

文章编号: 1671-6612 (2022) 05-768-05

双U型地埋管换热器 在卷烟厂供暖中的应用

张蒙生 王力 李鹏斐 张建勋

(河南中烟漯河卷烟厂 漯河 462000)

【摘要】 针对地源热泵换热器设计中存在的占地面积大, 竖井钻孔预埋深度大, 工程建造成本高等问题制约地源热泵的普及, 通过设计一种双U型地埋管换热器, 增大每一预埋竖井内埋管直径和根数, 有效利用埋管井空间容量, 该型式设计在保证供暖热容量的条件下, 满足供暖温度要求。

【关键词】 卷烟厂; 供暖; 双U型换热器; 地源热泵; 设计应用; 地埋管

中图分类号 TU832.1 文献标识码 A

Design and Application of Supply Heating in Used of Double U Buried Pipe Heat Exchanger in Cigarette Factory

Zhang Mengsheng Wang Li Li Pengfei Zhang Jianxun

(Luohe Cigarette Factory, China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd, Luohe, 462000)

【Abstract】 Aim at the problem ground source heat pump heat exchanger occupies a large land area and is inmost depth pre-buried in Shaft drilling, construction cost is high-priced, restrict the popularity of ground source heat pumps in the design. Through Design a double U type buried tube heat exchanger, increase diameter of buried pipe and amount in each embedded shaft, use effectively Buried well space. This design ensure heating capacity, meet the heating temperature requirements.

【Keywords】 Cigarette Factory; Supply heating; Double U heat exchanger; Ground Source Heat Pump; Design and Application; Buried pipe

0 引言

地埋管换热器是以地表一定深度下的土壤源和水源为能源, 以管内循环水为换热介质, 通过换热管对地源热进行热交换, 通过制冷压缩传递热能或者冷量给用户侧, 以实现制冷或者供暖所需要的能源。采用地源热泵地埋管换热技术, 充分利用地源热, 可节约冬季供暖煤电燃气锅炉消耗, 为落实我国提倡清洁能源, 倡导绿色节能法律、规章, 具有极大的社会和经济价值。

根据不同地区地源热泵地质条件对埋管进行设计, 地埋管换热器占地面积和钻孔预埋深度较

大, 换热管线长度巨大, 导致工程施工成本大, 也制约了在烟草制造和加工行业的应用。为此, 本工程以河南省漯河市漯河卷烟厂易地技改地源热泵供暖工程为例, 对地埋管换热器进行设计并施工应用。

1 基本情况

1.1 供暖面积

漯河卷烟厂易地技改工程位于河南省漯河市高新技术开发区, 项目施工现场占地面积 16 万 m², 厂区生活和办公区域分为联合厂房 I 区,

作者简介: 张蒙生 (1970-), 男, 本科, 工程师, E-mail: zhangmsh_c@163.com

通讯作者: 王力 (1976.10-), 男, 本科, 工程师, E-mail: 45919915@qq.com

收稿日期: 2022-03-04

III区及生活配套用房,采用地源热泵供暖方式,合计建筑面积为16535m²,有效供暖面积为11424m²[1],冬季供暖环境温度设计为18-20℃。

1.2 地源地质条件

据某公司出具的《河南中烟漯河卷烟厂易地技改项目地源热泵系统地质勘探与换热测试报告》知,在项目区布置3眼勘探孔,通过勘探孔的钻凿了解地层结构及可钻性;对其中2眼勘探孔下入双U型PE管换热器,勘探孔设计钻探深度150m,孔径152mm。对勘探孔中的TK-1和TK-3进行地质体热响应测试,并利用数学模型反演计算岩土体综合传热系数等热响应参数,给出试验工况下,地埋管换热器的延米换热能力赋值。勘探现场测试原理如图1所示。

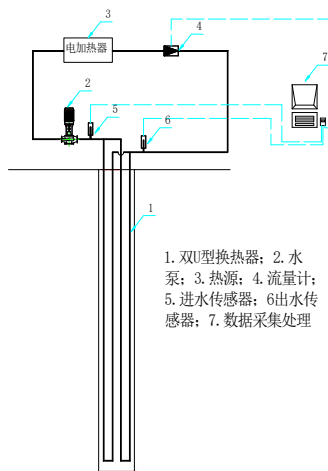


图1 现场勘探测试原理图

Fig.1 Schematics for field testing of the geological drilling

测试表明:地表以下150m深度范围内的地层,岩性以粘土、粘土夹砾石、粗砂层为主,沉积物颗粒整体较细,项目区150m处地质体平均导热率为2.324W/m·℃,容积比热容为2.233×10⁶J/m³·℃;地埋管换热器设计工况,夏季换热量大于60W/m井深,冬季换热量大于45W/m井深。项目区所在区域处于第四系冲洪积、冲湖积砂、砂砾石含水层地质单元,勘探孔揭露的含水层岩性为粗砂含砾石,厚度较大,约30m,单井涌水量为1000-3000m³/d分区内,地质体富水性较好。该深处地质温度为18.9℃,系统全年运行后地质体温度升高仅0.3℃,即温升达19.2℃,地质体温度变化较小。200米-1100米为增温带[2],深度每增加100米,

地层温升为2-5℃。据此,埋管最佳深度为150m,同时也可满足夏季制冷要求。

根据实际勘探孔钻探成果,推荐垂直地埋管设计参数如下:

- 钻孔深度: 150m;
- 钻孔直径: 152mm;
- PE管深度: 150m;
- PE管形式: 双U型;
- PE管外径: 32mm;
- PE管内径: 26mm;
- PE管耐压强度: 1.6MPa;
- 钻孔间距: 5m;
- 回填方式: 原浆回填。

2 供暖负荷的确定和热泵选型

供暖热负荷^[3]:

$$Q_r = K \cdot S \text{ kW}$$

式中, K 为办公供暖热负荷指标,这里取0.092kW/m²; S 为有效供暖面积, m²。

$$Q_r = K \cdot S = 11424 \times 0.029 = 1051 \text{ kW}$$

依据名义制热量为1051kW进行热泵选型,查国内外知名热泵制造厂家,选某品牌热泵其主要技术参数如下:

名义制热量为1012kW,2组(一备一用),单台制热量为1012kW。

该型号热泵其他参数为:

空调侧(冷凝器侧):供回水温度45/40℃,供回水流量160m³/h;冷凝器管阻0.05MPa;电机功率209kW(380V)。地源(蒸发器侧)侧水流量200m³/h,蒸发器管阻0.09MPa。

循环水泵参数选型如下:

空调侧循环水泵:流量190m³/h,扬程32m,电机功率30kW(380V);地源侧循环水泵:流量230m³/h,扬程28m,电机功率30kW(380V)。

3 地埋管换热器换热量的确定

根据热泵热平衡法,地源侧换热量为:

$$Q_e = Q_r + W$$

式中, Q_e 为热泵地源侧热能, kW; Q_r 为热泵用户侧热能, kW; W 为热泵压缩机功率, kW。

$$Q_e = 1012 + 209 = 1221 \text{ kW}$$

地埋管换热器换热量 Q_g , 即冬季制热时, 地源侧循环水向土壤吸热的热量^[4]:

$$Q_g = Q_e + Q_G + Q_B$$

式中, Q_g 为地埋管换热器换热量, kW; Q_B 为水泵散热, $2\% \times P$ (电机功率), kW; Q_G 为管道散热量, $1.16 \times Q$ (水泵额定流量 t/h, 按散热温度下降 1°C 预估), kW。

$$Q_g = 1221 + 2\% \times 30 + 1.16 \times 230 = 1488.4 \text{ kW}$$

4 地埋管换热器个数及其换热管长度的确定

按冬季工况积算, 热泵钻孔孔数, 也就是双 U 型地埋管换热器个数^[4]:

$$n = \frac{Q \times 1000}{W \times H}$$

式中, Q 为地埋管与土壤内换热量, kW; W 为地埋管延米井深换热量, 由本项目试验得 45 W/m 井深。

$$n = \frac{1488.4 \times 1000}{45 \times 150} = 220.5 \text{ (眼)}$$

总长 $220.5 \times 4 \times 150 = 132300 \text{ m}$ 。

5 双 U 型散热管结构

5.1 材料选择

地埋换热管深埋于地下, 常年接触高盐碱土壤及岩石层的水、砾、瓦、石中, 要求其具有化学特性稳定, 耐腐蚀, 热导率高, 抗老化等特点, 使用寿命在 40-50 年, 由于地埋管使用长度巨大, 其还应具有价格经济低廉, 且接口易切割和熔接, 因此国内普遍采用 PE (聚乙烯) 材料热熔管, 本工程选用 PE 热熔管规格为 De32×3.0、De63×4.7、De75×5.6、De90×6.7, 其热导率 $0.65 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$, 长度规格 12 米/根。

5.2 双 U 结构换热管

双 U 型散热管如下图结构, 由 2 个长度为 150 米, De32×3.0 PE 管串联预埋在深 150 米的竖直井孔内, 钻孔直径 150mm, 每个孔径铺设长度 600 米。

所有管井单元通过串联和并联, 形成一个网络式的巨大地埋管换热器, 如图 2 所示。

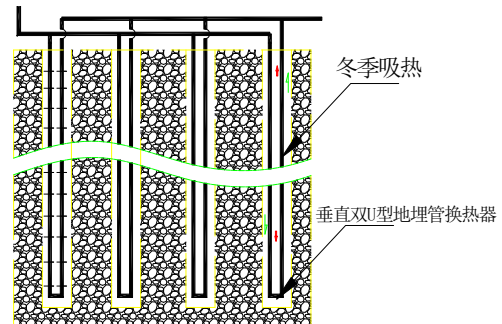


图 2 地埋换热管双 U 型结构

Fig.2 the u type construction of buried heat exchange tube

5.3 井孔布局的确定

为便于进行钻孔布局, 本方案采用矩阵布置结构, 孔井间距为 5000mm, 孔井数量为 30 (列) × 8 (行) = 240 个, 占地面积为 $120 \times 50 = 6000 \text{ m}^2$ 。

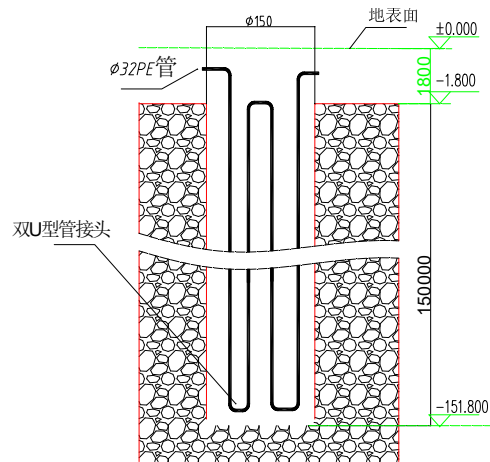
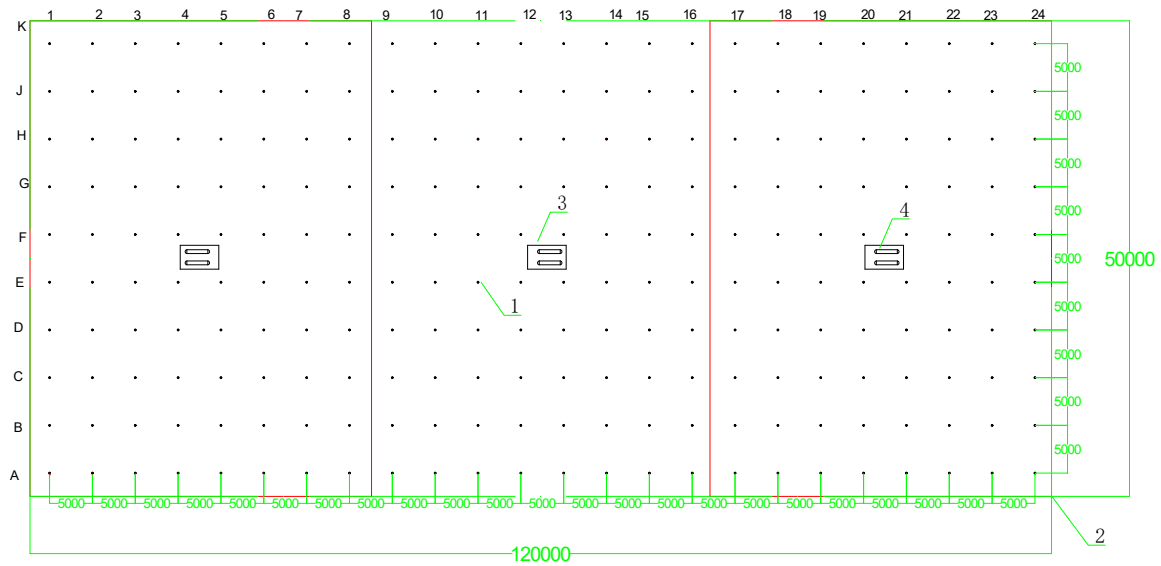


图 3 地埋换热管并联示意图

Fig.3 Schematic diagram of buried heat exchange tube

图 4 中 240 个孔井, 分 3 组, 每 80 个孔井为 1 组, 每组设置一对集水器和分水器, 3 组集水器和分水器与总集水器并联。在每 80 个为一组的孔井单元中, 所有双 U 型散热管采用并联方式, 地埋管单管总长 144000m。

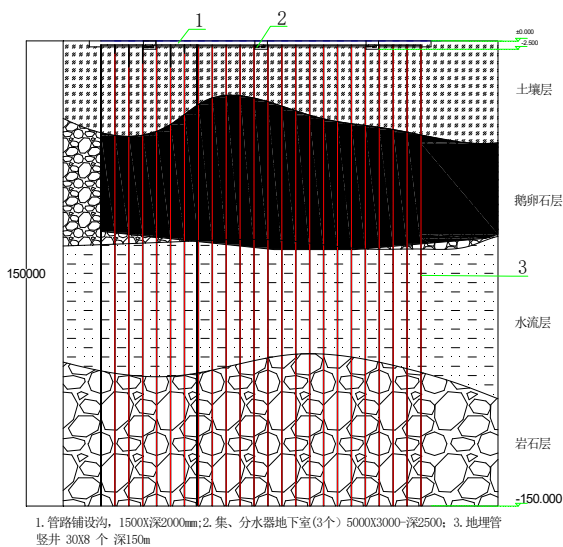


1. 孔井 $\phi 150-30 \times 8$ 个; 2. 施工边界线; 3. 集、分水器地下室(3个) 5000X3000-深2500; 4. 集水器和分水器DN400-2900 (3对)

图 4 井孔矩阵布局俯视图

Fig.4 Top view of wellhole distribution

5.4 地源侧管网布局

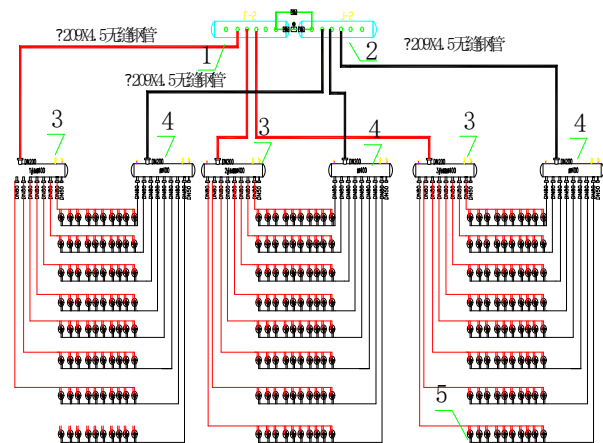


1. 管路铺设沟, 1500X深2000mm; 2. 集、分水器地下室(3个) 5000X3000-深2500; 3. 地埋管竖井 30X8 个 深150m

图 5 换热器地埋剖视图

Fig.5 Cutaway view of buried heat exchanger

三对地埋管侧集、分水器分别安装在 3 个 5m × 3m-深 2.5m 地下室内, 室外场地水平布置的管道安装在宽 1.5m, 深 2.0m 沟槽内, 三对集分水器并联于室内热泵地源侧集分水器。管网布局如图 6 所示, 整个埋管区域为上铺设绿化带。



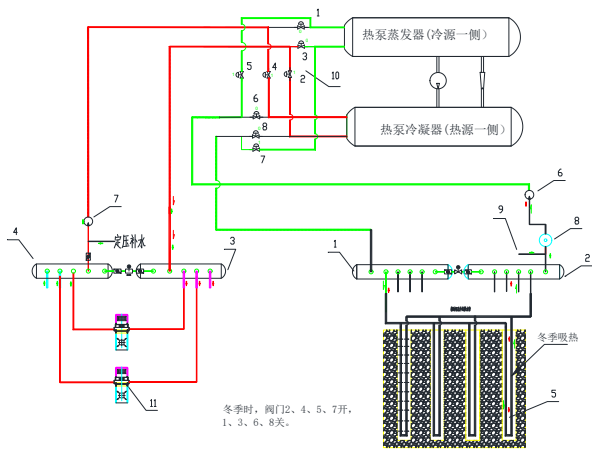
1. 地源侧分水器DN50-340; 2. 地源侧集水器DN50-340; 3. 地埋管侧分水器DN400-2900; 4. 地埋管侧集水器DN400-2900; 5. 双型地埋管换热单元 $\phi 32-4 \times 150$ (240个)

图 6 热泵集、分水器管网连接图

Fig.6 Pipe network connection diagram of water segregator and collector manifold for heat pump

6 地埋管换热器的系统构成

地埋管换热器与地源侧集水和分水器相连, 接收蒸发器或者冷凝器能量, 依靠 8 个电动开关阀实现蒸发器和冷凝器与地埋管进行对接互换, 以适应冬夏季的采暖和供冷切换, 如图 7 所示。



- 1.地源侧分水器；2.地源侧集水器；3.用户侧分水器；4.用户侧集水器；5.双 U 型地埋换热器；6.地源侧循环水泵；7.用户侧循环水泵；8.地源侧水处理设备；9.地源侧补水口；
- 10.冬季夏季切换电动换阀-8 个；11.风机盘管

图 7 地源热泵采暖管网系统图

Fig.7 Heating pipe network system diagram of ground Source heat pump

7 地埋管换热器热物分析和预期经济效益分析

按上述地勘实验结论，冬季换热管延米换热量

大于 45W/m，则合计 240 套双 U 型换热器换热量为 240 孔 × 150m/孔 × 45W/m=1620kW > 1488.4kW，满足设计计算要求。

地埋管换热器热能取自地源热，在供暖季节可节约相应锅炉燃烧所消耗的天然气数量，按下列公式计算：

$$\text{冬季供暖时间为：} 90\text{d} \times 20\text{h/d} = 1800\text{h}$$

额定供暖热量按 1051kW (kJ/s) (供暖面积为 11424m²) 计算，折算天然气消耗为：

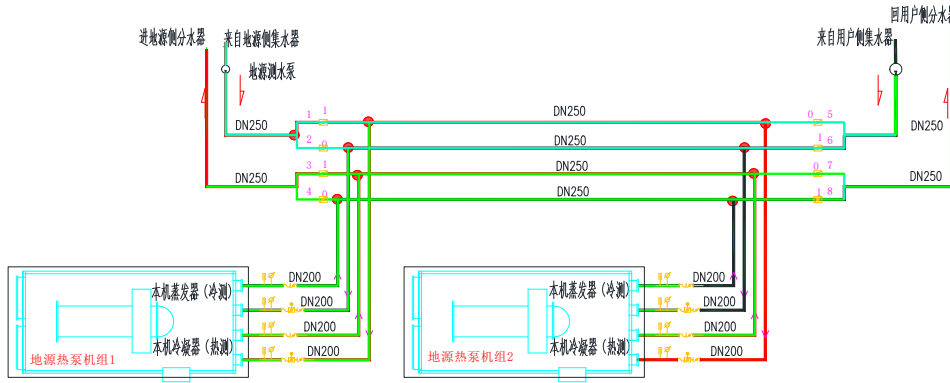
$$\frac{1051\text{kJ/s} \times 1800\text{h} \times 3600\text{s/h}}{38979\text{kJ/m}^3 \times 0.9} = 194135\text{m}^3$$

天然气平均低位发热量 38979kJ/m³，锅炉热效率取 0.9^[5]。

年节约采暖费用约 194135m³ × 2.6 元/m³ = 50.5 万元。

8 地埋管换热器在供冷方面的应用扩展

同样的，依据上述设计流程，可该校核该换热器结构和性能，满足供冷需求。通过 8 个电动开关阀切换，也实现夏季制冷和冬季供暖模式切换，本文不再赘述。如图 8 为一备一用 2 台热泵夏季供冷(制冷模式运行)管网图。



夏季时，阀门1、3、6、8开，2、4、5、7关

图 8 一备一用热泵制冷模式电动阀切换系统管网图

Fig.8 Pipe network diagram of electric valve switching in refrigeration mode for a pump with a backup

9 结语

本设计散热管在每一个孔井内采用双 U 型布置，充分利用钻孔空间，增加散热管长度和换热面积，减少换热器占地面积，减少钻孔数量，降低施工成本；整个水循环系统，冬季供暖，在地源侧，水从压缩机蒸发器出口流入地源侧总分水器，从总分水器流出，分出若干个支管，至地源深处，

通过土壤换热，进行 U 型折流至地面总集水器，从总集水器泵压至压缩机蒸发器入口；在用户侧，水从压缩机冷凝器出口流入用户侧分水器，从分水器流出，分出若干个支管，至用户风机盘管，供暖，通过室内换热，汇流至集水器，泵压至压缩机冷凝器入口。

(下转第 776 页)