

大跨度钢结构施工过程力学性能模拟与监测

王向阳

河北建筑设计研究院有限责任公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]大跨度钢结构具备自重轻、强度高、空间适应性强、造型灵活等优点,故而在体育场馆、会展中心、交通枢纽、工业厂房、公共建筑等诸多工程领域获得广泛应用。鉴于其结构跨度大、构件受力状况复杂、施工阶段模式转换显著,所以施工过程中的力学性能与成形后的设计状态存在差异,缺乏科学模拟、实时监测,就容易出现构件变形超出限度、内力重分布不正常、临时支撑失去稳定、安装误差不断累积、结构安全方面存在风险等情况。本文针对大跨度钢结构施工过程力学性能模拟与监测进行研究,剖析大跨度钢结构施工阶段受力特性、模拟分析方式、监测技术模式、控制策略,并从有限元建模、施工阶段分析、变形监测、应力监测、温度效应修正、数据反馈、安全预警等方面给出优化途径。研究指出,大跨度钢结构施工安全控制应当遵循模拟优先、监测紧跟、数据核对、动态调整的原则,借助施工仿真与现场监测相协同,提高结构施工过程控制精准度,确保工程安全、成形质量。

[关键词]大跨度钢结构; 施工过程; 力学性能; 数值模拟; 施工监测

DOI: 10.33142/ec.v9i6.19837

中图分类号: TU311.3

文献标识码: A

Simulation and Monitoring of Mechanical Properties during the Construction Process of Large-span Steel Structures

WANG Xiangyang

Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Large span steel structures have the advantages of light weight, high strength, strong spatial adaptability, and flexible shape, and are therefore widely used in many engineering fields such as sports venues, exhibition centers, transportation hubs, industrial plants, and public buildings. Given the large span of its structure, complex stress conditions of its components, and significant mode transitions during the construction phase, there are differences between the mechanical properties during the construction process and the design state after forming. Without scientific simulation and real-time monitoring, it is easy to encounter situations such as component deformation exceeding limits, abnormal redistribution of internal forces, instability of temporary supports, accumulation of installation errors, and risks to structural safety. This article focuses on the simulation and monitoring of mechanical properties during the construction process of large-span steel structures. It analyzes the stress characteristics, simulation analysis methods, monitoring technology modes, and control strategies during the construction stage of large-span steel structures, and provides optimization approaches from finite element modeling, construction stage analysis, deformation monitoring, stress monitoring, temperature effect correction, data feedback, safety warning, and other aspects. Research has pointed out that the safety control of large-span steel structure construction should follow the principles of simulation priority, monitoring closely, data verification, and dynamic adjustment. By coordinating construction simulation with on-site monitoring, the precision of structural construction process control can be improved to ensure engineering safety and forming quality.

Keywords: large span steel structure; construction process; mechanical properties; numerical simulation; construction monitoring

引言

大跨度钢结构具备受力模式繁杂多样、施工工序数量众多、安装精度要求相当高、施工阶段存在一定风险等特点。在结构进行吊装、拼装、卸载、合龙、模式转换这些

过程时,其内力、变形、稳定状态一直处于变动之中,仅依靠经验来实施控制,很难满足安全管理的要求。随着有限元分析、传感监测、数字化施工技术不断发展,施工过程力学模拟和现场监测逐渐成为大跨度钢结构施工控制

的关键手段。研究其模拟与监测方法,有助于掌握结构受力演化规律,降低施工风险,提高工程质量。

1 大跨度钢结构施工过程力学性能的基本特征

1.1 大跨度钢结构的结构特点

大跨度钢结构一般涵盖网架结构、网壳结构、桁架结构、空间管桁架、张弦梁结构、索穹顶结构、大跨度屋盖结构等多种形式。这类结构有着跨度较大、杆件数量众多、节点繁杂、整体空间作用显著等特性,能够达成大空间建筑对于功能、建筑造型的需求。相较于普通钢结构,大跨度钢结构在构件加工精度、节点连接质量、安装顺序、整体稳定控制方面有着更高要求。其结构受力并非单纯由单个构件负责,而是借助整体空间模式协同运作。因为构件数量多、杆件交汇复杂、节点刚度和边界条件影响显著,施工阶段实际受力状态常常与设计成形状态有差异。特别是在分段吊装、高空拼装、滑移安装、整体提高、分级卸载过程中,结构模式持续变化,内力和变形会随施工步骤进行调整。所以,要从施工全过程视角去理解大跨度钢结构力学性能,不能仅关注最终使用阶段结构状态。

1.2 施工阶段力学性能的变化特征

大跨度钢结构在施工阶段呈现出显著的时变性、路径依赖性特点。时变性就是结构的刚度、边界条件、支撑状况、荷载分布会依据施工进度持续发生改变,路径依赖性则是指结构最终的成形状态,不但取决于设计参数,还取决于施工顺序、临时支撑的设置、吊装方式、焊接顺序、卸载过程等。在施工进程当中,当构件尚未建立成完整的受力模式时,部分构件有可能承受临时荷载或者出现较大变形,伴随杆件连接、支撑的拆除,内力会再次进行分布。要是施工顺序不合理,便可能引发局部应力集中、节点变形过大或者临时模式稳定性不足等问题。大跨度钢结构还极易受到温度变化、风荷载、吊装偏差、焊接收缩、安装误差等因素的影响,这些因素会使结构实际的受力状态发生改变。对施工阶段力学性能展开分析时,务必要将施工步骤、结构状态转换、外部环境因素纳入考量,如此方能比较准确地呈现真实的受力过程。

1.3 模拟与监测协同控制的必要性

大跨度钢结构的施工过程具备复杂性,仅仅凭借施工经验、常规测量手段,很难及时了解结构整体的受力状况。施工模拟在工程开始前,能够对不同施工阶段的内力、位移、稳定状态展开预测,从而为施工方案的优化、临时支撑的设计、吊装顺序的确定、卸载控制等工作提供依据。而现场监测则能够收集施工过程里真实的变形、应力、支座反力、环境数据,用来验证模拟结果并且发现异常情况。

模拟与监测二者之间并非相互替代的关系,而是相互补充的关系。模拟能够给出理论方面的预测,监测能够给出实际的反馈。模拟得出的结果可以用来确定监测重点、预警阈值,监测所得到的数据能够用来修正计算模型、调整施工措施。对于大跨度钢结构来讲,施工阶段要是一旦出现较大偏差,后期进行纠正的难度会比较大,甚至会对结构安全产生影响。

2 大跨度钢结构施工过程力学模拟方法

2.1 有限元模型建立与参数选取

在大跨度钢结构施工过程力学模拟里有限元分析属于主要方法。建立有限元模型之际需按照结构类型、构件形式、节点连接方式、施工分析目标来挑选适宜单元。像桁架、网架还有管桁架结构,能够依据杆件受力特性采用梁单元或者杆单元,对于局部节点复杂并且板件受力显著的区域,能够采用壳单元或者实体单元展开精细分析。模型建立要精确体现构件截面、材料性能、节点连接刚度、边界约束、支撑条件、荷载工况。材料参数包括弹性模量、泊松比、密度、屈服强度、热膨胀系数等,节点参数则要结合设计连接形式与实际施工工艺加以确定。

2.2 施工阶段模拟与荷载工况分析

大跨度钢结构施工过程模拟的关键之处是分阶段展开分析。需依据实际施工方案,把结构安装、拼装、焊接、提高、滑移、合龙、卸载、支撑拆除等进程划分成若干施工阶段,并且在模型里逐步让构件被激活、对约束进行调整、施加荷载。施工阶段的荷载有结构自身重量、临时施工荷载、吊装荷载、风荷载、温度作用、设备荷载、人员材料荷载等。要是进行整体提高或者累积滑移施工,还得考虑提高点反力、同步误差、临时支撑反力的变化情况。施工模拟要对各阶段结构的位移、杆件的应力、节点反力、整体稳定系数加以分析,从而识别出关键施工阶段与危险构件。

2.3 非线性效应与误差影响分析

大跨度钢结构于施工进程里有可能出现诸如几何非线性、材料非线性、边界非线性等方面的效应。鉴于结构跨度相对较大,位移发生变化时或许会对内力分布造成影响,特别是在网壳、张弦梁、索结构当中,几何非线性变得更为显著。尽管多数钢结构在施工阶段是被控制于弹性范围之内的,然而局部构件、连接节点、临时支撑依旧需要留意应力集中、稳定方面的问题。施工误差同样是对模拟准确性产生影响的关键因素,涵盖了构件加工误差、安装偏差、焊接变形、支座偏位、吊点同步误差、温度测量误差等。这些误差有导致实际结构状态偏离理论模型的可能性。

3 大跨度钢结构施工过程监测技术体系

3.1 变形监测技术与控制要点

变形监测属于大跨度钢结构施工监测里关键的一部分。在施工的进程当中,结构的位移、挠度、支座沉降、节点偏移、整体线形的变化能够直接体现出结构安装的精度、受力的状态。常见的变形监测方法包括全站仪测量、水准测量、三维激光扫描、GNSS 测量、倾角传感器和位移传感器等。对于大跨度屋盖结构而言,需要着重监测跨中挠度、边支座位移、关键节点标高、合龙部位偏差。变形监测要依据施工阶段来设置测点,既得覆盖整体结构的变形情况,同时也要留意受力敏感区域。监测频率按照施工工序、风险程度来确定,在吊装、提高、卸载和合龙等关键阶段要增加监测的频次。

3.2 应力应变监测技术与数据采集

应力应变监测可以直接呈现大跨度钢结构关键构件的受力状况。常见的监测设备有电阻应变计、振弦式应变计、光纤光栅传感器、无线应变传感器等。监测对象要挑选那些受力敏感、内力变化大、施工风险高或者模拟分析表明应力较大的构件,像主桁架弦杆、关键腹杆、支座附近构件、吊装受力构件、临时支撑、合龙区域杆件。应变数据采集完毕后,能够依据材料弹性模量换算应力,并且把它和计算结果、预警限值做比较。应力监测要留意温度补偿和零点校准,这是因为钢结构对于温度变化比较敏感,温度引发的应变可能会干扰真实受力的判断。

3.3 环境与支撑反力监测技术

大跨度钢结构在施工进程中受外部环境的影响比较显著,当中温度、风荷载、临时支撑状态属于重点监测的内容。温度出现变化会致使钢构件产生热胀冷缩现象,进而使得节点位移、支座反力、杆件应力产生变化。对跨度比较大的结构而言,日照温差、昼夜温差、局部温差都有可能造成一定影响,所以需要布设温度传感器,以此记录结构表面、环境的温度变化情况。风荷载对于高空吊装、尚未成形的结构有着较大影响,在提高、吊装、合龙阶段应当留意风速风向的监测工作。

4 施工过程模拟与监测协同控制策略

4.1 基于模拟结果确定监测方案

大跨度钢结构监测方案不能只是简单地做均匀布点,而是需要依据施工模拟结果来制定。通过有限元分析,可以发现各施工阶段里位移大、应力高、反力变化、稳定风险大的区域,以此确定监测重点。监测方案包括了监测项目、测点布置、监测频率、仪器类型、数据采集方式、预警指标、应急措施等内容。对于关键构件,应力应变监测

要进行,跨中、支座和合龙区域,变形监测需强化,临时支撑和卸载装置,支撑反力要监测,受温度影响大的构件,温度测点要设置。

4.2 基于监测数据修正计算模型

施工现场实际状况与理论模型常常会有差别,所以要借助监测数据来修正计算模型。模型修正能够从结构边界条件、构件刚度、节点刚度、支撑反力、温度作用、施工误差等多个方面着手。要是实测位移或应力与模拟结果的偏差比较大,那就应当先检查监测仪器、数据质量,接着分析是不是存在模型参数不准确、施工工序有所变化、临时支撑状态不正常或者温度效应产生影响等情况。通过调整模型参数,让计算结果和实测数据趋向一致,能够提高后续施工阶段预测的可靠性。

4.3 建立分级预警与动态调整机制

施工过程监测需要与预警及调整机制相互结合起来。按照结构重要程度、施工风险状况、规范要求来设定分级预警标准,常见的可划分成正常、关注、预警、报警等状态。要是监测数据快要接近控制值了,那就得加强观测、分析,要是数据超过预警值,就得暂停相关工序或者采取调整措施,要是出现明显异常或者超限情况,就要马上启动应急预案。预警指标涵盖变形、应力、支撑反力、倾斜、温度差、风速等方面内容。动态调整措施包括调整吊装顺序、改变卸载步距、修正临时支撑高度、控制焊接顺序、增加临时加固或者调整施工时间。

5 大跨度钢结构施工模拟与监测的优化保障措施

5.1 完善施工全过程技术管理体系

大跨度钢结构施工模拟、监测需要完备的技术管理模式来提供保障。在项目施工准备阶段的时候,要组织设计、施工、监理、监测、专家团队去进行技术论证,以此明确施工方案、模拟分析内容、监测目标、控制标准。在施工进程当中,要建立模拟分析、现场监测、数据复核、问题反馈、方案调整这样的工作流程。技术管理不可以单独进行,模拟人员需要了解施工现场的实际状况,监测人员要理解结构受力的特点,施工人员要及时反馈安装进度、现场的变化情况。

5.2 提升数字化监测与数据分析能力

在数字化施工不断发展的当下,大跨度钢结构监测逐渐朝着自动化、实时化、智能化的方向迈进。传统的人工测量方式尽管具备可靠性,然而在高频监测、连续数据分析这两方面存在着一定的局限性。针对项目而言,可以运用自动化传感器、无线传输技术、云平台、可视化系统,

达成关键数据的实时采集、动态展示。数据分析能力也是非常关键的。监测所产生的数据量颇为庞大,倘若仅仅进行简单的记录,那么很难发挥出其应有的价值。应当借助数据曲线、趋势分析、异常识别、多源数据关联等方式,来判断结构状态的变化规律。

5.3 加强专业队伍协同与质量责任落实

大跨度钢结构施工过程中的力学模拟、监测涵盖了结构分析、测量技术、传感器布设、数据处理、施工组织还有安全管理等多个专业方面的内容,这就需要专业队伍相互协作配合。施工单位应当配备熟悉钢结构施工、力学分析的技术人员,监测单位必须具备相应的资质、工程经验,设计单位要参与关键技术问题的判断工作,监理单位需加强过程监督。各方需要明确责任边界、工作接口,防止出现数据采集、分析判断、现场调整相互脱节的情况。监测数据出现异常后,要明确究竟由谁来进行分析、谁来予以确认、谁来负责处置、谁来进行复核。

6 结论

大跨度钢结构在施工进程中的力学性能模拟、监测工作,属于保障结构施工安全、把控安装精度、提高成形质量的关键技术方式。这篇论文经过分析得出这样的观点,大跨度钢结构在施工阶段呈现出结构模式持续转变、内力

变形动态变动、施工路径依赖特征显著、外部环境影响比较明显等特性,仅仅凭借经验管理难以达成安全控制的要求。借助有限元建模、施工阶段剖析、非线性效应探究、误差影响分析,能够预先推测结构受力演变规律;借助变形监测、应力应变监测、环境监测、支撑反力监测,能够实时了解现场结构状态。模拟与监测应当建立协同机制,用模拟结果来指导监测方案,用监测数据去修正计算模型,用分级预警来支持动态调整。

[参考文献]

- [1]王健.浅议钢结构施工管理要点[J].湖北成人教育学院学报,2026,32(2):109-114.冯涛.基于 BIM 技术的高层建筑钢结构绿色施工技术探究[J].绿色建造与智能建筑,2026(3):58-61.
- [2]袁星,徐嘉辰.钢结构工程质量管理中的智能监督技术研究[J].工程质量,2026,44(2):12-17.
- [3]杨正金.起重机防碰撞吊装路径优化设计[J].中国机械,2026(2):112-115.
- [4]李培,张尊尧.钢结构屋面网架施工技术研究[J].建筑技术开发,2025,52(2):6-10.

作者简介:王向阳,(1993—),男,汉族,毕业于河北工程大学,现就职于河北建筑设计研究院有限责任公司。