

浅谈高炉炉壳制作安装技术

杨忠明

十一冶建设集团有限责任公司

摘要：某钢铁基地项目一期炼铁系统600万t/年炼钢铁水的高炉本体及辅助设施工程，作为炼铁系统的核心设备，高炉的炉壳制安至关重要，其制安具有壳体开孔多，构件重量大，工程工期紧，质量要求高，施工难度大等特点。

关键词：炉壳；塔式起重机；气电立焊；横缝埋弧焊机；吊盘

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.16.028

一、工程概况

高炉炉壳制作主要包括炉壳本体、底板及炉壳附件，高炉壳最大内径16.772m，炉壳顶标高46.920m，主要材质为BB503，单座炉壳主体重量约950吨。

二、施工安排

高炉所有构件均在钢构制作厂内下料加工预拼，预拼装检测合格后再运往组装现场进行组装焊接、除锈涂漆，最后运往安装现场进行就位安装。炉壳整带吊装采用DBQ4000型塔式起重机进行。炉壳焊接主要采用高炉气电立焊机和高炉横缝埋弧焊机进行。

三、施工方法及工艺要求

(一) 炉壳预组装

1. 炉壳组拼

炉壳组装场配置两个组装胎具，一台150吨履带吊及焊接设备。炉壳在此完成单元炉壳组装后，整体运往安装现场进行就位安装。

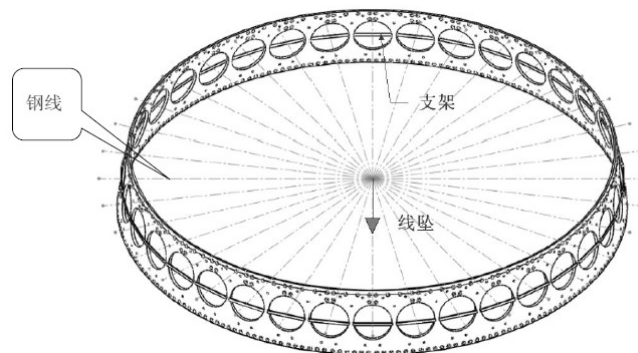
组装平台场地地面需经过块石填充压实，确保承载力。场地平整压实处理后，铺设炉壳组对胎具平台，对胎具平台测量操平，保证炉壳定位圆周与中心点水平度误差不大于4mm。平台铺设完成后，用样冲油漆在平台上定出炉壳永久中心点；0°、90°、180°、270°中心轴线等定位标识，供炉壳组拼时定位参考用。炉壳位置定位以炉壳内径放出炉壳轮廓线，划线时需考虑焊接收缩量。确定炉壳半径后，沿划出的炉壳轮廓线焊设定位挡块，挡块间隔应小于2m。

炉壳组对胎具准备好后，将炉壳按序吊就位，按照炉壳卷制预拼装时标出的定位标记，将各炉壳板按位置顺序进行组装。

炉壳上口平面度、椭圆度、中心偏差、高度、垂直度等项，需保证各项符合设计要求，检测需在炉壳圆周上，以16个以上的测点进行。炉壳中心偏差度检测，用钢线拉在对称的两个检测点上，在钢线的中心挂吊坠，对8个对称点全面检测，有超差时做适当调整，确保炉壳中心偏差满足设计要求。各项检测确认符合炉壳组装允许偏差后，方可进行定位焊接。炉壳组装允许偏差参照规范。

高炉风口段炉壳制作加工后进行整体退火处理，经检验合格后再发至施工安装现场。风口带炉壳按安装进

度需求，制作加工完成后，按期分块发至安装现场。安装现场设置封口带炉壳组装平台。组装平台需用水准仪对炉壳支点进行找平处理。风口带炉壳按顺序组装后，使用水准仪、吊坠、钢盘尺等测量仪器对风口法兰中心水平度、圆周分布角度等项进行重新检测，确保炉壳组装满足设计要求。风口法兰中心偏差检测方法，在通过各风口法兰中心焊角钢，在通过对称的两个风口法兰中心拉设钢线，拉设的19组钢线交于中点，在中点吊挂线坠，通过吊坠与胎具中心检查中心交点偏差，对超差的炉壳进行调整，直到钢线中心交点误差满足设计要求。



风口法兰中心对点拉钢线检测中心交汇偏差检测示意

风口法兰中心高差采用水准仪进行检测，将水准仪架在炉壳内侧一处，逐个检测所有风口法兰中心标高，对超差的炉壳板进行调整，直到满足要求。风口中心在圆周上的等分角度偏差，采用经纬仪和钢盘尺检测。风口装置允许偏差要符合规范要求。

2. 炉壳组装焊接

炉壳组对完成，各项检测合格后，方可进行焊接作业。作业前预先做炉壳焊接工艺评定并编制焊接作业指导书。炉壳焊接作业需严格遵照焊接作业指导书执行，按焊接工艺评定中的工艺实施焊接。

焊接作业需根据气候条件选择进行焊前预热，保温，后热处理措施。措施采用电加热方式，以温控箱控制陶瓷加热带进行。每条焊缝在施焊时要连续焊接，一次完成，需根据焊接量做好焊区分段与焊工分配。定位焊在立缝浅坡口一侧进行，所用的焊接材料及焊接工艺需与正式焊一致，分下中下三处，定位焊焊缝厚度不宜超过设计焊缝厚度的2/3，焊缝长度宜大于40mm，间距宜为(500~600)mm，并应填满弧坑。定位焊完成后，即可进行纵缝焊接，采用气电立焊机进行。焊接完成后，进行焊后热处理以提高焊缝机械性能。提升电加热带温度到200~300℃，保温2h以上，然后撤除电加热带，使焊缝自然冷却到常温。

纵缝焊时，设置引弧板。引弧板和引出板其材质和坡口形式应和被焊母材相同。采用气体保护电弧焊时，其引弧板和引出板宽度应大于50mm，长度宜为板厚的

1.5倍且不小于30mm，厚度应不小于6mm。焊接完成后，应用火焰切割去除并修磨平整，不得用锤击法去除引弧板和引出板。

焊前清理坡口、坡口两侧各40mm内的油污、锈、毛刺、飞溅、焊点等，保持焊接区域光滑平整。检查CO₂气体压力，保持气压在1MPa以上，以保证焊接质量。气电立焊过程中若有断弧再起弧，则必须对断弧再起弧处刨开修补。焊接材料需核对焊材牌号、批号与质量证明书，确认合格后才能使用。

(二) 炉壳安装

1. 炉壳就位安装

(1) 炉壳吊装单元划分

炉壳按设计图纸分为21带，第一带炉壳为炉底封板，采用分块吊装方式安装。第二带至21带炉壳用DBQ4000塔式起重机整体吊装就位，本1号2号高炉最大炉壳重量约90吨，塔吊使用69.2m主臂+30m副臂工况进行炉壳吊装，此工况25米幅度最大吊载能力115.5吨，此工况满足所有炉壳段的吊装性能要求。

(2) 吊装机械及工况选择

DBQ4000塔式起重机吊载为吉林水工集团研发设备，查其性能表，当起重69.2米主臂+30米副臂工况吊载合适。

(3) 吊装吊索选择

炉壳及底板运至安装现场后，使用DBQ4000塔机吊装就位，炉壳吊装采用八根钢丝绳八吊点，用卸扣锁吊炉壳上水冷孔位置。炉壳吊装单元最大重量为88.07t，钢丝绳吊索及卸扣重量约为0.9t；三角支架平台约为1.58t。最大总吊装总重量约：90.55t。

本工程所购钢丝绳种类为6×37+FC，公称抗拉强度1870MPa，单根吊索长度35米。根据钢丝绳最小破断拉力计算公式：

$$F_0 = \frac{K' \cdot D^2 \cdot R_0}{1000}$$

得 $F_0=0.295 \times 52^2 \times 1870 / 1000 = 1491.66\text{KN}$ 。

注：式中 F_0 ——为钢丝绳最小破断拉力 单位：KN

K' ——为最小破断拉力系数

D ——为钢丝绳公称直径 mm

R_0 ——为钢丝绳公称抗拉强度 单位MPa。

钢丝绳的许用拉力为：

$$P = \frac{a \Sigma S_0}{K}$$

得

$$\frac{0.82 \times 1491.66 \times 1.249}{6} = 254.62\text{KN}$$

注：式中 P ——钢丝绳的许用拉力（kN）；

ΣS_0 ——钢丝绳的钢丝破断拉力总和（kN）；

a ——考虑钢丝绳之间荷载不均匀系数，6×37钢丝绳， a 取0.82；

K ——钢丝绳使用安全系数，用作吊索 K 取6。

本工程炉壳吊装采用4根绳均分点吊装，如下图所示：

单根吊索受力大小为：

$$P = \frac{Q}{n \cos \alpha}$$

$P=90.55 \times 9.8 / 8 \cos 14 = 114.355\text{KN}$ 。

P ——每根钢丝绳所受的拉力（KN）；

Q ——吊装构件的重力（KN）；

n ——使用钢丝绳的根数；

α ——钢丝绳与铅垂线的夹角。

经计算单根吊索受力 $114.355\text{KN} < 254.62\text{KN}$ ，所选钢丝绳索扣规格符合吊载要求。

(4) 三角支架平台措施

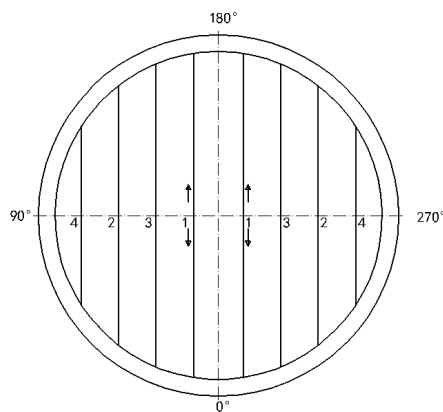
因炉壳安装时的对接作业与焊接作业需要，搭设三角架作业平台。第二带及以上炉壳吊装就位前，将三角支架平台预先挂好，炉壳吊装到位后，人员可通过爬梯直接上到作业平台上进行对接和焊接作业。三角架支柱角钢角度随炉壳外形适当设置。每带炉壳都安装好三角支架，待相关的零部件全部施工焊接完成后再拆除。

2. 炉底封板安装

炉壳安装前先对基础外形尺寸、中心线、标高线进行细致检查，经监理检查验收合格，做好工序交接检查记录后方可进行炉壳吊装。在安装前将高炉本体的中心线引到基础外侧并作外部敷设，作为施工阶段的半永久性测量控制点。

基础检测合格验收后，先将0°、90°、180°、270°中心轴线、铁口中心线、标高等基准标识引出到基础侧面和其他临时地点（临时地点需避开其他施工项目），供后续构件安装定位测量使用。炉底板及炉底环板安装前，将炉底支撑梁表面清理干净，用经纬仪在梁上划出0~180与90~270十字中心轴线，底板就位时，相应的标记点与中心和轴线对齐。

炉底板放置到位后，校正炉底板水平度、对接间隙和错边量，合格后先定位焊，再正式焊接，采用CO₂气保焊进行。底板焊接需要至少4人同时对称交错进行，以下图所示1234的顺序从中心向两边进行，并以箭头方向分段退焊。



炉底板焊接顺序方向示意图

底板焊接电流电压不宜过大，分打底、填充、盖面三个阶段完成，保证各阶段间焊缝温度不要过高，以免造成底板起拱变形过大。炉底环板对接缝焊接，方向必须统一，由内向外分段退焊进行。炉壳筒板位置处焊平即可，焊后打磨平整，以保障第二带炉壳的安装要求。炉底板所有焊缝，包括压力灌浆孔与塞焊孔，都要严格按照焊接工艺施焊。

3. 环带炉壳安装

炉壳在组装平台组装成带后，运至安装现场用塔机整体吊装就位，塔机中心距高炉中心最近距离为25米。

在第一带炉壳安装后，应将外敷设的高炉中心按0°、90°、180°、270°位置返至炉皮内壁上，并用钢印作出明显标记，炉底施工完，利用炉壳印记将高炉中心返至炉底砖上表面，并妥善保护好。

炉壳吊装到相应高度位置后，按各带炉壳上所标角度起始定位点，将炉壳就位对齐，随后装设恒丰定位卡具，炉壳装上三分之二的定位卡具后方能摘吊钩。卡具安装完成后，架设测量桥，对炉壳的上、下口水平度，标高进行调整、控制。

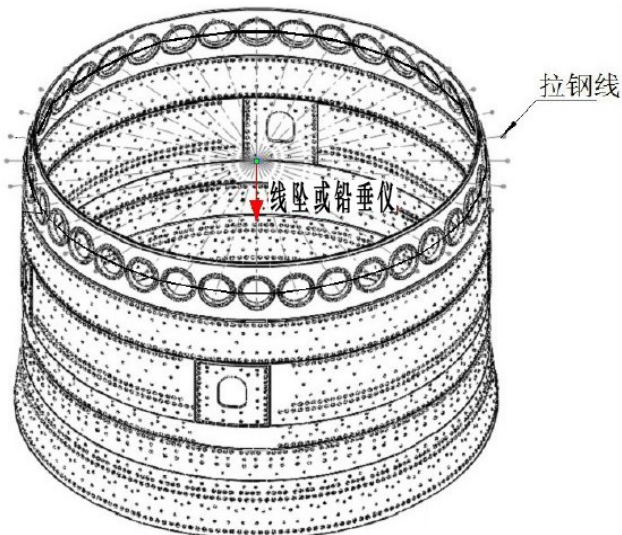
各带炉壳固定就位后，将高炉专用测量桥吊置于就位的高炉炉壳上口，在其上架设测量仪器，测量炉壳标高；用细钢丝拉设十字中心线 结合架设激光铅垂仪检测炉壳中心偏差；将水准仪放在过桥一端，检查炉壳上口水平度。各项检测校正合格后，撤出测量桥。以此方法完成所有炉壳安装偏差检测校正。铁口段炉壳安装就位后，除检测炉壳同心度、上口水平度、炉皮对接错边量外，还需复检铁口中心轴角度与中心标高。经各项测量校正达到安装要求后，方可进行环缝定位焊接。

4. 炉壳安装测量桥

为保证测量作业安全与提升炉壳安装作业效率，特制作测量桥用于炉壳安装测量作业。测量桥用25号工字钢做主梁，在桥中心开洞测量炉壳中心偏移误差，架设测量水准仪，增加施工安全性。

5. 风口段炉壳安装作业

风口段炉壳在组拼场地胎具上组拼成带，经检查合



风口带拉线检测中心示意图

格后才可进行吊装就位。风口带就位后，先以定位卡具固定，之后使用测量仪器对风口法兰中心标高、水平度等进行测量校正，确保风口中心各项安装误差在设计要求范围值内。风口中心标高，水平度检测采用钢线、吊线坠方式进行。经各项测量合格后方可进行定位焊接，定位焊接时，以对称方向同时焊接，各位置焊接应使用相同的电流电压工艺参数。

炉壳安装完成后，吊耳、加强板等临时措施拆除切割时，不得损伤炉壳，应在距离壁板表面2~3mm处切割，剩余部分用砂轮机磨平。炉喉直段为调整带，炉壳安装到此带后，根据设计标高要求核实尺寸，将多余量切掉，以保证炉顶钢圈的安装标高。当整带炉壳对好口，各部尺寸需经自检、互检、专检合格后，符合要求后进行横缝定位焊，填好工序交接卡，交付焊接。

6. 炉壳横缝焊接

横缝焊接采用高炉横缝埋弧自动焊机进行，横缝埋弧焊是普通埋弧焊的一种特殊形式，采用特制焊剂托附装置，使焊剂跟随焊点移动，用较小焊接电流电压和高的焊接速度，获得横向上的焊接成型。焊接熔敷率是手工焊的5~6倍。



高炉横缝埋弧自动焊接示意图

横缝焊接根据炉壳直径而定，分布4~6台焊接设备同时进行。根据焊机数量对焊缝进行分区，各区焊接的电流、电压、行走速度等参数尽量保持一致。焊接要同时、同方向连续施焊，保证对称焊接，减少焊接变形。埋弧自动焊接是多层多道焊，必须每层都进行打渣处理，如不平、有飞溅或少量气孔，用磨光机清理干净后再进行下一道焊接，如缺陷较大，采用碳弧气刨清除在打磨干净后再施焊。

焊缝层间焊道接头，要错开50mm以上，接头处施焊前对接头熔池打磨，清除缺陷。

结束语

高炉炉的制作安装是高炉施工的关键工序，采取合适的施工方法可以保证炉壳的质量，降低施工人员的安全风险，同时也能提高施工效率，公司在施工过程中积累冶炼工程的施工经验，为后续承接类似工程奠定了基础。

参考文献

[1] 傅年镒. 大型高炉炉壳制作技术[J]. 钢结构, 2003, 18(4): 42-45.