doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2015.09.002

天然气分布式能源系统仿真模拟软件开发与应用

□ 山东建筑大学(250101)杨明亮 田贯三 王娅男

摘 要: 天然气分布式能源系统要明确系统类型和工艺流程,确定系统的规模和负荷:评价系统 热力学性能和经济效益;计算污染物排放量和减排量。文章围绕软件开发流程和各模块 功能、用途重点阐述、结合工程实例对系统规模确定、效率计算、污染物排放量进行验 证,旨在从系统的热力学性能、环保性、经济性和稳定性等方面对系统进行评价和改 进,为天然气分布式能源系统性能指标的计算、分析、监管和控制提供一个操作平台。

关键词:分布式能源 热力学性能 污染物排放 软件开发

The Development and Application of Natural Gas Distributed Energy System Simulation Software

School of Thermal Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan Yang Mingliang, Tian Guansan, Wang Yanan

Abstract: Gas distributed energy system should to explicit the unit type and process flow, determine the system size and load demand, evaluate thermodynamic performance and economic benefit, calculate pollutant emissions and emissions reductions. The paper emphasis on software development process and function of each module and verify the system size, calculation efficiency and pollutant emissions combining with engineering examples with the purpose of improving and evaluating the system performance from thermodynamic property environmental protection, economy and stability, which provides a platform to calculate, analysis, regulate and control natural gas distributed energy system performance index.

Keywords: distributed energy thermodynamic property pollutant emission software development

天然气分布式能源系统是以天然气作为一次能 源的热电冷三联供(CCHP)的能源系统。天然气分 布式能源系统直接与终端用户融合,提高了能源供应 的安全性和可靠性;实现能源的梯级利用,利用效率 高,经济效益好;污染低、具有一定的环保效益;调 峰性能好,有效做到能源优势互补四。因此,天然气 分布式能源系统在分布式能源系统中居于主体地位, 也是未来发展和推广的重点。

天然气分布式能源系统仿真模拟和软件开发是 在"互联网+、智慧城市、云服务平台"的宏观背景

下,在《天然气分布能源示范项目实施细则》推进 "天然气分布式能源示范项目在线监测系统"建设的 要求下,从负荷预测、热力学性能指标、污染物排 放、运营成本等模块进行数学建模仿真模拟,基于 OOP Pascal编程语言和Windows操作环境运用面向对 象的可视化软件开发工具Delphi开发软件, 在对话框 中主要以表格的形式进行数据的输入和输出,操作简 便。对天然气分布式能源系统进行仿真模拟和软件开 发,将互联网思维和分布式能源进行有机结合,增强 系统管理的智能化。

软件开发流程与模块功能 1

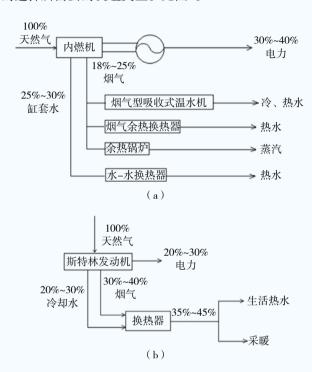
1.1 主界面开发

主界面直观诠释天然气分布式能源系统分析计 算软件程序功能分块及其内在关系, 其核心模块为机 组配置和工艺流程、系统效率、负荷预测、污染物排 放、经济效益等,具体的程序功能模块见图1。

该软件主要从热力学性能、环保性、经济性和安 全稳定性等方面对系统进行仿真模拟, 并将各功能模 块进行有机结合,确保软件功能的全面性,操作的方 便性和结果的可靠性。

1.2 机组类型和工艺流程

根据原动机形式的不同, 天然气冷热电联供系统 主要分为内燃机冷热电联供系统、天然气轮机冷热电 联供系统、燃料电池冷热电联供系统和斯特林发动机 驱动冷热电联供系统4种形式。该软件功能模块详细 介绍各种原动机的工作原理、工艺流程、能源的梯级 利用状况、单机容量和适用场合类型等状况,便于操 作人员对天然气分布式能源系统详细了解,准确快速 的选择所需要的机组类型。见图2。



- (a)以内燃机为原动机的联产系统
- (b)以斯特林发动机为原动机的联产系统

图2 机组类型与工艺流程

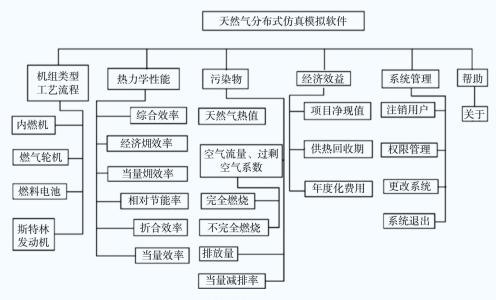


图1 软件主界面结构图

1.3 热力学性能评价

燃气冷热电联供系统能量流程见图3。

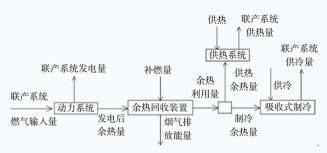


图3 燃气冷热电联供系统能量流程示意

- (1) 能源利用率:基于热力学第一定律,将联 产系统输出的冷量、热量和电量之和与输入联产系统 能源总量的比值[2]。
- (2)效率:基于热力学第二定律,考虑到能量 的品味差异,以电能做功能力为基础,将冷能和热能 转化为作功能力再与输入能源总量的比值。当冷能与 电能转化系数表示冷价与电价之比, 热能与电能转化 系数表示热价与电价之比,表示为经济效率;当转 化系数为环境温度、冷媒水供水温度、供热蒸汽温度 表达时,表示为当量效率[3]。
- (3)相对节能率和节能系数:产生相同冷热电 负荷时燃气联产系统和常规分产系统在消耗一次能源 上的差异可用相对节能率和节能系数表示。如图4所 示,分产系统能量输入量与联产系统能量输入量、补 燃量之间的差值和分产系统的能量输入量的比值称为 相对节能率;分产系统能量输入量与联产系统能量输 入量、补燃量之间的差值和联产系统的能量输入量的 比值称为节能系数[4,5]。

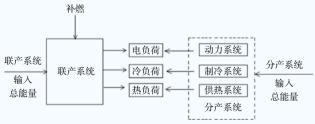


图4 一次能源节约率和节能系数示意图

(4) 折合发电效率: 联产系统中冷量和热量输 出的能耗与参照的分产系统相同时, 推算得到的发电 效率就称为联产系统的折合发电效率, 具体表示为电

负荷与联产系统输入总能量扣除分产系统中产生相同 冷负荷和热负荷所需能量的剩余能量之间比值。

(5) 当量发电效率: 把CCHP系统提供的热能和 冷能按照一定的比例转化为电能,与实际发电量相加 作为系统的总发电量,然后与相应的一次能源总能量 相比, 计算出CCHP系统的当量发电效率[6,7]。

上述评价指标角度选择不同, 侧重点也不一样, 其使用条件也有所差异。能源利用率注重于能源输入 与输出的整体性, 但是现实中不同形式能的转换并不 遵守能量衡算关系: 效率和当量发电效率本质上都 是通过能级系数对不同形式的能进行加权平衡力求弥 补能量品质的差异, 但是能级系数的确定复杂多变; 折合性能指标将联产系统的好处归为其中的一种分产 系统, 其使用条件限制性大; 相对节能率和节能系数 是目前使用广泛且评价最具有现实意义的指标, 但是 要明确参照分产系统性能。在现实应用中, 能源利用 率、相对节能率和节能系数操作性强,表达联产系统 优越性 直观, 是评价系统的常用指标。

1.4 负荷预测与规模确定

天然气分布式冷热电联供系统要根据能量种类和 负荷需求,确定系统的构成形式、装机容量和运行模 式。负荷预测主要采用指标法,根据建筑物的种类、 规模,来确定建筑物的面积能量需求指标,建筑面 积,两者乘积得到建筑物总的能量负荷。

基于建筑物所处地域, 计算建筑物采暖负荷延续 时间表,确定建筑物平均负荷、调峰负荷。调峰负荷 按照最大负荷的20%选取。根据需要选择机组类型, 联供系统机组发电效率,供热效率,制冷系数,机组 容量,用热量总负荷减去调峰负荷后除以每台机组的 供热量可以得到所需机组台数(取整)。

负荷预测和规模确定模块可以使得用户侧需求量 与天然气分布式能源供给的负荷量对应上,在保证系 统运行效率的前提下做到最大限度的节能减排。结合 用户负荷需求,根据"以电定热"或"以热定电"的 原则, 选择动力系统和余热利用系统的类型、容量, 针对供能不足选择补燃或购买市电的弥补方式, 优化 资源配置,加深资源的深度利用和综合优化。

1.5 污染物排放量

污染物的排放量计算主要包括天然气的热值计算 (低位热值和高位热值)、空气流量与过量空气系数 计算和污染物排放量和减排量计算三大部分, 其中热 值计算是空气流量和过剩空气系数计算基础,它们是 污染物排放量计算的必要条件。

(1) 天然气的热值计算

天然气的热值计算是热力学性能评价指标计算的 基础。实际运用中的天然气是有多种组分组成的混合 气体, 其热值计算主要是运用各成分对应的热值与 对应的容积成分相乘并求和得到。对于真实气体, 当 计量条件为温度、压力与燃烧参比条件的温度和压力 不一样时,真实气体热值需要用计量条件下的压缩因 子进行修正: 用求得的理想热值除以计量条件下的压 缩因子。

(2) 空气流量与过量空气系数

为了确保燃气在燃烧时提升效率,减少污染物排 放,调节空气流量和过剩空气系数是最有效的措施。

过剩空气系数会影响气体燃烧的温度、烟气的 排放量,从而影响联产系统的热力学性能,因而,过 剩空气系数有一定的最佳范围。过剩空气系数的确定 原则是在满足完全燃烧的条件下尽量减小过剩空气系 数,具体可以根据烟气分析的结果计算,并及时的检 香和调节,满足天然气燃烧过程。

(3)污染物排放量与减排量

天然气分布式能源系统排放污染物主要为CO。、 SO₂、NO_x、TSP等,污染物排放量的计算根据天然气 成分的化学反应元素守恒计算。据有关部门统计,大 型火电厂的发电效率一般为35%~55%,扣除电厂自用 和输送线路损失,终端利用效率大约为30%~47%; 分布式能源系统发电效率一般在30%~40%,综合能 源利用效率超过了70%。假设大型火电厂发电终端 利用率和分布式能源发电效率均为35%,则均发送 1kW·h电时,污染物排放量见表1。

表1 联供系统和分供系统污染物排放量对比

污染物/g	SO ₂	CO ₂	NOx	СО	TSP	灰	渣
分供系统	7.68	730	3.38	0.11	0.169	46	13
联供系统	3.35	580	1.79	0	0.0688	0	0

相对于分产系统,污染物排放量的减少程度用当 量减排率来表示,具体定义为分产系统与联产系统对 应污染物的排放量差值与分产系统相对应污染物排放

量的比值[9]。

1.5 经济效益评价

经济效益决定因素有项目初投资、运营成本、 燃料成本、年利用小时数、热电比、热效率、上网电 价、供热价格。在系统每年的能量供应保持稳定的 条件下, 联产系统的经济效益评价可采用项目净现 值NPV (Net Present Value) [10]。当项目净现值NPV为 0时,说明企业处于盈亏平衡状态。在盈亏平衡的情 况下,利用单因子变量原则看电价和供热价格随着利 用小时数、初始投资、天然气价格、热效率的变化情 况,以此来对经济效益进行敏感性分析。

工程实例应用 2

以某高铁站为例,具体分析用户天然气分布式能 源系统的规模确定、综合效率计算和烟气量的排放 状况。

2.1 天然气的热值计算

不同的天然气其种类名称和天然气容积成分不 同,以四川干气为例,各容积成分含量见表2。

表2 四川干气成分容积比例

天然气成分	CH₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ +	N ₂
容积成分/%	98.0	0.3	0.3	0.4	1.0

计算出天然气的热值在293K的低位热值为 33.94MJ/Nm³, 高位热值为37.64MJ/Nm³。



图5 热值计算界面图

2.2 规模计算

热电冷负荷预测是确定天然气分布式能源系统

流程和配置的依据。高铁站站房建筑面积为10万m², 城镇管网设计规范提供供热指标参考值为100W/m², 选用天然气内燃机,其发电效率选30%,供热效率为 45%, 制冷机组COP为3, 机组容量为4 000kW, 完全 燃烧条件下, 天然气的燃烧热值为33.94MJ/Nm3, 此 时需要内燃机大约5台。

2.3 完全燃烧所需空气量和烟气排放量计算

四川干气的密度为0.7435kg/Nm3, 当燃烧其 10 000kg时, 所需要的空气量约为166 142m3。过 剩空气系数选为1.2,空气和天然气的含湿量分别为 0.01kg/Nm3干空气, 0.0125kg/Nm3干天然气时, 计算 出烟气排放量为12.62m3/Nm3干天然气。

2.4 系统综合效率计算

根据实际情况,该高铁站全年平均热负荷为 2 500kW, 冷负荷为2 000kW, 电负荷为4 600kW, 全年 燃气用量为1 009万Nm3, 燃气热值为33.94MJ/Nm3, 则可测得该分布式能源系统的综合效率为83.8%。

结论 3

- (1) 系统评价指标主要有一次能源综合利用 率、经济 效率、当量 效率、一次能源节约率和节能 系数、折合发电效率、当量发电效率等,这些指标可 以对能量从"质和量"上进行综合评价。由于能级系 数变化不一,一次能源综合利用率、相对节能率和节 能系数等指标计算方便且使用广泛。
- (2) 天然气分布式能源系统污染物主要是CO₂、 SO₂、NOx、TSP。与传统的联产系统相比,天然气 分布式能源系统联供系统能够避免CO、灰、渣的排 放;与传统的分产系统相比,天然气分布式联产系 统每产1kW·h电时,CO₂、SO₂、NOx的排放量减少 150g, 4.35g, 1.59g_o
- (3)系统的经济性用项目净现值NPV评价,利 用单因子变量原则看电价和供热价格随着利用小时 数、初始投资、天然气价格、热效率的变化情况,以 此来对经济效益进行敏感性分析。
- (4) 仿真模拟软件在工程实例应用中的计算方 便, 计算结果准确, 但是软件一些模块指标模型还需 要进一步补充,模块间链接关系需要加强,软件界面 的美观性需要改善。

基金项目: 国家"十二五"科技支撑计划城镇群重大 基础设施空间规划关键技术研究(NO2012BAJ15B05)的 部分内容。

参考文献

- 1 戴庆忠. 低碳经济风生水起产业拓展审时度势——天 然气分布式能源系统[J]. 东方电机, 2012; (6): 39-45
- 2 李佩, 王健, 何石泉等. 天然气分布式能源系统的能源 综合利用效率计算[J]. 暖通空调, 2014; 10
- 3 杨承, 杨泽亮, 蔡睿贤. 基于全工况性能的冷热电联 产系统效率指标比较[J]. 中国电机工程学报, 2008; 28 (2): 8-13
- 4 王卫琳, 李洁, 赖建波等. 天然气分布式能源系统节能 减排效益分析[J]. 煤气与热力, 2013; 33(8): 23-26
- 5 HORLOCK J H.Cogeneration-combined heat and Power (CHP) [M].2nd.Malabar: Krieger Pub Co,1997; 101-110
- 6 SZKLO A S, TOLMASQUIM M T.Analysis of Brazil's cogeneration legal framework [J]. Energy Conversion and Management, 2003; 44: 369-380
- 7 廖春晖, 赵加宁, 王磊. 国内外热电联产性能评价指 标介绍与分析[J]. 煤气与热力, 2012; 32(1): 4-9
- 8 同济大学等.燃气燃烧与应用[M].北京: 中国建筑工业 出版社, 2011: 405-415
- 9 宋少华. 冷热电分布式供能系统方案研究及性能仿真 [D]. 大连理工大学, 2013
- 10 朱柯丁, 李效臻, 谭忠富等, 天然气分布式冷热电联供 系统节能减排技术经济分析模型[J]. 技术经济, 2012; 31 (5):82-86

欢迎登录《城市燃气》杂志社官方网站

在《城市燃气》杂志社官网首页

点击"杂志订阅"即可订阅杂志 阅

在《城市燃气》杂志社官网首页 点击"在线投稿"即可轻松投稿

《城市燃气》杂志社官网网址: www.gas800.com