

疏浚工程中泥浆泵运行参数对施工效率的影响分析

周兵红

上海长升工程管理有限公司, 上海 200120

[摘要]在港口航道建设与维护里,疏浚工程起着关键作用,而泥浆泵是核心动力设备,泥沙输送效率和船舶整体能耗与它的运行参数直接相关。从船舶机电和轮机工程的角度出发,文中对泥浆泵转速、流量、扬程和功率等运行参数影响施工效率的机理加以分析并且结合典型工况,探讨泵效优化和能耗控制的耦合关系。对比不同运行模式下施工效率和设备磨损状况后,文中提出船舶动力系统协同调控、机电一体化监测和智能控制策略,给疏浚装备运行参数优化提供参考,从而让工程作业的经济性和可靠性得到提升。

[关键词]疏浚工程;泥浆泵;运行参数;施工效率;船舶轮机工程

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17708

中图分类号: TV851

文献标识码: A

Analysis of the Influence of Mud Pump Operating Parameters on Construction Efficiency in Dredging Projects

ZHOU Binghong

Shanghai Changsheng Engineering Management Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

Abstract: In the construction and maintenance of port waterways, dredging projects play a key role, and mud pumps are the core power equipment. The efficiency of sediment transport and the overall energy consumption of ships are directly related to their operating parameters. From the perspective of ship electromechanical and engine engineering, this article analyzes the mechanism of the influence of operating parameters such as mud pump speed, flow rate, head, and power on construction efficiency, and combines typical working conditions to explore the coupling relationship between pump efficiency optimization and energy consumption control. After comparing the construction efficiency and equipment wear under different operating modes, the article proposes a strategy for coordinated regulation of ship power systems, integrated monitoring of electromechanical systems, and intelligent control, providing reference for optimizing the operating parameters of dredging equipment, which improving the economy and reliability of engineering operations.

Keywords: dredging project; mud pump; operating parameters; construction efficiency; marine engine engineering

引言

港口规模不断扩大且航道淤积问题也在加剧,这使得疏浚工程对施工装备有了更高要求,疏浚船舶的关键机电设备泥浆泵的运行状态对单次泥沙输送能力有影响且与船舶整体能效和施工周期也有关系,在船舶轮机工程领域中,怎样调控运行参数从而让泥浆泵高效、安全又节能地运行成为了研究热点,本文系统分析泥浆泵运行参数和施工效率的耦合关系并揭示参数优化在提高疏浚工程效能方面的重要意义。

1 泥浆泵在疏浚船舶中的作用与结构特点

1.1 泥浆泵在疏浚作业中的功能定位

疏浚船舶的整体施工系统里,泥沙输送靠的核心机电设备是泥浆泵,它主要把舱外或舱内吸进来的泥水混合物经管路送到指定抛泥区或者吹填场,普通泵类设备不用像泥浆泵这样,泥浆泵得克服长距离输送造成的能量衰减,还要应对泥沙颗粒冲刷、泥水混合比重变化和复杂水动力环境等情况,且单位时间疏浚量和施工周期长短跟它运行性能直接相关,泥浆泵是疏浚效率的关键,就像心脏一样。

船舶作业的生产能力受泥浆泵工作效率影响且整体

能耗和维护成本也与之相关,在大型疏浚工程里,泵效稍微提升一点作业周期就能明显缩短且燃油消耗和人工费用也会降低,在船舶机电与轮机工程实践中,通过调控运行参数让泥浆泵高效、安全、稳定运行是提升疏浚船舶综合效能的重要研究方向。

1.2 泥浆泵主要类型及其适用工况

疏浚船舶常用的泥浆泵按结构形式和运行特点主要有离心泵、潜水泵和液压驱动泵这三大类。如图1所示。

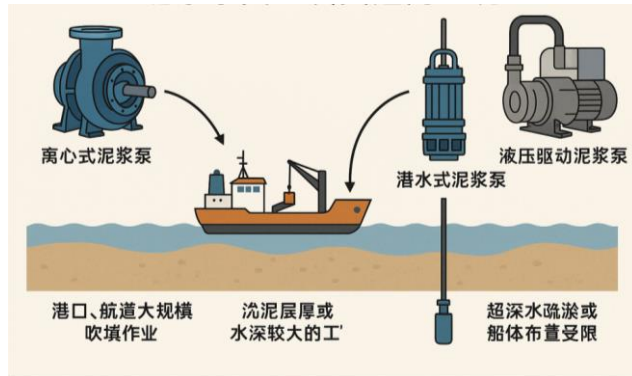


图1 泥浆泵类型及其适用工况

离心式泥浆泵最为常见,叶轮高速旋转产生离心力靠此将泥水混合物输送出去,这类泵流量大且能长距离输送,适用于港口、航道大规模吹填作业,不过在高浓度泥沙条件下容易出现效率降低和叶轮磨损问题。

潜水式泥浆泵一般被安装在吸泥管的末端,能直接从河床或者海床抽取泥沙并提升从而避免长吸程带来的气蚀与效率损失,这种泵在淤泥层厚或者水深较大的工况下更适用,但是其密封与冷却系统要求高、检修难度比较大。

液压驱动泥浆泵应用于超深水疏浚或船体布置空间受限等特殊作业场景,由液压系统提供动力,适应性和灵活性较强但效率与能量利用率较低,船舶机电系统里不同类型泥浆泵的选型和组合直接决定工程施工的适应性与经济性。

1.3 船舶机电系统中泥浆泵的动力匹配关系

泥浆泵是高功率、大负荷设备,船舶动力系统合理配置是其稳定运行的依赖,一般疏浚船舶把柴油机当作主动力,经齿轮箱和联轴器把能量传给泥浆泵,部分大型绞吸式挖泥船还配备专门辅机组,给泥浆泵和其他辅助设备独立供能以保障系统冗余与运行可靠。

在动力匹配过程中,泥浆泵的运行参数需与主机的功率曲线保持协调。当泵负荷过高时,柴油机将长期处于超负荷状态,不仅能耗增加,还会加速机械故障的发生;反之,若泵负荷过低,则难以充分发挥主机的高效工作区间,造成能源浪费。通常情况下,轮机工程技术人员通过调节泵速、管路阀门开度及泥沙浓度等方式,使泥浆泵工作点与主机的最佳工况相匹配,从而实现能效与作业效率的平衡。

现代疏浚船舶越来越多地引入电力推进与变频调速技术以实现泥浆泵运行参数的柔性调节,通过电机驱动和自动化控制系统能依据泥沙粒径、浓度以及输送距离的变化实时对转速与功率输出作出调整,防止不必要的能耗与机械损伤,这种机电一体化的动力匹配模式提升了施工效率,还大大延长设备寿命、减少维护成本。

2 泥浆泵运行参数对施工效率的影响机理

2.1 转速与流量对输送能力与能耗的影响

泥浆泵的转速与流量存在显著的耦合关系,对输送能力及单位时间的疏浚量具有直接影响。通常,大型绞吸式挖泥船的主泥浆泵转速多处于 400~750 r/min 的范围,并与管径 600~1000mm 的管路系统相匹配,每小时可实现约 4000~8000m³ 的泥水输送。当转速提高时,泵的流量与扬程均显著增加,从而提升泥沙输送能力。然而,随之而来的水力损失、叶轮磨损以及能耗也会相应加剧。

在能耗方面,泥浆泵的轴功率与转速呈立方关系,即 $P \propto n^3$ 。例如,当转速由 500r/min 提高至 600r/min 时,功率消耗约增加 1.73 倍。若为提高流量而单纯提升转速,则会导致能耗大幅上升而效率提升有限。特别是在泥沙浓度较高(固体体积分数超过 15%)的工况下,即便提高转速,有效输送量的增加仍十分有限,且可能引发气蚀并

导致泵效下降。因而,在运行调控中应合理选择转速,使其稳定在高效区间(一般为额定转速的 0.85~0.95 倍),以在保证输送能力的同时有效降低能耗。

2.2 扬程与泵效对施工距离与泥沙浓度的适应性

泥浆泵输送距离以及对不同泥沙工况的适应能力取决于其扬程,大中型疏浚船舶比较典型,单台泥浆泵额定扬程通常处于 60~120m 之间,若施工吹填距离不到 2000m,单泵就能满足需求,而施工吹填距离超 4000m 的话,常得设置中继泵站或者采用串联布置。

扬程过低时泥浆就没法有效输送到目标区域且管路容易堵塞,扬程过高时泵体就会长期大功率输出从而效率降低且磨损加剧。通常,泥浆泵最佳效率点(BEP)在额定扬程 90%~105% 的范围里,此时泵效能达到 70%~85%,要是偏离这个范围,不但施工效率下降,而且泵体振动和噪声还可能增加。

扬程与泵效受泥沙浓度的显著影响,低浓度条件下(固体含量小于 10%)扬程与泵效接近理论值,高浓度时扬程会衰减 15%~30%且泵效下降幅度约 10%~20%,合理调控扬程使其和泥沙浓度、施工距离匹配对确保高效输送很关键。

2.3 功率与效率匹配对设备稳定性与寿命的作用

泥浆泵的施工效率以及设备运行的稳定性与寿命取决于功率与效率的合理匹配。泥浆泵的设计功率通常处于 1500~4000 kW 范围内,在实际运行过程中,若功率维持在额定值的 70%~90% 区间,能够较好地兼顾泵效与使用寿命的平衡。然而,若设备长期处于超负荷状态(超过额定功率的 95%),则不仅会导致柴油机燃油消耗显著增加,还可能引发联轴器过热、轴承损坏等故障,进而影响系统的安全与经济运行。

泥浆泵的效率由水力效率、容积效率和机械效率共同构成,其综合效率通常维持在 60%~80% 之间。当泵效降至 50% 以下时,往往表明运行参数设置不合理或泵体存在磨损,此时需及时进行检修或调整。当叶轮与泵壳之间的间隙增大时,容积效率会显著下降,有效输送量通常减少约 10%~15%。

轮机工程人员为延长设备寿命,常把功率曲线和效率曲线联合起来监控以实时分析泥浆泵的运行工况,检测到泵效低于 65% 且功率接近上限时,需降低转速或者调整管路系统才能避免设备处于危险状态,功率和效率合理匹配既能让施工过程稳定又能让关键部件(像轴承、密封件)的寿命延长 20%。

3 船舶轮机系统对泥浆泵运行的支撑与优化

3.1 主机与辅机动力输出的协调机制

疏浚船舶里,泥浆泵运行的稳定性和效率直接由主机与辅机的动力分配决定,一般而言,大功率输出由主机(柴油机或者柴油-电力联合驱动系统)承担从而给泥浆泵提

供了主要动力,而船舶推进、发电和辅助设备所需能量则由辅机补充,大型绞吸式挖泥船中,主机功率往往在6000~12000kW,单台功率1500~4000kW的泥浆泵靠减速齿轮和联轴器接收主机传递的能量。

当泥浆泵负荷在动力协调过程中出现较大波动时,主机必须及时调整输出功率,否则将导致设备过载或低效运行。例如,当泥沙浓度骤然升高或管路阻力增加时,若主机调节滞后,泵速可能下降,进而造成输送效率降低。为避免此类问题,辅机系统常常提供额外功率支持,通过能量管理系统实现主、辅机的协调输出,使泥浆泵运行稳定在额定功率的80%~90%区间,从而有效防止气蚀和振动,保证设备的安全与高效运行。

现代疏浚船舶逐渐引入动力定位(DP)与综合能源管理系统(PMS),通过实时分配主机与辅机负荷,双重优化燃油经济性与设备安全性,这一机制提升了动力利用率并可减少5%~10%的燃油消耗。

3.2 电气控制系统对泥浆泵运行状态的监控

船舶自动化水平不断提升,在泥浆泵运行监控里电气控制系统的作用愈发重要,由于传统人工巡检难以满足复杂工况下的实时调控需求,多数现代疏浚船舶配备PLC(可编程逻辑控制器)+变频调速系统来动态监控与调整泵的转速、功率、压力和流量。

部分先进的疏浚船舶已引入智能监测平台,利用传感器和大数据分析技术预测泥浆泵运行趋势,监控泵效变化曲线,当泵效下降超10%时系统能提前预警,提示轮机人员检查叶轮磨损或者管路堵塞情况,智能化控制既降低了突发故障发生率,又提高了施工连续性。

3.3 润滑冷却系统对泵效与设备寿命的保障

泥浆泵长时间在高负荷条件下运行容易产生大量热量且出现摩擦损伤,其性能和寿命的润滑与冷却系统非常关键,一般来说,泥浆泵的轴承和密封部位会用循环润滑油系统,油压要保持在0.15~0.25MPa且油温得控制在40~55℃,这样才能确保摩擦副表面有稳定油膜形成,减少磨损和能量损失。

轴承和密封腔的降温主要靠冷却系统通过淡水或海水换热器来实现,高浓度泥沙输送时泵体摩擦与冲刷会加剧,若冷却不足轴承温度就会超80℃,这会使润滑油劣化且部件也会早期失效,现代泥浆泵经常用双回路冷却,主冷却回路给轴承降温,辅冷却回路用于机械密封和电机以全面散热。

研究表明,在润滑与冷却系统得到有效维护的情况下,泥浆泵关键部件的使用寿命可延长20%~30%。当润滑油清洁度保持在NAS 7级以下时,轴承的平均寿命可延长2000h以上。若进一步结合在线油液监测技术,对油液的颗粒度、水分含量及黏度变化进行实时检测,还能够实现预测性维护,从而有效防止非计划停机。

4 泥浆泵运行参数优化与智能控制策略

4.1 工况自适应调节与参数实时优化

疏浚工程施工环境复杂多变,泥沙浓度、颗粒粒径、输送距离及潮流条件等多种因素会影响泥浆泵运行工况,传统固定参数运行方式常难以兼顾效率与能耗,而工况自适应调节可通过实时监测工况变化,对泵的转速、流量和功率输出进行动态调整,泥沙浓度从10%提升到18%时,系统自动将转速降低大概8%~12%,把管路阀门开度增大,防止泵体过载和气蚀现象出现。

变频调速(VFD)与自动控制算法常被用于参数实时优化,当输送距离从2000m增加到3500m时,控制系统能依据管路阻力曲线对扬程加以调整,使其维持在最佳效率点(BEP)附近,从而让泵效稳定于72%~80%区间,这种自适应调节机制提升了施工连续性能且使单位方量能耗降低5%~8%。

4.2 基于传感与数据分析的智能监测方法

现代疏浚船舶想要精细化管理泥浆泵运行,普遍用传感和数据分析相融合的智能监测方法,在泵体和管路系统安装压力传感器、流量计、振动传感器、温度传感器以实时采集运行数据,系统经SCADA平台集中处理数据后再和泵效模型对比分析。

流量传感器监测值比理论计算值低15%时,系统能判定管路有淤积风险且清管提示自动发出,振动传感器检测到轴承振动幅值超4mm/s时轮机人员会被提示检查润滑或者轴承磨损情况,并且监测平台借助大数据和机器学习算法还能预测故障趋势,判断叶轮磨损速度并提前200~300h给出检修建议。

数据驱动的这种智能监测方法对减少非计划停机有帮助且能提升设备可利用率,实践显示疏浚船舶应用智能监控技术后泥浆泵平均无故障运行时间(MTBF)能提高15%~20%。

4.3 船舶机电一体化下的综合节能与效率提升

在船舶机电一体化理念下,泥浆泵不再作为孤立设备运行,而是与主机、辅机、电力系统及自动化平台形成耦合整体。通过对动力系统、电气系统与监测系统的综合优化,可实现能效与施工效率的双重提升。

在能量管理系统(PMS)的调度下,泥浆泵运行过程中能够根据负荷需求自动分配主机与辅机的功率。当泵负荷维持在60%~70%区间时,系统会自动停运部分辅机,以减少燃油消耗;而在满负荷运行条件下,则启用全部动力单元,并保持在最佳比油耗区间(约185~200g/kWh)。此外,将船舶电力推进系统与变频控制技术相结合,可在泥浆泵转速与主机输出之间构建柔性耦合,实现无级调节,从而有效避免能量浪费。

5 结束语

疏浚船舶的核心动力设备泥浆泵,其输送效率、能耗

水平与设备寿命直接由运行参数决定,本文系统分析了结构特点、运行参数机理、轮机系统支撑以及优化策略等方面,研究显示合理控制转速、流量和扬程能有效提升输送能力并降低能耗,动力协调、电气监控和冷却润滑系统是保障泵效与稳定性的关键,工况自适应调节、智能监测与机电一体化优化可使参数动态优化进而提升能效。

[参考文献]

- [1]李晓威,吕鹏,彭万里.湖泊环保疏浚工程中泥浆絮凝效率的优化研究[J].人民黄河,2016,38(9):64-67.
[2]张颖新,王艳丽.泥浆泵运行及检维修风险综合治理方

案研究[J].设备管理与维修,2020(14):90-91.

[3]张颖新,王艳丽.泥浆泵运行及检维修风险综合治理方案研究[J].设备管理与维修,2020(14):90-91.

[4]吴铭华.探究地质钻探中泥浆泵的维护及保养[J].质量与市场,2020(11):125-127.

[5]李韬,张增年.F2200HL 和 F1600HL 泥浆泵现场使用情况分析[J].设备管理与维修,2020(1):33-34.

作者简介:周兵红(1976.10—),男,江苏省南通人,现就职上海长升工程管理有限公司,轮机长,长期从事疏浚船舶轮机管理工作。