

## 建筑工程钢结构施工中的焊缝变形控制研究

王奇志

上海欧本钢结构有限公司, 上海 200127

[摘要]在建筑工程中,钢结构因高强度、轻质量和施工速度快而被广泛应用,但焊缝变形仍是影响施工质量和结构精度的主要问题。焊接过程中,热输入引起的膨胀和冷却收缩会产生残余应力,导致焊缝和构件出现翘曲、扭曲或弯曲。目前,钢结构施工多依赖经验和简单调整,焊缝变形控制精度有限。文章分析焊缝变形机理及检测方法,研究预制变形、工艺优化、外加束紧力和焊后矫正等控制技术,并结合施工实践提出优化策略,为提高钢结构施工质量和结构安全提供参考。

[关键词]钢结构施工;焊缝变形;控制

DOI: 10.33142/aem.v7i8.17762

中图分类号: TU758

文献标识码: A

### Research on Welding Seam Deformation Control in Steel Structure Construction of Building Engineering

WANG Qizhi

Shanghai Open Steel Structure Co., Ltd., Shanghai, 200127, China

**Abstract:** Steel structures are widely used in construction engineering due to their high strength, lightweight, and fast construction speed, but weld deformation remains the main problem affecting construction quality and structural accuracy. During the welding process, the expansion and cooling shrinkage caused by heat input can generate residual stresses, leading to warping, twisting, or bending of the weld and components. At present, steel structure construction relies heavily on experience and simple adjustments, and the accuracy of weld deformation control is limited. The article analyzes the deformation mechanism and detection methods of welds, studies control technologies such as prefabricated deformation, process optimization, external tightening force, and post weld correction, and proposes optimization strategies based on construction practice, providing reference for improving the construction quality and structural safety of steel structures.

**Keywords:** steel structure construction; weld deformation; control

#### 引言

在现代建筑工程当中,钢结构凭借其自身所具备的诸多优势,像强度颇高、质量较轻以及施工速度相对较快等等特点,在高层建筑、工业厂房以及大型公共设施等方面得到了广泛的应用。不过,在钢结构施工的过程里面,焊缝变形这一问题始终都算得上是影响结构精度以及施工质量的一个极为重要的因素。在焊接期间,局部材料会因为受热而出现膨胀的情况,随后又会在冷却的时候产生收缩的现象,如此一来便会形成残余应力,进而致使焊缝以及构件呈现出翘曲、扭曲还有弯曲等一系列的变形状况。这些变形情况一方面增加了施工的难度以及成本,另一方面还极有可能对结构的承载性能以及使用寿命造成影响。随着钢结构的应用范围不断地扩大,对于焊缝变形的控制也就提出了更高的要求,所以针对焊缝变形的产生机理、检测办法以及控制技术展开相关研究,其意义是十分重要的,不仅能够提升施工质量和结构安全性,还能为建筑行业的可持续发展提供有力保障。

#### 1 钢结构焊缝的基本类型与特点

钢结构焊缝在钢结构施工里属于实现构件连接极为关键的部位,它的类型以及特点会对结构的受力性能、施

工质量还有焊缝变形状况产生直接的影响。依据焊缝的形状、所处的位置以及连接的方式来看,钢结构焊缝大体上可分成对接焊缝、角焊缝、搭接焊缝以及 T 形焊缝这几类。对接焊缝一般是在两块钢板或者型钢端部进行平面连接时采用的,它有着受力比较均匀、焊接质量也相对容易把控这样的特点,不过对于焊接的精度以及端面的准备工作要求是比较高的。角焊缝大多是在型钢或者是板材的边缘进行连接的时候使用的,其施工起来较为便捷,并且适应性也很强,然而在受力集中的区域就容易出现变形以及产生残余应力的情况。搭接焊缝主要是适用于薄板或者局部需要加固的情形,它可以增加接头的强度,可在焊接的过程中很容易引发局部的翘曲现象。T 形焊缝是用来实现构件的垂直连接的,能够很好地承受剪切力,可是对于焊接的位置以及焊缝的尺寸控制的要求是比较严格的。

#### 2 钢结构焊缝变形的检测与评估方法

##### 2.1 焊缝变形的测量技术

在钢结构施工期间,焊缝变形的测量技术乃是保证焊接质量以及把控结构精度的关键手段。常被采用的测量方法主要分成传统手工测量以及现代高精度仪器测量这两类。手工测量一般会运用直尺、塞尺、水平尺还有角尺这

类工具,凭借人工来读取焊缝的高度、宽度、歪斜的程度以及局部的翘曲状况,这种方法比较适合在现场进行快速的检查,然而其精度以及可靠性会很大程度上受到操作人员经验方面的影响。现代高精度测量的方法是依靠全站仪、激光扫描仪、三维测量臂以及光学跟踪系统,借助接触式或者非接触式的方式去获取焊缝以及构件的三维坐标信息,可以精准地测量焊缝的长度、厚度、扭曲情况以及整体变形情况,并且还能生成数字化的模型,方便与设计模型展开偏差分析,达成焊缝变形的可视化以及量化的评估效果。与此再结合传感器以及数据采集系统,在焊接的过程中能够实时地监测热应力以及温度的变化情况,针对焊缝变形展开动态的分析,进而及时地发现潜在的问题并且给予施工调整方面的指导。

## 2.2 焊缝变形的评估指标与标准

在钢结构施工期间,焊缝变形所涉及的评估指标以及相关标准,对于判断焊接的质量状况、把控施工的精度水平以及保证结构的安全稳固而言,属于极为关键的依据所在。就评估指标来讲,其往往会涵盖诸如焊缝的几何尺寸方面的状况、焊缝出现变形的具体程度、存在的残余应力情况、焊缝具备的强度高,还有焊接接头存在缺陷的相关情形等诸多内容<sup>[1]</sup>。具体展开来讲,几何尺寸指标着重去考察焊缝的宽度、厚度、焊脚的高度以及坡口的角度,看看它们是不是都符合预先的设计要求;变形量指标包含了焊缝呈现出来的局部翘曲状态、发生扭曲的情况、出现弯曲的情形,还有整体构件所产生的变形状况,通常是借助于测量实际尺寸与设计尺寸之间存在的偏差,以此来实现量化的表述;残余应力以及焊缝强度指标,则是用来反映在焊接这个过程当中,热输入的情况、冷却的速度以及焊缝材料自身的性能等因素,给结构安全所带来的影响程度。在评估标准这个层面,一般会参照国家当下正在施行的钢结构设计方面的规范、焊接操作的相关规范以及施工质量验收方面的标准,像《钢结构设计规范》《钢结构焊接规范》还有《建筑工程施工质量验收规范》等这类标准,它们针对焊缝几何偏差的程度、允许存在的变形量大小以及缺陷所属的等级等方面,都有十分明确且细致的要求规定。

## 2.3 数值模拟在焊缝变形分析中的应用

在钢结构施工领域当中,数值模拟技术于焊缝变形分析方面有着颇为重要的应用价值。该技术可借助计算机来构建焊接过程的有限元模型,进而对焊接热源、温度场、应力场以及变形过程加以模拟,如此一来便能够预测出焊缝以及构件出现变形的具体情况。经由数值模拟这一手段,本文能够剖析不同焊接顺序、焊接工艺参数、夹具约束还有材料性能等因素给焊缝变形所带来的影响,从而为施工方案的优化给予科学层面的依据。在模拟开展的过程之中,一般会运用热-结构耦合分析的方法,把焊接所产生的热输入以及冷却收缩引发的应力、应变以及残余变形综合起来进行计算,进而能够精准地预测出局部出现的翘曲、扭

曲情况以及整体构件变形呈现出的趋势。数值模拟还能够同实验测量所获取的数据相互结合起来,通过对二者进行对比的方式来验证模拟的精度,以此进一步对焊接工艺以及夹具设计予以优化,达成对焊缝变形实施预防性控制的目的。

## 3 焊缝变形控制方法

### 3.1 预制变形法

预制变形法算得上是常用的一种焊缝变形控制技术,其主要是借助于在开展焊接作业之前,针对构件做出预先的调整操作,或者精心设计出特定的反向变形方案,以此来促使在焊接进程当中所产生的热应力以及收缩变形能够在一定程度上得到抵消,进而实现对焊缝以及构件整体变形加以控制的既定目标。在实际的操作环节里,预制变形法往往会依据焊接材料所具备的热物性参数、焊接接头的具体类型、焊接所遵循的顺序以及构件的几何尺寸等方面的情况,凭借经验来进行相应的计算,又或者借助数值模拟的方式去预测焊接变形量,接着在焊接开始之前,对构件实施反向弯曲处理或者开展局部校正工作,让其在焊接完成之后能够逐步趋向于设计所规定的形状<sup>[2]</sup>。就好比说,对于梁、板亦或是型钢这类构件而言,可以在夹具当中施加适量的反向弯曲力,或者是对构件间隙做出适当的调整,如此一来,焊接热收缩所引发的翘曲情况便可以提前被抵消掉,进而确保焊接完成后的构件能够保持较好的平直度,并且满足安装精度的要求。预制变形法不但能够在很大程度上有效地降低焊接过程当中出现的残余应力以及变形积累状况,而且还能缩减后续的矫正工序以及施工返工情况的发生,进一步提升施工的效率以及焊缝的质量。

### 3.2 焊接顺序控制法

焊接顺序控制法是通过调整焊接顺序来减小焊缝变形的的方法。不合理的焊接顺序可能导致焊接应力累积和焊缝变形加剧。合理安排焊接顺序,例如采用交错焊接、对称焊接等方法,可以有效地减小焊缝变形。此外,采用分段焊接和间歇焊接技术,也可以减小焊缝变形。焊接顺序控制法适用于各类大跨度钢结构工程,具有操作简便、成本低的优点。

### 3.3 焊接工艺参数优化

焊接工艺参数优化乃是控制钢结构焊缝变形的关键举措,其要义在于恰当选取焊接电流、电压、焊接速度、焊丝直径、焊接顺序以及热输入分布等诸多参数,以此来削减焊接进程里所产生的热应力与残余应力,进而切实缩小焊缝以及构件出现的变形情况。在实际的施工环节当中,不同种类的材料、不一样的焊缝形式以及各异的构件厚度,针对工艺参数所提出的要求也各不相同,所以得要综合焊接接头的力学性能以及焊缝受力特性展开科学合理的调整操作。就好比说,在厚板焊接的情形下,可以运用多层分段焊接、交替焊接或者反向焊接的办法,借此实现焊接热量的均匀分布,降低局部高温区域的应力集中程度;而在薄板焊接的过程中,那么可以通过调低焊接电流或者提升焊接速度的方式来把控热输入,避免板材出现局部翘曲以及变形累

积的现象。对焊接工艺参数加以优化,不但能够提升焊缝的力学性能以及焊接质量,而且还能减少后续的矫正以及返工方面的工作,提高施工的效率并且获取更好的经济效益。

### 3.4 外加束紧力控制法

外加束紧力控制法属于在钢结构焊接施工当中广泛运用的一种焊缝变形控制技术,其基本原理是在开展焊接作业的过程里,给构件施加经过预先设定好的外力或者约束力,以此来抵消因焊接热应力以及收缩应力而引发的变形情况,进而确保焊缝以及构件整体呈现出良好的平直度与精度状态。在实际的应用环节当中,施工人员往往会借助夹具、拉杆、千斤顶或者是液压装置等方式,对构件施加适量的压紧力、拉伸力或者扭转力,使得在焊接过程里所产生的局部出现翘曲以及整体发生变形的情况能够被提前予以抵消掉<sup>[3]</sup>。比如,在对大型梁或者板材实施焊接操作的时候,可以沿着焊缝的方向施加均匀的拉力,亦或是利用夹具针对关键部位加以固定处理,以此来控制由于焊缝收缩所引起的弯曲或者扭曲状况;而在进行角焊缝或者T形焊缝施工的时候,则可以通过实施局部加压或者施加反向力的操作方式,避免出现局部翘曲以及残余应力集中的情况。外加束紧力控制法具备操作灵活这一优势,能够针对不同的构件以及焊缝类型展开定向控制,并且还能够和焊接顺序、工艺参数优化等相关的方法一同结合着使用,以此提升焊缝变形控制的整体效果。

### 3.5 焊后矫正方法

焊后矫正方法属于钢结构焊缝变形控制范畴内颇为重要的一项补救举措,其主要作用是在完成焊接操作之后,针对已然出现的焊缝或者构件变形状况予以修正处理,从而确保结构能够保持应有的平直状态以及达到设计所规定的精度要求。焊后矫正一般会采用机械力矫正方式、热矫正方式,亦或是将这两种方式结合起来运用的方法来开展相关工作。机械力矫正主要是借助夹具、液压千斤顶、拉杆或者压板等工具来施加外部力量,进而把焊缝或者构件变形部位拉直或者是压平,这种方法比较适合用于轻中型构件出现的局部翘曲情况或者是整体弯曲情况的调整处理。热矫正则是凭借局部加热的操作手段,通过对热应力重新分布加以控制,促使焊缝或者构件能够恢复到设计所规定的形状状态,此方法经常被应用于厚板或者大型构件出现的局部扭曲情况的矫正处理当中。在实际的应用过程当中,焊后矫正必须要依据焊缝的具体类型、构件所使用的材质以及变形的程度等情况,科学合理地去确定矫正的先后顺序、加力的具体位置以及加热的温度等关键因素,以此来避免出现二次变形的情况或者是产生新的残余应力等不良后果。除此之外,焊后矫正往往还会与焊接工艺的优化、预制变形法以及外加束紧力控制法等多种方法相互结合起来运用,通过采取多种多样的措施来进行综合性的焊缝变形控制,从而进一步提升钢结构施工所能够达到的

精度水平以及质量标准。

## 4 焊缝变形控制的技术优化与发展趋势

随着钢结构施工技术不断发展,焊缝变形控制在技术优化以及发展趋势方面,正逐步朝着高精度、智能化还有数字化的方向去推进。就焊接工艺来讲,当下越来越多的新型焊接办法以及设备开始在施工现场得到应用,像低热输入焊接、脉冲焊接、多点同步焊接以及自动化焊接机器人等。这些技术能够在很大程度上减少因焊接热量而引发的局部应力集中以及残余应力情况,进而从源头处对焊缝变形加以控制。数值模拟和计算机辅助设计(也就是CAD/BIM)技术相结合之后,使得焊缝变形预测以及控制变得更加科学且更具可视化特点。借助有限元分析、热-结构耦合模拟以及焊接顺序优化等方式,便可在施工正式开始之前,针对焊缝可能会产生的变形做出较为精确的预测,并且制定出具有针对性的控制方案。智能化监测与控制系统不断取得发展,这同样为焊缝变形控制给予了实时数据方面的有力支撑<sup>[4]</sup>。依靠传感器、温度以及应力监测设备,便能够在焊接开展的过程中实时地去采集热应力以及变形相关的数据,再结合控制算法达成动态调整的目的,以此来提升焊缝变形控制所具有的精度以及效率。绿色施工理念以及精细化管理的要求,促使施工单位在焊缝变形控制这块,更加重视资源的优化以及施工的经济性,把多种控制方法有机地结合起来,从而形成从设计阶段一直到施工乃至验收整个流程的控制体系。

## 5 结语

在钢结构施工环节当中,焊缝变形这一情况无疑是对结构精度以及施工质量产生影响的重要因素。对该变形机理展开细致分析,并且与预制变形方面的相关控制方法相结合,同时对焊接工艺予以优化,另外还采用外加束紧力以及焊后矫正等手段,如此便能够有效地将变形程度降下来,进而提升焊接的质量,让施工效率得以提高。在未来的发展进程中,随着数字化以及智能化技术逐步得到应用,对于焊缝变形的控制将会变得更加科学合理且高效,从而给钢结构建筑工程的安全性以及高质量建设给予强有力的保障。

### 【参考文献】

- [1]韩涛,赵小龙.建筑工程钢结构施工中的焊缝变形控制研究[J].城市建筑,2025,22(14):200-202.
- [2]胡新达.大跨度钢结构构件焊缝变形控制技术研究[J].工程质量,2025,43(2):18-21.
- [3]王勋,杜江波,杜伸云.钢箱梁构件焊接变形控制探讨[J].交通世界,2020(1):110-112.
- [4]王旭.波形钢腹板梁全熔透焊缝高效焊接方法的应用及变形控制[J].焊接技术,2021,50(8):86-91.

作者简介:王奇志(1978.11—),男,民族:汉族,籍贯:江苏省丰县,职称:工程师,学历:本科,研究方向:建筑施工。