

船舶主机缸套裂纹起因及其对策

楼海军

(上海海事大学商船学院, 上海 200135)

摘要: 论述船舶主机缸套产生裂纹的原因和易出现裂纹的部位,提出了避免裂纹产生的措施和主机日常管理中应注意的事项,指出合理得当的操作和适当的保养可以避免一些裂纹的产生,延长主机的使用寿命。

关键词: 船舶; 主机缸套; 裂纹; 原因; 对策; 日常管理

中图分类号: U66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8354(2009)02-0010-04

Cause analysis and countermeasures on cylinder liner cracking for marine main engine

LOU Hai-jun

(College of Merchant Marine, Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China)

Abstract: The cause of the cylinder liner cracking for marine main engine was analyzed and the position of the crack on the cylinder liner was point out in this paper. The countermeasures were enumerated to prevent the cracking. The main prevention was daily maintenance. However, the reasonable operation and the timing maintenance can avoid the cracking and prolong the lifetime of the cylinder.

Key words: ship; cylinder liner; cracking; cause; countermeasure; daily maintenance

0 前言

气缸是船舶柴油机的主要固定部件之一,是燃烧室的主体部分。柴油机的工作循环是活塞在气缸内部做往复运动实现的。气缸上部受到气缸盖安装预紧力的作用,气缸内壁受到燃气高温、高压和腐蚀作用以及活塞的摩擦、撞击和侧推力作用。气缸的冷却水空间受到冷却水的腐蚀和穴蚀。采用贯穿螺栓把气缸体、机架和机座紧固到一起时,气缸承受压力。由于气缸所起的作用和所处的工作条件,要求它具有足够的强度和刚度,要有良好的耐磨性和抗腐蚀性,并要对它进行良好的润滑和冷却。显然,气缸套裂纹是容易产生的缺陷。主机缸套裂纹的事故,不但给船公司造成很大的经济损失,还给轮机管理人员增添了既急又重的工作任务^[1]。

1 裂纹的主要部位

通常缸套裂纹故障的发生会导致滑油进水、主机膨胀水箱水位下降,打开示功阀(冲车)肯定会发现有水吹出。这时可判断出不是气缸盖有裂纹漏水就是气缸套有裂纹漏水,须吊缸进行检查^[2,3]。

主机缸套易产生裂纹的部位大多是触火面处,特别是在应力集中和金属堆积的地方,比如工作条件最恶劣的缸套上部凸肩区。除此以外,在过度圆角处、水套加强筋以及气口附近亦是发生裂纹的多见地。除触火面外,冷却侧的某些应力集中处,有时也产生裂纹,如外圆柱面和缸套凸肩交界处等。

2 缸套裂纹产生的主要原因

主机缸套裂纹产生的原因很多,如缸套设计不良,缸套流道结构,支撑力点布置不当,缸套材料局部

收稿日期: 2008-11-20

作者简介:楼海军(1968-),男,轮机长,主要从事船舶主机故障诊断研究。

基金项目:上海市重点学科(轮机工程)J50603

存在缺陷,燃油中含有矾、钠元素太多等^[4,5]。根据多年实船工作经验,笔者认为,造成主机缸套裂纹的主要原因是热负荷和机械负荷。

2.1 热负荷

热负荷是指柴油机的燃烧部件承受温度、热流量及热应力的强烈程度。它包括热应力和热疲劳。由温差作用形成的应力称热应力,缸壁的热应力与温差成正比。热疲劳是指在交变热应力作用下出现的破坏现象,热疲劳对燃烧室部件破坏的主要表现是裂纹。它与柴油机的累计转数并无多大关系,主要取决于机器的启动、运行、停车的循环次数,故亦称低频应力。造成局部热疲劳裂纹的原因往往是油头的不正常喷射。燃油中杂质和其他有害成分较多,会使油头雾化不良,细小的杂质颗粒带着燃油形成油柱不但不能雾化,而且其比重大会穿透压缩空气的阻力到达缸套上沿并附着、燃烧,导致缸套局部热疲劳;安装时如果油头安装不到位或油头孔内有积碳没有清洁,会使油嘴喷孔靠上并接近缸头圆弧位置,同时由于油头各部件的磨损造成漏泄也会在油头喷孔周围产生坚硬的积碳,从而改变喷射方向,使燃油喷在缸头上,造成缸头波浪型烧蚀,其方向与缸套裂纹的位置相吻合;燃油进机温度,目前大型船舶主机使用的是380CST重质燃料油,对其温度和黏度的要求很高,正常的进机温度应该在125~135℃,如果进机温度不够就会影响燃烧质量,造成后燃,从而容易使油头工作失常,油嘴积碳,造成不正常喷射。

热负荷过高对燃烧室部件所造成的危害是多方面的,主要是:使材料的机械性能的降低;承载能力下降;受热部件膨胀、变形、局部产生“蠕变”,继而产生较大的塑性变形,改变了原来的正常间隙;润滑表面的滑油迅速变质、结焦、蒸发乃至烧掉;有些部件受热面烧蚀;受热部件承受的热应力过大,产生疲劳破坏等。当停车冷却后,由于非塑性变形的水冷面要复原,而塑性变形的触火面不能复原,致使壁面产生了残余应力,使触火面一侧受到拉伸,冷却面一侧受到压缩。由于启停车的多次重复,这种现象就多次出现,使壁面受到低频率的脉动应力作用。高温下材料强度降低,而低频应力在柴油机启停车过程中数值变化很大,这样就导致一些燃烧室零件在短期内出现了裂纹。

2.2 机械负荷

机械负荷是指柴油机部件承受最高燃烧压力、惯性力、振动冲击等的强烈程度。对缸套来说所承受的

机械负荷主要是来自气体压力和安置预紧力。

由气体压力引起的负荷又称为机械应力。由于气缸内的气体力是周期变化的,其最大值为最高爆发压力PZ,其变化频率与单位时间内的循环次数(转数)有关。因此又称为高频应力或称脉动应力疲劳应力。

由安装预紧力引起的负荷称为安装应力,它主要存在于上部凸肩部位。在其危险断面上承受拉应力、剪应力以及弯曲应力。这些应力的数值大小均与螺栓预紧力成正比,与其凸肩的高度成反比。为了保证柴油机在运转中的任何情况下气缸盖不与气缸套脱开,应保证固定螺栓的预紧力。由此可知,气缸套的安装应力亦与最高爆发压力成正比。

3 应对措施

缸套裂纹的主要原因是其所承受的热负荷和机械负荷不合理所造成的,因此,在主机日常运行中应从减少其机械负荷和热负荷入手,加强运行管理,避免缸套裂纹的发生。

3.1 缸套冷却水的管理

3.1.1 对主机冷却水进行必要的化验和处理

主机在使用一段时间以后就会在缸套冷却水腔内产生水垢,壁面上就会附着厚薄不等的污垢,水道中存在涡流区,甚至死水区,冷却效果降低。及时消除这些污垢,确保缸套的冷却效果,防止水腔壁局部过热,是预防热应力出现的有效措施。一旦化验出缸套冷却水水质不在规定的范围内,就应进行投药处理,尽早消除污垢产生的条件;定时清洁缸套冷却水的膨胀水箱,定期防除缸套水,使沉淀在缸套冷却腔底部的淤泥、沉渣放尽。以上工作应组织一定的人力定期完成,使缸套冷却效果始终保持在最佳状态。如果该工作没有引起足够的重视,隔很久才去做的话,就有可能产生局部污垢,造成无水垢的部分换热好,有水垢的局部换热效果差,局部过热产生热应力。

3.1.2 注意主机缸套冷却水的进出口温差

缸套冷却水的进机和出机温差过大,并长期在过大的温差下工作,时间长了就会对缸套产生不利影响,形成热应力而导致缸套裂纹。在保证冷却水温在规定的范围内,冷却效果最佳的状态下,应尽量减少缸套冷却水的进出口温差。

3.1.3 冷机暖缸要缓慢,以减少缸套的热应力

主机处在冷车状态时,可采用分段提升冷却水温度的方法进行暖缸,操作时严格控制暖缸速率在冷却水泵排量的10%以内。如时间允许,要尽量延长暖缸

时间,最终使暖缸温度升到接近正常使用值.在时间不允许的情况下,最低也要暖至 50 以上时才能启动主机.因为,只有高于 50 以上水温时才能阻抑缸套表面的腐蚀,才是减轻缸套腐蚀磨损和热应力的有利措施.即便是吊缸也不宜将水温降到最低,采用上放水口,亦即保留缸套水腔有几十度水温的水,防止缸套温度突变,吊缸结束后,先开放气考克,再稍开进水阀,控制补水速度,使水慢慢补充并赶出空气,便于减少空泡穴蚀.在需要停止暖缸的情况下,也要控制温降速度或让其缓慢地自然冷却降温为佳,不宜采用将水放光,风机直吹等急促降温措施降温.如无特殊情况,应尽量保持主机长期处在温度稳定的暖缸状态.因水温突变、太高或太低,对燃烧室部件都是不利的.切忌缸套冷却水温度低于 20 以下时启动主机.因冷车启动后水温变化过大,会使缸套的触火面与冷却面之间温差过大,产生过大的热应力,再加上气体力作用到冷却面的机械应力都是拉应力,二力相互迭加,数值较大,就更容易产生裂纹.

3.1.4 调速工况时要严格控制水温变化幅度

主机由海速降为港速,进入机动变速用车状态,此时,冷却水温度也以较快的速度随之降低,当水温降至正常使用值以下 5 左右时,就要逐渐打开暖缸阀,并且根据主机转速或冷却水温度的高低及时控制阀的开度大小,同时配合控制主海水泵的起停,力争保持水温稳定在正常使用值.在水温控制过程中,应使上下变化的幅度越小越好,变化占用的时间越长越好.直至停车转为正式暖缸保持温度稳定在正常值上.无论定速、变速航行还是停泊,及时正确对冷却水温度进行调节和控制,使冷却水温度保持稳定在正常值,是减少缸套裂纹的有效途径.

3.2 减少安装机械应力

缸头螺丝收紧要均匀,使缸套安装应力分布均匀.安装时应将所有的螺丝预紧后同时收紧.当代新型柴油机的气缸盖螺栓均采用液压拉伸器固紧.在安装时,为了避免缸头螺栓预紧力不均,应清洁螺帽与缸头接触面以及螺帽和螺杆的阴阳螺纹,按规定液压力,最好一个人用同一专用工具逐一用力收紧.任何导致力的大小和力臂长短的差异,均会造成螺帽收紧力矩不均匀.因此,有时为了争取时间,数人用不同的收紧工具和方法收紧螺帽或个别螺帽用锤子从切线方向打紧的方法都是不可取的.

3.3 注意操作管理

3.3.1 及时调整油门,控制主机在额定负荷内运行

虽然主机航行是在定速状态,但由于主机安装的是全制式调速器,它具有能自动调节油量以保持任一设定转速不变的工作特性,因此,在大风浪天、顶风顶流、浅水区以及狭窄航道等外界负荷变化大的情况下,导致主机热负荷也将随之增大,有时甚至超负荷运转.此时,要求我们轮机管理人员更要加强责任心,不分昼夜地及时对主机油门进行调整,杜绝超负荷运转,限制主机热负荷使之在一定范围之内,这对机器经济、安全、可靠地运转是十分重要的.

3.3.2 及时均匀调整各缸负荷,确保各缸均不超负荷

通常柴油机的排气温度可以用来判断热负荷的高低.在正常情况下,当柴油机循环喷油量增加时,燃烧室部件的温度和排气温度都会增加.但仅靠排烟温度的均匀度还不能说明各缸的负荷就是均匀的,除排烟温度表自身的误差外,在检修活塞、喷射泵和油头等设备后以及随着运转时间的不断延长,它们磨损的程度和各自的工况都发生了变化的情况下,就很容易引起各缸负荷的不均匀,导致单缸热负荷过高.所以,要经常及时地测取燃烧压力、压缩压力等各热力参数来分析判断各缸负荷是否均匀,及时给予调整.排烟温度应严格控制在规定的最高允许值以下.在日常工作中,不但要注意参数绝对数值的大小,还要注意参数本身的变化和各缸间的同名参数间的差异.参数的骤变或各缸数值相差变大往往是故障的先兆.

3.3.3 确保气缸的正确润滑,避免出现磨损,造成局部应力集中,诱发缸套裂纹的发生

气缸润滑很重要,运行中除要保证气缸油总供油量和油的品质合乎要求外,还要注意每个注油点上的供油情况,要求所有缸及所有点供油量应相同,即各缸注油器观察玻璃管内的指示圆珠均应在一条水平线上.若航行中个别圆珠较低,说明该点供油量,容易引起低速断油,致使缸套内壁沿注油孔方向磨出一道垂直磨痕.注油器上各注油量的微调旋钮,因备车等原因,被手压注油后常发生变化,甚至有个别旋钮常卡死在里面,引起单点断油.所以,当主机启动运转后,都要立即给予关注,发现异常及时调整至正常注油状态.

主机在长期低速运转时,如过运河,气缸油量必须适当增加,正常航行后立即恢复原位.平日应定期通过日用油柜测定日耗量,油量少了显然是不允许的,多了既是一种浪费,也是有害的,所以,注油量的及时适当调整,是延长缸套使用寿命、控制磨损率在

0.1mm/千小时以内。

3.3.4 注意缸套的正确磨合

新出厂的主机,应该严格按照说明书规定程序进行磨合,新换了缸套与活塞环时,其基本磨合原则是:在连续运转时逐渐增加负荷并需定时检查,达到相互贴合的效果。后者磨合时至少增大50%的气缸供油量,几十小时后逐渐恢复正常,只有这样才是减少熔着磨损的有效措施。常规吊缸时,活塞令最好不要全换,一般主机活塞共4道,换2道比较合适,这对减少缸套的磨损会有一些的好处。如果缸套换新,所有的环就必须全部换新,决不能使用部分旧环,因为旧令的表面,不但已经相当的硬化,而且还存在椭圆度。所以,它既不能与缸套内壁相互完全贴合,又不能适应新缸套的跑合磨损。

3.3.5 合理控制扫气温度

缸套中、下部有较高的温度,这对缸套工况及消除该区腐蚀磨损很有利。又由柴油机工作过程可知,在压缩过程初期,气缸壁温度高于空气温度,而在后期,空气温度又高于缸壁温度,因此缸套工作在这温差多变过程中。若扫气温度太低,势必给缸套上下部分以及缸套内外造成较大的温差,导致其本身热应力增加。所以,扫气温度应控制在40以上为佳。尤其在机动变速航行以及海水温度较低的情况下,更应该及时给予调整。

3.3.6 合理控制供气量

主机要完全燃烧1kg燃油,就需要14kg还多的理论空气量,所以,为了给主机供应足够的新鲜空气使之良好燃烧,机舱安装了足够的强制供风系统,一般在主机透平处开设一至两个直吹风口,供透平压机吸风专用。当外界大气温度较低,尤其主机处在停泊暖缸或机动低速用车时,应关闭或控制直吹主机的供风机或供风口。由此,既缩小了机体与环境之间的温差,又有利于暖缸温度的提升。

3.3.7 主机停车30min后再启动以前,必须始终执行慢转

带自动慢转的主起动阀,由时间继电器控制其自动慢转,非自动慢转的主起动阀,由人工转换慢转开关来实现慢转。慢转时打开示功考克,吹出燃烧室内的残油水等,防止爆燃或敲击带来的危害。

3.3.8 通过气口检查要勤

为了随时掌握燃烧室部件的工况是否正常,一定

要抓住停航的有利时机,通过扫气口对气缸磨损、活塞环工作、气缸润滑、活塞冷却油密封、冷却水密封等状况进行目击检查,在海上航行时,如发现有异常情况,在征得驾驶台同意后,应立即临时停车对上述状况进行检查。通过检查,及早分析和判断出故障原因,将隐患和事故消灭在萌芽状态。

3.4 加强和驾驶台的合作

机舱和驾驶台合作合理得当,也是主机能够得到良好运作和保养的保障。用车不当,加减速频繁过快,都会引起缸套火面和冷却面温差过大,对主机缸套造成不良影响。所以,驾驶员懂一点主机的知识和轮机管理的内容,对主机的保养和安全操作是大有裨益的。在船舶起锚和靠港时,主机的加减速都是在很短的时间内完成,这对主机缸套产生的影响是不利的,驾驶台应及时通知机舱海面工况,让轮机员按照正常的操作步骤来进行,双方应共同努力,做好主机的管理工作,避免主机缸套机械损伤。

4 结语

总之,造成缸套裂纹的原因是多样的,柴油机在使用中因管理不当使燃烧室部件过热或局部过热,整机或个别缸超负荷运行或进行频繁地起停,均会加速热疲劳破坏的出现都会导致裂纹。而事实上管理人员的管理和保养是很重要的一个因素。在管理过程中,加强责任心,注意机器的冷却状态,保持机器的温度稳定,不超负荷运行,保持机器进排气系统的畅通,尽量减少起停的次数等,这对提高燃烧室部件的可靠性、减少裂纹故障的发生、延长使用寿命都是非常有利的。

参考文献:

- [1] 林瑞霖. 船用柴油机经济寿命分析 [J]. 中国修船, 2001: 21-22
- [2] 施洪新. 船用柴油机汽缸盖的裂纹及其检修工艺 [J]. 航海技术, 2002: 66-67.
- [3] 李世臣. 主机缸套裂纹事故原因分析 [J]. 大连海事大学学报, 1994: 23-26
- [4] 张叶龙等. 老龄船舶柴油机缸套异常磨损的研究 [J]. 中国修船. 2003: 33-36
- [5] 盛昕. 国内外修船形式浅析 [J]. 中国修船, 1996: 1-6