

震后核设施性能综合检查与评价

高泉源

(苏州热工研究院有限公司, 江苏 苏州 215004)

摘要: 5.12 汶川大地震后,为及时评价地震对中国核动力研究设计院所属核设施造成的影响,采用检查(射线探伤、超声探伤、渗透探伤及水下视频检查等)、试验(功能、性能试验)、分析(抗震分析、断裂分析)以及审查确认等多种方法和手段对中国核动力研究设计院所属核设施进行了综合检查与评价,这是国内首次对民用核设施进行地震后的综合评价。主要的检查、评价结果及结论为:在检查范围内未发现汶川大地震对中国核动力研究设计院所属研究堆和临界装置造成损害,各研究堆和临界装置的安全停堆、冷却及限制放射性释放的三大基本安全功能仍得到保证。同时,建议继续开展厂址地震动研究工作,确定厂址地震设计基准;对应急计划进行修订,增加专项地震应急预案等。

关键词: 汶川大地震;核设施;检查;分析;评价

中图分类号:TB122

文献标志码:A

文章编号:1000-6931(2009)S1-0379-04

Post-Earthquake Comprehensive Inspection and Assessment of Performances of Nuclear Facility

GAO Quan-yuan

(Suzhou Nuclear Power Research Institute Ltd., Suzhou 215004, China)

Abstract: In order to assess the influences of 5.12 Wenchuan earthquake on the nuclear facilities affiliated with Nuclear Power Institute of China, comprehensive inspection and assessment of those nuclear facilities were performed by different approaches such as inspection (RT, UT, PT and underwater video inspection), testing, analysis and confirmative review. It is the first time that this aspect of work was developed in China. The main inspection results and conclusions show that no damages to the research reactors and critical installations are found in the inspection range, and the three safety functions including safe shutdown, cooling and constrain of radiation release are ensured. It is recommended to continue site earthquake research work, determine site earthquake design base, revise emergency plan and develop special earthquake emergency plan, and so on.

Key words: Wenchuan earthquake; nuclear facility; inspection; analysis; assessment

汶川大地震后,为及时评价地震对中国核动力研究设计院(下称核动力院)所属核设施造

成的影响,环境保护部核安全司决定由苏州热工研究院、核动力运行研究所、中国核工业第二研究设计院等3家单位组成“震后核设施性能综合检查与评估项目组”,对核动力院所属5座核设施进行全面检查和评价。项目组根据会议精神,在2008年6—12月,分3个阶段,对核动力院所属高通量工程试验堆(HFETR)、岷江试验堆(MJTR)、中国脉冲堆、高通量工程试验堆临界装置(HFETRC)及18-5临界装置等5座研究堆和临界装置实施综合检查与评价。

1 检查与评价的目标、内容和方法

1.1 检查与评价的目标

根据环境保护部会议精神,项目组确定了如下的检查与评价目标:依据我国现有核安全法规、导则及相关规范、标准,对处于地震影响区的核动力院所属 HFETR、MJTR、中国脉冲堆、HFETRC 和 18-5 临界装置采用适用的方法和手段进行全面的检查、试验和评估,在此基础上完成对核动力院所属 5 座研究堆与临界装置地震后实际安全状况的综合评价,并对营运单位需进行的整改措施和后续运行中需关注的问题提出建议。

1.2 检查与评价的主要内容

1) 地震后核设施实际状态的检查和评价

安全重要系统、设备及支撑的检查和评估;安全重要系统、设备的性能、功能试验及结果评价;影响安全级系统和设备的非安全级物项检查。

2) 汶川地震对核设施抗震能力影响评估

跟踪汶川地震时核设施的地震动参数收集及设计基准地震重新确认工作;根据设计基准地震重新确认工作结果,确定各研究堆和临界装置安全重要系统、部件原地震安全评价的有效性;对安全重要物项的地震安全评价的复核计算(根据原地震安全评价有效性确认结果确定是否需重新复核)进行审查;对抗震类物项补做的抗震校核进行审查。

3) 地震期间的应急响应评估

评估核设施在此次地震中是否启动了应急响应规程,以及规程的合理性和适应性;评估各级应急响应机构的动作;评估地震期间应急设备(信息支撑系统、通讯系统等)的作用及功能丧失状况等;检查报告制度的履行情况。

4) 地震后核设施周围辐射环境监测评估
对地震后核设施周围辐射环境监测结果进行确认和评估。

5) 5 座研究堆和临界装置总体安全状况评价

结合检查、试验、分析及审查,对 5 座研究堆和临界装置的总体安全状况进行评价,并提出改进建议。

1.3 检查与评价方法

利用多种检查(射线探伤(RT)、超声探伤(UT)、渗透探伤(PT)、水下视频检查等)和试验(性能、功能试验)手段对安全重要系统、设备、管道及支撑等进行全面检查、试验,并对检查出的较大缺陷焊缝等进行断裂分析评定;跟踪汶川地震时核设施的地震动参数收集工作,在此基础上评价早期完成的地震安全评价的有效性,并对营运单位补做的安全重要系统、设备的抗震校核进行审查;审查营运单位有关应急响应和放射性监测的报告,并进行现场调查。

2 检查与评价结果

以 MJTR 为重点进行检查和评价。

2.1 使用 RT、UT、PT、水下视频检查等方法进行的体积检查、表面检查等

评估组利用水下视频检查、渗透检查及目视检查方法分别对 MJTR 堆水池壁焊缝、主冷系统部分焊缝、堆内构件、堆内乏燃料元件存放架进行了独立的无损检查,另外还对抗震类设备、管道及支撑等进行了外观检查,结果如下。

1) 堆水池壁焊缝的水下视频检查

评估组共检查了 69 条堆水池壁焊缝,有记录显示的焊缝共 15 条,主要记录显示为焊接成形不良、焊缝热影响区有电弧击伤陈旧痕迹、焊缝上和相邻母材上存在焊瘤及部分焊缝存在少量局部锈蚀现象,其它未发现可见开口裂纹或其它贯穿性显示。综合评估组的检查结果,可得出:69 条 MJTR 堆水池壁焊缝的可达区域目视检验未发现可见开口裂纹或其它贯穿性显示,发现的一些记录显示均为水池在制造过程中产生的,未发现因地震的原因产生的新显示。

2) 主冷系统管道渗透检查

评估组抽查了 6 条主冷系统管道焊缝,核动力院也抽查了若干主冷系统管道焊缝。通过

检查,可得出: MJTR 的 1#主泵出口弯头焊缝 H65、H76 和 2#主泵出口弯头焊缝 H88,在焊缝的 0°~360°范围内检验出大量的圆形显示,根据相关验收标准,这些显示为超标显示,其它受检焊缝均未检验出记录显示,发现的一些记录显示均为在制造过程中产生的,未发现因地震的原因产生的新显示。

3) 堆内构件水下视频检查

评估组对堆内构件可达部分外观利用水下视频进行了扫查,未见因地震产生的异常情况。

4) 堆内乏燃料元件存放架水下视频检查

评估组利用水下视频对堆内乏燃料元件存放架(MEFJ、YEFJ)震后位置进行了确认,未见存放架因地震移动的痕迹。高通量工程试验堆、中国脉冲堆射线探伤、超声探伤及水下视频检查也发现有超标缺陷,但均是制造过程中产生的,且未发现因地震原因而扩展。

5) 抗震类设备、管道及支撑外观检查

对 MJTR 抗震类设备、管道及支撑等进行了外观检查,未发现由地震造成的设备结构缺陷显示和支撑件、紧固件松动。其它堆和临界装置外观检查也未见异常。

2.2 缺陷裂缝的力学分析

检查发现的超标缺陷虽不是由地震造成,为保守起见,评估组依据 ASME XI 附录 C 及 ASME III,对 HFETR 管道 10 条超标缺陷进行了应力计算和分析评定,得到的结果如下:在预测发生 500 次启停堆和 20 次 OBE 评定工况下,10 条超标缺陷几乎未发生扩展;在 7 级 OBE 和 SSE 工况下,含超标缺陷的 10 条焊缝管道是安全的;在各种评定工况(设计工况、正常工况、异常工况、事故工况和水压试验工况)下, HFETR 含超标缺陷管道是可接受的。

2.3 汶川地震对核设施抗震能力影响评估

1) 核设施原所进行的抗震校核情况

各核设施原均进行过抗震校核。由于不同时期参照的标准不一,各核设施抗震分析选取的载荷略有不同,地震谱主要依据于美国 NRC 的地震设计谱和我国的地震设计谱。各设施原所进行的抗震校核输入及采用的反应谱列于表 1。

评估组审查确认, HFETR、中国脉冲堆及 18-5 临界装置分别于 2005 年、1989 年及 2007 年所进行的抗震校核结果满足规范要求。

表 1 各设施抗震校核输入及采用的反应谱

Table 1 Seismic check input and applied response spectrum for nuclear facilities

项目	年份	分析用 加速度	反应谱
HFETR	1992	0.125g	RG1.60 谱
	2005	0.15g	
MJTR	1991	0.125g	HAF101 谱
中国脉冲堆	1989	0.2g	RG1.60 谱
18-5 临界装置	2007	0.15g	RG1.60 谱

2) 汶川地震对核设施抗震能力影响评估

为评价各核设施以前所进行的抗震校核在地震后是否仍有效,以确定汶川地震对核设施抗震能力的影响,需将原分析所用的设计谱与汶川地震谱进行比较。

评价主要依据距厂址最近的测量点洪雅台站的记录进行。由于核设施厂址内无地震加速度记录强震仪,故以洪雅台站记录谱为参考,考虑到仪器放置的场地为 II 类场地,依据此类场地对记录的平均放大系数,将记录谱调整为基岩谱,再与核设施以往抗震分析的地震谱进行比较。

在与汶川地震的比较中,选取最小的分析地震载荷(0.125g 的 SSE, NRC 设计谱),其谱图与汶川地震谱对比示于图 1(东西方向、南北方向与之类似)。从图 1 可看出:两条谱线的曲线类似、地震的能量集中区重合;分析用的设计谱完全包容汶川地震谱。

综上所述,由于 HFETR、中国脉冲堆及 18-5 临界装置抗震分析所采用的设计谱能够

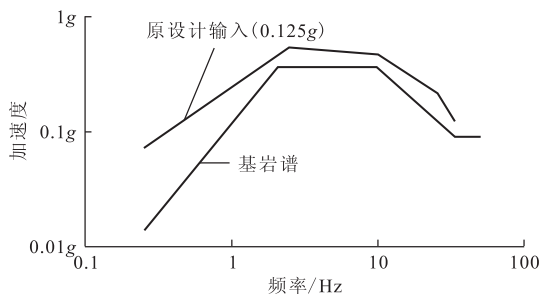


图 1 汶川地震洪雅台站记录的基岩谱(2%阻尼)与原设计输入谱比较(东西方向)

Fig.1 Comparison of bedrock spectrum (2% damp) recorded at Hongya station during Wenchuan earthquake and input spectrum in design (west and east)

包络汶川地震时厂址地震谱,因此,这些核设施已进行的抗震分析结论依然有效。

本次检查与评估过程中,MJTR 根据要求按 0.15g 对所有抗震类物项补做了抗震校核,经项目组审查,校核结果满足规范要求。

2.4 安全重要系统、设备的性能、功能试验检查

MJTR 安全重要系统、设备性能、功能试验检查结果如下。

1) 定期试验与检查项目检查结果

定期试验与检查项目主要有:安全棒落棒试验、手动停堆、控制棒驱动试验、电气系统绝缘检查、UPS 功能试验、主泵检查、主热交换器检查、通风系统启动试验。检查确认试验结果均满足验收准则要求。

2) 反应堆功能试验项目现场见证检查结果

反应堆功能试验项目主要有:反应堆核功率保护、反应堆周期保护、周期保护仪器故障、反应堆小功率保护、外电源电压保护。现场见证确认,所有反应堆功能试验项目试验结果均满足要求。

其它各核设施的性能、功能试验项目基本类似,试验结果均满足相应验收准则要求。

2.5 地震期间应急响应情况评价

通过对核动力院提交的相关报告的审查及现场核查,得出了如下 HFETR 地震期间的应急响应评价结论:营运单位制订有应急计划且地震后及时启动了应急计划;各级应急响应部门响应及时,按应急响应命令执行了相应任务;地震期间应急响应设备基本正常;营运单位按规定履行了报告制度。但建议对《一号地区核设施场内应急计划》进行修订,增加专项地震应急预案,同时加强应急演练。

2.6 地震后核设施周围辐射环境监测评估

评估组审查了四川省辐射环境管理中心站 5 月 13 日凌晨 2 点对核动力院核设施厂址实施辐射环境监测的报告,得出如下结论:所有监测数据均处在历年环境监测结果的范围内,地震未造成一号点高通量工程试验堆等 3 个研究堆与临界装置向环境异常排放。

3 结论

1) 地震时,仅高通量工程试验堆处于功率运行状态,该堆成功实现手动紧急停堆,安全相

关的余热排出系统震后仍保持其功能,将该堆维持在安全停堆状态;地震时,核动力院其它 4 座研究堆及临界装置处于安全冷停堆状态或拆除堆芯的维护保养状态。

2) 各研究堆及临界装置所有抗震类设备、部件、管道、支撑经目视检查未发现有裂纹、变形、位移等显现的地震作用后果,未发现由于地震引起的放射性泄漏;安全重要系统、设备和部件的焊缝体积检查抽查结果表明,未发现由于地震引起原有焊缝缺陷的扩展,也未检出由于地震引起的新的焊缝缺陷。

3) 经试验验证,各研究堆及临界装置安全重要系统、设备的功能地震后仍得到保证。

4) 可能影响安全级系统和设备的非安全级物项(堆厅吊车、保存水池大厅吊车等)的检查结果表明,这些物项处于安全状态,不会影响安全级系统和设备的安全。

5) 各研究堆及临界装置抗震分析所采用的设计谱能包络汶川地震时厂址地震谱,因此,高通量工程试验堆、中国脉冲堆及 18-5 临界装置原已进行的抗震分析结论仍有效,岷江试验堆按要求重新进行的抗震校核也满足规范要求。

6) 核设施周围辐射环境监测结果表明,所有监测数据均在历年环境监测结果的范围内,地震未造成核设施向环境异常排放。

7) 地震后营运单位的应急计划及应急设备在地震中得到检验,基本是有效的。

综上所述,经检查、试验、分析及评价,在检查范围内未发现汶川大地震对核动力院所属 5 个研究堆及临界装置造成损害,各研究堆及临界装置的安全停堆、冷却及限制放射性释放的三大基本安全功能仍得到保证。

4 建议

结合汶川地震影响,开展厂址地震动研究工作,确定厂址地震设计基准;在一年内完成厂址加设强震记录仪的工作;对复核结果略有变化的缺陷,需进一步复核、分析并采取相应措施,对所有存在缺陷的焊缝,后续应加强跟踪,发现异常及时处理;加强安全重要物项的定期试验、检查、维修及老化管理;对应急计划进行修订,增加专项地震应急预案,同时加强应急演练。