

基于临界电价分析模型的集中式 电供暖项目经济性研究

罗家松,徐 彤,王新雷

(国网经济技术研究院有限公司,北京 102209)

Research on economy of centralized electric heating projects based on the
analysis model of critical tariff

LUO Jia-song, XU Tong, WANG Xin-lei

(State Grid Economic and Technological Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China)

摘要:电供暖项目是电力需求侧管理的重要对象,有利于改善大气环境并促进新能源电力消纳,经济性是推广建设电供暖项目的决定性因素。为促进我国电供暖行业的健康发展,构建了临界电价分析模型,通过调研确定了合理的模型边界条件,研究了目录电价结算方式、购销差价不变结算方式下北京市蓄热式电锅炉、集中式空气源热泵、地源(水源)热泵等集中式电供暖项目的经济性。基于计算和分析结果,提出了推广建设电供暖项目的政策建议。

关键词:集中式电供暖;临界电价;经济性;目录电价

Abstract: Electric heating projects are important objects of power demand side management, which are conducive to improving atmospheric environment and promoting new energy power consumption. Economy is the decisive factor to promote construction of electric heating projects. In order to promote the healthy development of electric heating in China, the analysis model of critical tariff was created. The reasonable model boundary conditions were determined by investigation. Economy of centralized electric heating projects such as regenerative electric boiler projects, centralized air source heat pump projects, ground source (water source) heat pump projects in Beijing under catalogue tariff settlement method and unchangeable difference of purchase and sale price settlement method was studied. Based on the results of calculation and analysis, policy recommendations for promoting the construction of electric heating projects was put forward.

Key words: centralized electric heating; critical tariff; economy; catalogue tariff

中图分类号:F407.61 文献标志码:B

电供暖是电能替代的重要形式,是解决我国北方地区大气污染问题、促进可再生能源消纳、改善电力负荷峰谷差的重要手段。因为供暖负荷具有热惯性,且电供暖项目常附带蓄热设备,未来电供暖项目可能作为可中断负荷大范围参与辅助服务,是电力需求侧管理的重要对象。2016年以来,我国开始大规模建设电供暖项目,相关建设经验表明,影响电供暖项目推广的决定性因素是其经济性,经济性研究是电供暖相关研究中的热点。

1 研究对象选择

我国各地的电价和热价、补贴政策、建筑能耗、气候条件差异较大,需选择典型地区开展电供暖经济性研究。电供暖技术类型多样,特别是集中式电供暖和分散式电供暖的技术特点、适用的价格和政策差异很大,需选择具体的技术类型开展研究。此外,目前并行有3种电价结算方式,需确定具体的电价结算方式进行分析。

1.1 典型地区选择

北京市是我国推广电供暖项目建设力度最大的北方供暖城市之一,其相关政策体系比较成熟,因此本文选择北京市作为电供暖项目经济性研究的典型地区。

1.2 技术类型选择

相比激励政策较完备且已大规模推广建设的分散式电供暖项目,目前北京市集中式电供暖项目建设规模较小,但其技术水平高、可维护性和可持续性好,更容易实现电力调度参与辅助服务,政府的补贴负担也小,未来发展空间大,因此本文选择北京市的集中式电供暖项目作为研究对象,具体研究蓄热式电锅炉、空气源热泵、地源(水源)热泵等3种技术类型。

1.3 电价结算方式选择

我国并行有3种与电供暖相关的用电结算方式:目录电价结算、购销差价不变结算、电力交易结算,它们与电供暖项目的经济性密切相关。目录电价结算方式即通过查目录电价表(销售电价表)确定电供暖项目用电价格;购销差价不变结算即电网

收稿日期:2018-06-01;修回日期:2018-07-15

公司在目录电价的基础上降低对电供暖项目的销售电价,同时等额降低对关联发电企业的收购电价,维持购电、售电的价差不变;电力交易结算方式即电供暖用户与发电企业商定交易电价,电网公司向电供暖用户收取过网费。

虽然目前电力市场建设取得重大进展,但实时交易市场尚需建设和完善,全国统一的电力市场也未建立,因其民生属性电供暖项目在电力市场中的竞争力也不强,因此通过电力交易结算方式生存的集中式电供暖项目极少,故本文主要讨论前2种结算方式下集中式电供暖项目的经济性。

2 目录电价结算条件下北京市集中式电供暖项目的经济性

2.1 临界电价分析模型

临界电价分析模型设定项目投资内部收益率等于行业基准收益率,计算项目可以承受的最高用电价格(即“临界电价”),通过对比临界电价和目录电价即可判断该项目的经济性。

3类集中式电供暖项目的临界电价分析模型构建如下。

(1) 蓄热式电锅炉项目

目前,北京市实施峰、平、谷分时段电价,蓄热式电锅炉项目主要在谷时段用电,未来可能仅补贴谷时段电价,故本文计算谷时段的临界电价,通过与目录电价表中的谷时段电价对比,讨论蓄热式电锅炉项目的经济性。

蓄热式电锅炉项目临界电价分析模型如下

$$P_{\text{valley}}^{\text{power}} = \frac{(R_t^{\text{hot}} - E_t^{\text{run}} - E_t^{\text{power}}) \times \eta + II^{\text{power}} \times \theta \times \Gamma - II^{\text{power}}}{Q_{\text{valley}}^{\text{power}} \times \eta} \quad (1)$$

$$R_t^{\text{hot}} = P_t^{\text{hot}} \times A \quad (2)$$

$$\Gamma = (1 + i)^{-T} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{(1 + i)^T - 1}{[i(1 + i)^T]} \quad (4)$$

$$E_t^{\text{power}} = P_{\text{flat}}^{\text{power}} \times A \times H^{\text{power}} \times \frac{h_{\text{flat}}}{(h_{\text{valley}} + h_{\text{flat}} + h_{\text{peak}})} + \quad (5)$$

$$P_{\text{peak}}^{\text{power}} \times A \times H^{\text{power}} \times \frac{h_{\text{peak}}}{(h_{\text{valley}} + h_{\text{flat}} + h_{\text{peak}})}$$

$$Q_{\text{valley}}^{\text{power}} = A \times H^{\text{power}} \times \frac{h_{\text{valley}}}{(h_{\text{valley}} + h_{\text{flat}} + h_{\text{peak}})} \quad (6)$$

式中: $P_{\text{valley}}^{\text{power}}$ 为计算得出的谷时段临界电价; $P_{\text{flat}}^{\text{power}}$ 为目录电价表中的平时段电价; $P_{\text{peak}}^{\text{power}}$ 为目录电价表中的峰时段电价,单位均为元/kWh; P_t^{hot} 为热价(可能含补贴),元/m²; R_t^{hot} 为供暖收入,元; H^{power} 为供暖季内单位面积耗电量,kWh/m²; $Q_{\text{valley}}^{\text{power}}$ 为谷时段年用电量,kWh; A 为供暖面积,m²; E_t^{run} 为电费以外的运行成本; E_t^{power} 为峰时段、平时段的电费支出之和,单位

均为元; h_{valley} 为谷时段供暖小时数; h_{flat} 为平时段供暖小时数; h_{peak} 为峰时段供暖小时数; h ; η 为年金现值系数, Γ 为现值系数; θ 为残值率; i 为基准收益率; T 为设备寿命,年; II^{power} 为初始投资,元。

式(1)是临界电价分析模型的核心公式,式(1)分子中 $(R_t^{\text{hot}} - E_t^{\text{run}} - E_t^{\text{power}}) \times \eta$ 项为该项目生命周期内各年供暖收入扣除当年电费以外成本、峰时段和平时段的电费支出后折算为现值的和, $II^{\text{power}} \times \theta \times \Gamma$ 项为可回收残值折算的现值, II^{power} 项为初投资,因此分子为考虑了除谷时段电费支出以外的项目收支差额的现值。式(1)分母 $Q_{\text{valley}}^{\text{power}} \times \eta$ 表示当谷时段临界电价为1元/kWh时谷时段电费支出现值。式(1)分子除分母即可计算临界电价。其余各式是对式(1)各子项的解释和展开。

(2) 空气源热泵项目

空气源热泵项目与蓄热式电锅炉项目的临界电价分析模型本质相同,蓄热式电锅炉项目主要在谷时段用电,但空气源热泵项目在峰、平、谷时段用电量相差不多,未来可能等额补贴峰、平、谷时段电价,故计算峰、平、谷时段加权临界电价。

空气源热泵项目加权临界电价计算模型为

$$P_{\text{valley}}^{\text{power}} - P_{\text{sub}} = \frac{(R_t^{\text{hot}} - E_t^{\text{run}} - E_t^{\text{power}}) \times \eta + II^{\text{power}} \times \theta \times \Gamma - II^{\text{power}}}{Q_{\text{valley}}^{\text{power}} \times \eta} \quad (7)$$

$$E_t^{\text{power}} = (P_{\text{flat}}^{\text{power}} - P_{\text{sub}}) \times A \times H^{\text{power}} \times \frac{h_{\text{flat}}}{(h_{\text{valley}} + h_{\text{flat}} + h_{\text{peak}})} + (P_{\text{peak}}^{\text{power}} - P_{\text{sub}}) \times A \times H^{\text{power}} \times \frac{h_{\text{peak}}}{(h_{\text{valley}} + h_{\text{flat}} + h_{\text{peak}})} \quad (8)$$

$$P_{\text{sub}}^{\text{power}} - P_{\text{sub}} = \frac{P_{\text{valley}}^{\text{power}} + P_{\text{valley}}^{\text{power}} + P_{\text{valley}}^{\text{power}} - P_{\text{sub}}}{3} \quad (9)$$

式中: $P_{\text{valley}}^{\text{power}}$ 为目录电价表中的谷时段电价; P_{sub} 为保证项目经济可行的补贴电价(等量补贴峰、平、谷时段电价); $P_{\text{sub}}^{\text{power}}$ 为目录电价表中峰、谷、平3个时段电价的算术平均值; $P_{\text{sub}}^{\text{power}} - P_{\text{sub}}$ 为计算得出的空气源热泵项目的加权临界电价,其他参数的定义与蓄热式电锅炉项目临界电价分析模型参数相同。当 $P_{\text{sub}}^{\text{power}} - P_{\text{sub}} \geq P_{\text{sub}}^{\text{power}}$ (即 $P_{\text{sub}} \leq 0$ 时),项目具有财务生存能力。

(3) 地源(水源)热泵项目

地源(水源)热泵项目与空气源热泵的原理和运行模式相同,故临界电价模型相同,两者差异主要体现在边界条件上。

2.2 边界条件

(1) 基本边界条件

设定项目投资内部收益率 i 为8%,由调研可知,集中式电供暖设备寿命为25年,残值率为5%。

根据北京市目录电价表,适用于集中式电供暖项目的峰段电价为0.976 4元/kWh,平段电价为

0.667 0元/kWh,谷段电价为0.366 6元/kWh(不考虑夏季尖峰)。峰时段8 h(10:00~15:00,18:00~21:00),平时段7 h(7:00~10:00,15:00~18:00,21:00~22:00),谷时段9 h(22:00~7:00)。

(2) 初投资及补贴相关边界条件

3类集中式电供暖技术还可细分为多个技术子类型,在调研了电供暖设备生产和经销厂家、电供暖项目设计及投资企业后得出各子类型的造价情况如表1所示。

表1 不同电供暖设备类型的造价

设备类型	单位造价/ (元·m ⁻²)	对应设备子类型
蓄热式电锅炉	80	水蓄热电锅炉且利用原燃煤锅炉土建设施
	100	水蓄热电锅炉且有土建工程
	150	蓄热砖蓄热电锅炉且有土建工程
空气源热泵	100	建设规模较大,设备采购费用低
	150	建设规模较小,设备采购费用高
地源(水源)热泵	100	中深层地热源热泵/污水源热泵
	200	土壤源热泵

表2 北京市集中式电供暖的初投资补贴情况

补贴对象	补贴额	对应情景
初投资补贴比例	0%×初投资	各种原因未争取到补贴
	30%(50%)×初投资	蓄热式电锅炉(热泵)补贴
拆除燃煤锅炉补贴比例	0万元/Rt	不拆除锅炉,即新建项目;
	13万元/Rt	仅有北京市市级补贴
	13+5万元/Rt	北京市补贴外,区政府另补5万元/Rt
	13+13万元/Rt	北京市补贴外,区政府另补13万元/Rt

表3 不同类型建筑物每个供暖季单位面积供暖耗电量数据

集中式电供暖技术类型	供暖对象	供暖对象单位面积耗电量/ (kWh·m ⁻²)	供暖对象特点
蓄热式电锅炉	最节能建筑	60	节能设计、进行保温改造、晚上不供暖等
	一般节能建筑	80	满足最节能建筑的一项或几项,比较节能
	一般建筑	100	节能效果一般,较为常见
	派出所等公建	140	老旧建筑、层高大、不保温、全天用热
空气源热泵	一般节能建筑	40	节能设计、进行保温改造、晚上不供暖等
	需全天供暖公建	60	老旧建筑、层高大、不保温、全天用热
地源(水源)热泵	一般节能建筑	30	节能设计、保温改造、晚上不供暖等
	需全天供暖公建	40	老旧建筑、层高大、不保温、全天用热

建设集中式电供暖项目常需配套配电网改造工程。基于调研,设定配套配电网改造工程投资由集中式电供暖项目投资商承担,其投资和与集中式电供暖项目本体投资额之比为1:1。通过调研政策文件,北京市集中式电供暖初投资补贴政策如表2所示。

(3) 供暖对象采暖季单位面积耗电量相关边界条件

通过调研电暖项目投资企业和实地考察典型电供暖项目,不同类型建筑物每个供暖季单位面积供暖耗电量数据如表3所示。

(4) 供暖费用边界条件

通过查询北京市居民、非居民供暖价格以及文献资料,整理得出不同类型供暖对象的热费标准如表4所示。

表4 不同类型的供暖对象的热费标准

供暖对象	热价/(元·m ²)	不同热价对应的情景
供应居民供暖	30	无补贴时的基础热价
	56	基础热价(30元/m ²)+各年补贴热价(2016—2017年供暖季为26元/m ²)
	42	基础热价

2.3 经济性分析结论

(1) 蓄热式电锅炉项目

计算得出的蓄热式电锅炉项目谷时段临界电价如表5所示(阴影格中数据高于目录电价表中谷时段电价0.366 6元/kWh)。

由表5可知,仅极少数情况下蓄热式电锅炉项目具有财务生存能力,即在目录电价结算方式下很难推广建设蓄热式电锅炉项目。

(2) 空气源热泵项目

计算得出的空气源热泵项目加权临界电价如表6所示(阴影格中数据高于目录电价表中峰、平、谷时段电价的算术平均值0.657 5元/kWh)。

由表6可知,仅当热价较高、供暖对象供暖季单位面积耗电量较小时空气源热泵才具有财务生存能力,即在目录电价结算条件下难于推广建设集中式空气源热泵项目。

(3) 地源(水源)热泵项目

计算得出的地源(水源)热泵项目加权临界电价如表7所示(阴影格中的数据高于

目录电价表中峰、平、谷时段电价的算术平均值0.657 5元/kWh)。

由表7可知,大多数条件下的地源(水源)热泵项目具有财务生存能力,只要具备资源条件,在目录电价结算条件下容易推广建设地源(水源)热泵项目。

4 购销差价不变结算方式下北京市集中式电供暖项目的经济性

前文计算的集中式电供暖项目临界电价与目录电价的差价即为保证该集中式电供暖项目实现盈利的电价降价需求。另一方面,风电等可再生能源电力上网电价较高,边际成本接近于0,部分地区弃风、弃光情况严重,可能存在降价销售的意愿和空间。发电侧(可再生能源项目)和需求侧(集中式电供暖项目)可达成降价协议,电网公司降低发电侧上网电价,同时等额降低需求侧用电价格,保持购销差价不变,从而使各方均具备财务生存能力。

首先分析蓄热式电锅炉项目的降价需求。根据调研,认为供暖对象单位面积耗电量为100 kWh/m²、热价为56元/m²(含补贴26元/m²)的情景最具代表性,计算其平均降价需求,如表8所示。

对表8“保证项目盈利的降价需求”栏所列数据进行算术平均,计算得出平均需降价0.25元/kWh,即发电侧上网电价和需求侧用电价格同步降低0.25元/kWh时,可保证蓄热式电锅炉项目具有财务生存能力。

同理,选取供暖对象单位面积耗电量为60 kWh/m²、热价为56元/m²的情景作为空气源热泵项目供暖的典型情景,经计算可知,如需推广建设发电侧、需求侧电价需同步下降0.12元/kWh。地源(水源)热泵项目在目录电价结算条件下即可生存,如采用购销差价不变结算方式降低电价,其项目投资内部收益率更高。

表5 蓄热式电锅炉项目谷时段临界电价 元/kWh

投资补贴	项目 造价/ (元·m ⁻²)	供暖对象				
		60 kWh/m ² (热价 56元/m ²)	80 kWh/m ² (热价 56元/m ²)	100 kWh/m ² (热价 56元/m ²)	100 kWh/m ² (热价 42元/m ²)	140 kWh/m ² (热价 42元/m ²)
30%补贴	80	0.299 0	0.203 7	0.146 5	-0.007 3	-0.027 8
	100	0.241 1	0.160 3	0.111 8	-0.042 1	-0.053 6
	150	0.096 3	0.051 7	0.024 9	-0.129 0	-0.115 6
30%补贴+ 13万/Rt	80	0.336 8	0.232 0	0.169 2	0.015 3	-0.012 6
	100	0.278 9	0.188 6	0.134 4	-0.019 4	-0.037 4
	150	0.134 1	0.080 0	0.047 6	-0.106 3	-0.099 5
30%补贴+ (13+5)万/Rt	80	0.351 4	0.243 0	0.177 9	0.024 1	-0.006 3
	100	0.293 5	0.199 5	0.143 2	-0.010 7	-0.031 1
	150	0.148 7	0.090 9	0.056 3	-0.097 6	-0.093 2
30%补贴+ (13+13)万/Rt	80	0.374 6	0.260 4	0.191 9	0.038 0	0.004 6
	100	0.316 7	0.217 0	0.157 1	0.003 3	-0.020 2
	150	0.171 9	0.108 4	0.070 3	-0.083 6	-0.083 2

表6 空气源热泵项目加权临界电价 元/kWh

投资补贴	项目造价/ (元·m ⁻²)	供暖对象			
		40 kWh/m ² (热价 56元/m ²)	60 kWh/m ² (热价 56元/m ²)	40 kWh/m ² (热价 42元/m ²)	60 kWh/m ² (热价 42元/m ²)
50%补贴	100	0.776 3	0.517 5	0.426 3	0.284 2
	150	0.718 5	0.479 0	0.368 5	0.245 6
50%补贴+ 13万/Rt	100	0.827 9	0.551 9	0.477 9	0.318 6
	150	0.770 1	0.513 4	0.420 1	0.280 0
50%补贴+ (13+5)万/Rt	100	0.847 7	0.565 2	0.497 7	0.331 8
	150	0.789 9	0.526 6	0.439 9	0.293 3
50%补贴+ (13+13)万/Rt	100	0.879 5	0.586 3	0.529 5	0.353 0
	150	0.821 7	0.547 8	0.471 7	0.314 4

表7 地源(水源)热泵项目的加权临界电价 元/kWh

投资补贴	项目造价/ (元·m ⁻²)	供暖对象			
		30 kWh/m ² (热价 56元/m ²)	40 kWh/m ² (热价 56元/m ²)	30 kWh/m ² (热价 42元/m ²)	40 kWh/m ² (热价 42元/m ²)
50%补贴	100	1.163 0	0.872 3	0.696 4	0.522 3
	200	1.007 9	0.755 9	0.541 2	0.405 9
50%补贴+ 13万/Rt	100	1.231 8	0.923 9	0.765 2	0.573 9
	200	1.076 7	0.807 5	0.610 0	0.457 5
50%补贴+ (13+5)万/Rt	100	1.258 3	0.943 7	0.791 6	0.593 7
	200	1.103 1	0.827 4	0.636 5	0.477 4
50%补贴+ (13+13)万/Rt	100	1.300 6	0.975 5	0.834 0	0.625 5
	200	0.966 3	0.859 1	0.678 8	0.509 1

表8 保证蓄热式电锅炉项目实现盈利的降价需求

投资补贴	项目造价/ (元·m ²)	谷时段临 界电价/ (元·kWh ⁻¹)	实际电 价水平/ (元·kWh ⁻¹)	保证项目盈利 的降价需求/ (元·kWh ⁻¹)
30%补贴	80	0.146 5	0.366 6	0.220 1
	100	0.111 8	0.366 6	0.254 8
	150	0.024 9	0.366 6	0.341 7
30%补贴+ 13万/Rt	80	0.169 2	0.366 6	0.197 4
	100	0.134 4	0.366 6	0.232 2
	150	0.047 6	0.366 6	0.319 0
30%补贴+ (13+5)万/Rt	80	0.177 9	0.366 6	0.188 7
	100	0.143 2	0.366 6	0.223 4
	150	0.056 3	0.366 6	0.310 3
30%补贴+ (13+13)万/Rt	80	0.191 9	0.366 6	0.174 7
	100	0.157 1	0.366 6	0.209 5
	150	0.070 3	0.366 6	0.296 3

5 结束语

通过构建临界电价分析模型,讨论了北京市集中式电供暖项目的经济性,主要结论包括:

(1) 供暖对象单位面积耗电量(与建筑能耗水平、用能特点等相关)、热价、初投资、电价、各类补

贴等因素对集中式电供暖项目经济性有重要影响。

(2) 在目录电价结算条件下,尽管有电价补贴以外的各种补贴,蓄热式电锅炉项目仍不具有财务生存能力,空气源热泵项目也难以推广,地源(水源)热泵项目经济性较好,如果热源等条件具备,其推广性较好。

(3) 在电力交易体系还不够完善或运行遇到障碍的地区,可以考虑采用购销差价不变结算方式促进集中式电供暖项目推广,发电侧、需求侧电价同步下降0.25元/kWh时,蓄热式电锅炉项目具有财务生存能力。发电侧、需求侧电价同步下降0.12元/kWh时,空气源热泵项目具有财务生存能力。

本文提出政策建议如下:

(1) 重视集中式电供暖项目可持续性等优势,积极推进集中式电供暖项目的建设;

(2) 按目录电价表结算电费时,优先推进地源(水源)热泵的建设。可通过提高热价等方式保证集中式电采暖项目的生存;

(3) 在电力交易机制不够完善的条件下,可以通过购销差价不变结算方式推动集中式电供暖项目建设。D

(上接第27页)



图5 LED路灯

不仅可以改善传统路灯耗能高、照明效果不佳、需要频繁维修更换的现状,同时也能带来巨大的经济和生态效益,更有良好的社会影响力,加快企业节能减排,并减少环境污染和提高管理水平。D

参考文献:

[1] 刘天雨,解召辉.以电能替代促进降损节能和增供扩销[J].电力需求侧管理,2017,19(3):55.
[2] 周伏秋,王娟.我国电力需求侧管理工作面临的形势及建议[J].电力需求侧管理,2015,17(2):1-4.
[3] 夏丽.智能LED照明系统设计[D].西安:西安电子科技大学,2014.

[4] 百度百科.发光二极管[EB/OL].[2017-05-11](2018-05-18)<https://baike.baidu.com/item/%E5%8F%91%E5%85%89%E4%BA%8C%E6%9E%81%E7%AE%A1>.
[5] Wang, Adrian Rawlinson, Geoff Archenhold, et al. LED lighting technology:lessons from the USA[R]. Report of a DTI global watch mission, 2006, 17-25.
[6] Kim J K, Schubert E F. Transcending the replacement paradigm of solid - state lighting [J]. Optics Express, 2008, 16(26):35-42.
[7] Lan K, Shin M W. Thermal Resistance Measurement of LED Package with Multichips [J]. IEEE Transactions on Components & Packaging Technologies, 2007, 30 (4) : 632-636.
[8] 杨凯.大功率LED及其灯具的光热结构设计和环境可靠性分析[D].杭州:浙江大学,2016.
[9] 中国照明协会.中国逐步淘汰白巧灯路线图[J].广东科技,2012,21(18),:21-21.
[10] 高立强.LED照明负荷提供调频备用的容量评估与控制策略[D].济南:山东大学,2017.
[11] Rocabert J, Luna A, Blaabjerg F, et al. Control of Power Converters in AC Microgrids [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 27(11):4 734-4 749.
[12] 黄天宏.LED照明技术的研究和设计实例[D].长沙:湖南大学,2009.