



# 车架外伸梁焊接变形工艺优化

周鑫淼 缪士超 邓永玖 赵世航 张莹莹 李新群

**【摘要】**履带式起重机车架外伸梁焊接量大，焊道集中，热输入量大。该部位的焊接变形量较大，严重影响产品尺寸精度。如何将焊接变形控制在较小的范围内是生产过程中存在的一大难题。通过对板材焊接变形方向、现场拼焊顺序及板材坡口形式等进行研究，得出控制焊接变形的有效方法，并在实际生产中取得较好的效果。同时，固化了焊接工艺，修订了车架焊接操作指导书，为后期产品质量提供了保证。

**关键词：**车架；外伸梁；焊接变形；坡口

## 1. 概述

在行业低迷市场需求量骤降的严峻形势下，为了更好的满足客户对履带起重机性能的需求，提高产品的性价比，赢得市场占有率，徐工集团加大了创新力度，研制开发了第二代履带式起重机——XGC系列产品，XGC85K就是其中一款佼佼者。

该产品采用既可保证整机作业稳定性的宽轨模式，又能满足主机一体运输时两履带梁可以往车架内部收缩转换为窄轨模式，即每个履带梁上都设置两个方洞，H型车架的四个外伸梁可沿方洞滑动(见图1)。在生产制造过程中，因车架外伸梁结构所用板材较厚，焊接量大，且焊缝集中，故焊接变形严重。本文通过对车架实际焊接变形方向、现场拼焊顺序，以及板材坡口形式等

形的理论，经过分析、试验、调整、再试验，为生产固化了焊接工艺。

## 2. 车架变形现状

XGC85K车架外伸梁主体结构所使用的钢板厚度在20~30mm之间，其主体结构是由中心圈板、底板、上盖板以及若干直立板拼焊成封闭箱形结构(见图1，图中上盖板已隐藏)。为

了便于运输，在履带梁上开了四个方洞，运输时两履带梁收缩至外伸梁内，工作过程中，两履带梁展开。这种变换宽窄轨模式，在无需拆分整机情况下满足运输要求，节省了大量拆分和装配时间，工作效率也因辅助时间的缩短获得很大提高。虽然结构设计非常先进，但这种结构形式给生产制造带来不小的困难，焊接变

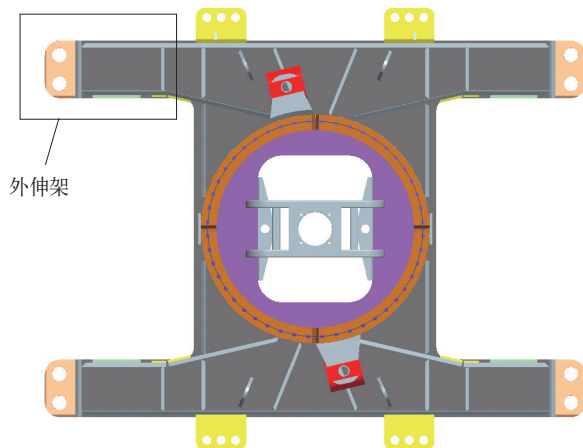


图1 车架结构

形尤其严重。

据统计,焊接变形占车架质量问题反馈总量的60%左右(见表1),而外伸梁焊接变形量较大,最终会造成尺寸及形状的技术指标超差,给随后的装配带来困难。在焊接变形较大的情况下,返修过程中需要在上盖板上用焊丝熔敷多层以弥补尺寸超差,然后通过机加工铣至图样要求尺寸。若能通过优化焊接工艺,使焊接变形量控制在合理的范围内,便可减少返修工作量及其他成本。

经现场多次跟踪测量发现,XGC85K车架外伸梁焊接变形主要表现为以车架纵向及横向中心线为轴线,产生向中心的对称变形,且变形量不一。其变形量最大时达到15mm,严重超出图样技术要求范围。部分焊接变形数据检测记录如表2所示。

### 3. 影响焊接变形的因素

焊接变形与板材的热膨胀

性、焊接热输入量的大小、板材坡口形式、焊接方法和焊接顺序等有关。生产中为了提高产品质量,通常需要采取多种措施来减小焊接变形量。

XGC85K车架主体结构在拼点焊接时,原焊接操作指导书中拼焊顺序为:先将底板和中间圈板按图样尺寸拼点,要求保证二者中心线重合,然后拼点中间隔板及外侧立板。拼点外侧立板时,中间一块立板先不拼接,然后将两个车架背靠背拼点在一起,进行第一遍焊接。焊后转铆工拼点上盖板及外侧中间立板及其余各部件。通过对XGC85K车架整体结构形式及拼焊过程进行综合性分析,对焊接变形影响较大的因素主要有以下几点。

(1) 焊接热输入控制不当 与座圈卷板连接处上盖板的单面坡口大小为C28(见图2),此处焊缝要求填平该处坡口,且焊后焊脚高度为30mm,由于焊接



图2 上盖板

量及热输入量较大,冷却后焊缝收缩量大,是造成车架外伸梁焊接变形因素之一。

(2) 内立板坡口形式设计不合理 部分内立板因设计成了单面坡口,对于厚度较大的立板,焊接只在一侧进行,热输入量也主要集中在有坡口一侧,由于热胀冷缩效应焊缝冷却至室温后产生较大的拉应力,板材对接焊时,必然会产生角变形,且此处焊缝较密集,故收缩变形量逐步累积产生较大尺寸偏差。

(3) 拼点工序间隙大小及工艺文件不具体的影响 由于板材在卷圆时存在较大误差,因此,铆工拼点时上盖板与圈板之间的间隙无法保证为同一数值,通常某些部位间隙较大,另一些部位间隙较小。另外,焊接操作指导书只给出了拼点顺序及拼点时的工艺参数,没有给出相应的定位焊规范要求,从而使定位焊操作规范无法保证一致性。

(4) 拼点顺序不合理 车架是履带起重机的重要承重结构,不仅承受整机中上车全部重量,而且还需要承受所吊装的构件的重量,这就要求车架主体结构要具有足够的刚度和强度。而XGC85K车架上盖板和外侧立板分别由两部分和三部分组成(上盖板及侧立板见图3)。因结构形式的原因,第一遍拼点

表1 2015年XGC85K车架质量问题汇总

| 项目 | 问题分类  | 影响次数 | 百分比 (%) |
|----|-------|------|---------|
| 1  | 漏焊、错焊 | 5    | 10.0    |
| 2  | 外观成形差 | 4    | 8.0     |
| 3  | 焊接变形  | 30   | 60.0    |
| 4  | 尺寸偏小  | 5    | 10.0    |
| 5  | 其他    | 6    | 12.0    |

表2 外伸梁焊接变形数据检测记录

| 位置<br>牌号 | 左前外伸梁变形量<br>/mm |       | 左后外伸梁变形量<br>/mm |       | 右前外伸梁变形量<br>/mm |       | 右后外伸梁变形量<br>/mm |       |
|----------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
|          | 左右高低差           | 前后高低差 | 左右高低差           | 前后高低差 | 左右高低差           | 前后高低差 | 左右高低差           | 前后高低差 |
| 150301   | 10              | 4     | 4               | 2     | 2               | 2     | 8               | 3     |
| 150303   | 6               | 5     | 5               | 5     | 4               | 4     | 10              | 5     |
| 150508   | 12              | 5     | 6               | 3     | 3               | 6     | 15              | 7     |
| 150510   | 10              | 6     | 4               | 4     | 5               | 4     | 12              | 4     |
| 150812   | 13              | 3     | 6               | 2     | 5               | 3     | 6               | 2     |
| 150813   | 10              | 4     | 5               | 3     | 4               | 3     | 10              | 4     |



时无法拼点车架上盖板及侧立板中间的一块封板,在没有中间立板的刚性支撑作用下,导致车架第一遍焊接时刚性不强,也是造成外伸梁焊接变形的主要因素之一。

(5) 焊接顺序及施焊方法有待改进 由于焊接操作指导书上未给出详细的焊接顺序,因此,实际指导性不强。现场焊接人员只能依据自己掌握的相关焊接知识和经验进行焊接,不能掌控焊接热输入量的大小,导致焊接变形量大小不一。

#### 4. 焊接变形的控制措施

在焊接底板与内立板连接焊缝时,由于焊缝较集中,且焊接时热输入量主要集中在底板以上部位,所以焊接过程中有多种焊接残余应力存在,焊接后也常有多种形式变形同时存在。既有收缩变形和弯曲变形,同时还伴有扭曲变形、角变形和波浪变形。因此,从以下几方面对车架焊接变形进行控制:

(1) 更改坡口形式 在车架结构设计中,仅依靠加大底板厚度来提高底板的刚度,从而控制焊接变形是不可取的,这样不但会增加材料成本,而且效果不明显。板材坡口形式的设计需要结合实际,单边坡口形式的焊缝一般用于背面不好焊接部位和不易翻转的部件。单面坡口的板材,无论是对接还是角接,其变形量均较大。而开双面坡口时,焊缝成形好,焊接质量高,焊材消耗量相对较少,焊接量少,热输入量低,角变形量小。因此将上盖板与座圈卷板连接处单面坡口C28改为双面坡口 $2\times C14$ ,减

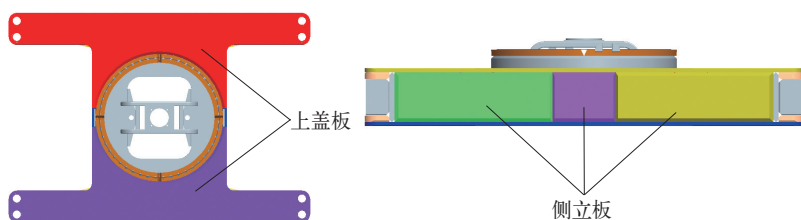


图3 上盖板及侧立板

小焊接量及热输入量,从而减少焊接变形。上盖板坡口更改如图4a、4b所示。

(2) 更改内立板坡口方向 由于车架部分内立板坡口设置不合理,导致整体焊接前无法拼点上盖板,焊接底板与立腹板连接焊缝时,底板会产生角变形。因此,更改部分内立板坡口方向,由原来的坡口朝内改为坡口朝外,即可实现车架整体焊接前拼点车架,增加车架整体刚性,减小焊接变形。另一方面,内侧焊缝改为外侧焊缝,焊接条件得到改善,焊接质量更容易保证。内立板坡口更改如图4c、4d所示。

(3) 控制拼点间隙及定位焊 板材在卷圆工序中,采用自制的模板尺来检测卷圆工序是

否合格,从而保证卷圆的直径尺寸,以免因拼点车架上盖板时造成连接焊缝间隙过大,从而影响拼点精度和焊接难度。焊接操作指导书应按照“焊接操作规范”中关于定位焊的标准进行完善,定位焊时的焊缝长度、焊缝高度和焊缝间距应符合标准,以保证定位焊有足够的强度。定位焊参数如表3所示。

(4) 更改整体拼焊工艺流程 若按照目前的焊接操作指导书上的工艺流程,在第一遍拼点时上盖板不能先拼,否则内立板无法拼点,这将导致车架整体刚性不强,现将第一遍拼点过程更改为:先焊中间四块内立板(位置见图5),然后拼点上盖板,待上盖板拼点完成后进行下一道工序。

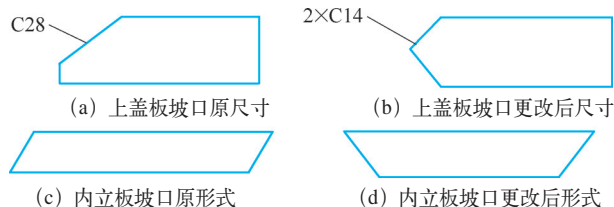


图4 部分内立板坡口更改示意

表3 定位焊主要参数 (mm)

| 板厚   | 定位焊焊缝长度 | 定位焊焊缝高度 | 定位焊焊缝间距 |
|------|---------|---------|---------|
| <2   | 8~12    | 2~3     | 50~70   |
| 2~6  | 12~20   | 2~3     | 70~200  |
| 6~25 | 20~50   | 3~6     | 200~350 |
| >25  | 50~100  | 6~10    | 350~500 |

注:非等厚钢材焊接时,按厚度较小的选择。

(5) 制定合理的焊接顺序及施焊方法 控制焊接变形常采用刚性固定、改善焊接参数、调整焊接顺序、焊前预热和焊后热处理等手段。由于刚性固定法简单易行,适用面广,不足之处是焊后冷却至室温当外加刚性拘束卸掉后,焊件上仍会产生一些变形,不能完全消除,因此,需要结合其他控制焊接变形的手段。

XGC85K车架采用的是Q345钢板,综合力学性能良好。现场实际焊接过程中,为了提高生产效率,待上盖板拼点完成后将两台车的车架背靠背的形式点焊在一起,两车架相互之间起到刚性固定的作用,如图6所示在两底板处添加定位块,以车架纵向及横向中心线对称均布共计38件。

具体焊接顺序为:

第一,上盖板与圈板连接处外部焊缝打底焊后暂不进行填充及盖面焊,待车架主体结构其余焊缝焊完后再进行此焊道填充及盖面焊。

第二,以对称中心线为基准进行对称焊接,即从中心向两侧焊接。

第三,先焊内部隔板焊缝,再焊外侧立板焊缝,焊接时先依次进行打底焊接,然后依次进行焊道的填充和盖面焊接。焊接时需多次翻转以保证对称焊接减小焊接变形量。由两人或四人从中间向两边同时施焊,焊接过程中采用多层多道焊,每层焊道高7mm,每层焊接完成后需进行层间清理,方能进行下一层焊接,同时需要控制层间温度,减少焊接热输入量。焊缝较长需分段焊接时,焊缝接头处应呈阶梯状,

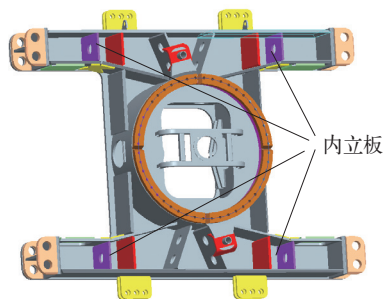


图5 先焊的内立板位置

每道阶梯的长度 $\leq 50\text{mm}$ 。

### 5. 效果验证

按照更改部分内立板及上盖板坡口形式、重整车架拼点顺序、选取正确的施焊方法及焊接顺序等手段,对六台XGC85K车架进行跟踪,并测量相关部位焊接变形量,记录数据如表4所示。检测结果表明,对照之前的工艺措施所产生的焊接变形量(表2中的数据),按照优化后的工艺生产的车架,其外伸梁焊接变形量得到了有效地控制。

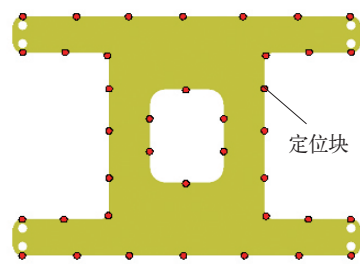


图6 车架结构简图及定位块放置示意

### 6. 结语

本文结合实际生产中XGC85K车架产品实例,对其部分结构件的坡口形式进行调整,同时采取刚性固定工艺方法,以及制定合理的拼焊顺序和焊接方法,使车架外伸梁的焊接变形量得到较好的控制。优化了焊接工序,并固化了焊接操作指导书,为后期生产提供指导,提高产品生产效率。既保证了产品质量,又节省了生产制造过程中投入的人力和物力,有利于企业的发展。

表4 外伸梁焊接变形检测记录 (mm)

| 位置<br>牌号 | 左前外伸梁<br>变形量) |           | 左后外伸梁变形量  |           | 右前外伸梁变形量  |           | 右后外伸梁变形量  |           |
|----------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|          | 左右<br>高低差     | 前后<br>高低差 | 左右<br>高低差 | 前后<br>高低差 | 左右<br>高低差 | 前后<br>高低差 | 左右<br>高低差 | 前后<br>高低差 |
| 150814   | 5             | 2         | 4         | 2         | 5         | 2         | 6         | 2         |
| 150815   | 5             | 2         | 5         | 3         | 6         | 2         | 4         | 2         |
| 151018   | 2             | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         | 2         |
| 151019   | 4             | 3         | 3         | 2         | 3         | 3         | 3         | 2         |
| 151021   | 4             | 3         | 3         | 2         | 2         | 3         | 2         | 3         |
| 151022   | 3             | 2         | 3         | 3         | 3         | 2         | 2         | 2         |

### 参考文献:

- [1] 邹增大.焊接材料、工艺及设备手册[M].北京:化学工业出版社,2001.
- [2] 王云鹏.焊接结构生产(焊接专业)2版[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [3] 张文明,焦万才.焊工实用技

术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2004.

作者简介:周鑫森等,徐工集团工程机械股份有限公司建设机械分公司。

MW 20160823