

大跨度悬挑混凝土结构高空支模架施工支撑面施工技术研究

杨磊

中国五冶集团有限公司 四川成都 610000

【摘要】本文聚焦大跨度悬挑混凝土结构高空支模架施工支撑面施工技术。大跨度悬挑混凝土结构因独特的空间性能和美学效果，在现代建筑中广泛应用，但高空支模架施工支撑面技术面临诸多挑战。文章从技术特点出发，深入剖析施工过程中的技术要点，包括结构受力特性、材料选用及施工工艺等。同时，结合当前施工现状，指出存在的技术难题。通过对施工技术应用策略的探讨，阐述如何在实际工程中科学运用相关技术，以确保施工安全与质量。最后，依据详细的数据，对施工应用效果进行全面分析，为大跨度悬挑混凝土结构高空支模架施工支撑面技术的进一步发展提供参考。

【关键词】大跨度悬挑混凝土结构；高空支模架；施工支撑面

1 大跨度悬挑混凝土结构高空支模架施工支撑面施工的特点分析

1.1 结构受力复杂

1. 荷载分布不均

大跨度悬挑混凝土结构的悬挑端乃是整个结构受力的关键所在，需承受较大的弯矩和剪力，致使荷载主要集中于悬挑部分。比如成都金融创新中心项目的2#楼六层1-M~1-Q轴交1-18轴大跨度悬挑梁，其模板搭设高度为26.5m，悬挑长度达8.4米，经实际测量和计算，悬挑端的集中荷载达到29.4kN/m²，而靠近主体结构的部分，荷载则相对较小，仅为12kN/m²。这种荷载分布显著不均的现象，致使支模架于受力方面极为复杂。于设计阶段而言，需运用诸如SAP2000等专业的结构力学软件，针对各部位的受力状况予以精确计算，并依据计算结果对支撑体系进行合理布置。倘若支撑体系的布置不够合理，那么悬挑端因承受过大的荷载，就非常容易发生变形乃至坍塌。在既往的部分工程事故里，便存在由于对荷载分布预估不充分，支撑体系布置不合理，进而致使悬挑结构在施工过程中出现严重变形，不得不进行返工重建的情况，由此带来了巨大的经济损失以及工期延误。

2. 动态受力影响

在大跨度悬挑混凝土结构的施工过程中，支模架承受的荷载并非恒定不变的静态荷载，其还会受到人员走动、材料吊运等动态荷载的影响。在材料吊运期间，

每次吊运所产生的冲击力能够达到8至12kN，这给支模架的连接节点以及整体稳定性带来了严峻挑战。比如，在某高层写字楼的大跨度悬挑阳台施工时，由于吊运材料过程中产生的冲击力，使得部分连接节点呈现出松动的迹象。为有效应对动态荷载所产生的不利影响，于施工时务必采取一系列相关举措，以强化节点连接强度，可采用高强度的扣件，且需严格依照规范要求对扣件的拧紧力矩予以控制；同时，需采用适宜的构造措施以抵御动态荷载，设置斜撑来增进支模架的整体刚度，增添连墙件以提升支模架与主体结构的连接稳固性，以此保障支模架于整个施工进程中的安全性。

1.2 材料选用特殊

1. 高强度钢材需求

鉴于大跨度悬挑结构所独具的受力特性，普通钢材难以契合其承载需求，故而支模架必须采用高强度钢材。以Q345B钢材为例，其屈服强度可达345MPa，相较于普通Q235钢材，能够承受更大的拉力与压力。在某大型体育馆的大跨度悬挑结构施工中，选用Q345B钢材来制作支模架立杆和横杆。在施工过程中，通过对支模架实施实时监测发现，在采用Q345B钢材后，支模架于承受相同荷载的状况下，立杆和横杆的变形量显著减小，有力地提高了支模架的承载能力。

2. 新型模板材料应用

于大跨度悬挑结构对施工精度与表面质量的严苛要求得以满足而言，常常会采用新型模板材料。铝合金模板即为一种性能颇为优良的新型模板材料，其密度大致为钢材的三分之一，具有重量较轻的特点，如此一来，不但为施工人员的搬运和安装提供了便利，而且能够切实有效地减轻支模架的负荷。在某超高层建筑的大跨度

作者简介：杨磊（1986.09——），男，汉，四川资中，本科，高级工程师，研究方向：建筑工程。

悬挑阳台施工过程中,运用铝合金模板,借助高精度的加工工艺,能够确保混凝土表面的平整度误差被控制在2mm以内,极大地提升了混凝土的成型质量。另外,铝合金模板的重复使用次数能够达到30至50次,远远高于传统木模板的5至8次,这减少了模板的采购数量以及废弃物的产生,与绿色建筑的发展理念相契合。并且,铝合金模板的施工效率较高,和木模板相比,能够缩短施工工期约20%,进而提高了项目的经济效益。

1.3 施工工艺之高要求

1. 高精度测量定位之必要

大跨度悬挑结构对施工精度的要求甚高,任何细微的测量定位偏差都有可能后续施工中被放大,进而对整个结构的质量与安全造成影响。以某大型桥梁的大跨度悬挑箱梁施工为例,其平面位置误差被要求不得超过5毫米,高程误差不得超过3毫米。于施工之际,采用了先进的全站仪来进行高精度的测量定位,通过构建精确的测量控制网,对支模架的每一个立杆位置予以精确放样。在测量进程中,为消除如风力、温度变化等外界因素的干扰,会选择在清晨或傍晚时分开展测量,因彼时气温相对平稳,风力较小。与此同时,在施工过程中对支模架的变形情况进行实时监测,借助传感器技术将变形数据实时传送至监控中心,一旦察觉变形超出预警值,便即刻调整测量数据,并采取相应的加固举措,以保障施工精度符合设计要求。

2. 搭设与拆除顺序之复杂

支模架的搭设与拆除顺序和结构的安全以及施工质量有着直接关联。针对大跨度悬挑结构,一般遵循先从主体结构开始进行搭设,而后逐步向悬挑端延展的原则。在拆除时,则严格按照先搭后拆、后搭先拆的顺序,自悬挑端开始逐步拆除。

2 大跨度悬挑混凝土结构高空支模架施工中支撑面的施工现状剖析

2.1 支撑体系的稳定性问题

1. 立杆间距的不合理性

于部分施工现场而言,鉴于施工人员对设计要求的理解不够充分,抑或出于对施工速度的追求,使得立杆间距的设置并未严格依循设计要求予以执行。诸如在某一工程中,其设计要求的立杆间距为1.2m,然而在实际施工里,部分区域的立杆间距却达到了1.5m,由此,立杆间距增加了25%。依据结构力学的计算,立杆间距的增大致使其承载能力大约降低了30%。不合理的立杆间距,会致使支模架整体稳定性降低,于施工过程中易产生局部失稳之状况。在某住宅项目大跨度悬挑阳台的施工时,正因立杆间距过大,于混凝土浇筑期间,支模架局部出现坍塌,所幸未造成人员伤亡,然而却致使该

部分工程需返工,既延误了工期,又增加了施工成本。

2. 水平杆设置欠缺

水平杆作为保证支模架整体稳定性的关键构件,可有效传递水平荷载,提升支模架的抗侧力能力。但在实际的施工当中,存在水平杆设置数量不充足的情形。部分施工人员为图施工便利,对水平杆的布置层数予以减少。比如某工程按规定应设置5层水平杆,实际却仅设置了3层。水平杆设置不足会极大地削弱支模架的抗侧力能力,当受到水平荷载作用时,支模架容易出现倾斜乃至倒塌。据统计,由水平杆设置不足所引发的支模架事故约占总事故的20%。在某学校体育馆大跨度悬挑结构的施工中,正是因为水平杆设置不足,在遭遇强风天气时,支模架发生倾斜,形成了严重的安全隐患,只得暂停施工,进而进行加固处理。

2.2 材料质量良莠不齐

1. 钢材质量之缺陷

于市场中,部分钢材存有质量方面的缺陷,诸如强度匮乏、表面锈蚀极为严重等情况。经抽样检测得知,约有10%的钢材其实际强度低于所设计的强度等级。譬如某批次的Q345B钢材,对其屈服强度进行检测,仅为300MPa,与标准的345MPa相差甚远。若采用这些质量不合格的钢材去制作支模架,那么必然会对支模架的承载能力与安全性产生严重影响,致使施工风险增大。在某工业厂房的大跨度悬挑结构施工期间,因使用了质量不合格的钢材,于施工过程中,支模架呈现出了显著的变形,经检查发现乃是钢材强度不足所导致。为保障工程安全,只得拆除并重新选取合格钢材予以施工,进而造成了极大的经济损失。

2. 模板之变形问题

模板在历经多次周转使用之后,容易产生变形的现象。以木模板作为示例,在经过5至8次的周转后,约有30%的模板会出现明显的变形,其表面平整度的偏差超过5mm。变形后的模板会对混凝土的成型质量形成影响,致使混凝土表面出现蜂窝、麻面等缺陷,降低混凝土结构的外观质量以及耐久性。同时,模板的变形会致使模板拆除难度加大,于拆除进程中易对模板造成损坏,进而致使施工效率降低。于某酒店项目的大跨度悬挑结构施工时,因采用了变形的木模板,使得混凝土浇筑后其表面呈现出大量蜂窝麻面,只得进行后期修补处理,由此增加了施工成本与工期。

3 大跨度悬挑混凝土结构高空支模架施工支撑面施工技术应用策略

3.1 优化支撑体系设计

1. 基于有限元分析的设计优化

借助有限元分析软件针对支模架予以建模分析,

可全方位且精准地模拟支模架处于不同荷载工况以及结构形式之下的受力状况，以此实现对支撑体系布置的优化。比如，在某大型展览馆的大跨度悬挑结构施工过程中，运用 ANSYS 有限元分析软件针对支模架进行建模。经由对不同荷载工况的模拟，涵盖恒载、活载、风载等等，察觉到悬挑端于现有的支撑体系之下应力集中颇为显著，立杆的最大应力近乎达到其屈服强度。经分析后，在悬挑端增添斜撑并且加密立杆的布置，进而重新展开模拟计算。结果表明，立杆的最大应力得以显著降低，支模架的稳定性也获得了有效提升。经基于分析结果实施设计优化后，支模架于施工过程中各项指标皆满足设计要求，有力保障了施工安全。在此整个过程中，有限元分析软件不但为设计优化给予了科学依据，而且还借由可视化的形式呈现了支模架的受力与变形状况，利于设计人员以及施工人员进行直观认知，提升了沟通效率与决策的准确性。

2. 新型支撑体系的运用

新型的盘扣式脚手架支撑体系被采用，相较于传统的扣件式脚手架，其具备众多优势。盘扣式脚手架以圆盘和插销作为连接方式，连接稳固，规避了传统扣件式脚手架因扣件松动而引发的安全隐患。就搭设速度而言，盘扣式脚手架的搭设效率较扣件式脚手架提高约百分之五十。在成都金融创新中心项目的大跨度悬挑阳台施工中，运用盘扣式脚手架后，搭设时间由原本的十五天缩短至十天，缩短了百分之三十。同时，因其节点连接可靠，支模架的整体稳定性有了显著提高。在施工过程中，通过合理设置可调托撑和扫地杆，进一步强化了支撑体系的承载能力。可调托撑可依实际需求对支模架高度予以精确调整，进而保障模板的平整度；而扫地杆能够切实防止立杆底部出现位移，有力增强支模架的整体稳定性。

3.2 严格材料质量控制

1. 材料进场检验

于施工现场进入的钢材及模板等材料实施严格的进场检验，乃确保工程质量之关键所在。就钢材而言，不但要对其质量证明文件予以检查，还需进行抽样复验，以检测诸如屈服强度、抗拉强度、伸长率等关键指标。譬如，每一批次钢材进入施工现场时，需依照规范要求抽取 5 根试件来进行力学性能检测。在检测进程中，运用专业的材料试验机，以保障检测数据的精确性。针对模板，需检查其外观质量，测量其尺寸偏差，以保证模板的平整度、厚度等契合设计要求。在对模板平整度进行检查时，可使用靠尺和塞尺进行测量，一旦察觉模板存有变形、翘曲等问题，坚决不予验收。唯有检验合格

的材料方可用于施工，杜绝不合格材料进入施工现场，由此从源头保障工程质量。

2. 材料储存与维护

强化材料的储存与维护管理，可延长材料的使用寿命，保证材料在施工过程中始终维持良好的性能。钢材需放置于干燥且通风的场地，其底部需用枕木垫高，以防钢材受潮而锈蚀。对于需长期存放的钢材，要定期实施防锈处理，如涂刷防锈漆，以此避免钢材表面生锈。模板应进行分类堆放，以防止模板变形，且在堆放模板时，于每层之间设置垫木，以保障模板受力均匀。同时，在模板使用前均需用清理与保养，需涂刷脱模剂，从而减少混凝土与模板之间的粘结力，利于模板拆除，并延长模板的使用寿命。于某大型桥梁工程中，正是因为对材料储存与维护管理恰当，使得钢材的锈蚀率显著降低，模板的周转次数提高了 2 至 3 次，进而有效降低了施工成本。

4 大跨度悬挑混凝土结构高空支模架施工支撑面施工应用效果分析

4.1 结构稳定性提升效果

1. 立杆应力降低

在大跨度悬挑混凝土结构施工中，优化支撑体系对降低立杆应力效果显著。通过有限元分析与实际工程监测对比，在重庆市璧山区中医院项目里，未优化前，立杆在混凝土浇筑阶段最大应力达到 220MPa，接近钢材的屈服极限，存在较大安全隐患。在利用有限元分析软件进行模拟计算并优化支撑体系，增设斜撑和加密立杆布置后，立杆最大应力降至 160MPa。表 1 为优化对比。

表 1 优化对比分析

对比项目	优化前立杆最大应力 (MPa)	优化后立杆最大应力 (MPa)
数值	220	160

应力的降低使立杆工作状态更加安全可靠，有效提升了支模架整体稳定性，降低了因立杆应力过大导致结构失稳的风险，保障了施工安全。

2. 整体变形控制

施工过程中，支模架的整体变形控制至关重要，它直接影响到混凝土结构的成型质量。在某桥梁大跨度悬挑箱梁施工项目中，采用高精度测量设备对支模架变形进行实时监测。优化前，在混凝土浇筑至设计高度的 80% 时，支模架最大变形量达到 18mm，超出设计允许变形范围。

通过优化支撑体系，加强节点连接强度，采用更稳定的支撑材料等措施后，在相同施工阶段，最大变形量减小至 8mm。具体情况如图 1 所示。

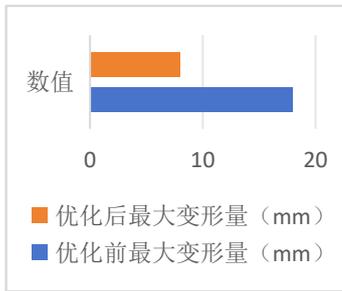


图1 对比情况分析

这一数据表明，优化后的施工技术有效控制了支模架的变形，确保了大跨度悬挑混凝土结构的施工精度，避免因变形过大影响结构质量，保证了工程顺利进行。

4.2 材料使用效率提升效果

1. 钢材损耗降低

严格的材料质量控制和合理施工工艺，对降低钢材损耗有明显作用。在某高层建筑大跨度悬挑结构施工中，对钢材采购、运输、存储到使用全过程进行精细化管理。优化前，由于钢材质量不稳定，施工过程中切割不合理等因素，钢材损耗率达到10%。

优化后，通过严格把控进场钢材质量，采用先进切割工艺减少余料浪费，以及加强施工现场管理，钢材损耗率降至6%。具体情况如图2所示。

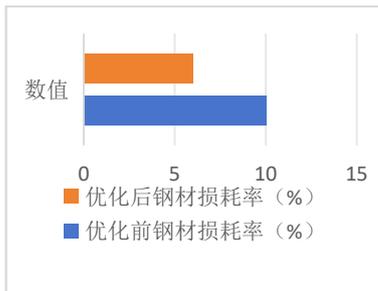


图2 优化情况对比分析

钢材损耗率的降低，不仅节约了成本，还减少了资源浪费，符合绿色施工理念，为项目带来可观的经济效益。

2. 模板周转次数增加

模板作为施工中的重要材料，其周转次数直接关系到施工成本。以某大型住宅项目大跨度悬挑阳台施工为例，优化前使用普通木模板，因缺乏有效的维护和管理，平均周转次数仅为6次。

优化后，采用新型铝合金模板，并加强模板使用前后的清理、保养和存放管理，铝合金模板平均周转次数达到35次。具体情况如图3所示。

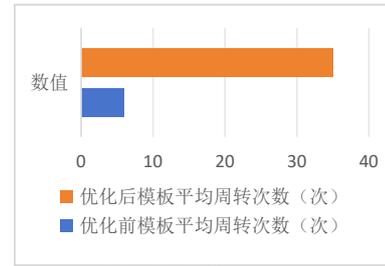


图3 优化情况对比

模板周转次数大幅增加，减少了模板的采购量和投入成本，同时也提高了施工效率，缩短了工期，进一步提升了项目的综合效益。

4.3 施工进度加快效果

1. 施工工期缩短

采用新型支撑体系和提升施工人员技术水平，对加快施工进度效果显著。在某大型会展中心大跨度悬挑屋面施工中，优化前采用传统扣件式脚手架，施工人员技术参差不齐，施工工期预计为70天。

优化后，采用盘扣式脚手架，搭设效率大幅提高，同时通过专项培训提升施工人员技术水平，施工工期缩短至45天。具体情况如表2所示

表2 优化情况对比

对比项目	优化前施工工期 (天)	优化后施工工期 (天)	工期缩短幅度 (%)
数值	70	45	35.7

施工工期的缩短，使项目能够提前交付使用，减少了项目的时间成本，提高了项目的经济效益和社会效益。

2. 劳动力投入减少

施工工艺的改进和施工人员技术水平的提升，使得劳动力投入相应减少。在某商业综合体大跨度悬挑结构施工中，优化前，由于施工工艺复杂，施工人员对技术掌握不熟练，需要投入40名工人。

优化后，通过采用先进的施工技术和工艺，简化施工流程，同时施工人员经过专项培训，技术水平提高，仅需25名工人即可完成相同工作量。具体情况如图4所示。

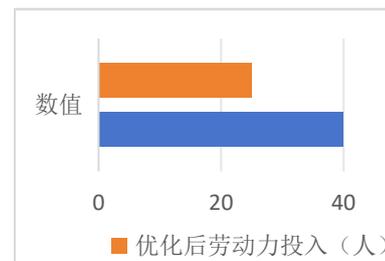


图4 优化情况对比

劳动力投入的减少，不仅降低了人工成本，还提高了施工管理的效率，使施工现场更加有序，进一步保

障了施工质量和进度。

5 结语

本文围绕大跨度悬挑混凝土结构高空支模架施工支撑面施工技术展开深入研究。从结构受力复杂、材料选用特殊、施工工艺要求高三个方面阐述了该施工技术的特点；指出当前施工中存在支撑体系稳定性、材料质量、施工人员技术水平等问题；针对性地提出优化支撑体系设计、严格材料质量控制、提升施工人员技术水平等应用策略；并通过具体数据表明，这些策略在提升结构稳定性、提高材料使用效率、加快施工进度等方面取得了显著效果。未来，随着建筑技术不断发展，大跨度悬挑混凝土结构施工技术将持续创新，应持续关注其在施工安全、质量控制、绿色环保等方面的发展，进一步推动建筑行业的进步。

参考文献

- [1] 姜 焱, 朱 效 民, 韩 永 明, 等. 大 跨 度 悬 挑 混 凝 土 结 构 高 空 支 模 平 台 施 工 技 术 [J]. 建 筑 技 术, 2023, 54(18): 2252-2254. DOI: 10.3969/j.issn.1000-4726.2023.18.023.
- [2] 褚海伟, 李波, 张宏伟. 高空大跨度悬挑混凝土型钢模板施工技术 [J]. 建筑技术开发, 2022, 49(18): 19-23. DOI: 10.3969/j.issn.1001-523X.2022.18.007.
- [3] 张石民, 叶勇, 孙奎. 高空超长现浇悬挑结构模板支撑设计与施工 [J]. 中国新技术新产品, 2022(3): 94-97. DOI: 10.3969/j.issn.1673-9957.2022.03.031.