

# 一种锅炉设备用顶板梁制造工艺控制分析

王刚

(山西龙翔杭萧科技有限公司 山西 太原 030013)

**摘要:** 为了提升锅炉设备用顶板梁的制造工艺,从人员、材料、方法和设备等工艺控制要点进行了论述,对引起构件变形和焊接缺陷的主要因素进行了分析,提出了从原材料、下料、组装、焊接、矫正等方面控制变形的办法,有效解决了构件变形和焊缝成形问题,达到了设备可靠运行的效果。

**关键词:** 顶板梁; 制造; 焊接; 矫正; 变形

## 0 引言

随着国家对环保要求的日益提高,城市集中供热覆盖面越来越广,某168MW热源项目采用的高温燃煤热水锅炉,其设备支撑系统主要有柱、顶板梁、支撑等部件,承受锅炉本体载荷及振动、风载、地震等可变载荷,主要受力构件顶板梁的制造工艺控制,对于锅炉设备平稳可靠运行至关重要。顶板梁与锅炉本体连接,直接传递设备荷载,存在着结构复杂、种类多、钢板厚和尺寸较长等影响制造精度控制的难点,且焊接工艺参数调整和构件变形矫正难度较大,如果工艺不当,容易产生气孔、咬边、裂纹等焊接缺陷和拱度、矢高等变形问题,为此,结合材料特点并制定合理制造工艺措施,可以有效控制焊缝成形和构件变形。

### 1 制造工艺控制流程

原材料复检→下料→组装→焊接→抛丸→涂装→成品,具体流程见图1。

### 2 顶板梁制造工艺控制的主要制约因素

#### 2.1 原材料

材料采购以定尺钢板为主,尺寸公差超出范围,将会导致下料后产生负公差;原材料力学性能不稳定将会影响结构的安全性。

#### 2.2 切割

大料进行下料前校方不准确,板料有侧弯,会影响切割后钢板直线度;数控切割机割嘴型号、气体压力、割枪间距及割枪切割角度等切割参数调整不当,会产生波浪形切割不均、豁口、母材损伤等问题。

#### 2.3 组装

坡口开设角度超差,后续焊接工序中填充金属就会有所不同,而且焊肉熔合不良,输入热量不均,造成构件变形;组装过程中未采取合理的固定方式,会造成结构应力集中,

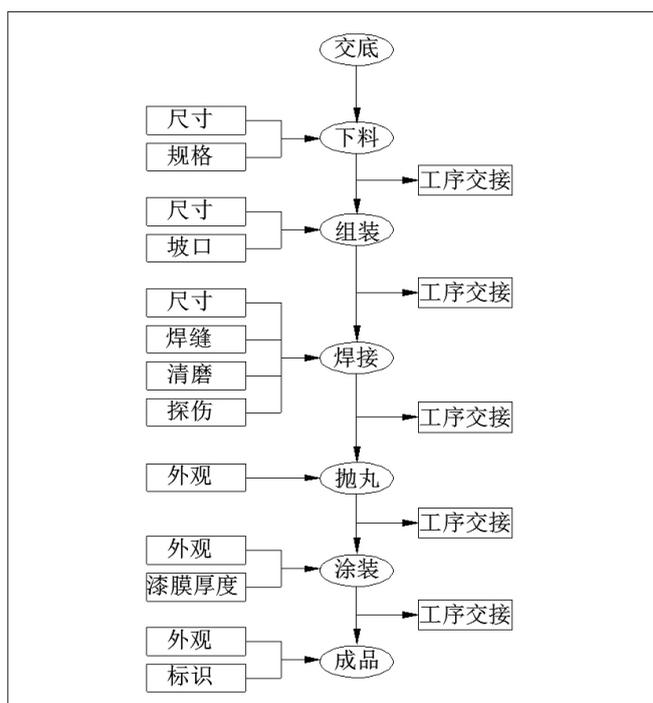


图1 制造工艺及质量控制流程图

产生变形,难以进行修复。

#### 2.4 焊接

埋弧自动焊接中焊缝出现咬边缺陷,造成焊缝应力集中,母材的有效截面积将减少,特别是低合金高强度钢Q355B的焊接,咬边的边缘组织被淬硬,容易引起裂纹;出现气孔缺陷,会弱化焊缝的有效工作截面,降低焊缝的机械性能,使焊缝金属的塑性、特别是弯曲和冲击韧性降低。气孔严重时,在振动环境中会使金属结构在工作时遭到破坏。焊接过程中引、熄弧板的设置规范对于焊缝端部良好的受力状况至关重要,端部微小的裂纹、气孔等缺陷经过长期荷载或振动会逐渐放大,并会转移形成更大的质量隐患。

#### 2.5 矫正

构件尺寸长、截面大,在焊接过程中出现的变形往往

不规则并呈现各向异性,如果机械矫正工艺不规范,火焰矫正过程中烘火顺序及方向不当,会造成南辕北辙的效果。

### 3 制造过程工艺控制措施

通过对制造过程中主要制约因素的分析,对作业人员进行交底,做好工序交接流程控制,后道工序发现的不合规问题经前道工序处理完毕后,再进入下道工序。为保证构件变形和焊缝成形达到要求,制定以下尺寸控制标准(见下表)。

表 尺寸控制标准/mm

序号	要素	允许偏差值
1	长度	-10
2	断面尺寸	±3
3	总长范围内旁弯度	L/1000 且 ≤ 10
4	拱度	不允许下拱且 ≤ L/1000
5	矢高	L/1000 且 ≤ 10
6	翼缘垂直度	5
7	坡口角度	±5'

#### 3.1 原材料复检控制

(1) 来料后检查质量合格证明文件、标志和检验报告,根据设计文件和合同要求,按照材质、炉批号、质量等级和交货条件编制复检清单。对钢板厚度 ≥ 20mm、型钢 ≥ 25#的材料进行复验,抽取钢板 δ 20、δ 25 和 δ 30 三种规格,进行拉伸、弯曲和冲击试验。对型钢 25a、30a 进行拉伸和冲击试验。采用规格为 20mm × 100mm × 100mm 的两块钢板焊接后作为试件,以检测焊丝、焊剂焊接后的力学性能。

(2) 对于切边钢材应在端边或断口处检查有无分层、夹渣等表面外观质量,对于不切边钢板,在取样时检查断口处有无分层现象。

#### 3.2 切割控制

(1) 顶板梁最长尺寸为 13100mm,跨度大,只允许上起拱,腹板下料切割时进行预起拱处理,对起拱的一侧,将切割枪火焰热量调大,起拱后的一侧做好起拱方向标记,冷却后测量其起拱量,作为组对和调整参考值提供给下道工序。

(2) 切割过程中发现部分钢板切割割纹深度最大处有 0.5mm (图纸要求 0.3mm),切割边缘表面局部切割深度最深处达 2mm (图纸要求 1mm),且不规则分布。经过分析判断后发现与割嘴和零件切割线的间距及气体压力有关。高质量的氧切割应是波浪形式平整状态,波浪细微,几乎没有切割缺陷,采用切割表面样板进行对比来评价切割质量。或者用目测的方法,观测切割的表面粗糙度应达到 Ra50 以上。要求操作人员必须时刻注意割嘴的正确间距,当钢板变形

或不平时应加以调整。当使用丙烷燃气,切割厚度达到 30mm 时,割嘴高度应加倍。火焰的调节关键在气源上,设备氧气为管道供气,氧气的纯度及压力一般能达到使用要求,但丙烷为瓶装供气,连续使用时间约 2.5h,切割过程中会遇到更换气源的情况,这是不可避免的中断时间,会导致燃气压力波动大,直接影响到气流量。因此,通过将割嘴对准待切割线,并调整切割参数,在瓶气快用完或压力不足时,提前做好准备工作,及时调整割嘴间距,或改变工件切割顺序,通过切割小料消除间歇期带来的问题。

(3) 对切割后存在变形的零件,先将表面存在的锈蚀、熔渣、毛刺等清除干净,移至矫平机进行修正调整。

#### 3.3 组装控制

(1) 对接焊缝为一级焊缝,为保证坡口开设角度能够均匀一致,对于 δ 16、δ 20、δ 25 和 δ 30 厚度的钢板采用刨边机或半自动小车切割机加工,坡口开完后检查板材的对角线偏差小于 3mm,如何偏差过大要及时修补。坡口型式见图 2。

(2) 翼缘板和腹板的拼接接头应错开 350mm,腹板拼接缝应错开 350mm,拼接长度为 1200mm,翼板拼接长度 1000mm (不小于 2 倍板宽),宽度方向严禁拼接。

(3) 顶板梁腹板最大厚度为 25mm,长度为 13100mm,宽度为 1940mm,对两侧拼板采用反变形控制<sup>[1]</sup>。宽度方向采用定尺宽度为 1950mm,长度方向采用 2 块钢板拼接,拼接部位避开筋板及支托。接板采用半自动埋弧焊,将零件定位牢固,点焊后清除焊渣,当发现点焊有裂纹或虚焊时应打磨清理原点固焊缝,重新复核装配精度后再点焊固定。正面焊接二遍后,对反面用碳弧气刨清根后再施焊。为保证探伤合格率,清根必须干净,不留焊渣、杂质和残留氧化物等。

(4) 位于内部的加强筋板,属于隐蔽工程。与其他加强筋作用不同的是两边和中间加强筋,由于弯矩和剪力受力情况不一样,位置正好相反。在制造过程中将上下面标识区分,两边的筋板紧贴下部,中间筋板紧靠上部,确保方向正确。

#### 3.4 焊接控制

(1) 由于正反两面坡口角度对称设置均为 60° ± 5' (图 2),为减少焊接单侧施焊时单一的收缩应力,减少下挠度

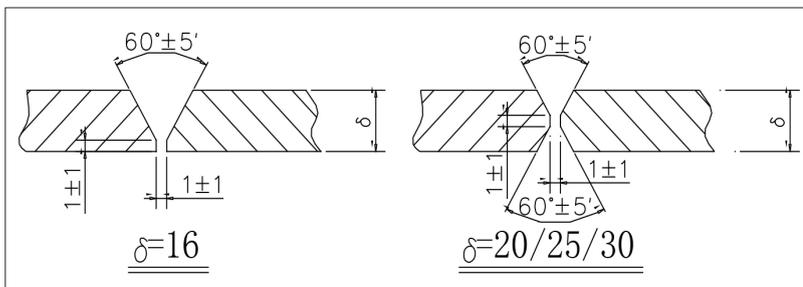


图 2 坡口型式

变形,根据力学受力均衡原理<sup>[2]</sup>,采用正反两面对称施焊的方法以抵消焊接收缩的不对称变形,即先焊下翼缘左右两侧焊缝,再焊上翼缘同下翼缘斜对角方向的两侧焊缝。

(2)对于翼缘与腹板间角焊缝的咬边现象,调整了焊接工艺参数:电流值 565A;电压值 36V;焊接速度 36cm/min。对于已经出现的咬边情况:浅的咬边用打磨的方法,可以使母材与焊缝平滑过渡;深的咬边必须补焊后打磨,达到了焊缝成型要求。

(3)通过用放大镜观察焊缝表面出现的多处近圆形孔洞,发现构件焊接气孔成段出现。一方面,由于焊件周围清理不干净,二氧化碳保护气体压力和流量有波动情况出现,经清理和气体介质改进后,有效避免了类似问题;另一方面,完善焊剂烘干保温措施<sup>[3]</sup>。良好的焊剂对颗粒度要求严格,粒度要合适,这样的焊剂透气性好,焊接过程难以形成连续弧光,避免了空气污染,熔池也不易形成气孔。使用完的焊剂进行重复使用时,过筛去除粉末、结块及残留杂质,如果焊剂受潮后,应重新烘干后方可再次使用。

(4)在龙门埋弧自动焊接角焊缝过程中,定位焊间距设置不当,焊缝内间隙增大可能会引发纵向热裂纹,一般通过表面难以识别,为了防止产生这种热裂纹,定位焊缝的距离在 300 ~ 500mm 较为适宜,且确保起熄弧点的不良焊缝完全落在引、熄弧板上。

(5)引、熄弧板应按工艺要求和钢板厚度要求合理设置,长度为 100mm;对于  $\delta 20$ 、 $\delta 25$  和  $\delta 30$  这类钢板,引、熄弧板与板件加工同样的坡口,与焊件对接部位要保持齐平。引、熄弧板应低于构件,坡度沿着引、熄弧板向下,这样焊接时熔渣不会流到电弧前面造成夹渣。引弧板采用焊条电弧焊焊到焊件的端面上,并应完全焊透。对于未设置引弧板的情况,应清除弧坑缺陷后补焊,并对全熔透焊缝进行 100%UT 检测。

### 3.5 矫正控制

#### 3.5.1 机械矫正

机械矫正主要是调整顶板梁翼缘垂直度,矫正之前先检查翼缘板边缘有无割渣,确保割渣已彻底清除。翼板变形严重、厚度较厚的情况,至少需要 3 次矫正,此时应选择合理的单次矫正量和矫正速度。一般控制单次矫正量不超过 5mm,每次矫正完后应对翼腹板垂直度进行测量:在端部及节点区域,将钢直角尺基准边平置于腹板表面,并使度量边向翼板焊角处靠近,再用钢直尺分别测量翼板边外沿、焊角处与度量边的间距,两数值之差的绝对值即为垂直度偏差,当偏差最大值低于规范要求即完成矫正过程。

#### 3.5.2 火焰矫正

火焰矫正的适用范围有很多,可对翼腹板垂直度、旁弯、拱弯、扭曲、翼板平整度等多种焊接过程中的变形进

行处理。顶板梁由于构件达 13m 以上,结构受力允许设置拱弯,所以可在组装过程中设置上拱度;而对于旁弯和扭曲的变形控制,由于构件有多种规格,截面尺寸存在差异,需要对不同位置进行火焰烘火矫正处理。

对于旁弯变形,矫正部位应在弯曲的最大处,宽度为板厚的 3 ~ 5 倍,深度不大于翼缘板宽度的 1/2 为宜,注意上下翼缘烘火保持对称;对于扭曲变形,矫正部位应在扭曲的最大处,翼缘板和腹板火焰轨迹呈线性,且其夹角为  $45^\circ$  为宜。注意火焰矫正温度一般应控制在 700 ~ 800 $^\circ\text{C}$ ,在空气中自然冷却为宜,对于 Q355B 及以上钢材严禁采用浇水急冷处理,以防止出现淬硬现象;温度不宜超过 800 $^\circ\text{C}$ ,否则会引起金属变脆,影响冲击韧性。矫正后的钢材表面,不应有明显的过烧或损伤。矫正后旁弯和矢高公差均控制在 10mm 以内。

### 3.6 抛丸与涂装

构件表面除锈采用抛丸处理,等级符合 Sa2.5 级要求,表面处理后的粗糙度控制在  $Ra40 \sim 70\mu\text{m}$ ;涂装用油漆为耐风化的双组分聚酯类油漆,表面油漆的干膜总厚度为 180 $\mu\text{m}$ ,其中环氧富锌底漆的干膜厚度不少于 70 $\mu\text{m}$ ,环氧云铁中间漆的干膜厚度不少于 60 $\mu\text{m}$ 。

### 3.7 管理措施

制造过程中应充分利用质量管理体系的监督和评价作用,强化过程管理,提高管理人员和作业人员的意识,通过图纸会审深入理解设计意图;提高全体人员的参与程度,开展各工序间的协调沟通,培养和增强技能人员的知识储备能力,做好评价及经验总结。

## 4 结语

顶板梁制造完毕后,对一级探伤要求的对接焊缝进行检测后,一次探伤合格率提升了 90% 以上,焊缝成形达标;构件变形经检查验收后位于图纸要求公差范围之内。实践证明,通过对制造工艺关键影响因素的分析,并制定针对性的应对措施,控制了变形,经现场顺利安装后,设备可靠运行,取得了良好的效果。

### 参考文献:

- [1] 黄剑平. 锅炉钢结构双腹双翼板梁关键工序的质量控制[J]. 机械研究与应用, 2013, 26(03): 144-147.
- [2] 刁志通. 锅炉钢结构制造工艺的应用分析[J]. 中国机械, 2014(08): 203-204.
- [3] 王旭跃. 吊车梁上翼缘 T 型焊缝的焊接质量及其控制[J]. 山西建筑, 2002, 28(02): 117-118.

作者简介:王刚(1980.06-),男,汉族,山西运城人,本科,工程师,研究方向:金属结构及非标设备制造。