



皖电东送工程焊接关键技术

崔建新 王玉杰 翟建峰

【摘要】 皖电东送特高压输电线路示范工程，是我国首个同塔双回路特高压交流输电工程。

本文针对工程一级焊缝的焊接关键技术阐述。从人员培训、设备选择、焊接过程控制、焊缝检验等方面采取的一系列行之有效的措施，从而保证了整体工程进度及焊接质量。

一、工程概述

1. 项目概况

皖电东送特高压输电线路示范工程钢管塔涉及全国15个铁塔供应商。我公司承担了本工程第5包，共7个塔型，38基钢管塔，总重量8 572t，一级焊缝6 680条，焊缝长度近10 000m。工程实施过程中，公司围绕工程目标，积极采取一系列行之有效的管理措施，在焊接工艺革新，新设备、新工装研发，技术培训以及生产组织优化等方面着手，有力的保证了工程进度及焊接质量。所有焊缝经过检验外观质量优良，内部无损检测100%合格，满足一级焊缝质量要求。

2. 工程特点

(1) 交货工期紧，加工难度大 本工程在国内尚属首次大规模采用钢管塔，许多厂家面临加工经验不足，设备落后，人员技能偏低等诸多影响因素。

(2) 焊接工程量大，焊接节点多，质量要求高 我公司承接的38基钢管塔中，平均一基塔

焊接节点500多个，除带颈法兰与钢管连接的对接焊缝可以采用自动化焊接技术外，大部分节点靠手工焊接。

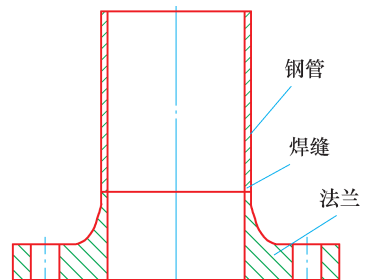
(3) 焊接件尺寸精度要求高 需严格控制焊接变形及焊接收缩量，保证现场整体安装。

(4) 钢管与带颈法兰的焊接控制及质量检测难度大 钢管与带颈法兰连接的对接焊缝质量要求为一级焊缝，并进行100%超声波探伤，同时进行第三方抽检。一级焊缝批量控制存在一定的难度。焊缝无损检测中，其中壁厚8mm以下的焊缝探伤属于新技术，作业人员在操作及判定方面需通过总结积累经验，以提高对缺陷的判定。

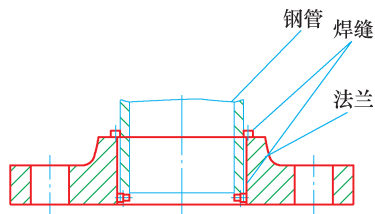
二、关键焊接技术

1. 钢管塔生产主要焊接工艺

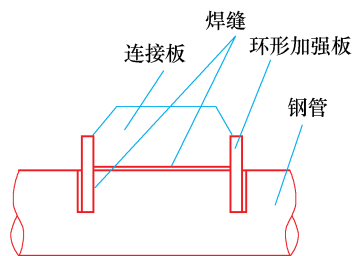
本工程钢管塔焊缝连接形式主要有：钢管法兰对接焊缝、钢管与法兰插接焊缝、钢管与钢板焊接的对接焊缝、T形焊缝、角焊缝（见图1）。结合我公司的现状，钢管塔焊接主要采用熔化



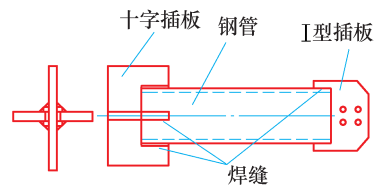
(a) 钢管与带颈法兰对接焊缝



(b) 钢管与法兰插接焊缝



(c) 钢管与连接板、加强板焊接



(d) 钢管开槽与插板焊接

图 1



极气体保护焊进行焊接,其中钢管与带颈法兰对接焊缝采用富氩气体保护自动焊接技术,其他焊缝采用手工CO₂气体保护焊接技术。

2. 焊接新技术

(1) 钢管法兰自动组焊机的应用 为保证工程焊接质量,钢管与带颈法兰对接焊缝的装配与焊接引进唐山开元PLHZ—1000法兰组焊生产线,有效地保证了法兰端面的垂直度,组对过程严格控制装配间隙,定位焊缝焊接后进行打磨处理,保证焊缝接头质量。 $\phi 400\text{mm}$ 以上钢管采用双面焊接,两端同时焊接,先内焊后外焊,背面采用清根处理,外焊时根据钢管厚度采用多层焊接。内外焊缝外观质量如图2、图3所示。

(2) 自动焊接单面焊双面对称工艺的应用 $\phi 400\text{mm}$ 以下钢管与带颈法兰对接焊缝引进钢管自动焊接专机,采用单面焊双面对称工艺。焊缝装配间隙控制在3~5mm,焊枪角度在2~3点钟位置,定位焊点进行打磨处理,焊接过程严格控制焊接参数,有效保证了焊缝质量(见图4)。

(3) 钢管自动切割下料、开槽技术的应用 钢管下料长度直接影响构件的长度,构件长度相对误差直接影响钢管塔的安装质量。为此,在控制钢管长度方面,采用数控相贯线等离子切割机进行加工,切割中预留焊接收缩量,下料后逐根检验,以满足生产需要。

钢管开槽引进双端数控开槽专机(见图5),两端同时切割,保证两端开槽的相对位置;

同时采用等离子切割,保证切割质量(见图6)。

(4) 钢管坡口加工技术的应用 钢管坡口质量直接影响焊接质量,钢管坡口加工采用钢管坡口机(见图7),对坡口角度、钝边严格控制,逐根检验并记录,有效地保证了焊接质量(见图8)。

(5) 薄壁管无损检测新技术的应用 特高压钢管塔使用的钢管规格为 $\phi 159\sim\phi 964\text{mm}$,厚度为4~22mm。厚度8mm以上钢管超声波无损检测按照GB11345的要求进行;针对厚度4~8mm的钢管超声波检测,国内无参考标准。为此,国网公司针对厚度在

4~8mm的钢管对接焊缝检测,编制了《薄壁管对接焊缝超声波检验与质量评定》,指导薄壁管对接焊缝检测。在检测过程采用爬坡探头检测,针对不同的工件厚度,采用不同K值的探头,尽量采用大K值探头。通过实施,在本工程一级焊缝第三方抽检中,焊缝合格率达到99%以上。

3. 焊接质量管理

(1) 焊前检验 为保证焊接质量,生产过程中将质量管控的重心前移,从零件下料、坡口加工、组装间隙控制到定位焊缝的质量等都作为质量控制的重点。通过焊前控制,零部件的各项质量符合规定要求,为合格焊



图 2



图 3



图 4



图 5

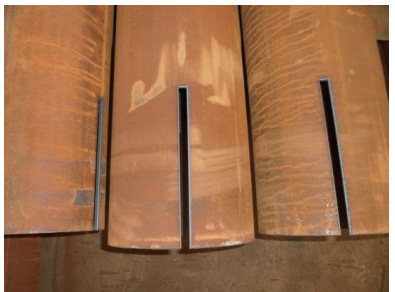


图 6



图 7



图 8

缝质量提供了前提条件。

(2) 焊接过程控制 焊接过程中，每一个作业人员严格执行规定的焊接参数，对确认合格构件进行施焊。对出现的个别质量缺陷，严格按照返修的要求进行作业，在整个工程的焊接过程中，一次返修的合格率达到100%。

(3) 焊后质量检测 焊接完毕，质量检验人员严格按照检验方案进行检测，从外观质量、内在质量逐一检测，不放过一条焊缝、一处缺陷。特别是在一级焊缝的检测过程中，制定了《与驻厂监造及第三方检测人员的配合方案》、《焊缝查核表》、《探伤追溯性实施方案》、《报检单》、《一级焊缝操作记录》等文件，与公司的《质量保证计划》、《检验验证计划》一起，共同构成了公司的一级焊缝质量检测体系。

在批量生产中各级检验人员按照文件要求有条不紊、忙而不乱的作业，既保证了焊缝质量，又提高了效率。该工程一级焊缝共计6 680条，100%自检，其中6 580条焊缝一次检验合格，自检一次合格率为98.5%；第三方累计抽检1 650条，其中一次抽检合格1 644条，一次合格率为99.64%。为工程提供了最基础的质量保证。

三、焊切设备应用

1. 焊接设备

本工程焊接设备引进了法兰组焊生产线（见图9）、钢管环缝焊接专机（见图10），焊机为松下逆变式NBC500气保焊机。手工焊接采用奥太逆变式气保焊机。各种焊接设备严格按照设备管理的要求，做好日常维护与保养，在本工程的应用过程中，焊接设备稳定可靠，能够有效地保证工程焊接质量。

2. 焊接材料

本工程大部分钢材牌号为Q345B，根据等强的原则匹配焊材，选用保定蓝宇型号为ER50—6气体保护焊焊丝，焊

丝规格为 $\phi 1.2\text{mm}$ 。焊接用 CO_2 气体，纯度 $\geq 99.5\%$ ，富氩气体（ $\text{Ar}80\% + \text{CO}_2 20\%$ ）采用瓶装气体。所有焊材进厂均有出厂质量证明书，进厂复检合格后使用。焊接材料复检采用的标准如附表所示。

3. 切割及配套加工设备

本工程生产过程中，引进购置了国内先进的切割设备及其他配套加工设备主要有：无锡华联GS/Z—4000数控切割机、GS/G—600钢管相贯线切割机等。自行研制了钢管连板装配工装，U形板加工专机、钢管下料设备、装配平台及组装方箱等部分工装设备，在生产中充分发挥了其效能，有效地保证了生产需求。



图9 法兰组焊生产线



图10 钢管环缝焊接专机

焊接材料选用标准

编号	焊接材料	选用标准
1	焊丝	《气体保护焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T8110
2	气体	《焊接用二氧化碳》HG/T2537 《焊接用混合气 氩-二氧化碳》HG/T3728

四、结语

在皖电东送特高压输电线路示范工程钢管塔的生产中，国家电网公司、国家电科院、业主项目部及相关监理高度重视，多次到公司进行调研、抽检、试组装验收；驻厂监造人员和第三方抽检人员高度负责，对本工程的焊接质量进行严格的检查，一级

焊缝第三方抽检一次合格率达到99.64%，现场安装合格率达到100%，圆满地完成了本次工程任务，并得到了国家电网公司、业主项目部的好评。

作者简介：崔建新等，河南鼎力杆塔股份有限公司。

MW 20141217