

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2014.02.005

# 燃气冷热电联供分布式能源系统中 发电机组选择的分析探讨

□ 北京燃气能源发展有限公司(100101) 叶彩花 白一 乔丽洁

**摘 要:** 燃气发电机组是燃气冷热电联供分布式能源系统设计中最关键的部分,发电机组选择的合适与否直接决定三联供项目的成败。本文详细分析了燃气发电机组容量确定的几种方式以及判断发电机组配置是否合理的几种指标,为燃气冷热电联供分布式能源系统发电机组的选择提供借鉴。

**关 键 词:** 燃气发电机组 燃气冷热电联供分布式能源系统 以热定电 以电定热 满负荷时数

## Research on Optimum Selection of Power Equipment in Distributed Energy System Combined Cooling Heating and Power

Beijing Gas Energy Developments LTD Ye Caihua, Bai Yi, Qiao Lijie

**Abstract:** Gas generator set is the most critical part of the distributed energy system design. The appropriate choice of generator set determines the key of project. This paper concretely analyzes several methods for the selection of generator capacity and some indicators of generator allocation, which will provide reference for the optimization of gas generator set.

**Keywords:** gas generator set distributed energy system combined cooling heating and power ordering power by heat ordering heat by power full-load hours

### 1 引言

2011年国家四部委下发《关于发展天然气分布式能源的指导意见》,意见中指出“十二五”期间建设1 000个左右天然气分布式能源项目,并拟建设10个左右各类典型特征的分布式能源示范区域。到2020年,在全国规模以上城市推广使用分布式能源系统,装机规模达到5 000万kW,初步实现分布式能源装备产业化。”2013年2月27日国家电网发布《关于做好分布式电源并网服务工作的意见》,解决了发电并网

的行业壁垒。随着国家对燃气分布式能源项目的支持,越来越多的项目计划采用燃气分布式能源供能方式,但是如何合理的设计分布式能源项目,使建成的分布式能源项目真正实现效率最高,经济最优,是目前亟需解决的问题,而对于燃气分布式能源项目中最关键的设备——燃气发电机组的合理选择是项目成败的关键,本文详细分析了燃气发电机组容量确定的几种方式以及判断发电机组配置是否合理的几种指标,为燃气冷热电联供分布式能源系统发电机组的选择提供借鉴。

## 2 发电机组选择方法

发电机组的选择一般是根据供能对象的冷、热、电负荷特性进行确定，一般有以热定电、以电定热以及以基本电负荷定电等几种方式<sup>[1,2]</sup>。

根据上海市出台的《分布式能源系统工程技术规程》中规定：“分布式供能系统容量的选择应依据以热（冷）定电、热（冷）电平衡的原则，并根据电、热（冷）的特性和大小合理确定。机组的发电量宜自发、自用、自平衡。并入电网的分布式供能系统的总装机容量不应大于相应电力接入点上级变电站单台主变容量的30%。”

中华人民共和国住房和城乡建设部编制的《燃气冷热电三联供工程技术规程》中规定：“联供系统应遵循电能自发自用、余热利用最大化的原则，系统的设备配置及运行模式应经技术经济比较后确定。”<sup>[3]</sup>

### 2.1 以热定电<sup>[4,5]</sup>

以热定电，顾名思义是根据热来确定发电机组的选择，即按照所产生的热量全部被充分利用的原则进行发电机的选取，该概念来源于大型的热电联产项目，是根据一定的热化系数（表示供热机组所承担的热负荷在热网最大热负荷中所占的份额，用于确定热电厂供热机组的容量和型式。）确定热电联产机组在最大供热工况下的供热量，进而确定在不同热负荷工况下的发电容量。

以热定电在燃气分布式能源系统中，是指将燃气发电机组余热全部被利用的情况下，反推所需要配置的发电机组容量。按照该方法，能够使余热全部被利用，实现燃气分布式能源系统综合能源利用率最大，但是据此选定的发电机组容量一般均偏低，系统总体经济性不能达到最佳。

### 2.2 以电定热

以电定热是指根据供能区域内全部电负荷或稳定电负荷确定发电机的装机容量。发电机需要满足末端用电的最大设计负荷，燃气分布式能源系统的发电机则必须根据末端电负荷的变化调节发电量，余热产出与用户热需求之间的匹配只能被动调节，造成大量余热不能被完全利用。若燃气分布式能源系统不能并网，需要独立运行时采用该方式选择发电机。

按照以电定热模式设计的分布式能源系统一般

将导致发电机组装机容量偏高，造成发电的同时余热不能被充分利用，分布式能源系统综合能源利用效率低，项目整体的经济性差等，不能体现分布式能源系统的优越性。

### 2.3 以基本电负荷确定发电机容量

在冷热电联供系统设计中，电力负荷的计算主要用来校核发电机容量。按照“并网不上网，自发自用的原则”设计时，为了保证燃机年运行小时数及负荷率的要求，只满足电力的基本负荷即可（基本负荷占电力负荷的30%~50%）。对于已有建筑，应根据用电负荷变化情况，绘制出电力负荷逐时曲线，分析出基本负荷，如果无法确定项目基本电负荷，则参照在《燃气冷热电三联供工程技术规程》（CJJ145-2010）中规定，取不超过项目最大设计电力负荷的30%进行设计。

由上可见，简单的按照以热定电和以电定热的方法选择发电机会造成设备配置不合理，在实际分布式能源项目的设备选型中应综合考虑两种方式各自的特点，实现发电机组容量的最优化，既能确保能源利用效率，又能保证项目的经济性。实现最大的余热供能量，避免盲目增加机组容量引起的综合利用效率低下，实现热电平衡的系统设计。同时设计中应根据冷、热、电负荷的变化以及外部能源价格（市电的峰平谷价、燃气价格）的变化，逐时计算热电平衡及技术经济指标，综合计算和比较不同发电容量下的系统各项指标，最后选定最佳发电机容量。

按照以上方法确定的发电机容量一般介于单纯按照以热定电和以电定热确定的发电容量之间，如图1所示。

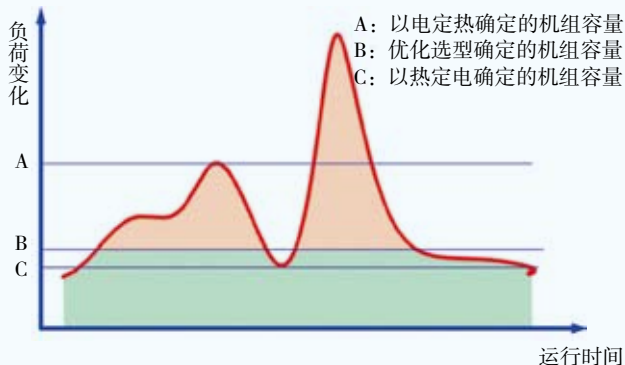


图1 不同发电机组容量确定方法示意

上述优化选型确定的机组容量是多方案综合计算比较后所得到的结果,即最佳机组容量的确定需结合系统整体方案统一分析考虑。综合比较所涉及到的因素比较多,并且宜结合成熟的优化算法对各方案进行综合比较和排序,因此这项工作量和难度比较大,一般需借助于专业计算工具完成。

### 3 案例分析

以10万m<sup>2</sup>酒店建筑为例,采用分布式能源系统优化计算软件,综合考虑能源利用效率、节约运行费用、初投资、机组满负荷时数等因素后,得到的不同发电容量下的方案排序如表1所示。

可见通过计算确定的机组成装机容量约为1 700kW左右。

在实际项目实施中,如果没有足够资料对供能对象做详细的负荷分析,可结合相关技术规定及已有项目运行经验简单确定发电机组的容量。对于一般公共建筑,可根据其功能特点,按照设计电负荷的20%~50%选择发电机组容量,全年负荷较为稳定的建筑取上限,负荷波动较大的建筑取下限,如图1所示。

对于一些特殊的公建需结合其具体特点具体分析,如针对数据中心,其发电机组容量则将大于其设计电负荷的50%。

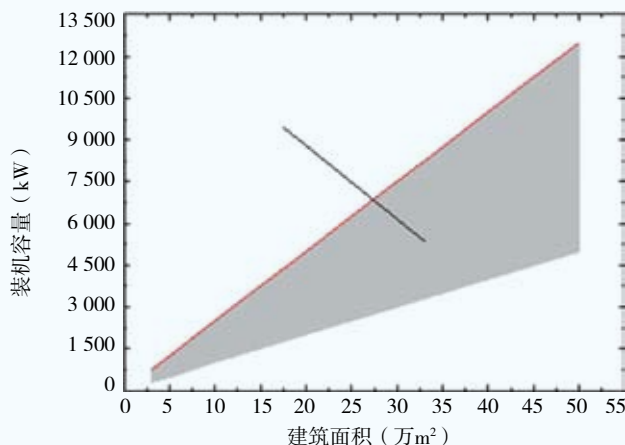


图2 一般公建分布式能源系统适宜的发电装机容量范围

根据系统总负荷和总发电量确定发电机组台数是确定发电机组容量的一个重要环节。由于发电机组都有运行高效区,一般在50%以下负荷运行时效率会大幅度降低,根据负荷变化适当调整发电机组启停以保证其整体运行于高效区具有很大意义,所以在发电总容量较大时有必要选择多台机组以提高系统运行调节的灵活性。当然发电机组台数增加也会带来切换启停操作风险增加、运行维护工作量增加等问题,因此需综合考虑机组台数的选择。

在城市燃气冷热电联供分布式能源系统中,一般在发电总容量大于1 000kW以上时可考虑采用多台发电机组,机组台数以2台~4台为宜。<sup>[6-7]</sup>

表1 优化选择结果

| 发电容量<br>kW | 供电比例  | 供冷比例  | 供热比例  | 满负荷数<br>h | 设备台数<br>台 | 节约费用<br>万元 | 初投资<br>万元 | 能源利用率 |
|------------|-------|-------|-------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|
| 1 683      | 0.577 | 0.272 | 0.301 | 3 774     | 2         | 350.5      | 4 356     | 0.842 |
| 1 734      | 0.581 | 0.275 | 0.302 | 3 691     | 2         | 353.3      | 4 416     | 0.841 |
| 1 709      | 0.579 | 0.273 | 0.301 | 3 731     | 2         | 351.8      | 4 386     | 0.842 |
| 1 658      | 0.574 | 0.270 | 0.300 | 3 813     | 2         | 348.7      | 4 326     | 0.842 |
| 1 760      | 0.583 | 0.277 | 0.302 | 3 651     | 2         | 354.7      | 4 446     | 0.841 |
| 1 607      | 0.568 | 0.265 | 0.299 | 3 895     | 2         | 345.2      | 4 265     | 0.843 |
| 1 632      | 0.571 | 0.267 | 0.299 | 3 852     | 2         | 346.7      | 4 295     | 0.843 |
| 1 785      | 0.584 | 0.278 | 0.302 | 3 604     | 2         | 355.1      | 4 476     | 0.841 |
| 1 581      | 0.565 | 0.262 | 0.298 | 3 933     | 2         | 342.9      | 4 235     | 0.844 |
| 1 811      | 0.586 | 0.280 | 0.302 | 3 563     | 2         | 356.2      | 4 506     | 0.841 |
| 1 836      | 0.587 | 0.281 | 0.302 | 3 523     | 2         | 357.2      | 4 536     | 0.840 |
| 1 556      | 0.561 | 0.260 | 0.297 | 3 970     | 2         | 340.5      | 4 204     | 0.844 |

## 4 发电机组形式基本确定方法

不同形式的发电机组其热力参数具有各自鲜明的特点，余热利用工艺也有显著区别，因此发电机组容量的确定与拟采用的发电机组的形式紧密相关。在确定发电机组容量时应首先确定发电机组形式，然后根据其典型技术和经济参数进行整体方案的计算，最后得到最佳设备选型。在确定发电机组形式时应重点考虑一些边界条件的限制和影响。

### 4.1 供能对象热负荷影响

根据对建筑冷热电负荷的分析确定其热电比的变化，特别应侧重分析其基础热负荷与电负荷的变化，对于热电比小于1.5的建筑应重点考虑采用热电比较小的燃气内燃机，对于热电比大于1.5的建筑的更适宜考虑采用热电比较大的燃气轮机。但是对于规模较小的建筑，发电机容量一般选型较小，燃气轮机的选择往往受到较大限制。

### 4.2 总体装机容量影响

由于燃气轮机单机容量一般较大，因此一般更适用于装机容量偏大的场合<sup>[6]</sup>，燃气内燃机单机容量多集中于4 000kW以下，目前也有少量大容量机组，因此在城市使用范围较宽。

一般项目装机容量大于20 000kW时可重点考虑燃气轮机组，装机容量低于20 000kW大于8 000kW时可综合其它因素比较燃气轮机与燃气内燃机组，装机容量低于8 000kW大于500kW时可重点考虑燃气内燃发电机组，小于500kW时可综合比较燃气内燃发电机组和微燃机。

### 4.3 燃气压力影响

燃气轮机所需进气压力较高，一般为高于次高压级别，而城市燃气管网压力多为4kg以下的中低压天然气，燃气内燃机对其具有更好的适应性，并且由于采用中低压燃气设备，相应的建筑安装及防火规范要求更易满足，因此在城市中的分布式能源系统中采用燃气内燃机相对容易实施。

### 4.4 能源价格影响

相对而言，燃气轮机发电效率较低，燃气内燃机组发电效率较高。因此，在电价相对较高的场合增加发电效率可取得更好的经济效益，此时应重点考虑燃气内燃发电机组；反之如果热价相对较高，则可适当

考虑发电效率虽低但余热利用配置用效率较高、余热品位较高的燃气轮机。

## 5 结束语

合理的选择及确定燃气冷热电联供分布式能源系统发电机的类型以及装机容量能够确保项目经济性以及能源利用效率，本文重点讲述“以冷定电”、“以热定电”和“以基本电负荷”3种发电机的设计选择原则推算燃机的装机规模，得出若无法确定项目基本电负荷，则参照在《燃气冷热电三联供工程技术规程》（GJJ145-2010）中规定，取不超过项目最大设计电力负荷的30%进行设计。对比上述3种方式计算得到的燃机装机容量，以三者中最小值作为燃机设计装机容量。对于一些特殊的公建需结合其具体特点具体分析，如针对数据中心，其发电机组容量则将大于其设计电负荷的50%。同时在确定发电机组形式时应重点考虑一些边界条件的限制和影响，包括供能对象热负荷影响、总体装机容量影响、燃气压力影响、能源价格影响等。

### 参考文献

- 1 李传光. 新型分布式热电冷三联供系统应用[J]. 内燃机与动力装置, 2011; (5): 17-20
- 2 夏浩文, 杨锦成, 马宪国. 分布式能源系统原动机选型方法研究[J]. 上海节能, 2012; (4): 6-7
- 3 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ145-2010燃气冷热电三联供工程技术规程[S]. 2010年版, 中国建筑工业出版社, 2010: 18
- 4 程明. 新能源与分布式电源系统(上)[J]. 电力需求侧管理, 2003; 5(3): 44-46
- 5 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 第2版, 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 303-305
- 6 马宁, 李冰. 天然气内燃发电机组分布式能源系统的应用分析[J]. 柴油机, 2008; 30(3): 50-52
- 7 任华华, 王森森. 燃气内燃发电机在冷热电分布式能源系统中的应用[C]. 2009年全国节能与绿色建筑空调技术研讨会暨北京暖通空调专业委员会第三届学术年会论文集, 北京: 中国制冷学会, 2009: 128-131