



# 风电供暖替代传统燃煤供暖的经济性分析

中国电子工程设计院有限公司 ■ 蒋焱

**摘要:** 风电清洁供暖对提高北方风能资源丰富地区的风电消纳能力,促进城镇能源利用清洁化,改善北方地区冬季大气环境质量具有重大意义。该文以某城区集中供暖清洁化改造为例,采用风电供暖替代传统燃煤供暖的方案,计算改造成本,并做了经济性分析。

**关键词:** 风电消纳;清洁供暖;经济性;弃风

## 0 引言

目前,我国风力发电的装机容量和发电量均居全球首位,风电现已成为我国第三大电源,是清洁能源利用的支柱之一。但受电网送出能力已近饱和及风电天生的不稳定性等因素的影响,风电场弃风限电的情况屡有发生。2016年全国风电利用小时数为1712 h,平均弃风率高达17%;2017年弃风限电情况得到好转,全年弃风电量为295.5亿kWh,平均弃风率比上年同比下降6.7%;2018年全国风电弃风电量为277亿kWh,平均弃风率为7%,同比下降5%。为了缓解弃风现状,国家有关部门采取了多项措施,除了加快特高压送出线路建设、促进电网优化调度以保障风电优先上网以外,还启动了北方地区风电供热试点项目,以促进风电消纳,鼓励在风电上网和消纳存在困难的地区的风电企业探索新的送出和消纳方式,发展风电供热等示范项目。

本文以某城区集中供暖清洁化改造为例,采用风电供暖替代传统燃煤供暖的方案,用电锅炉替代燃煤锅炉,这样可以增加该地区的用电负

荷,从而提高风电本地消纳的能力,减轻电网外送压力;尤其是利用储能将夜间电力负荷低谷时段的风电电力用于城镇供热,为风电储能探讨出一条新的道路,并提供一些数据。本文提出两种风电供暖改造配置方案,并进行对比分析,然后选用其中一种方案对其经济性进行简要的分析和估算。

## 1 风电供暖项目的概况和方案

### 1.1 项目改造前燃煤供暖现状

某城区(下文称为“X城区”)主要是由A、B两个热源厂以燃煤集中供暖,以水为介质,通过供暖管线对热量进行传输和传递。

A热源厂现有65 t热水锅炉3台,B热源厂现有80 t热水锅炉2台。锅炉供水温度均为110/65℃。目前X城区铺设主管网33.5 km,建成换热站31座,其中,A热源厂所带换热站为12座,B热源厂所带换热站为19座。

### 1.2 供暖要求

本燃煤锅炉替代方案的供暖面积按239万

收稿日期:2019-04-03

通信作者:蒋焱(1975—),男,研究生、电气工程师,主要从事光伏、风电等新能源方面的研究。jiangyan2@ceedi.cn



$\text{m}^2$  建筑面积进行设计, 建筑供暖热负荷按照  $50 \text{ W}/\text{m}^{2[1]}$  计算, 则建筑总供暖热负荷约为  $119500 \text{ kW}$ 。该地区采暖期为每年的 10 月 20 日~次年的 4 月 20 日, 合计 181 天。

### 1.3 清洁供暖改造方案简述

本项目拟对 X 城区热源厂进行清洁供暖改造, 以电锅炉替代燃煤锅炉进行供热。在原来热源厂场址内进行锅炉替换, 热源厂所带换热站和供暖管网不变。同时, 采用周边地区的风电项目为热源厂提供清洁电能。以下列举了 2 种改造方案, 并进行了分析对比。

#### 1.3.2 方案 1

采用“电锅炉+蓄热装置”模式。利用低谷用电优惠政策, 将低谷时段电能转变成热能, 在兼顾采暖的同时, 将多余热能蓄存, 以备在电网峰值时段改用蓄存热量进行采暖, 实现采暖季对电网用电负荷的移峰填谷。

#### 1.3.1 方案 2

采用“直热式电锅炉+蓄热水箱”模式。利用直热式电锅炉对蓄热水箱中的水加热, 热水进入原有供暖管道和换热站进行供热。电锅炉 24 h 运行, 运行时可根据温度、热量需求和电网用电负荷适当调节功率输出。

#### 1.3.3 方案选择

由于目前蓄热装置的成本较高, 根据市场询价结果, “电锅炉+蓄热装置”模式中电锅炉和蓄热设备的投资要比“直热式电锅炉+蓄热水箱”模式中电锅炉和蓄热水箱的投资高出 1 倍。经过投资对比和运行期经济性分析, 方案 1 的投资和折旧后的运营费用均高于方案 2。故本项目在满足项目功能和目标要求的前提下, 选用方案 2。下文的改造方式和计算均以方案 2 为基础。

## 2 风电供暖系统方案的主要设备

该方案中, 热源厂的设备主要包括直热式电锅炉、蓄热水箱、换热系统、变配电系统。1 个

热源厂的供暖建筑面积为  $120 \text{ 万 m}^2$ , 则 X 城区的总供暖建筑面积为  $240 \text{ 万 m}^2$ 。

1) 电锅炉及电锅炉房。本项目共配备 10 台  $15 \text{ MW}$  直热式电锅炉, A、B 热源厂各有 5 台, 其中每个热源厂各留 1 台备用, 即共有 8 台直热式电锅炉在运行。2 个电锅炉房的占地面积各为  $4620 \text{ m}^2$ , 远小于燃煤锅炉房占地面积, 因此 A、B 热源厂的原有土地可满足要求。

2) 蓄热水箱。本项目共配置  $400 \text{ t}$  蓄热水箱 10 台, A、B 热源厂各 5 台。

3) 换热系统。利用换热站原有设备, 将电锅炉系统与蓄热系统接入换热站一次性管网入口。

4) 变配电系统。目前燃煤供暖热源站的变配电系统容量较小, 无法满足电锅炉用电需求, 需要新建 2 座  $110 \text{ kV}$  变电站, A、B 热源厂各 1 座, 为电锅炉热源站供电。每座变电站的变电容量为  $80 \text{ MVA}$ , 采用 2 台主变, 其中 1 台容量为  $50 \text{ MVA}$ , 另 1 台容量为  $30 \text{ MVA}$ 。

## 3 投资费用及运行经济性测算

### 3.1 项目改造投资估算

该项目改造费用主要包含两部分: 一部分为热源厂电锅炉的设备费、安装费、调试费、厂房建设费及其他费用<sup>[2]</sup>; 另一部分为新建变电站的设备费、安装费、调试费、建筑费及其他费用。

A 热源厂电锅炉系统的一次性投资费用为  $3860$  万元, 其变电站的一次性投资费用为  $1240.48$  万元。B 热源厂因和 A 热源厂配置一样, 所以投资费用与 A 热源厂相同。

### 3.2 运行期成本测算

采用电锅炉供暖后, 对于供暖企业来说, 运行期成本主要包含生产用电、供暖用水、人工费、设备折旧费、修理费和管理费。

1) 生产用电作为电供暖主要的能量来源, 是电供暖企业最主要的生产成本, 这部分成本替代



了原来燃煤供暖的购煤、运煤和储煤成本<sup>[3]</sup>。

2) 采用电供暖后的供暖用水与燃煤供暖所用水量几乎未改变。3) 由于电供暖运行维护方便, 所需运维人员少, 所产生的人工费和管理费相比燃煤供暖大幅减少; 同理, 修理费也大幅减少。

4) 电供暖的设备折旧费主要是电锅炉的运行折旧成本。改造前后运行期成本对比如表 1 所示。

表 1 改造前后运行成本构成对比

对比内容	改造前(燃煤供暖)	改造后(清洁供暖)
燃煤	主要能量来源	不需要
生产用电	辅助设施用电	电锅炉用电 + 辅助设施用电
设备折旧	按燃煤锅炉设备折旧	按电锅炉设备折旧
供暖用水	主要传热媒介	主要传热媒介
运维人员	较多	较少
维修难易程度及费用	维修复杂、停机损失大	维修简单、可分批检修
管理费用	较高	较低

按照 8 台 15 MW 直热式电锅炉运行 181 天, 每天运行 24 h, 平均满负荷运行 17.3 h 计算, 则改造后, 风电供暖电锅炉的用电量为  $15000 \times 8 \times 17.3 \times 181 \approx 3.76$  亿 kWh。

表 2 电锅炉供暖期费用估算表

生产成本		数值
电	电锅炉用电 / 亿 kWh	3.76
	辅助设施用电 / 万 kWh	352
水	金额 / 万元	33.21
	数量 / 万 t	6.64
人工费 / 万元		100
折旧费 / 万元		475
修理费 / 万元		9
生产成本(不含电费) / 万元		617.21
管理费用		数值
折旧费 / 万元		12.71
办公、差旅、社会保障等其他 / 万元		144.31
合计 / 万元		157.02

### 3.3 运行经济性分析

根据当地供暖收费政策和用户统计, 本项目

中, 1 个供暖期内供热企业供暖费收入约为 6879 万元, 平均单位建筑面积热价约为 28.78 元 /  $\text{m}^2$ ; 生产用电外的生产成本约为 617 万元。假设改造后, 供暖企业不提高供暖费, 则 1 个供暖期内, 供暖企业生产用电 = 电锅炉用电 + 辅助设施用电 = 37927.5 万 kWh, 平衡电价 =  $(6879 \text{ 万} - 617 \text{ 万}) / 37927.5 \text{ 万} = 0.16$  元 / kWh。即供热企业的用电电价在 0.16 元 / kWh 以下, 其才能保证收支平衡。

## 4 效益分析

### 4.1 环境效益分析

本项目采用风电供暖, 实质性地替代了煤炭, 较大幅度地减少了污染物排放, 减少了大气污染, 具有明显的节能减排效应。本项目污染物减排效果具体如表 3 所示。

表 3 本项目污染物减排效果

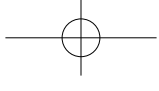
参数	数值
节省标准煤 / t	81197.88
减排 $\text{CO}_2$ / 万 t	21.11
减排 $\text{SO}_2$ / t	162.39
减排 $\text{NO}_x$ / t	81.19
减排烟尘 / t	24.36

### 4.2 综合效益分析

该地区现有弃风电量达到 16 亿 kWh, 经改造后, 1 个供暖期内生产用电量达 3.8 亿 kWh, 约减少该地区 24% 的弃风电量; 同时也说明, 该地区的弃风电量完全可以支撑本项目的运行, 实现供暖清洁化。

通过清洁供暖改造, 参与供暖的风电场每个供暖期可以利用弃风多发 3.8 亿 kWh 的电量, 该部分电量通过签定用电电价和原有的风电补贴政策, 相比弃风时段的零收入, 风电场可获得额外的发电收益。

通过清洁供暖特殊电价政策, 供暖企业收益不下降, 且有了稳定、清洁的能量来源; 居民供暖费用不增加, 且不影响供暖效果; 在风



电资源丰富、风电场众多的地区,采用电锅炉集中供热方式,具有得天独厚的地域优势。因此,该项目改造方案具有良好的经济效益、社会效益和环境效益。

## 5 结论与建议

本文对风电供暖替代传统燃煤供暖的案例进行了经济性分析,得出以下结论,并提出了一些建议:

1) 若采用“直热式电锅炉+蓄热水箱”模式,供热企业用电电价在 0.16 元/kWh 以下,供热企业才能实现收支平衡。

2) 采用风电供暖后,1 个供暖期内生产用电达 3.8 亿 kWh,约减少了该地区 24% 的弃风电量。

3) 采用风电供暖既可增加当地用电负荷,提高风电本地消纳能力,减轻电网外送压力,从而提高该地区风电占能源消耗的比例,实质性地替代了煤炭,改善能源供给结构,减少污

染气体排放;又可增加风电场的发电收入,提高其运营经济性,具有良好经济效益、环境效益和社会效益。

4) 利用风电替代煤炭供热,除了技术上可行外,在经济上也必须具备可替代性,关键是合理的电价定价方式,供热企业可承受的电价应不高于燃煤供热的电价。因此,目前对于风电供热电价需要给予政策保证。

5) 风电供热项目实施的前提是必须保证风电场风电机组的利用小时数。也就是说,风电场在限电基础上年多发电量必须大于或等于供热站年消耗的电量,即最大限度利用弃风电量。因此,需要出台风电供热项目全额上网的保障机制。

## 参考文献

- [1] 郝学兵.采暖室内、外计算温度对能源消耗的影响[J].商情(教育经济研究),2008,(7):20-21.
- [2] 张怡江,王圣,刘龙河.多种能源供暖的经济性分析[J].工业技术经济,2002,21(3):87-89.
- [3] 王力力.燃煤锅炉替代方案及各种燃料供暖成本分析[J].能源与节能,2017,(1):70-71. **太阳能**

(接第 45 页)

并利用聚氨酯发泡材料进行粘接,实现了薄膜光伏组件的机械支撑和该类组件之间的有效互连,同时保证了整个 BIPV 光伏彩钢板的机械性能和热工性能。经过组件电性能测试、绝缘耐压测试及湿漏电测试等可靠性测试,该 BIPV 光伏彩钢板单位面积输出功率 $\geq 65$  W,绝缘耐压性好,湿漏电测试(含 EVA 封装胶膜)电阻 $>51$  M $\Omega$ ,粘结强度 $\geq 0.09$  MPa,燃烧性能达到 B2 级,耐火等级为二级,基本满足国家建筑标准的要求。这种新型的 BIPV 光伏彩钢板将成为一种兼具发电功能的时尚、绿色、低碳的建筑材料,满足高端钢结构绿色建筑的需要。

## 参考文献

- [1] 徐峰,张雪芹,华七三.建筑保温隔热材料与应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [2] 黄耀德,李丽玲,潘耀徽,等.自然光结合绿色建筑之研究[A].海峡两岸第十一届照明科技与营销研讨会专题报告文集[C].

宁波,2004.

- [3] 孙颖.太阳能光伏建筑一体化及其应用研究[J].建筑节能,2009,(12):48-50.
- [4] 陈维,沈辉,褚玉芬,等.太阳能光伏建筑一体化的现状与展望[J].新材料产业,2007,(7):36-39.
- [5] 南京汉能薄膜太阳能有限公司.光伏彩钢板及其光伏彩钢板单元[P].中国:ZL201410016980.4,2016-03-30.
- [6] 南京汉能薄膜太阳能有限公司.光伏彩钢板以及采用该光伏彩钢板的光伏建筑墙面[P].中国:ZL201410082904.3,2016-08-17.
- [7] 蔡凤钧,蔡媛媛,程亚兴.中国土建式单面彩钢板组装冷库的多元化设计[A].中国制冷学会 2009 年学术年会论文集[C].天津,2009.
- [8] 吕奇勇,陈伟冬.大型彩钢板屋面渗漏原因分析及维修[J].中国建筑防水,2011,(11):15-17.
- [9] IEC 61215-2016, Terrestrial Photovoltaic(PV) Modules Design Qualification and Type Approval[S].
- [10] GB/T 23932-2009,建筑用金属面绝热夹芯板[S].
- [11] GB 8624-2006,建筑材料及制品燃烧性能分级[S].
- [12] GB/T 20047.1-2006,光伏(PV)组件安全鉴定[S]. **太阳能**