

# 9FA 燃气轮机点火前可燃气体浓度高遮断的原因分析和逻辑优化

刘小华

(福建晋江天然气发电有限公司,福建 晋江 362251)

**摘要:**针对两班制调峰运行的9FA燃气轮机联合循环机组,燃料控制阀动作频繁,工况变化较大,对阀门密封性将产生很大影响,导致可燃气体泄漏,在密闭的燃料小室集聚,从而在机组启动时容易引起可燃气体浓度高遮断发生,影响机组启动成功率。通过对历次可燃气体浓度高遮断造成启动失败进行了分析,提出了相应的逻辑优化,有益于提高机组启动成功率,取得了良好的效果。

**关键词:**燃气轮机;可燃气体;启动失败;分析;逻辑优化

中图分类号:TK477

文献标识码:B

文章编号:1009-2889(2015)01-0069-04

晋江燃气电厂是福建省LNG总体项目的十个子项目之一,属于国家重点建设项目。建设总规模为2 100 MW,配6台9FA(350 MW)燃气-蒸汽联合循环机组,其中一期建设规模为1 400 MW,配4台9FA(350 MW)燃气-蒸汽联合循环机组,总投资约50亿元。#1~#4机组分别于2009年1月、7月和2010年5月、10月投产发电,一期工程于2010年10月30日全部竣工投产,气源采用印尼东固气田液化天然气(LNG),建成后年发电量可达60亿kW·h。

统计显示自2010年至今一共发生了15次因点火前危险气体浓度高造成启动失败。目前现场处理该类型问题,普遍采取的运行措施为值班员至开关室手动启动一台通风风机并保持运行,机组再次启动则成功。原因分析主要为燃料小室内阀门如辅助关断阀ASV在泄漏试验阶段,天然气瞬间充压时,阀杆位置出现泄漏后在燃料小室内集聚。而目前通风风机的启动逻辑没有考虑燃料小室危险气体浓度在一定范围内的联动逻辑。

## 1 设备状况分析

### 1.1 可燃气体探头布置

可燃气体探头布置见表1。

表1 可燃气体探头布置

可燃气体探头	安装位置及描述
45HA-7、8	燃料小室顶部(检测不流动区域天然气浓度)
45HA-9A、9B、9C	燃料小室底部(检测流动区域天然气浓度)
45HT-1、2	燃机间(检测流动区域天然气浓度)
45HT-5A、5B、5C、5D	燃机通风抽气道(检测流动区域天然气浓度)
45HGT-7A、7B、7C	发电机刷架内((检测流动区域氢气浓度))

### 1.2 点火前可燃气体浓度高保护配置

点火前,具备以下任意一个条件均会触发启动终止:

- 1) 本特利继电器接点输出,即可燃气体探头45HA-7、8任意一个浓度 $\geq 10\% \text{ LEL}$ 或可燃气体探头45HT-1、2任意一个浓度 $\geq 7\% \text{ LEL}$ ;
- 2) 燃机间通风道可燃气体探头45HT-5A、5B、5C、5D任意一个浓度 $\geq 7\% \text{ LEL}$ 或其任意一个浓度值 $\leq -6.25\% \text{ LEL}$ (通常为探头故障引起);
- 3) 燃料小室可燃气体探头45HA-9A、9B、9C任意一个浓度 $\geq 10\% \text{ LEL}$ 或其任意一个浓度值 $\leq -6.25\% \text{ LEL}$ (通常为探头故障引起);
- 4) 发电机刷架内可燃气体探头45HGT-7A、7B、7C任意一个浓度 $\geq 10\% \text{ LEL}$ 或其任意一个浓度值 $\leq -6.25\% \text{ LEL}$ (通常为探头故障引起)。

### 1.3 透平间通风风机(88BT)启动逻辑

具备以下任意条件时,透平间通风风机联锁启动:

- 1) 当检测到火焰、二号轴承区通风风机(88BN)启动后延时 2s;
- 2) 当燃机间温度开关(26BT-2)动作;
- 3) 燃机间可燃气体浓度大于 7% LEL;
- 4) 启动清吹 11 min 结束后;
- 5) 启动后,当透平间温度开关(26BT-1)动作,自保持运行。

### 1.4 历次可燃气体浓度高启动失败分析

从历次统计可燃气体浓度高启动失败的原因,大致如下:

- 1) 基本上每次的可燃气体浓度高均由现场阀门泄漏聚集引起,导致启动终止,可燃气体浓度高启动失败主要集中于阀杆、盘根、密封圈失效、中分面等引起泄漏,而非探头故障。
- 2) 可燃气体浓度高启动失败以燃料小室为主。
- 3) 机组投产时,设备磨合期出现的次数较多,2011 年和 2012 年随着设备进入稳定运行阶段,可燃气体浓度高启动失败次数较少,2013 年可燃气体浓度高启动失败次数有升高趋势。
- 4) 从探头布置来看,可燃气体探头 45HA-7、8 安装于燃料小室顶部,当阀门阀杆或接头存在微小泄漏时,两班制运行期间燃料小室阀门处于相对“热”状态,泄漏量相对较小,一旦机组长时间停运后,阀门处于相对“冷”状态,此时较为真实地展现了现场阀门的泄漏情况,况且天然气密度比空气小,容易聚集于顶部。当机组进行泄漏试验,天然气充压后瞬间造成燃料小室内浓度上涨,触发启动终止。从历次统计数据可以得到佐证,燃料小室可燃气体探头 45HA-7、8 所占比重最大,可燃气体浓度高启动失败后,再次启动时手动启 88BT 后启动正常,这说明燃料小室可燃气体聚集并不是很多,风机稍加吹扫一般均可顺利启动,无需长时间提前启动透平间 88BT 通风风机。

## 2 逻辑优化

### 2.1 增加点火前可燃气体浓度高启动透平间通风风机(88BT)程序

当燃气轮机转速大于 45 r/min(L14HT 置 1),下列任一条件满足时,联锁启动通风风机:

- 1) 可燃气体探头 45HT-1、2 和 45HA-7、8 任意一个浓度大于 5% LEL;

2) 可燃气体探头 45HT-5A、5B、5C、5D 任意一个浓度大于 5% LEL;

3) 可燃气体探头 45HA-9A、9B、9C 任意一个浓度大于 5% LEL。

上述危险气体浓度值达到 5% LEL 时,在无火灾信号的情况下,触发 L4BTRUN 置“1”且自保持 12 min(目的是防止在 11 min 清吹时间内避免因浓度值变化导致风机频繁启停),启动已选择 LEAD 的通风风机,在上述延时的 12 min 内,运行人员可以使用画面上的风机停止按钮(画面已增加风机启停按钮)来停止通风风机运行。

由于上述启动风机逻辑是在燃气轮机转速大于 45 r/min(L14HT 置 1)的情况下生效,为避免风机频繁启动和停止,因此不再设置危险气体浓度值下降至一定值时的自动停止风机程序,而是采用 12 min 延时后自动释放自保持逻辑,或运行人员综合判断后采用手动停止的方式。

图 1 和图 2 为逻辑修改前后图示。

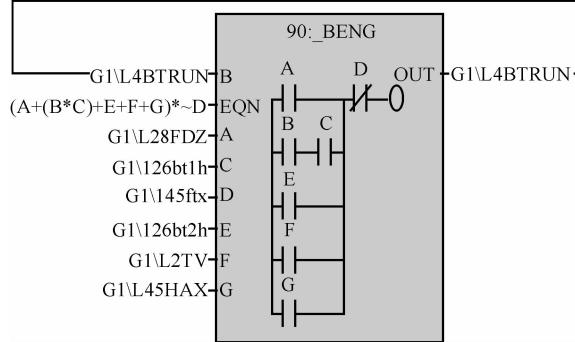


图 1 修改前逻辑框图

### 2.2 增加点火前可燃气体浓度高保护动作延时时间

燃气轮机预点火前可燃气体浓度高遮断信号 L45LEL\_PRET 对应的逻辑输入,除了 LELHGTH 不增加延时外,其它输入信号均加入 8s 延时,即在 LELHAA、LELHTH、l45h31、l45h41、l45h51 和 LELHF 增加 8s 的延时模块后,再送给 L45LEL\_PRET。

当燃料小室残余的天然气在风机的抽吸作用下,天然气浓度值出现短暂上涨后又下降,通过加入上述延时后,经现场实际经验,它可有效避免启动过程中因天然气浓度短时变化造成的启动失败。

### 2.3 技改安全性分析

可燃气体在空气中遇明火爆炸的最低浓度,称为爆炸下限。例如甲烷的爆炸下限为 5% (体积比),其对应 100% LEL,也就是说我们看到的 5% LEL

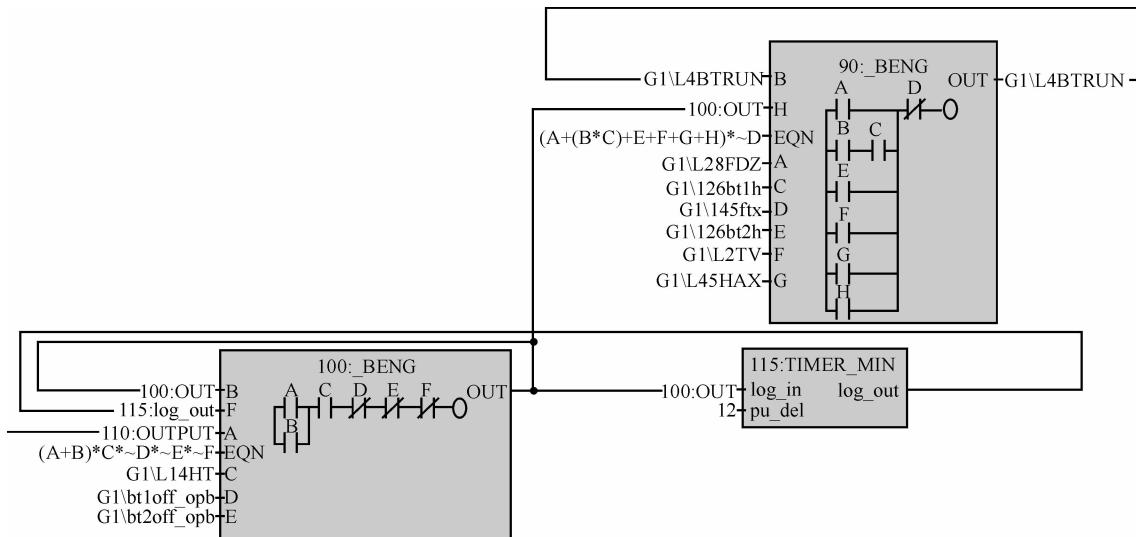


图2 修改后逻辑框图

时,相当于甲烷的实际含量为0.25%体积比。因此,从安全性角度考虑,可燃气体浓度达到5%LEL时联启风机是安全的,无需在机组启动时运行人员提前手动启动透平间通风风机,只需当浓度达到5%LEL联启风机即可。

从历年经验来看,机组停机时间较长后再次启动,有时在燃料间顶部积累少量的天然气,在燃气轮机清吹阶段,88BT风机运行时,燃料间顶部积累少量的天然气被抽出来,或者天然气瞬间充压,阀杆等积累的少量天然气排出,这时燃气探头会出现短时浓度上涨,然后又下降的过程,一旦浓度大于7%LEL,直接触发终止启动程序。但它只是短暂的过程,这种情况就不必触发停机,因此增加燃气浓度大于5%LEL时联启风机,如果浓度依然大于7%LEL且延时数秒,则触发跳机。此外,还有第二道保护(浓度高高值)无延时即跳机。如出现透平间通风风机因上述联锁逻辑启动,为防止燃料小间发生较大泄漏,根据当时危险气体探头显示情况综合判断是否中止启动。同时在清吹阶段,值班员需至机组

厂房透平间通风风机出口使用便携式危险气体探测仪表进行测量,可燃气体监测仪数值如达到10%LEL,也应立即中止机组启动,并进行专项查漏。

上述修改后可以大大提高机组启动成功率,程序也只是针对点火前逻辑,且原有的监视和保护功能依然生效,点火后逻辑保持不变,所以基本上是没有风险的。

### 3 结语

两班制调峰运行机组,启停频繁,对设备的可靠性提出了更高的要求。通过对历次机组启动失败的原因进行深入分析,及时有效地处理和改善设备存在的问题,提前采取改进措施,在保证安全的前提下,通过逻辑优化,增加可燃气体浓度与通风风机的启动建立联锁关系,并在点火前可燃气体浓度高信号增加延时遮断时间。经现场实际运用效果来看,基本上可以避免点火前可燃气体浓度短时升高导致不必要的跳机发生,大大提高了机组启动成功率。

## 9FA Gas Turbine Pre-Ignition of Hazardous Gas Level High Trip Analysis and Logic Optimization

LIU Xiao-hua

(Fujian Jinjiang gas power generation Co. Ltd., Fujian Jinjiang 362251, China)

**Abstract:** For the two shift peakload operation of 9FA gas turbine combined cycle unit, the valve seal will be greatly affected, which is caused by fuel control valve frequent adjustment and behavior greatly variation. It will lead to leakage of hazardous gas, and concentrated in fuel chamber space, thus easily lead to the hazardous gas level high trip in the start-up of the unit, which effect unit start-up success rate. This article analysis result of start failure due to the pre-ignition of hazardous gas level high trip, and puts forward the corresponding logic optimization. It can be beneficial to improve the unit start-up success rate, which achieved good results.

**Key words:** gas turbine; hazardous gas; starting failure; analysis; logic optimization

(上接第 41 页)

## Numerical Study of Performance Deterioration of Engine Guide Vane and Turbine blade

LI Dong<sup>1</sup>, ZHANG Wen<sup>1</sup>, JI Ming-zhao<sup>1</sup>, LV Yi-ting<sup>2</sup>

(1. Naval Aviation Academy, Liaoning Huludao 125001, China;

2. The People's Liberation Army Institute of Chemical Defense, Beijing 102205, China)

**Abstract:** Aim at some ingredients leading to typical component performance deterioration-regulative deviation of guide vane, blade roughness increase, profile change and tip clearance increase, computational model of fan and turbine were established, the token of performance deterioration was perfected, the effect of some ingredients on floating field and change of main performance parameters was analyzed. The results indicate, the ingredients influence work performance of fan and turbine, and decreases performance parameter. The results provide a basis for maintenance and adjustment of components after deterioration.

**Key words:** fan; turbine; performance deterioration; floating field simulation; roughness; guide vane

(上接第 68 页)

## Warm Start Logical Optimization and Application of the M701F Single Shaft Combined Cycle Unit

WANG Xin-nian

(CNOOC Fujian Gas Power Co. Ltd, Fujian Putian 351100, China)

**Abstract:** This article presents an introduction to the warm start logical composition, control principle and the existing problems of the M701F single shaft combined cycle unit. In addition, it proposes the warm start logic optimization direction, and determines the logical optimization with the manufacturer. The logic optimization is implemented in the process of overhaul. The warm start time was shortens after the optimization, the unit economy is improved, which provides reference for the same type unit.

**Key words:** gas turbine; warm start; logic optimization; energy conservation and emissions reduction