

装配式混凝土构件预留插筋位置偏差控制方法研究

于宗堂 吴国虎

中化泉州石化有限公司 福建 泉州 362103

[摘要]通过控制构件预留插筋的位置偏差,可有效提升建筑构件的安装质量。为此,提出装配式混凝土构件预留插筋位置偏差控制方法。通过灌浆制作工艺,利用等级为C50的混凝土和直径为12mm钢筋HRB335制作目标构件,并在制作过程中采用坐标控制方法,控制构件制作过程中的预留插筋位置,获取套筒和插筋的横坐标、纵坐标位置。分别从控制后的插筋位置偏差计算结果和有限元模型的力学性能模拟测试两方面分析控制后的效果。通过对比偏差计算结果与工程标准可知,利用所提方法控制后的位置偏差结果较小,偏差范围在0~2.5mm范围,并且目标构件的切向和法向性能较好,受力均匀,表明控制方法具备控制有效性,可降低预留插筋位置偏差,保证建筑质量。

[关键词]装配式;混凝土构件;预留插筋;位置偏差控制;有限元模型;坐标控制方法

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2020.03.155

1 引言

插筋是用于建筑浇筑前的施工步骤,在该步骤中将一段钢筋提前置入混凝土构件中,其置入时需结合构件的尺寸情况,并且插筋的数量、尺寸应和构件的纵筋保持一致^[1]。在装配式混凝土建筑中,混凝土构件是关键性构件,对该构件实行现场装配完成建筑建设。装配式混凝土构件在实际工程应用以及安装过程中,插筋位置如果出现偏差,会导致装配式混凝土构件安装后质量不符合工程标准甚至无法成功安装^[2]。因此,装配式混凝土构件预留插筋位置偏差对建筑质量以及建设结果的影响巨大。

为了确保装配式混凝土构件预留插筋的成功安装并保证安装结果符合工程质量标准,本文研究装配式混凝土构件预留插筋位置偏差控制方法,有效控制插筋位置偏差,保证安装后的工程质量符合标准,并对安装后的构件实行相应力学性能测试,以此进一步验证插筋位置偏差控制的有效性。

2 装配式混凝土构件预留插筋位置偏差控制方法

2.1 工程概况

本次研究对象为某工程建筑,其占地面积约为60614m²。地上3层以下和4层及以上为两种不同结构,分别为钢筋混凝土以及装配式结构。28~30#楼,共3栋单体,为剪力墙结构,且为装配整体式建筑^[3],均为19层,规划高度62.95m,首层4.2m,标准层高3m。部分区域层高有所变化。

剪力墙结构是装配式结构中的承重墙,其具有重要作用。其在使用过程中需要与其他构件实行连接,才能够实现建筑安装,其与其他构件的连接则是通过预留插筋完成,因此其必须满足工程要求标准^[4]。灌浆法是其制作工艺,插筋是在灌浆前插入待灌浆墙体内,但是插筋插入过程中,其定位准确率较低,但是质量要求则较高,因此插筋位置偏差控制是施工安装的重点以及难点。

2.2 构件制作

2.2.1 制作器具

以装配式混凝土构件为目标构件,其制作过程中需要使用器具明细为量筒、温度计、搅拌机、灌浆筒、电子称、灌浆泵、灌浆枪、全灌浆套筒

2.2.2 制作方案和流程

构件的制作工艺为灌浆制作,灌浆料为混凝土,强度等级为C50;钢筋为HRB335,直径为12mm,钢筋螺旋段环外径尺寸为70mm,螺旋间距的距离有两种,40以及70mm;金属波纹管外径长度为40mm。

构件制作流程如下所述:

(1) 完成插筋连接、确定金属波纹管以及木模板材料的使用量。

(2) 将插筋和金属波纹管插入模型中。

(3) 实行灌浆浇筑混凝土,并对其实行振捣处理。

(4) 将浇筑以及处理后的构建养护一周后,取下模型,继续养护三周后,实行二次灌浆操作,再一次对其实行养护,持续时间为四周,完成养护,形成装配式混凝土构件^[5],即目标构件制作完成。该套筒结构用图1描述。

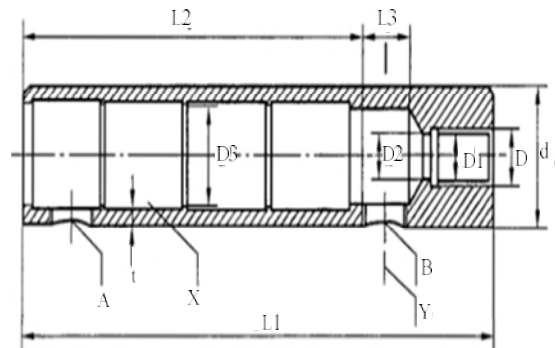


图1 灌浆套筒结构示意图

图1中:L1~L3描述三种长度,依次分别对应为灌浆套筒、锚固、现场装配端预留插筋安装调整;灌浆套筒壁厚、筒外径分别用 t 、 d 描述;两种直径分别用 D 、 $D1$ 描述,分别对应内螺纹的公称和基本;灌浆套筒固端环形突起部分的内径、该其与灌浆端连接处的通孔直径分别用 $D2$ 、 $D3$ 描述;灌浆孔、排浆孔分别用 A 、 B 描述;预制墙体、强度验算截面分别用 X 、 Y 描述。

2.2.3 目标构件安装及节点施工要求

施工步骤:

(a) 目标构件为竖向时,对其实行吊装操作时,要慢起后迅速升高,达到预计位置时缓慢放下。

(b) 为保证灌浆在操作时良好的流动性,目标构件与接触面之间的距离要求标准为20mm^[6],同时为保证目标构件安装高度符合标准,可采用厚度低于10mm的垫铁,对空隙实行处理。

(c) 对目标构件内的吊环实行完好检查,是吊装操作前的必须步骤,检查内容包括吊环规格、型号、位置。检查无误后,正式操作前,需对构件采取试吊,该过程中,构件与地面之间距离必须小于0.5m。试吊正常后,根据起吊操作级别依次增加升高速度,不可采取跨越式操作^[7]。目标构件下放过程中,为保证其稳定就落,采用揽风绳在目标构件吊装下放过程中对其实行控制。

(d) 吊装过程中,目标构件在下放过程中,下放速度需

根据实际情况调整，其与安装面的位置距离为1.6m时下落速度需缓慢；当预留插筋与预留灌浆管全部对齐，并且保证能够准确无误完成下落插入时，继续下放，且保证下降速度缓慢。其与安装面的位置距离为0.3m时，需实行初步定位，该操作由安装人员手动或者借助相应工具完成^[8]。

(e) 目标构件达到指定位置后，利用坐标计算方法计算插筋位置偏差结果，控制其误差在工程标准范围内，将预留插筋与预留灌浆管完全插入，并对其实行临时固定，该固定操作使用螺栓和螺母完成，并且结合可调式斜支撑上下连接板；当确定目标构件为垂直时，去除吊钩^[9]。

(f) 初步固定后，必须对其进行稳定固定，其需在目标构件的某一侧面同时使用两个斜支撑完成，并且其固定时与水平面的角度需大于60°。清理目标构件上的套筒，并将螺栓安装完成^[10]，其安装时与构件表面的距离应在32mm左右。

安装斜向支撑：其在安装时，在螺杆上套上垫板，且保持方向相同，对撑杆实行转动操作；同时在螺栓上套上垫板，且为相反方向。完成上述操作后，对斜撑实行转动操作，对目标构件的垂直情况实行初步调整，完成调整后松开构件吊钩。按照上述步骤对下一目标构件实行斜向支撑安装^[11]。

(g) 固定完成后，需对目标构件的垂直情况完成校正。

2.2.4 工程要求标准

目标构件的连接通过灌浆套筒完成，其为直螺纹钢筋，并且满足JGJ107的规定标准^[12]，预留插筋位置偏差标准详情用表1描述。

表1 预留插筋位置偏差标准

插筋类型		偏差标准范围/mm
连接钢筋	中心线位置	5
	长度	±10
灌浆套筒连接钢筋	中心线位置	2
	长度	3
安装用预埋件	中心线位置	3
	水平偏差	3
斜支撑预埋件	中心线位置	±10
普通预埋件	中心线位置	5
	水平偏差	3

2.3 坐标计算方法

2.3.1 计算方程

插筋有多种插入方式，组合三角形则是所有插入方式的共同点，因此，为保证预留插筋位置偏差的控制，可通过求解三角形的各个点坐标完成^[13]。

坐标的计算包含两种情况，第一种情况为：

C点坐标 (x_c, y_c) 的求解需通过函数方程完成，为：

$$x_c = b \cos \left(\cos^{-1} \left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \right) + \tan^{-1} \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \right) \quad (1)$$

$$y_c = b \sin \left(\cos^{-1} \left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \right) + \tan^{-1} \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \right) \quad (2)$$

式中：三角形的三条边分别为 a 、 b 、 c ，其中 c 为未知点； (x_A, y_A) 、 (x_B, y_B) 分别表示已知点 a 、 b 的坐标。

第二种情况为：C点坐标 (x_c, y_c) 的求解需通过函数方程完成，为：

$$x_c = x_A + b \cos \left(\cos^{-1} \left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \right) - \tan^{-1} \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \right) \quad (3)$$

$$y_c = y_A + b \sin \left(\cos^{-1} \left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \right) - \tan^{-1} \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \right) \quad (4)$$

2.3.2 引入参数

如果 A 、 B 两点 (x, y) 、 a 、 b 、 c 全部相同，通过上述两种情况的计算方程求解的 c 点 (x, y) 组存在差异。如果将第一、第二基准点分别用 A 、 B 表示，则 \overline{AB} 为 A 至 B 的向量； \overline{AC} 则表示 B 至待求点 C 的向量；结合图2和图3可看出， \overline{BC} 在两个图中分别指向 \overline{AB} 的左、右两边，因此，上述两种取值为方向参数仅有取值，两种取值分别为0、1，根据该取值则分别采用公式(1)和(2)、公式(3)和(4)求解点 C 的唯一坐标值。

插筋所有节点的中心坐标位置的求解，在获取全部节点的坐标后，通过公式(5)完成：

$$\Delta = \sqrt{(x_i + x_j)^2 + (y_i + y_j)^2} \quad (5)$$

式中：套筒和插筋的横坐标、纵坐标分别为 x_i 和 y_i 、 x_j 和 y_j 。

2.4 有限元模型

目标构件的插筋位置控制后，测试通过其安装后的力学性能，判断其安装后的建筑质量，以此衡量和分析插筋位置偏差控制效果较好^[14]。根据破坏结果分析偏差控制效果，剪力墙有限元模型用图2描述。

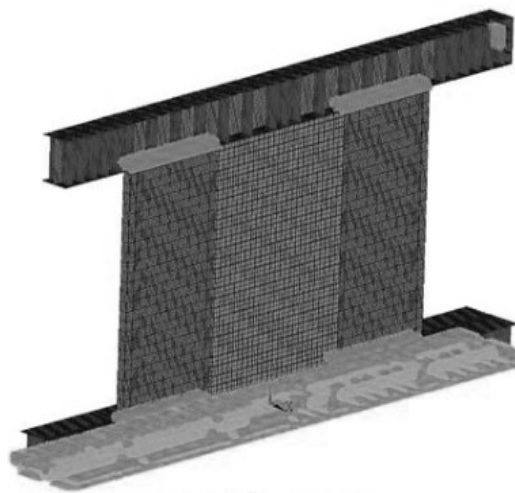


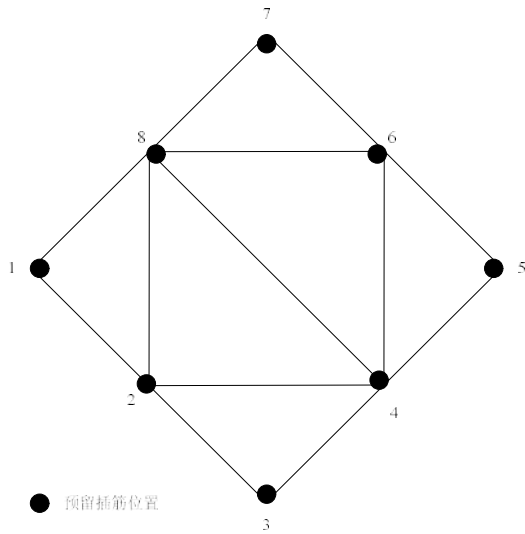
图2 剪力墙有限元模型

预留插筋和混凝土构件分别通过模型的Solid7和Truss9的实体和桁架单元完成，混凝土构件单元中插筋的嵌入是通过Inserts指令实现，其属于MARC中；弹簧单元用于完成目标构件和其他构件截面连接处的两种向力，即为切向和法向力^[15]；除此之外，在荷载作用下，该接缝处的非线性破坏则通过非线性关系曲线完成，其该曲线由弹簧单元模拟实现。

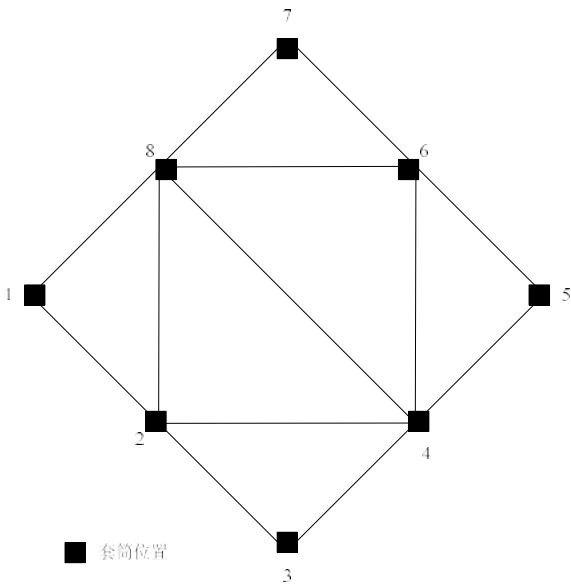
3 实验结果分析

从两个方面分析位置控制的结果，一是控制后的插筋位置偏差计算，并将其与工程标准进行对比，分析控制效果；二是通过力学性能判断其位置偏差控制效果。

图2中模拟的剪力墙中，其预留插筋位置和安装套筒位置的分布情况用图3描述。获取其位置偏差结果，用表2描述。



(a) 预留插筋位置分布情况



(b) 套筒位置分布情况

图3 安装位置的分布情况

表2 位置误差结果

位置编号	套筒坐标		插筋坐标		偏差结果/mm
	x	y	x	y	
1	0	0	0	0	0
2	199.1	0	199.8	0	0.7
3	398.7	2.3	399.9	0.7	2
4	398.1	201.7	399.8	200.9	2
5	397	401.3	399.4	400.6	2.5
6	197.2	400.5	199.5	400	2
7	-2.9	399.2	-1.1	400.1	2
8	-1.1	199.1	0.4	199.5	1.1

将表2获取的偏差计算结果与表1进行对比可知：控制方法应用后，8组预留插筋位置与套筒位置的偏差结果均在工程的标准范围之内，偏差范围在0~2.5mm范围内，因此，表明控制方法的有效性。

为更清晰观察目标构件插筋位置控制结果，对8个预留插筋位置分别进行载荷测试，测试8个位置的性能，以此判断位置偏差控制效果。结果用表3描述。

表3 八个预留插筋位置的载荷测试结果

插筋位置编号	载荷/kN		强度/Mpa	
	屈服	极限	屈服	极限
1	39.0	55.9	344.2	493.2
2	39.5	56.6	348.9	500.2
3	38.7	55.2	342.2	488.3
4	39.5	56.2	348.4	497.0
5	38.8	55.1	342.8	486.9
6	38.7	54.8	342.1	484.3
7	39.0	56.1	345.0	495.5
8	38.9	56.9	344.1	502.4

根据表3测试结果可知：8个预留插筋位置，呈现出差异化的载荷以及强度结果，该结果也表明8个插筋预留位置的安装连接位置的承受载荷均较大，说明插筋位置安装连接质量较好，偏差小，该插筋位置偏差控制效果良好，有效降低位置偏差，保证安装质量。

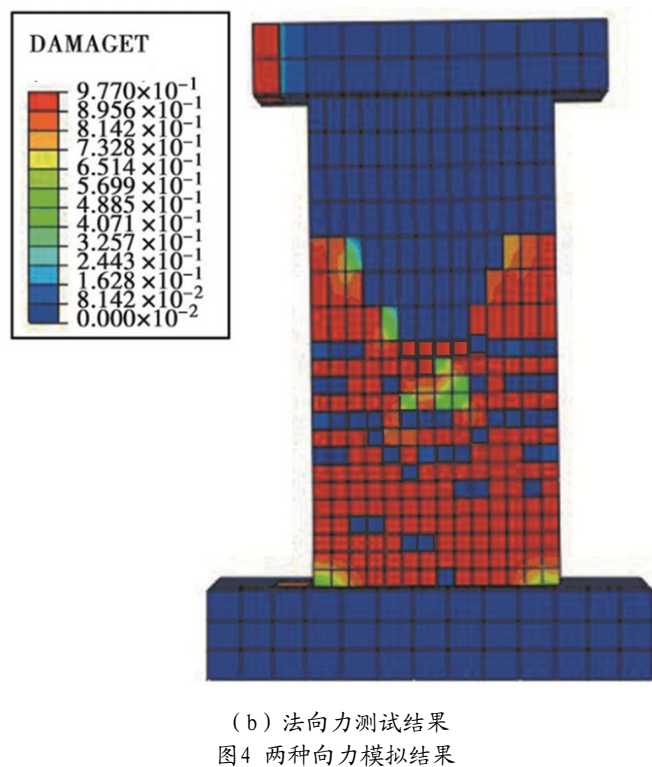
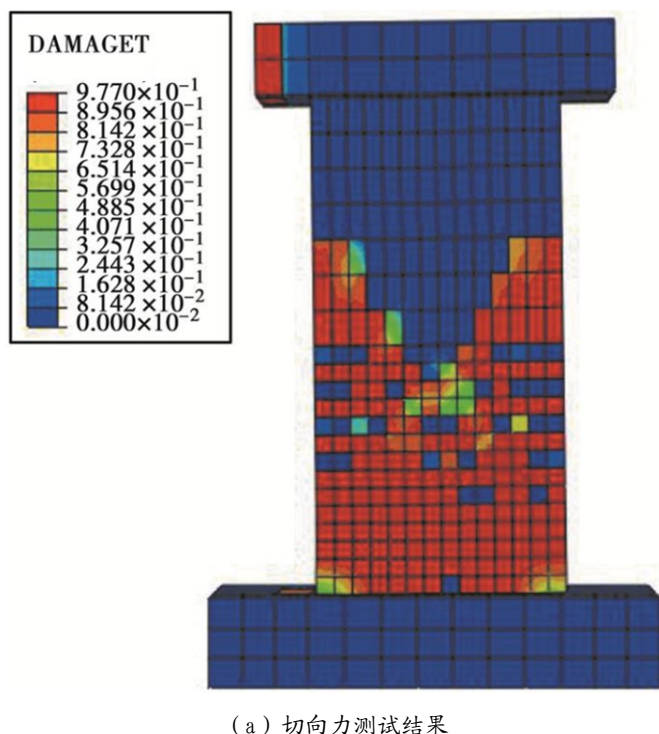
目标构件安装后，可通过其在水平荷载作用下的破坏状态对其进行判断，分析其安装质量的优劣，以此分析预留插筋位置控制的有效性，质量越好，表明插筋位置偏差越小，则构件在载荷作用下的弯剪破坏程度越小。因此，采用抗剪承载力折减系数计算公式，对目标构件预留插筋接缝的受力性能进行计算，其计算公式为：

$$\begin{cases} \tau_u = cf_i + \mu\sigma \\ \tau_r = f_y \rho_s \\ S_r = l_s \varepsilon_y \end{cases} \quad (6)$$

式中：极限抗剪承载力、残余抗剪承载力分别用 τ_u 、 τ_r 表示；系数分别为 c 和 μ ，并且两者取值以实际情况确定；预留插筋接缝处抗拉强度、平均压应力以及屈服强度分别用 f_i 、 σ 和 f_y 表示；插筋连接位置植筋率、原长以及屈服应变分别用 ρ_s 、 l_s 、 ε_y 表示。

以图2中的一部分剪力墙为模拟实测对象，按照图3中的预留插筋位置分布进行有限元模拟，通过有限元模型的Marc中Links模块中的Springs，完成目标构件预留插筋的安装连接缝位置的两种向力模拟结果，用图4描述。

观察图4测试结果可知：目标构件连接位置的受力均匀，没有出现明显局部或者显著受力点，表明目标构件连接程度良好，偏差较小，因此，连接后缝隙处可均匀受力。



4 结论

装配式混凝土构件预留插筋位置的偏差情况,对于建筑的质量和安装后的建筑的使用安全性存在直接影响。对此,本文通过目标构件的制作,采用控制方法对其预留插筋位置实行控制,并通过有限元模型的验证,分析控制方法的效

果。结果表明:对插筋位置实行控制后,目标构件的偏差结果符合工程标准,并且有限元模型模拟在不同载荷下两种向力的结果可看出,对插筋位置偏差实行控制后,可有效保证连接质量,连接缝隙处受力均匀,证明本文控制方法的有效性,可保证工程安装质量。

参考文献

- [1] 李明, 张宁. 预制构件灌浆套筒与插筋位置及偏差计算方法[J]. 建筑科学, 2019, 35 (9): 56-59.
- [2] 崔涛, 何浩祥, 闫维明, 等. 带ECC底板的装配式梁受弯性能及损伤分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2019, 51 (12): 104-112.
- [3] 苏宝安, 张磊, 崔国静, 等. 预制混凝土构件钢筋螺旋插筋连接试验研究[J]. 建筑结构, 2018, 48 (7): 62-67.
- [4] 张壮南, 李珊珊, 柳旭东, 等. 装配式剪力墙浆锚连接的受力性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2019, 40 (2): 189-197.
- [5] 赵军, 刘龙, 王立波, 等. 新型预制装配式混凝土梁板节点的抗裂性能试验研究[J]. 科技通报, 2018, 34 (06): 180-183+188.
- [6] 李永敢. 装配式建筑预制混凝土构件自动化生产线设计配置技术[J]. 施工技术, 2018, 47 (04): 47-51.
- [7] 蒋庆, 何昶蓉, 吴志新, 等. 预制混凝土夹芯保温外墙板质量现状及偏差控制分析[J]. 工业建筑, 2019, 49 (2): 72-79.
- [8] 刘鹏, 罗小勇, 陈颖, 等. 装配式建筑混凝土构件公差控制研究[J]. 建筑结构, 2018, 48 (S2): 699-706.
- [9] 曹徐阳, 冯德成, 王諝, 等. 基于OpenSEES的装配式混凝土框架节点数值模拟方法研究[J]. 土木工程学报, 2019, 52 (4): 13-27.
- [10] 王静峰, 王新乐, 李贝贝, 等. 屈服约束支撑装配式混凝土框架结构抗震性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2018, 51 (12): 72-80.
- [11] 杨晓靖, 李智斌. 装配式钢框架结构与钢框架-钢板剪力墙支撑结构设计对比分析[J]. 施工技术, 2018, 47 (S1): 1655-1657.
- [12] 高欣, 陈琳彦, 皮宗婕, 等. 装配式混凝土结构施工风险管控机制[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47 (11): 1676-1682.
- [13] 谷伟, 张馨心, 李中培, 等. 装配式混凝土框架钩挂式中柱节点抗震性能研究[J]. 建筑结构, 2019, 49 (11): 33-37.
- [14] 刘航, 王胜, 王海深, 等. 预应力自复位装配式混凝土框架节点抗震性能研究[J]. 建筑技术, 2018, 49 (1): 50-53.
- [15] 江佳斐, 隋凯, 马川峰, 等. 预制装配式混凝土螺旋箍筋约束浆锚钢筋搭接性能研究现状[J]. 施工技术, 2018, 47 (12): 44-47.