

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2016.07.007

负荷预测对分布式能源系统的影响

□ 同济大学机械与能源工程学院 (201804) 李和颖 张雪梅 秦朝葵

摘 要: 环境问题日益突出, 导致能源系统深层次的改革势在必行。作为一项全新供能模式, 分布式能源系统有其自身的优势。但由于现有条件的限制, 分布式能源系统未得到广泛应用, 其中一个问题是系统设计应用时未进行用户终端负荷的准确预测, 负荷设计偏大导致系统常处于低负荷运行状态。本文重点阐述了负荷预测对分布式能源系统的影响。

关键词: 分布式能源系统 负荷预测 低负荷的影响

Effect of Load Forecasting on Distributed Energy System

Li Heying, Zhang Xuemei, Qin Chaokui School of mechanical engineering, Tongji University

Abstract: Since environmental problems became more and more prominent, the deep-level reform of energy system is imperative. As a new type of energy supplying, Distributed Energy System has its own advantages. However, due to the limitation of the existing conditions, the Distributed Energy System has not been widely applied. One of the problems is that the end-user load can't be accurately predicted in the application design. Load in design is too large, which results in the low loading operation pattern in the system. This paper mainly expounds the influence of load forecasting on the Distributed Energy System.

.Keywords: Distributed Energy System load forecasting effect of low load

1 分布式能源系统概述

分布式能源系统 (Distributed Energy System) 是一种新型的能源系统, 它一般建于用户附近, 由于采用了能量梯级利用技术, 因而是更高效、更可靠和更加环保的能源系统。分布式能源系统包括高效热电联产、就地式可再生能源系统以及能量循环系统 (包括利用废气、余热和压差来发电), 同时这些发电系统能在或靠近消费的地点提供电力, 而不论其项目大小、燃料种类或技术, 也不论该系统是否与电网联网^[5]。与

传统集中式供能相比, 分布式能源系统的容量一般在数千瓦到50MW, 分布式能源系统规模小、容量小、模块化、布置方式分散, 它可以独立地输出冷、热以及电能。分布式能源的先进技术包括太阳能利用、风能利用、燃料电池和天然气冷热电三联供等多种形式, 其中燃气冷热电三联供因其技术成熟, 投资相对较低, 因而得到迅速推广。

分布式能源的起源可追溯到十九世纪80年代。早在1882年, 美国纽约出现了以工厂余热发电满足自身与周边建筑电负荷的需求, 成为分布式能源最早的雏

形。当今的分布式能源系统主要是指用液体或气体燃料的内燃机、微型或小型燃气轮机以及其他小型动力装置，如燃料电池等为核心组成的总能源系统。分布式能源系统的能源结构是以天然气等气体燃料为主，太阳能^[6]、风能、生物质能、环境能及废热等可再生能源为辅，利用一切可以利用的资源，用户端根据不同用户需求，实现能源品质的梯级化利用，并通过公用能源网络系统提供调度与优化，这样分布式能源系统能够大幅度提高能源利用效率。

分布式能源系统的特点有^[7]：①能源综合剪用率商；分布式能源应用了能量梯级利用原理，先发电，再利用余热，体现了能量从高位到低位的科学用能，使得其能源利用率可以达到80%以上。②排放少，环保性好；由于使用清洁燃料，燃烧后几乎不产生SO₂、灰渣及悬浮颗粒物等，CO₂的排放量也仅为燃煤的42%。③经济效益高；与大型天然气集中发电，特别是燃煤电厂相比，天然气分布式能源首先用天然气生产了高品位的电能，再将余热用于供热或者供冷，创造了比前者更加显著的经济效益。如果站在国家宏观能源经济的层面，同时考虑优化能源结构，为电力和天然气供应削峰填谷，以及增强城市电网供电安全性和稳定性等方面的贡献，天然气分布式能源系统所带来的附加经济价值更为可观。④能源供应剪安全性高；不依赖于大电网，在大电网系统故障时仍能保障用户的用能需求。

2 分布式能源系统负荷介绍

在进行分布式能源系统设计时需要根据用户（例如工业过程、建筑、园区等）的能源需求种类和特点，确定系统构成形式、装机容量和运行模式。例如在冷热电三联供系统中，根据用户负荷的冷热电比例，选取相应的动力、制热和制冷装置，实现系统高效运行。分布式能源系统所服务的对象往往比较单一，加之临近用户设置，所以用户的负荷波动会迅速反应到分布式能源系统。因此，分布式能源系统的负荷动态特性的测算和选取，对于整个系统的初投资和运行经济性有着决定性影响。

在冷热电联产系统中涉及到的负荷有：冷负荷、热负荷、电负荷。冷热电联产系统服务的对象为建

筑，根据其功能可分为民用建筑、工业建筑和农业建筑^[8]。不同建筑有不同的使用功能，对应不同的负荷特点。下面列举几种典型的建筑类型，分别分析它们的负荷特点。图1为冷热电联产系统的示意图。

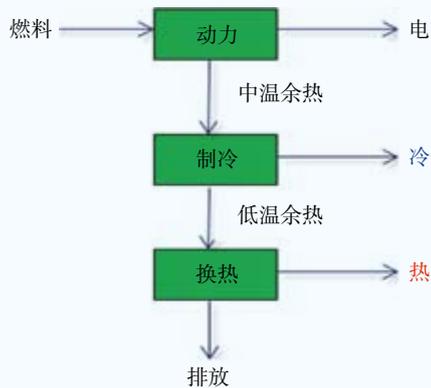


图1 冷热电联产示意图

办公楼负荷特点^[9]：由于办公楼作息时间稳定，剪周期性好，一般一周为一周期，周一至周五工作日、周六周日休息，并存在少数加班情况。办公楼内人员流动数量亦相对稳定。因此，办公楼负荷稳定，变化很小。一旦工作时间结束，负荷需求量就减少。

宾馆负荷特点：宾馆受节假日、旅游淡旺季或者地理位置的影响，其入住率不确定，人员流动数量亦不稳定，导致宾馆负荷需求量变化大^[10]。

医院负荷特点：医院内分区严格，各个房间用途不一，性能要求各异，人员流动数量不稳定，负荷需求量变化大。

园区负荷特点：园区各个区域功能稳定，负荷需求量亦稳定^[11]。

建筑负荷的影响因素很多，主要影响因素分为3类：①气候区域的影响，指各地典型气象条件；②建筑外因的影响，指建筑本身因素如建筑面积、建筑高度、体型系数外围护结构的热工特性等；③建筑内因的影响，指室内人员密度、设备功率、建筑使用时间表、室内设计条件等。

3 负荷预测的方法

在分布式能源系统中，负荷的预测和评估是系统可行性研究阶段的核心工作之一，其精确与否将直接

影响系统配置与选型,进而影响系统运行效果^[12]。负荷有静态负荷与动态负荷之分。目前负荷的预测方法有单位面积指标法、基于历史数据的外推法、数值模拟法、数据统计分析法、负荷因子法等^[13]。下面做分别介绍。

单位面积指标法中,以电负荷的计算方法为例,电负荷的计算方法是将建筑物的建筑面积与建筑物的负荷密度相乘得到建筑物的计算电力负荷。根据专业电气设计手册或本地区建筑物电气设计推荐负荷指标来确定采用何种电力负荷指标^[2],再确定建筑物的电力负荷。冷、热负荷的计算方法与电负荷的计算方法相似,与建筑物的负荷密度相对应的分别是空调负荷概算指标和单位面积热指标。此种方法在准确性方面存在不足,但由于其简单方便,仍在全世界范围内广泛应用。尤其在冷热电联产项目前期规划、预研,甚至初步设计阶段,指标法仍然是最简洁有效的建筑能耗估算方法。

基于历史数据的外推法也叫趋势外推法,该方法是在大量历史数据和现实的随机抽象中,寻求它们“平静的反映”,从而得到系统运动变化的规律,并依据此规律推测出系统未来状况。大量事实证明,事物的发展过程,虽然有时可能出现某种跳跃,但还是以渐进发展为主。在这种情况下,趋势外推法就能为目标系统的发展趋势与状况做出科学预测。该方法的优点是可以揭示发展趋势,并能够定量评估某些功能特性。以电力负荷预测为例,当电力负荷依时间呈现某种上升或下降的趋势,且无明显的季节波动,又能找到一条合适的函数曲线反映这种变化趋势时,就可以用时间 t 为自变量,时序数值 y 为因变量,建立趋势模型 $y=f(t)$ 。当有理由相信这种趋势能够延伸到未来时,赋予变量 t 所需要的值,即可得到相应时刻的时间序列未来值。应用趋势外推法有两个假设条件:①假设负荷没有跳跃式变化;②假设负荷的发展因素亦决定负荷的未来发展,其条件不变或变化不大。该方法的优点是,只需要历史数据,所需的数据量相对较少;缺点是,如果负荷出现变动,会引起较大的误差。

数值模拟法是采用计算机对负荷进行模拟计算,这种方法较为成熟,自20世纪60年代美国电力公司开始用计算机模拟建筑负荷以来,先后出现了大量模拟软件,如美国的DOE-2、BLAST、EnergyPlus,英国

的ESP-r,日本的HASP和清华大学的DeST等^[13-14]。在文献^[13]中就采用数值模拟方法,在建筑冷热电负荷调查研究的基础上,采用日本三联供设计手册中的相关数据,利用逐时能源负荷分摊比例的方法,对三联供系统中的全年逐时冷热电负荷进行模拟计算。

数据统计分析法需要预先收集一定的负荷数据,可以通过测量、调查等得到的直接资料,也可以通过文献检索、阅读等得到的间接资料,需注意数据来源的真实性和可靠性。然后对数据进行整理或归类汇总,使得原始数据能够反映数据的分布特征。最后通过分析数据、统计运算,得出结论,得出负荷的特征和规律,从而为进一步的负荷预测提供依据。

负荷因子法,举建筑物的冷负荷计算为例。2010年,王振江^[15]提出了用于城市规划阶段建筑冷负荷预测的负荷因子法,该方法的模型是在简化的冷负荷计算方法上建立的。通过正交实验方法分析得出,建筑冷负荷影响因素的显著性从小到大依次为:设备功率、照明功率、人员密度、室内设计温度、人员最小新风量、室外设计温度和建筑围护结构,并以此构建出模型标准建筑。负荷因子法的提出是基于①围护结构负荷按室内外温差线性化;②新风负荷按室内外空气焓差线性化;③假定人员、设备、照明负荷等内扰负荷与室外气象条件无关的三个条件。然后分别计算出围护结构负荷、新风负荷、人员负荷、设备负荷和照明负荷,最后将各部分负荷逐时叠加得到建筑物的冷负荷^[15]。

以上目标负荷的预测方法,每种方法都有其自身的优缺点以及适用场合,在进行负荷预测时,应根据不同情况选取合适的方法,以实现较精准的负荷预测。预测负荷与实际负荷如若存在较大的偏离,例如负荷估算过大或对负荷的动态特性考虑不足都会导致系统运转不良,甚至出现长期停运状况。下面介绍负荷预测的偏差给系统带来的影响。

4 负荷预测偏差对分布式能源系统的影响

在分布式能源系统中,所选机组一般按常规应用环境进行设计,按80%~100%额定负荷下运行最优效率的原则工作,设备部件、空燃比等均按此选定^[16]。如果在低于50%额定负荷下运行,机组在恒定稀薄燃

烧的空燃比下,按照涡轮增压器曲线特性,进气量要大于实际负荷做功时的进气量,导致混合气体在气缸内燃烧时只有一部分能量进行机械做功,其余则以热能形式随烟气排放出去,从而在低负荷下出现排气温度过高、效率降低、积碳加快等状况。

机组长期在低负荷下运行会带来以下问题:①气缸积碳的危害。长时间低负荷运行会加快进气阀、燃烧室等部位积碳,当燃烧室积碳达到一定程度时会引起气缸爆震而损害活塞及曲轴,使发动机损坏几率增大。气缸爆震现象发生后,为保护设备部件安全,随时会出现停机,从而导致能源站运行极不稳定。涡轮增压器涡轮处的积碳会使进气效率降低,导致出力不足、效率降低;长时间积碳还会影响点火效率。②低负荷运行时,润滑油的耗量会增加。③低负荷运行时机组排烟温度较高,若超出余热回收设备运行的设计温度会造成设备损坏,进而导致维修费用增加,缩短设备运行寿命,增加设备生命周期内运行成本,同时运行稳定性亦降低^[6]。

为此,可采用降低机组最低运行负荷点和平衡不同负荷的方法来减轻机组长期低负荷运行带来的问题。其中降低机组最低运行负荷点可通过①降低内燃机和燃气轮机原动机的最低运行负荷点,例如可在30%额定负荷下运行,当然这需要设备厂家研制出能够适应低负荷运行的设备。②增加机组的台数来降低机组的运行负荷,例如总负荷为600kW,可采用3台200kW的机组,甚至是6台100kW的机组,采用这一措施需在场地要求不严格的情况下。如果采用负荷平衡时,可通过①重新分配各个负荷的设计点,例如可提高烟气温度、减少发电量,进而减少电负荷的分配点,从而增加热负荷的分配点。②采用蓄能方式来调节负荷的平衡,将暂时不需要的能量储存起来待需要用时再将其释放,间接满足用户在不同时段对不同种类能的需求。③将不用种类能进行转换,例如在对电负荷的需求小于对热或冷负荷的需求时,可将电负荷转换成其他两种负荷,从而平衡负荷需求。

5 结论

分布式能源系统从电力供应、环境治理、节能、采暖、制冷和热力供应等多个环节实现总体优化整

合,与集中发电、远距离输电和大电网供电的传统电力系统相比,克服了传统系统高污染、低效率、可靠性差等缺点,突出了节省投资、降低损耗、提高系统可靠性、能源种类多样化、减少污染等优点^[7],成为未来能源市场上前景广阔的供能系统。

作为分布式能源系统规划设计第一步,亦是最为重要的一步,是对用户用能负荷的准确把握,因为较大的设计偏差会导致系统低负荷运行以及由此带来的一系列问题。未来在分布式能源系统应用中,设计人员应当注重负荷的准确预测。

参考文献

- 1 邱留良. 基于分布式能源系统的工业热负荷估算方法探讨. 上海节能, 2015; 09
- 2 冯江华. 在中国发展天然气分布式能源的战略意义. 城市燃气, 2011; 08
- 3 许勤华, 彭博. “APEC分布式能源论坛”综述—兼论中国天然气分布式能源的发展. 国际石油经济, 2013; 1-2: 96-101
- 4 刘青荣, 廖丽娜, 任洪波等. 上海市燃气分布式能源发展状况调研. 上海电力学院学报, 2015; 5: 429-433
- 5 金红光, 郑丹星, 徐建中. 分布式冷热电联产系统装置及应用. 北京: 中国电力出版社, 2008
- 6 王骞, 朱桐, 宋波. 基于分布式能源系统的逐时冷热电负荷模拟计算. 建设科技, 2013; 49-51
- 7 李斌. 简述燃气分布式能源站冷热电联产的应用和发展. 中国新技术新产品, 2015; 12: 104
- 8 上海市节能协会工业领域分布式供能发展研究课题组. 工业分布式供能系统经济性评估研究[J]. 上海节能, 2014; 9: 3-5
- 9 周萍. 分布式能源三联供系统燃气负荷分析. 北京建筑工程学院, 2012
- 10 詹淑慧, 周萍. 分布式能源天然气负荷分析. 北京建筑工程学院学报, 2012; 2: 28-31
- 11 黄洁, 沈致和, 吴亚平. 基于负荷分析的分布式能源站发电技术的选择. 建筑热能通风空调, 2014
- 12 林世平. 燃气冷热电分布式能源技术应用手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014
- 13 杨木和, 阮应君, 李志英等. 三联供系统中逐时冷热