大跨度屋面预应力梁高效施工关键技术

王军华

浙江宏瑞达工程管理有限公司　浙江　宁波　315201

摘　要：针对 34 米跨度 900×2500 截面屋面预应力梁，施工面临高承载、大截面及高空作业多重技术约束。围绕模板支撑、混凝土浇筑、质量控制及安全节能四大主线，本文提出模块化模板快速拆装、分层连续浇筑与智能养护、全过程精度与缺陷防控、高空安全防护与资源动态调配等技术体系，形成覆盖施工全流程的成套解决方案，确保大跨度预应力梁施工的安全与工程质量满足设计标准。

关键词：大跨度屋面；预应力梁；模板支撑体系；混凝土浇筑；施工管控

引言：大跨度屋面预应力梁结构凭借跨越能力强、承载性能优越等特性，在公共建筑中食堂、体育馆等应用广泛。当梁长达到 34 米、截面达到 900×2500 时，其模板支撑体系承载要求高，混凝土水化热集中，预应力张拉工序复杂，高空作业风险突出。上述技术难点对施工工艺水平和现场管控能力提出更高要求。如何针对此类大截面预应力梁建立一套兼顾效率与质量的施工技术体系，成为工程实施过程中的关键问题。文章从模板支撑、混凝土浇筑养护、质量效率控制及安全节能管控四个维度展开论述。

1 大跨度屋面预应力梁模板及支撑体系高效施工技术

1.1 模块化模板体系搭建技术

针对 34 米跨度、900×2500 截面的预应力梁，模板体系采用模块化方式在现场完成拼装。梁底模板与侧模分别拆成若干标准单元（现场未采用模块化方式拼装，采用承插型盘扣式钢管搭设），单元尺寸同时考虑梁高和运输限界；侧模总高 2500 毫米，做成两个独立模块。拼装时接缝处嵌入止口并配合定位销，拼合后平整度满足要求。施工时塔吊按照编号顺序将模块吊到设计位置，模块自带的型钢龙骨提供足够刚度，保持几何形态不发生变化。这种操作方式避免了传统散拼木模大量裁切和加固的麻烦，大截面梁模板安装速度明显提升。

1.2 支撑体系受力优化与布设技术

针对 900 毫米宽梁底区域的线性集中荷载，支撑体系采用承插型盘扣式钢管与可调托撑组合。沿 34 米梁长，立杆居梁中等距布设，有限元分析确定的受力热点直接决定间距疏密——梁端与跨中应力集中处加密立杆，应力平缓区适当放宽，材料利用率因此提高。水平连杆和剪刀撑沿传力路径分层布置，将水平推力导向两侧结构。可调托撑伸出顶层水平杆中心线的悬臂长度不应超过 650mm，丝杆伸出长度经精细调节以控制梁底标高，保证荷载均匀传递，防止局部偏载导致支撑体系失稳。

1.3 模板支撑体系快速拆装施工技术

预应力张拉完毕，待梁体实测强度满足设计拆模条件，支撑系统方可着手拆除。34 米梁长按结构变形缝或施工缝划分成数个独立区段，各区段分别实施整体下放。操作时，先松开各连接扣件，借助手动葫芦或千斤顶使顶部模板脱离梁底，随后将下部钢管支架成组平移出作业面[1]。模板面板与背楞的分离依照拼装逆序进行，即按模块单元逐一退拆，避免对已张拉的预应力梁体造成大面积扰动。这种做法有效缩短了单榀大梁支撑的周转周期，也为相邻梁段后续施工腾出了作业空间。

2 大跨度屋面预应力梁混凝土高效浇筑与养护技术

2.1 大跨度梁混凝土配比优化技术

大跨度与大截面共同作用，梁内应力集中且水化热难以释放，配合比设计需在强度等级与体积稳定性之间找到平衡点。配料时，矿粉与粉煤灰按大掺量复合使用，聚羧酸系减水剂配合加入，每立方米混凝土中水泥用量明显下降，绝热温升值因而得到抑制。粗骨料按粗细两级级配，粒径范围拓宽后堆积密实度提高，浆体收缩量相应减少。坍落度在可泵送范围内取较低数值，2 小时经时损失率设定控制指标，现场连续作业期间拌合物工作性保持稳定。该方案满足设计强度要求，也兼顾抗裂性能[2]。相近跨度的大跨度预应力梁施工中，山西一体化算力网络枢纽项目科研楼面对 33 米跨度，应用有粘结现浇预应力混凝土技术，十根大梁成功架设。泰州产教融合实践中心项目在二层屋面大梁施工时，同样面临

跨度大精度高的难题，采用补偿收缩混凝土等手段释放温度应力。

2.2 分层分段连续浇筑施工技术

34m 梁沿长度方向分段，采用“先底后顶、斜面分层、由一端向另一端连续推进”的顺序；必要时从跨中向两端对称浇筑。分层虚铺厚度≤ 500mm，下层在初凝前覆盖上层，间隔≤ 初凝时间且宜≤ 2h，防止冷缝。混凝土供应量按浇筑速度匹配，宜 30～40m³/h，运输车连续到场、交替卸料，泵送布料覆盖全梁。人员按作业面配备：振捣工 4～6 人、布料及泵管 2～3 人、标高监测 2 人、现场指挥 1 人，并备振捣棒。振捣重点为梁底角部及预应力孔道两侧，快插慢拔，避免过振离析、漏振空洞。全过程监测标高，确保初凝前完成整梁浇筑，保证整体性与密实度。

2.3 混凝土智能化保温保湿养护技术

大截面梁水化热积聚问题突出，养护阶段采用智能温湿度闭环系统加以应对。热电偶与湿度探头埋设于梁体内部不同深度及表层，实时监测数据上传至控制终端。内外温差接近风险阈值时，外层保温覆盖材料自动动作，覆盖层厚度按需调节；表层湿度降到设定值以下，间隔式自动喷淋启动补充水分，保证表面持续湿润。养护期限不再预先固定，依据实时强度监测数值动态调整，延长或缩短均取决于实测结果，直到强度与弹性模量满足预应力张拉要求。干缩裂缝和温度裂缝得到有效防止，34 米跨度预应力梁长期承载性能由此得到保障。目前大跨度预应力梁施工中，智能化养护手段应用渐广，传感器持续采集环境信息，系统自动调整保温层与喷淋频率，为梁体创造适宜硬化条件。

3 大跨度屋面预应力梁施工质量与效率控制技术

3.1 预应力筋定位与张拉质量效率控制

针对 34 米跨度、截面 900×2500 毫米的屋面预应力梁，预应力筋长度大，曲线段多，定位偏差会直接影响孔道摩阻和端部受力。施工前按设计图深化坐标，把矢高、锚固端和接头位置排清楚，定位筋与架立筋绑扎牢固，避免浇筑时上浮或下沉。其实张拉不能只看控制应力，还要用伸长值校核，判断实际预应力是否达到预期。张拉顺序采用对称分级，减少梁体附加偏心。质量上核查孔道通畅、锚具安装、夹片质量和设备状态，任何 1 项不合格都不能张拉[3]。效率方面，提前完成钢绞线下料、编束、穿束和设备标定，把张拉与灌浆准备并行安排，34 米梁端部作业空间要提前留足。2025 年有项目引入智能张拉机器人，操作员设定张拉模式后全程全自动作业，单台设备可减少 4 名工人，预应力施工与压浆综合效率提升超 30%，单榀梁工期缩短 1.5 天。这种做法用到 34 米大梁上同样适用，张拉参数由系统实时采集和判断，人为误差基本消除，质量记录同步生成，后续追溯也方便。张拉后及时灌浆封锚，形成连续工序。

3.2 模板支撑与混凝土浇筑质量效率控制

截面 900×2500 毫米的梁自重大，34 米跨度对支撑体系承载和稳定要求高。立杆间距、水平杆步距和剪刀撑布置按计算与构造要求执行，不能随意放大。浇筑前检查拼缝、起拱、预埋件和孔道位置，防止漏浆、胀模和预应力筋偏移。混凝土浇筑分层推进，每层厚度受控，振捣密实且不过振，避免蜂窝麻面和孔道移位。强度没到就拆模或张拉，后面很难补救。效率上划分流水段，优化泵送点位和运输路线，让模板周转、钢筋绑扎、穿束和浇筑衔接紧凑。2025 年有研究引入缓粘结钢绞线，融合预应力损失监测和光纤传感监测技术，构建大跨度预应力构件全周期管控体系，从加载施工到长期服役都能实时捕捉实际预应力状态，突破了传统建造中管控滞后的问题。养护和强度判定不能省，试块和现场条件要对应。材料、人员、设备按关键工序配置，减少窝工。模板拆除顺序与预应力张拉工序要匹配，底模支撑在张拉前不得随意松动。测量放线和标高复核要及时，梁底起拱量按跨度和荷载确定，避免后期屋面找平困难。

3.3 施工监测与工序组织质量效率调控

施工监测要覆盖预应力梁应变、挠度、裂缝、支撑沉降和温度变化。34 米跨中挠度和截面 900×2500 毫米的温度梯度是重点，数据采集后及时比对预警值，发现异常就调整张拉顺序、支撑加固或浇筑节奏。监测不是为了留资料，而是给现场决策用。自动化采集和实时传输能减少人工巡检时间，提高响应速度。质量上保证测点布置合理，初始值准确，采集频率跟上工序变化，避免数据失真。效率方面，张拉、灌浆、封锚、拆模和后续屋面施工依据强度和监测结果穿插，不能盲目抢工[4]。资源调度动态修正，人员、设备和材料匹配关键工序。监测记录与施工记录同步归档。风险早识别，返工和停歇下降，效率自然提升。对监测数据要设专人分析，异常趋势不能等到超限才处理。张拉阶段加密观测，灌浆后检查锚固区状态，拆模后复查挠度和裂缝。工序组织按后浇带、施工段和屋面分区安排，保证预应力梁养护不受干扰。

4 大跨度屋面预应力梁施工安全与节能管控技术

4.1 高空大跨度施工安全防控技术

34 米大跨度屋面预应力梁施工中，高空钢筋绑扎、预应力穿束张拉均属于高风险作业。安全防控从人员防护、设备状态、作业环境三个层面展开。高空区域周边布设全封闭安全网，水平生命线沿梁通长拉设。张拉作业面搭设专用平台，平台满铺脚手板，四周防护栏杆高度不低于 1.2 米。起重吊装作业前，吊具、钢丝绳、卡环逐项检查验收，划定警戒区域，专职信号工全程指挥。张拉设备两端各装一块厚度不小于 20 毫米的钢制缓冲挡板，非操作人员退至安全距离以外。专职安全员及监理人员全程旁站监督，梁上作业人员安全带挂设位置及锚固点强度逐一确认。针对大跨度梁高空作业面窄这一特点，人员行走路线与物料传送通道单独规划，交叉作业带来的风险得到有效规避。各项安全措施经联合验收合格，方可转入下一道工序。

4.2 施工资源节能优化配置技术

34 米屋面预应力梁施工中，资源消耗集中于模板支撑材料、混凝土原材料及机械设备能耗三方面。优化的基本思路是实现施工需求与资源供给的精准匹配。模板及支撑体系周转材料按区段分批进场，与梁体施工进度对应，既避免一次性占用过多场地和资金，也降低二次转运带来的机械油耗。混凝土原材料按每日浇筑量实施动态采购与配送，现场配置防雨防潮储存设施以减少损耗。泵送设备选用节能型，起重机械根据实际吊重选择相应吨位，避开功率过剩带来的能源浪费[5]。预应力孔道压浆采用自动化配比系统，浆体材料按实际用量精确计量，余料废弃量明显减少。现场照明采用 LED 节能灯具且分区控制，非作业时段自动关闭。

4.3 施工过程动态监测管控技术

34 米预应力梁施工涵盖模板支撑、混凝土浇筑与预应力张拉三阶段，各阶段受力机制与变形规律迥异，须借动态监测贯穿全程。跨中、两端及四分点布设测点，应变片与位移计联合作业，实时拾取混凝土应变、梁体挠度及温度场变化，数据汇总至管理平台。张拉环节启用智能系统，应力与伸长量双控，自动采集、判定，实测结果即时生成曲线图表，方便现场查验。支撑体系卸载阶段，精密水准仪持续跟踪梁底沉降及起拱量，依实测数据分三级逐次调整卸载顺序与速率，每级调整后待读数平稳方进入下一级。监测值若逼近预警线，系统即发报警，施工暂停，组织会商研判。

结束语：34 米大跨度屋面预应力梁施工中，模块化模板搭建、混凝土分层浇筑、精度全程管控、高空安全防护几项技术串联起来，形成一套完整流程。各环节搭接紧密，模板为钢筋和预应力作业提供准确基面，浇筑与养护保证混凝土强度达标，张拉阶段的精度控制反推模板与支撑体系满足受力要求。该套做法在实际项目中经过验证，效率和精度都能满足设计要求。对于同类大截面预应力梁，这套流程在模板周转、混凝土作业节奏、安全措施布置等方面都提供了可直接参照的范本。

参考文献

[1] 王存武. 大跨度房建工程后张法预应力混凝土梁施工关键技术研究 [J]. 散装水泥,2026,(7):49-51.

[2] 郑义. 大跨预应力细长型屋架预制技术研究 [J]. 铁道建筑技术,2025(10):109-112.

[3] 张哲潇, 丁猛, 周建强, 等. 屋面预应力梁施工技术与质量控制研究–以南通田家炳初级中学食堂体育馆综合楼工程为例 [C]//2026 年智慧城市建设论坛建筑技术分论坛论文集.2026:7-8.

[4] 刘彦兴. 预应力混凝土梁施工中裂缝控制措施应用效果分析 [J]. 工程技术研究,2025,10(11):168-170.

[5] 张志伟. 大型商业综合体大跨度预应力混凝土梁后张法施工工艺 [J/OL]. 中国科技期刊数据库工业 A,2026,(6):214-217.