

# 高支模施工支撑体系稳定性控制与安全监测技术研究

王健晖

中国五冶集团有限公司 四川 成都 610063

**【摘要】**：在现代建筑工程施工中，高支模支撑体系作为大跨度、高层高混凝土结构施工的核心临时支护设施，其稳定性直接关系到施工全过程的人员安全与工程质量。近年来，建筑造型日趋复杂，高支模施工场景不断增多，支撑体系失稳坍塌事故时有发生，造成严重的人员伤亡与经济损失。基于此，本文深入分析高支模支撑体系稳定性的主要影响因素，针对性提出稳定性控制技术措施，系统梳理当前主流安全监测技术手段，结合工程实践明确监测方案实施要点，最后给出高支模施工安全管理保障对策，旨在为提升高支模施工稳定性、防范安全事故提供理论参考与实践指导，推动建筑施工安全管控水平提升。

**【关键词】**：高支模；支撑体系；稳定性控制；安全监测；施工安全；变形监测

DOI:10.12417/2811-0528.26.13.003

## 1 引言

随着我国城市化进程的持续推进，高层建筑、大跨度厂房、大型场馆等复杂建筑工程日益增多，高支模支撑体系在混凝土结构施工中的应用愈发广泛。高支模通常指搭设高度 $\geq 8\text{m}$ 、搭设跨度 $\geq 18\text{m}$ 、施工总荷载 $\geq 15\text{kN/m}^2$ 、集中线荷载 $\geq 20\text{kN/m}$ 的模板支撑体系，属于建筑施工中危险性较大的分部分项工程，其施工过程受荷载、搭设工艺、材料性能、环境等多重因素影响，支撑体系失稳坍塌风险居高不下。

支撑体系稳定性是高支模施工安全的核心控制要点，一旦出现失稳，极易引发连锁坍塌事故，不仅延误施工工期，更会造成重大人员伤亡和财产损失，带来恶劣的社会影响。分析过往高支模安全事故原因，主要集中在支撑体系设计不合理、搭设不规范、荷载控制不到位、安全监测缺失等方面。当前，部分施工现场仍存在重进度、轻安全，技术管控与安全监测流于形式的问题，进一步加剧了施工风险。因此，开展高支模支撑体系稳定性控制研究，构建科学完善的安全监测体系，对保障高支模施工安全、推动建筑工程高质量建设具有重要的现实意义与工程价值。

本文结合高支模施工工艺特点，全面剖析稳定性影响机理，细化全过程稳定性控制措施，整合自动化与智能化监测技术，形成一套完整的高支模施工安全管控方案，为施工现场安全管理提供可行依据。

## 2 高支模支撑体系稳定性影响因素分析

高支模支撑体系是由立杆、横杆、扫地杆、剪刀撑、可调托撑、模板等构件组成的空间受力结构，其稳定性受设计、材料、施工、环境等多维度因素共同作用，各因素相互关联、相互影响，共同决定支撑体系的受力状态与安全性能。

### 2.1 设计因素

设计是保障高支模支撑体系稳定的前提，设计不合理是引发体系失稳的根本原因。部分施工单位未结合工程实际进行专项设计，盲目套用常规模板支架方案，未对搭设高度、跨度、立杆间距、步距、剪刀撑设置等进行精准受力验算，导致支撑体系承载能力无法满足施工荷载需求。同时，设计过程中未充分考虑混凝土浇筑顺序、施工活荷载、风荷载等动态荷载影响，对可调托撑、立杆搭接等关键节点设计不规范，造成支撑体系局部受力过大，整体稳定性失衡。此外，未针对复杂工况（如高低跨、悬挑部位）进行专项设计，导致体系受力不均，极易引发局部失稳进而扩散为整体坍塌。

### 2.2 材料因素

支撑体系材料性能直接决定结构承载能力，材料质量不达标是稳定性失效的重要诱因。高支模常用钢管、扣件等材料，若钢管存在弯曲变形、锈蚀、壁厚不足、焊缝开裂等问题，扣件出现裂纹、滑丝、抗压抗滑性能不达标，会大幅降低构件连接刚度与整体受力性能。部分施工现场为降低成本，使用老化、破损的周转材料，未按规定进行材料进场检验与力学性能检测，导致支撑体系本身存在先天缺陷，在荷载作用下极易发生变形、失稳。同时，可调托撑螺杆直径、托板厚度不符合规范，扫地杆、剪刀撑采用劣质材料，也会削弱体系整体稳定性。

### 2.3 施工因素

施工搭设与使用过程的不规范操作，是导致高支模支撑体系失稳的直接原因。在搭设阶段，施工人员未严格按照专项方案施工，立杆垂直度偏差过大、立杆底部未设置垫板、横杆步距不均、剪刀撑搭设不连续、扣件拧紧力矩不足，导致构件连接不牢固，体系整体刚度下降。混凝土浇筑过程中，未按设计顺序施工，出现集中堆载、单侧浇筑等情况，造成支撑体系局

部荷载远超过设计值；同时，振捣设备过度振捣引发结构振动，加剧体系受力失衡。此外，施工过程中随意拆除横杆、剪刀撑等受力构件，未及时整改搭设偏差，进一步增大失稳风险。

## 2.4 管理与环境因素

施工现场安全管理缺失、人员技术水平不足，会大幅降低支撑体系施工质量。部分项目未编制专项施工方案，或方案未经审批、专家论证便擅自施工，作业人员未接受专业技术交底与安全培训，违规操作现象普遍。同时，高支模施工受环境因素影响显著，大风、降雨等恶劣天气会改变体系受力状态，大风产生侧向荷载导致支撑体系发生水平位移，降雨造成钢管锈蚀、地基沉降，进一步削弱体系稳定性。施工现场地基处理不密实，在荷载作用下出现不均匀沉降，也会直接引发支撑体系整体失稳。

## 3 高支模支撑体系稳定性控制技术措施

### 3.1 优化专项设计，夯实稳定基础

高支模施工前必须编制专项施工方案，由专业技术人员结合工程图纸、地质条件、施工工艺进行精准受力验算，确保支撑体系承载能力、刚度、稳定性满足规范要求。方案需明确立杆间距、横杆步距、剪刀撑设置形式、地基处理方式、混凝土浇筑顺序等核心参数，搭设高度超过 18m 的高支模方案，必须组织专家进行论证，根据论证意见修改完善后方可实施。

设计过程中，采用极限状态法进行荷载计算，充分考虑永久荷载、施工活荷载、混凝土浇筑荷载、风荷载等组合效应，重点验算立杆受压稳定性、扣件抗滑承载力、地基承载力。针对大跨度、高层高区域，加密立杆与横杆布设，增设水平剪刀撑与竖向剪刀撑，增强体系整体抗侧移能力；立杆底部设置刚性垫板，扩大受力面积，避免地基局部沉降；规范可调托撑使用，严禁螺杆外露长度过长，减少偏心受力影响。

### 3.2 严控材料质量，保障构件性能

建立严格的材料进场验收制度，对钢管、扣件、托撑等材料进行逐批检验，核查产品合格证、力学性能检测报告，严禁不合格材料入场。钢管壁厚不得小于规范要求，表面无裂纹、锈蚀、变形，扣件进行抗滑、抗压、抗扭转性能检测，确保拧紧力矩控制在  $40N\cdot m$ - $65N\cdot m$  之间。

对周转使用的钢管、扣件，提前进行修复、检测，淘汰破损、变形构件。材料进场后分类堆放，做好防雨、防锈措施，避免环境因素导致性能下降。同时，加强施工过程中材料性能抽检，发现性能不达标构件立即更换，从源头保障支撑体系构件质量。

### 3.3 规范施工工艺，强化过程管控

高支模搭设施工必须由专业架子工完成，作业人员持证上岗，施工前接受专项技术交底与安全培训，明确施工流程、质量标准与安全要点。搭设过程严格按照专项方案实施，保证立杆垂直度偏差不大于搭设高度的  $1/1000$ ，且不大于 5mm；横杆水平布设，步距偏差控制在规范范围内；竖向剪刀撑从底部至顶部连续搭设，水平剪刀撑按间距要求分层布设，确保体系形成空间整体受力结构。

混凝土浇筑前，对支撑体系进行全面检查验收，重点核查节点连接、扣件拧紧度、剪刀撑设置、地基状态等，验收合格后方可进行浇筑施工。浇筑过程遵循“分层浇筑、对称浇筑、由中间向两侧”的原则，避免集中堆载与单侧受力过大，严控施工荷载不超过设计值，严禁在支撑体系上堆放钢筋、设备等多余物料。浇筑完成后，未达到混凝土设计强度前，严禁拆除支撑体系，拆模时遵循“先支后拆、后支先拆”的原则，逐步拆除构件。

### 3.4 加强地基处理，消除沉降隐患

高支模支撑体系地基承载力直接影响整体稳定性，施工前需对地基进行压实、找平处理，清除软弱土层，采用混凝土硬化或铺设碎石垫层提升地基承载力。对于松软地基，增设灰土垫层或桩基加固，防止荷载作用下出现不均匀沉降。地表表面设置排水坡度，做好排水措施，避免雨水浸泡导致地基软化下沉。立杆底部设置通长垫板或型钢底座，将上部荷载均匀传递至地基，确保地基受力均衡。

## 4 高支模施工安全监测技术研究

高支模施工安全监测是实时掌握支撑体系受力、变形状态，及时预警安全风险的关键手段，通过对关键参数进行动态监测，可快速发现体系异常变化，提前采取防控措施，避免失稳事故发生。当前高支模安全监测技术主要分为人工监测与自动化监测两大类，随着技术发展，智能化、无线化监测手段逐步成为主流。

### 4.1 监测内容与测点布设

结合高支模支撑体系受力特点，确定核心监测内容：立杆轴力、水平位移、竖向沉降、倾斜度，大风天气下增加风荷载监测。监测点布设遵循“重点区域优先、全面覆盖”的原则，在支撑体系跨中、端部、高低跨交接处、荷载集中区域等关键部位布设测点，立杆轴力监测点布置在主要受力立杆上，水平位移监测点布置在体系顶部与中部，竖向沉降监测点布置在立杆底部与地基关键位置。

## 4.2 人工监测技术

人工监测是传统监测手段,适用于小型高支模工程或辅助监测。主要采用水准仪监测竖向沉降、经纬仪监测水平位移与倾斜度、扭力扳手检测扣件拧紧力矩、测力计检测立杆轴力。人工监测操作简单、成本较低,但存在监测精度有限、数据时效性差、无法实现 24 小时连续监测、受人为因素影响大等弊端,难以满足大型、高危高支模工程的实时监测需求。

## 4.3 自动化监测技术

应力应变监测技术采用振弦式轴力传感器、应变传感器,安装在高支模立杆、横杆关键受力部位,实时采集构件应力应变数据,通过无线传输模块将数据上传至监测平台,精准反映支撑体系受力状态。该技术监测精度高、响应速度快,可实时监测构件受力变化,当应力超过预警值时立即发出预警。

变形监测技术运用激光位移传感器、倾角传感器、静力水准仪,分别监测支撑体系水平位移、倾斜度与竖向沉降。传感器具备高精度、自动化、连续监测的特点,可实时捕捉微小变形量,通过数据处理分析,判断支撑体系变形是否处于安全范围。针对大跨度高支模,采用分布式监测技术,实现变形数据全方位采集。

无线传感与智能监测平台依托物联网、无线通信技术,构建高支模智能安全监测系统,将各类传感器、数据采集终端、云平台、移动终端融为一体。传感器采集的轴力、位移、沉降、倾斜等数据,通过 5G、蓝牙等无线传输方式实时上传至云平台,平台自动进行数据处理、分析、预警,管理人员可通过电脑、手机实时查看监测数据,掌握支撑体系运行状态。系统设置多级预警机制,当数据达到预警值、报警值时,分别通过声光、短信、APP 推送等方式发出预警,实现风险实时管控。

## 5 高支模施工安全管理保障对策

### 5.1 健全安全管理体系,落实主体责任

施工单位建立健全高支模施工安全管理责任制,明确项目经理、技术负责人、安全员、作业人员的安全职责,将安全责

任落实到施工全过程。严格执行专项方案审批、专家论证制度,严禁无方案、擅自修改方案施工,加强施工现场安全巡查,对违规操作、搭设不规范等问题及时整改闭环。

### 5.2 强化人员培训教育,提升专业素养

定期开展高支模施工技术与安全培训,针对作业人员、管理人员开展专项交底,重点讲解支撑体系搭设工艺、安全要点、监测规范、应急处置流程,提升人员安全意识与专业操作能力。特种作业人员必须持证上岗,杜绝无证操作、违规作业,定期开展安全应急演练,提高现场人员风险处置能力。

### 5.3 加强全过程监督检查,严控施工质量

施工过程中开展常态化监督检查,搭设前核查方案、材料、人员资质;搭设中巡查立杆、横杆、剪刀撑搭设质量,扣件拧紧度;浇筑前组织联合验收;浇筑中实时监测体系状态;拆模前核查混凝土强度报告。对检查发现的问题建立台账,限期整改,跟踪落实,形成全过程质量管控闭环。

## 6 结论

高支模支撑体系稳定性控制是一项系统工程,涉及设计、材料、施工、管理、监测等多个环节,只有实现全过程、全方位管控,才能有效防范失稳坍塌风险。通过优化专项设计、严控材料质量、规范施工工艺、强化地基处理,可从技术层面提升支撑体系稳定性;依托自动化、智能化安全监测技术,实现支撑体系受力、变形参数实时监测与风险预警,能及时消除安全隐患;结合完善的安全管理体系、人员培训、应急处置,为高支模施工安全提供全方位保障。

当前,高支模施工安全监测技术正朝着智能化、精准化、无人化方向发展,BIM 技术、大数据、人工智能等新技术与高支模管控深度融合,可实现支撑体系设计、施工、监测一体化管控。未来,需进一步深化高支模受力机理研究,优化监测技术与预警模型,推动智慧化安全管控系统在施工现场的普及应用,持续提升高支模施工安全管控水平,从根本上杜绝安全事故发生,保障建筑工程施工安全。

## 参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑施工模板安全技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [3] 王亮.高支模支撑体系稳定性影响因素及控制措施[J].施工技术,2020,49(S1):321-323.
- [4] 李刚.高层建筑高支模施工安全监测技术应用研究[J].工程质量,2021,39(05):89-92.
- [5] 张磊.高支模智能监测系统设计及工程应用[J].建筑安全,2022,37(03):45-48.
- [6] 刘军.建筑工程高支模施工安全管理要点分析[J].安全与环境工程,2020,27(04):187-191.