

小蛮腰渐变网格状钢结构烟囱施工技术研究

何登甲

广州机施建设集团有限公司 广东广州 510725

摘要: 本文以广州市某废弃物安全处置中心项目为例,围绕小蛮腰渐变网格状钢结构烟囱,结合优化钢结构模块、细化异形构件连接节点、调整安装拼装等工艺方式,介绍一种适用于异形钢结构烟囱的高精度模块化快速安装技术。

关键词: 小蛮腰渐变网格状; 钢结构; 模块化; 烟囱; 危废处理

Research on the Construction Technology of the Gradual Change of Grid-shaped Steel Structure Chimney

Dengjia He

Guangzhou Qishi Construction Group Co., LTD., Guangzhou, 510725

Abstract: Taking the project of a waste safety disposal center in Guangzhou as an example, this paper introduces a high-precision modular and rapid installation technology suitable for special-shaped steel structure chimney by focusing on the steel structure chimney, by optimizing the steel structure module, refining the connection nodes of special-shaped components, and adjusting the installation and assembly.

Keywords: Small waist gradient grid shape; Steel structure; Modular; Chimney; Hazardous waste treatment

1 前言

随着经济社会高速发展,建筑工程领域中的新技术、新材料不断涌现,烟囱作为危险废弃物处置中心重要的装置之一,是项目兼具功能及外观形象的直接对外展示的构筑物。本工程烟囱采用“小蛮腰”渐变网格状钢结构烟囱,迎合当代构筑物的潮流走向,在满足功能使用的前提下,做到去工业化冰冷感的结构设计突破。钢柱由上而下呈逆时针扭转,每一个异性钢柱呈现线条的流畅性可充分展示具备地方特色。但与此同时,对建筑施工而言钢结构外立面的钢柱、钢结构材料加工制作难度、现场节点安装、变形控制等,都增加了难度。斜钢柱加工成型、塔架结构与烟囱结构拼装呈整体模块后进行整体吊装及烟囱节点区域安装精度控制是该项目的重点难点。

2 工程实例

某废弃物安全处置中心项目位于广州市,“小蛮腰”渐变网格状钢结构烟囱设置项目在焚烧车间系统。烟囱结构形式为钢结构,钢结构烟囱塔架总高度为52米,整体塔架结构分为9段,塔段从上往下分别为6800mm、6000mm、6000mm、6000mm、6120mm、6600mm、5800mm、5680mm,烟囱高度为52米直径为1400mm,本次安装1根,预留一根,烟囱口径外形尺寸约为1500mm。

3 技术特点

3.1 提出一套仿“小蛮腰”的钢结构模块化设计方案,该方案通过直径渐变的圆型钢梁平面衍生出来变截面形状的立体桁架,保证了模块稳定性。

3.2 针对螺旋钢结构桁架节点、烟囱节段和烟囱与钢结构连接节点区域,优化出一整套节点区域的连接和安装精度控制方案。

3.3 完成模块式立体桁架的整体拼装,实现烟囱外立面分段吊装施工。

4 工艺原理

本技术针对“小蛮腰”渐变网格状钢结构烟囱施工进行研究,分别通过优化外立面钢结构模块、细化异形构件连接节点、研究高精度安装拼装工艺方式开展,具体情况如何:

4.1 针对外立面螺旋钢结构部分,立面形态复杂特征呈现螺旋弯转,钢结构烟囱外立面是由上下两个圆型钢梁平面衍生出来的形状,通过对大直径环形圆型钢梁大小控制及分段焊接外立面焊接节点控制实现变截面形状。

4.2 优化螺旋钢结构节点区域安装、烟囱节点区域承插对接、烟囱与钢结构桁架区域的连接,研制出一套烟囱节点区域安装精度控制技术,满足钢结构结构烟囱功能。

4.3 针对钢烟囱结构构件,提出采用模块式桁架现场拼

装成整体，实现外立面整体吊装及分段吊装，达到快速精准吊装效果并提高了施工安全性。

5 工艺流程

基础施工→测量定位→基础预埋→钢结构桁架基础底座安装→复核测量钢结构桁架→拼装复核→测量圆形钢梁→吊装分段→模块吊装→烟筒安装→外立面吊装→复核测量

6 施工技术

6.1 渐变圆型钢梁变截面立体桁架技术研究

根据本钢结构烟囱外立面特点，对钢结构桁架进行深化及将桁架模拟进行研究，以满足现场圆形钢梁施工需求。

圆形钢梁采用工厂打弧，放样后制作模具，然后进行标准化切割和加工，运到施工现场组装成圆，圆形钢梁直径过大，将圆形钢梁分割成两段，运输到现场后对焊接成圆，待安装完毕后涂刷环氧中间漆两遍，将弧管焊接成圆，焊接部位涂防腐底漆。为保证焊缝质量及减少高空作业工作量，将完成对接的圆形，安装在分段组装好的桁架上，形成整体稳定单元。

钢结构烟囱的形成过程，外立面钢柱的上下变化是通过改变圆形钢梁的直径大小，9道圆形钢梁设置在钢结构桁架，从4米到6米间距，最后，圆形钢梁所在的平面与首段圆形钢梁一致，通过直径渐变的圆型钢梁平面衍生出来变截面形状的立体桁架，外立面钢柱与地面形成60°夹角，形成“小蛮腰”的外轮廓。（见图6.1）

6.2 螺旋钢结构桁架连接节点区域技术研究

6.2.1 钢结构桁架基础施工

本钢结构烟囱基础采用钻孔灌注桩基础，桩径 $\phi 800\text{mm}$ 桩基施工采用冲击钻机施工。

施工流程：桩基施工→基础预埋、校验→钢结构桁架预拼装→基础钢结构桁架预拼装→钢结构桁架安装

基础校验：构件安装前，对基础尺寸进行校验（钢桁架跨距、对角线尺寸和水平标高等）。复核各项数据，并

标注在基础表面上。复核定位应使用原轴线控制点和测量标高的基准点。露出基础顶面的锚栓应涂防腐材料，无锈蚀、无损伤。

地脚螺栓尺寸的偏差应符合列表的规定，地脚螺栓的螺纹应受到保护。

表6.2.1地脚螺栓尺寸的允许偏差（mm）

项目	允许偏差mm
螺栓露出长度	≤ 30
螺纹长度	≤ 30

6.2.2 螺旋钢结构桁架节点

每段模块连接位置均采用法兰盘加高强度螺栓的连接方式。安装螺孔不得用气割或电焊扩孔、制孔。构件安装和校正时，桁架法兰与预留法兰孔一一对准，然后螺栓连接固。装验收合格后，按圆周分布角度对称拧紧，并栓紧节点螺栓，从中心到边缘的顺序对称拧紧并使用力矩扳手进行紧固，对螺栓采取防腐措施。构件安装前，利用全站仪对基础尺寸进行校验，安装后复核三维坐标以及垂直度矫正。

6.2.3 圆形钢梁与钢结构桁架连接节点

安装采用钢丝绳固定在圆环的4个正交点处，圆形钢梁吊装到桁架上支点处，安装前在支点上用50°角钢焊接作临时限位器，圆形钢梁就位后就可做焊接固定工作。安装时，采用在主控制点上支架全站仪，以极坐标法测定箱梁定位点的坐标，全站仪正倒镜观测取中数与设定坐标进行比较。

6.2.4 烟囱节段节点区域

烟囱是通过承插方式来实现对接，烟囱在车间制作成标准短节（约为1.2米每节），运送到现场连接成2至6m长/段，烟囱节段承插处通过填充保温材料并设置一层高温密封胶隔绝高温，通过设立不锈钢腰带进行联结，并利用 Ω 卡箍固定锁紧，从而实现节与节之间的紧密联接来实现

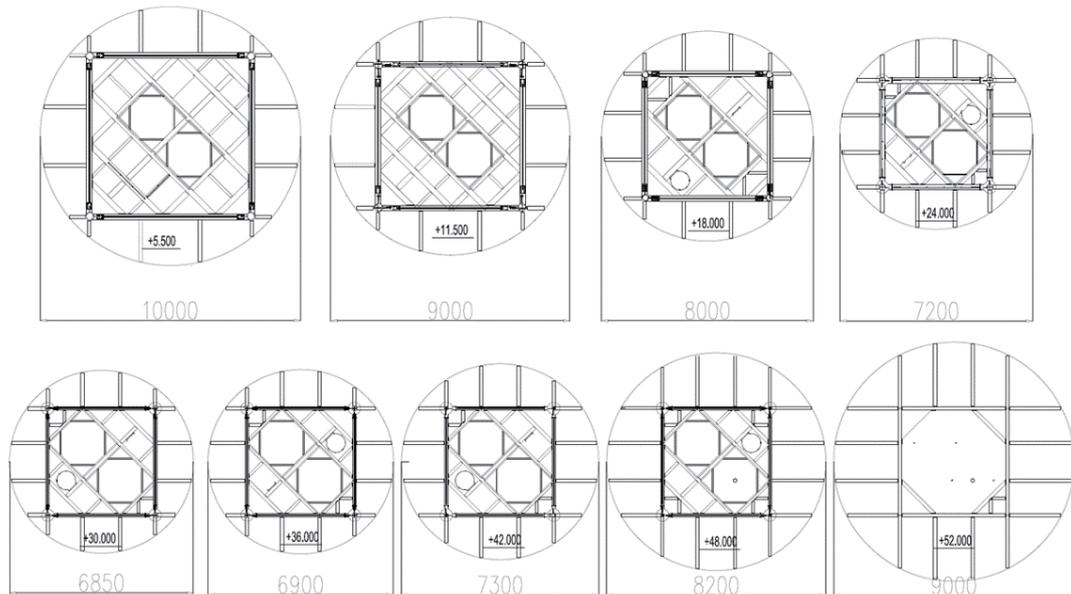


图6.1 平面渐变圆形钢梁分段示意图

烟囱整体连接固定。围上腰带须专用工具收紧，并使腰带内翻边嵌入烟囱外壳的工艺槽内。该做法有利于烟囱密封性、烟囱固定得到保证，实现模块化快速安装。

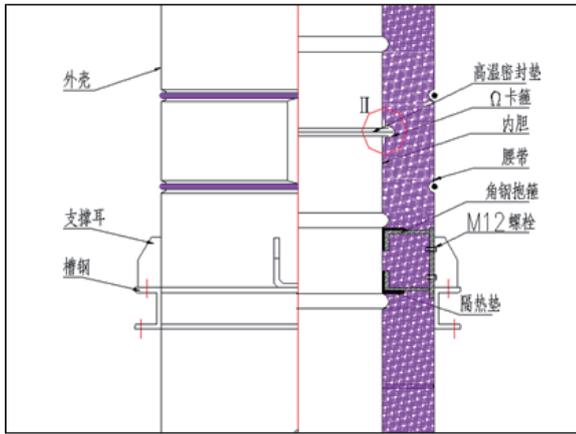


图6.2.4 烟囱节段节点大样图

6.2.5 烟囱与钢结构桁架连接节点

钢结构桁架吊装前，首先由安装人员将承重支架安装固定好，支架采用8#镀锌槽钢，先将H型承重支架位置定好，再将H型承重支架点焊固定在钢梁上，确认位置准确后，进行满焊，焊接完成后对焊缝进行打磨，并涂刷防腐油漆处理。由于烟囱为不锈钢材质，须将支撑耳紧设置在烟囱外壁，支撑耳、角钢抱箍螺栓孔位采取在工厂预制，现场通过将高强螺栓M12进行固定并打上扭力紧贴着烟囱设置。支撑耳的材质须与H型承重支架材质一致，支撑耳固定完成后将组合完成的烟囱段吊装至H型承重支架，通过烟囱中心点位进行定位调整，并焊接固定。

6.2.6 外立面钢柱连接节点

外立面钢柱基层夹角焊接主要为外立柱与圆形钢梁形成的相贯线焊缝。钢管的相贯面的切割采用圆管数控五维相贯线切割机切割。因此，采取工厂切割完成后运往现场确保其精度。相贯线焊接是对外立面钢柱焊接的重要事项，必须从组对、校正、复验、预留焊接收缩量、焊接定位等工序严格控制，接头装配相交角度 $>30^\circ$ ，采用不对称坡口焊接形式，正面清理，先焊内侧，采用 CO_2 气体保护焊焊接，基层夹角焊接对后续外立面钢柱至关重要。

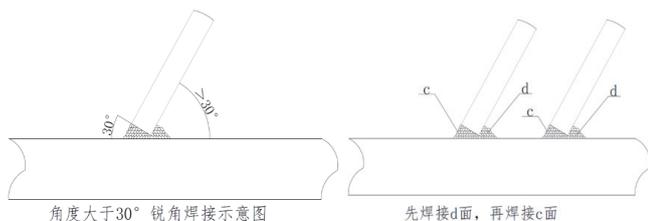


图6.2.6 基层夹角焊接示意图

外立面钢柱采用从下到上的顺序施工。现场在圆形钢梁交叉中心作控制点，并用墨斗弹出正交轴线及外立面钢柱连接处，作为斜立柱控制点，利用全站仪放样确定各连接

点位置，圆形钢梁与外立柱连接处。安装前在外立面钢柱设立一块半月型钢板起到限位、固定作用，半月形钢板节点在工厂制作，在现场对节点与圆形钢梁分段焊接，外立面钢柱采用从下到上的顺序施工，其切点夹角多为 $30^\circ\sim 60^\circ$ 。现场在圆形钢梁交叉中心作控制点，并用墨斗弹出正交轴线及外立面钢柱连接处，作为斜立柱控制点，利用全站仪放样确定各连接点位置，圆形钢梁与外立柱连接处。安装前在外立面钢柱设立一块半月型连接板起到限位、固定作用，外立面钢柱能实现快速定位，定位后无须调整即可焊接固定，提高施工效率。

6.2.7 测量与矫正

(1) 纵横十字线。在钢桁架安装时，慢慢下落，使钢桁架四个面的中心线与基础上划出的纵横十字线对准，尽量做到线线相交。

(2) 标高校正。利用全站和塔尺测量安装后钢桁架上表面标高与钢桁架梁连接部的最高处，然后根据测量值同相应设计标高的差值相对比

(3) 垂直度校正。将2台全站仪架设在钢柱相互正交或近似正交的方向线上，距烟囱要有一定的距离，一是保证测量的精度、二是易于观测顶部，采用正倒镜法测量钢桁架的垂直度。在圆形钢梁安装过程中，桁架垂直度一般会微小的变化，因此采用4台全站仪对相应桁架进行跟踪观测。若桁架垂直度不超标，只记录数据不调整；若桁架垂直度超标，先复核构件制作尺寸及轴线放样误差，然后在进行处理。在梁安装过程中，不得再次调整桁架的垂直度。在高强螺栓紧固前，测量所有钢结构桁架垂直度，紧固后再次复测。

6.3 模块式立体桁架的整体拼装及吊装技术研究

钢结构烟囱总高度52米，根据钢结构桁架重量自下而上分段拼装最大直径10米，烟囱整体分为9大段，桁架从上往下分别为4500mm、6000mm、6000mm、6000mm、6000mm、6120mm、6600mm、5800mm、5680mm 根据桁架重量自下而上分段吊装。

单模块施工流程：钢结构桁架拼装→圆形钢梁吊装至钢结构桁架→单段钢结构桁架模块吊装→外立面钢柱吊装

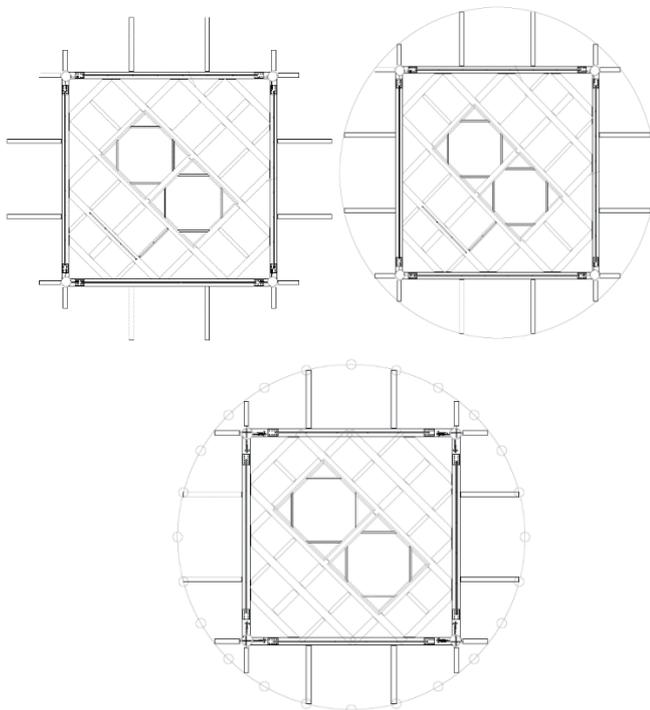
钢结构桁架的安装程序，安装前按照构件明细表和安装编号图核对现场进场的构件，通过在工厂预制作的大型构件运往现场拼装，根据预拼装编号图进行拼装，首先将首段模块进行拼装，将4片单片式立面钢结构桁架进行拼装，作业人员采用高强螺栓进行拼装作业。立面钢结构桁架模块拼装完成后，拼装钢结构平台横隔。第一段模块拼装完成后，安装斜爬梯。安装人员从斜爬梯上模块顶部铺设钢格板。模块顶部横杆为 D228 mm，承重大于常规脚手架，人员可以横杆为支撑在顶部操作。其它几节钢结构桁架模块重复此操作，直至塔架安装完毕。



图6.3 现场钢结构桁架模块拼装图

6.3.1 模块式拼装再分段吊装

在地面上进行模块式拼装，并将圆形钢梁吊装至钢结构桁架上，完成9段钢结构桁架模块的吊装，利用钢结构桁架的操作平台，进行外立面钢柱的安装及对焊，首先将钢结构桁架进行分段吊装，首段模块和烟囱安装校正完成后，进行外立面钢柱的安装工作。单段顶部和下层模块顶安装完成后，依次安装内立面钢柱→外立面钢柱。焊接时采用接火斗借住流坠焊液防止火花飞溅。焊接完成后焊缝处及时补刷防腐环氧漆。在钢结构桁架内侧进行焊接作业，从下到上的顺序施工减少了作业人员主体结构上焊接拼装操作，确保安全性，且施工时间较快。



第一步钢结构桁架
拼装示意图

第二步圆型钢梁吊装
至钢结构桁架示意图

第三步外立面钢柱
示意图



6.3.1 “小蛮腰”渐变网格状钢结构烟囱安装过程及成品对比图

7 结语

小蛮腰渐变网格状钢结构烟囱施工技术在以上工程进行了成功应用。经过对渐变圆形钢梁变截面立体桁架技术研究、螺旋钢结构桁架连接节点区域技术研究、模块化立体桁架整体拼装及吊装技术研究，提出一套模块化螺旋钢结构烟囱安装体系，通过控制钢结构安装精度，吊装前预安装拼装成模块化，实现钢结构桁架分段高精度快速安装，提高施工效率和安装质量。本技术对于日后类似工程、同类工程提供了创新性的示范及借鉴，为相关技术的产业化提供了可行性的技术实践支撑，创造了突出的经济效益和较大的社会效益。

参考文献：

- [1] 鲍巍, 张清卫, 李晔东. 烟囱钢塔架结构设计与分析[J]. 低温建筑技术, 2015.
- [2] 何超. 基于协同机理塔架式钢烟囱设计研究[J]. 东南大学, 2016.
- [3] 贾同友, 樊庆钟, 刘金良等. 大直径三管曲线自立式钢烟囱施工关键技术研究与应用[J]. 安装, 2022 (S1): 246-247.
- [4] 李永辉, 江晓瑜, 张娟等. 塔架式钢烟囱受力分析[J]. 中国重型装备, 2017, No. 132 (02): 26-28+30.
- [5] 王璐. 钢烟囱模块化施工要点分析[J]. 化工设计通讯, 2021, 47 (03): 18-19.
- [6] 刘锦华, 杨云. 谈厂房钢工程中超大直径钢烟囱的高效制作、安装施工——以韶钢为例[J]. 中国建筑金属结构, 2013 (12): 150-151.

作者简介：

何登甲（1984.2—），男，汉族，广东省广州市，高级工程师、国家注册一级建造师、国家注册安全工程师，大学本科，学士学位，广州机施建设集团有限公司，广州市黄埔区，分公司总经理，市政工程施工技术研究方向。