

基于 BIM 技术+三维激光扫描技术的大跨度 双曲钢结构精细化施工

陈小琴¹ 卢剑阳²

1. 义乌工商职业技术学院 浙江 义乌 322000

2. 广宏建设集团有限公司 浙江 金华 322100

【摘要】：大跨度双曲钢结构以其优美的流线型造型与高效的受力性能，日益成为大型公共建筑的首选。然而，其复杂的空间曲面形态与高密度的节点连接，对施工精度提出了极高挑战。以往依靠现场放线测量和经验判断的方式，往往难以把控细微的尺寸偏差，不仅影响结构整体稳定性，也可能制约建筑美学的最终呈现。面对建筑行业数字化转型，BIM 技术的三维可视化协同能力，与三维激光扫描的毫秒级数据采集优势，恰好互补。本文将立足一线工程实际，直面双曲结构施工中的痛点与难点，深入剖析 BIM 建模、现场扫描与现场装配的一体化管控流程，探讨如何通过技术融合实现施工精度的跃升，以期实现大跨度建筑的精细化施工。

【关键词】：BIM 技术；三维激光扫描技术；大跨度；双曲钢结构；精细化施工

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.060

引言

大跨度双曲钢结构施工的复杂性与特殊性，决定了其精细化施工必须依靠先进技术赋能，传统施工模式已难以适配其严苛的质量与效率标准。因此，针对基于 BIM 技术+三维激光扫描技术的大跨度双曲钢结构精细化施工策略进行深入探究极为重要。

1 基于 BIM 技术+三维激光扫描技术的大跨度双曲钢结构精细化施工意义

1.1 精准把控施工精度

大跨度双曲钢结构的施工精度直接关系工程整体安全，BIM 技术的三维可视化建模特性，与三维激光扫描的高精度数据采集能力形成互补，可实现设计模型与现场施工的精准匹配。一线实践中，技术人员借助两者的协同作用，能够细致把控每一处曲面弧度、每一个节点衔接的精准度，使结构受力更合理、安装更规范，切实保障工程结构长期安全稳定，这一价值已在多个大型场馆项目中得到实践印证。

1.2 有效提升施工效能

BIM 技术可提前完成施工流程模拟与施工方案优化，三维激光扫描技术能快速完成现场数据校准，两者协同发力，可大幅缩短施工周期，减少现场无效作业环节。同时，依托精准的数据分析优化材料下料方案，可以有效降低钢材损耗，根据多个项目的施工实际统计，可减少 5%-8% 的材料浪费，在提升施工效率的同时，为项目节约不必要的开支，实现工程效益的最

大化。

1.3 强化各环节协同配合

大跨度双曲钢结构施工涉及多个参建方，施工环节繁琐复杂，BIM 模型可作为各方协同作业的统一数据载体，整合设计、加工、安装、监理等各环节的相关数据，助力各参建方实现精准对接、高效配合。三维激光扫描的实时数据可同步更新至 BIM 模型，便于各参建方实时掌握施工进度与质量状况，进一步规范现场施工流程、明确各岗位职责，减少沟通内耗，推动施工全过程有序高效推进。

1.4 助力行业技术升级

当前建筑行业正稳步向数字化、精细化方向转型，大跨度双曲钢结构施工技术体现行业发展水平的重要指标。一线技术人员在施工实践中，不断探索总结 BIM 与三维激光扫描技术的融合应用技巧，推动施工模式从传统的经验主导，逐步向精准的数据主导转变，不仅为同类工程提供了可复制、可参考的实操思路，更助力提升我国大型钢结构施工的整体技术水平，为建筑行业数字化转型注入坚实动力。

2 大跨度双曲钢结构施工的痛点与难点

2.1 曲面造型的精准控制难度突出

大跨度双曲钢结构最显著的特点就是连续多变的曲面形态，其弧度、曲率没有固定规律可循，不同曲面衔接处的精度要求更是严苛。在一线实际施工中，即便有精准的设计图纸作为支撑，传统测量方式也很难精准捕捉每一处曲面的施工细

节,哪怕是微小的偏差,都可能导致后续构件无法顺利对接,甚至影响整个结构的受力平衡,这是这类工程施工中最直观、也最需要重点突破的难点。

2.2 构件加工与现场安装的衔接存在明显短板

大跨度双曲钢结构的构件普遍体型庞大、重量较重,而且每一根构件的尺寸、弧度都各不相同,加工精度要求远高于普通钢结构。从实际施工情况来看,构件加工时的尺寸偏差、曲面拟合不精准,或是现场安装时的定位偏差,都容易造成构件对接受阻,不仅需要反复调整、返工整改,还可能导致构件损坏,既耽误施工工期,也额外增加了施工成本,这是一线施工中经常遇到的实操痛点。

2.3 现场施工协同管控的难度较大

这类工程涉及设计、加工、安装、监理、检测等多个参建主体,各环节衔接紧密且对精度要求极高。实际施工过程中,设计意图传递出现偏差、加工参数与现场施工需求不匹配、各参建方沟通不及时等情况时有发生,这些问题很容易造成施工流程脱节,出现工序衔接混乱、责任划分模糊的现象,进而影响工程质量与施工进度,制约施工效率提升。

2.4 复杂工况下的施工安全管控压力较大

大跨度双曲钢结构施工大多以高空作业为主,构件吊装重量大、作业空间狭窄,同时还会受到天气状况、现场场地条件等多种因素的影响。高空吊装时,构件的稳定性难以精准把控,高空作业人员的安全防护也面临诸多考验,再加上施工工序繁杂,安全管控过程中很容易出现疏漏,进而引发安全隐患。

3 基于 BIM 技术+三维激光扫描技术的大跨度双曲钢结构精细化施工策略

3.1 构建精细化 BIM 模型

精细化 BIM 模型是整个施工进程的核心支撑,其构建质量直接关系到后续各施工环节的推进成效,更是实现精细化施工的首要基础。施工前期,技术人员需对照设计图纸,逐一一对双曲钢结构的曲面参数、节点构造等核心信息进行全面梳理,摒弃传统建模中粗放化的操作习惯,将工作重心放在曲面拟合精度与节点衔接细节上,逐组核对参数、反复校验,确保模型能够精准还原设计意图,与现场施工实际需求高度契合。为提升建模精准度,技术人员可参考不同建模环节的精度控制标准,具体如下表所示:

建模环节	精度控制标准	校验方式
曲面拟合	偏差 $\leq 3\text{mm}$	分层校验
节点衔接	偏差 $\leq 2\text{mm}$	交叉校验
构件参数录入	无偏差	逐组核对

建模过程中,需充分考量施工过程中可能出现的各类变量,涵盖施工环境变化、设备精度波动、人员操作差异等,预

留合理的调整空间,避免后续因变量影响导致模型与现场施工脱节。同时,对模型开展多轮校验工作,采用分层校验、交叉校验相结合的方式,及时排查尺寸偏差、曲面不连贯等潜在问题,保障模型的准确性与完整性。另外,还需对 BIM 模型进行分层、分专业细化,明确各构件的参数信息、安装顺序及技术标准,为后续施工交底、流程模拟、数据比对提供可靠的数字支撑,让每一道施工工序都有精准的模型作为参照,从源头提升施工精细化水平。

3.2 精准运用三维激光扫描

三维激光扫描技术凭借其高精度、高效率的突出特质,有效弥补了传统测量方式的短板,成为保障施工精度、实现数据精准管控的关键手段,其应用贯穿于施工全过程的各个环节。在整个施工期间,技术人员需结合双曲钢结构的曲面特性与施工进度安排,科学规划扫描点位与扫描频率,既避免出现扫描盲区导致数据遗漏,也防止重复扫描造成人力物力浪费,确保扫描工作高效有序推进。针对双曲钢结构的曲面特性、节点部位等重点区域,需开展全方位、多角度的扫描作业,适当放慢扫描速度、增加扫描密度,确保采集的数据能够全面覆盖施工各环节,精准捕捉每一处细节的空间坐标信息,保障数据的全面性与精准度。扫描工作完成后,及时对采集的数据进行整理、去噪处理,运用专业的数据处理软件剔除无效数据、修正偏差数据,保留精准可用的空间坐标信息,确保数据的真实性与可靠性。随后,将处理后的扫描数据与 BIM 模型进行精准比对,生成详细的偏差分析报告,清晰标注偏差位置、偏差数值及影响范围,为施工整改提供明确、可落地的依据。依据比对结果,及时调整施工方案,对存在偏差的部位进行精准整改,整改完成后再次进行扫描校准,确保现场施工与设计模型高度吻合。同时,将校准后的实时数据同步更新至 BIM 模型,实现数据的动态管理与实时共享,为后续施工环节提供可靠的数据支撑,确保施工精度始终符合相关规范要求。

3.3 深化 BIM 与施工工序融合

将 BIM 模型全面融入施工全过程,推动 BIM 技术与施工工序深度融合,是提升施工效率、减少无效作业、强化施工质量的重要举措,也是精细化施工的核心要义。施工前期,技术人员依托 BIM 模型开展施工流程模拟,完整复刻整个施工全过程,梳理各工序的衔接逻辑,细致排查工序衔接中存在的不足之处,结合施工实际需求优化施工顺序,明确各工序的施工时长、作业标准及衔接要求,避免出现工序脱节、交叉干扰等问题,确保施工流程顺畅有序。施工过程中,以 BIM 模型为核心指导,明确各构件的安装位置、安装顺序及技术要求,引导施工人员规范操作,减少因操作不规范引发的质量问题。同时,结合三维激光扫描采集的实时数据,对施工进度、施工质量进行动态监测,实时对比现场施工与模型的差异,及时发现并妥善处理施工过程中出现的各类问题,避免问题扩大化、

复杂化。此外，借助 BIM 模型开展施工交底工作，将设计意图、施工难点、质量要求等精准传递给每一位施工人员，通过可视化展示让施工人员直观理解施工要点，减少因交底不清导致的操作失误，确保施工过程规范有序，进一步提升施工工序的衔接效率与施工质量，推动施工工作高效推进。

3.4 建立协同管控机制

大跨度双曲钢结构施工涉及设计、加工、安装、监理、检测等多个参建方，各环节衔接紧密且精度要求严苛，协同管控的成效直接影响施工进度与工程质量，因此建立完善的协同管控机制尤为重要。技术人员以 BIM 模型作为协同管理的核心载体，整合各参建方的相关数据，明确各参建方核心协同内容与责任，具体如下表所示：

参建方类型	核心协同内容	核心责任
设计方	提供设计参数、传递设计意图	保障设计方案可施工性
加工方	同步加工进度、反馈加工难点	确保构件加工符合精度标准
安装方	上报安装进度、反馈现场问题	规范施工、保障安装质量
监理/检测方	同步检测结果、提出监理意见	全程把控施工质量与安全

通过表格明确各参建方协同重点后，进一步整合设计参数、加工进度等相关数据，实现数据共享、信息互通，打破各参建方之间的信息壁垒，确保各参建方能够实时获取施工相关信息，精准掌握施工动态。同时，明确各参建方的岗位职责、工作流程及沟通机制，细化各环节的工作标准与衔接要求，避免出现责任划分不清、工作推诿扯皮等问题。在定期组织各参建方开展协同沟通会议的基础上，汇总施工过程中出现的各类问题，及时协调解决衔接不畅、技术分歧等难题，确保设计意图能够精准传递，加工参数与现场施工需求高度匹配，监理检测工作及时跟进，形成上下联动、协同发力的施工格局。通过

参考文献：

- [1] 张绍海.大跨度双曲钢结构网架施工技术[J].建筑工人,2025,46(12):34-36.
- [2] 王忠鑫,王春艳,苏立健,等.大跨度双曲钢拱门施工精度探究[J].建筑技术开发,2024,51(11):70-72.
- [3] 杨刚.基于三维激光扫描点云的异形钢构三维重建与质量控制[J].山西建筑,2024,50(23):188-190+198.
- [4] 李军培,姚树杰,黄森林,等.基于 BIM 的大型双曲镂空垂片吊顶快速建造技术[C]//中国建筑学会工程建设专业委员会,中国建筑第八工程局有限公司,中国建设科技集团股份有限公司,亚太建设科技信息研究院有限公司,国家建筑绿色低碳技术创新中心.土木工程建造行业科技论坛(2024)暨第十五届中建八局科技论坛论文集.中国建筑第八工程局有限公司西南分公司,2024:201-204.
- [5] 赵彦章.大跨度双曲钢结构网架施工模拟[J].金属世界,2024,(04):89-97.

完善的协同管控机制，有效减少沟通内耗，规范施工流程，实现各参建方的高效配合，推动施工工作有序推进，确保工程质量与施工进度双重达标。

3.5 依托技术融合，强化构件加工与安装管控

构件加工与安装是大跨度双曲钢结构施工的核心环节，其施工质量直接决定整个工程的结构稳定性与使用寿命，依托 BIM 与三维激光扫描技术的融合应用，能够实现构件加工与安装全流程的精细化管控，有效提升施工质量。构件加工阶段，技术人员将 BIM 模型中的构件参数精准传递至加工环节，明确加工精度、曲面拟合要求等核心指标，全程指导加工环节按照模型参数开展精细化加工，同步跟踪加工全过程，及时沟通解决加工过程中出现的技术难题，确保加工环节贴合施工需求。同时，通过三维激光扫描技术对加工完成的构件进行精准检测，重点排查尺寸偏差、曲面拟合不精准等问题，对不符合施工要求的构件及时进行返工处理，直至达到标准后，再转运至施工现场，杜绝不合格构件进入安装环节。构件安装阶段，以 BIM 模型为指导，结合三维激光扫描技术进行实时定位校准，精准把控构件的安装位置、角度及衔接精度，避免出现安装偏差。针对安装过程中的复杂节点，借助 BIM 模型进行可视化模拟，反复推演安装流程，明确安装方法与操作要点，引导施工人员规范操作，确保安装过程规范、精准，减少返工整改频次，保障构件安装质量与结构稳定性，为工程整体质量提供有力支撑。

总而言之，BIM 与三维激光扫描技术的融合应用，是一线工程人员在实践中摸索出的有效路径。未来，随着技术的持续迭代与管理体系的不断完善，广大工程建设者仍需持续深耕一线，不断打磨技术应用细节，在实践中积累更多可沉淀的数字资产，推动我国大型钢结构施工技术向更高精度、更智能的方向前进。