

# 输油管道焊接工艺评定重要因素对比

刘浩浩 王衡皓（延长油田股份有限公司吴起采油厂，陕西 延安 717600）

**摘要：**对预定焊接程序的准确度进行确认的焊接工艺评定试验，其核心在于检验焊接接头的质量与可靠性。一般而言，将作用于输油管道焊接质量的各种要素划分为关键要素、附加要素以及辅助要素。一旦关键要素在焊接工艺中发生变动，就必须重新开展焊接工艺的评定工作。分析与讨论输油管道焊接工艺评定措施及方法，结合输油管道施工要点，提出了输油管道焊接工艺评定保障措施。通过加强材料采购、现场测量、设备选择、整体焊接等控制，以期为整体工程施工奠定良好基础。

**关键词：**输油管道；焊接工艺；评定；重要因素；对比

## 0 引言

开展输油管道焊接工艺评定重要因素对比研究，焊接技术是确保输油管道焊接品质的核心环节，负责验证针对不同焊接接头制定的焊接工艺指导文件的正确性与适宜性。借助焊接工艺评审，我们可以核查依据预定的焊接指导文件完成的焊接接头是否满足既定的性能标准，进而为编制正式的焊接工艺指导文件或焊接作业指导卡奠定坚实的数据支撑。焊接工艺审核在各类设备的制作、组装及维护检修中发挥着至关重要的作用，如锅炉、压力容器、压力管道、桥梁、舰船、宇航器、核能设施以及关键的承重钢结构等。

## 1 焊接工艺评定因素分类

在科学的研究中，那些能够对实验结果指标产生作用的元素或缘由，我们称之为因子。针对焊接技术的评定，因子可被分类为关键因子、附加因子以及辅助因子。关键因子主要涉及那些决定焊接接头抗拉和弯曲特性的焊接技术参数。而附加因子，则关联到焊接接头在冲击性能方面的表现。次要因素是指对要求的力学性能无明显影响的焊接工艺因素。

每当对关键要素做出调整，就必须重新开展焊接工艺审核。而对于附加要素的增添或修改，则仅针对新增或调整的附加要素，补焊用于测试冲击韧性的试件以进行验证。若仅对次要要素进行增加或更改，则无需重新执行焊接工艺审核。关键要素、附加要素以及次要要素，均在各项焊接工艺审核规范中有明确的划分。尤其是关键要素在焊接工艺审核过程中占据了极其关键的角色。

## 2 输油管道焊接工艺评定方法

输油管道分析主要采用有限元法分析，本项目中，将焊接节点视为基础构件，把各个节点处的三相位移作为待求解变量。通过建立位移与内力的关联方程，

计算出单元的刚度矩阵，进而对该结构的刚度方程展开详尽的分析，对节点位移、杆件内力进行分析。

杆单元<sub>ij</sub>刚度方程

$$\{F\}_{ij} = [k]_{ij} \{\Delta\}_{ij}$$

式中：

$\{F\}_{ij} = [F_x F_y F_z F_{xj} F_{yj} F_{zj}]^T$  为杆单元在整体坐标系下的杆端位移向量。 $\{\Delta\} = [u_i u_i w_i u_j u_j w_j]$  为杆单元在整体坐标系下的杆端位移向量。即：

$$\{K\}_{ij} = \frac{EA_{ij}}{l_{ij}} \begin{bmatrix} l^2 \\ lm\ m2 \\ ln\ mn\ n^2 \\ -l^2\ mn\ l^2 \\ -lm-lm-ln\ m^2 \\ -ln-mn-n2\ lm\ mn\ n^2 \end{bmatrix}$$

按有限元铰接关系计算模型结构的基本方程式为：

$$\{K\}\{\Delta\} = \{P\} \quad (2)$$

式中 $\Delta$ 为焊接接头位移向量  $\{\Delta\} = [u_i u_i w_i \dots u_j u_j w_j \dots u_n u_n w_n]^T$ ； $P$ 为焊接接头力向量； $\{P\}_{ij} = [P_{xi} P_{yi} P_{zi} \dots P_{xj} P_{yj} P_{zj} \dots P_{xn} P_{yn} P_{zn}]^T$

根据边界条件进行修正后的管道整体刚度矩阵，其规模为3倍的节点数量乘以3，即呈现为 $3n \times 3n$ 的方阵，其中n代表结构中节点的总数。进而求出焊接接头变为 $\Delta$ 杆件内力为：

$$\{N\} = [K]\{D\} = [K][A]\{\Delta\}$$

此外，现代化社会发展趋势下，有限元有了跨越式发展，对此，在具体计算过程中，应积极利用上述基本原理进行施工过程分析，从而确定每次张拉的控制应力<sup>[2]</sup>，以此为后续应力控制提供良好基础。

### 3 标准的应用范围

#### 3.1 APII104-2005

APII104-2005 管道及相关配件的焊接是美国石油学会 (API) 组织编写的，适用于输送原油、成品油、天然气、二氧化碳和氮气的长输管道及泵站的安装和焊接，也可用于集输和分输管网的安装和焊接。在国际工程领域的管线与泵站建设过程中，APII104 规范被广泛采纳，它是一个得到全球广泛认同的焊接质量标准。中国石油行业的规范 SY/T4103-2006，关于钢管焊接与验收的规定，实际上参考了 APII104 规范进行制定，两者在焊接技术评定关键要素上保持着较高的一致性。

#### 3.2 ISO13847-2000

根据国际标准化组织发布的 ISO13847-2000 标准，该标准针对的是石油及天然气领域的管道输送系统，特别是管道焊接工艺。它专门适用于那些遵循 ISO13623 规范要求的石油天然气输送管道的焊接作业，涵盖了碳钢和低合金钢材质的管道焊接技术。尽管在常规施工中 ISO13847-2000 标准的应用并不广泛，但在全球知名的壳牌公司承建的工程项目中，这一标准却是一项重要的参考依据。

#### 3.3 SY/T0452-2012

SY/T0452-2012 石油天然气金属管道焊接工艺评定是我国石油行业标准 SY/T0452-2012 标准适用于陆上石油天然气工程(不含炼油工程)中各类金属管道的焊接工艺评定，在我国石油行业管道建设和安装中应用较多。

#### 3.4 NB/T47014-2011

依据我国国家能源局正式颁布的 NB/T47014-2011 标准，本规范对前期 JB4708-2000 版本中有关钢材压力建设容器焊接技艺评审的条款进行了升级与优化。该标准专注于耐压设备领域，涵盖了锅炉、压力容器和压力建设等方面，所涉及的焊接技术评审流程。主要针对对接焊缝和角焊缝。

### 4 输油管道焊接工艺评定保障

#### 4.1 材料采购

输油管道焊接工艺评定阶段，应在分片施工安全，确保工程质量符合既定标准的同时，做好前期工程施工准备。本次工程施工准备阶段，施工单位应对工程所需材料进行充分市场调研，做好相应调研工作，除材料成本评估外，要求材料采购人员深入了解不同构件物理、化学性质，综合市场可用性及供应商可靠性，

以此确保输油管道构件采购，为后续输油管道焊接工艺评定提供良好基础。

#### 4.2 现场测量

施工现场控制阶段，为有效提高输油管道焊接工艺评定质量，对现场测量可有效提高整体工程质量，在测量阶段，采用高精度的测量设备，如钢卷尺和经纬仪，对施工区域进行周密的测绘作业，从而精确锁定施工标高和具体坐标。确保施工定位的精确度，将误差严格限制在 0.5mm 的规定界限内。水平度误差应控制在 1% 以内，对于提高焊接应力控制及整体结构稳定性、安全性提供良好基础。

测量阶段，如发现超出规定范围内，施工单位应采取相应措施进行调整，以确保管道结点焊接精度符合设计标准，管道结点焊接完成后，施工人员通过焊接技术将预埋件牢固连接，以此保障结构初始稳定性，提高焊接应力控制。此外，为减少后续施工阶段输油管道发生位移的现象，本次工程采用了定位加固的方案，即在管线减振输油管道周围，为减少其多方向活动性特点，通过制定相应加固工艺，以此提高整体工程施工质量。

#### 4.3 整体焊接

输油管道焊接工艺评定阶段，整体焊接施工作为应力控制的重要组成部分，本次工程规划焊接的过程中，在管线上设置了 20 个吊点，以此保障焊接受力的均衡性、安全性。各吊点设置都与管线下弦螺栓球形成稳定的连接，并确保在整个焊接过程中各吊点均能承受相应的力量，满足结构的受力要求。

此外，在输油管道焊接工艺评定阶段，根据设计吊点方案将吊车与管线连接，为后续操作奠定良好基础后，对焊接点的受力情况及结构变形量进行检测。若测量过程中发现数据与设计预期存在偏差，施工团队应对焊接方案进行调整后重新进行试验，确保焊接指标符合安全要求。

#### 4.4 焊接焊接防腐

油田相关人员需要深入研究可能造成油气集输管道出现腐蚀现象的不同原因深入研究，针对不同腐蚀情况研究相应的焊接防腐工艺措施。针对地面油气集输管道的腐蚀情况，相关人员可采用喷涂缓蚀剂进行焊接防腐，缓蚀剂的施工成本较低，施工工艺简便，尤其适用于地面油气集输管道环境。

喷涂缓蚀剂前对其严格筛选，选用含有有机物如有机胺或季铵盐类的缓蚀剂为最佳，针对地面油气集输

管道中较容易出现腐坏现象的扣环连接处、管道口等部位加强喷涂。

喷涂缓蚀剂工作完成后，需进行二次验收处理，检查是否有漏喷、喷涂不均的情况出现，一旦发现此类情况，必须立即进行补涂处理。喷涂缓蚀剂可在管道与外界腐蚀介质间形成有力的隔离保护屏障，有效保护地面油气集输管道金属内壁，改善油气开采与输送效果。

为了获得理想的焊接点抗腐蚀效果，可以运用锌合金阳极，实际的极化效率相对较高，并且有着更为理想的使用时长，所以在情况比较严重的土壤中比较适用，例如酸性土壤、碱性土壤等。在铝的表面，随着钝化效果的产生，为了能够发挥对应的效果，可以采用Zn-Al与Al-Hg合金的方式。

随着阳极材料的持续更新，在逐渐形成比较完善的状态时，从宏观的角度出发，仍然需要针对阳极材料的不足加以完善，使其具备良好的调节性能。在处于特殊环境条件下时，需要尽可能地抑制材料出现的逆转现象。

除此之外，辅助阳极有着较高的气阻值，所以在实施屏蔽的过程中，很有可能会影响阴极保护的工作效果，因此需要慎重选用。

#### 4.5 结构施工

输油管道焊接工艺评定中，在管线焊接完成后，施工人员采用专用仪器设备对标高、挠度、变形量等关键指标进行全面检测，评估焊接是否符合规定的标准，在确认管线结构无缺陷后，在其顶部的适当位置焊接檩托，以此有效提高输油管道螺栓的紧固性，有效防止在后续施工中发生移位或脱落。

通过合理的材料采购、现场测量、起重设备选择等工作，可有效提高输油管道焊接工艺评定质量，符合工程预期施工标准及质量要求。本次工程为有效保障施工流程顺利进行，在施工前应全面做好现场勘测、测量工作，通过仔细检查施工设备、工具的完好性，确保符合安全规范、操作要求，并在具体施工阶段按照既定的施工图纸、设计要求，做好地基开挖、处理、填充等步骤，确保基础牢固、稳定，而后按照预定顺序进行结构组装，注重对各构件应力控制，保障部件连接的精准度、牢固性及稳定性。

结构完成后，应进行检测与验收工作，如存在质量问题、安全隐患，应立即进行整改，同时，施工现场应保持清洁有序，确保工程环境整洁度。施工阶段，

应保持良好的沟通、协调，确保各工种之间协同配合，以此提高整体工程施工质量。

#### 5 结束语

综上所述，开展输油管道焊接工艺评定重要因素对比研究，输油管道因结构外形美观、结构稳定性高及抗震性能优等特点，如何在输油管道施工中对工艺进行控制，文章通过对输油管道焊接工艺评定进行研究，分析了输油管道焊接工艺评定后，提出了相关保障措施，以期为广大学者提供参考帮助及建议。

#### 参考文献：

- [1] 尹长华, 孟献强. “东西伯利亚-太平洋”管道工程安装焊接施工应关注的问题及建议 [J]. 施工技术, 2018, 37(S2):392-397.
- [2] 孟献强, 尹长华. 俄罗斯“远东-太平洋”原油管道项目中焊接施工准入程序 [J]. 石油化工建设, 2018 (04):21-24.
- [3] 平海. 输油管路单面焊双面成形焊接工艺研究与应用 [J]. 中国油脂, 2020, (06):221-223.
- [4] 尹国耀, 杨文友, 胡成洲. 库尔勒—鄯善输油管道工程中施工新技术的应用 [J]. 石油工程建设, 2019 (02):5-6+61.
- [5] 杨官瑞. 纤维素型焊条下行焊接工艺开发与在海底输油管线铺设工程中的应用 [J]. 中国海洋平台, 2019, (06):21-24+6.
- [6] 杨永磊, 任武化, 杜亮, 田永刚. 炼化企业检维修焊接工艺应用效果对比 [J]. 焊接技术, 2020, 49(02):40-43.
- [7] 王晨. 下向焊焊接工艺在天然气管道建设中的应用 [J]. 上海煤气, 2001, (05):10-13.
- [8] 徐子跃, 张子刚, 宁中伏, 张伟, 韩冰. 浅析天然气场站管道的焊接工艺以及质量控制策略 [J]. 化工管理, 2019, (15):192.
- [9] 秦岭, 魏祥荣, 李瑞昌, 朱卫锋, 蒋爱国. 大口径大跨度穿越黄浦江管道的焊接工艺 [J]. 石油化工建设, 2005, (03):44-63.
- [10] 李国胜. 油气管道全自动焊接工艺技术标准研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2016, 36(12): 120-121+123.
- [11] 姚庆生. 庆哈输油管道焊接工艺的改进 [J]. 石油知识, 2017, (05):51-52.
- [12] 毛佐毅, 徐英. 10000 石油储罐工程安装焊接工艺 [J]. 江西建材, 2015, (15):63.