

# 温室地热系统结构设计及节能环保效益

郭仁宁<sup>1</sup>, 孙琦<sup>1</sup>, 冯新伟<sup>2</sup>, 李小艳<sup>1</sup>

(1. 辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 沈阳农业大学 高等职业学院, 辽宁 沈阳 110122)

**摘要:** 为了达到节能环保效益, 采用传热效率高、结构简单且投资小的分离式热管换热器作为温室地热系统, 对其进行了结构设计和计算, 选择了适当的工质和材料, 并对它的节能和环保效益进行了阐述, 说明了分离式热管系统的可靠性和实际应用的价值, 为在实际应用中提供可靠依据。

**关键词:** 温室地热; 分离式热管换热器; 结构设计; 节能; 环保

**中图分类号:** TK172.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-2767(2011)12-0143-03

分离式热管换热器可使冷源和热源分开, 可以实现远距离传输能量且不需外加动力, 还具有传热效率高, 结构简单, 投资小等特点, 既可以降低能耗, 同时也能减少设备的腐蚀和环境污染等问题<sup>[1]</sup>, 应用到温室地热系统中会大大提高节能环保效益。

分离式热管是重力式热管的一种特殊形式。热管的蒸发段和冷凝段互相隔开, 它们之间通过1根蒸气上升管和1根冷凝液下降管连接成一个循环回路<sup>[2]</sup>。分离式热管工作时, 热流体横掠组合蒸发段, 管内工质受热沸腾, 蒸汽在蒸发段上部的接管汇集进入总管内, 将热量传给横掠过组合冷凝段的冷流体。蒸汽放热后, 冷凝为液体依附于管壁, 冷凝液体在重力的作用下经连接管回流到组合蒸发段的下接管, 这样就形成了闭式循环<sup>[3]</sup>(见图1)。

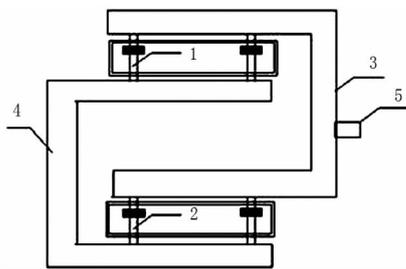


图1 分离式热管工作原理

1 为冷凝段; 2 为蒸发段; 3 为气体导管;

4 为液体导管; 5 为抽气充液导管

## 1 设计计算

### 1.1 设计要求

已知地热热源 60 m, 地热热源温度  $t_y = 58^\circ\text{C}$ , 冷凝段饱和蒸汽温度  $t_c = 50^\circ\text{C}$ 。对于水道长度, 初步取定  $l = 30\text{ m}$ 。设计要求供热 100 户温室, 每户按  $100\text{ m}^2$  进行计算, 所需总供热量拟定为  $Q = 1 \times 10^6\text{ W}$  (或  $Q = 3.6 \times 10^6\text{ kJ} \cdot \text{h}^{-1}$ ) (见图2)。

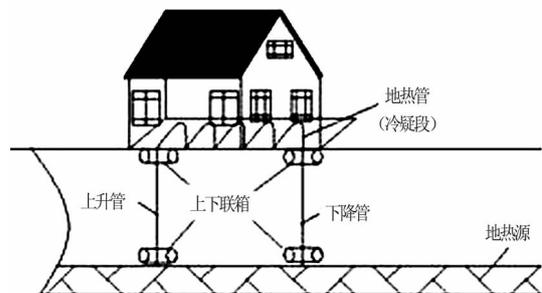


图2 地热简易示意图

### 1.2 热管工质选择

通常可供选择的常规工质有丙酮、水和氨等。分离式热管选择工质时要符合的要求有: (1) 工质与管壳应长期相容; (2) 工质的工作温度范围应选在工质的凝固点与临界温度之间; (3) 工质的品质因素要高; (4) 工质导热系数要高; (5) 自然循环要顺利进行<sup>[4]</sup>。综合考虑这5点要求, 选择氨作为工质是最为适合的。氨: 分子式为  $\text{NH}_3$ , 分子量 17, 正常沸点  $239.75\text{ K}$ , 临界温度  $405.55\text{ K}$ , 临界压力  $11\ 290\text{ kPa}$ , 临界密度  $235\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

### 1.3 选择管材

热管的相容性是指热管在预期的设计寿命内, 管内工作液体同壳体不发生显著的化学反应或物理变化, 或有变化但不足以影响热管的工作性能<sup>[5]</sup>。相容性在热管的应用中具有重要的意

收稿日期: 2011-07-07

第一作者简介: 郭仁宁(1956-), 男, 辽宁省沈阳市人, 硕士, 教授, 从事流体机械及工程研究。E-mail: sunqi525@126.com。

义。根据所选择的工质氨,与其相容的材料有铝、不锈钢和低碳钢等,考虑市场价格等因素,选取10号钢。

### 1.4 结构设计计算

1.4.1 上升管设计 该设计基于蒸发段换热进行设计,设计要求达1 MW 负荷,在进行设计时先按蒸发段分成15组进行计算,通过15根上升管将工质传至冷凝段。则  $Q^1 = Q/15 = 6.7 \times 10^4 \text{ W}$ 。

(1)各上升管流量和流速:由于15根管分配均匀,则仅算一个即可。

$$q_m = \frac{Q^1}{v_s} = \frac{6.7 \times 10^4}{1\ 008} = 0.066\ 5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} = \frac{0.066\ 5}{19.44} = 0.003\ 42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

(2)根据换热条件和承压能力选取蒸汽腔直径  $d$ :为了使流道中的蒸汽流速不致过大,以免产生可压缩性效应而导致轴向温度梯度增大,因此设计热管时应考虑蒸汽流动的最大马赫数不超过0.2,按此要求所需蒸汽腔直径  $d_v$  为:

$$d_{min} = \left( \frac{20Q_{max}}{\pi \rho_v r_s \sqrt{v R_v T_v}} \right) \frac{1}{2} \quad (1)$$

其中,  $Q_{max}$  为热管(共15根)的最大轴向热流流量,  $R_v$  为蒸汽气体常数  $489 \text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$ ,  $T_v$  为蒸汽工作温度,  $v$  为蒸汽比热比1.134,  $r_s$  为氨的汽化潜热。代入式计算得  $d_{min} = 0.007 \text{ m}$ ,要求  $d > 0.007 \text{ m}$ ,综合市场供应,选取  $d_v = 0.1 \text{ m}$ ,则

$$C_f = \frac{4q_v}{\pi d^2} = \frac{4 \times 0.003\ 42}{3.14 \times 0.1^2} = 0.435\ 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

壁厚选取

$$S_{ymin} = \frac{[P]d_i}{2[\sigma] - [P]} = \frac{2.485\ 53 \times 10^6 \times 0.1}{2 \times 112 \times 10^6 - 2.485\ 53 \times 10^6} = 1.12 \times 10^{-3} \text{ m}$$

查阅《换热器手册》<sup>[6]</sup>,综合选定  $\delta = 2.0 \times 10^{-3}$ 。

1.4.2 蒸发段计算 综合工程实际,15组管束,每管束的管子数目为  $12 \times 12 = 144$  根。

(1)每蒸发管的流量和流速:流量  $q_{m_e} = q_m / 144 = 0.46 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ,流速  $q_{v_e} = q_v / 144 = 23.75 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(2)根据换热条件和承压能力选取  $d$ :由式(1)算得  $d_{min_e} = 0.006 \text{ m}$ ,要求  $d_e > 0.006 \text{ m}$ ,选取  $d_e = 0.01 \text{ m}$ 。

(3)壁厚选取

$$S_{ymin_e} = \frac{[P]d_{i,e}}{2[\sigma] - [P]} = \frac{2.485\ 53 \times 10^6 \times 0.01}{2 \times 112 \times 10^6 - 2.485\ 53 \times 10^6} = 1.12 \times 10^{-4} \text{ m}$$

查阅《换热器手册》<sup>[6]</sup>综合选定  $\delta_e = 1 \times 10^{-3}$ 。

(4)蒸发段蒸发长度的计算:查表知  $\lambda = 42.88 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ ,根据蒸发段内工质核态沸腾的计算公式,已知:  $\Delta t = 2^\circ \text{C}$ ,  $C_{sd} = 0.013 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}$ ,  $C_{pl} = 5.190 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}$ ,  $\rho_l = 549.65 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $r_s = 1008 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $\rho_v = 19.44 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $\gamma = 13.5 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $p_{st} = 1.3 \text{ Pa}$ ,  $\eta = 100.9 \times 10^{-6}$ 。

$$q = \eta r_s \left[ \frac{g(\rho_l - \rho_v)}{r} \right]^{\frac{1}{2}} \left( \frac{C_{pl} \Delta t}{C_{sd} r p_l l^3} \right)^3 = 1.426\ 6 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$A = \frac{p}{q} = \frac{1 \times 10^6}{1.426\ 6 \times 10^4} = 70.098\ 2 \text{ m}^2$$

由  $A = n\pi d l$ ,得  $n = 2\ 029$ ,考虑余量以及管的布置,取  $n = 12^2 \times 15 = 2\ 160$ ,取定蒸发段长度  $l_e = 1.1 \text{ m}$ 。

(5)设计蒸发段上下联箱:15捆,3捆为一个井内布置,每捆热管间距离取2 cm,则上联箱的边长  $a$  必须大于  $3.2 \times 11 + 1.2 = 36.2 \text{ cm}$ ,则取  $a = 40 \text{ cm}$ 。则上下联箱的长宽高分别为40、40和10 cm。井中3捆热管的布置呈品字形。井的直径  $d > 2 \times \sqrt{60^2 + 60^2} = 170 \text{ cm}$ 。若取  $d = 180 \text{ cm}$ ,  $a = 45 \text{ cm}$ ,则上下联箱的长宽高分别为45、45和10 cm。

1.4.3 冷凝段的计算 冷凝段管束的布置因热用户情况的不同而有所不同。

取管径  $d = 1 \text{ cm}$ ,壁厚  $\delta = 1 \text{ cm}$ 。根据膜状凝结关系式:

$$h = 1.13 \left[ \frac{g r \rho^2 \lambda}{\eta l (t_s - t_w)} \right]^{\frac{3}{4}}$$

当  $t_s = 50^\circ \text{C}$  时,  $r = 1\ 050 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $\rho = 563.01 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $\lambda = 0.424\ 1 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ ,  $\eta = 110 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$ ,  $l$  取  $1.1 \text{ m}$ ,  $t_s - t_w = 2 \text{ K}$ 。代入数据得出  $h = 0.639\ 9 \times 10^4 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ 。

$$A = \frac{Q}{q} = \frac{1 \times 10^6}{1.279\ 7 \times 10^4} = 78.143 \text{ m}^2$$

由  $A = n\pi d l$ ,得出  $n = 2\ 262$  根。取  $n = 13^2 \times 15 = 2\ 535$  根,每根按  $13 \times 13$  排列成正方形。

1.4.4 下降管计算 由  $q_m = 0.066\ 5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ,得

$$q_v = \frac{q_m}{\rho} = \frac{0.066\ 5}{563.01} = 1.81 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

选择  $d_F = 0.05 \text{ m}$ ,则  $V = 4 q_v / \pi d^2 = 0.092 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

## 2 地热采暖系统的节能环保效益

地热采暖(分离式热管)系统相对于燃煤热水供暖系统以及用电供暖而言,其经济效益和环境效益都很明显。分析经济效益,地热采暖(分离式热管)系统节省燃料费  $600\ 000\ \text{元}\cdot\text{a}^{-1}$ ,相当于节约电  $415\ 360\ \text{kW}\cdot\text{h}$ 。根据资料显示,我国火电厂平均发电煤耗  $3\ 969\ \text{g}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}$ ,即地热采暖(分离式热管)系统在 35 a 节省电煤 35 000 t,这对于目前原煤尤其是电煤供应日益紧张的状况下,具有重大的社会意义;环境效益上分析,地热采暖(分离式热管)系统最主要的环保效益就在于减少了二氧化碳、二氧化硫及氮氧化物的排放量。按照常规标准工业锅炉每燃烧 1 t 标准煤就产生二氧化碳 2 620 kg,二氧化硫 8.5 kg,氮氧化物 7.4 kg。所以地热采暖(分离式热管)系统每年可

减少二氧化碳量约 2 600 t,二氧化硫约 8.5 t,氮氧化物约 7.4 t。绿色环保效益突出。

### 参考文献:

- [1] 左睿,蒋绿林,高伟. 地热技术在温室供暖中的应用[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(13): 6139-6140.
- [2] 庄骏. 热管与热管换热器[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1989.
- [3] Schulenberg F J. Finned Elliptical Tubes and Their Application in Application in Air-Cooled Heat Exchangers[J]. ASMEJEng For Industry, 1996, 88(2): 179-190.
- [4] 吴存真,刘光铎. 热管在热能工程中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1993.
- [5] Yu Bo, Tao W Q. Pressure drop and heat transfer characteristics of turbulent flow in annular tubes with internal wave-like longitudinal fins[J]. Heat and Mass Transfer, 2004, 40: 643-651.
- [6] 钱颂文. 换热器设计手册[M]. 北京: 北京化工出版社, 2002.

# Structure Designs of Greenhouse Subterranean Heat System and Energy Conservation and Environmental Protection Benefits

GUO Ren-ning<sup>1</sup>, SUN Qi<sup>1</sup>, FENG Xin-wei<sup>2</sup>, LI Xiao-yan<sup>1</sup>

(1. Mechanical Engineering College of Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning 123000; 2. Advanced Vocational Institute of Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110122)

**Abstract:** For the purpose of acquiring energy conservation and environmental protection benefits, separate type heat pipe exchanger, which is higher spread thermal efficiency, simple structure and small investment, was taken as glasshouse subterranean heat system to carry on structure design and computing about it. The modest working medium and material were selected and elaborate its energy conservation and environmental protection benefits. The reliability of separate type heat pipe exchanger system and the worthy of physical application were proved. It provide firm basis for physical application.

**Key words:** greenhouse subterranean heat; separate type heat pipe exchanger; structure design; energy conservation; environmental protection

## 肥料对稻米外观品质的影响

外观品质一般指精米的形状、垩白性状、透明度、大小等外表物理特性。当然与碾米品质有关的指标也影响稻米的外观品质。米粒的大小和形状通常用长、宽及长宽比来描述,粒型是水稻品种的重要特性,对品质有重要影响。肥料对稻米外观品质的研究结果较不一致。有研究表明,稻米垩白米率及面积随氮素收获指数增加而显著提高。有试验证实,早稻晚季种植时,氮肥用量增加,粒长有变短的趋势,而差异不显著,但长宽比的下降却有显著差异,说明氮肥主要促进米粒横向发育。不同氮肥运筹处理较对照垩白米的百分率明显降低,但各处理都使不透明米的百分率有所增加,从而使得垩白度变大,透明度较对照有所降低。也有研究显示,稻米垩白米率和垩白度随施氮量的增加而提高。抽穗时施适量保花肥能降低垩白率和垩白度,氮素不足会提高垩白率和垩白度。还有试验结果显示,硅、硫、锌、锰肥配施使大米裂纹率、垩白度均有所下降。