

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2018.03.009

蒸汽需求企业实施 天然气分布式能源项目的经济分析

□ 佛山市燃气集团股份有限公司 (528000) 陈锦芳

□ 佛山市高明燃气有限公司 (528000) 宁建国

摘 要: 本文分析了蒸汽需求企业分别采用燃气锅炉和分布式能源系统两种方式生产蒸汽的蒸汽成本, 得出计算蒸汽成本的表达式。其次比较在不同电价和天然气价格下用户分别采用这两种蒸汽生产方式的蒸汽价格。本文的结论能为蒸汽需求型企业选择燃气锅炉生产蒸汽或实施分布式能源项目供应电力和蒸汽提供判断依据。

关 键 词: 天然气分布式能源 蒸汽需求型企业 经济分析

Economic Analysis on the Implementation of Natural Gas Distributed Energy Project by Enterprise with Steam Demand

Chen Jinfang¹ Foshan Gas Group Co., LTD.,
Ning Jianguo² Foshan Gaoming Gas Co., LTD.,

Abstract: In this paper the production costs of steam in ways of gas boiler and distributed energy system are analyzed respectively, and the expressions of calculating steam cost are obtained. Secondly, the steam costs by these two types of steam production are compared at different electricity prices and natural gas prices. The conclusion of this paper can provide a basis for the enterprise with steam demand to select the gas boiler to produce steam or to implement the distributed energy project to supply electricity and steam.

Keywords: natural gas distributed energy enterprise with steam demand economic analysis

1 概述

啤酒厂、汽车厂、饮料厂、纺织厂等企业在生产过程中需要用到大量的蒸汽。以往这些企业的蒸汽生产主要采用煤锅炉, 而近年来随着社会大众环保意识的不断增强、国家环保治理力度的加大, 很多地方都不断扩大限燃区, 一场燃煤锅炉“煤改气”的变革

正在全国各地开展。用户可以采用天然气锅炉生产蒸汽, 电力需求则来自电网供应; 或者实施天然气分布式能源项目(即以天然气为主要燃料, 驱动燃气轮机发电, 同时采用余热锅炉回收余热用于蒸汽供应)。第一种方式具有投资小、设备占地面积小、系统运行简单等优点; 第二种方式能够提供能源综合利用效率、减少输配电损失、减少CO₂和其他污染物排放,

具有高效、高环保、同时能够作为厂内备用电源等优点，也是国家鼓励发展的方向^[1,2]。

目前我国大部分蒸汽需求企业还是以燃气锅炉为主，不过近年来也有部分企业实施天然气分布式能源项目，比如四川成都雪花啤酒厂和上海安亭大众汽车厂。用户选择自备燃气锅炉生产蒸汽或者实施天然气分布式能源项目主要考虑的还是项目的经济性，这主要取决于实际项目的能源价格（天然气价格、电价和蒸汽价格）。本文将分析和比较在不同电价和天然气价格下用户分别采用燃气锅炉和分布式能源项目的蒸汽价格，为蒸汽需求型工业用户选择燃气锅炉生产蒸汽或实施分布式能源项目供应电力和蒸汽提供判断依据。

2 经济分析

本文以蒸汽需求负荷为20t/h（绝对压力1.0MPa，183.2℃的饱和蒸汽）的工业用户为例，分别采用燃气锅炉和分布式能源项目两种方式满足其蒸汽需求。年运行330d，每天运行24h，每年运行7 920h。

2.1 采用燃气锅炉的经济分析

若用户采用燃气锅炉生产蒸汽，电力需求由电网提供。项目可选用3台12t/h的某品牌燃气锅炉（两用一备），每台锅炉额定蒸发量为12t/h，实际蒸发量约10t/h，以满足20t/h的蒸汽需求。燃气锅炉投资约288 × 10⁴元（额定蒸发量共36t，平均每t的投资取8 × 10⁴元）。此外锅炉厂房建设费约40 × 10⁴元，蒸汽管网建设费约80 × 10⁴元。项目总投资约408 × 10⁴元。

项目运营成本主要包括燃料成本、电费、水费、人工费、锅炉维修费、维护保养费、年检费、折旧费。

2.1.1 燃料成本

查表得绝对压力1.0MPa，183.2℃的饱和蒸汽的焓值为2 776MJ/t。天然气热值取35MJ/Nm³，燃气锅炉实际平均热效率取93%。锅炉年平均进水温度取20℃（不考虑冷凝水回收）。生产每t蒸汽消耗的天然气可通过公式(1)计算：

$$Q_1 = \frac{h_1 - C_p \times T_1}{h_2 \times \eta_1} \quad (1)$$

式中 Q_1 ——每生产1t蒸汽所耗天然气量，Nm³/t

h_1 ——绝对压力1.0MPa，183.2℃的饱和蒸汽的焓值，2 776MJ/t

C_p ——水的定压比热容，4.2 kJ/(kg · K)

T_1 ——年平均进水温度，20℃

h_2 ——天然气热值，35MJ/t

η_1 ——燃气锅炉热效率，93%

经上式计算可得，每生产1t蒸汽所耗天然气量为82.70Nm³。每年运行7 920h，每年生产蒸汽15.84 × 10⁴t，则每年的天然气耗量为1 310.0 × 10⁴Nm³。每年的燃料成本可通过公式(2)计算：

$$E_1 = 1\ 310 \times P_1 \quad (2)$$

式中 E_1 ——每年的燃料成本，× 10⁴元

P_1 ——天然气价格，元/Nm³

2.1.2 电费

生产每吨蒸汽耗电量为4kW · h，每年生产蒸汽15.84 × 10⁴t，则每年的耗电量为63.36 × 10⁴kW · h。每年的电费为：

$$E_2 = 63.36 \times P_2 \quad (3)$$

式中 E_2 ——每年的电费，× 10⁴元

P_2 ——年均电价，元/kW · h

2.1.3 水费

生产每吨蒸汽耗水量为1.2t，水费为2.5元/t，每年生产蒸汽15.84 × 10⁴t，则每年耗水量约19 × 10⁴t，每年的水费 E_3 为47.5 × 10⁴元。

2.1.4 人工费用

项目共需人员6名（三班倒，每班2名），每名员工年工资6万元，则每年的人工费用 E_4 为36 × 10⁴元。

2.1.5 锅炉维修费、维护保养费、年检费

每年锅炉的维修费为3万元，维护保养费为6万元，年检费为1万元，合计 E_5 为10万元。

2.1.6 折旧费用

如前所示，项目总投资408 × 10⁴元，项目运行20a，基准折现率取6%，平均每年折旧费用可通过公式(3)计算：

$$E_6 = \frac{I_1 \times (1+i)^n}{n} \quad (4)$$

式中 E_6 ——平均每年折旧费用，元

I_1 ——项目总投资，408 × 10⁴元

i ——项目基准折现率，6%

n ——项目运行年限，20a

通过计算可得项目平均每年的折旧费为65.4 × 10⁴元。

每t蒸汽的成本可通过下式计算:

$$E_7 = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6}{N} \quad (5)$$

式中 E_7 ——平均每吨蒸汽的生产成本, 元/t

N ——年生产蒸汽总量, 15.84×10^4 t。

代入计算得每t蒸汽的成本为:

$$E_7 = 10.03 + 82.7 \times P_1 + 4 \times P_2 \quad (6)$$

2.2 采用分布式能源项目的经济分析

若用户采用分布式能源生产电力和蒸汽。该项目的主要设备包括1台德国曼恩公司的MAN机组(MGT 6200, 该机单机的额定发电量为6.63MW)、1台20t/h余热补燃锅炉与燃机对应配置、2台12t/h燃气锅炉以作备用。分布式能源系统的燃气耗量为2 085.5Nm³/h(天然气热值按35MJ/Nm³计), 发电热效率为32.7%, 余热烟气实际生产蒸汽量为13.7t/h, 余热效率为50.5%。每年运行7 920h, 分布式能源系统每年发电量为5 251 × 10⁴kW·h, 每年生产蒸汽为10.85 × 10⁴t。生产的蒸汽和电力全部在厂内消纳。采用并网模式, 不足电力由市网补充。

项目总投资约6 450 × 10⁴元(单位工程造价为9 692元/kW)。项目运营按20年计算。

项目运营成本主要包括燃料成本、电费、水费、人工费、维修费、折旧费、其它费用。

2.1.1 燃料成本

每小时的燃料耗量为2 085.5Nm³/h, 每年运行7 920h, 则分布式能源系统每年的天然气耗量为1 651.72 × 10⁴Nm³/h。分布式能源系统每年的燃料成本可通过下式计算:

$$D_1 = 1 651.72 \times P_1 \quad (7)$$

式中 D_1 ——分布式能源系统每年的燃料成本, × 10⁴元

P_1 ——天然气价格, 元/Nm³

2.1.2 电费

分布式能源系统的耗电量一般占系统总发电量的4%。分布式能源系统小时发电量为6.63 × 10³kW·h, 每年运行7 920h, 每年发电量为5 251 × 10⁴kW·h。则分布式能源系统每年的电量为210 × 10⁴kW·h, 每年的电费为:

$$D_2 = 210 \times P_2 \quad (8)$$

式中 D_2 ——每年的电费, × 10⁴元

P_2 ——年均电价, 元/kW·h

2.1.3 水费

分布式能源系统生产每t蒸汽耗水量为1.2t, 水费为2.5元/t, 每年生产蒸汽10.85 × 10⁴t, 则每年的水费 D_3 为32.55 × 10⁴元。

2.1.4 人工费用

分布式能源系统共需人员12名(三班倒, 每班4名), 平均每名员工年工资10万元, 则每年的人工费用 D_4 为120 × 10⁴元。

2.1.5 维修费

对于燃气轮机, 项目每发1kW·h的电, 设备维护保养成本约0.05元, 每年发电量为5 251 × 10⁴kW·h, 因此该分布式能源系统每年的设备维护保养费 D_5 约262.6 × 10⁴元。

2.1.6 折旧费用

如前所示, 项目总投资6 450 × 10⁴元, 项目运行20年, 基准折现率取6%, 平均每年折旧费用可通过下式计算:

$$D_6 = \frac{I_2 \times (1+i)^n}{n} \quad (9)$$

式中 D_6 ——平均每年折旧费用, 元

I_2 ——分布式能源系统总投资, 6 450 × 10⁴元

i ——项目基准折现率, 6%

n ——项目运行年限, 20a

通过计算可得项目平均每年的折旧费为1 034.3 × 10⁴元。

2.1.7 其它费用

根据类似项目的经验, 项目其他费用 D_0 取员工工资及福利费的1.5倍, 约180 × 10⁴元。

每t蒸汽的成本可通过下式计算:

$$D_7 = \frac{D_0 + D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6 - G \times P_2}{M} \quad (10)$$

式中 D_7 ——平均每吨蒸汽的生产成本, 元/t

M ——分布式系统年生产蒸汽总量, 10.85 × 10⁴t

G ——分布式系统年发电量总量, 5 251 × 10⁴kW·h

代入整理得每t蒸汽的成本为:

$$D_7 = 150.2 + 152.2 \times P_1 - 464.6 \times P_2 \quad (11)$$

2.3 对比分析

根据前面2部分分析结果(公式6和公式11)可知, 不论用户采用燃气锅炉还是分布式能源系统, 其蒸汽

价格均与电价和燃气价格有关。下面我们将根据市场燃气价格的变化(2.4元/Nm³、2.7元/Nm³、3.0元/Nm³、3.3元/Nm³)对比分析用户分别采用燃气锅炉和分布式能源系统,其蒸汽价格与电价的关系。

当燃气价格分别为2.4元/Nm³、2.7元/Nm³、3.0元/Nm³、3.3元/Nm³时,采用燃气锅炉和分布式能源系统的蒸汽成本与电价关系如图1所示:

从图中可以看出,当用户采用燃气锅炉生产蒸汽时,蒸汽价格受电价的影响非常小;而当用户采用分布式能源系统时,电价对蒸汽价格的影响很大,蒸汽价格随着电价的增加而减小。此外,当燃气价格为

2.4元/Nm³时,当电价低于0.66元/kW·h时,采用燃气锅炉的蒸汽成本比采用分布式能源系统的蒸汽成本低;当电价高于0.66元/kW·h时,情况则相反。当燃气价格为2.7元/Nm³时,当电价低于0.70元/kW·h时,采用燃气锅炉的蒸汽成本比采用分布式能源系统的蒸汽成本低;当电价高于0.70元/kW·h时,情况则相反。当燃气价格为3.0元/Nm³时,当电价低于0.74元/kW·h时,采用燃气锅炉的蒸汽成本比采用分布式能源系统的蒸汽成本低;当电价高于0.74元/kW·h时,情况则相反。当燃气价格为3.3元/Nm³时,当电价低于0.79元/kW·h时,采用燃气锅炉的蒸汽成本比采用分布式能源系统

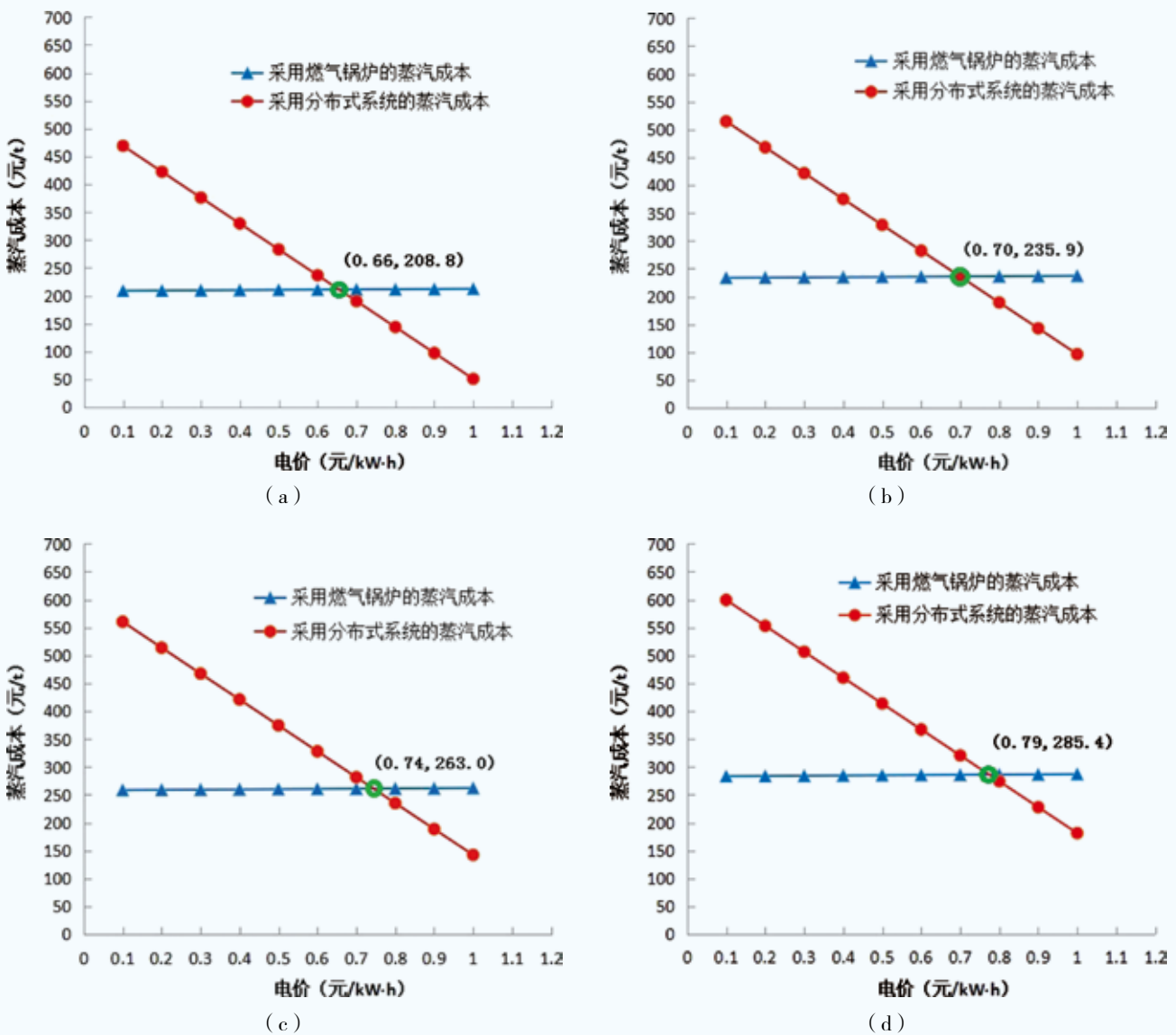


图1 不同燃气价格下,燃气锅炉和分布式能源系统的蒸汽成本与电价关系:(a)燃气价格为2.4元/Nm³;(b)燃气价格为2.7元/Nm³;(c)燃气价格为3.0元/Nm³;(d)燃气价格为3.3元/Nm³;

的蒸汽成本低;当电价高于0.79元/kW·h时,情况则相反。

根据以上分析可得,当用户电价较低时,适合采用燃气锅炉生产蒸汽;当用户电价较高时,适合实施分布式能源项目生产电力和蒸汽。而且,随着用户天然气价格的增加(从2.4元/Nm³增加到3.3元/Nm³),用户的电价需相应地增加(从0.66元/kW·h增加至0.79元/kW·h),才值得实施分布式能源项目。

3 结论

(1)当用户采用燃气锅炉生产蒸汽时,蒸汽成本主要受天然气价格的影响,与几乎不受用户电价的影响;而当用户实施分布式能源项目时,蒸汽成本除了与天然气价格有关以外,还受电价的影响较大。

(2)当用户电价较低时,适合采用燃气锅炉生产蒸汽;当用户电价较高时,适合实施分布式能源项目生产电力和蒸汽。

(3)随着用户天然气价格的增加(从2.4元/Nm³增加到3.3元/Nm³),用户的电价需相应地增加(从0.66元/kW·h增加至0.79元/kW·h),才值得实施分布式能源项目。

参考文献

- 1 蒋建文,宗仁怀,杨厚君.燃气分布式能源项目冷热电三联供的应用[J].城市燃气,2016;03:9-11
- 2 尹祥,赵先勤,陈锦芳.天然气分布式能源支持政策与经济敏感性分析[J].煤气与热力,2017;37(1):A31-A35

工程信息

广西桂林市近30万户居民用上“自来水”

2018年2月3日,据广西桂林市城管委统计,截至2017年12月底,桂林市六城区和灵川县、兴安县有988个居民小区安装了管道天然气设施,共有管道天然气用户27.76万户。

使用管道天然气工商企业用户有975家,使用天然气的公交车265辆、出租车1 050辆、客运大巴6辆、旅游大巴15辆,2017年燃气企业累计销售天然气7 643.83万m³。

为了推进天然气普及,近年来,桂林市深入开展天然气“县县通”工程和“煤改气”行动。截至目前,桂林新奥燃气有限公司在七星、象山、秀峰、叠彩、雁山五城区和灵川县已建成天然气门站1座、调压站1座、天然气储配站2座、天然气加气站4座,铺设高压管道18.9km、中压管道355km、低压及庭院管道1 020km,其中五城区居民已使用上质优价廉的中缅天然气;桂林港华燃气有限公



司在临桂区已建成天然气储配站1座,铺设高压管道6.5km、中压管道53.31km、低压管道及庭院管道156.78km;兴安旭升燃气有限公司建设天然气储配站1座,铺设中压管道69km、低压管道及庭院管道105.4km。

(本刊通讯员供稿)