

设计与计算

发电机组用柴油机排气管间膨胀节开裂故障分析与设计优化

崔友强^{1,2}, 张青青^{1,2}

(1. 内燃机与动力系统国家重点实验室, 山东 潍坊 261061; 2. 潍柴动力股份有限公司, 山东 潍坊 261061)

摘要: 针对某发电机组用柴油机耐久试验过程中排气管间膨胀节开裂问题, 通过仿真计算可知, 当涡前排气温度为 690 ℃ 时, 膨胀节轴向最大变形量为 3.7 mm, 超出膨胀节的轴向补偿量。在原排气管的结构基础上进行结构优化: 将膨胀节两侧的排气管法兰厚度各缩减 1 mm, 使膨胀节预拉伸 2 mm。使用优化后的排气管与膨胀节配合结构进行耐久试验, 结果表明: 优化后的排气管与膨胀节配合结构可以满足强度要求, 试验过程中膨胀节未发生开裂。优化方案有效解决了发电机组用柴油机耐久试验过程中排气管间膨胀节开裂的问题, 提高了柴油机的可靠性。该故障分析和结构优化方案可为同类故障问题的解决提供参考。

关键词: 发电机组; 柴油机; 膨胀节; 排气管; 热变形; 结构优化

Fault analysis and design optimization of generator set diesel engine exhaust pipe expansion joint cracking

CUI Youqiang^{1,2}, ZHANG Qingqing^{1,2}

(1. National Key Laboratory of Internal Combustion Engine and Power System , Weifang 261061, Shandong, China; 2. Weichai Power Co. , Ltd. , Weifang 261061, Shandong, China)

Abstract: In response to the problem of cracking in the expansion joint between the exhaust pipes during the durability test of a diesel engine for a generator set, it was obtained by simulation that when the exhaust temperature in front of the vortex was 690 ℃, the maximum axial deformation of the expansion joint was 3.7 mm, exceeding the axial compensation amount of the expansion joint. On the basis of the original exhaust pipe structure, optimization was carried out by reducing the flange thickness of the exhaust pipes on both sides of the expansion joint by 1 mm, so that the expansion joint was pre stretched by 2 mm. The durability test was carried out with the new optimized exhaust pipe and expansion joint structure. The results show that the optimized structure of the new exhaust pipe and expansion joint meets the strength requirements, and the expansion joint does not crack during the experiment, which effectively solves the problem of the cracking of the expansion joint between the exhaust pipe during the durability test of the diesel engine of a certain generator model, improves the reliability of the engine, and provides a reference for solving similar problems.

Key words: generator set; diesel engine; expansion joint; exhaust pipe; thermal deformation; structure optimization

DOI: 10.3969/j.issn.1671-0614.2024.01.004

作者简介: 崔友强(1993—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为发动机空气系统设计。

0 前言

对于发动机而言，膨胀节作为一种金属挠性元件，可以用来补偿管道间因轴向变形而产生的位移量，以及轻微的径向位移量^[1]。随着膨胀节在发动机排气系统的使用越来越广泛，对应的故障也随之增加，但膨胀节作为排气系统的主要补偿零部件又不可缺少^[2-3]，因此对于发动机行业而言，加强膨胀节的设计与制造方面的研究具有很强的现实意义和经济价值^[4]。

目前，部分发电机组用柴油机的涡前排气温度高达 690℃，在高温的作用下，排气管会发生热变形。由于排气管的热变形主要为沿轴向的变形，故排气管之间的膨胀节会受到挤压；当排气管产生的挤压量大于膨胀节的压缩补偿量时，会导致膨胀节开裂，进而导致漏气，影响柴油机的整体可靠性，故研究并解决该问题具有重要意义^[5-6]。

为了解决发电机组用柴油机排气管间膨胀节开裂的问题，提高发动机的可靠性，本文通过对排气系统中排气管与膨胀节之间的配合结构进行仿真分析和试验研究，提出其结构优化方案。

1 故障现象和原因分析

某发电机组用柴油机排气系统结构如图 1 所示，膨胀节位于 2 根排气管之间，通过 V 形卡箍与两侧的排气管进行固定。

1.1 故障现象

该发电机组用柴油机在实验室进行耐久试验时，涡前排气温度高达 690℃。发动机在额定功率转速点运行时，发现功率突然降低；停车检查发现 A、B 两侧排气管间的膨胀节均发生开裂，如图 2 所示。

由图 2 可以看出：A 侧排气管间膨胀节的 3 个波纹发生明显的倾斜并紧密地并合在一起；B 侧排气管间膨胀节最右侧的波纹发生明显的倾斜并出现明显的开裂。

1.2 原因分析

常见的膨胀节开裂原因可以分为零部件质量问

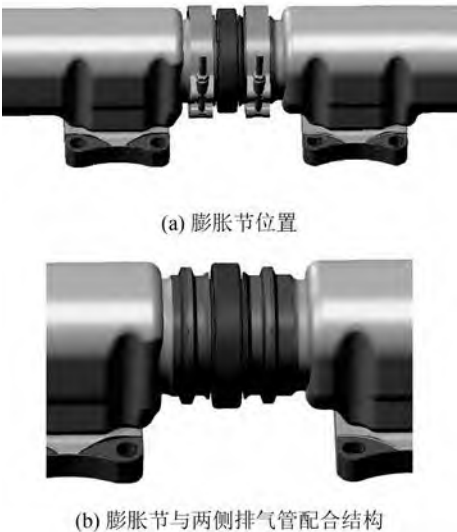


图 1 现有排气系统结构图



图 2 膨胀节开裂状态实物图

题、装配问题、温度问题等方面，因此本文从这 3 个方面对此故障进行分析。

1.2.1 零部件质量分析

膨胀节零部件样件入库，经过质检部质检后，

对比厂家自检报告及质检结果，确认膨胀节质量无问题，满足设计要求，故排除零部件质量问题的原因。

1.2.2 装配分析

膨胀节两侧的排气管均利用定位工装进行定位安装。两侧排气管把紧后，膨胀节零部件自身无磕碰、波纹无并圈等问题，安装装配工艺正常，安装后检查膨胀时状态正常。

1.2.3 温度分析

测试膨胀节波峰、波谷表面的温度，并进行拟合，结果如图3所示。由图3可知，膨胀节表面最高温度可达710℃，膨胀节的材料为316Ti，此材料的耐温限值为650℃，因此涡前排气温度已经超出了膨胀节自身的耐温限值。

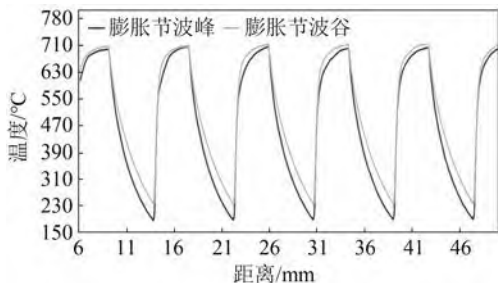


图3 膨胀节表面测温图

当涡前排气温度为690℃时，通过仿真计算获得排气管的变形量如图4所示。由图4可知，涡前排气温度690℃时，右侧排气管端部红色区域热变形最大，膨胀节会受到挤压。

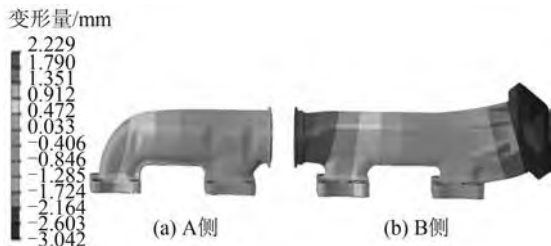


图4 排气管仿真变形图

当涡前排气温度为690℃时，通过仿真计算获得膨胀节轴向最大变形量为3.7 mm。此膨胀节在3 000次负载循环下的轴向设计变形补偿量为±3 mm，

因此试验过程中膨胀节的实际轴向变形量已超出膨胀节的轴向补偿量。通过仿真计算获得膨胀节径向最大变形量为0.11 mm，此膨胀节的径向补偿量为0.4 mm，因此径向补偿满足要求。

通过上述问题的分析，得出此故障的主要原因为：①膨胀节自身材料耐温超出限值；②排气管热变形大，膨胀节受到挤压；③膨胀节的轴向变形超出轴向补偿量。因此，需要对现有排气系统进行设计优化，以满足排气系统可靠性要求，解决现有的问题，从而提高发动机的整体可靠性。

2 排气系统结构优化设计

针对发电机组用柴油机耐久试验过程中排气管间膨胀节开裂的问题，在现有排气系统的基础上，进行结构优化设计。

2.1 膨胀节优化

膨胀节的材料由316Ti升级为NS3306，此材料的耐温限值为800℃；膨胀节表面测温最高可达710℃，因此材料升级后膨胀节自身材料可以满足涡前排气温度690℃的高温环境。

2.2 排气管与膨胀节配合结构优化

为了解决高温环境下排气管热变形大，导致膨胀节轴向变形量超出补偿量的问题，设计了一种新型的排气管与膨胀节配合结构，如图5所示。

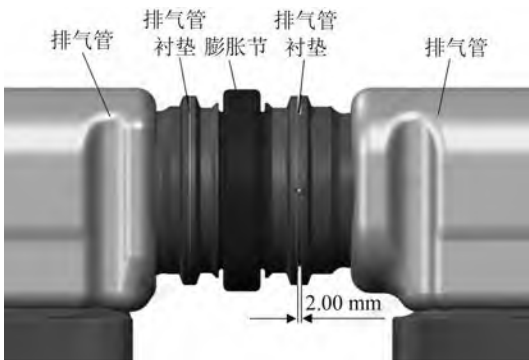


图5 排气管与膨胀节配合结构图

该结构主要由排气管、排气管衬垫和膨胀节组成，为防止排气管热变形对膨胀节的挤压，将膨胀节两侧的排气管法兰厚度各缩减1 mm。安装时，先

利用定位工装将两侧的排气管固定安装,之后用卡箍将排气管衬垫、膨胀节左侧的排气管法兰与膨胀节左侧法兰固定,然后将膨胀节预拉伸 2 mm 后与另一侧排气管法兰固定。安装完毕后,膨胀节处于预拉伸 2 mm 的状态,在高温环境下,当排气管受到高温产生热变形时,需要先挤压这 2 mm 的预拉伸量,然后才进一步压缩膨胀节。

3 试验验证

将优化后的新型排气系统结构按照上述要求,安装于实验室台架某发电机组用柴油机上,按照额定工况,进行耐久试验。试验后膨胀节状态如图 6 所示。试验结束后,检查排气管间膨胀节波纹未发生明显的倾斜,各波纹之间未出现开裂,膨胀节状态正常。



图 6 试验后膨胀节状态图

4 结语

针对某发电机组用柴油机耐久试验过程中排气管间膨胀节开裂的问题,设计了一种新型的排气管与膨胀节配合结构。优化后的新型排气管与膨胀节配合结构满足强度要求,试验过程中膨胀节未发生开裂,因此有效提高了发动机的整体可靠性。

该研究结果可为排气系统中排气管与膨胀节的配合设计以及类似问题的解决提供参考。

参考文献

- [1] 刘杨,李国岫,刑卫东.增压柴油机排气系统结构参数的仿真优化[J].柴油机设计与制造,2009(2): 11-16.
- [2] 苏梅.基于 HyperWorks 软件的排气系统强度分析流程自动化研究与应用[J].汽车与新动力,2021,4(3): 66-69.
- [3] 李宇延,刘英,杨雨图.一种新型波纹管膨胀节波形检测装置的设计[J].压力容器,2016(4): 76-80.
- [4] 陈孟宇,陈稳.电站柴油机排气系统膨胀节的结构改进[J].柴油机,2003(5): 32-34.
- [5] 杨栋,徐胜辉.排气管设计及热变形研究[J].内燃机与动力装置,2016(8): 29-32.
- [6] 辛千凡.柴油发动机系统设计[M].上海:上海科学技术文献出版社,2015.