

远洋拖网渔船电力推进系统地面联调试验系统

鲁秀龙, 赵建伟, 程浩, 吴双艺, 何武林
(株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘要: 目前船舶电力推进系统地面联调试验方法尚无具体标准可依, 而针对不同船舶电力推进系统项目开展的地面联调试验项点不尽相同, 导致无法确认对船舶电力推进系统的验证是否充分。文章以一种远洋拖网渔船电力推进系统为例, 通过分析其地面联调试验项点, 设计了一种地面联调试验系统并基于该试验系统进行了电力推进系统地面联调试验的研究, 给出了相应的试验曲线。该试验系统也可应用于其他船型电力推进系统的地面联调试验, 为船舶电力推进系统试验系统的设计、制造提供参考。

关键词: 电力推进系统; 地面联调; 试验系统

中图分类号: TM733; U664.81

文献标识码: A

文章编号: 2095-3631(2017)02-0067-05

doi:10.13889/j.issn.2095-3631.2017.02.013

Ground Joint Debugging Test System of Electric Propulsion System for Ocean Trawler

LU Xiulong, ZHAO Jianwei, CHENG Hao, WU Shuangyi, HE Wulin
(Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: There are no standards of ground joint debugging test method for ship electric propulsion system at present, and different test items apply to different ship electric propulsion system projects, which give rise to uncertainty of adequate validation. It took as an example the electric propulsion system of an ocean trawler, and proposed a ground joint debugging test system, studied test items of the proposed system through the analysis, and presented the corresponding testing curves. The proposed test system can also be applied to other ship electric propulsion system, providing a reference for the design and manufacture of test system for ship electric propulsion system.

Keywords: electric propulsion system; ground joint debugging; test system

0 引言

随着电力电子行业的快速发展以及高功率密度设备的出现, 由于电力推进系统具有操作灵活、运营成本低、噪声与振动小、安装灵活等特点^[1], 越来越多船舶由传统的“柴油机-定距式螺旋桨推进系统”、“蒸汽或燃气轮机推进系统”改为“柴油机-电力推进系统”^[2], 这不仅大大提升了船舶运营的盈利空间, 而且还增加了船舶的冗余度和安全性。远洋拖网渔船作为我国海洋捕捞的主要作业船型, 具有主机功率及电站功率大、可操

作性强、燃油消耗大、作业海况恶劣以及作业工况变化频繁等特点^[3]。为了充分验证设计参数的合理性及正确性、缩短电力推进系统装船后的调试时间, 一般新设计的电力推进系统在装船前均需进行地面联调试验, 但目前尚无确切的标准可依, 导致无法确认对船舶电力推进系统的验证是否充分。为此, 本文介绍了一种远洋拖网渔船电力推进系统地面联调试验系统, 并基于此进行试验方法研究, 归纳出电力推进系统应进行的地面联调试验项点并结合该试验系统进行试验验证。

1 远洋拖网渔船电力推进系统

为了最大程度地节省远洋拖网渔船空间并提高盈利空间, 本文所介绍的电力推进系统的主推电机设计为双

收稿日期: 2017-01-20

作者简介: 鲁秀龙(1988-), 男, 工学学士, 现从事工业电传动系统组合试验技术开发工作。

电枢同轴结构,这样不仅减少了一台电机及一台齿轮箱,而且由于减少了齿轮箱的损耗,从而提高了整体能源利用率。图1示出该远洋拖网渔船电力推进系统单线图,该系统主要由2套柴油机发电系统、2个主推移相变压器、2个主推变频器及1台双电枢同轴电机等组成。

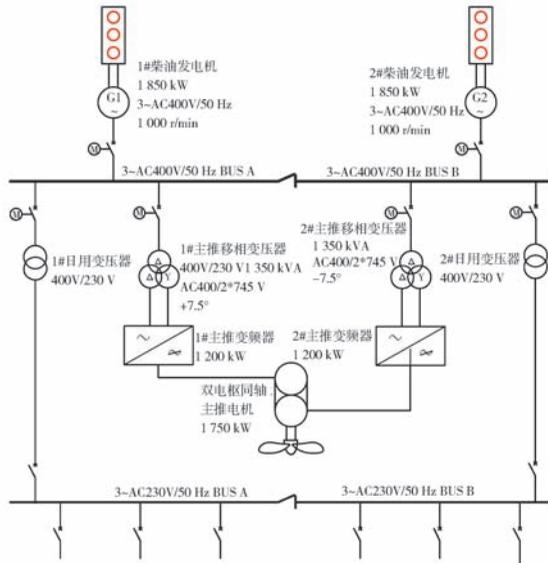


图1 电力推进系统单线图

Fig. 1 Single line diagram of the electric propulsion system

该系统主推移相变压器额定参数为:容量1350 kVA、输入电压400 V、输入电流1948.6 A、输出电压 2×745 V、输出电流 2×523.1 A。主推变频器额定参数为:功率1200 kW、三相交流输入电压720 V、三相交流输入电流1130 A、三相交流输出电压0~660 V、三相交流输出电流1170 A。主推电机采用Y型联结方式,其额定参数为:功率 2×875 kW、电压660 V、电流 2×916 A、转速995 r/min、频率50 Hz、功率因数0.88。

2 地面联调试验的验证项点

远洋拖网渔船航行过程中正常工况有3种:低速高负荷、高速低负荷及低速低负荷。对于电力推进系统,这3种运行工况分别对应于低速高转矩输出、高速低转矩输出及低速低转矩输出。航行过程中有时也会出现一些异常工况,如恶劣海况下出现变频器断电现象,在螺旋桨有一定转速的条件下需要在线重新投入;正常运行过程中负载按一定斜率突然变化;输入电压稳态/瞬态波动等。通过大量的试验研究及试验经验不断积累,我们给出了远洋拖网渔船电力推进系统地面联调试验项点,具体如表1所示。由于该电力推进系统采用双电枢同轴电机,在实际运行中,既可能为单轴输出,也可能是双轴输出,因此在地面联调试验时,对主推变频器在单机及双机输出时,分别进行表1所示的项目试验。

表1 远洋拖网渔船电力推进系统地面联调试验项点
Tab. 1 Test items of ground joint debugging test for the electric propulsion system of ocean trawlers

工况	检验项目	单机运行	双机运行
正常 运行 工况	电机空载启动及运行调试	√	√
	电动机冷态时的转矩特性	√	-
	电动机热态时的转矩特性	√	-
	满转矩的速度扫描试验	√	-
	额定工况温升试验	√	-
	峰值工况温升试验	√	-
	效率	√	√
	转速控制精度试验	√	-
	转矩控制精度试验	√	-
	转速响应时间	√	-
转矩响应时间	√	-	
异常 运行 工况	模块输出均流试验	√	√
	电流谐波测试	√	√
	主机故障时,主从机切换	-	√
	不同工作电压下的特性试验	√	√
	过载试验	√	√
	负载突投/突切	√	√
	不同船速下的带速重投试验	√	√
	能源波动(瞬态/稳态)	√	√
能源故障	√	√	

注:表中“√”表示选择,“-”表示未选择。

远洋拖网渔船典型的恶劣工况为高速航行和低速作业。在高速航行工况下,电力推进系统主推电机运行在高转速状态;而低速作业工况下,电力推进系统输出扭矩较高,主推变频器输出电流较大。这两种工况下,船舶对电力推进系统的过载能力、负载突投/突切能力及主机故障时的主从机切换功能等提出了更高的要求,因此需要进行相应试验(表1),同时还应进行温升、能源波动、能源故障等试验。

3 地面联调试验系统方案

为了全面验证远洋拖网渔船电力推进系统设计参数的合适性,设计了如图2所示的地面联调试验系统(以下简称“试验台”)。该试验台采用典型的背靠背互馈试验原理,其交流电源可以采用实验室的外接电源,也可以是图1中柴油机提供电源;根据试验项点,被试主推变频器及其控制装置、被试主推变压器可以是1套,也可以是2套。

图3示出地面联调试验系统电气线路结构示意,其可模拟实现表1中所示的各种工况。该试验台中,3#陪试变压器和陪试变频器组成陪试系统,用以模拟负载,可实现转速/转矩控制及能量回馈功能;电网模拟器用以模拟不同的网压,实现能源故障、能源波动等异常工

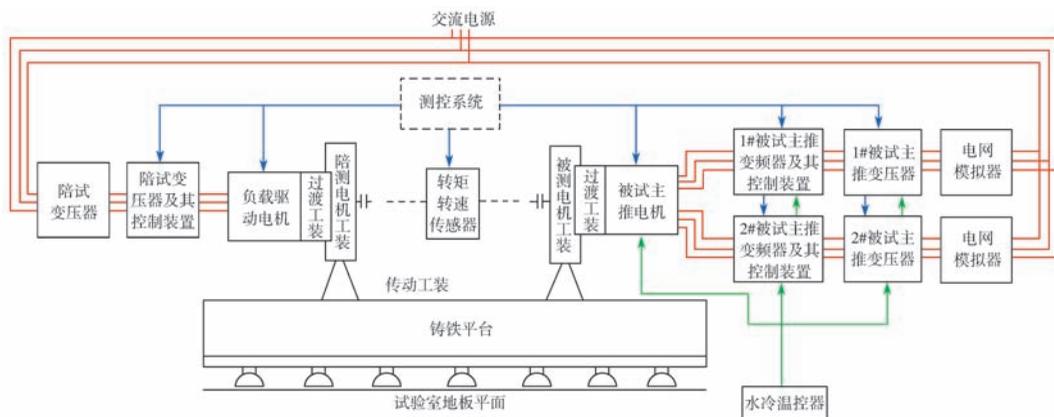


图2 远洋拖网渔船地面联调试验系统结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of the test system for ground joint debugging test of the electric propulsion system for ocean trawlers

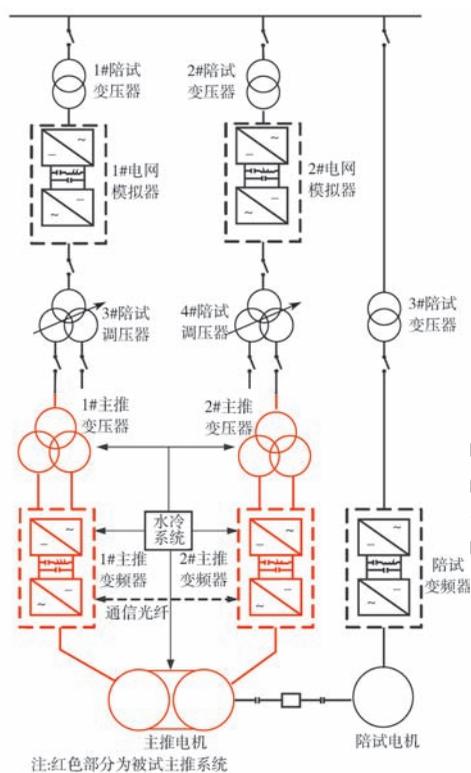


图3 远洋拖网渔船电力推进系统地面联调试验系统电气线路图

Fig.3 Electrical wiring diagram of the test system for ground joint debugging test of the electric propulsion system for ocean trawlers

远洋拖网渔船的电压及电流等级较高, 所以均选用高精度传感器的方式, 满足 SPWM 波形测试响应时间 $\leq 1 \mu s$ 、带宽 $\geq 100 \text{ kHz}$ 、精度优于 0.5% 的测试要求^[4]。转矩测量选择符合传递法^[5]原理的转矩转速传感器, 其能满足电传动系统转矩测量时精度优于 0.5% 和动态响应时间 $\leq 1 \text{ ms}$ 的测试要求。温度测量方式主要有 3 种: 直接测量、间接测量和等效计算。驱动电机的温度测量采用 A 级 Pt100 直接进行, 测量对象包括电机定子(预埋)、电机机壳及电机轴承等。

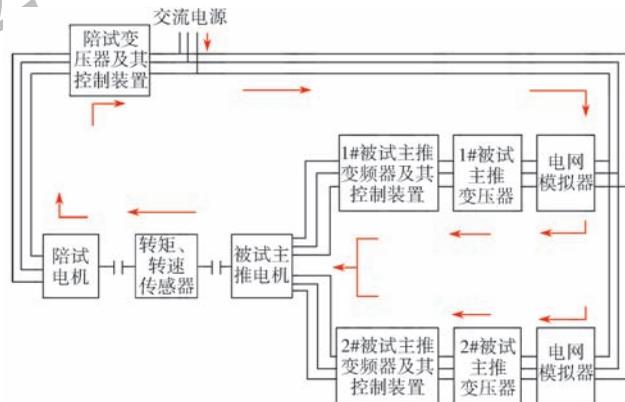


图4 双台主推变频器运行时能量流动图

Fig.4 Energy flow diagram of double main drive inverters

4 地面联调试验验证

图 2 所示试验台可以完成表 1 所示的项目分类所有项点, 并配合图 5 所示的测试系统可以完成电压、电流、功率、转矩、转速、温度等参数的测量。图 6~ 图 11 给出了基于图 2 所示的试验台得到的典型试验结果曲线。需要说明的是, 图 6~ 图 10 所示的试验数据均为单机运行时的试验数据, 其中被试电力推进系统控制转矩输出, 由陪试系统进行转速控制; 而双机运行时, 其试验方法及试验数据类似。根据 GD 22-2015 试验指南要求, 能源波动试验不仅需要进行电压的波动试验, 同时还应进行频率的波动试验。

况模拟功能, 其电压、频率控制变化范围满足中国船级社指导性文件 GD 22-2015《电气电子产品型式认可试验指南》的要求。

基于此试验系统, 根据不同的试验需求, 被试主推变频器可以单机运行, 也可以双机运行, 且该系统采用典型的“背靠背”模式, 运行时可实现能量回馈, 极大程度地减少了试验能耗。图 4 示出主推变频器双机运行时的能量流动情况。

试验台可以实现电力推进系统的电参数测量、转矩测量及温度参数测量。电参数测量内容包括电压和电流测量, 以及功率、谐波、功率因数等参数的计算。由于

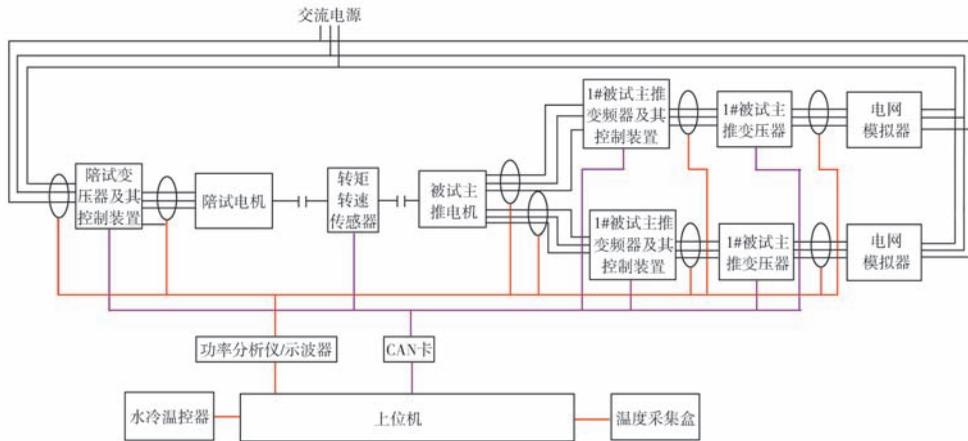


图5 远洋拖网渔船电力推进系统地面联调试验台测试系统示意图

Fig.5 Schematic diagram of the test system for ground joint debugging test of the electric propulsion system for ocean trawlers

图6示出电动机冷态时的转矩特性, 根据该曲线及相应试验数据, 可以验证该工况下不同转速点的转矩输出等相关参数是否满足设计要求。

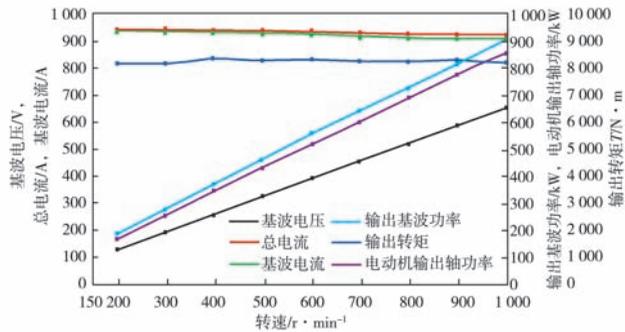


图6 电动机冷态时的转矩特性

Fig.6 Torque characteristics of the motor in cold state

图7与图8是根据GD 22-2015试验指南得到的电力推进系统能源稳态、瞬态波动试验波形。可以看出, 在能源发生波动时, 该系统稳定运行, 符合GD 22-2015



图7 能源瞬态波动工况模拟

Fig.7 Energy fluctuation(transient fluctuation) condition simulation

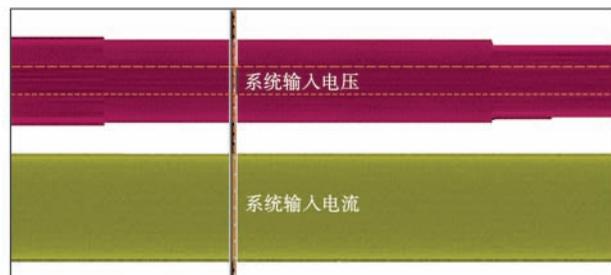


图8 能源稳态波动工况模拟

Fig.8 Energy fluctuation(steady fluctuation) condition simulation

中性能判据A的要求。

图9是根据GD 22-2015试验指南进行能源故障试验测量得到的波形, 其通过电力推进系统输入电流来验证在能源故障恢复后系统能否得以恢复。可以看出, 在能源故障恢复后, 电力推进系统经过某种控制得以恢复, 即满足GD 22-2015中性能判据C的要求。

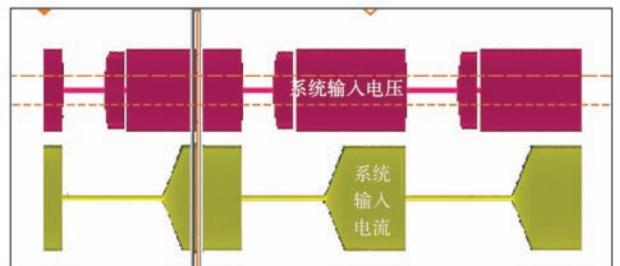


图9 主电源能源故障曲线

Fig.9 Main power energy failure curves

图10是根据表1进行负载突投/突切试验波形。可以看出, 系统输出电压稳定不变, 输出电流按一定的斜率增加或减少, 故该电力推进系统负载以与输出电流相同的变化斜率变化, 在整个过程中, 系统稳定运行, 负载变化斜率可根据客户的要求而定。

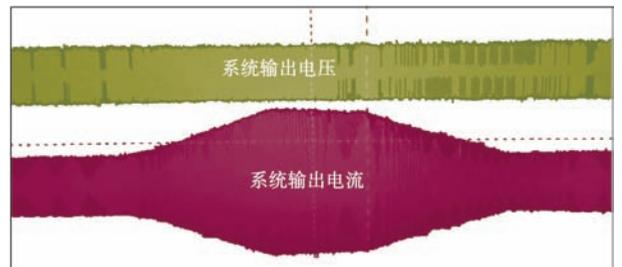


图10 负载突投/突切功能验证

Fig.10 Load burst/cutting function verification

图11是开展主机故障试验时从机无缝切换功能验证波形。由图可以看出, 试验时, 主机进行转速输出控制, 从机与陪试系统均输出转矩但方向相反; 在主机故障切除时, 从机无缝切换至主机模式, 同时由转矩输出

切换至转速控制, 陪试系统转矩输出全部叠加至从机, 导致转速略有波动, 而从机承受的转矩增大至主机故障前的2倍。

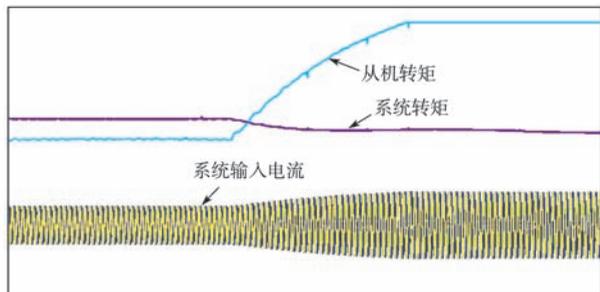


图 11 主机故障、从机无缝切换功能验证
Fig.11 Host failure/seamless switching function verification

5 结语

本文以远洋拖网渔船电力推进系统为例, 通过分析其地面联调试验项点, 提出了一种地面联调试验系统, 并基于该试验系统进行了电力推进系统地面联调试验的研究。其他类型的船舶电力推进系统均可使用类似的试验台位及试验项点完成地面联调试验, 以充分验证相关设计参数是否满足设计要求。本文的研究内容也可船舶电力推进系统地面联调试验的试验规范和标准制定提

供参考。由于海洋环境十分复杂性, 随着船舶电力推进系统应用数据的积累及试验方法研究的深入, 相关的试验方法、试验项点也会更加深入、全面。

参考文献:

[1] 任旭东, 陈刚. 船舶推进系统的选择 [J]. 世界海运, 2014(4): 41-42.
REN X D, CHEN G. Selection of Ship Propulsion System [J]. World Shipping, 2014(4): 41-42.

[2] 刘柱. 几种船舶推进系统的比较 [J]. 青岛远洋船员学院学报, 2003, 24(3): 40-44.

[3] 黎建勋, 金娇辉, 谌志新. 电力推进拖网渔船控制系统设计 [J]. 渔业现代化, 2012, 39(5): 43-48.
LI J X, JIN J H, CHEN Z X. Design for electric propulsion trawler control system [J]. Fishery Modernization, 2012, 39(5): 43-48.

[4] 刘护林, 辛本雨, 鲁秀龙, 等. 军用工程机械电传动试验体系研究 [J]. 工程机械, 2016(12): 29-35.
LIU H L, XIN B Y, LU X L, et al. Research on Electric Power Transmission Test System for Military Construction Machinery [J]. Construction Machinery and Equipment, 2016(12): 29-35.

[5] 林王坚. 高速转矩测量系统的研究 [D]. 杭州: 浙江工业大学, 2008: 2-4.
LIN W J. Research of a New High-speed Measurement System for Torque [D]. HangZhou: Zhejiang University of Technology, 2008: 2-4.

(上接第 50 页)

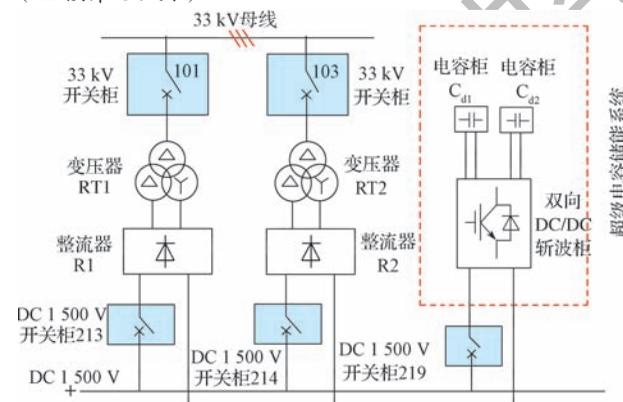


图 6 系统接入方案
Fig. 6 System access scheme

5 结语

本文所提出超级电容储能型再生能量吸收利用技术方案已成功应用在广州地铁牵引变电所现场, 且装置运行情况良好, 很好地验证了该方案的可行性。超级电容储能装置在城市轨道交通牵引供电系统中的成功应用给传统的二极管整流的直流牵引供电网络带来改变, 实现了负荷侧电能与电网电能的双向流动及地铁用电负荷的“削峰填谷”, 可提高地铁供电网络供电质量和供电能力, 在节能、环保方面有着重要意义。

参考文献:

[1] 闫小伟. 城市轨道交通车辆再生制动能量利用技术比较研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2015.

[2] 朱红卫. 基于超级电容的地铁再生制动储能系统的研制 [D]. 长沙: 中南大学, 2012.

[3] 张秋瑞, 葛宝明, 毕大强. 超级电容在地铁制动能量回收中的应用研究 [J]. 电气化铁道, 2012 (2): 40-43.

[4] WANG B, YANG Z, LIN F, et al. An improved Genetic Algorithm for Optimal Stationary Energy Storage System Locating and Sizing [J]. Energies, 2014, 7 (10): 6434-6458.

[5] TEYMOURFAR R, ASAEI B, IMAN-EINI H, et al. Stationary Super-capacitor Energy Storage System to Save regenerative Braking Energy in a Metro Line [J]. Energy Conversion and Management, 2012, 56 (2): 206-214.

[6] 陈怀鑫, 杨中平, 林飞, 等. 应用于城轨交通供电系统的超级电容储能装置稳定性研究 [J]. 铁道学报, 2016 (3): 59-65.
CHEN H X, YANG Z P, LIN F, et al. Stability Research of Stationary Super-capacitor Energy Storage System Applied in Urban Rail Power Supply System [J]. Journal of the China Railway Society, 2016, (3): 59-65.

[7] 王彬. 城市轨道交通地面时超级电容储能系统容量配置优化方法研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2015.

[8] 胡斌, 杨中平, 黄先进, 等. 用于超级电容储能系统的三电平双向直流变换器及其控制 [J]. 电工技术学报, 2015, 30 (8): 83-89.
HU B, YANG Z P, HUANG X J, et al. Three-Level Bi-Directional DC-DC Converter and Its Control Strategy Used for Super-Capacitor Energy Storage System [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30 (8): 83-89.