

某核电厂应急柴油发电机转速波动原因分析及处理

任振耀, 陈晓勇, 张乐安, 刘怡君

(中核核电运行管理有限公司, 浙江 海盐 314300)

摘要: 应急柴油发电机作为核电厂的后备电源, 其安全可靠运行对厂内的核安全意义极其重大。调速系统是柴油发电机的重要配套装置, 良好的调速系统对应急电源的安全稳定运行有着重要意义。通过介绍某核电厂应急柴油发电机调速系统, 阐述在运行期间出现的转速波动案例, 旨在对核电应急柴油机运维、设计等方面起到经验反馈的作用。

关键词: 转速波动; 故障案例; 经验反馈

Cause analysis and treatment of speed fluctuation of emergency diesel generator in a nuclear power plant

REN Zhenyao, CHEN Xiaoyong, ZHANG Lean, LIU Yijun

(CNNC Nuclear Power Operations Management Co.,Ltd., Haiyan 314300, China)

Abstract: Emergency diesel generators are used as backup power sources for nuclear power plants. Its safe and reliable operation is of great significance to the nuclear safety in the plant. Speed regulation system is an important supporting device for diesel generators. Good speed regulation system is of great significance for the safe and stable operation of emergency power supply. This paper introduces the speed regulation system of the diesel generator, expounds the fault cases that occur during the operation, and aims to provide feedback on the operation and maintenance of nuclear power emergency diesel engine.

Key words: speed fluctuation; defect treatment; experience feedback

0 引言

某核电厂应急柴油发电机调速器分机械调速器和电气调速器, 机械调速器为美国WOODWARD公司生产的EGB-50P, 电气调速器为法国PIELSTICK公司生产的E19600。两个调速器配合使用, 采用“反向执行”方式。一种方式是在正常运行条件下, 柴油发电机的起动和运行过程都是由电气调速器调节, 电气调速器将信号发送给机械调速器的执行器部分进行进油量调节, 从而进行速度调节, 整个过程机械调速器

不参与速度调节, 只起到执行器功能。另一种方式在调试、试验过程中会用到, 柴油发电机起动是由操作人员手动打开机头侧的起动把手, 这种方式起动电气调速器不起作用, 完全由机械调速器调节, 操作人员通过调节机械调速器上的速度旋钮控制柴油机速度。

1 事件概述

某核电厂日常执行A列EDG低负荷性能试验期间, EDG在正常带载运行约12 min后, 突发转速异常波动。现场故障录波如图1所示。

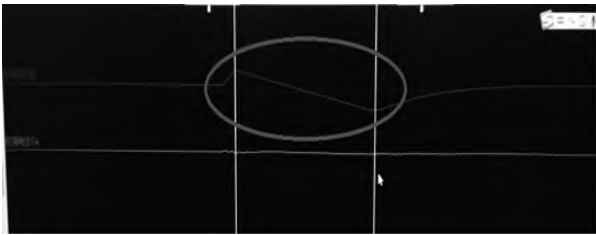


图 1 故障录波
Fig. 1 Fault recorder

结合事件记录仪各时间节点，绘制了转速波动示意图，如图2所示。节点过程描述见表1。

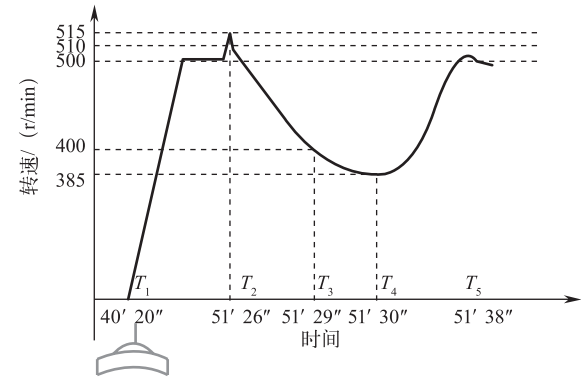


图 2 转速波动示意图
Fig. 2 Sketch of speed fluctuation

由于应急母线段负载全部失去供电，运行人员手动切回至001JA供电，随后运行人员中止试验，停运柴油发电机，判断其不可用。

正常情况下，实时速度频率信号被电磁传感器感知的交流信号在电子调速器内转换成与原动机转速成正比的直流电压信号，如图3所示。

表 1 节点过程描述 Tab. 1 Node process description			
时间节点	节点描述	持续时间	备注
T_2	转速突升至 515 r/min，随即立刻开始下降	毫秒级	
$T_2 \sim T_3$	转速下降至 400 r/min，励磁开关跳闸	3 s	400 r/min 为跳励磁开关速度定值
$T_3 \sim T_4$	转速下降至最低 386 r/min	1 s	
$T_4 \sim T_5$	转速探底开始回升最终稳定在 500 r/min	8 s	在此过程中，出口断路器 002JA 由于母线低电压延时 5 s 断开

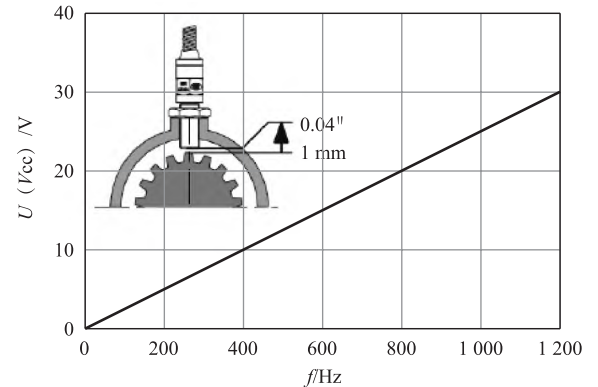


图 3 转速反馈原理
Fig. 3 Principle of speed feedback

转速设定电压和实际的转速电压在和点代数相加。通过和点值的不同，PID放大器向机调执行器输出一个增加或者减少燃油流量的电流信号，使柴油机加速或者减速，最终使其达到平衡。控制框图如图4所示。

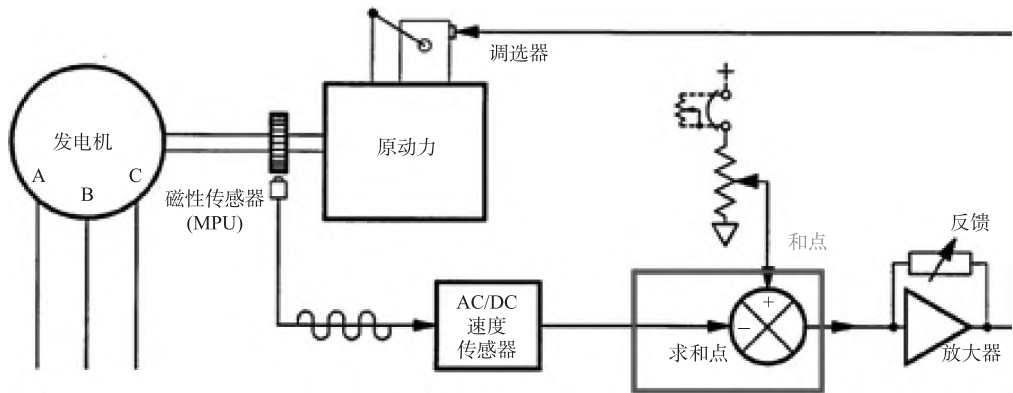


图 4 转速控制系统框图
Fig. 4 Structure of speed governor system

2 故障排查分析

通过柴油发电机组闭锁循环示意图,可逐步排除和定位引起本次突发转速异常波动的故障原因,如图5所示。

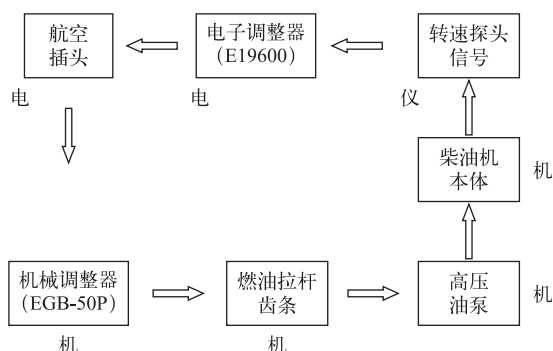


图5 闭锁循环图

Fig. 5 Atresia cycle diagram

2.1 电调程序输出电流紊乱

作为核心控制元器件的黑匣子电调输出的0~200 mA信号是反向执行原理。在调试期间,对其进行开出量传动试验,同时在电调输出回路中串入电流表以验证其输出电流、燃油尺条位置和装置开出值的关系,见表2。

表2 E19600 电调装置信号模拟量试验

Tab. 2 The simulate signal test of E19600 equipment

VALUE	输出电流 /mA	燃油尺条位置 /mm
0	174.5	0
100	146.12	10
200	116.99	20 (本此故障所对应的燃油位置)
300	88.71	30
400	59.62	40
420	53.86	42
500	31.35	50
600	2.223	60

装置输出电流和执行器输出转角、输出功率和燃油尺条位置的关系如图6、图7所示。

综上所述,输出电流越大,输出转角变小,油门开度减少,转速下降;反之亦然。若程序内部电流输出不稳定,如忽小忽大确实会导致该现象的发生。若程序故障,理论上应该是会复发的,但后续的多次试验并未出现,可排除此原因。

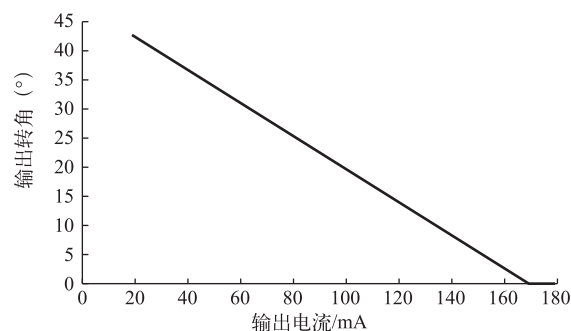


图6 输出电流与输出转角成反比

Fig. 6 The relation between the output current and the output angle

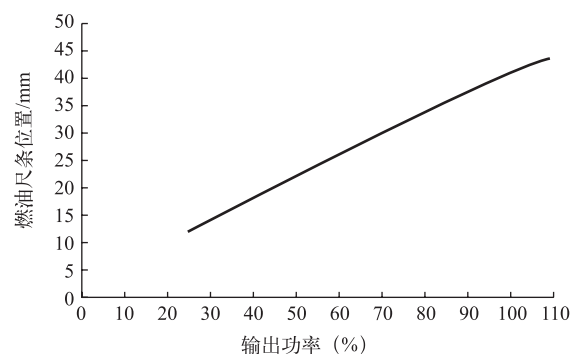


图7 输出功率与燃油尺条位置成正比

Fig. 7 The relation between the output power and the fuel rack

2.2 电调输出回路电磁干扰

现场试验期间,由于运行人员需要在相应功率平台上核对柴油发电机工艺系统参数,由于环境嘈杂,在配电间和就地侧的运行人员需要通过使用无线对讲机进行通信。在试验平台上(见图8),利用对讲机模拟电磁干扰无异常。现场回路中敷设有屏蔽层,因此基本不受其干扰,可排除此原因。



图8 模拟干扰试验

Fig. 8 Simulated interference test

2.3 机调、油门拉杆和高压油泵零部件短暂性卡阻

经机械专业人员逐项排查，未发现异常情况，基本可排除机械零部件卡阻或松动原因。

2.4 电调输出回路异常

试验台架下，直接拔掉输出插头，即无电流输出的工况。此时柴油发电机瞬间会自动切换至液压模式运行，即由EGB-50P机械液压调速器设定的515 r/min控制调节柴油发电机速度，该模式是柴油发电机速度控制的后备保证，当插头恢复后，转速瞬间突变至电调设定参数500 r/min，而非缓慢变化，如图9所示。

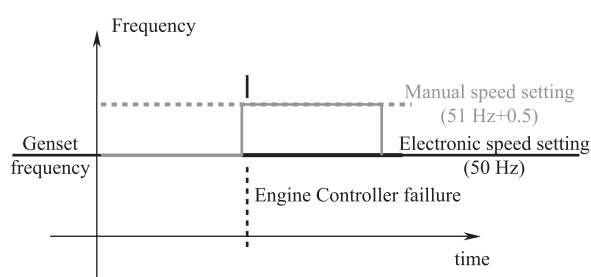


图9 Hydraulic模式下柴油发电机运行曲线

Fig. 9 Operation curve of diesel generator in Hydraulic mode

此外，输出回路接触不良导致电流先减小后增大或者来回波动的情况，所表现出来的现象是先加油增速而后恢复正常转速或者频繁波动的过程。理论上，电流在恢复过程中不会超过正常输出电流值，进而不会使转速大幅降低。通过试验平台对输出回路异常情况进行了验证，符合以上分析过程。模拟输出回路异常如图10所示。



图10 模拟输出回路异常

Fig. 10 Analog output circuit anomaly

台架试验仅带模拟器无真实油泵回路，因此电流在由小变大恢复至正常值的过程中，由于油门、油泵等系统环节的存在，其转速会有下降突变的惯性趋势。因此，输出回路接触不良是导致

本次转速波动的因素。

2.5 转速探头输入回路异常

调试阶段，曾在线模拟探头失效的极端情况，在额定转速下突然拔掉探头，转速立即变成机调控制的515 r/min。此外，在转速过程量变化期间，当探头因感应的柴油发电机本体齿轮局部存在临时油污或者速度反馈输入端子松动时，会使电磁感应效果间隙性失效，导致转速反馈和设定值出现偏差。假设机组维持在500 r/min转速运行，突然探头失效，转速立即切换至由机调控制为515 r/min，随后探头反馈逐渐恢复正常，但误反馈值为550 r/min，此时调速系统立即响应减小油门，实际从初始值515 r/min开始降低转速直到反馈正常。在平台离线试验台架上，通过分别模拟端子松动和频率发生器突变调节，同时对电调电流输出进行监测，其电流变化趋势基本与现场转速变化情况一致。因此，探头反馈回路异常也是导致本次转速异常波动的因素。

后续在机电仪相关专业充分对其系统进行检查和回路紧固，并进行了多次起动和运行试验，不再出现此故障现象。

3 后续行动

- 1) 增加对电调输入和输出反馈回路端子排紧固预维项目。
- 2) 增加开端盖齿轮清扫去污项目。
- 3) 将E19600控制器内部的“转速探头失效报警”节点接入光窗和故障录波器中，从而监测传感器采集的速度信号。软件程序配置如图11所示。



图11 软件程序配置

Fig. 11 Software program configuration

4) 成立专项组立项,对机调返厂进行解体检查,内部可能存在杂质或机械部件损坏。对电调返厂进行在线模拟检测,并跟厂家沟通开启查看权限。

5) 调研秦核三厂、大亚湾核电站,将调速装置(机调和电调)的预维周期统一和延长至4C,特别对机调EGB-50P的频繁解体试验,也是近年柴油发电机因调速器问题而导致试验不成功的因素之一。

综上所述,适当增加和减少相关PM项目,同时实施技改,将有参考价值的模拟量和开关量接入故障录波器装置中,能有效预防和分析处理突发事件、偶发事件,并提供极大的帮助。

4 结束语

针对在实践运行期间发生的该起少见但必须引起重视的故障,通过事件的原因排查、分析和故障处理,就存在的问题给出合理优化和可行性改进措施,对无预防性检查项目的设备进行了分析评估,完善、优化人机管理程序,并经论证确保能有效提升EDG运行的可靠性,所积累的宝贵经验和良好实践对于核电同行运维人员故障诊断处理和优化有很强的借鉴和参考意义。

参考文献

- [1] 费圣英. 电力系统继电保护原理与实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 史佳俊. 核电厂应急柴油发电机组调速系统特性研究与应用实践[J]. 电子技术与软件工程, 2017(3): 149.
- [3] 朱伟儒. 秦山第二核电厂柴油发电机组定期试验监督[J]. 核安全, 2007(2): 30-33.
- [4] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答[M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [5] 盛龙, 王志坚. 核电厂低压配电系统接地故障保护的设计与研究[J]. 电气应用, 2022, 41(11): 55-61.
- [6] 山江川, 刘怡君, 陈晓勇, 等. 基于马尔可夫链的核电站二次保护测控风险分析[J]. 电气应用, 2022, 41(4): 14-18.

作者简介

任振耀(2000—), 男, 助理工程师, 主要从事应急柴油发电机系统, 中压控制系统运维工作。

(收稿日期: 2022-12-16)