

压水堆核电机组稳压器比例喷雾阀选型分析

张浩然, 曹晓宁, 蒋晓红, 曹月秋

引用本文:

张浩然, 曹晓宁, 蒋晓红, 等. 压水堆核电机组稳压器比例喷雾阀选型分析[J]. 南方能源建设, 2021, 8(2): 52-55.

ZHANG Haoran, CAO Xiaoning, JIANG Xiaohong, et al. Comparative Analysis of Pressurizer Proportional Spray Control Valve for PWR Nuclear Power Plant[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(2): 52-55.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

先进压水堆核电站电磁动截止阀端部加载鉴定试验研究

Research on End-loading Test for Solenoid Globe Valve of Advanced PWR

南方能源建设. 2017, 4(2): 137-140 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.02.025>

核电厂汽轮机主汽阀检修用锁定装置设计研究

Research on Maintenance Locking Device of Main Steam Valve of NPP

南方能源建设. 2016, 3(3): 54-56 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.03.011>

某核电堆型主蒸汽系统汽锤研究

Research on Steam Hammer of Main Steam System in a Nuclear Reactor Type

南方能源建设. 2015, 2(4): 62-65,87 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.04.010>

核电厂变压器零序差动保护配置及其整定计算

Design and Setting of Zero-sequence Current Differential Protection for Transformers in Nuclear Power Plants

南方能源建设. 2015, 2(4): 74-80 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.04.013>

FCB功能火电机组辅机选型技术研究

Research on Equipment Selection Technology of FCB Function Power Plant

南方能源建设. 2018, 5(1): 59-62 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.01.009>

压水堆核电机组稳压器比例喷雾阀选型分析

张浩然¹, 曹晓宁^{1,✉}, 蒋晓红¹, 曹月秋²

(1. 中广核工程有限公司, 深圳 518124; 2. 鞍山电磁阀有限责任公司, 鞍山 114300)

摘要: [目的] 稳压器比例喷雾阀是压水堆核电机组的关键阀门之一, 是电站系统中唯一的核安全1级控制阀, 掌握该阀门的技术特点对于工程实践和该阀门的自主研发具有指导意义。[方法] 基于国内压水堆核电机组所用的两种典型结构——气动V型球芯式比例喷雾阀和电磁驱动角式比例喷雾阀, 从结构设计、工作原理及运行维护等方面进行对比分析。[结果] 经过分析得出, 两种结构型式的比例喷雾阀适用的技术路线不同, 但均可实现核电站稳压器系统所需的喷淋控制功能, 用户可根据核电厂的技术路线和具体需求选择相对适宜的产品。[结论] 但在未来新建核电市场中, 电磁驱动型比例喷雾阀预计将有较广阔的应用前景。

关键词: 稳压器比例喷雾阀; 气动V型球芯式比例喷雾阀; 电磁驱动角式比例喷雾阀

中图分类号: TL4; TH134

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)02-0052-04

开放科学(资源服务)二维码:



Comparative Analysis of Pressurizer Proportional Spray Control Valve for PWR Nuclear Power Plant

ZHANG Haoran¹, CAO Xiaoning^{1,✉}, JIANG Xiaohong¹, CAO Yueqiu²

(1.China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Shenzhen 518124, China;

2.Anshan Solenoid Valve Co., Ltd., Anshan 114300, China)

Abstract: [Introduction] The pressurizer proportional spray control valve is one of the key valves for PWR nuclear power plant and it is the only level 1 nuclear safety control valve in power station system. Mastering the technical characteristics of the valve has very important guiding significance for engineering and domestic research for the valve. [Method] Based on two typical structures used in domestic PWR nuclear power units - pneumatic V-ball proportional spray valve and solenoid angular proportional spray valve, this paper compared and analyzed them from structural design, working principle, operation and maintenance. [Result] Through analysis, it was concluded that the two types of proportional spray valves have different technical routes, but both can realize the spray control function required by the pressurizer system of nuclear power plant. Users can choose relatively suitable products according to the technical route and specific needs of nuclear power plant. [Conclusion] However, in the new nuclear power market in the future, the solenoid angle proportional spray valve was expected to have a broad application prospect.

Key words: pressurizer proportional spray control valve; pneumatic V-ball proportional spray valve; solenoid angle proportional spray valve

2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

压水堆核电系统中, 稳压器是对一回路进行压力控制和超压保护的重要设备^[1-7]。在机组正常运行及瞬态工况下, 稳压器喷淋系统与电加热器配

合, 共同执行一回路压力控制功能。根据喷淋水来源不同, 稳压器喷淋系统可分为主喷淋和辅助喷淋。其中, 主喷淋管线有两条, 由分别连接至两条冷管段的管线组成, 每1列稳压器比例喷雾阀上游与主管道冷段连接, 下游两条支管到稳压器前连成一条共用喷淋母管后与喷淋管嘴相连。稳压器比例

收稿日期: 2021-02-01 修回日期: 2021-04-13

基金项目: 国家科技重大专项资助“高温高调节性能电磁驱动角式控制阀”(2019ZX06004014)

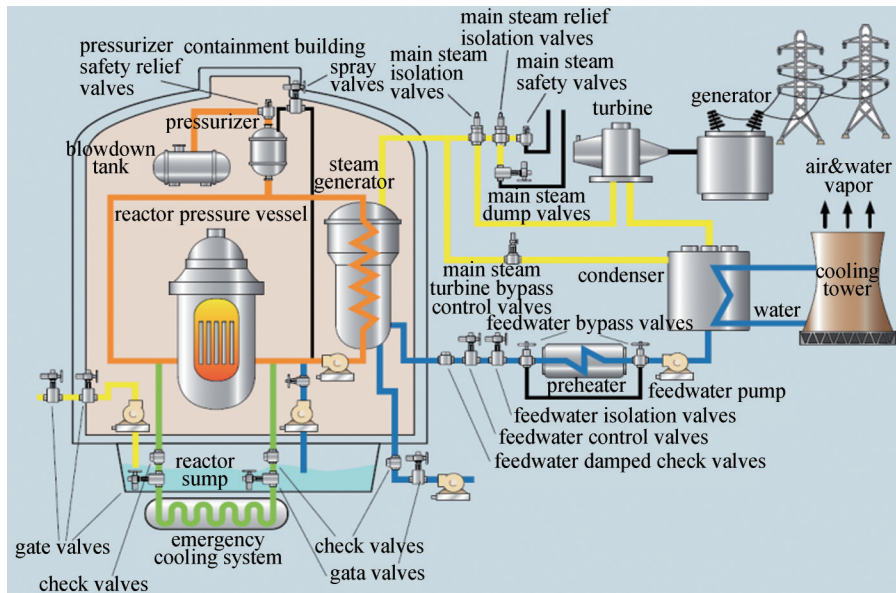


图 1 压水堆核电系统主要阀门安装位置

Fig. 1 Installation position of main valves in PWR nuclear power system

喷雾阀为主喷淋管线上的最重要设备, 也是核电站系统中唯一的核安全 1 级控制阀^[8-12]。

1 总体结构特点介绍

1.1 主要设计参数

在二代及早期核电机组中, 稳压器比例喷雾阀均采用气动 V 型球芯式控制阀。

在三代核电华龙一号技术路线引入新的设计理念, 安全壳内减少气源, 稳压器比例喷雾阀采用电磁驱动型控制阀^[13]。

两种技术路线下的稳压器比例喷雾阀的主要技术指标要求如表 1 所示。

1.2 气动 V 型球芯控制阀

目前核电市场普遍使用的气动 V 型球心式稳压器比例喷雾阀主要为 F 公司产品。阀门整机由阀门本体、气动执行机构和控制系统三部分组成。其中, 阀门本体采用锻造阀体, 阀芯流量调节部分采用 V 型球心, 阀杆采用石墨填料密封结构。气动执行机构采用薄膜式, 气源控制系统回路由电磁阀、定位器、过滤器、放大器、电气转换器、气体储罐等部件组成。通过系统为执行机构配备动力气源, 在接收系统 4~20 mA 的控制命令后, 经电气转换器、定位器等实现阀门开启和关闭操作及比例调节控制功能。阀门调节特性为等百分比形式, 满足阀门小开度工况下的流量调节需求。在阀门阀杆的

表 1 两种比例喷雾阀主要技术参数对比表

Tab. 1 Comparison of main technical parameters of the two proportional spray valves

技术参数	三代稳压器比例喷雾阀	二代及早期核电稳压器比例喷雾阀
驱动机构型式	电磁驱动	气动
核安全等级	1 级	1 级
RCC-M 等级	1 级	1 级
RCCE 等级	喷淋阀 K2/控制器 K3	NC
抗震等级	SSE1(可运行性)	1I(完整性)
设计压力/(MPa, g)	17. 13/360	17. 13/360
/温度/℃		
公称直径 DN/mm	100	100
最大压差/MPa	0. 5	0. 5
开启时间/s	≤2/5	≤3
/关闭时间/s		
调节特性	线性	等百分比
允许阀座泄漏率	IV 级 ANSI FCI 70-2	IV 级 ANSI FCI 70-2

开、关位置分别配备限位开关, 以满足系统信号反馈和阀门控制要求。

近年来, 国内部分调节阀厂家也陆续开展了该类阀门的国产化研发, 但目前只实现了阀门本体和气动执行器的国产化研发, 阀门气控回路所需的配套电仪部件(如电磁阀、定位器等)仍旧依赖进口。

1.3 电磁驱动角式控制阀

三代核电华龙一号的稳压器比例喷雾阀为电磁驱动截止型控制阀, 现有核电市场供货产品为 F 公

司的Y型结构电磁驱动控制阀。阀门由上部电磁驱动执行器、下部阀门本体和外接电仪控制柜三大部分组成。阀体本体采用整体锻造结构，阀体上部为配套的电磁驱动执行机构，阀芯调节部分采用截止型阀芯结构。阀门动作过程中，通过电仪控制系统向电磁驱动执行器输入4~20 mA的电流信号，转化为电磁驱动力并带动阀芯的上下运动，实现阀门的开关动作和调节功能。阀门位置反馈和调节通过电磁驱动执行器内置的位置反馈装置实现，无需外接阀杆限位开关或阀位指示器。

2 主要性能对比

2.1 密封性

气动V型球芯比例喷雾阀采用传统的填料密封结构。电磁驱动比例喷雾阀采用整体屏蔽型结构，无填料密封，实现了无外漏技术。因此，电磁驱动比例喷雾阀的密封结构相比气动V型球芯比例喷雾阀更为安全可靠。

2.2 动作性能

对比电磁驱动型和气动驱动型比例喷雾阀的产品实际测试参数，两种比例喷雾阀的实际动作时间均满足设计要求，均可实现系统快速响应要求。

2.3 接口性能

对比两种比例喷雾阀设计方案和产品实际结构尺寸、重量等如表2。通过对比分析可知，电磁驱动型比例喷雾阀结构更加紧凑，整机高度仅和重量仅为气动V型球芯式比例喷雾的一半重量。因此，采用电磁驱动型比例喷雾阀更方便于系统管线布置。

表2 两种比例喷雾阀主要接口尺寸对比

Tab. 2 Comparison of main interface dimensions of the two proportional spray valves

技术参数	电磁驱动比例喷雾阀	气动V型球芯式比例控制阀
最大外圆周/mm	442	473
高度/mm	802(无手轮)	1 610(含305手轮)
重量/kg	197	380

2.4 运行维护便利性

气动V型球芯比例喷雾阀，阀杆密封采用填料结构，需要定期更换填料，且气源控制回路所用电气附件较多，包括定位器、电磁阀、过滤减压阀、放大器、锁气器等气源管路电气附件，均需要在机组在役期间进行定期的检测和维修。

电磁驱动比例喷雾阀的阀门本体和执行机构采用无填料密封结构，无需定期更换非金属填料且可实现无外漏。阀门控制系统主要由控制柜配合电磁驱动执行器实现，减少了外接电仪部件的定期检修工作和维护成本，但需定期进行控制柜的响应特性的检测和维护。

2.5 研发技术难度和成本

从整机的研发成本分析，两种型式的比例喷雾阀均需进行阀门本体、执行机构和控制系统（主要是配套电仪控制部件）的研发。

近年来，依托国家科技重大专项，国内主要核电控制阀制造企业已成功研发出气动V型球芯比例喷雾阀阀门本体和气动执行机构，通过配套进口的电仪部件，已完成整机的鉴定试验。从长远来看，若需彻底解决卡脖子问题，还需进行气控回路的电仪配套件的研发，因此，当前的研发难度和成本主要在于电仪配套件。目前，国内部分企业已启动相关研发工作，预计在未来几年会有望实现定位器、电磁阀、锁气器等全部电仪配套件的研发，进而实现气动V型球芯比例喷雾阀整机的完全国产化。

电磁驱动比例喷雾阀的应用是三代核电引入的新技术，国内缺乏此种比例喷雾阀的经验数据，即使放眼全球市场目前仍属于垄断供货状态，因此整机研发的技术难度相对较大。其研发过程的主要技术难点在于为阀门本体配套的电磁驱动执行机构和控制柜，包括比例电磁铁的设计和制造、比例电磁伺服控制系统的设计和制造以及耐高温型位移传感器的设计和制造等，同样需要具备丰富经验的电磁阀专业厂家及控制柜、位移传感器等专业厂家一起联合研发。

3 结论

气动V型球芯比例喷雾阀属于早期及二代核电等传统的喷雾阀，市场供货和应用相对成熟；电磁驱动型比例喷雾阀属于三代核电创新技术；两种结构型式的比例喷雾阀适用的技术路线不同，但均可实现核电站稳压器系统所需的喷淋控制功能。因此，用户可根据核电厂的技术路线和具体需求选择相对适宜的产品。

在未来新建核电市场中，由于电磁驱动型比例喷雾阀采用电磁驱动原理，实现了在核岛内无气源

的状态下的快速响应和控制功能,避免内置气源储罐带来的超压危险,因此拥有电动及气动控制阀不具备的优势,预计将有较广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 广东核电培训中心. 900 MW 压水堆核电站系统与设备(上、下册) [M]. 北京: 原子能出版社, 2005.
Guangdong Nuclear Power Training Center. 900 MW PWR nuclear power plant system and equipment (part I and part II) [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 2005.
- [2] 陈刚, 王志敏, 张宗列. 比例喷雾阀的研制 [J]. 阀门, 2011(4): 14-15+24.
CHEN G, WANG Z M, ZHANG Z L. Development of pressurizer spray control valve [J]. Valves, 2011(4): 14-15+24.
- [3] 法国核岛设备设计、建造及在役检查规则协会. 压水堆核岛机械设备设计和建造规则: RCC-M-2007 [M]. 北京: 中国核电工程有限公司, 2007
AFCEN. Rules for design and construction of mechanical equipment for PWR nuclear island: RCC-M-2007 [M]. Beijing: China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., 2007.
- [4] 陆培文. 实用阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
LU P W. Practical valve design manual [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2007.
- [5] 杨源泉. 阀门设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
YANG Y Q. Valve design manual [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1992.
- [6] American National Standard. Control valve seat leakage: Ansi FCI 70-2-2006 [S]. America: Fluid Controls Institute, Inc., 2006
- [7] 中国机械工业联合会. 气动调节阀: GB/T 4213—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
China Machinery Industry Federation. Pneumatic industry process control valves: GB/T 4213—2008 [S]. Beijing: China Plan Press, 2009.
- [8] 祁崇可. 核电厂稳压器喷雾阀阀芯结构和等百分比流量特性补偿研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2016.
QI C K. The disc structure and equal percentage flow characteristic analysis of pressurize spray valve of nuclear power plants [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2016.
- [9] 林静. 基于自抗扰的核电站稳压器控制系统研究 [D]. 上海: 上海电力学院, 2014.
LIN J. Research on control system of pressurizer in nuclear reactor based on active disturbances rejection controller [D]. Shanghai: Shanghai University of Electric Power, 2014.
- [10] 张国铎, 杨旭红, 卢栋青, 等. 核反应堆稳压器水位和压力控制系统研究 [J]. 化工自动化及仪表, 2013, 40(1): 35-38+42.
ZHANG G D, YANG X H, LU D Q, et al. Research on water level and pressure control system of nuclear reactor pressurizer [J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 2013, 40(1): 35-38+42.
- [11] 韩松, 郭庆. 基于核级稳压器比例喷雾阀的气动执行机构研究 [J]. 通用机械, 2015(1): 74-76.
HAN S, GUO Q. Research on pneumatic actuator based on proportional spray valve of nuclear regulator [J]. General Machinery, 2015(1): 74-76.
- [12] 施宝新. 核一级稳压器喷雾阀特性分析与结构设计 [J]. 阀门, 2019(6): 10-12+15.
SHI B X. Characteristic analysis and structure design of nuclear class 1 pressure regulator spray valve [J]. Valves, 2019(6): 10-12+15.
- [13] 杨化斌. 稳压器喷雾阀流动规律与安全分析 [D]. 上海: 上海交通大学, 2013.
YANG H B. Flow law and safety analysis of spray valve of pressurizer [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2013.

作者简介:



张浩然

1986-, 男, 安徽蚌埠人, 工程师, 华中科技大学机械专业, 主要从事阀门自主化研发和阀门合同管理等工作 (e-mail) zhanghaoran@cg npc. com. cn。

张浩然

曹晓宁 (通信作者)

1986-, 女, 陕西商洛人, 高级工程师, 西北工业大学材料科学与工程, 主要从事阀门自主化研发和阀门合同管理等工作 (e-mail) caoxiaon@cg npc. com. cn。

项目简介:

项目名称 国家科技重大专项资助“高温高调节性能电磁驱动角式控制阀”(2019ZX06004014)

承担单位 中广核工程有限公司

项目概述 高温高调节性能电磁驱动角式控制阀项目结合当前三代先进压水堆核电站对稳压器喷雾阀的技术要求及稳压器喷雾阀在系统中所执行功能要求, 开展高温高调节性能电磁驱动角式控制阀的研制技术要求及鉴定要求研究和高温高调节性能电磁驱动角式控制阀的详细设计、制造、鉴定技术研究工作, 完成高温高调节性能电磁驱动角式控制阀的样机制造以及样机的全部鉴定工作, 实现高温高调节性能电磁驱动角式控制阀的自主化、国产化和产业化。

主要创新点 (1) 耐高温、高精度、具有补偿功能的平衡弹簧阀芯系统设计; (2) 核安全1级无外漏整体式高强度屏蔽套制造技术; (3) 耐高温、耐高辐照环境的电磁驱动设计。

(责任编辑 李辉)