

140米烟囱塔架安装技术

赵明明

洛阳隆惠石化工程有限公司 河南 洛阳 471000

摘要：文章洛阳石化10万吨/年硫磺回收装置配套的140米超高烟囱塔架建设项目为案例，探讨了大型钢管结构高空塔架的施工技术。通过实施多项工艺改良措施，不仅显著提升了施工进度控制水平和工程品质，同时实现了显著的成本节约效益，为类似高空钢结构工程的施工组织提供了可借鉴的实践经验。

关键词：烟囱塔架；难点及应对；地面拼装；空中组对

引言

洛阳分公司新建炼油结构调整项目-10万吨/年硫磺回收装置。140m烟囱塔架，烟囱重112.46吨，高139.5米。塔架重364.835吨，高129.5米，为正三角形桁架结构。该塔架采用变截面设计，底部呈25米等边三角形结构，随高度上升逐渐收窄至顶部8.74米边长。塔架立面轮廓在46.5米和87.5米两个关键标高位置设有明显的几何转折点，形成独特的双折线造型特征。该塔架采用分段式结构设计，纵向划分为10个标准节段单元，并设置15层环形操作平台系统，形成完整的空间支撑体系，立柱及横梁和支撑采用无缝钢管。主要构件连接均采用高强螺栓和法兰盘连接。整个塔架共有连接法兰1050个，高强螺栓孔12456个，法兰盘加筋肋板12456块。塔架的施工质量控制重点主要体现在三个方面：构件空间定位精度、结构整体垂直度偏差控制以及法兰节点高强度螺栓的穿孔配合精度。这些关键指标对构件工厂预制精度和现场预拼装工艺提出了严苛的技术要求。

1 预制的技术难点及应对措施

1.1 钢管相贯线坡口切割

该结构采用钢管-法兰牛腿连接体系，其节点处存在大量空间相贯焊缝。这些相贯线呈现复杂的三维曲线特征，且坡口角度随曲线曲率连续变化。相贯口的切割精度将直接影响后续焊接接头的力学性能和构件外观成型质量，是整个制造工艺中的关键控制环节。

在管结构的设计中，主要采用平面和空间桁架形式的结构。平面结构的管桁架情况比较简单，通过图纸我们可以直接获得所需要的切割数据。如果是空间桁架的管桁架，就必须建立结构的立体模型，通过建立三维数字化模型，可对结构节点进行可视化分析，精确判定各杆件间的空间相贯关系，并提取关键的几何参数数据。在本项目中，我们运用Tekla三维建模软件，实现了节点参数的可视化提取和精确计算。

针对复杂空间节点中多杆件相贯的工艺难题，本工程制定了系统的杆件装配顺序控制方案。在典型三杆以上交汇节点中，通过以下技术原则确定相贯优先级：

第一：几何特性原则。小管径构件优先贯穿大管径构件，小角度相交杆件优先贯穿大角度杆件

第二：力学特性原则。低应力杆件优先贯穿高应力杆件，受压构件优先贯穿受拉构件

第三：施工组织原则。考虑工厂预制与现场焊接的工序衔接，优化装配路径减少二次相贯作业

基于上述多维度的分析评估，对每个节点的分支构件进行装配序列优化，有效降低了相贯节点的复杂度，将平均相贯次数减少30%以上，显著提升了施工效率和质量控制水平^[1]。

1.1.1 节点组装空间定位及成型过程控制

由立柱、斜撑及平台梁构成的空间相贯节点具有复杂的三维几何特征，其制作精度直接决定了现场安装质量。该节点的空间坐标参数繁多，定位精度要求严格，任何尺寸偏差都将导致后续构件无法准确对接。

为确保施工质量，必须采用数字化建模与高精度测量技术，实现节点空间位置的毫米级控制。这种空间复杂节点的精度管理是保证整体结构安装质量的关键控制点。

1.1.2 对于二次变形的控制

在保证工期的前提下，构件在制作及运输过程中或多或少会出现变形，制作时采用相关解决办法防止变形的产生。

(1) 制作变形的控制。在制作中管桁架相贯节点较多、焊接量大、焊接后常会产生变形，在制作过程中采用合理的焊接工艺控制变形，如：对称焊及合理的焊接规范。对于制作后有变形的构件主要采用火焰矫正的办法来消除焊接变形，控制构件的外形尺寸满足设计要求。

(2) 运输过程中变形的防止措施。构件要求全部打包,成捆构件的包装采用方木加圆钢打包;在运输时应要保证构件无窜动且坚固可靠,物件堆放需平整、稳妥、垫实;相同、相似的钢构件叠放时各层钢构件之间应加设垫木,防止钢构件被压坏或变形。

1.1.3 预拼装精度控制

在确保所有构件及节点加工精度的前提下,为保障现场安装质量和施工效率,及时监控和修正单件构件的加工误差,针对关键节点及复杂构件,预拼装工艺是确保工程质量和效率的核心技术手段。

针对车间场地受限的特殊工况,需现场搭设预装平台,制作并架设预拼装辅助支撑系统,对节点进行预拼装。

在深化设计阶段,除提供常规的立面图和平面布置图外,还需配套输出以下关键数据空间网格尺寸、三维空间控制尺寸,来确保拼装过程精准可控。

建立测量-反馈-调整的闭环控制流程,采用高精度测量技术对预拼装构件进行三维空间坐标校核。

1.2 安装方法

1.2.1 安装总体思路

针对工程现场空间受限及道路运输条件等制约因素,本项目创新采用“分段预拼装+阶梯式吊装”的复合施工技术方案。每个阶段塔架吊装完成,烟囱从相应阶段顶吊装贯入。烟囱和塔架分段相同,同步进场,交叉施工。

钢塔架分成6段,分段部位在EL28.5米、EL57.5米、EL73.5米、EL100.5米、EL114.1米处,分段点位于钢平台上表面2米法兰连接处,其中塔架第三段由于吊装车辆限制,分段部位在钢平台上表面4米部位。受运输条件和环保管控制约,塔架钢管相贯线由工厂切割散件发至现场,在现场进行预拼装,并在现场搭设胎架进行分段拼装,使用4台50吨汽车吊配合拼装。本工程实施“地面最大化”施工原则,将焊接作业全部控制在工厂预制和地面拼装阶段完成,高空对接作业统一采用法兰螺栓机械连接方式。针对附属结构,创新采用“地面整体预装+集成吊装”工艺,可直接作为上下通道和高空操作平台。

为减少大机使用时间,采取所有吊装段全部拼装完成,再协调大机进场吊装。塔架第二、三吊装段在硫磺南侧空地进行现场整体预拼装,第三、四吊装段由于现场场地原因无法进行地面拼装组对,在EL73.5米处第三节与第四节塔架接口部位分别在地面进行测量和检查,从而保证其安装精度。第四、五、六吊装段在烷基化南侧空地进行现场整体预拼装^[2]。

吊装前使用大机将第二、三吊装段吊离一定距离,方便吊盖安装及分段吊装要求即可。

表1 塔架分段表

序号	分段编号	分段高度 (m)	塔架分段对应 标高(m)	分段估重 (t)	安装 形式
1	塔架第一段	28.5	0~28.5米	139.91	散装
2	塔架第二段	29	28.5~57.5米	96.52	整装
3	塔架第三段	16	57.5~73.5米	56.38	整装
4	塔架第四段	27	73.5~100.5米	63.71	整装
5	塔架第五段	13.6	100.5~114.1米	30.06	整装
6	塔架第六段	15.4	114.1~129.5米	25.73	整装

表2 烟囱分段表

段号	名称	分段高度 (米)	分段安装标高	重量 (t)	安装 形式
1	烟囱第一段	28.076	0~28.076米	39.9	整装
2	烟囱第二段	17.5	28.076~45.576米	16.1	整装
3	烟囱第三段	27.5	45.576~73.076米	25.3	整装
4	烟囱第四段	27.5	73.076~100.576米	25.3	整装
5	烟囱第五段	17.5	100.576~118.076米	16.1	整装
6	烟囱第六段	21.4	118.076~139.5米	17.1	整装

1.2.2 吊车选择

塔架底座、第一段直接在基础上散装,吊装选用300T、130T、50T、25T汽车吊吊装。

烟囱第一段,因烟囱摆放位置及吊车占位受限,现场使用300T吊车主吊,50T吊车配合溜尾。

烟囱及塔架其他分段采取整体吊装采用750T履带吊为主吊机,130T汽车吊为辅助吊机。大机在第二、三、四段吊装完成后变一次工况,再进行第五、六段的吊装作业,分别采用主臂工况和塔式工况进行吊装。

1.2.3 吊装施工流程

0~28.5m(塔架底座及第一段)在基础上散装→0~28.076m(第一节)烟囱吊装→28.5m~57.5m(第二段)塔架段整体吊装→28.076m~45.576m(第二段)烟囱吊装→57.5m~73.5m(第三段)塔架段整体吊装→45.576m~73.076m(第三段)烟囱吊装→73.5m~100.5(第四段)塔架段整体吊装→73.076m~100.576m(第四段)烟囱吊装→100.5m~114.1(第五段)塔架段整体吊装→100.576m~118.076m(第五段)烟囱吊装→114.1m~129.5m(第六段)塔架段整体吊装→118.076m~139.5m(第六段)烟囱吊装。

1.2.4 吊耳选择

烟囱采用轴式吊耳和溜尾吊耳配合吊装,塔架第二至五吊装段均采用吊盖进行吊装,第六吊装段因劳动保护影响,立柱顶部分别焊接板式吊耳进行吊装。

1.3 安装前工作

1.3.1 基础验收

本工程基础结构施工完成后,需组织联合验收,参与方包括:土建单位、监理、安装及建设单位代表。验收时,土建单位须提供完整的施工测量成果报告及相关技术文件。基础验收标准要求:

(1) 表面应清晰标识永久性标高控制点和十字轴线基准;

(2) 混凝土结构外观质量须符合规范要求,严禁出现裂缝、蜂窝麻面、孔洞及钢筋外露等质量缺陷。

1.3.2 地面组装胎具的铺设

塔架第二段至第六段在安装现场采用卧式拼装,由于塔架外形尺寸较大现场无法铺设完整的拼装平台,第二段和第三段采取沿两钢柱走向铺设30mm厚钢板,在钢板上安装1.2米高龙门架,每6米布置一个,找平每个龙门架顶面标高,保证门架支撑水平差 $\leq 3\text{mm}$ 。(待塔架主肢放置到位后,再次测量其水平度,以防止基础下沉)。

由于烷基化南侧地面较松软,第4段、第5段和第6段塔架临时组对平台用H型钢做临时支撑。

1.4 安装时需要注意的事项

在塔架吊装的过程中,为了保证每段塔架顺利就位,在每段塔架就位时,采用内侧焊接导向锥,法兰盘连接采用导向销以保证螺栓连接精度尺寸的要求。由于塔架在吊装的过程中采用导向销设计,在火炬塔架吊装就位时安全、顺利、平稳,导向销的设计尤其对大型螺栓连接的钢结构非常重要,能很好得保证螺栓连接精度尺寸的要求,同时导向销的设计也保证钢结构连接时外形美观。

塔架吊装就位过程中和就位后,要作平面位置、标高及垂直度的校正。尤其是下部的一、二、三段安装的校正工作是一项非常重要的工作,如果三根立柱的吊装就位不准确,就会影响与柱相联结的横梁、腹杆的安装准确性,就会造成整体塔架倾斜或塔架中心的偏移^[3]。

塔架安装时必须做好以下工作:

第一:标高的校正,是在对基础进行复测时,针对基础杯底的实际标高,与立柱出厂的实际长度相对比,从而计算出所需加设垫板的厚度,且在吊装前将垫板加放好。

第二:三根立柱平面位置的校正,要在对位时进行。平面位置的校正包括单柱与塔架中心平面的垂直度和柱脚定位轴线对正的校正两方面内容。

第三:底层塔架垂直度的校正,要在横梁安装后进行。采用线坠测量检查塔架上平面中心与塔架底平面中心的偏移量。同时还要注意塔架变截面部分弧形立柱接口的圆滑度及等截面部分立柱的垂直度。

第四:第一吊装段安装完毕后,用经纬仪对塔架的垂直度进行调整,经验收合格后进行下一段吊装组对。

1.5 技术要求

1.5.1 预拼装加固与校准

实施卧式拼装的塔架节段,在分解吊装前必须完成以下工作:对各分解部位和吊点位置进行刚性加固,采用精密测量仪器校准相邻节段接口尺寸,确保高强度螺栓穿孔率达到100%

1.5.2 塔架组装过程需严格执行以下尺寸精度控制标准:

在平面定位控制方面,要求相交腹杆必须保持共面状态,其中平面内的相对位置偏差不得超过3毫米,平面外的错位偏差应控制在2毫米以内。节点组装时,各杆件轴线的理论交汇点允许存在不超过3毫米的空间偏差。针对分段安装工艺,每个节段就位时必须确保其安装标高的垂直度符合设计要求,这是保证塔架整体垂直度的基础条件。

1.5.3 高强度螺栓施工工艺

(1) 安装要求:必须在构件完全就位调整后实施

穿入方向要求:以施工便利为原则,同一节点方向保持一致,禁止强行穿入。

(2) 孔位修正

修正条件:螺栓不能自由穿入时

修正方法:使用专用铰刀修孔,修正后孔径 ≤ 1.2 倍螺栓直径,严禁采用气割扩孔

(3) 紧固工艺

分阶段紧固:初拧(30%扭矩值),复拧(80%扭矩值),终拧(100%扭矩值)

质量检查:终拧后使用标定扭矩扳手抽查。抽查比例:节点螺栓总数10%,最小数量:不少于1个,全数锤击检查,确保无漏拧。

1.5.4 节段安装控制要点

各节段安装时必须控制:接口尺寸精度,标高水平度,节段垂直度,通过逐节控制确保整体垂直度达标。

结论

本工程采用Tekla Structures三维建模技术对塔架空间结构进行模拟,运用数控相贯线切割系统完成构件精密下料,并采用数控平面钻床加工法兰连接孔。施工过程中创新性地实施分段预拼装工艺:首先完成两个标准段的整体预拼装,随后解除吊装部位法兰连接,待吊装段就位后安装专用吊具进行正式吊装。

参考文献

- [1]GB50205-2001《钢结构工程施工质量验收规范》
- [2]SH/T3507-2011《石油化工钢结构工程施工质量验收规范》
- [3]SH3607-2011《石油化工钢结构工程施工技术规程》