

核电厂维修作业对水压试验有效性的影响研究

葛飞 冉威 程钢 刘志伟 言许梁

中广核核电运营有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i1.11436

[摘要] 本研究介绍了核电厂维修作业对主一回路水压试验及主二回路水压试验有效性的影响,根据RSE-M规范要求需要对维修作业进行分级,部分维修活动影响水压试验的有效性,将导致前次水压试验失效。根据RSE-M规范相关条款,可执行体积性无检测测验验证维修后的设备质量,申请豁免水压试验失效后的再次水压试验。

[关键词] 维修作业; 水压试验; 无损检测; 豁免

中图分类号: TU821.5 **文献标识码:** A

Study on the influence of maintenance operation of nuclear power plant on the effectiveness of hydraulic test

Fei Ge Wei Ran Gang Cheng Zhiwei Liu Xuliang Yan

CGN Nuclear Power Operation Co., LTD.

[Abstract] This study introduced the impact of maintenance operations on the effectiveness of primary hydraulic tests in nuclear power plants. According to the requirements of RSE-M code, maintenance operations should be classified. Some maintenance activities affect the effectiveness of hydraulic tests and will lead to the failure of the previous hydraulic tests. According to the relevant provisions of the RSE-M code, the quality of equipment after maintenance after the performance of volumetric test is not detected, and the re-hydraulic test after the failure of hydraulic test is applied for exemption.

[Key words] maintenance operation; hydraulic test; non-destructive testing; exemption

引言

核电厂水压试验是根据法国《核电厂核岛机械设备在役检查规则》规范要求的法定在役检查项目,核电厂在役运行期间主要包括主一回路水压试验和主二回路水压试验。两大主回路水压试验边界范围广、准备难度大、实施风险高、项目工期长,对大修有较大的影响,耽误大修工期,影响核电厂发电效益。核电厂经过一段时间运行后,部分法定承压设备需要维修或者更换,在一些重要设备维修后将导致前次水压试验失效,需再次进行水压试验,根据规范要求,可采取一些无损检测手段验证维修后的设备质量,避免水压试验失效。

1 水压试验简介

国内参考法系标准执行《核电厂核岛机械设备在役检查规则》(下文简称RSE-M规范)的核电厂需要定期对压力容器进行重复水压试验,法规要求的压力容器的法定水压试验是指使该设备经受高于最大允许工作压力的适当水压条件下的试验,对于法规强制要求进行的压力边界重复水压试验,其间隔时间不能超过10年。

当前国内二代核电机组,如M310/CPR1000类型机组参考规

范版本为RSE-M1997版+2000补遗;国内三代核电机组,如EPR类型机组参考规范版本为RSE-M2010版,华龙一号类型机组参考规范版本为RSEM2010版+2012补遗。本文研究内容主要从RSE-M1997版+2000补遗和RSE-M2010版+2012补遗两个版本进行分析。

2 水压试验法定边界

核电厂需要执行定期法定水压试验的分别是主一回路水压试验和主二回路水压试验(二代机组称为蒸汽发生器二次侧水压试验),本文主要研究的对象也是维修操作对两大回路水压试验有效性的影响。

在RSE-M1997版+2000补遗中规定一回路水压试验的法定边界为所有RSE-MB1200一级设备,这些设备是核电站安全分析报告中定义的安全一级设备。在RSE-M1997版+2000补遗中规定RSE-M二级设备中容器需要重复做法定水压试验,管网和管道附件、阀门和阀门附件不强制要求重复做法定水压试验。蒸汽发生器二次侧在没有一次侧背压的情况下重复对蒸汽发生器二次侧屏障进行法定水压试验。所以根据RSE-M1997版+2000补遗规范要求,蒸汽发生器二次侧水压试验的法定边界是蒸汽发生器本体二次侧部分。

在RSE-M2010版+2012补遗中规定主一、二回路需定期进行水压试验,再鉴定按10年周期实施。对于主一回路水压试验,法定边界包含RSE-M B1220规定的RSE-M一级设备,对于主二回路水压试验,法定边界包含RSE-M B1230规定的RSE-M一级设备。

3 维修作业分级

在RSE-M1997版+2000补遗A8510中将维修活动分为“significant”、“non-notable”、“notable”、“particular notable”或“significant notable”4个级别,分级考虑如下两个因素:

-设备上的操作重要性(依据材料性能、应力状况或部件的设计情况);

-设备安全分级。

根据RSE-M A8530或A8540将维修操作分为“non-notable”、“notable”、“particular notable”三者之一。对于焊接操作,分为“notable”、“significant notable”^[1]。

在RSE-M2010版+2012补遗A8510中将维修活动分为“non-significant”、“significant”,和“significant and major”3个级别,分级考虑如下两个因素:

-设备上的操作重要性(依据材料性能、应力状况或部件的设计情况);

-设备分级(RSE-M A1321)^[2]。

4 水压试验的有效性

压力容器的水压试验是指使该设备承受适当的水压,试验其强度和密封性。例如,水压试验可用于检验重新装配后的机械连接处的密封性或者维修后系统的密封性,这些设备和系统在维修后应保证法定的水压试验有效^[3]。

在RSE-M1997版+2000补遗中规定凡是对压力容器的部件或包容组件进行重大维修,对设计准则和初始设计特性产生了影响,根据RSE-M规范A8500的规定,法定水压试验被认为是无效的。

对构成容器的整体部件的包容组件的更换,如果组件强度不是由焊接保证,更换的包容组件已经按RCC-M规范分别通过了水压试验,且密封焊对初始设计准则和特别无不良影响,则法定水压试验不认为是无效的。

对于更换的承压零部件,包括仓库中的新零部件,法规要求每十年必须重复进行一次法定水压试验。但是:

对于根据A8230的要求进行包装和监测的已用过的备件和替换部件可以延迟重复试验;

对于使用保存良好的新备件和替换部件,即不存在由于它们的零部件或贮存件导致损伤风险时可以免除重复试验。

“non-notable”维修作业:不会导致水压试验无效,并且不承担任何正式的特殊法定义务。

“notable”维修作业:不会导致水压试验无效,一旦报告给监管单位,为了检查潜在的风险,需承担特殊的法定要求,一旦进行了处理,需发布总结报告,列出异常情况、处理措施及维修后的检查结果。

“particular notable”维修作业:维修操作报告需包括RSE-M规范A8524中的特殊要求。表C8500/D8500中,需要重新进行水压试验,以鉴定维修后的组件。

“significant notable”维修作业:维修操作报告需包括RSE-M规范B8525/C8525中的特殊要求。

在RSE-M2010版+2012补遗中规定对主一、二回路系统的设备,被怀疑影响承压部件完整性的“significant and major”维修(根据RSE-M B8500分级),将导致水压试验失效。通过组装与设备相连的,设备的主要承压部分的更换,不会影响水压试验有效性,前提是更换部件单独实施了法定水压试验或RCC-M要求的水压试验,并且任何密封焊缝的焊接不损害设计的特性和初始标准。

5 典型维修作业

对于二代核电机组,在RSE-M1997版+2000补遗规定,涉及焊缝的“notable”或“particular notable”维修作业,如果不能按照下列要求进行令人满意的体积检查,应归类为“significant notable”维修作业。

RSE-M规范附录1.4.1关于焊接操作和无损检测的要求被认为足以确保焊接区域的体积检查符合以下要求:

-焊接操作既不要求手工焊接,也不要求使用特别困难的焊接。

-焊接操作被限制在壁厚的十分之一,长度在200mm范围以内。

如果以上两个条件都不满足,执行下列焊接区域检查可以认为是令人满意的。

-包括双体积方法的无损检测;

-包括已经过验证的单体积方法的无损检测。

以上检测要求在役检查人员需取得相应方法的资格。

非常重要的维修操作将导致前次法定水压试验无效,需要通过再次进行法定水压试验或申请豁免。一旦发生这种情况,需报告监管单位或其代表,若确定需要维修,营运单位需出具一份异常情况报告,明确如何进行维修作业,以及维修后重新水压试验的结果。

RSE-M一级设备维修作业分级详见RSE-M规范B8500附表查询。

蒸汽发生器二次侧水压试验法定承压设备为蒸汽发生器二次侧本体,维修作业分级详见RSE-M规范C8500-1附表查询。

RSE-M二级VVP/GCT/ARE/ASG系统管道和阀门,属于蒸汽发生器二次侧水压试验边界,其维修作业不会导致蒸汽发生器二次侧水压试验无效,应按C8500-4/C8500-5进行维修分级,可能导致其初始的法定水压试验无效,需要按RCC-M规范进行初始法定水压试验,若无法单独隔离,可根据以上法定边界相关要求执行无损检测申请豁免。

对于三代核电机组,根据第2节先判断是否为法定水压试验边界,若是法定水压试验边界,根据RSE-M规范B8500附表查询维修作业分级。

如主一回路设备更换,对接焊缝手工焊,参考表B8500-7页3/8,根据附录1.4补充的再鉴定条件,影响一回路水压试验的有效性,可执行B8523-3A相关要求申请豁免水压试验。

RSE-M规范B8523-3A(详见规范,简单描述如下),针对管道对接手工焊,通过实施跟踪和无损检测进行再鉴定,被分级为关注级作业。

A.1作业之前:

(a)每个焊工在现场实施焊接操作前,需采用与设计产品焊缝相同的技术,并建立一个或多个验证试验。

(b)对焊接见证件制作的要求条款(参考 RCC-M S7800)的补充:所用母材名义尺寸(直径,壁厚)即为管道的名义尺寸。焊接准备、校准程序和焊接位置应与适用于产品焊缝的焊接工艺单(WPS)一致。

(c)每个验证试验应建立焊接跟踪单(WFS)。

(d)射线检测应根据承包商制定的、B 8523-3/A.2 b)定义的工艺规程表实施。

(e)如果要求的话,验证件可以是生产件。

A.2产品焊缝实施时:

注:在实施产品焊缝之前,需确认评估规则是否与 RCC-M B 3544 一致。

(a)焊接时焊道数量和记录电流值与验证件焊接跟踪单(FSS)的数值偏差不超过 $\pm 20\%$,并遵照适用焊接程序规定。

(b)根据 RCC-M B 3000 实施射线检测。

A.3产品焊缝修复的特殊情况

新产品焊缝表面修复根据 B 8523-3-B 实施。

超出B 8523-1-B 标准的产品焊缝近表面修复根据B8523-3-B实施。

A.1 e)中金相检验只在修复区域实施。

6 结语

若发生主一、二回路水压试验承压边界范围内设备维修作业,首先根据核电厂在役检查大纲确定遵守的规范,判断是否属于法定水压试验边界(可参考本文第2节),查询相关附录确定维修作业分级(可参考本文第5节)。

对于二代机组,涉及焊缝的“notable”或“particular notable”

维修作业则影响水压试验的有效性,可执行双体积方法的无损检测或一种经过验证的体积检测方法进行无损检测,申请对重复水压试验的豁免。

对于三代机组,根据附表B8500查询若影响水压试验的有效性,查询是否可执行B8523相关要求的无损检测进行维修降级,申请对重复水压试验的豁免。

二代核电机组中符合RSE-M C1200的主二回路VVP/GCT/ARE/ASG系统管道和阀门,虽然不是蒸汽发生器二次侧水压试验法定边界,属于蒸汽发生器二次侧水压试验承压边界,其维修作业不会导致蒸汽发生器二次侧水压试验无效,应按C8500-4/C8500-5进行维修分级,可能导致其初始的法定水压试验无效,需要按RCC-M规范进行初始法定水压试验,若无法单独隔离,可根据以上法定边界相关要求执行无损检测申请豁免。

三代核电机组中符合RSE-M B1240的主一、二回路水压试验边界承压边界内的小管线设备,虽然不是蒸汽发生器二次侧水压试验法定边界,不会导致主一、二回路水压试验无效。但是属于RSE-M一级设备,应按B8500进行维修分级,若影响水压试验的有效性,查询是否可执行B8523相关要求的无损检测进行维修降级。

以上影响水压试验有效性的维修操作,在维修作业实施前,应根据RSE-M规范进行维修分级,评估对水压试验的影响,根据相关无损检测要求,制定维修方案及拟采取的无损检测方案,向监管单位进行报备,申请对重复水压试验的豁免,再获得监管单位同意后,按批准的方案执行维修操作及无损检测。

[参考文献]

[1]蔡杰,聂勇.压水堆核电厂核岛机械设备在役检查规则研究[J].核科学与工程,2016,36(4):449-458.

[2]压水堆核电厂核岛机械设备在役检查规则:EJ/T 1041-1996[S].

[3]国家能源局.压水堆核电厂核岛机械设备在役检查规则:NB/T 20312-2014[S].

作者简介:

葛飞(1993—),男,汉族,湖北省丹江口市人,中广核核电运营有限公司,工程师,本科,研究方向:水压试验、在役检查等。