

电梯驱动系统测试台设计

蔡瑶峰¹, 叶亮², 李怀珍³

(1. 宁波欣达电梯配件厂, 浙江 宁波 315100;

2. 江苏省特种设备安全监督检验研究院 苏州分院, 江苏 苏州 215000;

3. 上海电科电机科技有限公司, 上海 200063)

摘 要: 介绍了采用四象限变频静止电源、ACS880 变频器作为电梯驱动系统的试验电源和加载系统电源的电梯驱动系统测试台方案。测试台采用 Yokogawa 高精度 WT1800E 六通道电参数测量仪、CT 系列宽频电流传感器和 Kistler 双量程转矩转速传感器, 实现了电梯驱动系统的高精度测试; 采用能量闭环回馈的方式进行对拖加载试验, 能够满足 30 kW 及以下的电梯驱动系统的综合性能测试。方案试验结果表明: 设备运行稳定可靠, 试验控制灵活, 操作简单方便, 具有较高的设计参考价值。

关键词: 电梯驱动系统; 四象限变频静止电源; ACS880

中图分类号: TU 854 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2019)07-0089-05

Design of Test Rig for Elevator Driving System

CAI Yaofeng¹, YE Liang², LI Huaizhen³

(1. Ningbo Xinda Elevator Accessories Co., Ltd., Ningbo 315100, China;

2. Jiangsu Province Special Equipment Safety Supervision Inspection Institute, Branch of Suzhou, Suzhou 215000, China;

3. SEARI Motor Science and Technology Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: The scheme of elevator drive system test rig was introduced when four-quadrant variable frequency static power supply and ACS880 frequency converter were used as test power supply and loading system power supply, respectively. The high-precision and low-uncertainty test rig was realized by using Yokogawa WT1800E six-channel electrical parameter measuring instrument, the CT series wideband current sensor and the Kistler dual-range torque-speed sensor. The test rig used the energy closed loop feedback method to carry out the drag loading test, which could meet the requirement of comprehensive performance test of the elevator drive systems with the rated power of 30 kW or lower. The field testing showed that the equipment ran stably and reliably, the test was flexible, and the operation was simple and convenient. This method possessed high design reference value.

Key words: elevator driving system; four-quadrant variable frequency power supply; ACS880

0 引 言

电梯驱动系统是典型的低速大转矩系统。其驱动主机包括交流异步(变频、双速、单速)电梯曳引机、交流同步电梯曳引机、自动扶梯或自动人行道驱动主机等。目前, 针对上述低速大转矩传

动系统的传统测试手段是采用被动式、无源型、耗能型的加载设备, 但是传统测试手段不仅浪费资源, 而且加载特性较差^[1]。随着人们环保和节能意识的提高, 采用电功率闭环试验的方案正逐渐取代传统测试方案^[2], 成为主流方案。本文介绍了一种基于四象限变频静止电源技术的电梯驱动

作者简介: 蔡瑶峰(1980—), 男, 工程师, 研究方向为电梯驱动主机的制造及检测。

叶亮(1984—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电梯及其部件的检验检测。

李怀珍(1985—), 男, 硕士, 研究方向为机电控制技术、电机检测技术和设备等。

系统综合性能测试方案,采用先进的四象限变频静止电源作为电梯驱动系统电源;采用直接转矩控制方式进行加载试验;应用高精度测量仪器仪表和传感器,既能满足被试系统精确调整、测量及快速加载的要求,又在测试过程中实现能量的再生反馈。这是一套节能型的电梯驱动系统性能测试方案。

1 测试方案

测试台总体方案如图 1 所示。该方案采用四象限全控整流方式实现整流及将再生能量回馈至电网,变频静止电源作为被试驱动的试验电源,采用 ACS880 功率模块作为加载电源驱动变频电

机,利用直接转矩控制技术进行加载及负载的调节。试验台有如下 2 种工作状态。

(1) 交流异步/自启动同步曳引主机试验。工频驱动主机试验时,变频静止电源逆变模块 2U 经过滤波单元 1LC 输出工频电源,经过输出变压器 1T 输出正弦波试验电源作为被试电机驱动电源。变频驱动主机试验时,由变频静止电源逆变模块 2U 输出脉冲宽度调制(PWM)波直接驱动被试驱动主机;通过测量单元 CT1 测量被试主机电流。

在此工作状态下,被试主机通过转矩转速传感器与加载电机连接。被试驱动主机处于电动状态,加载电机处于发电状态,能量在直流母线上形成回馈,处于双机对拖的加载试验状态。

(2) 外接控制器电梯驱动系统试验。通过调节变频静止电源逆变单元 2U 使输出变压器 1T 输出外接控制器的额定工作电源,经过输出变压器 1T 为外接控制器供电,通过外接控制器驱动曳引主机。通过测量单元 CT2 测量外接控制器输入端电参数,通过 CT1 测量驱动曳引主机输入电参数。

在此工作状态下,被试主机通过转矩转速传感器与加载系统连接。被试驱动主机处于电动状态,加载电机处于发电状态,能量在直流母线上形成回馈,处于双机对拖的加载试验状态。

2 测试系统

试验过程中,需要对被试系统的各个参数进行测量,所需测量的物理量可分为电参数和非电参数。电参数主要有电压、电流、电功率、功率因数及频率;非电参数主要是指转速、转矩、温度、振动和噪声等。测量仪器仪表及传感器是测试台的核心部分,直接决定了测试数据的准确性和测试台的可靠性。

2.1 电参数测试

为了准确评估电梯驱动系统的性能,需要对驱动器和电机的电参数分别进行测量。Yokogawa WT1800E 可以执行 6 个功率输入单元的测量,操作灵活且带宽较宽,是测试和评估变频器输入和输出之间效率的理想工具。因而,测试台只需 1 台六通道 WT1800E 功率分析仪即可完成电梯驱动系统电参数的测量分析。WT1800E 主要性能指标如表 1 所示。

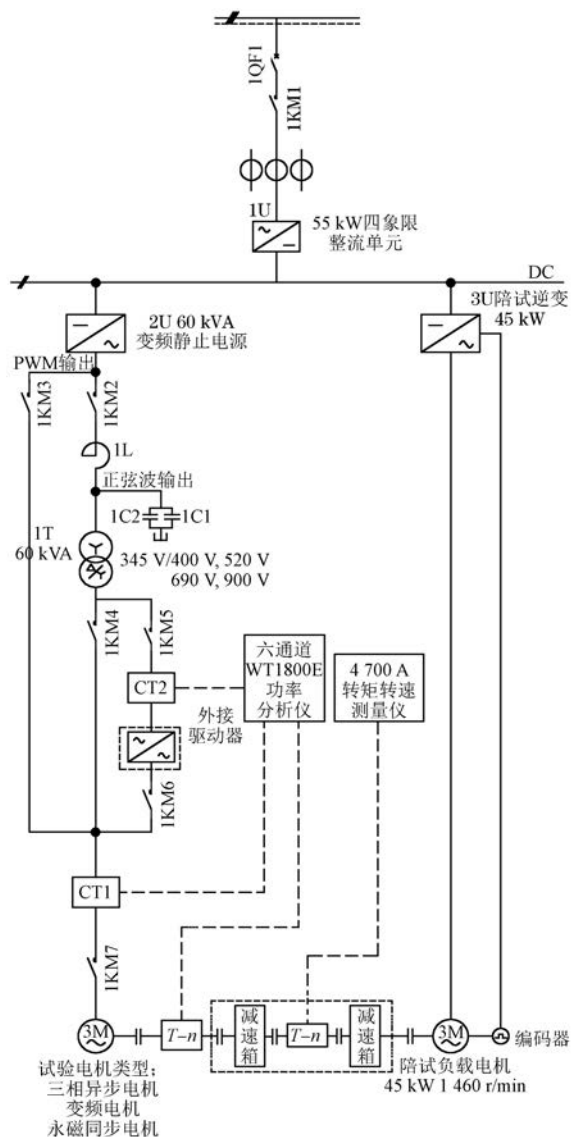


图 1 测试台总体方案

表 1 WT1800E 主要性能指标

项目	指标
输入单元	1~6
基本精度	读数的 0.1%+量程的 0.05%
功率测量带宽	DC 0.1 Hz~1 MHz
输入电压量程	1.5/3/6/10/15/30/60/100/150/300/600/ 1 000 V
输入电流量程	直接输入: 10/20/50/100/200/500/1 000/ 2 000/5 000 mA
采样率	2 MS/s(16 bit)
测量参数	电压、电流、有功功率、无功功率、视在功率、 功率因数、相位角、峰值电压、峰值电流、电 压频率、电流频率、有功功率积分(W·h)、电 流积分(A·h)、峰值因数、波形因数、阻抗、 电阻、电抗、修正功率、谐波分析等
其他	电机评价功能: WT1800E 可测量电机的转 速和转矩传感器的输出。然后计算转矩、 转速和机械功率以及电机功率与总效率。 接收传感器的模拟输入和脉冲输入。除数 值显示外还可以显示波形, 提供参数值波 动的清晰图像

电机起动和试验过程中电流通常都比较大 (>5 A), 而电参数表通常只能直接测量 5 A 以下, 因此需要配套电流传感器进行较大电流测量。变频驱动主机试验电源和电梯驱动器输出通常为 PWM 波, 含有较多的高次谐波, 要对其进行准确的测量需要采用宽频电流传感器。所提测试方案采用横河配套 CT60 和 CT200 高精度宽频电流传感器, 通过自动控制改变传感器穿心匝数, 设置 5 A 直读、20、60、100、200 A 五挡测量挡位。电流传感器主要性能参数如表 2 所示。

表 2 电流传感器主要性能参数

型号	CT60	CT200	
额定电流/A	直流	0~60	0~200
	交流	60	200
电流变比	600:1	1 000:1	
精度(DC)	±(读数的 0.05%+30 μA), 正弦波		
测量带宽范围/kHz	DC 800(−3 dB)	DC 500(−3 dB)	
连续最大允许输入值/A	60	200	
瞬时(≤0.1 s)最大允许输入值/A	300	1 000	
负载电阻(±15 V)/Ω	0~20	0~30	
电源电压/V	±15(±5%)		
最大额定功率/VA	7	11	

2.2 机械参数测试

电梯驱动系统是低速大转矩系统, 起动转矩非常大, 用普通单量程转矩转速传感器很难兼顾起动过程与正常测试运行 2 种工况下的动态转矩测量精度。基于此, 该测试平台采用 Kistler4503A 型应变式双量程转矩转速传感器。该传感器内置转角/转速测量单元, 并内置信号调理单元, 既可输出标准模拟信号, 也可以输出数字信号。第一量程精度 0.1 级, 第二量程精度 0.2 级; 能方便地切换量程, 无论是峰值转矩还是工作转矩, 转矩测量均能保证高精度^[3]。测试台配置 5 000/1 000 N·m 和 1 000/200 N·m 2 台双量程转矩转速传感器, 主要技术参数如表 3 所示。

表 3 转矩转速传感器主要技术参数

参数名称	参数值
额定转矩/(N·m)	5 000/1 000 1 000/200
交变转矩	0.7 倍额定扭矩
精度等级	0.1%/0.2% F.S
线性误差	<±0.1
包括迟滞	C; <±0.05% FSO 可选
额定转矩时输出信号 (额定值)	$\pm(0\sim5)/\pm(0\sim10)$ V 或 (100±40) kHz 和 RS-232C
转速测量(脉冲/r)	60
额定转速/(r·min ⁻¹)	≤5 000 ≤8 000
工作温度范围/℃	10~60
壳体	强阳极化铝或不锈钢 (根据型号不同而异)
防护等级 IEC/EN 60529	IP40
接头	Binder, 7 极或 12 极

为了确保驱动主机电参数和转矩转速信号的测试数据的同步, 方案采用 WT1800E 集成电机评价模块来测量电机的转速、转矩和输出(机械功率), 通过设置数据采集同步源有效确保了电机参数测量的同步。另配 1 台 4 700 A 转矩转速测量仪进行减速箱输出转矩转速的测量。

其他辅助测量包括直流电阻、温度、噪声、振动等均通过通信接口集成接入测试系统, 不再赘述。

3 测试台特点

3.1 四象限全控整流单元

与传统采用二极管整流方案不同, 测试台采用四象限全控整流方式实现整流及将再生能量回馈至

电网,即三相 BOOST 架构。当能量回馈时,三相逆变桥将能量泵升到电解电容,电网侧的三相 BOOST 电路此时充当逆变桥的作用,将电解电容上的能量逆变至电网,实现能量的回收,供给同一电网上的其他负载使用。采用四象限全控整流单元,可以做到网侧电流的正弦化,功率因数可以任意调整,能量可以双向传输,具有卓越的动态特性^[4]。

3.2 变频静止电源逆变单元

试验电源采用变频静止电源+试验变压器的供电方式。试验电源系统通过输出变压器的电压挡调节以及逆变器的电压、频率调节,可获得不同电压、不同频率的正弦交流电源输出,以满足电机不同电压等级、不同试验项目的试验要求;也可以直接输出变频电源(PWM 波),以满足变频驱动主机的试验要求。变频静止电源主要技术参数如表 4 所示。与传统变频器驱动系统相比,变频静止电源可实现功率范围内任意电压和频率的高质量电源输出,能够按照 GB 1032-2012 等标准进行驱动主机负载、空载等项目试验,为电梯驱动系统试验提供高稳定的输入电源。

表 4 变频静止电源主要技术参数		
规范		参数
额定容量/kVA		60
额定输入电压/V(允许变化范围)	380(-15%~15%)	
额定输出电流/A		91
输出电压调节范围/V		0~380
输出频率调节范围/Hz		3~120
显示	输出电压、输出电流、设定频率、运行频率、设定电压	
控制方式	频率、电压在额定范围内任意可调闭环控制,可稳定输出电参数	
对电网电压波动的敏感性	不敏感	
变频静止电源效率/%	98	
过载能力	额定容量×120%,1 min/10 min	
输入侧功率因数	≥0.95	
系统检测	自动故障诊断、检测输出信号	
逆变器型式及元件	SPWM IGBT	
冷却系统故障对变频器的影响	85℃过热保护	

3.3 直接转矩控制加载单元

在传统电机控制中,一般根据电机的各种参

数来计算变频器输出电压、电流等。该测试台的加载是基于直接转矩控制技术,把转矩作为直接跟踪控制对象,强调转矩的直接控制与效果,因此可以对电机的动态变化做出快速反应,控制精度高,并且能实现“低速大力矩”、“低电流大力矩”和“零速满转矩”功能^[5]。与传统控制相比,直接转矩控制电机的电磁转矩,系统的转矩响应比较迅速,而且控制系统实现起来也比较方便、简洁。在进行电梯驱动系统和驱动主机试验时可以直接并机加载,无需进行转向辨识。其动态响应能够满足电梯驱动系统和驱动主机时间响应等特殊项目的试验需要。因此,特别适合在电梯驱动系统中加载使用。

4 试验验证

测试台建成后对型号为 Y2VP-200L-4 的三相异步电机进行了型式性能测试。电机额定功率为 30 kW,额定电压为 380 V,额定电流为 56.6 A,额定转速为 1 468 r/min,额定频率为 50 Hz,额定转矩为 195 N·m。主要试验项目检测数据与设计数据对比情况如表 5 所示。通过表 5 可以看出,测试台试验数据能够与设计数据较好地吻合,从而可见该测试台的测试精度非常高,试验能力能够满足 30 kW 的电梯驱动系统主机性能测试要求。

表 5 主要试验项目检测数据与设计数据对比情况			
检测项目		设计数据	型式试验数据
环温/℃		25.0	24.1
冷态绕组直流电阻	R_{uv}/Ω	0.142 00	0.141 70
	R_{vw}/Ω	0.142 00	0.142 52
	R_{wu}/Ω	0.142 00	0.141 68
空载试验	电流/A	21.600	21.58
	不平衡度/%	—	0.525 3
	输入功率/W	—	986.2
	铁耗/W	686.0	688.1
	机械损耗/W	180.0	179.8
温升试验	绕组温升/K	70.0	68.5
负载试验	额定转矩/(N·m)	195.0	196.2
	满载电流/A	56.600	56.584
	转差率/%	2.133	1.515
	定子绕组损耗/W	895.00	893.33
	转子绕组损耗/W	460.50	463.25
	铁耗/W	645.0	645.1
	杂散损耗/W	225.00	228.47
	效率/%	92.40	92.56
	功率因数	0.860	0.866

表 6 所示为负载试验原始检测数据。根据线性回归分析方法对检测数据相关系数进行计算, 相关系数 γ 为 0.99, 可见系统检测数据一致性非常好。

表 6 负载试验原始检测数据

序号	电压/ V	$I_{uv}/$ A	$I_{vw}/$ A	$I_{wu}/$ A	电流 变比	$P_{11}/$ W	功率 变比	$P_{12}/$ W	功率 变比	转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	频率/ Hz	转矩/ ($N \cdot m$)	电阻/ Ω	温度/ $^{\circ}C$
1	380.5	3.960	3.936	3.927	20	1 503.83	20	807.38	20	1 467.18	50	274.91	0.180 090	93.6
2	380.6	3.425	3.394	3.394	20	1 302.02	20	675.85	20	1 472.45	50	235.62	0.181 569	96.3
3	380.1	2.874	2.847	2.841	20	1 091.61	20	541.02	20	1 477.52	50	194.50	0.182 446	97.9
4	379.9	2.401	2.375	2.362	20	910.42	20	403.08	20	1 482.29	50	156.06	0.183 104	99.1
5	379.9	1.934	1.899	1.897	20	726.21	20	255.86	20	1 486.96	50	115.73	0.183 268	99.4
6	380.7	1.529	1.507	1.498	20	553.49	20	110.91	20	1 491.41	50	76.59	0.183 159	99.2
7	380.7	1.289	1.273	1.269	20	431.02	20	7.88	20	1 494.55	50	48.53	0.182 939	98.8

5 结 语

本文采用四象限变频静止电源作为电梯驱动电源,利用直接转矩控制方式作为模拟负载来进行电机测试,具有动态响应快、加载精度高、操作简单方便等特点。适用于交流同步电梯曳引机、交流异步(变频、双速、单速)电梯曳引机、自动扶梯或自动人行道驱动主机对电网供电或三相交流变频器供电的三相异步或同步、永磁式感应、有齿和无齿的曳引式或强制式电梯驱动系统试验。现场运行试验表明:所提测试台运行稳定可靠、测量精度高、安全性能好、节能效果明显,属于节能型的测试系统装备。

【参 考 文 献】

[1] 封锦,韩广盈.低压大功率矿用变频器智能一体化

测试系统[J].电子世界,2015(19): 77.
[2] 何晓航,丁圻训.ABB 变频器在 3 000 kW 交流电机试验台上的应用[C]//2008 年全国电工测试技术学术交流会议论文集,2008: 177.
[3] 陈叶荣,吴汉熙,韩宝江,等.WT1800 功率计与 KISTLER 传感器集成在电机检测系统中的应用[J].电机与控制应用,2013,40(1): 43.
[4] 林梅丽.四象限变频器与传统变频器在电梯应用上的节能效果及输入指标对比[J].电气应用,2012,31(8): 40.
[5] 李建军,汪蓉,李怀珍.ACS800 变频器在自动扶梯驱动主机加载试验台上的应用[J].电机与控制应用,2018,45(12): 46.

收稿日期: 2019-04-18

(上接第 75 页)

[4] 蔡巨敏,张秀丽,周健.高压电机少胶云母带配套用 VPI 浸渍树脂的研制[J].绝缘材料,2004,37(2): 7.
[5] 侯力.新型 F 级云母带用胶粘剂的研制[J].绝缘材料,2005,38(3): 17.
[6] 阎照文.ANSYS 10.0 工程电磁分析技术与实例详

解[M].北京:中国水利出版社,2006.
[7] 何荣涛,余良清.252 kV 高压套管绝缘结构优化设计[J].电气开关,2016,54(4): 55.
[8] 沈诗佳,程航.高电压技术[M].北京:中国电力出版社,2011: 18-20.

收稿日期: 2019-02-26