

doi:10.19929/j.cnki.nmgdljs.2022.0072

燃气电厂调压站紧急关断阀门控制及电源优化研究

丁建博,王赞惠,于庭芳

(华能(天津)煤气化发电有限公司,天津 300452)

摘要:针对某燃气机组紧急关断阀门(Emergency Shutdown Device,ESD)可靠性低的缺陷,分别从电磁阀配置、控制回路独立、电源冗余配置等方面进行改进:ESD阀选用24 V DC电磁阀,控制气路由单电磁阀改造为双电磁阀,并对电磁阀控制电源及调压站系统电源进行优化。ESD阀采用双电磁阀后,任何故障不会导致阀门误动;将双电磁阀分配到控制回路中,可同时对双电磁阀进行控制,从而实现了ESD阀的完全冗余。改进后,消除了跳机隐患,提高了系统的稳定性。

关键词:调压站;ESD;电源配置;双电磁阀;控制回路

文献标志码:B

中图分类号:TM645.2¹

文章编号:1008-6218(2022)04-0095-06

Research on ESD Valve Control and Power Supply Optimization of Pressure Regulating Station in Gas Turbine Power Plant

DING Jianbo, WANG Zanhui, YU Tingfang

(Huaneng Tianjin IGCC Power Co.,Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: The problem of low reliability of emergency shutdown device (ESD) valves of the gas turbine power plant is improved and solved from the aspects of solenoid valve configuration, independent control loop, and redundant power supply configuration. The ESD valve selects 24 V DC solenoid valve, upgrades single solenoid valve control to dual solenoid valve control, and optimizes solenoid valve control power supply and pressure regulation station system power supply configuration. The ESD of dual solenoid valve will not cause malfunction of the valve due to failure. By assigning the dual solenoid valve to the control loop, the dual solenoid valve can be controlled at the same time, so as to realize the redundancy and reliability of the ESD valve. After the improvement, the hidden danger of unit failure is eliminated, and the system stability is improved.

Key words: pressure regulating station; ESD; power configuration; dual solenoid valve; control loop

0 引言

调压站在燃气电厂中有着非常重要的作用,不仅可保证气源稳定供应,同时具有紧急安全隔离的功能^[1]。其中紧急关断阀门(Emergency Shutdown Device,ESD)是实现紧急关断功能的重要设备,其可靠性直接关系燃气机组的稳定运行。调压站设备多为厂家成套供货,阀门设计时更多注重事故情况下的紧急切断功能,对阀门的防误动方面考虑不全面。虽然调压站配置很多冗余设备,但仍然存在很多问题:调压站单元的阀门电源配置不合理,大

部分调压站阀门电源使用一路电源,且双电磁阀阀门仅采用一组控制回路进行控制,没有实现真正的冗余。调压站电源系统及阀门控制回路故障均会导致机组停运。目前国内调压站ESD阀及电源故障问题频发,如江苏某电厂因调压站电源装置中不间断电源(Uninterruptible Power Supply,UPS)故障导致机组停运,江苏某发电公司燃气-蒸汽联合循环供热机组在进行调压站控制电源双电源切换试验时电源切换装置切换过程中ESD阀跳闸^[2],天津某燃气电厂调压站系统电源因外部原因失电导致机组停运。究其原因,多是因为ESD阀设计时电磁阀、控制回路和电源冗余性不足。本文以某燃气电厂ESD阀为例,对阀门工作特性、控制回路及整个调压站的电源配置进行分析,并对阀门配置及电源

[基金项目] 华能(天津)煤气化发电有限公司众创项目“临港燃机天然气ESD阀门控制电源优化”(K-422121004)

系统进行优化改造,得到一整套安全可靠的调压站阀门控制及电源配置系统^[3]。

1 燃气电厂调压站概况

某燃气电厂调压站布置在厂区天然气增压站内,主要由入口单元、计量单元、过滤单元、调压单元组成。入口单元的主要设备为ESD阀,当调压站内的可燃气体探测器检测到天然气浓度过高或发现火警等紧急情况时,通过现场手动或在主控室远程操作来关闭阀门,保证天然气调压站及下游燃气机组等设备安全。计量单元主要有天然气流量计、气相色谱仪和配套仪表,用以实现天然气的计量及成分分析。过滤单元有4台粗精一体分离过滤器,用于将天然气中的固体小颗粒和液体小液滴分离过滤^[4-5]。调压单元有出口ESD阀、放散阀、调压器和增压机,主要作用为调整过滤后的天然气压力,给燃气机组和启动锅炉供气。送往燃气机组的管路各有一个出口ESD阀和放散阀,送往启动锅炉的总管路上有一个出口ESD阀和放散阀^[6-7]。天然气经调压站的过滤调压后送至燃气机组发电做功^[8]。

2 ESD阀电磁阀配置优化

ESD阀门是燃气电厂调压站发挥紧急关断作用的重要设备,任何阀门误关都会导致燃气机组停运^[9]。ESD阀一般选用气开式、单作用的气动球阀。电磁阀带电时,仪表气进入气缸,阀门打开;电磁阀失电时,气缸通过排气阀快速排气,通过弹簧作用实现快速关闭功能。电磁阀是ESD阀的重要配件,目前主要有24 V电磁阀和220 V电磁阀两种形式。2种电磁阀比较见表1。从表1可以看出,24 V DC电磁阀要比220 V AC电磁阀更为安全,调压站内属于易燃易爆区域,220 V AC电源存在一定安全隐患。220 V AC电磁阀的线圈阀体机构若出现卡死或吸

表1 24 V DC电磁阀和220 V AC电磁阀对比

Tab.1 Comparison of 24 V DC solenoid valve and 220 V AC solenoid valve

项目	24 V DC电磁阀	220 V AC电磁阀
防爆要求	低压安全	高压存在隐患
线圈烧毁	低	高
工作噪声	低	高
工作温度	低	高
电源冗余	可并联	需经过切换装置

合行程匹配过大,易造成吸合不良,导致线圈烧毁,引发ESD阀误动^[10]。因此24 V DC电磁阀更适合调压站ESD阀^[11]。

使用单电磁阀的ESD阀气路如图1所示,在电磁阀1带电后气路EU通,气缸进气阀门打开。反之电磁阀1失电后气路SU通,气缸排气阀门关闭。紧急情况下可以手动控制,将三通手阀1切至1/2通路、三通手阀2切至2/3通路,ESD阀打开;都切至2/3通路则阀门关闭。这种气路方式能够实现手动或自动形式的阀门快速开启、关闭功能。ESD阀的电磁阀需要长时间带电,以保持阀门常开,但线圈容易烧毁导致阀门误关。因此需将ESD阀气路优化改造成双电磁阀控制气路(见图2)。当电磁阀1和电磁阀2都带电时,两个电磁阀气路EU通,电磁阀2起作用使阀门打开。当电磁阀1失电、电磁阀2带电时,电磁阀1气路SU通、电磁阀2气路EU通,电磁阀2起作用使阀门打开。当电磁阀1带电、电磁阀2失电时,电磁阀1气路EU通、电磁阀2气路SU通,电磁阀1起作用使阀门打开。综上所述,在此气路配置方式下,只有2个电磁阀同时失电ESD阀才关闭。

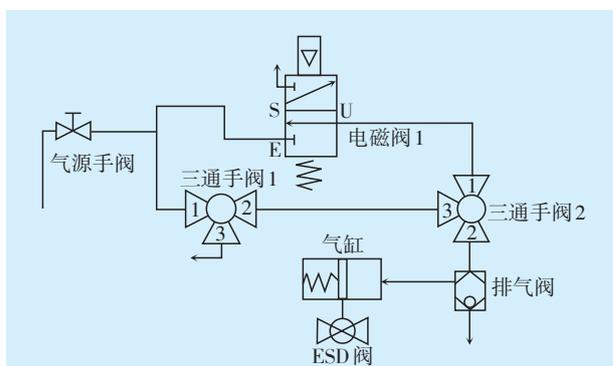


图1 单电磁阀控制的ESD阀控制气路图

Fig.1 Air circuit diagram of ESD valve controlled by single solenoid valve

优化后的双电磁阀控制气路不仅可实现双电磁阀的冗余,也保留了手动开关阀门的功能。电磁阀状态和阀门的状态见表2。从表2可以看出,任意一个电磁阀失电,ESD阀都不会关闭,且正常工况都带电的条件下,电磁阀2起主要作用。这种双电磁阀控制气路可以有效保证ESD阀的可靠性^[12-13]。

3 ESD阀控制回路优化

3.1 控制回路及其存在的问题

调压站ESD阀的控制回路一般选用硬接线方

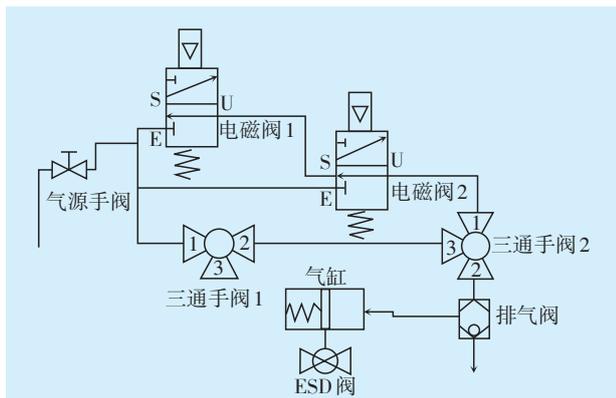


图2 双电磁阀控制ESD阀控制气路图

Fig.2 Air circuit diagram of ESD valve controlled by dual solenoid valves

表2 电磁阀状态对应ESD阀状态

Tab.2 ESD valve state table corresponding to solenoid valve state

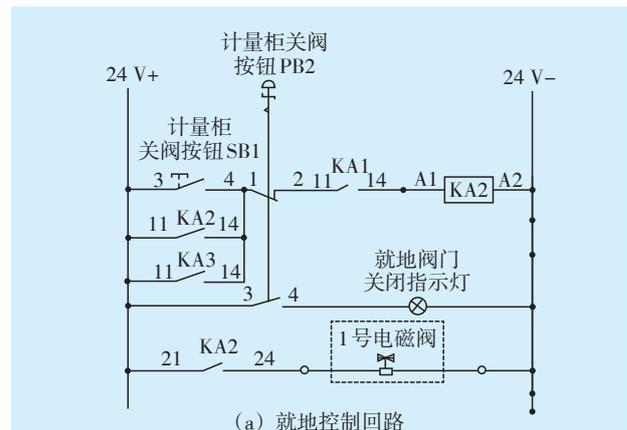
条件	起作用的电磁阀	ESD阀状态
电磁阀1、2都带电	电磁阀2	打开
电磁阀1失电、2带电	电磁阀2	打开
电磁阀1带电、2失电	电磁阀1	打开
电磁阀1、2都失电	无	关闭

式,主要是保证ESD阀动作及时,发生异常时能够快速关闭ESD阀。图3为传统ESD阀控制回路,该回路控制单电磁阀。就地控制电路电源为24 V DC,远方控制回路电源为220 V AC。

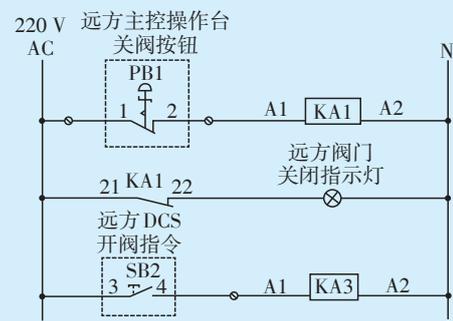
ESD阀就地控制过程:远方回路中主控操作台关阀按钮PB1未按下时,继电器KA1带电,左侧主回路KA1触点11、14闭合,此时按下计量柜开阀按钮SB1,且计量柜关阀按钮PB2未按下,主回路继电器KA2带电,KA2触点11、14闭合,回路自锁;KA2触点21、24闭合,1号电磁阀得电,ESD阀打开,直接按下计量柜关阀按钮PB2,断开主回路触点1、2,继电器KA2失电,ESD阀关闭。

ESD阀远方控制过程:集散控制系统(Distributed Control System,DCS)发出开阀指令,继电器KA3带电,左侧主回路KA3触点11、14闭合,ESD阀打开;按下主控操作台关阀按钮PB1,使继电器KA1失电,主回路KA1触点11、14断开,继电器KA2失电,ESD阀关闭。

虽然该控制回路可以实现集散控制系统ESD阀远方、就地快速开启和关闭,但是任一个线路节点出现短路或断路都会导致ESD阀关闭。而且该控制回路是单电磁阀控制,存在电磁阀故障导致阀门误关的隐患。



(a) 就地控制回路



(b) 远方控制回路

图3 传统单电磁阀控制回路

Fig.3 Traditional single solenoid valve control loop

3.2 第一次优化

由于单电磁阀控制可靠性低,将其升级改造为双电磁阀控制(如图4):在原有的单电磁阀控制回路中增加继电器KA4和2号电磁阀。虽然该回路实现了电磁阀和继电器的冗余,但仍存在如下隐患。

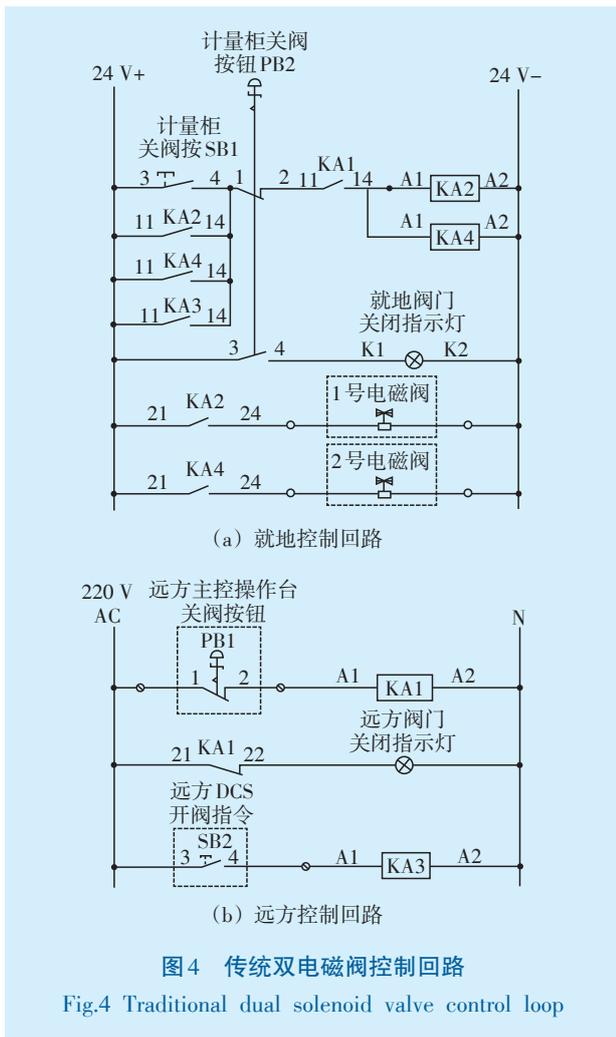
(1) 双电磁阀共用一个24 V DC电源,即使上级电源冗余,若共用电源线路故障也会造成两个电磁阀失电,同时任一个电磁阀短路可能导致共用的上级电源跳闸。

(2) 双电磁阀共用一个主控制回路,可靠性差,若主控制回路线路故障,会导致两个电磁阀都失电。

(3) 远方控制回路单一,尤其是远方主控关阀按钮回路,仅有一路220 V AC电源供电,一旦失电或线路故障,会导致两个电磁阀都失电。

3.3 第二次优化

针对以上单电磁阀和双电磁阀控制回路的隐患,决定将ESP阀控制回路优化改造为新型双电磁阀ESD阀控制回路(见图5)。将远方主控操作台关阀按钮和计量柜的开、关按钮的第二组触点给2号电磁阀使用,同时将2号电磁阀从原控制回路中独立出来,并使用DCS开阀指令继电器KA3的第二组



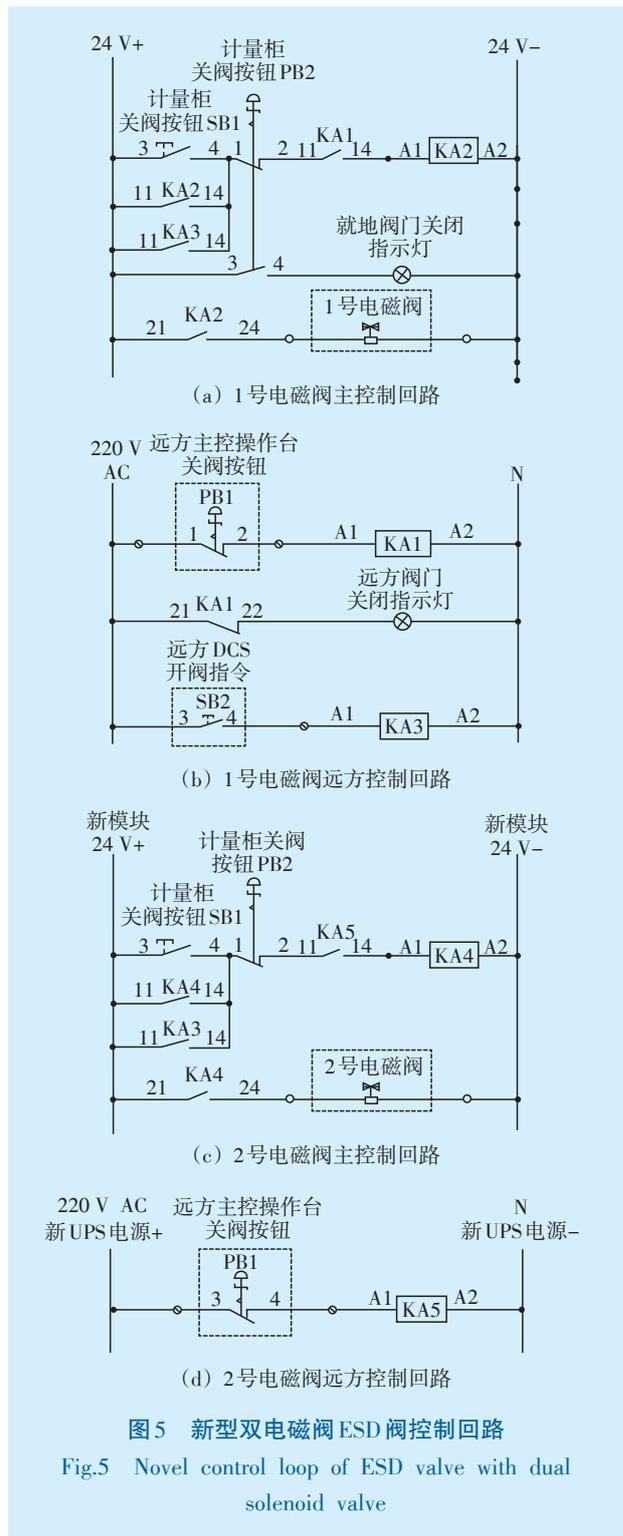
触点,组成2号电磁阀的控制回路。新控制回路可以实现每个电磁阀的电源独立、控制独立和远方控制回路冗余。两个电磁阀的远方控制回路分别使用两路220 V AC电源,主控制回路分别使用两路24 V DC电源。优化后的新型控制回路优点如下:

- (1) 两个电磁阀的主控制回路独立后,任一控制回路故障,ESD阀都不会关闭。
- (2) 主控制回路独立后,可以有效避免因外部故障导致整个24 V DC电源失电、ESD阀关闭,从而提高了设备的可靠性。
- (3) 远方控制采用双回路设计,每个回路分别使用一路220 V AC电源,可以避免电源切换,消除单电源单回路的隐患。

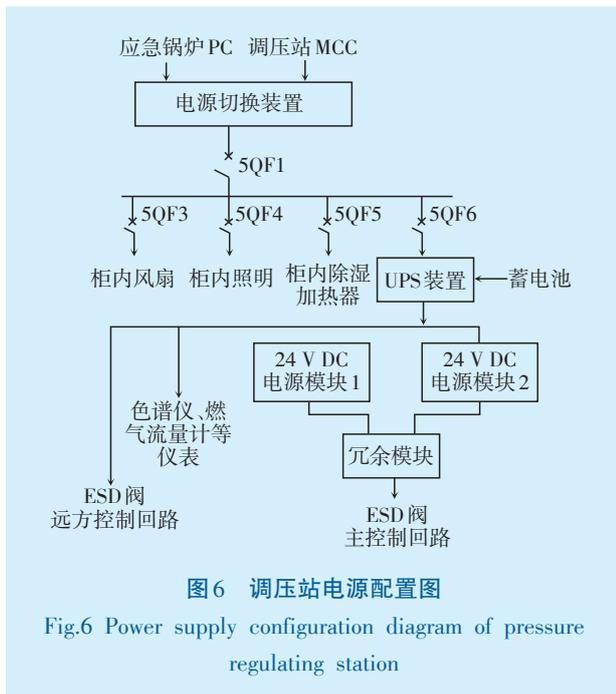
4 ESD 阀配置电源优化

4.1 存在的问题

调压站UPS装置电源系统见图6,上级电源有2路:应急锅炉动力控制(Power Control,PC)和调压站



电机控制中心(Moter Control,MCC),经过电源切换装置后给UPS装置供电^[14-15]。UPS装置下端连接ESD阀的远方控制回路、24 V电源模块和色谱仪等计量仪表,24 V电源模块配有冗余切换模块。远方控制回路选用220 V AC电源主要因为主控室距离调压站较远,220 V AC电源相对24 V DC电源抗干扰性更强。此电源配置较为可靠,但仍存在如下隐



患。

(1) 电源切换装置后不仅连接UPS装置,也连接机柜内的照明、风扇、除湿加热器。风扇和加热器故障率较高,若出现风扇卡涩、加热器短路,会瞬间产生高电流越级跳5QF1开关,导致系统失电。

(2) 电源系统加设UPS装置,如果UPS装置维护不及时、电池老化,会导致系统失电。

(3) ESD阀的主控制回路24V DC电源和远方控制回路220V AC电源来自同一电源,即使是双电磁阀,也失去了冗余意义。而任意一个电磁阀故障短路都可能导致24V DC电源开关跳闸。

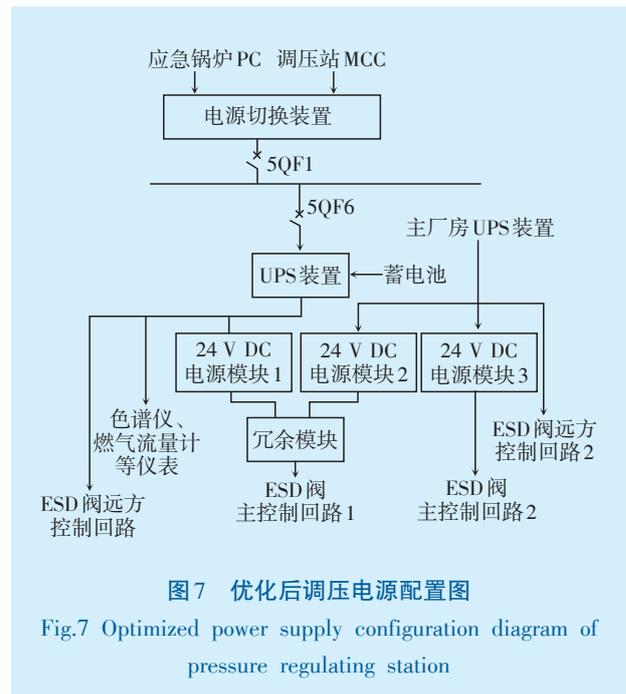
4.2 优化措施

针对以上问题,对调压站电源配置进行优化(见图7),首先取消机柜内风扇、照明、加热器的电源。然后从主厂房UPS装置引入另一路220V AC电源,将此电源作为第二路电源,只用于ESD阀2号电磁阀的主控制回路和远方控制回路,接到24V DC电源模块2中,保证1号电磁阀主控制回路的电源冗余。UPS装置电源用于ESD阀1号电磁阀的主控制回路、远方控制回路和其他计量仪表等。

该种电源配置方式优化后,实现了以下功能:

(1) 断开应急锅炉PC、调压站MCC中任一电源,切换装置切至另一路电源,期间会有几秒断电,UPS装置能保证出口电源不断,ESD阀不会关闭。

(2) 断开应急锅炉PC和调压站MCC电源,UPS装置切至电池供电,能够坚持8h供电,期间ESD阀不会关闭,仪表电源正常。



(3) 断开主厂房UPS至调压站供电,ESD阀不会关闭。

5 结束语

本文研究的ESD阀双电磁阀配置结合独立双电磁阀控制回路,实现了真正的双电磁阀控制功能,可确保ESD阀不发生误动,并通过对调压站的电源配置进行优化,得到一套安全可靠的调压站阀门控制及电源配置系统。该系统优点在于实现了阀门配置冗余、电磁阀控制冗余、电源系统冗余,层层冗余保证了系统的可靠性。新的ESD阀控制模式和电源配置方法不仅可用于燃气机组调压站,也可以广泛应用于石油、化工、天然气等行业中,以保证紧急关断系统的安全性与可靠性。

参考文献:

- [1] 侯国莲,戴晓燕,弓林娟,等.基于T-S模糊模型的燃气轮机系统负荷跟踪多目标预测控制[J].中国电力,2020,53(11):212-219.
HOU Guolian, DAI Xiaoyan, GONG Linjuan, et al. Multi-objective Predictive Control of Gas Turbine System-Based on T-S Fuzzy Model[J]. Electric Power, 2020, 53(11): 212-219.
- [2] 李鲲.燃机电厂燃气调压站紧急关断阀控制回路改造[J].华电技术,2018,40(7):45-46.
LI Kun. Reconstruction of control circuit of emergency

- shut-off valve in gas pressure regulating station of electromechanical plant[J]. Water Conservancy & Electric Power Machinery, 2018, 40(7): 45-46.
- [3] 冯晓宇. 按键ESD触发问题分析及防护研究[J]. 机电工程技术, 2016, 45(5): 43-45.
FENG Xiaoyu. ESD Triggered Button Analysis and Protection Research[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2016, 45(5): 43-45.
- [4] 严强, 林祖宇. 燃气—蒸汽联合循环ESD阀控制方式分析及改造[J]. 浙江电力, 2018, 37(3): 94-97.
YAN Qiang, LIN Zuyu. Analysis and Improvement on Control Mode of ESD Valve in Gas-steam Combined Cycle[J]. Zhejiang Electric Power, 2018, 37(3): 94-97.
- [5] 李思阳. 探讨发电厂天然气调压站的故障分析及处理[J]. 能源管理, 2021(4): 225-226.
LI Shiyang. Discussion on fault analysis and treatment of natural gas regulating station in power plant [J]. Energy Management, 2021(4): 225-226.
- [6] GUO Xiangji, ZHANG Bo. Experimental investigation on a novel pressure-driven heating system with Ranque-Hilsch vortex tube and ejector for pipeline natural gas pressure regulating process[J]. Applied Thermal Engineering, 2019(152): 634-642.
- [7] 郭丹丹. 天然气调压计量系统的设计与应用[J]. 上海煤气, 2020(4): 16-19.
GUO Dandan. Design and Application of Natural Gas Pressure Regulating and Metering System[J]. Shanghai Gas, 2020(4): 16-19.
- [8] 张安安, 冯雅婷, 林冬, 等. 考虑天然气压力能综合利用的微能网气-电需求响应模型[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(8): 19-27.
ZHANG Anan, FENG Yating, LIN Dong, et al. Gas-Electricity Demand Response Model for Micro-energy Grid Considering Comprehensive Utilization of Natural Gas Pressure Energy[J]. Automation of Electric Power Systems. 2020, 44(8): 19-27.
- [9] 任民军. 提高燃机电厂天然气调压站气动阀门可靠性研究[J]. 产业科技创新, 2019, 1(17): 53-54.
REN Minjun. Research on Improving the Reliability of Pneumatic Valve in Natural Gas Regulating Station of Gas Turbine Power Plant Industrial Technology Innovation, 2019, 1(17): 53-54.
- [10] 沈雪东. 基于冗余配置的双电磁阀回路设计与研究[J]. 仪器仪表用户, 2020, 27(6): 91-93.
SHEN Xuedong. Design and Research of Double Solenoid Valve Circuit Based on Redundant Configuration [J]. Instrumentation Customer, 2020, 27(6): 91-93.
- [11] 张伟, 宋晓慧. 某电厂调压站火警阀双电磁阀控制电源改造[J]. 煤气与热力, 2021(8): 1273-1277.
ZHANG Wei, SONG Xiaohui. Modification of double solenoid valve control power supply for fire alarm valve in voltage regulating station of a power plant[J]. Gas and heat, 2021(8): 1273-1277.
- [12] 王小江. 燃气电厂天然气调压站ESD阀可靠性分析及对策[J]. 仪器仪表用户, 2016, 23(2): 98-104.
Wang Xiaojiang. Gas Plant Natural gas Regulator Station ESD Valve Reliability Analysis and Countermeasures[J]. Instrumentation Customer, 2016, 23(2): 98-104.
- [13] 张昊清. 燃气调压及发电系统优化控制策略研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2020.
- [14] 颜伟, 杨彪, 莫静山, 等. 交直流系统主导节点选择与无功分区的概率优化方法[J]. 中国电力, 2020, 53(8): 77-84.
YAN Wei, YANG Biao, MO Jingshan, et al. Probabilistic Optimization Method for Pilot-Bus Selection and Network Partitioning of AC/DC System[J]. Electric Power, 2020, 53(8): 77-84.
- [15] 严强, 林祖宇. 燃气—蒸汽联合循环ESD阀控制方式分析及改造[J]. 浙江电力, 2018, 37(3): 94-97.
YAN Qiang, LIN Zuyu. Analysis and Improvement on Control Mode of ESD Valve in Gas-steam Combined Cycle[J]. Zhejiang Electric Power, 2018, 37(3): 94-97.

编辑: 张俊英

[收稿日期] 2022-05-16

[作者简介] 丁建博(1990), 男, 辽宁人, 学士, 工程师, 从事燃气联合循环、IGCC工艺、风电新能源研究工作。E-mail: 635791597@qq.com

