

## 超长钢结构屋面檐口模块化整体吊装施工

邵建猛

中国有色金属工业第十四冶金建设有限公司, 云南 昆明 650031

**[摘要]**通过对钢结构檐口施工技术的改进, 利用 BIM 建模技术、结合檐口单元模块的划分, 在地面上完成檐口单元模块结构龙骨和装饰板的拼装工作、然后进行模块整体吊装。该施工技术便于简化檐口施工及缩短工期, 地面拼装可搭设简易施工防雨棚, 在雨天施工不受影响; 模块地面拼装使檐口大量高空作业转移至在地面上作业, 无须投入大量的高空安全措施, 从而施工更安全、且降低了施工成本。

**[关键词]**超长钢结构屋面檐口; 模块化; 整体吊装; 施工技术

DOI: 10.33142/aem.v5i6.9024

中图分类号: TU758

文献标识码: A

## Modular Overall Hoisting Construction of Extra Long Steel Structure Roof Eaves

SHAO Jianmeng

China National Nonferrous Metal Industry Fourteen Metallurgical Construction Co., Ltd., Kunming, Yun'nan, 650031, China

**Abstract:** By improving the construction technology of steel structure eaves, using BIM modeling technology and combining with the division of eaves unit modules, the assembly work of the eaves unit module structural keel and decorative board is completed on the ground, and then the overall lifting of the module is carried out. This construction technology is easy to simplify the construction of eaves and shorten the construction period. The ground assembly can set up a simple construction rain shelter, which is not affected during rainy days; The module ground assembly allows a large amount of high-altitude work at the eaves to be transferred to work on the ground, without the need to invest a lot of high-altitude safety measures, which making construction safer and reducing construction costs.

**Keywords:** extra long steel structure roof eaves; modularization; overall lifting; construction technology

### 引言

随着社会的发展及人们生活水平的不断提高, 机场、高铁站、会展中心等各种大中型公共建筑越来越多, 屋面檐口作为大中型公共建筑的重要组成部分, 不仅能起到遮风挡雨的作用, 尤其能体现建筑设计的风格和理念, 建筑的飘逸感、立体感、强弱渐变都能通过檐口的设计来实现。针对大中型公共建筑超长钢结构屋面檐口部位的施工, 作者通过技术攻关, 形成超长钢结构屋面檐口模块化施工技术, 本技术可以把檐口系统划分成若干个整体吊装模块, 吊装模块之间留置小段嵌补单元, 每个吊装模块檐口结构龙骨和装饰面板在地面完成拼装, 通过起重设备整体吊装完成安装, 再通过嵌补单元来消除和调整累计安装误差。

### 1 技术特点

(1) 本施工技术采用 BIM 三维模型技术结合现场施工的模式, 更直观地展现施工的可行性和为施工提供数据支持, 提高檐口施工的精度从而更易保证施工质量。

(2) 与传统檐口施工技术相比, 本技术可以在地面上完成檐口结构龙骨和装饰面板的拼装工作, 可在主体结构未卸载的情况下提前进入檐口拼装, 以缩短工期。

(3) 地面拼装可搭设简易施工防雨棚, 在雨天施工不受影响, 从而保证了工期, 也更适用于雨季施工和雨水较多的东南亚国家施工, 如柬埔寨、老挝、泰国等国家。

(4) 本技术相对于传统檐口采用吊篮或搭设施工平台施工相比, 此施工技术大量作业在地面完成, 无须投入大量的高空安全措施, 从而施工更安全、且降低了施工成本。

### 2 适用范围

适用于机场、高铁站、会展中心等各种大中型公共建筑的钢结构屋面檐口施工。

### 3 工艺原理

本施工技术工艺原理分为四个施工阶段: 三维建模阶段、地面拼装阶段、模块整体吊装阶段、嵌补单元安装阶段。

(1) 三维建模阶段: 由技术人员利用 BIM 建模软件对檐口系统进行三维建模, 根据设计图纸以及安装工艺流程进行单元模块的划分, 对已经安装完成的屋面钢结构主体进行全面复测, 核算出每个模块单元主体结构现场实际尺寸和模型理论尺寸的偏差情况, 根据复测尺寸, 调整 BIM 模型, 从而达到模型尺寸和现场实际尺寸保持一致。

(2) 地面拼装阶段: 首先进行单元模块结构龙骨的制作与安装, 根据前期建好的 BIM 三维模型以及划分好的单元模块, 提取出每个单元模块的区域模型, 利用 CAD、TEKLA 等加工图制作软件进行每个构件加工图的制作, 工人根据拼装图在地面完成单元模块结构的拼装。其次是单元模块装饰面板的制作与安装, 利用 CAD、Rhino 等装饰面板加工图制作软件完成装饰面板的加工图的制作, 在工

厂加工完成运至现场,在地面完成单元模块装饰面板的拼装工作。

(3) 模块整体吊装阶段:檐口系统单元模块在地面组装完成后,采用汽车吊、塔吊等垂直运输机械进行整体吊装。

(4) 嵌补单元安装阶段:相邻两个单元模块之间留有小段嵌补单元,待两个单元模块施工完毕后,通过高空升降车来完成嵌补单元的安装。

#### 4 工艺流程及操作要点

##### 4.1 工艺流程

工艺流程如图 1 所示。



图 1 檐口模块化整体吊装施工工艺流程

##### 4.2 操作要点

###### 4.2.1 三维建模

(1) 檐口系统三维建模及单元模块划分

檐口系统三维建模是本技术的一个关键环节,也是本施工技术的基础。对于单曲或双曲类型檐口来说,可能每榀龙骨的形状、尺寸等各不相同,通过 BIM 软件进行三维建模,对檐口龙骨施工的可行性、各种坐标、尺寸数据及其精确度都提供了可靠的依据。因此,对于本施工技术来说,施工的第一步就是由技术人员对工程檐口龙骨进行三维建模。

第一步三维整体建模:根据设计图纸用 BIM 软件进行檐口系统三维整体建模,包括龙骨体系和装饰面板体系,以及龙骨和屋面主体结构处的连接做法。龙骨和主体结构的连接做法建模时要考虑安装调节措施,如主体结构施工偏差,模块单元檐口系统安装偏差,均需要通过连接方式的可调节措施来抵消偏差,调节偏差的措施有:螺栓连接可采用预留长圆螺栓孔的方式,焊接可采用连接件和龙骨预留安装间隙的方式。

第二步给定三维坐标:在三维模型中,根据现场施工

的具体情况设定控制点。然后由技术人员给定控制点的三维坐标,此三维坐标是现场檐口龙骨整体吊装单元龙骨的控制依据,同时也是现场单元檐口龙骨组装所需的数据基础。

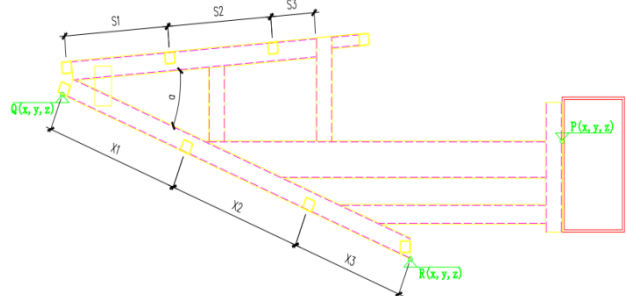


图 2 檐口龙骨控制点坐标示意图

第三步:坐标归零:此步骤是为檐口单元龙骨组装提供数据依据。首先,将三维模型中的单榀龙骨进行单元划分,即将连续的几榀龙骨划分为一个单元(具体榀数可根据工程的实际情况进行划分)并进行编号。

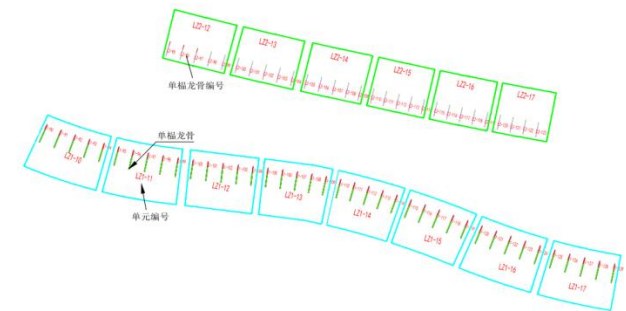


图 3 单元模块划分示意图

第四步:在每个单元内,将技术人员给定的控制点三维坐标进行归零处理。归零处理原则为:在划分的单元内,将第一榀或最后一榀龙骨的最低标高控制点(如图 2 中的 R 点)设置为零点,即将一个单元看作一个整体,然后将这个单元的第一榀或最后一榀龙骨的最低标高控制点平移至坐标原点,则在此单元内其余控制点相对于原点的坐标可以求出。如下表所示:

表 1 设计给定控制点坐标(参考图 2)

龙骨编号	控制点 Px			控制点 Qx			控制点 Rx		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
第一榀	181699	1702	18651	184111	1720	18557	182379	1707	18237
第二榀	181672	3438	18668	184084	3496	18575	182352	3454	18254
第三榀	181616	5176	18696	184027	5275	18606	182295	5204	18283

表 2 转化后控制点坐标 (参考图 2)

龙骨编号	控制点 Px			控制点 Qx			控制点 Rx		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
第一榀	-680	13	414	1732	13	320	0	0	0
第二榀	-707	1731	431	1705	1789	338	-27	1747	17
第三榀	-763	3469	459	1648	3568	369	-84	3497	46

此示例将第一榀最低标高控制点 R (参考图 2) 设置为零点, 即移至坐标原点, 则其余各单榀龙骨的控制点相对于第一榀控制点 R 的相对坐标可求出 (如表 2), 计算公式为:

$$\alpha (X, Y, Z) - R (X_r, Y_r, Z_r) = (X - X_r, Y - Y_r, Z - Z_r)$$

$\alpha$  为除移至原点控制点外的其余控制点;

X、Y、Z 为设计给定的控制点坐标;

$X_r$ 、 $Y_r$ 、 $Z_r$  为移至原点的控制点 R 的坐标 (设计给定坐标)。

### (2) 关键控制点定位复测

由于公共建筑具有空间跨度大, 造型变幻多的特点, 且主体钢结构施工允许误差较大, 但是单元板块施工要求精度较高, 所以图纸理论数据不能完全指导现场的施工, 必须完成关键控制点三维坐标复核工作, 现场测量人员利用全站仪、激光经纬仪、水准仪等专业测量仪器, 进行关键控制点的逐点复核, 如某个控制点复核数据与图纸理论数据偏差 15mm 以上时, 需对该控制点进行具体偏差标记; 现场测量人员全部或分区域测量完毕后, 将标记好的有偏差的控制点数据反馈给技术部门, 对三维模型进行调整, 做到现场与模型数据相一致。

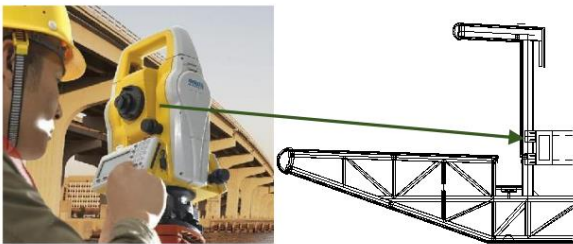


图 4 关键控制点定位复测示意图

### (3) 单元模块骨架加工图及拼装图绘制

根据现场复测尺寸调整好的 BIM 三维模型, 按单元模块划分情况, 每个单元模块作为一个区域来完成单榀龙骨加工图和单元模块拼装图的绘制。单榀龙骨加工图依托 BIM 模型为基础, 利用专业加工图绘制软件如 CAD/TEKLA 等进行加工图的绘制, 加工图中要对单榀龙骨的每个杆件进行编号, 根据杆件编号做出材料统计表, 统计表中要包含杆件编号、规格、长度、材质等信息; 另外不同编号的杆件都要有加工大样图来指导加工作业。

拼装图的作用是指导施工人员把单榀加工好的龙骨, 加上侧向连接杆件, 组装成单元整体吊装模块。

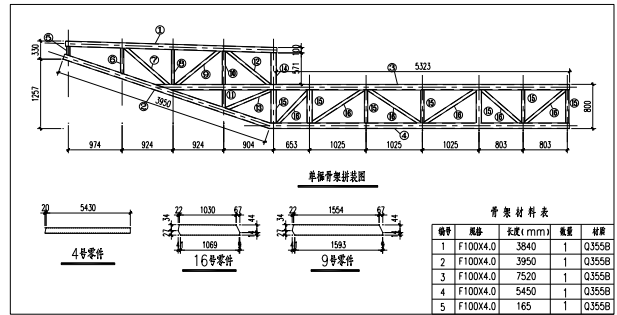


图 5 单榀龙骨加工图

### (4) 单元模块装饰面板加工图及拼装图绘制

装饰面板加工图及拼装图相对比较简单, 借助 BIM 三维软件或 Rhino 三维软件输入好相关参数, 直接生成加工图纸和拼装图。每个单元模块装饰面板的数量不是很多, 安装图需注意标注准确位置关系和安装顺序。

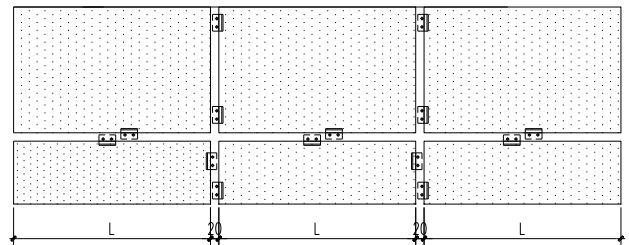


图 6 装饰面板拼装图

### 4.2.2 单元模块龙骨拼装

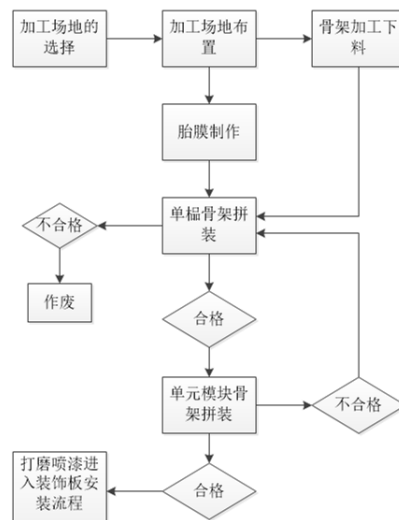


图 7 龙骨拼装流程图

#### (1) 骨架加工下料

根据骨架材料单及加工详图, 把各个杆件加工成安装所需的形状和尺寸, 加工要求: 每根杆件尺寸误差不超过 5mm。

#### (2) 胎膜制作

根据单榀骨架拼装图, 在加工场地内制作一个或多个骨架组装模具 (简称胎模), 方便工人快速并精准地批量

生产檐口单榀骨架。胎模需经受力验算,要求其稳固可靠,组装骨架时不摇晃,且能够承受住单榀骨架的重量及安装工人的重量。

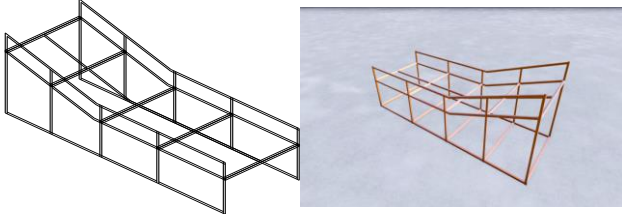


图8 胎模三维示意图

### (3) 单榀骨架拼装

对组装单元模块的每榀龙骨进行组装,依据技术人员提供的组装图进行,对于檐口龙骨尺寸不一的工程,通过三维模型能更精确、快速的得到每榀龙骨的加工尺寸。

### (4) 单元模块骨架拼装

第一步:在檐口龙骨加工场地使用钢材建立平面坐标系(X轴、Y轴)。整个坐标平面组装成矩形,以矩形的一个角作为零点,分别以角的两条边作为坐标系的X轴和Y轴。矩形上的另外两条边同样作为轴线使用,并作坐标数据标记。

第二步:在坐标系中设置支撑,以支撑来控制调节Z轴(高度方向)数据。支撑采用套筒的方式进行制作,首先设置一根龙骨A,然后再在龙骨上套入两个200mm长的可滑移的方管B1、B2,作用是可调节檐口龙骨的支撑点;其次在滑移方管B1两侧焊接方管C1,并按如图8所示方式嵌入支撑龙骨D1,同时在B2上表面焊接竖向龙骨并套入滑移方管B3,再在B3侧向焊接方管D2,如图8所示;最后在C1、B3上以如图8方式设置螺栓E,用于固定支撑D1、D2。

第三步:首先根据第一榀檐口龙骨转化后的R、Q点坐标初步将支撑系统放置在坐标龙骨X方向上,其次将第一榀龙骨按如图11方式放置在支撑系统上,然后根据转化后的控制点相对坐标通过滑动构件A调节控制点Y轴数值,滑动构件B1、B2调节控制点X轴数值,通过升降构件D1与滑移B3调节控制点Z轴方向数值,其中Z轴方向上的构件D1与B3通过螺栓E固定。

第四步:以步骤三的方式进行剩余龙骨的定位工作并临时固定。然后根据图纸进行分隔次龙骨的焊接作业,在焊接分隔龙骨时,先焊接控制点Q和R两端的通长龙骨,以保证龙骨的稳定。

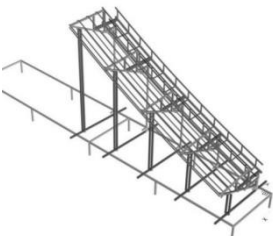


图9 龙骨单元模块组装

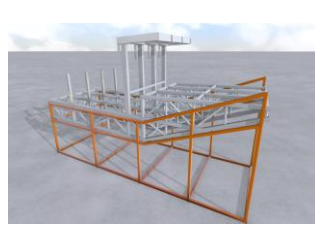


图10 龙骨组装完成

### (5) 龙骨隐蔽工程验收

第一步要进行尺寸复核,尺寸复核是保证单元模块骨架拼装是否合格的重要过程,单元模块骨架拼装完成后要对每个平面的角点至角点的尺寸以及对角线尺寸进行复核,要保证复核后的尺寸和拼装图纸尺寸偏差在10mm范围内,如果超过此限值,必须进行调节。

第二步要进行焊接质量检查验收:焊缝施焊完毕不允许出现金属裂缝、夹杂、气孔、咬边、未熔合、未焊透等现象,并用探伤仪器对焊缝进行探伤。

### 4.2.3 单元模块装饰面板拼装

(1)装饰面板加工制作。装饰面板一般采用铝单板、铝蜂窝板、铝复合板等装饰材料,此类装饰面板由专业生产厂家根据加工图纸,在工厂完成加工制作,然后运输至施工现场,每块装饰面板生产完毕后在装车前须覆防刮蹭薄膜,防止在运输和装卸过程中产生表面涂层的损伤。

(2)装饰面板安装。单元模块骨架拼装完毕并经验收合格后,方可安装装饰面板。首先在胎模上可以完成顶部及侧面装饰面板的安装,底部装饰面板的安装采用起重机械配合进行。

### 4.2.4 单元模块整体吊装

(1)整体吊装前提条件。单元模块骨架安装完毕,装饰面板安装完毕,且经过复核尺寸满足要求,经检查装饰面板板面无污损、无变形。

(2)整体单元模块试吊。根据单元模块的整体重量以及起吊高度选取合适汽车吊或塔吊,至少采用2根吊带与吊钩相连的方式吊装,吊带选取合理的受力点且与装饰面板板面接触点用软质物体垫实,防止损坏装饰面板板面,起吊应缓慢,整体单元模块未全部离地之前,不允许水平方向移动,起吊50cm后应暂停,检查所有的固定点、吊带、吊钩等是否有异常情况。一切正常后方可继续提升高度。

(3)整体单元模块吊装与就位。整体单元模块通过起重设备吊至安装高度时,通过手拉葫芦将模块拉至安装位置。

(4)整体单元模块初步固定。单元模块吊装就位后,通过安装螺栓或者电焊方式进行临时固定。

(5)整体单元模块安装完毕。临时固定完成后,安排人员进行主要控制点的尺寸复核,确认尺寸无误后,进行单元模块与主体结构的最终固定。



图11 檐口模块整体吊装示意图

#### 4.2.5 嵌补单元原位安装

嵌补单元用于消除两个整体单元模块之间的安装偏差所预留，一般采用高空升降车在原位来完成安装。

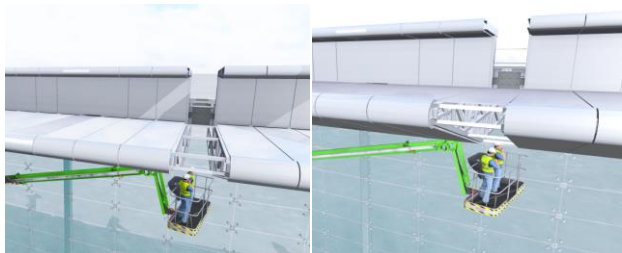


图12 檐口模块嵌补单元龙骨安装示意图

### 5 工程实例及效益分析

柬埔寨暹粒吴哥国际机场航站楼工程,位于柬埔寨暹粒市,地上三层,局部地下一层,主体部分采用钢筋混凝土框架结构,屋面为钢结构双坡屋面,屋面檐口总长度3340m,经测算分析,采用本施工技术每米檐口节约施工

成本308.86元,檐口施工合计节约成本103.16万元。与传统施工技术相比,该施工技术简化檐口施工、便于保证施工质量、缩短工期、节约成本、取得了良好的社会效应,得到了柬埔寨当地政府、业主、监理的一致好评,增强了施工企业的核心竞争力。

#### [参考文献]

[1]王占良,杨安营,韩涛. 钢结构厂房模块化施工工法[J]. 城市建设理论研究:电子版,2015,5(24).

[2]李伟. 钢结构厂房工程的施工管理与控制之我见[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2016(1):117-118.

作者简介:邵建猛(1977.8—),男,大学本科,高级工程师,一级建造师,中国有色金属工业第十四冶金建设有限公司主任工程师,地址:云南省昆明市五华区滇缅大道218号,邮编:650031。