

559
81381

560416

鋼桁架在高应力荷载下的加固补焊

第一冶金建设公司

湖北人民出版社

59
381

钢桁架在高应力荷载 下的加固补焊

第一冶金建设公司

钢桁架在高应力荷载下的加固补焊

第一冶金建设公司

湖北人民出版社出版 湖北省新华书店发行

黄冈报印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 1.625 印张 34,000 字

1979 年 4 月第 1 版 1979 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1—10,000

统一书号: 15106·227 定价: 0.15 元

前 言

钢桁架在高应力荷载状态下的加固补焊，突破了苏联工业期刊杂志所发表的焊缝在高应力荷载状态下焊接加固时焊缝退出工作，因而不能在负荷下加固的想法，同时亦突破了苏联按“加固指南”的弹性计算方法，我们根据试验的结果，采用了自己创造的按新旧钢件共同受力的“弹塑体”的计算方法。因而在加固武钢有关厂房中给国家节约了大量钢材。

我公司党委曾于 1966 年组织了武钢工程质量办公室、工业安装公司、冶金机械修造厂、武汉冶金建研所、武汉钢铁设计院，在武钢工地上进行了两榀钢桁架在高应力荷载状态下的加固补焊试验。试验期间达 26 天，观测得到了成千个数据。从现象观察到科学分析的结果，成功地证明了钢桁架可以在不卸荷载的较高应力下加固补焊。该书是由我公司杨建平工程师执笔整理的，曾得到上述各参加单位的有关同志协助。由于我们过去参加此项工作时间短，工作做的少，因此对高应力荷载下的焊接加固还有待于进一步认识。书中错误之处请读者批评指正。

第一冶金建设公司

1978 年 11 月

目 录

一、概述	1
二、桁架加固整体试验与单件试验	3
1. 试验目的	3
2. 试验内容	3
三、桁架设计和试验方法	4
1. 桁架的设计	4
2. 加固钢件的计算假定、断面选择和加固型式	5
3. 弦杆钢材联接口的试验设计	6
4. 焊缝加固	7
5. 桁架的安装布置和安全措施	9
6. 加荷步骤	9
7. 观测仪表的布置	9
四、试验、观测及分析	11
1. 焊接热影响	11
2. 加固杆件的工作内应力	20
3. 桁架的挠度变化	25
4. 单件试验	33
五、计算理论的探讨	37
1. 弹塑体的计算假定和极限承载能力	37
2. 加固后的组合杆件在荷载增量作用下的应力和应变	38
3. 桁架加固后的垂直挠度计算(不包括温度变形)	41
六、几点结论	42
七、在高应力荷载下的加固补焊的实际应用	43
八、关于钢结构在高应力荷载下补焊加固的几点建议	44

一、概 述

随着社会主义经济建设的蓬勃发展，一般工业生产厂房的扩建和改建任务，将日益增多，常常需要加强原建钢结构的承载能力。或者由于原建钢结构在制作施工和材质上存在缺陷，经常性的维护不良，以及由于地震、风灾、战争等外在因素的偶然破坏，需要作补强加固处理。但这类加固任务，在绝大多数的情况下，需要尽可能不妨碍生产，不卸除结构荷载去完成。因此，如何保证钢结构在高应力荷载状态下进行加固的高质量和安全，就成为当前土建工作和工程质量处理工作必须迅速研究解决的一个重要技术问题。

钢结构在高应力荷载状态下的加固施工经验和系统的理论研究，国内外尚缺少成熟可靠资料。一九六二至一九六三年，苏联工业建筑期刊〔1〕、〔2〕发表的试验报告，证实钢结构联接焊缝在应力状态下进行补焊加固的可能性，能取得足够的加固效果。在原有焊缝上涂高焊层时，原焊缝将有 50 毫米的长度范围因电弧高温暂时退出工作。涂高后的焊缝平均抗剪强度比原焊缝抗剪强度有所降低。上述两个资料，均系在试验室的万能机上做的单件试验结果，未涉及到桁架整体结构在杆件局部加固时所受到的影响。

前些年，我们在处理一些厂房钢结构质量问题中，受了苏联设计框框的束缚，认为结构杆件应力高，节点板受力复杂，受焊接高温影响，可能酿成结构倒塌的危险事故。因而保守思想抢占上风，一般要求卸荷与加设临时支撑的方法施工。在不

能卸荷载的条件下，则认为在应力下加固的新钢材、新焊缝与旧钢材、旧焊缝共同受力的概念不明确，怀疑其加固效果，而采取整套或局部的新结构系统加固方法。例如以新桁架加固老桁架，在桁架增设与旧复杆不相联的双复杆，加大节点板来补强焊缝等加固型式。这就浪费了大量钢材、焊条和人力，增加了施工的复杂性和困难，延长了施工期限。后来，我们在研究处理某厂房钢结构过程中，遇到该工程钢桁架一些严重的材质与施工质量问题。例如，在厂房某一区段内屋架、托架钢材材质不明者占 17.3%，不合钢 3 标准者占 26.6%，乙类钢占 6.5%，其中个别屋架杆件屈服点低到 18~20.5 公斤/毫米²，而其标准应力已达到 1580 公斤/厘米²（即设计应力已超过屈服点）。面对这样的现实问题，如何在不影响生产的条件下，多快好省地、安全可靠地完成厂房加固处理工作，确实感到十分困难。

一九六五年九月，大冶钢厂为了处理某车间钢屋架质量问题，做了大批劣质钢材的可焊性能研究和钢屋架在荷载的加固试验。我们曾到现场学习。这次试验取得了一定的施工经验，但原屋架试验应力较低，杆件未作加固补焊，节点板上也只补焊复杆的端缝。对在高应力荷载下焊接的新旧钢件、新旧焊缝，包括在旧焊缝上涂厚的焊缝共同受力问题，和施焊高温可能引起结构丧失稳定和破坏的问题，还没有获得较明确的概念。

一九六六年春，武钢工程质量处理办公室组织了武汉冶金建筑研究所、武汉钢铁设计院的同志，在武钢工地进行了两榀钢桁架在高应力荷载下加固补焊的模拟试验和单件等试验。试验期间达 26 天，观测得到了成千个数据，从现象观察到科学分析的结果，成功地证明了钢桁架可以在较高应力状态下补焊加固。加固后的新旧钢件、新旧焊缝均能起到共同受力的作用。此后，在武钢某些厂房钢结构质量处理中，根据结构受力和材质

情况，规定适当的焊接工艺技术条件，在荷载下直接进行焊接加固，保证了施工安全，节约了大量的钢材、焊条和人力，达到了多快好省的目的。

二、桁架加固整体试验与单件试验

1. 试验目的

(1) 了解直接在高应力荷载状态下的钢桁架杆件上进行焊接加固，是否会由于电弧焊的高温影响，引起结构的过大变形和破坏。

(2) 了解在上述情况下加固的新钢件、新焊缝是否能与旧钢件、旧焊缝共同工作和共同受力，加固的实际效果如何。

(3) 观测试验过程中桁架的挠度和杆件应力的变化，探索正确使用电弧焊接加固的操作工艺和经济有效的计算方法。

2. 试验内容

(1) 钢桁架整体试验

受试验的结构，设计成为外形尺寸相似的1*和2*两榀平行弦桁架，跨度为12米，高跨比取1/10，近似于一般屋架、托架的高跨比例。1*桁架弦杆断面约取某厂房屋架弦杆断面的1/3(实用2-L60×6)。2*桁架弦杆断面约取1/4(实用2-L50×5)。先试验杆件断面较大的1*桁架，在它的试验成果上进一步对热影响更为敏感的第2*桁架作第二次试验。

逐渐增加桁架上的荷载，使杆件应力及焊缝应力接近到钢材焊缝的计算强度时，分别进行弦腹杆断面、杆件接口、节

点焊缝的补焊加固试验。同时观测每个加固部位在施焊过程中的外观变化现象,和桁架整体的挠度变形。在加固后继续增加荷载,测出新旧钢件上的应力变化,包括旧钢件进入塑性阶段新钢件的应力负荷变化情况。最后压到破坏,以求出新旧钢件、新旧焊缝共同工作的平均强度。

如果在试验中的电弧高温影响对小断面的模拟桁架不出现严重的挠曲变形(主要是永久变形),在旧焊缝上或在其邻近处补焊,不致破坏其联接点使结构解体,以及最后能证明结构在加固后,新加的钢件、焊缝确实参加工作,有共同受力的作用。那么,对于大多数厂房承重钢结构的一般性加固补焊工作,就有了安全保证,其加固的效果也能肯定了。

(2) 单件试验

为进一步落实杆件焊缝在高应力下的加固效果和探索其应力变化规律,在修复好被试验破坏的 2* 桁架下弦上切去一段,用较小断面的角钢和联接焊缝,将其联接起来,同桁架整体试验一样在上弦节点加荷,使联接杆件焊缝应力达到计算强度后,进行补焊加固,最后压到破坏以求出新旧钢件、焊缝的抗拉和抗剪强度。

三、桁架设计和试验方法

1. 桁架的设计

桁架全部采用 C₃F 普通低碳钢和 T42 酸性焊条制作,加固材料亦同,其外形尺寸、杆件断面以及由两个中间节点荷载 P 所引起各杆件的内力详见图 1。当 1* 和 2* 桁架节点荷载 P

1



$$\text{压杆: } \sigma = \frac{N}{(F_a + F_b) \varphi'} \leq mR \quad (2)$$

 F_b 新钢件断面积

5

N 加固后承受的最大轴向力

R 新旧钢材的计算强度,按较低者采用

m 构件的工作条件系数

注1:已受力的被加固钢件与未受力加固钢件焊成的组合断面,在继续增加的外力作用过程中,当前者由弹性进入塑性后,后者应保持一段弹性的工作阶段。此时的组合断面就包括有部分塑性变形和部分弹性变形的特征,命名为“弹塑体”,弹塑体的计算方法和理论探讨,详见下文。

1*、2* 桁架各杆件的加固是按预计的最大节点荷载即破坏荷载的50%来选用的。

1* 桁架的预计最大破坏节点荷载 P_1 :

$$P = 7 \div 0.5 = 14 \text{ 吨}$$

2* 桁架的预计最大破坏节点荷载 P_2 :

$$P_2 = 6.5 \div 0.5 = 13 \text{ 吨}$$

杆件的加固型式见图2、3,其加固型式为常见的一般方法。



图2 上弦杆加固型式

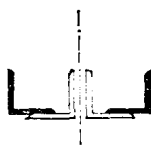


图3 下弦杆加固型式

3. 弦杆钢材联接口的试验设计

在1*桁架的下弦上,预作二处非等强的联接口(如图4),当联接角钢与其焊缝应力(图4中的制作焊缝)达到计算强度时,以钢板插入弦杆之垂直夹缝中,作补焊加固试验。

当2*桁架的上、下弦杆应力各为-1630公斤/厘米²、+1940

公斤/厘米²时，在上弦作一处，下弦作二处施焊加固的模拟试验(如图5)。

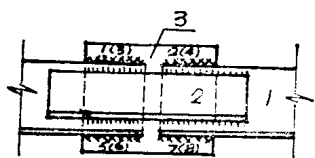


图4 1*桁架下弦杆接口加固型式

- 1.原弦杆; 2.连接角钢;
3.加固钢板。

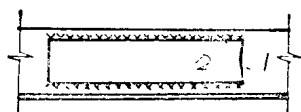


图5 2*桁架接口模拟加固型式

- 1.原弦杆; 2.加固钢板。

4. 焊缝加固

在1*、2*桁架上各取节点荷载 $P=9$ 吨、8吨时来加固腹杆在节点板上的焊缝。此时焊缝剪应力在1400~1800公斤/厘米²之间,加固后的新旧焊缝按假定共同工作的平均剪应力1400公斤/厘米²来确定新焊缝的面积。

加固试验方法是在1*桁架上,先加焊腹杆角钢的端部焊缝,后涂高原有焊缝(如图6)。

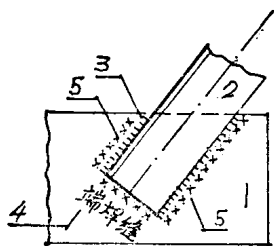


图6 腹杆焊缝加固型式

- 1.节点板; 2.腹杆; 3.原有焊缝;
4.新加端焊缝; 5.原焊缝涂高。

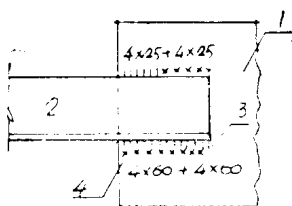


图7 新旧焊缝试验型式

- 1.节点板; 2.腹杆; 3.原有焊缝;
4.新加端焊缝; 5.原焊缝涂高。

在2* 桁架上, 则直接在腹杆角钢原有的脊、 边焊缝上涂高和加长(如图7)。

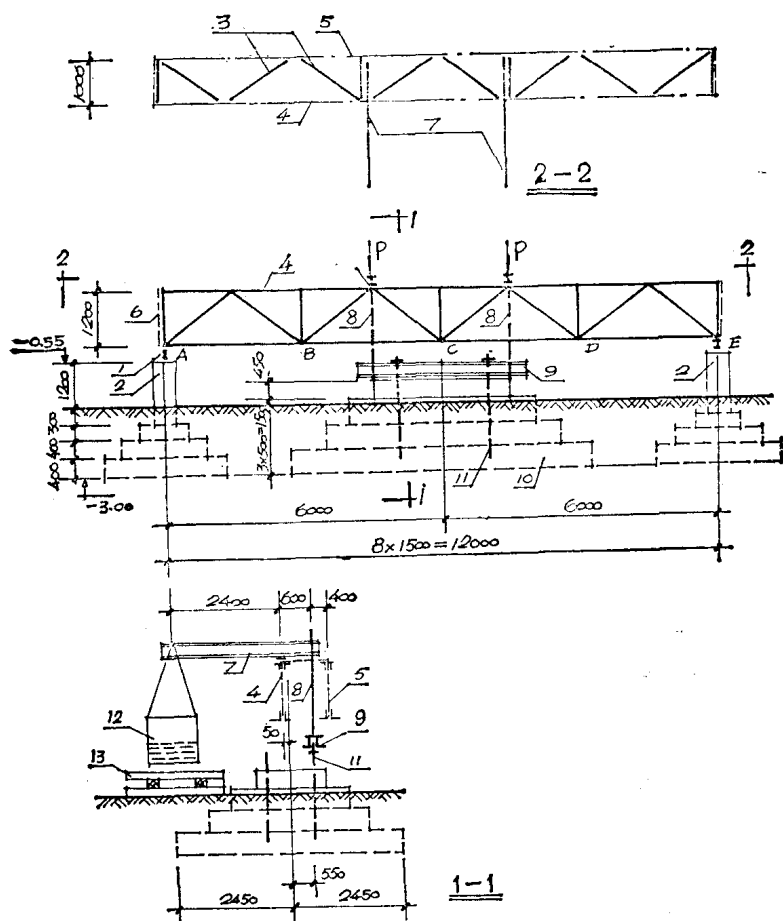


图 8 桁架安装布置示意图

1. 支承悬梁; 2. 山墙柱基础; 3. 上弦水平支撑; 4. 试验桁架; 5. 辅助桁架; 6. 十字立撑; 7. 加荷杠杆; 8. 拉杆; 9. 横梁; 10. 中列柱基础; 11. 锚固螺栓; 12. 吊栏; 13. 枕木。

如图 6、7 所示, 工厂焊缝是在载荷前焊接的, 而工地焊缝是载荷时加固的。

5. 桁架的安装布置和安全措施

两个试验桁架平行安装在尚未安装柱子的三个混凝土柱基础上(如图 8)。

为了使 1*、2* 桁架达到互相稳定的目的, 上弦以水平支撑相联结, 两端以垂直支撑相联结。1* 桁架试验完毕后, 适当予以修复, 与 2* 桁架互易位置进行 2* 桁架的试验。加荷方式是利用两根杠杆将带装有铸铁块的吊栏荷重传递到桁架的两个中间节点上, 杠杆重力臂长之比为 1:5, 从而使一个单元荷载能取得五倍的节点荷载, 以便利加、卸荷的操作。

在吊栏的上方还设有木支架, 悬上钢索吊住吊栏, 钢索呈松弛状态。当桁架在试验中突然破坏下挠时, 钢索将被拉直悬住吊栏, 以保证试验人员的人身安全。

6. 加 荷 步 骤

桁架试验的加荷分为三个阶段, 每个阶段的加、卸荷载值及观测时间见表 1。

7. 观测仪表的布置

试验时分别采用百分表观测桁架下弦中部三个节点, 如图 10 所示, 以观测桁架的垂直向挠度的变化, 二个百分表安装在二个支座上, 以观测桁架的横向位移。在试验整个阶段采用水平仪对垂直位移作了辅助观测。

此外, 采用电测的弦式引伸仪对 1* 桁架在加固前上、下弦与腹杆的实际应力进行观测。并在钢件进行焊接加固后, 对

1*、2* 桁架上弦节点加、卸荷载步骤

表 1

桁架	试 验 阶 段	节点加卸荷 P (吨)	两级荷载间的 观测时间(分)	说 明
1* 桁 架	(1)加固前阶段	1.32—5.00 5.00—1.32	5—10	每次加卸 1.0 吨
	(2)加固阶段			每次加卸 0.5 吨
	加固弦杆联接口	1.32—5.50	10—15	
	增 荷	5.50—7.00	5—10	
	卸 荷	7.00—1.32	5—10	
	增 荷	1.30—7.00	5—10	
	加固 $U_2 \rightarrow O_2 \rightarrow D_1$ $\rightarrow D_3 \rightarrow D_2$	7.00	10—15	
	加固腹杆焊缝	7.00—9.00	10—15	
	(3)加固后到破坏阶段			同 上
	卸 荷	9.00—7.00	5—10	
	增 荷	7.00—15.50	5—10	
2* 桁 架	(1)加固前阶段	1.50—5.00 5.00—1.50	5—10 5—10	同 上
	(2)加固阶段			同 上
	加固弦杆联接口	1.50—5.00	10—15	
	增 荷	5.00—6.50	5—10	
	加固 $U_2 \rightarrow O_2 \rightarrow D_1$	6.50	5—10	
	加固腹杆焊缝 D_3	6.50—8.00	5—10	
	卸 荷	8.00—1.50	5—10	
	增 荷	1.50—10.00	5—10	
	加固上弦 O_1	10.00	10—15	
	(3)加固后到破坏阶段	10.00—14.00	5—10	同 上

下弦新、旧钢件的实际应力作了观测。2* 桁架亦在钢件加固后，用电测的弦式引伸仪对下弦新钢件做了实际应力的观测（见图9）。



图9 电测的弦式引伸仪实际操作情况

四、试验、观测及分析

1. 焊接热影响

(1) 焊接连接口的加固是按图4、图5的型式进行的，每个桁架的两个对称部位的联接口同时进行电焊，由安设在下弦中间三个节点B、C、D的百分表观测其垂直挠度变化。

在1* 桁架下弦联接口第1、2、3、4条焊缝（见图4）施焊过程中，B、C、D各点逐渐下挠。焊完时下挠至最大值（C点

下挠 2.1 毫米)。停五分钟后, 由于热量散失, 挠度回升 (C 点挠度减至 0.65 毫米), 此后再焊第 5、6、7、8 条焊缝 (仍见图 4) 时, B、C、D 各点又继续下挠 (C 点最大达 3.1 毫米)。在冷却五十分钟后, 各点回升, 但有残余变形。其整个挠度时间曲线和 1*、2* 桁架 B、C、D 各点百分布置见图 10。

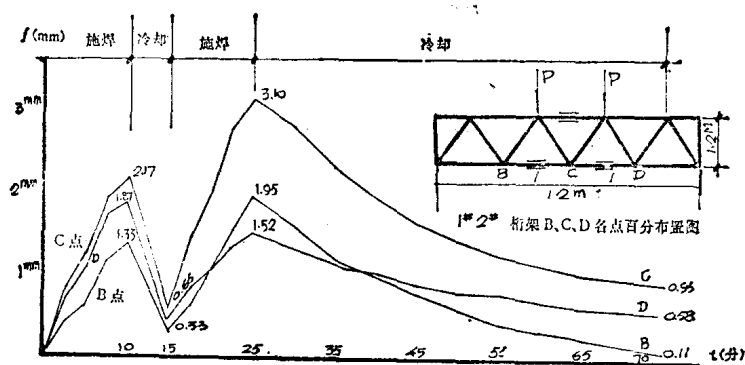


图 10 1* 桁架在下弦联接接口加固施焊时的挠度时间曲线

在 2* 桁架下弦作模拟式的接口加固试焊过程中, B、C、D 各点的挠度时间曲线如图 11 所示, 焊完冷却三十分钟后, 挠度回升趋于稳定。由于杆件断面比 1* 桁架为小, 内应力亦较高, 其最大挠度与残余变形均比 1* 桁架为大, 即电弧焊热影响较为显著。

2* 桁架上弦联接口的加固试焊过程中, 挠度增加较缓慢, 在焊完时尚未达到最高值, 且继续增大。在二十分钟的冷却时间内, C 点下挠达 4.01 毫米。以后开始回升, 最终留有残余变形。

上述两个桁架弦杆在施焊时的应力值如下:

1* 桁架下弦杆 $+1560$ 公斤/厘米²