

高层建筑外脚手架施工安全技术及管理优化研究

潘 亮

新疆兵团城建集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：聚焦高层建筑外脚手架施工，深入剖析材料质量、搭设规范及荷载控制等方面隐患。通过建立多工况力学模型、运用灰土挤密桩等技术进行基础处理、优化架体构造与安全防护技术等，实现安全技术升级。在管理上，借助BIM等完善制度，通过VR实训等加强人员培训，利用无人机巡检等强化监督，开发应急决策系统等建立应急机制，全面提升外脚手架施工安全水平与管理效能。

关键词：高层建筑；外脚手架施工；安全技术；管理优化

引言

在城市化进程加速的当下，高层建筑数量持续攀升。外脚手架作为高层建筑施工不可或缺的设施，其安全性直接关乎施工人员生命安全与工程进度。然而，当前外脚手架施工面临诸多挑战，如材料老化、搭设不规范及荷载失控等隐患频发。本文基于此背景，对高层建筑外脚手架施工安全技术及管理展开深入探究，旨在为行业提供切实可行的优化策略，保障施工安全。

1 高层建筑外脚手架施工安全隐患分析

1.1 材料质量隐患

脚手架钢管在长期存放过程中，若处于新疆干燥多风的气候环境，金属表面易形成深浅不一的锈蚀坑，这些微观缺陷会显著降低钢材的屈服强度，尤其在低温环境下，脆性断裂的风险会成倍增加。扣件的铸铁材质若存在砂眼或气孔，在反复承受搭设时的敲击力和使用中的剪切力后，可能在螺栓拧紧部位出现隐性裂纹，这种损伤在常规外观检查中难以发现，却会在荷载骤增时突然失效。脚手板采用的竹胶合板若在生产过程中胶合剂配比失衡，会导致面层与基材剥离，受强紫外线照射后，板材的抗弯性能会随时间呈现非线性衰减，当作业人员在其上移动时，局部挠度可能超出安全限值。安全网的聚乙烯纤维在长期暴露于风沙环境中时，纤维分子链会发生氧化断裂，表现为网眼尺寸不规则扩张，原本能承受人体坠落冲击的能量吸收能力大幅下降，极端情况下甚至会出现纤维束整根断裂的现象。新型复合材料脚手架虽具有重量轻的优势，但其在昼夜温差极大的区域使用时，材料内部的热胀冷缩应力会持续累积，可能导致杆件连接部位出现不可逆的松动。

1.2 搭设不规范隐患

立杆基础在戈壁土地基上浇筑时，若未充分考虑冻胀系数，混凝土垫层在冬季会因地下水分冻结产生不

均匀隆起，使立杆垂直度偏差超过临界值，进而引发整体架体的偏心受力。横杆与立杆的连接点若未严格对齐主节点，会使杆件实际受力状态与设计计算模型产生偏差，原本应承受轴向力的立杆可能额外承担扭矩，加速节点部位的磨损。剪刀撑搭设角度若偏离了理想范围，当遇到强阵风荷载时，它的横向支撑能力会明显变弱。这样一来，架体在水平力的推动下就可能发生波浪状的变形，这种变形会让各个杆件的受力情况发生改变，最终使得结构中的薄弱部分先出现损坏。脚手板铺设时若存在探头板未固定的情况，在风力作用下会产生高频振动，这种持续扰动会逐渐放大周边连接件的间隙，使相邻脚手板之间形成危险的缝隙。立杆接长若选用搭接方式而不是对接方式，接头部位的承载能力会大打折扣。在多层作业时，荷载不断叠加，这个部位就很容易成为整个架体的受力薄弱点，进而影响架体整体安全与稳定性。

1.3 施工荷载控制不当隐患

结构施工阶段，当外脚手架同时承受钢筋、模板等材料集中堆放时，荷载会经由脚手板传递到立杆上。若局部区域堆载过于密集，立杆底部承受的压力会大幅增加，可能引发地基土层无法承受而出现剪切破坏的情况，威胁脚手架安全稳定。装修阶段，电动吊篮与脚手架的临时连接点若未进行专项受力验算，会使原本垂直受力的架体额外承受水平方向的拉力，这种附加荷载会改变杆件的内力分布，导致某些节点出现超出设计预期的应力集中。作业人员在架体上同时进行焊接作业时，高温会使局部杆件的材料力学性能发生改变，冷却后形成的残余应力与作业荷载叠加，可能使杆件在远离受力点的位置出现塑性变形。遇突发沙尘暴天气时，强风荷载会使架体产生周期性振动，这种共振效应会使螺栓连接部位的预紧力逐渐衰减，当振幅超过杆件的弹性变形范围时，连接节点可能出现突发性滑移。

2 高层建筑外脚手架施工安全技术

2.1 脚手架设计计算技术

脚手架设计计算需建立多工况力学模型,结合工程所在地的基本风压、地形粗糙度及周边建筑物遮挡情况,将风荷载效应纳入整体受力分析体系,通过有限元软件模拟架体在阵风荷载作用下的动力响应,捕捉杆件应力突变点与节点位移峰值。针对不同施工阶段的荷载特性,采用增量法计算结构承载力,在标准荷载组合基础上引入施工动载系数,考虑材料堆放冲击效应与人员作业活荷载的叠加影响,确保计算结果覆盖最不利受力状态。立杆稳定性验算需突破传统单一长细比控制模式,结合节点刚性系数修正计算长度系数,对搭接部位采用折减系数法评估其实际承载能力,使理论计算更贴合现场受力实际。剪刀撑布置需通过拓扑优化算法确定最优角度区间,根据架体高度分段调整布置密度,在计算模型中模拟其在水平力作用下的耗能机制,验证其对整体刚度的提升效果。基础沉降计算应采用分层总和法结合土力学参数反演技术,考虑季节性冻胀与干旱收缩交替作用对地基变形的累积影响,通过设置沉降监测控制点的计算阈值,为后续基础处理提供量化依据^[1]。

2.2 基础处理技术

戈壁土地基处理需采用灰土挤密桩复合地基技术,通过桩体置换与侧向挤密改善地基土的密实度,降低土颗粒间孔隙比以增强抗剪强度,在桩顶设置钢筋混凝土承台形成刚性传力层,将立杆荷载均匀传递至复合地基。混凝土垫层施工前需进行土壤冻胀性试验,根据冻胀等级掺入适量的加气剂与纤维材料,减少低温环境下的体积变形,垫层周边设置碎石盲沟引导地下水位,切断冻胀水源路径以控制地基冻融循环破坏。对于存在不均匀沉降风险的区域,采用可调式底座与螺旋顶托组合系统,通过螺纹调节机制补偿地基微小变形,底座底部焊接十字形钢板增大受力面积,分散立杆传递的集中荷载。基础周边设置混凝土截水沟与防渗膜,拦截地表径流与侧向渗水,保持地基土含水率稳定,避免因干湿交替引发的地基承载力波动。

2.3 架体构造技术

立杆接长采用套管式对接节点,外套管内壁与立杆外壁的间隙控制在合理范围,通过锥面配合实现自动对中,节点处设置环向加劲肋增强抗扭性能,使轴向力传递路径更加平顺。横杆与立杆连接采用楔形插销式节点,利用楔紧原理产生的摩擦力抵抗横向剪力,插销根部设置防退装置防止振动松脱,节点构造经疲劳试验验证其在循环荷载作用下的耐久性。剪刀撑与架体连接采

用万向转动节点,允许在一定角度范围内自适应调整,杆件两端设置弧形连接板增大受力接触面积,通过螺栓预紧力控制节点转动刚度,确保在水平荷载作用下形成有效的空间受力体系。脚手板采用冲压成型的防滑钢板,板端设置弯钩与横杆卡接,相邻板体通过榫卯结构咬合拼接,消除探头板隐患的同时形成整体受力单元,板底加劲肋与横杆接触部位设置橡胶垫片,减少振动产生的噪声与磨损。

2.4 安全防护技术

架体外侧采用全封闭金属防护网,网片采用菱形孔结构兼顾防风与透光性能,边框与立杆通过弹簧卡扣连接,在强风荷载下可产生微量弹性变形释放能量,网片顶部设置挑檐式挡板拦截高空坠落物^[2]。作业层栏杆采用工具式可伸缩结构,立杆与横杆通过榫接方式组合,高度随施工层高动态调整,栏杆内侧设置防坠钢丝网,网眼尺寸严格控制以防止工具滑落。脚手架与建筑物之间的间隙采用可调节防护挡板封闭,挡板采用轻质合金材料制作,通过滑道装置实现横向伸缩,适应不同结构外轮廓的变化,挡板底部设置密封胶条防止雨水渗入。针对沙尘天气特点,在架体顶部安装风向传感器与振动监测仪,实时捕捉风荷载变化与结构响应数据,当监测值达到预警阈值时,自动触发声光报警系统,提示作业人员及时撤离至安全区域。

3 高层建筑外脚手架施工管理优化策略

3.1 完善施工管理制度

(1) 构建基于BIM技术的脚手架全生命周期管理体系,将材料进场检验参数、搭设过程关键节点数据、使用阶段荷载监测信息集成至三维模型,通过模型关联实现从构配件采购到拆除回收的全程可追溯,当系统识别到某批次扣件力学性能衰减趋势超出安全阈值时,自动推送更换预警至相关作业班组。(2) 推行脚手架搭设作业的分级验收机制,按架体高度划分验收单元,每个单元验收需涵盖结构几何参数、节点连接强度、防护设施完整性等维度的量化检测,验收合格后生成带电子签章的三维验收报告,该报告与现场监控系统实时联动,当架体状态偏离验收基准值时自动激活复核流程。(3) 建立材料循环使用评估标准,根据构配件的累计使用时长、荷载历史记录、环境侵蚀程度等参数,运用疲劳损伤理论计算剩余使用寿命,对达到临界状态的材料实施强制性报废,同时通过模块化设计提高可回收部件的复用率,形成闭环式材料管理模式。

3.2 加强人员培训与教育

(1) 开发VR虚拟实训系统模拟脚手架搭设高危场

景,通过沉浸式体验让作业人员直观感受错误操作引发的架体失稳过程,系统内置实时力学反馈模块,当学员在虚拟环境中出现立杆垂直度偏差超标、剪刀撑角度错误等操作时,会同步显示杆件应力分布变化,强化对规范操作的肌肉记忆。(2)组建由资深架子工、结构工程师、安全监督员构成的培训导师团队,采用“理论拆解+实操解构”的双轨教学法,将复杂的力学原理转化为脚手架搭设中的具体操作要点,例如通过对比不同连接方式下节点变形的慢动作视频,解析正确对接立杆的力学必要性,培训考核引入实操过程的应力应变监测数据作为评分依据^[3]。(3)建立作业人员技能成长档案,记录每次培训考核成绩、现场操作表现、应急处置能力等指标,根据技能等级差异化分配作业任务,对高风险作业环节实施持证分级上岗,同时设置技能提升激励机制,鼓励工人参与新型脚手架技术的创新应用实践。

3.3 强化现场监督检查

(1)运用无人机搭载红外热成像与激光扫描设备进行周期性巡检,通过热成像图识别架体节点异常温度区域,判断是否存在过度摩擦或紧固力不足的情况,激光点云数据则用于生成架体变形增量图谱,精准定位垂直度偏差超标的立杆位置及累积变形量,巡检结果自动生成三维缺陷分布图并标注整改优先级。(2)在架体关键受力节点全面安装无线传感终端,这些终端可全天候不间断地实时采集螺栓预紧力、杆件应变值、环境温湿度等关键参数。采集到的数据会经由边缘计算网关开展本地化快速分析,一旦监测值超出设定阈值,系统在触发声光报警的同时,自动推送包含问题位置三维坐标、影响范围评估的处置方案至现场监督人员的移动终端。

(3)推行“旁站监督+交叉互检”模式,在脚手架搭设关键工序实施专人旁站,重点监控立杆对接精度、剪刀撑焊接质量等隐蔽工程,同时组织不同作业班组进行交叉检查,检查人员需使用专用检测工具获取量化数据并与标准值比对,检查过程采用视频记录留痕,确保问题发现与整改的闭环管理。

3.4 建立应急管理机制

(1)开发脚手架应急处置决策系统,内置涵盖多种复杂场景下不同险情的处置预案数据库,数据详细且具针对性。当监测到架体出现异常振动、节点松动等险情时,系统能快速分析实时监测数据,运用智能算法自动匹配最优处置方案,同步生成人员撤离路线三维指引图,通过架体上安装的声光引导装置指示逃生方向。

(2)组建由架子工、起重工、结构工程师组成的应急突击队,定期开展模拟架体局部坍塌的实战演练,演练采用虚实结合方式,在实体脚手架上设置隐蔽故障点,通过AR技术叠加荷载分布动态显示,检验突击队对险情的判断速度与处置精度,演练后生成动作分解分析报告优化处置流程。(3)配置模块化应急加固装备,涵盖快速连接式支撑杆,能高效搭建稳固支撑;可调节应力释放装置,精准平衡架体应力;临时荷载转移托架等专用工具,灵活转移危险荷载^[4]。这些装备依据不同险情类型,分类妥善存放于架体周边应急物资点,并借助物联网技术达成实时定位与状态监测,确保在险情发生时能快速调取适用装备实施加固作业。

结语

综上所述,研究通过全面剖析高层建筑外脚手架施工安全隐患,提出一系列针对性强的安全技术与管理优化策略。从创新设计计算技术到完善应急管理机制,多维度举措形成了较为系统的解决方案。未来,随着科技的持续进步,外脚手架施工安全技术与管理应进一步融合新兴技术,如人工智能监测、智能加固装备等,不断提升安全保障能力,适应复杂多变的施工环境。

参考文献

- [1]莫智敏.关于高层建筑外脚手架的施工过程及安全管理[J].中国房地产业,2021(1):81-82.
- [2]李东.关于高层建筑外脚手架的施工过程及安全管理[J].建筑工程技术与设计,2021(6):1727.
- [3]任守强.高层建筑大悬挑幕墙外用脚手架施工技术[J].甘肃科技,2024,40(1):29-32.
- [4]叶超.高层建筑工程悬挑外脚手架设计及施工技术探讨[J].工程技术研究,2023,8(16):203-205.