

基于 BIM 的椭圆形悬挑钢结构屋盖施工技术研究

李苏红

济南能源工程集团有限公司

摘要：为了实现椭圆形悬挑钢结构屋盖的现场安装，根据工程实际情况，以BIM技术为基础，提出了一套针对椭圆悬挑钢结构屋盖的施工技术。首先采用BIM三维建模对工程进行精确分析，确定各构件的空间位置和施工顺序。其次在此基础上，利用BIM模型对现场施工进行模拟，提出了现场安装所需的临时支撑位置及安装顺序。最后通过调整各构件之间的位置和高程来实现施工过程中各构件的精准对接。该技术解决了椭圆悬挑钢结构屋盖施工过程中遇到的实际问题，有效地减少了现场安装偏差，提升了工程质量和效率，可为类似工程提供借鉴和参考。

关键词：BIM；钢结构；屋盖施工；悬挑

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.14.028

引言

在建筑施工中，屋面结构形式一般分为两种：一是有独立的桁架结构，通常以屋架为主，适用于跨度较小的空间结构；二是由桁架和其他结构共同组成的结构，常用的有门形框、格构式等。其中，悬挑钢结构屋盖是由悬挑梁、挑桁架与屋盖结构共同组成。由于悬挑构件自重较大，安装过程中容易发生变形，导致安装偏差。传统的屋面施工方案是在屋面结构完成后，用吊车将其吊放至预定位置。但该方法存在以下缺点：（1）吊车起吊费用较高；（2）吊装过程中可能对周边道路造成破坏；（3）吊车起吊高度限制较大；（4）吊装精度难以保证。针对传统屋面施工方法的缺点，本文提出了一套椭圆形悬挑钢结构屋盖的施工方案，利用BIM技术对施工过程进行模拟，并采用计算机软件进行施工模拟分析。

一、工程概况

该工程总建筑面积约为12.88万m²，由三栋塔楼及一层架空平台组成，其中1#楼地上31层，2#楼地上32层，3#楼地上29层，地下2层，建筑高度均为96.0m。1#塔楼为办公楼，2#塔楼为多功能商业设施。2个塔楼结构均采用框架-核心筒结构体系；3个塔楼均采用悬挑钢结构屋面。本工程悬挑构件较多，包括外挑梁、悬挑钢柱、悬挑桁架、悬挑桁架梁板等。悬挑构件尺寸不一，高度变化也较大。由于钢结构屋盖形状不规则，构件的连接节点错综复杂。现场安装过程中的位置偏差、吊装误差控制难度极大。为保证施工过程中的几何尺寸偏差满足设计要求，在施工前采用BIM技术对施工过程进行模拟

计算及控制。

二、基于 BIM 的钢结构设计

（一）BIM 模型构建

该建筑项目屋盖钢结构为椭圆形，拱架由艺术飘带和曲线钢架组成，钢结构形式包括箱形枝杈柱、圆管枝杈柱、圆管柱等，梁由曲线钢梁、曲线钢架等组成，由于钢梁接头种类较多，因此连接形式相对复杂^[1]。

为了保证椭圆钢结构屋盖的安装精度，首先要对整个工程进行精准分析，确定各构件的空间位置和施工顺序。在本工程中，通过使用BIM技术可以确定每一构件的安装位置以及安装顺序。将其进行数字化建模，利用Revit软件对其进行三维建模，在三维模型中设置关键点以及预埋件。然后再根据设计图纸对其进行三维动态模拟，利用该模型可以进行施工模拟和技术交底，明确在施工过程中需要注意的问题以及可能发生的情况。

（二）三维放样

节点放样是钢结构的重点，需要根据钢结构运输堆放位置、钢结构加工工艺、安装方案等因素制定放样方案。节点放样时，对椭圆形悬挑钢结构屋盖的施工放样，主要是根据软件的三维建模来完成。在三维建模中，通过设置一定的坐标系，将整个模型转化为一个坐标系。通过对各个构件进行定位，来确定出相应构件的位置。此外，还需要在模型中确定好构件之间的位置关系，进而使其能够准确定位。在模型定位完成之后，根据已有的资料来进行放样处理^[2]。

当确定好构件之间的位置关系之后，就可以利用放样软件来对构件进行定位处理。在进行放样的过程中，我们可以将各杆件连接在一起，这样可以确保各杆件之间位置关系的准确性。

一般情况下，当某个杆件有相应的变化之后，就会导致整个模型发生变化。因此，我们需要利用放样软件来将该杆件所处的空间位置进行调整处理，使其能够满足工程项目的要求。在放样完成之后，就需要将其提交给相关管理部门进行审查与验收工作^[3]。

三、钢屋盖建模及深化设计

（一）钢屋盖建模

首先利用Rhinceros软件创建了建筑整体结构及钢屋盖的线性模型。模型的构建遵循精确逻辑，确保准确性和实用性，钢屋盖线性模型如图1所示。线性模型导入Tekla Structures中，通过设定轴线、输入截面和材料信息，构建钢屋盖的三维模型，为后续分析和设计工

作打下基础。

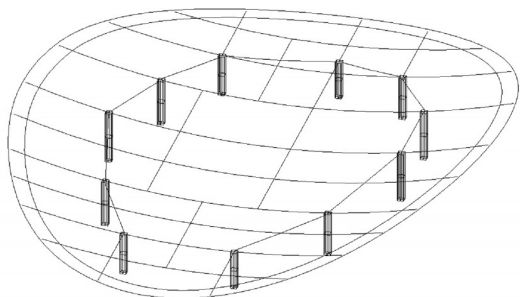


图1 钢屋盖线性模型

三维模型建立后，使用MIDAS Gen软件对钢屋盖进行整体受力分析。分析获得内力、位移和反力等关键数据。基于受力分析结果，绘制详细的结构设计图纸，包括构件的材料、截面尺寸和坐标等信息。

（二）钢屋盖深化设计

在前期工作基础上，进行钢屋盖的加工图深化设计。在Tekla Structures中，对钢构件进行编号，并导出加工图、材料表和清单报告。然后在CAD软件中根据项目要求对加工图进行调整，形成最终的深化加工图，确保加工精度和施工顺利。通过以上步骤，确保钢屋盖建模和深化设计的专业性和严谨性，为施工和安装工作提供了坚实基础。在整个过程中，在满足设计要求的同时，确保结构的安全性和可靠性。

（三）钢屋盖预拼装

在楼钢屋盖的生产加工阶段，重点在于外侧圆管圈梁的精确安装定位。为确保构件的制造精度，工厂生产过程中需严格控制构件的尺寸。外侧圈梁的精确定位主要基于钢挑梁与圆管圈梁连接点的坐标。预拼装过程中，通过测量控制点的坐标并与模型导出的三维坐标进行对比，分析定位偏差是否在设计允许的范围内。

在工厂车间内，以地坪作为水平基准，根据模型导出的空间坐标在地面上标定控制点，并在控制点上安装固定钢板。通过测量钢板的标高并与模型的z值对比，确定钢柱的高度，如图2所示。预拼装时，以钢管的最

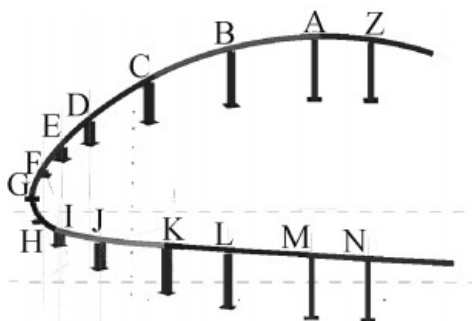


图2 钢构件预拼装示意图

低和最高点为基准，对接钢管后进行临时点焊，确保连接接头的平整度。调整至满意的弧线形状后，在接头处焊接定位板，并在另一端做标记，以便现场拼装时使用。

在预拼装与模型控制点坐标的对比分析中，根据钢挑梁端点数量设置多个控制点，并导出控制点的坐标。使用全站仪对预拼装完成的圆管圈梁进行测量，并与模型坐标进行对比，以评估生产精度。所有坐标均以同一原点为基准，通过比较相对坐标来确定偏差。通过分析偏差数据，确认工厂生产的圆管圈梁形状与设计模型的偏差在允许范围内。

四、施工关键技术

（一）钢屋盖构件安装施工

钢柱安装：图3所示钢柱安装示意图，首先将钢结构柱尺寸信息导入三维模型中，并对每个钢立柱尺寸进行编号，以便于现场施工安装。其次按照施工方案现场放线，钢立柱顶部与梁体连接板根据三维模型仿真情况精准定位，以保证梁柱安装满足施工要求。在安装钢柱时根据编号依次安装，并调整钢柱的垂直度，最后将预埋件与钢柱底板焊接牢固^[4]。

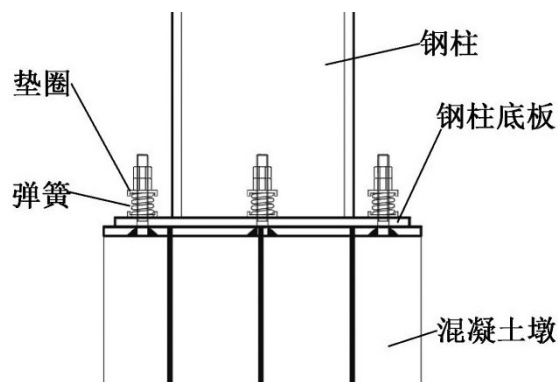


图3 钢柱安装示意图

钢梁安装：图4所示钢梁连接节点BIM模型，钢梁采用捆绑法或吊耳吊装法，钢梁吊装至指定位置后利用螺栓固定钢柱与钢梁，首先将连接板预先安装于钢柱上，其次待钢梁吊装到位后，采用螺栓紧固，经过矫正后焊接固定，最后在上表面盖板。

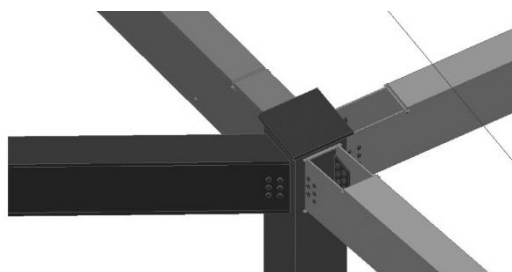


图4 钢梁连接节点 BIM 模型

钢屋盖构件安装过程中，钢挑梁坐标位置和标高时重要控制项，安装时需要利用红外仪控制安装精度，保证钢挑梁与圈梁精准对接。圈梁在出厂前需要预拼装，在拼装过程中需要注意的是在连接头拼装位置安装两个定位件，并对安装钢梁进行编号，在施工现场根据编号依次安装。安装完毕后对钢挑梁和外侧圆管圈梁连接点与BIM模型坐标进行对比纠偏，包括预拼装测量坐标、外侧圆管钢梁安装控制点坐标和钢挑梁安装点点测量坐标。

(二) 悬挑操作平台搭设

屋面钢结构悬挑构件安装过程中，搭建悬挑操作平台（图5所示），该平台由支撑体系、围护体系、悬挑工字钢、操作平台和动力体系等部分组成。围护体系包括安全网、水平防护杆、竖向立杆，以上部件形成一道围挡，可以保证施工人员的安全。在建立围护体系时在距离工字钢端部焊接定位钢精，以便于竖向立杆的固定；支撑体系包括钢板、支撑工字钢、悬挑工字钢，在设置支撑工字钢和悬挑工字钢时根据施工方案设置工字钢长度，并采用焊接方式将工字钢焊接为整体^[5]。其中悬挑工字钢与支撑体系和维护体系进行焊接，使其成为一个整体；操作平台安装于悬挑工字钢上，并利用镀锌铜丝将其固定；动力体系采用2根竖向工字钢安装于悬挑工字钢尾部，再利用2根螺栓穿过竖向工字钢腹部，使其固定于钢结构或主体花架^[6]。

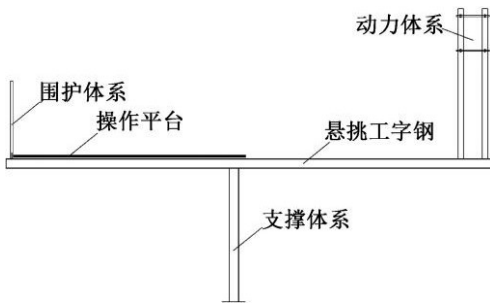


图5 悬挑操作平台

(三) 施工控制要点

- (1) 悬挑桁架施工前，需要对悬挑梁进行预压，预压时需进行必要的检测。根据监测结果，进行正式的悬挑梁安装。
- (2) 安装过程中要保证混凝土的浇筑质量，避免因质量问题导致工程返工。
- (3) 在悬挑桁架的安装过程中，要对竖向支座的标高进行严格控制，以保证后续施工质量^[7]。
- (4) 在悬挑桁架吊装过程中，要确保竖向支撑和支座之间的严密性，防止由于竖向支撑结构不密实而导致支座与主体结构脱开。
- (5) 悬挑桁架安装完成后需要对桁架节点进行验

算，对其结构安全性进行分析。

(6) 在施工过程中要注意对空间定位钢梁的安装操作工艺，确保安装精度及误差符合设计要求。

(7) 在悬挑桁架吊装完成后需要进行卸载和临时支撑拆除工作。

(8) 在施工过程中需要对焊接质量和焊缝质量进行严格控制。此外，还需要对钢梁焊缝的外观质量进行检查^[8]。

(四) 实施效果

BIM技术解决了椭圆悬挑钢结构屋盖施工中存在的实际问题，有效地减少了现场安装偏差，提升了工程质量和效率，为类似工程提供了借鉴和参考。

(1) 实现了椭圆悬挑钢结构屋盖的现场安装。解决了施工过程中遇到的实际问题，提升了工程质量和效率，同时也确保了工程在较短时间内顺利完成。

(2) 通过 BIM三维模型对椭圆悬挑钢结构屋盖进行施工模拟，提出了临时支撑位置及安装顺序，并通过调整各构件之间的位置和高程来实现各构件的精准对接^[9]。

(3) 该技术为椭圆悬挑钢结构屋盖提供了一种快速准确安装的方法，减少了现场安装偏差和工程量。该技术可用于类似工程的施工过程中，从而节省工程成本及提高工程效率。

五、结束语

随着建筑行业的发展，BIM技术已经被越来越多的项目采用，BIM技术在建筑工程中的应用，对提高企业管理水平、降低成本、保证工程质量、提高企业综合效益具有十分重要的意义。本工程通过利用BIM技术来解决椭圆悬挑钢结构屋盖现场施工过程中遇到的问题，成功地解决了椭圆形悬挑钢结构屋盖施工中存在的实际问题，保障了该类型悬挑钢结构屋盖体系安全顺利地进行。该工程通过采用BIM技术将现场实际情况与模型信息相结合，有效地避免了由于现场测量误差对施工结果造成的影响，也提高了工作效率，减少了施工成本，对类似工程具有借鉴作用。

参考文献

[1]周桂香, 郁俊, 丁建成, 奚晟翔, 蒋凤昌, 唐金来. 泰州市体育公园体育馆大跨度圆形钢屋盖施工技术[J]. 绿色科技, 2022, 24(24): 241-246.

[2]毛振龙, 梁云东, 张海燕, 尚仁杰, 张际斌, 吴源华. 吕梁新城体育场204m×160m跨四角落地钢屋盖施工技术[J]. 建筑结构, 2022, 52(S2): 2739-2747.

[3]谭坚, 区彤, 戴朋森, 林松伟, 罗赤字, 骆杰鑫, 刘思为, 林全攀. 广州白云国际机场三号航站楼超长结构分析与设计[J]. 建筑结构, 2022, 52(21): 66-72.