

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.05.029

百万千瓦级核电站泵入口压力 保护系统研究及应用

惠珑伟, 翟巴菁, 明 迁

(中广核工程有限公司, 广东 深圳 518124)

摘要:针对百万千瓦级核电站工程建设中分散控制系统(distributed control system, DCS)无法满足泵组启动时压力保护需求而发生气蚀的问题,通过分析核电站 DCS 的系统缺陷,基于逻辑控制电路原理,建立了由压力检测模块、信号延时模块、传输模块、电源模块组成的新型控制系统,实现了由压力开关传感器采集泵组入口压力异常信号,通过传输单元送至延时继电器处理后最终送入电气盘柜中以控制泵组的运行。同时设计了事故按钮,在事故情况下(例如泵轴承温度高时)能够手动迅速停止泵组的运行。最后在核电站泵组启动及系统运行期间进行了实测。研究表明,该系统能够在泵组入口压力或其他参数异常时自动或手动停泵,从而保证了泵组及系统的安全稳定运行,同时也节约了核电建造工期。

关键词:核电站;泵组;压力保护

中图分类号:TP273;TL374

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)05-0676-03

1 000 MW nuclear power station pumps protect device's research and applying

HUI Long-wei, ZHAI Ba-jing, MING Qian

(China Nuclear Power Engineering Company, Shenzhen 518124, China)

Abstract: In order to protect pump unit out of cavitation when distributed control system(DCS) couldn't meet the pressure protection demand of pump unit starting during 1 000 MW nuclear power station construction, the nuclear power plant DCS system defect was analyzed, and based on the logic control circuit principle, a new type of control system including the pressure detection module, signal delay module, transmission module, power supply module was designed. The operation of the pump unit control was implemented when the pump unit suction pressure abnormal signal was detected by pressure sensor module and transferred to the time delay relay processing, finally into electrical panel. At the same time, the accident button was designed, it could manually stop the operation of pump unit quickly in the accident cases (such as pump bearing at high temperature). Finally, the protection system was tested during nuclear power plant starting and operation. The results indicate that protection system could stop pump unit automatically or manually when suction pressure or other parameters were abnormal, it could protect pump unit system safety and steady running, and also shorten construction time.

Key words: nuclear power station; pump unit; pressure protection

0 引 言

泵组保护系统可用是核电站大型泵组首次启动时必须具备的可用条件之一,该保护系统主要通过 DCS^[1]组态来实现,因此,对 DCS 系统有很大的依赖性。而纵观整个核电工程建设项目,DCS 系统均存在不同程度的工期延误,满足不了核电站泵组首次启动及调试期间的保护需求,如果泵组启动时没有保护,将会导致设备损

坏及人身伤亡的风险增加。基于以上背景,调试人员通过长期的现场实践经验总结,开发出一种可靠的泵组入口压力保护系统,该系统包括不间断的直流电源模块、压力开关传感器模块和继电器延时模块等设备,保护系统能够在 DCS 不可用的情况下,既可以自动采集泵组入口压力信号实现自动停泵功能,也可以在泵组其他参数出现异常时由就地巡检人员手动完成停泵保护操作,在核电机组泵组启动调试过程中发挥了重要的作用。

收稿日期:2013-11-29

作者简介:惠珑伟(1984-),男,陕西咸阳人,工程师,主要从事压水堆核电厂调试与启动方面的研究。E-mail:huilongwei@cgnpc.com.cn

本研究通过分析核电站 DCS 的系统缺陷,基于逻辑控制电路原理,建立由压力检测模块、信号延时模块、传输模块、电源模块组成的新泵控制系统。

1 泵入口压力低的危害

泵组工作时,如果叶轮入口处压力 P_0 低于饱和压力 P_n 时,入口处就会发生汽化,同时溶解在水中的气体也从水中逸出,形成许多蒸汽与气体混合的小气泡^[2]。小气泡随着水流进入叶轮内,当压力超过饱和蒸汽压力 P_n 时,气泡中的蒸汽突然凝结成水,在气泡消失处形成空洞,周围的水急速冲入空洞,造成极大的水力冲击。由于气泡不断地形成与凝结,强大的水击压力以极高的频率反复地作用在叶轮上,会使金属表面逐渐的因疲劳而破坏。产生的气泡中还夹杂有一些活泼的气体,借助水蒸气凝结时所释放出的热量对金属起化学腐蚀作用。在化学腐蚀与机械剥蚀^[3]共同作用下金属表面将出现蜂窝状的麻点,并逐渐形成空洞。

此外,由于水流中大量的气泡破坏了水流的连续性,增大流动阻力,使水泵流量、扬程、功率和效率下降,随着汽蚀程度的加强,气泡大量产生,最后甚至会断流。

调试期间,泵组试验时为防止管道中异物进入泵组从而损坏叶轮叶片,需在泵前安装临时滤网或正式滤网,复杂的工况(例如滤网堵塞)增加了泵吸入口压力降低的风险,进而导致泵入口有效气蚀余量^[4]低于泵的必须气蚀余量而发生气蚀现象。

以下原因可能导致泵入口压力降低而发生气蚀的风险^[5]:

(1) 泵入口滤网密度细致,流体中杂质被滤网截流导致流量的流通面积减小,当管路流量增大时通过滤网的压损增大;

(2) 部分试验所要求的在线情况与正常运行工况差别较大,泵入口管路介质的局部损失增大;

(3) 泵入口介质吸入高度不够。

为了防止泵组发生气蚀现象,在大型泵组试验期间,必须密切监视泵入口压力 P_0 ,以保证泵入口运行压力不能低于其允许的最低压力(通常泵吸入口允许的最低压力在泵制造说明书中会予以说明)。

2 DCS 实现泵组保护

大型泵组首次启动及系统运行期间,泵组入口压力保护系统是通过软件(即修改 DCS 组态)的方式来实现的,DCS 实现泵组入口压力保护原理图如图 1 所示。

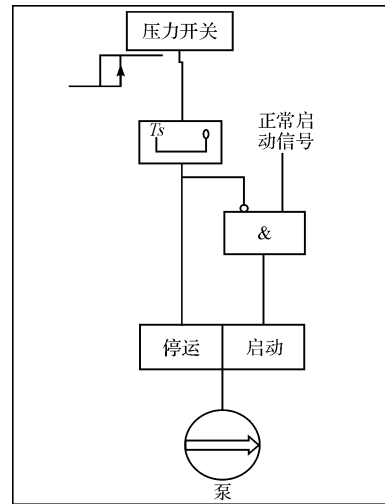


图1 DCS实现泵组入口压力保护原理图

当泵入口压力值低于整定值时,泵入口压力开关便会闭合,压力信号便会传递至 DCS 逻辑处理模块,经过 DCS 逻辑处理模块判断后,系统将停泵指令传递给泵电气盘柜,以断开泵组动力电源,从而达到停泵的目的。设计 T_s (按照工程实践经验, T_s 一般取 5 s ^[6]) 延时是为了防止泵组启动时导致泵入口压力瞬时低于压力开关的设定值而误产生停泵信号。

而在实际的工程建设过程中,DCS 系统实现泵组保护存在以下缺陷^[7]:

(1) 受制于供货、安装、调试等进度,在泵组启动时,DCS 不具备可用条件;

(2) 对固化的逻辑组态进行修改将导致系统控制方式的变更,带来其他不可控的风险;

(3) 核岛大多数设备属于核安全级设备,控制系统属于核安全级系统^[8],设备调试时,调试及维修工程师没有权限对逻辑组态进行修改(例如日本三菱 DCS 控制系统),需得到控制系统供应商许可,实施变更的周期长;

(4) DCS 升版或系统改造时,会将原有控制变更覆盖掉,每次启动设备前,需要仪控工程师配合工艺工程师确认 DCS 逻辑组态;

(5) 巡检人员就地发现异常时缺乏立即停运运行中的泵组的手段,操作员滞后才了解现场情况,可能会增加设备的损坏程度。

3 泵入口压力保护系统

调试人员通过长期的实践总结,开发出一种可靠的泵组保护系统。该保护系统原理如图 2 所示。

泵组运行期间,当泵入口压力测点探测到泵入口压力(5)低于泵入口允许的最低压力,安装在泵入口的压

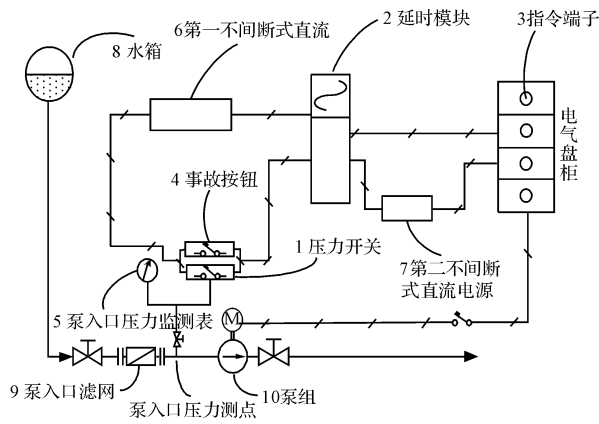


图 2 泵入口压力保护系统原理图

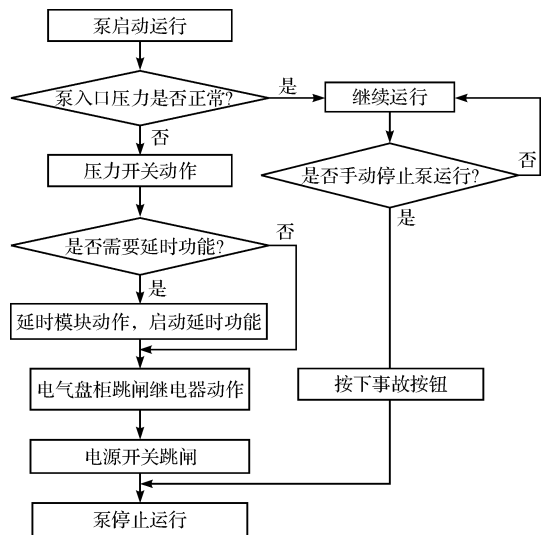


图 3 保护系统工作流程图

力开关(1)探测到压力异常信号,其常开触点变为常闭触点,将信号传递给延时继电器(2),延时继电器按照设定的时间延时 $T(s)$ 后,产生泵组入口压力低信号,压力低信号通过硬接线传递给泵组电气盘柜上的指令端子(3),从而断开泵的动力电源开关,达到停泵的目的。

本研究在压力开关(1)上并联了一块事故按钮(4),其主要作用为在泵运行期间如果出现意外情况(例如泵轴承温度异常升高等),就地巡视人员就可以在泵房直接停止泵的运行,有效缓解泵房和电气间通讯带来滞后效应而引起事故后果的加重。此外,在泵组置于试验位时,通过按下试验按钮可以检验保护系统是否可用。

研究人员按照原理图完成试验装置现场安装后,首次投用之前需要对该装置进行测试^[9-10],以保证试验装置的可用性及动作准确性。首次测试时笔者使用压力校验仪模拟泵入口压力信号对入口压力开关进行定值校验,同时可验证整个控制回路的可用性及设备动作的准确性。首次校验完成后、再次启动泵组试验^[11]前则可以利用泵入口水箱(8)水位产生的压力模拟泵运行期间入口压力验证压力开关的动作。

试验按钮和压力开关的检验功能之间存在的重叠部分确保整个保护回路可用。

运行时,保护系统工作流程如图 3 所示。

4 结束语

岭澳二期、红沿河一期、宁德一期、阳江一期核电等项目的应用效果证明该保护系统完全能够满足工程建设期间核电站泵组保护的需求。同时对常规电厂泵组启动有参考意义。本研究通过设置泵组保护系统,

解决了“在 DCS 不可用或安全级 DCS 无权限修改情况下,无法进行大型泵组试验”的工程难题。该保护系统减小了泵组试验时对 DCS 系统的依赖性,保证相关调试工作的顺利开展,节约了工程建设工期。

参考文献 (References):

- [1] 李宝泉. 自动化分散控制系统概述及其应用情况[J]. 制造业自动化, 2011, 33(7): 47-50.
- [2] 杨孙圣, 孔繁余, 周水清, 等. 离心泵气蚀性能的数值计算与分析[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38(10): 93-95.
- [3] 关醒凡. 现代泵技术手册[M]. 北京: 宇航出版社, 1995.
- [4] 国家标准局. GB/T 13006-1991 离心泵, 混流泵和轴流泵汽蚀余量[S]. 北京: 标准出版社, 1991.
- [5] 张奇志. 水泵自动测试系统使用中常见问题与对策探讨[J]. 水泵技术, 2006(30): 29-31.
- [6] 刘锦华. 岭澳核电工程实践与创新. 调试启动卷(I)[M]. 北京: 原子能出版社, 2005.
- [7] 郑明光. 核电厂控制与保护系统应用软件潜在的功能缺陷与防御措施[J]. 核科学与工程, 2001, 21(4): 331-335.
- [8] 黄 甦, 黄显焯. 核电厂与常规电厂 DCS 的异同[J]. 电力与电工, 2011, 31(2): 51-54.
- [9] 朱北恒. 火电厂热工自动化系统试验[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [10] 吴鹏辉, 周末发, 邱 瑜. 混联式太阳能热泵干燥装置物料试验分析[J]. 包装与食品机械, 2013(1): 24-26.
- [11] 国家标准局. GB 3216-89 离心泵、混流泵、轴流泵和旋涡泵实验方法[S]. 北京: 标准出版社, 1989.

[编辑: 李 辉]

本文引用格式:

惠琰伟, 翟巴菁, 明 迁. 百万千瓦级核电站泵入口压力保护系统研究及应用[J]. 机电工程, 2014, 31(5): 676-678.

HUI Long-wei, ZHAI Ba-jing, MING Qian. 1 000 MW nuclear power station pumps protect device's research and applying[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(5): 676-678.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>