

[应急发电]

500 kW柴油机式电力应急发电车性能状态研究

文/广州供电局有限公司电力试验研究院 覃煜 顾春晖 张子翀
广州供电局有限公司变电管理三所 许孜博

在突发灾害电力应急抢修中，应急发电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车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，有望为应急发电装备技术标准、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，提升装备质量及其稳定性和可靠性。

电力企业作为国家基础能源产业，在国民经济和日常生活中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，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，应急发电装备的可靠性和稳定性对快速复电有极大的影响，如应急发电装备出现质量问题，将对应急抢修工作带来极大的隐患和不良影响。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；而且应急发电装备厂家众多、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。本文旨在研究典型应急发电装备——柴油机式电力应急发电车的性能，通过研究有望为应急发电装备技术标准、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，提升装备操作性和可靠性。

样品

本次研究基于某公司于2014年交付的500 kW柴油机式电力应急发电车的运行性能，该发电车已服役2年。被检发电车铭牌上的发电机组参数如表1所示。检测前，未发现被检发电车有损伤。

表1 被检发电车铭牌上的发电机组参数

参数	数值	参数	数值
型号	P660E5	额定转速/r/min	1 500
序列号	FGWRPES9KATM00395	允许/m 最高海拔	1 524
制造年份	2007	允许最高 环境温度/℃	27
备用额定 功率	650 kV·A，528 kW 0.80 cos φ)	交流 发电机 接头	星形
额定电压/V	400/230	防潮等级	IP23
相数	3	绝缘等级	H
额定频率/Hz	50	励磁电压/V	40
额定电流/A	953	励磁电流/A	2

参考标准和性能参数

本次研究工作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/T 20136—2006《内燃机电站通用试验方法》、行业标准

YD/T 502—2007《通信用柴油发电机组》及《500 kW柴油机车发电技术协议》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稳态电压偏差和稳态频率偏差、瞬态电压偏差和瞬态频率偏差及电压和频率恢复时间、三相相电压不平衡度、冷热态电压变化、相电压正弦波畸变率、不对称负载下的相电压偏差、绝缘电阻、抗电强度以及其他非电性能和参数,包括运行状态参数监测功能、故障告警和指示功能、起动性能、电压整定范围、自动保护功能、过载和短路保护功能、自

动起动自动加载、自动维持运行状态、自动卸载停机、自动补给功能、噪声、最长持续运行时间和相序排列。

结果与分析

1. 稳态电压、频率偏差

该项性能参数的研究步骤如下:起动并整定发电车在额定工况下稳定运行一段时间后减小负载至空载;从空载逐渐加载至额定负载的25%、50%、75%和100%,再将负载按此等级由100%逐级减至空载,且在每等级负载下运行一段时间;测试各等级负载下的三相相电压、频率和输出功率。图1为不同负载率下三相相电压、频率和输出功率的时间变化特性(稳态)。

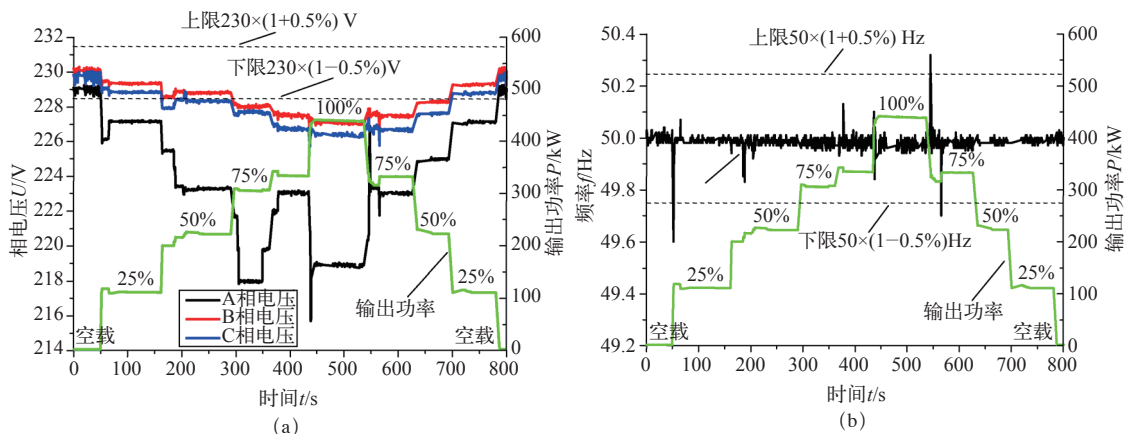


图1 不同负载率下三相相电压、频率和输出功率的时间变化特性(稳态)

为了便于直观判定稳态电压和稳态频率是否符合要求(稳态电压偏差应 $\leq \pm 0.5\%$,稳态频率偏差应 $\leq \pm 0.5\%$),在图1中有稳态电压和稳态频率的上下限边界线并标注了上下限值。从图1a可看出,空载情况下三相相电压基本都在稳态电压允许的偏差范围内变化;负载率越大,三相相电压与额定相电压相比下降越多,且越偏离稳态电压的下限,其中A相电压下降最明显。从图1b可看出,除个别时刻外,不同负载率下的稳态频率基本在稳态频率偏差范围内以额定频率为中心作上下微小变化。可见,发电车服役一段时间后,稳态输出电压值已不能满足要求,但电压频率的时间稳定性较好。

2. 瞬态电压、频率偏差和电压、频率恢复时间

该项性能参数的研究步骤如下:起动并整定发电车在额定工况下稳定运行,一段时间后突减至空载;突增负载至额定负载,待运行稳定后,

突减负载至空载;测试突增和突减负载时的三相相电压、频率和输出功率。图2为突减负载时三相相电压、频率和输出功率的时间变化特性(瞬态)。从图2a可看出,当负载从额定负载突减至空载时,三相相电压均出现“V”形突变,其最大下降值分别约为8 V、6 V和4 V,仍在允许的 $\pm 15\%$ 瞬态电压偏差范围内,电压恢复时间约为3 s,不满足 < 1 s的要求;从图2b可看出,当负载从额定负载突减至空载时,频率也出现“V”形突变,最大下降值约1.5 Hz,仍在允许的 $\pm 7\%$ 瞬态频率偏差范围内,频率恢复时间约为5 s,不满足 < 3 s的要求。类似研究表明,当负载从空载突增至额定负载时,三相相电压最大下降值均超出了允许的 $\pm 15\%$ 瞬态电压偏差范围,电压恢复时间也均不满足 < 1 s的要求;频率最大下降值仍在允许的 $\pm 7\%$ 瞬态频率偏差范围内,频率恢复时间约为5 s,也不满足 < 3 s的要求。可见,发电车服役一段时间后,瞬态输出电压值已不能满足要求,但

瞬态电压频率的时间稳定性较好，而电压和频率的瞬态恢复能力都变差。

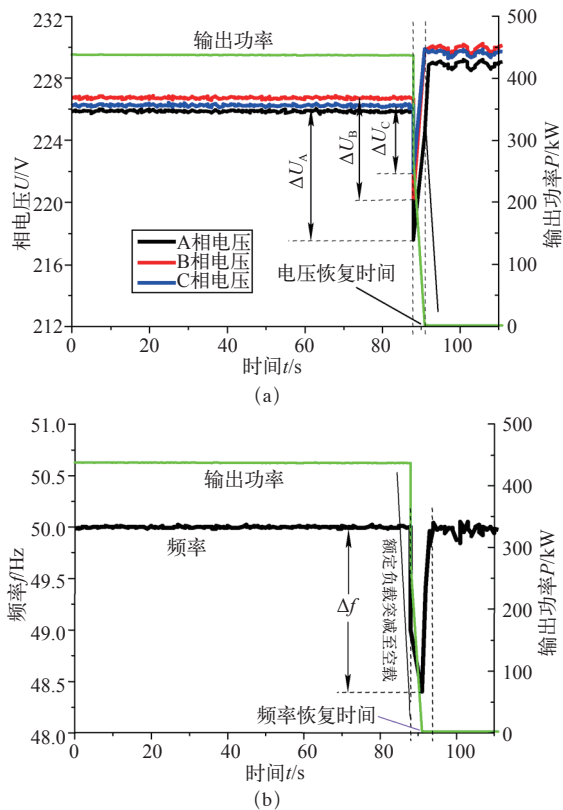


图2 突减负载时三相相电压、频率和输出功率的时间变化特性(瞬态)

3. 三相相电压不平衡度

该项性能参数的研究步骤如下：启动并整定发电车在额定工况下稳定运行，一段时间后减负载至空载，测试空载时的电压不平衡度。图3为空载稳定运行时三相相电压的时间变化特性，测试仪显示值如表2所示，其中三相相电压不平衡度为0.26%，满足空载时电压不平衡度应 $\leq 1\%$ 的要求。可见，发电车服役一段时间后，空载运行时三相相电压不平衡度的时间稳定性较好。

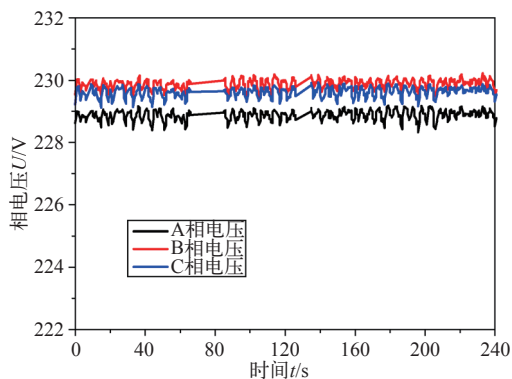


图3 空载稳定运行时三相相电压的时间变化特性

表2 空载时三相相电压及其相位差

相	相参数		序参数		电压不平衡度
	相电压 U/V	相位角(差) $\phi/^\circ$	序分量	电压 U/V	
A相	228.86	119.83 $(U_A - U_B)$ 240.08 $(U_A - U_C)$	正序分量	229.45	0.26%
B相	229.87		负序分量	0.59	
C相	229.63		零序分量	0.13	

4. 冷热态电压变化

该项性能参数的研究步骤如下：发电车处于冷态，启动并整定发电车在额定工况下稳定运行；运行稳定后记录输出功率、电压、电流、功率因数、频率和冷却发动机的出水温度；待其运行至热态时，同理记录上述参数。从冷态至热态的转变过程中，只允许调整负载以保持电流和功率因数不变。图4为从冷态(70℃)至热态(91℃)的转变过程中三相相电压和输出功率的时间变化特性。从图4中可看出，从冷态转为热态时三相输出功率均有所增大，而三相相电压均有所减小，但减小值均不超过2V，符合低于额定相电压的2%(4.6V)的要求。可见，发电车服役一段时间后，冷热态转变过程中电压的时间稳定性较好。

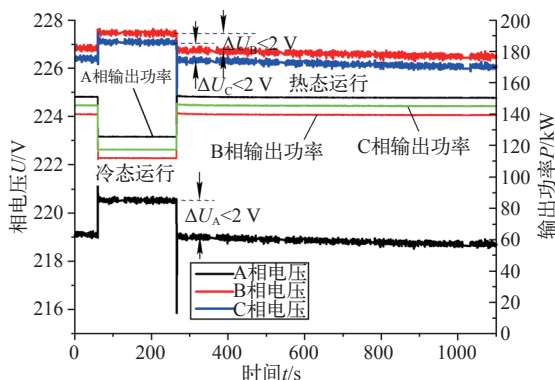


图4 从冷态(70℃)至热态(91℃)的转变过程中三相相电压和输出功率的时间变化特性

5. 相电压正弦波畸变率

该项性能参数的研究步骤如下：发电车处于冷态或热态，启动并整定发电车在额定工况下稳定运行；一段时间后减负载至空载并调整频率为额定值，测试三相相电压及其正弦波畸变率。图5为空载时三相相电压及其正弦波畸变率的时间变化特性。从图5中可看出，空载时三相相电压正弦波畸变率均在1.3上下波动，且B相畸变率最小，C相畸变率最大，但均符合空载时电压正弦波畸变率 $\leq 3\%$ 的要求。可见，发电车服役一段时间后，相电压正弦波畸变率的时间稳定性较好。

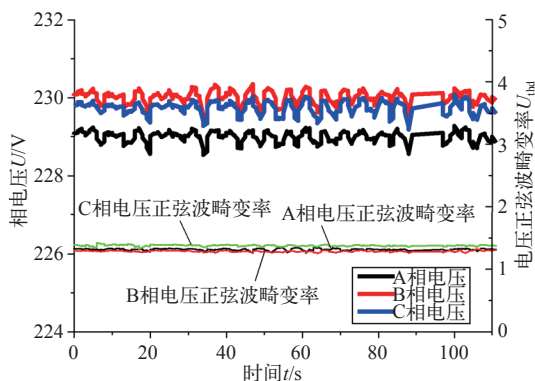


图5 空载时三三相电压及其正弦波畸变率的时间变化特性

6. 不对称负载下的相电压偏差

该项性能参数的研究步骤如下：发电车处于冷态或热态，起动并整定发电车在额定工况下稳定运行，一段时间后减负载至空载；在三相输出端口施加规定的对称负载，整定频率和功率因数为额定值，记录稳定时的有关参数；在任一相增加规定的阻性负载，但要求该相的总负载电流不超过额定值且电压、频率和功率因数不得整定，记录稳定时的有关参数。图6为增加规定的阻性负载前后三相相电压和输出功率的时间变化特性。研究表明，在A相增加25%额定阻性负载后，三相相电压不平衡度为2.08%，符合三相相电压不平衡度 $\leq 5\%$ 的要求。可见，发电车服役一段时间后，不对称负载下的相电压偏差的时间稳定性较好。

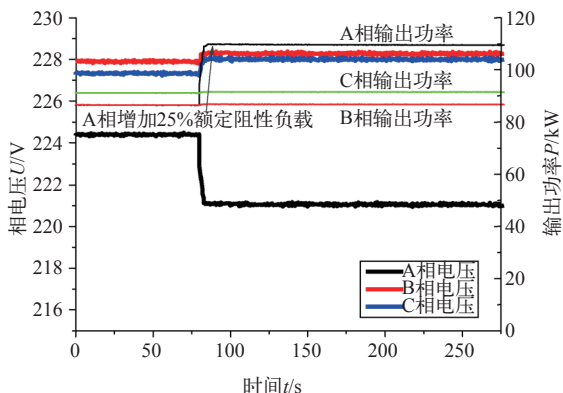


图6 增加规定的阻性负载前后三相相电压和输出功率的时间变化特性

7. 绝缘电阻

利用绝缘电阻测试仪试验研究了发电车机组不同端口对地的绝缘电阻，测得的绝缘电阻均满足要求。可见，发电车服役一段时间后，不同端口对地的绝缘性能的时间稳定性较好。

8. 抗电强度

利用耐压测试仪试验研究了发电车机组不同端口对地的抗电强度，电车服役一段时间后，个别端口对地的抗电强度变差，应加强监测。

9. 其他非电性能和参数

研究了500 kW柴油机式电力应急发电车的其他非电性能和参数。根据第3部分的标准或协议，发现发电车尚缺乏一些重要功能，如不具有监测逆功率、同步表、电压差和频率差等运行状态参数的功能，不具备过电流、充电故障的保护性能及故障告警和指示功能，不具备皮带断裂的保护功能，不具备过载保护、限功率运行的功能等。这些重要功能的缺失及其服役期间的退化都会影响电力应急抢修的质量和效率，因此在入网质检和运维中都应加强对重要功能的检测和管理。

结束语

本文参考国家标准 GB/T 20136—2006《内燃机电站通用试验方法》、行业标准 YD/T 502—2007《通信用柴油发电机组》及《500 kW柴油机式发电车技术协议》系统，研究了典型应急发电装备——500 kW柴油机式电力应急发电车服役两年后的多项性能参数，得出了以下结论和建议：

1) 发电车服役2年后，稳态输出电压值、瞬态输出电压值、电压和频率的瞬态恢复能力和个别端口对地的抗电强度已不能满足要求，需加强相关参数的监测和提高它们的稳定性。

2) 发电车服役2年后，稳态电压频率、瞬态电压频率、空载运行时三相电压不平衡度、冷热态转变过程中电压、相电压正弦波畸变率、不对称负载下的相电压偏差以及不同端口对地的绝缘性能的稳定性较好。

3) 发电车尚缺乏一些重要功能，如不具有监测逆功率、同步表、电压差和频率差等运行状态参数的功能，不具备过电流、充电故障的保护性能、故障告警和指示功能，不具备皮带断裂的保护功能，不具备过载保护、限功率运行的功能等等，应加强在入网质检和运维中对这些重要功能的检测和管理以提高应急电源车的品质，提升电力应急抢修的质量和效率。EA

(收稿日期：2018.08.17)

(编辑：朱金凤)