

压水堆核电站十年大修专项试验分析及研究

白乐峰

大亚湾核电管理有限责任公司

DOI:10.12238/pe.v2i2.7211

[摘要] 安全壳打压试验和一回路水压试验是压水堆核电站十年大修专项试验,试验耗时长,风险高,本文对安全壳打压试验前的湿度控制方案进行优化,在节约大修关键路径的前提下,使安全壳的湿度得到保证;对一回路水压试验中上充调节阀门的控制进行优化,确保可以快速响应一回来水实体情况下的压力变化,同时,对一回路水压试验退出下泄孔板的方案进行优化,确保安全的前提下,快速有效的退出下泄孔板,降低人员的辐照剂量。

[关键词] 压水堆核电站; 安全壳打压试验; 一回路水压试验

中图分类号: TM623 文献标识码: A

Analysis and Research on Ten Year Major Repair Special Test of Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plant

Lefeng Bai

Daya Bay Nuclear Power Management Co., Ltd

[Abstract] The containment pressure test and primary circuit water pressure test are special tests for the ten-year overhaul of pressurized water reactor nuclear power plants. The tests are time-consuming and high-risk. This article optimizes the humidity control plan before the containment pressure test, ensuring the humidity of the containment while saving the critical path of the overhaul; Optimize the control of the charging regulating valve in the first circuit water pressure test to ensure a quick response to pressure changes under the physical condition of the first circuit water. At the same time, optimize the plan for exiting the discharge orifice plate in the first circuit water pressure test to ensure safety, quickly and effectively exit the discharge orifice plate, and reduce personnel radiation dose.

[Key words] pressurized water reactor nuclear power plant; Containment pressure test; Primary circuit water pressure test

引言

压水堆安全壳打压试验和一回路水压试验是压水堆核电站十年大修专项试验项目,试验耗时长,风险高。由于该项目执行周期为十年,执行经验少,缺乏相关的研究资料,本文旨在对压水堆核电站以下项目进行分析研究:安全壳打压试验中安全壳湿度控制、一回路水压试验中的上充流量调节阀控制参数优化、一回路水压试验中的下泄孔板退出方法,并对实践中的操作进行总结,以期固化经验,持续提升核电站的运营管理水平。

1 安全壳打压试验前的湿度控制分析

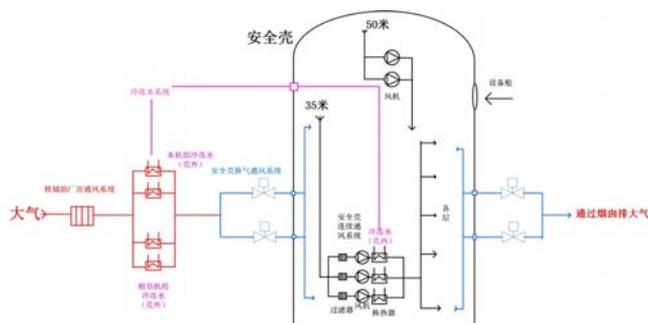
压水堆核电站安全壳打压试验空气湿度控制:安全壳打压试验需要计算在安全壳4.2bar.g的压力下运行24小时的泄漏率,其中安全壳的湿度过高会影响安全壳泄漏率计算^[1],需要在安全壳打压试验前将安全壳湿度控制的尽可能低。

如图一所示,核电站安全壳内空气湿度控制主要由以下系

统完成:核辅助厂房通风系统、安全壳换气通风系统、安全壳连续通风系统负责从大气提供新风;冷冻水系统负责将新风中的湿空气中的水分进行冷凝,降低空气湿度。当前安全壳打压试验中安全壳湿度的方式,在设备舱关闭后,再执行壳内冷冻水系统和安全壳连续通风系统隔离,由于壳内冷冻水系统的隔离排空需要时间较长,进而影响岛内疏水排气系统的隔离,导致壳内冷冻水系统的隔离排空成为影响大修工期的工作。

当前的控制存在以下问题:在安全壳打压试验前设备舱处于开启状态,以便于运输需要在安全壳打压试验前运出的设备,由于安全壳内压力要求相对大气为负压,导致湿空气不断进入安全壳;安全壳打压试验要求隔离所有的贯穿件,包括冷冻水系统,冷冻水系统(壳内)的隔离排水时间较长,冷冻水系统(壳内)排空之后才能执行岛内疏水排气系统的隔离;当前的观念认为冷冻水系统(壳内)和安全壳连续通风系统的运行是保证安全壳

湿度的关键,因此冷冻水系统(壳内)的隔离要求放置在设备舱关闭之后。



图一

通过对安全壳湿度控制相关系统停运顺序合理安排,在设备舱关闭前即可隔离排空冷冻水系统(壳内),通过核辅助厂房通风系统、安全壳换气通风系统、安全壳连续通风系统以及冷冻水系统(壳外)部分保证安全壳的空气湿度。经过分析认为冷冻水系统(壳外)可以保证新进入空气的湿度较低,综合分析各个系统的隔离停运对于安全壳打压试验前期准备工作工期的影响,优化各个工作的实施顺序:确认本机组及相邻机组冷冻水系统(壳外)可用,保证可以降低核辅助厂房通风系统吸入的新风湿度;维持通过核辅助厂房通风系统、安全壳换气通风系统、安全壳连续通风系统以及冷冻水系统(壳外)运行;停运冷冻水系统(壳内),并执行隔离排空工作,在安全壳其它系统也疏水完毕后实施核岛疏水排气系统的隔离;确认安全壳内设备运输工作结束后关闭设备舱;停运安全壳换气通风系统、安全壳连续通风系统以及冷冻水系统(壳外)。

经过上述工作顺序的优化,既保证了安全壳打压试验的湿度要求,又节约了大修的关键路径。

2 一回路水压试验中上充调节阀的优化及退出下泄孔板的方案

一回路水压试验,在一回路水压由27bar.g升至172bar.g的过程中,是由上充泵提供动力源,同时通过上充流量控制阀增加或减小上充流量,实现一回路压力的上升或下降。在一回路水压试验退出下泄孔板和启泵一回路主泵时,一回路压力变化较快,存在压力变化梯度超过4 bar/min限制的风险^[2]。

核电站的上充流量调节阀设计上是用于一回路稳压器液位控制,为避免稳压器液位的频繁变化,上充流量调节阀的操作精度大,响应速度慢。而一回路水压试验时一回路满水,上充流量调节阀实际用于一回路压力控制,在一回路水实体情况下,一回路压力变化较快,上充流量调节阀的手动操作变化缓慢,无法满足快速控制一回路压力的需求。

通过对上充流量的响应速度和精度上进行调整,进行实际操作试验,以确保满足一回路水压试验时上充流量阀快速、精确的调节需求。

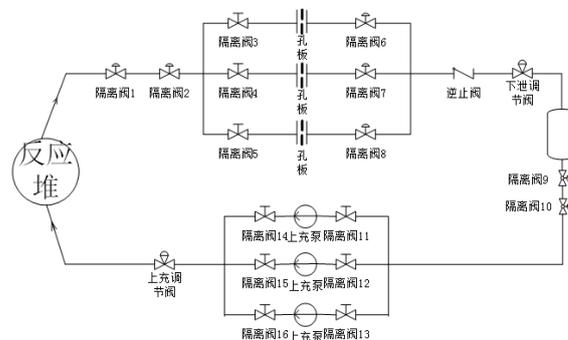
在上充流量调节阀的控制环节主要有以下三个参数:

(1)CC-RED功能块中DLTY参数:表示画面上点击进行一次脉冲操

作时,阀门指令的变化量,原参数为1%。通过减小CC-RED功能块的DLTY参数可提高调节精度;(2)CC-RED功能块中TYH或TYT参数:分别表示点击全开和全关时,指令达到100%和0%的时间,原参数为11s。通过减小CC-RED功能块中的TYH和TYT参数,可提高阀门在画面上操作后的响应速度;(3)ZQ03 TTD块中Delta参数:表示在画面中指令的显示精度,原参数为2%。通过减小TTD块中Delta参数,可以减小画面中操作指令的显示精度。

在反应堆处于完全卸料模式时,对上充流量调节阀进行操作试验,将以上参数进行如下调节:(1)DLTY参数保持精度1%;(2)TYH和TYT参数改为5.5s,提高阀门在画面上操作后的响应速度;(3)Delta参数改为0.5%,减小画面中操作指令的显示精度。

通过对上充流量控制参数的临时控制变更,实现响应速度和精度调整:解决了核电站一回路水压试验上充流量不能快速调节的问题,避免超出4 bar/min的限制。



图二

如图二所示,下泄回路的试验边界为隔离阀2,在隔离阀2的下游不能承受207bar.a的压力,因此需要在一回路压力升到165bar.a前关闭隔离阀2。如果直接关闭隔离阀2,下泄的流量会由27.2m³/h直接降低到0m³/h,在一回路为水实体情况下,一回路压力上升速率会超过4bar/min的限制。因此需要采用逐个退出下泄孔板的方式。

现有方法对于如何关闭隔离阀没有详细的描述,实际操作时人员由于担心一回路压力变化梯度超出要求,导致现场人员只能一点点关闭阀门,时间大概需要约20分钟,且对于下泄流量的变化没有预期,影响主控操作员对于上充调节阀的同步控制。

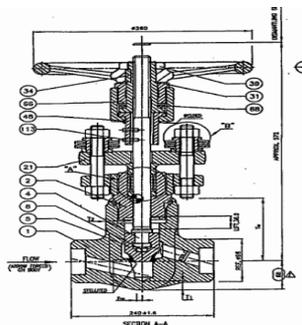
当前的控制存在以下问题:(1)隔离下泄为一回路水压试验的关键路径工作,耗时过长会使大修的工期变长,影响核电站的经济效益;(2)对于下泄流量的变化预期不明确,可能导致一回路压力梯度变化超出4 bar/min的限制;(3)隔离阀所在位置放射性剂量较高,阀门操作时间长会导致现场人员辐照剂量较高。

通过对下泄隔离阀的特性曲线研究分析,编写新的操作量变化操作方法,实现快速有效的阀门操作控制,缩短工期,提高经济效益和降低人身辐照剂量。

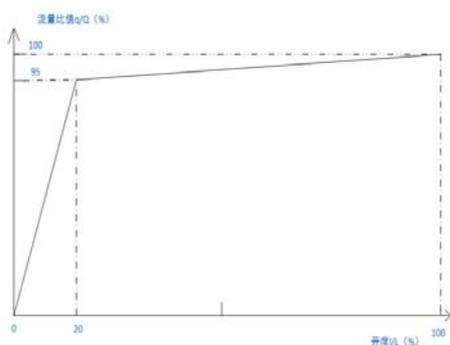
手动隔离阀3/4/5的结构如图三所示:

根据下泄孔板隔离阀结构图,该阀门为梯形阀芯截止阀,根据该类型阀门特性曲线^[3]并经实践修正,得出图四的流量特性

曲线。在反应堆完全卸料模式,下泄管线排空检修的窗口,对隔离阀的行程进行操作验证,确认隔离阀的行程为7.2圈。经过上述分析,结合图四的流量特性曲线,在前6圈,可以快速关闭阀门。



图三



图四

隔离阀3/4/5为并联运行,退出孔板隔离下泄的过程中,采用80/100/165bar.g平台逐个退出的方式,理想情况下泄流量的减小比例为1/3、1/2、1,结合工程实践数据修正,流量减小比例为0.25、0.42、1。

经过以上综合分析,得出以下控制方法:

2.1一回路80bar.g平台执行:主控记录下泄流量 Q_1 ;预期下泄降低流量约为 $Q_2=0.25*Q_1$;关闭隔离阀3六圈;主控同时关小上充流量调节阀降低上充流量 $0.05*Q_2$;逐次关闭隔离阀2八分之一圈;主控同时关小上充流量调节阀降低上充流量

$0.95*Q_2*0.167$;重复以上操作,直至隔离阀3全关。

2.2一回路100bar.g平台执行:主控记录下泄流量 Q_1 ;预期下泄降低流量约为 $Q_2=0.42*Q_1$;关闭隔离阀4六圈;主控同时关小上充流量调节阀降低上充流量 $0.05*Q_2$;逐次关闭隔离阀2八分之一圈;主控同时关小上充流量调节阀降低上充流量

$0.95*Q_2*0.167$;

重复以上操作,直至隔离阀4全关。

2.3一回路165bar.g平台执行:主控记录下泄流量 Q_1 ;预期下泄降低流量约为 $Q_2=Q_1$;关闭隔离阀5六圈;主控同时关小上充流量调节阀降低上充流量 $0.05*Q_2$;逐次关闭隔离阀2八分之一圈;主控同时关小上充流量调节阀降低上充流量

3 结语

上述方案均已在某核电站的十年大修中实践应用,并得到了明显的收益。(1)安全壳打压试验期间安全壳湿度控制良好,有效节约了大修关键路径,缩短大修工期;(2)在一回路水压试验中优化上充流量调节阀控制参数,效果较好,退出下泄及145bar.g启动主泵等可能引起一回路压力急剧变化的工作期间,实现了一回路压力平稳过渡;(3)在一回路水压试验期间,退出下泄孔板工期短,提高经济效益,且下泄流量可控,一回路压力控制方便,同时使人员受辐照剂量明显降低。

[参考文献]

- [1]刘锐,单强,梁招瑞.反应堆安全壳整体泄漏率测量阶段优化研究[J].工程设计学报:1-7[2024-03-18].
- [2]卢星星.方家山一回路水压试验过程及风险分析[J].电工技术,2021(22):158-160.
- [3]尚照辉.阀芯结构对节流截止阀性能影响的研究[D].浙江理工大学,2013.

作者简介:

白乐峰(1987--),男,汉族,河南省洛阳市人,本科,大亚湾核电运营管理有限责任公司,工程师,从事压水堆核电站生产运行及操作控制方面的研究。