 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i2.9309

Warning and emergency handling technology for deformation of formwork supports during concrete pouring process

Shuai Liu

Shanghai Baoye Group Co., Ltd., Shanghai, 201900, China

Abstract

Conducting research on the deformation warning and emergency handling technology during concrete pouring, constructing a precise and efficient deformation monitoring and warning system, and formulating a scientific and feasible emergency handling process have significant practical significance and engineering application value for avoiding construction risks in advance, ensuring the safety of pouring construction, and improving the quality control level of engineering. In concrete structure construction, the template support system is the core load-bearing structure that ensures the safety of the pouring process and the quality of the structural formation. During the pouring stage, the support system is prone to deformation due to load sudden changes, material defects, and construction deviations. If no timely warning and handling are carried out, it may lead to major safety and quality accidents such as scaffold collapse and structural cracking.

Keywords

Concrete pouring; Template support; Deformation warning; Emergency response technology

混凝土浇筑过程中模板支撑变形预警与应急处置技术

刘帅

上海宝冶集团有限公司，中国·上海 200941

摘　要

开展混凝土浇筑过程中模板支撑变形预警与应急处置技术研究，构建精准、高效的变形监测与预警体系，制定科学可行的应急处置流程，对提前规避施工风险、保障浇筑施工安全、提升工程质量管控水平具有重要的现实意义与工程应用价值。在混凝土结构工程施工中，模板支撑体系是保障浇筑过程安全与结构成型质量的核心承载结构。浇筑阶段，支撑体系易因荷载突变、材料缺陷、施工偏差等因素发生变形，若未能及时预警并处置，可能引发架体坍塌、结构开裂等重大安全质量事故。

关键词

混凝土浇筑；模版支撑；变形预警；应急处置技术

1 引言

混凝土结构凭借其强度高、耐久性好、性价比优的特点，广泛应用于建筑、桥梁、市政等工程领域，而模板支撑系统作为混凝土浇筑施工的关键临时结构，承担着混凝土自重、施工荷载及振捣荷载等多重作用力，其受力状态复杂且易受外界因素干扰。在实际施工中，由于模板支撑体系设计不合理、材料质量不达标、施工操作不规范、荷载突变等问题，极易引发支撑结构变形，若未能及时发现并处置，可能导致模板坍塌、混凝土结构开裂、返工重建等安全事故与经济损失，严重时还会造成人员伤亡，制约工程建设的顺利推进。

【作者简介】刘帅（1990–），男，满族，中国辽宁开原人，本科，工程师，从事施工技术管理研究。

2 模板支撑变形诱发机理与危害分析

2.1 变形诱发机理

2.1.1 荷载因素

混凝土浇筑过程中的动态荷载是诱发支撑变形的主要因素。一方面，混凝土浇筑采用分层布料方式，每层混凝土自重通过模板传递至支撑体系，若布料速度过快、分层厚度过大（超过 500mm），会导致支撑体系承受瞬时荷载峰值，引发立杆弹性压缩变形；另一方面，施工人员、振捣设备、运输车辆等附加荷载的随机分布，易造成支撑体系局部受力集中，导致节点松动或立杆弯曲变形。

2.1.2 材料与施工因素

支撑体系材料质量缺陷是变形的内在诱因。钢管立杆壁厚不足、锈蚀严重、扣件老化或拧紧力矩不足（未达到 40-65N·m），会导致支撑体系承载能力下降，在正常施工荷载作用下易发生塑性变形；木方次楞含水率过高、截面尺

寸偏差超标，会降低其抗弯刚度，引发模板下沉变形。施工过程中的操作偏差同样会加剧变形风险，如立杆底部未铺设垫板、地基夯实不充分导致不均匀沉降，立杆垂直度偏差超标（超过 3‰），剪刀撑设置不连续、角度偏离 45-60° 范围，均会破坏支撑体系的整体稳定性，诱发局部或整体变形。

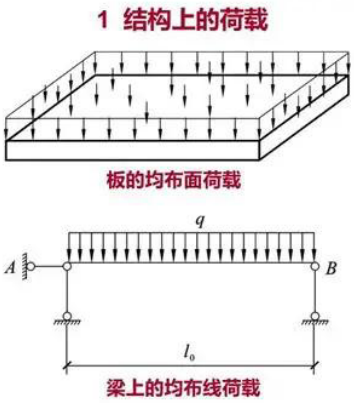


图 1：混凝土浇筑荷载分析

2.1.3 环境因素

恶劣施工环境会进一步增大支撑变形风险。高温环境下，混凝土凝结速度加快，骨料沉降与水化热释放更为集中，对支撑体系的瞬时荷载冲击增强；雨季施工时，雨水浸泡地基导致承载力下降，立杆底部易发生沉降变形，同时雨水会锈蚀钢管与扣件，降低节点连接强度。

2.2 变形危害分析

模板支撑变形若未能及时控制，将引发一系列安全质量问题。轻度变形会导致混凝土结构表面平整度超标、出现蜂窝麻面，影响结构外观质量；中度变形会造成混凝土结构尺寸偏差，如梁、板底标高降低，影响后续装修施工与结构受力性能；严重变形会导致支撑体系失稳坍塌，造成浇筑过程中断、已浇筑混凝土构件损坏，甚至引发人员伤亡事故。

3 混凝土浇筑过程中模板支撑变形预警技术

3.1 预警技术核心原理

模板支撑变形预警技术以支撑体系受力与变形规律为基础，通过布设监测设备实时采集变形相关数据，结合预设的预警阈值与判定规则，实现变形风险的分级预警。其核心逻辑为：通过传感器捕捉支撑体系的沉降、水平位移、立杆应变、节点转角等关键指标的动态变化，经数据传输模块将实时数据上传至监控中心，数据处理系统对采集数据进行滤波、降噪与分析，对比预设的预警阈值，当数据达到或超出对应阈值时，触发相应等级的预警信号，及时通知现场管理人员采取管控措施。

3.2 关键监测指标与预警阈值

3.2.1 核心监测指标

结合混凝土浇筑过程的荷载特点与支撑体系受力特性，确定核心监测指标包括：①沉降位移：反映支撑体系竖向变形，重点监测立杆顶部与模板接缝处，采用沉降传感器布设；②水平位移：监测支撑体系侧向变形，重点布设于架体顶部与中部，采用位移传感器或倾角传感器；③立杆应变：监测立杆受力状态，判断是否接近承载极限，采用应变片或光纤传感器；④扣件扭矩：监测节点连接牢固性，采用扭矩传感器实时监测扣件拧紧力矩变化；⑤环境指标：包括温度、湿度、风速，辅助判断变形诱因，采用温湿度传感器与风速传感器。

3.2.2 分级预警阈值设定

参考《建筑施工模板安全技术规范》（JGJ162-2008）及工程实践经验，将预警等级分为三级，对应不同的阈值标准与处置要求：①一般预警（蓝色）：沉降位移 ≤5mm、水平位移 ≤3mm、立杆应变 ≤60% 设计极限应变、扣件扭矩 ≥35N·m，此时需加强监测频率；②橙色预警：5mm ＜沉降位移 ≤10mm、3mm ＜水平位移 ≤6mm、60% 设计极限应变＜立杆应变 ≤80% 设计极限应变、30N·m≤ 扣件扭矩 ＜ 35N·m，需立即暂停局部浇筑作业，开展隐患排查；③红色预警：沉降位移＞ 10mm、水平位移＞ 6mm、立杆应变＞ 80% 设计极限应变、扣件扭矩＜ 30N·m，需立即停止全部浇筑作业，启动紧急撤离与应急处置程序。

3.3 变形预警系统构建

3.3.1 系统组成

模板支撑变形预警系统由监测感知层、数据传输层、数据处理层与预警发布层组成。①监测感知层：核心为各类传感器，按“重点区域全覆盖、一般区域按需布设”原则布置，大跨度楼板、高大梁等关键部位传感器间距 ≤2m，普通区域间距 ≤5m，立杆顶部、剪刀撑节点等受力集中部位必须布设；②数据传输层：采用无线传输与有线传输结合方式，确保数据实时、稳定传输，恶劣环境下优先采用有线传输；③数据处理层：搭载数据采集与分析软件，具备数据滤波、趋势分析、阈值对比等功能，可生成实时监测曲线与数据报表；④预警发布层：通过现场声光报警器、手机 APP 推送、监控中心弹窗等多渠道发布预警信息，确保管理人员第一时间接收。

3.3.2 系统调试与校准

预警系统布设完成后，需进行全面调试与校准。首先检查传感器连接可靠性与数据传输稳定性，确保无数据丢失或延迟现象；其次采用标准荷载试验对传感器精度进行校准，如通过千斤顶施加已知荷载，对比传感器测量值与实际值，误差需控制在 ±3% 以内；最后进行模拟预警测试，人为设定不同等级的监测数据，验证预警信号触发的准确性与及时性，确保系统各项功能正常。

4 混凝土浇筑过程中模板支撑变形应急处置技术

4.1 应急处置基本原则

模板支撑变形应急处置需遵循“生命至上、分级响应、快速精准、预防为主”的原则。发生变形预警时，优先保障施工人员生命安全，根据预警等级启动对应处置程序；处置过程中需快速定位变形区域与诱因，采取针对性措施控制变

形发展；处置完成后需经严格验收，确认支撑体系稳定后方可恢复施工，同时总结经验教训，优化施工管控措施。

4.2 分级应急处置流程与技术措施

4.2.1 一般预警（蓝色）处置

当触发一般预警时，处置流程为：①立即加密监测频率，由原每 30 分钟 1 次改为每 10 分钟 1 次，持续跟踪变形趋势；②安排专人对预警区域的支撑体系进行全面巡检，重点检查立杆垂直度、扣件拧紧状态、剪刀撑设置等；③调整浇筑施工参数，减缓布料速度，控制分层厚度 ≤300mm，避免荷载集中；④若变形趋势稳定，可继续浇筑作业；若变形持续增大，立即升级预警等级，启动对应处置程序。

4.2.2 橙色预警处置

触发橙色预警时，处置流程为：①立即暂停预警区域及周边 5m 范围内的浇筑作业，疏散无关施工人员，设置警戒区域；②组织技术人员开展专项排查，通过监测数据与现场巡检结合，明确变形诱因（如荷载集中、扣件松动、立杆弯曲等）；③针对诱因采取加固措施：若为扣件松动，采用扭矩扳手重新拧紧，确保力矩达 40-65N·m；若为局部荷载集中，调整布料位置，增设临时支撑立杆（间距 ≤1m），顶部采用木楔顶紧模板；若为立杆弯曲，更换受损立杆，补设剪刀撑增强局部稳定性。

4.2.3 红色预警处置

触发红色预警时，需启动最高级别应急处置，流程为：①立即拉响现场警报，组织所有施工人员紧急撤离至安全区域，严禁任何人员进入警戒范围；②现场总指挥立即上报项目负责人与监理单位，必要时上报建设主管部门；③技术团队快速评估变形风险，判断是否存在架体坍塌隐患，若坍塌风险极高，需扩大警戒范围，设置防护设施防止次生灾害；④采取紧急加固或卸载措施：对未坍塌的架体，采用钢丝绳斜拉固定，增设临时支撑体系（如碗扣式脚手架）分担荷载；对已浇筑的混凝土，若未达到初凝强度，可采取部分卸载措施（如抽排部分混凝土），降低支撑体系荷载；⑤加固与卸载完成后，持续监测变形数据，待变形完全稳定后，组织专家对支撑体系进行全面评估，制定整改方案。

4.3 应急处置后的复工评估

应急处置完成后，必须进行严格的复工评估，确保施工安全。评估内容包括：①支撑体系变形数据是否稳定在允许范围；②加固措施是否符合设计与规范要求，节点连接是否牢固；③混凝土浇筑质量是否受影响，有无裂缝、缺陷等问题；④监测系统是否正常运行，预警阈值是否重新校准。评估需由项目技术负责人、监理工程师、第三方专家共同参与，形成书面评估报告，验收合格后方可复工。

5 工程案例分析

5.1 工程概况

自贸区临港新片区顶科社区 H03 街坊项目，分 H03-03、H03-05 南北两地块，新建商业文化设施及地下车库，能源站区域基坑安全等级为一级，其余为二级。围护体系采用型钢水泥土搅拌墙 + 二道钢筋混凝土支撑，能源站区域为地下连续墙 + 三道支撑，内支撑均为钢筋混凝土材质。为防控基坑变形风险，布设支撑体系变形预警系统，覆盖全基坑支撑区域。

5.2 预警与应急处置实施过程

基坑开挖至第二道支撑施工完成后，预警系统触发橙色预警，监测数据显示能源站区域支撑沉降达 7mm，水平位移 4mm，局部支撑应力值异常下降。现场立即暂停开挖作业，疏散人员，启动橙色预警处置流程。技术团队排查发现，该区域支撑与地下连续墙连接节点松动，且部分支撑垂直度偏差超标，导致受力不均。处置措施：①紧固连接节点，补做加固焊缝；②校正支撑垂直度，增设临时支撑，补设横向加固构件；③调整开挖顺序，先开挖非能源站区域，待加固验收后恢复作业。

5.3 实施效果评估

本项目通过应用内支撑变形预警与应急处置技术，成功规避了基坑失稳风险，保障了施工安全。工程完工后，支撑体系变形数据稳定在允许范围，基坑围护结构无渗漏、坍塌隐患；钢筋混凝土支撑保护层厚度达标，无结构缺陷，满足后续使用及预留荷载需求，未发生安全事故。

6 结论

本文系统研究了混凝土浇筑过程中模板支撑变形预警与应急处置技术，得出以下结论：①模板支撑变形的诱发因素主要包括荷载突变、材料缺陷、施工偏差与环境影响，需针对性开展风险防控；②构建的分级预警体系，通过合理选取监测指标与设定预警阈值，结合智能监测系统，可实现变形风险的实时、精准预警；③制定的三级应急处置流程与技术措施，具有较强的实操性，能有效控制不同等级的变形风险，保障施工安全；④工程案例验证了预警与应急处置技术体系的可行性，可显著提升混凝土浇筑施工的安全管控水平。

参考文献

[1] 刘林. 新型模板支撑体系在工业厂房混凝土浇筑施工中的应用[J].中华建设,2026,(01):162-164.

[2] 安哲,卢建强,王培杰,等. 梁板混凝土浇筑对模板支撑架压力研究[J].建筑技术,2025,56(23):2941-2943.

[3] 庄海冻. 高层建筑混凝土浇筑质量控制要点研究[J].陶瓷,2025,(11):171-173.DOI:10.19397/j.cnki.ceramics.2025.11.041.

[4] 杨草蕾,朱贵荣. 隧洞进口箱涵弧形顶拱混凝土支撑系统设计与应用[J].广东水利水电,2025,(09):95-98+110.

[5] 龚铜. 陡峭坡屋面混凝土模板支撑技术分析[J].建筑技术开发,2025,52(02):25-27.