

上海市船舶与海洋工程学会 2019 年学术年会轮机专场论文专栏

5DK-20e 柴油发电机组成套设计

曹 刚, 焦联合国, 周海兴

(陕西柴油机重工有限公司, 陕西 兴平 713105)

摘 要: 介绍了 5DK-20e 柴油发电机组成套设计过程。重点介绍了公共底座、滑油系统、燃油系统、混流式冷却水系统、启动马达系统、进排气系统、增压器叶轮清洗系统的设计及验证。台架试验及实船试验结果表明: 该型发电机组技术指标达到了技术规格书要求。目前已投入批量生产。

关键词: 柴油发电机组; 成套设计; 试验

中图分类号: TM31; TK423 文献标识码: A 文章编号: 1001-4357(2020)03-0018-07

Packaged Design of 5DK-20e Diesel Gensets

Cao Gang, Jiao Lianguo, Zhou Haixing

(Shaanxi Diesel Engine Heavy Industry Co., Ltd., Shaanxi Xingping 713105)

Abstract: The packaged design of 5DK-20e diesel gensets is introduced. The design and verification of common base plate, lube system, fuel system, mixed-flow cooling water system, starting motor system, inlet and outlet system, and turbocharger impeller cleaning system are introduced. Bench test and test on board show that the technical indexes of this type of gensets can meet the requirements of technical specification. The gensets has realized mass production.

Key words: diesel gensets; packaged design; test

0 引言

5DK-20e 柴油发电机组是陕西柴油机重工有限公司继 6DK-20e 柴油发电机组引进开发成功之后, 又一引进开发的小缸径、中档功率船用中速柴油发电机组, 主要满足国内外辅机市场对 500 ~ 720 kW 功率档船用辅机的需求。

5DK-20e 柴油发电机组结构简单可靠、体积小、维护简单、大修期长; 性能优良, 可以燃用轻质柴油 (MDO、MGO)、1 500 s ~ 7 000 s 重油甚至渣油和原油; 设有各种安全保护装置; 主要针对船用辅机市场, 具有良好的经济性能和广阔的市场应用前景。

1 主要技术指标

1.1 5DK-20e 柴油机组主要技术规格及性能参数

5DK-20e 柴油机主要技术规格及性能参数见表 1。

表 1 5DK-20e 柴油机主要技术规格及性能参数

型式	直列、四冲程、水冷、直喷、废气涡轮增压、带中冷、不可逆转
气缸数	5
缸径 × 行程/ (mm × mm)	200 × 300
柴油机额定功率/kW	500 ~ 720
超负荷能力	110% (每 12 h 允许运行 1 h)
柴油机转速/ (r · min ⁻¹)	720/750/900
活塞平均速度/ (m · s ⁻¹)	9.0
平均有效压力/MPa	2.09
最高燃烧压力/MPa	≤17.7
滑油消耗率/ (g · kW ⁻¹ · h ⁻¹)	0.8
燃油消耗率/ (g · kW ⁻¹ · h ⁻¹)	196 (1 + 5%)
起动方式	空气马达起动
压缩比	13.3

1.2 发电机主要规格及性能参数

发电机主要规格及性能参数见表 2。

收稿日期: 2019-09-15

作者简介: 曹刚(1988—), 工程师, 主要研究方向为柴油机减振降噪及排放, minpinsheji@163.com。

表 2 发电机主要技术规格及性能参数

机型	1FC 或 HC
发电机输出功率/kW	470 ~ 677
功率因数	0.8 (滞后)
电机效率/%	94
电压、相数、频率	AC450 V、3 相 3 线、60 Hz
绝缘、防护等级	F (级)、IP23、接线盒 IP44
防无线电干扰	VDE0875 N 级
定子绕组温度传感器	2 × 3 PT100 温度传感器 (1 套备用)
轴承温度传感器	1 套
防冷凝加热器	AC220V
冷却方法	自带风扇冷却 (带空气滤器) 或水冷
自动电压调节器 (AVR)	安装在发电机上
电缆进口、接线箱位置	由船厂在认可图中确认
电压整定电位器	散件提供

2 机组整体布置

5DK-20e 柴油机为直列、四冲程、直喷、水冷、废气涡轮增压、中冷、不可逆转柴油机。柴油机与发电机采用弹性连接 (也可刚性连接) 安装在公共底座上; 机组与船体采用弹性连接 (也可以刚性连接)。机组外形图和柴油机横剖面图见图 1、图 2。

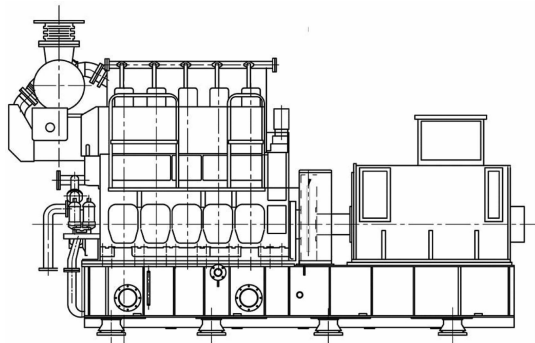


图 1 5DK-20e 柴油发电机组外形图

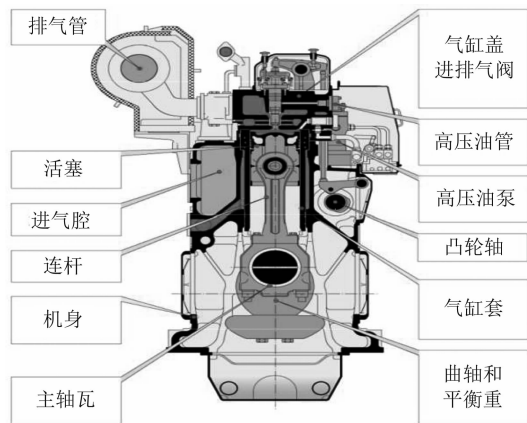


图 2 5DK-20e 柴油机横剖面图

5DK-20e 柴油机沿用当今最为成熟的柴油机设计模式, 主轴承为倒挂式结构, 由 2 个安装螺栓和 2 个横向螺栓固定在柴油机机身上。考虑船用辅机的使用习惯, 增压器和中冷器都布置在前端 (泵端), 但也可以根据用户的特殊需要布置在后端 (飞轮端); 泵传动齿轮箱布置在柴油机前端, 与机身铸为一体, 用以驱动滑油泵、淡水泵、海水泵、凸轮轴。

考虑船用辅机的恒速使用工况, 为保证辅机的工作性能和经济性, 该机采用定压增压系统, 选用 ABB 公司的 TPS 增压器, 以保证发电机组的高效运行。

为了优化结构, 美化柴油机外观, 减少外围管系布置, 该机的进气管与机身铸为一体, 排气管布置在排气侧; 机身内部铸造有冷却水通道、滑油通道; 机身上部分与气缸套一起形成冷却水腔; 机身排气侧安装有曲轴箱安全阀。

该机按照无人机舱等级配置了各种运行参数传感器、压力开关、温度开关接口、无人监测报警系统 AMS, 对柴油发电机组功率、频率、电压以及柴油机气缸排气温度、滑油进机压力、燃油进机压力等重要参数进行检测和越线报警 (停车)。

3 柴油机主要零部件结构设计

该机曲轴由高强度 SDM860 合金结构钢经 RR 整体锻造而成, 具有足够的刚性和强度; 为了提高其耐磨性, 曲轴各个主轴颈、曲柄销轴颈都经高频淬火处理。曲轴采用全平衡设计, 在各个曲柄臂上都装有平衡重, 由 2 只螺栓紧固在曲臂上; 在曲轴的后端安装特种甩油环, 可以调节柴油机的旋向, 见图 3。

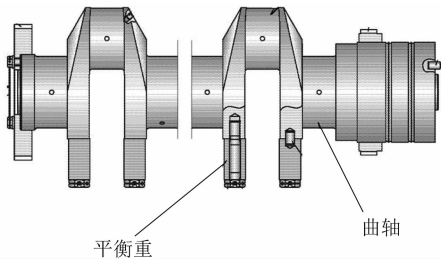


图 3 5DK-20e 柴油机曲轴

活塞为全浮动结构, 其轴向由卡环定位; 活塞销衬套为台阶式结构, 经计算, 这种结构可以提高最高燃烧压力承载部位的承载能力。活塞为整体式, 材料为球墨铸铁; 在活塞裙部表面涂有特殊涂层, 以提高其顺应性; 为了提高活塞环的耐磨性, 活塞环槽都经镀铬处理。为了避免发生顶缸现象, 在活塞顶上布置有避阀坑。活塞环组由三道气环、两道

油环组成。滑油经曲轴、连杆中的油孔和活塞销到达活塞冷却油腔，对活塞进行强制冷却，见图 4。

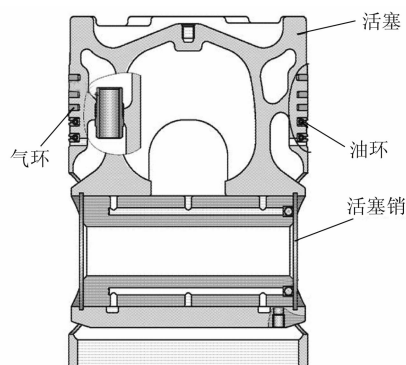


图 4 5DK-20e 柴油机活塞

为了降低吊缸高度，该机连杆采用三段式结构，其大端沿水平方向分为三段，这种结构允许在不用拆卸曲轴轴承的情况下吊出活塞。连杆由 45# 钢模锻而成。连杆大端的剖分面为锯齿形结构，由 2 个螺栓采用液压方式紧固连接；杆身由 4 个螺栓采用液压方式紧固。曲柄销轴瓦为 A40 高锡铝合金轴瓦，有很高的耐磨性。5DK-20e 柴油机连杆结构见图 5。

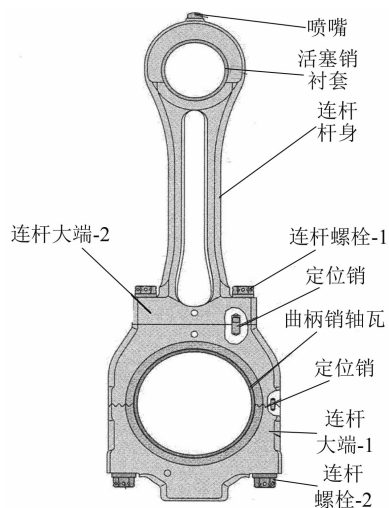


图 5 5DK-20e 柴油机连杆

气缸盖由特殊铸铁铸造而成，具有很高的强度和刚度以及良好的导热性；由 4 个大直径螺栓采用液压方式紧固在机身上。气缸盖燃烧室为厚壁结构，缸盖上表面安装 2 个进气阀和 2 个排气阀；气缸盖上钻有进排气阀安装孔、喷油器安装孔；内部有强制冷却水通道，对缸盖、排气阀座、喷油器进行强制冷却。喷油器、示功阀、气缸安全阀都安装在缸盖上；起动阀安装在高压油泵侧，进排气出口接头安装在排气侧。5DK-20e 柴油机气缸盖见图 6。

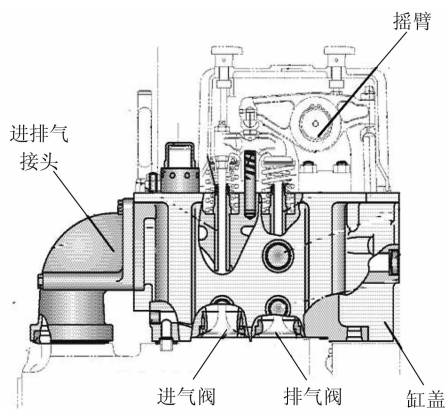


图 6 5DK-20e 柴油机气缸盖

为了方便加工与安装，凸轮轴采用分段式结构，每两缸共用一根凸轮轴；各段之间通过 12 个高强度螺栓和定位销连接；各段凸轮轴与凸轮通过斜键槽用键连接，安装与拆卸都很方便；前端安装有止推轴承，用于凸轮轴轴向定位；前端还安装有转速表连接装置，见图 7。

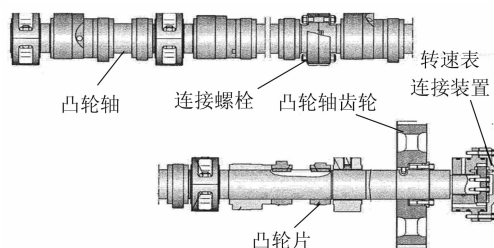


图 7 5DK-20e 柴油机凸轮轴

4 各系统设计

4.1 滑油系统

滑油系统设有滑油沉淀箱和日用滑油箱，二者采用公共底座，公共底座的容量要保证发电机组 100% 负荷连续运转 7 天的滑油消耗量；同时，设有 2 台加压泵，随时向公共底座补油。公共底座上装有液位开关，与加油泵液位连锁，当公共底座的滑油泵液位低于设定值时，液位开关报警，与此同时，加油泵起动，向公共底座补油。由于公共底座里的滑油含有运行过程落入的滑油，杂质较多，因此在滑油系统中设有滑油分离单元，对公共底座里的滑油进行连续分离、净化。

为了降低发电机组起停时相关部件的磨损，在滑油系统中设置有滑油预供泵。当柴油机低温起动时，滑油预供泵立即起动，将滑油送入各个润滑点，保证机组平稳、快速起动；当发电机组达到最低稳定转速，柴油机起动成功，滑油预供泵自动关

闭;当机组停车时,同样,滑油预供泵立即投入工作,工作时间可提前设定,一般为 30 min 以上,以防止柴油机各个运动副过热。滑油采用低温淡水冷却,在滑油冷却器上安装有滑油恒温阀,保证进入柴油机的滑油温度始终保持在 50 ~ 60 ℃ 之间。5DK-20e 柴油发电机组滑油系统见图 8。

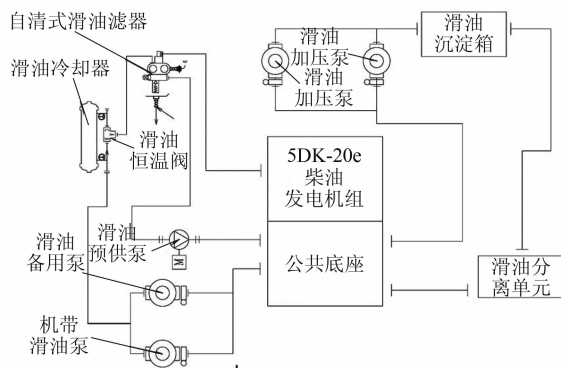


图 8 5DK-20e 柴油发电机组滑油系统

4.2 燃油系统

考虑到经济性,一般情况下,柴油发电机组与主机燃用同样的重油(HFO)甚至渣油和原油。燃油系统设置有燃油沉淀箱、燃油日用油箱、柴油箱(轻油箱)和供油单元。

重油沉淀箱上设置有液位开关、报警装置、放气阀,液位开关与重油加压泵起动连锁。当重油箱液位低于设定的低液位时,液位开关报警,同时起动加压泵,为重油沉淀箱补油;当重油箱液位达到设定高液位时,液位开关报警,同时断开重油加压泵。

重油日用油箱一般安装在距曲轴中心线 3 m 以上,与重油沉淀箱一样,重油日用油箱也设置有液位开关,报警装置、2 台重油输送泵。当重油日用油箱液位低于设定低液位时,液位开关报警,同时起动燃油输送泵从重油沉淀箱抽油,向重油日用油箱补油;当重油日用油箱油位到达设定的高液位时,液位开关报警,燃油输送泵断开,停止补油。

燃油系统中配置有流量大于等于 1 200 L/h 的重油供应单元。重油供应单元安装有 2 台燃油泵,其中 1 台备用,另外还配置有加热器、黏度仪、精滤器等必备装置。供油单元从重油日用油箱抽油,加热到 120 ℃,通过燃油管输送至柴油发电机组。为了保证燃油进机的温度和黏度,在燃油管上要强制包扎 25 mm 厚隔热层,使燃油进机黏度保持在 13 ± 1 cSt。5DK-20e 柴油机发电机组燃油系统见图 9。

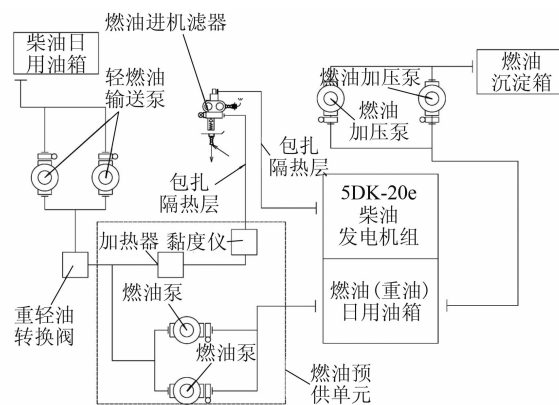


图 9 5DK-20e 柴油发电机组燃油系统

4.3 起动系统

起动系统配置有 2 套空气瓶和空压机,相互备用。空气瓶与空压机压力连锁,当空气瓶压力小于 3.0 MPa 时,空压机自动起动,向空气瓶补气;当空气瓶压力达到 3.0 MPa 时,空压机自动关机。船用柴油机的起动方式有压缩空气起动和空气马达起动。5DK-20e 柴油机由于是奇数缸配置,因此采用空气马达起动。5DK-20e 柴油机起动系统配有英格兰索 150T 空气马达、空气滤器、减压阀、安全阀、起动阀、起动电磁阀等装置。当须起动柴油发电机组时,按下起动按钮,起动电磁阀通电,气路打开,0.6 ~ 0.9 MPa 的控制空气进入空气马达,打开空气通道;从空气瓶来的压缩空气经空气滤器、减压阀、安全阀、起动阀进入空气马达,推动空气马达运转,带动其上的小齿轮旋转,小齿轮推动齿圈和曲轴旋转,达到起动柴油机的目的。当柴油发电机组达到最低稳定转速时,起动成功,起动电磁阀自动失电,气路阻断,空气马达自动停机。5DK-20e 柴油发电机组空气马达起动系统见图 10。

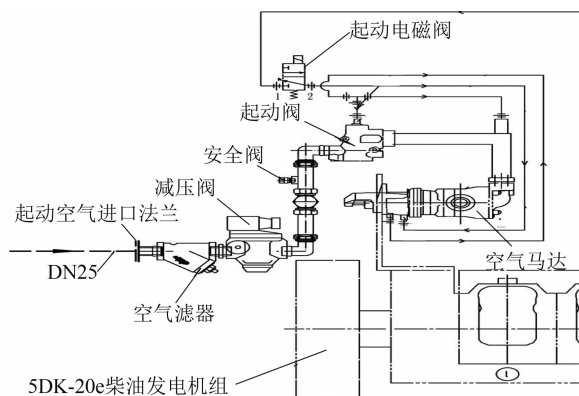


图 10 5DK-20e 柴油发电机组空气马达起动系统

4.4 混流式冷却水系统

船用发电机组的冷却水系统一般分为开式系统、闭式系统及混流式冷却水系统。为了节约成

本, 5DK-20e 柴油发电机组采用混流式冷却水系统, 省掉淡水冷却器。系统中设置有膨胀水箱, 随时向高、低温水系统补水。在高温系统中配置有恒温阀, 高温水泵从柴油机低温水出水管路抽水进入柴油机, 冷却缸盖、缸套、喷油器、增压器之后, 冷却水回到高温水泵进口, 闭式循环使用。为了防止柴油机零部件发生气蚀现象, 在高温水出水总管上设置有放气阀, 通过管子与膨胀水箱相连。低温水系统设置有 2 套电动低温水泵, 从中央空调的低温水管路抽水, 在冷却滑油冷却器、空冷器之后, 一部分水回到中央空调低温水管路, 另一部分则与从柴油机出来的高温水混合, 通过恒温阀使高温水进口温度始终保持在 $70 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 之间。

一般每船配置 3 套柴油机发电机组, 为了防止某套发电机组停机时低温水相互干扰, 在低温淡水系统中设置了自动水阀。该阀由滑油压力控制, 当某套发电机组停机时, 其滑油压力为 0, 自动水阀自动关闭, 这样, 各套发电机组之间低温水互不干扰。

为了控制流量, 在相关管系部位安装有节流孔板。

为了便于柴油机采用重油直接起停、或者在低温下快速起动, 高温水系统设置有预加热单元。该单元配置有 2 台功率为 0.55 kW 、流量为 $4\text{ m}^3/\text{h}$ 的电动水泵, 2 台 25 kW 的加热器, 使预热水温度始终保持在 70°C 以上。柴油机起动成功后, 预热水单元自动关闭。5DK-20e 柴油发电机组混流式冷却水系统见图 11。

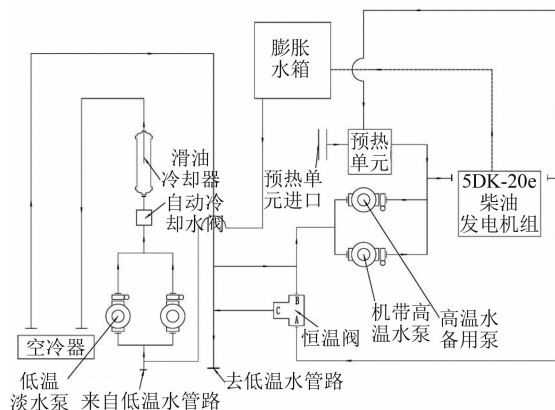


图 11 5DK-20e 柴油发电机组混流式冷却水系统

4.5 公共底座

5DK-20e 柴油发电机组的公共底座为船用钢板焊接式箱体结构; 油箱容积 940 L , 长 $\times$ 宽 $\times$ 高为 $4\,680\text{ mm} \times 1\,330\text{ mm} \times 650\text{ mm}$ 。底座前端上平面设置有柴油机安装孔, 后端上平面设置有发电机安装孔, 分别用于柴油机和发电机的安装; 左侧 (从电机端看) 设置有液位开关, 用于滑油高液位

和低液位报警, 同时, 还设有用于人工观察公共底座滑油油位的油位尺, 和用于清洁油箱的清洁孔以及人工加油孔; 在公共底座前端设置有滑油分离机接口, 便于连接分离机, 对公共底座内的滑油进行连续分离净化。

4.6 增压器助推系统

该机在起动时屡次冒黑烟, 经分析发现: 冒黑烟是因为燃油燃烧不完全所致。经增压器配机试验, 燃油凸轮型线、喷油提前角优化, 仍然不能从柴油机内部解决问题。为此从外部因素寻求解决方案。设计增压器助推系统, 增加燃烧室新鲜空气量, 使燃烧更加充分, 冒黑烟问题得到解决。该系统由空气 Y 型滤器、减压阀、空气精滤器、安全阀、助喷电磁阀等部件组成。助喷电磁阀与柴油发电机组起动连锁, 当发电机组起动时, 助喷电磁阀立即通电, 气路打开, 从空气瓶来的新鲜空气经空气滤器、减压阀、空气细滤器、电磁阀喷入增压器管路, 然后经中冷器中冷后到达燃烧室, 持续时间大约 10 s ; 柴油机起动完成后, 助喷电磁阀自动关闭。在此, 空气瓶的容量要保证柴油机连续起动 6 次以及助喷系统所用空气容量, 一般为 2 套 600 L 空气瓶。系统图见图 12。

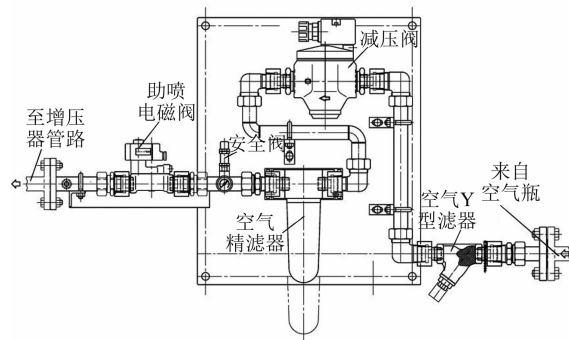


图 12 5DK-20e 柴油发电机组增压器助推系统

4.7 进排气系统

柴油机进气一般为室内进气, 在机舱内布置有风机, 同时在机舱内设有进气口, 进气口要正对着增压器, 并距离增压器 1 mm 以内; 同时要保证机舱内通风, 以免机舱内温度过高影响柴油机排气温度、功率及起动等性能。机舱内的排气管要尽量做到横平竖直、减少弯头, 以免造成排气背压升高, 影响增压器性能。在排气管路上要安装排气波纹管, 以吸收排气管的热膨胀位移。另外排气管要牢固地固定在船体上, 特别是与增压器废气出口相连的排气管, 如果固定不牢固, 排气管的重量会压在增压器上, 造成增压器损坏。5DK-20e 柴油发电机组排气管安装见图 13。

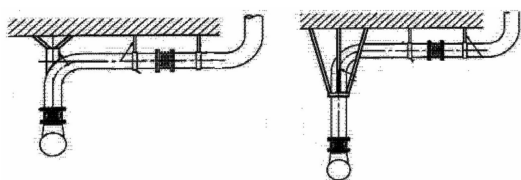


图 13 5DK-20e 柴油发电机组排气管安装图

另外,在排气管路上要安装消音器,以衰减噪声,噪声衰减量一般为 25 ~ 35 dB;在排气出口要安装防雨设施,以防雨水倒灌,引起柴油机缸套、活塞、增压器等零件锈蚀、损坏。

4.8 增压器叶轮清洗装置

5DK-20e 柴油发电机组原用的叶轮清洗装置是从日本进口的注射器。清洗增压器时,首先给注射器充满水,然后通过临时接管注入增压器,对叶轮进行清洗。该方案虽然操作简单,但是注射器价格昂贵,国内无生产厂家,无法国产化,因此自主设计了增压器叶轮清洗装置。该装置由清洗罐和管子组成,清洗罐设置有水腔和气腔,气腔和水腔在底部相连,按钮接在气腔上,通过钢球控制增压空气的进入。整个清洗装置安装在柴油机上,其中一根管子接增压器出气管,另一根管子接增压器。须清洗时,按下按钮 4 ~ 5 s,增压空气即可进入清洗罐的气腔将水压入增压器,达到清洗目的。该装置操作简单,价格便宜,且不须要散件提供。5DK-20e 柴油发电机组增压器叶轮清洗装置见图 14。

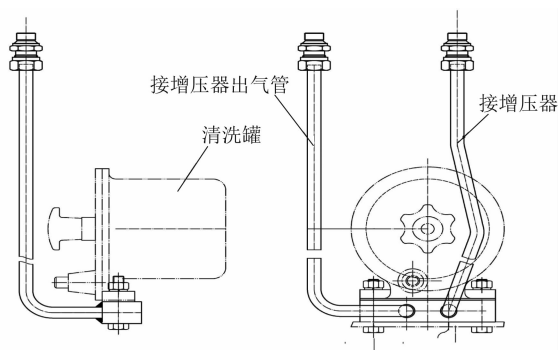


图 14 5DK-20e 柴油发电机组增压器叶轮清洗装置

4.9 发电机匹配计算

根据钢质海船规范规定,柴油机与发电机的匹配按照式(1)进行计算:

$$P_N = \eta_{\text{发}} \eta_{\text{传}} (aN_e - N_p) \quad (1)$$

式中: P_N 为发电机组在额定转速下长期连续运行时,输出端子的输出额定功率; $\eta_{\text{发}}$ 为发电机效率,一般为 93.8%; $\eta_{\text{传}}$ 为传动轴效率,直接连接,中间无传动轴时,取 1; N_e 为柴油机额定功率; N_p 为柴油机辅助设备消耗; a 为环境状况校正系数,

取 1。

经计算: 5DK-20e 柴油发电机组的 P_N 大于规格书规定的机组额定功率。表明: 5DK-20e 柴油机与发电机匹配良好,发电机选择适当,两者可以匹配组成发电机组。

4.10 扭振计算

经日本大发公司扭振计算, 5DK-20e 柴油机与发电机匹配良好,发电机组在额定转速、额定功率下可以连续长期、安全、稳定运转,不存在危险转速区域。

5 试验验证

2017 年 4 月, 3 套 5DK-20e 柴油发电机组在工厂台架上进行了试验,结果如下。

(1) 机组调速性能试验

试验内容: 调定柴油机于额定工况下运行,然后突然卸去全部负荷,记录转速变化和稳定时间;然后负荷从零突加至 34%,稳定后再突加至 67%,稳定后再突加至 100%,其间,测定稳定调速率、瞬时调速率及稳定时间。要求稳定调速率 $\leq 5\%$, 瞬时调速率 $\leq 10\%$, 稳定时间 ≤ 5 s。

试验结果: 5DK-20e 柴油发电机组的稳定调速率为 3.5%, 满足 $\leq 5\%$ 的要求; 瞬时调速率为 3.05% ~ 8.75%, 满足 $\leq 10\%$ 的要求; 稳定时间为 1.3 ~ 3.9 s, 满足 ≤ 5 s 的要求。

(2) 负荷特性试验 ($\cos\phi = 0.8$)

按照试车大纲要求,规定工况试验后,主轴承温度: 滑油油温 + 25 °C 以内; 曲柄销轴承温度: 滑油油温 + 35 °C 以内。

试验结果: 主轴承、曲柄销轴承温度均符合大纲要求。

(3) 过载能力试验

将机组负荷增加到 110%, 连续运行 1 h, 各缸排温为 370 ~ 390 °C, 满足不大于 500 °C 的要求。期间未出现增压器喘振、排温升高、冷却水温度升高及压力报警等问题。

(4) 并联运行试验

该项目发电机组数量为 3 台/每船,在试验期间分别进行了两机、三机机组并联运行试验,其结果如下:

有功功率的分配差度: $\Delta P_1 = 2.5\% \sim 5.5\%$ 机组额定有功功率,满足不大于 15% 机组有功功率的规定; 无功功率的分配差度: $\Delta Q = 2.3\% \sim 4.2\%$ 机组额定无功功率,满足不大于 10% 机组额定无功功率的要求。

(5) 机组电压波动率测定 ($\cos\phi=0.8$)

经电压表现场测定: 5DK-20e 柴油发电机组的最高电压为 402 V, 最低电压为 397 V, 平均电压为 399.5 V; 电压波动率为 $\pm 0.626\%$ 。符合不大于 $\pm 1\%$ 的要求; 符合 GB/T13032-2010《船用柴油发电机组》的要求。

(6) NO_x 排放测试

由于 5DK-20e 柴油发电机组是按照大发许可证生产的, NO_x 排放测试适用参数法, 即只要燃油凸轮、增压器、空冷器、高压油泵、喷油器、活塞、喷油定时等影响 NO_x 排放的零部件参数不发生变化, 就可以认定 NO_x 排放是合格的。

(7) 各系统设计验证

①滑油系统。起动滑油加压泵给公共底座注满滑油, 当滑油到达最高油位时, 液位开关即报警, 滑油加压泵停止运行; 然后人为降低油位至最低油位时, 液位开关即报警, 滑油加压泵起动补油至最高油位。当柴油发电机组运转平稳时, 按下紧急停车按钮, 柴油机紧急停车, 滑油预供泵立即投入运行, 向柴油机供油; 然后按下柴油机起动按钮, 柴油机立即再次起动; 当柴油机转速达到 300 r/min 时, 滑油预供泵停止运行。表明: 滑油系统设计有效、可靠, 满足柴油机运行要求。

②燃油系统。由于陕柴试车台采用的是轻油, 所以重油系统验证在实船进行。首先起动燃油加压泵向重油沉淀箱注满油, 然后人为降低到最低油位, 液位开关即报警, 加压泵立即起动补油; 同理对重油日用油箱进行了试验, 其结果也满足要求。

试航过程中, 起动重油供油单元, 观察柴油机

燃油进机温度计读数为 120 $^{\circ}\text{C}$, 黏度仪读数为 13.5 cSt; 燃油进机管系包扎了 25 mm 厚的隔热层, 满足设计要求。

③起动马达系统。空气瓶充满空气后, 人为地断开压缩机, 按下起动按钮, 电磁阀通电, 指示灯变绿, 空气马达开始运转, 小齿轮复位, 推动飞轮齿圈旋转, 曲轴开始转动, 当柴油机转速达到 300 r/min 时, 空气马达停止运转, 电磁阀失电。连续起动 6 次, 均满足设计要求。此时观察空气瓶压力表, 读数为 1.47 MPa, 空压机自动起动, 向空气瓶充气, 当压力达到 3.0 MPa 时, 压缩机自动断开。表明空气马达系统设计符合要求。

与此同时, 当柴油机起动时, 增压器助喷电磁阀也通电, 助喷空气通道打开, 来自空气瓶的新鲜空气源源不断地由助喷系统进入增压器管路, 最后进入燃烧室助燃。观察排气出口, 未发现冒黑烟现象, 表明燃油燃烧充分, 冒黑烟问题得到解决。

④混流式冷却水系统。经台架和实船试验, 柴油机起动后, 自动水阀动作, 冷却水系统运行正常, 高温水进出水温度、滑油进机温度、低温水进出机温度、各缸排温等热工参数均符合试车大纲要求。表明冷却水系统符合设计要求。

6 结论

综上, 经台架和实船验证, 陕柴自行研究设计的 5DK-20e 柴油发电机组技术指标达到了专利方和技术规格书要求, 满足船舶辅机使用需求。目前 5DK-20e 船用发电机组已累计生产了 100 台, 均未发生质量问题。