

现场建造大型热处理炉研制与应用

帅龙飞 薛辉 窦果

四川省工业设备安装集团有限公司 四川 绵阳 621000

[摘要] 本文针对XX风洞工程现场制安项目众多大型工艺部段的热处理工艺需求,结合工艺部段的外形尺寸特大、重量大以及不规则尺寸等工况确定现场建造大型热处理炉的实施工艺。热处理炉炉体采用模块化及八边形设计、智能控制系统、大跨度升降移动式炉盖以及配套的支撑系统等。相对传统热处理炉,该热处理炉具有升降式自行走炉盖、升降温连续线性更好、炉体外形尺寸可调、经济节能、运行智能化、拆卸运输方便、可重复使用、劳动强度低等特点。

[关键词] 现场建造; 大型热处理炉; 升降式自行走炉盖; 智能控制

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.11.361

1 项目背景

2020年初,公司承接了XX风洞工程现场制安项目,该风洞共有14个现场制安部段,总重约20525t。洞体部段最小流通直径 $\phi 10.6\text{m}$ 、多数部段的流通直径约 $\phi 22\text{m}$ 、最大的部段外径达 $\phi 34\text{m}$,最高工艺部段8.5m。整个洞体现场制安的工艺部段多达60余段,其中单件工艺部段最大重量达600吨。经市场调研在国内目前还没有能满足本项目工艺部段整体热处理大型热处理炉。为此,必须要研究在现场建造一座大型远红外智能热处理炉,来满足风洞各工艺分段整体热处理消除焊接残余应力的需求。

2 现场热处理工艺需求

研制现场建造的大型远红外智能热处理炉,需满足风洞各工艺分段整体热处理消除焊接残余应力需求。

- 1) 满足最大外形尺寸 $\Phi 34\text{m} \times 8.5\text{m}$ (高),最重600t的大型筒体类设备的整体退火热处理。
- 2) 热处理炉的能源采用电能。
- 3) 炉体尺寸可在一定范围方便地进行调整,以满足不同尺寸区间的筒体部段热处理,同时节约能源。
- 4) 炉体结构要方便快速拆装,能够重复性使用,结构设计要兼顾临时和永久使用的需求。
- 5) 要保证炉内温度场均匀,温度控制智能化、自动化、精准化。

根据最终需求确定的热处理炉工艺参数如表1所示。

表1 大型热处理炉主要工艺参数表

名称	单位	参数/功能说明
最大外形尺寸	座	36.5(L)×36.5(W)×12.8(H)
最大装载量	t	≤620
最大内径尺寸	m	内径: 35.4(L)×35.4(W)×9.1(H)
热处理温度	℃	620℃(可调)
炉体均温	℃	≤±5
控温精度	℃	±10
电加热方式	/	电阻式(框架式加热元件)
炉体四周保温厚度	mm	200
控温系统	/	计算机集散式中央控制系统
炉体外壁温度	℃	≤50

3 大型热处理炉研制

3.1 热处理炉结构

热处理炉结构按承重结构和保温结构分开的思路进行设计。承重结构为全钢结构,活动炉盖为大跨度拱顶结构。八边形模块式保温炉体,模块炉体通过螺栓与承重结构的梁、柱连接。热处理炉结构如图1所示。

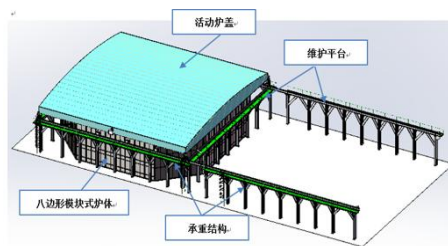


图1 炉体结构

3.2 炉体结构仿真分析

分析设计主要有:一是炉盖结构方案,通过有限元仿真计算、分析以及优化,确保炉盖具有足够的强度和刚度,且满足保温结构的安装和热处理炉的封闭需求。二是承重结构方案,通过有限元仿真计算、分析以及优化,确保承重结构具有足够的强度和刚度,满足炉盖移动过程以及静态存放时的刚度和强度需求。

炉盖与承重结构总体尺寸 $37.5\text{m} \times 38\text{m}$,材料为Q355B,承重结构高度为9m。

根据有限元分析理论、模型简化原则和单元模拟原则,结构的计算全部采用一维梁单元来模拟。

利用专业软件对炉盖和承重结构进行了仿真计算,结果显示炉盖和承重结构均具有足够的强度和刚度,满足需求。图2为炉盖整体的应力云图,可以看出其应力水平符合要求。

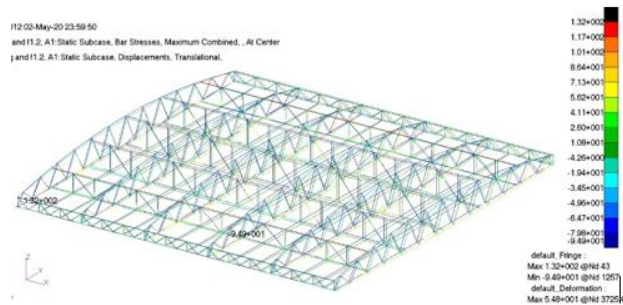


图2 炉盖整体应力云图

3.3 模块化八边形容积可变炉体

热处理炉炉体采用八边形的框架模块式炉墙结构,炉体下部放射形布置的陶瓷加热元件以及在炉墙上布置加热元件。八边形模块式炉体可有效减少炉腔受热容积,可快速进行尺寸变化和炉体安装。图3为炉体的结构的俯视图。

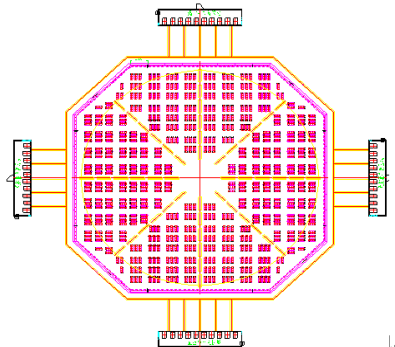


图3 八边形炉墙结构

3.4 升降式自行走炉盖

炉盖通过两侧的油缸系统实现自动升降，通过行走机构及其控制系统实现自动行走，通过炉壁顶部的保温材料的压缩实现炉盖的自密封。具有节能降耗、提高效率、降低劳动强度、节约成本的效果。

3.5 热控系统

3.5.1 热处理工艺参数确定

按照HG20584-2011《钢制化工容器制造技术要求》、GB150-2011《钢制压力容器》制订如下热处理工艺参数：

热处理温度：600±20℃

恒温时间：根据碳钢、低合金钢焊接构件焊后热处理方法相关规定计算得出，材质为Q345R、厚度为δ40的焊接构件焊后热处理保温时间为40/25=1.6小时，厚度为δ50的焊接构件焊后热处理保温时间分别为：50/25=2小时，以装炉焊接构件的厚度确定恒温时间。

升温速度：规范要求≤5000/δ℃/h（220℃/h），控制在50-80℃/h。

降温速度：规范要求≤6500/δ℃/h（260℃/h），控制在80℃/h以内。

升、降温时最大温差：规范要求≤120℃，我控制在20℃/h以内。

恒温时最大温差：规范要求≤65℃，控制在10℃/h以内。

保温层外表面温度：控制在50℃以内。

在400℃以上的升温 and 降温阶段，严格控制温差，400℃以下可不计升温速度和温差。降温时400℃以下可断电自然冷却。

3.5.2 热工计算

根据工件重量及炉体规格，以最重热处理工件为例进行热工计算，为保证功率足够，工件及支撑结构重量按620吨考虑。热工计算基本参数如表2所示。

表2 热工计算基本参数表

序号	名称	参数
1	热处理工件及支撑重量 (t)	620
2	炉体外表面积 (m ²)	3486
3	炉体保温硅酸铝毡厚度 (mm)	200
4	硅酸铝保温棉导热率 λ (w/m℃)	0.0752
5	硅酸铝保温棉比热 (kJ/kg℃)	0.837
6	环境温度 (℃)	5

(1) 工件从环境温度加热至指定温度所需热量计算

计算公式：Q1=W*C*ΔT 式中：Q1—工件从环境温度加热至指定温度所需热量 (KJ)、W—工件及支撑等重量 (Kg)、C—各升温区段钢材的比热容 (KJ/Kg℃)、ΔT—各升温区段温差 (℃)

(2) 炉体绝热层的散热损失计算

计算公式：Q2=单位面积散热量*炉体外表面积 式中：Q2—炉体绝热层的散热损失热量 (KJ)

(3) 绝热层的蓄热损失计算

计算公式：Q3=W3*C3*ΔT3 式中：Q3—绝热层的蓄热损失 (KJ)、W3—绝热层重量 (Kg)、绝热层比重取220kg/m³、C3—为绝热层的比热容 (KJ/Kg℃)、ΔT3—为绝热层温差 (℃)

(4) 热处理炉所需总热量计算

计算公式：Q=Q1+Q2+Q3。

(5) 热处理炉总功率计算

计算公式P=Q/(t*3600) 式中：t—升温时间 (h)：炉子周期为2年，需考虑炉子功率储备，储备系数可取1.2。

热工计算结论：经上述设计计算，本热处理炉使用20台360KW和14台480KW温控柜，总功率为：(20*360)+(14*480)=13920KW，采用1392片10KW的框式电加热元件即13920KW，可满足热处理要求。

3.5.3 控制系统

计算机集散式中央控制系统分别对热处理炉的20台360KW、14台480KW温控柜划分为102个区（102支热电偶），根据设定热处理工艺曲线自动调节控制，保证了炉温的均匀性。

计算机系统把通讯，动态图像，文字表格，控制等融合在一起，具有良好的人机交互功能，可通过微机键盘输入和修改各种工艺参数，也可通过显示器提供的控制结构图、参数图、趋势图、工况图等了解热处理炉的各种过程参数以及控制设备的状态。

4 结束语

本热处理炉采用八边形模块式炉体，相对传统的固定式矩形热处理炉，具有尺寸可调、拆装快、运输方便、可重复使用、节约成本等明显优点。其炉盖使用液压顶升、电机驱动，实现了炉盖可快速开、闭和移动停放，也解决了大型热处理炉顶盖开闭和密封难题。

参考文献

[1]《热处理炉》哈尔滨大学出版社 1998
 [2]HG20584-2011《钢制化工容器制造技术要求》
 [3]GB150-2011《钢制压力容器》
 [4]GB50017-2017《钢结构设计规范》
 [5]GB50009-2012《建筑结构荷载规范》

作者简介：

帅龙飞 1969.6 四川温江 男 单位：四川省工业设备安装集团有限公司 职务：XX风洞工程项目总工程师 职称：高级工程师。