

使用维修

16V240ZJ 型柴油机机体裂纹分析

王连森

(沈阳铁路机械学校, 辽宁沈阳 110035)

摘 要: 对铁路机车用 16V240ZJ 型柴油机机体裂纹故障的原因进行了分析, 分析表明: 故障原因涉及到结构设计、制造工艺、负荷工况、材料质量、修复方法及寿命周期等因素; 并据此提出了避免裂纹发生的技术措施。

关键词: 机车柴油机; 机体; 裂纹

中图分类号: TK423.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4357(2010)06-0050-04

1 引 言

16V240ZJ 型柴油机为大功率中速铁路干线内燃机车用柴油机, 安装在东风 4 型系列客货内燃机车上。柴油机持续功率为 2 647 kW, 装车功率为 2 427 kW, 最高工作转速为 1 000 r/min, 最低工作转速为 430 r/min; 机体采用铸焊组合式结构。

近年来, 铁路事业快速发展, 机车柴油机性能的不断强化、内燃机车实际牵引吨数和列车运行速度不断提高、柴油机运用年限的不断延长, 使机体的工作条件不断恶化, 导致机体裂纹故障频繁发生, 而裂纹处所主要发生在内隔板及其焊缝裂纹处。仅 2008 年 1 月~12 月间, 沈阳铁路局某机务段该型机便有 15 台机体发生裂纹。通过沈局各段统计, 其他机务段也有类似的情况。机体隔板及焊缝裂纹一旦发生, 无论是对在用机车, 还是段修和大修机车, 势必造成重大修程, 不仅修复工艺要求高, 而且修复周期长, 还将造成较大的人力、物力和财力投入。该型机体的隔板及焊缝裂纹的问题已成为目前该型柴油机段修和大修的重要问题。

开展机体裂损原因的探讨, 找出切实可行的解决措施, 这对于该型机车检修工作具有重大的意义。

2 原因分析

2.1 裂纹发生的部位

由实际裂纹部位的统计可知, 铸焊组合式机体的裂纹均发生在焊接部位, 集中体现在与顶板相焊接的各隔板上, 以及第 1 缸气缸箱主油道上的立油管与顶板焊缝部位。开裂处所涉及的具体板件是内

侧板、中侧板、中间垂直板和两端垂直板的上部, 均围绕着气缸箱和凸轮轴箱的顶板以下 100 mm 左右的区域内, 各板既有板面的横向裂纹, 又有与顶板原焊缝的开裂。

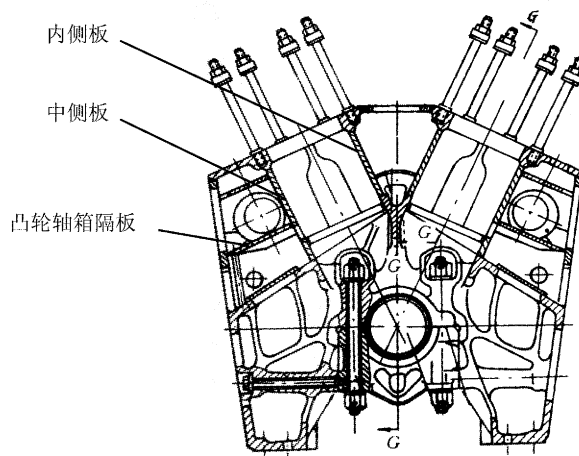


图 1 16V240ZJ 型柴油机机体

2.2 机体受力加重

柴油机在工作状态时, 气缸盖要承受燃气压力, 气缸要承受活塞的侧压力, 曲轴要承受连杆传来的压力, 这些力都要传递到机体上; 机体又要承受由于曲柄连杆机构运动时对机体造成的倾覆力矩和轴系未被平衡的部分力矩; 机体还要承受各零部件紧固所需的预紧力, 以及安装在柴油机上的全部零部件的重量。因此机体的受力状态不仅繁重, 而且非常复杂, 它处于拉伸、弯曲、扭转和振动的交变应力状况下工作, 并且还要承受高温、腐蚀和摩擦等环境因素引起的附加作用, 工作条件十分恶劣。

为适应目前铁路重载和提速的总体要求, 沈阳铁路局于 2006 年底和 2007 年初已将东风 4C 型机车在沈阳—山海关线上的牵引吨数由 4 500 t 提高到 5 000 t。16V240ZJC 型柴油机设计的装车功率为 2 427 kW, 去掉维持机车自身正常工作所必需的约 400 kW 的辅助功率损失后, 该型柴油机满负荷状况作用于车钩上的牵引力约为 2 000 kW。实际上从 0.49 kW 降至 0.44 kW 来承担 1 t 货物的牵引任务, 势必导致该型柴油机长期处于高负荷工作状态, 经常使用标定的 1 000 r/min 工况。柴油机的输出功率是以燃烧室内的燃气压力作保证的, 输出功率与燃气压力成正比, 运用机车经常使用标定 1 000 r/min 的装车功率, 也就意味着经常处于最高燃气压力下, 最高燃气压力出现于上止点后的 12 ~ 13 °C A, 此时气缸的工作容积很小, 活塞的移动速度较慢, 最高燃气压强除了推动活塞做功外, 还作用在气缸和气缸盖上, 通过气缸、气缸盖和气缸螺栓到达机体顶板, 因而导致顶板承受了最高的拉伸作用力, 并传递给与其组焊在一体的内侧板、中侧板、垂直板等隔板, 进而遍及整个机体。最高燃气压力出现的位置与机体隔板实际裂纹的位置相吻合的事实说明: 气缸箱和凸轮轴箱的各隔板强度是该机体受力强度设计的薄弱环节, 作用于顶板上的最高拉伸力使其产生弹性变形, 是造成内侧板、中侧板、垂直板等隔板产生裂纹和焊缝开焊的主要原因, 也与该型机车不断提高牵引定数有着必然的联系, 表明: 铸焊组合式机体在本身结构不发生变化的条件下, 难以适应目前铁路运输高速重载日益增长的要求。

2.3 机体设计存在欠缺

16V240ZJ 型机车柴油机机体设计上主要有以下三方面问题。

(1) 部分隔板强度不足。机体设计中, 主要板材大部分采用 16Mn + Re (稀土) 低合金钢板, 其中顶板的厚度为 55 mm, 而内侧板、中侧板和中间垂直板的厚度均为 16 mm, 两端垂直板的厚度均为 20 mm。厚顶板与薄隔板联接部位的截面发生突变, 导致联接后的焊缝根部附近出现严重的应力集中现象, 是设计的薄弱环节。上述隔板在实际运用中频繁发生裂损的事实表明: 选用板材厚度不足, 并与顶板联接方式存在强度设计缺陷。此后虽经过一些小的设计调整, 但仍无法保证运用柴油机长期高负荷工况的可靠工作。

(2) 第一缸气缸箱主油道上立油管的位置和受力设计不合理。机体设计中, 第一缸气缸箱内的主油道立油管上部与顶板通过焊接相连, 由于处于两

端位置的顶板刚度最弱, 而且顶板承受交变拉伸力的作用时会产生弹性变形, 所以对该焊口的可靠工作构成直接威胁; 此外, 该连接处所受气缸箱内空间位置的限制, 具体施焊作业异常困难, 又会造成焊接效果不良。立油管的设计方案无论从机体受力角度、制造角度还是有利检修角度, 都存在不合理的地方。

(3) 气缸螺栓中心与内侧板、中侧板中心具有偏心距。机体设计中, 气缸螺栓中心与内侧板和中侧板的中心没有对应, 存在偏心距离, 虽然偏离量不大, 但是造成这些板件和焊缝在柴油机工作中承受较大的附加弯矩, 并集中在这些板件的上部, 这点已被该型机体的动应力测试结果所证实。

2.4 焊接工艺存在质量问题

机体制造的焊接技术条件中明文规定: 焊缝强度应保证不低于母材, 焊缝的尺寸应符合图纸要求。然而在 17 台机体裂纹的统计中, 总计有 35 处裂纹分别发生在内侧板、中侧板、中间垂直板和第一缸气缸箱主油道上立油管的原焊缝上。机体隔板原焊缝处开裂, 充分暴露了在焊接过程中存在着气孔、夹渣、焊瘤、温度控制、板材几何尺寸、坡口修正、变形校正、探伤检查以及时效处理等一系列焊接的工艺和质量问题。

2.5 隔板板材质量存在问题

由于机体各隔板处于振动条件下工作, 因此对板材本身的质量提出了更高的要求。然而统计 17 台机体裂纹的统计中, 总计有 48 处裂纹分别直接发生在内侧板、中侧板和两端垂直板的板面上。机体隔板板面上的开裂, 充分暴露了制造厂在选材过程中存在着进料途径、材料检验和材料管理等问题。

2.6 疲劳和寿命

从部分隔板发生裂纹的机体的统计中可以发现, 它们大部分是上个世纪九十年代或之前制造的产品, 一般都已经过 1 ~ 2 个大修周期, 有的已经使用 3 个大修周期以上, 使用时间少的 10 多年, 多则 20 多年。按照国际惯例, 一般机车的使用年限不超过 20 年, 而我国对东风 4 型内燃机车及主要部件尚无明确的报废标准, 致使该型部分机车仍在繁忙干线担当重载牵引, 同时因干线重载换型逐步调整到支线, 又由支线牵引转移到地方铁路工作, 实际上处于长期无限制的使用状况。柴油机属机车大型互换配件, 因段修备品受数量的限制, 客观上又造成了大修次数不均的现实; 整机中的活塞、连杆和曲轴等其他主要部件经常处于修程的更

换之中,但对机体而言,除了在段修和大修范围尚未制定使用周期和报废条件以外,还因具体更换受成本价格高的限制,迫使段修和大修都千方百计地采用施焊的修理方案,造成机体从制造开始一直使用至今的被动局面。机体各隔板的疲劳裂纹、使用周期缩短和使用寿命问题一直困扰着段修和大修工作,已对提速重载条件下柴油机的可靠工作构成严重威胁。

3 解决措施

目前无论是大修还是段修的柴油机,机体一经发生裂纹,主要是采用焊修的方法修复,但是焊修后的效果并不理想,重复开裂和裂纹扩散的现象时有发生。产生这种裂纹恶性循环的主要原因为:(1)隔板裂纹处所的位置狭小,检修人员作业受空间限制,焊接质量难以控制;(2)隔板焊缝不能回火处理,引起强度不足;(3)焊缝和板材内应力不均匀;(4)施焊后的时效时间短,内应力无法彻底消除。为扭转这种被动局面,必须采取切实可行的整改方案,从根本上杜绝机体裂纹故障,现就有关的解决措施进行探讨。

3.1 使用整体铸造机体

对新造柴油机和路用机体的新备品,要逐步采用整机铸造式机体,取代铸焊组合式机体。由于整铸机体采用高强度、高延伸率的球墨铸铁制造,具有刚性好、吸振性强、对裂纹不敏感和许用应力高等优点,可以避免因焊接应力而引起的变形和应力集中的弊端,但是其制造工艺复杂且成本价格高。

3.2 适当增加铸焊组合式机体的结构强度

(1)适当增加内侧板;中侧板、中间垂直板和两端垂直板的厚度。建议将内侧板、中侧板和中间垂直板由原设计尺寸的16 mm加厚到20 mm以上,将两端垂直板由原设计尺寸的20 mm,加厚到24 mm以上。

(2)对下空气稳压箱、气缸箱和凸轮轴箱的隔板采取必要的加强措施,在V形夹角上的内侧板与顶板的结合处增设加强筋板,将来自顶板的拉伸作用力向内侧板下方转移,分散该处的力流,以降低焊缝的动载荷。

(3)对气缸箱,在顶板与水平板间增设4条加强螺栓,并在水平板与垂直板下方的结合处增设加强筋板,但因第一缸位置受进油腔空间的限制,故将水平板上的加强筋板分别与内侧板、中侧板方向的结合处焊接在一起,以起到分散该处的力流和降低焊缝动载荷的作用。

(4)对凸轮轴箱,在支承板与顶板间增设加强螺栓,并在支承板下方与中侧板结合处增设加强筋板,由支承板与顶板共同分担来自顶板的拉伸作用力所引起的动弯矩,以降低中侧板焊缝处的动应力。

3.3 确定统一的技术改造方案

鉴于机体在柴油机上的重要地位,以及结构复杂、互换性强和使用周期长的特点,必须由铁道部负责组织确定统一的技术改造项目和方案,并制定统一的技术标准,加强对裂纹机体改造工作的质量管理,以确保具体改造过程的规范化和标准化。

3.4 建议机车制造厂启用不良产品召回措施

由机体隔板实际裂纹的统计可知,2001年以后制造生产的3台机体使用还不足一个大修周期就发生开裂,占裂纹总台数的18%。鉴于机体隔板开裂给段修带来的严重后果,建议机车制造厂应启用不良产品的召回措施,以利进行彻底整治。

3.5 利用机车大修时机整修裂纹机体

针对机体工艺要求高和修复难度大的特点,充分利用机车大修的有利时机,对裂纹机体进行彻底的整修,无疑是一种明智的抉择。机车大修工厂一般都具有较好的工装设备和较强的技术力量,对机体隔板板面发生裂纹的内侧板、中侧板等板件,不应仅限于重复打坡口和重复施焊的方法,而应依据自身能力组织整板更换,并应实施有效的强化方案,为段修打下良好的基础。

3.6 确定机体的使用周期和寿命周期

铁道部要组织制定统一的表格,各机务段和大修工厂要对机体裂纹的发生时间、机体编号、制造日期、裂纹部位、走行公里、大修次数、修复次数和修复方法等情况进行统计和积累,并进行专题分析,为机体的使用周期确定提供依据。

3.7 段修修复机体隔板裂纹时应注意的问题

对于新造机车柴油机而言,机体的质量保证期为一个大修期,此间出现问题由制造工厂负责处理;对于大修机车柴油机而言,机体的质量保证期为一个中修期,此间出现问题由大修厂负责处理;机体经过大修并使用了一个中修期以后,再出现问题均由段修负责处理。段修修程修复机体隔板裂纹时,多数要在机车上进行焊修作业,必须注意如下问题。

(1)做好焊前防护和焊后清理工作。作业前放掉柴油机油底壳内的机油,然后在具体作业位置的曲轴连杆颈、气缸箱和凸轮轴箱中的定位孔和油孔等处所作好防护:作业后对铁屑和焊渣要清理干净,严禁异物进入柴油机的机油系统。

(2) 必须进行坡口焊接。对机体隔板裂纹不能应用直接堆焊的方法进行修理, 必须采取先开坡口后焊接的方法进行施修, 坡口一定要均匀打透。

(3) 适当增设加强筋和补强板。在不影响部件组装的前提条件下, 根据具体位置, 最好对焊缝处先修平, 再适当增设加强筋和补强板, 以提高整体焊接效果。

(4) 有必要对柴油机进行空载和负荷试验。机体经焊接修复的柴油机, 有必要进行空载和负荷试验, 实际检验机油工作压差、焊修变形后的部件的

组装状态和焊修效果, 避免机车直接用于牵引而引发事故。

4 结 语

综上所述, 16V240ZJ 型柴油机机体的裂纹问题是一个复杂的技术问题, 它涉及到结构设计、制造工艺、负荷工况、材料质量、修复方法和寿命周期等一系问题。如能在科研、设计、制造和运用检修等部门的共同配合下, 认真分析原因、有效实施解决方法, 必能很好地解决该型柴油机机体裂纹问题。

(上接第 47 页)

(1) 温控阀的顶丝与导向杆出现碰磨, 摩擦力增加, 从而导致阀门开启困难;

(2) 温控阀的温敏元件的膨胀力不足, 导致阀门无法全开;

(3) 低温冷却水系统中存在大量空气, 导致热交换器冷却能力下降。

改进措施如下:

(1) 将原顶丝的 $\varnothing 6$ 内孔扩至 $\varnothing 8$, 确保温敏元件的移动自如, 无卡涩现象;

(2) 重新校验两个新的温敏元件, 确保温敏元件膨胀动作正常。

考虑到原温敏元件的检验方法为: 使用一个检

验定值来判断阀门在全行程的状态, 根据此次的工作经验及同类阀门的反馈, 并结合该设备的实际特性及使用位置, 修改原检验方法为:

增加初始开启温度 ($44\text{ }^{\circ}\text{C}$) 下, 阀门有开度的要求 (>0); 增加全开位置温度 ($54\text{ }^{\circ}\text{C}$) 下的开启要求 ($\geq 18\text{ mm}$); 保留原检验温度 ($49\text{ }^{\circ}\text{C}$) 下的开启要求 ($\geq 8\text{ mm}$)。

(3) 对低温水系统进行二次排气, 确保冷却水系统的冷却能力。

通过上述的改进, 在后期的试验过程中, 附加柴油机冷却水系统压力稳定在 0.60 MPa , 润滑油的温度稳定在 $56\text{ }^{\circ}\text{C}$, 恢复至调试期间水平, 故障排除。

(上接第 49 页)

却风扇从动力室抽风量加大, 特别当百叶窗开启度小或安装上防寒被 (5072 号机车在故障前两天刚挂上了百叶窗防寒被) 时, 更加大了从动力室的排风量, 使动力室的负压加大, 而使差示压力计动作。

5 改进措施及建议

(1) 将差示压力计有机塑料制品的对外接口 (折角弯头及差示压力计外壳体) 改用高强度的绝缘材料, 减少在装配过程和机车使用过程中的损坏; 同时增长折角弯头用于软管插入的长度, 便于卡箍卡紧。

(2) 现在差示压力计所用白色塑料软管在机车使用过程中易老化、易变形、易损坏。建议改为橡胶软管, 但橡胶软管的材质不能太硬, 以免管卡卡得太紧时, 差示压力计接口易坏; 卡得太松又容易泄漏, 使差示压力计产生误动作。

(3) 在管路组装时, 应认真检查各连接管路是

否畅通, 避免异物堵塞, 各接头、卡箍应紧固。

(4) 柴油机车不但有柴油机曲轴箱用差示压力计, 而且增压器空气滤清器也采用了差示压力计。两种类型差示压力计的使用, 能增强了机车的保护性能, 为机车的可靠运行提供了更好的保障。在设计增压器空气滤清器差示压力计中, 通大气端的管路要避免两者并联共用, 若连接部位有松动将会互相干扰。

柴油机曲轴箱内的压力采用差示压力计进行监测, 能有效地保护柴油机可靠运行, 但在对差示压力计动作的故障的分析、查找、处理过程要作全面的考虑。

参考文献

- [1] 东风 8B 型柴油机车运用维护保养手册柴油机分册 [R]. 中国南车集团资阳机车厂编。