

EPR 机组热试注锌钝化的应用探讨

Discussion on Application of Hot Test Injection Zinc Passivation in EPR Units

张英良

Yingliang Zhang

中广核工程有限公司
中国·广东 深圳 518124
China Nuclear Power Engineering Co., Ltd.,
Shenzhen, Guangdong, 518124, China

【摘要】EPR(先进三代反应堆)机组在设计时考虑了一回路注锌钝化的应用,在热试(热态功能试验)期间也可采用注锌钝化。论文结合 EPR 机组的特点介绍了热试注锌钝化技术的目的、实施过程、数据监测,为后续机组实施热试注锌钝化提供参考。

【Abstract】The EPR (Evolutionary Power Reactors) unit was designed with the passivation by zinc injection in the primary circuit. That can be also used during HFT (Hot Functional Test). The purpose of application of zinc injection technology in EPR HFT test, the implementation process, and the data monitoring are introduced in this paper. It's also a reference for other units with zinc injection technology during HFT test.

【关键词】EPR 机组;注锌技术;钝化过程

【Keywords】EPR units; zinc injection technology; passivation process.

【DOI】10.36012/peti.v2i1.1295

1 引言

注锌技术源于沸水堆(BWR)机组,20世纪80年代后期开始在沸水堆中应用,用于减缓一回路管道设备的应力腐蚀、降低辐射剂量率、缓解金属晶间腐蚀。早在1989—1992年,美国西屋公司便根据沸水堆应用效果,开始针对压水堆(PWR)进行一回路注锌研究。在2009年,日本Tomari核电站3号机组完成热态功能试验(热试)中的注锌钝化,为世界上首次。在中国,引入的三代核电AP1000机组中,在设计时即考虑了注锌技术的应用,并在调试阶段的热试中便开始向一回路中注锌^[1]。在EPR三代核电机组中,同样考虑了注锌技术的应用,并在热试期间进行注锌钝化。文章主要介绍EPR机组热试期间注锌钝化的目的、实施过程及监测,为后续机组实施热试注锌钝化提供参考。

2 目的

根据国际上的电厂应用注锌技术的反馈,反应堆一回路注锌可使锌离子混入金属内表面的氧化膜中,带来如下的益处:减缓一回路金属的持续腐蚀;降低一回路应力腐蚀破坏发生的几率;减少核电站的辐射剂量率;降低腐蚀产物堆积导致的堆内功率偏移及由此引起的局部腐蚀的风险。

在充满高温高压水的一回路中,金属表面所形成的氧化产物常分为两层,里层为较致密的保护性氧化膜,结构通常为 AB_2O_4 形的结构。外层则为较疏松的氧化物。当Zn离子被加

入到一回路中后,Zn离子可与一回路金属材料表面的 $NiCr_2O_4$ 、 $FeCr_2O_4$ 、 $CoCr_2O_4$ 等尖晶石氧化膜中的 Fe^{2+} 、 Co^{2+} 或 Ni^{2+} 等阳离子交换,或嵌入氧化膜中空余的阳离子位置,形成结构更致密的 $ZnCr_2O_4$ 尖晶石。新形成的氧化膜变得更薄更致密,从而有效降低氧化物的生成速率,减缓腐蚀行为的发生。Zn离子优先置换进入一回路金属内表面的氧化膜中,减少了Co-58与Co-60的结合,降低了一回路的辐射剂量率。

在热试钝化期间即进行注锌工作,可以增加正式运行前主系统内表面与锌的接触时间,并且热试期间未装载核燃料,置换出的其他金属离子不会增加额外的放射性产物。因此效果将优于已运行多年后应用注锌的机组。热试时注锌钝化,对辐射剂量率的控制效果优于在已运行多年机组中注锌,后述运行多年后的机组中,由于Co离子等处于氧化膜深处,会缓慢的被Zn离子置换,辐射剂量率会逐渐降低,效果缓慢。

3 注锌过程与监测

3.1 选择锌离子溶剂及目标浓度

根据国际上电厂应用注锌技术的反馈,在功率运行阶段进行注锌时,可采用天然醋酸锌或贫化醋酸锌,天然醋酸锌含有48.6%的 ^{64}Zn 加入到一回路后, ^{64}Zn 经中子活化产生 ^{65}Zn , ^{65}Zn 衰变会产生1.1MeV的 γ 射线,半衰期为243.8d。贫化醋酸锌中 ^{64}Zn 的含量小于1%,可使放射剂量大为降低,但是制备复杂价格较昂贵。为使后续功率运行时减小辐射的效果最优,推荐使用贫化锌。

在已运行的机组中应用注锌技术时,一般冷却剂回路中加入锌的浓度为 5~40ppb,采用较低浓度注锌(5~10ppb),主要目的是为了降低辐射剂量率,较高浓度注锌(15~40ppb)则主要是为了减缓 PWSCC。在中国 AP1000 机组热试注锌时,锌浓度控制在 10±5ppb。在 EPR 机组热试注锌钝化期间,可设定锌浓度期望值为 40~60ppb,限值为 15~70ppb,因热试期间未装燃料,且钝化时间规定仅有 300h,因此便采用了较高的浓度以便更快的置换 Co-60 和 Co-58 等离子。

3.2 注锌系统与装置

EPR 机组热试期间执行注锌钝化时,在开始计时前利用 RCV(化学和容积控制系统)进行加锌,利用上充泵向反应堆冷却剂系统提供醋酸锌。

3.3 加锌后的监测与跟踪

注锌前应制定化学控制手册,明确注锌的浓度控制范围、注入速率、开始及停止添加的标准、取样频率、锌测量方法及纠正行动等。据此编写相应的机组加锌化学技术规范,如表 1 所示。

注锌刚开始时,由于锌与一回路中的金属离子置换,导致刚开始时浓度较低,出现测量不到的情况,一段时间之后,Zn 浓度才会逐渐增加,达到目标浓度,需密切监视该时间段内

Zn 离子浓度,合理判断注锌浓度与速度。

表 1 热试与加锌相关的化学控制

参数	单位	期望值	限值	取样频率	限期	纠正行动
Zn 浓度	μg/kg	≥40	>15	①钝化开始前确保 Zn 浓度合格 ②正常情况下,1 次/天	2 天	调整注锌浓度或注入速度,在限期内恢复 Zn 浓度至正常值;增加取样频率,如有必要,可延长钝化时间
		≤60	<70	③如果浓度超出期望值,2 次/天 ④如果浓度超出限值,3 次/天	2 天	
					1 天	

4 结语

综上所述,注锌技术作为一种对减缓主系统材料腐蚀、降低辐射剂量率、减少燃料表面积垢都有显著效果的技术,也可用于 EPR 机组中。特别是作为新建机组,从热试时注锌,所形成效果将优于已运行多年后再应用注锌的情况,具体实际效果还需在运行期间对比未注锌钝化的机组。文章所述方法也可为华龙一号等机组执行加锌钝化提供参考,制订加锌钝化技术规范以降低机组辐射水平。

参考文献

[1]姜苏青.注锌对压水堆核电站一回路结构材料腐蚀行为影响的研究[D].上海:上海交通大学机械与动力工程学院,2011.

(上接第 27 页)

国际能源供需格局以及国际能源发展出现了新趋势,必须从保障国家能源安全的全局高度,坚决执行“四个革命、一个合作”能源安全新战略,与周边国家开展电力合作,优化中国能源消费结构,多元化中国能源输入,保障国家能源安全供应。

2.4 新服务

能源电力需求将长期保持增长。目前,中国人均用电量不到发达国家一半,未来电力发展空间仍然较大。中央高层会议多次聚焦新型基础设施建设,以硬核科技补短板、促增长,包括 5G 基建及应用、光伏电网及特高压、工业互联网、城际高速铁路和城际轨道交通、新能源车及充电桩、人工智能、云计算大数据中心等 7 大领域,并冠以“新基建”概念。电力投资尤其需要围绕“新基建”核心议题,转向技术、营销及商业模式创新。清洁绿色发展将进一步加快。近年来,全球气候和环境问题日益严峻,各国政府都深刻认识到基于传统化石能源的发展模式不可持续,转而大力发展可再生能源。

2.5 新技术

“互联网+能源”是未来能源发展的必然方向。电力企业处于能源革命的中心环节,要充分认识电力系统的枢纽地位。

信息技术与电力行业深度融合。能源技术和信息技术加快融合,塑造着第四次工业革命的五大支柱,促进能源互联网加快发展,形成了鲜明的时代特征。随着信息技术的进步,尤其是分布式技术、物联网、云计算、大数据、人工智能、5G 的应用,大量信息的采集、处理、分析及管理,推动能源生产技术创新、传输技术、消费技术、管理技术的创新和发展,适应新时代电力发展与服务的新趋势。

3 启示与建议

“十四五”战略规划是一项抓当前、管长远的系统工程。面对这些新经济、新安全、新技术等发展趋势特点,电力企业必须深入分析总结企业现状和发展定位,做好“十四五”规划编制工作,体现宏观性、战略性、前瞻性以及指导性等综合要求,准确把握发展机遇,充分发挥竞争优势,以规划为导向,用规划明确发展定位、方向和目标措施,确保企业正确的发展方向,提升企业的发展水平,凝聚企业人心、统一企业行动,促进发展质量效益提升。

参考文献

[1]卡普兰,诺顿.战略地图化无形资产为有形成果[M].刘俊勇,孙薇,译.广州:广东经济出版社,2005.