

中小型燃气轮机电站辅助系统供电方案

针对中小型燃气轮机电站辅助系统电气负荷在不同工况下的工作状态逐一进行分析, 汇总不同工况下的站用电负荷, 对辅助系统应急柴油发电机容量的选择及电压波动问题提出解决方案和建议。

马 坤 刘志伟 李 纯 刘朝霞 郑 刚/中石油集团工程设计有限责任公司北京分公司

0 引言

海外油气田通常地理位置偏远, 负荷分散且无外电供应, 油气田内部通常建设含发电、输电及供配电的供电网络。单机功率在10~50 MW中小型燃气轮机电站以其安装快捷、运行稳定的特点在海外油气田得到广泛应用。

中小型燃气轮机发电站投产运行后, 时常发现辅助系统电压波动故障导致电站停机及电站应急柴油发电机容量不足问题。其中几十毫秒至几秒的电压波动故障导致辅助系统保护跳闸, 致使轮机辅助系统关键设备失电, 直接导致轮机停运; 而应急柴油发电机容量不足导致电站事故停机后无法及时起动机。导致上述问题的原因是未对中小型燃气轮机辅助系统的运行工况全面了解。本文针对中小型燃气轮机电站辅助系统用电负荷、起停机顺序及供电方案作分析, 提出解决上述问题的建议, 力求为今后的工程提供参考。

1 中小型燃气轮机用电系统

1.1 燃料气系统用电负荷

一般油气田燃气轮机电站燃料气采用的是未经处理的油井伴生气, 压缩后将伴生气内的重烃组分去除, 即作为

轮机燃料气供应。轮机电站燃气处理橇由分液罐、过滤器及电加热器组成。为了解决轮机电站燃气处理橇内析液的问题, 在天然气处理橇设备及管线加装电伴热带, 起停由PLC温控装置调节, 受温度参数和燃机所需流量参数自动控制, 能够有效地避免低温积液生成。在过滤器下游设电加热器, 提升轮机进口燃气至露点温度27℃以上, 满足轮机燃气品质需求。燃气处理橇主要负荷为电加热器, 每台轮机的电加热器功率根据油井伴生气的露点及燃机所需的流量来确定, 功率为100~200 kW, 属于连续负载。电加热器在机组启动、运行及热备状态必须工作, 确保机组相互切换有可靠的燃料供应。燃机入口有温度检测, 若达不到进气温度设定值, 系统会报警提示, 如继续下降至低温限值, 系统会停机。

1.2 燃料油系统用电负荷

一般轮机电站燃油处理橇通常由喂油泵、过滤器, 旋流分离器和储液罐组成。待处理的燃油原料由喂油泵送入过滤器将一部分杂质分离出来, 而后经过旋流分离器二次分离出悬浮物及钠钾离子, 成为品质合格的燃料油进入储油罐作为轮机燃料。燃油处理橇主要电气负荷为旋流分离器, 每台旋流分离器的功率大致在10~30 kW之间。如果轮机长期运行在燃油状态, 燃油处理橇则属于连续负载, 否则为间断性负荷。

1.3 起动系统用电负荷

燃气轮机起动系统通常采用电动液压系统, 驱动方式采用变频器或软起动



马 坤/高级工程师

关键词/Keywords

中小型燃气轮机电站·
辅助系统·
负荷统计·
电压波动·

器，不会对电网造成较大冲击。液压电动机作为液压传动装置的原动力，液压传动装置通过制动离合器为齿轮箱提供扭矩以达到起动燃气轮机所必须的可变速度。当燃气轮机达到自持转速时，起动电动机卸载，制动离合器迅速脱开，燃气轮机继续加速至额定转速。正常停车时起动电动机也会介入，其作用是使燃气轮机在燃烧室停止工作后带转子继续盘车，确保润滑油继续循环将各个系统充分冷却，同时让轴恢复到正常应力水平。起动系统主要电气负荷为起动电动机，功率在200~500 kW之间。中小型燃气轮机停机状态时的盘车功率在50 kW左右。

1.4 润滑油系统用电负荷

燃气轮机润滑油系统包括：滑油箱、预/后滑油泵、主滑油泵、后备滑油泵及油滤等，并配置冷却器和气体分离器。润滑油电动机功率在15~50 kW之间；冷却器风扇功率在50~75 kW之间。起动时滑油泵要投入运行，但冷却器可以根据温度自动控制是否投入。停机时滑油泵必须运行冷却机组各个部件，否则会导致机组抱轴事故；由于停机状态下热量不再从机组释放出来，空冷器在停机状态下可不必运行。润滑油系统温升高于设定值，系统报警，如无操作改善，温度升至高高限值直接会导致停机。

1.5 通风系统用电负荷

中小型燃气轮机的发电机冷却及机罩通风均采用空气冷却，整体户外撬装化布置，密闭机罩为全钢结构，能满足户外露天或防晒棚下布置要求。其主要负荷为进风风扇，功率为50~100 kW。通风系统温升高至设定值，系统报警，如无操作改善，温度升至高高限值直接会导致停机。系统正常停机后，轮机通风系统需要短暂工作一定时间直至机箱温度降低至设定值后停止运行。

1.6 控制系统用电负荷

中小型燃气轮机的控制系统由轮机厂家成套供应，是轮机及其辅助系统正常运行的控制核心。主要包括发电机控制盘、轮机控制盘和直流系统。控制系统负荷约为15 kW。控制系统电源通常由直流

系统供电，确保实时在线监控电站状态。

2 中小型燃气轮机辅助系统负荷统计及供电方案

2.1 负荷统计

根据中小型燃气轮机电站辅助系统的功能描述，辅助系统电气负荷统计通常可分为热备负荷、起动负荷、正常运行负荷及停机冷却负荷四类分别统计。以3×10 MW燃气轮机组成的油气田自备电站为例，辅助系统的负荷统计如下表所示。

表 辅助系统负荷统计

序号	负荷名称	功率/kW	热备	起动	运行	停机
1	燃气处理撬	100	✓	✓	✓	
2	燃油处理撬	30	✓		✓	
3	起动电动机	110 (50)		✓		✓
4	润滑油空冷器	2×15			✓	✓
5	润滑油循环泵	22+15		✓	✓	✓
6	进风过滤器差压吹扫	7.5			✓	
7	进风风扇	55		✓	✓	✓
8	控制系统	15	✓	✓	✓	✓
9	主发电机冷却风扇	2×22			✓	✓
10	主电动机防凝露设备	2	✓	✓		✓
11	电伴热	5	✓	✓	✓	✓

2.2 辅助系统供电方案

海外油气田联合站站内供电等级通常为11 kV，供电系统简单。轮机电站辅助系统供电方案如下图所示。

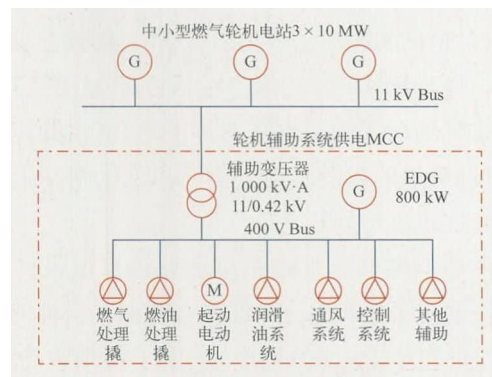


图 辅助系统供电系统图

正常黑启动顺序：起动应急柴油发电机—轮机辅助系统带电—轮机起动—向11 kV母线供电—电站11/0.4 kV变压器带电—应急柴油发电机与系

统并车后退出运行。

油田孤网燃气轮机电站ESD停机后,会造成辅助系统的失电。电站控制系统由直流系统供电,能够监控电站整体状态,轮机润滑油泵也能由直流系统供电保证轮机轴系统顺利冷却。全场停电后,辅助系统应急柴油发电机应在20 s内立即启动。轮机通风系统、发电机冷却系统、润滑油空冷系统及燃料供应系统等用电负荷应顺序再启动,保证各台轮机完全顺利冷却及下一次正常启动。

通过海外油气田几个中小型燃气轮机电站的实践运行证明,上述辅助系统供配电方案是可靠的,但设计者对应急柴油发电机组容量选择及系统瞬时低电压对辅助系统的影响考虑不周,导致电站由于很小的系统电压波动而全站事故停机,且停机后无法短时再次启动,事故分析如下。

3 辅助系统应急柴油发电机容量

燃气轮机电站内应急柴油发电机作为黑启动电源,原则是保证全站停电后迅速再次启动辅助设备。设计者选择应急柴油发电机容量通常采用以下条件:保证正常负荷运行;满足尖峰负荷要求;母线压降满足要求。

由于燃气轮机启动电动机功率较大,设计初期轮机厂家给出的最大负荷为启动负荷(这对单台轮机而言是正确的),而实际在电站投产运行后却发现全场停机工况所需的功率远超过所认为的最大负荷,例如电站配置3台机组,2开1备,黑启动1台轮机的启动负载为319 kW。实际在事故状态下,电站要求2台机组停机后立即启动第3台机组,此时辅助系统用电负荷等于2台机组的停机负荷加1台机组的启动负荷,停机再起启动负荷远超过原来假定的最大负荷。

中小型燃气轮机电站应急柴油发电机容量选择要根据实际生产运行工况综合考虑,分析机组启动、停机的可能数量及顺序,选择实际最大功率。

4 系统电压波动

电站辅助系统电源取自电站11 kV母线(见图1),11 kV系统也为油田联合站供电。当油气田

联合站有大电机突然启动,时常导致系统电压波动,时间从几十毫秒至几秒钟不等。虽然电站控制系统及轮机本体的润滑油泵关键设备均由直流系统供电,但是润滑油系统冷却风扇、发电机冷却风扇、通风系统风扇及一些非关键设备的电源均由MCC直接配出。上述设备受到系统电压波动的影响,接触器线圈释放使电源回路断电,继而很快影响到轮机系统升温报警而跳机,造成全场停电。此类运行中出现的电压扰动看似小问题,但直接影响到整体电站的稳定运行。

通过几个项目积累的实际经验,系统电压波动保护跳闸导致电站停车事故的解决方案如下。

4.1 停机自启动

当燃气轮机电站监控系统监控到辅助系统低电压故障,低压电动机的接触器失电脱扣,轮机系统报警,逻辑判定无其他故障后,轮机监控系统应发出低压电动机顺序自启动命令。这种措施理论上能够实现,而实际经常得不到轮机厂家的支持,拒绝更改电站固有事故判定程序,继而无法实现自启动。

另一种停机自启动是从电气主回路本身实现电机自启动,通常可以采用电动机保护器或再起启动继电器。电动机保护器或电动机再起启动继电器具有可靠性高、体积小、安装方便及接线简单等优点,可直接安装于变电所低压开关柜内,只要低电压持续时间不超过设定的允许时间即可按设定的时间再分别启动被低电压保护跳闸的电动机。

4.2 快速电压调节器

快速电压调节器(AVC)是一个以逆变器为基础的动态系统,用以保护敏感的工业和商业负载免受电压突变的干扰。它可对电压波动、暂升作快速和准确的校正,并有连续的电压调节和负载电压补偿的功能。

AVC由电压源逆变器、旁路电路和一个串联在电网输入端和负载之间的注入式变压器所组成。它时刻监测输入电源电压,当电压一旦偏离额定值时,它即控制IGBT和串联的变压器注入适当的补偿电压。该保护装置在1~2 ms作出响应,

极其快速地将负载端电压调节到额定值，从而基本减轻来自电网输入端的电压波动对负载的影响。

4.3 应急不间断电源

大功率应急不间断电源（EPS）是解决电压波动停机问题的有效手段。EPS系统由整流器、逆变器、静态旁路开关及蓄电池组等部分组成，系统正常时热备状态，当主电源失电时，系统瞬间切换为由蓄电池组的直流电通过逆变器转换为交流电供负荷使用，提供给燃气轮机的停机冷却负荷，确保了供电的连续性。当电源恢复正常时，EPS系统切换到热备状态。

4.4 优缺点分析

电动机保护器或电动机再起动继电器的优点是价格便宜安装方便，理论上能够有效地保证电动机自起动，但燃气轮机厂家认为类似设备会影响轮机辅助系统的逻辑控制，拒绝在其MCC中装设，因此项目运行中较难实施。

AVC的优点是其在毫秒级内对跌落电压作出初步校正，然后在随后半个周波之内作出完全校

正。其功能上对轮机辅助系统控制逻辑无影响，且市场价格适中，在对电压波动要求较高的工业设施领域，如中东地区海外油气田中小型燃气轮机电站辅助系统中得到较为广泛的应用。

EPS系统的优点是也能提供稳定可靠的电源输出，但其与以上两种设备相比较昂贵，且大功率等级的EPS蓄电池数量较多、占地面积较大，因此在燃气轮机辅助系统中应用较少。

5 结束语

中小型燃气轮机电站辅助系统的电压稳定是电站可靠运行的关键。为了防止系统电压波动对电站辅助系统的影响，可采用快速电压调节器稳定辅助系统电压，避免轮机辅助设备由于系统电压波动而失电，继而导致整体电站事故停机。

为了保证全站停机后再次快速起动备机，设计中应详细了解主机组起停数量、顺序及辅助系统的运行工况，根据实际最大负荷工况选择应急柴油发电机容量。

（收稿日期：2016-05-21） EA

（上接第89页）

参考文献

- [1] 杨捷, 张锐, 刘巍. 含分布式电源接入配电网故障分析[J]. 电气应用, 2015, 34(19): 103-106.
- [2] 高立克, 丁涛, 俞小勇, 等. 小电流接地系统行波法选线的RTDS测试可行性分析[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(17): 113-117.
- [3] 周保荣, 房大中, Laurence A S, 等. 全数字实时仿真器—HYPERSIM[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(19): 79-82.
- [4] 田芳, 李亚楼, 周孝信, 等. 电力系统全数字实时仿真装置[J]. 电网技术, 2008, 32(22): 17-22.
- [5] 倪计民, 李晓锦, 石秀勇. 基于NIPXI平台的发动机ECUHL系统上位机程序开发[J]. 汽车技术, 2014(3): 54-58.
- [6] 赵跃, 苗克坚. 基于PXI的飞控襟翼仿真系统的设

计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(3): 661-664.

- [7] 汪新星, 刘旭, 刘浩. 基于StarSim和平均值法的双馈感应发电机硬件在环仿真[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(4): 53-59.
- [8] Yu Zhou, Jin Lin, Song Yonghua, et al. A power hardware-in-loop based testing bed for auxiliary active power control of wind power plants[J]. Electric Power Systems Research, 2015, 124(7): 10-17.
- [9] 熊玮, 夏文龙, 余晓鸿, 等. 多核并行计算技术在电力系统短路计算中的应用[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(8): 49-52.
- [12] 陈勇, 李亚楼, 田芳, 等. 基于MPI的电网仿真实时并行计算平台[J]. 计算机工程, 2011, 37(17): 268-273.

（收稿日期：2015-08-18） EA