

# L1150 装载机大臂焊修工艺研究

张晓峰 贺栋<sup>通讯作者</sup>

(中煤平朔集团有限公司露天设备维修中心 山西 朔州 036006)

**摘要:** 本文在分析 L1150 装载机大臂结构及裂纹探伤结果的基础上, 针对裂纹结构以及大臂母材材质和裂纹分布情况提出了对大臂焊修的工艺, 分别从焊接参数、焊接工艺、层间温度以及焊接后热处理角度进行了分析研究, 保证了大臂焊修后的焊接质量以及整个大臂的运行效果。

**关键词:** L1150 装载机; 大臂; 焊修; 工艺

## 0 引言

该公司现有 5 台美国勒图尔勒公司 L1150 装载机服务于露天矿出煤生产任务, 自 2011 年投入以来, 已连续运行超过 10 年, 累计工作超过 60000 余小时。各类重要工作部件已陆陆续续进行了周转性的更换维修。大臂、前后车架等几大结构件一直是沿用整机原装件已经是超限服役使用, 尤其大臂作为装载机装置中重要的高应力承载和工作连接构件, 受力载荷大, 工作强度高, 已经严重影响到设备的安全使用和生产效益。本文现场经过对大臂焊修工艺规程研究与探讨制定焊修焊接工艺规程后对其进行修复, 通过提高焊接质量和消除结构尺寸变形, 恢复了大臂构件的原设计性能, 满足现场使用需求。

## 1 大臂结构和探伤结果

L1150 装载机整机工作质量是 140t, 铲斗斗容是 20m<sup>3</sup>。大臂自重 16 吨, 由两块高抗拉强度、高屈服强度的厚达 125mm 钢板和中间铸钢件材质的转矩管连接组合焊接而成。大臂前部通过销孔与铲斗连接, 中部转矩管连接位于左、右两侧的厚钢板, 后部通过焊接组合而成的球窝连接前车架完成整机的铲运、举升装卸的动作。左、右大臂的厚钢板作为单体的钢板母材是承载力的主要担当, 转矩管为原始设计在中部为摇臂提供工作基础, 也为左、右两侧大臂的转矩力提供承载, 为大臂的中心受力部位。

### 1.1 清理和探伤检查

修复前需对大臂结构所有表面堆积的残留油污、泥土、煤尘进行清理, 显现出构件原始的轮廓状态及外表。做好对大臂连接球窝、油缸、摇臂、铲斗连接的销孔机加工装配面保护, 对整体结构表面进行喷砂处理。通过目视检测 (VT)、磁粉检验 (MT) 或着色渗透检测 (PT) 等无损检测 (NDE) 确定缺陷的程度。100% 目视检查

两侧厚钢板与转矩管、球窝铸钢件组成的所有结构焊缝、母材是否存在裂纹。经探伤检查, 发现左右大臂钢板母材及中部转矩管区域存在可疑区域, 则对所有这些区域进行磁粉探伤或着色渗透探伤, 焊缝符合 AWS D14.4 三级标准。左、右大臂中部厚钢板母材裂纹, 裂纹贯穿整个钢板厚度, 深度达到 50 ~ 200mm。转矩管位置焊缝和母材也存在裂纹, 最严重的一处是在开孔位置以下的 125mm 厚钢板全部贯穿裂通, 深度达 500mm。焊缝两侧的厚钢板也存在错位偏差, 经测量最大错位量达到 2mm。需要对厚钢板母材进行裂纹焊修修复, 错位进行校平。对检查出的裂纹位置和长度进行标记并进行焊修评估。

### 1.2 大臂焊修变形和质量控制

如果裂纹超过 150mm, 则需要支撑管, 以确保气刨裂纹后大臂结构变形移动, 造成尺寸超差。裂纹位于左、右大臂中部厚钢板母材上, 左右两球窝, 转矩筒之间的区域, 则应放置一个直径至少为 75mm 的厚壁管道加劲肋, 小摇臂耳座裂纹的焊修之前也应当在两耳朵之间加装加劲管子来预防两耳座之间的开档尺寸变形超差。焊接前必须确认加劲管尺寸, 将裂纹贯穿后产生的钢板母材错位使用千斤顶辅助至平齐后, 加劲管在大臂开档内能够紧密配合装配, 将管焊接到位。检查关键部位的参考尺寸并标记所选位置, 以便焊修完成后再次测量校准。

## 2 大臂焊修工艺流程分析

根据探伤结果报告发现的大臂裂纹所在位置, 经过评估和使用, 为满足大臂结构的原始设计和装载机使用性能要求, 制定裂纹焊修工艺。焊修工艺根据左右大臂高强度厚钢板、转矩管铸钢件、球窝铸钢件的材质, 连接部位和形式采用不同的焊接方法、坡口形式及其相应的焊接材料、焊接参数、焊接顺序、焊接技术、温度控制和后热处理等焊接规范要求整理编制。

### 2.1 左、右大臂厚钢板、球窝和转矩管铸钢件材料分析

由于装载机大臂在铲运和举升工作过程中的受力复杂、载荷高，全部属于高强度钢板材料。考虑大臂动作过程中受到的高抗拉、高抗扭、高屈服多种重载荷的叠加和材质的可焊接性，需要对大臂的各种材料进行科学分析。通过光谱实验对材质的检查分析结果，得出大臂厚钢板基本和低碳多元素低合金调质型高强度钢 A514 相符合。这种钢板主要是用在高抗拉、高抗扭、屈服强度高的构件，它的硬度在 235 ~ 290HBW，屈服强度大于 690MPa，抗拉强度在 700MPa 以上。球窝和转矩管基本和屈服强度高的低合金铸钢 A487 相符合，它的硬度在 207 ~ 235HBW，最低抗拉强度为 655MPa，最低屈服极限为 517MPa。

### 2.2 裂纹的去除

采用碳弧气刨的方式去除裂纹，应连续完成。裂纹在进行任何切割或碳弧气刨之前，确保该区域清洁干燥。将裂纹周围区域预热至最低 121℃，最高 177℃。预热各方向距离裂缝至少 225mm 的区域。在整个裂纹消除过程中，必须保持至少 121℃ 的预热。如果裂纹长度超过 150mm，则从结构另一侧进行加热，使整个裂纹去除区域均匀加热。用碳弧气刨去除裂纹，直至去除。气刨完成后，用磁粉 (MT) 检测该区域，以确保整个裂缝已清除。如裂纹贯穿母材整个厚度方向，可以采取双面 V 型坡口或 U 型坡口，注意背部打底焊道的清根及气刨深度控制在母材厚度的 1/3 ~ 1/2，控制单面焊接过深引起的变形和焊接应力难以消除。当空间受限时需采取单面 45° V 型坡口，根部间隙 4 ~ 8mm，加钢衬垫或陶瓷衬垫焊接。打磨整个气刨坡口区域 (100%)，使钢材无任何熔渣和积碳，完全露出金属光泽。

### 2.3 填充金属级别匹配选择

根据大臂厚钢板、球窝、转矩管母材级别和填充金属技术级别匹配要求，可焊性等选择使用的碳钢和低合金钢焊条、焊丝。焊条 E7018、E8018 和药芯焊丝 E71T、E81T 有良好的低温冲击韧性，抗裂性能好，抗拉强度 550 ~ 690MPa，可全位置焊接。选用药芯焊丝直径尺寸为 1.2mm 或 1.6mm，保护气体使用

75%Ar+25%CO<sub>2</sub>。焊条直径尺寸的选用原则为：一般 3.2mm 用于根部打底焊，4.0mm 用于填充和完工盖面焊道。

### 2.4 焊接参数的选择

(1) 焊接电流的选择应考虑材料、板厚、焊丝直径、焊接位置。焊接电流越大，熔敷速度越快，熔深越大，焊缝易烧穿，产生裂纹，工件变形大，残余应力大，飞溅多；焊接电流过小，易产生未焊透、未熔合、夹杂、成形不良。

(2) 为保证焊缝成形良好，应选择电弧电压与焊接电流配合适当。焊接电压过高电弧稳定差，飞溅大，焊丝爆断，甚至无法焊接；焊接电压过小，熔深浅，熔宽窄小，余高 H 高，焊缝成形差。

(3) 焊接速度的快慢对焊缝的成形及焊接缺陷有重要的影响。焊接速度过快，出现咬边、下陷、气孔、未熔合、气体保护效果差；焊接速度过慢，熔敷金属堆积在电弧下方，熔深小，产生焊缝不均，未熔合，未焊透。焊修焊接参数见下表。

### 2.5 焊接工艺和技术要求

将根部焊道焊接至裂纹区域底部的整个长度，用打渣器或空气凿子清除根部焊道的熔渣，并采用热干磁粉进行检测，确保根部焊道无裂纹。如果发现裂纹，应挖出根部，用打磨机打磨光滑并重新焊接。对于多道焊缝，错开每个焊道的起点和终点。垂直焊接中所有焊道的方向都应是直立向上，采用对最终焊道边缘进行补焊的方式来平滑过渡释放焊趾处的焊接应力。为尽量减少 HAZ (热影响区)，需要将焊道 1 与母材焊接在焊缝边缘，焊道 2 与焊道 1 重叠 50%，焊道 3 与焊道 2 重叠 50%，如图示。

### 2.6 预热制作高质量焊修的基本因素

预热起始点周围区域的母材温度在空气电弧材料移除或焊接开始前立即进行焊接。预热不仅仅是焊接前母材的温度。它包含焊接前获得、焊接期间保持和焊接后热处理。在可能的情况下，在焊接区域的另一侧进行预热，以确保温度能够传透钢板厚度。应使用测温笔或红外测温枪来检查焊修部位的温度。预热热量由外部热源提供。预热可采用多种方式。大臂高强度厚钢板的修复

表 焊修焊接参数

焊接方法	填充金属	直径 /mm	极性	电流 A	电压 V	焊接速度 / (mm/min)	焊接位置
药芯气体保护焊	E71T-1	1.6	直流反接	280 ~ 340	22 ~ 26	200 ~ 300	平焊、横焊
药芯气体保护焊	E71T-1	1.2	直流反接	210 ~ 280	23 ~ 25	200 ~ 300	平焊、横焊
药芯气体保护焊	E71T-1	1.6	直流反接	185 ~ 225	21 ~ 24	175 ~ 250	立焊
药芯气体保护焊	E71T-1	1.2	直流反接	155 ~ 235	21 ~ 23	175 ~ 251	立焊
焊条	E8018	3.2	直流反接	90 ~ 160	19 ~ 21	125 ~ 200	全位置
焊条	E8018	4.0	直流反接	130 ~ 220	19 ~ 21	125 ~ 201	全位置

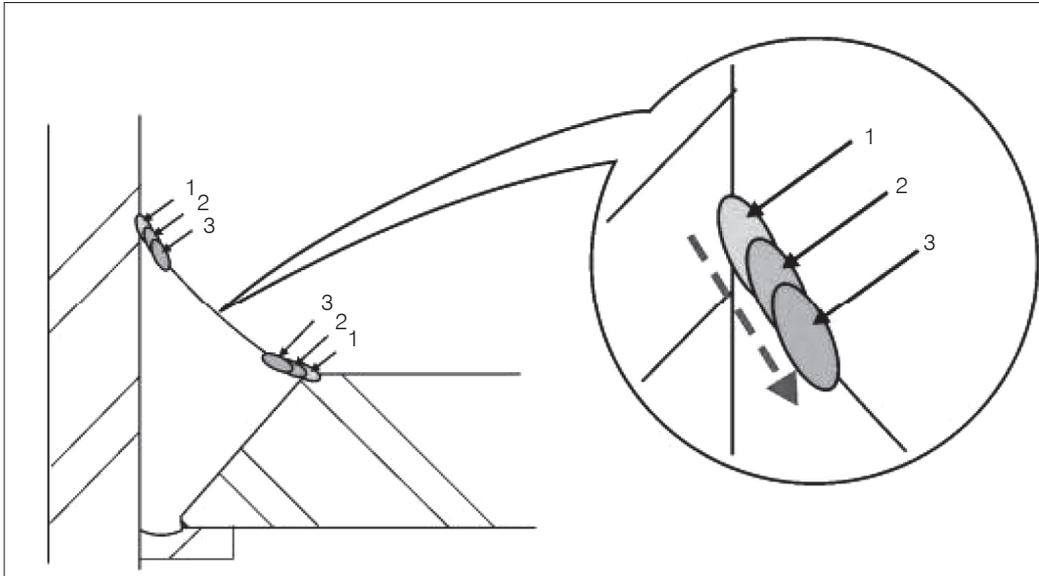


图 焊接工艺顺序示意图

焊接区域最低预热温度应保持在至少 152℃。转矩筒铸钢件和铸钢件球窝的修复的焊接区域最低预热温度应保持在至少 228℃。

### 2.7 层间温度是保证高质量焊缝的关键因素

层间温度定义为焊接产生的基材温度，过程热量由焊接过程提供。层间温度焊接过程应使用温度蜡笔在距离 76mm 处检查层间温度每个连续焊道之间的焊缝。如果层间温度超过最大值，然后必须停止焊接过程，直到温度降至正确的范围。焊接的温度应保持在预热温度以上且保持低于层间温度。通用温度范围：(1) 大臂高强度厚钢板的预热和层间温度为 149 ~ 232℃；(2) 大臂铸钢件转矩筒和球窝的预热和层间温度 177 ~ 260℃。

### 2.8 后热处理控制是高质量焊修的保证

将焊修范围内的 152mm 所有方向区域温度升高至 260℃。一旦温度在该范围内保持温度至少 1h 结束后，用保温层覆盖焊接区域，让焊件缓慢冷却至环境温度。监测温度下降速率。冷却速度至关重要。冷却速度过快可能导致裂纹。前 2 个小时的最大降温速率为 28℃/h。之后的最大降温速率为 56℃/h，直至降至环境温度。

### 2.9 焊修焊缝的目视检查

应进行 100% 目视检查。不允许有裂纹，焊趾处平滑过渡，咬边深度不能超过 0.25mm，并进行打磨过渡。焊缝的凹凸度要求、焊角尺寸大小的测量，需要满足设计要求。

### 2.10 最终清理和检查

待焊修焊缝完全冷却至室温后，将管焊缝周围区域预热至最低 121℃，最高 177℃。预热距离焊缝至少 75mm 的区域。用电弧空气清除焊缝拆下支撑加劲管，

并将焊缝区域打磨光滑，磁粉探伤检测确认没有裂纹等缺陷产生。重新复核检测大臂开档尺寸，以确认臂没有变形。

### 2.11 完工验收

最终焊缝检查焊接完成并冷却 48h (至少) 后，应按照以下步骤进行检查：(1) 根据 AWS 对所有焊修区域进行 100% 目视检查，要求达到三级标准；(2) 根据 AWS D14.4 对所有焊修区域进行磁粉检测或着色渗透检测三级标

准；(3) 超声波 - 需要对焊修焊缝进行超声波探伤检测 (UT)，要求修复区域母材内部没有缺陷存在。

## 3 结语

焊修后的装载机大臂未出现再次开裂，设备满足生产需求，能够正常使用。证明所制定的大臂焊修工艺规程是完全可行的。

L1150 装载机的大臂裂纹焊修工艺规程的探讨制定，不但解决了裂纹频繁出现、重复焊修造成的长时间停机的问题，而且延长了原装结构件的使用寿命，节约了焊修成本，为公司带来了一定的经济效益。

### 参考文献：

- [1] 程守磊. 装载机前车架焊接工艺改进探究 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 B, 2016(3): 252.
- [2] 栗飞, 关松. L-1350 前装机大臂焊接工艺及技术分析 [J]. 露天采矿技术, 2019, 34(5): 123-125.
- [3] 李东. 大型冶金设备焊接检修方案的分析与探讨 [J]. 焊接技术, 1999(6): 18-19.
- [4] 杨国华, 闫晓东, 黄敏坚. 大型挖掘机推压轴焊接修复工艺研究 [C]// 中国兵工学会焊接专业委员会年会. 1999.

**作者简介：**张晓峰 (1975-)，男，汉族，山西朔州人，硕士研究生，高级工程师，研究方向：露天采矿设备的管理及维修。

**通讯作者：**贺栋 (1983-)，男，汉族，山西朔州人，硕士研究生，高级工程师，研究方向：露天设备管理及维修。