

高空大跨度钢管桁架分段吊装施工技术

张福财

北京首钢建设集团有限公司 北京 100043

摘要: 本文聚焦高空大跨度钢管桁架分段吊装施工技术。阐述了结构特点与施工难点,涵盖结构形式、受力特性及高空作业风险等。介绍了分段吊装设计,包括分段原则、吊装机械选择与布置、吊装顺序与工艺。论述了高空大跨度连接技术,涉及连接形式、节点设计与施工。还探讨了高空作业安全措施,从安全管理制度、高空防护技术到吊装过程安全监控,为该施工技术提供全面指导。

关键词: 高空大跨度; 钢管桁架; 分段吊装; 连接技术; 安全措施

引言: 随着建筑技术发展,高空大跨度钢管桁架在大型建筑中应用广泛。然而,此类结构施工难度大,高空作业风险高,需应对结构稳定性、节点连接精度、施工变形控制等诸多难题。合理的分段吊装设计、高效的连接技术以及完善的安全措施,是保障施工安全与质量的关键。本文围绕高空大跨度钢管桁架分段吊装施工技术展开研究,为实际工程提供有益指导。

1 高空大跨度钢管桁架特点与施工难点

1.1 结构特点

高空大跨度钢管桁架以钢管作为主要构件,通过桁架体系形成空间结构,具备轻质高强、受力明确的特性。其结构形式分为平面桁架与空间桁架:平面桁架沿单一平面布置,适用于直线型结构;空间桁架通过三维空间布置,适用于复杂曲面或异形结构。受力方面,钢管桁架主要承受轴向拉压应力,杆件以受拉或受压为主,弯矩和剪力影响较小,这种受力模式使结构材料利用率高。钢管截面各向等强,抗扭刚度大,承载能力突出。材料多采用高强度钢材或铝合金,具备高强度、高刚度及抗腐蚀性能,适用于大跨度、高荷载环境。大跨度特性要求桁架具备整体刚度以抵抗变形和振动;高空特性增加了高空作业风险,需采取特殊安全措施;复杂节点特性体现在多管相贯、焊缝密集区域,节点部位需承受较大应力,设计需兼顾强度与稳定性。

1.2 施工难点

高空作业环境下,施工安全风险突出,作业面狭窄、操作空间受限、防护难度大,高空坠落与物体打击风险需通过安全网、防坠器、操作平台等措施防控。高空风力、温度变化等环境因素影响施工精度与结构稳定性,需在方案中予以针对性设计。大跨度钢桁架分段吊装的核心难点在于稳定性控制。分段划分需平衡结构受力、吊装能力与高空对接可行性,避开高应力区域,确

保分段刚度^[1]。吊装中需防止侧向失稳或扭转,可通过临时支撑、侧向约束等措施增强稳定性。吊装设备需满足大吨位、高精度要求,吊点布置需确保受力均匀,避免局部应力集中。复杂节点连接的技术难点在于多管相贯、焊缝密集区域的施工精度。节点需满足多方向受力需求,焊接质量直接影响结构安全。施工时需采用专用切割设备保证相贯口精度,焊接工艺需严格遵循设计,避免焊缝缺陷。节点安装顺序需合理安排,确保杆件精准对接,减少焊接变形和残余应力。结构变形控制亦不可忽视。大跨度结构易发生挠度变形,需通过预拱度、临时支撑等措施进行控制,并实时监测变形情况,及时调整施工参数。施工组织与协调也是难点,需合理安排工序衔接,减少高空作业时间,加强现场管理,确保高效调配资源,避免工期延误或质量事故。

2 分段吊装设计

2.1 分段原则与方法

分段吊装需基于运输能力、吊装设备性能及结构受力分析综合确定分段方案。运输能力限制了分段的最大尺寸和重量,需根据道路条件、运输工具规格确定分段长度和截面形式。吊装设备性能包括起重量、起升高度、作业半径等参数,需与分段重量、吊装高度匹配。结构受力分析需考虑分段后的刚度、稳定性及对接节点受力状态,避免分段点处于高应力区域。分段形式包括水平分段、竖向分段及混合分段。水平分段适用于跨度较大、平面尺寸长的结构,可沿桁架跨度方向划分多个节段,便于运输和吊装。竖向分段适用于高度较高、层间结构差异大的结构,可按楼层或标高划分分段,减少高空作业量。混合分段结合水平与竖向分段方式,适用于复杂曲面或异形结构,需通过有限元分析确定最优分段方案。分段接口需设置临时连接件或预埋件,确保分段在吊装过程中保持稳定。分段点位置需避开结构关键

受力部位,如节点区、支座附近等。分段截面应保持连续性,避免出现应力集中现象。分段接口形式包括焊接接口、螺栓连接接口及栓焊混合接口,需根据施工条件、节点受力状态选择。分段设计需考虑吊装过程中的变形控制,通过设置预拱度、临时支撑等措施减小变形影响。

2.2 吊装机械选择与布置

吊装机械类型包括汽车吊、履带吊、塔式起重机等,需根据结构形式、施工场地条件选择适用设备。汽车吊具有机动灵活、转场方便的特点,适用于中小型分段吊装;履带吊起重量大、作业稳定性高,适用于大跨度、大吨位分段吊装;塔式起重机适用于高层建筑或超高层结构,可覆盖较大作业半径^[2]。机械布置需优化站位、作业半径及回转空间。站位选择需考虑地基承载力、地形条件及与结构距离,避免机械倾覆或陷落。作业半径需覆盖所有分段吊装区域,减少机械移动次数。回转空间需满足机械作业需求,避免与其他施工设备或结构构件干涉。布置策略可采用多机械协同作业,通过合理分工提高吊装效率。机械选型需进行技术经济比较,综合考虑设备租赁成本、运输费用、操作难度等因素。大型设备需配备专业操作人员,并进行安全技术交底。机械布置需预留安全通道,确保紧急情况下人员和设备可快速撤离。

2.3 吊装顺序与工艺

吊装顺序遵循先主后次、先下后上、对称吊装原则。主桁架分段优先吊装,形成结构骨架后,再吊装次要构件。下层分段先吊装,为上层分段提供支撑平台。对称吊装可减小结构偏心受力,避免侧向失稳。吊装顺序需通过施工模拟验证,确保结构受力状态可控。关键工艺包括起吊、就位、临时固定、校正与验收。起吊前需检查分段编号、方向及吊点位置,确保分段姿态正确。起吊过程中需缓慢提升,避免分段晃动或碰撞其他构件。就位时需通过激光测距仪、全站仪等设备进行定位,确保分段位置精度。临时固定可采用缆风绳、千斤顶等措施,防止分段位移。校正包括平面位置校正、标高校正及垂直度校正,需通过调整临时支撑或千斤顶实现。验收需检查分段对接质量、焊接接头状态及螺栓紧固情况,确保符合设计要求。关键工艺需制定详细操作规程,明确各工序质量标准及验收流程。分段吊装需综合考虑结构特点、施工条件及安全要求,通过科学合理的分段方案、机械选型及工艺控制,确保吊装过程安全高效,结构成型质量可靠。

3 高空大跨度连接技术

3.1 连接形式与选择

高空大跨度钢管桁架连接形式需根据结构受力状态、施工条件及经济性综合确定,主要分为焊接连接与螺栓连接。焊接连接中,全熔透焊缝适用于主桁架弦杆与腹杆交汇等高应力节点区,可确保焊缝金属与母材完全融合,提供较高强度和延性,满足结构在复杂荷载作用下的受力需求。部分熔透焊缝适用于次要构件或低应力区域,通过控制焊缝熔深降低焊接残余应力,适用于支座连接或局部补强。焊接形式选择需考虑结构重要性、荷载类型及疲劳性能要求,重要节点优先采用全熔透焊缝,次要节点可采用部分熔透焊缝或角焊缝。焊接连接对操作空间要求较高,高空环境下需采取防风、防雨措施,确保焊接质量。螺栓连接包括高强螺栓与普通螺栓。高强螺栓通过预紧力产生摩擦力传递剪力,适用于需要反复拆装或受动力荷载作用的节点,如主桁架与次桁架连接。普通螺栓依靠螺栓杆身抗剪和孔壁承压传递荷载,适用于临时固定或次要构件连接^[3]。螺栓选型需根据连接受力状态、施工条件及经济性确定,高应力节点优先采用高强螺栓,并需进行摩擦面处理和预紧力控制。螺栓连接施工便捷,需保证螺栓孔精度和预紧力控制精度,复杂节点可采用栓焊混合连接,通过焊接承担主要荷载,螺栓提供施工便利性。

3.2 连接节点设计与施工

连接节点设计需兼顾刚度与强度要求,通过构造措施提升性能。加劲肋可增强节点区局部刚度,减少焊缝应力集中,适用于弦杆与腹杆交汇区域;补强板则用于提高节点承载能力,适配螺栓连接节点或焊缝修复。设计需考虑焊接可达性,避免焊缝交叉或密集布置,降低焊接缺陷风险,并借助有限元分析优化应力分布,确保极限荷载下节点安全。施工精度控制是关键。焊接变形需通过优化焊接顺序、反变形工艺或刚性固定措施实现,分段对接焊缝需预留收缩余量,实时监测变形并调整参数。螺栓预紧力检测需采用扭矩扳手或超声波测力仪,高强螺栓分初拧、终拧两阶段施工,终拧扭矩需在规定的时间内完成,并采取防潮措施防止螺栓连接失效。环境因素亦不可忽视。高空温度变化需通过预热、后热工艺控制焊接残余应力,湿度过高可能引发焊缝气孔,需采取防潮措施。节点施工需遵循工艺流程,先临时固定再永久连接,临时固定采用缆风绳、千斤顶或临时支撑,永久连接按设计顺序施工,避免结构失稳。疲劳性能方面,高应力节点需通过圆弧过渡、增加过渡段长度等措施减少应力集中,螺栓连接需定期检查预紧力,焊缝需避免未熔合、裂纹等缺陷。施工完成后需进行质量检测,包括焊缝外观检查、无损探伤及螺栓扭矩复测,

确保连接质量符合要求。高空大跨度连接技术需综合考量结构受力、施工条件与环境因素,确保连接质量可靠,满足安全与使用性能要求。

4 高空作业安全措施

4.1 安全管理制度

安全责任体系是高空作业安全管理的核心框架,通过分级管理模式明确各级职责,形成纵向到底、横向到边的责任网络。上级管理部门需制定整体安全方针,对项目整体安全目标负责;项目负责人承担具体实施责任,需将安全指标分解至各施工班组;班组长则需监督本班组作业人员严格执行安全规程,确保安全措施落地。责任到人机制要求每项安全任务均指定唯一责任人,通过签订安全责任书、定期考核等方式强化责任意识,避免出现管理盲区。安全教育培训需覆盖全员且贯穿施工全过程。培训内容涵盖高空作业规范、个人防护装备使用、危险源辨识等基础内容,并针对不同工种设置专项课程。例如,焊工需重点学习防火防爆知识,吊装指挥人员需掌握信号识别与机械操作规范。应急预案演练需模拟真实事故场景,如火灾、人员坠落等,通过实战化训练提升应急响应能力。演练后需组织复盘总结,针对暴露的问题修订预案,确保其科学性与可操作性。

4.2 高空防护技术

防护设施需根据作业场景灵活配置。安全网应采用高强度纤维材料,网眼尺寸符合坠落物拦截要求,安装时需确保与结构连接牢固,定期检查磨损情况并及时更换。防坠器需与安全带配套使用,其锁止距离应小于1.2米,作业前需进行空载与负载测试,确保制动性能可靠。安全通道需设置双层防护,底层铺设防滑钢板,上层加装防坠落栏杆,通道宽度不小于0.8米,确保人员通行安全^[4]。作业平台稳定性设计需综合考量荷载分布、风荷载、地震作用等因素。平台结构应采用型钢焊接框架,主次梁间距不超过1.5米,面板采用花纹钢板或防滑格栅。平台边缘需设置不低于1.2米的防护栏杆,中横杆间距0.6米,踢脚板高度0.18米。防滑措施包括表面喷涂防滑涂料、铺设防滑垫等,雨雪天气需及时清理积水积雪,必要时撒布防滑砂。

4.3 吊装过程安全监控

实时监测系统需集成传感器技术、物联网与数据分析算法。吊装荷载监测通过在吊钩处安装压力传感器,实时反馈重量数据至监控终端,当荷载超过额定值90%时自动报警。结构变形监测采用激光测距仪或倾角传感器,对桁架关键节点进行位移跟踪,发现异常变形立即启动应急程序。机械状态监测需覆盖起重机液压系统、制动装置、电气元件等核心部件,通过振动、温度、电流等参数判断设备健康状况,预防机械故障。应急预案需明确各类突发情况的处理流程。风荷载应对措施包括设置风速监测仪,当风力超过6级时暂停吊装作业,对已吊装构件进行临时固定。机械故障处理需制定分级响应机制,一般故障由现场维修人员处理,重大故障需启动备用设备并疏散作业人员。应急响应流程需包含报警、疏散、救援、恢复四个阶段,明确各环节责任人与时间节点,确保事故发生后10分钟内完成初步处置。应急演练需每季度开展一次,重点检验预案的可执行性与人员协同能力。

结束语

高空大跨度钢管桁架分段吊装施工技术复杂且关键,涉及结构特点、施工难点、分段吊装设计、连接技术及安全措施等多方面内容。通过合理分段、科学选择吊装机械、规范连接工艺以及严格落实安全措施,可有效保障施工安全与质量。未来,随着技术不断进步,该施工技术将进一步完善,为更多高空大跨度建筑的建设提供坚实支撑,推动建筑行业持续发展。

参考文献

- [1]陈光明,张伟.大跨度钢结构施工安全风险评估与控制[J].建筑安全,2021,36(2):23-29.
- [2]罗明河.大跨度屋面钢结构桁架吊装施工技术[J].住宅产业,2021,(12):71-74.
- [3]张海礁,陈辉,邱顶宏.大跨度桁架式结构组装与提升关键技术[J].安装,2016,(09):25-26+29.
- [4]段于师.超高层大跨度钢结构连廊整体提升施工技术分析[J].中国建筑金属结构,2021,(03):108-109.