

[UPS]

500 kV·A 飞轮储能UPS电源车运行性能研究

文/广州供电局有限公司电力试验研究院 张子翀 王红斌 覃煜

在突发电力应急抢修中，应急电源装备的可靠性和稳定性在很大程度上决定了恢复供电的质量和效率。目前电网抢修所用的应急电源装备尚无国家标准和行业标准，南方电网也缺乏相应的检测能力。通过研究，有望为应急电源装备技术标准、技术规范和运维作业指导的制定奠定基础，提高应急发电装备的管理水平，提升装备质量及其操作性和可靠性。

电力企业作为国家基础性能源产业，在国民经济和人民生活扮演着举足轻重的角色。近几年极端恶劣天气频发，在历次抢险救援和恢复供电过程中，均暴露出应急队伍抢险救援经验不足、应急装备质量不良以及缺乏基本的应急知识和处置技能等问题。广州作为国家中心城市，是全国供电负荷密度最大的城网之一，对电力供应的可靠性和安全性要求极高。由于覆盖区域广、气候地形复杂，南方电网经常受台风、暴雨和雷雨等恶劣天气灾害影响，具有很大的停电故障隐患。为保障居民用电和社会安全，抢修恢复用电的质量和效率都非常重要。

在突发灾害应急抢险过程中，应急电源装备的可靠性和稳定性对快速复电有极大的影响。目前电网抢修所用的应急电源车尚无国家标准和行业标准，南方电网也缺乏应急装备产品的检测能力；而且应急电源装备厂家众多、鱼龙混杂，产品质量参差不齐且门槛较低，亟待加强质量管控。本论文旨在研究典型应急电源装备——飞轮储能不间断电源系统（UPS）电源车的性能，通过研究有望为应急电源装备技术标准、技术规范和运维作业指导的制定奠定基础，提高应急电源

装备的管理水平，提升装备操作性和可靠性。

样品

本次研究了某公司于2009年交付的500 kV·A 飞轮储能UPS电源车的运行性能，经核查并与厂家确认未有铭牌，了解得知相关额定参数如表1所示。检测前，未发现被检样品有损伤。

表1 飞轮储能UPS电源车额定参数

参数	数值
额定视在功率/kV·A	500
额定有功功率/kW	400
额定输出相电压/V	230
额定频率/Hz	50

参考标准和性能参数

本次研究工作由我院委托工业和信息化部电子某研究所进行，并严格遵循国家标准GB 7260.1—2008《不间断电源设备第1-1部分：操作人员触及区使用的UPS的一般规定和安全要求》、国家标准GB 7260.3—2008《不间断电源设备(UPS)第3部分 确定性能的方法和试验要求》和《飞轮储能UPS供电系统技术协议》的要求开展。性能判断以技术协议为依据，当技术协议低于国家标准、行业标准或企业承诺时，以国家/行业标准或企业

基金项目：广州供电局有限公司电力试验研究院科技项目
《基于高可靠性的应急装备全生命周期关键技术研究与应用(GZHKJXM20170110)》

承诺中的较高要求作为性能判断依据。

研究的性能和参数包括电压调节性能、稳态输出频率、输出功率因数、输出电压谐波含量、输出电压瞬变恢复时间、电源转换效率、储能单元设备容量、飞轮切换时间、带三相不平衡负载性能、飞轮故障切换旁路性能和飞轮自启动性能。

结果与分析

1. 电压调节能力

试验研究了飞轮储能UPS电源车在稳态和瞬态下的输出电压变化范围。为研究稳态电压调节能力,设置UPS系统输出接三相平衡或非平衡负载并调节输入电压,测量结果如表2所示,其中输入电压列中括号内数值代表输入电压与额定输入值的百分比。结果表明在 $\pm 10\%$ 的额定输入电压扰动和平衡或非平衡负载下飞轮UPS满足输出电压扰动不大于额定值的 $\pm 2\%$ 的要求,输入电压扰动大于 $\pm 15\%$ 时飞轮切换至发电机组供电。为研究瞬态电压调节能力,设置UPS系统加载100%额定阻性负载,突加负载时三相电压和输出功率的时间变化特性如图1所示,为便于直观判断,在图1中标出了瞬态电压的上下限边界。

表2 飞轮储能UPS电源车在不同负载和输入电压时的输出电压

负载类型	输入电压/V	输出电压/V			输出电压扰动
		A	B	C	
平衡负载	230 (100%)	225.74	229.87	227.57	—
	207 (90%)	226.28	230.38	226.55	<2%
	253 (110%)	224.99	229.38	228.80	<2%
飞轮切换至发电机组供电					
非平衡负载	230 (100%)	223.79	233.08	225.91	—
	207 (90%)	224.54	234.79	226.35	<2%
	253 (110%)	222.66	232.53	224.73	<2%
飞轮切换至发电机组供电					

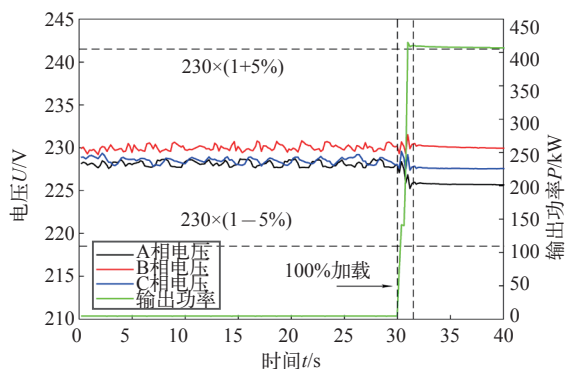


图1 突加负载时三相电压和输出功率的时间变化特性

2. 稳态输出频率、电压总谐波含量和功率因数

试验研究了额定交流电压输入且输出端接额定负载时的输出频率、功率因数和输出电压总谐波含量,设置飞轮UPS系统输出端分别接400 kW线性负载、500 kvar感性负载和500 kvar容性负载,试验结果如图2和表3所示。图2为不同种类负载下输出频率的时间变化特性,为便于直观判断标出了要求的频率上下限边界,从图2中可以看出在100%线性或非线性负载下,飞轮UPS系统输出频率均满足 $50\text{ Hz} \pm 0.2\%$ 要求。可见,飞轮储能UPS电源车在服役一段时间后,输出频率、功率因数和输出电压总谐波含量依然满足技术要求。

表3 飞轮储能UPS电源车的总谐波含量和功率因数

序号	输入电压/V	负载	输出电压总谐波含量 (%)			功率因数
			A	B	C	
1	230	400 kW线性负载	1.226	1.044	1.394	0.9989
2	230	500 kvar感性负载	1.708	1.746	1.698	—
3	230	500 kvar容性负载	1.214	1.252	1.046	—

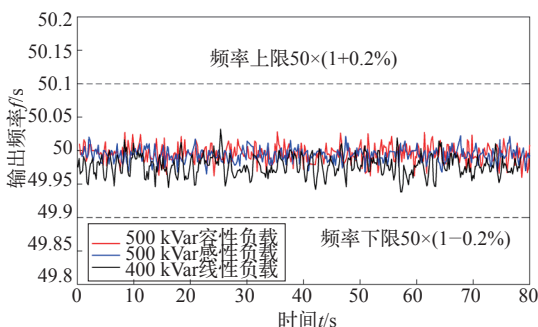


图2 不同负载下输出频率的时间变化特性

3. 输出电压瞬变恢复时间

试验研究了突加额定负载后输出电压稳定在稳态值 $\pm 1\%$ 范围需要的时间,使用示波器测量突加负载时输出电压电流波形如图3所示,CH-1黄色线代表输出电流、CH-2蓝色线代表输出电压。通过测量波形发现约40 ms后输出电压稳定在 $\pm 1\%$,满足输出电压在50 ms内稳定在 $\pm 1\%$ 的要求。可见,飞轮储能UPS电源车在服役一段时间后,输出电压瞬变恢复时间依然满足技术要求。

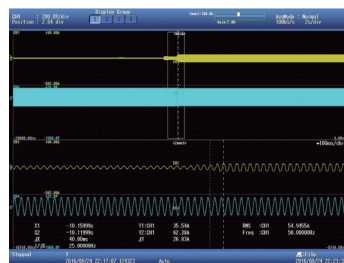


图3 突加负载时输出电压、电流波形

4. 电源转换效率

试验研究了飞轮储能UPS电源车的电源转换效率，设置输出端接额定阻性负载，测量输入功率及输出功率，两者之比为电源转换效率。试验结果如表4所示，电源转换效率为96.20%，不满足电源效率 $\geq 98\%$ 的要求。可见，飞轮储能UPS电源车在服役一段时间后，电源效率变差，不能满足技术要求。

表4 飞轮储能UPS电源车电源效率

输入有功功率 /kW	输出有功功率 /kW	转换效率 (%)
410.63	395.04	96.20

5. 储能单元设备容量

试验研究了飞轮储存能量供负载运行的时间，设置飞轮UPS正常方式运行超过规定的能量恢复时间以保证飞轮充分储能，然后输出端分别接入50%、25%额定线性负载并切断输入供电，测量在储能方式下运行到UPS停机的时间。测量得到25%负载下飞轮运行60.5 s，50%负载下飞轮运行30.2 s，由检测结果可计算得出飞轮储能UPS电源车储存的电量为 $100\text{ kW} \times 60\text{ s}$ ，即当有功负载为300 kW时，运行时间应能 $> 20\text{ s}$ ；当有功负载为400 kW时，运行时间应能 $> 15\text{ s}$ ，满足技术要求。

6. 飞轮切换时间

试验研究了飞轮储能UPS电源车在市电中断时切换备用电源（柴油发电车）供电的切换时间，设置飞轮系统分别带载 0 kW、50 kW、100 kW和150 kW稳定运行，切断市电供电并通过观察示波器波形测量备用柴油发电车起动并完全带载的时间，试验结果如表5所示。技术协议要求切换完成时间 $\leq 15\text{ s}$ ，经与厂家核实，飞轮切换时间是指从市电消失到发电机输出稳定电压的时间，建议厂家提供或检测各种飞轮储能UPS系统和柴油发电车的负载时间特性曲线，保证两者有效配合。

表5 飞轮储能UPS电源车切换时间

带载功率 /kW	切换完成时间/s	
	按发电车输出电压稳定	按发电车输出电流稳定
0	6.475	—
50	6.245	21.19
100	6.775	21.62
150	6.73	22.77

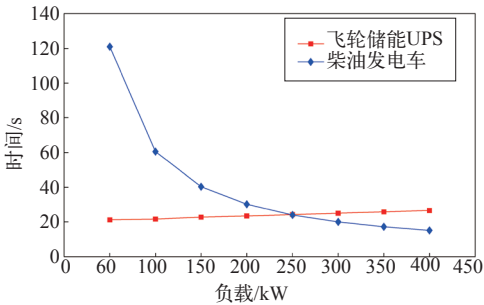


图4 飞轮储能UPS与柴油发电车带载时间特性曲线

7. 飞轮储能UPS电源车其他性能

研究了飞轮储能UPS电源车的其他性能，研究结果如表6所示。可以看出飞轮储能UPS电源车在服役一段时间后，其带三相不平衡负载性能，飞轮故障切换旁路性能和飞轮自起动机性能依然良好，能够满足技术要求。

表6 飞轮储能UPS电源车其他性能研究结果

性能	研究结果
带三相不平衡负载性能	三相不平衡带载能力范围为单相0~133 kW，满足技术要求
飞轮故障切换旁路性能	飞轮带负载从正常运行切换至旁路运行，飞轮储能UPS系统输出电压、电流波形无明显变化
飞轮自起动机性能	解锁飞轮将钥匙旋至在线运行，飞轮能够自启动

结束语

本文研究了典型电力应急电源装备——500 kV·A飞轮储能UPS电源车服役7年后的多项性能参数，得出了以下结论和建议：

- 1) 飞轮电源车服役7年后，电源转换效率已不能满足要求，需加强对电源效率的监测和提高稳定性，并且建议使用过程中不超出电源车的实际输出功率。
- 2) 飞轮电源车服役7年后，电压调节能力、稳态输出频率、输出电压总谐波含量、输出功率因数、输出电压瞬变恢复时间、储能单元设备容量、带三相不平衡负载性能、飞轮故障切换旁路性能和飞轮自起动机性能的稳定性较好，仍然满足技术要求。
- 3) 飞轮电源车由电网供电切换至备用柴油发电车供电，15 s内柴油发电车可以输出额定电压，但需要更长时间才能输出额定电流，即需要更长时间才能完全带载。为保证高质量保供电，建议详细掌握飞轮UPS和柴油发电车的带负载时间曲线，形成合理的配合方案，避免保供电期间出现间歇性的断电。同时建议在对较大的负载保供电时，保持柴油发电车的热备用，减少柴油发电车的起动时间。**EA**

（收稿日期：2018.09.16）

（编辑：朱金凤）