

# 中速和高速发电机组结合在海外陆用电站的应用

## Application of Combination of Medium-Speed and High-Speed Engine in Overseas Stationary Power Stations

吴继英

Jiying Wu

中国船舶集团有限公司第七一一研究所  
中国·上海 201108  
Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute,  
Shanghai, 201108, China

**【摘要】**以俄罗斯某纸浆厂项目为例,论述柴油电站设计特点,分析设备选型和比较满足多种工况条件的方案。对于不同用电工况的海外陆用电站,采用中速和高速发电机组组合方案比较合理,可以充分发挥中速机长时间运行的经济性和高速机应急供电的快速响应性等各自优点。

**【Abstract】**Taking a pulp mill project in Russia as an example, this paper discusses the design features of diesel engine power station, analyzes the equipment selection and compares the schemes meeting various working conditions. For overseas stationary power stations with different power consumption conditions, the combination scheme of medium speed and high-speed generator sets is more reasonable, which can give full play to the advantages of long-term operation of medium-speed generator set and fast response of emergency power supply of high-speed generator set.

**【关键词】**重油发电机组;柴油发电机组;中速柴油机;发电站

**【Keywords】**heavy oil engine; diesel engine; medium-speed engine; power plant

**【DOI】**10.36012/peti.v2i2.1733

## 1 引言

近年来石油价格低迷,成品油价格处在低位。在十分偏远没有市政供电、供电网络脆弱或市政供电价格较高的区域,重油电站由于持续运行稳定可靠、建设工期短和发电成本适中等特点,在造纸、建材和冶金等海外项目中应用较多。

不同转速的柴油机通常同时配置在一艘大型船舶的推进和供电等动力系统中,匹配停泊、码头装卸货、进出港口和海上航行以及主机故障等工况下的动力需要,实时进行柴油发电机组(高速机)、轴带发电机组(低速机或中速机)和分区供电等模式间的转换,中速机或低速机发电机组与高速发电机组相结合广泛应用于船舶动力系统集成,达到节能高效和绿色环保目标<sup>[1]</sup>。

## 2 工程概况

某纸浆厂项目位于俄罗斯西伯利亚森林地带,建设期为38个月,位置偏远,环境恶劣,最低气温达-58℃,积雪最大厚度为93cm。

本项目有3个自备电站为纸浆厂提供电力和/或蒸汽:

①生物质电站,以树皮木屑为主燃料,以180cSt重油为辅助燃料。

②废液电站,制浆工艺产生的黑液,浓缩后送到碱回收锅炉,燃烧产生蒸汽和发电,同时回收火碱再利用。

③柴油机电站,以重油或柴油为燃料,有3种工况:一是为生物质电站的调试供电,达到生物质电站运行条件,最大用电负荷6.6MW,时间最长6个月。二是为全厂启动和试生产供电,最大用电负荷10.8MW,时间为4~6个月。三是纸浆厂正常生产后,由生物质电站和废液电站供应纸浆厂电力和蒸汽,柴油电站转为备用电站;在生物质电站和废液电站故障维修或维护时柴油电站提供全厂关键负荷应急供电,最大用电负荷5.6MW。

## 3 方案设计

### 3.1 柴油电站

柴油机按照转速分为高速机(>1000RPM)、中速机(500~1000RPM)和低速机(<500RPM)三种类型,它们的不同特性主

## 发电 Power Generation

要由不同转速决定的。柴油机燃油主要有轻柴油和重油两种,轻柴油价格通常是重油价格的 1.5 倍以上,柴油机电站燃油成本约占整个发电成本的 2/3;高速机只能烧轻柴油,中速机和低速机以重油为主要燃料,轻柴油用于启停。通常,柴油机转速越低,每个工作循环时间越长,燃料在缸内燃烧越充分,油耗越低,体积重量越大,柴油机电站辅助系统多,自用电多(一般高速机电站为 1%,中速机和低速机电站为 3%~4%),初始投资大,预热、预润滑和启动时间长,应急响应速度慢,运输条件要求高(高速机和中速机整体运输;低速机制造测试完成后分拆成模块运输,单个模块重量达 50~100t),现场安装时间长(高速机直接吊装就位;大功率中速机、公共底座和发电机分别安装就位;低速机本身现场复装需要 2~3 个月),运动部件的磨损小,维护间隔和大修周期长(一般高速机大修周期 9 000~11 000h,中速机 24 000h,低速机 32 000h),备品备件消耗少,使用寿命长(高速机一般 8~10 年,中速机和低速机可达 25~30 年),设备更耐用,发电成本低,全生命周期的运营费用低。

高速机主要用于应急供电、备用电站和临时供电,长期持续发电平均负荷率通常为常用功率的 70%~75%,而中速机和低速机可以以 100%额定功率长期运行。低速机单机容量大,工程实践采用的单机容量通常在 15MW 以上;建设周期长,造价高,主要用于城市主力发电站,很少用于工业项目自备电站。因此,陆用柴油机电站用于长期持续发电,以中速机为主;用于应急供电,以高速机为主。

海外陆用柴油机电站设计应考虑:可靠性,包括维护保养、大修周期、使用寿命和运行保障等方面;经济性,包括初始投资和运营成本 2 方面;可实施性,包括项目已有可利用设施、用电要求、工期、施工工艺、环保和当地人材机等因素;永久供电和临时供电相结合,降低总体项目成本,提高项目全寿命周期经济性。

### 3.2 设备选型

中速机主要有曼恩(MAN)、瓦锡兰(Wartsila)和卡特皮勒(CAT)等品牌;高速机主要有康明斯、CAT、MTU 和潍柴等品牌;发电机主要有 ABB、利莱森玛、汾西重工、中船现代和斯坦福等品牌。

在中国,MAN 有中船动力、陕柴、河柴、潍柴等 8 家中速机许可证生产商,生产厂多,国产化率高,价格和服务有优势,工程应用较多;瓦锡兰有中船瓦锡兰、齐耀瓦锡兰和玉柴瓦锡兰等 3 家中速机合资厂;CAT 有中船安吉尔 1 家中速机厂和天津卡特 1 家高速机厂;康明斯大功率柴油机主要在中国武汉和重庆生产,高速机市场占有率较高;MTU 有中国苏州、

玉林和大同 3 家工厂,设备和服务价格较高。

海外电站主辅机设备包括柴油机、发电机、分离机、脱硫装置、脱硝装置、泵组、空压机、锅炉、除氧器、电气柜和变压器等设备,优先考虑国产主流设备,性价比高,备品备件和技术服务费用较低,服务响应速度快。另外,国产成套设备出口可获得出口退税,降低工程造价。

### 3.3 可选方案

生物质电站已配备重油储罐和蒸汽伴热重油输送管路等设施,燃烧重油经济性较好,兼顾 3 个工况的用电要求,有两种可选方案:方案一,采用 2 台康明斯 C3750D5 高速发电机组和 1 台 MAN16V3240 中速发电机组;方案二,采用 2 台 MAN16V3240 中速发电机组。

根据康明斯产品使用手册,紧急备用功率(ESP)适用于可靠的市电(本项目生物质电站和废液电站视同可靠市电)中断时,向各类可变负载供电,负荷率最高为 80%且每年运转小时数不超过 200h;常用功率(PRP)适用于为可变负载不限时供电,在任何 250h 负荷率不应超过 70%,负荷率 100%的年运行时间不超过 500h。如果全用高速发电机组,需要配备 6 台康明斯 C3750D5 发电机组,单机 ESP 3.0MW,PRP 2.68MW,应急工况装机容量 18MW,最大净输出负荷 14.26MW(本文电站自用电,高速机电站部分按 1%,中速机电站部分按 3%考虑);10~12 个月调试和试运行供电工况总装机容量 16.08MW,最大净输出负荷 11.14MW。C3750D5 为美国进口机型,设备、备品备件和服务价格较高,且进口设备没有出口退税,综合考虑初始投资、性能和运维费用等因素,纯高速机电站没有优势。

### 3.4 电站构成

柴油机电站最大限度地利用纸浆厂重油储罐、柴油储罐、辅助锅炉、工艺冷却水、除盐水、蒸汽和采暖系统、消防系统和污水处理系统等现有设施,以节省项目整体造价。中速发电机组低温水取自纸浆厂工艺冷却水;高温水取自纸浆厂除盐水;利用纸浆厂辅助锅炉,不再配置余热锅炉;污水水排至纸浆厂污水处理系统集中处理。现有压缩空气系统压力不匹配,距离较远,柴油机电站单独设置一套压缩空气系统。中速机由压缩空气启动,黑启动机组供电;高速机采用电启动,自带蓄电池供电。

重油电站由中速发电机组、燃油系统、滑油系统、冷却水系统、压缩空气系统、进排气系统、电气控制系统和油罐区组成,纸浆厂油罐区增设重油和柴油日用罐,重油和柴油储罐以及重油日用罐和沉淀罐考虑柴油机电站不同工况下的最大使用量。高速柴油机电站系统比较简单,由高速发电机组、日用油箱和电气控制系统等设施组成。

电力并网系统:方案一,2 台高速机组之间并联,2 台高速

机组和 1 台中速机组之间并联;试运行工况都投入工作;应急工况,高速机组自动启动,在中速机组正常运行后高速机组退出工作,降低燃油等运行成本。方案二,2 台中速机组之间并联;试运行工况都投入工作;应急工况 1 用 1 备。

极寒地区自然条件对工程设计、施工工艺和健康安全都提出了更高的要求,热损失计算、材料设备选型以及安装方式和步骤等方面应充分考虑恶劣环境对电站系统的影响。例如:管路保温、蒸汽伴热和板换等考虑冗余和余量;泵组等运行辅助设备系统增加备用;油罐区储罐容量和管路考虑燃油供应中断风险;供暖系统保证电站室内温度不低于 10℃;室外空冷机组等设备设施防冰、防冻;焊接作业前提高焊接预热温度,防止冷裂纹。

### 3.4.1 方案一

采用 2 台 C3750D5 和 1 台 MAN16V3240 发电机组;C3750D5 单机 ESP 3MW,PRP 2.68MW,MAN16V3240 发电机组,单机功率 7.6MW;试运行工况装机容量 12.96MW,最大净输出负荷 11.09MW,满足纸浆厂总体试运行用电要求。应急工况高速机组装机功率 6MW,当启动系统监测到母线排失电后,自动快速启动高速机,启动时间 15s,恢复系统供电;中速机组运行正常后,关掉高速机组。机组具体性能参数见表 1。

表 1 机组具体性能参数

机组型号	CSSC7600	C3750D5
柴油机型号	MAN16V3240	QSK95-G4
柴油机功率/kW	额定功率 8000	备用功率 3246 常用功率 2884
转速/(r/min)	750	1500
发电机组功率/kW	额定功率 7600	备用功率 3000 常用功率 2680
发电机组标况下燃油耗	203g/(kW·h)	712L/h
发电机组标况下滑油耗 [g/(kW·h)]	0.8	1.0
电压/V	6000	6000
频率/Hz	50	50
机组尺寸/m	12 555×3730×5245	7902×3028×3663
机组重量/kg	干重 126 000	干重 29 526

### 3.4.2 方案二

采用 2 台 MAN16V3240 发电机组,单机功率 7.6MW,总装机容量 15.2MW,最大净输出负荷 14.74MW,满足生物质电站调试和纸浆厂总体试运行用电要求。

中速机启动时间比高速机长,根据 MAN3240 工程指南<sup>[2]</sup>,在机组处于紧急启动模式(Emergency Startup)、热机状态(滑油温度 $\geq 40^{\circ}\text{C}$ ,缸套水温度 $\geq 60^{\circ}\text{C}$ )并配置 JETT ASSIST 条件下,机组启动到合闸阶段约 40s,加载至满载约 25s,全过程共需约 65s;如果不配置 JET ASSIST,机组启动到合闸阶段约

90s,加载至满载约 35s,全过程共需约 125s。在热机状态和配置 JETT ASSIST 时,机组响应时间能满足纸浆厂工艺要求。1 台中速机一直处于热备状态,根据母线排电气信号自动启动中速发电机组和辅助设备,恢复系统供电。

### 3.5 分析对比

方案一和方案二都能满足 3 种工况用电要求,方案二以重油为主燃料,燃油成本较低,但项目建设期间调试和试运行时间最长 10~12 个月,并且在纸浆厂正常生产后,生物质电站的年运行时间约 8000h,柴油机电站年运行时间小于 1000h,中速发电机组供电时间比较短,方案二燃油成本优势不明显;方案二初始投资高于方案一,而且纸浆厂处于极寒地区,正常生产时 1 台中速发电机组一直处于热备状态,能耗和运动部件等设备损耗较大。方案一采用重油发电机组和柴油发电机组相结合,柴油发电机组响应时间短,应急供电比较有保障,发挥各自优势满足了不同工况下的用电要求,方案一比方案二初始投资小和应急响应速度快,采用方案一比较合理。

## 4 结语

重油电站的优势主要来自燃油经济性和重油发电机组耐用性;中速和高速发电机组混合电站兼顾了长时间供电工况的运行经济性和应急供电工况的快速响应性,比较适合纸浆厂等海外项目多种工况下的用电要求。中速/低速轴带发电机和高速发电组合一直在船舶供电系统中大量应用,中速和高速机混合电站在多种工况下的优势为海外工程业内逐步认可,在大型水电站工程中也开始应用,例如,“中巴经济走廊”优先项目 Karot 水电站,配备 18MW 柴油机电站为水电站提供施工和生活用电,采用 3 台中速重油发电机组和 5 台 550kW 高速柴油发电机组<sup>[3]</sup>。

重油电站以及中速机和高速机混合电站是特定场景适用的供电方式,本文提供了陆用柴油机电站方案设计和多种工况条件方案比选的建议,在具体工程实践中应综合考虑所在国用电成本、项目用电需求和限制条件以及发电机组等设备选型和参数选用等因素。

### 参考文献

- [1]冯木易.31200t 多用途船特殊轴带发电机电站管理系统设计[J].船海工程,2017,46(2):196-200.
- [2]MAN32/40 Project Guide Marine[K].Germany: MAN Diesel & Turbo,2016.
- [3]郑雁超.重油发电机构成的 10kV 孤岛施工电网直启高压大功率氨机电网运行方式分析[J].科学与财富,2019(2):235.