

# 830E电动轮自卸矿卡主机架开裂维修工艺研究

马志强 赵宇 宋春东 李鹏飞

国能北电胜利能源有限公司 内蒙古 锡林郭勒盟 026000

**摘要:** 本文针对830E电动轮自卸矿卡主机架因复杂工况导致的开裂问题,结合现场的维修实践,系统分析了产生裂纹分布的特征与成因,因此提出了开窗口工艺及精细化焊接的维修最佳方案。据研究表明,该工艺通过消除应力集中、去除疲劳母材及控制焊接质量,有效恢复了主机架性能,为矿山设备维修提供了工程范例。

**关键词:** 830E矿卡; 主机架; 开裂维修; 开窗口工艺; 焊接工艺

## 引言

据统计,露天矿用卡车主机架开裂故障占比达34%,其中830E车型因超载频繁(载荷超设计值15%~20%)<sup>[1]</sup>,开裂风险显著。现有研究多聚焦于局部补焊,但对密集贯穿性裂纹修复效果有限。本文创新性提出“开窗口”去应力焊接修复工艺,通过结构重组与应力再分布实现了长效修复。

## 1 主机架开裂失效特征与原因分析

### 1.1 主机架开裂机理研究进展

现有研究表明,矿卡主机架开裂主要由高周疲劳驱动,裂纹扩展速率(通常指疲劳裂纹扩展速率)与应力强度因子范围( $\Delta K$ )之间确实存在幂律关系,这一关系由著名的Paris公式(或Paris定律)描述:如公式1-1所示

$$C(\Delta K)^m = \frac{da}{dN}$$

其中: $\frac{da}{dN}$ 为裂纹扩展速率,表示每个循环载荷裂纹长度 $a$ 的增长率,单位为mm/每次循环载荷; $\Delta K$ 为应力强度因子,表示一个载荷循环中应力强度因子最大最小值之差,这是疲劳驱动裂纹拓展的主要力学参量, $C$ 和 $m$ 为材料常数,也称为Paris常数,与材料本身性质有关系, $N$ 为载荷循环次数。

### 1.2 现有维修技术对比

传统挖补焊易导致热影响区交叠,残余应力残留率达40%;而开窗口法通过移除疲劳母材可降低应力集中<sup>[2]</sup>,减低应力强度因子 $\Delta K$ ,从根本上降低裂纹拓展速率。

### 1.3 开裂失效概况

在工程应用中,矿用卡车主机架由主梁、元宝梁、举升缸底座等部件组成。以胜利露天矿8号车为例,累计开裂43处,主要集中在柴油箱/液压油箱挂耳、举升缸底座及元宝梁连接处(具体位置如图1所示)。从图1中可以看出,典型裂纹长度超20cm,气刨后,部分区域呈贯穿性开裂,母材完全裂透,表明裂纹已贯穿厚度方向。

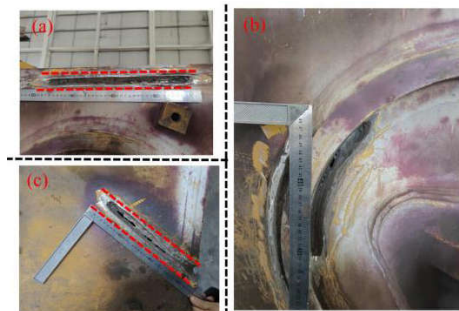


图1 a后液压油箱挂耳上部; b后液压油箱挂耳裂纹; c 压油箱后下方部腹板;

该主机架有6处裂纹满足“焊缝密集、多次焊修、上下腹板开裂”等特征,需要进行开窗口处理,所开窗口尺寸大于15cm,彻底囊括裂纹以减少应力集中。

### 1.4 基于Ansys模拟的开裂原因分析

## 2 交变载荷下的疲劳断裂

如图2a所示,柴油箱挂耳在交变载荷下存在显著应力集中,最大变形 $2.6 \times 10^{-3} \text{mm}$ ,等效应力峰值与实际开裂位置吻合。如图2(b)所示,为830E转向缸断裂截面,可以看到疲劳裂纹源区域及裂纹拓展区域,呈现典型疲劳断裂特征,证实高周疲劳是导致设备开裂失效的主要原因。

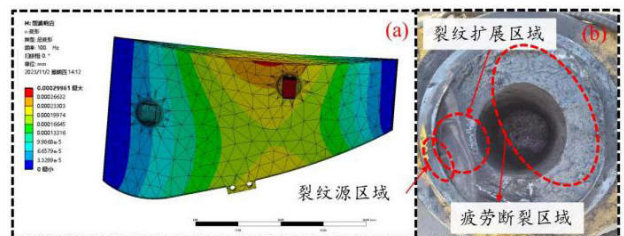


图2 (a)交变载荷下小松830E卡车柴油箱挂耳变形云图; (b)疲劳断裂截面

### 2.1 结构应力集中与应变能驱动

如图3所示,在A、B两点位置(即举升缸底座与元宝

梁的连接区域)存在显著的局部应变能集聚现象。这些高度集中的弹性应变能,作为裂纹萌生与扩展的核心驱动力,会显著加速该区域疲劳裂纹的萌生过程并驱动其

后续的快速扩展,从而极大地削弱结构件的疲劳寿命与承载能力。

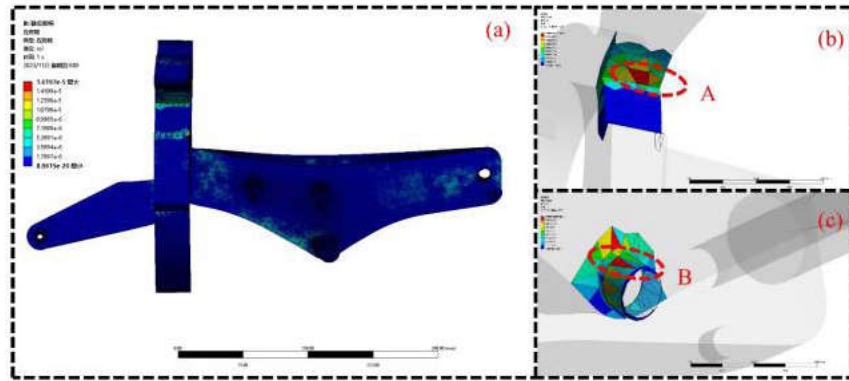


图3 830E卡车主机架应变能云图 a 主机架主体; b 平台支撑梁; c 举升缸底座

## 2.2 超载与焊接缺陷

在矿山实际作业场景中,设备频繁承受超出设计载荷限值的超载工况。这种持续的过载运行状态,叠加举升缸底座与元宝梁连接处焊缝密集区本身具有的制造缺陷——包括热影响区(HAZ)组织劣化(晶粒粗大)及明显的焊后残余应力集中,显著加剧了该关键连接部位的疲劳开裂风险。

## 3 主机架维修工艺设计与实施

### 3.1 开窗口工艺规范

#### 3.1.1 工艺原理与设计准则

当裂纹间距  $< 15\text{cm}$  时,采用开窗口工艺避免焊后热影响区交叠导致应力集中。窗口设计遵循:形状与尺寸:优先矩形,四边  $\geq 15\text{cm}$ ,圆角过渡(具体如图4a所示);贯穿型裂纹采用梯形窗口,长边置于受力较大的下方,上边  $\geq 30\text{cm}$ ,下边  $> 30\text{cm}$ (具体如图4b)。

避让原则:窗口需避让关键结构焊缝,如右侧主梁与元宝梁连接处窗口调整下腹板切割路径(具体如图4c)。

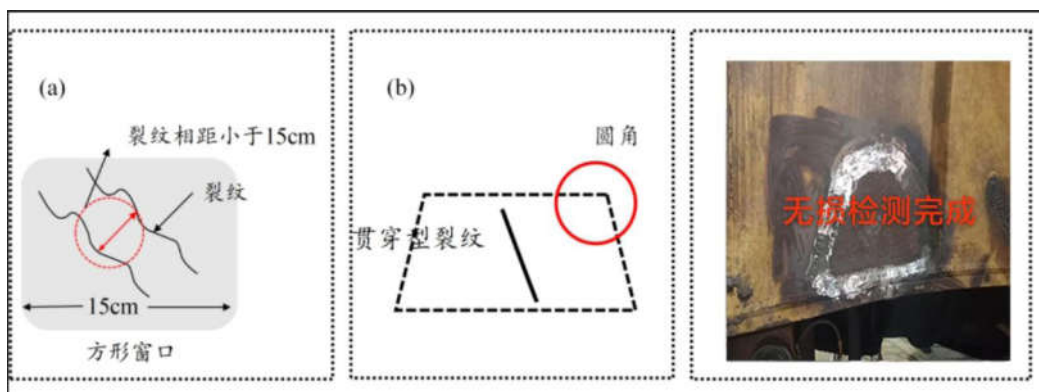


图4 a密集裂纹开窗口示意图; b贯穿型裂纹开窗口示意图; c窗口实例图

#### 3.1.2 实施流程

画窗口:根据实际情况,采用石笔在开裂部位画出窗口形状,保证

气割开窗:按设计尺寸切割,确保裂纹完全包含在内;

打磨清理:去除窗口内外边缘氧化铁、毛刺,为衬板安装提供平整界面(如图5a所示);

衬板装配与焊接:采用氧乙炔气割下料,点焊定位

后,沿窗口边缘实施连续焊接(如图5b所示)。

## 3.2 气刨与焊接工艺要点

### 3.2.1 气刨工艺

彻底刨除裂纹及缺陷,直至刨穿母材,坡口宽度与板厚(20-25mm)一致,长度超出裂纹两端各20mm(如图5c所示);窗口侧面坡口需焊后清根,避免背部夹渣。

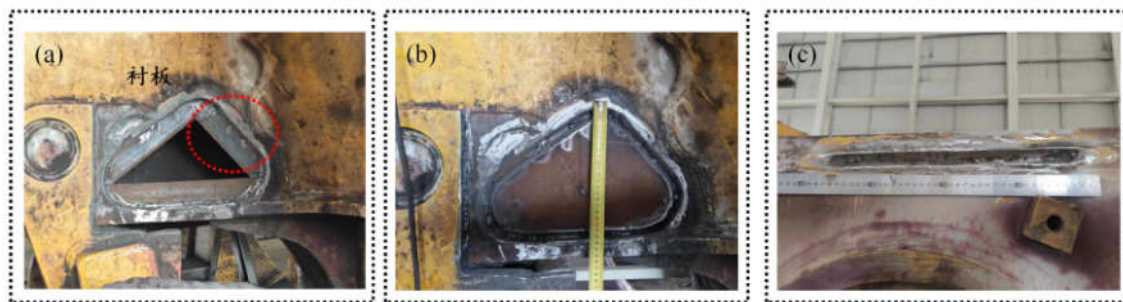


图5 a衬板安装工艺；b窗口闭合现场图；c无损检测现场

### 3.2.2 焊接工艺

材料选择：7018-1H4R 碱性焊条（韧性好、抗裂性强）；

参数控制：打底焊厚度2-3mm，填充焊4mm，多道焊重叠上一道 1/3，单道熔池宽度  $\leq 12\text{mm}$ （3.2mm 焊条）或  $\leq 18\text{mm}$ （4mm 焊条）；

焊后处理：气锤震动去应力，角磨机打磨焊缝余高至与母材齐平。

### 3.3 焊后质量检测

采用着色渗透探伤检测，在无损检测前对焊缝表面进行预处理，去除油污、杂质，露出金属光泽。预处理结束后，进行渗透剂喷涂处理，保证焊缝被渗透剂完全覆盖，且渗透时间不得少于5min；渗透结束后，去除多余渗透剂，进行干燥处理。干燥后施加显像剂，显像时间为约为7min。

### 4 维修效果与工程应用价值

通过开窗口工艺消除应力集中、精细化焊接控制质量，维修后主机架经6个月跟踪验证，未出现二次开裂，

设备出勤率提升15%，维修成本降低20%。该工艺体系为同类矿山设备的高效修复提供了可复制的技术方案，契合“节能、环保、延长设备寿命”的维修准则。

### 结束语

830E主机架开裂主要由交变载荷疲劳、结构应力集中及超载引起，裂纹集中于柴油箱挂耳、举升缸底座等应力峰值区。开窗口工艺及标准化焊接构成的维修方案，有效修复开裂主机架设备，具备显著的工程应用价值。

### 参考文献

- [1]中国矿业协会. 露天矿卡车主机架开裂故障年度报告[R]. 北京: 中国矿业出版社, 2023.
- [2]张继. 大型矿用自卸卡车主梁焊接修复工艺的应用[J]. 煤矿机械, 2016, 37(12): 89-93
- [3]马鑫. 大型电动轮自卸矿车防举斗行车装置的研究与应用[J]. 中国金属通报, 2022, (11): 120-122.
- [4]高志强. 电传动自卸车结构强度分析与疲劳寿命计算[D]. 吉林大学, 2025. DOI: 10.27162/d.cnki.gjlin. 2025.001698.