

[燃气]

燃气分布式能源电站厂用电快切系统的设计与实现

文/西安热工研究院有限公司 牛利涛 郭小勤
两江燃机电厂 吕健
华能重庆珞璜发电有限责任公司 罗银河

结合实例论述了燃气分布式能源电站机组厂用负荷呈阶段性分布的特点，对不同工况下的厂用负荷进行了分析和比较，得出单台机组的厂用电容量可以满足两台机组满负荷运行的厂用电要求。提出了一种以相邻机组的厂用电源为备用电源，“手拉手”接线方式的三电源厂用电快切系统。

分布式能源系统是相对于传统集中供电方式而言的，是靠近用户端直接向用户提供各种形式能量的终端供能系统。我国政府目前已出台一系列政策，鼓励分布式能源系统的发展与应用。燃气—蒸汽联合循环冷热电三联供系统在燃气蒸汽联合循环机组发电的同时，实现供热、制冷同步进行，高效节能环保，是当前分布式能源的主要实现形式。

《大中型火力发电厂设计规范》规定：停电将直接影响到人身或者重要设备安全的负荷，必须设置自动投入的备用电源。燃气分布式能源项目基于灵活性和经济性的考虑，通常不设置启备变压器作为高压厂用电源的备用电源。因此需要论证燃气分布式能源电站厂用电负荷的特点，分析和对比不同工况下的厂用电负荷，进而找到一种适合燃气分布式能源电站的厂用电快切系统。桂林世界旅游城分布式能源项目采用GE公司6F.01燃气轮机，共三套一拖一机组，为桂林市提供超过175 MW电力和116 MW的热能，该项目为分布式能源的示范项目，因此结合该项目讨论燃气分布式能源项目中厂用电快切系统的实现方式具有十分重要的意义。

分布式能源的接线方式和特点

1. 分布式能源项目的接线方式

以桂林分布式能源项目为例，本工程新建设3

台燃气轮发电机+3台余热锅炉+2台抽凝汽轮发电机+1台背压汽轮发电机组。主接线方式如图1所示。3套燃气—蒸汽联合循环机组，每套燃、汽机发电机以发电机—变压器组单元扩大接线形式接入110 kV配电装置，发电机电压为10.5 kV，燃、汽机发电机与主变压器之间装设出口断路器。每套燃气—蒸汽机组设置一段10 kV母线作为高压厂用电源，其电源分别经1台限流电抗器（并联FSR）从各自主变压器低压侧接取。电抗器高压侧设置隔离电器。燃机采用SFC（静态变频启动装置）拖动的方式起动，共设置两套SFC装置，分别设置在第一套机组和第二套机组。

2. 分布式能源厂用电接线特点

(1) 高压厂用电源安全性要求高

GB 5600—2001《大中型火力发电厂设计规范》只规定200 MW级及以上的机组应设置交流保安电源，交流保安电源应采用快速起动的柴油发电机组。分布式能源项目因发电机组容量小，未设置柴油发电机作为保安电源的备用电源，这对厂用电快切系统的安全性和稳定性提出了更高的要求。

(2) 无启备变压器作为备用电源

分布式能源项目基于经济性和灵活性的考虑，不设置启备变压器作为备用电源。《火力发电厂厂用电设计技术规范》第3.7.8条规定，高压

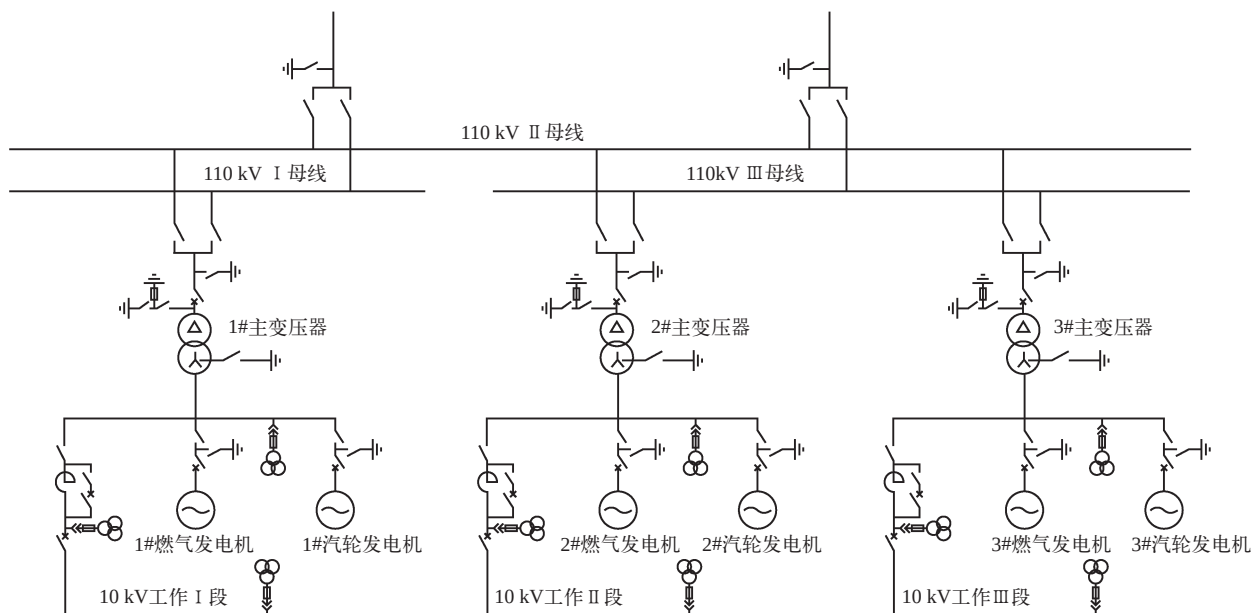


图1 分布式能源典型接线图

厂用备用或启动/备用电源应采用下列接线方式：
当装设发电机断路器且机组台数为2台及以上时，
还可由1台机组的高压厂用工作变压器低压侧厂用
工作母线引接另一台机组的高压备用电源，即机组
之间对应的高压厂用母线设置联络，互为事故停机
备用电源。因此对于分布式能源项目，高压厂用电
采用“手拉手”连接方式是符合设计原则的。

分布式能源电站厂用负荷特点分析

1. 厂用负荷计算依据

计算时依据设计说明和相关的设计规范：所
有的变压器负荷是按照一用一备设计的，且按照
GB 50660—2011《大中型火力发电厂设计规范》
的要求留有10%以上的裕量。即：单台工作变压器
可以满足一套机组满负荷运行，且保留10%裕量；单
台水处理变压器（公用变压器）可以满足三套机组
满负荷运行。电动机设计时同样保留10%的裕度。全
厂除循环水泵是10 kV电动机以外，其他全部是380 V
电动机。单套机组10 kV工作进线开关的回路工作
电流为721 A，单台机组厂用电额定负荷容量为
12 492 kV·A。该项目全厂负荷配置如表1所示。

表1 全厂负荷配置

项目	1套机组	2套机组	3套机组
工作变压器容量/kV·A	2 500	2 500	2 500
备用工作变压器容量/kV·A	—	2 500	—
水处理变压器容量/kV·A	2 500	—	2 500
综合楼变压器容量/kV·A	1 250	—	1 250
励磁变压器容量/kV·A	600	600	600
SFC变压器容量/kV·A	3 000	3 000	—
循环水泵容量/kW	280	560	280
总计容量/kW	10 130	9 160	7 130

2. 燃气分布式能源单台机组厂用负荷的特点

燃气分布式能源项目多采用燃气—蒸汽联合
循环机组。燃气轮机由于压气机的存在，整个燃
机透平在运行中产生的功率有约2/3消耗在压气机
中，燃机从起动、点火、加速到自持转速的过程，
燃机透平自身做功不足以满足起动的要求，必须
外加能量拖动转子转动。目前燃机多采用静态变
频起动装置（SFC）拖动的方式起动，SFC负荷的
特点是机组点火前投入，负荷大，机组到达自持
转速后退出。

高盘负荷是SFC拖动燃机高盘点火至机组并网
前单台机组的厂用最大负荷，主要包括SFC系统负
荷、水系统、油系统和余热锅炉的部分负荷。工
作变压器、水系统变压器和综合楼变压器按照容
量的25%估算。SFC变压器按照容量的90%估算，
励磁变压器按照1/3的出力考虑。高盘点火期间起
动两台循环水泵满足循环水的要求。经计算，厂
用负荷约为5 175 kW，负荷率为41.4%。

单套机组（燃气发电机+汽轮发电机）满负
荷运行时的厂用负荷包括励磁变压器、工作变压
器、水系统变压器和综合楼变压器的负荷。工作
变压器和励磁变压器按照容量的90%计算，水系
统变压器和综合楼变压器按照容量的一半来考
虑。经计算，厂用负荷约为4 981 kW，负荷率为
39.9%。单台机组不同阶段的厂用负荷曲线如图2
所示。

由图2可知，燃气分布式能源机组的厂用负荷
有以下的特点：厂用负荷呈阶段性分布，有两个负

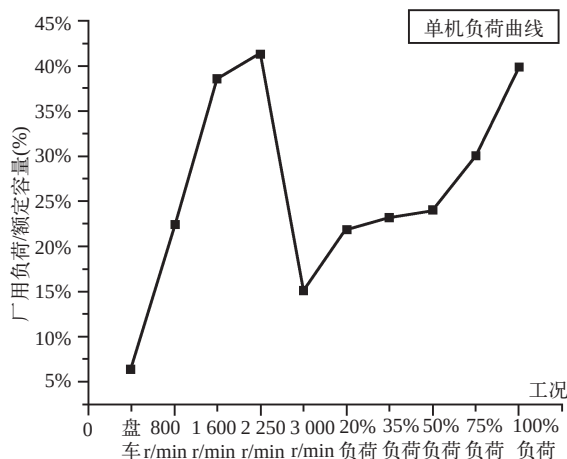


图2 单台机组厂用负荷曲线

荷高峰：一个出现在机组高盘点火期间；另一个出现在机组满负荷运行阶段，均不超过50%额定容量。按照全厂负荷设计的厂用容量有较大的裕度。

1. 不同工况下的厂用负荷分析和比较

由于燃机控制程序中不允许出现两台燃机同时高盘起点火，因此不考虑两套机组同时高盘点火时的厂用负荷。分析时主要考虑以下四种运行工况。工况1：双套满负荷；工况2：一套高盘一套满负荷；工况3：一套高盘，两套满负荷；工况4：三套满负荷。

(1) 双套满负荷

双套满负荷是指双套机组（燃气发电机+汽轮发电机）满负荷运行时的厂用负荷。包括励磁变压器、工作变压器、水系统变压器和综合楼变压器的负荷。工作变压器和励磁变压器按照容量的90%计算，水系统变压器和综合楼变压器按照容量的75%来计算。

(2) 一套高盘一套满负荷

一套高盘一套满负荷是指一套机组满负荷另一套机组燃机正在高盘点火运行时的厂用负荷。包括励磁变压器、工作变压器、水系统变压器和综合楼变压器的负荷。工作变压器和励磁变压器按照容量的90%计算，水系统变压器和综合楼变压器按照容量的75%来计算。

(3) 三套满负荷

三套满负荷指的是全厂三套机组，六台发电机全部满负荷时的厂用负荷。包括1#工作变压器、2#工作变压器、3#工作变压器、单台水处理变压器、单台综合楼变压器、三台循环水泵和三台励磁变压器，负荷全部按照容量90%计算。

(4) 一套高盘两套满负荷

一套高盘、另外两套机组满负荷时的厂用负荷是指一套燃机正在高盘点火，另外两台机组正在满负荷运行。计算时公用负荷计算在高盘机组内，三台循环水泵运行，其他两套机组励磁变压器和工作变压器满负荷运行。

按照以上分析，不同工况下的厂用负荷如表2所示。

表2 不同工况下厂用负荷

项目	工况1	工况2	工况3	工况4
工作变压器容量/kV·A	4 500	3 000	6 750	6 750
备用工作变压器容量/kV·A	—	—	—	—
水处理变压器容量/kV·A	1 688	1 688	2 250	2 250
综合楼变压器容量/kV·A	843	843	1 125	1 125
励磁变压器容量/kV·A	1 080	740	1 280	1 620
SFC变压器容量/kV·A	—	2 700	2 700	—
循环水泵容量/kW	756	756	756	756
总计容量/kW	8 867	9 727	14 861	12 501
负荷率(%)	71.0%	77.9%	119.1%	100.1%

传统的火力发电厂中，高压厂用变压器容量不足以承担2台机组的正常厂用电负荷，故当1台机组高压厂用变压器事故时，另一台机组高压厂用变压器经快切仅能带事故机组厂用停机保留负荷。需要将事故机组的厂用负荷分类，并且快切装置设置专门的出口，在快切装置启动快速切换的同时，切除非重要负荷。由表2可知，单套机组高压厂用电额定容量可以满足两套机组同时满负荷运行或者一套高盘、一套满负荷；无法满足三套机组同时满负荷或者两套机组满负荷、一套机组高盘。

因此燃气分布式能源电站厂用电快切系统不需要设置切负荷出口，但是要避免一套机组同时带三台机组的厂用负荷的情况发生。

三电源快切系统的设计和实现

1. 三电源快切系统的提出

基于以上分析，针对分布式能源项目的特点，提出了一种采用相邻机组的厂用电源作为备用电源“手拉手”接线方式的三电源厂用电快切系统。段与段之间采用10 kV电缆连接，每段增加一个联络刀开关和联络开关。

2. 三电源快切系统的构成

全厂设置三套快切装置。每套系统由工作电源、备用电源一和备用电源二组成。每套快切装置上设置一个转换把手用于选择正方向切换或者反方向切换。正方向切换为工作电源和备用电源一之间的双向切换，反方向切换是指工作电源和

备用电源二之间的双向切换,备用电源一和备用电源二没有切换关系。

如图3所示,第一套快切装置由开关9101、9100和9300组成,母线电压取自91PT,工作进线电压取自9101PT,备用进线一电压取自II段母线92PT,备用进线二电压取自III段母线93PT,正方向切换是指开关9101和9100之间的切换,反方向切换是指开关9101和9300之间的切换。第二套快切装置由开关9201、9100和9200组成,母线电压取自92PT,工作进线电压取自9201PT,备用进线一电压取自III段母线93PT,备用进线二电压取自I段母线91PT,正方向切换是指开关9201和9200之间的切换,反方向切换是指开关9201和9100之间的切换。第三套快切装置由开关9301、9200和9300组成,母线电压取自93PT,工作进线电压取自9301PT,备用进线一电压取自I段母线91PT,备用进线二电压取自II段母线92PT,正方向切换是指开关9301和9300之间的切换,反方向切换是指开关9301和9200之间的切换。

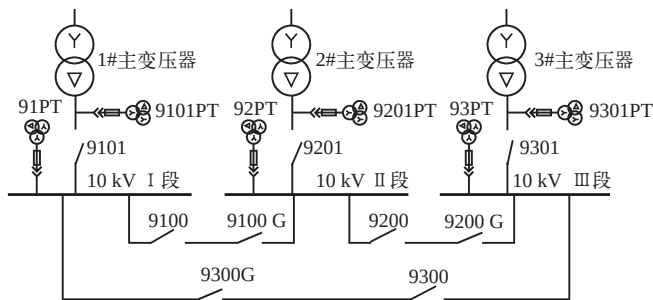


图3 三电源快切系统图

3. 三电源快切系统切换逻辑

由于增加了10 kV I段、II段和III段之间的联络,而经过论证,任何一段的厂用负荷只能满足两套机组点火和满负荷运行,无法满足三套机组同时运行,因此必须避免某一套机组高压厂用电同时带三套机组厂用负荷运行的工况。引起这种运行工况的可能原因有两个:一个是远方DCS合闸;另一个是快切装置动作。为了避免远方DCS合闸造成三套厂用负荷集中在某一台机组,在开关的合闸逻辑上进行闭锁:一个是硬接线闭锁,一个是在DCS逻辑闭锁。以第一套快切装置为例,开关9101、9100和9200的合闸闭锁逻辑如图4所示。

厂用电快切装置运行时,三套快切装置只能选择在同方向,例如同时选择正方向切换,或者同时选择反方向切换。极端情况下,例如一套快

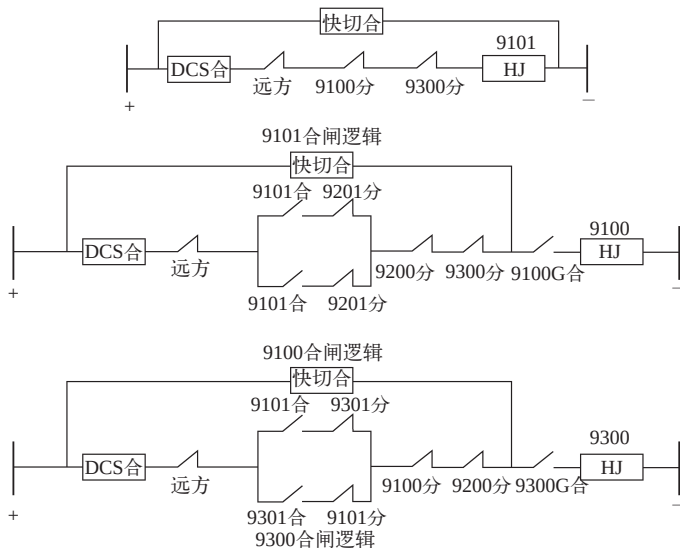


图4 开关闭锁逻辑图

切装置动作,I段负荷切至II段带,此时根据一套机组的负荷情况确定二套快切装置和三套快切装置的运行状况。如果一套机组处于停机状态,则二套快切装置投正方向运行,三套快切投反方向运行;一套机组起动前,必须恢复I段母线至1#主变压器供电,三套快切装置选择同方向运行。

4. 三电源快切系统的运行情况

桂林燃气分布式能源电站三电源快切系统经过论证、设计、安装、静态调试和传动试验,验收合格。主变压器倒送电后,经过一次核相和带负荷切换试验,三套机组快切系统投入运行,运行稳定可靠。该系统具有以下优点:运行方式灵活,可靠性高。运行人员可以自由选择切换方式,选择不同的备用电源。双备用电源快切系统可靠性高,一台主变压器在检修期间,可以选择另外一台主变压器电源作为备用电源,避免了机组运行期间没有备用电源的情况。

结束语

燃气分布式能源电站单套机组的厂用负荷呈阶段性分布,最大负荷不超过厂用额定容量的50%,经计算和比较,单台机组厂用额定容量可以满足两台机组同时满负荷的厂用电要求。结合这一特点,提出了一种以相邻机组的厂用电为备用电源,“手拉手”接线方式的三电源厂用电快切系统。该系统不用设置专门的启备变压器,占地少,投资省;采用双备用电源设计,运行方式灵活,可靠性高。该系统在桂林燃气分布式能源项目得到应用,运行状况良好,可以给类似的分布式能源项目作为参考。EA