

新型大功率柴油机组调试公用设施工艺方案的能效提升研究

苏 欣 李德文 宋怡欣

中国船舶集团有限公司第七一研究所 上海 201108

【摘要】 新型大功率柴油机调试公用设施是机组集成调试的中心支撑，它的工艺是否合理直接关系到调试的效率和能耗。本文根据柴油机调试台位、冷却、排气、管路等公用设施的布置及施工实际情况，分析公用设施工艺核心作用，从经济、技术、管理、战略四个角度阐述能效提升价值，给出系统设计改进、能源监控、余热回收、智能调试等针对性措施，纠正原有工艺认知偏差，为新型大功率柴油机组调试公用设施高效运行和能效优化提供参考。

【关键词】 新型大功率柴油机组；调试公用设施；能源利用率

DOI:10.12417/2811-0536.26.02.051

引言

大功率柴油机在科研生产中应用的数量不断增加，调试阶段公用设施保障能力以及能效水平成了主要制约因素。柴油机组的调试对象有冷却系统、排气系统、燃油供给系统、管路敷设系统等公用设施，原有施工方案在设备布置、管路走向、施工流程等方面都有很大的提升空间。在保证30MW级机组调试要求的基础上，怎样通过工艺方案的优化来达到提高能效、降低成本、优化流程的目的，是行业内关心的问题。本文根据实际工程的工艺调整和施工经验，深入研究调试公用设施工艺的能效改善途径，给类似工程的改进提供理论和操作支持。

1 公用设施工艺在机组调试过程中的作用与意义

满足新型大功率柴油机组调试用的公用设施工艺，是保证机组集成调试顺利开展的基础条件，包括冷却水泵、冷却水塔、排气处理装置、雨水污水管网、燃油供应系统等主要设施和管路布置。其不仅要满足30MW级机组最大冷却、最大排气、最大燃油供应等主要需求，还要考虑设备堆叠、管路交叉多、施工空间小等现实情况^[1]。工艺合理则调试过程稳定安全，并通过运用SCR脱硝+DPF除尘工艺解决“冒黑烟”等环保问题，减少管路堵塞、设备故障风险，在机组双机联调、四机运行等复杂工况下保证调试精度，为后续机组长期稳定运行和维修保养打下基础，是实现机组开展高效、环保、经济调试的重要支撑。

2 新型大功率柴油机组调试公用设施工艺方案的能效提升价值

优化新型大功率柴油机组调试用公用设备设施有着明显的经济效益。原工艺中管路交叉拥堵、基础布置不合理等，使冷却系统、排气系统运行阻力增加，

造成能源浪费。通过工艺优化将雨污水管路调整为东西向，并预留维修通道，冷却水管路调整至基础变化点处，减少管路弯折和阻力，直接提高冷却系统、排气处理系统运行效率，降低水泵、风机等设备能耗。同时道路偏移优化、施工工艺改进，减少重复施工和材料浪费，缩短施工工期，间接减少人工和设备租赁费。SCR脱硝+DPF除尘工艺虽不能直接提高能源转化率或者减少燃油消耗，但是通过解决环保排放问题，避免因为环保问题造成的处罚及整改成本，间接为公司降低运营风险，在与其他工艺优化措施结合的情况下，从长远角度可以大幅减少机组调试期间的能源费用和运维费用，为公司创造巨大的经济效益。

2.2 改善调试环境与稳定设备性能的技术价值

能效提升技术所体现的价值在调试环境改善、设备性能稳定这两个方面。一是，原排气处理工艺和管路布置不合理，使机组启动、变负荷时出现“冒黑烟”的现象，既污染环境，又影响设备散热和运行稳定；优化后的SCR脱硝+DPF除尘工艺采用钢框架堆叠式布置，在减小占地面积、满足5套装置安装要求的同时，大幅度提高除尘脱硝效率，从环保角度改善调试车间及周边环境质量，为设备稳定运行创造良好的条件。二是，对整体式、弹性基础的施工工艺优化，采用整体式基础分块轮番施工、弹性基础临时支撑及弹性元件专项调整等施工方式，满足导轨安装高精度要求，达到单根导轨不平度≤0.1mm、平面不平度≤1mm/10m等技术指标^[2]；管路标高准确控制、维修空间预留，降低设备运行故障发生率，保证机组在各种调试工况下性能稳定，提高调试数据的准确性和可靠性，间接为能效优化提供技术保障。

2.3 优化调试流程与保障安全可靠性的管理价值

能效提升的管理价值主要体现在调试流程优化、

安全可靠性保障两个方面。原工艺基础土建和管路安装交叉施工，工序乱、效率低、有安全隐患。通过优化施工工序，明确桩基检测、承台施工、管路安装、设备安装的先后顺序(先进行南北向冷却水管路施工，再依次开展雨污水管路、生活水与消防水管路施工)，避免重复交叉作业，提高施工与调试效率。在工艺改良期间，凭借弹性基础临时支撑拆除专门方案评审，管路维修通道保留，道路承载能力改良等办法，准确控制安全危险，保证作业人员及设备的安全。另外明确的工艺标准和流程规范，有利于管理人员对进度进行控制、质量进行监督、问题进行追溯，从而对调试过程实施精细化的管理，为安全可靠地完成调试工作提供制度上的保障，进而提高整体能效。

2.4 支撑智能制造与数字化监测体系建设的战略价值

智能制造转型背景下，调试公用设施工艺的能效提升有重要的战略意义，为数字化监测体系建设提供有力的支持。原来依靠人工操作和经验判断的模式，已经不能满足大功率柴油机组智能化调试的要求。工艺方案的改进给数字化监测设备的引入创造了条件，在冷却系统、排气处理系统中加入流量、压力、温度等传感器，可以实现对运行数据的实时采集；管路布置的规范、设备安装的高精度，保证了监测数据的准确、可靠。能耗数据经由能源监控与数据分析系统汇总之后，便可对公用设施的运作情况实施实时监管，提前发出故障预警，并且可以开展能效分析，给工艺改进给予数据支撑^[3]。智能调试和自动化控制技术(变频控制、自动调平系统等)的使用，使得调试过程由人工操作转变为智能化、自动化，直接提高能效，符合制造业数字化、智能化的发展趋势，提高企业高端装备制造领域的核心竞争力。

3 新型大功率柴油机组调试公用设施工艺方案的能效提升策略

3.1 改进公用设施系统设计，提升供能与冷却效率

公用设施系统设计改进是能效提升的关键部分，要依照机组调试需求和场地实际状况，从设备布置、管路安排、基础施工等各方面全面改善。设备布置，对重量为 130 吨的排气处理装置采用钢框架堆叠布置，减少占地面积，道路向南偏移 300mm，增加绿化带面积，保证设备布置合理，不影响周边系统运行。冷却系统优化时，改变冷却水塔和冷却水池的相对位置，缩短冷却水管路的长度来减小阻力；改变南北向承压冷却水管路的走向，避开基础变化点，防止管路弯折、堵塞，提高冷却水流速和换热效果。管路设计

上将原南北向重力流雨污水管路改为东西向干管布置，收集厂房内自流雨污水，减少管路交叉，预留不小于 3.5 米维修通道，保证管路畅通和维护方便。基础施工时，整体式基础采用分块轮番施工工艺，在保证导轨安装高精度的同时缩短施工时间、降低能源消耗；弹性基础通过专项方案改进临时支撑和弹性元件安装，提高基础稳定性，为供能和冷却系统高效运行打下坚实的基础。通过系统设计全方位优化，大大提高供能和冷却效率，形成能效提高的结构基础。

3.2 引入能源监控与数据分析系统，实现动态能效管理

引入能源监控与数据分析系统，对新型大功率柴油机组调试公用设施实行动态能效管理，要围绕数据采集、传输、分析、调控的全过程，创建起涵盖冷却系统、排气系统、燃油供应系统等主要系统的多层次监测分析架构。数据采集阶段按照公用设施运行特点和能效监测需求，在关键节点设置 68 个监测点，冷却系统进、回水管路上安装高精度电磁流量计（测量精度 $\pm 0.5\%$ ）、压力变送器（量程 0-1.6MPa）、铂电阻温度传感器（精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ），采集水流参数；排气处理系统进出口管道上安装烟气分析仪、差压传感器，采集 NO_x 浓度、颗粒物浓度、系统阻力（该数据主要用作环保监测和系统维护，而不是直接用于能效优化）；燃油供应系统储罐出口和机组入口处安装质量流量计、压力传感器，采集燃油消耗量和供应稳定性。数据传输采用工业物联网（IIoT）技术构建无线和有线双模传输网络，关键参数用 5G 工业模组实现毫秒级实时传输，非关键数据用 LoRa 无线通信技术降低能耗，传输网络具有冗余备份，保证数据传输成功率达到 99.99% 以上，所有的数据都在中央监控平台形成标准数据仓库^[4]。数据处理与分析阶段，采用机器学习算法建立多维度分析模型，聚类分析区分能源消耗正常区间和异常状况，关联规则挖掘冷却水流速、排气温度与机组负荷间的关系，回归分析创建能效预测模型，准确找到能源浪费的环节，比如当冷却水管路堵塞率达到 15% 时发出警报。动态调节上，系统与公用设施控制模块联动，根据机组调试工况实时调节运行参数，机组负荷从满负荷降到 50% 的时候，变频控制把冷却水泵转速从 1480r/min 降到 800r/min，冷却水塔风机转为间歇运行模式，单次工况调整节能 40%；燃油供应压力出现波动的时候，自动调节供油泵的输出功率，保证压力保持在 $\pm 0.05\text{MPa}$ 之内。

3.3 应用余热回收与变频控制技术，提升能源综合利用率

余热回收和变频控制技术是提高能源综合利用率的主要途径，可以实现能源循环利用和按需精准分配，直

接提高能效。余热回收方面，柴油机调试时排气系统排放的300°C到500°C高温余热，在SCR脱硝+DPF除尘装置之后增设高效管式余热回收换热器，回收的热量可以满足车间生活热水加热到55°C、燃油预热到25°C的需求；冬季还可以为调试车间供暖，替代传统的电加热或燃油锅炉，单台机组日均减少额外能耗约120kWh；冷却系统运行产生的60°C到80°C余热，通过板式换热器回收后用于冷却水补给水预热，降低补给水加热能耗30%以上。变频控制技术应用中，给冷却水泵、风机等大功率耗电设备加装矢量型变频调速装置，根据机组调试负荷动态调节运行频率：机组低负荷（≤30%额定功率）时，冷却需求降低，变频系统将水泵转速从1480r/min降至750r/min、风机转速降至800r/min，单台设备节能率达到45%~55%；机组负荷增至80%以上时，自动提高转速保证冷却效果；燃油供应系统通过变频控制使供油量与机组需求偏差控制在±2%以内，避免燃油过量供给造成的浪费。利用余热二次利用和按需供能控制，使能源综合利用率大大提高，整体能耗水平降低。

3.4 推行智能调试与自动化控制技术，降低人工干预误差

智能调试和自动化控制技术的使用可以减少人工操作的误差，提高调试的精度和效率，从而间接实现能效的提高。基础施工时，整体式基础导轨安装使用自动化调平系统，依靠激光测距和传感器技术实时监测导轨的平整度、平行度，自动调节垫片厚度，保证单根导轨不平度≤0.1mm，相邻导轨平行度误差≤1mm，防止人工调平造成的误差和重复作业，提高施工效率和质量。公用设施运行控制方面，建立自动化

控制系统，对冷却系统、排气系统、燃油供应系统实行联动控制：根据机组调试工况数据自动调节冷却水量、排气处理装置运行参数，保证系统一直处于最优运行状态；利用自动化控制系统实现管路阀门远程控制与调节，降低人工操作成本和响应时间。另外，使用智能巡检机器人定期对人工难以到达的密集交叉管路、设备基础等部位进行巡检，及时发现管路泄漏、设备松动等问题，避免因故障而导致的能效下降^[5]；用BIM技术建立公用设施数字孪生模型，模拟管路布置和设备运行状态，提前预判施工与运行中可能出现的问题，优化施工工艺方案，减少后期整改造成的能源浪费和成本增加。利用智能调试、自动化控制技术减少人为干预的不确定性，提高调试过程的准确性和效率，从而间接地提高整体能效。

4 结语

新型大功率柴油机组调试公用设施工艺的能效提升属于一个系统工程，包含系统设计、技术应用、管理优化等诸多方面。本文根据实际工程经验确定了SCR+DPF工艺的主要环保意义，并从经济、技术、管理、战略四个方面阐述能效提高的多重价值，提出系统设计优化、能源监控与数据分析、余热回收与变频控制、智能调试与自动化控制等有针对性的措施。经过科学的工艺改进和技术革新，能改善能源利用率，削减运行成本，保证调试安全稳定，而且可给企业智能制造和数字化转型赋予支持。未来的研究可以进一步针对不同的工况下，能效优化的动态适配性展开研究，利用更多的智能化技术来实现能效提升的精准化与长效化。

参考文献：

- [1] 翟万江.“柴油机医生”的匠心与初心——记一汽解放大连柴油机有限公司高级技师鹿新弟[J].中国科技产业,2024,(01):54-55.
- [2] 郭财望,赵亚金,袁辉.核电厂应急柴油机调试期间启动失败案例分析[J].设备管理与维修,2023,(07):77-78.
- [3] 王永红,郭敏,赵悦光,晁革新,刘彦.某型柴油机机脚铸造工艺设计和调试[J].热加工工艺,2021,50(07):76-80+84.
- [4] 朱海昌.MANB&W6S40ME-B9.5电控型船用低速柴油机国产化研制[D].江苏科技大学,2020.
- [5] 陈子谋.EPS815柴油喷射试验台在柴油机技术与喷射系统调试课程的应用探究[J].智库时代,2019,(25):253-254.