

燃机防喘放气阀控制回路改造方案研究及应用

王晶晶

国能国华（北京）燃气热电有限公司，北京 100024

DOI:10.61369/ERA.2025090027

摘 要：三菱 M701F4 型燃机高、中、低压防喘放气阀为气动控制，各防喘阀气动控制回路中均设计有一个控制电磁阀，存在着因单一电磁阀故障，防喘阀拒动损坏压机或误动导致机组跳闸的安全风险。通过对燃机防喘放气阀控制回路改造方案研究，采用具备 3 取 2 控制功能的电磁阀组代替原气动控制回路中的单一电磁阀解决了机组存在误动或拒动的安全隐患，同时实现了电磁阀在线试验功能，提高了防喘阀运行的可靠性，在同类型燃气机组中具有普遍的推广价值。

关 键 词：防喘阀；控制回路；设计；改造；试验

Research and Application of Retrofitting Scheme for the Control Circuit of Gas Turbine Anti surge Relief Valve

Wang Jingjing

Guoneng Guohua (Beijing) Gas-Fired Cogeneration Co.,Ltd. Beijing 100024

Abstract： The Mitsubishi M701F4 gas turbine high, medium, and low pressure anti surge vent valves are pneumatically controlled. Each anti surge valve pneumatic control circuit is designed with a control solenoid valve, which poses a safety risk of damaging the compressor or tripping the unit due to a single solenoid valve failure, anti surge valve refusal or malfunction. Through the study of the renovation plan for the control circuit of the gas turbine anti surge vent valve, a solenoid valve group with 3 out of 2 control function was used to replace a single solenoid valve in the original pneumatic control circuit to solve the safety hazards of misoperation or refusal of operation of the unit. At the same time, the online testing function of the solenoid valve was achieved, improving the reliability of the anti surge valve operation, and it has universal promotion value in the same type of gas units.

Keywords： anti surge valve; control circuit; design; renovation; testing

引言

某电厂 M701F4 级燃气轮机分别配置高、中、低压 3 个防喘放气阀，其作用是防止燃机发生喘振损坏压机。燃机各防喘阀均为气动控制，每个防喘阀的气动控制回路均只设置了 1 个电磁阀进行控制。

一、防喘阀控制回路存在的问题

因每台燃机的高、中、低压防喘阀控制回路均设计安装一个控制用电磁阀，存在着因单一电磁阀故障，防喘阀拒动损坏压机或误动导致机组跳闸的安全风险。为了消除上述安全隐患，需要对燃机高、中、低压防喘阀控制回路进行改造。

二、防喘阀控制回路改造方案研究

（一）3 取 2 控制电磁阀组介绍

此改造方案选取具备 3 取 2 控制功能的电磁阀组代替原气动控

制回路的单一电磁阀，该电磁阀组由四个电磁阀组成，每个电磁阀的规格型号相同，口径为 1/4NPT，电压等级为 DC110V。电磁阀组中任一电磁阀故障均不会影响阀组的正常供气，阀组的每个电磁阀配置压力监视，可以通过压力的变化判断电磁阀的工作状态，压力报警信号能够传输至 TCS 控制系统，方便运行人员及时发现电磁阀的状态变化。同时电磁阀组具备在线试验功能，在机组正常的运行中可定期对各电磁阀进行开、关活动实验。该电磁阀组还具备单一电磁阀在线故障隔离及更换功能，运行中可对故障电磁阀进行在线更换，不影响电磁阀组的正常工作，保证了防喘阀的可靠运行^[1]。

(二) 3取2控制电磁阀组的设计原理

如图1所示,整个电磁阀组的控制回路

由4个电磁阀、4个隔离阀、两个梭阀、4个压力开关和4个压力表组成。控制气源经电磁阀组入口进入后可通过三种通路实现控制气路畅通,分别是V1和V3通路、V2和V3通路、V2和V4通路,只要上述三个通路任一通路上的两个电磁阀带电打开,均能保证电磁阀组气路畅通,阀组所控制的防喘阀得气关闭。当防喘阀需要失气打开时,电磁阀组的三个进气通路均需关闭,三个通路均关闭可通过以下几种方式实现,分别是V1和V2电磁阀均失电关闭、V3和V4电磁阀失电关闭或V2和V3电磁阀失电关闭。因此从电磁阀组的设计原理可以看出,任意一个电磁阀故障均不影响整个阀组的正常输出功能。每个电磁阀入口前均配置一个独立隔离阀,通过隔离阀可以对电磁阀进行在线更换和检查^[2]。

每个电磁阀出口均配置就地压力表和远传压力开关,即可在就地通过压力表指针判断电磁阀的开关状态也可通过远传压力开关对电磁阀异常状态进行报警^[3]。各电磁阀的动作状态与阀组总的输出对应关系如下图2所示:

（三）防喘阀开、关动作时间要求

根据燃机的保护设置，高、中、低压防喘阀在机组启动升速过程中均需要具备快开功能，该保护快开的设定值均为3秒，超过3秒阀门未打开机组会保护跳闸；同时在机组升速到设定转速后需要将高、中、低压防喘阀关闭，超过20秒阀门未关闭机组会保护跳闸。因此，防喘阀控制回路改造后各防喘阀的动作时间必须满足上述要求。

(四) 防喘阀控制气路功能说明

从图3、图4防喘阀的控制气路图中可以看出,控制回路的电磁阀不直接控制气缸的气

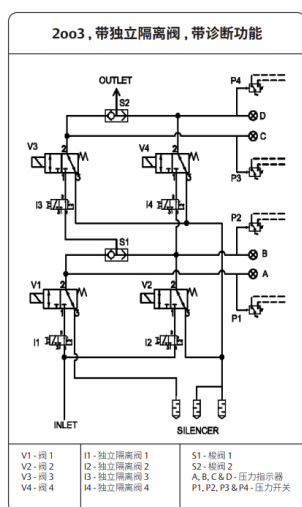


图 1 电磁阀组控制气路图

CH 1		CH2	CH 3	输出
V1	V4	V2	V3	
1	0	0	0	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	1	1	1
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	1	1	1
0	1	1	0	1
0	0	0	1	0
0	1	0	1	0
1	1	0	1	1
1	0	0	1	1
0	1	0	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	0	1
0	0	0	0	0

CH 1 - 通路 1
CH 2 - 通路 2
CH 3 - 通路 3
0 - 电磁阀失电
1 - 电磁阀触发
* 适用于气路图 - 8.9.A

图2 电磁阀组3取2动作情况说明

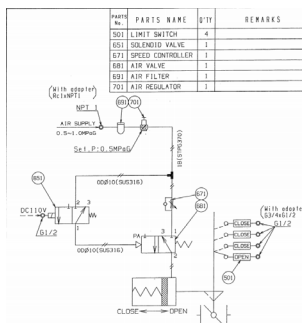


图3 高压防喘阀控制气路图

路,而是先控制空气阀的气路,然后再通过空气阀的进气和排气去控制气缸的动作。高压防喘阀设计一个空气阀,中、低压防喘阀设计两个空气阀。从设计原理来看,气缸动作的快慢主要取决于空气阀进气和排气速度,电磁阀口径的大小对空气阀进气影响不大^[4]。

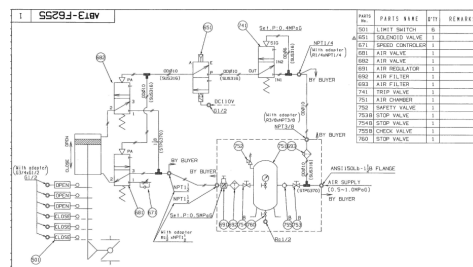


图4中、低压防喘阀控制气路图

（五）防喘阀动作时间测试情况

为了验证电磁阀口径的大小对防喘阀的动作快慢无影响,选取不同口径的电磁阀在燃机中压防喘阀上进行了阀门动作时间测试试验,试验情况如下:

(1) 中压防喘阀更换为口径1/4NPT ASCO 电磁阀动作过程

开动作过程: 15: 24: 54接收到开指令, 15: 24: 55开反馈来;

关动作过程: 15: 25: 33接收到关指令, 15: 25: 36关反馈来;

阀门由接到开指令到阀门打开了1秒；由接到关指令到阀门关闭用了3秒。

(2) 中压防喘阀采用口径3/8NPT 的原电磁阀动作过程

开动作过程: 15: 57: 38接收到开指令, 15: 57: 39开反
馈来;

关动作过程: 15: 58: 05接收到关指令, 15: 58: 08关反馈来;

阀门由接到开指令到阀门打开了1秒；由接到关指令到阀门关闭用了3秒。

试验结果表明,电磁阀口径由3/8NPT变更为1/4NPT后防喘阀的动作时间一致,对阀门的动作快慢无影响。改造设计方案中高压防喘阀的电磁阀口径为1/4NPT未变,中、低压防喘阀电磁阀的口径由3/8NPT变更为1/4NPT,口径略微变小,因电磁阀组的动作时间是毫秒级别,相对整个阀门的动作时间可忽略不计,综上,原电磁阀更改为电磁阀组后对阀门动作快慢的影响不大,能够满足原设计3秒快开,20秒关闭的要求。

(六) 电磁阀组的控制回路设计

在防喘阀控制电磁阀电路图 GT801 中将原继电器三取二控制一个电磁阀改为每个继电器各控制电磁阀组中的一个电磁阀。因在图 GT722 中已经为每个防喘阀的控制各增加了一个继电器, 所以在此设计图中应有 12 个继电器分别去 GT801 和 GT807 控制高、中、低压 3 套阀组的 12 个电磁阀。考虑到电磁阀的 110VDC 供电电源应分散原则, 将每个电磁阀组的两个电磁阀分配到另外的供电电源, 此路供电电源需新增设计, 设计思路如下: 原供电电源 110PAA1 为高、中、低压防喘阀控制回路中的 V1、V3 阀供电; 新增一路供电电源 110PAA3 的设计要求与 110PAA1 一致, 该路电源为高、中、低压防喘阀控制回路中的 V2、V4 阀供电。达

到任何一路电源故障不影响电磁阀组正常工作的目的，保障了防喘阀的安全可靠性。设计图如下图所示：

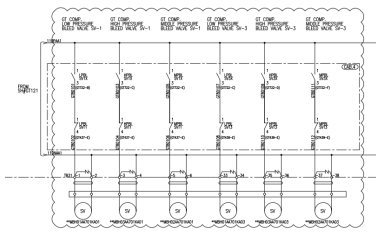


图 7 GT807电磁阀电路图

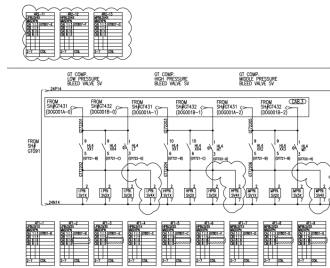


图 5 GT722电磁阀继电器控制图

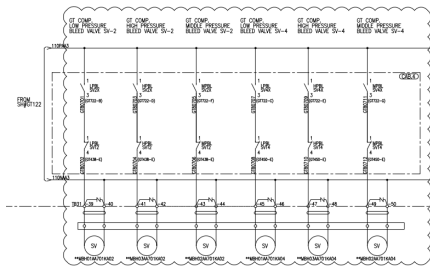


图 6 GT801电磁阀电路图

（七）电磁阀在线试验功能设计

每个电磁阀组均设计了在线试验功能。在电磁阀的控制回路增加试验继电器，试验继电器的接点设计为常闭接点，该接点串接在电磁阀的控制回路，当发出试验命令时该接点断开，电磁阀失电，试验结束该接点闭合，电磁带电；每个电磁阀出口配置一个压力开关用来监视电磁阀的出口压力。电磁阀在线试验就是通过压力开关的状态变化判断电磁阀的动作状态，从而达到对 4 个电磁阀逐一从关闭到打开的动作过程检验^[5]。在运行操作界面设置试验操作按钮，控制逻辑中设置试验逻辑。

三、防喘阀控制回路改造实施

该电厂利用机组检修机会将燃机的高、中、低压防喘阀控制回路进行了改造。改造包含新增电磁阀组及其配套管路的安装、控制回路的硬件安装及软件组态等工作，通过上述改造达到了预

期的效果，具体的改造过程如下：

1. 将各电磁阀在线试验指令信号、压力信号分配到 TCS 控制系统卡件的备用通道，试验指令分配到不同的卡件上。
2. 在机柜内增加继电器及其底座。
3. 修改电源回路及控制回路的接线。
4. 增加电磁阀在线试验功能的逻辑及画面组态。
5. 拆除废旧的电磁阀，在各防喘阀上方罩壳上安装固定新电磁阀组及气源管路。
6. 全部设备安装完成后进行系统检查及调试工作。

四、控制回路改造后试验结果分析

（一）电磁阀组供电电源测试

通过对电磁阀组两路直流 110V 供电电源 110PAA1 和 110PAA3 开关的轮流停送电，测试电磁阀组控制电源是否满足设计要求，经测试，单独停掉任一路电源各电磁阀组对应的两个电磁阀失电，各电磁阀组的控制气源不会失去，各防喘阀正常工作，满足了电源分散布置的设计要求。

（二）控制回路继电器及电磁阀状态测试

各电磁阀组控制气源投入正常后，将各防喘阀关闭，检查控制回路各继电器的状态、电磁阀的状态均正常；利用在线试验功能块逐一对各阀组的 4 个电磁阀进行开、关动作试验，试验过程中电磁阀的开、关状态均正常。

（三）各防喘阀动作时间测试

改造完成后对各防喘阀的动作时间进行了测试，测试结果表明与改造前基本一致，满足了设计要求。

序号	测试名称	改造前 (s)	改造后 (s)	是否满足要求
1	高压防喘阀打开时间	2	2	是
2	高压防喘阀关闭时间	2	2	是
3	中压防喘阀打开时间	2	1	是
4	中压防喘阀关闭时间	3	2	是
5	低压防喘阀打开时间	1	2	是
6	低压防喘阀关闭时间	2	3	是

五、结论

本文提出了三菱 M701F4 型燃机防喘放气阀控制回路存在的问题，通过对控制回路改造方案的研究，提出了合理的解决方案并进行了改造实施，消除了防喘阀拒动损坏压气机或误动导致机组跳闸的安全风险，提高设备的可靠性，有效的防止了机组保护误动和拒动。改造完成至今该电厂机组一直稳定运行，因此该改造是成功的，同时也为国内同类型机组开展相应技术改造提供了改造方案和成功实例，具有很好的借鉴意义。

参考文献

[1] 肖雅馨. 气动电磁阀智能在线故障检测系统的研究 [D]. 浙江大学, 2020.
[2] 翁晓凯, 胡军. 9FA 燃气轮机防喘放气阀的可靠性优化分析 [J]. 电子技术, 2023, 52(04): 81-83.
[3] 尹磊. V94.3A 燃机防喘系统优化改造与故障处理 [J]. 中国新技术新产品, 2020, (24): 57-59.
[4] 白金光. CO2 压缩机防喘失效原因分析及对策 [J]. 中氮肥, 2014, (05): 47-49.
[5] 阮斌. 一种非典型 ETS 在线试验失败原因分析及解决办法 [J]. 电力设备管理, 2020, (05): 78-81.