

汽车衡承载器焊接问题分析

济南金钟电子衡器股份有限公司 沈立人 刘方全

【摘要】由于目前我国绝大多数的电子汽车衡承载器都是采用金属结构，这样焊接问题就成为影响产品质量的关键。对于如何减少焊接带来的结构件变形，本文从焊接工艺角度，分析了焊接残余应力对汽车衡承载器性能的影响，提出了减少焊接残余应力的几种方法。

【关键词】汽车衡；承载器；金属结构；焊接工艺

一、概述

近几年来汽车衡在检定和使用中出现“段差”较大的问题。这些问题主要表现是那些由多节结构组成的承载器，由于大家都模仿U型梁结构制造，特别是在焊接U型梁时采用连续不间断的方式，没有掌握正确的焊接工艺情况下，造成了加工内应力积聚，一旦释放就使承载器结构变形，从而影响到汽车衡的计量性能。

二、焊接残余应力与变形

钢结构在焊接过程中，在焊件上产生局部高温的不均匀温度场，高温部分的钢材膨胀受到邻近钢材的约束，从而在焊件内部引起较高的温度应力和变形，称为焊接应力和焊接变形。焊接应力较高的部位产生塑性变形，冷却后将残存于构件内部，因而将残存于构件内部的焊接应力和焊接变形称为焊接残余应力和焊接残余变形。

1. 焊接残余应力

焊接残余应力是一种无载荷作用的内应力，因此会在构件内自相平衡。焊接残余应力包括纵向应力、横向应力和构件厚度方向的应力。

① 纵向焊接残余应力

纵向焊接应力是指沿焊缝长度方向的应力。在施焊时，焊件上产生不均匀的温度场，焊缝附近的温度可高达1600℃以上，邻近区域则温度急剧降低。不均匀的温度场产生了不均匀的膨胀，焊缝附近高温处的钢材膨胀最大，温度较低区域膨胀较小。膨胀大的区域受到周围膨胀小的区域的限制，产生了热塑性压缩。焊缝冷却时，产生热塑性压缩的

焊缝趋向于缩短，但受到两侧钢材限制而产生了纵向拉应力，两侧钢材因中间焊缝收缩而产生纵向压应力。

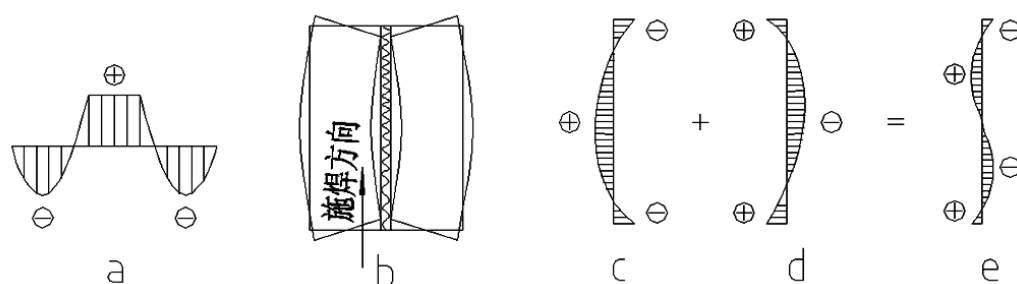


图1 焊接残余应力

a 纵向残余应力；b 焊接残余变形；c 横向残余应力（纵向收缩引起的）；d 横向残余应力（横向收缩引起的）；e 横向残余应力总和

② 横向焊接残余应力

横向焊接残余应力是指垂直于焊缝长度方向且平行于构件表面的应力。以钢板焊接为例，横向焊接残余应力由两部分组成：一部分是焊缝纵向收缩，它除产生上述纵向应力外，还使两块钢板趋向于形成反方向的弯曲变形，但焊缝已将其连成整体，因此在两块板的中部产生横向拉应力，两端产生压应力；另一部分由于焊缝在施焊过程中冷却时间的不同，先焊的焊缝已经凝固，会阻止后焊焊缝在横向自由膨胀，使它发生横向压缩塑性变形。当先焊部分凝固后，中间焊缝部分逐渐冷却，后焊部分开始冷却。这三部分产生杠杆作用，使后焊部分收缩而受拉，先焊部分因杠杆作用也受拉，中间部分则受压。而产生横向焊接残余应力

③ 厚度方向焊接残余应力

厚度方向焊接残余应力是指垂直于焊缝长度方向且垂直于构件表面的应力。较厚钢板焊接时，焊缝厚度方向中部冷却比表面缓慢，形成中间焊缝受拉，四周受压的状态。因此，焊缝除了纵向和横向应力之外，在厚度方向还存在焊接残余应力。

焊接残余应力是自相平衡的内应力，其拉应力合力与压应力合力相等。因此，对于没有严格应力集中的焊接构件，在静力载荷作用下，只要钢材具有一定的塑性变形能力，焊接残余应力不会影响构件的承载能力。

在焊接构件中均存在双向或三向残余应力，当形成同向应力，尤其是同向拉应力时由于塑性变形受到约束，使焊缝附近的材料变脆，裂纹容易产生和开展，因而降低了焊缝及其附近钢材的疲劳强度，尤其是在低温情况下，冷脆现象更明显。另一方面，最大

焊接残余应力常达到或接近钢材的屈服点，这将促使疲劳裂纹更容易形成和扩展，从而降低了构件的疲劳强度。

2. 焊接残余变形

在焊接过程中，焊件不均匀受热和不均匀冷却将产生焊接残余应力和焊接残余变形。这就是为什么我们在焊接 U 型梁结构的汽车衡承载器时，不能在焊接 U 型梁的同时将两端的封板焊牢，而是要按照一定的焊接工艺先将 U 型梁与面板组合，待此部分冷却后，再将两端的封板和搭接头与其组合焊牢。

因为焊接残余变形影响结构的尺寸精度和外观，并可能导致构件产生初弯曲、初扭曲以及初偏心等，从而构件受力时产生附加弯矩、扭矩和变形，引起其承载能力降低。导致整个承载器发生扭曲，使承载器多块台板之间的搭接头不能平整连接，以致轻载车辆与重载车辆的误差变化较大，甚至于车辆离开承载器后示值也不能迅速回到零点。

三、减小焊接残余变形的办法

减少焊接残余变形应从构造和焊接工艺两方面采取措施。

1. 构造措施

①为避免焊接热量集中引起焊接应力过于集中，应尽量减少焊缝数量以及焊缝的厚度和长度。搭接角焊缝一般设计成焊脚尺寸适当小而焊缝长度相当长些；焊缝尽量对称布置，尽量避免焊缝过于集中或多方向焊缝交于一点，焊缝间留一定的间距；拼接梁的翼缘对接处与腹板对接处应错开一定的距离，加强筋肋内面切角应避免其焊缝与翼缘和腹板间的主要受力焊缝交叉。

②为避免截面突变引起应力集中现象，连接过渡应尽量平缓。如宽度和厚度不同的钢板拼接时采用不大于 1:4 的坡度过渡；直接承受动力载荷结构的角焊缝采用凹形或平坡形角焊缝；当板厚小于 7mm 的搭接连接，搭接长度应不小于 25mm，并且不应只采用一条正面角焊缝来传力。

③为避免焊接缺陷引起应力集中，焊缝应布置在便于施焊的位置，并且有合适的空间和角度，尽量避免仰焊。

2. 焊接工艺措施

①采取适当的焊接顺序和方向，例如为了使每次施焊产生的残余应力和残余变形有所抵消，应尽量采用对称焊、分段焊、厚度方向分层焊、钢板分块拼焊、工字形顶接时采用对角挑焊；为使收缩量或受力较大的焊缝留有伸缩余地，减小残余变形，先焊收缩量较大的焊缝，后焊收缩量较小的焊缝；先焊受力较大的焊缝，后焊受力较次要的焊缝；

钢板分块拼接先焊短焊缝，后焊直通长焊缝。图 2 中的阿拉伯数字表示施焊的顺序。

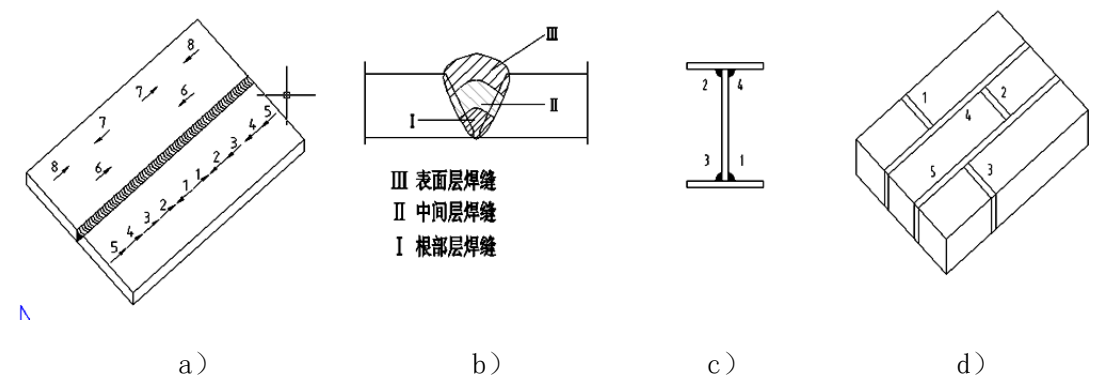


图 2 合理的施焊顺序

a) 施焊顺序；b) 沿厚度分层焊；c) 对角挑焊；d) 钢板分块拼焊

而目前许多汽车衡出现的问题都是集中在承载器的结构上,特别是焊接应力造成的结构变形上。

U 型梁结构的汽车衡承载器目前都是采用连续自动焊接的,正是由于连续焊接,所以在焊接时“热影响区”越来越大,钢材产生膨胀也大;而冷却时钢材产生收缩,内部就产生内应力,给承载器带来变形的隐患,焊接和冷却时应力方向如图 3 所示。

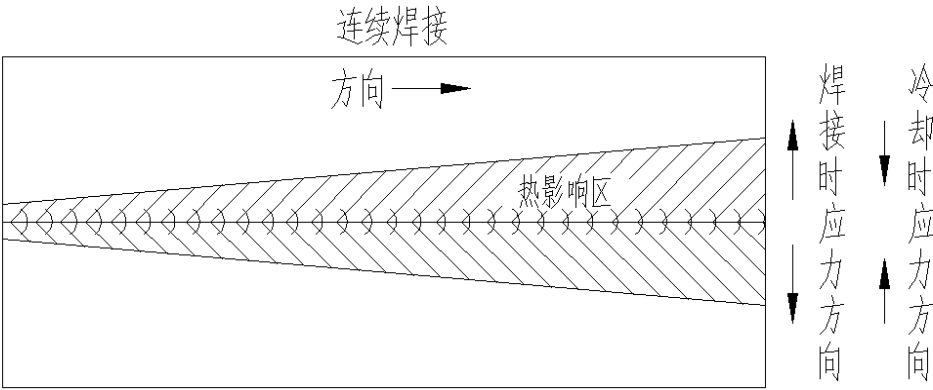


图 3

解决方法是采用合理的焊接工艺。我们建议采用“断续跳跃法”，即将需要焊接的区域分为多段（当然这些分段的数量可以依据工艺试验后，进行确定），如图 4 所示。焊完“1”段后，越过“4”段、焊接“2”段，越过“5”段、焊接“3”段，再返回焊接“4”段、“5”段，依次类推。此种焊接方法可以尽可能地减少“热影响区”，减少冷却时产生的内应力，从而减少承载器的变形。但是必须有效控制划分的段数，划分的太多会影响焊接效率，划分的太少对降低焊接应力的作用不大。

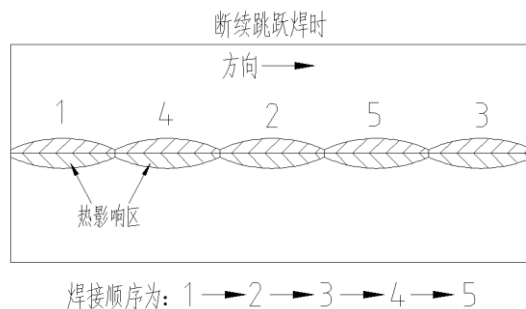


图 4

此种方法的缺点是：工作效率比较低；如果是自动焊机，必须调整焊机的程序。

②施加反变形。施焊前使构件有一个和焊接变形相反的预变形，焊接后产生的焊接变形与预变形可以相互抵消。这种方法可减小焊接残余变形，但不会消除焊接残余应力。

③施焊前预热。在施焊前将构件整体或局部预热至 $100\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，施焊后保温一段时间，以减小焊接和冷却过程中温度的不均匀程度，从而降低焊接残余应力并减少发生裂纹的危险。较厚的钢材或在低温环境下焊接时，通常应对焊缝附近局部进行预热。

④在焊接过程中，应尽量减少焊接约束等影响（如两端的封板后焊），即尽量使金属构件能够在自由状态下受热和冷缺，以减少焊接残余应力。

⑤汽车承载器在存放、运输等自然时效去应力过程中，应注意存放支撑的位置，最好在工艺中有明确规定，以减少因残余应力的释放而造成的变形。

3. 减少焊接残余应力的方法

①热时效法

在施焊后加热到 600°C 左右进行高温回火，保持一段恒温后缓慢冷却。对于尺寸较小的焊件可进行整体高温回火，由于加热已达到钢材的热塑性温度，可消除大部分残余应力，而对尺寸较大焊件可对焊缝附近或残余应力较大部位进行局部高温回火，以减小残余应力。但是，由于这种方法属于高耗能的工艺，目前基本上已经被淘汰了。

②抛丸喷砂法

对于要求比较高的结构件来讲，抛丸喷砂是涂装之前必须进行的一项工作，此项工艺对于焊接应力的均化也是有意义的。通过抛丸的作用可以将一部分结构件表面的应力均化了，有效减少焊接应力的不良影响。

③过负荷法

过负荷法是在结构件焊接结束后，在短时间内将结构件能够承受的最大作用力作用其上，反复多次地作用于结构件上，目的是让结构件中的内应力尽快释放出来。当然也

可以将装满载荷的车辆反复在该结构件上碾压。

④ 振动时效法

振动时效是介于自然时效和热时效两者之间的方法，即构件在激振器所施加的周期性外力作用下产生共振，从而松弛由于焊接造成的残余应力，以获得尺寸精度稳定，可以与热时效的构件媲美。振动时效可以均化残余应力 50% 左右，效果比热时效低一些，但比自然时效高，主要是降低残余应力峰值；它和自然时效一样，能保持构件的刚度，而热时效却使构件的刚度下降。振动时效的最大优点就是节约能耗，时效的效果比较好，最大的缺点就是噪音比较大，必须增加一些隔音装置。

所以，汽车衡的承载器在连续焊接结束 U 型梁之后，为了均化焊接应力、稳定结构，最好在 15-20min 之内进行振动时效，而后再焊接两端的端板。

a. 对机械性能的影响

振动处理后焊缝的疲劳极限有所提高，韧性与未处理材料基本一致，工件有较好的抗变形能力。

b. 对焊接变形的影响

在机械冷体组焊接加工中，采用边振动边焊接方法，对控制冷作，焊接变形，稳定工件尺寸精度，消除工件应力有着不可忽视的作用。

c. 对残余应力的影响

在振动过程中，工件受周期性附加应力的作用，在应力集中处首先发生局部的塑性变形，峰值应力处产生的塑性变形较大，而其他部位相对较小，这样对减少和均化残余应力有良好的作用。

d. 对抗变形能力的影响

振动时效不仅能够减少和均化残余应力，还可提高材料的抗变形能力。

e. 对尺寸精度的影响

对同一种焊接件分别进行了振动时效、热时效和自然时效处理。经观测，振动时效后的变形量最小，其值仅为热时效和自然时效后变形量的一半左右。同时，经振动时效的焊接件变形的持续时间也最短，在 30~60 天内尺寸精度便达到稳定，而经热时效的焊接件需 100~150 天才能稳定，而自然时效的焊接件尺寸持续变化 240~270 天。

f. 对硬度的影响

振动时效后的工件硬度微低于原工件，但比热时效的硬度要高。

g. 对疲劳寿命的影响

经采用脉动疲劳寿命试验，绝大多数工件疲劳寿命的平均值比未处理工件疲劳寿命的平均值约提高 20%以上。

四、结束语

因为作者没有专门进行过焊接专业的学习，仅仅实践过几年的焊接工作，和从事过汽车衡等相关产品的焊接工艺编写工作，并没有系统地学习过此方面的高深理论，本文只能从焊接工艺角度对汽车衡承载器焊接存在的问题进行了分析，所以只能说在此“抛砖引玉”，或者是“班门弄斧”。实际上金属的焊接是一门比较复杂的学科，有人就说：金属焊接好比是“一座炼钢炉”。焊接工艺编写的恰当与否，焊接工艺执行的力度如何，都是产品质量能够保证的基础。

当然，任何产品质量除了正确的工艺之外，也离不开工艺装备的设计合理，工艺装备的装备系数高低等问题。

参考文献：

- [1]焊工工艺学 机械工业出版社 技工学校机械类通用教材编审委员会编
- [2]沈立人 边界条件对衡器性能影响问题的探讨 [J] 衡器 2012 年 7 期