

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^[1]。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《天然气分布式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。

1 软件开发流程与模块功能

1.1 主界面开发

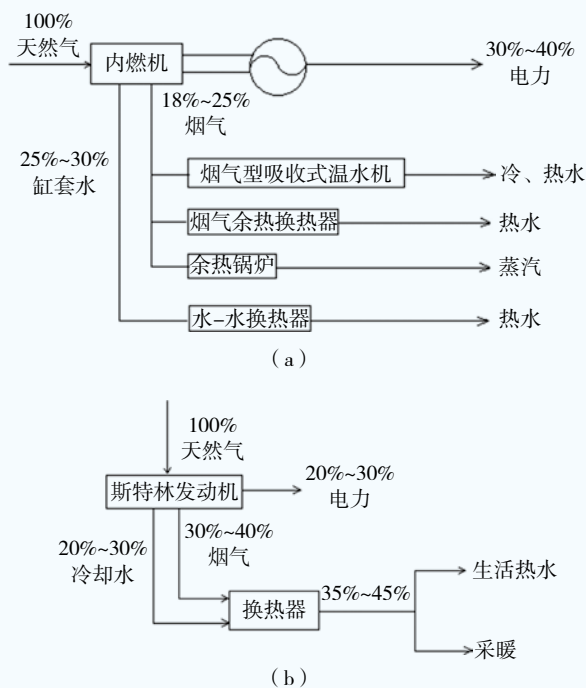
主界面直观诠释天然气分布式能源系统分析计算软件程序功能分块及其内在关系,其核心模块为机组配置和工艺流程、系统效率、负荷预测、污染物排放、经济效益等,具体的程序功能模块见图1。

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

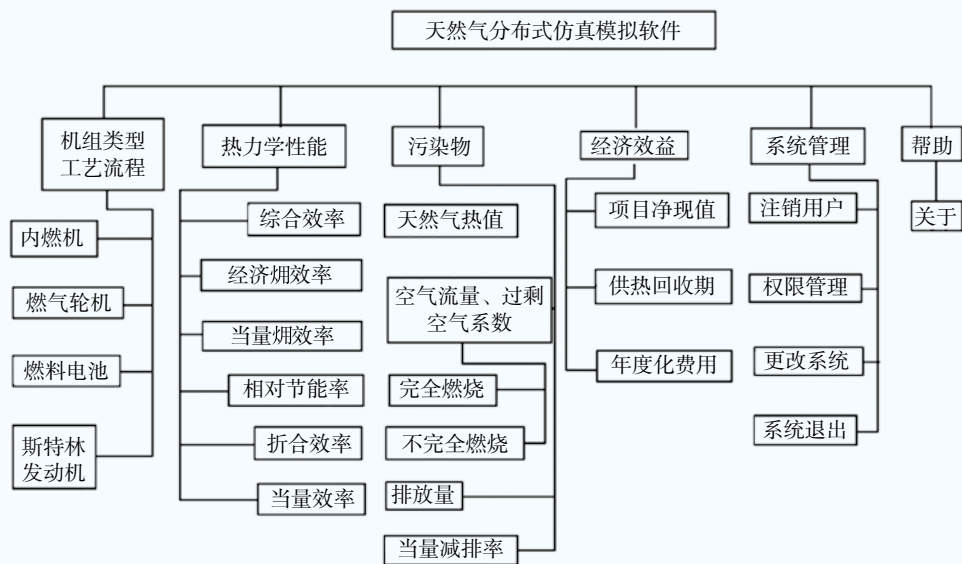


图1 软件主界面结构图

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，并及时的检查和调节，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CO₂、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	NO _x	CO	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。

2 工程实例应用

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	CH ₄	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%。

3 结论

(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、NO_x、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、NO_x的排放量减少150g、4.35g、1.59g。

(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

- 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
- 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
- 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
- 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
- HORLOCK J H. Cogeneration-combined heat and Power (CHP) [M]. 2nd. Malabar: Krieger Pub Co, 1997; 101-110
- SZKLO A S, TOLMASQUIM M T. Analysis of Brazil's cogeneration legal framework [J]. Energy Conversion and Management, 2003; 44: 369-380
- 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
- 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
- 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
- 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

订
阅

在《城市燃气》杂志社官网首页
点击“杂志订阅”即可订阅杂志

投
稿

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