

烟大铁路轮渡渡船电力推进系统

韩富强

(中铁渤海铁路轮渡有限责任公司, 山东烟台 264000)

摘要: 铁路轮渡渡船电力推进系统是我国渡轮采用的新技术, 本文简述了我国自行设计烟台——大连铁路轮渡项目及渡船的基本情况, 在分析该轮渡航线复杂性、航运量及近年来事故特点的基础上, 提出了渡轮设计的安全性措施, 着重阐述了渡轮采用电力推进系统的优点。

关键词: 铁路轮渡, 渡船, 电力推进

The Electric Propulsion System of the Yantai-Dalian Train Ferry

Han Fuqiang

(Sinorail Bohai Train Ferry Co. Ltd., Shandong Yantai 264000, China)

Abstract: The electric propulsion system for train ferry is a novel technology in China. This paper describes briefly the domestically-designed Yantai-Dalian train ferry project and the ferry boat. Based on the analysis for the complexity of shipping line, the shipping quantity and shipping accidents in the recent years, safety measures of the ferry are presented. It focuses on the advantage of the electric propulsion for the train ferry.

Key words: train ferry, ferry boat, electric propulsion

1 引言

自十九世纪中叶世界上第一条铁路轮渡在英国费思湾诞生之后, 铁路轮渡运输作为一种便捷而经济的水陆联运方式, 具有遇天然水域可充分利用水资源条件, 实现直达运输, 节约用地、直接载运、作业简便、效率高; 同时与修建陆地铁路相比, 又具有建设周期短、投资省、见效快等特点, 因此在欧洲得到了迅速发展, 尤其是波罗的海沿海国家, 如丹麦、瑞典、德国, 铁路轮渡技术十分发达, 这些轮渡线已形成欧洲铁路网的组成部分, 是北欧四国与欧洲铁路联结的纽带。随着世界经济多极化的发展, 为了实现综合运输体系的网络化, 铁路轮渡运输在世界上许多国家不断得到重视和发展, 特别是一些拥有江河湖海、陆路运输受阻的国家越来越多地利用轮渡来便捷交通、优化路网布局。据统计, 到目前为止, 世界各国已开通使用的铁路轮渡线共有 70 多条, 航线总长约 1.4 万公里, 其中跨海轮渡航线 50 多条, 其余为沿江或跨江、河、湖泊的航线。这些轮渡线中, 欧洲占比重量最大, 为 45%; 北美及亚洲占 30%; 南太平洋地区占 25%。目前正在

规划设计和准备开通的铁路轮渡线还有近 30 条。从国外轮渡发展历程看, 铁路轮渡已是一种技术成熟、安全可靠的运输方式。中国目前运营的只有粤海公司的两艘火车渡船, 烟大铁路轮渡渡船正在建造。目前国外渡船以向长距离、载重量大、多甲板、多轨道、技术先进、混装运输、高速化方向发展。

1.1 烟台至大连铁路轮渡项目及渡船

烟台至大连铁路轮渡项目, 是我国铁路网规划中“八纵八横”之一的东北至长江三角洲地区陆海铁路大通道的重要组成部分。该项目北起辽东半岛南端的大连市旅顺口区羊头洼港, 南至山东半岛北部的烟台市四突堤港, 纵贯渤海海峡, 海上运输距离约 86.28 n mile (159.8 km), 是集铁路、港口、海上安监、渡船四项工程于一体, 涉及多学科、多行业、多专业, 具有很强的综合性系统工程。其中, 火车渡船部分投资大, 建造时间长, 技术复杂, 科技含量高, 是项目建设的关键和重点控制工程。

渡船为火车/汽车/旅客客滚船, 抗风浪能力为 8 级, 服务航速 18 kn (含 25% 海况储备), 全长 182.6 m, 宽 24.8 m, 满载排水量 16229 t, 单航次可载运一列 50 kn 80 t 重的货运列车、50 辆 20 t 载重汽车、25 辆小汽车和 480 名旅客。渡船设上、下两层纵通车辆甲板, 下层为火车甲板, 上层为汽车甲板。火

车车辆舱为封闭式, 汽车车辆舱为遮蔽式。火车上下船采用尾进尾出方式, 上甲板滚装汽车在尾部右舷采用侧进侧出方式。旅客通过全封闭人行栈桥在船中部上下船。

1.2 烟大铁路轮渡航线

烟大铁路轮渡旅顺——烟台航线越渤海湾口门水域, 沿途穿越老铁山水道、长山水道和烟台港附近水域, 是渤海湾地区的黄金水道。烟大铁路轮渡航线跨渤海湾口门水域是船舶进出渤海湾各港口的必经之路, 船舶交通流量大。烟大铁路轮渡航线开通后, 在火车轮渡航线途径的水域, 将出现由东西向船流和南北向船流交汇形成的 3 个船流交汇区。

我国的沿海水路主通道贯穿渤海湾口及其附近水域, 近年来, 随着沿海水路运量的不断增长, 这一水域内的船舶交通流量增长较快。据不完全统计, 近五年间, 通过老铁山水道的船舶日平均量 91 艘次 (另有渔船 243 艘次)。2002 年长山水道和登州水道日均流量分别为 38 艘和 7 艘。另外, 大连港与山东港口之间船舶最频繁的航线为连——烟航线, 以客轮为主, 客轮年往来船舶约 16000 艘次。这些水道的交通流和航线均与轮渡航线形成交叉。

据最新统计, 1999 年至 2002 年的四年间, 渤海湾和烟台港共发生交通事故 120 起, 年均 30 起, 事故件数呈明显上升趋势。其中, 碰撞事故 20 起, 占 16.7%, 致损养殖事故 59 起, 占 49.2%, 其他事故 38 起, 占 31.7%。

通过数字统计可得出事故有以下特点: 一是事故种类中碰撞事故占较大比例; 二是在海峡内发生的事故多为重大、恶性事故; 三是事故造成的直接经济损失巨大; 四是沉船、人员大量死亡或失踪的事故较多; 五是伴随事故的发生, 往往造成海域污染, 对海洋环境造成极大的破坏; 六是老铁山水道通航密度大。

因此, 为确保渡船运行安全, 借鉴国内外铁路轮渡设计和运营经验, 渡船设计采取了多项安全措施。通过应用综合全电力推进系统及电动舵桨装置、气动抗横倾系统、装卸作业专用纵倾调倾系统、轨迹导航系统、收放式减摇鳍、动力系泊系统、快速货物绑扎系统和中央分隔仓、中央计算机控制系统以及设置火灾报警、喷水、喷雾和 CO₂ 灭火三套系统等先进技术与装备, 稳性按无限航区标准设计, 大大提高了渡船港内作业、货物装卸作业及海上航行的安全。其中, 最重要的就是在首、尾两端

均具有可控的、有效的横向推力和制动能力。首部设首侧推, 尾部采用电动舵桨推进系统。

2 烟大铁路轮渡渡船电力推进系统

2.1 推进系统的发展历程

柴油机推进系统的历史久远, 发展到今天, 不论技术和使用还是维护和管理都已成熟, 在船舶推进领域长期占主导地位。

在二十世纪二十年代, 出现了第一代电力推进系统。由于能量的多次转换, 效率低, 同时由于电力电子技术的限制, 无法在船舶上推广应用。在二十世纪五十年代, 出现了舵桨装置, 其主要特征就是舵桨合一, 舵桨悬挂于船体外侧, 取消了舵系。进入八十年代, 由于交流电力拖动技术的发展, 逐渐采用交流电机驱动, 即第二代电力推进系统。舵桨可 360° 回转, 大大提高了操纵性能。八十年代后期新建造的工程船舶采用此推进系统的逐渐增多, 目前已经应用了 1000 多套。

第二代产品是 Schottle 公司的 STP (两个同轴同向转的串列桨) 和 SRP (单桨), Kamewa 公司的 Contaz (两个同轴反转的串列桨) 和单桨, LIP 公司的大侧斜单桨系列等。

1990 年, ABB 公司的技术人员, 为了解决船厂自用的破冰拖轮螺旋桨在冰区工作的需要, 将一个 0.5 MW 的同步电机直接放在水下驱动螺旋桨。为了防止电机进水, 在电机的外面加了一个水密壳 (POD), 装配成一个可以回转 360° 的舵桨, 它就是世界上第一台吊舱式电动舵桨推进系统即 POD 系统, 即第三代电力推进系统。特点是取消了减速齿轮机构, 推进电机在吊舱内, 其转子即是螺旋桨的驱动轴。九十年代后期建造的大型豪华游轮上很多使用这种推进系统。这种传动方式效率高, 故障率低, 安装方便, 因此, 迅速得到推广使用。但是由于同步电机驱动需要复杂的通风、冷却、干燥系统组成的转子降温系统, 因此系统复杂, 价格昂贵, 多用于豪华游轮与破冰船。

1997 年 Siemens 公司将推进同步电机改用军用潜艇已使用了十年之久的永磁电机, 并取消了同步电机的转子冷却系统, 采用海水直接冷却, 以此再次提高效率。此项技术的应用, 引起了航运与造船界的广泛注意。其后 ABB 公司也将推进电机改用永磁电机。

2.2 烟大铁路轮渡渡船电力推进系统优点

渡船采用综合全电力推进系统, 6600V 中压发

电机发电、供电、配电。推进系统由虚拟 24 脉冲、6600 V/2×725 V 推进变压器, 直接转矩控制(DTC) 12 脉冲、2×690 V 推进变频器及 660 V 吊舱舵桨永磁推进装置和 6600 V 首侧推电机构成。该系统与柴油机推进系统比较具有明显的优点:

(1) 操纵灵活, 安全性好

为了海上航行安全, 渡船采用火车从尾门进出的方式。这种装卸方式, 决定了渡船必须从船尾方向靠泊码头, 因而对渡船操纵性提出了特殊的要求。要满足这种要求我们比较了采用柴油机直接驱动双可调桨加首尾侧推器及双 POD 加双首侧推器的二种推进方式的操纵特性。前者明显地不及后者, 下图为二种推进方式的推进矢量图比较。

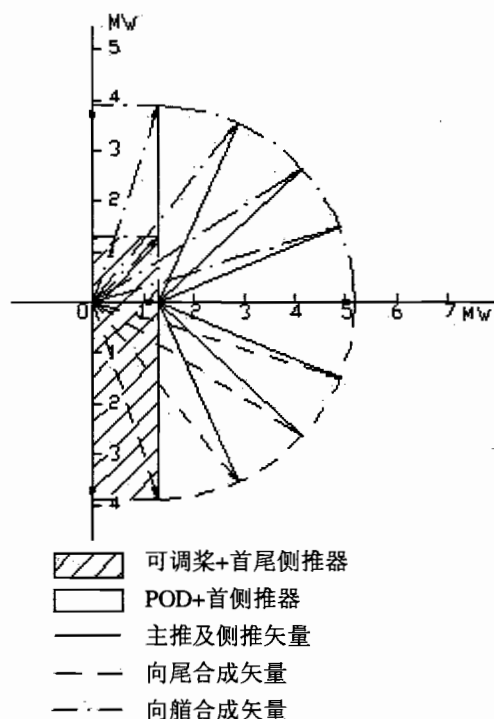


图 1 推进矢量图

说明:

(1) 灰影部分为可调桨加首、尾侧推器可能产生的推进矢量。调整主、侧推的推力大小, 可组成船舶推进及操纵所需的各种推力。其大小局限于灰影部分之内。

(2) 无灰影部分为 POD+首侧推器可能产生的推进矢量。转动主推进器并调节主侧推的推力大小, 可组成在矢量包络线内的各种推力, 满足船舶推进及操纵需求。

(3) POD 方式对船舶的控制和操纵能力明显优于可调桨方式, 因而, 靠泊作业将更加安全、快捷。

(4) 增大侧推功率, 对 POD 方式而言, 可以加大船舶平移运动能力。

由图可见, POD+首侧推的组合可以使渡船在

任意方向外力作用下在四个象限内作任何形式的平动与转动, 而柴油机+首尾侧推的组合在倒车航行(第一、三象限)时的运动控制能力明显不如前者, 现因渡船采用倒航靠泊方式需要的正是第一、三象限的运动控制能力, 为确保渡船靠泊作业的安全, 故不论从经济角度还是从安全角度均应该推荐 POD+首侧推组合作为本船的推进方式, 因为双 POD+首侧推的组合是真正的具有动力定位能力的矢量推进器。

由以上比较可知, POD 低速推进性能良好, 船舶可以平稳地靠泊和驶离码头, 与栈桥实现柔性连接, 撞击码头的机率大幅降低。该系统有更好地快速起动、停车和倒车性能, 使船舶具备了快速反应能力和应付紧急情况下避撞的能力, 保证船舶安全航行。POD 可使船舶 360° 原地回转或沿某个方向平行移动, 在港区作业方便、可靠。因此, 由于操纵性好, 保证了频繁靠离港口的渡船的安全, 对于烟大铁路轮渡, 显得尤为重要和突出。

(2) 故障率低, 维护方便

POD 要比柴油机推进系统的机械零部件少得多, 吊舱内的主要零部件如舵块轴承、永磁电机等是按无限寿命设计的, 并且配置了重要零部件技术状态实时监视和报警系统。除按船级社规范要求 5 年进行一次检修外, 一般情况下不用进坞维修。

(3) 冗余度大, 生命力强

柴油机推进系统推进时, 一个螺旋桨由一台柴油机带动。POD 的电站是由多台柴油发电机组成。因此, 当任何一台发电机组损坏时, 其余机组仍可照常工作并向电动舵桨供电。因此, POD 比柴油机推进系统的冗余度大, 生命力强。

(4) 船型优化, 布置灵活, 能耗降低

由于取消了传统的轴系和舵系, 可以使船舶尾部线形不再受传统的舵系的约束, 可以完全按照流体力学的客观规律予以优化, 机舱布置也不再受传统的轴系的约束, 动力装置的布置更加灵活, 可以更有效地利用舱内空间, 增加有效盈利空间, 因而能耗降低, 收入增加。

(5) 环保性能好

POD 是由多台柴油发电机组成的电站给推进系统及全船其他系统统一供电。随着供电负荷的变化, 发电机可以相应增减, 因此可以使柴油发电机在各种工况下处于最佳运转状态。这样, 当船舶在低速航行时, 尤其在港口内作业时, 排除出的废气中有害物质少, 对海洋环境的污染低。

(6) 运营成本低、节省工程投资、建造成本低、经济性好

POD 与优化后的船型相匹配,减少了运行阻力,可使装机总功率下降 15%左右。当渡船以较低航速航行时,可以关掉部分发电机组,使剩下的机组全负荷工作,节省燃油消耗。另外,POD 的维护费用较低。仅节约的燃油和润滑油的消耗量一项,每年就有柴油 1500 t、润滑油 30 t,按柴油每吨 2400 元和润滑油每吨 10000 元计,仅此年节省费用 390 万元。

装有 POD 的渡船回转直径很小,因而可减少港池开挖工程量,降低工程投资。

表 1 电力推进系统与柴油机推进系统经济性比较

序号	项 目	电 推	柴 推
1	装机总功率	85%--90%	100%
2	年燃油消耗量	87%	100%
3	年润滑油消耗量	80%	100%
4	推进系统估算价	130%	100%
5	维护费用	74.8%	100%
6	维护工时	83%	100%
7	备件费用	高	低
8	建造成本	90%	100%

POD 是按模块方式在工厂制造装配的,因而在造船时安装方便,工艺简单,减少了安装工时,降

低了渡船建造成本。

(7) 振动小,噪音低

POD 的机械零部件很少,运转平稳,噪音低,振动小,增加了旅客的舒适感,减少了机械零部件和电气元件的损坏,提高了寿命。在 360° 范围内向船舶提供足够的推力,在微速推进时具有低转速、大转矩的优良性能。

(8) 技术先进,成熟可靠

尽管 POD 诞生时间不长,但以其优越的性能,使用 POD 的船舶越来越多。目前,世界上已安装了 150 多套。

由以上比较可见,采用 POD 系统的渡船,其操纵性能极为优异,它取消了传统的船舶舵系与轴系,可以大幅度降低船体阻力,提高推进效率,从而提高了渡船靠泊作业的安全性和营运经济性,减少了燃油造成的环境污染与南、北两港的港池开挖量,具有其他推进方式无法比拟的优点。

参考文献:

- [1] 朱慕时等. 烟大铁路轮渡渡轮全船说明书. 上海船舶研究设计院, 2003.
- [2] 云俊峰等. 现代舰船电力推进设计走向. 舰船科学技术, 2003.1.

热烈祝贺

湖北省科学技术期刊编辑学会
进入全国首批先进社团500强行列