

# 新技术新工艺在钢结构工程中的应用

蒋祖涵

中国三冶集团有限公司 辽宁 鞍山 114200

**摘要:** 在城市化进程持续加快背景下,城市地区的土地资源变得越发紧缺,城市建筑开始朝着高层化、大体量的方向发展,随着技术的进步,钢结构在建筑工程中得到了长足发展,开始占据越来越大的比重,其施工工艺、质量管理更是备受业内人士的关注。本文以首钢京唐钢铁联合有限公司热风炉炉壳制作安装工程为例,通过对新技术、新工艺在钢结构工程中应用的要点分析,希望能为建筑钢结构的施工建设提供可供参考的依据。

**关键词:** 制作工艺;安装精度;自动焊接;震动时效

引言:近年来,我国的建筑行业蓬勃发展,人们对建筑的要求也越来越高,为了满足人们的心理需求和质量要求,建筑行业不断创新技术,加快技术升级优化,确保利用新技术提升建筑质量和安全性。建筑钢结构作为一种具备很强自身优势的技术,在建筑行业得到广泛应用,建筑钢结构具备高强度和高性能的特点,可以在保证承压力的同时提高建筑物的整体质量,提高建筑物应对自然灾害的性能,进一步保障人们的人身财产安全<sup>[1]</sup>。当前建筑钢结构的施工技术已经比较完备,涉及很多方面的知识和技能,因此对施工人员技术水平要求比较高,为了保证钢结构施工的质量和效率,施工人员需要不断提升自己的技术水平。

## 1 工程概况

首钢京唐项目规模大、工艺技术先进、装备齐全,全线引进世界上最先进的技术、装备和自动控制,对施工技术和质量提出了很高要求。我们所承建的热风炉是为高炉配置的4座新型顶燃式高温长寿命热风炉,采用俄罗斯卡鲁金顶燃式热风炉技术,设计风温1300℃,最高拱顶温度1420℃,高温区采用硅砖,是目前世界上最先进的热风炉。热风炉总高度50.10m,最大直径13.52m,为全钢壳体结构,热风炉炉壳是由炉底板、炉身、炉帽段组成,共27个板带组成一个封闭桶状结构。炉壳材质为Q345C低合金钢厚板,最大板厚达60mm。

## 2 工程特点及施工难点分析:

2.1 曹妃甸地区为吹沙填海造地,地质条件复杂,施工区域紧邻海边,湿度大,且四分之三的天数刮大风,大型构件、设备高空吊装、空中组装误差控制难度大。

**个人简介:** 蒋祖涵,出生于1969年3月,男,辽宁鞍山人,职称:高级工程师,毕业于大连理工大学,本科学历,现就职于中国三冶集团有限公司,主要从事:冶金工程钢结构制作安装,邮箱:1013613918qq.com

2.2 该工程整体施工区域大,需建立总体和局部两级平面方格网控制测量精度,保证炉体平面定位、构件安装和工艺管道连接准确。炉体标高、垂直度及中心在结构安装时必须重点监控。

2.3 热风炉炉壳均为厚板,最大板厚达60mm,炉壳材质为Q345C低合金钢,横焊缝长度约5500m,立焊缝长度约1700m,采用传统焊接方法需要大量熟练焊工而且焊工的劳动强度大、焊接质量不易控制,工期难以保证,施工难度比较大。

2.4 热风炉总高50.10m,最大直径13.52m,按设计要求热风炉炉壳12-19带焊接后应进行整带退火,消除焊接应力,由于壳体直径较大,现场条件受限,进行整带退火难度大。

## 3 炉壳板带制作工艺

### 3.1 放样、好料

根据供应部门采购的钢材规格,合理进行排版。核对图纸的安装尺寸和孔距,以1:1的大样放出节点,核对各部分尺寸。制作样板和样杆作为下料,制孔等加工依据。放样弹出的十字基准线二线必须垂直,然后据此十字线逐一划出其它各个点和线,并在节点旁标注上尺寸以便复查及检验。放样应严格按图纸给定分块位置,各段均按其周长及焊口数量留出焊接收缩量,按设计给定曲率半径制作内壁检查样板,其弦长不应小于1500mm。钢材如有较大弯曲,凸凹不平等问题时,应先矫正,然后在进行号料。根据配料表和样板进行套裁,尽可能节约材料。不同规格,不同钢号的零件应分别号料并依据大小先后顺序依次号料。钢板长度不够,需要焊接接长时,在接缝处必须注明坡口形状及大小,在焊接和矫正后在划线。

### 3.2 气割

钢板使用半自动切割机切割,切割断口处不得有裂

纹和大于1mm的缺棱，并清理熔瘤，飞溅物等。在钢板上切割不同尺寸的工件时，应先割小件，后割大件。切割不规则形状的工件时，应先割较复杂的，后割较简单的。窄长条形板的切割，长度两端留出50mm不割，待割完长边后在割短边以防变形。坡口加工采用热切割或机械方法，火焰切割面粗糙度 $Ra \leq 25$ ，机械加工面粗糙度 $Ra \leq 12.5$ 。对于在切割面上偶然出现的不超过3mm深的割痕，可以采用打磨方法使沟槽边缘与坡口面光滑，对于超过3mm的割痕，在技术人员同意的情况下允许用焊接修补。修补前应认真修磨补焊面，采用与正常焊接相同的工艺，修补后打磨平齐。待自然冷却后再进行磁粉探伤，确认无裂纹等缺陷为合格。

### 3.3 炉壳板预拼装

炉壳虽然尺寸很大，但要求的制作偏差很小，精度要求很高，拼接点的间隙也必须均匀一致，因此在制造厂必须进行预拼装。

3.3.1 炉壳的预拼装在专门设置的预拼装平台上进行。平台上表面高偏差不得大于3mm，并且在每带预拼装前要对平台进行复测，调整至合乎要求后方可进行预拼装工作。预拼装前，在预拼装平台上，根据炉壳各带内外径，划上圆弧，标上十字中心线，十字中心线要打好冲孔，用油漆或钢印清晰地做好标记，设置一条安装定位线亦用钢印或油漆做好标记。

3.3.2 在预拼装平台上焊好定位板，将炉壳各板逐块吊运到拼装平台上每两块炉壳板之间用卡具固定，防止松动时脱钩倾倒，调整好炉壳的垂直度。同一带的炉壳各块之间按上述要求和方法进行预拼装，按要求调整到允许偏差内，并留好焊接收缩余量。允许偏差按设计规定执行，进行找正工作，主要调整和检测炉壳上口水平差，最大直径与最小直径差，垂直度，错边量，坡口端部间隙其拼装的允许偏差，经自检，互检和专检预拼装合格后的炉壳板块，应标出构件标号和中心线，定位线，开口方位，拼装尺寸。在拆开的接头处或上下带之间，应用油漆和钢印做出明显标记，并提供展开的预拼装图，填好预拼装的自检记录和交接卡。

3.3.3 每带预装配之后进行上，下带预组装，每次预装由二至三段外壳组成一个区段，检查合格后，打上印记，焊好定位器。上面的一段要作为后序组装段的底段。柱面与球面，柱面与锥面，锥面与锥面预装时应用样板检测。炉壳各带拼装合格后，应对烟道，热风管，法蓝孔等的开口位置划出“+”字定位线和圆周切割线。

### 4 炉壳吊装施工技术

4.1 炉壳安装前按照图纸尺寸认真复核，对构件标号

和中心线，定位线，开口方位详细检查，并按设计给定曲率半径制作内壁检查样板，其弦长不应小于1500mm，对壳体弧度进行检查，对质量严格控制，确认质量合格，方可吊装。

4.2 热风炉炉壳安装时采用280T履带吊，利用十字吊装架分环带整体落位挡板法进行整体安装壳体结构，接口采用安装卡具及间隙调整器方法控制接口间隙及错边量，检查合格后进行定位焊接。定位焊采用低氢型焊条，定位焊道长60-100mm，尽量均匀布置。定位焊可以焊成单道或双道，完好的焊道可以在其上熔敷主焊道，带裂纹，未熔合，气孔等缺陷的定位焊道应去除。定位焊工艺与正式焊接工艺相同，预热温度较产品焊缝预热温度高约30-50℃。

4.3 采用特定的炉壳专用夹具和定位器来控制安装精度：

4.3.1 调整炉壳间隙用的压板夹具，用于板式结构的垂直焊缝的平接缝处，当钢板高度在2m之内可安设2个；在大于2m时，需设3个。

4.3.2 调整炉壳错边用的夹具，用于板式结构水平接缝处，在每块钢板的长度内应平均设置三个，如果对接缝的位置成一个角度，则夹具亦应事先弯成所需的角。

4.3.3 为保持钢板与钢板之间所需预留间隙，选用垫板夹具，对于垂直缝不小于三块。圆周水平对接缝每隔1m垫一块。

4.4 热风炉各带上口高低最大偏差3 mm（国标要求不大于4mm），热风炉炉壳的最大直径与最小直径差20 mm（国标要求不大于26.5 mm），炉壳相对炉底中心的最大偏差20mm（国标要求不大于30mm），均满足《炼铁机械设备工程安装验收规范GB50372-2006》相关要求。<sup>[2]</sup>

### 5 炉壳焊接施工技术

炉壳材质为Q345C属低合金高强度钢，炉壳体积大，钢板为中厚板具有较大刚性，焊接工作有难度而且焊接工作量大，质量要求高，这就要求无论是壳体的水平焊缝还是垂直立缝，均必需采用自动化高效率的焊接方法。经论证采用了沈阳大学自行研制的GLH- II型气电立焊及GHH- II型埋弧横焊新技术，以加快焊接速度和保证焊接质量，部分焊缝采用手工焊接和CO<sub>2</sub>气体保护焊。

5.1 根据钢结构质量验收规范要求对新材料、新方法、新工艺需要进行相应的焊接工艺评定，在施工前进行了焊接工艺评定工作，通过评定确定了壳体的焊接工艺。为了确保焊接工艺评定的认可范围达到施工要求，选择 $\delta = 60\text{mm}$ 以及 $\delta = 40\text{mm}$ 的钢板为焊接工艺评定对象。根据评定试验的要求， $\delta = 60\text{mm}$ 的钢板作为气电

立焊的评定试件,其厚度认可范围为30mm~66mm; $\delta=40\text{mm}$ 的钢板作为埋弧横焊的评定试件,其厚度认可范围为30mm~60mm,符合本工程的需要,通过评定确定了壳体的焊接工艺。

5.2 经研究分析先焊接内坡口,且采用对称焊接,将内坡口焊平,外焊道用电弧气刨清根后焊平。焊接热风炉炉壳从下到上,焊接顺序先焊里口,后焊接外口,当两节炉壳安装时,应把立缝焊完,再焊横缝,避免三向应力,损害接头性能。预热是防止冷裂纹的有效措施,预热选用履带式电加热器,预热温度100-150℃,使在两面壁厚的均温范围内,温度达到要求。后热去氢处理在焊后应立即进行,保温时间按每25mm板厚1小时确定,使用无纺石棉织品覆盖。在焊接作业时如湿度过大,应在施焊前用氧乙炔焰将坡口处烤干。如果风速超过9米/秒,需设置防风罩。

5.3 气电立焊技术是一种较为先进的熔化极气体保护电弧垂直对接施焊方法,采用药芯焊丝作为熔化极,用能自动控制的焊接小车携带焊枪进行连续焊接,在水冷滑块强迫成型的作用下以 $\text{CO}_2$ 气体保护来实现单面焊双面成型<sup>[3]</sup>。气电立焊的难点在于起弧及收弧,及水冷铜滑块的固定与安装,滑块必须与壳板紧密接触,并且位置要居中,防止铁水外流及焊缝表面偏移,造成表面成型不好。起弧点因为在坡口的位置,下面是平面而侧面是坡口,为了避免铁水从侧面坡口流出,在背面的坡口塞满硅石棉绳后,夹紧水冷滑块,然后在正下面端坡口处也塞上石棉绳,在底端加入适量碎丝做为引弧剂,利于顺利起弧,在焊接过程中,要时刻注意焊枪的摆动,适时地调整位置,使焊枪始终位于焊缝的中间位置,同时防止枪头处的滑块烧损,不利于气体的保护。在息弧处,采用点动式填满弧坑,尽量保证上平面不出现凹坑。

5.4 埋弧横焊是埋弧自动焊的一种,是常用埋弧焊机的操作变形机,与其他位置的埋弧焊基本相同,是以电弧做为热源的机械化焊接方法。埋弧横焊采用的是不对称的K型坡口,坡口下面为平面,横焊的焊接参数较水平及船型焊接的电流、电压略小,而焊接速度较大。起弧时导电嘴的角度为20°左右,打底焊缝的速度较慢。并且要根据现场的具体情况适时调整焊接工艺参数,以及每层间的道次,为了防止出现‘双眼皮’的现象,道次之间的层叠量要适宜,要随时掌握,随时调整。因为现场采用多台机械同时操作,为了防止在焊接接头处出现夹渣或气孔,每层之间要预留出100mm左右做为接头。封皮焊缝的最上一道容易出现咬肉的现象,焊接时一定要控制好焊接参数,调整好导电嘴的角度,采用略小的焊

接参数,较大的焊接速度,控制咬边的现象。

5.5 在热风炉炉壳的焊接中,首次采用了气电立焊及埋弧横焊技术进行施焊,焊缝总长约7200米,焊缝外观成形好,焊缝宽度均匀,且无咬肉现象,探伤片421张,一次探伤合格率98% 观感质量合格率100%,经甲方和监理的共同检查,认定达到了设计要求,而且大量缩短了工期,实现了最初设定的质量目标,同时取得了良好的经济效益。

## 6 炉壳整带应力消除施工技术

6.1 在炉壳焊接过程中不可避免会产生焊接残余应力,这些残余应力的存在将增加结构脆性破坏的可能性,影响炉壳的疲劳寿命。随着科技的进步和节能环保的要求,先后出现了热处理工艺及振动时效消除应力技术,其均能在降低和均化残余应力方面起到很好的作用。考虑到传统的热处理工艺消除应力将耗费大量能源、影响环境和对工期的不利影响,已不再适应工程需要,经研究决定采用成本低、效率高、周期短,而且节能环保,加之工艺适应性强不受材质、重量、场地等因素限制的振动时效调整焊接残余应力。<sup>[4]</sup>

6.2 振动时效原理是通过振动的形式给构件增加一个运动的应力,当动应力与构件本身残余应力叠加后达到或超过材料的微观屈服极限时构件就会发生微观或宏观局部或整体的弹性塑性变形,同时降低或均化构件内部的残余应力,最终达到防止构件变形和开裂,稳定构件几何精度,提高结构抗疲劳破坏能力。

6.3 调整应力采用了大连理工学院的“振动消应”技术。热风炉高温区(两托砖圈间,即第12到19板带)要求在热风出口焊好后进行消应处理。

6.3.1 在地面上对热风炉高温段的每一带及拱顶分别做一次振动时效处理。除了自动处理30分钟之外,还做了第二次处理,约在15—30分钟。目的是降低和均化四条纵焊缝上由焊接产生的焊接应力及由强制拼装产生的应力。

6.3.2 当高温段各带(12带至19带)吊装到热风炉上,并将环焊缝焊好后,对高温段总体做一次振动时效处理,用以消除由焊接产生的环向焊缝的焊接应力及由拼装产生的结构内应力。

6.3.3 对1#热风炉第17带与18带组合件做了振动处理前、后残余内应力的检测。在该构件的两条纵向焊缝上分别选择3点,在中间的环焊缝上,选择3点共9点做了振动处理前后的应力检测。通过试验得出在振动处理前平行焊缝方向的应力 $\sigma$ 平行和垂直焊缝方向应力 $\sigma$ 垂直分别为260MPa和193MPa。而振动时效处理后两个方

向的应力分别为179Mpa和128Mpa,消除率分别为31.1%和33.6%。这也说明了在消除应力方面,本次处理已经达到国家机械行业标准JB/T10375 -2002中有关规定,说明处理有效。

#### 结束语

建筑钢结构施工技术是建筑工程施工技术体系的一个重要组成部分,应得到工程技术人员的重视。在对建筑钢结构进行施工的过程中,通过对新技术新工艺的应用,明确施工技术要点,做好施工质量控制,采取切实可行的措施和方法保证钢结构的施工质量和施工效果,

推动建筑钢结构施工技术水平的提高。

#### 参考文献:

- [1]王福刚.建筑钢结构施工安全对策及质量控制措施研究[J].住宅与房地产.2021(34)
- [2]王晓华.热风炉炉壳焊接技术探讨.科技创新导报.2012(9)
- [3]炼铁机械设备工程安装验收规范.GB50372-2006.中国冶金建设协会主编
- [4]王源.浅谈高炉炉壳焊接应力处理技术的发展.建筑工程技术与计.2015(9)