

Study on the Technology of Pressurizer Immersion Heaters Replacement

Zhenfeng Wang, Xiong Cao, Yu Li, Zhiwei Ding, Xiang Zhou

Shanghai Nuclear Engineering Research & Design Institute Co. LTD, Shanghai
Email: wangzf@snerdi.com.cn

Received: Dec. 10th, 2017; accepted: Dec. 20th, 2017; published: Dec. 27th, 2017

Abstract

Pressurizer immersion heaters are the important functional part in pressurizer. The normal operation of heaters plays a key role in the pressure fluctuation of control and regulation of the reactor coolant system. Therefore, replacing failure heaters and the end service of heaters timely is very necessary. This paper analyzed the failure reasons of heaters and researched the replacement technology of heaters.

Keywords

Pressurizer, Electric Heater, Technology of Heaters Replacement

稳压器电加热器更换技术研究

王振锋, 曹 雄, 李 煜, 丁志伟, 周 响

上海核工程研究设计院有限公司, 上海
Email: wangzf@snerdi.com.cn

收稿日期: 2017年12月10日; 录用日期: 2017年12月20日; 发布日期: 2017年12月27日

摘 要

电加热器是稳压器中的重要功能性部件之一, 电加热器的正常运行对控制及调节反应堆冷却剂系统的压力波动起着关键作用。因此, 对失效的电加热器及寿命到期的电加热器适时地进行更换显得十分必要。本文对稳压器电加热器的失效原因进行了分析, 并对电加热器更换技术进行了研究。

关键词

稳压器, 电加热器, 电加热器更换技术

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

压水堆核电站稳压器电加热器的主要功能是在核电站额定工况和变负荷运行中, 加热稳压器中的反应堆冷却剂, 使其维持在满足运行压力的饱和温度, 从而控制及调节反应堆冷却剂的压力波动[1]。典型的电加热器结构如图 1 所示。电加热器包括一个耐腐蚀的奥氏体不锈钢包壳, 一端用端塞焊住, 另一端为密封的端部连接器(辅助压力边界)。连接器的端部和导体相连, 导体再同镍铬耐热合金电热丝相连。包壳内环绕电热丝的是压紧的氧化镁绝缘材料。一旦电加热器发生故障, 将影响核电站控制及调节反应堆冷却剂系统压力的能力, 甚至导致反应堆停堆。因此, 稳压器电加热器是保证反应堆安全稳定运行的重要零部件。

目前, 稳压器的设计寿命一般为 40~60 年, 而电加热器的设计寿命一般为满功率运行 $10^4\sim 10^5$ 小时, 低于稳压器的设计寿命。这就意味着稳压器运行寿期内, 可能会出现电加热器失效的问题。同时, 安装、调试、运行过程中, 也可能出现电加热器失效的情况。

由于电加热器(包壳部分)是稳压器压力边界的一部分, 且安装于稳压器底部, 处于核电站的高辐射区域, 人员操作及检修设备作业都受到剂量及工作空间的限制, 电加热器的更换十分困难, 代价不菲。并且, 电加热的更换一般结合停堆大修时进行, 对更换所需的时间需要严格控制。因此, 有必要弄清楚电加热器失效的原因, 并有针对性的做好电加热器更换的技术方案。

2. 电加热器失效原因分析

加热器的失效一般由两类原因引起: 一类为电气性能失效引起, 另一类为机械损坏引起。

电气性能失效的原因比较常见的有电加热器密封结构老化[2]和密封结构破坏[3]。电加热器运行环境为高辐射和高温、高湿。电加热器的接线端一般由环氧树脂类物质进行密封, 高温、高湿环境下会加速密封物的老化。密封物的老化会引起密封性能的下降, 潮气易进入电加热器包壳内部, 引起绝缘体(MgO)的膨胀, 加之在高电压的冲击下, 电加热器与绝缘体之间会产生间隙、裂缝等缺陷。这些缺陷一方面会降低电加热器的绝缘性能, 另一方面会在电加热丝引线附近产生电弧, 发生短路, 击穿绝缘层, 从而导致电加热器失效。

国内某核电工程也发生过由于产品制造、焊接过程和运输、贮存及环境因素引起的密封结构破坏, 导致氧化镁受潮引起的电加热器绝缘电阻不合格, 从而引起电加热器失效的案例。

以上两种形式的失效都是电器元件引起, 还有一种失效形式是由机械损坏引起, 即电加热器包壳的应力腐蚀开裂。压水堆核电站稳压器电加热器包壳的材料一般选用 316 或 316 LN 奥氏体不锈钢。研究表明[4] [5], 奥氏体不锈钢在热和机械载荷的波动以及反应堆冷却剂的腐蚀作用下, 会产生应力腐蚀开裂现象。电加热器包壳产生应力腐蚀开裂后, 会使压紧电热丝的绝缘材料氧化镁溶于水, 从而引起电热丝的短路而失效。

3. 电加热器更换技术研究

典型的电加热器与稳压器壳体的连接形式如图 2 所示。电加热器套管与稳压器下封头堆焊层进行焊接, 然后, 电加热器再与电加热器套管进行角焊焊接。电加热器的上部由稳压器内部的支撑板提供横向支撑, 如图 3 所示。

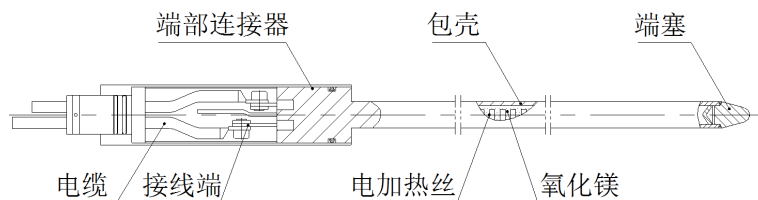


Figure 1. Schematic diagram of heater

图 1. 电加热器结构示意图

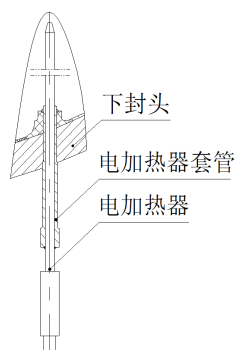


Figure 2. Schematic diagram of heater and shell of pressurizer

图 2. 电加热器与稳压器壳体连接示意图

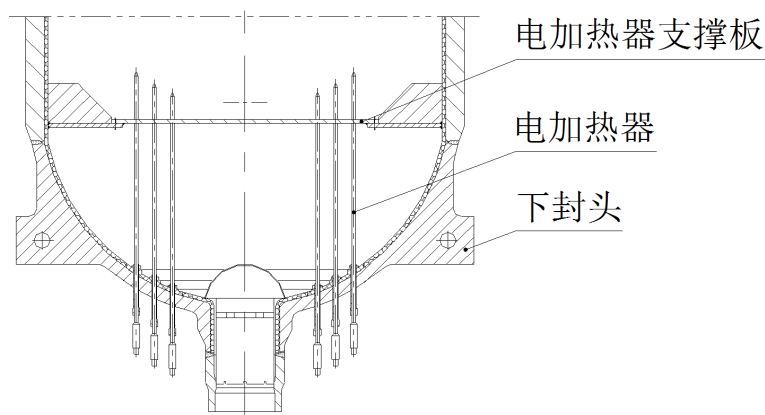


Figure 3. Schematic diagram of heater and heater support plate

图 3. 电加热器与电加热器支撑板示意图

电加热器因电气失效时，电加热器包壳未发生变形，此时切割电加热器与电加热器套管之间的角焊缝，将失效的电加热器整体拔出。设计院已就电加热器拆卸操作工具编制了规范书，操作大致步骤如下：

- a) 排空稳压器内的水，拆除原有电加热器；
- b) 由考核合格的焊工按评定合格的焊接工艺规程焊接新的电加热器；
- c) 对电加热器与连接件焊缝质量进行检测，对电加热器电气性能进行测量；
- d) 电加热器全部更换完成后，按反应堆冷却剂系统压力试验的要求进行水压试验。

电加热器因机械损坏引起时，电加热器包壳的应力腐蚀开裂，会引起氧化镁与水溶合并发生肿胀。肿胀的电加热器包壳难以通过电加热器支撑板和电加热器套管抽出，对于此种电加热器，应通过视频检查或其它手段，确定电加热器包壳损坏的位置。然后利用操作工具将破坏点及以下位置的氧化镁进行清除。在切除电加热器与电加热器套管角焊缝之后，以一定的力矩缓慢转动电加热器，使电加热器包壳肿

胀处缓慢通过电加热器支撑板和电加热器套管。当电加热器套管肿胀处的变形较大无法从电加热器支撑板和电加热器套管处抽出时，则需要从稳压器内部将电加热器抽出。此时，需对电加热器的切割焊缝处进行相应检查，以免抽出时划伤电加热器套管内部。

4. 结论

本文介绍了电加热器失效的常见原因和对应的电加热器更换方法。因电加热器的更换一般结合停堆大修时进行，所以制订电加热器更换方案时，一定要先明确电加热器的失效原因，根据失效原因采取针对性的措施，保证在较短的时间内，以较高的质量完成电加热器更换工作。

参考文献 (References)

- [1] 郑明光, 杜圣华. 压水堆核电站工程设计[M]. 上海: 上海科学技术出版社.
- [2] 张斌, 邹国强, 党恒军, 刘旺瑛. 核电厂稳压器电加热器异常经验反馈[J]. 中国核电, 2015, 8(3): 239-244.
- [3] 范海平, 雷宇升. 核电站稳压器电加热器失效分析及优化措施[J]. 黑龙江科技信息, 2016(12): 55-58.
- [4] 康欢举, 等. 316LN 的应力腐蚀实验研究[J]. 核动力工程, 2011, 32(6): 101-104.
- [5] Lu, Z.P., *et al.* (2011) Effects of Water Chemistry and Loading Conditions of Stress Corrosion Cracking of Cold-Rolled 316NG Stainless Steel in High Temperature Water. *Corrosion Science*, **53**, 247-262.
<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2010.09.018>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2332-6980, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: iae@hanspub.org