



移动扫码阅读

曾鑫.新型复合保温技术在工业园区集中供热改造项目中的应用[J].能源环境保护,2022,36(4):80-85.
ZENG Xin. Application of new composite insulation technology in the project of central heating transformation in the industrial park[J]. Energy Environmental Protection, 2022, 36(4): 80-85.

新型复合保温技术在工业园区集中供热改造项目中的应用

曾鑫

(中煤科工清洁能源股份有限公司, 北京 100013)

摘要:为了提高蒸汽输送效率并降低管网损失,以工业园区集中供热蒸汽管道为研究对象,采用新型复合保温技术对1 438 m的DN 250架空管道和403 m的DN 150架空管道进行改造,通过现场测试和理论分析方法分析了实施效果。结果表明:经过保温改造后, DN 250和DN 150蒸汽管道表面的温度差(平均温度与环境温度差值)分别下降了10.8℃和8.3℃; DN 250蒸汽管道散热损失由177.9 W/m²降低至52.3 W/m², DN 150的蒸汽管道散热损失由131.4 W/m²降低至34.9 W/m²。

关键词:集中供热;蒸汽管道;保温改造;保温技术

中图分类号:X382

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2022)04-0080-06

Application of new composite insulation technology in the project of central heating transformation in the industrial park

ZENG Xin

(China Coal Technology & Engineering Clean Energy Co., Ltd., Beijing 100013, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of steam transmission and reduce the loss of pipe network, the overhead pipelines of 1 438 m DN 250 and 403 m DN 150 in the industrial park were reconstructed by a new composite insulation technology. The implementation effect was analyzed through field test and theoretical analysis. The results show that the temperature differences between the ambient temperature and the average temperature of the surface of DN 250 and DN 150 steam pipelines decrease by 10.8℃ and 8.3℃ respectively after thermal insulation reconstruction. The heat loss of DN 250 steam pipe is reduced from 177.9 W/m² to 52.3 W/m², and that of DN 150 steam pipe is reduced from 131.4 W/m² to 34.9 W/m².

Key Words: Central heating; Steam pipeline; Thermal insulation transformation; Insulation technology

0 引言

造纸、印染、食品和石油化工等行业需要大量的蒸汽来满足工艺生产的需求。集中供热作为一种高效、节能的能源利用方式具有节能减排双重优势,在国内外应用广泛^[1-3]。以蒸汽为输送介质的集中供热已呈现大型化发展趋势,其输送半径

已经由常规的8~10 km增加至50 km,甚至更远。良好的蒸汽管道保温性能是确保蒸汽实现长距离输送的核心技术之一。目前,集中供热管网的散热损失仍占输入总热量的8%~15%左右^[4],也有文献报道输送过程中的散热损失可达25%以上^[5]。

做好蒸汽管道保温工作,是控制蒸汽长距离

收稿日期:2022-05-16;责任编辑:蒋雯婷

基金项目:中煤科工清洁能源股份有限公司科技创新创业资金项目(CE-KY-CX-2021-04、CE-KY-CX-2021-09)

作者简介:曾鑫(1987—),男,湖南衡阳人,助理研究员,主要从事煤炭清洁高效利用和集中供热研究。E-mail: zengxin@ cctgece.com

输送温降性能指标的先决条件,同时也是落实行业节能降碳目标的现实需求。若管道保温不利,会造成大量散热损失,因此,研究管道保温对于节能具有重要意义^[6]。钟升楷^[7]等通过实地测量和数值模拟,对蒸汽管道保温性能进行了研究,探究了蒸汽管道保温性能恶化的影响机制,其研究结果显示:保温材料的导热系数、镂空结构和偏心对保温性能恶化所占比重依次为 67.7%、18.5% 和 13.8%。刘承婷^[8]采用表面温度法和热流法相结合的方式,对保温管线进行测试,发现保温材料选择不当、保温结构设计不合理和保温异形件裸露是导致蒸汽管道散热量高的主要原因。工业案例表明,新建的蒸汽管道经过多年运行后,因设计、施工质量、保温选材或管网运营存在不足,加之保温材料受到热膨胀、变形、雨水和老化等不利因素影响,导致保温性能下降,进而出现蒸汽管道散热量增加,甚至超过国家和行业规范要求的下限值。过高的蒸汽管道散热量不但造成能源浪费,增加运行成本,而且不符合国家节能降碳政策需求^[9]。

工业节能对于推动国家清洁低碳的能源消费方式至关重要^[10]。开发绿色新能源的同时,还需做好节能减排,尤其在蒸汽管道领域存在巨大的节能潜力^[11]。我国蒸汽管道系统的能源效率一般在 30%~40% 之间,比西方国家低约 20%,节能降碳工作任重道远,如果采取有效措施开展节能改造,有望实现节能 30%^[12]。王铁民^[13]等对某钢铁公司所属蒸汽管道散热损失进行调研,其散热损失为 $1\,044.1\text{ W/m}^2$,远高于国家的标准允许值 186 W/m^2 ,经保温改造后,蒸汽管道表面温度由 $112\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下降至 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$,管道起点和终点的温差由 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降至 $17\text{ }^{\circ}\text{C}$,节能效果良好。工程实践表明,如果热力设备及管道采取合理的保温隔热措施,

其散热损失可减少 80%~90%^[14]。

本研究针对某工业园区集中供热蒸汽管网存在的管网损失高、散热量大的问题,进行了问题剖析并提出了改造技术方案,在此基础上依据国家行业规范开展改造前后效果测试工作,并进一步分析其节能减排情况,以期促进行业蒸汽管道节能降碳工作的开展,为国内类似蒸汽管道技术改造提供参考和借鉴。

1 某蒸汽管网项目概况

某工业园区集中供热项目建成于 2016 年,工业蒸汽主管道长度近 7 km,管径包括 DN 350、DN 250、DN 200 和 DN 150 等,上网蒸汽参数压力约 1.35 MPa,温度约 $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。该项目因保温性能下降或无法达到设计指标,导致蒸汽管网散热量大,增加输送能耗,具体表现为蒸汽管网损失(输送蒸汽量同销售蒸汽量差值)偏大。经现场实地踏勘,发现主要存在如下几个问题:(1)保温设计存在不足,全部采用单一形式的管壳结构,以降低热传导方式散热理念为主,设计上未考虑进一步降低保温热辐射和热对流损失措施;(2)管壳之间在环向接触区域存在较大缝隙,形成“热桥”效应,较高温蒸汽管道从缝隙向外直接散热;(3)保温出现较为严重的偏心下沉现象,即蒸汽管道顶部区域的保温厚度明显低于其他区域,蒸汽管道保温层在自身重力、管道振动和受潮等因素影响下会偏心沉降,使保温层与管道外壁之间形成月牙形镂空的空气夹层,蒸汽管道保温结构偏心下沉示意图和现场实物图见图 1;(4)蒸汽管网金属保护层被踩踏变形,部分金属层搭接部位拉开,加之保温设计没有防潮防水措施,造成雨水从金属层拉开处进入保温材料内部,导致局部保温材料失效,部分现场保温情况如图 2 所示。

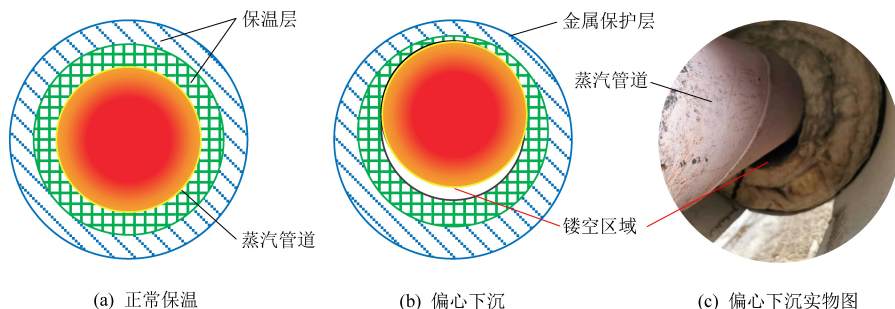


图 1 蒸汽管道保温结构偏心下沉示意图和现场照片

Fig.1 Schematic diagram and scene photographs of eccentric sinking of steam pipeline insulation structure

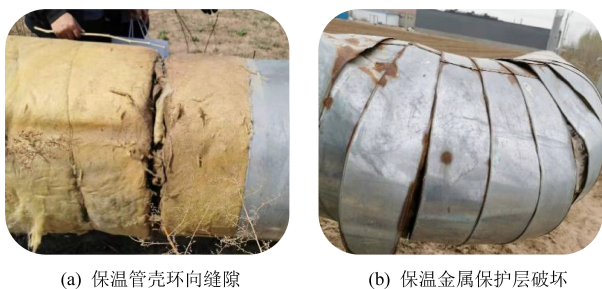


图 2 现场管道保温状况

Fig.2 Thermal insulation condition of on-site pipelines

对已运行的蒸汽管道散热损失进行现场测试可以定量分析蒸汽管道的能效运行水平,为蒸汽管道保温改造必要性和实施方案提供数据支撑。表面温度法常用于城镇供热保温管网系统散热损失,其散热量按式(1)计算:

$$Q = \alpha \times (T_w - T_F) \quad (1)$$

式(1)中: Q 为管道散热量, W/m^2 ; α 为综合换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; T_w 为保温管道外表面温度, K ; T_F 为环境温度, K 。

保温管道外表面与周围空气的换热系数按式(2)计算^[16],该公式计算的换热系数为综合换热系数,已考虑蒸汽保温管道外层与环境的对流换热和辐射换热。

$$\alpha = 1.163 \times (10 + 6\sqrt{\omega}) \quad (2)$$

式(2)中, ω 为风速, m/s 。

为评估管网散热情况,按照《城镇供热保温管网系统散热损失现场检测方法》(GB/T 38588—2020),在无风和光照的条件下,对蒸汽管网的散热损失情况进行测量,蒸汽管道每一个测试截面的测点分布如图 3 所示。

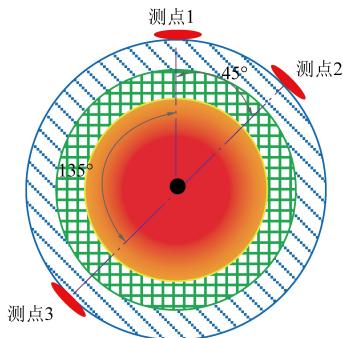


图 3 蒸汽管道的测点分布

Fig.3 Distribution of measuring points on the steam pipeline

管径规格为 DN 250 和 DN 150 的部分测试数据结果分别如表 1 和表 2 所示,其中温度差为 3 个测点的平均温度与环境温度之间的差值。

表 1 DN 250 蒸汽管道保温测试结果

Table 1 Insulation test results of DN 250 steam pipeline
℃

项目	测点 1	测点 2	测点 3	环境温度	温度差
截面 1	35.3	36.1	26.9	19.3	13.5
截面 2	35.0	33.9	27.6	19.8	12.4
截面 3	39.3	34.0	31.0	21.6	13.2
截面 4	46.4	44.3	31.1	21.9	18.7
截面 5	49.0	41.6	35.2	21.5	20.4
截面 6	39.2	37.1	33.4	20.0	16.5
截面 7	35.7	35.2	27.3	20.0	12.7
截面 8	39.2	38.2	26.6	20.1	14.6
截面 9	40.7	36.3	31.2	20.3	15.8
平均值	40.0	37.4	30.0	20.5	15.3

表 2 DN 150 蒸汽管道保温测试结果

Table 2 Insulation test results of DN 150 steam pipeline
℃

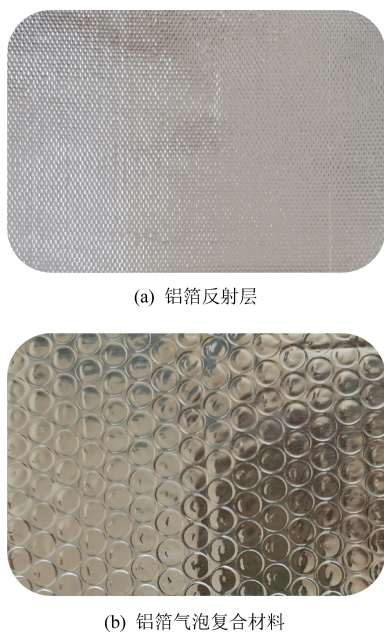
项目	测点 1	测点 2	测点 3	环境温度	温度差
截面 1	31.9	30.4	22.9	15.8	12.6
截面 2	27.4	27.3	21.8	14.3	11.2
截面 3	24.7	23.5	23.6	13.9	10.0
截面 4	24.1	24.4	21.7	13.9	9.5
截面 5	33.0	26.0	25.9	14.9	13.4
平均值	28.2	26.3	23.2	14.6	11.3

从表 1 和表 2 数据可以看出, DN 250 和 DN 150 的蒸汽管道表面平均温度较环境温度分别高出 15.3 ℃ 和 11.3 ℃。根据公式(1)和(2)可以计算出, DN 250 和 DN 150 管道的散热量分别为 177.9 W/m^2 和 131.4 W/m^2 , 其中 DN 250 的散热量已经超过常年运行工况最大允许散热损失值 138.6 W/m^2 , DN 150 的散热量平均值虽然略低于最大允许散热损失值,但截面 1 和截面 5 的散热量(146.5 W/m^2 和 155.8 W/m^2)已超标。鉴于此,有必要对 DN 250 和 DN 150 蒸汽管道进行保温改造,以实现节能降碳目的。

2 改造方案

目前新型复合保温技术主要有两类,其一是应用新型保温材料,例如纳米气凝胶、铝箔反射类材料、保温涂料和 UPVC 等;其二是采用复合保温结构,包括内层采用抗压强度高的硬质保温材料硅酸钙瓦块,而外层采用保温性能更佳的软质保温材料或聚氨酯。此外,为解决保温管道顶部散

热高问题,通常在管道顶部区域增设一层保温层。该项目原保温设计方案采用单一离心玻璃棉管壳和镀锌铁皮。近年来随着保温设计理念的进步和新材料应用,管道绝热保温技术已取得了较大发展,铝箔反射层和铝箔气泡复合材料的使用可以降低蒸汽保温管道散热损失,已逐渐应用于管道保温^[16]。王伟伟^[17]指出利用铝箔的发射特性可以减少辐射换热。王士永^[18]等研究成果表明,敷设铝箔反射层可以使散热量减少约 5%。吴然^[19]等研究了铝箔反射层对保温性能的影响,其研究结果表明,温度为 200 ℃ 时, DN 200 的管道敷设 3 层铝箔反射层后,其散热损失降低了 17.5%。图 4 为铝箔反射层和铝箔气泡复合材料的实物照片。



(a) 铝箔反射层

(b) 铝箔气泡复合材料

图 4 铝箔反射层和铝箔气泡复合材料

Fig.4 Aluminum foil reflector and aluminum foil/bubble composite

铝箔反射层一般由铝箔和玻纤布通过粘结剂复合而成,也叫铝箔玻纤布。由于铝箔对电磁波具有较强的反射效果,因此将铝箔反射层敷设于保温层之间,利用辐射传热学中的反射热量原理,能减少辐射换热,其热量传递方式见图 5。铝箔气泡复合材料是一种新型蒸汽管道保温复合材料,由中间聚的乙烯气泡膜复合上下两层铝箔反射层而成。铝箔气泡复合材料的导热系数达 0.034 3 W/(m·K),不但具有良好的隔热保温性能,而且防水防潮,逐渐应用于市政、电力和石化等领域^[17],图 6 为铝箔气泡复合材料的热量传递方式示意图。

现有保温虽然存在性能不达标的情况,但尚

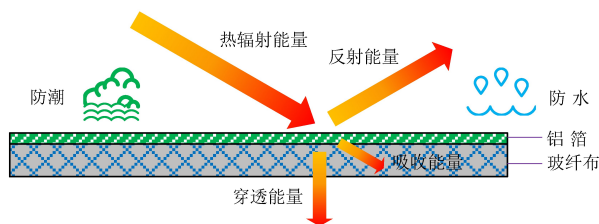


图 5 铝箔反射层的热量传递方式

Fig.5 Heat transfer mode of aluminum foil reflector

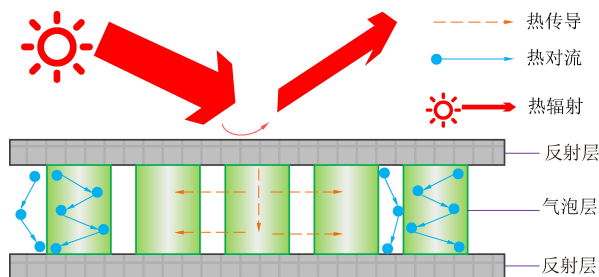


图 6 铝箔气泡复合材料的热量传递方式

Fig.6 Heat transfer mode of aluminum foil/bubble composite

处于使用寿命期限内。加之蒸汽管道处于连续运行阶段,如果在运行期间拆除全部原有保温管壳后再保温,改造过程中不但会急剧增加散热损失,而且会增加保温改造投资。因此,综合考虑保温现状、散热损失和投资等因素,拟采用在原有保温管壳的基础上增加敷设保温材料的改造方案。具体改造方案如图 7 所示,拆除现有保温镀锌铁皮,采用高温离心玻璃棉填充原保温管壳之间的缝隙,敷设耐中温铝箔玻纤布(耐温 250 ℃),之后新增一层 40 mm 厚高温离心玻璃棉毡,再敷设耐低温铝箔玻纤布(耐温 150 ℃),然后在管道顶部 120° 区域加设一层 40 mm 厚高温离心玻璃棉毡,再沿保温管道圆周方向敷设铝箔气泡复合材料,最后再安装高耐候彩钢板(该材料主要起到保护保温材料和美观的作用,图 7 中未标识)做外护结构。

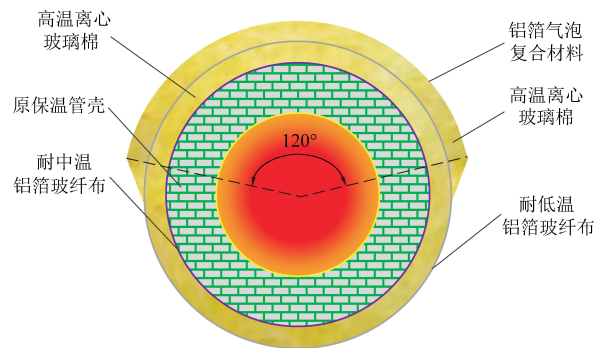


图 7 改造后的保温结构

Fig.7 Insulation structure after transformation

为确保改造实施效果,需要严格甄选改造所用的保温材料,其中高温离心玻璃棉容重 48 kg/m^3 ,纤维直径 $\leq 7\text{ }\mu\text{m}$,憎水率 $\geq 98\%$,铝箔玻纤布的铝箔厚度 $\geq 7\text{ }\mu\text{m}$,耐中温铝箔玻纤布重

量 $\geq 170\text{ g/m}^2$,耐低温铝箔玻纤布重量 $\geq 140\text{ g/m}^2$,铝箔气泡复合材料重量 $\geq 250\text{ g/m}^2$,彩钢板基材厚度 $\geq 0.42\text{ mm}$ 。改造前后保温结构对比如表 3 所示。

表 3 改造前后保温结构对比

Table 3 Comparison of insulation structure before and after transformation			
序号	项目	改造前	改造后
1	保温结构	单一管壳结构	非圆形复合结构
2	保温厚度	DN 250;140 mm	DN 250;180 mm
		DN 150;120 mm	DN 150;160 mm
3	外圆周长	DN 250;1.74 m	DN 250;2.16 m
		DN 150;1.25 m	DN 150;1.79 m
4	保温内容	普通离心玻璃棉管壳+镀锌铁皮	普通离心玻璃棉管壳+耐中温铝箔玻纤布+高温离心玻璃棉+耐低温铝箔玻纤布+120°局部加强保温层+铝箔气泡复合材料+彩钢板

3 改造效果

此次改造范围涉及 DN 250 架空管道长度合计 1 438 m, DN 150 架空管道长度合计 403 m。改造后按照测试规范要求,在无风和光照的条件下,分别对保温改造后的 DN 250 和 DN 150 蒸汽管网表面温度进行了测量,测试数据结果分别如表 4 和表 5 所示。

表 4 改造后 DN 250 蒸汽管道保温测试结果

Table 4 Insulation test results of DN 250 steam pipeline after transformation					
项目	测点 1	测点 2	测点 3	环境温度	温度差
截面 1	37.0	36.0	36.3	33.6	2.8
截面 2	38.4	36.4	38.7	32.8	5.0
截面 3	36.9	36.3	36.0	31.8	4.6
截面 4	36.6	36.8	35.9	32.2	4.2
截面 5	35.8	36.1	36.3	31.0	5.1
截面 6	31.6	30.4	31.8	27.4	3.9
截面 7	32.6	31.3	32.5	28.0	4.1
截面 8	32.9	31.2	33.5	27.5	5.0
截面 9	34.6	34.0	33.3	28.0	6.0
平均值	35.2	34.3	34.9	30.3	4.5

表 4 和表 5 数据显示,通过对原蒸汽管道进行保温改造后, DN 250 和 DN 150 蒸汽管道表面平均温度和环境温度的温度差分别为 4.5℃和 3.0℃。对比表 1 和表 2 数据,可以看出 DN 250 和 DN 150 蒸汽管道经改造后,温差值较改造前分别下降了 10.8℃和 8.3℃。按照公式(1)和(2)

表 5 改造后 DN 150 蒸汽管道保温测试结果

Table 5 Insulation test results of DN 150 steam pipeline after transformation					
项目	测点 1	测点 2	测点 3	环境温度	温度差
截面 1	34.0	33.8	33.6	31.0	2.8
截面 2	33.4	33.6	34.2	30.7	3.0
截面 3	33.2	34.5	33.6	31.3	2.5
截面 4	34.2	34.4	33.4	31.4	2.6
截面 5	36.7	36.8	35.2	32.1	4.1
平均值	34.3	34.6	34.0	31.3	3.0

计算 DN 250 和 DN 150 蒸汽管道改造前后的散热量,如图 8 所示。

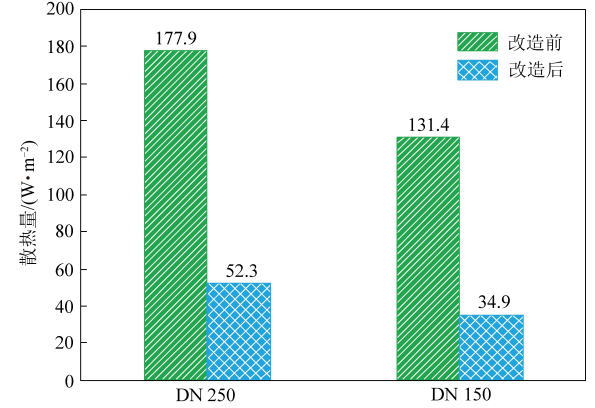


图 8 改造前后的散热量对比

Fig.8 Comparison of heat dissipation before and after transformation

由图 8 可知,改造后 DN 250 的蒸汽管道散热损失由 177.9 W/m² 降低至 52.3 W/m², DN 150 的蒸汽管道散热损失由 131.4 W/m² 降低至 34.9 W/m²。根

据改造前后的保温管道周长、保温管道长度和散热损失,并按照项目年运行 8 000 h 计算,本项目可节约能源 9 310.7 GJ,折合标准煤 317.8 t。按照每燃烧 1 t 标准煤,排放 CO_2 2.769 t 测算^[20],每年可减少

CO_2 约 880 t。通过对该园区工业蒸汽管道保温提升改造后,经现场测量和理论测算,可取得较好的节能和减排效果,契合国家节能降碳的能源政策。改造后的蒸汽管道“积雪不化”的效果图见图 9。



图 9 保温改造后的蒸汽管道

Fig.9 Steam pipelines after thermal insulation transformation

4 结论与展望

针对某工业园区集中供热蒸汽管道散热量大,导致管网损失偏大问题,详细分析了其原因。在此基础上,分别对长度为 1 438 m 的 DN 250 架空管道和 403 m 的 DN 150 架空管道进行保温改造,通过现场测试和理论测算获得主要结论如下:

(1)在不拆除蒸汽管道原有保温材料的前提下,采用铝箔玻纤布、高温离心玻璃棉和铝箔气泡复合材料的非圆形复合结构保温技术,可以降低保温蒸汽管道外表面温度,以实现降低散热损失目的。

(2)保温改造后, DN 250 和 DN 150 蒸汽管道表面平均温度和环境温度的温度差分别为 4.5 °C 和 3.0 °C,较保温改造前分别下降了 10.8 °C 和 8.3 °C。

(3)保温改造后, DN 250 的蒸汽管道散热损失由 177.9 W/m² 降低至 52.3 W/m², DN 150 的蒸汽管道散热损失由 131.4 W/m² 降低至 34.9 W/m²。经过理论测算,经过保温改造可节约能源 9 310.7 GJ,折合标准煤 317.8 t,具有较好的节能减排效果。

参考文献

- [1] 曾鑫. 蒸汽管网散热损失计算及其影响因素分析 [J]. 环境保护, 2021, 35 (4): 80-84.
- [2] 杨允. 我国小型热电联产政策解读与发展方向分析 [J]. 煤质技术, 2020, 35 (1): 1-5.
- [3] 董智. 燃煤与燃气热源技术在热电联产项目中比选应用 [J]. 煤质技术, 2020, 35 (4): 58-64.

- [4] 岳师华, 李苏浣, 温成. 基于变导热系数的蒸汽长距离输送模拟 [J]. 节能技术, 2019, 37 (6): 525-529.
- [5] 刘运雷. 蒸汽管网散热损失计算分析与负荷预测研究 [D]. 天津: 天津大学, 2009: 2-3.
- [6] 曾鑫. 集中供热长距离蒸汽管道压降和温降计算分析 [J]. 煤质技术, 2021, 36 (3): 64-68.
- [7] 钟升楷, 顾景磊, 贺泽平, 等. 热力蒸汽管道保温性能恶化的影响机制研究 [J]. 能源工程, 2020 (1): 78-83.
- [8] 刘承婷. 蒸汽管道保温材料与保温结构优化研究 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2013: 26-29.
- [9] 刘韩斐. 长输供热蒸汽管网保温性能优化研究 [D]. 扬州: 扬州大学, 2021: 1-7.
- [10] 杨裕生. 科技创新助推“双碳”达标 [N]. 中国科学报, 2021-04-19 (3).
- [11] 管胜男, 陈照峰, 马昊, 等. 铝箔气泡复合材料的制备及隔热性能研究 [J]. 南京航空航天大学学报, 2018, 50 (1): 53-60.
- [12] 杨林. 某炼化企业蒸汽管网优化运行分析 [J]. 化工进展, 2012, 31 (S1): 459-461.
- [13] 王铁民, 张庭钰. 钢铁公司蒸汽管道保温情况的探讨 [J]. 山西冶金, 2020, 43 (4): 124-125+134.
- [14] 谷丽, 李晓华. 热力管道保温是节能的重要措施 [J]. 煤炭技术, 2002 (8): 77.
- [15] 《动力管道设计手册》编写组. 动力管道设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006: 638-643.
- [16] 曾鑫. 集中供热蒸汽热网设计现状分析及发展趋势综述 [J]. 煤质技术, 2021, 36 (4): 16-23.
- [17] 王伟伟. 铝箔气泡复合材料的隔热性能研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2018: 9-10.
- [18] 王士永, 吴建青. 长距离供汽管道保温优化的研究及应用 [J]. 炼油设计, 2002 (12): 29-33.
- [19] 吴然, 张由素, 沈建锋. 管道多层反射结构保温性能影响因素分析 [J]. 管道技术与设备, 2022 (2): 24-27.
- [20] 黄静, 汪毅, 汪永祥. 光伏发电节能减排环境效益计算方法探讨 [J]. 华北电力技术, 2014 (10): 67-70.