

分布式综合能源系统发电与供冷供热规划探讨

王之馨

华东建筑设计研究总院

摘要：本文提出燃气热电冷联产系统结合光伏发电系统构成分布式综合能源系统，为用户提供电力及冷热供应。结合实际案例分析用户不同时期的电力与冷热需求，合理配置不同分布式能源产出，增强了能源供应的持续性和可靠性，提高了能源综合利用效率。

关键词：分布式综合能源；热电冷联产；光伏发电；能源综合利用

引言

近年来，分布式能源市场因其具备灵活配置的特点，以及满足低碳发展的要求而迅速发展起来。分布式能源系统作为传统大电网的重要补充，可以提升区域总体供电安全性，减少输配成本，缓解不断增长的电能需求对电网造成的压力。其中，多能互补分布式能源系统的应用与能源管理成为可持续发展的重要课题。

可利用的分布式能源可以分为两大类，一类是清洁化石燃料，具有代表性的是天然气；一类是可再生能源，包括太阳能、风能、潮汐能等。其中，天然气和太阳能相对比较稳定，

在市政燃气正常的情况下，天然气可以保证持续稳定的供应。因而采用天然气的热电冷联产系统能够为用户提供相对较为稳定的电力及冷热能源，且可以做到比较大的规模，已经成为分布式能源的主要发展方向之一。光伏发电系统利用源源不断的可再生能源——太阳能，输出直流电可以直接为直流设备供电。直流电源不存在谐波、集肤效应、涡流效应等问题，因此具有相比于交流电源天然的优势。近年来直流设备越来越多，具有代表性的是照明系统中日渐普及的LED光源，以及电动汽车直流充电系统，区域直流供电系统也逐渐展开了应用。

本文将燃气热电冷联产系统与光伏发电系统合理结合起来，共同构成分布式综合能源系统，为用户提供清洁的电能。为多能互补分布式综合能源系统应用提供了一种新的思路。

一、分布式综合能源系统构成

多种分布式能源系统的整合优化，关键在于发电设备与供热制冷方式的选择和优化^[1]。本文以天然气热电冷联产系统与光伏发电系统为例，探讨分布式综合能源系统的配置合理性。系统拓扑结构如图1-1所示。

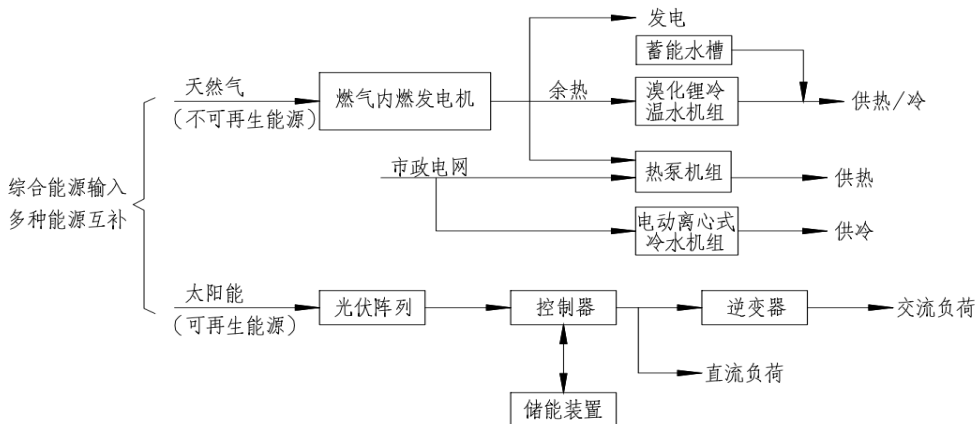


图1-1 综合能源系统拓扑结构图

从图中可以看到，利用天然气的热电冷联产系统与利用太阳能的光伏发电系统相结合，是不可再生能源与可再生能源的结合，可以充分发挥各自的优势，共同满足用户的用能需求。

(一) 燃气热电冷联产系统

分布式燃气热电冷联产系统有多种类型，其中，动力系统设备可以采用燃气轮机、内燃机和燃料电池，配以余热锅炉回收热能，制冷系统可以采用蒸汽式或直燃式溴化锂吸收式制冷机组。燃气内燃机发电效率高，余热利用效率随负荷率的降低而提高；燃气轮机的热电比高，余热利用效率随负荷率降低而降低。而对于一般办公类建筑来说，发电量需求较大，冬季与过渡季热负荷需求较小。综合考虑选择燃气内燃发电机作为原动机进行分析探讨。

天然气燃烧产生热能，用于发电，为系统设备及用户提供电能。高温烟气进入余热锅炉产生蒸汽，用于供热。余热进入烟气热水型溴化锂机组，转化为低温冷水用于供冷。夜间用能低谷时，多余的冷热量存入蓄能水槽，到白天用能高峰时再释

放出来。系统综合能源利用率可达70%以上。考虑到高峰时段用户的冷热需求较大，一般还需配置利用市政电力的电动离心式冷水机组和热泵机组在用能高峰补充提供冷热能量。

(二) 光伏发电系统

太阳以光辐射的形式向地球辐射能量，可以持续供能，并且十分环保。光伏发电结构简单小巧，可以按照需求以模块化集成，容易调节容量。光伏发电最基本的单位是单体光伏电池，若干单体光伏电池经过串并联构成光伏电池组件，若干光伏电池组件经过串并联构成光伏阵列，是一种非线性的直流电源^[1]。由于光伏电池的最大功率点受温度和光照强度影响，在不同的工作环境下，为了使光伏电池输出最大功率，需要配置一个控制器即DC/DC变换器，通过调节占空比来改变负载，从而实现实时的最大功率跟踪。

近年来随着技术飞速发展，光伏领域出现了企业单晶PERC组件，并且国家对光伏电价持续补贴，光伏发电成本不断下降，截至2019年底约为1.31元/W成本价，大幅提高了光伏发电

的性价比。

二、用户侧能源需求分析

结合现有案例分析：分布式能源系统负责供能大楼面积为96万平方米。采用4台10kV-1500kW燃气内燃发电机组作为原动机。根据对全年空调负荷的预测，计算全年8760小时的空调冷热负荷分别为：冷负荷81780kW、热负荷34640kW。设置蓄能水槽作为重要的储能装置，用于维护系统稳定运行。

(一) 热电冷联产系统运行分析

冷热负荷按照时间段可以分为夏季、冬季、春秋季节（过渡季）。

在夏季运行时，燃气内燃发电机发电，余热进入蒸汽式溴化锂吸收式冷热水机组，为用户提供冷量。在用能高峰时段，供冷量不足时由水蓄能槽放冷量补充，发电量不足时由市政电网补充，在用能低谷时段，多余的供冷量存入水蓄能槽储能。

在冬季运行时，燃气内燃发电机发电，余热进入蒸汽式溴化锂吸收式冷热水机组，为用户提供热量，余热回收系统与风冷热泵机组为低温热源串联供热。在用能高峰时段，供热量不足时，由水蓄能槽放热补充，发电量不足时由市政电网补充，在用能低谷时段，多余的热量存入水蓄能槽储能。在春秋季节运行时，冷热负荷均减少，离心式冷水机组和热泵机组均可减载，燃气内燃发电机自发电可以完全供应联产系统自身电力需求，还可以为用户提供一定的电能，减少市电需求。

(二) 电力供应分析

用电负荷可以分为平峰段负荷和谷电段负荷，平峰段是指上午6时至晚上10时，谷电段是指晚上10时至上午6时。冬夏季节分别对这两个时段的负荷进行统计，统计结果如表2-1所示。

由表格可以看出，夏季平峰段制冷需求大，系统总用电

表2-1 用户分时段用电负荷

计算类别	400V负荷 (kW)	10kV负荷 (kW)	负荷总计 (kW)	自发电量 (kW)	实际用电量 (kW)
夏季 平峰段	4900	5520 (4x1380)	11300	6000 (4x1500)	5300
夏季 谷电段	2300	2760 (2x1380)	5060	1500	3560
冬季 平峰段	5500	2100 (3x700)	7600	3000 (2x1500)	4600
冬季 谷电段	4700	2100 (3x700)	6650	3000 (2x1500)	3650
夏季 平峰段 (不计冷水机组)	3540	0	3540	6000 (4x1500)	0
夏季 谷电段 (不计冷水机组)	1620	0	1620	1500	120

量达到最大，冷水机组和内燃发电机投入，扣除自发电后还有5300kW需要市政电网供应。如果除去冷水机组用电量，发电机自发电在夏季基本可以供应联产系统自身电力需求，还可以为用户供应电能。冬季平峰段制热需求大，热泵机组和内燃发电机投入，扣除自发电后还有4600kW需要市政电网供应。综合四个时间段，系统需要供电公司提供二路10kV市电电源进线，每回路3000kVA。也就是说，热电冷联产系统向用户提供了冷量和热量，但由于夏季还需要电制冷机组补充供冷，冬季还需要

热泵机组补充供热，导致整个系统的电力需求大量增加。

此时，光伏发电系统可以作为一种可再生能源发电，提供一定的电力补充。从上述数据可以分析得出，除去夏季谷电段的用电总负荷可以由内燃发电机组完全供应以外，其余时间段的用电总负荷都是超过燃气内燃发电机组的供电能力的。

三、分布式综合能源配置

综合分析案例，考虑规模及可行性，选择配置2000kW容量的光伏发电系统，重新计算各时间段负荷如表3-1所示。

表3-1 加入光伏发电系统以后用户分时段用电负荷

计算类别	400V负荷 (kW)	10kV负荷 (kW)	负荷总计 (kW)	自发电量 (kW)	光伏发电量 (kW)	实际用电量 (kW)
夏季平峰段	4900	5520 (4x1380)	11300	6000 (4x1500)	1500	3800
夏季谷电段	2300	2760 (2x1380)	5060	1500	0	3560
冬季平峰段	5500	2100 (3x700)	7600	3000 (2x1500)	1500	3100
冬季谷电段	4700	2100 (3x700)	6650	3000 (2x1500)	0	3650

加入光伏发电系统以后，平峰段的电力供应得到了补充，供能系统在各个时间段的实际用电量差别减小了很多，此时需要向市政电网申请二路10kV电源进线容量降低至每回路2000kVA，并且各时间段负荷较为均衡，运行相对平稳。

四、结语与展望

本文将燃气热电冷联产系统与光伏发电系统结合起来，构成分布式综合能源系统，通过合理配置能源输入输出，为用户提供清洁可靠的电力及冷热供应。燃气热电冷联产系统结合电制冷机组为用户提供综合能源，光伏发电输出直流电通过控制器后输出稳定的直流电，可以直接供应给直流负荷，减少了中间交直流转换环节，且避免了大量谐波产生。分布式综合能源系统是有限的不可再生能源与无限的可再生能源的有机结合，其合理应用缓解了大电网的高峰用电压力，增强了能源供应的持续性和可靠性，提高了能源综合利用效率。太阳能的应用不

只在光伏发电领域，还有光热供能及太阳能热发电方式，可以为用户提供电力及热能，后续可以继续研究探讨各种分布式能源的综合配置，以期为用户提供更为合适的综合能源供应。

参考文献

[1] 国家发展改革委经济运行调节局, 国家电网公司营销部, 南方电网公司市场营销部. 分布式能源与热电冷联产[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.
 [2] 王宏, 闫园, 文福拴, 等. 国内外综合能源系统标准现状与展望[J]. 电力科学与技术学报, 2019, 34(3).
 [3] 陆建峰, 冯俊淇, 朱菲菲. 用户侧多能互补发展的实践、问题及对策[J]. 上海节能, 2020, 3.
 [4] 胡志毅. 多能互补分布式能源系统架构及综合能源管理系统研究[J]. 能源与节能, 2019, 10.