

筒体壁板预应力控制焊接变形的数值分析

吴向阳, 张志毅¹, 李 文¹, 陈北平¹, 孟庆元², 史春元²

(1. 南车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266111; 2. 大连交通大学, 辽宁 大连 116028)

摘 要: 本文利用 ABAQUS 有限元软件, 结合固有应变法, 系统地分析了预应力对筒体壁板上轴向短梁和周向长梁焊接变形的影响规律。基于计算结果, 设计预加应力以控制变形, 并对其结构进行强度和稳定性分析。

关键词: 预应力; 固有应变; 焊接变形; 强度分析

中图分类号: TG 457.1 **文献标志码:** B

Numerical Analysis for Welding Distortion Controlled by Pres-tress of Cylinder Wall

WU Xiangyang¹, ZHANG Zhiyi¹, LI Wen¹, CHEN Beiping¹, MENG Qingyuan², SHI Chunyuan²

(1. CSR Sifang Qingdao Locomotive Co., Ltd, Qingdao 266111, China;

2. Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China)

Abstract: This paper systematically analyzed the regularity of the welding distortion of axial short beams and circumferential large beams of cylinder wall affected by pre-stress by using ABAQUS finite element software combined with inherent strain method. Based on the calculation results, this paper designed pre-stress to control the welding distortion, and analyzed the strength and the stability.

Key words: Pres-tress, Inherent strain, Welding distortion, Strength analysis

大型筒体壁板采用模块化设计后, 需将整个圆周分成 11 个单独的筒体壁板, 即模块化。在每个模块单独焊接后, 要进行整体的拼装和组焊, 一般这个过程用自动焊进行。但在模块间的自动焊过程中, 对壁板之间的间隙变形比较敏感, 需保证每个模块的焊接变形量在 1.5 mm 以内。

为研究预应力对焊接变形的控制程度, 本文分别对无预应力条件下和施加预应力条件下, 筒体壁板的焊接变形问题, 进行了数值分析。

1 筒体壁板有限元模型

1.1 计算模型

本文所研究的结构由周向长梁、轴向短梁、壁板和刚性胎膜组成, 整体结构的弧长为 12 640 mm, 宽度为 3 878 mm, 厚度为 6 mm。在壁板上焊接 2 条周向长梁和 14 条轴向短梁。

1.2 壁板材料的焊接工艺

焊接方法采用 CO₂ 气体保护焊, 焊缝形式为交错断续焊缝。在焊接过程中, 周向长梁和轴向短梁采用不同的焊接工艺参数, 如表 1 所示。

表 1 轴向短梁和周向长梁的焊接工艺参数

焊接构件	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/cm · s ⁻¹
轴向短梁	200	30	0.7
周向长梁	220	32	0.713

1.3 筒体壁板材料参数与边界条件

筒体壁板的材料为 P265, 其弹性模量 E 为 200 000 MPa, 泊松比 ν 为 0.3, 屈服强度 σ_s 为 350

MPa。

利用 ABAQUS 软件提供的各向异性热膨胀系数的功能, 使焊缝在周向和轴向有不同程度的收缩, 并把应变载荷加在焊缝及其附近的单元。

在建立有限元模型时, 将筒体壁板的左右两端的边界条件设定为固支约束, 即约束 6 个自由度。

1.4 网格划分

由于模拟的筒体壁板尺寸较大, 因此采用均匀网格来处理, 如图 1 所示。在计算中将刚性胎膜结构设为刚体, 筒体壁板设为可变形体, 采用壳单元进行建模, 单元类型为 S4R, 模型中共有 26 151 个单元, 26 456 个节点, 网格尺寸为 50 mm × 50 mm。本计算采用单元“生死”处理来模拟周向长梁和轴向短梁的焊接过程。

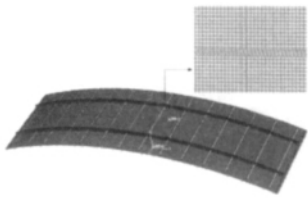


图 1 网格划分

2 焊接变形计算结果

2.1 无预应力时的焊接变形

无预应力时, 通过有限元分析得到焊后壁板的应力云图, 如图 2 所示。筒体壁板边缘变形曲线如图 3 所示。

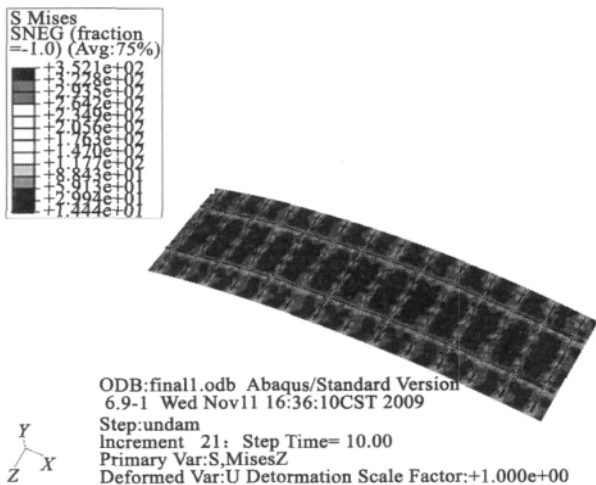


图2 焊后的应力云图

由图2可知,焊后轴向短梁、周向长梁最大残余应力均达 352 MPa 左右,达到或超过材料屈服强度。由图3可知,在筒体壁板边缘出现较大波浪变形,最大径向变形量达 4.94 mm,且两翼变形比中部稍大。

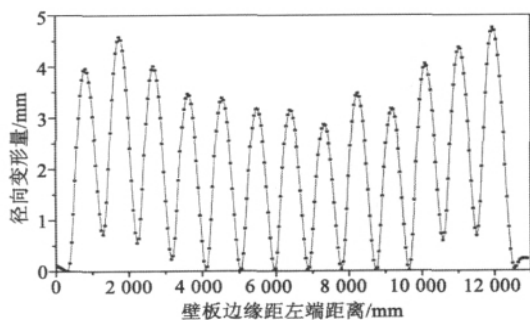


图3 无预应力时筒体壁板边缘变形曲线

在无预应力时,对轴向短梁和周向长梁采用同时焊接,这样它们的变形量相互叠加产生更大的变形。

2.2 预应力条件下的焊接变形

由于模拟中预应力的施加是通过刚性胎膜的顶升实现的,顶升距离和预应力的关系见图4。

由图4可知,筒体壁板的平均预应力值随刚性胎膜顶升距离的增加而增加,两者呈线性关系。

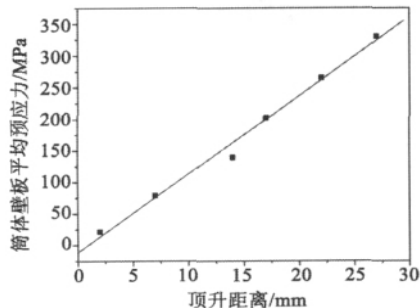


图4 顶升距离与壁板平均预应力的关系

刚性胎膜上顶法在筒体壁板单元上施加预应

力。施加预应力后的应力分布如图5所示。

由图5可见,除筒体壁板左右边缘存在一定的应力集中外,其他部位可得到均匀的预应力。

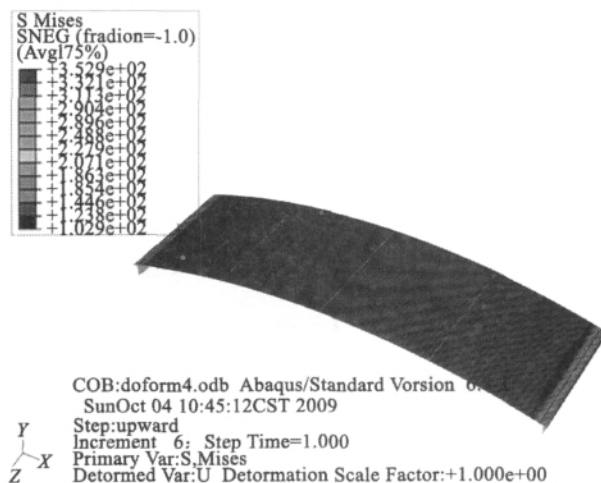


图5 预应力分布云图

对只焊接轴向短梁和只焊接周向长梁的情况下进行数值模拟。

1) 预应力下只焊接轴向短梁时的变形规律

从图6中可以看出,只焊接轴向短梁时,预应力越大,焊后残余应力越大,且分布区域也有增大趋势。

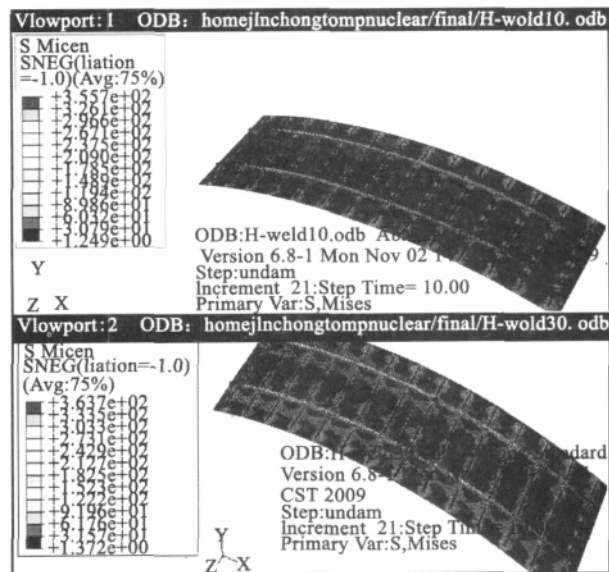


图6 只焊接轴向短梁施加 0.15 σ_s 和 0.21 σ_s 预应力时的应力云图

由图7可知,随着预应力增大,焊后变形有增大趋势,特别是两翼变形显著。当平均预应力为 0.45 σ_s 时,最大径向变形量为 4.15 mm。由此可知,预应力对控制轴向短梁的焊接变形不利。

2) 只焊接周向长梁时的变形规律

只焊接周向长梁时,施加 0.15 σ_s 和 0.21 σ_s 预应力时,筒体壁板表面的残余应力分布如图8所示。由图8可见,随着预应力的增加,残余应力有减小的趋

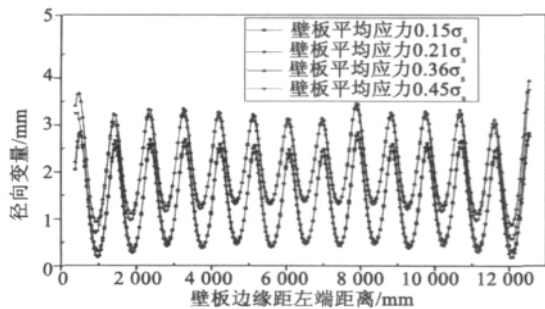


图 7 只焊接轴向短梁时筒体壁板边缘的变形规律

势。

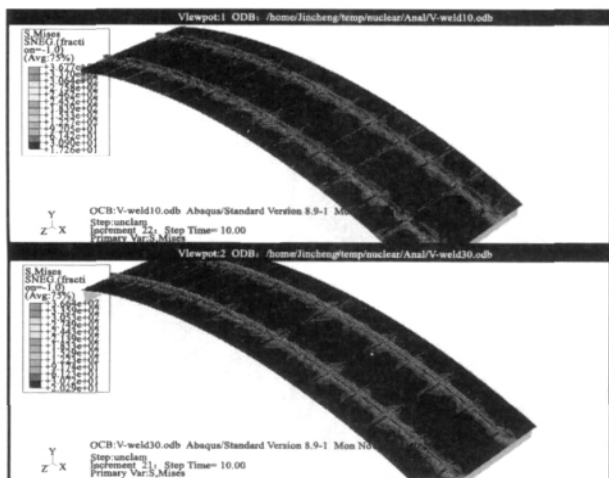


图 8 只焊接周向长梁施加 $0.15\sigma_s$ 和 $0.21\sigma_s$ 预应力时的应力云图

只焊接周向长梁时,焊后筒体壁板边缘变形有减小趋势,特别是中部的焊接变形大大减小,但筒体壁板的两翼变形还有较大的增大趋势。其变形规律如图 9 所示。

由图 9 可知,随预应力的增大变形量增大,但增大趋势不明显。

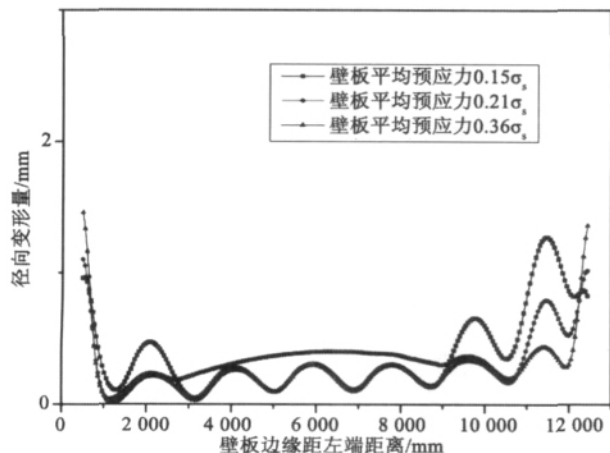


图 9 只焊接周向长梁时筒体壁板边缘的变形规律
对比上述只焊接轴向短梁和只焊接周向长梁时

的变形规律可知,焊后变形主要由于周向长梁引起。

3 结语

1) 在未施加预应力条件下,焊后筒体壁板边缘出现明显的波浪变形,且最大径向变形量达 4.94 mm。

2) 预应力对控制轴向短梁焊接变形作用不大,但预应力可以抑制周向长梁的焊接变形。

3) 采用先焊接轴向短梁,再施加预应力,最后焊接周向长梁的焊接顺序,随着预应力的增加,焊接变形逐渐减小。当预应力接近 $0.48\sigma_s$ 时,径向变形量下降到 1.5 mm。

4) 筒体壁板的平均预应力和刚性胎膜顶升距离呈线性关系。

参考文献

- [1] 陆赐麟. 预应力钢结构的经济效益与发展概况[J]. 钢结构, 1986(2): 15-16.
- [2] Zhou Guangtao, Liu Xueson. Welding deformation controlling of aluminum-alloy thin plate by two-direction pre-stress method[J]. Materials Science and Engineering A, 2009 (499): 147-152.
- [3] 付荣柏. 焊接变形的控制与矫正[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [4] 汪建华. 焊接数值模拟技术及其应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2003.
- [5] 汪建华, 陆皓, 魏良武. 固有应变有限元法预测焊接变形理论及其应用[J]. 焊接学报, 2002, 23(6): 37-40.

作者简介: 吴向阳(1983-), 男, 主要从事自动化焊接工艺等方面的研究。

收稿日期: 2011 年 6 月 23 日

责任编辑 王亚昆

