

船舶涡轮增压器的常见故障诊断与改进措施

俞剑 李飞宇 徐飞

(江南造船(集团)有限责任公司, 上海 201913)

摘要 近年来, 涡轮增压器已实现在船舶中的普及化应用, 既提高柴油机的功率又加强其经济性; 然而, 增压系统运行好坏对柴油机的性能有直接性的影响。涡轮增压器工作环境比较恶劣, 柴油机长时间低负荷运作, 会导致增压器出现故障, 进而对船舶航行性能产生影响。基于此, 本文就船舶涡轮增压器的常见故障诊断与改进措施进行深入的研究, 以期对相关工作人员提供参考。

关键词 船舶 涡轮增压器 喘振故障 轴承烧损 润滑油漏失

中图分类号: U664.1

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)06-0124-03

从船舶增压器发展历程来看, 初期应用的都是机械增压技术, 机械增压器是以汽油机尾气排量不增加为前提, 使得动力轮输出有所提高, 直接借助汽油机的局部动力以带动增压器, 再将增压后的高密度空气压送到气缸内以促使汽油机输出功率的提高。然而, 在汽油机高速运行时, 机械增压则会发生进气效率低的问题, 进而造成增压器效率相对偏低, 无法达到既定效果。在此背景下, 人们以机械增压器为前提开发出了涡轮增压器, 同时将其大量运用于船舶主体中。

1 船舶涡轮增压器概述

涡轮增压器属于空气压缩机范畴, 主要是利用压缩空气以提高进气量。其通过发动机所排出的废气惯性冲力以带动涡轮室中的涡轮, 再由涡轮带动着同轴的叶轮; 从空气滤清器管道中进入的空气, 由叶轮压送到气缸中。如果发动机的转动速度增加, 则涡轮转动速度和废气排出速度同样会随之增加, 就会有更多的空气通过叶轮压入到气缸中, 空气密度及压力的增加会消耗更多的燃料, 对应地调整发动机转动速度及燃料量, 便能够大大提高发动机的输出功率。涡轮增压器的优缺点如下:

从涡轮增压器的优点来看, 涡轮增压器可以在柴油机运行容积不发生变化的基础上, 使得柴油发动机的扭矩和功率有所提高, 同时可以减少排放和油耗及; 完全满足当前“功率大、船型小”的需求。

从涡轮增压器的缺点来看, 一方面, 涡轮迟滞。由于涡轮增压主要是利用废气驱动的方式, 首先应形成废气, 增压器才可运作, 因此涡轮增压器的工作与柴油发动机汽缸相比具有一定的滞后性, 并且因为泵轮和涡轮高速转动时有着极大的惯性, 在发动机工况

发生变化时, 增压器响应有所迟滞, 尤其是加速性能相较于自然吸气发动机比较差, 此即涡轮迟滞问题。例如: 在柴油快艇对航道进行日常巡查时, 主机在转速达到 3600 转时急剧减少油门、降低转速, 转速渐渐降至 1000 转, 此时再次加大油门、提高转速, 此时因为之前减少油门、降低转速, 导致进气压力下降, 如果再次加大油门, 则需重新形成高进气压力, 从加大油门至增压空气燃烧, 在此过程中有着较长的时间差, 便可以体会到此种涡轮迟滞。另一方面, 不得长期涡轮怠速。涡轮增压器要想保持正常运行状态, 则需形成废气构建相应的压力, 若柴油机长期保持低转速怠速状态, 不但会导致机油压力无法建立、主机润滑效果较差, 对柴油机润滑系统产生影响, 还会引起机损事故^[1]; 与此同时, 转速较低难以吹动涡轮, 造成气缸进气量大幅缩减, 极易形成积碳, 从而影响到喷油嘴的寿命。

2 船舶涡轮增压器故障因素分析

一方面, 人员方面的因素。涡轮增压器出现故障, 其根本成因就是人员操作不当、维护保养不到位。船舶驾驶人员采取不当的操作形式, 例如主机启动热车以后, 才可渐渐加大油门而提高航速, 部分驾驶员在开机后便直接加大油门, 极易导致机器受伤; 再如在船舶返航后, 主机仍需保持怠速, 而后才可关闭主机, 部分驾驶员在船舶停好后便直接关机, 此同样会导致机器受伤; 部分轮机员并未定期对涡轮增压器进行保养, 例如更换机油、清洗空气滤网等等, 同样极易导致涡轮增压器发生故障。另一方面, 机器方面的因素。第一, 涡轮增压器自身质量较差, 极易发生耗损而导致故障。市场中出售的涡轮增压器质量有好有坏且价

格也不相同,难以确保其质量^[2]。第二,涡轮增压器和主机配套存在问题,为避免出现“大牛拉小车”或者“小牛拉大车”的问题,需按照船舶主体功率来选择涡轮增压器,主机功率往往与燃油量、空气成正比。如果主机排量及功率已经确定,基于各种需求来选择增压器壳体尺寸,主要受气流要求的影响。

3 船舶涡轮增压器常见故障诊断及改进措施

3.1 喘振故障

近几年内,伴随船舶应用频率与负载量的进一步增加,柴油机故障的发生率也在不断上升,其中涡轮增压器喘振就是比较常见的故障。如果涡轮增压器发生喘振故障,会引起压气机叶轮损坏、轴承损坏以及柴油机粗暴工作等恶劣影响;如果喘振故障无法得到及时排除,柴油机仅可降低功率使用又或是关机停用,对船舶安全行驶有极大的负面影响。涡轮增压器喘振是其独有的特征,是在进气量降低至某种程度时所出现的非正常工作状况下的振动,往往呈现为压气机产生异常的波动,同时还会出现极大的吼叫声。涡轮增压器形成喘振的机理相对复杂,在压气机处在“高背压、低流量”工作情况时,进入到压气机中的空气流向和压气机叶片入口间就会形成冲角,当该角度达到某种程度时,压气机叶片和进气流间就会出现异常的气流分离,此气流会周期反复产生,气流速度、压力以及流量等都会发生严重变化。

引起喘振故障的因素主要有以下几种:第一,柴油机发生故障。柴油机因为各缸的负荷差异较大,喷油提前角滞后或者是提前,气阀密性较差,喷油器雾化效果较差等状况造成燃烧不佳、排温上升,排出废气能量增长,进而引起增压器转动速度的加快,导致压气端出气量小于吸气量则会出现喘振故障。第二,增压器发生故障。压气机叶轮发生破损或者是形变,会导致增压能力下降,造成效率降低,引起流经压气机的空气量下降,进而造成喘振。喷嘴环发生形变,会导致废气流速加快、压气机进气流量增加、增压器转速升高,进而导致喘振^[3]。第三,柴油机与增压器失配造成的喘振。柴油机和增压器在各类工况下是互相匹配运行的,比如在柴油机卸负载过程中,供油量急剧下降,气缸中所需要的空气量大幅缩减,而增压器转子的转动速度因为受惯性等因素的影响而难以同步降低,导致多余的空气累积在压气端进口位置处而引起喘振;当柴油机的载荷发生极大变化又或是出现过载情况时,柴油机燃烧状态不佳,排气管的废气能量增加,造成增压器转子转动速度加快,导致压气机出

气量小于吸气量而引起喘振。

喘振故障的具体改进措施如下:第一,对柴油机燃油雾化状况进行监控,不断加大喷油器养护力度,防止柴油机在高负荷条件下各缸负荷出现不均匀的情况。第二,根据说明书规定对柴油机进行正确的保养,及时对气阀间隙进行检查,避免气阀间隙发生过小或过大的现象,造成气阀未完全关闭,发生烧蚀等问题。第三,避免柴油机的负荷急剧增加或者下降。第四,强化监控柴油机的各类参数,如果发现问题需立即排除问题。第五,根据说明书规定定期对压气侧、增压器侧、中冷器、进气滤网等进行清洗,确保气道的顺畅性。

3.2 压力升高或下降

导致涡轮增压器压力升高或者下降的因素主要有以下几点:第一,供油系统发生异常。主要包括燃料后燃、喷油延迟等问题,导致废气能量大幅上升,气缸排气升温,将会造成以下两种影响:(1)进口能量大幅增加,使得增压器转动速度加快,进而造成压力随着涡轮转速加快而上升;(2)涡轮流量降低,使得压气机运行点转向于喘振线,导致扫气压力升高,并且造成排气温度急剧上升,更有甚者还会引起涡轮管与排气管发红,严重影响到涡轮机的性能。因此,在涡轮增压器运行过程中需及时发现和排除故障,科学调节喷油定时,严格控制后燃现象,如此不但可以减少油料消耗,而且还可以保护好涡轮机。第二,压气机空气滤器、涡轮喷嘴、扩压器以及叶轮等由于长时间运行而发生脏污。在涡轮增压器运作过程中,压气机从机舱中吸入空气。机舱空气中含有大量的灰尘及油雾,非常容易粘附于扩压器与叶轮上。如果柴油机的负荷出现改变,则会由于柴油机使用劣质燃油、燃油燃烧不到位或是燃油喷射系统运行不佳而导致柴油机排气的碳粒与油雾含量较高,导致叶轮和涡轮喷嘴环积碳而造成柴油机出现脏污、积炭问题。如果流道脏污,则会导致流动阻力加大,大大影响效率,造成增压压力降低^[4]。所以,需定期清洁涡轮增压器,将涡轮喷嘴、空气滤器以及叶轮上的脏污和积炭清理干净,在涡轮增压器运行过程中,需时常清洗旋转部件,以保障涡轮增压器维持良好的工况。第三,气阀(口)过早开启或出现漏气。柴油机过早排气导致涡轮进口出的温度及压力有所上升,会造成大量废气涌向涡轮机,涡轮机转速加快,增压压力升高。对于此类状况,合理的调整方式为延迟柴油机的排气正时,使得燃气在气缸内做更多的功,进而使排气温度及压力降低,

增压压力下降。在柴油机长期运作后,因为受机械故障、腐蚀或者磨损等因素的影响,导致排气阀密封效果较差,燃气从气阀的间隙中漏出。因为燃气温度高、压力大,事实上增加了涡轮进口气体能量,因此会导致增压压力的升高。其主要改进方法如下:一方面,防止排气阀过早开启;另一方面,解决好排气阀漏气问题。

3.3 轴承烧损

对于涡轮增压器而言,轴承是非常重要的部件,不但可确保转子运行的可靠性和安全性,而且还可确保转子精准固定增压器是在轻负荷、高速、高温环境下运行的,短期断油、漏油或是油量偏少都会导致轴承器甚至是整个增压器受损的严重事故。船舶柴油机在长时间运行以后,因为滑油的大量沉积而在滑油观察镜中转变为污痕,导致滑油虚假油位,在工作过程中极易导致视觉层面的误差而造成涡轮增压器的油量较少,滑油压力相对偏低,更有甚者还会发生断油问题,从而引起轴承烧损。如果轴承发生烧损,则会发出异常的声音,涡轮增压器的转动速度就会急剧降低,而无法继续正常运行。因此,在航行值班期间,如果发现涡轮增压器的转动速度大幅降低,运作声音有所异常,需立即停车对涡轮增压器进行检查,否则会引起更加严重的事故。如果及时予以处理,只有轴承发生烧坏,只需更换轴承便可;如果转子严重烧损,难以修复到最初状态,而处在特殊情况无法停车时,可及时采取应急方案关停已经受损的增压器,降低柴油机的负荷,保持低速运作状态^[5]。在日常维护管理过程中,尤其是值班巡回检查时,应重视对轴承润滑油的温度及压力进行检查,利用观察镜对润滑油的流动状况实施检查,不得出现流量下降或者断油的问题。

3.4 润滑油漏失

涡轮增压器通过长时间运作以后,密封衬套间的距离就会变大,机端轴封受到破坏而造成排气进入到轴承箱中,导致轴承箱压力急剧上升,箱盖螺栓发生松动而导致润滑油漏失问题。

3.5 增压器超温

一般情况下,导致增压器超温的因素主要有两方面:一方面是增压器冷却水温度太高,另一方面是润滑油温度超出上限。所以,在对机舱进行巡回检查时,主要对涡轮增压器的冷却水温度与润滑油温度展开检查。

3.6 汽油机爆震

当出现汽油机爆震情况时,会造成发动机抖动、发出比较严重的噪声,更有甚者船身同样会感到明显

的抖动。其主要是因为燃烧室大量积碳、点火角过度提前、空燃比不符合要求、汽油机温度过高、清洁度较差、燃油辛烷值偏低等。爆震问题会导致汽油机动力降低,造成噪声与油耗的增加、排出大量的有害气体;最为严重的问题是敲缸,会导致汽油机发生破损。现阶段,普通汽油机出现爆震情况的可能性很低,然而该问题在涡轮增压器上依然存在。当前,解决涡轮增压器汽油机爆震问题最直接、最有效的方式是确保增压后的空气温度有所下降。因此,也就凸显出中冷器对于涡轮增压器的重要价值,由于中冷器可以有效降低通过增压后的空气温度,以削弱高温对于汽油机造成的负面影响。如果没有经过冷却处理的、通过增压后的空气直接进入燃烧室中参与燃烧,就会造成汽油机燃烧室的温度急剧上升,引起爆震问题。相关研究表明:增压以后的空气温度每降低10℃,汽油机的功率就可以增加3%~5%。

4 结论

综上所述,涡轮增压器是船舶十分重要的零部件之一,对船舶的安全行驶有着极其重要的意义。在船舶行驶过程中,受多方面因素的影响,导致涡轮增压器发生各式各样的故障。当前,船舶涡轮增压器常见的故障主要有喘振、压力升高或下降、轴承烧损、润滑油漏失、增压器超温、汽油机爆震等。对于此,应采取合理的改进措施,以确保船舶行驶的安全性。

参考文献:

- [1] 冯金勇,冯明志,李静芬,等.船舶柴油机动力涡轮与涡轮增压器联合优化匹配研究[J].柴油机,2017,39(02):8-14.
- [2] 林新通,詹玉龙,周薛毅,等.支持向量机在船舶柴油机废气涡轮增压器故障诊断中的应用[J].上海海事大学学报,2012,33(02):18-21.
- [3] 林颖毅.船舶废气涡轮增压器喘振故障分析及排除[J].武汉船舶职业技术学院学报,2012,11(03):41-43.
- [4] 夏勇.物理化学方法在线清洗船舶柴油机涡轮增压器[J].后勤工程学院学报,2015,31(04):47-50.
- [5] 赵勇.环境温度对船舶主机涡轮增压器特性的影响研究[J].中国水运(下半月),2009,09(10):133-135.