

采取电采暖方式消纳清洁能源的综合效能分析

姚锦松¹, 常喜强^{1,2}, 于冰², 郭小龙², 徐吉智³, 刘博文²

(1. 石河子大学机电学院, 新疆 石河子 832003;

2. 国网新疆电力有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830011;

3. 新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830047)

摘要: 随着清洁能源大量广泛开发利用, 受各种因素的影响, 清洁能源弃电严重, 特别是北方冬季采暖季节, 受供热机组供热的约束, 供热火电机组占用了清洁能源消纳的空间, 采用电采暖方式一方面减少供热机组约束, 扩大消纳清洁能源空间; 另一方面也提高环境保护能力。但采用电采暖方式, 属于二次能源再利用, 存在多方面因素的效能评估。针对城市电网电采暖供电方式, 开展了电采暖与燃煤(燃气)采暖的技术经济比较, 对采用电采暖可行的几种方式也进行了分析, 提出了采用电采暖方式需关注的方面, 对电采暖的推广和提升城市清洁化水平提供借鉴意义。

关键词: 电采暖; 电能替代; 清洁消纳; 综合效能

中图分类号: TM73 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2020)02-0017-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.02.004

Comprehensive Efficiency Analysis on Clean Energy Accommodation with Electric Heating

Yao Jinsong¹, Chang Xiqiang^{1,2}, Yu Bing², Guo Xiaolong², Xu Jizhi³, Liu Bowen²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, Xinjiang, China;

2. State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Urumqi 830011, Xinjiang, China;

3. School of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830047, Xinjiang, China)

Abstract: With the extensive development and utilization of clean energy and affected by various factors, clean energy has been abandoned seriously, especially in the winter heating season in the north. Restricted by the heating of co-generation units, the thermal units for heating supply occupy the space of clean energy accommodation. On the one hand, the electric heating method reduces the constraints of co-generation units and expands the space of clean energy accommodation, on the other hand, it is also environmentally friendly. However, there exists many factors of effectiveness evaluation in using electric heating which belongs to the secondary energy reuse. Aiming at the power supply mode of electric heating in urban power grid, the technical and economic comparison between electric heating and coal-fired (gas) heating is carried out, several feasible modes of electric heating are analyzed, and some aspects that need to be paid attention to in using electric heating are put forward, which can provide a reference for the promotion of electric heating and the improvement of urban cleaning level.

Key words: electric heating; electric energy replacement; clean energy accommodation; comprehensive efficiency

0 引言

北方冬季的供暖会造成环境污染和资源严重浪费, 而清洁能源发电的消纳空间有限, 弃电严重。特别是北方地区, 如果将冬季采暖方式调整为电采暖, 一方面可提高清洁能源利用, 增大消纳空间, 减少弃电比, 保存煤炭、天然气资源; 另一方面也可提高环

境保护能力, 降低污染物排放, 对提升空气质量起到重要作用。

针对现有的环境污染和不可再生能源枯竭以及电力资源浪费等问题, 国内外研究学者开展了一系列研究。文献[1]通过建设费用和运行费用的计算, 进行电采暖设备应用的经济性分析以及综合电价等经济性因素对比。文献[2-3]采用临界电价法判断高温固体蓄热电锅炉方案最佳, 并利用储能

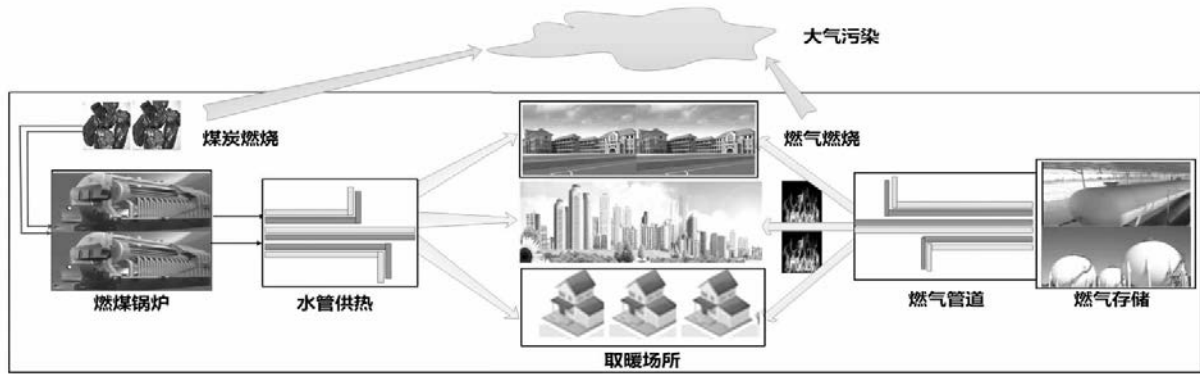


图1 燃煤、燃气供暖

技术达到“峰谷”电价杠杆降低运行成本的效果。文献[4]研究了采用蓄热式电采暖提高电网风电消纳规模的经济性评估问题。文献[5]建立分布式电采暖负荷模型并分析模型参数,从可行性与经济性两方面对该备用方式与现有备用方式进行对比。文献[6-7]研究了蓄热电锅炉使用电作为热源,尤其是在夜间利用廉价的低谷电进行加热蓄热,这种运行方式可对电网的供电起到一定的削峰填谷作用,有利于平衡用电负荷,缓解供电矛盾。对于弃风严重的“三北”地区,可以利用弃风转化为热能,充分发挥了电、热两系统互补的优势,促进了风电的消纳。文献[8]对集中采暖地区住宅建筑几种主要的采暖方式进行了经济性比较,提出了采暖方式的选择原则。

上述研究成果多侧重于单一变量研究,突出变量对电采暖方式的影响,或多变量经济性分析,缺乏“产-效-能”结合研究。同时缺乏对电采暖供电可靠性和城市附加成本的研究,下面以电采暖供电可靠性为基础,以能源二次转换、环保效益为出发点,对电采暖与燃煤、燃气采暖进行对比分析,提出了采用电采暖方式需关注的方面,对电采暖的推广和提升城市清洁化水平提供借鉴意义。

1 传统能源与清洁能源供热对比

1.1 传统能源供热

目前供暖系统主要采用的是燃煤和燃气,依靠相对完善的水暖管道和天然气管道进行供暖,普遍采用集中供暖的方式较多,集中供暖技术较为成熟,使用安全方便,可以全天候供暖,集中供暖主要是以城市热网、区域热网或较大规模的集中供暖为热源

的供暖方式,如图1所示。

传统的供暖方式为燃煤锅炉供暖,即采暖效率取决于锅炉效率,锅炉的效率是指将燃料燃烧后的热能转换给锅炉水使其加热变为蒸汽,或锅炉水吸收的热能占燃料燃烧的热能的百分比,效率公式如式(1)所示。

$$\eta_1 = \frac{c_1}{r_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: η_1 为燃煤锅炉热效率; c_1 为燃煤锅炉输出热量; r_1 为燃煤锅炉输入热量。

能量转换形式为煤炭化石能源转换为热能,现代锅炉的热效率随着锅炉容量增大而上升,这里 η_1 取燃煤锅炉平均热效率 90%。

1.2 清洁能源供热

由于燃煤、燃气会造成环境污染和资源浪费,而电能作为二次能源,具有比煤、燃气等化石能源更方便高效、清洁安全的优势。城市电网既是电力系统的主要负荷中心,也是城市现代化建设的重要基础设施。电能生产过剩、清洁能源消纳难的问题也一直存在,所以依靠现代完备的城市电网体系,应用清洁可靠的电能,具备大规模实行电采暖方案的可行性,电采暖如图2所示。

若采用电加热锅炉,假设全部为火力发电,则先考虑将煤炭转换为电能,再将电能转换为热能,总热效率为

$$\eta_2 = \frac{c_2}{r_2 + q_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中: η_2 为电锅炉热效率; c_2 为电锅炉输出热量; r_2 为电锅炉输入热量; q_2 为火电转换效率,一般为 40%~60%,取 50%。

对比 η_1 和 η_2 热效率,在锅炉输出热量等于输入热量时,显然 $\eta_1 > \eta_2$,即燃煤锅炉热效率大于电

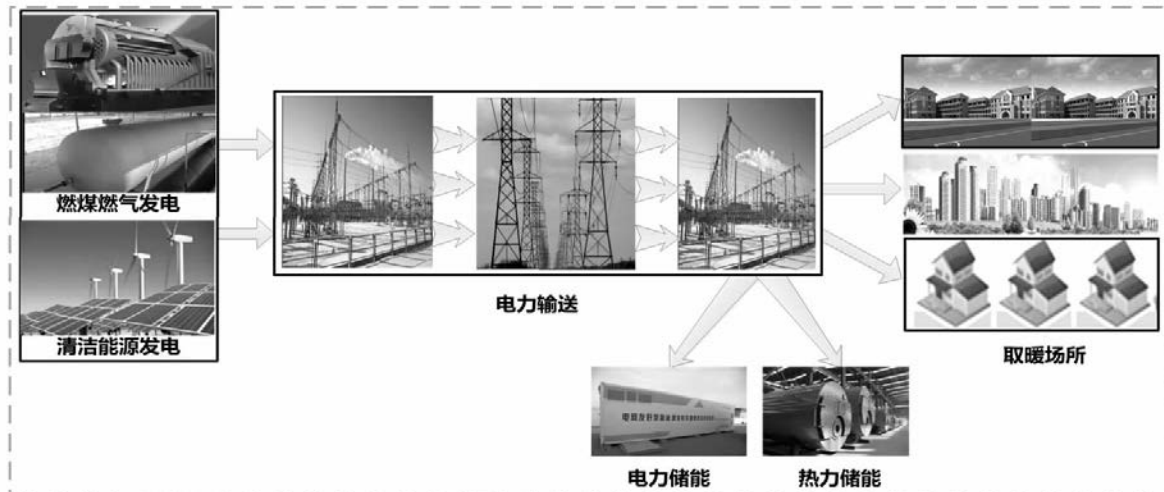


图2 清洁电能供暖

锅炉热效率。若输出热量和输入热量相等,即 $c_1 = c_2, r_1 = r_2, \eta_1$ 为90%时,将式(1)带入式(2)得 η_2 为60%,燃煤锅炉热效率远大于电锅炉热效率。综上所述,无论输入、输出热量是否相等,加上考虑能源转换损耗,即燃煤锅炉热效率总是大于电锅炉热效率。

电能替代政策的实施主要依赖于清洁能源的规模化利用,由于燃煤和燃气供暖的热效率要比转换为电能再进行供暖的效率要高一些,所以供暖成本相对较低,但是造成的环境成本却很高,资源浪费比较严重。而电能作为清洁可靠的二次能源,能够保证供暖可靠性,不会造成环境污染,提高清洁能源的消纳空间,有利于缓解能源、经济和环境间日益突出的矛盾问题。所以,适当采用电能进行供暖,提高电能取暖的比例,是未来取暖的发展趋势。

2 不同电采暖方式对比研究

2.1 电锅炉采暖

电锅炉装置按照其加热原理和使用功能分为直热式锅炉和蓄热式电锅炉。直热式电锅炉^[9]主要由电脑控制系统、压力测试系统、电加热管、进水管和温度检测仪表等组成;蓄热式电锅炉是在电锅炉的基础上,加装蓄热装置,使其通过循环水泵、热交换系统构成蓄热式电锅炉。

蓄热式电锅炉一般在夜间低电价时运行,一方面可以帮助电网起到削峰填谷作用;另一方面有利于提高风电消纳、平衡电网负荷,缓解供电矛盾,如图3所示。

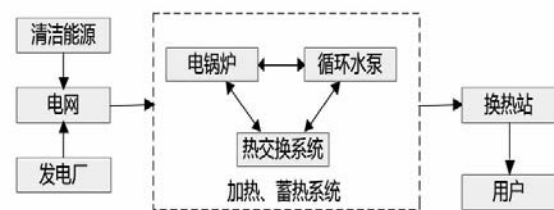


图3 蓄热式电锅炉系统

2.2 直接电采暖技术

目前较为成熟的直接电采暖技术分别为发热电缆和电热膜供暖系统。发热电缆^[10]埋在填充层内,通电后将热能通过热传导(对流)的方式和发出 $8 \sim 13 \mu\text{M}$ 远红外线的辐射方式传给受热体,通过温控器根据室内温度进行自动调整;电热膜供暖系统^[11]采用一种通电后能发热的半透明聚脂薄膜,工作时以电热膜为发热体,将热量以辐射的形式送入空间,通过温控系统对室内温度进行自动调整。

2.3 电热泵

热泵是一种高效节能设备,利用压缩机做功,将低位热能转换为高位热能(吸收低温热源蕴藏的发热,并将其提升到高温热源中),1 kWh 电能产生约3倍热,即热效率为300%,它同时具备冬季采暖和夏季制冷的功能^[12-13]。

根据上述分析,可得热效率关系: $\eta_{\text{热泵}} > \eta_{\text{电膜}} > \eta_{\text{蓄热}} > \eta_{\text{直热}}$ 。具体情况如表1所示。

3 综合分析

3.1 经济成本对比

传统取暖方式为燃煤、燃气直接供暖,省去燃煤

表1 不同电采暖方式对比研究

大类	直热式电锅炉	蓄热式电锅炉	发热电缆	电热膜	电热泵
技术原理	通过电热丝加热水,起到能源转换作用	在直热式电锅炉的原理上,加装蓄热装置	由内芯、绝缘层、屏蔽层和外保护套等组成,通电加热	由可导电的石墨、金属载流条经加工、热压在绝缘聚脂薄膜间制成,通电加热	利用压缩机做功,将低位热能转换为高位热能
技术特点	加热效果明显	可用来调节电网“峰谷”电压	加热时间迅速	属于低温辐射方式采暖	冬季供热、夏季供冷,一机两用
热效率	65%	75%	99%	99%	200%~300%
环境要求	较低	较低	较低	一般	较高
经济性能	经济性一般	经济性较高	经济性较高	经济性较高	经济性一般
其他缺点	从加热到输送至用户端,需要一定时间	一次投入成本较大,回报周期较长	铺设于地下,对于装修后的房子不适用	不适用于温度要求较高的建筑	低温环境下,能效下降,在寒冷地区可靠性差
应用场景	企业、机关、宾馆、学校	企业、机关、宾馆、学校	新建建筑,企业等用热需求间歇性建筑	罐体保温、管道伴热、温室大棚	管委会、工业园、大型酒店

发电的过程,减少能量损失,热效率大于电采暖方式,即 $\eta_{煤} > \eta_{电}$,且热力管网和燃气管道铺设工作已经基本覆盖城市网,与居民取暖或燃气做饭等生活息息相关。但考虑清洁能源并网采用集中蓄热电锅炉方式,直接利用现有相对完备的热力管网即可,无需新增铺设电缆、安装热泵等设备,使得电采暖成本大大降低,关系如图4所示。

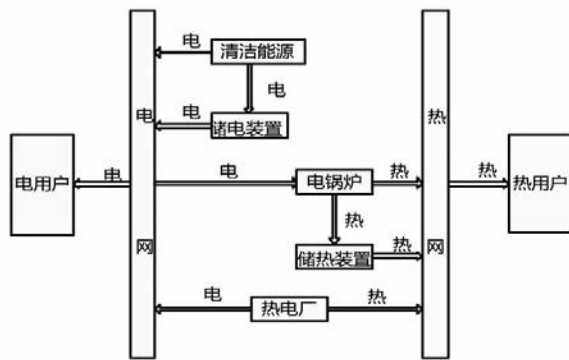


图4 加入清洁能源时电网与热网关系

3.2 清洁能源收益对比

若清洁能源作为冬季取暖主要方式,考虑减少弃光带来的经济效益,则大大填补了因热效率不足而导致取暖比例降低的缺点。在城市负荷低谷时段和弃电时段采用电采暖,有效利用新能源发电,减少弃电比,日负荷如图5所示。

现有数据表明,仅从能源转换角度考虑,燃煤锅炉热效率大于电锅炉热效率,但考虑加入清洁能源消纳弃风、弃光量,可以有效减少能源浪费,降低经济损失。2018年新疆光伏发电量11 660 GWh,风电发电量36 026 GWh,但弃光量1 807.3 GWh,弃风量

8 249.9 GWh,造成巨大经济损失。如若使用电采暖方式,将弃风、弃光电量合理应用到用电终端,可以有效提升清洁能源消纳空间。同时,若改造燃煤锅炉1 204.1 t/h,预计年替代电量6483 GWh,年节约标准煤634.8 kt,年减排二氧化碳1 650.4 kt,年减排二氧化硫5.5 kt,年减排氮氧化物4.4 kt,年减排粉尘3.9 kt^[14]。可以看出,改造燃煤锅炉可有效降低大气污染,节约大量资源。

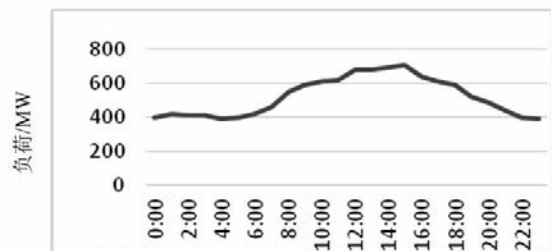


图5 新疆某城市冬季日负荷曲线

4 结 语

通过研究得出电采暖发展可以缓解环境污染,提升新能源消纳空间,综合考虑设备投资、供热效率、供暖时间等因素,得出以下结论:1)宜煤择煤。在热力管网已经建成且改造电采暖成本较高区域,如老旧小区、城市边缘地区等继续采用清洁燃煤方式供暖,但后续应该逐步减少燃煤供热推广电采暖方式。2)宜气择气。在燃气管道铺设完善区域,考虑燃气的便捷性能、经济性以及居民取暖、做饭等生

(下转第73页)

分析[J]. 热处理, 2018, 33(4): 41-47.

[3] 何喜梅, 王志惠, 云峰, 等. 750 kV 导线断裂原因分析及预防措施[J]. 热加工工艺, 2018, 47(4): 257-259.

[4] 王坤, 郑准备, 杨占君, 等. 某220 kV 输电导线断线原因分析[J]. 理化检验(物理分册), 2018, 54(9): 692-697.

[5] 胡加瑞, 刘纯, 欧阳克俭, 等. 500 kV 直流输电线路耐张线夹断裂的原因分析[J]. 电力建设, 2012, 33(7): 82-85.

[6] 利佳, 李志翔. 500 kV 线路压缩型耐张线夹断裂原因分析[J]. 云南电力技术, 2015, 43(S1): 27-28.

[7] 唐凌毅. 一起子导线耐张线夹断裂故障的启示[J]. 现代工业经济和信化, 2019, 9(10): 138-139.

[8] 胡加瑞, 谢亿, 刘纯, 等. 输电线路耐张线夹典型缺陷

探析[J]. 华北电力技术, 2013(4): 34-37.

[9] 邵明星, 武臻, 杨东旭. 220 kV 线路耐张线夹断裂原因分析[J]. 山东电力技术, 2017, 44(6): 77-80.

[10] 陈云翔, 林德源, 洪毅成, 等. 35 kV 架空输电线路钢芯铝绞线内层铝股线的腐蚀失效分析[J]. 腐蚀与防护, 2015, 36(6): 594-598.

[11] 赵测峰, 王若民, 陈国宏, 等. 基于数字射线的耐张线夹压接质量评价试验[J]. 浙江电力, 2018, 37(11): 41-45.

作者简介:

陈家慧(1991), 博士, 工程师, 从事电网设备金属失效分析及新材料研究。

(收稿日期: 2020-02-24)

(上接第20页)

活方式, 可以继续保持燃气供暖方式。3) 宜电择电。在大型商场、学校、公共设施应逐步推广电采暖方式, 加热效果好、速度快, 且清洁环保, 在新建小区可以铺设电缆等电力取暖设备。

未来应进一步提高电采暖的应用面积与比重, 合理推广电采暖方式。一是大力推广经济性相对较好的供暖方式, 在非连续性取暖的学校、政府机关等场所优先推广; 二是推广电锅炉与热电联产机组相结合的灵活性改造模式, 增加热电联产机组的供暖能力和电力系统的调峰能力; 三是创新开展新能源发电供暖新交易模式, 加强新能源发电供暖的机制研究和推广, 探索直接交易的市场化模式, 合理降低取暖输配电价, 鼓励清洁取暖用电量与电力市场直接交易。

参考文献

[1] 袁泽, 于雪皎, 郑小宇, 等. “煤改电”项目综合效益的模糊评判方法[J]. 农村电气化, 2018(2): 18-22.

[2] 苗常海, 白中华, 王雯, 等. 典型蓄热式电采暖项目经济性对比分析[J]. 电力需求侧管理, 2018, 20(6): 36-39.

[3] 曾智勇, 董华佳, 周厚国. 储能在“煤改电”中的应用[J]. 绿色科技, 2019(8): 154-158.

[4] 孙勇, 严干贵, 郑太一, 等. 电力市场背景下蓄热式电采暖消纳弃风的经济性分析[J]. 储能科学与技术, 2016, 5(4): 532-538.

[5] 杨玉龙, 王彤, 赵磊洋, 等. 分布式电采暖负荷群建模及备用优化[J/OL]. 电测与仪表: 1-8 [2019-12-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.TH.20181227.1657.005.html>.

[6] 王锋, 李大勇, 方劲宇, 等. 基于储能协调蓄热式电锅炉消纳风电供暖系统的经济性评估[J]. 电工电能新

技术, 2019(6): 50-56.

[7] 吕泉, 刘永成, 刘乐, 等. 两种风电供热模式的节煤效果比较[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(4): 49-59.

[8] 贺孟春, 刘东, 李斯玮. 集中采暖地区住宅建筑不同采暖方式的经济性比较[J]. 节能技术, 2008, 26(4): 340-346.

[9] 林军. 国家首批火电灵活性改造试点项目吉电股份白城热电机组直热式电锅炉经验介绍——热电解耦, 可再生能源消纳, 清洁供暖一体化灵活性改造[C]. 北京能源与环境学会, 2018 火电灵活性改造及深度调峰技术交流研讨会论文集, 北京能源与环境学会: 北京中能联创信息咨询有限公司, 2018.

[10] 李炎锋, 武海琴, 王贯明, 等. 发热电缆用于路面融雪化冰的实验研究[J]. 北京工业大学学报, 2006, 31(3): 217-222.

[11] 冉东生, 田开明, 王月敏. 低温电热膜的产业化现状[J]. 科技与金融, 2019(9): 94-97.

[12] 范孟华, 王丹, 张家安, 等. 电热泵负荷等值热力学建模及控制策略评估[J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 28(4): 31-37.

[13] 张志英, 吴贤哲, 赵军. 地源热泵及其系统的相关标准与规范的综述与建议[J]. 太阳能, 2015(3): 8-11.

[14] 张增强, 王祺, 许叶林, 等. “煤改电”工程节能减排潜力分析方法研究[J/OL]. 电测与仪表: 1-4 [2019-12-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.TH.20191104.1509.014.html>.

作者简介:

姚锦松(1994), 硕士研究生, 主要研究方向为泛在电力物联网及清洁能源替代;

常喜强(1976), 教授级高工, 主要从事电网运行管理工作;

于冰(1976), 高级工程师, 主要从事电网运行管理工作;

郭小龙(1983), 高级工程师, 主要从事电网运行管理工作;

徐吉智(1991), 硕士研究生, 主要研究方向为新能源储能;

刘博文(1990), 助理工程师, 主要从事电网运行管理工作。

(收稿日期: 2019-12-04)