

微型燃气轮机微网技术方案

郭 力¹, 王成山¹, 王守相¹, 胡玉峰², 王 兵², 吴小辰²

(1. 天津大学电力系统仿真控制教育部重点实验室, 天津市 300072;

2. 南方电网公司技术研究中心, 广东省广州市 510623)

摘要: 详细介绍了微型燃气轮机微网系统设计方案。首先介绍了示范工程的冷/电系统结构; 然后围绕燃机分组、网架结构、运行方式、保护配合与整定、系统自动化配置等技术问题进行研究, 从技术先进性、可行性、经济性、可靠性对比分析了各种可能存在的技术方案; 最后针对推荐方案详细说明了系统保护配置与整定的实施建议, 以及系统在不同运行工况下的运行方式。研究表明, 推荐方案能够满足微网的设计要求, 有效提高了系统的供电可靠性, 且具备可实施性。

关键词: 微型燃气轮机; 微网方案; 保护; 运行

中图分类号: TM61; TM727.2

0 引言

为解决分布式电源接入大电网的安全可靠性问题, 美国电力可靠性技术解决方案协会(CERTS)于 2002 年提出了“微网”概念^[1]。现有研究和实践已表明, 将分布式发电供能系统以微网的形式接入大电网并网运行, 与大电网互为支撑, 是发挥分布式发电供能系统效能的最有效方式^[2]。

目前, 包括美国、欧盟、日本、中国在内的许多国家和地区都加强了对微网技术的研究和示范工程建设的力度^[3-4]。其中, 欧盟开展了 MicroGrid 计划, 并相继建立了不同规模的微网实验平台; 美国能源部和国家自然基金委共同赞助建造了 CERT 微网系统; 日本的新能源和工业技术发展组织(NEDO)相继推动建造了 Aomori, Aichi, Kyoto, Sendai 这 4 个微网示范工程^[5]; 此外, 加拿大、美国 GE 公司等也相应开展了微网示范项目的建设; 中国虽然已经建成了一些冷热电联供分布式能源系统, 如上海浦东国际机场能源中心、北京燃气集团调度指挥中心热电联供项目等, 但由于受多方面因素的影响, 成功并网运行的还不多, 这些系统多数采取了“以热定电”和“并网不上网”的原则, 刻意回避向电网输送电力的问题, 许多深层次的技术问题有待解决。

2007 年南方电网公司联合天津大学、北京四方继保自动化有限公司承担了国家 863 计划“兆瓦级

冷热电联供分布式能源微网并网关键技术和工程示范”项目, 确定共同以佛山市禅城区供电局新调度大楼为依托, 建成一个具有典型代表性的基于兆瓦级燃气轮机的冷/电联供与分布式能源微网系统示范工程。通过该项目, 将研究与微网相关的控制、保护等单元技术; 开发微网、热网和大电网三网联合的系统集成技术; 研究分布式能源微网系统的工程设计与运行技术。其中, 重点研究微网与大电网(配电网)互联运行模式、能量交换与接入技术、相互影响与协调控制技术等涉及到微网与大电网互联的关键问题, 提高分布式能源微网系统运行的可靠性与经济性, 解决当前制约分布式能源系统发展的瓶颈问题。

微网示范工程的建设是该项目实施的关键, 本文围绕燃机分组、网架结构、运行方式、保护配合与整定、系统自动化配置和优化运行控制等技术问题进行研究, 从微网设计要求、技术可行性、系统可靠性等方面对比分析各种可能存在的技术方案, 并得出可实施的推荐方案; 然后针对推荐方案对系统保护配置和整定, 以及微型燃气轮机在不同故障下的动作逻辑进行了详细说明。

1 示范工程简介

1.1 电气系统

示范点负荷由 3 栋大楼组成: 调度大楼、综合楼和试验楼。如图 1 所示。

现对该系统的供电方式进行如下说明:

1) 调度大楼配电房采用双电源进线设计, 正常运行时, 10 kV 母联开关 700 和 0.4 kV 母联开关 A3 打开。由佛山站送出的禅调甲线和由石湾站送

收稿日期: 2008-11-24; 修回日期: 2009-02-05。
国家高技术研究发展计划(863 计划)目标导向项目(2007AA05Z250); 国家自然科学基金资助项目(50625722, 50837001)。

出的禅调丙线通过 2 个主变 T1 和 T2 分别向低压母线 LM1 和 LM2 所带负荷供电。综合楼负荷由禅调丙线单独供电。试验楼负荷是由调度大楼配电房的某个低压开关柜供电。

2) 母线 M1 与 M2 之间为具有备自投功能的分段开关, T1 与 T2 之间同样安装有分段开关, 但需要人工操作, 且与进线开关构成电气联锁。消防电梯、应急照明等重要负荷采用双电源设计, C1 和 C2 为电气联锁。如果取 T1 作为主供电电源, 则 C1 闭合, C2 打开; 如果取 T2 作为主供电电源, 则 C1 打开, C2 闭合。其余负荷, 如普通照明、室内外空调机、新风机等, 采用单电源设计。

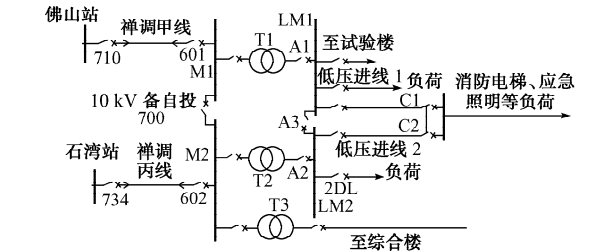


图 1 系统结构
Fig. 1 System structure

3) 试验楼、综合楼、调度大楼的最大冷、电负荷预测结果如表 1 所示。需要特别指出的是, 最大电负荷预测结果仅仅包含普通照明负荷和电梯、电脑、开水器等耗电设备, 并不包含消防安全用电、特一级或一级设备和空调等电力供应要求较高的负荷。以空调系统的单位新风量和制冷量的实际耗电为基础, 分别计算 3 栋楼的最大空调电负荷(综合楼、新大楼采用中央空调, 试验楼采用分体空调, 取中央空调冷电比为 2.3, 分体空调为 4.8), 示范点最大电负荷将超过 2 000 kW。

表 1 负荷预测结果
Table 1 Load forecasting results

kW			
大楼	最大冷负荷	最大空调电负荷	最大电负荷
试验楼	544.61	113.50	84.89
综合楼	1 238.48	538.47	330.90
调度大楼	1 484.57	645.50	302.82
总计	3 256.43	1 297.47	718.21

1.2 冷/电系统方案

由于示范点负荷大部分属于办公负荷, 具有较强的实时性, 每天 8:00~18:00, 负荷需求较大, 7:00~8:00 和 18:00~20:00 属于负荷较小时段, 其他时段负荷很小。为了实现燃机的高效、可靠运行, 满足燃机一次能源利用率达到 75% 以上的考核指标, 根据对 3 栋楼的逐时冷、电负荷预测结果, 通过

对大量组合方案的全工况性能的优化计算和比较, 在综合考虑冷/电联供系统的能效比、电热比、运行小时数、投资经济分析、调峰及备用能力基础上, 采用如图 2 所示的供电、制冷方案。

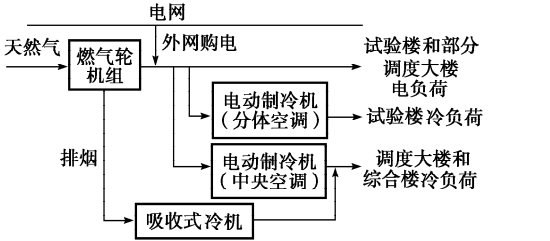


图 2 供冷、供电系统结构
Fig. 2 Cooling and power supply system

建议采用 600 kW~800 kW 微型燃气轮机与双效烟气制冷机组组成冷/电联供系统; 并网运行时, 微型燃气轮机发出的电首先提供给部分调度大楼负荷和试验楼负荷, 不足部分由外购电网的电满足; 微型燃气轮机排出的烟气通过双效吸收式制冷机转为冷气, 首先满足调度大楼的制冷需求, 不足部分由中央电空调满足, 多余部分可以为综合楼制冷, 综合楼不足部分由电空调补充; 试验楼的冷负荷则由分体式电空调提供。

2 备选技术方案

按照燃机结构不同, 可简单分为不带齿轮箱的 II 型微型燃气轮机和带齿轮箱的 I 型微型燃气轮机 2 种结构。通过对 2 种双模式微型燃气轮机并网技术方案的比较, 本文针对单机容量为 200 kW 的 I 型微型燃气轮机^[6]进行微网设计。

围绕 I 型微型燃气轮机提出如表 2 所示的 5 种微网设计方案, 燃机的单机容量为 200 kW。

表 2 微网技术方案
Table 2 Design scheme of microgrid

方案	燃机组合	并网方式
1	600 kW/800 kW	单并网开关
2	600 kW/800 kW	双并网开关
3	400 kW+200 kW, 400 kW+400 kW	单并网开关
4	400 kW+200 kW, 400 kW+400 kW	双并网开关
5	600 kW/800 kW	升压变压器

方案 1 和方案 2 采用单组燃机方案, 所有燃机接在同一侧。方案 3 和方案 4 采用分组方案, 2 组燃机分别接在 2 段 0.4 kV 母线上。方案 1~方案 4 中, 微型燃气轮机通过并网开关接在 0.4 kV 母线处, 方案 5 采用升压变压器将微型燃气轮机接在 10 kV 母线处。方案 1 和方案 3 采用如图 3(a) 所示的单并网开关方案, 微网与外网连接只有一个并网开关 1DL, 1DL、重要负荷和燃机构成微网。方案

2、方案4采用如图3(b)所示的双并网开关方案,取消并网开关1DL,低压母线LM1和燃机构成微网,微网与外网有A1和A3这2个并网开关。

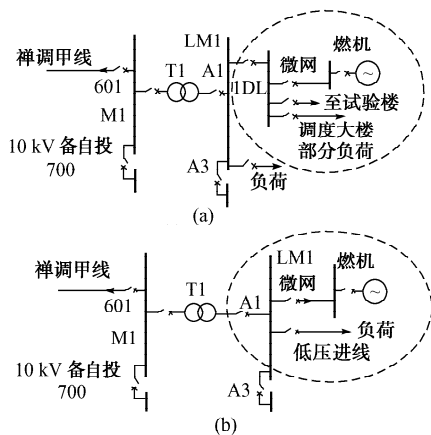


图3 单、双并网开关方案

Fig. 3 Single, double grid-connecting switch scheme

3 技术方案比较

微网设计方案应确保微网与主网长期互联运行的可靠性和经济性,并为冷/电联供系统的优化运行提供技术支持平台与实现手段;同时,微网设计方案还应充分考虑示范点的实际情况,遵循示范点对工程实施可行性、运行维护方便性等环节的限制性要求。根据以上设计要求,对备选方案进行比较。

如果采用10 kV升压变方案,不论将燃机和升压变接至哪一段10 kV母线,当主变发生故障时,该主变所带负荷将全部停电,直至主变重新投入运行。因此,该方案并不能有效发挥微型燃气轮机替代电源的作用。其次,如果将燃机与10 kV变压器接至10 kV母线M1或者M2处,按照负荷预测结果,由于T1和T2下最大负荷有可能超过800 kW,微网孤网运行时,需要安装切负荷装置。

双并网开关方案中,微网模式控制器无法选取合适的母线电压作为模式转换的判断依据。以方案2为例,假设选择LM1母线电压作为判断依据,10 kV禅调甲线故障时,如果备自投失效,燃机从并网转孤网模式时,模式控制器需要同时确保打开A1和A3这2个联络开关。微网孤网运行后,LM1电压一直正常,外网是否恢复正常,微网模式控制器无从判断。采用双并网开关方案,燃机从热备用重新并网或者从孤网运行模式向并网模式转换时需要人工操作,无法实现模式的自动转换。由于0.4 kV母线所带负荷有可能大于燃机容量,因此微网孤网运行时,需要利用负荷切除装置切除部分负荷,且需要同时保证打开2个断路器,增加了二次回路的复

杂性。综合以上考虑,在该系统中采用单并网开关方案。

方案1中,对于I型800 kW微型燃气轮机,虽然燃机出力能够满足微网内的最大电负荷需求,但是由于整个示范点大部分时间的冷、电负荷较低,800 kW燃机满发后,大量电力将倒送10 kV电网,长期运行在这种方式下,变压器损耗较大。其次,燃机所连接的降压变压器容量为1 250 kVA,选择单组800 kW燃机,燃机容量超过变压器容量的60%,燃机启、停过程中,将对系统电压和负荷造成较大冲击。方案3中,将燃机分组后,各组燃机容量减小,微网内所带重要负荷容量也相应减少;由于需要使用2套模式控制器和上层控制系统分别控制2组燃机,面向整个系统层面的冷、电优化控制将难以实现。

综合以上考虑,该示范工程拟采用600 kW单组燃机方案。

4 保护整定

燃机的保护整定应满足2个设计要求:燃机的快速低电压保护整定值应按照确保系统内设备故障(禅调甲线、10 kV母线M1、配变T1和380 V母线LM1)可靠动作来整定;对于系统外部故障,如佛山站10 kV母线上的其他10 kV线路故障,则应尽可能保证燃机不转入热备用运行,避免频繁转换对冷/电联供系统、接触器等设备的影响。按照以上要求对系统和燃机的保护配置和整定进行如下说明:

1)禅调甲线710开关配置瞬时过流、定时限过流保护和过负荷报警,其中瞬时过流保护范围可按照延伸至配变T1内部70%~80%整定,时间0 s;过流保护定值按躲过最大负荷电流整定,时间0.7 s。601开关不单独配置保护。配变T1仅高压侧配置瞬时速动与过流保护,整定原则与传统整定一致。瞬时段过流定值按照躲变压器励磁涌流定值整定;而过流保护则按照躲过最大负荷电流来整定,时间与甲线过流保护时间定值配合,取0.4 s。

2)其他10 kV线路故障,仅在故障点距离佛山站10 kV母线电气距离较近的情况下机端电压才比较低,低压保护动作。对于近区故障,一般10 kV线路可由瞬时过流速动保护切除,保护动作时间为0 s,加上开关动作时间可认为在100 ms以内。因此,如果能够在燃机保护整定中将快速低电压保护动作时间整定为100 ms以上(具体配置需要与燃机厂商沟通),则可以有效躲开系统外部的10 kV近区故障,减少燃机模式转换对冷/电联供系统和接触器等设备的影响。如果无法更改燃机快速低电压保

护动作整定值,则当其他 10 kV 线路发生近母线端故障时,燃机转入热备用状态,待故障线路切除后燃机重新并网运行。

3)1DL 配置瞬时、短延时及过载保护,与传统 380 V 开关柜保护配置一致。为简化保护配合,瞬时电流保护定值按照躲过燃机所能提供的最大短路电流进行整定,短延时过流保护时间定值按照躲过燃机保护快速低电压动作时间的原则来整定。

4)微网内去负荷的 380 V 开关柜配置瞬时、短延时及过载保护,与传统 380 V 开关柜保护配置一致;由于并网开关 1DL 的引入,保护配合上增加了一级级差,与 1DL 的时间配合可能会存在困难,建议此处允许保护失配,或者适当放宽上级保护的时间整定值,如佛山站、石湾站的 10 kV 保护延长到 1.0 s,为后面留出保护级差配合的空间。

5)微型燃气轮机接入系统处的开关柜配置过流保护即可,作为开关房至燃机房 380 V 电缆故障与燃机机组故障的总保护,电流按躲过燃机最大负荷电流与外部故障时燃机所能提供的最大短路电流整定,时间采用短延时(如 50 ms)。

6)为了确保运行人员的操作安全,应将燃机内部接触器的节点位置引出,作为备自投合闸的闭锁条件之一,防止在燃机并网运行时备自投闭合。

7)如果 10 kV 备自投成功动作,运行人员需要恢复正常运行方式时,应首先将燃机转为热备用,然后进行倒闸操作。为防止运行人员操作遗漏,建议在 10 kV 线路 601 开关、配变低压开关 A1 以及 10 kV 母联与 380 V 母联开关的测控处均配置检无压功能。

5 推荐方案的运行方式

下面针对推荐方案中的各种故障情况,对微型燃气轮机和保护的逻辑进行详细说明:

1)禅调甲线故障时,速断过流保护动作,710 开关打开,M1 母线失电,同时燃机内部的接触器在低压保护作用下断开,微网内的负荷处于无源状态。当模式控制器检测到低压母线 LM1 的电压过低时,控制器进入模式转换倒计时(设定倒计时时间大于备自投 700 的动作时间)。若经过短暂时间后,备自投 700 正常闭合,模式控制器检测到 LM1 电压恢复正常,则取消模式转换倒计时。700 闭合后,将 M1 母线与 M2 母线连通,由 M2 向 M1 的负荷提供电力。由于在整个故障期间,1DL 始终闭合,燃机处于热备用状态,因此当燃机保护检测到母线 LM1 电压正常后,将重新启动并网程序并网运行。

如果禅调甲线故障修复,恢复故障的基本操作

为:运行人员取消模式控制器的自动模式转换功能,打开燃机内部接触器,燃机转入热备用状态。然后打开母联开关 700,由系统侧闭合 710 开关,对甲线充电。确认电缆已经无故障后,闭合 601 开关给配电室充电(此处只有在监视到接触器确实打开的情况下才允许闭合甲线两端断路器),恢复由甲进线单独向 M1 负荷的供电。待母线 LM1 电压恢复正常后,将处于热备用状态的微型燃气轮机重新并网;最后恢复微网模式控制器的自动模式转换功能。在这种恢复方式中,运行人员将燃机转入热备用,断开燃机与电网的连接,增加了现场操作人员的操作安全性;由于提前将燃机的双模式转换功能取消,当燃机转为热备用后,不会因为 LM1 停电而自动转为孤网模式,避免了燃机模式的频繁转换,以及 1DL 的自动断开和闭合。

2)禅调甲线故障,710 开关打开,而备自投 700 没有正常投入运行。微网模式控制器在检测到低压母线 LM1 的电压过低后,进入模式转换倒计时。由于在倒计时结束前 700 仍没有闭合,模式控制器将打开 1DL,同时向燃机发出模式切换命令,经预定逻辑后燃机从并网模式转为孤网运行模式,独自向微网内的所有负载供电。

如果甲进线故障修复,需要重新将甲进线投入运行。在确认备自投 700 打开后,由系统侧闭合 710 开关,然后闭合 601 开关给配电房充电。模式控制器在检测到 LM1 有电后,首先向燃机发出模式转换指令,燃机内部接触器断开,负荷短时停电。然后发出闭合 1DL 的指令,恢复由甲进线向微网内负载供电,燃机在一定时间以后并入电网,恢复正常运行状态。

3)如果丙线故障,因为进线不带微网运行,所以其故障后以及故障恢复的动作都基本与传统的

一样。

4)如果变压器 T1 发生故障,T1 高压侧断路器动作,模式控制器向燃机发出模式切换命令,经预定逻辑后燃机独自向微网内的负载供电。在确认 T1 开关已由保护断开,运行人员可以手动打开低压开关 A1,闭合母联开关 A3,由 M2 向 M1 下所带负荷供电。模式控制器在检测到 LM1 恢复电压后,将重新启动并网程序。在将 T1 重新投入运行的过程中,同样需要首先取消模式控制器的自动模式转换功能,打开燃机内部接触器,燃机转入热备用状态,然后按照预定的操作程序逐一恢复供电。

通过对微型燃气轮机在系统各种故障情况下的动作逻辑分析,除少数故障恢复情况下,微网设计方案能够确保燃机运行模式的自动转换。

6 结语

在详细调研主流双模式微型燃气轮机特性的基础上,围绕佛山市禅城区供电局调度大楼供电系统,提出了冷/电联供微网系统的若干种备选设计方案。在综合考虑微网基本设计原则、系统可靠性、设计可行性和经济性等因素的基础上,对备选方案进行了详细分析比较,针对Ⅰ型微型燃气轮机,推选出适合本示范工程的微网推荐技术方案,确定了微网系统中微型燃气轮机的类型、容量、并网方式、运行方式和保护配置等。

微网设计方案符合现有的供配电系统保护整定要求,不过多地增加保护极差;微网设计具备实施的可行性,充分考虑了配电开关房施工条件限制,如开关房占地面积限制以及高、低压开关柜的占地面积和数量限制等;除少数情况下,微网设计方案能够确保微网运行模式的自动转换,且在模式转换过程中,负荷停电时间在设计允许范围内;微网设计方案有效地发挥了燃机作为分布式电源在事故情况下快速带负荷转孤网运行的能力,实现了微网系统整体供电可靠性的提高;此外,推荐方案还满足一定的经济性,尽量减少了对一、二次设备的投资。

本文的研究成果将为示范工程的建设提供技术依据与支撑。

参考文献

- [1] LASSERT R, AKHIL A, MAENAY C, et al. Integration of distributed energy resources: the CERTS microgrid concept [EB/OL]. [2008-11-01]. <http://www.pserc.org/cgi-pserc/getbig/researchdo/certsdocum0/certspubli/certsmicrogridwhite->

paper.pdf.

- [2] 王成山,王守相. 分布式发电供电系统若干问题研究. 电力系统自动化,2008,32(20):1-4.
WANG Chengshan, WANG Shouxiang. Study on some key problems related to distributed generation systems. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(20): 1-4.
- [3] HATZIARGYRIOU N, ASANO H, IRAVANI R, et al. Microgrids: an overview of ongoing research, development, and demonstration projects. IEEE Power and Energy, 2007, 5(4): 79-94.
- [4] BARNES M, KONDOH J, ASANO H, et al. Real-world microGrids: an overview// Proceedings of IEEE International Conference on System of Systems Engineering, April 16-18, 2007, San Antonio, TX, USA: 1-8.
- [5] MOROZUMI S. Overview of microgrid research and development activities in Japan// Proceedings of International Symposium on Microgrids, June 23, 2006, Montreal, Canada.
- [6] 郭力,王成山,王守相,等. 两类双模式微型燃气轮机并网技术方案比较. 电力系统自动化,2009,33(8):84-88.
GUO Li, WANG Chengshan, WANG Shouxiang, et al. The grid-connection technical schemes comparison of two types of micro turbines with dual mode operation. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(8): 84-88.

郭力(1981—),男,通信作者,博士,现在博士后流动站从事研究工作,主要研究方向:电压稳定与优化控制、分布式发电系统。E-mail: liguo@tju.edu.cn

王成山(1962—),男,长江学者特聘教授,主要研究方向:电力系统安全性分析、城市电网规划和分布式发电系统。E-mail: cswang@tju.edu.cn

王守相(1973—),男,博士,教授,主要研究方向:配电系统分析、分布式发电系统分析与仿真。

A Technical Scheme of Microgrid System with Micro Turbines

GUO Li¹, WANG Chengshan¹, WANG Shouxiang¹, HU Yufeng², WANG Bing², WU Xiaochen²

(1. Key Laboratory of Power System Simulation and Control of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Technology and Research Center, China Southern Power Grid, Guangzhou 510623, China)

Abstract: This paper researches microgrid technology scheme with micro turbines. First, the cold and electric supply systems are introduced. Then, the technical issues of micro turbine grouping, grid structure, operation mode, protection coordination and settings are researched. The alternative technical schemes are analyzed and compared with respect to their technical advancement, feasibility, economics and reliability, and the final scheme is put forward. Finally, some advices about system protection configuration and settings are given, and the operating mode of the recommendatory scheme is introduced in detail. The research results show that the recommended design scheme can meet the requirements of the microgrid and is easy to be implemented. By the proposed scheme, power supply reliability of the whole system can be improved.

This work is supported by National 863 Project (No. 2007AA05Z250) and National Natural Science Foundation of China (No. 50625722, 50837001).

Key words: micro turbine; microgrid scheme; protection; operation