

Differences Analysis and Improvement Direction of EDG Test Projects for Nuclear Power Units

Xiangheng Tang

China General Nuclear Operations and Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518124, China

Abstract

The EDG of the second-generation and its improved PWR nuclear power plants in China are designed according to the French standard RCC-E. However, there are some deficiencies in the regular inspection and test projects, such as the lack of load-continuous operation, hot start, and load-dump tests, which makes it difficult to fully verify the ability of EDG to perform their designated safety functions. This thesis provides a detailed analysis of the periodic inspection and testing the relevant requirements of NB/T 20485—2018RK standard for EDGs. It also conducts a comparative analysis of the periodic inspection and testing requirements of the two standards, and proposes improvement directions and suggestions, providing important reference for the improvement of relevant periodic inspection and testing in nuclear power plants.

Keywords

nuclear power plant; emergency diesel generator units (EDG); periodic test; differences analysis

核能机组 EDG 试验项目差异性分析及改进

唐相恒

中广核运营管理有限责任公司, 中国·广东 深圳 518124

摘要

中国二代及其改进型压水堆核电厂应急柴油发电机组(EDG)采用法国标准RCC-E标准进行设计,在运行定期试验项目上设置不完整,未开展负载持续运行、热启动、甩负载等系统运行试验,难以全面验证EDG在事故工况执行其预定安全功能的能力;论文详细分析NB/T 20485—2018RK标准对应急柴油发电机组定期试验的相关要求,并对两种标准规范的定期试验开展差异性分析,提出改进方向和建议,为核电厂的相关定期试验改进提供了重要参考。

关键词

核电厂; 应急柴油发电机组; 定期试验; 差异性分析

1 引语

能动核电厂一般以应急柴油发电机组(简称EDG)作为应急动力源,每台机组配置至少2台相互独立的应急柴油发电机组;当核电厂失去厂外电源或者触发安注/安喷信号时,应急柴油发电机组快速启动并在设计要求时间内达到规定的频率值和电压值,按照事先设定的带载逻辑给相关安全系统设备供电。论文通过浅析国际及国内应急柴油发电机规范标准演变历程,深入分析中国能动核电厂的应急柴油机运行试验项目的现状,对照规范标准剖析目前EDG试验项目存在的问题,提出对策建议及展望。

2 EDG 设计及运行管理要求

2.1 EDG 系统简介

【作者简介】唐相恒(1981-),男,中国湖北孝感人,本科,工程师,从事核电运行研究。

根据NB/T 20485—2018RK《核电厂应急柴油发电机组设计和试验要求》,EDG设计由柴油机、与柴油机连接的发电机及与其相关的机械、电气辅助系统、控制核保护系统、监测系统组织一个独立的交流电源^[1]。

2.2 EDG 系统配置

能动核电厂为每个安全系列配备独立的应急柴油发电机组;福岛核事故后,各电厂根据《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求(试行)》中在每个厂址设置1台中压移动柴油发电机组和1台低压移动柴油发电机组的要求配备了移动电源,以应对极端情况下全部交流电源丧失的情况。美国核监管委员会(NRC)针对极端情况下全部交流电源丧失的情况制定了灵活多样的处理策略,将核电厂的响应分为三个阶段:

- ①使用核电厂固定设备进行初始应对;
- ②使用场内移动设备以维持安全功能;
- ③从场外设备无限期获取额外的能力。

3 EDG 试验法规标准差异性分析

3.1 EDG 设计标准体系

关于应急柴油发电机组定期试验的国际标准主要有 KTA 3702（核电厂应急供电装置用柴油发电机组）、RCC-E（压水堆核电厂核岛电气设备设计和建造规则）和 IEEE 387（核电厂备用电源用柴油发电机组准则）。美国 IEEE 387 标准是目前执行应急柴油发电机组试验最具参考意义的标准规范。

中国关于应急柴油机定期试验的标准规范及管理要求有：HAF102—2016《核动力厂设计安全规定》对应急动力源容量、可用性、运行时间、设计基准提出原则性要求；HAD102/13—2021《核动力厂电力系统设计》对应急动力源安全功能、基本配置原则、连续带载能力、定期试验、短时额定功率验证、电源切换方式等做出规定；NB/T 20485—2018RK《应急柴油发电机组设计和试验要求》由 IEEE387-1995 转化，规定了 EDG 设计、初始鉴定试验、现场验收试验、预运行试验和定期试验的具体要求；NB/T 20066—2012《核电厂应对全厂断电设计准则》对 EDG 应对全厂断电的能力及可靠度进行规定，如图 1 所示。

3.2 M310 及其改进型核电厂 EDG 试验项目要求

M310 及其改进型二代压水堆核电厂 EDG 采用法国 RCCE 规范标准进行设计和运维，开展日常运行试验，确保满足全部交流电源丧失的初始阶段的有效响应。

RCC-E 运行定期试验项目的设置：一是每两个月进行一次低功率试验，由主控制室进行手动启动控制，EDG 通过应急母线带低负荷运行至少 1h 以上，同时对“应急母线

失电”“安注工况”及“安全壳喷淋”等事故加卸载信号进行模拟试验，目的是保证 EDG 的 1E 级信号的可用性可以验证；低负荷试验期间仅投入 EDG 超速保护和低电压保护，试验过程中存在较大的设备损坏的风险。二是在每次反应堆停堆换料期间进行一次满负荷试验，将应急柴油发电机组接入电网，带满负荷运行一定时间，目的是检测柴油发电机组的加载能力和满负荷下的运行性能^[2]。目前通过优化采用在机组正常/大修运行期间使用移动负载进行并网带载试验方法，很好解决了并网试验可能引入的应急母线失电的风险和隐患。

3.3 EDG 试验存在的问题

目前对于 EDG 柴油机的试验项目设置存在如下问题：一是上游规范标准来源不同，各核电厂使用的规范不统一，部分电厂试验项目设置不合理，如某型压水堆未开展负载持续运行、热启动、甩负载等系统运行试验；二是使用的应急柴油发电机供货商不同，受运行文件要求和系统设计所限，存在缺少试验项目或试验无法实施的情况；三是现有的应急柴油机试验项目，如频繁的快启动，将导致 EDG 加速老化及可靠性降低。

4 NB/T 20485—2018RK 标准下 EDG 试验要求

NB/T 20485—2018RK 明确规定，EDG 需在电厂整个寿期内保持实施安全相关功能的能力，验证在所有预期的环境条件（包括设计基准事件）下机组的功能特性满足标准要求。该标准下 EDG 试验项目清单见图 2。



图 1 EDG 试验规范标准体系



图 2 EDG 设计和试验要求

上述试验项目中,初始鉴定试验和现场调试试验主要是针对 EDG 出厂验收及安装调试过程,论文不做过多介绍;定期试验是针对 EDG 在役期间,验证 EDG 机组持续执行期安全功能的能力和可用性,是核电厂需要重点关注的试验项目^[1]。

4.1 可用性试验

按照 B/T 20485—2018RK 标准,可用性试验是证明 EDG 具有启动和接受负载的持续能力,每台柴油发电机组每月应至少进行一次启动和加载试验(慢启动和带负载运转试验);每6个月应至少进行一次快启动和带负载运转试验。其中慢启动试验是证明 EDG 从备用状态下启动的能力,并验证达到了要求的设计电压和频率;快启动试验验证 EDG 电压和频率能按技术规格书的要求在可接受的时间(M310 机组为 10s)内达到可接受的限值内。快启动试验可以替代慢启动试验。

4.2 系统运行试验

按照 B/T 20485—2018RK 标准,EDG 系统运行试验包括:失去厂外电源(LOOP)试验、安注信号(SIAS)试验、SIAS 和 LOOP 联合试验、负载持续性试验、甩最大负载试验、甩设计负载试验、热启动试验、同步试验等项目;上述试验均在换料大修期间执行,可以结合起来进行而不必单独进行。

失去厂外电源(LOOP)、安全注射执行信号(SIAS)试验及 SIAS/LOOP 联合试验,通过模拟失去厂外电源或接收到安全注射执行信号后,应急母线断电并卸掉负载;并能从备用条件下有自启动信号启动,电压和频率能按要求的可接受的时间内达到可接受的限值内,按程序带上相应的事故障负载并至少运行 5min。

负载持续性试验目的是证明柴油发电机具有带负载运转不少于 8h 的能力;试验期间柴油发电机组按照预先设计的程序和步骤进行负载加卸载,确保优先的安全应急设施有序可靠地投入运行,避免 EDG 的电压和频率满足规范要求。

甩负荷试验是验证 EDG 甩掉设计负载 90%~100% 负载时,不会引起 EDG 因超速或过电压保护动作而脱扣,不会导致 EDG 设备或相关部件损坏。甩负载试验包括甩最大负载试验和甩设计负载试验。每个换料周期执行甩负荷试验顺序为:先是负载持续性试验,再执行甩最大负载试验,最后执行甩设计负载试验;每个换料大修执行一次。

热启动试验,通过验证 EDG 能由手动或自启动信号启动,其电压和频率能按要求在可接受的时间内达到可接受的限值并至少运行 5min,以证明 EDG 在满载运行的温度条件下实现热启动功能的能力。

同步试验,证明当应急负载连接到柴油发电机是,机组与厂外电源同步,能把应急负载转到厂外电源。

试验模式中止试验,证明当 EDG 连接到应急母线上处于自动试验模式下运行时,模拟的安注信号能中止试验模式。

4.3 独立性验证试验

按照 B/T 20485—2018RK 标准,独立性验证试验是通过同时启动并运转冗余的应急柴油发电机组,验证柴油发电机组的启动独立性没有受到影响,同时验证柴油发电机组可

以在规定的时间内达到要求的转速,排查可能存在的共模故障,这种故障模式在单台柴油机试验时不易发现;该验证试验在核电厂 10 年换料停堆期间执行。

4.4 EDG 定期试验项目差异性分析

NB/T 20485—2018RK 和 RCC-E 两种标准规范的定期试验项目对比,详见表 1。

表 1 两种标准规范的定期试验项目

	试验项目	月度	6 个月	停堆 换料	十年
NB/T 20485— 2018RK (IEEE387)	慢启动试验	√			
	带载试验	√			
	快速启动试验		√		
	失去厂外电源试验			√	
	安全注入执行信号试验			√	
	安注与失去厂外电信号 叠加试验			√	
	甩最大负载试验			√	
	甩设计负载试验			√	
	负载持续性试验			√	
	热启动试验			√	
	同步试验			√	
	保护跳闸旁路试验			√	
	试验模式终止试验			√	
独立性试验				√	
RCC	应急柴油发电机组低功 率试验(快启动低负荷)	√			
	应急柴油发电机组满功 率试验			√	

5 结语

当前,采用 M310 及其改进型压水堆技术路线的核电机组,均采用了 RCC-E 标准开展 EDG 功率运行期间的低功率试验;随着运行时间的增加,EDG 异常事件多发,尤其是气缸套磨损的共性问题,调速器、继电器、柴油机主机零部件、泵、阀门和监测装置等零部件故障率较高;而采用 B/T 20485—2018RK 标准执行的定期试验,执行每月一次的慢启动和带负载试验,大幅减少频繁快启动导致的 EDG 老化及可靠性下降问题;M310 及其改进型压水堆核电机组需参考国标要求,优化 EDG 可用性试验的启动方式,将 EDG 以怠速启动的方式开展月度试验,以改善 EDG 性能。同时按照 NB/T 20485—2018RK 要求,结合自身应急柴油发电机组设计特性,补充和优化定期试验项目,全面验证 EDG 应对设计工况和持续运行的能力。

参考文献

[1] RCC-E.核岛电气设备设计和建造规则[S].2005.
 [2] 胡彪.核电厂柴油发电机逻辑试验后开展满功率功率试验的可行性[J].电工技术,2021(19):159-161.
 [3] 陈兴江,谢坚,王学灵.方家山核电厂应急柴油发电机定期试验方法修改[J].中国核科学技术进展报告,2015(4):106-111.