

# 西南交通大学 2014 年研究生招生入学考试

## 试题名称：传热学

试题代码：831

考试时间：2014 年 1 月

考生请注意：

1、本试题共\_\_\_\_题，共\_\_\_\_页，满分 150 分，  
请认真检查；

2、答题时，直接将答题卡内容写在考场提供的答题纸上，答在试卷上的内容无效；

3、请在答题纸上按要求填写试题代码和试题名称；

4、试卷不得拆开，否则遗失后果自负

### 一、基本概念题（每题 7 分，共 35 分）

1.某双层壁中的稳态温度分布如图 1 所示，  
问哪一层材料的热导率大？哪一层材料的  
导热热阻大？

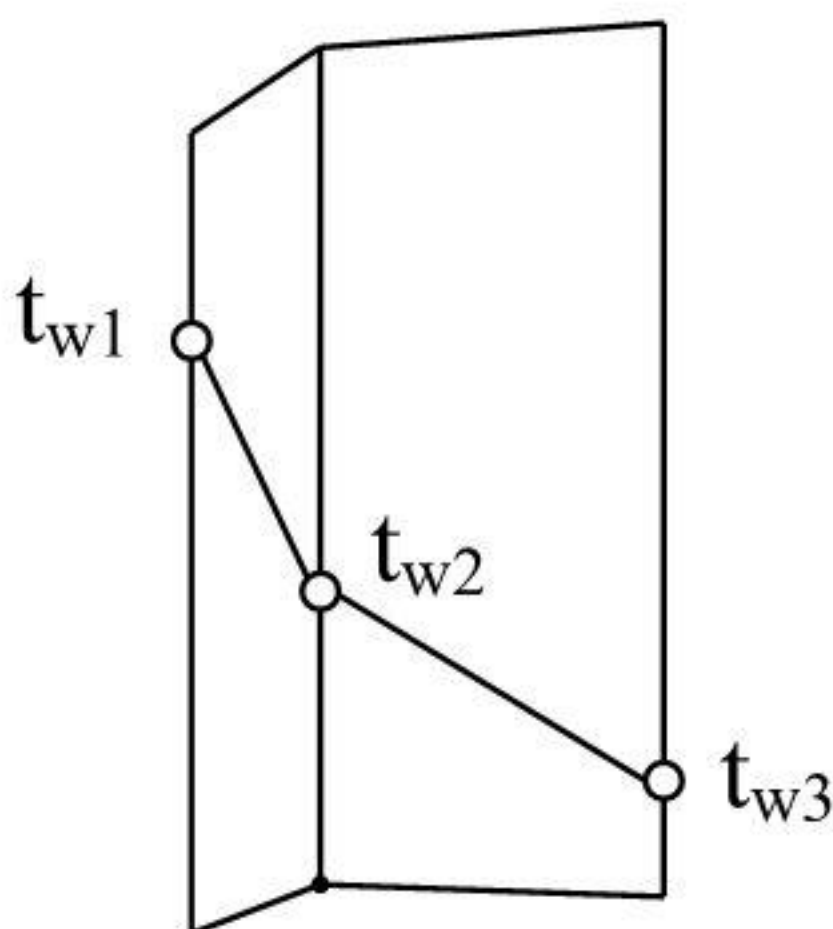


图 1 第 1 题图

2.不同温度的等温面（线）不能相交，热流线能相交吗？热流线为什么与等温线垂直？

3.空气从上向下横掠管束时，平均对流传热系数随着竖直方向上的管排数的增加而增加。而蒸汽在水平管束外凝结传热时，竖直方向上管排数越多，平均凝结传热系数却越低。你如何理解这两种相反的结论？

4.表面发射率是物体表面的特性参数，表面吸收比是否也是物体表面的特性参数？为什么？

5.为了增加一台油冷器的传热，用提高水流速的方法效果并不显著。试分析其原因何在？

## 二、简答题（每题 9 分，共 45 分）

1.什么叫非稳态导热过程？为什么初始温度均匀的物体在表面突然有传热（加热或冷却）时，表面温度分布曲线比物体内部温度分布曲线倾斜得厉害？

2.试证明，在管内单相流体对流换热的热充分发展段，当壁面热流密度恒定时，管内流体与壁面温差沿流动方向为定值。

3.管内强迫对流传热时，短管修正系数 $c_l \geq 1$ ，弯管修正系数 $c_R \geq 1$ ，流体横掠管束时管排修正系数 $c_Z \leq 1$ ，为什么？

4.如图 2 所示，一等腰V形长槽，由整块材料机械加工而成，槽宽为 $W$ ，V形槽顶角为 $2\theta$ ，设槽内两个表面  $A_1$ 、 $A_2$  均为漫射表面，求  $X_{1,2}$ 。

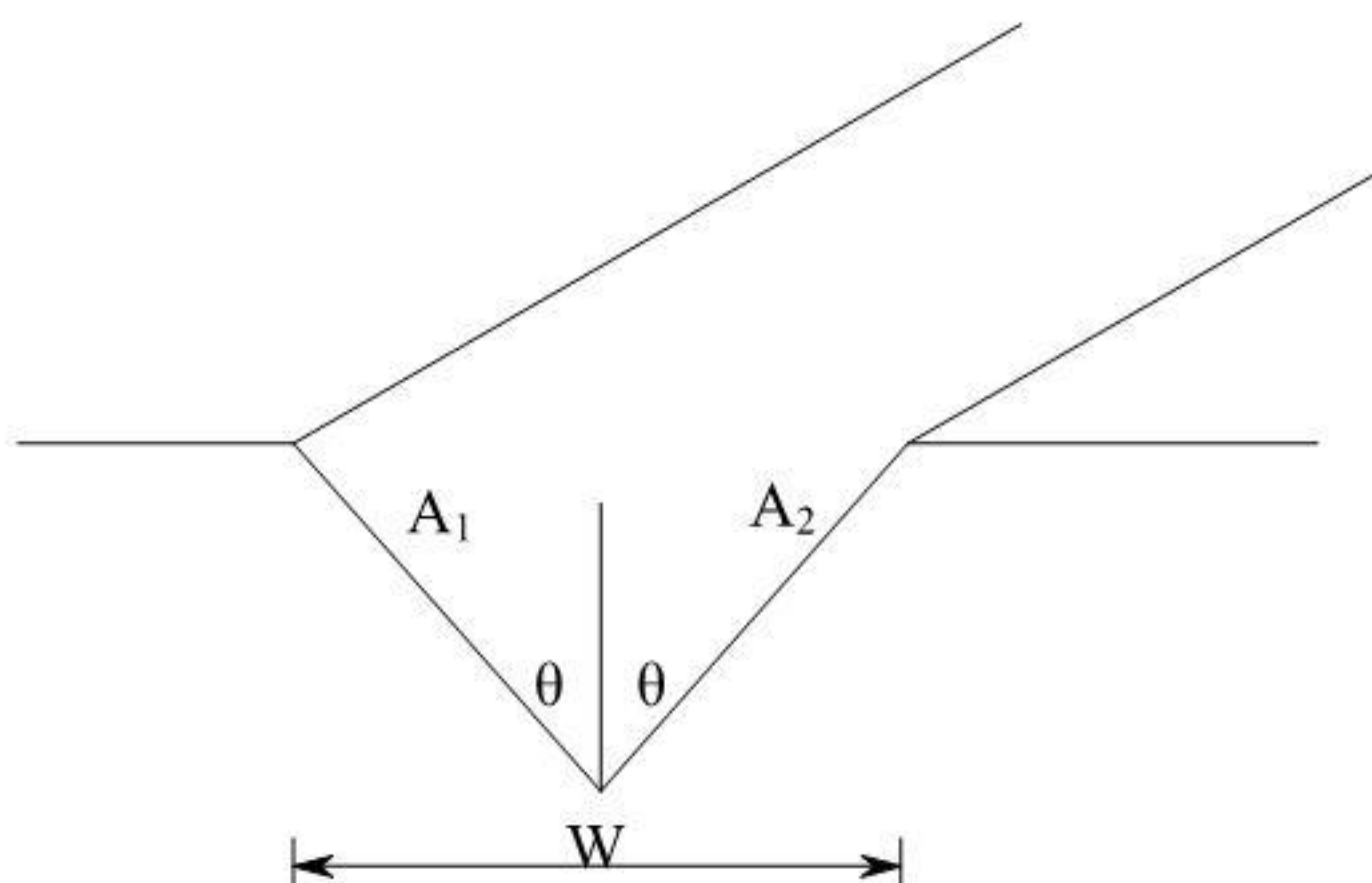


图2 第4题图

5.如图 3 所示，试用微元体热平衡法推导内热源强度为 $\dot{\Phi}$ 的二维稳态导热恒热流（热流密度为 $q_w$ ）边界节点的有限差分方程。设 $(\Delta y = \Delta x)$ 。

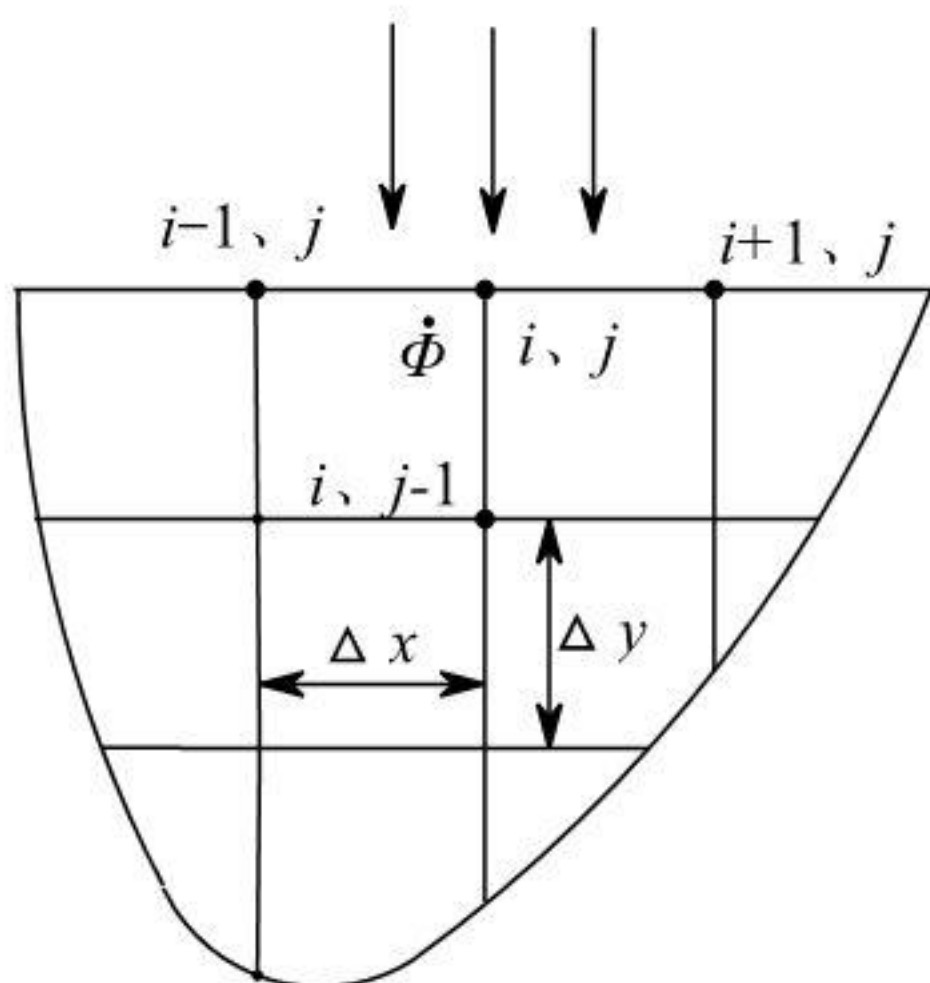


图3 第5题图

### 三、计算题

1.在某一产品的制造过程中，厚度为 $1.0\text{mm}$ 的基板上紧贴了一层透明的薄膜，其厚度为 $0.2\text{mm}$ ，薄膜表面上有一股冷却气流流过，其温度为 $20^{\circ}\text{C}$ ，对流换热表面传热系数为 $40\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。同时，有一股辐射能够透过薄膜投射到薄膜与基板的结合面上。基板的另一面维持在温度 $t_1 = 30^{\circ}\text{C}$ 。生成工艺要求薄膜与基板结合面的温度 $t_0 = 60^{\circ}\text{C}$ 。试确

定辐射热流密度 $q$ 应该为多大？已知薄膜的导热系数 $\lambda_1 = 0.02 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，基板的导热系数 $\lambda_1 = 0.06 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。投射到结合面上的辐射热全部为接合面所吸收。薄膜对 $60^\circ\text{C}$ 的热辐射是不透明的。（10 分）

2.一单程型管壳式油冷却器，水的进、出口温度分别为 $20^\circ\text{C}$ 和 $65.6^\circ\text{C}$ ，质量流量为 $1.72 \text{ kg}/\text{s}$ 。油的进、出口温度分别为 $120^\circ\text{C}$ 和 $40^\circ\text{C}$ ，比热 $C_{po} = 1.84 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$ ，水的比热 $C_{pw} = 4.17 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$ 。已知该冷却器的传热系数 $K = 250 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，试求该冷却器需要的传热面积。（15 分）

3.钢球与空气间的表面传热系数可通过试验法测得：一个直径 $D = 50 \text{ mm}$ 、导热系数 $\lambda = 85 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，热扩散率 $\alpha = 2.95 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ，初始温度的钢球置于 $35^\circ\text{C}$ 的空气中，经过 20 分钟后，测得钢球表面的温



度为 $132.5^{\circ}\text{C}$ 。试求钢球与空气之间的表面传热系数 $h$ 。（15 分）

4.现用模型来研究某变压器油冷却系统的性能。假如基本的传热机理是圆管内强迫对流传热，变压器原耗散 $100\text{kW}$ 的热流量。变压器油的 $\lambda = 131.5 \times 10^{-3}\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$   $Pr = 80$ 。模型的直径为 $0.5\text{cm}$ ，线性尺寸为变压器的 $1/20$ ，表面积为变压器的 $1/400$ 。模型和变压器中的平均温差相同，模型用乙二醇作为流体，雷诺数 $Re = 2200$ 。乙二醇的 $\lambda = 256 \times 10^{-3}\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$   $Pr = 80$   $\nu = 15.13 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ 。试确定模型中的能耗率（散热热流量）和流速。（15 分）

5.如图 4 所示，一个由长导管构成的太阳能收集器，空气在管内吹过，导管的横截面形成一个边长为 $1\text{m}$ 的等边三角形，收集器的一个侧面由黑度 $\varepsilon_1 = 0.9$ 的玻璃盖板构成，

而其他两侧面是黑度 $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 1.0$ 的吸收器平板。工作时, 已知表面温度 $T_1 = 25^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = 60^\circ\text{C}$ ,  $T_3 = 70^\circ\text{C}$ 。对于单位长度的收集器, 由于玻璃盖板与吸收器平板的辐射能交换所造成玻璃盖板的净辐射热流失多少? (15分)

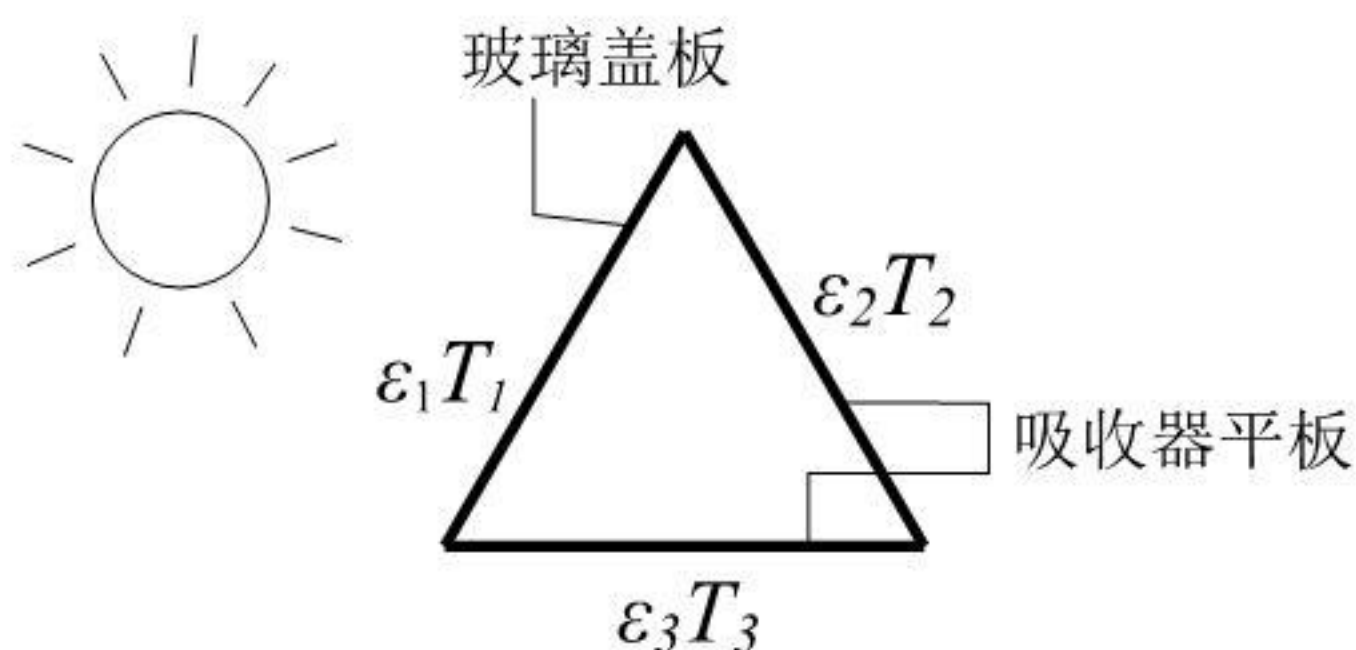


图 4 第 5 题图



# 西南交通大学 2014 年研究生试题解析

试题名称：传热学

试题代码：831

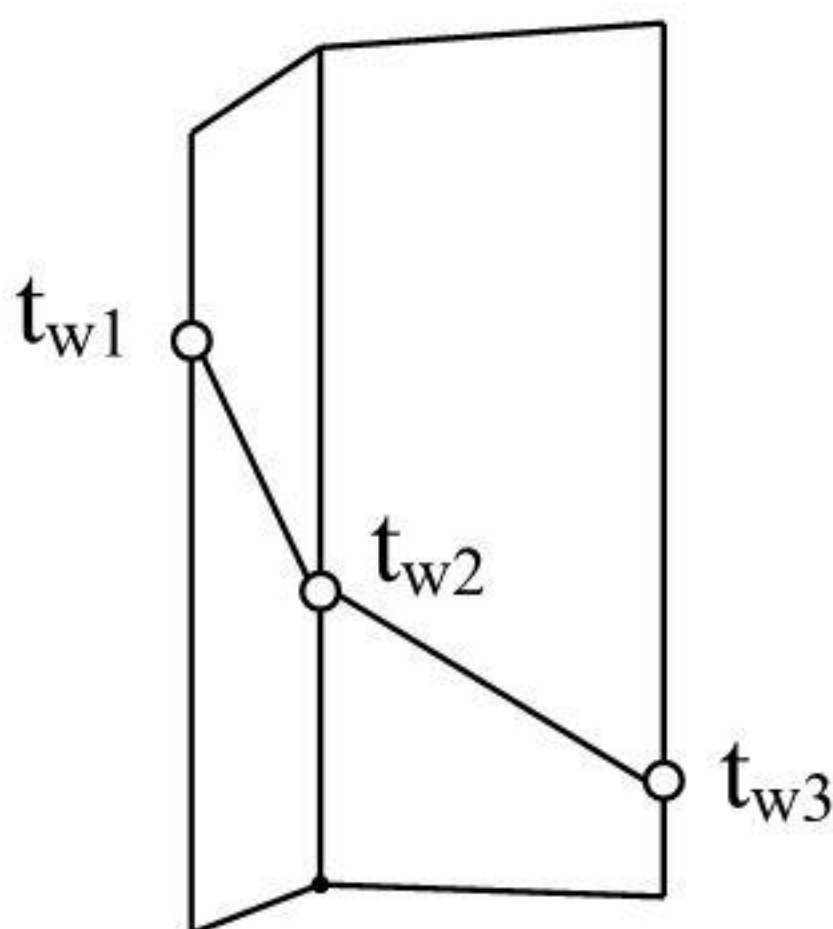
考试时间：2014 年 1 月

考生请注意：

- 1、本试题共\_\_\_\_题，共\_\_\_\_页，满分 150 分，请认真检查；
- 2、答题时，直接将答题卡内容写在考场提供的答题纸上，答在试卷上的内容无效；
- 3、请在答题纸上按要求填写试题代码和试题名称；
- 4、试卷不得拆开，否则遗失后果自负

## 一、基本概念题（每题 7 分，共 35 分）

- 1.某双层壁中的稳态温度分布如图 1 所示，问哪一层材料的热导率大？哪一层材料的导热热阻大？



**【注释】**考查傅里叶定律的一维稳态表达式和平壁导热的热流量的计算式，属于基本概念考查。

稳态分布，根据傅里叶定律：

$$q_1 = q_2 = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad \frac{dt_1}{dx_1} > \frac{dt_2}{dx_2}$$

$$\text{故 } \lambda_1 < \lambda_2$$

$$q_1 = q_2 = \frac{\Delta t_1}{R_1} = \frac{\Delta t_2}{R_2} \quad \Delta t_2 > \Delta t_1$$

$$\text{故 } R_2 > R_1$$

2.不同温度的等温面（线）不能相交，热流线能相交吗？热流线为什么与等温线垂直？

**【注释】**考查热流线、等温线的基本概念，课后思考题原题，见课本 P52 页。

热流线垂直于等温线，不同温度的等温线不能相交，热流线也不能相交。如果热流线不垂直于等温线，而等温线上必有一热量分量。等温线上无温差，即 $q = 0$ 。只有热流线垂直于等温线才能使这个热流分量为零。

3.空气从上向下横掠管束时，平均对流传热系数随着竖直方向上的管排数的增加而增加。而蒸汽在水平管束外凝结传热时，竖直方向上管排数越多，平均凝结传热系数却越低。你如何理解这两种相反的结论？

**【注释】**考查横掠管束和管束外凝结传热的传热规律，课后思考题原题，见课本 P185。

空气横略垂直管束时，沿流动方向的管排数越多，气流扰动越强，换热越强，而蒸汽在水平管束外凝结时，沿液膜流动方向的管排数越多，凝结膜越厚，凝结换热热阻越大，换热强度降低。

4.表面发射率是物体表面的特性参数，表面吸收比是否也是物体表面的特性参数？为什么？

**【注释】**考查发射率和吸收比的决定因素，课后思考题原题，见 P240。

表面吸收比不仅取决于该表面本身情况，而且还取决于辐射源的情况（表面温度和表面性质），所以它不能被称为该物体的特性参数。

5.为了增加一台油冷器的传热，用提高水流速的方法效果并不显著。试分析其原因何在？

**【注释】**考查强化传热的基本原则，课后思考题原题，见 P289。

强化传热的基本原则：首先设法减小其中最大的局部热阻，这样强化传热的效果才明显，从而有效地增强传热。增加水流速度的强化传热方法并没有实施在热阻最大的环节。通常水—固体—油的传热过程中，热阻较大的应该是油侧的对流换热热阻，所以应该在油侧强化传热而不是水侧。

## 二、简答题（每题 9 分，共 45 分）

1. 什么叫非稳态导热过程？为什么初始温度均匀的物体在表面突然有传热（加热或冷却）时，表面温度分布曲线比物体内部温度分布曲线倾斜得厉害？

**【注释】**考查非稳态导热的过程，课后思考题原题，见 P79。

导热问题的温度场随时间变化的导热称为

非稳态导热。当温度均匀的物体表面突然有传热时，表面的传热温差大，表面的温度就立刻发生了变化，表面温度变化后，温度变化逐渐深入物体内部，需要一定时间中心温度才开始变化，所以外部温度变化曲线比内部倾斜。

2.试证明，在管内单相流体对流换热的热充分发展段，当壁面热流密度恒定时，管内流体与壁面温差沿流动方向为定值。

**【注释】**考查热充分发展段的定义及高等数学变换。

在热充分发展段，由 $t_w$ 及 $t_f$ 与管内任意点的温度 $t(x, t)$ 组成的无量纲温度：

$$\frac{t_w - t}{t_w - t_f}$$

随管长保持不变，得：

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{t_w - t}{t_w - t_f} \right) = 0$$



当 $r = R$ （管壁）时得到常数

$$\frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{t_w - t}{t_w - t_f} \right)_{r=R} = \frac{-\left(\frac{\partial t}{\partial r}\right)}{t_w - t_f} = \text{const}$$

3.管内强迫对流传热时,短管修正系数 $c_l \geq 1$ ,  
弯管修正系数 $c_R \geq 1$ , 流体横掠管束时管排  
修正系数 $c_z \leq 1$ , 为什么?

**【注释】**考查特征关联式中的修正系数的理解, 课后思考题原题, 见课本 P163。

短管: 入口段对 $h$ 的影响, 强化了传热。

弯管: 二次环流强化了传热。故上述两者修正系数大于等于 1。

管排: 由于尾流的涡旋作用强化传热, 使后排的表面传热系数大于前排, 管排数达到一定数量后, 表面传热系数达到稳定值, 所以管排数较少时, 平均表面传热系数较小, 修正系数小于等于 1。

4.如图 2 所示，一等腰 $V$ 形长槽，由整块材料机械加工而成，槽宽为 $W$ ， $V$ 形槽顶角为 $2\theta$ ，设槽内两个表面  $A_1$ 、 $A_2$  均为漫射表面，求  $X_{1,2}$ 。

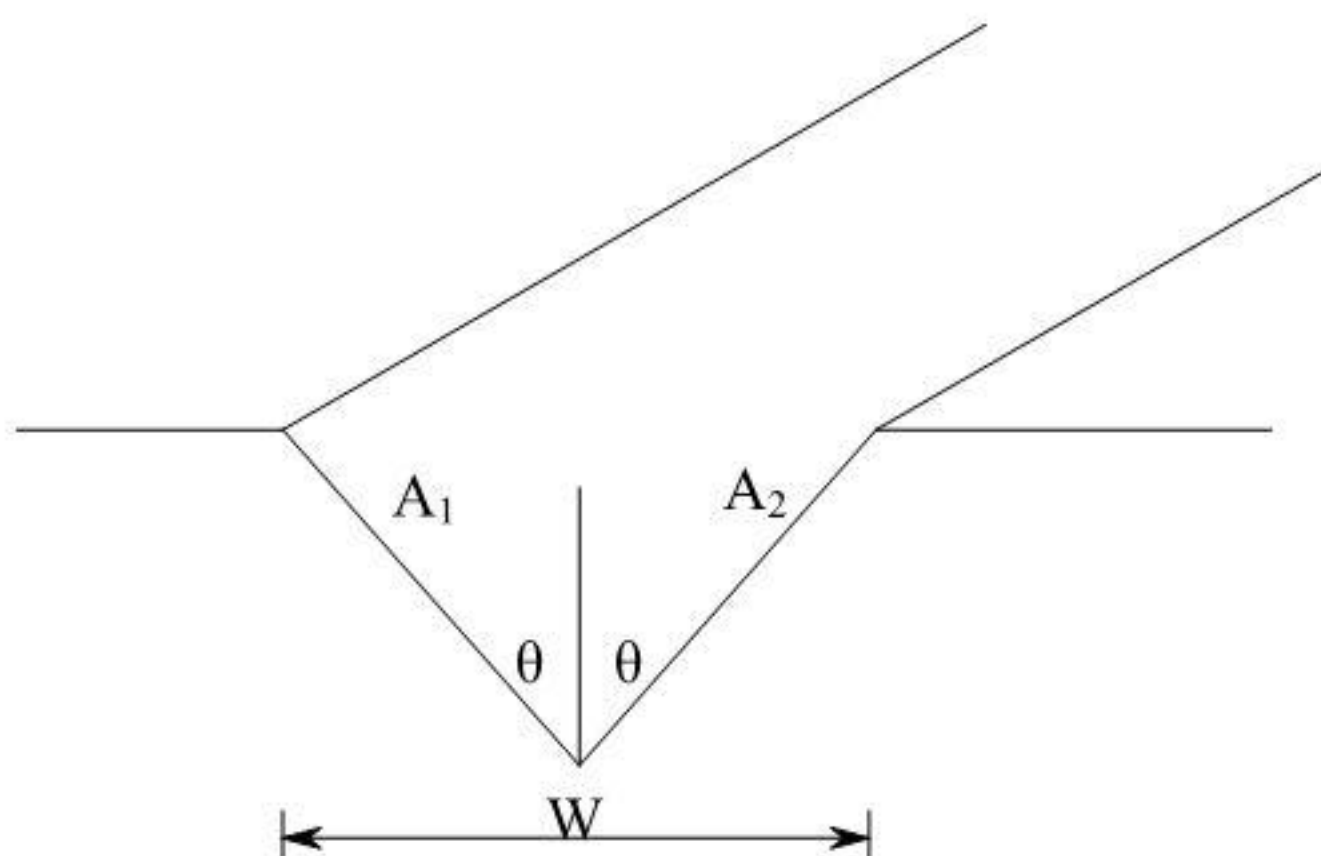
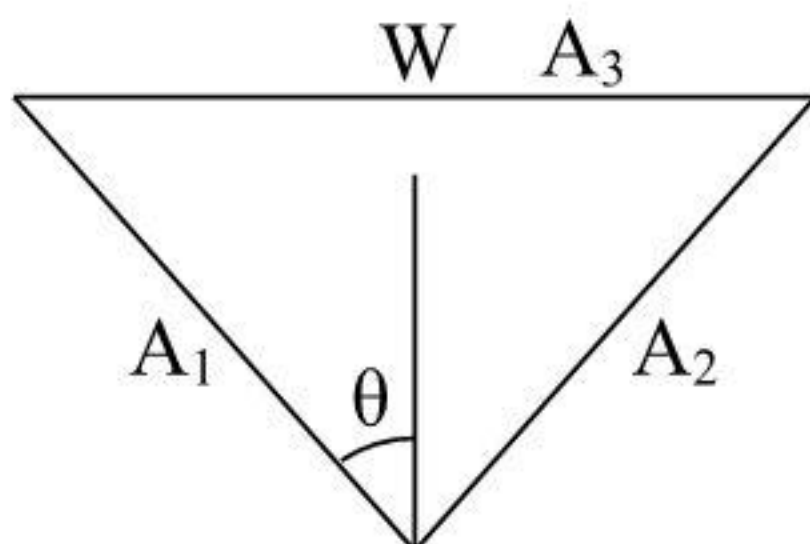


图2 第4题图

**【注释】** 考查角系数的性质，每年必考。

如图在 $V$ 形面上补一面，记做  $A_3$ 。



由三角关系可知， $A_1$ 、 $A_2$ 面的边长为：

$$L = \frac{W}{2 \sin \theta}$$

由角系数互换性可知：

$$A_1 X_{1,3} = A_3 X_{3,1} \quad X_{3,1} = 1/2 \quad \text{即 } X_{1,3} \\ = \sin \theta$$

由角系数完整性可得：

$$X_{1,2} + X_{1,3} = 1$$

故

$$X_{1,2} = 1 - \sin \theta$$

5.如图 3 所示，试用微元体热平衡法推导内热源强度为 $\dot{\Phi}$ 的二维稳态导热恒热流（热流密度为 $q_w$ ）边界节点的有限差分方程。设（ $\Delta y = \Delta x$ ）。

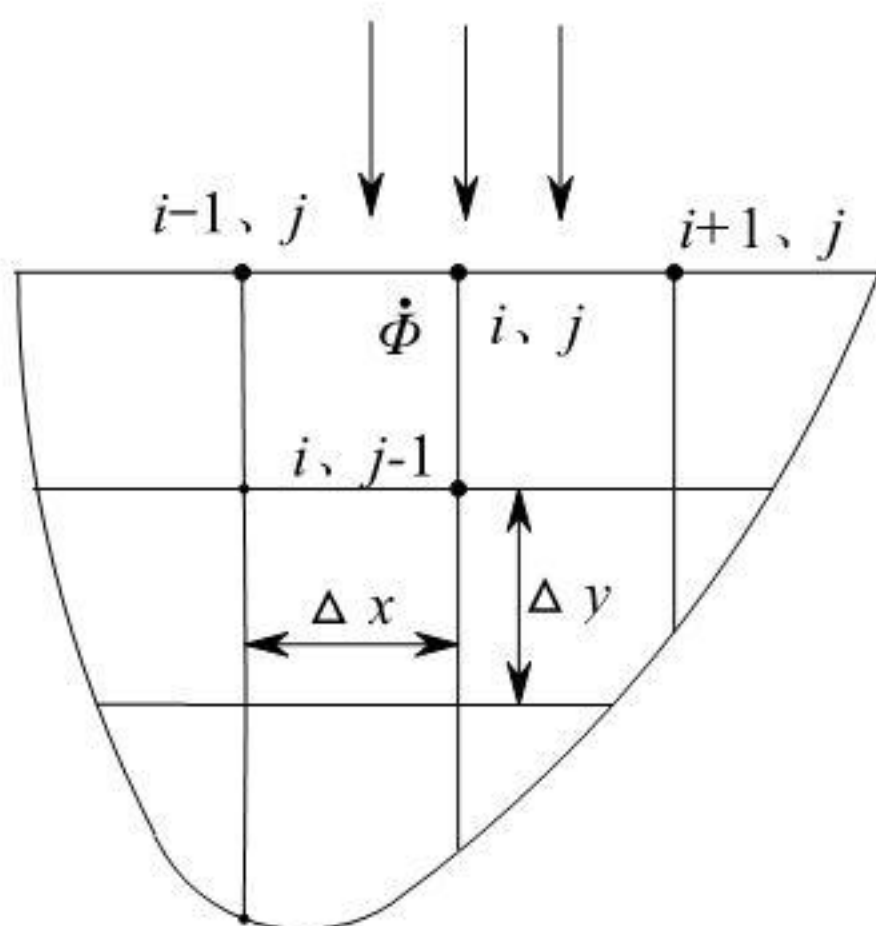


图3 第5题图

**【注释】**考查二维稳态导热边界节点有限差分方程的推导过程，每年必有一道涉及该知识点的题目。

取热平衡单元，根据热平衡有：

$$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4 + \frac{\Delta x^2}{2} \cdot \dot{\Phi} = 0$$

$$\Phi_1 = q_w \cdot \Delta x$$

$$\Phi_2 = \lambda \frac{t_{i-1,j} - t_{i,j}}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta y}{2} = \frac{\lambda}{2} (t_{i-1,j} - t_{i,j})$$

$$\Phi_3 = \lambda \frac{t_{i+1,j} - t_{i,j}}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta y}{2} = \frac{\lambda}{2} (t_{i+1,j} - t_{i,j})$$

$$\Phi_4 = \lambda \frac{t_{i,j-1} - t_{i,j}}{\Delta y} \cdot \Delta x = \lambda(t_{i,j-1} - t_{i,j})$$

代入热平衡方程，得：

$$\begin{aligned} q_w \cdot \Delta x + \frac{\lambda}{2}(t_{i-1,j} - t_{i,j}) + \frac{\lambda}{2}(t_{i+1,j} - t_{i,j}) \\ + \lambda(t_{i,j-1} - t_{i,j}) + \frac{\Delta x^2}{2} \cdot \dot{\Phi} \\ = 0 \end{aligned}$$

整理得：

$$\begin{aligned} t_{i-1,j} + t_{i+1,j} + 2t_{i,j-1} - 4t_{i,j} + \frac{2q_w \Delta x}{\lambda} \\ + \frac{\Delta x^2}{\lambda} \cdot \dot{\Phi} = 0 \end{aligned}$$

### 三、计算题

1.在某一产品的制造过程中，厚度为 $1.0mm$ 的基板上紧贴了一层透明的薄膜，其厚度为 $0.2mm$ ，薄膜表面上有一股冷却气流流过，其温度为 $20^{\circ}C$ ，对流换热表面传热系数为 $40 W/(m^2 \cdot K)$ 。同时，有一股辐射能够透过薄膜投射到薄膜与基板的结合面上。基板

的另一面维持在温度 $t_1 = 30^{\circ}\text{C}$ 。生成工艺要求薄膜与基板结合面的温度 $t_0 = 60^{\circ}\text{C}$ 。试确定辐射热流密度 $q$ 应该为多大？已知薄膜的导热系数 $\lambda_1 = 0.02 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，基板的导热系数 $\lambda_1 = 0.06 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。投射到结合面上的辐射热全部为接合面所吸收。薄膜对 $60^{\circ}\text{C}$ 的热辐射是不透明的。（10 分）

**【注释】**考查平壁的导热热流量的计算式，本题中最关键的是读懂题目，写出正确的热流关系式。

由题意列稳态热流关系式： $q_4 = q_1 + q_2 + q_3$   
 $q_2 = q_3$

设薄膜表层温度为 $t$ ，由 $q_2 = q_3$ ，得：

$$h(t - 20) = \frac{60 - t}{\frac{\delta}{\lambda}}$$

代入数值得： $t = 48.57^{\circ}\text{C}$

代入得： $q_2 = q_3 = 1142.8 \text{ W} / \text{m}^2$



$$q_1 = \frac{t_0 - t_1}{\frac{\delta}{\lambda_s}}$$

代入数据  $q_1 = 1800 \text{ W} / \text{m}^2$

$$\begin{aligned} \text{故 } q_4 &= 1800 + 1142.8 + 1142.8 \\ &= 4085.6 \text{ W} / \text{m}^2 \end{aligned}$$

2.一单程型管壳式油冷却器，水的进、出口温度分别为  $20^\circ\text{C}$  和  $65.6^\circ\text{C}$ ，质量流量为  $1.72 \text{ kg/s}$ 。油的进、出口温度分别为  $120^\circ\text{C}$  和  $40^\circ\text{C}$ ，比热  $C_{po} = 1.84 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$ ，水的比热  $C_{pw} = 4.17 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$ 。已知该冷却器的传热系数  $K = 250 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，试求该冷却器需要的传热面积。（15 分）

**【注释】**考查了换热器的换热量和对数平均传热温差的计算，是一道综合题。

水的换热量为：

$$\begin{aligned} Q_w &= C_{pw} m \Delta t_2 = 4170 \times 1.72 \times 45.6 \\ &= 327061 \text{ W} \end{aligned}$$

对数平均温差为:

$$\begin{aligned}\Delta t' &= t_1' - t_2'' = 120 - 65.6 \\ &= 54.4^{\circ}\text{C} \quad \Delta t'' = t_1'' - t_2' \\ &= 40 - 20 = 20^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} = 34.4^{\circ}\text{C}$$

换热器的换热量为:  $Q_w = Q_F = KA \Delta t$  故:

$$A = \frac{Q_F}{K \Delta t} = \frac{327061}{250 \times 34.4} = 38\text{m}^2$$

3.钢球与空气间的表面传热系数可通过试验法测得: 一个直径 $D = 50\text{mm}$ 、导热系数 $\lambda = 85\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , 热扩散率 $\alpha = 2.95 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ , 初始温度的钢球置于 $35^{\circ}\text{C}$ 的空气中, 经过 20 分钟后, 测得钢球表面的温度为 $132.5^{\circ}\text{C}$ 。试求钢球与空气之间的表面传热系数 $h$ 。(15 分)

**【注释】**先假设符合集总参数法的使用条件,

最后再进行验证，这样的思路很重要。要掌握对公式 3-4 的灵活运用。

假设本题符合集总参数法的条件。

$$\frac{\theta}{\theta_0} = \exp\left(-\frac{hF}{\rho c V} \tau\right)$$
$$a = \frac{\lambda}{\rho c} \quad \rho c = \frac{\lambda}{a}$$

代入数值，得：

$$h = \frac{-\rho c V \ln \frac{\theta}{\theta_0}}{\tau F} = 20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$Bi = \frac{hl}{\lambda} = \frac{20 \times 0.025}{85} = 5.88 \times 10^{-3} < 0.1$$

故符合集总参数法的条件  $h$  即为所求。

4. 现用模型来研究某变压器油冷却系统的性能。假如基本的传热机理是圆管内强迫对流传热，变压器原耗散  $100 \text{ kW}$  的热流量。变压器油的  $\lambda = 131.5 \times 10^{-3} \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$   $Pr = 80$ 。模型的直径为  $0.5 \text{ cm}$ ，线性尺寸为变压器的  $1/20$ ，表面积为变压器的  $1/400$ 。模型

和变压器中的平均温差相同，模型用乙二醇作为流体，雷诺数 $Re = 2200$ 。乙二醇的 $\lambda = 256 \times 10^{-3} W/(m \cdot ^\circ C)$   $Pr = 80$   $\nu = 15.13 \times 10^{-6} m^2/s$ 。试确定模型中的能耗率（散热热流量）和流速。（15 分）

**【注释】**考查相似的性质，特征数的表达式，都是常考的知识点。

$$Nu = Nu_m$$

$$h = \frac{\lambda Nu}{d_i} \quad h_m = \frac{\lambda_m}{d_m} Nu_m$$

$$\frac{h_m}{h} = \frac{\lambda_m d_i}{\lambda d_m}$$

$$\Phi = hA \Delta t \quad \Phi_m = h_m A_m \Delta t$$

$$\frac{\Phi_m}{\Phi} = \frac{h_m A_m}{hA} = \frac{\lambda_m d_i A_m}{\lambda d_m A}$$

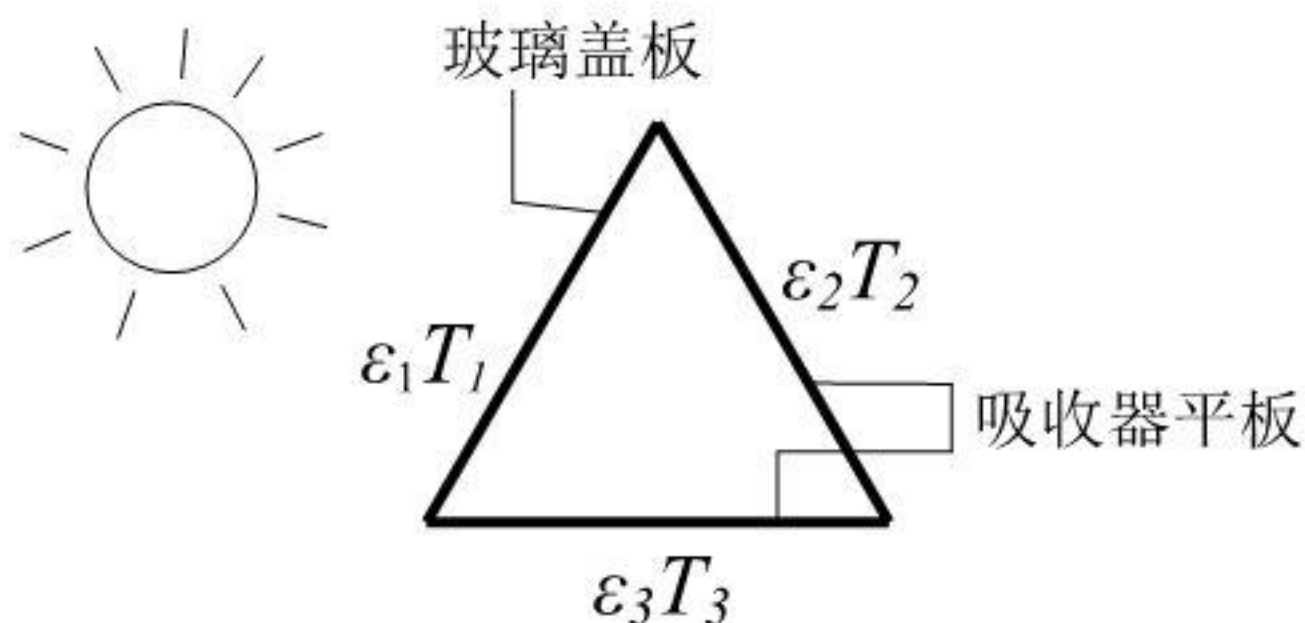
$$= \frac{256 \times 10^{-3}}{131.5 \times 10^{-3}} \times 20 \times \frac{1}{400} = 0.09734$$

$$\Phi_m = 0.09734 \Phi = 9.734 kW$$

$$Re_m = \frac{u_m d_m}{\nu} = 2200$$

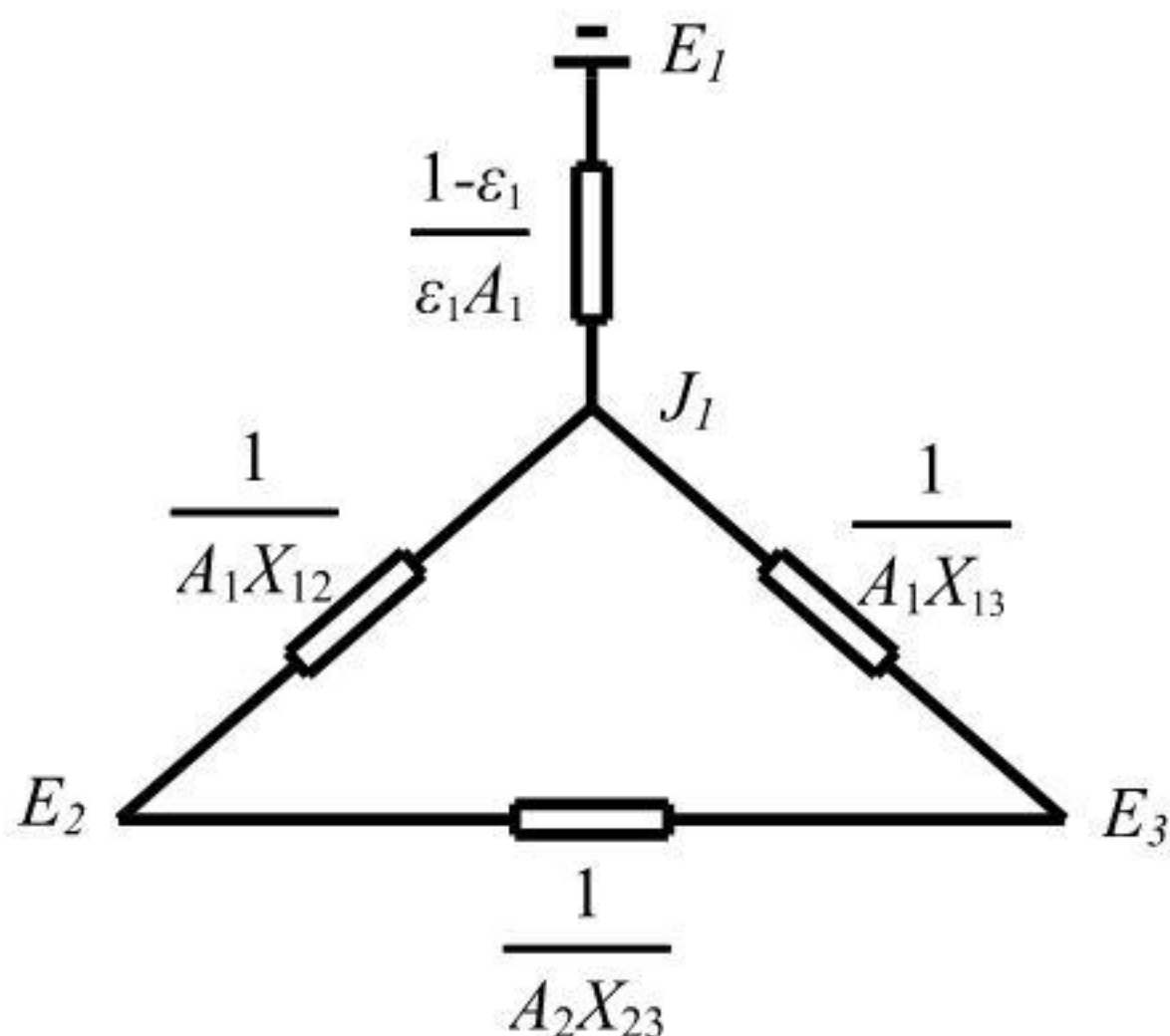
$$u_m = 2200 \frac{v}{d_m} = 2200 \times \frac{0.868 \times 10^{-5}}{0.5 \times 10^{-2}} \\ = 3.82 \text{ m / s}$$

5.如图 4 所示，一个由长导管构成的太阳能收集器，空气在管内吹过，导管的横截面形成一个边长为 $1\text{m}$ 的等边三角形，收集器的一个侧面由黑度 $\varepsilon_1 = 0.9$ 的玻璃盖板构成，而其他两侧面是黑度 $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 1.0$ 的吸收器平板。工作时，已知表面温度 $T_1 = 25^\circ\text{C}$ ， $T_2 = 60^\circ\text{C}$ ， $T_3 = 70^\circ\text{C}$ 。对于单位长度的收集器，由于玻璃盖板与吸收器平板的辐射能交换所造成玻璃盖板的净辐射热流失多少？（15分）



【注释】该题的关键就是画出正确的热阻网络图（注意 $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 1.0$ ），根据网络图写出正确的节点方程。

由题意可知辐射网络图为：



由题可知： $X_{1,2} = X_{1,3} = 1/2$       列节点方程

式得：

$$\frac{E_{b2} - J_1}{\frac{1}{A_1 X_{1,2}}} + \frac{E_{b3} - J_1}{\frac{1}{A_1 X_{1,3}}} + \frac{E_{b1} - J_1}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}} = 0$$



$$E_{b_1} = \sigma_b T_1^4 \quad E_{b_2} = \sigma_b T_2^4 \quad E_{b_3} = \sigma_b T_3^4$$

代入数值的解得：  $J_1 = 476.53 \text{ W/m}^2$ ， 故：

$$\Phi = \frac{J_1 - E_{b_1}}{\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}} = 246.51 \text{ W}$$