

Extensive Damage Mitigation Guidelines

Shisong Wang

Daya Bay Nuclear Power Operations And Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

Accident management is an important component of the deep defense of nuclear power plants. At present, the CPR1000 unit adopts the state oriented accident procedure (SOP) to deal with design basis accidents and prevent certain accidents from developing into serious accidents beyond the design basis. The Serious Accident Management Guidelines (SAMG) are used to mitigate the consequences of serious accidents. However, in more extreme situations (such as long-term loss of AC/DC power supply, extensive damage or unavailability of fixed key equipment in the plant, etc.), the Serious Accident Management Guidelines (SAMG) cannot effectively diagnose the status of the unit and the progress of accident development. Therefore, the Extensive Damage Mitigation Guidelines (EDMG) for Nuclear Power Plants are introduced for control and mitigation in extreme situations.

Keywords

Extensive Damage Mitigation Guidelines; Relaxation; Control; Guidelines

大范围损伤缓解导则的应用

王世松

大亚湾核电运行管理有限责任公司, 中国·广东深圳 518000

摘要

事故管理是核电厂纵深防御的重要组成部分。目前CPR1000机组采用状态导向法事故规程(SOP)应对设计基准事故和预防某些超设计基准事故发展为严重事故,运用严重事故管理导则(SAMG)应对严重事故缓解事故后果。但在较为极端的情形下(如长期丧失交直流电源、厂内大面积的固定关键设备损坏或不可用等),严重事故管理导则(SAMG)无法有效地诊断机组的状态和事故发展的进程,故引入核电厂大范围损伤缓解导则(EDMG),用于对极端情况下的控制和缓解。

关键词

EDMG; 缓解; 控制; 导则

1 背景

《核电厂大范围损伤缓解导则编制和实施(2020)》中给出了大范围损伤状态的定义:电厂在极端灾害、长期丧失交直流电源、恐怖活动威胁下可能发生核电厂大规模应急响应设施及关键岗位人员丧失的极端情景。较为极端且包络的情景可能是:长期丧失交直流电源、机组失去监控功能、应急响应组织不能有效运作、厂内大面积的固定关键设备损坏或不可用、大面积关键厂房损伤等。

在这种极端的核电厂大范围损伤情景下,迫于核电厂控制命令相关系统的丧失、反应堆状态监测系统的失效、电源的丧失或设备的损坏等原因,核电厂现有的应急运行规程或严重事故管理导则(SAMG)等均无法有效地诊断机组的状态和事故发展的进程,无法制定或实施事故缓解的策略。核电厂大范围损伤缓解导则(EDMG: Extensive Damage

Mitigation Guidelines,以下简称“EDMG”)即定位于上述现有应急运行规程或SAMG无法覆盖的情景,制定相应的应急控制命令功能恢复方法、机组诊断方法及事故缓解措施。即在此大范围损伤工况下,根据核电厂应急组织的决策,由目前正在执行的规程(应急运行规程或SAMG等)转入执行EDMG;待应急响应组织运作且能对核电厂进行有效监测控制后,根据核电厂应急组织的决策,退出EDMG并转入与核电厂状态相符的应急运行规程或SAMG。

国家核安全局在《核动力厂严重事故管理》中要求,事故管理的范围应该考虑由火灾、水淹、地震和极端气象条件造成的大范围破坏。作为大亚湾基地电站项目组,负责开发并出版EDMG程序,用于在大亚湾基地核电厂内出现大范围损伤情况下的应急响应。

2 EDMG完善了严重事故情况下的纵深防御能力,解决了大范围损伤工况下的机组控制难点

目前核电厂都运用SOP应对设计基准事故和预防某些超设计基准事故发展为严重事故,一旦发生严重事故运用全

【作者简介】王世松(1980-),男,中国山东蓬莱人,硕士,工程师,从事核安全研究。

范围 SAMG 缓解事故后果。核电厂大范围损伤工况属于从设计上要实际消除的极端工况，发生概率极低，但后果极端严重。在核电厂大范围损伤工况下，假设极端外部自然灾害或人为破坏事件导致核电厂丧失所有动力、仪控、照明等交流和直流电源而进入全厂漆黑状态，执行 SOP 与 SAMG 依赖的状态监督和入口定值等仪控参数不可用，导致 SOP 和 SAMG 不可用，电厂的事故管理功能失效，由于没有有效的应对程序以及失去联系，对于机组的控制失去指引。

开发大范围损伤缓解导则(EDMG)应对这类极端工况，完善纵深防御系统及事故响应体系(图1)，该程序在极度紧急的情况下，指引使用场内移动设施和场外应急救援资源来执行 EDMG 的应急缓解行动，降低堆熔概率^[1]。

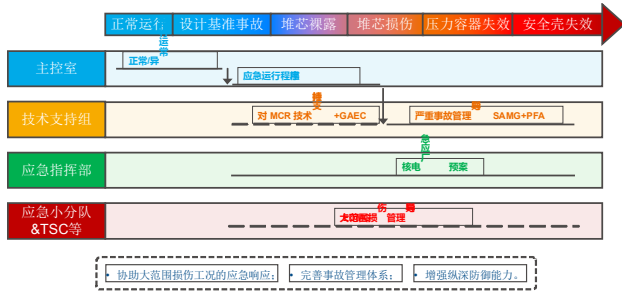


图1 事故响应体系

3 EDMG 初始响应的作用

3.1 EDMG 指引应急组织快速建立，明确指挥线

考虑到在大范围损伤工况下可能由于自然灾害、火灾爆炸、恐怖袭击等各种原因导致应急组织人员不能及时到岗。为了机组状态的受控稳定，需要在第一时间建立“临时”的应急组织，其具有有限的操作权限执行最紧要的操作，同时与外部建立联系，在应急组织 EDMG 专家到岗前收集机组关键参数。这种“临时”的应急组织叫作“应急小分队”，把应急小分队的最高决策者称为“应急小分队总指挥”。

由于失去外部支持，即失去的外部指挥和支持力量，根据《大范围损伤缓解导则》的引导，电厂内部人员可以快速有效地建立明确的应急组织和指挥线，尽快的对事故机组进行控制。

3.2 EDMG 指引场内、场外通讯恢复，保证有效的通讯功能

场内、场外通讯恢复导则的目的是保证“应急小分队总指挥”与 TSC 之间通讯畅通，适用于大范围损伤情况下核电厂场内、外通讯损坏的情况下使用。本导则供 EDMG 的主要执行者应急小分队中的通讯助理和现场操作员使用，同时进行检查通讯设施情况。

针对电厂通讯丧失的情况下，导则指引如何建立和使用应急通讯设备，保证主控室与现场之间的通讯联系、电厂内部与电厂外部支持力量的通讯恢复，确保有效的通讯功能^[2]。

3.3 初始响应动作降低堆芯损坏的可能性

初始响应动作导则目的是通过最接近现场的人员在事

故早期执行几步关键的操作，将堆芯损坏可能性降到最低以延长堆芯损坏时间，在有限的资源及人员的基础上，所执行的操作限于对机组进行最小机组控制策略，以保证机组能够在较长时间的安全运行。

导则明确此工况下的核心控制内容：降低堆芯损伤的可能性。导则使用标准指令，电厂人员在短时间内完成停堆操作、启动应急辅助设施、准备临时电源/补水等设施，以延长堆芯损坏时间，相关重要参数在程序的指引及控制下，得到有效缓解^[3]。

4 事故缓解导向导则对机组的控制影响

事故缓解导向导则主要用于诊断大范围损伤事故期间电站状况，并选择适当的导则予以控制机组。

主要用于控制核电厂最重要的三个目标：堆芯余热导出；三道屏障的完整性；放射性物质的包容。防止对机组及公众造成影响。

4.1 向蒸汽发生器注水

导则指引控制蒸汽发生器(SG)的水位和压力在短时间内恢复正常要求值，为反应堆冷却剂系统提供一个热阱，通过 SG 降压降低一回路压力，防止蒸汽发生器传热管蠕变断裂及清洗通过传热管破口进入蒸汽发生器的裂变产物，向辅助给水箱补水以满足二次侧长期补水的水源要求。

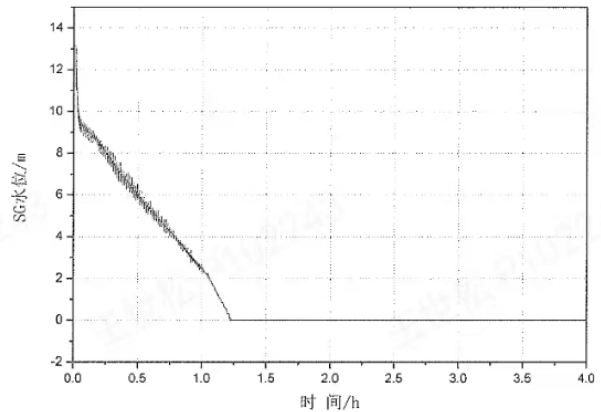


图2 蒸汽发生器水位

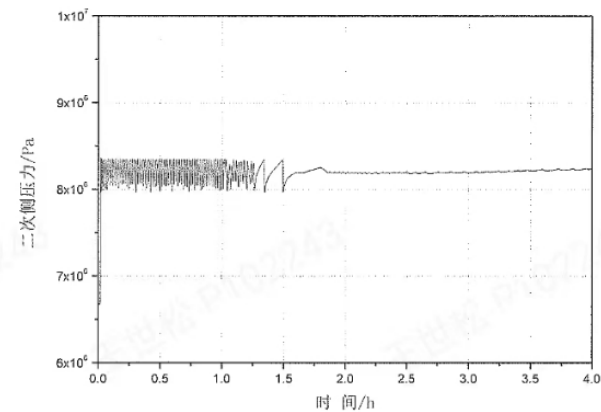


图3 蒸汽发生器压力

通过导则控制指引，在短时间内使蒸汽发生器水位（图2）及压力（图3）趋于正常要求的平稳值，避免出现导致蒸汽发生器不可用的情况，影响冷却功能，保证堆芯的余热排出功能。

4.2 向反应堆冷却剂系统注水

导则指引控制反应堆冷却剂系统的注水能力，当堆芯裸露时排出堆芯热量，以便与蒸汽发生器一起建立一条传热路径。

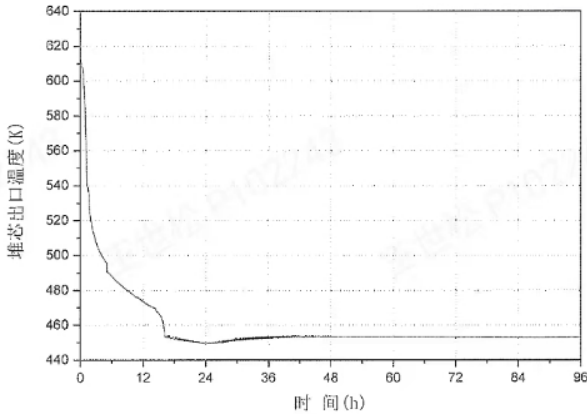


图4 堆芯出口温度

通过导则控制指引，在短时间内使稳压器水位（反应堆冷却剂系统）水位趋于正常要求的平稳值，并控制堆芯出口温度（图4）低于饱和温度值，避免堆芯裸露导致一回路过烧干，冷却剂流失，引发放射性物质外泄，保证屏障功能。

4.3 安全壳压力控制

导则指引控制安全壳压力，防止安全壳压力过高，超压失效破坏安全壳的完整性。

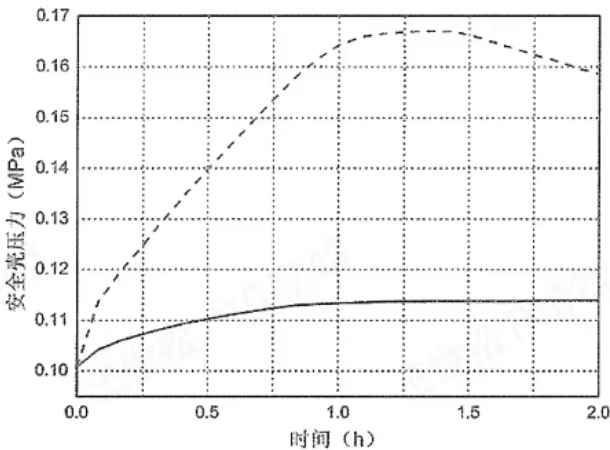


图5 安全壳压力响应（短期）

通过导则控制指引，在短时间内使安全壳压力（第三

道屏障）压力（图5）趋于平稳值，避免超出安全壳压力设计值，破坏安全壳的完整性，保证屏障功能。

4.4 向安全壳注水

导则指引向安全壳注水，当建立堆芯冷却对策都无效时，向安全壳注水是建立堆芯材料冷却的一个长期对策，为冷却反应堆堆腔内的堆芯熔融物提供冷却水；提供可淹没堆芯碎片的水使裂变产物得到清洗，减少安全壳内裂变产物总量^[4]。

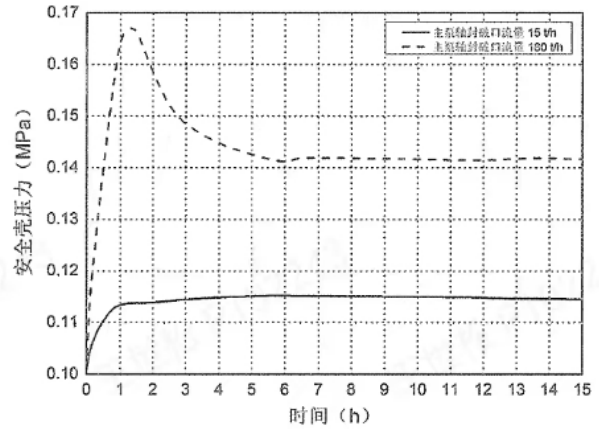


图6 安全壳压力响应（长期）

通过导则控制指引，在通过冷却控压的方式，使安全壳压力（第三道屏障）压力（图6）长期维持稳定，防止放射性物质释放。

5 EDMG 的应用总结

在大范围损伤事故的前期阶段（约4小时内），应用《大范围损伤缓解导则》，可有效地将核电厂机组置于安全可控状态；待应急指挥部以及外部力量介入后，对于事故的后续控制提供了便利。

运行控制组以及 TSC 控制组均能依据《大范围损伤缓解导则》的行动措施，按照事故演变的阶段及过程做出针对性响应行动，指挥线清晰明确，导则措施缓解有效，大范围损伤缓解导则程序具有可执行性，且设计合理，可以应对程序中涉及的工况。

参考文献

- [1] 余蕴,赵博,喻新利,等.核电厂大范围损伤管理导则研究现状[J].核科学与工程,2017,37(03):422-426.
- [2] 张娟花,徐德阳,陈鹏,等.核电厂大范围损伤工况下反应堆冷却剂系统注水策略分析[J].核科学与工程,2024,44(03):618-623.
- [3] 黄世耀.浅谈核电厂事故的应急响应决策[J].海峡科学,2020,(05):33-35.
- [4] 孙峰平.核电厂严重事故日常管理经验总结与发展建议[J].核安全,2024,23(03):94-98.