

基于无线充电和太阳能辅助充电的 纯电动船充电系统研究

高 洁, 包虹璐, 陈 玲

(南通理工学院 电气与能源工程学院, 江苏 南通 226002)

摘 要:“发展低碳绿色交通,改善大气环境质量”是未来交通运输发展的方向,对于内河船动力改造而言,“油改电”无疑是发展的主要趋势之一。然而,现有充电方式极大地制约了电动船的发展。因此,设计出一种运用无线充电和太阳能辅助充电的纯电动船充电系统,并对此系统的充电效率、稳定性、安全性等进行了仿真试验,分析该系统存在的问题,逐步找出解决方案,以待进一步完善了该系统,促进内河船动力的绿色改造。

关键词:电动船;无线充电;太阳能;充电系统

中图分类号:U674.92

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2018)04-0045-05

0 引言

近年来,入秋的雾霾日趋严重。造成这一问题的原因很多,但不能忽视的一点是交通工具的废气排放,所以各地都开始针对陆上主要交通工具——汽车进行整治和改造。其实,水上交通工具的排放量也不容小觑。通过调研及数据统计,将内河船与小轿车排污进行比较,以最常见的车型与船型为例,如表 1 所示,以中国 PM5 标准,1 艘内河船只每年平均颗粒/煤烟排放量等于 2 万辆轿车,每日的颗粒/煤烟排放量(对港口城市影响)等于 9 万辆轿车的排放量。可见,对内河船进行绿色改造迫在眉睫。^[1]

表 1 内河船与小轿车排污数据对比分析

项目	103 kW 小轿车	1 200 kW 内陆河道船
每公里平均 PM5 排放/(mg·km ⁻¹)	4~5	2×10 ⁴
每年平均颗粒/煤烟排放量/mg	6×10 ⁵	12×10 ⁹
日平均颗粒/煤烟排放量/mg	200	18×10 ⁶

早在 2013 年 11 月召开的全国“发展低碳绿色交通,改善大气环境质量”专家恳谈会上,不少专家指出“油改电”是内河船动力改造的发展趋势。纯电动具有省空间、易操作、省燃料、低噪音、超环保等优势,然而仍有两个制约纯电动发展的问题亟待解决:一是电池的性能和价格问题;二是充电难问题。本文主要围绕第二个问题展开。充电难主要体现在:大功率充电对电网冲击大;电池快充技术障碍短期内难以实现突破,难以商业化应用;基于有线充电及充电点分布不均而带来的充电难问题。在现有条件下,本研究的重点在于如何有效地解决电动船充电和如何加快“油改电”的改进速度两方面。

1 无线充电取代有线充电

随着绿色交通的理念日益深入人心,陆上交通工具的动力改造工作也在不断地更新进步中。2017 年,江苏、浙江、上海、四川等地的公交线路已实现纯电动化,可见电动公交已经成为绿色交通的发展趋势之一。和汽车不同的是,电动船运行在水上,如果通过电缆充电,一方面电缆拖拉不易,另一方面岸台面积通常无法满足多艘内河船同时充电。2016 年,中兴投入运行的无线充电公交车案例给纯电动船充电问题的解决方案带来希望。^[2]研究人员开始考虑是否能将无线充电技术运用到电动船充电中来?充电稳定性和安全性又如何保证?

收稿日期:2018-09-20

基金项目:江苏省高校自然科学课题(16KJD580001);江苏省高校自然科学课题(18KJD580003);南通市社会发展课题(GY12015024)

作者简介:高洁(1983—),女,江苏南通人,南通理工学院电气与能源工程学院讲师。

本研究尝试设计一套船用无线充电系统,如图 1 所示。该系统采用三线圈磁共振无线电能传输,分为陆上能量发射系统和船上能量接收系统。能量经多级变化,以谐振波形式,通过发射线圈传递给接收线圈,并与其发生谐振,接收线圈将谐振波转换成负载所需能量形式,供负载使用,这样的传递较电磁感应式而言明显提高了传输效率。^[3] 三线圈结构是在两线圈结构中加入源线圈,较四线圈结构,取消了负载线圈。三线圈结构在功能上比两线圈结构获得的效率更高,即具有更大的负载鲁棒性。同时,三线圈结构相较于四线圈结构相对简单。

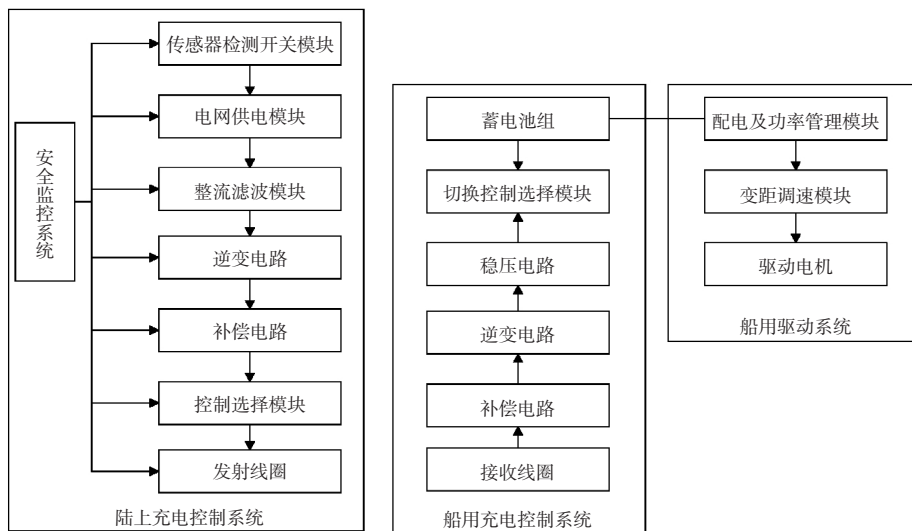


图 1 船用充电控制系统框架

图 2 中的 9 幅图是一周期磁场强度随线圈电流变化图,两圆环为收发线圈,箭头线表示磁力线,箭头方向表示磁场方面,箭头线越多,表示磁场越强。通过实验仿真发现:图 2 显示的刚好是电流变化的一个周期,磁场强度随线圈电流的变化而变化。一个完整周期内,电流越大时磁力线越密集。但是无论哪张图,磁力线绝大部分都集中在次级线圈垂直面上,线圈周边无效磁力线较少,说明线圈间的耦合强度较高。按理论计算,无线充电效率可达有线充电效率的 87.3%,充电时间较有线充电相比无太大区别,可行性较高。

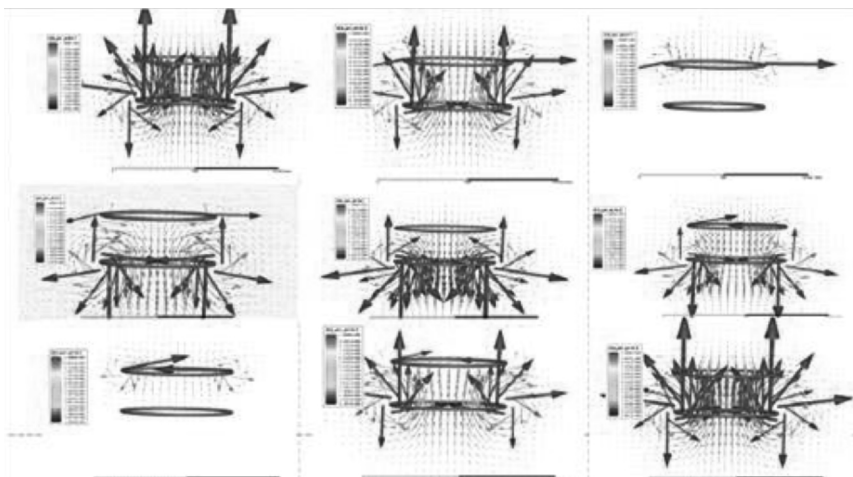


图 2 磁场强度矢量

针对电磁场对人体的安全问题,我们通过仿真实验,分析仿真人立于发射线圈上时受磁场感应的情况。其中,左一是躯体,左二是主要内脏,靠线圈越近颜色越深,颜色越深受辐射越强。如图 3 所示,人站在发射线圈右上侧时,体表磁场感应强度明显高于体内器官,人体从下到上,按离线圈远近程度,磁感应强度明显有递减趋势。而且,由于人体左侧靠近谐振系统,左侧感应强度较右侧要大,由此可以得出结论:磁场对人体的伤害程度跟距离(此距离是指空间距离)成反比关系。仿真实验说明,只要做好隔离,并控制好充电设备与

人的安全距离,就可以有效地控制辐射对人体的影响。

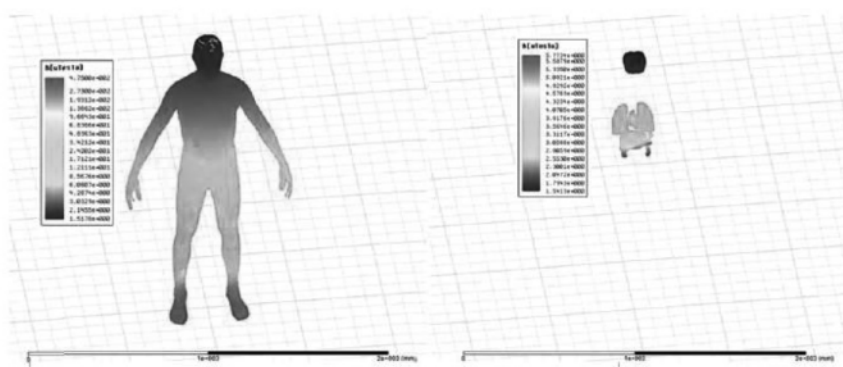


图3 某一时刻人体及器官磁感应强度分析

为提高充电效率,减小辐射影响,研究人员设计无线充电平台,如图4所示,将线圈水平置于移动浮板上,有电机带动上下移动,浮板伸出案台。^[4-5]船上接收线圈置于船尾,与船上所有电气设备用屏蔽材料隔开。船尾部靠岸,线圈浮板伸出,贴合船尾充电。

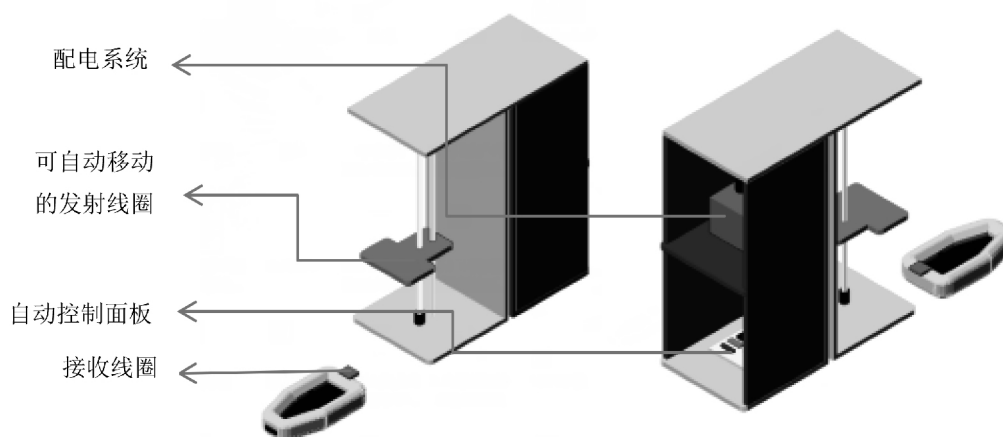


图4 船用无线充电平台三维模型

2 大功率充电对电网的影响及解决方案

在使用大功率设备充电时,研究人员既要考虑充电效果,也要顾及国家电网的负荷问题。

2.1 大功率充电对电网的影响

大功率充电之所以会对现有电网有影响,主要有以下几个原因:其一,我国人口工业分布不均,沿河流域工业密集程度高,随之带来的就是用电负荷大。如在这些区域河岸设充电站,会在短时加剧用电负荷,影响整个电力系统的用电平衡。^[6]其二,不同品牌、不同功率、不同的接入设备在一个点的汇聚程度,都会影响配电网电压的水平。长时间工作在低电压的情况下,会导致电网无功功率加大,充电效率降低,充电时间加长,成本增高。其三,谐波的影响,当三相供电交替时会产生谐波。电压信号混入杂波也会影响电网的稳定和安全。针对这些情况,设计充电点时应尽量回避工业集中点,充电要有监管调节系统,确保供电稳定安全。

2.2 电动船充电的解决方案

经过调研,研究人员认为以下充电规则设想是可行的:在岸电功率为15千瓦以下时,小型船只可以正常充电,较大型的船只可以对所用电器供电或进行缓慢的充电。当岸电功率超过35千瓦,就可对较大型船只进行正常充电(同时船载设备可以正常运行),35千瓦时充电电流100A.DC,70千瓦时充电电流可达200A.DC。

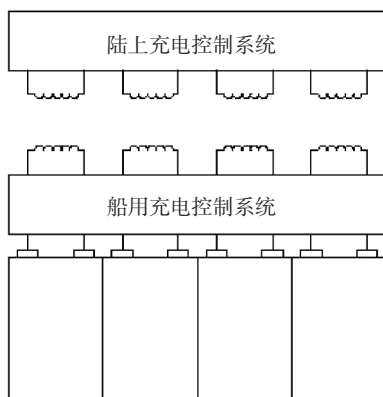


图 5 电池组充电示意图

考虑到电网的用电负荷和安全,如图 5 所示,该系统包括安装在岸边泊位处的陆上充电控制系统及安装在船舶上的船用充电控制系统,所述陆上充电控制系统包括依次连接的传感器检测开关模块、电网供电模块、整流滤波模块、逆变电路、补偿电路及多个发射线圈。所述船用充电控制系统包括依次连接的蓄电池组、切换控制选择模块、稳压电路、逆变电路、补偿电路及多个接收线圈。所述船用驱动系统包括配电及功率管理模块、变距调速模块及驱动电机。如图 5 所示,每个单体电池都设置一个对应的接收线圈,这样每一个单体电池可以单独进行充电操作。通过切换控制选择模块比较各个蓄电池饱和程度选择性的充电,从而使得停靠充电时间缩短,增加单位时间充电船只数量,提高充电效率,降低运营成本,提高电动船只的经济性。

3 用清洁能源做辅助能源补给

在充电站较少的情况下,需要考虑如何确保电动船能得到有效的能量供给。在不添加多余备用电池的情况下,可以考虑利用水上有利的生态资源和清洁能源,经综合考虑,我们引入了太阳能。一方面,太阳能技术已成熟稳定;另一方面,太阳能板重量较轻,可置于船顶、甲板表面,不影响船体稳定性。船体主要靠蓄电池提供能量,太阳能充电作为蓄电池的辅助充电方式,引入系统中。

太阳能充电系统如图 6 所示,在该系统中,由 Boost 电路与 Buck 电路负责太阳能电池与铅酸蓄电池组之间的 DC-DC 转换。而控制器则通过对 Boost 电路与 Buck 电路信号调谐,来确保系统稳定。控制器中的 MPPT 控制单元采样太阳电池输出电压与电流信号,并对信号按控制算法计算,以 PWM 波的形式经 1# 驱动电路对 Boost 电路进行控制。PI 控制单元对 Buck 电路的输出电流和电压信号进行采样分析,并与期望值比较,将调谐反馈信号以 PWM 波,经 2# 驱动电路控制 Buck 电路使充电电压稳定输出。

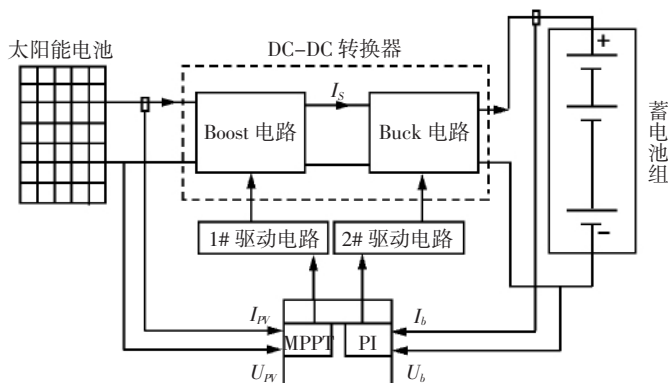


图 6 太阳能充电系统结构

为验证太阳能充电系统结构的可靠性,利用实验室设备,用 PVS1 000 光伏模拟器模拟光照强度,光照按 $1\,000\text{ W/m}^2 \rightarrow 1\,200\text{ W/m}^2 \rightarrow 600\text{ W/m}^2$ 规律变化,在确保初始电荷状态相同的条件下观测不同光照强度变化频率下的充电状况(变化频率大代表阴天,变化频率小代表晴天)。试验结果如图 7 所示(a 为晴天,b 为阴天)。可以看出:带 MPPT 充电系统比不带 MPPT 充电系统电流要大一些;两种天气情况下,要电池充满电,

带MPPT 充电系统比不带 MPPT 充电系统用时分别缩短了 50 mins 与 34 mins。因此,带 MPPT 充电系统比不带MPPT 充电系统充电时间要短,按照平均缩短时间来算,充电效率提高了 22%。由此可见,研究所采用的充电控制方法可行,并且可以使太阳能电池大部分时间工作在最大功率跟踪状态,即输出能量几乎全部被电池吸收。

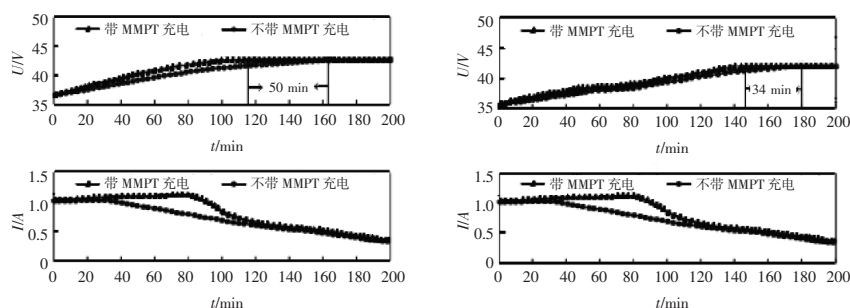


图7 充电试验结果比较

4 结束语

随着船用电池的性能提高和价格下降,内河船的电时代即将到来。虽然对于船舶大功率无线充电还有许多问题需要解决,如快充稳定性、充电时长如何控制等,但随着可持续发展的需要,纯电动船方面研究的脚步不会停歇,绿色船舶的未来指日可待。相信在不久的将来,纯电动的绿色船舶将行驶在更加广阔的水域中。

参考文献:

- [1]桂慧樵.“蓝色动力”为京杭运河带来绿色生机—LNG 在船舶运输研发应用纪实[N].长江航运报,2010-09-24(01).
- [2]陶成轩.非接触式电能传输系统的输出控制策略研究[D].重庆:重庆大学,2012.
- [3]AndréKurs, Karalis A., Moffatt R., et al., Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Reson [J].*Science*, 2007,(5834): 83-86.
- [4]王振亚,王学梅,张波,等.电动汽车无线充电技术的研究进展[J].电源学报,2014,(3):28-32.
- [5]曹玲玲,陈乾宏,任小勇,等.电动汽车高效率无线充电技术的研究进展[J].电工技术学报,2012,(8): 1-13.
- [6]Liu X., Hui S.Y., Simulation Study and Experimental Verification of a Universal Contactless Battery Charging Platform With Localized Charging Features[J]. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2007,(6):2202-2210.

(责任编辑:顾力豪)

Study on Pure Electric ship Charging System Based on Wireless Charging and Solar Assisted Charging

GAO Jie, BAO Hong-lu, CHEN Ling

(School of Electrical and Energy Engineering, Nantong Institute of Technology, Nantong 226002, China)

Abstract: “Developing low-carbon green transportation and improving the quality of atmospheric environment” are the direction of future transportation development. For the transformation of driving power for inland river ships, “changing from oil to electricity” is undoubtedly one of the main trends of development. However, the existing charging method significantly restricts the development of electric ships. Therefore, a pure electric ship charging system using wireless and solar-assisted charging is designed, and the charging efficiency, stability and safety of the system are simulated and tested. The problems existing in the system are analyzed and the solutions is gradually identified. It is to further improve the system and promote green transformation of inland river ship’s power.

Key words: electric ship; wireless charging; solar energy; charging system