

# 10 kV 输电线路抱箍断裂事故原因分析

李亮, 包艳蓉, 马利立, 马瑞

(宁夏电力能源科技有限公司, 宁夏 银川 750011)

**摘要:** 针对10 kV输电线路运行中发生的抱箍断裂事故,采取宏观检查、化学成分、金相组织、力学性能检测方法,分析造成断裂的原因并提出改进措施。分析结果表明:由于抱箍母材中存在网状的三次渗碳体,易发生脆性断裂,抱箍加劲板焊缝处又存在未焊透缺陷,运行中在弯曲应力的作用下形成应力集中,导致未焊透处开裂,最终发生了脆性断裂。

**关键词:** 抱箍; 断裂; 焊接缺陷; 韧性

**中图分类号:** TG113.25 **文献标志码:** B **文章编号:** 1672-3643(2016)04-0069-04

**有效访问地址:** <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2016.04.014>

## Cause analysis on hoop fracture accident on 10 kV power transmission line

LI Liang, BAO Yanrong, MA Lili, MA Rui

(Ningxia Power Energy Resource Science & Technology Ltd., Yinchuan Ningxia 750011, China)

**Abstract:** Aiming at the accident of hoop fracture happened in the operation of 10 kV power transmission line, by the methods of macroscopic inspection, chemical composition test, metallographic test and mechanical property test, analyzes the fracture causes and puts forward improvement measure. The analysis result shows that due to netlike tertiary cementite existed in the material of hoop, brittle fracture take place easy, and the weld lack of penetration defect existed on the stiffening plate of hoop, forms stress concentration under the action of bending stress, led to the place of weld lack of penetration to occur crack, eventually causes the brittle fracture.

**Key words:** hoop; fracture; welding defect; toughness

**DOI:** 10.3969/j.issn.1672-3643.2016.04.014

2016年2月18日,在对宁夏地区某10 kV输电线路进行检查时,发现一拉线抱箍发生断裂现象。断裂抱箍设计材质为Q235B,直径190 mm,厚度8 mm,宽度80 mm。

抱箍是拉线的铁附件,主要作用是用一种材

料抱住或箍住另一种材料,属于紧固件。它广泛地应用于各个领域,种类较多<sup>[1-3]</sup>,此次发生断裂的抱箍是用于输电线路的拉线抱箍<sup>[4]</sup>,由左右两片呈半圆环状的抱箍对合后连接而成,其一端用螺栓连接,另一端靠螺栓及连接板与拉线连接,从

收稿日期: 2016-05-15

作者简介: 李亮(1980),男,工程师,主要从事金属检测试验研究工作。

而起到固定作用。

## 1 检测实验

### 1.1 宏观断口检查

对送检的断裂抱箍进行宏观检查,从图1可以看出,2片抱箍中的1片在靠近抱箍无拉线的一端发生断裂。从图2、图3可以看出,抱箍断口平整,表面呈金属光泽的结晶状态,未见明显塑性变形,呈脆性断裂特征,断口在靠近加劲板焊缝处存在未焊透缺陷,断口从未焊透位置贯穿整个抱箍,对送检式样进行表面观察没有发现裂纹、气孔、机械损伤等其他外观缺陷。



图1 断裂抱箍现场



图2 断口宏观形貌



图3 断裂抱箍

### 1.2 化学成分分析

对发生断裂的抱箍送检样品进行了化学成分分析。由表1检测结果可见抱箍化学成分符合相关标准<sup>[5]</sup>对Q235B钢的技术要求。

表1 断裂抱箍化学成分检测结果

项目	C/%	Si/%	Mn/%	P/%	S/%
GB/T 700-2006 技术要求	≤0.20	≤0.35	≤1.40	≤0.045	≤0.045
检测值	0.11	0.04	0.33	0.022	0.020

### 1.3 金相组织分析

对送检的抱箍的母材及加劲板焊缝分别取样进行金相组织分析,焊缝、热影响区显微组织为铁素体+珠光体,未见裂纹、过烧和淬硬的马氏体组织,组织正常,(如图4、图5所示)。抱箍母材显微组织为铁素体+少量珠光体+沿晶界呈网状分布的三次渗碳体,组织异常,(如图6、图7所示)。三次渗碳体属硬脆相,沿晶界分布使晶界变脆,裂纹容易在晶界处扩展(如图8所示)。

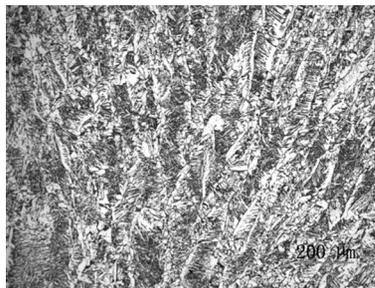


图4 焊缝

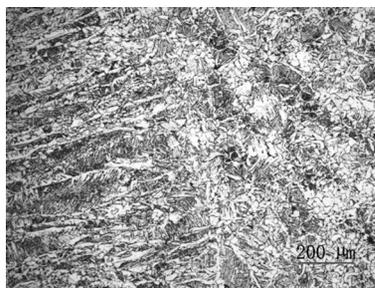


图5 热影响区

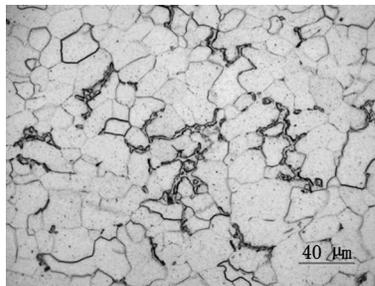


图6 断口部位母材

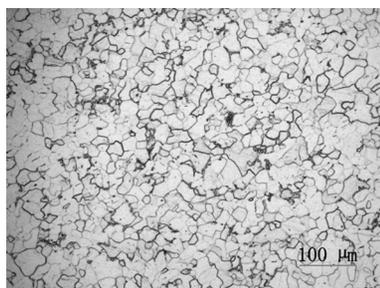


图7 晶界上分布的三次渗碳体

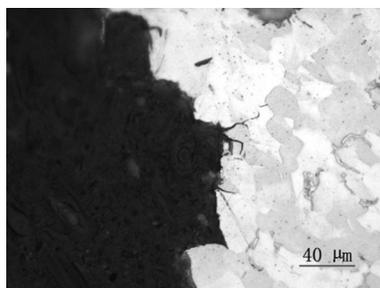


图8 断口上的沿晶裂纹

#### 1.4 力学性能检测

对断裂抱箍原材料的冲击韧性、抗拉强度及塑性指标进行检测,检测结果见表2。由表2可以看出:原材料的抗拉强度及塑性指标均符合相关标准<sup>[5]</sup>对Q235B钢的技术要求;抱箍的冲击吸收功为16 J,低于标准中Q235B钢的冲击功不小于27 J的要求。

表2 断裂抱箍力学性能检测结果

项目	下屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	断后伸长 率/%	20℃冲击 功/J
技术要求	≥235	370~500	≥26	≥27
检测值	304	400	28	16

## 2 原因分析

从宏观检查结果可以看出,抱箍断口符合材料受到较大应力作用时,由于塑性变形受阻发生脆性断裂的特征<sup>[6]</sup>。加劲板焊缝上的未焊透缺陷很容易引起应力集中,当应力增加到一定数值时就会造成材料的破坏。根据弯曲应力与断口方向垂直可以判断裂纹走向是从未焊透缺陷一侧向对侧扩展,加劲板焊缝处存在的未焊透缺陷是断裂的起始位置,因而焊接缺陷是造成此次断裂事故的诱因。

金相检测结果显示,抱箍加劲板处焊缝、热影

响区显微组织正常,但在抱箍母材中沿晶界呈网状分布的三次渗碳体会对材料的塑性、韧性产生不利影响<sup>[7]</sup>。低合金钢中少量存在的三次渗碳体对其性能影响很小,但如果其数量过多,呈网状分布时就会显著影响材料的塑性和韧性。因为三次渗碳体属于脆硬相,不易变形,如果在铁素体晶界上分布着呈网状的三次渗碳体,在材料发生变形时会阻碍铁素体变形,导致材料的塑性性能下降、韧性不足<sup>[8-10]</sup>。

化学成分分析结果显示,抱箍母材各元素含量均在相关技术要求范围内,排除材料成分不符合要求导致断裂的可能性。

对断裂抱箍原材料的力学性能检测结果也验证了以上宏观及金相检验分析结果,其冲击吸收功低于相关标准对Q235B钢的冲击功的要求值,反映出材料的韧性不足,这与前述的宏观检查断口成脆性断裂特征以及微观金相检测发现在沿晶界存在使材料呈现脆性的三次渗碳体的检测结果相符。

综合以上分析,可以看出抱箍在运行过程中由于受到拉线的拉力作用,抱箍母材弯曲变形部位处于弯曲应力状态,尤其在加劲板处由于较大的弯曲变形量导致弯曲应力较其他部位大,而此处存在的未焊透缺陷本身就是应力集中较大区域,导致其在较大弯曲应力作用下,首先产生裂纹源。裂纹产生后,由于断裂抱箍母材存在呈网状分布的脆硬相三次渗碳体,使裂纹源易于沿母材晶界处扩展,当受到较大冲击载荷时,由于韧性不足,最终发生脆性断裂。

## 3 质量控制措施

为防止此类事故的再次发生,结合检测分析结果,提出了以下质量控制措施:

(1)加工制造过程中,从抱箍的弯曲和焊接制造工艺两个方面对抱箍的外观质量进行控制。一方面,防止对抱箍原材料进行弯曲加工时,在变形量大的区域形成裂纹等制造缺陷;另一方面在对抱箍加劲板进行焊接时,严格控制焊接工艺,保证产品外观质量符合相关技术要求<sup>[11]</sup>,避免形成咬边、未焊透、裂纹、气孔等焊接缺陷,造成应力集中。

(2)安装前对抱箍进行认真的宏观检查,防止存在上述制造缺陷的抱箍应用于输电线路,避免形成裂纹源造成抱箍开裂。

(3)加工抱箍的原材料入厂前应按其批次号对其金相组织、化学成分及力学性能进行复检,复检合格的原材料才允许入库并用于生产抱箍,避免使用不符合相关标准要求的原材料加工抱箍部件。

## 4 效果评价

制造厂按照建议对抱箍的制造工艺采取了更加严格的质量控制措施,对厂家新生产的抱箍进行外观检查,抱箍部件加劲板焊缝平整,无咬边、无气孔、无未熔合等焊接缺陷,外观质量有了明显提升。

对新生产的抱箍进行金相、化学成分,力学性能等方面的抽查检测:由于厂家对原材料入厂采取了复检措施,送检试样金相组织检查未发现三次渗碳体等异常组织,金相组织正常。化学成分检测结果符合要求;送检试样各项力学性能指标均满足标准要求,其下屈服强度、抗拉强度、断后伸长率检测结果与断裂抱箍检测结果基本相同。20℃冲击功检测结果为36 J、38 J、42 J,平均值为39 J,满足文献[5]中平均值 $\geq 27$  J的要求,冲击功指标较断裂抱箍平均值为16 J的检测结果有了大幅提升;从而保证抱箍的塑性及韧性,防止其发生脆性断裂。通过对输电线路新安装的抱箍部件近半年的运行情况的观察,抱箍部件运行情况正常,未发生断裂事故。

## 5 结论

(1)抱箍加劲板焊缝存在未焊透缺陷,造成较大应力集中,在较大弯曲应力作用下使抱箍首先在此处产生开裂。

(2)断裂抱箍原材料组织为铁素体+少量珠光体+沿晶界呈网状分布的三次渗碳体,晶界上脆硬相三次渗碳体分布在铁素体周围,材料发生变形时阻碍铁素体变形,导致材料的塑性性能下降、韧性不足,使其发生脆性断裂。

(3)制造过程中焊接、冲压等工艺的控制可以防止加工过程中形成未熔合、裂纹等缺陷,避免引起应力集中,对保证抱箍制造的质量非常重要。

(4)对原材料在入厂前进行复检,可以避免将金相组织、力学性能不合格的材料用于抱箍生产,防止抱箍发生脆性断裂。

### 文献:

- [1] 董吉谔,牛晓光,李树军.电力金具手册[M].中国电力出版社,2012,4-25.
- [2] GB 50061—2010,66 kV 及以下架空电力线路设计规范[S].
- [3] DL/T 683—2010,电力金具产品型号命名方法[S].
- [4] 蒋克斌. 电力拉线抱箍的等强度设计[J].机械设计,2014,31(5),83-86.
- [5] GB/T 700—2006,碳素结构钢[S].
- [6] 葛兆祥,张学成,童海荣,等.焊工技师培训教材[M].机械工业出版社,2001,158-179.
- [7] 张庆军,曹胜利,朱立光,等. Q235B 热轧带钢冷弯开裂原因分析与对策[J].铸造技术,2015(12),2 905-2 909.
- [8] 魏秋华,刘福旺,武雪峰. 渗碳体对低碳钢板冲击性能的影响[J].金属热处理,2010, 35(12),134-135.
- [9] 陈勇,邱双全,张爱梅. Q235B 热轧卷板冷弯开裂的原因分析[J]. 新疆钢铁,2007(1), 11-13.
- [10] 赵宗强. Q235A 热轧带钢冷弯开裂原因分析[J]. 中国冶金,2005,15(11),37-39.
- [11] GB/T 2314—2008,电力金具通用技术条件[S].

(上接第49页)

- [8] BLOGA A, PAUR H R, SEIFERT H, et al. Novel Wet Electrostatic Precipitator for Collection of Fine Aerosol[J]. Journal of Electrostatics, 2009(67): 150-153.
- [9] STAEHLE R C, TRISCORI R J, KUMAR K S, et al. The Past, Present, and Future of Wet Electrostatic Precipitators in Power Plant Applications[C]//Combined

Power Plant Air Pollutant Control Mega Symposium. Washington, DC, 2003:1-7.

- [10] 胡瑁. 首台“近零排放”燃煤机组舟山投产[N]. 中国能源报,2014-06-30.
- [11] 帅伟,李立,崔志敏,等.基于实测的超低排放燃煤电厂主要大气污染物排放特征与减排效益分析[J].中国电力,2015,48(11):131-137.