

# 工业化成品支吊架施工技术研究

余国庆

安徽建工三建集团有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i7.18228

**[摘要]** 随着工业化建设对机电安装精度与效率要求的提升,工业化成品支吊架因标准化、模块化优势成为关键结构部件。本文界定其概念与应用场景,系统阐述设计核心环节——包括依据GB50011、03S402等规范的设计标准、静态/动态荷载计算方法(含具体参数实例)、基于荷载与环境的选型原则,以及依托迈达斯软件的力学模拟与结构优化;进而详细拆解施工技术体系,涵盖深化图纸审查、物料抽检等施工筹备工作,分步骤明确安装流程要点(含精度控制指标),并提出垂直度检验、静载试验等质量管控措施。最后以某38000m<sup>2</sup>工业厂房机电工程为案例,验证该技术在管线密集区的应用效果:支吊架安装合格率100%,施工工期缩短18天,综合成本节约20万元,运营12个月无故障。研究成果为工业厂房、大型设备及管道系统的支吊架工程提供技术参考,推动机电安装领域精细化与绿色施工发展。

**[关键词]** 工业化成品支吊架; 荷载计算; 力学分析; 施工工艺; 质量控制; BIM技术; 抗震设计; 施工效率; 成本节约

中图分类号: TU74 文献标识码: A

## Research on the construction technology of industrialized finished product supports and hangers

Guoqing Yu

Anhui Construction Engineering Third Construction Group Co., Ltd.

**[Abstract]** As industrial construction demands increased precision and efficiency in electromechanical installation, prefabricated industrial supports and hangers have become critical structural components due to their standardized and modular advantages. This article defines their concepts and application scenarios, systematically expounding on the core design elements—including design standards based on specifications such as GB50011 and 03S402, static and dynamic load calculation methods (including specific parameter examples), load- and environment-based selection principles, and mechanical simulation and structural optimization using MIDAS software. The article then details the construction technology system, encompassing construction preparation tasks such as in-depth drawing review and material sampling. Key points of the installation process (including precision control indicators) are identified in a step-by-step manner, and quality control measures such as verticality inspection and static load testing are proposed. Finally, using a 38,000 square meter electromechanical project for an industrial plant as a case study, the effectiveness of this technology in a pipeline-intensive area is demonstrated: a 100% pass rate for support and hanger installation, an 18-day reduction in construction time, a 200,000 yuan cost savings, and 12 months of trouble-free operation. The research results provide technical reference for support and hanger projects for industrial plants, large equipment and piping systems, and promote the development of refined and green construction in the field of electromechanical installation.

**[Key words]** industrialized finished product supports and hangers; load calculation; mechanical analysis; construction technology; quality control; BIM technology; seismic design; construction efficiency; cost savings

### 引言

在现代工业建设加速推进的背景下,工业厂房、大型设备安装及管道系统对结构支撑的安全性、稳定性与施工效率提出更

高要求。传统现场手工加工支吊架存在诸多痛点:构件尺寸精度依赖人工操作,易出现偏差;现场切割、焊接作业不仅产生粉尘与噪音污染,还导致材料利用率低(仅约80%);且防腐处理不

规范,长期使用易因锈蚀降低结构强度,增加后期维护成本。与之相比,工业化成品支吊架通过工厂标准化预制、模块化组装,有效解决上述问题—其构件加工精度可控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 内,材料利用率提升至95%以上,同时减少现场作业量,缩短施工周期。

### 1 工业化成品支吊架概述

在现代建筑机电工程中,工业化成品支吊架是实现管线安全支撑与高效安装的标准化系统方案。其核心部分是工厂预制而成的标准化构件,不再采用现场手工支吊架的传统制作工艺,展现出高度规范化、安全保障与经济效益,系统对管材、型材等原材料实施精细加工,生产出包含吊架、托架、连接件、抗震组件在内的多种标准化产品。本系统可根据管线种类(如给排水、暖通空调、电气桥架等)、荷载要求和安装环境进行灵活组合。

### 2 工业化成品支吊架设计

#### 2.1 设计依据与标准

工业化生产的支吊架设计严格遵守国家及行业既定的标准体系,国内《建筑抗震设计规范》GB50011对抗震设防的相关条款进行了具体说明,对于抗震设防烈度达到6度及以上的情形,必须对支吊架的水平地震效应进行测试,为抗震设计确立基础性指导。《室内管道支架及吊架》03S402标准对支吊架的构造、材料选择及安装规范等方面进行了详尽说明,如螺栓承载能力选择标准等事宜。依照SH/T3073《石油化工管道支吊架设计规范》,针对石油化工行业管道支吊架在高温、高压和强腐蚀等极端工况下的特定作业要求,制定了特定的设计规范,内容涵盖材料的抗腐蚀性能与结构的稳定性等关键要点。

#### 2.2 荷载计算

荷载计算是支吊架设计的核心要素,初始应先分析静态负荷,涉及管线及其所附属设备的自重。以处于满水状态的DN200型号钢管为例,管道壁厚为8毫米,每米管材重量约为39.5千克,管道内介质密度取值为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ,按管道内部容积为基准,每米管道内水的重量估算为31.4kg,保温层每米质量约为10kg,每米管道的静态荷载估算约为80.9千克。若该管道段长度为10米,该管道的静态承载重量为809公斤。计算支吊架时,不可忽视其自重,需根据选用的支吊架类型及材质进行评估。就动态荷载而言,依据GB50981标准估算地震荷载。对于7度地震设防级别,水平地震作用系数的最大值按0.08执行,以结构自振周期等参数为依据,进行地震效应的估算。室外支架设计时,风荷载的考虑不可或缺,按照当地的风压基准数值,该地的风压基础值为 $0.45\text{kN}/\text{m}^2$ ,以支架的迎风面积和形状系数为依据,计算风荷载,针对与水泵、风机等设备相连的支撑悬挂构件,必须对振动负荷因素进行考量,一般需增加至1.2倍。对静态荷载和动态荷载进行不利组合后相加,为支吊架的选型及结构设计提供精确的荷载数据基础,实施荷载组合流程,必须按照GB50204等规范行事,对固定荷载与变动荷载的配对模式进行区分,就垂直荷载而言,需将管道因热胀冷缩引起的位移附加力纳入考量,采用滑动或导向支架进行布置,以实现应力的有效分散。

#### 2.3 支吊架选型

支吊架的选用,必须依赖精确的荷载计算和实际工作环境,以C型钢槽式支架为例,M10槽式支架适用于最大静态载荷为15kN及以下的场景,M12槽式支架的静载承受极限为25kN,在项目实施阶段,核算了承载能力,该管段支吊架的静态载荷指标为12000牛,适合采用M10型槽式支架。连接件挑选环节同样关键,螺栓、挂件等部件的强度等级需符合8.8级及以上标准,该部件的拉伸强度需达到800兆帕及更高水平,且安全系数需达到设计荷载的1.5倍标准,在12kN静载影响下的支撑结构里,采用了8.8级螺栓,其承受的拉力完全符合安全标准。以抗震支架为焦点,抗震支架的横向与纵向间距必须严格遵守既定规范,风管横向间距不得超出9米,纵向间距不得超出18米,在管线布局繁杂的地带,必须全面审视各管线荷载、走向和空间限制,合理地挑选支吊架的型号,采用综合管廊式支架,采用模块化设计手段,对多种管线的支撑与悬挂装置进行集中整合,提高空间利用率和施工效率,保证各支吊架满足既定的荷载与安装规范标准。在支吊架的选型活动中,在支吊架选型中,必须充分考虑环境因素对选择结果的影响要素,面临潮湿或腐蚀性环境,应选取热镀锌或不锈钢制支吊架,防止锈蚀引发结构强度降低,针对高温油气管道,应结合隔热垫块,预防因热传导引起的支架结构变形,垫块材料须具备高温抵抗能力。

#### 2.4 力学分析与结构设计

运用专业模拟软件,诸如迈达斯,进行力学模拟,对支吊架结构在多种负荷环境下的受力情况做细致分析,以悬臂式支撑装置为分析对象,在管道垂直载荷及潜在水平风压的挑战下,探讨横梁的弯曲及剪切应力,探讨立柱所受的轴向压力及其他相关压力。以1.5米为悬臂梁的长度,梁体面临5000牛的集中载荷,按照 $\sigma_{\max}=M/W$ 的公式,横梁的最大弯曲应力与弯矩M密切相关,截面模量以W标识,横梁设计采用10号工字钢,截面模量结果为 $49\text{cm}^3$ ,弯矩的值为 $5\text{kN}$ 乘以1.5m,合计 $7.5\text{kN}\cdot\text{m}$ ,最大弯曲应力数值为153MPa,其应力值明显小于Q235钢材的许用应力215MPa,强度要求得以验证。就结构设计而言,采纳模块化及标准化设计理念,各构件的连接点表现出良好的可靠性,C型钢的内侧齿牙深度至少有1毫米,采用机械咬合技术,实现了构件的刚性连接,防止应力过度聚集,双拼C型钢连接以激光焊接及螺栓机械为手段,保证力的有效传输,抗震型支吊架,恰当布置抗震斜撑,斜撑与吊架的间隔不得超过0.1米,斜撑的垂直安装角度推荐采用45度,且角度至少为 $30^\circ$ ,加强结构在地震冲击下的稳定性,维持支吊架在复杂力学条件下的安全与稳定。

### 3 工业化成品支吊架施工技术要点分析

#### 3.1 施工准备

施工前必须完成对深化设计图纸的审查,确保支吊结构布局与管道路径相匹配,误差需控制在5毫米以内,按照设计指标,对完成的支吊架型号及规格进行校验,验证槽钢壁厚需符合3毫米以上要求,丝杆直径至少需有10毫米粗,将连接件孔径的公差误差限制在 $\pm 0.5$ 毫米。对入场物料实施抽样检验,每批次抽样检测至少需有3组样本,优先对材料证明及力学性能报告进行重

点审查, 钢材屈服强度需达到235MPa以上, 施工区域应去除所有障碍, 搭设操作脚手架高度符合作业面要求, 脚手板间隔不得超过300mm。放线作业所采用的激光投射仪, 其精度可达 $\pm 1\text{mm/m}$ , 生成支吊架定位的线条, 点标记之间的最大距离应控制在1.5米以内, 对结构预埋件的位置进行审查, 若偏差超过10毫米, 则必须编制整改计划, 配备了扭矩扳手、水准仪等专用器具, 扭矩扳手的扭矩测量范围从50至300牛·米不等, 保证安装的紧固力符合标准。

### 3.2 安装流程与要点

按照测量放线、预埋件固定、立柱安装、横梁连接、管线固定的步骤依次进行安装, 预埋件的固定采用M12膨胀螺栓, 钻孔深度需达到80毫米及以上, 螺栓露出部分应保留3至5个螺纹, 立柱垂直度误差, 每米长度内误差值不得超过1毫米, 全长误差需维持于10毫米以下, 相邻立柱的间距误差不得超出5毫米。横梁与立柱的连接采用特制的C型槽螺栓, 紧固扭矩为120牛·米, 连接点安装了防滑垫片, 于管线与支吊架间加入3毫米厚的橡胶垫, 螺栓的紧固扭矩需调整至60至80N·m区间, 确保管线固定不动摇, 于多条管线共架的布局下, 横向间距需满足100毫米以上要求, 竖直方向的间隔要求至少为50毫米, 对于重量超过50公斤的管线, 必须采用独立的强化支吊架, 伸缩缝的支吊架部分, 预留了100毫米的位移空间, 于滑动接触面施加润滑剂。

### 3.3 施工过程中的质量控制

在完成10套支吊架的安装后, 立即进行垂直度检验, 以2米直尺为基准, 检测误差需在2毫米以内, 对已紧固的连接件, 利用扭矩扳手实施复拧, 抽样核实所占的比例为20%, 保证扭矩数值达到设计规范, 支吊架的实际间距与设计间距的差距未超过50毫米, 累积误差的上限为100毫米。对承重支撑装置实施静态负荷考核, 施加荷载至设计荷载的1.2倍, 维持荷载30分钟, 未出现任何塑性变形, 对焊接接头进行检测, 焊缝高度需达到6毫米以上, 焊缝长度需满足80毫米以上要求, 对每条焊缝实施外观审查, 遇有气孔、夹渣等缺陷, 应迅速进行返修作业, 对管线与支吊架的接触区域实施有效的防腐措施, 涂层需达到80微米以上的厚度, 对裸露金属涂覆两遍防锈漆, 验收隐蔽工程阶段, 需保存相关影像资料, 每个检验批次至少应采集5张关键节点图像。

## 4 工业化成品支吊架施工技术应用案例分析

### 4.1 案例项目简介

本案例选取某大众工业厂房机电安装工程作为分析样本, 该厂房主要用于通用机械零部件加工与组装, 总建筑面积约38000 $\text{m}^2$ , 包含3栋生产车间、1栋配套办公楼及1个地下车库(建筑面积6200 $\text{m}^2$ )。工程集成给排水(含生产用水、生活用水及消防给水系统)、通风空调(含车间降温通风、地下车库排风系统)、动力照明(含设备动力电缆、车间及车库照明管线)、压缩空气管道等多个专业管线系统, 其中厂房过道与地下车库公共区域为管线密集核心区域。经深化设计统计, 厂房过道(总长1200m, 宽4.5m)需布设管线支吊架1500套, 主要承载通风管道(直径800mm-1200mm)、动力电缆桥架(宽600mm-800mm)及DN150-DN200

给排水管道; 地下车库公共区域(涵盖行车通道、设备机房周边区域, 面积3800 $\text{m}^2$ )管线交错更为复杂, 支吊架总需求量达1800套, 需同时支撑消防喷淋主管(DN200)、排烟管道(1000mm $\times$ 500mm)、强弱电综合桥架(宽1000mm)及生活给水管道(DN100)。本工程支吊架均采用Q235B钢材加工制作, 核心受力构件C型槽钢以100mm $\times$ 50mm $\times$ 3mm为基准型号, 局部重载区域选用120mm $\times$ 60mm $\times$ 4mm规格; 丝杆统一采用直径12mm的全螺纹镀锌丝杆, 连接螺栓选用8.8级高强度螺栓(配套防松螺母), 确保连接节点承载能力。项目施工周期为2024年3月至8月, 施工高峰阶段安排6个专业安装班组(含2个地下车库专项班组、4个厂房过道专项班组), 平均每天安装支吊架100-120套。针对管线密集区域的碰撞风险, 项目采用BIM技术进行管线综合深化设计, 通过建立各专业管线三维模型, 共优化42个支吊架布置方案(其中厂房过道18个、地下车库24个), 成功消除35个管线交叉冲突点(厂房过道14个、地下车库21个), 确保各专业管线间距满足《工业金属管道工程施工规范》(GB50235-2010)及《建筑机电工程抗震设计规范》(GB50981-2014)要求, 例如通风管道与电缆桥架水平间距不小于500mm, 给排水管道与电缆桥架垂直间距不小于300mm。

### 4.2 支吊架施工方案实施

本工程施工全过程严格依照BIM深化设计图纸及《建筑机电设备抗震支吊架安装规范》(CECS420-2015)执行, 分阶段落实精准施工与质量管控:

#### 4.2.1 施工测量放线

采用精度为 $\pm 1\text{mm/m}$ 的激光投线仪进行定位放线, 累计完成厂房过道1200m、地下车库1800m的定位线布设, 点标记分布间隔严格控制为1.2m(偏差不得超过 $\pm 5\text{mm}$ )。预埋件位置放线后, 采用全站仪复核, 确保单个预埋件位置偏差不得超过8mm, 同一直线内预埋件累计偏差不得超过15mm。

#### 4.2.2 预埋件安装

预埋件采用M12膨胀螺栓固定, 螺栓孔径统一为14mm, 钻孔深度严格控制为85mm(偏差 $\pm 3\text{mm}$ ), 螺栓安装后露出构件表面的螺纹段维持4个完整螺纹(约12mm)。安装完成后, 采用扭矩扳手检测紧固力(要求达到45N·m), 共检测预埋件3300个, 紧固力达标率100%, 无松动或脱落风险。

#### 4.2.3 立柱与横梁安装

立柱安装前进行垂直度预调, 采用靠尺实时监测, 确保立柱垂直度误差每米不超过0.8mm, 单根立柱(最大长度3.5m)全长最大误差不得超过7mm; 立柱相邻间距误差控制在3mm以内(设计间距2m-3m), 确保受力均匀。横梁与立柱连接采用特制C型槽螺栓, 螺栓扭矩通过扭矩扳手精确控制为120N·m, 累计安装横梁3200根(厂房过道1400根、地下车库1800根), 所有横梁均配套安装弹簧防松垫片, 防止长期振动导致螺栓松动。

#### 4.2.4 管线支撑与特殊区域处理

多管线共架区域严格控制管线间距: 水平方向相邻管线间隔不小于110mm(确保检修空间), 垂直方向上下管线间距不小于60mm(防止冷凝水滴落影响下方管线)。针对厂房过道内重量达

65kg/m的大型通风管道(1200mm×600mm),专项采用450套加强型支吊架(C型槽钢选用120mm×60mm×4mm,丝杆直径16mm),并在支吊架与管道接触部位加装3mm厚橡胶垫片,减少振动传递。地下车库伸缩缝区域(共6处,缝宽30mm)的支吊架,预留100mm位移空间(沿伸缩缝方向),滑动接触面涂刷50kg专用硅基润滑剂(摩擦系数≤0.15),确保结构伸缩时支吊架可自由滑动,避免管线受拉变形。每完成10套支吊架组装,立即采用2m靠尺检测垂直度、钢卷尺检测间距,累计实施垂直度检测330次,所有支吊架垂直度偏差均控制在2mm以内,间距偏差不超过±5mm。

#### 4.3 应用效果评估

项目完工后,委托第三方检测机构依据《建筑机电工程施工质量验收统一标准》(GB50300-2013)进行全面检测,同时跟踪运营12个月监测使用效果,具体评估结果如下:

##### 4.3.1 施工质量达标情况

支吊架安装整体合格率达100%,其中垂直度偏差最大值1.5mm(规范允许值3mm),间距实测值与设计值最大偏差32mm(规范允许值50mm),累计偏差68mm(规范允许值100mm),各项指标均优于国家标准要求。针对承重支吊架开展静载试验,加载至设计荷载的1.2倍(最大加载值75kN,对应地下车库消防主管支吊架),持荷30分钟后无塑性变形,残余变形量为0,证明支吊架承载力满足长期使用需求。

焊接节点(主要为立柱与预埋件连接部位)焊缝高度均达6.5mm(设计要求6mm),焊缝长度85mm(设计要求80mm),经外观检测及渗透检测(PT),无气孔、夹渣、裂纹等缺陷,焊缝质量等级达二级;防腐涂层(环氧富锌底漆+氯化橡胶面漆)厚度检测平均值85 $\mu$ m(设计要求≥80 $\mu$ m),裸露金属部位(如螺栓头部、丝杆末端)防锈漆涂刷均匀,无漏涂、流挂现象,可有效抵抗厂房潮湿环境及地下车库腐蚀性气体侵蚀。

##### 4.3.2 施工效率与成本节约

相较于传统现场加工支吊架(需现场切割、焊接、防腐处理),本项目采用工业化成品支吊架,减少现场切割作业620次(避免粉尘、噪音污染),节约钢材用量3.5吨(成品支吊架材料利用率达95%,传统支架约80%),缩短施工工期18天(主要得益于成品构件快速组装及BIM技术提前消除碰撞)。施工阶段人工成本降低约12万元(减少现场加工人员6名,缩短作业时间),材料浪费成本减少约8万元,综合施工成本节约20万元。

##### 4.3.3 运营阶段稳定性与维护成本

运营12个月期间,通过安装在支吊架上的振动传感器及位

移监测仪,实时监测管线振动位移量,数据显示最大振动位移量控制在2mm以内(规范允许值5mm),支吊架各连接节点无松动现象(每月人工复核扭矩,均维持在设计值±5%范围内)。未出现因支吊架问题导致的管线泄漏、变形或故障,累计节省后期维护成本15万元(传统支架运营12个月通常需进行2-3次防腐补涂及螺栓紧固,费用约15万元),有效保障了厂房生产及地下车库功能的正常运行。

## 5 结束语

本文以大众工业厂房过道及地下车库公共区域管线密集区为研究对象,通过实际案例分析工业化成品支吊架的施工技术与应用效果,其核心研究目的在于:针对工业厂房管线系统复杂、承载要求高、使用环境严苛的特点,验证工业化成品支吊架在安全性(满足荷载与抗震要求)、可靠性(长期稳定运行无故障)、经济性(节约成本与工期)等方面的优势,为同类工业厂房机电安装工程提供可借鉴的技术方案。从研究意义来看,一方面,工业化成品支吊架通过标准化设计、工厂化生产、模块化安装,解决了传统支吊架现场加工质量不稳定、效率低、污染大的痛点,符合现代工业建筑绿色施工与精细化管理趋势;另一方面,其在管线密集区的成功应用,为工业厂房机电系统“安全运行、降低维护”提供了关键保障,有助于减少因管线故障导致的厂房停产损失,提升工业建筑整体使用品质。未来,随着BIM技术与智能化监测的深度融合,工业化成品支吊架将在工业厂房领域实现更广泛的应用,为推动工业建筑机电安装技术升级奠定基础。

## [参考文献]

- [1]白明迅,白雪橙.一种高性能改性粉煤灰的试验研究及工业化生产技术探讨[J].水泥,2025,(08):10-14.
- [2]陈育坤,朱亮,李勇.石油炼制企业油污渣处置工业化研究及应用[J].石化技术,2025,32(08):74-76.
- [3]张宇航,刘元亮,余彪,等.装配式工业化成品综合管道支架标准化设计与施工[J].安装,2024,(02):29-31.
- [4]黄律群.成品高黏度改性沥青工业化生产研究[J].城市道桥与防洪,2017,(08):269-271+284+28.
- [5]石承林.工业化时期的农业发展问题——兼论成品农业[J].长白学刊,1997,(04):84-87.

## 作者简介:

余国庆(1992--),男,汉族,安徽人,大学本科,中级职称,研究方向:机电工程。