

高支模架体实时安全监测技术研究

潘福松

广东省建设工程质量安全检测总站有限公司

摘要：随着国家经济发展，更多先进的工艺进入到建筑行业中。使得混凝土浇筑结构增多，建筑造型更加复杂。其中，高支模作为工程中的重要技术，有着承载力大、搭设便捷等优点。高支模架体在工程中有着广泛应用，按时因结构高度、跨度多变，施工过程中，需要保证架体结构安全，避免倾斜、垮塌等风险带来事故。传统的监测施工技术，无法对高支模全面监测，针对高支模架体进行安全监测，对高支模架体施工采取仪器与人工巡查联合的形式，持续获取实时的监测数据，为工程施工提供全面的监测和预警，为工程安全施工提供保障。

关键词：高支模架体；实时安全监测；监测数据

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.18.021

引言

高支模在工程中的应用广泛，伴随着应用存在一些安全问题未能解决，一直是工程项目的关注重点。高支模杆件较多、受力复杂，自身有一定的危险性，搭建高支模架体，为施工提供全面实时保护，对架体进行安全监测。为了保证高支模支架结构稳定，需要对施工全过程高支模使用情况监测。采取实时安全监测方法保障施工安全，避免高支模倾斜、垮塌，将实时安全监测体系应用在工程中，为施工提供基础保障，完善工程安全管理，助力工程顺利进行。

一、高支模架体监测

（一）监测基本原理

通过对高支模支撑体系分析，探究施工过程中的工作机理。施工前，对架体科学设计。根据设计方案，计算出结构中的薄弱位置，加强对支撑点的重点监测。一般在跨度较大的工程、或是大规模工程中，都存在承载力较大，或是稳定较差的部分，要求施工期间将其看成监测重点，做好全程监督管控。施工前，做好工程结构、架体设计等前期准备，将监测系统综合导入应用。对现场的支撑体系、监测体系协同管理。在结构薄弱的位置安装传感仪器，实时采集立杆数据，根据倾斜角度、位移参数等，进行监管和预警，实现对高支模架体的安全保护。施工过程中，采用传感器和信息采收设备，对关键点实时捕捉动态信息，平台接收现场数据传输，分析结构受力情况，与报警阈值参数对比。超出阈值范围，则发出警告，提醒现场人员根据实际情况对架体科学处置，保证工程顺利进行。

高支模出现搭设不规范的技术事故特征，具体如下：

（1）工期不长、未予高度重视。此类工程的施工时间不长，整个工程周期可能是数小时至3天，现场施工期间，对于高支模搭设操作不会给予过多关注。

（2）环境多变、干扰因素众多。此类工程在较多的干扰因素下，比如荷载、支撑、工艺等，无法保证高支模的搭设质量，增大了高支模坍塌的风险性。

（3）事故征兆不多、应急时间紧张。高支模坍塌之前，没有较多的事故征兆。一旦发生坍塌，难以快速进行应急逃生。

（二）现场监测设备布设

高支模架体搭设完成后，需要对整个结构进行实时安全监测。传感器固定在关键位置，保证立杆垂直性。倾斜角度安装传感器，布置在架体立杆顶端位置，以水平状态对结构倾斜角度监测。高支模架体安装过程中，模板、支架、传感器都要按照设计位置加固安装。避免振动、冲撞对效果造成影响。安装数据采集基站，接入网络对架体实际情况监测。针对异常情况及时处理。对监测发现的异常数据科学分析，综合决策，保证项目施工安全。高支模及高大支模定义如表1所示。

表1 高支模及高大支模定义

参数	搭设高度	搭设跨度	施工总荷载	集中线荷载	高宽比
高支模	≥ 5m	≥ 10m	≥ 10kN/m ²	≥ 15kN/m ²	> 1
高大支模	≥ 8m	≥ 18m	≥ 15kN/m ²	≥ 20kN/m ²	/

二、高支模实时安全监测系统设计

高支模监测早在20世纪90年代，就已经使用仪器进行监测管理。尽管这种方法精度低、稳定差，但是随着后期网络科技发展，提高了仪器监测水平，也能够综合其他技术，对高支模进行全方位的实时监测。对于工程中的高支模架体安全有较好应用前景，针对高支模事故分析，发现问题多处于杆体位移导致结构失稳，及时发现能够减少事故发生概率。因此，做好结构布局，分析架体搭建形式与环境因素，建立实时安全监测系统，及时发现高支模安全隐患，针对性处理，对于高支模施工有重要意义。重点对监测系统优化，确保系统在阈值阶段能够自动告警，降低危险事故发生^[1]。

（一）监测施工技术应用原则

为了确保高支模在施工过程中，架体安全得到保障。需要应用实时安全监测技术，也就是建立监测系统，运用计算机、传感器等技术，对高支模结构受力状态分析，实时掌控架体情况。准确监测的同时，能够及时预警，保证高支模施工安全。针对不同工程中的高支模项目，会因为工程要求标准差异，有不同的搭建形式，监测系统的重点也有所不同。因此，在实际搭建时，应遵循针对性原则。将监测系统作为主要目标，考虑工程类型与环境，采用适合的方法进行监测；兼顾整体与局部，对架体整个位移、荷载进行实时安全监测，并对架体薄弱位置监测，视作关键部位，从而对高支模安全情况分析，

实现对架体的全方位监测。系统设计时，应综合耐久性、抗震性等要素，保证数据监测的可靠性。

(二) 监测指标分析

基于高支模监测内容，明确监测指标，分析各项指标，对高支模安全性评估，监测指标如表2所示。

表2 高支模重要监测指标

监测位置	施工面层	支架	基础
监测指标类型	加载体系	传载体系	承载体系
具体的监测指标	施工荷载	水平杆位置	土地基的沉降量
	风荷载	立杆竖向位移	基础沉降量
	附加荷载	支架倾斜	岩石地基沉降量

不同高支模施工中，工程施工要素不同，选择的监测重点也不同。合理地选择监测项目能够掌握高支模架体实时状况，精准掌握架体实际数据，提升实时安全监测的精度。根据高支模实时安全监测技术规范，重点监测的项目如下：(1)立杆轴力监测，是根据力学特征，对立杆轴向监测，避免混凝土浇筑不符合要求，导致局部材料堆积，使得立杆受力不均匀，造成失稳现象；(2)水平位移监测则是对浇筑位移监管，避免局部或整体变形，影响高支模稳定性；(3)支架倾斜监测则是在施工期间，对架体水平向变形量，换算成位移参数；(4)立杆基础沉降监测是对浇筑时的架体稳定性以及变形情况监测，避免高支模丧失稳定性。根据上述内容进行监测，保证高支模架体安全状态。建立实时安全监测项目，如沉降、风速、振动等监测项目作为监测的关键指标。具体如表2所示。依照表格内容，把握监测的主次内容，同时配合工程项目实际情况，做好选择。依据监测项目，额外分析是否对结构进行振动和湿度监测，保证杆件质量，避免外力因素和材料自身因素，对高支模结构造成影响。

表3 高支模监测项目分类

主次分类	监测项目	监测目的
主要监测	立杆轴力	立杆轴向受力监测，防止轴向受力影响失稳
	水平位移	监测水平位移，防止局部变形
	沉降	监测竖向变形，避免位移导致结构失稳
	立杆倾斜	对结构水平方向监测，与唯一验证和补充
次要监测	基础沉降	立杆基础竖向变形监测，防止沉降导致结构失稳
	温度	温度变化，温度对杆件影响
	风速	风速、风向监测，风荷载作用影响

(三) 高支模监测系统

1. 监测系统组成

高支模监测系统，需要对架体杆件等结构监测。系统由传感器、数据采集传输系统、数据库等子系统构成。通过对高支模结构进行监测，传感器合理优化布设，对现场高支模采集数据，基于无线网络传输，传输

至数据库中，进行数据分析。将分析的结果与监测信息对比，对比是否超出预警阈值，从而进行预警，保障高支模实时安全监测。安全预警系统根据阈值参数，进行不同程度的预警，提醒现场施工人员对架体损伤位置修补加固。传感器选择要保证数据采集和感知的准确性，避免仪器不稳定导致错误评估，根据工程实际需求以及现场情况，选择耐久适用的传感器。传感器需要对监测项目的轴力、水平位移进行监测，对监测对象变化情况感应，获取可靠数据。

(1) 监测点布置方法。布点时，侧重选择高大支模的关键受力点、结构变形点，在支架薄弱、荷载承担较大的位置，合理布设监测点。采取网格布点方法，各测点间距为10至15m。

(2) 支撑结构。针对荷载集中、自由边中心、其他点位，长宽比值结果较大、荷载测值较高、模拟会发生较大形变的位置，需要增加测点。如有其他更稳的结构进行连接，可适当控制布点个数。

(3) 立杆基础。此结构位置设计监测点时，需要在支架四角、荷载集中、承载性不足的位置，逐一设计监测点。各个测点水平间隔处于10至15m以内，各个边的测点个数至少是2个。

2. 监测思路

工程施工全过程，高支模监测系统能够保障架体安全。监测系统是基于无线传输、云平台组成的实时安全监测系统。监测系统能够接收到传感器、通信系统传输数据，通过数值模拟，对模板运行状态评估，对高支模支撑系统判定。监测全过程，都应围绕高支模支撑体系结构特性，包括结构应力监测、关键杆件顶部位移监测等。根据监测主要任务，将传感器布置在实时监测点的位置。应力传感器测点位置选择易损性较大的杆件、易损性较大的位置，按照传感器优化理论，确定好传感器位置和数量^[2]。

3. 实时安全监测系统

根据上述的实时安全监测分类，选取高支模参数监测，对主要有代表性的区域监测。布设好传感器，对高支模结构进行实施监测，建立云平台为监管的实时安全监测系统。监测系统通过不同等级阈值对比，实现自动化高支模监测，对高支模架体各个主要项目监测。高支模监测系统项目与工程有密切关联，选取应力监测、位移监测，选取应力、位移等监测内容为重点，对高支模项目进行监测。

应力是反映结构受力变化，监测过程中一旦出现变化，传感器能直接反映，从而在监测系统中体现结构，保证高支模结构安全。高支模架体杆件受力状态与分布情况，直接反映出结构安全状况。对结构状态评估，随着施工进行，架体承受的荷载增加，架体承受压力值增加，布设传感器能够监测各处杆件，实时监测应力变化，对高支模安全性评估。高支模架体不仅与结构荷载相关，还受到环境温度影响。温度变化也影响杆件应力，还需要对温度进行监测；位移监测则是高支模在外界荷载作用下的水平、竖向位移，反映出高支模各项参

数，将其作为重要指标，确保架体安全^[3]。

4. 高支模实时安全监测系统布设

不同的高支模工程使用的监测方案不同，与工程规模、搭设形式有关联。高支模布设传感器数量越多，获取的实时监测数据较为全面。传感器数量增加，也要支出相应成本。综合工程经济效益，需要选择有针对性的布设监测系统，从而掌握高支模架体状态，保证高支模施工安全。

(1) 关键区域选取

针对高支模监测点布设，应在高支模上进行关键位置选取，进行传感器优化布设。根据工程建筑区域，确定好各个高支模架体搭设高度、梁截面尺寸、荷载值等，从搭设高度确定工程等级，制定科学的保护措施。为保障高支模架体施工安全，采用受力能力较出色的支撑盘扣。立杆是架体承载的关键部件，要求钢材规格、屈服强度都能满足要求。依据钢管支架安全技术标准规定，选择符合施工标准的立杆进行搭建。高支模项目杆件较多，需要在整体区域中，分析高度、荷载等参数，对受力较差的位置进行重点保护。获取关键区域的架体立面图，分析图中的架体结构，搭设模板支撑系统，使用厚木板、钢托梁、立杆等对架体进行布置，满足施工稳定性、应力等设计规范要求。

(2) 关键区域施工过程模拟分析

根据搭建的架体布置图，采用软件对架体模型分析。对关键区域模型图的各个方向平面图分析，对施工全过程的受力特征分析。对施工全过程划分，为传感器优化布置提供依据。分析关键区域的屈曲、计算临界荷载，保证荷载在架体上的均匀分布。基于有限元模型屈曲分析，获取架体不同形态的变形图。分析各个架体屈曲模态，获取临界荷载系数，为高支模实时安全监测传感器布设提供依据。

(3) 关键区域分阶段加重对架体的影响

分析以往的高支模事故，都是因为浇筑过程中，高支模位移、失去平衡。将施工全过程划分为不同流程，对浇筑过程进行划分，根据关键区域实际情况，依次对各个结构浇筑情况监测^[4]。分析每一次浇筑加湿重后的立杆受力、位移情况等，确定关键区域的易损位置。如表2所示，根据不同阶段的加湿重阶段，获取立杆承受应力以及位移参数。根据表内参数，能够看出立杆承受应力处于第二阶段，此时的立杆承受应力值最大。随着不断加湿重，位移达到最大。根据模型分析，确定出位移最大值发生位置。

表 4 各阶段湿重对立杆的影响^[5]

施加湿重阶段	立杆最大应力 (Mpa)	立杆最大水平位移 (mm)
1	186.5	4.23
2	221.3	5.36
3	216.9	6.23
4	213.5	6.37
5	219.2	6.82

(4) 传感器布设

将传感器布设在立杆上，实时安全监测系统发现，随着混凝土浇筑出现波动。浇筑前立杆受力影响较小，随着浇筑不断进行，立杆作为架体支撑结构，浇筑区域内的立杆在压力影响下发生变化。浇筑后立杆受力逐渐趋于平稳，受到混凝土荷载作用，受力增大。因此，将传感器布设在相关性系数较强的位置，在结构最不利位置方向进行传感器布设，选择关键位置设立位移传感器。并在立杆顶部设置测点，并在结构梁跨中立面位置传感器。对关键区域进行实时监测，保证数据获取。对同一梁下的位置，布置测点对下方杆件监测。掌握架体水平受力、倾斜受力等。按照立杆顶部、底部、斜杆、水平杆进行监测。

三、高支模实时安全监测系统应用效果评价

配合高支模实时安全监测系统，将系统与预警系统衔接，设置好预警阈值，在杆件倾斜、失稳时，及时告警，保障工程安全。预警体系要具备及时、准确的特点，及时反应事故以及潜在风险指标，实现高效预警。根据浇筑各个过程，设置预警等级，在不同阈值下触发不同预警。将实时安全监测系统应用在A工程中，能够基于位移传感器对模板支撑的杆件进行监测，监测施工期间，杆件的稳定数值，保证支撑结构在浇筑环节中的状态正常。在关键区域布设传感器，对浇筑过程中，混凝土下落对杆件受力过程监测。通过数据比对分析，发现传感器能够监测杆件数据对其波动性实时把控。而相同区域的立杆传感器相关性程度较高，监测数据值在合理范围内；杆件支撑工作情况分析可知相同区域浇筑的立杆，对其水平杆、斜杆数据变化的过程特征分析，将数据对照风险等级，分析具体结果。允许应力设计在一定极限值内，设置的传感器，在浇筑过程中服役状态正常。验证了实时安全监测系统能够对高支模架体安全性进行预警和保障，能够很好地应用在高支模项目施工中。

结论：综上所述，为了避免高支模架体在施工中，受到复杂荷载影响，高支架杆件多，容易在荷载压力下导致局部失稳。要求在施工的同时，对工程全过程应用高支架的环节，都进行实时安全监测。根据安全监测系统运行，为工程提供安全保障。掌握高支模杆件受力点，对重点位置保护，对高支模使用状态监测，保证工程安全性和可靠性，推动项目稳步进行，带来可观的经济效益。

参考文献

[1]何舰. 盘扣式高支模架体抗倒塌能力与动力特性研究[D]. 吉林大学, 2024.
 [2]曹益. 承插型盘扣式高支模体系稳定性分析与安全性评价[D]. 安徽建筑大学, 2023.
 [3]李晓波. 高大支模技术在房屋施工中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(12): 77-79.
 [4]杨帆, 庞旭卿. 地铁车站模板工程支撑体系施工技术研究[J]. 江西建材, 2022(12): 263-264+269.
 [5]李伟志, 阮前垒, 田军. 高支模架体安全监测施工技术[J]. 中国住宅设施, 2021(11): 130-131.