

受限空间下医建项目穹顶钢结构精准安装工艺探析

潘祥飞 黄浩文 代泽民 韦宏 李强

中建八局第二建设有限公司, 安徽 合肥 230000

[摘要]医建项目穹顶钢结构作为建筑造型与功能的核心载体,常呈现大跨度、双曲造型、结构复杂等特点,且施工多处于主体结构合围后的受限空间内,叠加严苛的工期、成本管控要求,传统安装工艺已难以满足高效、安全、精准施工需求。创新采用了独立胎架配合高空拼装施工穹顶主梁,小型曲臂车施工穹顶次梁的方法,将其典型的施工工艺进行总结,形成受限空间内大跨度双曲穹顶钢结构安装施工技术,本文结合该项目施工特点,对受限空间下大跨度双曲穹顶钢结构精准安装工艺进行深入探析,为同类工程提供了良好的借鉴作用,具有明显的社会效益和经济效益,同时提高公司在当地的影响力。

[关键词]受限空间;医建项目;穹顶钢结构;双曲造型;精准安装;胎架支撑体系

DOI: 10.33142/ect.v4i1.18831

中图分类号: TU5

文献标识码: A

Analysis of Precise Installation Technology for Dome Steel Structure of Medical Construction Projects in Restricted Spaces

PAN Xiangfei, HUANG Haowen, DAI Zemin, WEI Hong, LI Qiang

The Second Construction Co., Ltd. of China Construction Eighth Engineering Division, Hefei, Anhui, 230000, China

Abstract: As the core carrier of architectural form and function, the dome steel structure of medical construction projects often presents characteristics such as large span, hyperbolic shape, and complex structure. Moreover, construction is often carried out in confined spaces enclosed by the main structure, with strict requirements for construction period and cost control. Traditional installation techniques are no longer able to meet the needs of efficient, safe, and precise construction. The innovation adopts the method of independent tire frame combined with high-altitude assembly to construct the main beam of the dome, and small articulated crane to construct the secondary beam of the dome. The typical construction process is summarized to form the installation and construction technology of large-span hyperbolic dome steel structure in confined space. Based on the construction characteristics of this project, this article deeply analyzes the precise installation technology of large-span hyperbolic dome steel structure in confined space, providing a good reference for similar projects, with obvious social and economic benefits, and improving the company's influence in the local area

Keywords: restricted space; medical construction projects; dome steel structure; hyperbolic shape; accurate installation; tire frame support system

引言

随着社会经济的不断提升,人们对建筑物的样式、外观要求也日益提高。穹顶结构作为近年来发展起来的一种新型大跨度结构,造型新颖、构思巧妙,因此在工程建造上得到了广泛应用。然而面对大跨度、造型结构复杂,施工场地空间受限及严苛的工期和成本要求,传统的施工工艺已无法满足现场安装施工需求。针对以上问题,提出一种组合装配式大口径圆管胎架支撑体系,总结形成《受限空间内大跨度双曲穹顶钢结构安装施工工法》,实现受限空间下穹顶钢结构的高效、安全、精准安装。本文基于该项目施工实践,对受限空间下医建项目穹顶钢结构精准安装工艺进行系统性探析,重点阐述工艺创新点、关键工序操作要点、质量与安全控制措施,分析工艺应用的社会效益与经济效益,为同类工程施工提供实践参考,推动医建项目穹顶钢结构安装技术的创新发展,同时提升在当地建筑市场的核心竞争力与行业影响力。

1 工程概况与施工难点分析

1.1 工程概况

合肥市属新站老年护理院、骨科和口腔专科医院项目位于合肥新站高新区南坪路与相城路交叉口西南侧,总建筑面积为 20.16 万 m^2 ,是合肥市四大“医养结合”示范工程之一。其中城市客厅屋面结构形式为曲面穹顶钢框架结构,总跨度为 36m,穹顶顶面距操作面 30.2m,底面距楼边距为 21m,钢框架主要由 H 型钢圆弧梁组成,截面规格尺寸 H630 \times 300 \times 14 \times 22、H600 \times 300 \times 14 \times 22、 \square 200 \times 100 \times 6、 \square 120 \times 80 \times 5、支撑构件采用 ϕ 140 \times 6,共计 24。本项目为合肥市重点民生工程,工期要求严苛,且需严格控制施工成本,兼顾施工安全与工程质量,同时避免施工对周边已施工医疗区域的干扰,确保项目按期交付投入使用。

1.2 施工难点分析

核心施工难点聚焦 4 点:一是受限空间狭小,大型吊装设备无法进场,构件运输、拼装空间不足,施工组织难

度大；二是双曲球面造型复杂，安装精度要求高，受限空间内测量放线难度大；三是工期紧、成本严，需优化工艺提升效率，兼顾工期与成本平衡；四是高空、动火等高危工序集中，受限空间通风照明条件差，安全管控难度大，且需契合医建项目污染控制、功能预留等特殊要求。

2 工艺创新方向与工艺流程

结合项目施工实践，摒弃传统满堂支架搭设模式，研发组合装配式大口径圆管胎架支撑体系，实现胎架的快速搭设、精准调整与重复利用，适配受限空间作业需求，减少空间占用，降低胎架搭设与拆除成本，提升施工效率。针对受限空间内大型设备无法进场的问题，创新采用“独立胎架配合高空拼装施工穹顶主梁、小型曲臂车施工穹顶次梁”的差异化安装方法，主梁采用高空拼装模式，依托独立胎架实现精准定位与对接，次梁采用小型曲臂车辅助施工，解决受限空间内构件运输难题。采用全站仪三维坐标测量结合 BIM 技术建模指导，实现双曲曲面点位的精准定位，建立全过程精度监测与调整机制，同时，优化施工工序衔接，简化施工流程，减少交叉作业干扰，提升施工效率。

结合受限空间施工特点、工艺创新要求及工程实践，明确穹顶钢结构安装核心工艺流程，简洁有序、全程可控，兼顾精度与效率，具体流程如下图 1：

3 受限空间下穹顶钢结构精准安装工艺探析

3.1 精准测量放线工艺

测量放线是穹顶钢结构精准安装基础，针对本工程特点与受限空间，采用“三维坐标测量+分段放线+实时复核”工艺。建立三维测量控制网，依项目整体网和设计坐

标设多个测量控制点，用全站仪校准，精度误差 $\leq \pm 1\text{mm}$ ，设置测量支架用以消除高空测量时视线受阻的状况。接着构件预放线，在预制阶段，借助三维建模软件构建模型，从中提取关键点坐标信息，并据此开展预放线工作。于现场安装阶段，依按照三维测量控制网来精准地放线，标注安装信息，放线后用水准仪和经纬仪复核，胎架立柱定位放线并吊装完成后，每根立柱采用后置采用 8 根 M30 的后置螺栓进行固定（见图 2）。实施高空实时测量控制，构件高空对接时运用全站仪实施三维坐标的实时监测工作，专人记录数据，若出现移位现象，及时用吊装设备调整。同时，选取风力低于 3 级、温度处于稳定状态的时段进行测量，定期校准仪器以减少误差。

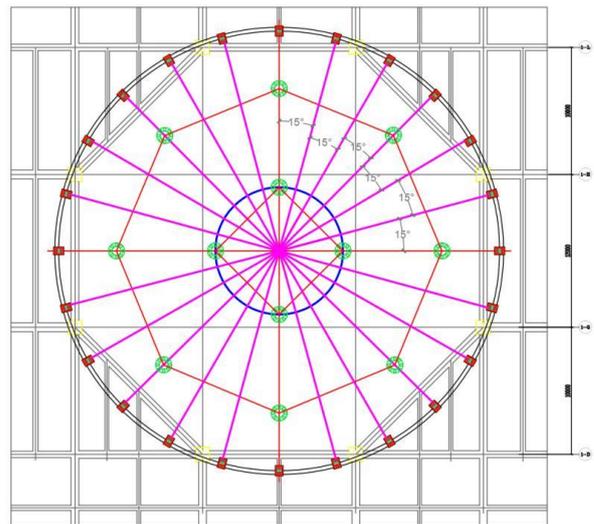


图 2 定位放线示意图

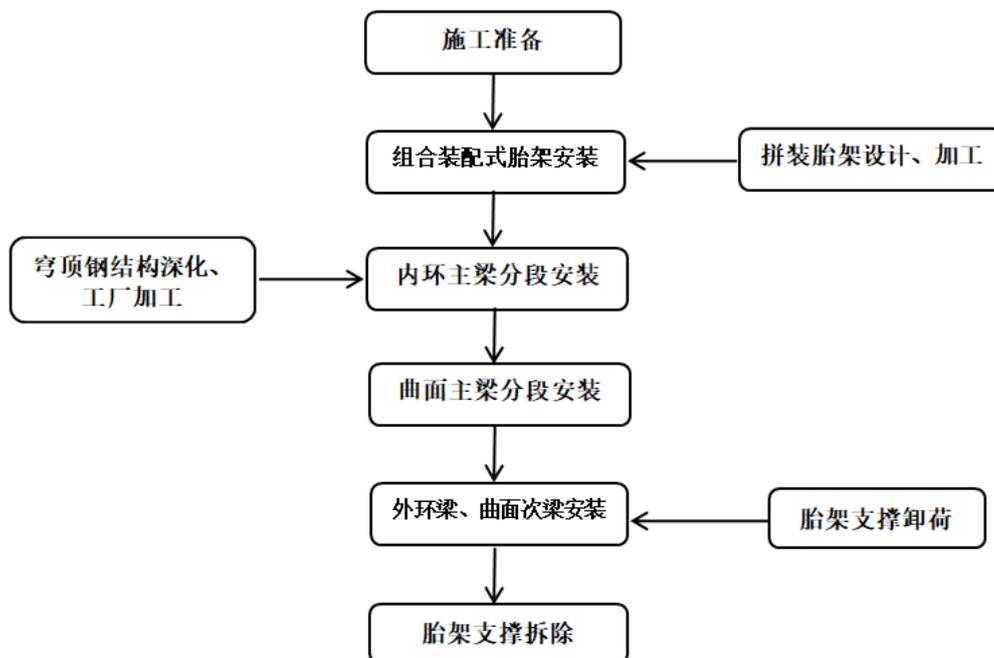


图 1 大跨度双曲穹顶钢结构工艺流程图

3.2 构件预制与验收工艺

构件预制的质量是穹顶钢结构精准安装的前提条件,鉴于本工程复杂的曲面要求以及独特的构件规格,制定一套严谨的构件预制与验收工艺尤为关键,确保预制构件完全满足现场安装的实际需求,在一定程度上可以避免因构件质量问题而引起现场返工情况的发生。根据穹顶钢结构图纸中环形梁及大跨度曲面梁拼接节点深化、既有塔吊的辐射参数,计算大口径圆管立柱临时支撑型号、规格 9 (见图 3)。

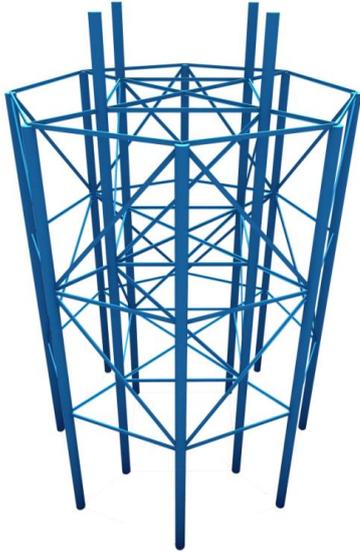


图 3 胎架支撑模型图

根据在三维模型软件中获得的构件尺寸以及弧度值,用数控切割机把 H 型钢、矩形钢管等材料进行下料,下料误差不大于 $\pm 1\text{mm}$;然后用数控冷弯机把下料好的 H 型钢进行冷弯,冷弯过程中实时检测构件的弧度,采用样板比对的方式,控制圆弧梁弧度满足设计要求,弧度误差 $\leq \pm 2\text{mm}$ 。圆形支撑杆件,采用数控卷管机卷制,卷制后采用焊接方式连接,焊接结束后进行打磨,保证杆件表面平整,直径误差 $\leq \pm 1\text{mm}$ 。构件预制时的焊接位置,采用 CO_2 气体保护焊接,焊前将焊接接头打磨干净,除去铁锈及油污等杂物。焊接过程中,电流控制在 $200\sim 250\text{A}$,电压控制在 $22\sim 26\text{V}$,焊接速度控制在 $15\sim 20\text{cm}/\text{min}$,确保焊接接头饱满、均匀,无夹渣、气孔、未焊透等缺陷。在焊接作业完成之后,通过运用超声波检测方式检测焊接的接头,检测比例为 100%,确保焊接质量符合《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205—2020)的要求。

3.3 受限空间吊装优化工艺

针对本工程受限空间吊装作业难度大、风险大的问题,并根据穹顶钢结构的结构特点,将穹顶钢结构分成 4 个吊装单元,每个吊装单元由 6 件构件组成,按“从中间向两侧”的吊装顺序进行吊装,先吊装中间区域的构件,固定后,再吊装两侧区域的构件,防止在吊装过程中穹顶结构

产生整体偏移。每一吊装单元吊装前利用三维建模软件对吊装过程进行模拟,确定吊装角度、吊装速度和吊装路线,避免在吊装过程中碰撞到下方既有结构及障碍物,保证吊装过程安全顺畅,吊装速度控制在 $0.5\text{m}/\text{min}$ 以内,缓慢提升构件,避免构件晃动过大。构件吊装至安装位置上方 $10\sim 20\text{cm}$ 时,停止提升,调整构件位置,采用全站仪实时监测构件的三维坐标,确保构件位置偏差不超过 $\pm 2\text{mm}$ 后,缓慢下放构件,进行对接作业。

3.4 高空构件精准对接工艺

构件对接接口部位设置定位导向板及定位销,定位导向板采用厚度为 20mm 钢板制作并与构件进行焊接固定,定位销采用 45 号钢制作,其直径与对接接口预留孔匹配,以保证构件对接时能快速定位;并需在构件对接接口部位标注出对接中心线和标高控制线供对接人员查看调位使用。当构件吊到对接点后,通过吊机的小幅度调节,调整构件平面位置及标高,并由高空作业人员使用千斤顶及撬杠等对构件对接缝隙以及中心线进行小幅度调整。在进行对接的过程中,利用全站仪实时监控构件的空间位置信息,测量人员及时向对接人员和指挥人员通报测量结果。监督并指导构件调位工作,保证构件之间对接轴线对准,弧线吻合,并严格控制构件之间的对接间隙为 $2\sim 4\text{mm}$,轴线错台不大于 $\pm 2\text{mm}$,标高偏差 $\leq \pm 1\text{mm}$ 。在完成构件对接精度的精细调整并确认其达到合格标准后采用临时固定装置对构件实施稳固操作,临时固定装置采用型钢支架搭配高强度螺栓的组合形式,其中型钢支架通过焊接方式与已安装构件或既有结构牢固连接。

3.5 焊接质量精准控制工艺

根据受限空间下的高空焊接难点,优化焊接工艺方案。针对穹顶钢结构的焊接部位及受限空间,选用二氧化碳气体保护焊进行焊接,焊接电流控制在 $200\sim 250\text{A}$,电压控制在 $22\sim 26\text{V}$,焊接速度控制在 $15\sim 20\text{cm}/\text{min}$,坡口角度控制在 $60^\circ\sim 70^\circ$,保证焊接工艺的规范性。焊接前,对焊机接头进行二次清理,清除对接接口处的铁锈、油污、氧化皮等杂物,保证焊接接头干净;对焊接设备进行检修调试,保证设备状态良好,焊接气体纯度达标。焊接施工中,按照编制的焊接工艺参数进行施焊操作,焊接人员佩戴防护面罩及防护手套,做好自身防护工作。采取多层多道的方式进行焊接,在完成一道焊缝后要及时进行打磨,将焊渣以及飞溅物清理干净,并对焊缝的外观质量进行检验,如果存在缺陷要及时进行补救。

为了减小焊接应力及焊接变形对穹顶结构安装精度带来的影响,采取“对称焊接、分段焊接”的焊接方式,焊接时,两名焊接人员对称进行,由构件对接接口的中点往两端分段焊接,每段焊接长度控制在 $500\sim 800\text{mm}$ 范围内,避免集中焊接造成局部过热而产生变形。焊接时,实时监测构件变形,采用红外线测温仪对焊接部位进行温度

监测,控制焊接温度处于合理范围之内,并且焊接完毕后,采取自然降温方式,防止快速降温造成的焊接变形;针对焊接变形较大的部位,采用火焰矫正方式进行矫正,在矫正过程中,控制火焰温度以及矫正幅度,防止构件受损。焊接结束后,检查焊接接头的整体质量情况,保证焊接接头的强韧性能满足设计要求。

3.6 结构整体调校工艺

穹顶钢结构全部安装和焊接完成后,需进行整体调校,确保其符合设计要求的曲面造型、平整度和轴线位置,针对受限空间下调校难度大的问题,制定“整体监测、分区调校、实时复核”的整体调校工艺,确保调校精度。采用全站仪对穹顶钢结构的全部关键控制点进行三维坐标测量,提取测量数据,与设计坐标进行对比分析,确定穹顶结构的整体偏移量、曲面平整度偏差和轴线偏移量,形成详细的测量报告,明确调校重点区域和调校参数。在穹顶钢结构深化设计中,通关费利用 Tekla 软件建立穹顶钢结构模型(见图4),并根据分段吊装方案细化拼装节点。

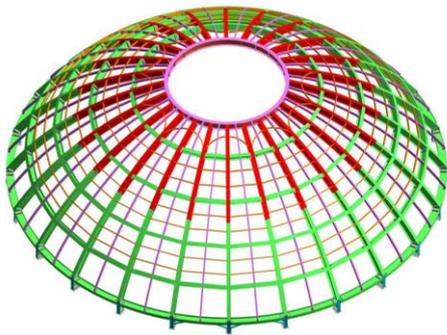


图3 穹顶钢结构模型图

根据钢结构图纸深化,将内环梁分为四段并进行编号处理(见图5),利用既有塔吊依次对各梁段进行吊装施工。

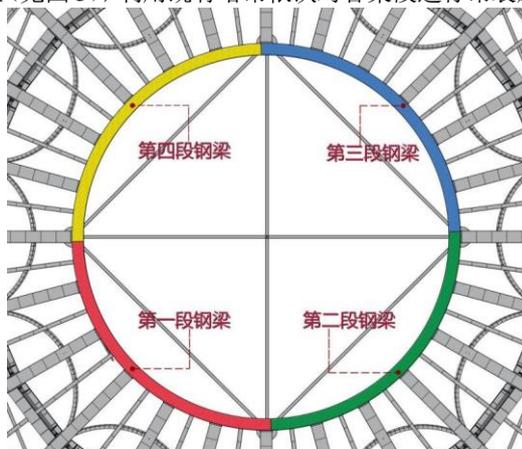


图5 内环梁编号

先调校穹顶顶部的构件,再调校穹顶底部的构件。调校过程中,采用千斤顶、撬棍等工具,对构件进行微调,调整构件的位置和角度,每调整一个点位,及时采用全站

仪进行测量复核,确保调校精度——整体穹顶平整度偏差不超过 5mm,轴线偏移不超过 3mm,圆弧梁弧度偏差不超过 $\pm 3\text{mm}$ 。调校过程中,避免采用蛮力调整构件,防止构件发生损坏或焊接接头出现裂纹;对临时固定装置进行逐步拆除,实时监测构件的位置变化,若发现构件偏移,及时停止拆除,重新进行固定和调校。同时,调校过程中,避免对下方主体结构施工造成影响。整体调校完成后,采用三维坐标测量仪、水准仪、经纬仪等设备,对穹顶的轴线、标高、曲面平整度、弧度等进行全面测量,确保各项指标符合设计要求和规范标准。

4 施工效果验证

本工程城市客厅穹顶钢结构采用上述受限空间精准安装工艺进行施工,经过现场实践验证,该工艺地减少了材料投入,缩短了现场施工工期,降低了施工难度,减少了劳动力投入,保证了屋面穹顶钢结构的节点工期,安全生产无事故,取得了良好的经济和社会效益。

5 结论

随着社会经济的不断提升,人们对建筑设计安全性、稳定性要求的基础上,对建筑物的样式、外观要求也日益提高。本文研发了一种组合装配式大口径圆管胎架支撑体系,组合支撑杆之间采用系杆连接,并与主体结构形成整体受力明确、安全可靠。支撑胎架现场组装完成后,将大跨度穹顶钢结构深化为若干榀,通过采用装配组合式大口径圆管胎架支撑,并利用既有塔吊进行钢构件分段吊装,解决受限空间内无法布设大型吊车工况下的大跨度钢梁安装难题,实现了异形穹顶钢结构快速、精准安装,提高了钢结构吊装的安全性,保证了施工质量。

[参考文献]

- [1]陈桥生,潘荣娟,金平,等.大跨度钢桁架穹顶组合网壳设计施工关键技术[J].施工技术,2014,43(14):33-37.
- [2]韩敏章,何潘,汪绍林,等.狭窄场地大跨度钢桁架整体累积提升及高空散拼组合技术[J].建筑技术,2023,54(11):73-75.
- [3]张军烈.大型钢网架整体顶升安装技术研究[J].建筑施工,2024,46(5):762-765.
- [4]孙学军,毛从兵,杨锦龙,等.大面积网架整体顶升施工技术[C].北京:2023年全国土木工程施工技术交流会论文集,2023.
- [5]高永祥.大跨度穹顶钢结构设计与施工[J].建筑技术开发,2017,44(6):85-86.
- [6]朱鹏举,李伟志.工民建结构设计的优化措施的探讨[J].砖瓦,2020(10):77-78.

作者简介:潘祥飞(1993.2—),毕业院校:华中农业大学,所学专业:工程管理,当前就职单位:中建八局第二建设有限公司,职务:项目总工,职称级别:工程师。