

高空大跨度圆形管桁架安装技术

陈莉萍

湖北力萍工程技术有限公司 湖北 武汉 430000

摘要: 本文结合上海月星环球商业中心工程实例,立足高层劲性型钢-混凝土结构施工特点与现场工况,对钢骨架的对接安装关键施工技术展开深入探讨。通过对钢骨架合理分段规划、现场安装顺序排布、节点耳板受力分析验算以及节点精细化微调工艺的系统性研究,梳理施工重难点,切实解决钢骨架现场安装阶段遇到的精度控制、拼接就位等实际问题。

关键词: 大跨度管桁架; 拼装; 焊接; 吊装

引言: 大跨度管桁架因造型美观、跨度大,在体育场馆等公共建筑中应用广泛。但其拼装精度控制、复杂节点焊接及大吨位吊装等技术难点,对施工方案优化提出较高要求。本文以崇左市体育中心体育馆为例,介绍直径89m圆形管桁架在场地受限条件下的拼装、焊接与吊装技术。

1 工程概况

崇左市体育中心位于崇左城南区东北部,总建筑面积46534m²,由体育馆、综合训练馆、网球场、体育场组成,2017年建设,2019年投用,2021年获国家优质工程奖。

体育馆为悬空圆形大跨钢结构管桁架屋盖,直径89m,中间圆形桁架与外围混凝土支座由12榀主桁架连接。主桁架采用倒三角形断面,桁架间矩形桁架焊接,主体材质Q345B,总重890t。

2 项目难点及解决方案

难点: 1、主桁架体积大、工艺复杂、节点多、下料精度要求高; 2、多种焊口,焊接难度大,拼装焊接中易位移及侧向扭曲变形; 3、跨度达89m,场地狭小,拼装吊装困难。

其解决方案为: 1、成立项目经理部,制定管理制度与流程; 2、应用Xsteel软件整体建模; 3、工厂制作后运抵现场,主桁架分2段运输; 4、现场搭设拼装平台与胎架; 5、焊接后吊装; 6、合理布置拼装和吊装区域; 7、选用汽车吊进行吊装作业。

3 工艺控制

3.1 空间技术

体育馆空间结构复杂,为确保精度,详图转化阶段采用设计软件进行整体建模,将钢结构构件按设计软件要求转化后,由相贯线切割机在工厂内加工。通过建立模型,材料预算和采购更加科学合理,有效降低材料损耗;同时引入BIM技术实现模型可视化,清晰呈现结构的

每个细节,将复杂的钢结构节点充分展示,便于工人制作和现场安装。

3.2 拼装平台

3.2.1 体育馆屋盖共有12榀主拱桁架和内圆环桁架,主桁架为倒三角管桁架结构,截面分别为4.2×3.56×35米,考虑运输超宽、超高,在工厂分段分片制作运抵施工现场后,在现场拼装为整体桁架。

3.2.2 拼装场地直接设在体育馆内部平整好的场地内,布设7根马镫搭设管桁架组装平台,每组间距3~7m,用水准仪找平,使之水平度误差不大于5mm。

3.2.3 在马镫组成的平台两端各设立一个管桁架支撑支架,支架高度经计算得出,使倒三角桁架上平面的与水平面的角度满足拼装要求。

3.2.4 将倒三角桁架上弦桁架单元件拼装成整体单元件,下弦杆拼装成整体,将上弦平面单元件桁架斜放在支柱上,调整上弦桁架拼装角度并进行固。

3.2.5 安装下弦杆调整后在外侧安装下弦杆限位装置,检查合格后进行上下弦间的斜撑杆安装,倒三角桁架组装完毕后,检查合格后焊接作业^[1]。

3.2.6 桁架焊接完成后,经验收合格,即可进行倒三角桁架的安装准备工作。

3.3 桁架吊装

3.3.1 机械选择

经计算现场构件卸车、桁架拼装选用220t汽车吊。主拱桁架分2段制作及运输至现场,2段拼为整体后吊装重量约29.5t,长度35m,高度3.56m,整体吊装;中心桁架分成两个弧形段分别进行吊装,吊装重量约15t,起吊高度20.4m。根据220t吊车性能表可知吊装半径7m,起吊高度27m时,吊装重量为54t,吊车起重满足吊装要求。另外选一台80t汽车吊和2台25t汽车吊作为辅助吊机

3.3.2 钢丝绳选择

中心内环27吨,直径12米;外环重50吨,直径20米(外环分两段吊装);12榀主桁架每榀重29.5吨,长度35米;

主桁架重量 $G=29.5\text{吨}=295\text{KN}$ (重力加速度 g 取 10kg/N)、采用4个吊点。吊绳与吊具构件的夹角等于(或接近) 60° 、根据在吊装过程中可能出现的最大受力的情况计算出每根钢丝绳的许用拉力值:

$[S]=295/4/\sin 60^\circ=85.2\text{KN}$

根据钢丝绳破断拉力计算公式: $[S]=S_0/K$ 得

$S_0=[S]*K=85.2*7=596.2\text{KN}$

$[S]$: 钢丝绳最大拉力值

S_0 : 钢丝绳最小破断拉力

K : 安全系数(本方案中钢丝绳做吊索使用,取 $K=7$)

查钢丝绳相应国标可知:钢丝绳的公称抗拉强度为 1800MPa 、 6×19 型(股 $1+6+12$) $\text{O}31$ 纤维芯钢丝绳的最小破断拉力为 $608.5\text{KN}>596.2\text{KN}$ 。满足施工要求。

故主桁架吊装用钢丝绳(纤维芯)选择 $6\times 19+1$ 型直径为 31mm 钢丝绳,共4根,每根长度为 $8\sim 10\text{米}$ ^[2],如图1所示。

钢丝绳的主要技术规格									
绳6×19 股(1+6+12) 绳纤维芯									
主要用途:各种起重、提升和牵引设备									
直径/mm	钢丝绳	钢丝总截面积	参考重量 (kg/100m)	钢丝绳公称抗拉强度/Mpa					
				1400	1550	1600	1850	2000	破断力 (吨)
钢丝绳破断拉力总和和ΣS≥kN									
20.0	1.3	151.24	142.9	211.5	234	257	279.5	302	23.877
21.5	1.4	175.40	165.8	245.5	271.5	298	324	350.5	27.704
23.0	1.5	201.35	190.3	281.5	312	342	372	402.5	31.836
24.5	1.6	220.09	216.5	320.5	355	389	423.5	458	36.244
26.0	1.7	258.63	244.4	362	400.5	439.5	478	517	40.867
28.0	1.8	289.95	274.0	405.5	449	492.5	536	578	45.816
31.0	2.0	357.96	338.3	501	554.5	608.5	662	715.5	56.581
34.0	2.2	433.13	409.3	606	671	736	801	—	68.469
37.0	2.4	515.46	487.1	721.5	798.5	876	953.5	—	81.479
40.0	2.6	604.95	571.7	846.5	946.5	1025	1115	—	—
43.0	2.8	701.60	6300	982	1108.5	1190	1295	—	—
46.0	3.0	805.41	761.1	1125	1245	1365	1490	—	—

图1 钢丝绳性能表

3.3.3 起吊准备

基础复测。对基础的水平标高、轴线、支座进行复测,同时在基础顶面标明纵横两轴线的十字交叉线,作为安装立柱的定位基准。

对场地地面进行硬化处理。对进门处向下挖深0.5米以满足构件进入场地内的高度要求。

对构件进行清点、校正。对桁架支座、预埋钢板进行清理检查,清除污垢、铁锈、杂物和毛刺,对有翘边、弯曲等缺陷进行处理,以保证各结合面的良好接触。

对构件标志标注。吊装前对构件做好中心线、标高线的标注,对不对称的构件标注安装方向,对主桁架应标注出重心或吊点,标注采用不同于构件涂装涂料颜色的油漆作记号。

对临时支架进行搭设。屋盖中间圆形桁架下方搭设七个临时支架,其中边沿的两个临时支架对称分布在中心支架两侧的看台上,临时支架分部图(见图2所示),为了保证临时支架的稳定性,五个临时支架间用型钢连

接,使临时支架形成一个稳定的整体,为保证圆形屋盖吊装完后的卸载,在临时支架的顶部搭设卸载用支架及千斤顶。如图2所示

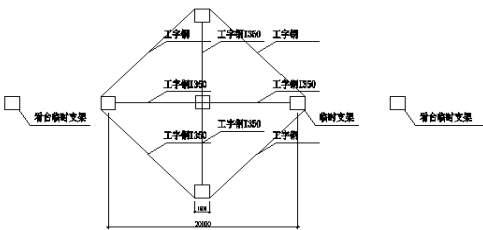


图2 临时支架分布示意图

3.3.4 吊装顺序

体育馆的屋盖为圆形屋盖,中间是圆形桁架,由12榀桁架从中间圆心向外圆延伸,根据现场条件,我们先在中间圆形桁架下方搭设临时支架,把中间圆心部分桁架安装完成,定好轴线及标高,然后对称安装看台上方中心支架两侧的主桁架,其余外延主桁架对称逐一吊装,为了保证中心临时支架的稳定性,12榀桁架吊装时应采用对称吊装,按一定顺序依次完成,具体起始吊装位置是根据现场实际情况确定,主桁架吊装完毕,按顺序吊装次桁架,直至桁架吊装完成。如图3所示

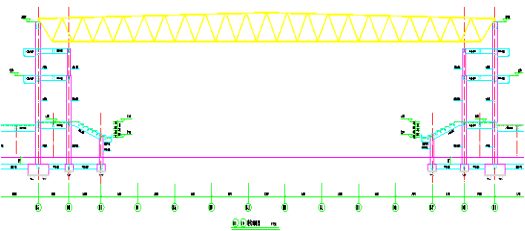


图3 桁架吊装完成示意图

4.1 测量控制

4.1.1 预埋件验收

交接轴线控制点与标高基准点,布设桁架位轴线及定位标高;对支座的定位、标高进行复测并做好记录,若误差超出规范允许范围须及时校正。

4.1.2 桁架就位控制

依据定位轴线引测下弦杆标高,将下弦杆的标高及定位尺寸误差控制在允许范围内。吊装前,按照设计图纸确定桁架下弦支撑点的空间位置并标记,吊装时按标注位置就位。

4.1.3 上弦平面控制

利用支座附近上弦控制点的标高,借助水准仪、平尺等仪器测量若干点标高,以确保整榀桁架上弦平面同截面两点标高一致。钢桁架临时固定完成后,在测量人员监控下,采用千斤顶、倒链及楔子等工具对其轴线偏差和标高偏差进行校正。

4.1.4 管桁架测量方法

管桁架安装过程中,受结构及临时支架影响,测量视线会受到较大遮挡。解决措施如下:一是在施工场地上确定管桁架主要受力构件的平面投影,采用激光铅直仪将主要点位(方向)投射至施工面;二是搭设2~3个高出屋顶结构的观测平台,运用高精度全站仪进行三维坐标测量控制。

安装时,先用激光铅直仪或经纬仪控制管桁架的粗略位置,再用全站仪控制其精确位置。事先在管桁架节点上粘贴全站仪专用不干胶反光标靶,照准标靶后,以坐标放样模式从全站仪中调出该节点的三维坐标(事先由计算机输入),全站仪自动计算该点实际坐标及其与安装位置的差值,据此调控安装过程并完成最终测量控制。

4.2 吊装措施

建立安装质量责任制,对施工及管理人员开展技术与质量交底。

对施工组织设计进行交底,针对施工中的关键质量问题进行研讨并提出解决方案,编制作业指导书。

对运至崇左工地的构件、零部件做好保护与保管,防止损伤。

检验人员严格把关,施工及质量人员在安装过程中勤于指导、加强督促。

严格按照规定要求开展检查与测量。

对编号、包装、堆放进行规划,确保编号准确、包装完好、堆放合理、标识清晰。

装卸管理:为确保运输安全可靠,派遣管理人员至工地监督装卸作业,严格要求吊装合理、堆放整齐,禁止随意卸货,不得在污泥及低洼积水处堆放。

现场质量员及检测人员应与安装队伍协同作业,随时检验、坚守岗位,同时对现场货物装卸及堆放进行质量管理

5 控制要点及实施效果

5.1 拼装和吊装控制重点

主桁架拼装时,搭设拼装平台并制作拼装胎架,平台不平度 $\leq 5\text{mm}$;

主桁架拼装完成后,对多构件几何尺寸进行复查,对接焊缝须进行无损检测,合格后方可吊装;

由于12榀主桁架沿中心环分布,吊装前应将桁架中心线分别标注于屋盖基础支座和中心环外环上,以便主桁架吊装就位;

临时支架安装完毕后须检查验收,顶部预留一定拼装作业间距;为防止临时支架卸载后桁架下挠度超出规范要求,安装时应对主桁架按一定坡度预抬高,抬高高

度经计算确定;

临时支架卸载须均匀对称进行,卸载过程中进行测量并填写检测记录。

5.2 实施效果

5.2.1 技术创新

方案实施过程中,技术管理人员提前开展详细的安全技术交底,施工人员现场指导并及时解决钢桁架施工中的各类问题,认真总结经验;关键节点运用BIM技术对构件拼装及安装尺寸进行精确定位。项目完成后申报多项发明及实用新型专利,发表四篇论文于国家期刊,其中《大跨度空间钢桁架施工技术研究与应用》荣获集团公司科技成果一等奖。

5.2.2 安全管控

桁架吊装过程中加强安全教育与监督,确保吊装作业严格按施工方案执行,做好安全防护并拉设警戒区。整个工程施工期间未发生任何安全事故,保障了施工安全。

5.2.3 质量成效

钢桁架拼装过程中强化质量监管,严格执行“三检”制度,上道工序验收合格签字后方可进入下道工序。对钢桁架焊接质量、几何尺寸及拼装尺寸进行认真复查,经现场质检及技术人员复查,桁架安装质量满足设计图纸及相关国家规范要求;经监理检查,体育场所有检验批、分项及子分部工程质量全部合格。工程一次安装到位,一次性通过钢结构主体验收^[1]。

5.2.4 综合效益

该施工工艺顺利实施后,为公司积累了同类工程的施工管理经验,培养了大量大跨度钢结构施工管理及技术人才,提升了公司大跨度管桁架结构的制作安装水平,为后续承接同类工程奠定了坚实基础

6 结束语

通过崇左市体育中心体育馆屋盖钢结构的拼装和安装实践,验证了该施工工艺用于高空主桁架拼装和安装切实可行,工程安装质量满足设计和国家规范要求,该工艺是科学合理的;该工程先后获得中国钢结构金奖、中国“安装之星”和中国优质工程奖等奖项,该项目的顺利实施为公司承接类似工程积累了经验和业绩。

参考文献:

- [1]GB11345-2024,焊缝无损检测超声检测[S].北京:中国标准出版社,2024.
- [2]TSG51-2023,起重机械安全技术规程[S].北京:新华出版社,2023.
- [3]GB26471-2023,塔式起重机安装、拆卸与爬升规则[S].北京:中国标准出版社,2023.