

储罐立缝焊接柱状气孔及横向裂纹缺陷的分析与防治

长庆油田分公司建设工程处 (陕西西安 710086) 岳志宏 杨拥军

【摘要】 对某工程 20 000m³ 储罐立缝采用气电立焊出现横向裂纹及柱状气孔缺陷的成因进行分析, 提出对焊缝宏观缺陷分析时应重视机械外力对形成焊接缺陷机理的影响研究, 介绍了缺陷返修方案及预防措施的实施效果。

1. 工程概况

某油田集油站扩建工程新建两个 20 000m³ 浮顶罐, 壁板厚度第 1 ~ 8 圈分别为 18mm、16mm、14mm、14mm、12mm、12mm (以上材质为 Q345)、10mm、8mm (以上材质为 Q235A), 采用水浮正装法施工。罐壁板环缝 (横焊缝) 采用埋弧焊 (焊机型号为 MISA—HB—A4), 单侧 V 形坡口。对 Q345 板选用 JW—1 (H10Mn2) 焊丝、 $\phi 3.2$ mm, Q235A 板选用 JW—2 (H08A) 焊丝、 $\phi 3.2$ mm, 焊剂选用 SJ101; 立缝采用气电立焊 (焊机型号为 VEJA—VB—AC—11), 焊丝为新日铁 EG—3、 $\phi 1.6$ mm, 双 V 形坡口。当 1[#]罐组装至第 5 圈时发现罐第 3 圈的 (14mm) 4[#]板与 5[#]板和 7[#]板与 8[#]板之间立缝处有渗水现象, 渗水处打磨后可见横向裂纹, 进一步检查又发现 2[#]罐第 4 圈 (14mm) 壁板立缝有两处出现同样现象, 施工单位立即停工进行进一步检查分析。

2. 缺陷调查

(1) 经放水后对两个罐中发现缺陷的立缝进行详细表面检查和 100% RT 检测, 在 4 道立缝中发现多处裂纹, 集中在 50 ~ 120mm 长度呈不均匀分布, 打磨后发现裂纹多为横向裂纹, 长度 0.5 ~ 5mm 不等, 主要发生在焊缝中部且未延伸到热影响区, 焊缝中有夹渣, 一般深度距表面 2 ~ 3mm; 其中 3 道立缝 (14mm、12mm) 中出现数条宽度较大且穿透焊缝的横向裂纹即上面出现渗水处。

(2) 在对已焊立缝的 RT 全面检测中还发现有 4

处沿立缝竖向分布的柱状气孔缺陷, 调查分析时焊工反映在焊接过程中发现熔池翻腾异常及焊缝冷却时颜色反常现象, 将上述缺陷处打磨后发现个别柱状气孔 $\phi 3 \sim \phi 4$ mm, 深达 40 ~ 50mm。

3. 材料及焊接工艺分析

(1) 对 14mm、12mm 的母材化学成分分析 10 组, 发现 3[#]、4[#]、8[#]试样硅含量超标, 6[#]试样锰含量不足, 7[#]、9[#]试样碳含量超标, 其余正常, 说明母材成分有偏析现象, 且 14mm、12mm 钢板平整度表现较差, 锈蚀较严重。

(2) 对 EG—3、 $\phi 1.6$ mm 药芯焊丝的熔敷金属化学成分分析, C、S、P、Mn、Si 含量均在允许范围内。采用原 14mm、12mm 钢板的板头在试验室用 CO₂ 半自动焊模拟焊接试件 5 组, 焊接 3 组试件未见异常, 2 组加入微量 S 或 P 元素后均有裂纹出现, 说明焊丝合格但该工艺对母材硫含量较敏感。

(3) 焊接机具及焊接参数均按评定合格参数进行且前两圈 (18mm、14mm) 焊接正常, 说明设备完好, 焊接参数正确。

4. 横向裂纹产生原因的分析、返修及预防措施

(1) 原因分析 在储罐焊接过程中易出现沿焊缝中心的纵向裂纹, 但发生横向裂纹较少, 一般碳钢和低合金钢焊接裂纹可分为热裂纹与冷裂纹, 易发生位置如附表所示。从现场开裂表现及储罐立缝组对时用背杠加固拘束度大等特点, 初步判断产生的横向裂纹为热裂纹中的结晶裂纹。

裂纹类型及易出现的部位

	裂纹类型	裂纹出现的位置
热裂纹	结晶裂纹	焊缝上，少量在热影响区
	多边化裂纹	热影响区及多层焊层间
	高温液化裂纹	热影响区及多层焊层间
冷裂纹	延迟裂纹	热影响区，少量在焊缝上
	淬硬脆化裂纹	热影响区，少量在焊缝上
	低塑性脆化裂纹	热影响区，少量在焊缝上

由于碳钢与低合金钢中 S、P、Si 含量高时易产生低熔点共晶物，排列在晶界处形成“液态薄膜”薄弱带（内因），在拉伸应力作用下开裂形成结晶裂纹（外因）。如前述的板材化学成分分析除个别部位 C、S、Si 含量偏高外，其他基本正常；为排除焊材影响，我们对该焊材采用 16mm 钢板采用原工艺进行焊接试验未发现横向裂纹；而且出现缺陷部位集中的 12mm、14mm 板材平整度较差，外观腐蚀较严重的钢板焊缝上，进一步分析与现场操作焊工交流后，认定出现上述缺陷主要是由下列三种因素共同作用形成的：①铜滑块不均匀上升，有急剧跳动现象，引起焊接金属凝固过程中先冷部分与后冷部分间过大的机械拉伸应力（类似于用脚搓推泥巴）开裂造成立缝的横向裂纹。②焊丝距铜滑块太近，造成排渣不畅，形成夹渣。③14mm、12mm 钢板中个别板局部化学成分偏析，C、S、Si 含量偏高。

（2）返修及预防措施 第一，在对母材、焊材及焊接工艺分析基础上制定返修方案，首先对第 3～4 圈所有立缝进行 100% UT 检测，并用 100% RT 进行复检，对发现裂纹的焊缝用焊条电弧焊返修，返修后进行 X 射线拍片检测。对 1～2 圈壁立缝进行全面外观检查并在原抽检基础上进行 20% UT 检查，检查后未发现横向裂纹缺陷。按上述方案返修合格，对储罐继续充水试漏，静置 24h 后，未发现渗漏现象，再次将水位排至第 3 圈板以下，对上述 4 道焊缝进行 100% 的 UT 和 20% RT 检测均未发现缺陷。

第二，铜滑块卡、涩、急剧跳动是由板材表面不平引起的，因此焊接前应检查铜滑块经过板面，不得有飞溅等影响滑动的东西，尤其对较薄板材应校平或打磨消除影响滑动的其他因素。2005 年在另一储罐制安工程中因机头轨道（齿条）局部磨损造成机头在此处打滑现象，当焊工手工扶持通过此处后在相应焊接部位再次出现严重的横向裂纹也证明

上述分析是正确的。气电立焊焊机机架悬挂在钢板上部局部加载造成薄板曲屈变形（设备标称可焊 10mm 板，但对 12mm、14mm 已接近下限），造成铜滑块滑动受阻。当焊接热输入较大时，液固二相区存在时间相对厚板要长一些，增加了产生热裂纹的倾向，也是造成横向裂纹缺陷的主要原因之一，因此对于正装法施工采用气电立焊焊接立缝时，壁板的最薄厚度应≥12mm，宜为 14mm 以上。对于低于上述厚度的储罐施工采用气电立焊时可考虑用倒装法施工，焊机机架不悬挂在罐壁板上，而是在地面上设置其固定机构，避免焊接机架太重引起薄板曲屈变形。

第三，焊丝在坡口内摆幅通常为 $\delta = 10 \sim 12\text{mm}$ （ δ 为板厚，因设备定型后铜垫板及铜滑块尺寸确定，故摆幅应按板厚进行相应调整），在 V 形坡口摆至最前端 A 距滑动铜块以 4～6mm 较合适，若 <4mm，则会因脱渣困难而出现表面夹渣裂纹，甚至损坏铜滑块现象，如图 1 所示。

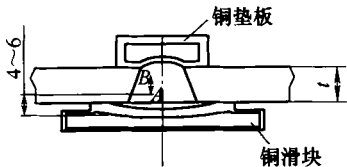


图 1 焊丝坡口中位置的剖面

第四，恰当选择焊材，控制母材 S、P 等含量符合设计标准要求，采用较小的组装拘束背杠，焊前预热至 120～150℃，以减少焊缝熔敷金属变形率是防止焊缝结晶裂纹的有效措施。

第五，本项目后期通过对板材局部打磨、对板材进行精确切割、精确调整焊丝与滑块距离，消除滑块卡阻现象，进行两个储罐第 5 圈 12mm 板焊接时，经检验再未出现上述横向裂纹现象，有效地保证了焊接质量。

5. 柱状气孔缺陷产生原因的分析、返修及预防措施

（1）原因分析 ①保护气体 CO₂ 纯度不够，气体中所含水分超标。②气体流量不稳定，过大或过小。③金属熔池位置不合适，焊工为加快焊接速度在对 14mm、12mm 焊接时采用了与 16mm 板相同的焊接速度及匹配电流，造成熔池过高。④焊丝干伸长度不合理。⑤储罐焊接时正值雨季，铜垫板漏水

或水溅在坡口内，玻璃布潮湿，坡口内附着水汽。

(2) 返修及预防措施 ①对已发现柱状气孔处采用焊条电弧焊返修，按设备厂家提供的参数进一步对 14mm、12mm 板调整气体流量及熔池位置参数，试焊合格后用于正式焊接。经对上述参数调整并应用于后期立缝焊接，上述柱状气孔再未出现。②加强 CO₂ 气体入场检验，CO₂ 气体的纯度应 > 99.5%，含水量 < 0.005%。为了减少 CO₂ 气体的含水量，使用前将 CO₂ 气瓶倒置 4 ~ 5h，并排水 3 ~ 4 次。③调整合理的气体流量和保证气流的稳定。气体流量小保护不全，流量过大形成涡流易使空气进入，造成熔池侧吹形成柱状气孔。通过试验，气体压力应控制在 0.3MPa，流量控制在 30 ~ 50L/min 为宜。④熔池表面与铜滑块气道下沿相对位置应控制在 5 ~ 10mm，熔池过低 CO₂ 很难实施保护，过高易堵塞气体通道，如图 2 所示。⑤调整焊丝合理的干伸长度，导电嘴与铜滑块上端相对位置控制应在 10 ~ 15mm。⑥施工时应特别注意观察铜垫板，防止铜垫板处发生漏水，并随时注意焊缝处是否潮湿，发现潮湿后应立即烘烤除湿。

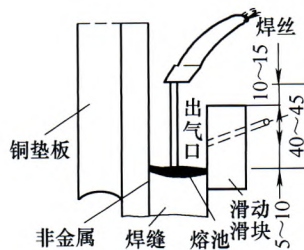


图2 立焊时熔池与各部分位置

6. 结语

在储罐焊接过程中，我们往往对其他焊接参数关注较多，但对设备适应壁板厚度、平整度方面以及焊接设备各部件相对位置参数等重视不够，因此在分析焊缝缺陷时不仅要从母材、焊接材料、电流电压及热输入等焊接参数分析，对宏观缺陷尚应从外部施加的机械外力因素考虑对缺陷形成机理的影响。

由于注意到上述缺陷成因，通过有效的整改和预防措施，保证了这两个罐最终的质量合格，目前已运行 8 年，情况良好。同时我们针对新建储罐工程中焊接设备对不同板厚的适用性进行分析优化，在后期制作的 15 个 5 万 ~ 10 万 m³ 储罐中再未出现上述现象。MW (20120218)

(上接第 37 页)

率为 21%。最后我们选择 E501T—1M 药芯焊丝。18Cr2Ni4WA 与 Q345B、E501T—1M 的力学性能如表 2 所示。

表 2 力学性能

牌号	R_m /MPa	R_{eL} /MPa	A (%)	A_{kv} /J
Q345B	450 ~ 600	≥265	≥17	≥27
18Cr2Ni4WA	≥1180	≥835	≥7	≥66
E501T—1M	≥480	≥400	≥22	≥27 (-20℃)

4. 焊接工艺

(1) 焊前准备 焊前对 18Cr2Ni4WA 锻件进行了超声波检测，坡口经渗透检测无缺陷。CO₂ 气体纯度为 99.9%，φ1.2mm 焊丝，焊丝表面必须清洁。除去工件所焊表面及距焊缝 20mm 内所有杂质及油污、残留物等，距焊缝 100mm 范围内用煤气均匀预热 150℃ 左右。

(2) 焊接参数 焊接过程中，控制热输入，采用多层多道焊，电流种类和极性采用直流反接，气

体流量为 16L/min，干伸长度为 14mm。焊接过程中保持预热温度，焊道间温度控制在 150℃ 左右。焊接参数如表 3 所示。焊后立即进行 2h，250 ~ 300℃ 的后热处理。

表 3 焊接参数

焊缝层 /道	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm · min ⁻¹
1	180 ~ 200	22 ~ 24	400 ~ 440
2	200 ~ 220	24 ~ 26	420 ~ 460
3	200 ~ 220	24 ~ 26	400 ~ 440
4	200 ~ 220	24 ~ 26	400 ~ 440

(3) 焊后检测 焊后进行超声波、磁粉检测，焊接接头未出现裂纹、夹渣等缺陷。

5. 结语

对 18Cr2Ni4WA 与 Q345B 的焊接，我们所选的焊接方法、焊接材料、工艺参数是合理的，只要预热、后热的参数选择得当，控制好焊道间温度、焊接热输入，可以有效地防止冷裂纹倾向，获得优良的焊接接头。MW (20120403)