陷处理方案

4.1.1 界面粘结不足的处理

在装配整体式混凝土结构节点加固环节，如果后浇混凝土连接节点存在界面粘结不稳的情况，就需要使用系统性的加固处置手段。第一，采取凿毛或喷砂等机械方式来处理节点表面，目的是把松散颗粒以及施工污染物给去除掉，让后浇混凝土跟原有结构界面的粗糙度得到增强，进而提升界面的摩擦力以及粘结性能。第二，在处理好的界面涂抹环氧

树脂界面剂或者高性能界面粘结剂，保障后浇混凝土和原结构间构建起可靠且连续的胶结层。值得注意是，要维持界面含水率的适宜，保证施工缝的湿润状态良好，同时在浇筑期间采取分层振捣措施，防止气泡滞留以及离析现象的出现。在关键受力节点处，把钢筋锚固或者植筋技术相结合，达成粘结以及机械锁固的双重强化效果，以此来提升节点整体的承载能力以及结构的整体性^[3]。

例如，在进行某装配整体式混凝土框架高层住宅工程后浇带浇筑结束后的检查环节，察觉到部分梁柱连接节点出现界面粘结不足的状况，局部混凝土和原构件结合面呈现出脱层状况，伴有细微裂缝，即便经过振捣仍有密实度不足的迹象。对此，施工团队先是采用机械凿毛工艺对缺陷区域展开处理，将原混凝土表面的浮浆清除。随后对局部蜂窝麻面位置使用聚合物砂浆进行修补，以此保证界面表面拥有足够的强度和粗糙度，并在界面上均匀地涂刷环氧树脂粘结剂，以此形成可靠的过渡层。在后续进行混凝土浇筑工作时，将塌落度严格控制在了 160mm 左右，以此确保混凝土具备良好的流动性与密实度。对于梁柱交汇处等受力集中的节点，施工人员还通过植筋方式增加了机械锚固，以确保新旧界面能够共同承担受力。后期复检时界面粘结情况符合设计与规范要求，可知经过该系列处理措施，节点的结构完整性和整体受力性能得到了显著提升。

4.1.2 钢筋破坏的处理：钢筋恢复与加固

在装配式整体式混凝土结构开展后浇带施工期间，一旦连接节点部位出现钢筋损坏状况必须借助恢复和加固的措施，保障受力体系具备连续性以及可靠性。首先，借助回弹仪、超声波检测或现场拉拔试验对受损钢筋展开全面检测，以此判定破坏程度，随后结合设计要求来明确修复范围。其次，如果钢筋出现轻度锈蚀或表面剥，能在运用机械除锈以及进行防锈涂层处理之后继续投入使用。并且在关键部位要利用环氧富锌漆或者防腐砂浆来实施保护，防止后期再度发生锈蚀现象。如果钢筋出现断裂截面削弱或是存在明显变形的状况，便需要采用焊接或者机械连接方式来搭接新旧钢筋，保证受力传递顺利。

在某大型公共建筑地下室后浇带施工过程中，施工人员在结构验收进程中察觉到梁柱交接节点处的部分纵向钢筋呈现出锈蚀状况，还存在局部断裂情形。经检测得知在该区域当中钢筋截面的削弱幅度已然超过了 20%，这一情况已经对节点的承载能力产生了影响。施工单位针对这一问题先是运用机械打磨以及喷砂的办法对轻度锈蚀的钢筋展开除锈处理，而后在其表面均匀地涂刷上环氧防腐涂层。对钢筋完全断裂的部位采用直螺纹套筒连接新钢筋的办法予以恢复，保证钢筋在轴向拉力作用时依旧能够形成可靠的力学传递。在此过程中，在焊接部位严格把控热输入情况，以防高温致使钢筋性能降低，完成焊接后运用超声波检测设备来确定接头质量。施工团队在梁柱交汇处节点受力较大之处，为

让整体抗剪性能得到进一步提升采取了增加外包钢板加固措施的做法，且凭借植筋灌浆工艺与原结构达成紧密结合。经荷载试验与无损检测验证加固完成后节点刚度与承载力均达到设计标准，确保了后浇带区域投入使用后的结构安全与耐久性。

4.2 套筒灌浆连接节点加固缺陷处理方案

4.2.1 灌浆不饱满的处理：缺陷定位与补灌修复

在装配整体式混凝土结构里的套筒灌浆连接节点处，一旦发生灌浆不饱满的状况得借助缺陷定位以及补灌修复，以此保证节点受力的完整性。首先，运用工业内窥镜或者超声波探伤等技术方法，针对灌浆区域展开检测工作，明确空鼓部位气泡所在以及未充盈地方的具体范围与位置，并依照节点布置图做好标注从而形成修复的依据。其次，在定位出缺陷区域后，在套筒表面钻设小口径的灌浆孔，将孔道里残留的杂质清理干净以此保证浆液能够顺利进入，补灌材料要选高流动性早强型微膨胀灌浆料，用来保障充盈效果以及粘结强度。在灌浆时可借助振动辅助，采用压力灌注的方式把空气与气泡排出，以此保障浆体处在密实状态。再者，补灌完成之后进行无损检测或拔出试验，以此验证灌浆密实度与钢筋锚固性能能否达到设计要求。

以某装配式商业综合体的梁柱套筒节点施工为例，在验收环节施工人员借助超声波探伤检测察觉到部分节点出现灌浆不饱满的状况，具体呈现为空鼓以及局部未充盈区域。在确认缺陷位置后项目团队依照节点布置图对空鼓点予以标记，在套筒外壁钻设小口径灌浆孔，与此将孔道内残留的灰尘与杂质清理干净，确保浆液通道的畅通无阻。在补灌进程里施工单位择选具有高流动性早强微膨胀特性的灌浆料，借助压力灌注方式把浆液注入到套筒的空隙当中，并且配合手动振动器来排除其中的气泡。在完成灌浆之后运用工业内窥镜对灌浆层的充盈状况展开复查，针对关键节点开展了拔出试验，试验结果表明钢筋锚固力以及灌浆密实度均达到了设计标准，有力地确保了节点的受力连续性，以及整体结构的安全。

4.2.2 握裹力不足的处理：锚固长度增强与节点加固

首先，增强钢筋的锚固，让其在灌浆材料之中形成足够的摩擦和咬合效应，以此增强钢筋和混凝土之间力学结合

的能力。在实施进程里要严格把控钢筋伸进套筒的最小有效长度，而且根据节点受力特性适度增添端部锚固段长度或改为机械锚固，从而确保承载力契合设计要求。其次，设置环向箍筋或采用高强度纤维增强混凝土包裹层等局部加固措施在节点区，凭借改善节点局部受力环境这一方式提升其剪切与弯矩传递能力。再者，施工期间要保证灌浆材料把套筒空隙充分填满，借助振动或者压力灌浆等手段来消除孔隙，避免局部握裹力不足的情况再次发生，以此让节点加固效果达成标准要求。

以某高层装配整体式混凝土住宅楼的套筒灌浆连接节点为例，部分楼层梁端钢筋套筒内部灌浆存在不充分情况，使得节点握裹力不够，当节点承受设计荷载的时候出现了微裂缝。针对此问题施工团队先是把受影响钢筋的锚固长度予以延长，将原本设计的 $12d$ (d 代表钢筋直径) 增大到 $16d$ ，目的是增强钢筋与灌浆混凝土之间的咬合力以及摩擦力。并在梁端和柱的交接位置设置高强度的环向箍筋，在节点区域浇筑纤维增强混凝土包裹层用来改善局部应力分布状况以及抗剪性能。此外在施工操作里利用压力灌浆手段来保证套筒内灌浆饱满，并且借助振动排气把潜在孔隙消除，经现场静载试验表明，处理后节点握裹力显著提高，节点承载力恢复至设计值，微裂缝消除整体结构性能得到有效保障。

5 总结与展望

总而言之，面对装配整体式混凝土结构节点的缺陷，施工单位应当要始终秉持“问题导向”理念，借助精准检测和分级修复技术科学地恢复结构承载能力以及整体安全性。在今后，可将重点放在智能化检测手段，高性能修复材料以及数字化运维管理上，推动节点加固技术迈向精准化、智能化与绿色化。

参考文献

- [1] 范晓霞.钢筋混凝土结构梁柱节点施工处理方法[J].中文科技期刊数据库（全文版）工程技术, 2023(012):000.
- [2] 高红军.现浇结构梁柱节点不同强度等级混凝土防混浇装置及施工工艺[J].陕西建筑, 2023(7):57-62.
- [3] 苏家杰.考虑预制柱连接缺陷的装配整体式框架结构抗震性能研究[D].华南理工大学, 2023.