

# Construction Technology of Hyperbolic Shaped Skirt Style Curtain Wall Steel Structure

Huawen Dong

Guangdong HenSam Construction Engineering Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

This paper deeply analyzes the exquisite construction skills of the double-shaped curtain wall steel structure. First of all, this paper summarizes the unique structural characteristics of this curtain wall and its extraordinary value in the field of contemporary architecture, which not only enriches the architectural design language, but also enhances the artistic beauty of the architecture. Then, relying on specific cases, this paper elaborated in detail the steel structure curtain wall from design conception to construction practice, especially focusing on how in the complex and changeable surface form, not only to ensure the stable and reliable structure, but also to maintain the visual harmonious aesthetic feeling, and put forward innovative solutions to the technical bottleneck. Finally, the practicability and economy of this technology, providing valuable reference for similar projects.

## Keywords

curtain wall; special-shaped structure; support system; construction technology

## 双曲异形裙摆式幕墙钢结构建造技术

董华文

广东鑫森建设工程有限公司, 中国·广东 深圳 518000

## 摘要

论文深入剖析双曲异形裙摆式幕墙钢结构的精湛建造技艺。首先, 论文概览此幕墙独特的结构特征及其在当代建筑领域的非凡价值, 其不仅丰富了建筑设计语言, 还提升建筑的艺术美感。随后依托具体案例, 论文详尽阐述该钢结构幕墙从设计构想到施工实践的每一个环节, 尤其聚焦在如何在复杂多变的曲面形态中, 既确保结构的稳固可靠, 又保持视觉上的和谐美感, 并针对技术瓶颈提出创新性的解决方案。最后, 通过实例展示有力证明此技术的实用性与经济性, 为类似工程提供宝贵的参考与借鉴。

## 关键词

幕墙; 异形结构; 支撑体系; 建造技术

## 1 引言

随着现代建筑技术的不断进步, 建筑形态越来越多样化, 对幕墙结构设计和施工提出了更高的要求。双曲异形裙摆式幕墙以其独特的造型和结构优势, 在大型公共建筑和地标性建筑中得到广泛应用。然而, 这种结构的复杂性也给设计和施工带来了挑战。论文通过对双曲异形裙摆式幕墙钢结构建造技术的深入研究, 旨在为相关领域的工程师和设计师提供参考和借鉴, 推动幕墙技术的发展和 innovation。

## 2 双曲异形裙摆式幕墙的结构

双曲异形裙摆式幕墙是一种具有独特曲面形态的建筑外围护结构, 其结构特点主要体现在以下几个方面:

①曲面设计: 这种幕墙通常采用复杂的双曲面设计, 能够创造出流畅且动态的视觉效果, 为建筑外观增添独特的美学价值。

②结构复杂性: 由于其双曲面的特性, 结构设计和施工过程相对复杂, 需要精确的计算和高精度的施工技术来确保幕墙的稳定性和安全性<sup>[1]</sup>。

③材料多样性: 双曲异形裙摆式幕墙可以采用多种材料, 如玻璃、金属板、复合材料等, 不同的材料选择可以满足不同的设计需求和功能要求。

④光影效果: 由于其曲面形态, 这种幕墙在不同的光照条件下能够产生丰富的光影变化, 为建筑增添动态美感。

## 3 工程概况

某国际航空服务中心裙摆式幕墙的设计与建造充分利用数字技术, 实现与塔楼幕墙的无缝对接, 外观上达到和谐统一。幕墙系统从封闭向开放的转变, 有效降低室温效应,

【作者简介】董华文(1976-), 男, 中国湖南衡阳人, 本科, 工程师, 从事钢结构及幕墙施工与技术研究。

同时确保裙房大面积的防雨、透气、生态和遮阳功能。结构设计上,塔楼外立面从76.390m标高处逐渐外挑,形成曲线过渡,覆盖整个裙房及部分楼前广场。平面尺寸约为113m长,30~113m宽,总投影面积约为6892m<sup>2</sup>,展开面积则达到约14000m<sup>2</sup>。这种高落差、大跨度和纤细曲线造型的设计,对施工安装、支承布置和安装精度控制提出巨大挑战。

塔楼主体结构采用非线性单向受力体系的空间网格桁架与树形立柱结构。结构分布在塔楼的东、西、北三侧,主桁架纵向布置,并通过环向次桁架和次梁连接形成网格体系。主桁架在上端靠近塔楼区域,下弦杆收头,上弦主梁独立进行空间扭转,并通过侧向连杆与塔楼连接。下端区域则由树形柱支撑。主次桁架结构均采用平面空腹桁架,上弦为矩形钢管,下弦为圆管,桁架高度为800mm。根据结构特点,主体被划分为A、B、C三个区域,各区相接处通过三角桁架将两主桁架连接成一个整体(见图1)。

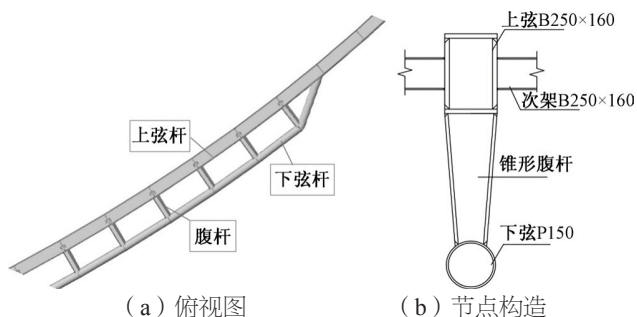


图1 主桁架结构图示

树形柱支撑共有28个,由变截面圆管柱主干、分叉铸钢件和具有自然曲度的曲线圆管树枝组成。每榀主桁架结构从上至下分为竖向段、大曲率过渡段和水平段。

## 4 施工难点与技术路线

本工程的施工难点:裙身结构跨度大、刚度小,因此合理的分段结构、合理的支撑形式及设置的地点是结构设计的重点。由于转换段曲率大、落差大,下部又是主要建筑与建筑之间的衔接部位,致使主要构件的承载力较低,支撑方式的选取是一个难题。且由于其形状多变,不易掌握其装配的准确性,故应采取合理的装配次序及各道工序的流水重叠<sup>[2]</sup>。

施工结构柔软度对构件的装配稳定性、整体结构的变形影响很大,需要兼顾异型构件的制作与装配精度,以及施工中的施工位置与施工技术,以及暂撑的卸荷次序。

结合上述难点分析,本工程提出裙摆的整体工艺方案:

流程一:柱底埋件及塔楼侧边埋件安装。

流程二:A、B区竖向平行段结构安装。

流程三:A、B区组合段对应树形柱及组合段构件安装。

流程四:A区水平区段结构安装。

流程五:B区水平区段、C区组合段结构安装。

流程六:C区水平区段结构安装。

①为减少措施数量,布置灵活,便于拆除,在重要部位布置单点支承,可以解决传统的采用全桥式支架所带来的工期长和结构承载能力差的问题。

②采用逆施工方法进行钢结构的施工。垂直部分通过悬挂方式进行分段设置。为解决施工过程中出现的高落差区的暂撑问题,本项目采用两榀为一组,整榀进行整体吊装,上部与垂直节段相连,下部置于临时支架上。横向部分在网架及枝丫下方设有临时支架,采用一节一节的方式进行施工,施工速度快,精度高。

③由A、B、C按分区分段进行,每个分区完工后先将中间的支架卸除,然后再将该分区的边缘支架留作临时支架,等全部支架全部安装完毕后再进行拆除;从而保证结构的安装精度和变形控制<sup>[3]</sup>。

④在各分区内设置1座塔吊,为主体吊装设备。

## 5 裙摆结构施工技术及应用

### 5.1 临时支护体系

在裙摆结构的建造中,在框架内增设一个临时支架,其不仅可以确保建筑物的稳定性,还可以作为竖向通路,同时也可以为建筑的外墙及消防涂层的制作搭建一个作业平台。为保证支架的稳定、长细比例,同时能够承受施工中的横向干扰荷载,可将其划分为3种形式:

①支架高10m以下,采用0299钢管支架。②对于15m以下10m以上的支架,可选用0609型钢管作为支架。③对于15m以上的支架,可选用四边形塔架节点支承。

鉴于支架较高和施工时存在较大的横向干扰,在装配节段构件下端和周边边梁部位设置方形节点支座。为确保树形构件的准确定位和防止悬挂式施工,对上层网架进行支承,设计609个钢管支架。由于跨距比较大,所以沿着主体桁架的扩展,分别布置299、609钢管支架。该临时支承的下部由转换结构将荷载转移到主结构,而上部由转换钢梁及横向限制对上部进行支承。

### 5.2 全面运用重载设备的工艺

①裙摆结构的突出区域较大,上部安装位置较高,异型结构数目较多;由于支柱构件重量大,结构件长度大,所以需要选择起重量大,吊装幅度大的吊装设备。由于裙摆结构处于裙楼之上,如果将塔吊设置在建筑物的外部,很难达到吊装的目的。经过以上各方面的分析,最终确定3部悬臂吊车,1、2架安装在裙房结构的屋顶。

②由于塔楼的框架梁比较细,且其结构柱的承载能力能够满足其工作要求,所以采用单独工作状态,下部由转换梁地基将其上部的载荷转移到其上。

③由于裙摆结构混凝土梁的断面比较小,立柱承载能力能够达到吊车的工作需求,所以采用单独工作的方式,下部由转换梁地基将上部的载荷转移到钢筋混凝土构件上。

### 5.3 双曲线异型钢结构的施工工艺

鉴于裙摆结构构件截面小、柔性大，装配时弹性变形难控制，双曲异型构件曲率变化大，桁架上部下圆形结构形态曲线精度难以保证，因此本项目拟开展以下研究工作：

①对预制件进行数字预制，对线形进行控制，并对其进行跟踪测量。采用信息化建模方法，对施工过程中的施工参数和理论参数进行匹配，并对其进行实时微调，实现“测量→成型→测量”的联动，保证结构线形的精确控制。

②逆作法施工，垂直断面的起点位置容易，施工方便。为解决高落差、大曲率构件的安装难题，本项目拟采用两台起重机和多点吊装相结合的方法，对提升过程中的弹性变形进行有效控制，实现下部落点处的精确位置和结构线形的精确控制。横向分段采用分叉连接分段调整累积误差，避免因分段布置而引起的错台、线形不平顺等问题。主桁架两端不得设横杆托架，在现场定位放线和安装时，必须保证次级结构的质量和精度。

③采用现场小拼，现场大拼装，拼装节段和三角形桁架分段进行小段加工的方法。在构件进入现场后，将装配胎架放置在现场，并将测量点的3维数据进行投影变换，得到装配位置信息，实现精确装配的目的。

## 6 结构变形分析与监测

利用 Midas 对各个施工阶段的施工过程进行仿真，并对临时支撑的安装与拆卸进行仿真，并与实测资料进行对比，对整个工程的受力状况及变形进行分析。

### 6.1 建造过程的仿真

根据工程实际情况，将其分为6个施工时期，分别进

行线性元分析，得到最大的最大应力与最大位移都发生在施工期。其原因是其在跨中较大的弹性变形及上部支承部位的限制刚度较低。

### 6.2 支护结构的卸荷和变形的管理

支护的卸荷次序如下：

①在 A 段结构完工后，除去封闭侧梁和三角形桁架以外的所有部位的支架。

②在 B、C 区域完工后，将封边梁区以外的所有支架全部拆掉，其中包含 A 区域内与 A 区域相连部位的三角形桁架支架。

③将全部密封侧板支架全部拆卸下来。分区的卸荷点是沿着主体网架由上至下的卸荷卸除。

其中，拆撑最大位移发生在 A 区的横向截面中，这主要是因为：

①由于拆掉后，受力系统发生变化，导致自身重量的微小增长。

②保持封闭侧梁的支座，使得横向截面的构件在纵向上构成一个整体的简支梁。全部支架移除后，支架的最大应力达到 99.3MPa。最大竖向变形为 21.2mm，最大位移发生在 A 区封边梁的侧向跨度中部，其最大位移与原设计的端部预成拱一致。

### 6.3 形变监测

在工程实践中，在最大位移处设置观测点，将测量值和理论值进行比较，如表 1 所示。

由表 1 可知，结构的实际位移符合规范，说明仿真计算能够很好地仿真整个工程的施工，整体的构造满足设计的要求。

表 1 实测与计算变形结果的对比（单位：mm）

监测点	点位一	点位二	点位三	点位四	点位五
	A 区组合段跨中	A 区水平段跨中	A 区收边梁跨中	A、C 区三角桁架跨中	B 区水平段跨中
计算值	14.6	8.5	21.2	9.3	7.6
实测值	22.4	13.3	17.3	8.2	10.3

## 7 结语

综上所述，本项目针对该项目在国际航服中心建设过程中出现的双曲线异型裙摆结构，由于其刚度小、形状复杂、变形控制困难等问题，根据工程实际情况，采取分区逆作方式，根据支撑位置及受力特征，选取不同形式的临时支撑，采用有限元法进行施工阶段模拟，制定分区分阶段支撑卸载方案。项目的完成将形成一套高效、科学、合理的异型幕墙

钢结构施工技术，对同类工程具有一定的借鉴意义。

### 参考文献

- [1] 王刚,石强,丁华展,等.大型机场荷花谷异形双曲钢结构天窗遮阳膜施工关键技术研究[J].建筑结构,2023,53(S1):2153-2157.
- [2] 张明启,蒋周,鲁鹏,等.异形双曲抛物面单层网壳钢结构施工技术[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022(8):7.
- [3] 徐浩峻,路金儒,卢旭,等.双曲异形大跨度悬挑钢网架铝板幕墙施工技术研究[J].工程建设与设计,2023(24):127-129.