

9E 燃气轮机清吹阀故障处理及改进方案

杨体佳

(珠海深能洪湾电力有限公司, 广东 珠海 519060)

摘要: GE 9E 燃气轮机燃烧系统由燃烧室、天然气压力调节系统、天然气流量控制系统、清吹系统组成。清吹系统作为燃烧调节中的中间过渡系统,起着关键性的作用。清吹系统出现故障时影响机组的正常升负荷,严重时导致机组自动停机。清吹系统故障通常出现在机组燃烧模式切换过程中,清吹阀无法打开或者无法正确关闭。清吹系统控制阀在燃烧模式切换过程中若无法打开,将导致机组自动降负荷,影响机组的正常启动。针对此类故障文中介绍了合理的改进方案和清吹系统保护逻辑。

关键词: 燃料清吹系统; 燃气轮机; 自动降负荷; 自动停机

中图分类号: TK478

文献标志码: B

文章编号: 1009-2889(2023)04-0064-05

在燃气轮机发电中氮氧化物的合成类型多数属于热力型,因此 GE 公司的 9E 燃气轮机在加载负荷的过程中,为了实现低氮燃烧,通过切换燃烧模式去降低燃烧室的燃烧温度 T_2 ,并控制透平入口温度 T_3 ,从而减少热力型氮氧化物的产生,也保护透平热通道金属免受超高温影响。因此 9E 燃烧系统为了实现低氮燃烧,配套燃料控制系统与清吹系统。

1 清吹系统

某电厂目前使用的两套燃气轮机为美国 GE 公

司生产的 PG9171E 型机组。清吹系统由压缩空气控制的清吹阀 20PG-3、20PG-4 以及排空阀 20VG-3 组成,见图 1,三个阀门不能同时打开和同时关闭。20VG-3 采用的是两位三通的常闭电磁阀;20PG-3、20PG-4 采用的是气动三通阀,常开。清吹阀 20PG-3/4 在燃烧模式由贫贫燃烧模式向预混稳定燃烧模式切换的过程中得电动作关闭,其余时间打开,正常运行时排空阀 20VG-3 关闭,只有在清吹阀 20PG-3/4 关闭时才打开。

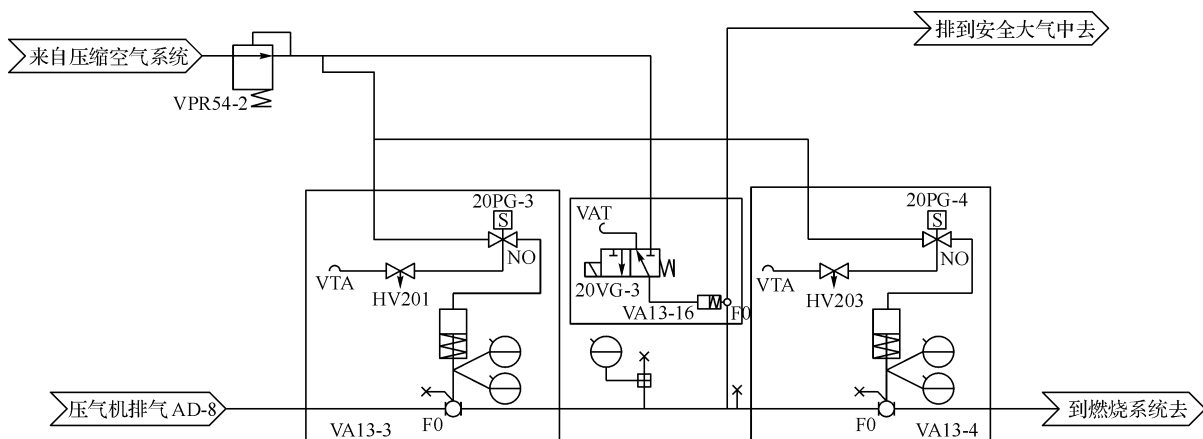


图1 清吹系统改造前系统图

收稿日期: 2023-04-02

作者简介: 杨体佳(1995—), 男, 广西桂平人, 本科, 主要从事燃气轮机发电机组技术研究工作, E-mail: yangtijia@ sec.com.cn。

9E DLN 燃烧模式切换主要发生在燃气轮机负荷 70~80 MW、燃烧室温度(TTRF1)1 079 °C,DLN 燃烧方式先由初级燃烧模式切换至贫贫燃烧模式,再由贫贫燃烧模式切换至预混稳定燃烧模式。下面是贫贫燃烧模式切换至预混稳定燃烧模式过程中的各阀门具体动作过程说明^[1]。

1) 首先清吹系统退出,清吹阀 20PG-3、20PG-4 关闭,排空阀 20VG-3 打开,然后 3#燃料控制阀(VGC3)由关闭位逐渐打开,1#燃料控制阀(VGC1)逐渐关闭直到完全关闭,2#燃料控制阀(VGC2)保持开度。此时燃料通过 VGC3 全部进入二区,并只在二区燃烧,一区由于 VGC1 完全关闭,没有燃料进入,一区火焰熄灭。DLN 界面的火焰监测画面只有二区 E、F、G、H 4 个显示火焰,这个过程称为二级切换模式。

2) 二级切换模式完成,VGC1 关闭 5 s 后逐渐打开,同时 VGC2 开度也逐渐增大,VGC3 逐渐关闭直到完全关闭,然后投入清吹,清吹阀 20PG-3、20PG-4 打开,排空阀 20VG-3 关闭。燃料通过 VGC1、VGC2 分别进入一区、二区,在一区内只发生混合,一区显示无火焰,所有燃料在二区内进行燃烧,二区显示有火焰,这个过程称为预混切换模式。

3) 预混切换模式完成,即进入预混稳定燃烧模式,这时大约 80% 的燃料通过 VGC1 进入一区,20% 的燃料通过 VGC2 进入二区,一区只发生混合,所有燃料在二区进行燃烧反应,此时工况下,NO_x 和 CO 排放达到较低水准。

2 清吹系统控制逻辑与保护

2.1 清吹阀关闭故障

当 TTRF1 达到设定值 1 079 °C,控制系统由贫贫燃烧模式切换到预混稳定燃烧模式,燃气轮机控制器(Mark VIe)发出二级切换模式(L3FXS1X)动作命令和清吹阀关闭(L3FGTC)指令,清吹阀 20PG-3、20PG-4 接收到指令后动作,实现关闭功能。

在压缩空气系统压力大于 0.75 MPa,在清吹阀收到关闭指令后^[2],经过 15 s 的延时(L3FGTCZ),清吹阀关闭信号(L33PGTC)控制器没有收到,这时 Mark VIe 就判断清吹阀在低氮燃烧切换模式下关闭失败(L86PGTLO)。此时火焰检测系统检测到一区有火焰信号存在(即 L28FPDX 为 1),如果这时火焰检测系统检测到一区没有火焰,那么机组将启动点火枪对燃烧室一区天然气进行重点火,此种情况下

通常出现在机组降负荷停机过程中,燃烧模式由预混稳定模式切向贫贫燃烧模式时一区重点火。如果 TTRF1 达到扩展燃烧模式温度(L26FXL3)设定值,Mark VIe 控制器将机组燃烧模式由贫贫燃烧模式切向扩展燃烧模式(L83LLEXTX)。由于机组在扩展燃烧模式下运行时,透平热通道承受比正常运行高出很多的燃烧温度,且 NO_x 排放量激增,因此不允许在此燃烧模式下运行的。当燃烧模式进入扩展燃烧模式时,值班员需要选择“高负荷切换(High Load Transfer)”按钮,并选择“投入”。此时因为选择了高负荷切换模式(L83HLT),机组自动升负荷指令(L70RX10)中断,在 Mark VIe 的控制程序下停止升负荷,并开始自动降负荷使机组燃烧模式脱离扩展燃烧模式,最后故障消除,并经检查无其他故障后再重新预选负荷,最后升负荷至预混稳定模式。

2.2 清吹阀打开故障

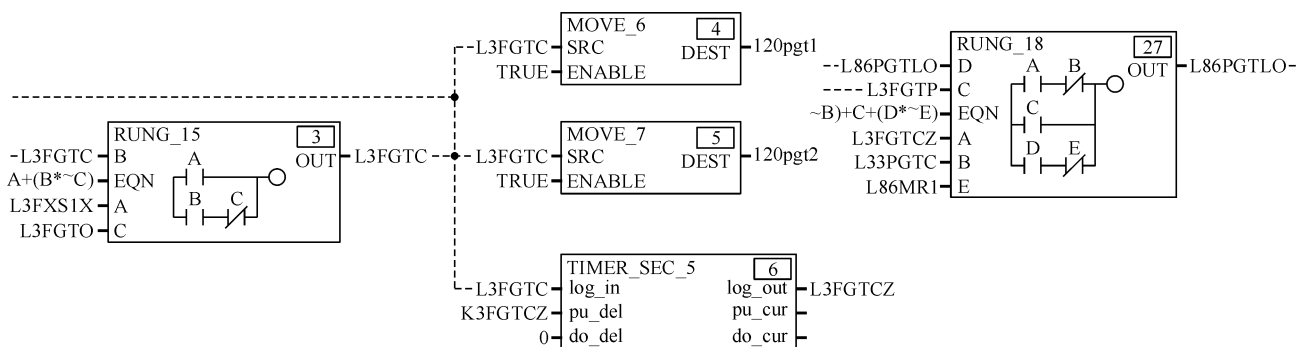
当清吹阀关闭指令中断,如果经过 55 s 的延时等待,清吹阀的关闭信号还是存在,机组将发出清吹阀打开故障报警(L30PGTOF_ALM)。由于清吹阀打开操作通常发生在非初级燃烧模式阶段,因此控制系统在清吹阀打开故障时,将触发自动降负荷程序命令(L86PGVL),并发出清吹阀打开故障并开始自动降负荷(L86PGVL_ALM)。当燃烧模式进入初级燃烧模式,则自动降负荷命令(L70LX10)中断,停止降负荷。

当机组负荷控制模式选择为无差控制时(L83SCI_CMD),机组将执行自动停机逻辑(L94AX)自动停机。清吹系统控制逻辑模块详见图 2、图 3。

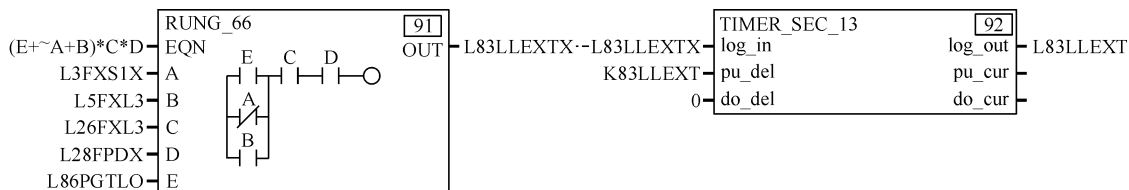
3 故障现象及处理过程

某电厂 6#机正常启机升负荷过程中,在由贫贫燃烧模式切换预混稳定燃烧模式过程中(燃气轮机负荷预选 95 MW),出现清吹阀打开失败报警(L30PGTOF_ALM)和清吹阀打开失败自动降负荷报警(L86PGVL_ALM),DLN 界面显示清吹阀 20PG-4 为黄色并有“fault”提示,随后燃气轮机自动降负荷,降至初级燃烧模式后主复归,使燃气轮机负荷稳定在 50 MW。

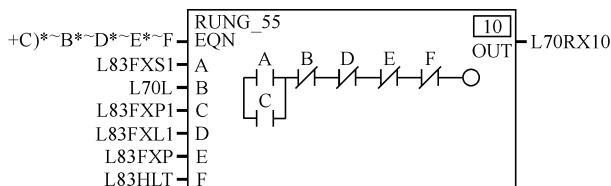
值班员到现场检查,压缩空气系统正常,压力稳定在 0.78 MPa。将天然气小间通风压力低保护(L4VLFLT)强制为 false 后,进入天然气小间检查,发现清吹阀 20PG-4 未打开,清吹阀 20PG-3 打开正常。初步判断为电磁阀滑阀卡涩,用铜制扳手轻轻敲击该阀门电磁阀及缸体,最后清吹阀 20PG-4 能正常打开。



(a) 清吹阀打开条件逻辑、关闭失败判断逻辑

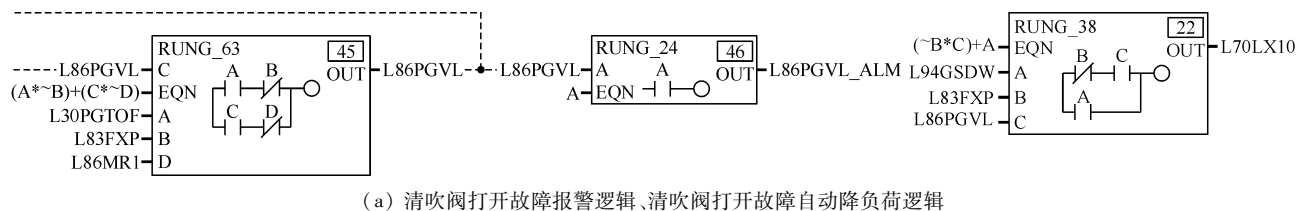


(b) 清吹阀关闭失败进入扩展燃烧模式逻辑



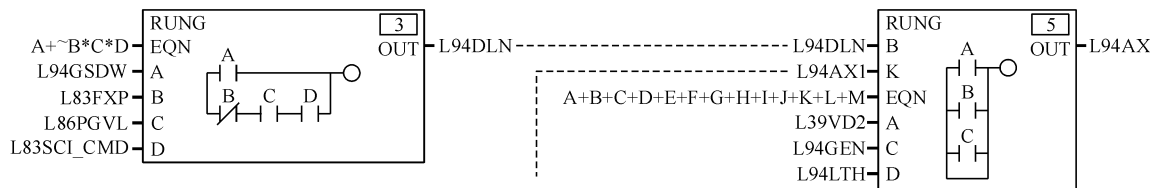
(c) 选择 High Load Transfer 后停止升负荷逻辑

图 2 清吹阀关闭故障保护逻辑



(a) 清吹阀打开故障报警逻辑、清吹阀打开故障自动降负荷逻辑

COMMENT_2
AUTO SHUTDOWN



(b) 清吹阀打开故障自动停机逻辑

图 3 清吹阀打开故障保护逻辑

经过对清吹阀 20PG-4 的强制动作, 阀门正常打开/关闭, 最后对机组全面检查无异常后, 燃气轮机再次升负荷。为防止再次打开失败, 在切换燃烧模式过程中始终用铜制扳手敲击清吹阀 20PG-4 缸体, 切换正常, 清吹打开时间为 30 s。

4 改进方案

针对 6#机燃烧模式切换过程中清吹系统控制阀延时打开的问题, 提出了 3 种改进方案。

(1) 更换清吹阀 20PG-3/4。目前清吹阀 20PG-3/4 阀体采用气动三通阀, 没有设置手动操作模式, 当遇到清吹阀打不开或者关不上时, 操作员无法做出有效的补救措施, 只能依靠轻敲阀体或者对压缩空气疏水, 无法实现在线故障处理, 影响机组的调峰计划。因此基于目前清吹阀没有手动操作模式, 可以将原有的清吹阀更换为带手动操作的阀体, 此方法虽然能够解决清吹阀出现打不开或者关不上时就地完成在线补救, 但是将整个阀体进行更换, 成本

高,改造工作量大。另外由于原有阀体为 GE 原产进口,更改阀体结构对清吹系统的安全和调节功能有影响,阀体的性能还需要符合相关标准和规定,还可能需进口,此方案暂不考虑。

(2) 每次启机前对清吹阀进行强制动作,观察阀体打开/关闭的时间,检查清吹阀是否卡涩,同时定期对清吹系统压缩空气进气滤进行清洗或更换,避免因压缩空气质量导致清吹阀出现打不开/关不上的故障。另外压缩空气储气罐疏水电磁阀动作故障时,导致压缩空气湿度过高,特别是气动机构不经常动作的,由于长时间压缩空气滞留于管道,会在低位处出现凝露现象,长此以往,进气阀杆将有可能被阀体粘住无法动作。针对此种情况,可以在储气罐出口加装干燥器,降低压缩空气湿度。在储气罐出口加装干燥器,压缩空气漏气点增加,且现场管路改造不便,最重要的是清吹阀打不开或关不上时不能实现在线处理,但是可以作为一个提高压缩空气系统安全性的改造,因此不考虑。

(3) 为实现在线快速处理故障,并考虑到清吹阀 20PG-3/4 为气动三通阀,关闭时依靠压缩空气推动阀杆实现关闭,打开时卸掉气缸中的压缩空气,依靠气缸中的弹簧力推动阀杆打开。基于清吹阀动作机理,可以考虑在压缩空气进气管中加装进气隔断阀,在阀体气缸卸压管道加装隔断三通阀,正常运行

时,进气隔断阀打开,排气隔断三通阀关闭。

上面 3 种方案经过比较,加上考虑到故障发生时通常在机组升负荷过程中,需要能够实现在线处理,方案 1 和 3 能够实现,方案 2 无法实现在线处理,最后考虑经济性,最终选择方案 3。但是方案 3 存在一个较大问题就是,清吹系统压缩空气管道口径较小,在现有仓库备件的隔断阀中没有对应管道口径的阀门。最后考虑到清吹系统压缩空气动作压力在 0.4 MPa,接驳不同口径管道的安全性是能够依靠焊接方法实现接口处完全不漏气。

采用第 3 种方案在清吹系统清吹阀控制气源管道增加三个手动隔断阀门,如图 4 中压缩空气进气隔离阀 HV303、两个排气隔断三通阀 HV202\HV204。燃气轮机运行时当清吹阀 20PG-3、20PG-4 出现电磁阀卡涩或漏气故障时,可关闭 HV303 阻隔动作气源,打开 HV202\HV204 卸掉气缸压力后进行更换。如清吹阀在启机过程中出现不能打开故障,在判断为清吹阀电磁阀阀体卡涩的情况下,可采取临时措施:关闭进气隔断阀 HV303,打开故障清吹阀对应的排气隔断三通阀 HV202/HV204,将清吹阀气缸内控制气源排放,气缸内气源排放后清吹阀会自动打开。清吹阀动作正常时,无需操作上述三个隔离手阀,保持阀门正常的状态,即 HV303 打开、HV202 和 HV204 关闭。

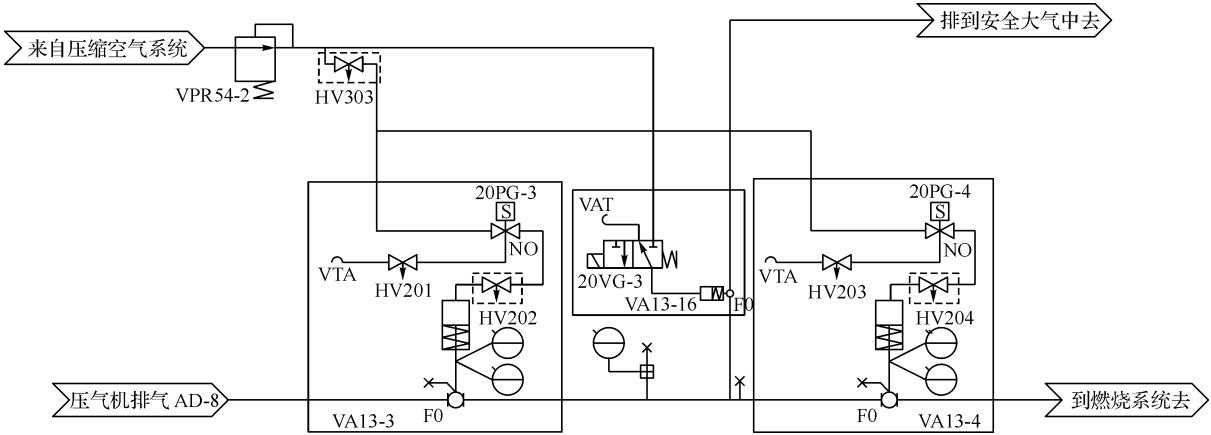


图 4 改造后清吹阀系统图

出现清吹阀打不开的故障属于偶然发生事件,清吹系统改造完成后,未再次出现清吹阀打不开的故障。因此某电厂 4#机清吹阀系统暂时没有做改造,6#机改造后的效果到目前未得到有效验证,但在理论上是满足需求的。

清吹系统改造可以实现当机组运行过程中出现清吹阀打不开故障时,能够及时到现场进行在线补

救,避免因小故障致使机组非计划停机,提高机组运行寿命,利于中调对电厂机组实时调控,减少计划并网时差过大导致电厂受到调度机构的考核。清吹系统改造也是保证机组能够安全稳定运行的一项安全措施,为值班员面对清吹阀出现故障时提供了在线抢救方法。

5 总结

机组出现清吹阀故障通常发生在机组升负荷切换燃烧模式过程中,通常是关闭后打开过程中出现打开超时,从而出现打开失败故障。为了避免此类故障的发生,值班人员应熟悉清吹系统的保护控制逻辑,在条件允许的前提下,可以通过加长清吹阀打开的时间来加长故障处理时间,从而阻止自动降负荷的程序走向。除了在两个清吹阀气源管路加装隔断阀外,可以在机组启机前试验清吹阀动作情况,及时发现故障并消除。定期对清吹阀等重要阀体进行

检查,加强对控制气源的巡视和维护,检查控制气源的疏水情况,排除因气源湿度过大,导致阀体或阀杆出现锈蚀、卡涩等故障。

参考文献:

[1] 深圳能源集团月亮湾燃机电厂,中国电机工程学会燃气轮机发电专业委员会. 大型燃气-蒸汽联合循环电厂培训教材[M]. 重庆:重庆大学出版社, 2014:312.
[2] 王维,张振华,胡智勇. 9E 燃气轮机清吹系统逻辑分析与故障处理[J]. 燃气轮机技术,2022,35(03):62-65.

Troubleshooting and Improvement Scheme for 9E Gas Turbine Purge Valve

Yang Tijia

(Zhuhai Shenzhen Energy Hongwan Power Co. , Ltd. , Guangdong Zhuhai 519060, China)

Abstract: :The GE 9E gas turbine combustion system consists of a combustion chamber, a natural gas pressure regulation system, a natural gas flow control system, and a purge system. The purge system, as an intermediate transition system in combustion regulation, plays a key role. Failure of the purge system affects the normal load raising of the unit and, in severe cases, results in an automatic shutdown of the unit. Purge system failures typically occur when the purge valve fails to open or closes properly during the unit burn mode switch. Failure of the purge system control valve to open during the burn mode switch will result in an automatic load reduction of the unit, affecting normal startup of the unit. In view of this kind of malfunction, this article introduces the reasonable improvement scheme and the purge system protection logic.

Keywords: fuel purge system; gas turbine; automatic load reduction; automatic shutdown