

# 焊接应力与焊接变形控制

李 刚

(中国人民武装警察部队 水电第九支队, 新疆 834014)

【关键词】 焊接应力; 焊接变形; 控制

中图分类号: TV547.6

文献标识码: B

文章编号: 1000-0860(2004)06-0046-02

2002年6月, 新疆吉林台一级水电站导流洞闸门安装进行到了对底板焊缝处理阶段, 整个底板长9.4 m, 宽2.6 m, 面板为20 mm厚的钢板. 其上沿长度方向均布4条待焊的焊缝, 均为V形坡口, 坡口高度为16 mm, 角度为60°. 此时底板焊接面临以下几个问题: (1) 底板刚性较大, 坡口大, 焊后会产生较高的焊接应力, 在今后的使用中可能会产生裂缝; (2) 4条长焊缝横穿底板, 焊后易使底板产生波浪变形; (3) 坡口角度较大, 加之4条焊缝平行布置, 易产生角变形使底板卷曲. 因此对底板的焊接应力和焊接变形的控制成为突出问题.

焊接应力和焊接变形是形成各种焊接裂纹的重要因素, 又是造成热应变脆化的根源. 焊接应力和焊接变形在一定条件下还会严重影响焊件的强度、刚度、受压时的稳定性、加工精度和尺寸稳定性等. 如果焊接变形严重, 就会给结构的组装和焊接造成困难. 矫正变形不仅费工、费时、提高成本, 而且在矫正中或矫正后还会引起一些新的问题. 水利水电工程施工中, 大量运用焊接, 尤其是在钢闸门、压力钢管等工程重要部位, 其制作安装更依赖于焊接, 对焊接应力和焊接变形的控制程度直接关系到整个工程的质量. 为处理好底板的焊接应力和焊接变形问题, 做到“对症下药”, 首先应明了焊接应力与焊接变形产生的原因.

## 1 焊接应力与焊接变形产生的原因

### 1.1 不均匀的局部加热和冷却

焊接时焊件受到不均匀的局部加热和冷却是产生焊接变形和焊接应力的最主要原因. 焊接时, 焊件的局部被加热到熔化状态, 形成了焊件上温度的不均匀分布区, 使焊件出现不均匀的热膨胀, 热膨胀受到周围金属的阻碍不能自由膨胀而受到压应力, 周围的金属

则受到拉应力, 当被加热金属受到的压应力超过其屈服点时, 就会产生塑性变形; 焊件冷却时, 由于加热的金属在加热时已产生了压缩的塑性变形, 所以最后的长度要比未被加热金属的长度短些, 但是这时周围的金属又会阻碍它的缩短, 结果在被加热的焊缝金属中产生拉应力, 而在周围金属中产生压应力.

### 1.2 焊缝金属的收缩

焊缝金属在冷却过程中, 体积发生收缩, 这种收缩使焊件产生变形和应力. 焊缝金属的收缩量取决于熔化金属的数量. 因而不同的坡口会产生不同的变形. 长焊缝的纵向收缩会对焊件边缘产生压应力, 焊缝横向收缩将会造成焊件角变形, 综合作用, 可能会使底板产生波浪变形.

### 1.3 焊缝金属的组织变化

焊缝金属在焊接时加热到很高温度达到熔点, 从熔点到常温, 焊缝金属内部的组织要发生变化. 由于各种组织的比容不同, 焊缝金属冷却下来要发生体积的变化. 这种体积的变化同样也受到周围没有组织变化的金属的约束, 其结果使内部产生了应力.

### 1.4 焊件的刚性

焊件的刚性限制了焊件在焊接过程中的变形, 所以刚性不同的焊接结构, 焊后变形的大小就不同. 如焊件被夹持在夹具中进行焊接, 由于夹具的限制, 焊件不能随温度的变化自由膨胀和收缩, 这样就有效地减少了焊件的变形, 但是同时会产生较大的焊接应力.

除上述原因外, 焊接方法、接头形式、坡口形式、坡口角度、焊件装配间隙、对口质量、焊接速度等都会对

收稿日期: 2004-04-07

作者简介: 李 刚(1973—), 男, 内蒙乌盟人, 助理工程师.

焊接变形和焊接应力造成影响,对导流洞底板这样大的焊件来说,焊接顺序对焊接应力与变形影响更大。

## 2 焊接应力的控制

### 2.1 设计措施

(1)尽量减少焊缝的尺寸和数量,采用填充金属少的坡口形式。

(2)避免焊缝过分集中,焊缝与焊缝之间应保持足够的距离。尽量避免三轴交叉的焊缝,不应把焊缝布置在工作应力最大的区域。

(3)采用刚性较小的接头形式。如用翻边连接代替插入式连接可降低焊缝的拘束度。

(4)在残余应力为拉应力的区域内,应该避免几何不连续性,以免内应力在该处进一步提高。

### 2.2 工艺措施

#### 2.2.1 采用合理的焊接顺序和方向

(1)焊缝在焊接时,要保证焊缝的纵向和横向收缩都比较自由。例如焊对接焊缝时,从中间依次向两自由端进行焊接,使焊缝能较好地自由收缩。

(2)收缩量最大的焊缝应先焊,因为先焊的焊缝收缩时受阻较小,故应力较小。一个结构上即有对接焊缝,又有角接焊缝,应先焊对接焊缝,因为对接焊缝的收缩量较大。

(3)在对接平面上带有交叉焊缝的接头时,必须采用保证交叉点部位不易产生缺陷的焊接顺序。

#### 2.2.2 降低焊缝的拘束度

在焊接镶块的封闭焊缝或其它拘束度大的焊缝时,可采用反变形法降低焊件的局部拘束度,从而减少焊缝的拘束度。

#### 2.2.3 锤击焊缝

可用头部带小圆弧的工具锤击焊缝,使焊缝得到延展,降低内应力,锤击应保持均匀适度,避免锤击过分,以防止产生裂纹。一般不锤击第一层和表面层。

#### 2.2.4 加热减应法

在焊接结构的适当部位加热使之伸长,加热区的伸长带动焊接部位,使它产生一个与焊缝方向相反的变形。在加热区冷却收缩时,焊缝就可能比较自由地收缩,从而减少内应力。

#### 2.2.5 采用冷焊法

冷焊法的原理是使整个结构上的温度分布尽可能均匀,即焊缝和高温受热区的宽度尽可能窄些,温度尽可能低些。这样收缩所造成的应力就可以小些,采用较小的焊接线能量、合理的焊接顺序和操作方法可以实现上述要求。具体做法:采用小直径焊条、小电流多

层多道无摆动焊接法;每次焊接的焊缝长度要短些;尽可能提高焊接环境温度。

## 3 焊接变形的控制

### 3.1 反变形法

反变形法是生产中经常使用的方法。它是按照事先估计好的焊接变形的大小和方向,在装配时预加一个相反的变形,使其与焊接产生的变形相抵消。也可以在构件上预制出一定量的反变形,使之与焊接变形相抵消来防止焊接变形。

### 3.2 利用装配和焊接顺序控制变形

同样的焊接结构如果采用不同的装配、焊接顺序,焊后产生的变形则不相同。为正确地选择装配顺序和焊接顺序,一般应依照下述原则:(1)收缩量大的焊缝先焊;(2)采取对称焊;(3)长焊缝焊接时,应采取对称焊、逐步退焊、分中逐步退焊、跳焊等焊接顺序。

### 3.3 对称施焊法

对于对称焊缝,可以同时对称施焊,少则2人,大的结构可以多人同时施焊,使所焊的焊缝相互制约,使结构不产生整体变形。

### 3.4 刚性固定法

该法是在没有反变形的情况下,将构件加以固定来限制焊接变形。此种方法对角变形和波浪变形比较有效。

此外还有散热法、锤击焊道法等,均是利用变形原理以解决焊接变形问题。

## 4 吉林台一级水电站导流洞闸门底板焊缝处理

针对该底板刚性大、焊缝长、坡口大等特点,对底板的焊接应力和焊接变形的控制采取了如下焊接措施:(1)焊缝为长焊缝焊接的情况,采取4组焊工每组2人,对称分中逐步退焊、跳焊的焊接顺序,每条焊缝长不超过1m(控制焊接应力与焊接变形);(2)采用多层多道焊接(控制焊接应力);(3)对底板下部及四围的加固钢筋进行再加固,面板上垂直焊缝方向每隔1m点焊一根I20工字钢,焊接热处理完后再割掉,打磨平整(控制焊接变形);(4)底板两端的工字钢位于底侧水封的位置,以减少底板水封面的变形,防止闸门漏水(控制焊接变形,重点部位重点保护);(5)焊接完毕后,采取局部高温回火(控制焊接应力)。

采取上述措施焊接后,闸门底板通过了无水、静水、动水试验,底板安装满足了使用要求。

(责任编辑 耿延芳)