

研
究
开
发HXD1B 型大功率机车辅助变压器
夹件的机械强度有限元分析黄细友¹, 陈湘令², 廖保华¹

(1. 南车株洲电机有限公司, 湖南 株洲 412001;

2. 湖南铁道职业技术学院, 湖南 株洲 412001)



作者简介：黄细友（1965-），男，高级工程师，现从事机车变压器产品开发工作。

摘 要：采用ANSYS有限元软件分析计算了HXD1B型大功率机车辅助变压器夹件承受垂向3g、横向3g和纵向5g的3个方向峰值加速度冲击时整体夹件的机械强度，各种工况下的最大应力都小于材料许用应力，最后通过试验验证了夹件机械强度的可靠性。

关键词：辅助变压器；夹件；有限元分析；机械强度；HXD1B型大功率机车

中图分类号：U264；TB301 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-128X(2012)03-0030-04

The Finite Element Analysis of Auxiliary Transformer Clamp Mechanic Strength for the HXD1B High Power Locomotive

HUANG Xi-you¹, CHEN Xiang-ling², LIAO Bao-hua¹

(1. CSR Electric Motor Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China;

2. Hunan Railway Professional Technology College, Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: With finite element analysis by the ANSYS software, the mechanic strength was analyzed and calculated when the auxiliary transformer clamping piece was brought to bear three direction impact of vertical 3g transverse 3g and longitudinal 5g peak acceleration, which indicated the max stress of all working conditions was less than material permitted. The reliability of clamp mechanic strength was verified by experiment too.

Key words: auxiliary transformer; clamp; finite element analysis; mechanic strength; HXD1B high power locomotive

0 引言

HXD1B型大功率机车辅助变压器的铁心和线圈，由左右夹件通过6根不锈钢螺杆连接夹紧成为一个整体，安装在机车的机械间内，按IEC61373—1999《铁路应用—机车车辆设备—冲击和振动试验》的规定，辅助变压器的机械结构必须能够承受垂向峰值加速度3g、横向峰值加速度3g和纵向峰值加速度5g正反向各冲击3次后，辅助变压器保持功能的完整性。

本文基于IBM工作站ANSYS有限元分析软件，建立了HXD1B型大功率机车辅助变压器夹件有限元计算模型，建立有限元模型时按设计图纸采用全实体模型建模，考虑到拉螺杆对左右夹件有一定的约束作用，有限元模型中考虑了拉螺杆和螺母的作用，在此基础上，分6种工况对整体夹件施加加速度冲击，在ANSYS

软件中对有限元计算模型进行仿真，分析了6种工况下夹件的应力云图，并通过试验验证了夹件机械强度的可靠性。

1 实体模型和有限元仿真模型

1.1 辅助变压器实体模型

HXD1B型大功率机车辅助变压器的实体模型见图1。该辅助变压器主要由主铁心、旁铁心、线圈、4根M20的拉螺杆、2根M12的拉螺杆及2个整体夹件组成。线圈与铁心、旁铁心之间用绝缘撑条撑紧，使线圈紧紧依附在铁心上，再经过浸漆，线圈、铁心及旁铁心3部分形成一个整体，铁心及旁铁心超出线圈端部的铁轭部分分别伸进2个整体夹件的矩形框中，并顶到整体夹件上的槽钢，铁轭与构成夹件矩形框的钢板之间的间隙用钢性绝缘板塞紧，最后2个整体夹件通过6根拉螺杆紧紧压住铁心及旁铁心的铁轭端部，使变压器形成一个钢性整体。

收稿日期：2011-11-18；收修改稿日期：2012-02-16

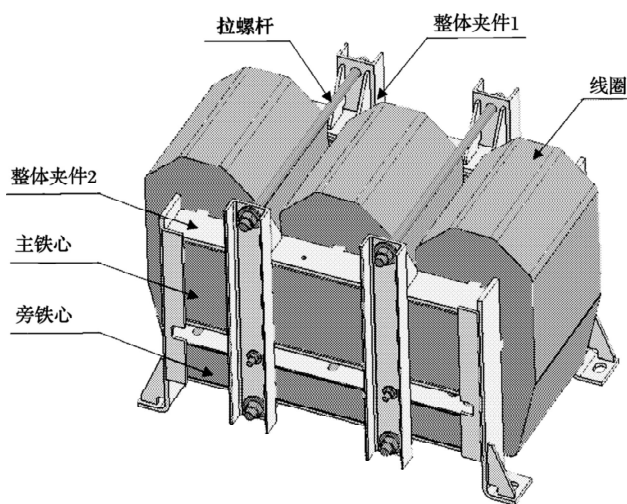


图1 HXD1B 型大功率机车辅助变压器实体模型

1.2 辅助变压器整体夹件及联结结构实体模型

辅助变压器的机械强度由2个整体夹件及6根联结拉螺杆来保证, 在辅助变压器实体模型中去掉线圈、主铁心和旁铁心, 可以得到辅助变压器夹件及联结结构的实体模型, 辅助变压器夹件采用Q345D钢板焊接成一个框型结构, 自成一个整体。

1.3 有限元仿真模型

根据初步设计方案, 将HXD1B 型大功率机车辅助变压器的夹件及联结结构实体模型采用solid45单元进行网格划分, 单元总数为53 872个, 节点总数为18 918个。HXD1B 型大功率机车辅助变压器夹件及联结结构三维有限元仿真模型见图2。

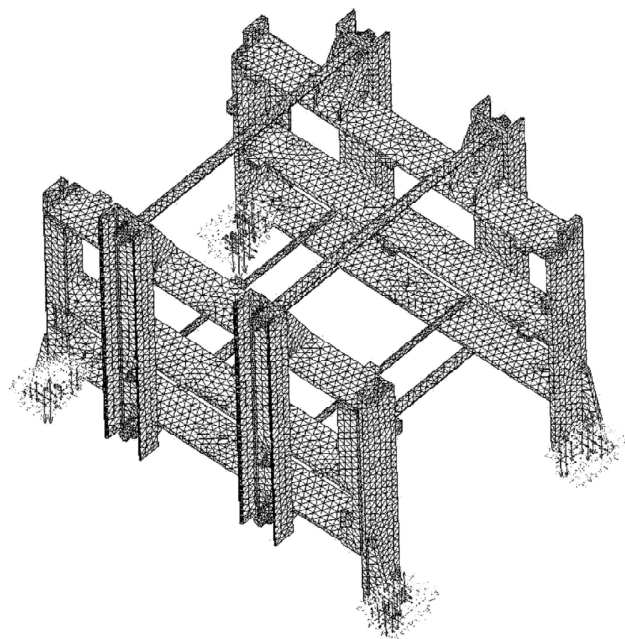


图2 HXD1B 型大功率机车辅助变压器夹件及连接结构三维有限元仿真模型

根据初步设计整体夹件加拉螺杆和螺母的质量约为68.77 kg, 有限元模型质量为68.02 kg, 有限元模型质量与设计质量相差较小, 夹件材料为Q345D钢板, 有

限元强度仿真分析计算中, 查得Q345D材料弹性模量 $E=2.09 \times 10^5$ MPa, 泊松比 $\mu=0.28$, 密度 $\rho=7.85$ g/cm³。

2 夹件计算载荷和边界条件

2.1 计算载荷

根据1.1中有限元实体模型的结构分析, 振动和载荷的传递路径如下:

线圈的振动和载荷通过绝缘撑条分别传递到铁心和旁铁心上, 铁心的振动和载荷以及线圈的部分振动和载荷又通过铁心端部的铁轭传递到构成整体夹件上矩形框的钢板上; 旁铁心的振动和载荷以及线圈的另一部分振动和载荷通过旁铁心端部的铁轭传递到构成整体夹件下矩形框的钢板上。

同时铁心的铁轭、旁铁心的铁轭与夹件矩形框钢板的接触均以面接触的方式进行, 故振动和载荷均以面力的形式作用到夹件的钢板上。

按照IEC61373—1999《铁路应用—机车车辆设备—冲击和振动试验》^[2]标准, HXD1B 型大功率机车辅助变压器所受冲击加速度为: 垂向3g、横向3g、纵向5g。

根据设计, 铁心质量为300 kg, 旁铁心质量为105 kg, 线圈质量为95 kg, 分析时因线圈与夹件之间没有接触, 将线圈的质量分成2部分, 分别加到铁心和旁铁心上, 故考虑铁心加线圈质量为350 kg, 旁铁心加线圈质量为150 kg, 同时夹件自身质量为69 kg。

2.1.1 铁心和线圈垂向、横向、纵向加速度引起的载荷计算

铁心和线圈引起的垂向载荷

$$F_{\text{txcx}3g} = 350 \times 9.8 \times 3 = 10.29 \text{ kN}$$

铁心和线圈引起的横向载荷

$$F_{\text{txhx}3g} = 350 \times 9.8 \times 3 = 10.29 \text{ kN}$$

铁心和线圈引起的纵向载荷

$$F_{\text{txzx}5g} = 350 \times 9.8 \times 5 = 17.15 \text{ kN}$$

2.1.2 旁铁心和线圈垂向、横向、纵向加速度引起的载荷计算

旁铁心和线圈引起的垂向载荷

$$F_{\text{ptxcx}3g} = 150 \times 9.8 \times 3 = 4.41 \text{ kN}$$

旁铁心和线圈引起的横向载荷

$$F_{\text{ptxhx}3g} = 150 \times 9.8 \times 3 = 4.41 \text{ kN}$$

旁铁心和线圈引起的纵向载荷

$$F_{\text{ptxzx}5g} = 150 \times 9.8 \times 5 = 7.35 \text{ kN}$$

2.1.3 夹件本身质量在垂向、横向、纵向加速度引起的载荷计算

夹件本身质量引起的垂向载荷

$$F_{\text{ztxcx}3g} = 69 \times 9.8 \times 3 = 2.03 \text{ kN}$$

夹件本身质量引起的横向载荷

$$F_{\text{ztxhx}3g} = 69 \times 9.8 \times 3 = 2.03 \text{ kN}$$

夹件本身质量引起的纵向载荷

$$F_{\text{zptxzx}5g} = 69 \times 9.8 \times 5 = 3.38 \text{ kN}$$

2.2 边界条件

约束：侧板在车体上的安装面约束6个自由度。

垂向冲击：以面力的形式垂直作用于第一层夹板和第二层夹板，如图3所示。

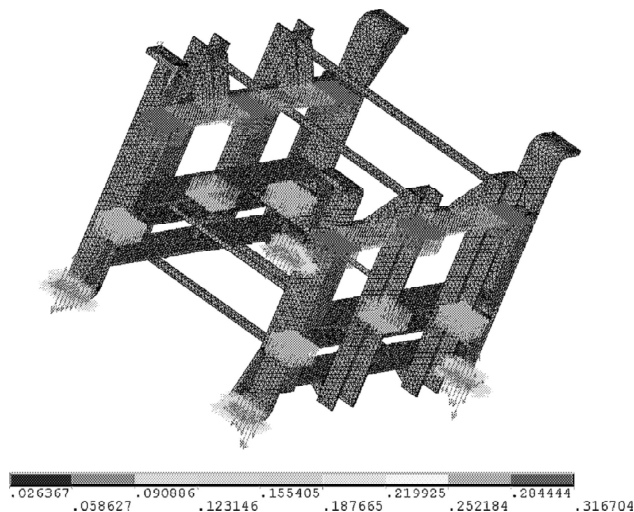


图3 辅助变压器垂向冲击时作用载荷示意图

横向冲击：以面力的形式垂直作用于压板和侧边钢板。

纵向冲击：以面力的形式垂直作用于侧板。

3 夹件强度计算结果

3.1 夹件只承受向下垂向3g加速度冲击

夹件只承受向下垂向3g加速度冲击时，应力云图见图4。最大Von Mises应力为51.155 MPa，出现在第二夹板与压板圆弧连接焊接处。

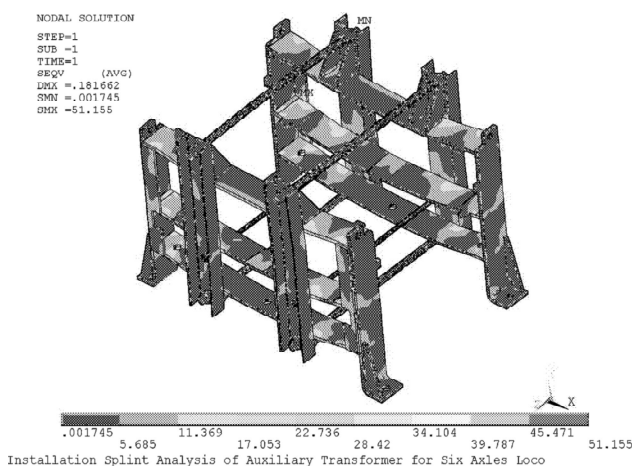


图4 辅助变压器夹件只承受向下垂向加速度冲击时的应力云图

3.2 夹件只承受向上垂向3g加速度冲击

夹件只承受向上垂向3g加速度冲击时，最大Von Mises应力为45.946 MPa，出现在第二夹板与压板圆弧连接焊接处（应力云图略）。

3.3 夹件只承受横向3g加速度冲击

夹件只承受横向3g加速度冲击时，最大Von Mises应力为126.152 MPa，出现在侧板底部弯曲处（应力云图略）。

图略）。

3.4 夹件只承受纵向5g加速度冲击

夹件只承受纵向5g加速度冲击时，最大Von Mises应力为160.402 MPa，出现在侧板与加强板焊接处（应力云图略）。

3.5 夹件承受三向（垂向向下）加速度冲击

夹件承受三向加速度（垂向向下3g、横向3g、纵向5g）冲击时，最大Von Mises应力为217.035 MPa，出现在侧板与加强板焊接处，应力云图见图5。

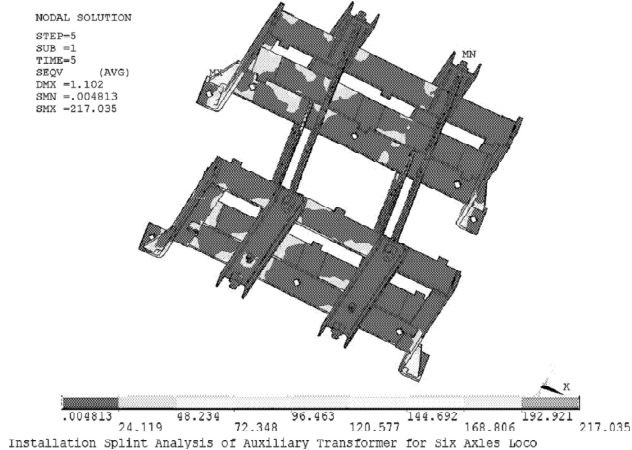


图5 辅助变压器夹件承受三向（垂向向下）加速度冲击时的应力云图

3.6 夹件承受三向（垂向向上）加速度冲击

夹件承受三向加速度冲击（垂向向上3g、横向3g、纵向5g）时，最大Von Mises应力为206.355 MPa，出现在侧板与加强板焊接处，应力云图见图6。

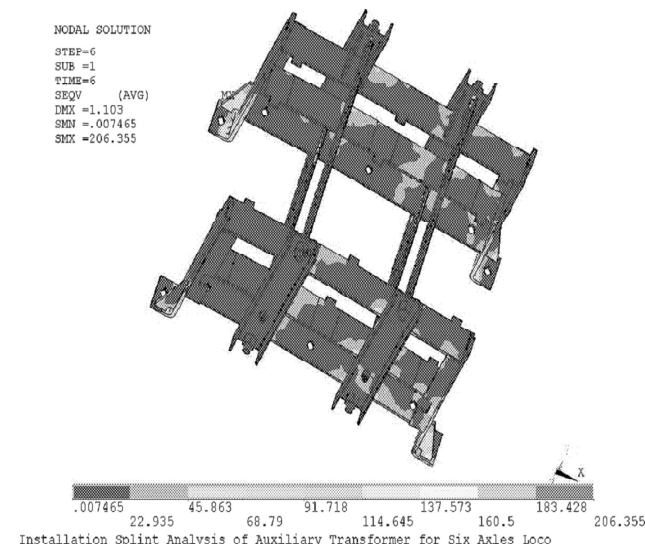


图6 辅助变压器夹件承受三向（垂向向上）加速度冲击时的应力云图

4 机械强度结果分析

HXD1B型大功率机车辅助变压器夹件的材料为Q345D钢板，由文献[3]GB/T 1591—2008《低合金高强度结构钢》查得6~16 mm厚度的Q345D钢板的屈服极限

$\sigma_s \geq 345$ MPa, 强度极限 $\sigma_b = 490 \sim 620$ MPa。在超常工况下, 考虑焊缝区 1.1 的安全系数^[4], 则许用应力为

$[\sigma] = 313.6$ MPa。6 种工况下的最大应力中的最大值为 217.035 MPa, 最小值为 45.946 MPa, 结果分析如表 1。

表1 6种工况的最大应力分析

工 况	最大应力 /MPa	出现位置	原 因 分 析	许用应力 /MPa
向下垂向 3g 加速度	51.155	第二夹板与压板圆 弧连接焊接处	加速度垂向向下时, 铁心和线圈产生的载荷通过铁心的铁轭传递到第二夹板上, 第二夹板与压板圆弧连接焊接处正好是夹板的支撑处	313.6
向上垂向 3g 加速度	45.946	第二夹板与压板圆 弧连接焊接处	加速度垂向向上时, 旁铁心和线圈产生的载荷通过旁铁心的铁轭传递到第二夹板上, 第二夹板与压板圆弧连接焊接处正好是夹板的支撑处	313.6
横 向 3g 加速度	126.152	侧板底部弯曲处	横向加速度冲击时, 铁心、旁铁心、线圈产生的载荷以面力的形式作用到侧板上, 在侧板安装孔固定的情况下, 侧板底部弯曲处是简支梁的支点	313.6
纵 向 5g 加速度	160.402	侧板与加强板焊接处	纵向加速度冲击时, 铁心、旁铁心、线圈产生的载荷以面力的形式作用到夹件的槽钢和压板上, 通过槽钢和压板再传递到侧板, 在侧板安装孔固定的情况下, 侧板底部与加强板的焊接处是简支梁的支点	313.6
三向加速度 (垂 向向下 3g、横 向 3g、纵向 5g)	217.035	侧板与加强板焊接处	只要存在纵向加速度冲击, 铁心、旁铁心、线圈产生的载荷以面力的形式作用到夹件的槽钢和压板上, 通过槽钢和压板再传递到侧板, 在侧板安装孔固定的情况下, 侧板底部与加强板的焊接处是简支梁的支点。三向加速度情况下, 铁心、旁铁心、线圈产生的载荷加大	313.6
三向加速度 (垂 向向上 3g、横 向 3g、纵向 5g)	206.355	侧板与加强板焊接处	只要存在纵向加速度冲击, 铁心、旁铁心、线圈产生的载荷以面力的形式作用到夹件的槽钢和压板上, 通过槽钢和压板再传递到侧板, 在侧板安装孔固定的情况下, 侧板底部与加强板的焊接处是简支梁的支点。三向加速度情况下, 铁心、旁铁心、线圈产生的载荷加大	313.6

由计算结果可知, 各工况下夹件承受冲击载荷时 $\sigma_{\max} < [\sigma]$, 因此夹件的机械强度满足要求。通过原因分析, 最大应力主要出现在第二夹板与压板圆弧连接焊接处、侧板与加强板焊接处, 为保证强度, 设计时该两处的焊缝高度应提高等级, 并保证焊接质量。

5 机械强度试验验证

HXD1B 型大功率机车辅助变压器在铁道部产品质

表2 振动和冲击试验的检测

试验要求	检验结果	备注
垂向冲击试验: 峰值加速度 30 m/s ² , 标称持续时间 30 ms, 正反向各 3 次, 样品不产生机械损坏	通过	1 类 B 级
横向冲击试验: 峰值加速度 30 m/s ² , 标称持续时间 30 ms, 正反向各 3 次, 样品不产生机械损坏	通过	1 类 B 级
纵向冲击试验: 峰值加速度 50 m/s ² , 标称持续时间 30 ms, 正反向各 3 次, 样品不产生机械损坏	通过	
重复功能性试验: 振动和冲击试验后, 重复工频耐压、空载试验、负载试验合格	通过	

量监督检验中心机车车辆检验站进行了机械冲击和振动试验, 试验后产品没有产生机械损坏, 规定的功能试验合格。试验结果如表 2。

6 结论

采用 ANSYS 有限元软件分析计算 HXD1B 型大功率机车辅助变压器夹件承受 3 个方向加速度冲击时夹件的机械强度, 理论分析与试验验证结果一致, 其分析方法、边界条件设置对同类产品分析具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 潘家祯. 压力容器材料实用手册 - 碳钢及合金钢 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [2] IEC 61373—1999, 铁路应用 - 机车车辆设备 - 冲击和振动试验 [S].
- [3] GB/T 15911—2008, 低合金高强度结构钢 [S].
- [4] 铁道部运输局. 200 km/h 及以上速度级铁道车辆强度设计及试验鉴定暂行规定 [S]. 北京: 铁道部运输局, 2001.