

船用柴油发电机组设计

闫甲良

(陕西柴油机重工有限公司, 陕西 兴平 713105)

摘要: 介绍了 6DK28e 发电机组国产化设计过程, 重点介绍了柴油发电机组滑油系统、燃油系统、冷却水系统、起动空气系统、进排气系统的设计。台架试验和实船试验表明: 各项技术指标达到了专利方和技术规格书的要求, 满足船舶辅机使用条件; 目前该船用柴油发电机组已经出产了 32 台套, 并进入实船应用。

关键词: 柴油机发电机组; 设计; 试验

中图分类号: TK423 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2015)01-0031-04

Design of a Certain Type of Marine Diesel Gensets

Yan Jialiang

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

Abstract: The design process of domestically manufacturing of 6DK28e gensets is introduced, with the focus on the diesel gensets' lubrication system, fuel system, cooling water system, air starting system, and inlet and outlet system. Bench test and on board test showed that all the technical parameters met the requirements of licenser and technical specifications, and were applicable for marine auxiliary engines. Up to now, 32 sets of this type of diesel gensets have been manufactured and installed on board.

Keywords: diesel gensets; design; test

0 引言

为了提升船舶工业重点配套设备—船用柴油发电机组国产化的研发和生产能力, 公司通过许可证引进的方式, 于 2012 年 7 月开始 6DK28e 柴油机发电机组的国产化研制工作。2012 年 10 月, 公司与大连船舶重工签订了 48 台套 6DK28e 船用发电机组合同, 用于 3900TEU 船的柴主柴油发电机组。为了该机组顺利出产, 公司独立进行了燃油系统、滑油系统、冷却水系统、起动空气系统、进排气系统的设计。2013 年 9 月经过 100h 100% 负荷耐久考核试验, 柴油机组运行平稳, 参数稳定, 满足技术要求, 并通过了中国船级社、LR 船级社、日本大发公司和用户的认可, 其性能参数指标达到进口 6DK28e 发电机组同等水平; 国产化零部件性能可

靠, 满足装船要求。

1 设计要求

(1) 机组主要参数

6DK28e 机组主要参数见表 1。

表 1 6DK28e 机组主要参数

气缸数	6
缸径×冲程/mm×mm	280×390
转速/(r·min ⁻¹)	720
柴油机功率/kW	1 980
机组功率/kW	1 800
机组频率/Hz	60
功率因数	0.8

(2) 环境条件

作为船用发电机组要求在船舶纵倾、横倾、纵

收稿日期: 2014-05-12; 修回日期: 2014-12-29

作者简介: 闫甲良(1964-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为柴油机及发电机组设计, E-mail: yenchening@sina.cn。

摇、横摇情况下都能安全工作,以保证全船的电
力供应。因此,船用发电机组在下述状况下应
能满足设计、应用和标准条件的要求。

① 环境温度: 45 ℃;

② 低温水进水温度 32 ℃ (有限航区及其相
应条件下的机组低温水进水温度 25 ℃);

③ 船舶横倾: 15°, 内河船舶及应急发电
机组: 22°30';

④ 纵倾: 7°30', 内河船舶及应急发电
机组: 10°;

⑤ 横摇: 22°30';

⑥ 纵摇: 10°。

(3) 机组调速特性

6DK28e 柴油发电机组在突卸和空载条件
下突加 50% 额定负载, 稳定后再加余下的
50% 额定负载情况下, 其瞬态调速率的绝
对值不大于 10%, 稳定时间不大于 5s。

(4) 过载能力

机组应能承受 110% 额定功率 (功率因
数为 0.8), 要求具有连续运转 1h 的能力,
排温不作考核。

(5) 三相突然短路和稳定短路能力

发电机组在自激励情况下, 应能承受三
相突然短路, 持续时间不少于 2s, 而不发
生损坏及有害变形; 在稳定短路时, 发电
机组应能够承受至少 3 倍于额定电流的
稳定短路电流而不损坏。

(6) 并联与运行能力

6DK28e 船用发电机组为每船 4 台, 因
此船用发电机组应具有并联运行能力。相
同容量发电机组并联运行时有功功率分
配差度应不大于发电机组额定有功功率
的 15%; 无功功率分配差度应不大于发
电机组额定无功功率的 10%。

(7) 机组振动测试及扭振计算

由于柴油发电机组为往复运动设备, 在
运动过程中会产生不平衡力矩及其有害振
动, 为了防止振动传递到船体产生共振而
造成船体损坏的现象, 有必要对机组进行
振动测试; 并在机组与安装基座之间安装
减振器或者采用树脂浇灌安装以减小振
动, 保护船体。

为保证轴系安全可靠运行, 防止出现共
振现象而造成机组损坏, 有必要进行轴系
扭振计算, 以便在运行时快速通过共振
点。

(8) 裕度设计

柴油发电机组其工作过程比较复杂, 往
往有意想不到的情况发生, 因此各个系统
额定设计必须考虑到裕度设计。

2 各系统设计

2.1 滑油系统设计

滑油系统设有滑油沉淀箱和日用油箱 (公
共底座), 公共底座的存油量为发电机组
100% 负荷 7 天的耗油量; 同时设有 2 台
加油泵, 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
公共底座的滑油液位低于设定值时, 液位
开关报警, 与此同时加油泵启动向公共底
座补油。

为了降低机组起停时相关零部件 (如主
轴承、凸轮轴轴承) 的磨损, 有必要设置
一套预润滑系统, 即滑油预供泵, 在柴油
机低温起动时, 滑油预供泵立即投入工
作, 将滑油输送到机组的各个润滑点, 保
证机组稳定可靠、快速地起动, 起动成
功后, 滑油预供泵自动关机; 当机组停
车时, 滑油预供泵投入工作, 至少运行
30 min, 以防止运动副过热。滑油用低
温水冷却, 在滑油冷却器上装有滑油恒
温阀, 使进入柴油机的滑油温度始终保
持在 50~60 ℃ 之间。6DK28e 机组滑油
系统见图 1。

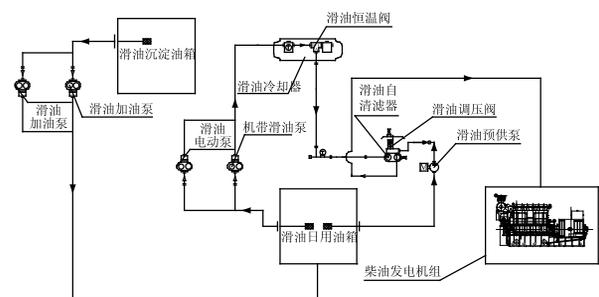


图 1 滑油管系

2.2 燃油系统设计

船用柴油发电机组为全船提供电力, 因
此运行负荷较重, 考虑到经济性, 船用柴
油发电机组大都与主机一样燃用劣质重油
(HFO), 一般设置重油沉淀箱和重油日
用油箱和柴油箱。

重油沉淀箱上设置有液位计、报警装
置和放气阀, 当油位低于警戒线时报警
装置报警, 重油加压泵启动自动补油。

重油日用箱上同样设置有液位计、报
警装置和放气阀, 当油位低于警戒线时
报警装置报警, 2 台重油输送泵启动, 自
动补油, 并互相备用。

燃油供应单元从重油日用油箱抽油,
并加热到 120 ℃ 左右, 送到柴油机发电
机组; 燃油供应单元里装有黏度仪, 保证
进入到柴油机的燃油黏度始终保持在
13±1cSt。

同样, 在柴油日用油箱上也装有柴
油输送泵, 在停车前 30 min 或在低负
荷下运行时向柴油机提供柴油, 在管路
上还装有 1 个重轻油转换阀, 以便实现
重轻油的切换。燃油系统见图 2。

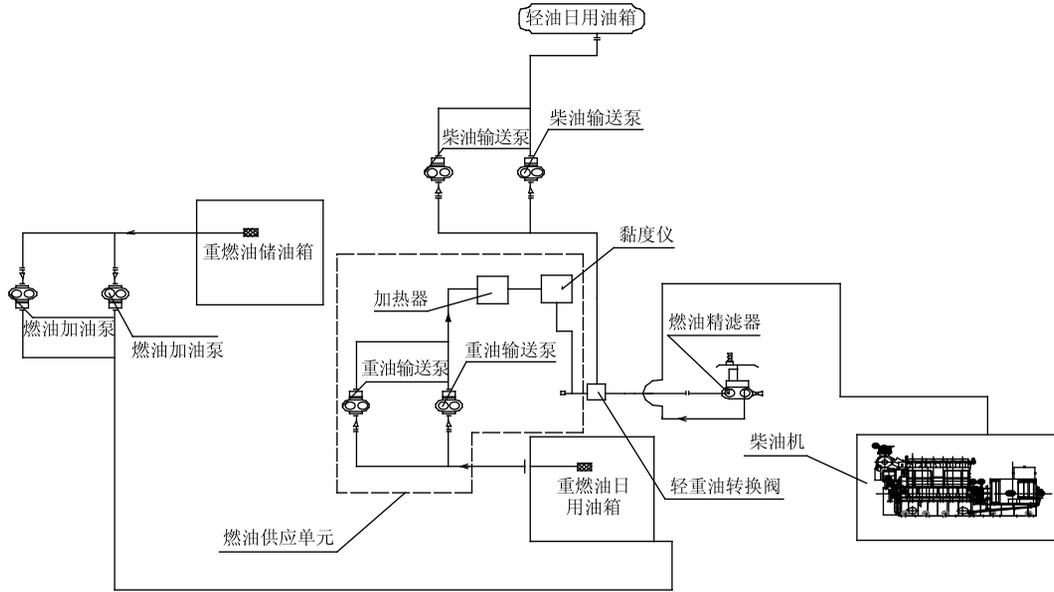


图2 燃油系统

2.3 起动空气系统设计

大功率柴油机的起动方式有空气马达起动和空气分配器起动，本机采用空气分配器起动，该系统有两套空气瓶和空压机，可以互相备用。空气瓶与空压机之间有压力连锁，当空气瓶压力低于 3.0 MPa 时，空压机自动起动，向空气瓶充气；当空气瓶压力高于 3.0 MPa 时，空压机自动停机。为了防止船舶失电时，压缩机无法工作，空气瓶容量要能够保证柴油机连续冷起动 6 次。

柴油机装有超速保护装置，当机组发生意外时，机组能够立即停车，防止事故发生。起动集控系统见图 3。

2.4 冷却水系统设计

船用发电机组冷却水系统分为高温水系统和低温冷却水系统。高温水系统是闭式冷却系统，船上设有高温水膨胀水箱，用来向高温水管系补水，机带高温水泵直接从膨胀水箱抽水，用于冷却机组的缸套、缸盖、喷嘴、增压器后再回到膨胀水箱；膨胀水箱顶部设有溢流管和放气阀，以防高温水管系发生气堵和气蚀现象。另外还设有电动高温水泵，与机带高温水泵互相备用。

海水冷却系统(图 5)是开式冷却系统，机带海水泵通过海底门直接从海里抽取海水，冷却空冷器、滑油冷却器、淡水冷却器后直接排到海里；低温水系统同样设有 1 台备用海水泵，与机带海水泵互相备用。

2.5 进、排气系统设计

柴油机进气一般为机舱室内进气，在机舱内设有进气口，该进气口要正对着增压器，距离为 1 m

左右。机舱的温度要保持在柴油机允许额度范围内，机舱温度过高影响柴油机排温和输出功率，过低影响柴油机的起动等性能。

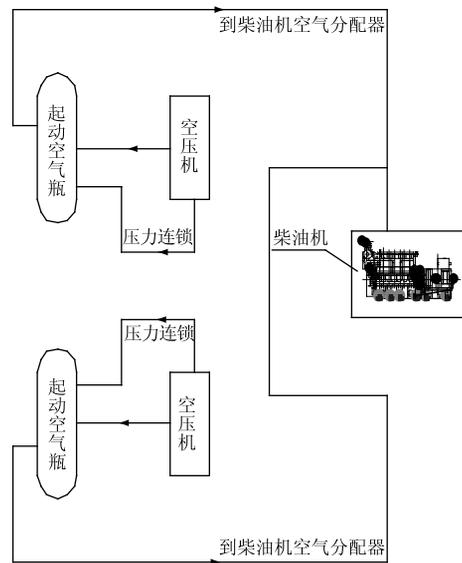


图3 起动集控系统



图4 高温水系统示意图



图5 海水系统示意图

机舱内的排气管路要尽量做的短平，减少弯

头, 以免造成排气背压升高, 影响柴油机输出功率; 在排气管路上要安装膨胀节, 以吸收排气管的热膨胀; 排气管要牢固地固定在船体上, 以防排气管重量压在增压器上造成增压器损坏; 另外在排气管上要安装消音器, 以衰减噪声, 衰减量要大于 25 dB; 排气出口要安装防雨设施, 以防雨水倒灌, 造成柴油机增压器、缸套等零件锈蚀、损坏。

3 厂内台架及实船验证

2013 年 9 月, 4 台套 6DK28e 柴油发电机组在公司内部进行了台架试验, 其结果如下:

(1) 机组调速率试验

① 经过试验, 6DK28 柴油发电机组瞬态调速率绝对值为 2.98% ~ 8.97%, 满足 10% 要求; 稳定时间为 0.9 ~ 3.4 s, 满足不大于 5 s 的要求。

② 经过试验 6DK28 柴油发电机组稳态调速率为 4%, 满足不大于 5% 的要求。

(2) 过载能力试验

将机组负载增加到 110% 额定负载, 连续运行 1 h, 其各缸排温为 360 ~ 375 °C, 满足不大于 500 °C 的要求; 期间未出现任何质量问题。

(3) 三相突然短路和稳定短路能力试验

该发电机组在自激励情况下, 将三相突然短路, 持续时间为 5 s, 没有发生任何损害, 满足不少于 2 s 的要求; 并且该机组在稳定短路时, 承受了 4.5 倍于额定电流的稳定短路电流而没有发生损坏, 满足 GB/T13032-2010 《船用柴油发电机组》的要求。

(4) 并联与运行能力试验

在厂内台架试验期间, 6DK28e 柴油发电机组分别做了 2 台、3 台、4 台机组并联运行试验, 其结果如下: 有功功率分配差度为: $\Delta P_i = 1.5\% \sim 2.2\%$ 机组额定有功功率, 满足不大于发电机组额定有功功率 15% 的要求; 无功功率分配差度为 $\Delta P_i = 1.6\% \sim 5.2\%$ 机组额定无功功率, 满足不大于发电机组额定无功功率 10% 的要求。

(5) NO_x 排放测试

由于 6DK28e 柴油发电报机组是按照大发公司许可证生产, NO_x 排放测试适用于参数法, 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 排放的零件参数不发生

变化, 就认为 NO_x 排放是符合要求的。

(6) 各系统管系验证

① 滑油系统设计验证。将公共底座装满滑油, 然后人为地降低油位至最低油位, 液位开关即刻报警, 加压泵立即向公共底座补油至最高油位; 柴油机运转平稳后, 紧急停车, 滑油预供泵立即投入运行; 然后再次起动柴油机, 发现滑油预供泵立即起动, 向柴油机供油, 柴油机转速达到最低转速 300 (r·min⁻¹) 时, 滑油预供泵立即停止运行; 所有这些都证明滑油系统符合设计要求。

② 燃油系统设计验证。由于公司内部试车采用轻油, 所以燃油系统试验验证实船进行。首先用燃油加压泵向重油沉淀箱加满油, 然后人为地将油位降低到最低油位, 报警装置报警, 加压泵自动启动补油; 照此方式也对重油日用油箱进行了试验, 同样也满足设计要求。

起动重油供应单元, 观察到重油供应单元出油温度为 125 °C, 黏度为 12cSt, 符合设计要求

③ 起动空气试验。给空气瓶充满气后, 人为地断开压缩机, 柴油机连续起动 6 次, 发现空气瓶压力为 1.47 MPa, 说明空气瓶容量能够满足柴油机连续起动 6 次的要求; 然后接通压缩机, 向空气瓶充气, 当空瓶压力达到 3.0 MPa 时, 压缩机自动断开; 然后, 打开空气瓶放气阀, 人为地放掉空气, 当空瓶压力低于 3.0 MPa 时, 空压机自动启动, 向空气瓶充气。说明起动空气系统符合设计要求。

④ 冷却水系统试验。经过公司内部和实船运行, 柴油机起动并正常稳定运转后, 冷却水系统运行正常, 柴油机高温水进、出水温度、滑油进机温度、低温水进出机温度、各缸排气温度等各种热工参数均符合技术要求, 说明冷却水系统符合设计要求。

以上试验除了在公司内部台架验证之外, 2013 年 12 月还在渤海海域进行了实船验证, 其结果也满足技术要求。

4 结 论

自行研究设计的 6DK28e 柴油发电机组经台架试验和实船试验, 各项技术指标达到了专利方和技术规格书的要求, 满足船舶辅机使用条件。目前该船用柴油发电机组已经出产了 32 台套, 随船出海远航。