

# 《核级堆芯热电偶》产品介绍

技术中心 倪康健

随着 AP1000 国产化的步伐进一步加快,《核级堆芯热电偶》课题为大型先进压水堆核电站重大专项——AP1000 数字化仪控系统技术研究课题的一部分,其目的是研制具有自主知识产权的适用于 AP1000 堆型以及未来的 CAP1400 示范工程机组、CAP1700 示范工程机组的反应堆堆内测量和堆外核测系。

堆内核测量系统:是指通过分布在反应堆压力容器内的堆芯中子探测器、温度探测器,对反应堆轴向、径向功率密度分布和燃料组件出口温度及它们发生相应变化进行连续监测,它由堆芯固定式堆芯自给能探测器、热电偶以及堆外相应的测量仪表等构成。堆芯热电偶为安全级设备。安全等级为 1E 级,质保等级 QA1,抗震等级为 I 类。

为了冗余,温度测量分为 A 和 B 两个系列。堆芯热电偶经压力容器顶盖管座贯穿到反应堆压力容器内,并延伸到堆内构件的上堆芯板。在压力容器内,热电偶沿着导管按规定的路线走向,导管牢固地固定在上部堆内构件上。热电偶的热接点伸出导管约 7~9mm。热电偶补偿导线由一对镍铬镍基导线组成。它们沿着电缆桥架上升到安装在电缆桥上的连接板。从连接板开始,热电偶补偿导线沿着电缆桥架到达并通过电气贯穿件,最后沿着安全壳外的电缆桥架到达堆芯冷却监测柜的输入端子上。用于热电偶冷端补偿的 3 支 RTD 温度计安装在堆芯冷却监测机柜内,冷端温度信号直接送给机柜。堆芯冷却监测机柜将热电偶

的电压值转换为物理值(°C),并且自动完成冷端补偿。

在设计上核级堆芯热电偶外壳材料设计符合 ASTM E235 《核场或其它要求高可靠场合使用的 K 型铠装热电偶》标准,绝缘材料选用符合 ASTM E235 的 5.1.3 节的高纯度氧化铝。热电偶元件可操作精确度:所有热电偶电动势和温度的关系应满足 K 型标定曲线,温度在 -18°C~277°C 范围,误差为 ±1.1°C;温度在 277°C~899°C 范围,误差为测量温度的 ±0.375%;温度在 899°C~1260°C 范围,误差为测量温度的 ±0.5%。并根据 NIST 标准对核级堆芯热电偶进行标定。热电偶工作温度: -18°C~1260°C,热电偶设计压力: 17.2MPa,热电偶铠材直径: Φ1.57mm,热电偶还能承受中子通量最大峰值 1.91×10<sup>14</sup>(N/cm<sup>2</sup>?s)。核级堆芯热电偶产品如图一:



图一:核级堆芯热电偶

在制造过程中我们团队攻坚克难,由于堆芯热电偶热端焊接只能采用手工焊接,还必须保证热端焊壁厚均匀、焊头大小均匀,在试制过程中为了能在短时间内验证出焊接参数的有效性,提出了用水淬试验法,根据热胀冷缩的原理来验证焊接是否存在缺陷,比使用 PT 试验法验证焊接参数是否合格缩短了大量的时间,并成功摸索出焊接新工艺。

因现场工况使用需要堆芯热电偶不同的长度,在长期处于密封的状态下,会严重影响堆芯热电偶的绝缘电阻,经有效试验数据分析,截断热电偶后绝缘电阻会立马下降原来的 1/3 左右,经过探讨和分析发现影响绝缘电阻下降主要因素是截断后切口位置气态吸潮严重。提出解决方案后,通过验证证明解决吸潮问题的工艺可行性极高,此项工艺也可拓展到现场维修服务上。

为了验证核级堆芯热电偶的性能,我们做了铠装热电偶电阻绝缘试验、铠装热电偶 X 射线检查、铠装热电偶焊接缝液体渗透试验、铠装热电偶分度试验、铠装热电偶弯曲后金相分析、铠装热电偶不锈钢套管纵向裂纹检查、铠装热电偶不锈钢套管材料分析、水压试验等一系列试验。

本产品属于国内首创,本产品研制成功缩小了公司与国际先进水平在核堆芯测温方面的技术差距,丰富了公司在核电方面温度类产品的种类,填补了国内空白。

# 电控装置控制器的优势及突破

系统工程公司 沈学锋

近几年,随着印度经济的快速发展,电力需求缺口增大。印度在基础建设,尤其是电力建设上一直是大软肋。我国已将电力建设的经验逐步输出到印度。目前,我国电控装置静电除尘设备趋势是:行业集中度越来越高;行业技术提高,国际竞争力不断增强;高速的市场发展使进入该行业的企业越来越多,市场竞争越来越激烈,除尘效率较高的高端产品将成为市场主流。



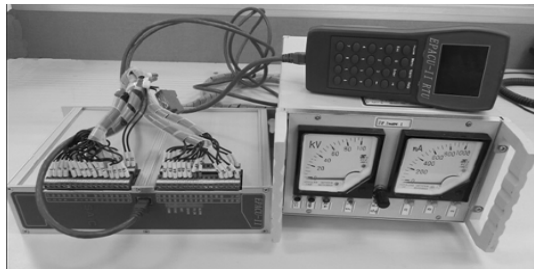
电厂布置图

近几年,自仪股份将电控装置产品定位海外市场并逐步走向成熟,在海外市场实现了规模性突破。尤其是印度市场空间很大,自仪股份在印度市场的积极部署为后期开拓业务提供大舞台,打开了新的成长空间。自仪股份适应了印度除尘市场需求的同时,承接了罗莎、莎圣、波特瑞等项目,其中罗莎项目已经成功移交。莎圣项目 6×660MW 超临界燃煤机组,标志着自仪股份电控装置正式进军超大电站项目。



印度电除尘电场布置图

自仪股份系统工程公司与技术中心全力合作,克服种种困难,在此项目中不仅在设计上投入了极大精力,在控制器功能上也做出了很大改进,最终得到了业主的肯定。



控制器调试台

为了创造出最优越的产品,聘请 20 年经验电除尘专家,成立技术中心专业研发团队,采用高性能 32 位 ARM9 控制芯片,并自主搭建低压模拟调试台,自主搭建高压模拟电场,自主开发控制器。同时,在印度现场搜集大量资料,又在国内宝钢测试现场,对控制器进行测试成功后应用于印度除尘市场。通过一系列的科学实践,获得以下重大突破:

- 原有控制功能更加完善,包括火花率控制,火花控制水平达到国际一流水平,电弧保护稳定可靠,解决反电晕和二次扬尘等特殊工况问题,电流电压极限控制,间歇供电控制

- 新增了 COC 综合优化功能(提升控制性能),反电晕优化控制(用于处理高比电阻烟气,恶劣工况),振打逻辑控制(配合优化控制,提高清灰效率)和浊度优化控制(节约电能消耗)。

- 开发通信网关,实现以太网互联。采用以太网通讯可以实现多主站、大数据量的并发通讯,可以以此为基础实现控制器的多种优化功能。网关的应用保证了像印度莎圣项目大量数据通讯(1 万个通讯点以上)的稳定性、可靠性、精确性和快速性,同时满足与 DCS 以太网的通讯要求,使通讯的兼容性加强。



通讯网关面板图

- 设备保护功能(保证设备安全)控制器本身:硬件全隔离、宽裕量、误操作保护、EMC3 级防护等设计。变压器及本体:电弧、偏励磁、油温、油位、电压、电流、开路、短路、主开关等保护。

电控装置与国内外同类产品相比,控制器有以下优势:

- 一是除尘效率高。在相同的运行工况下,经宝钢现场的实际验证,其能有效的提高电除尘的除尘效率。
- 二是能量消耗少。在相同电除尘器设计条件下,设计总功耗可降低 10% 以上。应用新型控制设备,在保证同等除尘效率条件下,可节能 30% 以上。
- 三是功能丰富。出了常规的控制功能外,还具有手动/自动振打,故障诊断,报警和优化功能。
- 四是产品适应性强。能适应印度和印尼等国湿热多尘的不良环境,针对各种不同的工况调整各项参数来达到除尘的最大效率

在国内外市场中,控制器又有以下突破:

综合优化控制功能的引入,领先于其他电除尘同类产品,能极大地克服电晕。由于印度的煤炭质量灰分高,热值低,产生飞灰的比电阻较高,极易发生反电晕现象,并且适应如今越来越高的排放要求,我们针对静电除尘的控制器进行了改进。现在新一代自主研发的 EPACUII 控制器已经达到直接替换 ALSTOM 的 EPIC-II 控制器,并且达到了 EPIC-III 的水平。



EPACUII 控制器和手操器

- 安装更为方便和元器件分布更加合理。节省很大人工。保持电除尘器高效稳定的除尘效率是一个系统工程。保持除尘效率除了改进控制器的功能之外,要求我们的设计人员需具有良好的科学性以及准确性,除了设计出具有完善的保护功能的电控装置外,还需使高压供电设备具备便捷的安装和合理的元器件分布结构,使设备在印度高温、潮湿和灰尘多的环境下能安全运行。

(未完待续)