复杂工况下模板支撑体系施工技术及安全管理

章晶如

（铜陵有色金属集团铜冠建筑安装股份有限公司，安徽 铜陵 244000）

摘 要 随着建筑规模的不断扩大与结构形式的日趋复杂，模板支撑体系作为混凝土结构施工中的关键临时承载系统，其安全性与稳定性直接决定了工程的质量与施工安全。本文针对复杂工况下模板支撑体系面临的普遍性技术挑战，如高大空间结构、超重荷载构件、受限施工环境及复杂地基条件等，系统性地探讨了相应的施工技术对策。从支撑体系的选型原则、关键构造加强措施以及全过程安全管理框架的建立等方面进行了深入分析，重点论述了从方案编制、过程监控到监测预警的动态管理路径，旨在为同类复杂条件下的模板支撑工程施工提供技术参考与安全管理思路。

关键词 复杂工况；模板支撑体系；高大空间组合支撑体系技术；安全管理；高支模

中图分类号：TU755.2 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.27.030

0 引言

随着城市化进程的深入，建筑工程的功能需求和美学追求不断提升，导致建筑结构呈现出超高、大跨、重载以及异形化的发展趋势。这种复杂性直接投射到施工过程中，使得作为混凝土结构成型载体的模板支撑体系面临着前所未有的严峻工况[1]。无论是超高空间（高支模）的架体稳定性问题，还是超重构件的局部承压风险，抑或是受限空间内的支模难题，以及复杂地基可能引发的不均匀沉降，都对支撑体系的设计、施工与管理提出了极高的要求。传统的、基于理想化静力假设的模板支撑设计方法，在面对施工过程中荷载的动态分布、结构体系的非线性变形以及环境因素的随机干扰时，往往显得力不从心[2]。安全事故的偶发，暴露出从技术方案到现场执行，从材料管控到监测预警等环节可能存在的系统性风险。因此，深入研究复杂工况下模板支撑体系的针对性施工技术与全过程动态安全管理策略，对于提升建筑工程的整体技术水平、保障人民生命财产安全具有至关重要的意义。

1 复杂工况下模板支撑体系面临的技术挑战

复杂工况对模板支撑体系的挑战主要体现在以下几个方面。（1）高大空间结构支撑挑战：当建筑层高超过8 m或跨度超过18 m时，即形成高支模区域。此类工况下，架体的长细比增大，整体稳定性成为核心问题。立杆的稳定性计算、水平约束的不足以及风荷载等水平作用的影响，极易引发架体整体失稳坍塌[3]。（2）超重荷载构件支撑挑战：大截面梁、厚板等超重构件的出现，导致支撑体系需承受极高的竖向荷载。荷载的局部集中效应显著，要求支撑立杆具有极高的承载能力，且必须确保荷载能够通过有效的传递路径扩散至地基，任何节点的薄弱都可能导致局部压溃，进而引发连锁反应。（3）受限空间作业挑战：地下室肥槽、核心筒内等空间狭窄区域，常规的钢管架体难以搭设或无法形成完整的拉结体系。单侧支模、悬挑支撑等特殊工艺的引入，改变了传统的传力路径，对支撑节点的设计与施工精度提出了更高要求。（4）复杂地基条件影响：当支撑体系搭设于回填土、软弱土层或地质差异较大的基础上时，地基的不均匀沉降将成为最大的安全隐患。这种沉降可能导致架体产生附加应力、杆件变形甚至节点破坏，严重削弱整个支撑系统的承载能力与稳定性。

2 基于复杂工况的模板支撑体系施工技术分析

2.1 高大空间组合支撑体系技术

对于高大空间结构而言，采用单一的满堂脚手架支撑方案往往因其用钢量巨大、整体稳定性难以充分保证而并非最经济合理的选择。在工程实践中，更优的做法是采用一种组合式支撑体系，以有效提升整个

作者简介：章晶如（1990-），女，本科，工程师，研究方向：建筑工程。

系统的安全性与经济性。该体系的核心设计思路在于，通过下部基础支撑与上部荷载转换结构的协同工作，实现受力性能的优化。具体而言，下部可选用具有自锁功能和可靠斜杆加强体系的承插型盘扣式钢管支架，其立杆间距通常可按 900 mm×900 mm 或 600 mm×900 mm 进行布置，水平步距宜严格控制在 1.5 m 以内，借此发挥该体系自身良好的整体稳定性，构建一个坚实可靠的底部承载平台。为进一步降低高支模架体的重心并减轻其自重，可在架体中部或顶部设置一道由型钢构成的主次梁转换平台。这一平台能够将上部结构施工过程中产生的各类荷载更均匀地分散传递至下部支撑架体，有效避免荷载过度集中于高耸立杆的顶端区域，从而显著增强整个支撑系统的空间刚度与整体抗侧移能力，确保施工安全与结构稳定。

2.2 超重梁局部加强支撑技术

针对线荷载超过 20 kN/m 甚至 30 kN/m 的超重梁，必须突破常规的满堂布置思维，对梁底进行专项设计与独立加强。首先，需通过精确的结构力学计算，确定梁底立杆的实际轴力，并据此对立杆进行单独加密布置。例如：可采用规格不小于 48.3×3.6 的高强度盘扣式钢管，将梁底立杆间距压缩至 300 mm×600 mm 甚至更密。其次，为保证荷载均匀传递，应在梁底设置通长的双拼工字钢或槽钢作为托梁，将梁荷载均匀分配至下部加密立杆，避免局部应力集中。最后，必须将梁底加密区域的立杆与板下普通区域的立杆通过纵横水平杆和竖向剪刀撑进行可靠连接，使整个支撑系统形成整体空间受力体系，防止加密区因刚度突变而成为薄弱环节。对于节点复杂的梁柱核心区，可采用定制钢模替代传统木模，以抵抗巨大侧压力，确保成型质量。同时，为进一步提升超重梁支撑体系的稳定性，还需对梁底立杆的基础进行强化处理。通常会在立杆底部设置厚度不小于 10 mm 的钢板作为垫板，垫板下铺设不小于 150 mm 厚的 C20 混凝土垫层，垫层宽度不小于 300 mm，以有效扩散立杆传递的集中荷载，避免地基沉降。对于存在高压缩性土层的地基，还需在垫层下增设砂石褥垫层或灰土挤密桩等处理措施，确保地基承载力满足设计要求。此外，在立杆顶部设置可调节顶托时，顶托螺杆伸出长度不应超过 300 mm，且螺杆外径与立杆内径的间隙需控制在 3 mm 以内，顶托底部应设置 50 mm×100 mm 的木方或型钢，以增大与托梁的接触面积，防止顶托因局部受压过大而失稳。在施工过程中，还需对立杆垂直度进行严格控制，偏差不得大于 1/500 立杆高度，且全高偏差不超过 10 mm，确保支撑体系在荷载作用下保持稳定的受力状态。

2.3 受限空间单侧支模技术

在无法进行双侧支模的受限空间如地下室外墙，单侧支模技术是有效的解决方案。该技术的核心是构建一个稳定的三角受力体系。通过预埋在基础底板或地梁中的地脚螺栓作为拉结点，利用一组可调斜撑杆将混凝土浇筑时产生的巨大侧压力传递至已施工完成的底板结构上。施工中需严格控制斜撑杆的安装角度通常控制在 45° ～ 60° 之间，确保撑杆与模板主背楞、地脚螺栓的连接牢固可靠。同时，对模板体系本身应进行加强设计，提高其抗弯刚度，以应对单侧受力产生的变形趋势。为保证模板拼缝严密，防止混凝土浇筑时出现漏浆现象，模板面板宜采用 18 mm 厚多层板，板缝处粘贴双面胶条，并在模板内侧设置通长木方作为次背楞，间距控制在 200 mm ～ 250 mm，主背楞则采用双拼 Φ48 mm×3.5 mm 钢管，间距不大于 600 mm。斜撑杆与主背楞的连接节点应采用双扣件固定，且扣件拧紧扭矩需达到 40 N·m ～ 65 N·m，斜撑杆底部与地脚螺栓的连接应设置厚度不小于 10 mm 的钢垫板，垫板尺寸不小于 100 mm×100 mm，以避免螺栓因局部受力过大而陷入混凝土。此外，为进一步增强体系稳定性，可在模板顶部及中部设置水平拉杆，水平拉杆与斜撑杆形成空间网格结构，水平拉杆的间距不宜大于 1.5 m，且每道水平拉杆均应与两侧已施工结构或可靠支撑点连接。在混凝土浇筑前，需对单侧支模体系进行全面检查，重点检查斜撑角度、扣件拧紧度、模板垂直度及标高，模板垂直度偏差应控制在 3 mm/m 以内，且全高偏差不超过 15 mm，确保在混凝土侧压力作用下模板体系不发生失稳或过大变形。

2.4 复杂地基基础处理技术

当支撑体系搭设于不良地基上时，基础处理是保证整体安全的首要前提。常规技术措施包括：对回填土地基进行强夯或压实处理，提高其密实度和承载力；浇筑厚度不小于 150 mm 的 C20 以上混凝土垫层，形成扩散应力的刚性工作面；在垫层与立杆底座之间铺设通长垫板（槽钢或厚度不小于 50 mm、宽度不小于 200 mm 的木垫板），进一步分散立杆底部集中力。同时，必须设置完善的排水系统，防止雨水或施工用水浸泡地基，导致土体软化。此外，应在关键位置布设沉降观测点，对地基及架体进行全过程变形监测。对于特殊地质条件，如存在淤泥质土、液化土层或溶洞等复杂地基时，需采取针对性处理措施。对于淤泥质土地基，可采用深层搅拌桩、高压旋喷桩等方法形成复合地基，

通过水泥土与原状土的共同作用提高地基承载力；若地基土存在液化风险，则需采用振冲碎石桩或挤密砂桩等方式改善土的排水性能，消除液化隐患。对于溶洞发育区，应先进行地质雷达探测，明确溶洞分布范围及大小，小尺寸溶洞可采用灌浆填充处理，大尺寸溶洞则需采用钢筋混凝土盖板跨越或桩基穿越等方案，确保支撑体系传力路径安全可靠。在地基处理完成后，还需进行承载力检测，静载试验结果应满足支撑体系设计荷载要求，且地基变形量需控制在允许范围内，为模板支撑体系提供坚实的基础保障。

3 模板支撑体系施工安全管理措施分析

3.1 方案管理与技术交底

严格遵循危大工程管理规定，对于超过一定规模的模板支撑工程，必须单独编制专项施工方案，并组织专家论证。方案内容应包含但不限于：工程概况、编制依据、施工计划、施工工艺技术含计算书、施工图、施工安全保证措施、应急预案、监测监控措施等。方案实施前，必须进行多层次、全方位的技术交底[4]。交底不应流于形式，应利用BIM技术进行三维可视化交底，将复杂的节点构造、搭设顺序、关键参数（立杆间距、步距、自由端长度）直观地呈现给一线作业人员，确保其对技术要求有清晰准确的理解。

3.2 材料验收与过程控制

材料的质量是支撑体系安全的基础。所有进场的钢管、扣件、顶托、型钢等必须严格执行进场验收制度，查验产品质量合格证明文件，并进行外观质量检查，严禁使用裂缝、锈蚀、变形严重的材料。关键受力构件应抽样进行力学性能复验。施工过程控制应推行“样板引路”制度，选取有代表性的区域先行搭设样板架体，经各方联合验收合格后方可全面展开。搭设过程中，应重点把控立杆的垂直度、水平杆的步距、扣件的紧固扭矩、顶托的外露长度不得超过300 mm以及剪刀撑的连续设置。每搭设完成一个楼层高度，应组织一次阶段性验收，发现问题及时整改。

3.3 监测预警与应急管理

建立完善的监测预警系统是实现动态管理的关键。监测方案应针对不同的工况特点，明确监测项目如架体沉降、立杆倾斜、模板位移、地基沉降等、监测点布设位置、监测频率以及预警值。预警值的设定应以规范要求为基础，结合施工工况和结构分析综合确定，通常包含累计变形量和变形速率两项指标。在混凝土浇筑这一最危险阶段，应实施连续不间断监测。当监测数据接近或超过预警值时，必须立即停止施工，迅速撤离现场作业人员，并启动应急预案，组织专家和技术人员分析原因，制定加固处理措施，消除隐患后方可恢复施工[5]。

3.4 混凝土浇筑顺序管理

科学的混凝土浇筑顺序是保证支撑体系受力均衡、避免动载冲击的关键。对于超重梁板结构，必须严格执行“分层浇筑、对称浇筑”的原则，严禁集中堆载。应先浇筑竖向结构如柱、墙，待其达到一定强度后，再浇筑水平结构梁、板，利用已建成的竖向结构承担部分水平推力。对于高大空间区域，宜从中间向四周扩展对称浇筑，避免单侧浇筑产生的侧向压力导致架体失稳。在浇筑过程中，需严格控制布料速度和每层浇筑厚度，并安排专人全程巡视，密切观察架体及模板状态，一旦发现异常，立即停止作业。

4 结论

复杂工况下模板支撑体系的施工技术与安全管理是系统性工程。本文研究得出以下结论：一是技术措施需有针对性，针对高大空间、超重构件等不同复杂工况，摒弃单一思维模式，采取“组合支撑体系”等差异化技术方案，解决承载力与稳定性问题；二是全过程控制要精细，安全管理需形成从方案论证到应急响应的完整闭环，注重监测数据实时性与指导性，结合静态验收标准与动态施工过程，有效预控风险；三是结构整体性理念是核心，复杂工况下支撑体系应视为完整空间结构，通过扫地杆等形成稳定系统，防范局部破坏引发整体坍塌；四是信息化技术应用是趋势，引入智能监测技术，对架体关键指标实时定量监控，弥补人工检查局限，结合传统力学理论与实时数据流分析，实现更高层次的安全管控。

参考文献：

[1] 陈英烈.建筑工程高大模板扣件式钢管支撑体系施工技术[J].科学技术创新,2024(08):147-150.
[2] 刘俊雄,张新南.建筑工程高模板支撑体系的施工技术要点及应用实践[J].陶瓷,2024(04):195-197.
[3] 苏文博.高大模板支撑体系在大型公共建筑施工中的应用[J].全面腐蚀控制,2025,39(05):81-83.
[4] 韩彬彬.高大模板支撑体系施工技术与质量控制安全管理研究[J].建筑与装饰,2024(07):51-53.
[5] 屈建军.高大模板支撑体系工程关键安全技术控制[J].中国建筑金属结构,2024,23(01):187-189.