

基于船舶营运数据的航行性能分析

王楠, 周旭, 何金伟, 周兰喜, 张会

(南通中远海运川崎船舶工程有限公司, 江苏南通 226005)

摘要: 采用船舶营运数据建立船舶能效模型, 分析船舶航行性能变化, 对指导船舶运营有重要的意义。依托船舶数据实时监控平台对营运数据进行采集, 通过对大量数据的分析及筛选, 建立了对营运数据的长期监测与分析流程, 并完成实船航行性能的实时监测。通过某集装箱船营运数据的采集, 处理及分析验证, 结果表明, 该方法可用于实船航行性能的长期监测分析。

关键词: 船舶航行性能; 数据采集; 数据处理流程; 长期监测

Navigation Performance Analysis Based on Ship Operation Data

WANG Nan, ZHOU Xu, HE Jinwei, ZHOU Lanxi, ZHANG Kuai

(Nantong COSCO KHI Ship Engineering Co., Ltd, Nantong City, Jiangsu Province 226005)

Abstract: It is important for ship operation to establish energy efficiency model and analyze the change of ship navigation performance by using ship operation data. Using SEMOS system to collect operational data, with the analysis and flitting of a large number of data, the paper has established the processing flow of long-term monitoring and analysis for operation data, and completed the real-time monitoring of ship navigation performance. Then, through the collection, processing and analysis of the operational data of a container ship, the results show that the method can be used for the long-term monitoring and analysis of the ship operational performance.

Key words: ship navigation performance; data acquisition; data processing flow; long term monitoring

船舶能效数据涉及到船舶航速、实际营运功率、油耗等参数, 是船舶设计单位和船东关注的重要指标。近年来, 随着燃油成本的增加以及政策法规对温室气体排放物要求的日趋严格, 船舶运营公司对其船队的实际能效监测的诉求也越来越高。目前, 船舶营运数据大多是通过人工每天定时发送午报的方式进行采集^[1], 自动化能力弱, 并且采用一段时间内的平均数据作为分析船舶能效的源数据, 并不能很准确地反映船舶实际的航行性能。

随着物联网、大数据等技术的发展, 船舶智能化已经与当今船舶制造和航运领域紧密联系。依托大数据技术, 可以实时监测船舶运营时航行数据。通过对数据的采集, 处理及分析, 能够实现船舶航行数据的实时监控, 并提出最优的航行性能方案, 降低能源消耗^[2]。鉴于营运数据量十分庞大, 并且在数据采集的过程中, 由于设备、外界干扰以及人为操作等因素, 实际数据往往会出现丢失、错误以及异常等情况, 因此有必要对采集的数据进行处理。

目前, 对数据处理的研究包括统计分析、设定阈值、插值或补全以及聚类分析等^{[3]-[6]}, 这些方法能够有效地对原始数据进行“清洗”, 并且关联了不同参数之间的关系。但是忽略了船舶在实际操纵过程中参数的变化对船舶的影响, 而这部分影响在船舶能效分析过程中是不能被忽视的。

文中基于南通中远海运川崎船舶工程有限公司研发的智能能效管理与操作系统 (Smart ship Energy Management and Operation System, 简称SEMOS), 提出了对船舶营运数据采集、处理以及分析的流程。并通过某集装箱船为研究对象, 对其实际营运数据进行长期监测, 实现船舶航行性能的自动分析, 以实时获取船舶能效指标, 为船东对船舶的进一步管理提供数据参考。

1 数据采集及传输系统

为实现船舶营运数据的长期监测及分析的需求, 需要在船上安装实船营运性能监测平台。SEMOS系统是集成了数据采集及分析功能, 并与岸基实现数

据交互,完成船岸两端数据管理、显示与分析等功能,实现了对船舶的全面监控与智能化管理。通过SEMOS系统监测的航行性能信号参数主要可分为船舶状态监测、航行环境和机舱能耗等参数,涉及的设备主要分为通信导航设备以及机舱设备等。各个设备所采用的数据传输接口不尽相同,一般导航设备都支持串行接口通信;机舱设备中,很多传感器一般采用模拟量信号和开关量信号,大型控制设备一般配有专门的通信模块,支持串行通信或以太网通信等。为了方便不同信号的数据采集,需要将各设备通信接口转换为统一接口,接入数据采集网络,系统服务器通过数据采集网络采集数据并经过数据处理模块处理后存储到船端数据库。同时,数据处理模块会定时将该段时间内的数据进行加密压缩,通过卫星通讯FBB系统将数据发送至岸端并存储于数据库中,形成能效数据的长期监控,如图1所示。

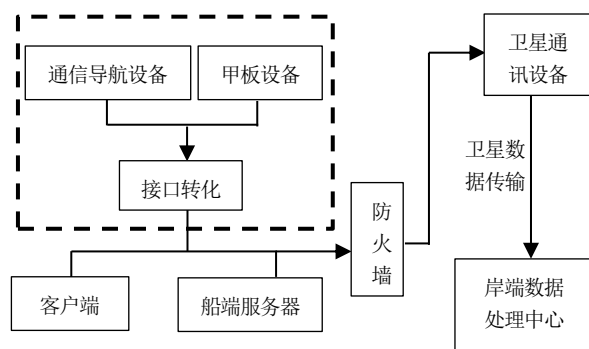


图1 数据采集及传输系统

2 数据处理

文中分析的船舶能效数据包括船舶航速、主机输出功率和单海里油耗,其中单海里油耗为船舶在一段时间内的主机燃油消耗量与船舶航行距离的比值。采集的原始数据有船舶航行数据、外界环境数据和主机能效数据,主要包含航速、航向、船舶姿态、风力、水深、流速、主机转速、功率、油耗以及主机运行时间等。一般而言,由于海上风浪和船舶各种设备运行环境的复杂性,监测的数据难免会有不完整或者明显异常的情况,比如在某一时刻,船速信号丢失、船舶姿态测量值超出合理范围等。因此需要对收集到的数据进行缺失值和异常值的筛选。

对于营运数据的缺失,可以通过剔除或者插补的方式;而对于异常数据的处理,可根据参数的一般范围,对异常数据进行判断并修改。但是由于处理的数据基本是几个月或者几年的数据,其数据量相当庞大,对缺失值的插补及异常值的修改工作量

较大。此外,性能分析的参数都是相互关联的,如果仅对某个缺失值或者异常值进行修改,可能对其他参数产生影响。加之数据的缺失和异常值属于小概率事件,对船舶能效的影响较小,因此可采用直接删除的方式进行处理,即对所有能效相关的参数,设定阈值,对于范围之外的数据均将其剔除。通过这种方式对某船某天的数据进行处理,以速度和功率为例,筛选结果如图2所示。

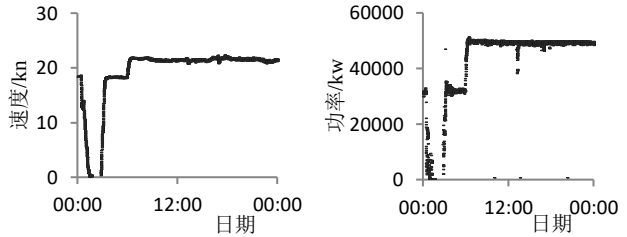


图2 筛选后的速度和功率分布（某天）

图2中虽然速度和功率的数据均处于合理的范围之内,但是存在某段时间内数据明显波动的情况。图3给出了当天船舶的实际航行距离和操舵的分布。从图中可以看出,船舶在0点~4点期间,航速快速下降并且停船,随后航速快速增加,达到稳定航速,同时存在着左右大舵角操船的过程。在这种情况下,船舶主机转速是不稳定的,其输出的功率也不稳定。因此这部分数据是不适合用来评估船舶航行性能的。

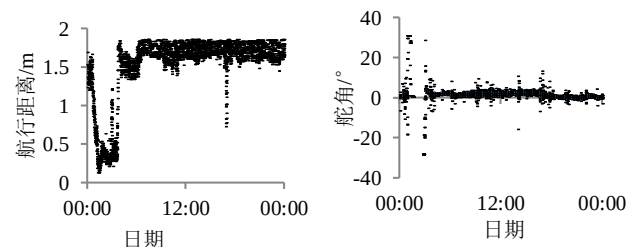


图3 某船实际航行距离和舵角分布（某天）

此外,当船舶在遭遇恶劣海况时,会造成船舶失速的现象。上述外界条件突变的情况,其数据并不能真实地反映船舶的实际航行性能,因此有必要对这些数据进行处理,这里称为数据的“稳定性”处理。首先认为在某一时刻的所有参数既是“独立的”又是“连续的”。所谓参数的“独立”性是认为在该时刻,所有参数都能完整的反映当时船舶运营状态,不受其他时刻参数的影响;而“连续”性是认为在数据集合中,船舶航行时性能参数变化是连续的。并且假定在某一指定数量的数据集合中,每一个参数服从正态分布,而判断数据不稳定的标准是以计算数据的均值和标准差为基础,具体的处理过程如下。

对于将缺失值和异样值筛选后的一系列数据集

合，按照数据采集的日期进行升序排列，从初始时刻开始，连续选择每N个数据点作为一个数据子集。即如果整个数据集有M个数据点，则所有包含N个数据子集的数量有(M-N+1)个，从而保证了船舶参数变化的连续性。计算每一个子集中所有参数的平均值和标准差。对于第k个数据子集，N个数据点 d_i 的平均值 μ 和标准差 σ 的计算公式如式1~2所示。

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i - \mu)^2} \quad (2)$$

当外界环境突变时，采用Chauvenet准则反映参数偏离均值的程度。即对于子集内的数据点 d_i 发生偏离的概率进行计算，如式3所示。

$$P(d_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d_i-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

对于该N个数据点集合内的数据，如果满足式4，则认为该时刻的所有数据均是无效的。

$$P(d_i) \cdot N < 0.5 \quad (4)$$

与船舶能效相关的主要参数有船速、转速和主机功率，因此这里对该三个参数进行式1~4的计算。对图2中筛选后的数据进行处理，N分别取N1，N2，N3三组不同的值，其数据量对比如表1所示，最终得到某天的速度和功率分布如图4~6所示。

表 1 不同 N 值“稳定性”筛选后的数据占比（某天）

N 取值	筛选后数据占比
N1	65.3%
N2	60.8%
N3	55.6%

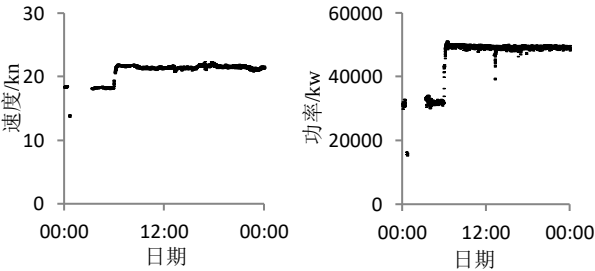


图4 “稳定性”筛选后的速度和功率分布（N=N1）

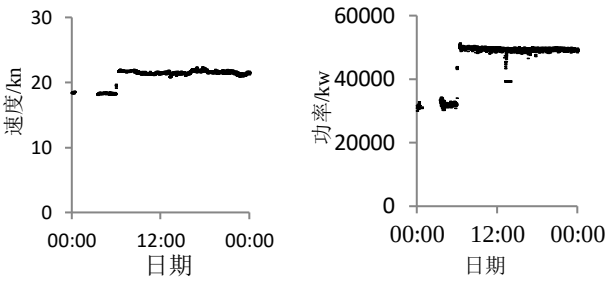


图5 “稳定性”筛选后的速度和功率分布（N=N2）

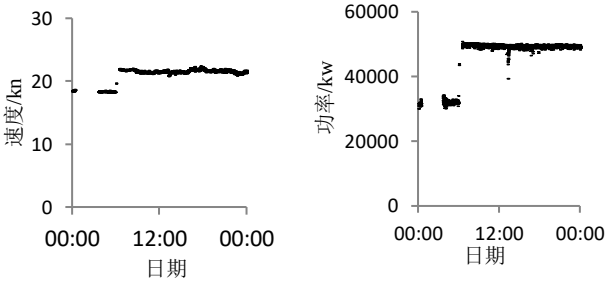


图6 “稳定性”筛选后的速度和功率分布（N=N3）

通过表1及图4~6的对比分析可知，N取N1时，数据仍存在小部分的波动，而当N为N2或N3时，基本可有效地滤去波动异常的数据，但是N=N2时可以保留更多的数据，因此这里N取N2。

另一方面，在N个数据点的集合内，对于船舶速度和转速，如果其计算得到的标准差的临界值超出表2给出的值，则该时刻的数据也被视为是无效值。

表 2 船速和转速的标准差临界值

参数	临界值
船速/kn	0.5
转速/rpm	3

通过上述分析，数据急速上升或者下降的过程已经被过滤掉了，数据在不同时间段内已经趋于平稳，可以认为这些数据相对比较稳定。进一步地，限制舵角及外界环境的等级，由于浪、涌、流等参数很难自动采集，这里仅对风影响进行筛选。通过上述数据处理过程可获取用于船舶能效分析的有效数据，数据处理过程如图7所示。

3 船舶实际航行数据能效分析

通过上述对实船营运数据的处理，可以获取用于分析船舶能效的数据，以评估营运船舶的航速、功率、油耗等航行性能指标，为航运能效管理服务。

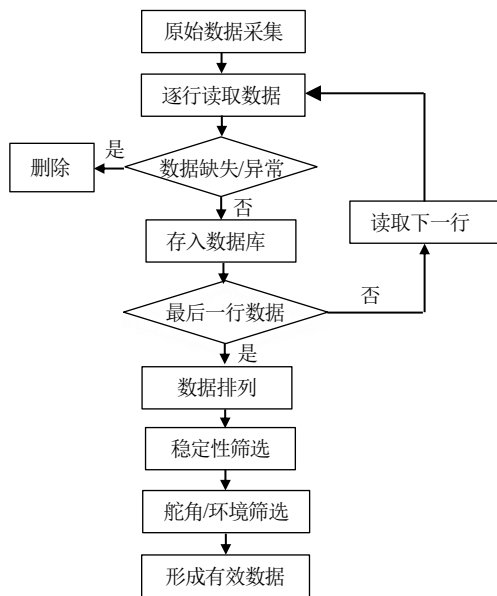


图7 原始数据采集及处理过程

3.1 功率与航速以及船舶油耗分析

船舶速度和功率的关系能够直接反映船舶的快速性能，关系到船舶实际能达到的运营速度以及主机达到的功率；另一方面，主机功率的输出直接影响着主机的油耗，从而影响着船舶运输成本以及温室气体的排放。

通过对船舶实际运营时的速度与功率的分析，可以获得船舶在既定环境下的实际性能，另一方面，应用国际标准 ISO15016: 2015 航速修正方法，可以将船舶修正到标准状态，进而得到船舶速度与功率的实际值与理论值的差别，为今后新造船的设计提供参考，这里对于外界环境的影响仅考虑了风力的影响。

此外，船舶运营时的燃油消耗直接关系到船舶的 CO₂ 排放量，而船舶能效运营指数（Energy Efficiency Operational Indicator, 简称 EEOI）可以用来评估船舶 CO₂ 的排放量。EEOI 的定义为船舶单位运输作业所排放的 CO₂ 量，其表达式如式 5 所示。

$$EEOI = \frac{\sum_i FC_i \times C_{Fi}}{m_{cargo} \times D} \quad (5)$$

式中：i 为燃油类型；FC_i 为燃油 i 的消耗量；C_{Fi} 为燃油 i 的燃油量与 CO₂ 量转换系数；m_{cargo} 为船舶的载货总吨，t；D 为船舶载货所航行的距离，nm。

假设船舶在单航次中运输的货物总量不变，并且燃油类型也不变，则 EEOI 的值可以看成是单海里油耗和一个常数的乘积，因此可以近似用单海里油耗的变化表征船舶 EEOI 的变化^[6]。

3.2 污底分析

船舶在营运过程中，随着航行时间和距离的增长，会出现船舶阻力增加，船体性能降低的现象，产生这种现象的一个主要的原因是船舶污底的出现和增长^[7]。虽然通过船舶实际航行时的速度或者油耗等的变化，可以判断出船体性能下降的趋势，但是性能下降多少，船体污损的程度等等却很难测量，除非船舶进行进坞检查。国际标准 ISO19030^[8]对船体性能变化给出了统一的测量方法，该方法对船舶长期航行时采集到的大量数据进行分析，提出影响船体性能的参数，并且给出了性能评价指标，对坞修节点给出了数据上的参考。

参考 ISO19030，通过上述的数据处理过程获得有效数据，然后对有效数据进行风阻力的修正，获得修正后的功率值。引入速度损失作为评价船舶性能变化的参数，如式 6 所示。

$$\text{速度损失}(\%) = \frac{\text{实际测量的对水速度} - \text{期望速度}}{\text{期望速度}} \quad (6)$$

式中，期望的速度为修正后功率在理论速度功率曲线上的插值，而不同排水量下的理论功率曲线可预先通过海军系数法进行或者 CFD 方法进行估算。

建立参考区域和评价区域系统，计算这两个区域内所有数据点速度损失的平均值，通过对比两个区域内的平均速度损失值，以评价船舶性能的变化。

3.3 实船航行性能分析结果

以某集装箱船为研究对象，该船交船日期为 2013 年，并于 2018 年 10 月进坞坞修。为实现船舶运营数据的自动采集，本船安装了 SEMOS 系统，并采集了坞修前后的数据。此外，收集了船东在该段时间内提供的午报数据。其中 SEMOS 系统采用图 7 的流程对采集的数据进行处理，船东的午报数据则仅对缺失值和超出阈值的数据进行处理，分别对这两组数据进行分析，以速度和主机功率的关系为例，探讨文中提出的能效分析方法的可行性，如图 8~9 所示。

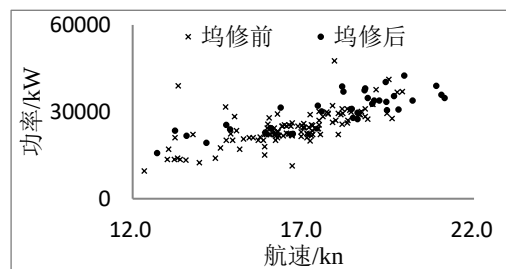


图8 采用午报数据分析速度功率关系（设计吃水）

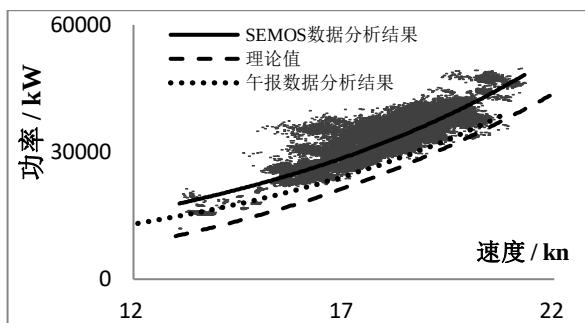


图9 设计吃水下SEMOS数据和午报数据分析结果(坞修前)

图8给出了本船采用午报数据分析的设计吃水附近速度与功率之间的实际关系。可以发现,坞修前后得到的结果并无明显区别,即如果采用午报数据进行分析,在样本容量有限的前提下,很难反映船舶的实际运营性能。

图9给出了坞修前的时间段里,SEMOS 系统分析的结果和午报数据分析结果,并引入了理论值进行对比,图中可以看出,SEMOS 分析的结果拟合趋势与理论值基本平行,验证了数据处理方法的可靠性。而午报数据分析的结果较 SEMOS 分析的结果低,并且随着速度的增加,两者的差别也越来越大。另外在不同航速下午报分析的结果与理论值的趋势并不十分吻合,由此也说明了采用每天的平均值作为性能分析的源数据并不能实际反映船舶的营运性能。图9中还表明,本船 SEMOS 分析的结果与理论值之间的差距超过 20%,这是因为该船已经运营了 4 年的时间,存在着污底的影响,另外外界环境的因素也会造成两者的差别。通过分析,可以获得该船在运营四年之后,并且在 4 级风以下时的实际海上裕度,该数据的分析结果可以为新船设计时服务航速、海上裕度的选取提供参考。

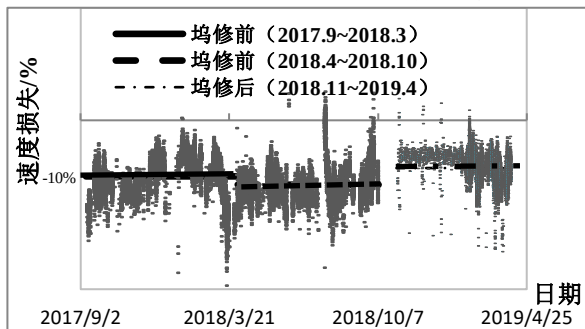


图10 某集装箱船污底分析结果

图10给出了该集装箱船的污底分析结果,其中分析区域选择了坞修前的两个时间段和坞修后的一个时间段,分别计算了这三个时间段内的平均速度损失,如图中的直线和虚线所示。结果表明,本船在坞修前的速度损失约为 10%左右,并且 2018.4~10

月内的速度损失比 2017.9~2018.3 月内的速度损失大约 1.5%左右。此外,本船经过坞修之后,可以分析出本船的速度损失较坞修前降低了约 4%左右,可以得出采用该方法能够有效地监测船舶性能的变化,进一步说明了性能分析方法的可适用性。

4 结论

利用智能能效管理与操作系统平台获得实船长期的营运性能,并采用大数据技术展开实船航行性能实时监测分析方法研究。通过对某万箱级集装箱船的航行数据的处理及分析,结果表明,通过对原始数据的缺失值、异常值和稳定性等处理,可以获得用于船舶实际能效分析的有效数据,并且分析后的实际值与理论值在趋势上比较吻合,验证了数据处理方法的可靠性。而午报数据则不能准确反映船舶的营运性能。此外,通过对船舶实际运营数据的长期监测分析,可以实时获得船舶运营性能指标,可为船舶营运数据分析及船舶运营管理提供参考。

通过船舶营运大数据的处理与分析,可以获取诸如航行状态、设备运行状态以及航线海况等信息,进一步地将分析结果反馈到船舶设计与操作中,实现航路优化、智能机舱管理、船舶能效管理等功能,以促进船舶智能化的发展。

参考文献

- [1] 陈昌运,李传庆.船舶营运大数据挖掘与应用思考[J].船舶与海洋工程,2015,31(1): 5-8.
- [2] 陈弓.基于大数据的智能船舶研究[J].江苏船舶,2018,35(1): 1-3.
- [3] 乔继潘,伍锐,文逸彦,等.营运散货船监测数据处理与分析[J].上海船舶运输科学研究所学报,2017,40(4): 13-19.
- [4] 孙峰,黄连忠,刘伊凡,等.一种应用数据挖掘技术评估柴油机性能的方法[J].大连海事大学学报,2017,43(3): 83-88.
- [5] 尹奇志,赵光普.船舶能效数据清洗方法研究[J].交通信息与安全,2017,35(3): 68-73.
- [6] 高梓博,杜太利,张勇,等.聚类算法在船舶能效数据挖掘中的应用[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2019,43(2): 286-290.
- [7] 董兆鸣,张霖,王健.国际标准 ISO19030 对船舶及船舶涂料行业的影响[J].中国涂料,2017,32(3): 38-42.
- [8] ISO 19030-2. Ship and marine technology-Measurement of changes in hull and propeller performance -Part2: Default method. [S].2016.



江苏船舶微信公众号，欢迎关注，欢迎投稿！