

PA6B 柴油机空冷器侧板连接螺栓断裂原因分析及结构优化

李改莉

(陕西柴油机重工有限公司, 陕西 兴平 713105)

摘要: 针对 PA6B 柴油机进口与国产空冷器侧板连接螺栓断裂故障进行分析与排查; 并在有限元计算分析的基础上, 提出改进措施。分别对几种改进措施进行对比分析, 按最优方案对前期生产的空冷器进行返修; 而后续生产的空冷器按照最新设计方案执行, 彻底解决了此类故障问题。

关键词: 柴油机; 空冷器; 有限元分析; 优化设计

中图分类号: TK424.2⁺12 文献标识码: A 文章编号: 1001-4357(2015)05-0033-04

Cause Analysis and Structure Optimization Concerning Side Plate Bolt Fracture of Air Cooler on Diesel Engine PA6B

Li Gaili

(Shanxi Diesel Heavy Industry Co., Ltd., Shanxi Xingping 713105)

Abstract: The analysis and investigation for side plate connecting bolt fracture of both domestically – produced and imported air coolers on diesel engine PA6B was carried out. And by finite element analysis, improvement measures were put forward. Analysis for several measures was done respectively, and the optimal scheme was determined and used in the repairing of the initial produced air coolers. The subsequent air coolers were produced in accordance with the optimal design scheme and such kind of failures had been solved thoroughly since then.

Key words: diesel engine; air cooler; finite element analysis; optimal design

0 引言

空冷器是柴油机的重要组成部分, 它的作用是降低增压空气的温度, 提高增压空气密度, 增大空气质量充量, 从而提高柴油机的平均有效压力。因此, 空冷器的运行可靠性对柴油机的稳定运行意义重大。在空冷器中空冷器侧板连接螺栓起到固定换热翅片筋板的作用, 避免过大振动对换热翅片的使用可靠性造成影响。

1 质量问题描述

PA6B 柴油机先后出现了 4 次连接螺栓断裂的质量问题, 其中进口空冷器 2 台, 国产空冷器 2

台。发生断裂的螺栓位置见图 1。

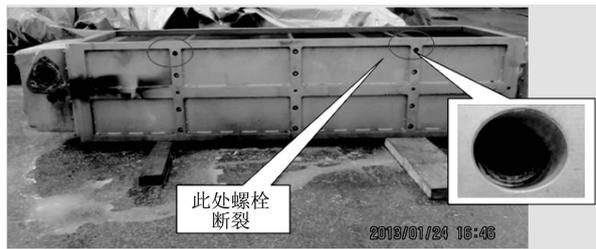


图 1 发生断裂的螺栓位置

由于此质量问题发生了几次, 应属于共性问题, 须要对国产空冷器和进口空冷器分别进行分析与排查, 以确保已出产及后续生产的柴油机的安全性及可靠性。

2 国产空冷器质量问题分析与排查

2.1 技术状态

国产空冷器与进口空冷器的技术状态对比情况见表 1。

表 1 国产空冷器与进口空冷器技术状态比较

对比项目	进口件	国产件	对比情况
外形尺寸及对外接口	符合专利方图纸要求	符合专利方图纸要求	一致
内部结构	采用 $\Phi 9.9$ mm 铜管 589 根	采用 $\Phi 10.0$ mm 铜管 484 根	换热翅片不同
重量	干重 976 kg, 含冷却水 1 054 kg	干重 1 000 kg, 含冷却水 1 093 kg	含内部冷却水的空冷器国产件比进口件重 39 kg
侧板连接螺钉	设计为 12.9 级, 实际使用 12.9 级	设计为 8.8 级, 实际使用 8.8 级	不同
台架试验参数	热工参数正常, 符合大纲要求	热工参数正常, 符合大纲要求	一致

从以上对比情况来看, 国产空冷器与进口空冷器主要有以下几点差异:

(1) 国产空冷器在内部结构上与进口件有所不同, 但从配机情况看, 国产空冷器在工厂试验过程中, 热工参数正常, 符合大纲要求。

(2) 国产空冷器比进口空冷器略重, 但其重量在专利方抗震计算所允许的范围内。能够满足核电站对整机抗震的要求。

(3) 国产空冷器侧板连接螺钉为 8.8 级, 进口空冷器螺钉为 12.9 级, 通过强度计算发现, 8.8 级螺钉其综合安全系数不符合要求。

2.2 质量过程控制

国产空冷器产品证明书、水压试验报告等均符合要求, 各检验点也满足文件要求。发生断裂的侧面螺栓表面处理(有镀锌、有氧化)及装配(安装紧固垫片)等质量过程控制存在薄弱环节; 该螺栓属于一般控制点, 无强度计算报告。

2.3 螺栓质量

2.3.1 与设计的一致性

其侧板连接螺栓与设计图纸状态一致, 均为 8.8 级; 但与进口空冷器侧板连接螺栓(12.9 级)不符。

2.3.2 螺栓本身质量

对失效螺栓进行分析: 电镜扫描、金相分析、化学成分、抗拉强度、硬度、保证载荷均未见异常, 断口属典型的疲劳断裂。因此, 侧板安装螺栓

设计等级不足是螺栓断裂的可能原因。

3 进口空冷器质量问题分析与排查

3.1 空冷器本身情况

(1) 两台空冷器进厂时附带有产品合格证; 在发现空冷器螺栓断裂前, 未对这两台空冷器本体螺栓进行过拆装。

(2) 柴油机在工厂台架试验过程中, 两台空冷器热工参数正常, 也未发现泄漏等异常现象。

(3) 从断裂螺栓及安装孔的情况来看, 一台柴油机螺栓断口表面有锈蚀, 存在螺栓原始制造质量问题; 而另一台柴油机螺栓断口无锈蚀。

因此, 侧板安装螺栓本身存在质量问题是螺栓断裂的可能原因。

3.2 螺栓本身质量

对失效螺栓进行分析: 螺栓金相组织、化学成分、硬度未见异常。断裂螺栓存在纵向缺陷, 但不是在使用中产生的裂纹, 而是在机加工工序前形成的制造缺陷, 螺栓表面较深的机加工刀痕对材料的抗疲劳极限有不利的影。

断裂螺栓是在交变弯曲应力的作用下, 由螺纹根部表面应力集中处线性疲劳起裂。因此, 螺栓受到超出其疲劳强度极限的交变弯曲应力是导致螺栓断裂的主要原因。

综上, 该空冷器螺栓断裂的根本原因可能是安全裕度不足所致。

3.3 有限元分析

3.3.1 基本信息

(1) 模型描述见图 2。

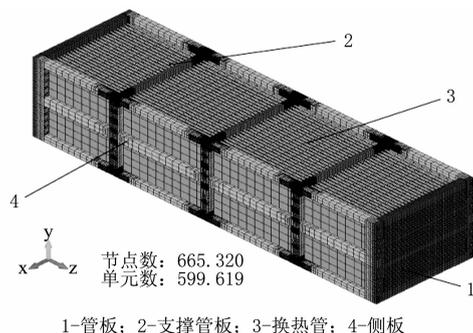


图 2 冷却器模型

材料: 管板, HSn62-1; 支撑管板, Q235A; 换热管, CuNi10Fe; 侧板, Q235A。

(2) 模型网格划分见图 3。

(3) 计算边界条件见图 4。

3.3.2 受力负载分析

不同管排的温度分布情况见图 5; 温度和对流分

布情况见图6；冷却器温度分布情况见图7。

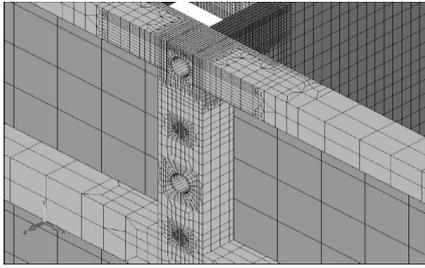


图3 模型网络划分

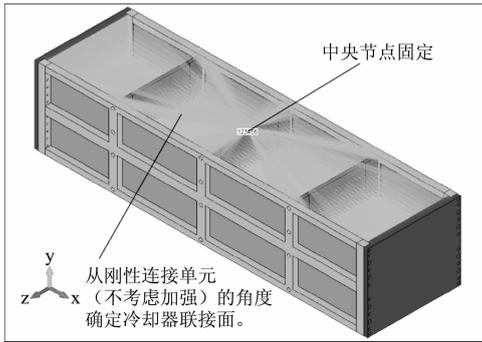


图4 计算边界条件

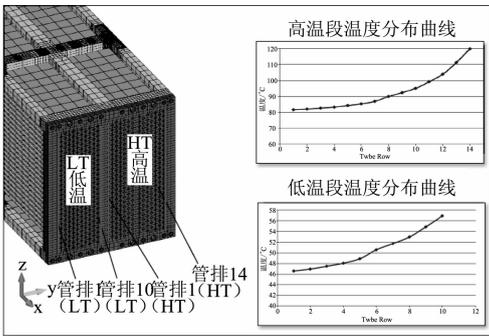


图5 不同管排温度分布

温度分布依据换热管、支撑管板表面以及侧板的温度得出，同时考虑了水侧管板传热。在考虑以上情况下，其载荷主要有气侧和水侧的压力及振动，具体载荷见图8。

螺栓连接预紧力分布情况见图9。

3.3.3 各种加强方法的计算分析

按照以下五种加强方案，对螺栓的受力情况进行计算。

第一种是用原设计方案，仅适用12.9级螺栓连接。

第二种是在12.9螺栓的基础上，在支撑管板与侧板的连接处焊接角钢。

第三种是在每个12.9的螺栓上增加套筒。

第四种是在用12.9螺栓的基础上，在每块支撑管板边上增加4个销子。

第五种是在第四种的基础上，将每块支撑管板

的上部截断到与翅片组的位置齐平，代之以支撑筋来代替。

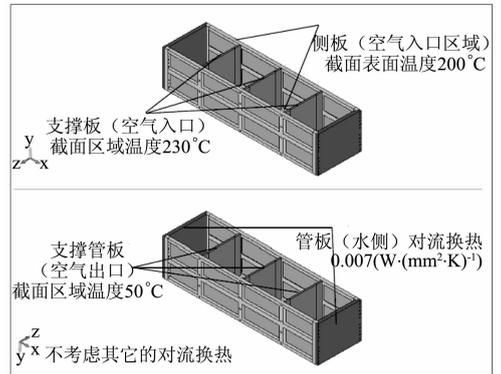


图6 温度和对流分布

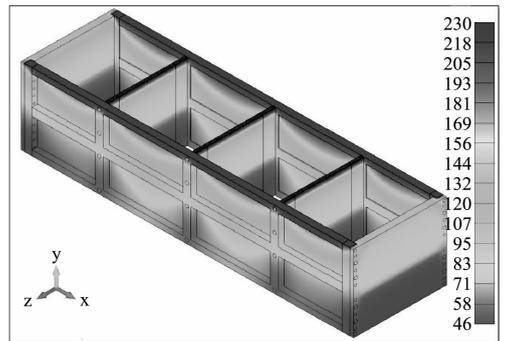


图7 冷却器温度分布

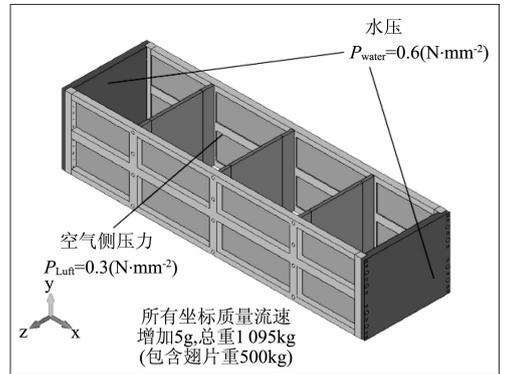


图8 载荷情况

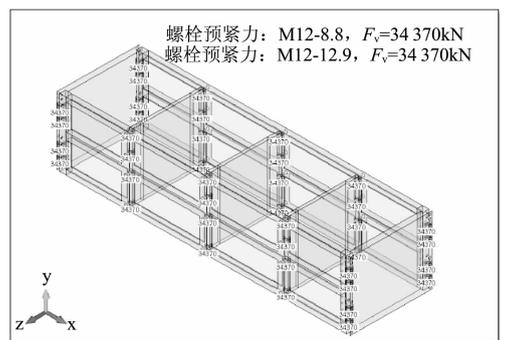


图9 螺栓连接预紧力分布

第一至第五方案的计算结果分别见图10至图14。

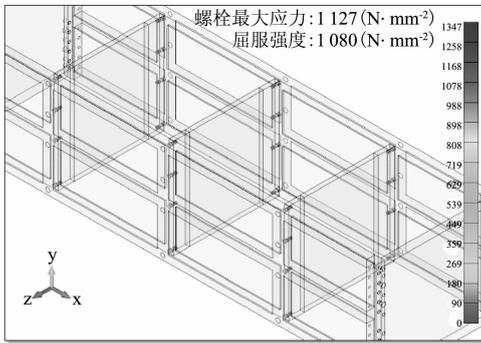


图 10 方案一计算结果

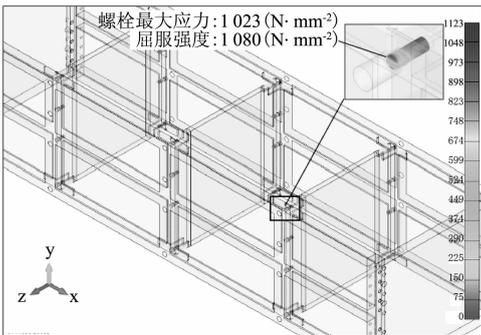


图 11 方案二计算结果

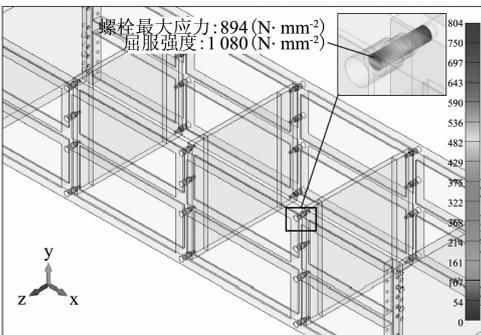


图 12 方案三计算结果

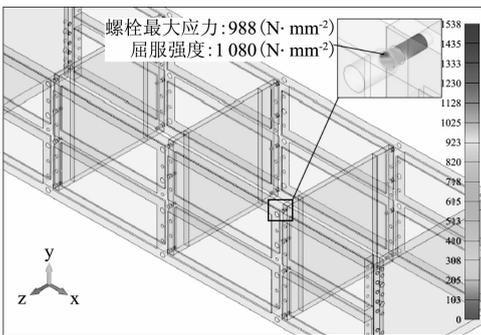


图 13 方案四计算结果

及安全系数见表 2。

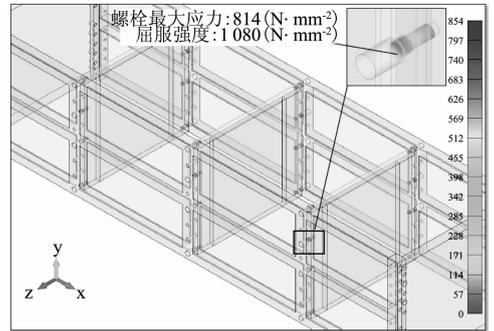


图 14 方案五计算结果

表 2 五种方案下螺栓最大应力及安全系数

方案描述	螺栓最大应力 ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)	安全系数	备注
方案 1 12.9 级螺栓	1 127	0.96	
方案 2 焊接角钢加强	1 023	1.06	焊缝间可能存在较高的应力
方案 3 套筒加强	894	1.21	套筒承受极高应力
方案 4 销子加强	988	1.09	
方案 5 分隔支撑梁	814	1.33	

4 螺栓断裂原因分析

通过上述分析与排查,可得出引起空冷器螺栓断裂的原因。

4.1 国产空冷器

使用的螺栓其强度等级、机械性能低于设计要求,个别螺栓产生塑性变形,拉长并出现松动现象,进而发生断裂;个别螺栓断裂后,其余螺栓受力增大,随后相继产生松动、断裂。

4.2 进口空冷器

一台进口空冷器螺栓断口表面有锈蚀,存在螺栓原始制造质量问题,而另外一台从化学成分分析、断口分析、金相组织及硬度检测及有限元分析可以得出:螺栓本身存在质量问题是螺栓断裂的次要原因,设计安全裕度不足是螺栓断裂的主要原因。

综上所述,不论是进口空冷器还是国产空冷器,其侧板连接螺栓断裂的根本原因是螺栓设计安全裕度不足。

5 整改措施

(1) 对于前期已经生产的空冷器(含进口和国产),采用第五种方法进行返修。

(2) 对于后续新生产的空冷器按照新的设计方案生产。将原来焊接式的侧板改为整体侧板,减少侧板连接螺栓的受力。再未出现过此类质量问题。

所有的分析均基于最严苛情况下的最大载荷进行。分析表明:螺栓主要应力是由换热器在高温下不同材料的热膨胀引起;第四种加销子的方法能满足目前的应用状况;第五种用支撑筋的方法,能达到更高的安全系数。五种方案下螺栓所受最大应力