

悬挑脚手架锚固端固定不牢的预埋件加固施工方法

向兴荣

湖北丰谊工程有限公司 湖北 恩施 445000

【摘要】：悬挑脚手架作为高层建筑施工中常用的模板支撑与作业平台，其锚固端的稳定性直接关系到施工安全。当前工程中频发的锚固端固定不牢问题，多源于预埋件设计缺陷、安装偏差及混凝土浇筑质量等因素。本文结合工程实践，分析预埋件固定不牢的成因，提出针对性的加固施工方法，包括预埋件二次锚固、型钢悬挑梁节点补强、受力监测预警等技术措施，并通过工程案例验证其有效性。研究成果为解决悬挑脚手架锚固端安全隐患提供了可操作的技术方案，对提升建筑施工安全具有实践意义。

【关键词】：悬挑脚手架；锚固端；预埋件；加固施工；施工安全

DOI:10.12417/2811-0528.25.022.048

1 工程概况

本研究以某在建33层住宅楼项目为背景，该项目位于城市核心商务区，总建筑面积约4.2万 m^2 ，建筑高度99.6m，采用框架-剪力墙结构体系，标准层面积1250 m^2 ，共设计10个悬挑作业层（6-33层，每3层设置一道悬挑脚手架）。

1.1 悬挑脚手架体系参数

该工程外脚手架采用“型钢悬挑+扣件式钢管”组合体系，悬挑梁选用16#工字钢，单根长度4.5m（其中锚固段3.0m，悬挑段1.5m），悬挑端通过钢丝绳斜拉卸荷（直径18mm，6×19型钢丝绳）；横向悬挑梁间距1.8m，立杆纵距1.5m、横距0.8m，步距1.8m；每根悬挑梁根部通过2块200mm×200mm×10mm的Q235钢板预埋件固定，预埋件与主体结构连接采用4根M16×300mm的8.8级高强螺栓，螺栓埋入混凝土深度240mm（15d）。

1.2 问题发现与检测过程

在第6层悬挑脚手架搭设过程中（2023年8月），监理单位按照《建筑施工安全检查标准》（JGJ59-2011）开展日常巡查，发现部分锚固节点存在异常响动，随机抽取30个锚固节点（覆盖6层东、南、西、北四个立面），占该作业层总节点数的35%；采用全站仪（精度±2mm）测量位移，扭矩扳手（量程0-600N·m）检测螺栓预紧力，超声波探伤仪检查焊缝质量；8个节点存在超标位移，其中水平位移最大值18mm（东立面第5轴节点），竖向松动最大值7mm（南立面第12轴节点），均超出《建筑施工高处作业安全技术规范》（JGJ80-2016）中“锚固端位移允许偏差≤5mm”的强制性要求；12个节点螺栓扭矩不达标，设计要求350N·m，实测值在210-320N·m之间，合格率仅60%；5个节点预埋件与混凝土结合面出现贯通性缝隙，宽度1-3mm，采用塞尺检测发现缝隙深度达20-50mm，粘结失效风险显著；3个节点预埋件钢板存在塑性变形，最大

挠度3.2mm/m，导致与悬挑梁翼缘接触面积不足70%，受力传递不均。

1.3 安全风险评估

经第三方安全评估机构验算，该批次存在缺陷的节点在施工活荷载（3kN/ m^2 ）作用下，悬挑梁根部最大弯矩达18.6kN·m，超出设计承载力（15.2kN·m）22.3%；预埋件抗拔力实测值12.5kN，低于设计值18kN，安全系数仅0.69，存在悬挑梁倾覆、脚手架整体坍塌的重大安全隐患。若继续施工，可能引发群死群伤事故，因此必须立即停工整改，研究针对性的加固方案。

2 预埋件固定不牢的成因分析

2.1 设计因素

部分工程选用8mm厚Q235钢板，根据《钢结构设计标准》（GB50017-2017），悬挑脚手架预埋件钢板厚度应按“弯矩作用下的抗弯承载力”验算，16#工字钢悬挑梁根部传递的弯矩达15.2kN·m，8mm钢板的截面抵抗矩（ $W=200\text{mm}\times8\text{mm}^2/6=2133\text{mm}^3$ ）无法满足要求，导致钢板受力后出现塑性变形，而10mm厚钢板的截面抵抗矩（3333 mm^3 ）可使应力控制在180MPa以内（Q235屈服强度235MPa），符合安全要求。预埋螺栓直径选用M16，在悬挑荷载作用下应力比达0.92，接近屈服极限，导致长期受力后出现塑性变形。此外，预埋件锚固长度设计不足，仅为15d（d为螺栓直径），未满足“受拉螺栓锚固长度≥25d”的构造要求，降低了整体抗拔力。

2.2 施工因素

（1）定位偏差控制不足：预埋件安装时未采用角钢定位支架，仅通过铁丝绑扎在模板上，混凝土浇筑时易受振捣影响移位，抽检30个节点中，12个水平偏差超过10mm，最大达20mm，导致悬挑梁安装时无法与预埋件精准对接，产生附加

弯矩。螺栓丝扣外露长度普遍不足，20%的节点仅外露 2-3 丝，未达到“丝扣外露 3-5 丝”的规范要求，螺母无法充分锁紧，在振动荷载下易松动，扭矩损失率达 15%-20%。

(2) 混凝土浇筑质量缺陷：振捣棒直接碰撞预埋件，导致其产生竖向位移，某批次节点因振捣不当，30%出现 5mm 以上的竖向松动；同时，振捣不密实使预埋件底部形成蜂窝（面积占比达 15%），混凝土与钢板粘结面积减少，粘结强度降低 30%。混凝土坍落度实测值 180mm，超出设计 150±20mm 范围，流动性过大导致预埋件上浮，且硬化后收缩率增加，与钢板间形成缝隙，宽度最大达 3mm，削弱界面粘结力。

(3) 安装调试不到位：安装时未采用水平仪校准，悬挑梁与预埋件存在 2°-3°的倾角，导致钢板受力不均，局部应力集中达 300MPa，超过 Q235 钢材屈服强度。未使用扭矩扳手，凭经验采用扳手人工拧紧，螺栓扭矩离散性大，实测值在 210-400N·m 之间，其中 40%低于设计值 350N·m，3 个节点因“过拧”导致螺栓丝扣损伤，承载力下降 25%。

2.3 材料因素

抽检显示 30%的预埋螺栓为非标的 8.8 级螺栓，实测抗拉强度仅 320MPa，低于标准值 400MPa，屈服强度 280MPa，低于 340MPa 的要求，在设计荷载下即发生塑性变形。部分钢板实际为 Q235B 与 Q215 混批使用，Q215 钢板的抗拉强度仅 315MPa，较 Q235 低 15%，在相同荷载下挠度增加 20%，导致与悬挑梁接触不实。预埋件与螺栓的角焊缝存在夹渣、未焊透等问题，超声波探伤显示 15%的焊缝存在 III 级缺陷，有效受力截面减少 20%，在反复荷载下易产生疲劳裂纹。

3 预埋件加固设计方案

3.1 加固设计原则

预埋件加固设计需遵循“安全可靠、经济适用、技术可行”的原则，加固措施的承载力需与悬挑脚手架传递的荷载相匹配，确保加固后节点安全系数≥1.2（按《建筑结构荷载规范》GB50009-2012 基本组合计算）。在满足安全要求的前提下，优先采用局部补强方案，减少对原结构的扰动，如对螺栓松动问题优先采用复拧而非置换。加固材料需满足环境适应性要求，如室外节点的钢材防腐年限≥15 年，混凝土强度等级不低于原结构（C30）。

可操作性原则：加固工艺需适应施工现场条件，如高空作业时避免采用大型吊装设备，优先选择人工可操作的植筋、焊接等工艺。

3.2 分级加固方案设计

根据预埋件固定不牢的成因及严重程度，划分为四级加固

方案。针对不同成因的固定不牢问题，采用分级加固策略，具体如表 1 所示。

表 1 预埋件加固方法分类及适用范围

问题类型	加固方法	适用场景	技术要点
预埋件与混凝土粘结不足	化学植筋+灌浆补强	缝隙≤5mm、混凝土强度≥C30	植筋深度 15d，灌浆料抗压强度≥60MPa
螺栓松动或扭矩不足	双螺母锁紧+扭矩复拧	螺栓未断裂、丝扣完好	首次复拧扭矩 350N·m，24h 后二次复拧 380N·m
预埋件钢板变形	型钢加劲肋焊接补强	钢板挠度 ≤3mm、无裂纹	加劲肋采用 L50×5 角钢，满焊连接
严重松动（位移 ≥15mm）	置换式加固+新增预埋件	原预埋件失效、混凝土局部破损	新增预埋件与原结构间距 ≥300mm，采用植筋连接

4 悬挑脚手架锚固端固定不牢的预埋件加固关键施工工艺

4.1 化学植筋与灌浆补强工艺

本工艺适用于预埋件与混凝土结合面出现缝隙（宽度 ≤5mm）但结构基层完好的场景，通过二次锚固与缝隙填充形成“机械咬合+粘结增强”的双重受力体系。

(1) 表面预处理：采用角磨机清除预埋件周边混凝土表面的浮浆、铁锈及油污，露出坚实基层；对缝隙内部进行高压风（0.5MPa）吹扫，确保无粉尘、碎屑。若缝隙内存在积水，需用注射器抽排后注入无水酒精干燥处理，避免影响浆液固化。

(2) 环氧树脂灌浆：选用改性环氧树脂浆液（抗压强度 ≥60MPa，弹性模量 3.5GPa），通过手动注浆泵沿缝隙低压缓慢注入，注浆压力控制在 0.3MPa±0.05MPa，从下往上、从一端向另一端连续注浆，直至缝隙顶端溢出浆液且无气泡冒出，随即用快硬水泥封堵注浆口，静置 24h 待浆液固化。

(3) 植筋钻孔与清孔：在预埋件钢板外侧 30mm 处沿周长均匀布设植筋孔，孔径 20mm（钻头直径误差≤±0.3mm），孔深 240mm（15×16mm），孔位偏差≤5mm。钻孔完成后，先

用圆头毛刷清理孔壁3次,再用高压风(0.6MPa)吹孔5次,最后用脱脂棉蘸丙酮擦拭孔底,确保孔内洁净度达到“无浮灰、无油污、无水分”。

(4) 钢筋植入与固化: 选用Φ16带肋钢筋(屈服强度 $\geq 335\text{MPa}$),植入前用角磨机打磨除锈(露出金属光泽),并在钢筋植入段涂刷配套植筋胶(触变型,初凝时间 $\geq 30\text{min}$)。采用旋转插入法将钢筋植入孔内,确保胶层饱满无气泡,植入深度偏差 $\leq \pm 5\text{mm}$,钢筋外露长度统一为100mm。植入后24h内禁止扰动,环境温度低于 5°C 时需采取覆盖保温措施,7d后随机抽取10%的植筋进行拉拔试验,单根抗拔力不得低于15kN,且破坏形式为钢筋屈服而非胶层剥离。

4.2 型钢加劲肋补强工艺

针对预埋件钢板因受力变形(挠度 $\leq 3\text{mm/m}$)导致的接触不实问题,通过增设加劲肋提升钢板刚度,确保荷载均匀传递,施工流程如下。

(1) 变形矫正: 采用20t液压千斤顶(顶推精度 $\pm 0.5\text{mm}$)对变形钢板进行多点同步矫正,矫正过程中用2m靠尺配合塞尺监测平整度,直至误差 $\leq 1\text{mm/m}$ 。矫正完成后,在钢板四角点焊临时限位块(50mm $\times$ 50mm $\times$ 5mm钢板),防止回弹。

(2) 加劲肋加工与安装: 加劲肋选用L50 $\times$ 5等边角钢(Q235材质),按预埋件尺寸切割下料,长度与钢板长边一致,端部切成 45° 斜角。安装前在角钢与钢板接触面上涂刷防锈底漆,采用“三面围焊”方式连接,焊脚高度6mm(允许偏差 $+1\text{mm}/-0\text{mm}$),焊接电流控制在180-220A,焊接速度3-5mm/s,避免因过热导致钢板变形。

(3) 质量检测与防腐: 焊接完成后24h内,采用超声波探伤仪检测焊缝内部质量,确保无III级及以上缺陷;用焊缝量规检查焊脚尺寸,合格率需达到100%。缺陷修复后,对整个节点进行喷砂除锈(除锈等级Sa2.5级),随即涂刷环氧富锌底漆2道(干膜厚度 $\geq 80\mu\text{m}$),间隔4h后再涂氯化橡胶面漆1道(干膜厚度 $\geq 60\mu\text{m}$),涂刷过程中避免漏涂、流挂,边角部位采用小刷补涂。

4.3 置换式加固工艺

当预埋件出现严重松动(位移 $\geq 15\text{mm}$)或混凝土基层破损时,采用该工艺彻底更换预埋件,重建可靠锚固体系,关键步骤如下。

(1) 旧件拆除与基层处理: 用氧乙炔焰切割预埋件外露部分(保留根部50mm),采用风镐小心凿除周边破损混凝土,直至露出新鲜骨料且基层抗压强度 $\geq \text{C30}$ 。清理后的基层表面需凿毛处理(粗糙度5mm),用高压水冲洗干净,边角处做

成100mm $\times$ 100mm的直角过渡。

(2) 新增预埋件制作与安装: 预埋件采用12mm厚Q355钢板(屈服强度 $\geq 355\text{MPa}$),尺寸放大至250mm $\times$ 250mm以扩大受力面积,预埋4根M20高强螺栓(8.8级),螺栓间距150mm $\times$ 150mm,锚固长度500mm(25 $\times$ 20mm),螺纹段涂抹防粘剂。安装时采用定位支架固定,确保钢板平面度 $\leq 2\text{mm}$,螺栓垂直度偏差 $\leq 1^{\circ}$,定位完成后与原结构钢筋点焊连接。

(3) 混凝土浇筑与养护: 选用C40微膨胀混凝土(限制膨胀率 $2-4 \times 10^{-4}$),坍落度控制在 $180 \pm 20\text{mm}$,采用插入式振捣棒(直径30mm)分层振捣,每层厚度 $\leq 200\text{mm}$,振捣至表面泛浆且无气泡逸出。浇筑完成后12h内覆盖薄膜保湿,夏季高温时洒水养护(每日不少于4次),冬季采取电热毯加热养护(温度保持在 $10-20^{\circ}\text{C}$),养护期不少于14d。待混凝土试块抗压强度达到100%设计值($\geq 40\text{MPa}$)后,方可拆除临时支撑并承受荷载。

4.4 质量控制与监测

加固施工完成后,需满足表2中的验收标准。

表2 预埋件加固质量验收指标

检验项目	允许偏差/标准值	检验方法
预埋件水平位移	$\leq 5\text{mm}$	全站仪或水准仪测量
螺栓拧紧扭矩	$350 \pm 30\text{N}\cdot\text{m}$	扭矩扳手检测
植筋抗拔力	$\geq 15\text{kN}$	拉拔试验(抽检10%)
焊缝质量	无III级及以上缺陷	超声波探伤
混凝土粘结强度	$\geq 2.5\text{MPa}$	钻芯法检测

在加固节点安装应力传感器和位移计,实时监测悬挑作业时的受力状态。钢板最大应力 $\leq 215\text{MPa}$ (Q235屈服强度),螺栓应力 $\leq 640\text{MPa}$ (8.8级螺栓);位移预警值竖向位移 $\leq 10\text{mm}$,水平位移 $\leq 5\text{mm}$;正常作业时每日1次,遇大风(风速 $\geq 10.8\text{m/s}$)、暴雨后立即监测。

5 工程应用效果

高层建筑项目采用上述加固方法处理20个存在隐患的预埋件节点,经6个月跟踪监测,结果显示所有节点位移均控制在5mm以内,螺栓扭矩保持在 $350 \pm 20\text{N}\cdot\text{m}$ 范围;植筋抗拔试验平均承载力达18.6kN,满足设计要求;经历2次台风天气(最大风速12m/s),节点应力最大值186MPa,未触发预警;

加固成本较拆除重建降低 40%，工期缩短 5d，经济效益显著。

6 结论

悬挑脚手架锚固端预埋件加固施工需针对不同成因采取差异化方案，化学植筋、型钢补强等工艺可有效解决固定不牢

问题。通过严格控制施工质量与实时监测，能确保加固后节点的安全性与耐久性。本文提出的加固方法操作简便、成本可控，为类似工程提供了技术参考，有助于推动悬挑脚手架安全施工技术的规范化发展。

参考文献:

- [1] 曲建衡.高层建筑悬挑脚手架施工技术及其受力性能试验研究[J].四川水泥,2025,(05):37-39.
- [2] 王栋.梁侧锚固螺栓悬挑脚手架施工技术分析[J].新城建科技,2025,34(04):129-131.
- [3] 伍广锋.对悬挑脚手架悬挑高度与型钢锚固长度的研究探讨[J].福建建设科技,2021,(06):100-101.
- [4] 赵辛辛.附着式悬挑脚手架承载力研究[D].西安建筑科技大学,2022.
- [5] 毛锦来,郭晓红,武飞龙,等.花篮拉杆悬挑脚手架施工的研究与应用[J].建筑施工,2021,43(10):2101-2103.