大湾区块地面集输工程D401集气站特种钢材焊接工艺

张华 宋文 李鹏飞

【摘要】D401集气站采用镍基合金825、L360CS、A333.Gr6、L245及L316多种特种钢材，浅析镍基合金管材焊接过程中的要点及应用技巧，并对L360管材金属粉芯焊接工艺应用，站内使用机械设备情况及焊材应用情况简要叙述。

1. 概述

大湾区块地面集输工程站场及站外管线部分（二期）第二标段D401集气站位于宣汉县普光镇邱家坝，场区绝对高程约为341.94m，有简易公路与四川达州至普光的县级公路相连，距普光镇约2.5km，交通较方便。场地区域地貌为侵蚀-剥蚀低山和河流阶地地貌。D401集气站采用加热、节流、保温混输的湿气集输输送工艺，具有集气、加热、节流、单井计量、放空和智能清管发送并配备完善的自控仪表功能。站场集气工艺系统包括酸气系统、涉酸放空系统及辅助生产系统（注醇系统、缓蚀剂注入系统、燃料气及仪表风系统），管材采用镍基合金825、L360CS、A333.Gr6、L245及L316等特种钢材，管道输送介质为高含H_2S的天然气气体，涉及高压、剧毒介质工况。

工程工期紧、任务重、焊接工艺复杂，质量要求高，且所采用的管材、焊接工艺为国内首次采用，其中L360等低合金钢管采用焊条电弧焊+自保护药芯焊丝半自动焊为主的焊接工艺，首次在国内大规模的运用。D401集气站工艺管道安装镍基合金825管材焊接58m；L360管材焊接270m；A333.Gr6管材焊接543m；20#管线焊接720.3m；L245管线焊接145m；316L管线焊接132m。安装各类管件793个；管台、管帽及盲板等59个。D401集气站焊缝总计1 497道，涉酸管道共973道，燃料气、仪表风输送管道共524道，角焊缝279道，返修焊缝6道，焊接一次合格率99%；硬度检测807道，一次合格率100%；光谱分析全部合格。其中涉酸管道焊接质量是最难控制的，这里又包括镍基合金的焊接和运用金属粉芯焊接的L360管材的焊接。

2. 关键焊接技术

（1）镍基合金焊接特点 第一，液态焊缝金属流动性差。镍基合金不能像普通钢焊缝金属那样通过增大焊接电流改进焊缝金属的流动性，若增加电流，反而起着有害作用。这是镍基合金的固有特性。由于焊缝金属流动性差，不易流到焊缝两边。因此为获得良好的焊缝成形，有时采用摆动工艺，但这种摆动是小摆动。大的摆幅容易引起咬边。为了消除这一缺陷，焊工在摆动到每一侧极限位置时，要稍停顿一下，以便有足够的时间使熔化的焊缝金属填满咬边。此外焊接的电弧要尽量短。

第二，焊缝金属熔深浅，这是镍基合金的固有特性。同样不能通过增大焊接电流来增加熔深。如上所述，如果电流过大对焊接有害，引起裂纹和气孔。由于焊缝金属熔深浅，接头钝边的厚度要薄一些。

（2）焊接方法的选择 镍基合金的焊接采用焊条电弧焊、熔化极气体保护焊、钨极气体保护焊和埋弧焊等，本次采用了钨极

气体保护焊+焊条电弧焊组合的方法对镍基合金DN100管道进行焊接。

3. 焊接操作技术

（1）钨极气体保护焊的操作技术　采用ϕ2.4mm的铈钨极，钨极伸出长度3~5mm，焊缝不预热，层间温度＜100℃，喷嘴ϕ10mm（喷嘴越大效果越好，最好采用喷嘴加拖罩方法）。在焊接前，采用如下办法将管内空气置换干净后再进行焊接，气流量控制在较小范围内，保证有持续供气即可；焊接的保护气体为99.999%Ar，气流量为10~15L/min。

第一，在现场实际操作过程中，先通氮气软管，经过简单转换后，再在坡口处缠胶带，如图1所示，焊接过程如图2所示。

第二，采用高频引弧，焊枪在焊接时要尽量垂直于焊件，这样能更好地控制熔池的大小，而且可使喷嘴氩气均匀地保护熔池不被氧化。降低热输入，采用小电流、大焊接速度，焊枪不得停止不动和搅拌熔池。在焊接过程中焊丝加热端必须处于保护气体中，以避免热的末端氧化和由此造成的焊缝金属污染。焊丝应在熔池的前端进入熔池，以避免接触钨极。

（2）焊条电弧焊的操作技术　第一层填充焊接时，为防止背面氧化，焊缝背面也应充氩保护。

为防止热裂纹，应采用小热输入焊接，采用短电弧不摆动或小摆动的多层多道焊，严格控制层间温度在100℃以下，收弧填满弧坑，焊完一道焊缝后，要待焊件冷至用手摸后再焊下一道。允许用水或风强制冷却，必要时也可将焊件置于水中或边焊边用水或风冷却，每层焊接完成，都要清理干净后，再进行下一层焊接。

运条时焊条不作横向摆动，如必须摆动时，摆幅不应超过焊条直径的3倍。

（3）金属粉芯气体保护半自动下向焊　为保证与酸性介质直接接触的根焊层的耐腐蚀性能，采用金属粉芯半自动下向根焊的焊接工艺。一是焊接方向由传统的上向焊转为下向焊，因重力的作用，熔敷金属的流向加快了焊接速度。二是金属粉芯焊丝中的多种化合物含有大量的优化合金元素，可保证焊缝金属的有效成分，使焊缝具有良好的力学性能和使用性能。在焊丝内加入的金属粉末可根据所焊材料的性能而配置，在焊接涉酸碳钢管道时，金属粉中加入Cu、Al等成分，大大降低了杂质元素S、P的含量，具有抵抗应力腐蚀开裂的性能。三是选用85%Ar+15%CO_2作为保护气体，这种在惰性气体中加入少量氧化性气体的做法，既能很好地保护熔池，又使其具有一定的熔深。四是焊丝呈盘状，可连续作业，焊接效率远远超过传统的焊条电弧焊，而且工艺参数范围较大，与实芯焊丝相比，具有电流密度大、熔敷率高、电子发射区域宽、熔池更稳定的特点。

（4）金属粉芯气体保护脉冲下向焊（GMAW）　热焊加入脉冲使熔滴过渡形式由短路过渡变为射流过渡，不但提高了焊接速度，增加了熔池深度，改善了焊缝成形，而且热焊时不需清理焊道，避免了金属粉尘的产生，既保证了焊缝质量，又改善了施工环境，提高了生产自动化程度，降低了劳动强度。

4. 设备应用情况

逆变焊机ZX7—400ST主要应用于A333、20#、L245及316L等钢材焊接。

设备使用优点：在场站内可接入站内动力电源，使用方便，无噪声，可根据焊接需求，调整接入设备，可以使用氩弧焊或手工向上焊。焊机电弧稳定、柔和、连续，可根据焊接钢材各类不同，适当调整熔深，保证焊接质量。体积小，便于搬运，适合场站多点焊接。

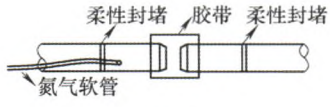

图 1

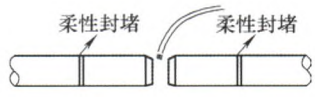

图 2

图3　金属粉芯根焊

图4　金属粉芯热焊

金属粉芯焊机UlseMIG—500FR主要应用于L360M钢材打底半自动下向焊及脉冲下向焊。

设备使用优点：管道根焊焊接专家，能出色完成多种材料管道的根焊、填充与盖面；满足实芯碳钢、不锈钢、金属粉芯焊丝的打底工艺要求；内置与焊接材料、保护气体、焊丝直径相匹配的焊接参数专家系统自动智能化参数组合。一元化调节方式，操作简单；采用精细控制方式引弧、去球，引弧成功率达100%；外壳防护等级IP23，轻结构、全密封的送丝机，数字显示，更适合野外施工。

中频感应电加热设备，主要用于抗硫管材焊口的消氢及热处理设备。

设备使用优点：全固态IGBT变频及功能调节，软开关谐振双调控及频率自动跟踪技术，是高可靠性的保证；高效节能，全功率范围内，极高的功率因数和电源效率；宽频1～20kHz频率自动跟踪适应能力；100%全负载、24h连续工作能力；恒输出电压/恒输出功率控制选择功能；频率、功率、电压及电流全显示；多接口操作，可同时满足多组焊件分阶段同时加热处理。

5. 焊接材料应用情况

现场焊接材料使用情况如附表所示。根据各种不同规格、不同型号管材，按照焊接工艺评定，选择不同种类、不同型号焊材，采用不同焊接工艺对应进行施工，是保证整体焊接质量的另一个要点。焊接均采用国外进口焊材，分类存放，分类烘烤，分类供应，分类回收；在施工过程中，根据焊工持证情况，结合当日焊接工作量，安排一名焊工焊接一种材质管材，保证焊接效率及焊接质量，减少更换焊条、调整设备时间，避免焊材用错情况。

焊接材料

钢管材料	规格或操作条件*DN*/mm	焊接工艺	焊丝	焊条
A333.Gr6	≤50 >50	GTAW GTAW+SMAW	ER70S—3 ER70S—3	E7016
L360QCS	>200 50<*DN*≤200 ≤50	GMAW(下) SMAW GTAW SMAW GTAW	E70C—6MH4 ER70S—3 ER70S—3	E7018H4R E7016
镍基	≤50 >50	GTAW GTAW+SMAW	ERNiCrMo—3 ERNiCrMo—3	ENiCrMo—3
316L	≤50 >50	GTAW GTAW（下）+GMAW	ER316L ER316L	E316L—16

作者简介：张华，宋文，李鹏飞，中石化江汉油建工程有限公司。

MW 201401211

（上接第12页）

其焊接参数如表2所示。

6 000m³丙烷球罐的球壳板材质为Q370R，采用J557R高韧性超低氢型焊条进行焊接，其焊接参数如表3所示。

球罐的焊缝表面应平滑过渡成形并留有一定余高，成形后的焊缝应进行外观检查，确保焊缝两侧未出现“咬边”现象。外观检查完成后应立即对焊缝进行焊后消氢热处理，确保焊缝中残余的氢能够全部逸出焊缝表面，防止焊缝中出现气孔，影响球罐后期的使用安全。

表2 4 000m³丙烯球罐焊接参数

焊接位置	焊接电流/A	焊接热输入/kJ·mm⁻¹
横焊	140~180	12~25
立焊	130~160	12~30
平焊	140~180	12~30
仰焊	130~160	12~30

表3 6 000m³丙烯球罐焊接参数

焊接位置	焊接电流/A	焊接热输入/kJ·mm⁻¹
横焊	140~180	12~35
立焊	130~160	12~40
平焊	140~180	12~35
仰焊	130~160	12~35

作者简介：杨国强，黄金祥，武汉一冶钢结构有限责任公司。

MW 201401211