

SJ/Z

中华人民共和国电子工业部指导性技术文件

SJ/Z 2808 — 87

印制板组装件热设计



中国热管理网
WWW.REGUANLI.COM

1987 — 06 — 05 发布

<https://www.reguanli.com>

1988 — 01 — 01 实施

中华人民共和国电子工业部 批准

印刷板组装件热设计

本文件适用于电子设备中印刷板组装件，在自然冷却和强迫风冷状态下的热设计。

1 术语、符号

1.1 术语

1.1.1 热阻

热流量在传递过程中所遇到的阻力（即温差除以热流量）。

1.1.2 方阻

印刷板单位方格上的热阻。

1.1.3 定性温度

对流换热计算时，确定冷却空气物理性质参数的温度。

1.1.4 特征尺寸

在各无量纲传热准则数中，对换热过程有决定性影响的换热面的几何尺寸。

1.1.5 当量直径

四倍的风道横截面面积除以气流润湿边周长。

1.2 符号

B ——印刷板的宽度，m；

C_p ——空气定压比热容， $\text{KJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ；

G ——空气质量流速， $\text{kg}/\text{s} \cdot \text{m}^2$ ；

h ——对流换热系数， $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ；

J ——考尔本数，无量纲；

L ——印刷板或导热条、板的长度，m；

Pr ——空气普朗特数，无量纲；

Q ——元器件的耗散功率（或热量），W；

Re ——雷诺数，无量纲；

R_{sq} ——印刷板方阻， $^\circ\text{C}/\text{W}$ ；

R_{sqb} ——印刷板基材方阻， $^\circ\text{C}/\text{W}$ ；

R_{sqc} ——印刷线（铜箔）方阻， $^\circ\text{C}/\text{W}$ ；

R_{ij} ——节点 i 与节点 j 之间的导热热阻， $^\circ\text{C}$ ；

t ——印刷板组装件上任一点的温度， $^\circ\text{C}$ ；

t_e ——印刷板组装件边缘的温度， $^\circ\text{C}$ ；

Δt ——印刷板组装件上任一点的温升 $\Delta t = t - t_e$ ， $^\circ\text{C}$ ；

ψ ——印刷板基材表面印制线（铜箔）所覆盖面积的百分数（又称印刷板常

数)，无量纲。

2 印刷板散热的基本形式

2.1 金属夹芯印刷板

在印刷板的基材中间热压粘合金属导热层，见图 1。

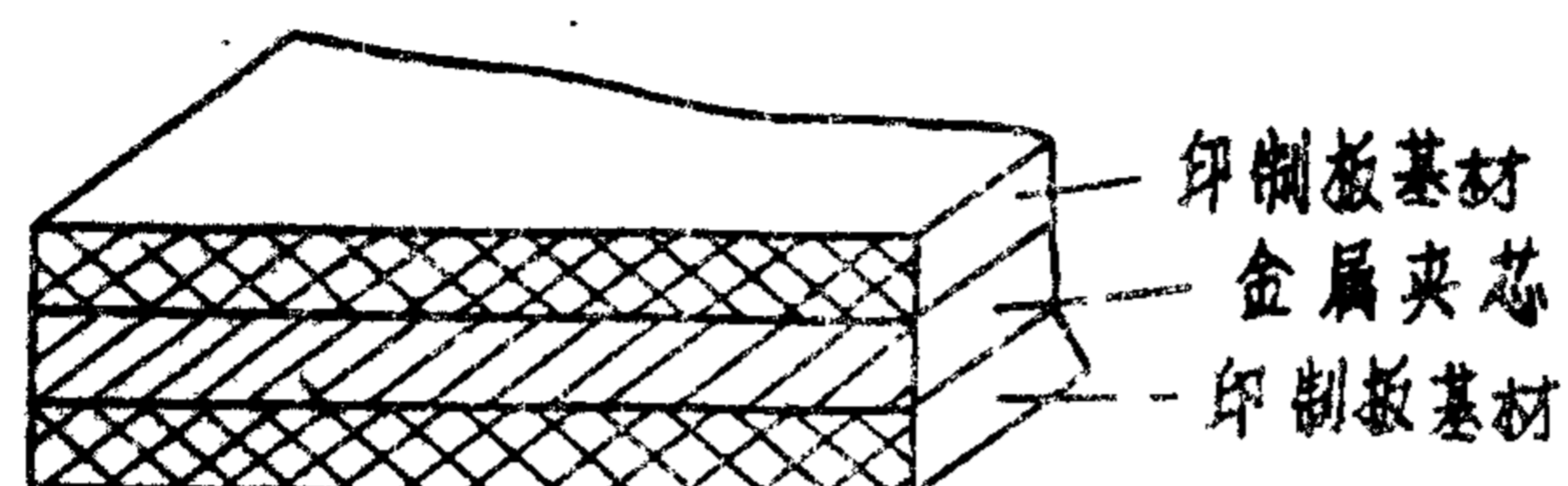


图 1 金属夹芯印刷板示意图

2.2 导热板印刷板

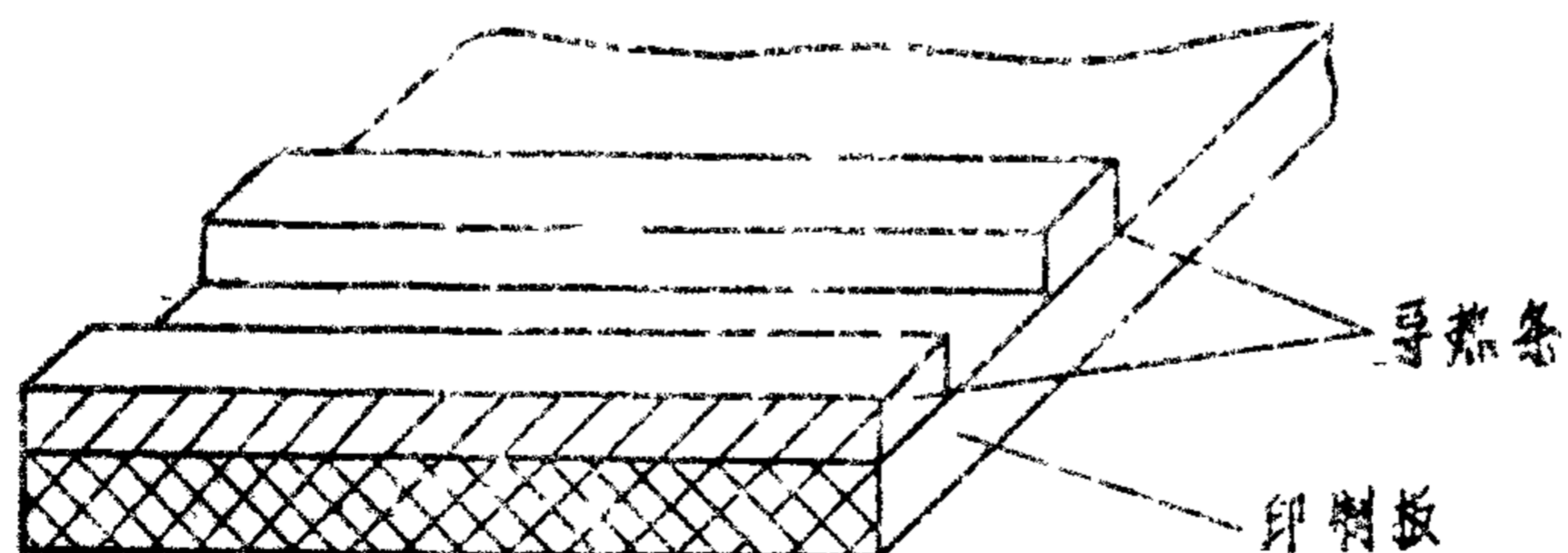
在印刷板的表面粘接金属导热板，见图 2。



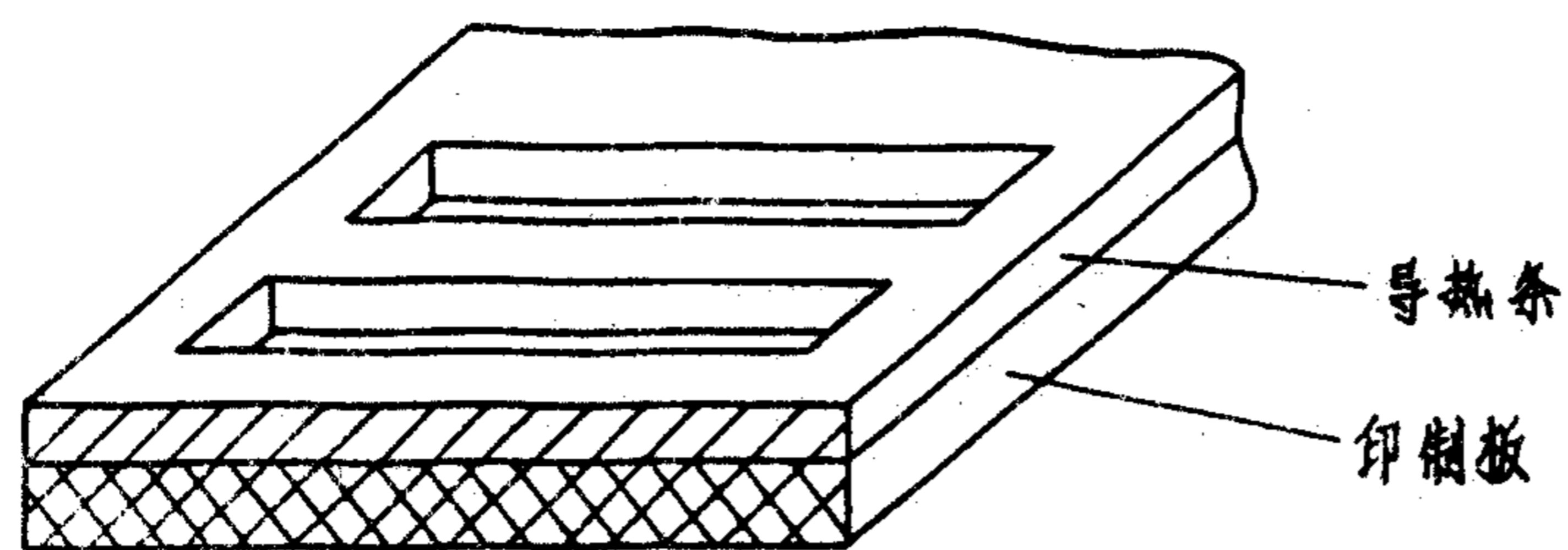
图 2 导热板印制板示意图

2.3 导热条印刷板

在印制板的表面粘接金属导热条，见图 3。



(a)



(b)

图3 导热条印制板示意图

2.4 空芯印制板

由两块印制板背靠形成密封冷却通道，见图4。

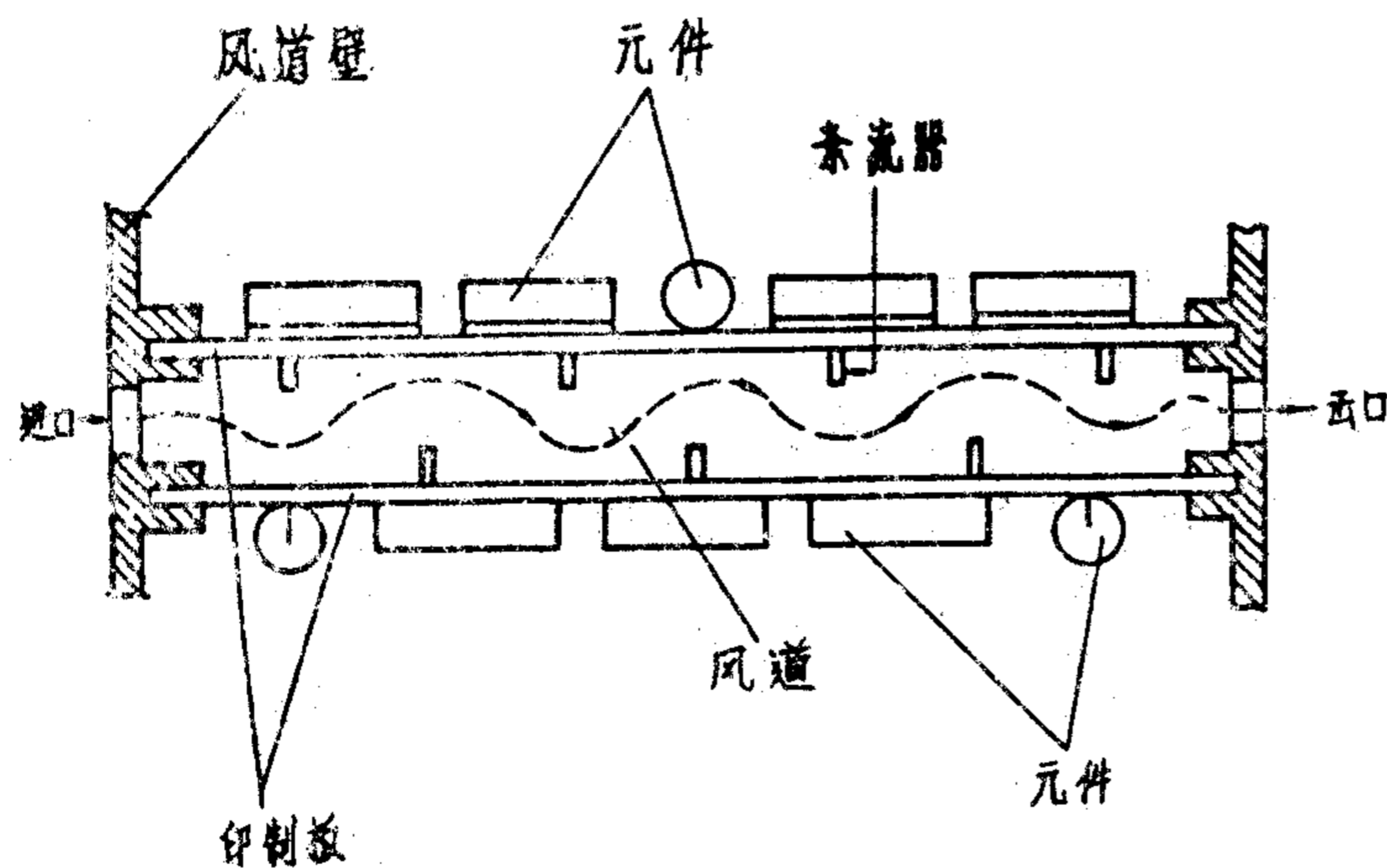


图4 空芯印制板示意图

3 热设计要求

3.1 结构设计的原则

- 3.1.1 印刷板的设计应符合SJ/Z 1675 - 81《印制线路板设计》的规定。
- 3.1.2 印制板的外形尺寸应符合SJ2313 - 83《印制线路板外形尺寸系列》的规定。
- 3.1.3 印制板的质量应符合SJ202 - 81《印制板通用技术要求和试验方法》的规定。
- 3.1.4 印制导线在不影响电气性能的基础上,应尽量采用利于传热的大面积铜箔。

3.1.5 印制板散热用的导热板（层）、条，应采用导热性能好的金属（如铝、铜或铁等）材料，其技术要求应符合有关材料产品标准的规定。

3.1.6 导热板（层）、条与印制板的粘接强度或抗剥强度，应符合SJ202中第3章的规定。

3.1.7 导热板（层）、条与印制板间的绝缘电阻、耐压，应符合SJ/Z1675中第5.3.3、5.3.4款的规定。

3.1.8 印制板组装件的结构，应根据散热边界条件和元器件的安装要求进行设计。并保证在工作状态下，其温升和所装元器件的表面温度不高于可靠性所规定的允许使用值。

3.1.9 印制板组装件的结构设计应与电气设计、机械设计同时进行，并保证传热路径上的热阻最小。

3.1.10 印制板组装件的结构，应符合设备或系统所规定尺寸、元器件安装、重量和成本的要求。

3.1.11 印制板组装件强迫风冷通道的设计，应满足风阻特性的要求。当不允许空气直接冷却元器件时，其通道结构应采取密封措施。

3.2 元器件的热安装

3.2.1 热敏、耐热性差的元器件应安装在空气气流的上游（入口处），耗散功率大的、耐热性好的元器件应安装在空气气流的下游（出口处）。

3.2.2 在不影响电气性能的条件下，元器件的布设应使印制板上的热负载均匀分布。半导体集成电路应尽量安装在低温区域内。

3.2.3 元器件的安装应采用气流阻力小的排列形式。元器件与印制板之间的架空间隙，应控制在3~5mm的范围内。

3.2.4 元器件的安装及其引线的焊接，应设有消除热应力或热应变的结构措施。

3.2.4.1 消除轴向引线的元器件（如电阻、电容或半导体二极管等）的热应力，可采用下列安装形式（见图5）：

a. 元器件的引线在焊接时，至少应留有2.5mm长的热应变量，见图5（a）所示；

b. 元器件的引线在安装空间较小时，应采取弧形或环形的应变结构，见图5（b）所示。

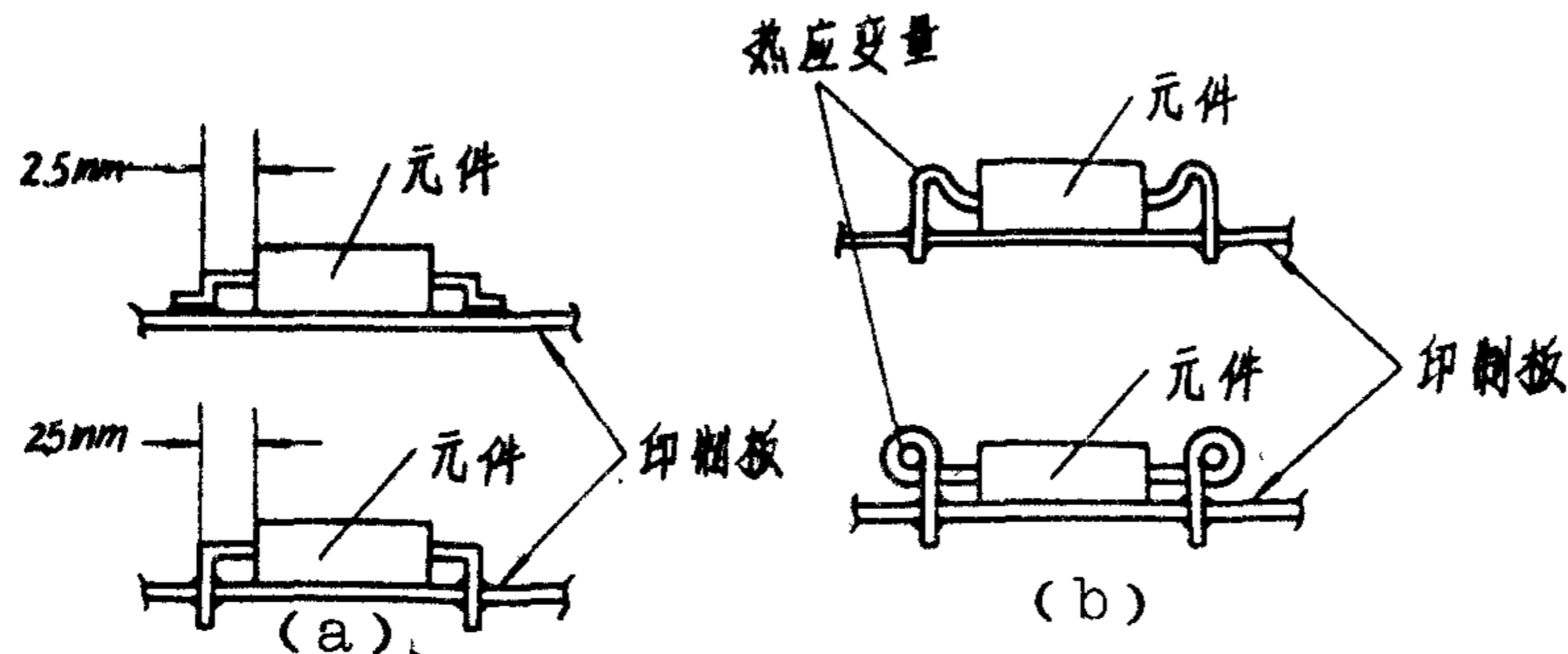


图5 轴向引线的元器件热应力释放的示意图

3.2.4.2 消除功率器件（如晶体管、集成器件等）的热应力，可根据耗散功率的大小采用下列安装形式（见图 6）：

- a. 利用器件的引线，将器件架空安装在印制板上，见图 6（a）所示；
- b. 在器件与印制板间衬垫绝缘导热层或散热器，见图 6（b）所示；
- c. 利用器件的引线长度，将器件倒装于印制板上，见图 6（c）所示；
- d. 将器件的引线折弯 90°，使器件侧装于散热支撑垫上，见图 6（d）所示。

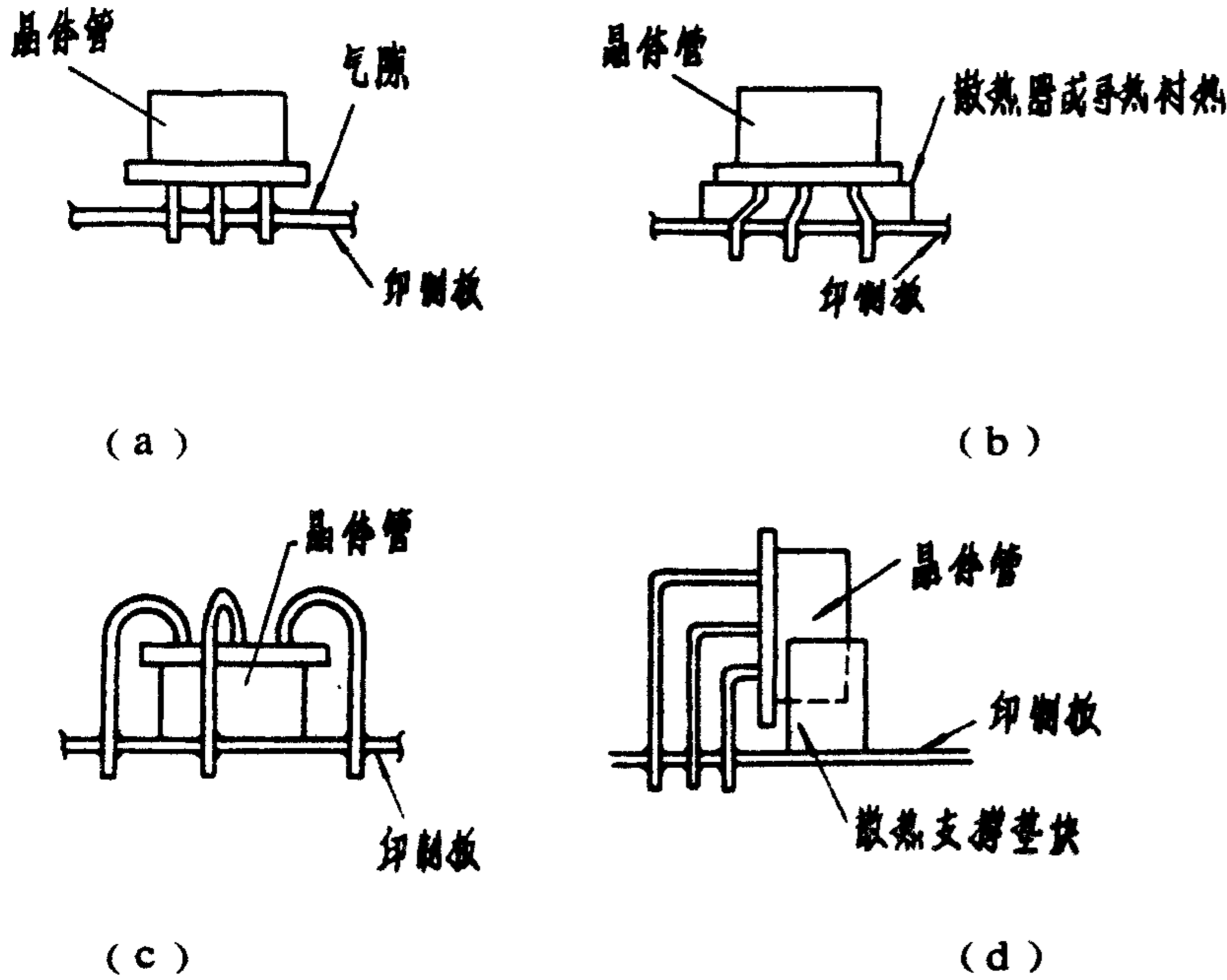


图 6 功率晶体管消除热应力的安装示意图

3.2.4.3 消除双列直插式集成电路的热应力，可采用下列安装形式（见图 7）：

a. 采用能够复原和屈服的导热粘合剂，将功率密度较高的集成电路直接粘接在印制板的导热条上，见图 7（a）所示。为获得足够的热应变量，粘合界面的厚度应控制在 0.13~0.52 mm 的范围内。

b. 功率密度小于 0.2W 的集成电路，可直接插焊在印制板或印制板的导热条上，见图 7（b）、（c）所示。为获得足够的热应变量，接触界面的间隙应控制在 0.3mm 以下。

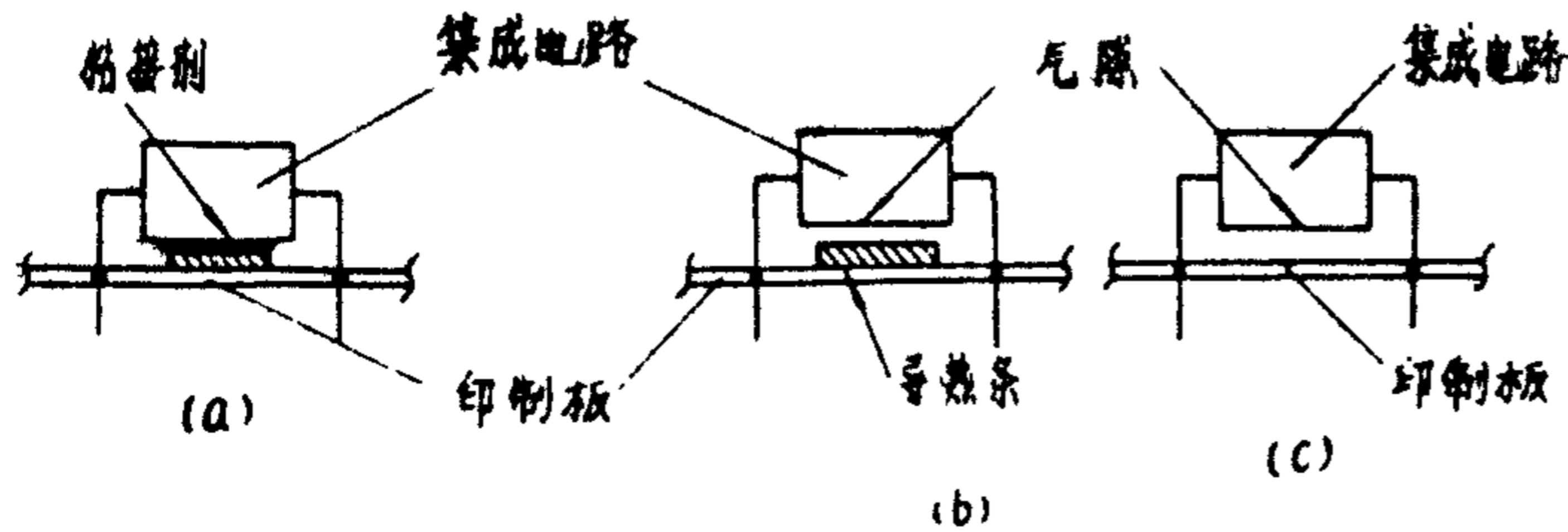


图 7 双列直接式集成电路消除热应力安装示意图

4 热设计计算

4.1 确定基本参数

进行印制板组装件热设计计算时，首先应确定下列各项参数：

- a. 元器件的耗散功率；
- b. 元器件表面允许使用的最高温度；
- c. 印制板的结构尺寸及所用的材料；
- d. 金属导热板（层）、条的结构尺寸及所用的材料；
- e. 印制板组装件及元器件周围的环境温度；
- f. 冷却空气的物理性质参数。

4.2 印制板的热计算

根据印制板上的热负载，首先计算出印制板的方阻，然后按不同的散热边界条件，计算印制板上任一点至印制板组装件边缘的最大温升。

4.2.1 方阻的计算

印制板的传热性能，通常采用每单位方格的方阻（热阻）来表示。其计算公式如下：

$$R_{sq} = R_{sqb} - \psi (R_{sqb} - R_{sqc}) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$$R_{sqb} = \frac{1}{\lambda_b \delta_b} \dots\dots\dots (2)$$

其中： λ_b 为基材的导热系数， $W/m \cdot ^\circ C$ ； δ_b 为基材的厚度， m 。

$$R_{sqc} = \frac{1}{\lambda_c \delta_c} \dots\dots\dots (3)$$

其中： λ_c 为印制线路铜箔的导热系数， $W/m \cdot ^\circ C$ ； δ_c 为印制线路的厚度， m 。

$$\psi = \frac{S_c}{S_b} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

其中： S_c 为印制线路覆盖的面积， m^2 ； S_b 为基材覆盖面的表面积 m^2 。

4.2.2 温升的计算

4.2.2.1 当印制板上的热负载为均匀分布时，印制板上任一点至印制板组装件边缘的最大温升 Δt_{max} ，按下列不同的散热边界条件进行计算：

- a. 两对边不散热，另两对边散热，表面无对流换热（见图 8（a））。

$$\Delta t_{max} = \frac{R_{sq} QL}{8 B} \dots\dots\dots (5)$$

式中： R_{sq} 由公式（1）给出。

- b. 两对边不散热，另两对边散热，表面有对流换热（见图 8（b））。

$$\Delta t_{\max} = \frac{Q}{2hLB} \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh \left[(2hR_{sq})^{\frac{1}{2}} \cdot L/2 \right]} \right\} \dots (6)$$

式中： R_{sq} 由公式(1)给出； h 由公式(14)给出。

c. 四边散热，表面无对流换热（见图8(c)）。

$$\Delta t_{\max} = \frac{QBR_{sq}}{8L} \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh \left[(\pi/2) (L/B) \right]} \right\} \dots (7)$$

式中： R_{sq} 由公式(1)给出。

d. 四边散热，表面有对流换热（见图8(d)）。

$$\Delta t_{\max} = \frac{Q}{2hLB} [1 - 0.785 (E + F)] \dots (8)$$

式中：

$$E = \frac{1}{\cosh \left\{ [2hR_{sq} + (\pi/L)^2]^{\frac{1}{2}} \cdot B/2 \right\}} \dots (9)$$

$$F = \frac{1}{\cosh \left\{ [2hR_{sq} + (\pi/B)^2]^{\frac{1}{2}} \cdot L/2 \right\}} \dots (10)$$

其中： R_{sq} 由公式(1)给出； h 由公式(14)给出。

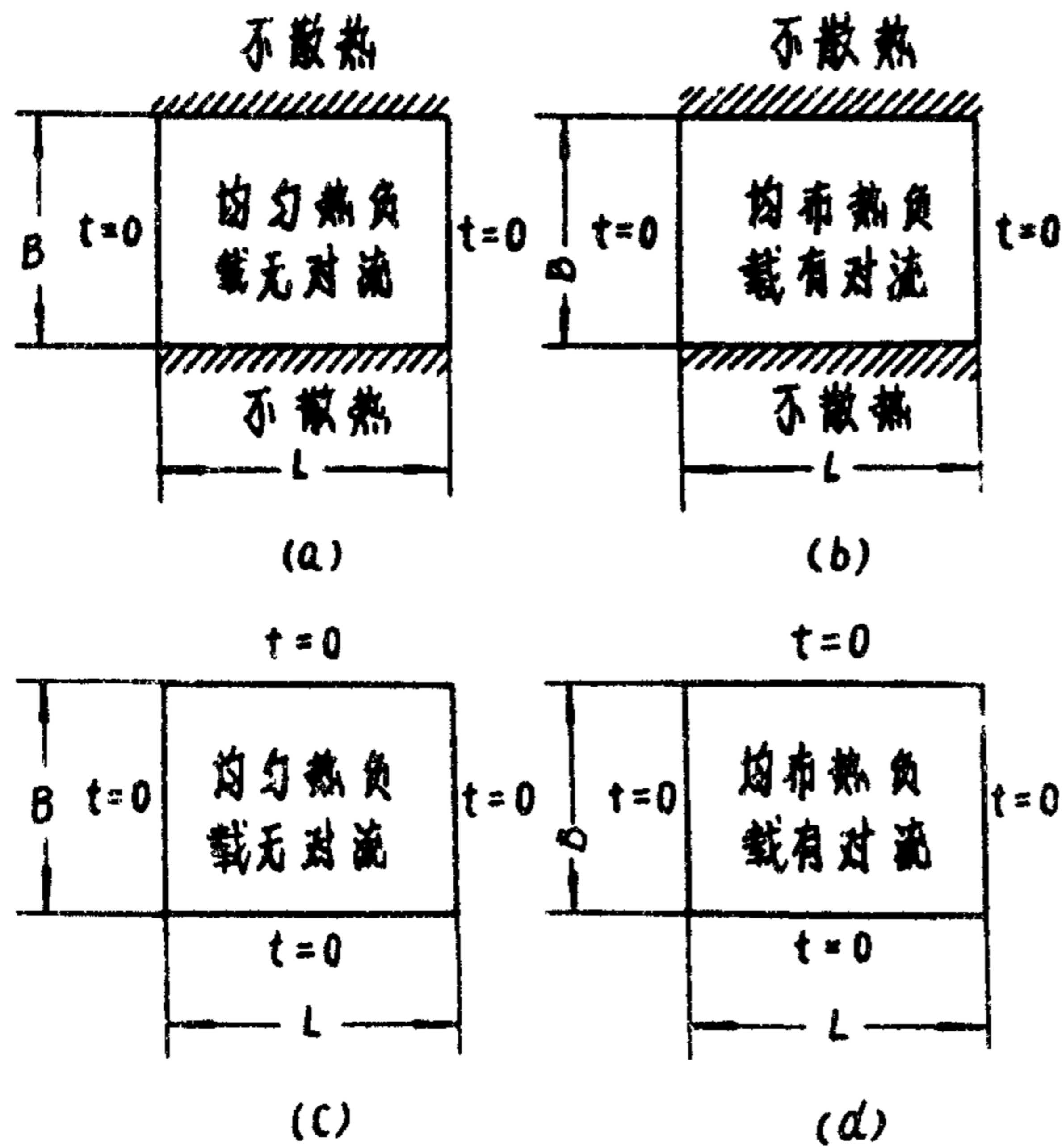


图 8

4.2.2.2 当印制板上的热负载为非均匀分布时，印制板上任一点的温度值，按4.4.2款采用有限差分法进行计算。

4.3 导热条印制板的热计算

元器件的耗散功率经粘合剂、导热条传至印制板组装件的两端，其热量传递主要为导热条一维导热，见图9所示。

4.3.1 当导热条上的热负载为均匀分布时，导热条上任一点至印制板组装件边缘的温升 Δt ，按下式进行计算：

$$\Delta t = t - t_0 = \frac{q}{2\lambda S} \left(\frac{L^2}{4} - X^2 \right) \dots\dots\dots (11)$$

式中：q——导热条单位长度上的热量，W/m；
 S——导热条的横截面面积，m²；
 λ——导热条的导热系数，W/m·℃；
 X——沿导热条长度方向的坐标位置，m。

最大温升 Δt_{max} 发生在X = 0（即L/2）处，其计算公式如下：

$$\Delta t_{max} = \frac{QL}{8\lambda S} \dots\dots\dots (12)$$

式中：Q = qL为导热条上元器件的耗散功率，W。

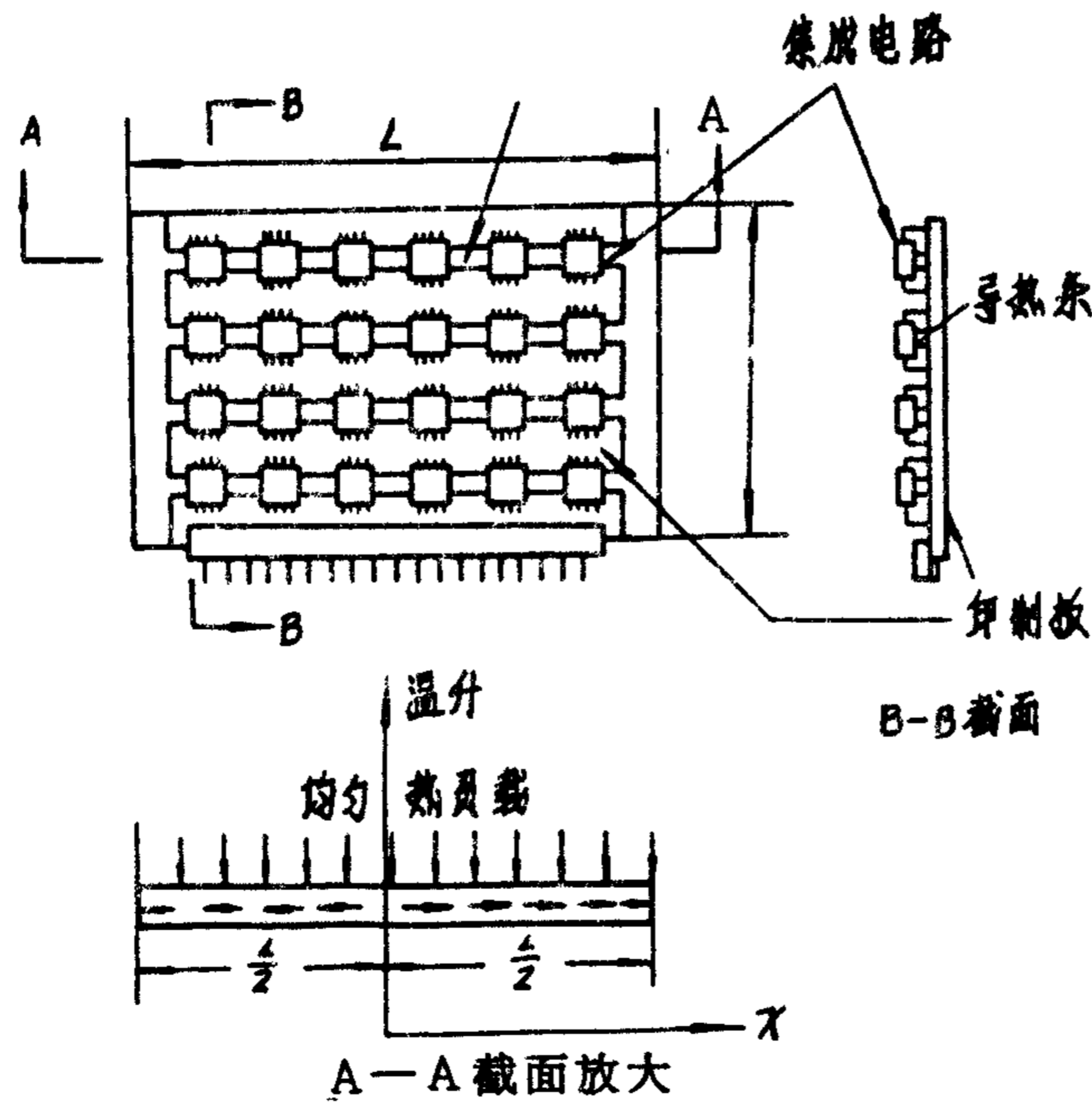


图9

4.3.2 当导热条上的热负载为非均匀分布时，导热条印制板上任一点的温度值，按4.4.2款采用有限差分法进行计算。

4.4 导热板（层）印制板的热计算

印制板上的热负载经粘合剂、导热板（层）传至印制板组装件的两端，其热量主要为导热板（层）一维导热。

4.4.1 当导热板（层）上的热负载为均匀分布时，导热板（层）上任一点至印制板组装件边缘的温升 Δt 、最大温升 Δt_{max} ，根据导热板（层）的横截面面积 S ，分别按公式（11）、（12）进行计算。

4.4.2 当导热板（层）上的热负载为非均匀分布时，根据散热边界条件，采用有限差分法将印制板组装件划分为 n 个网络（见图10（a）），并设每一网络的热量集中于网络的中心（节点）。节点之间，节点与边界之间用导热热阻相连（见图10（b））。按热阻网络建立各节点的热平衡方程，计算各节点上导热板（层）的温度值。

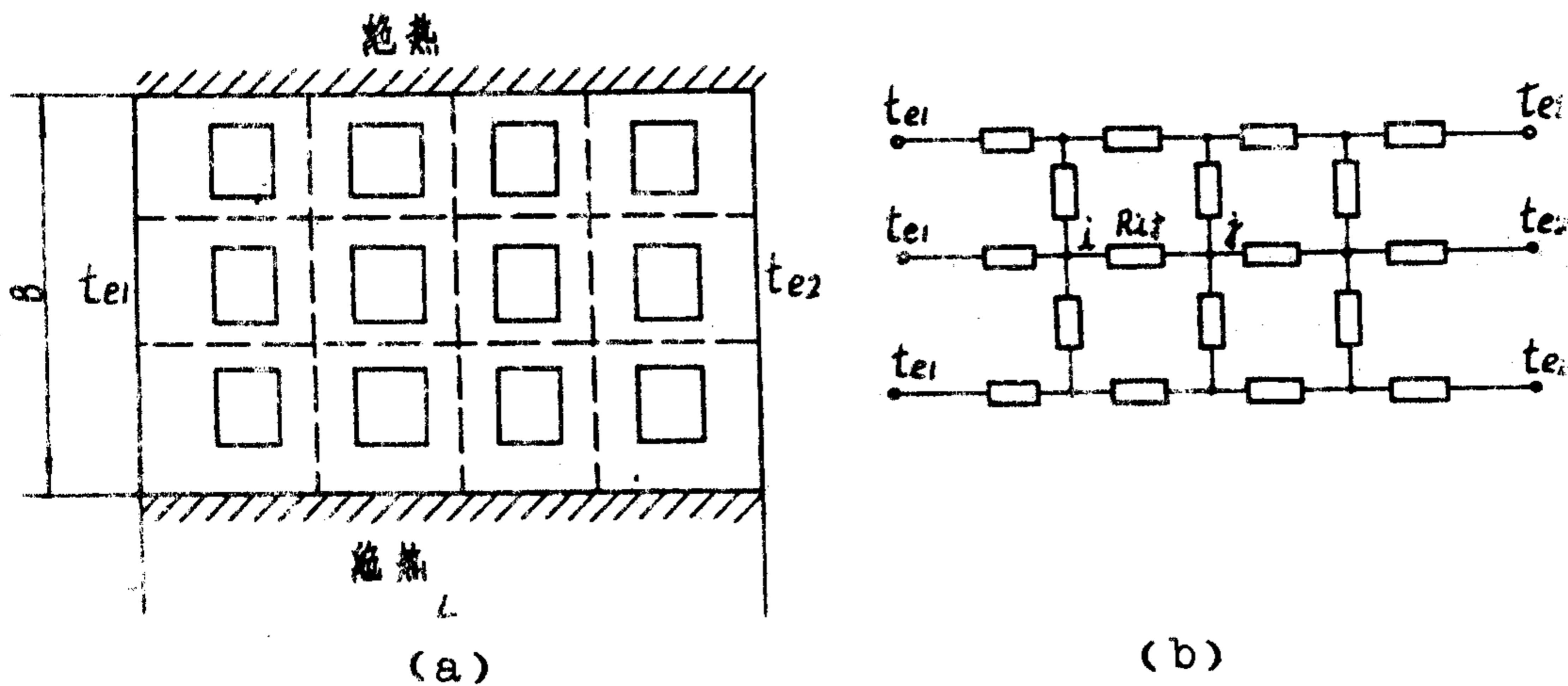


图10

节点之间，节点与边界之间的导热热阻 R_{ij} ，按下式进行计算：

$$R_{ij} = \frac{l_{ij}}{\lambda s_{ij}} \dots\dots\dots (13)$$

式中： l_{ij} ——第 i 节点与第 j 节点之间的导热路径长度， m ；

s_{ij} ——第 i 节点与第 j 节点之间的导热面积， m^2 ；

i, j —— $1, 2, \dots\dots\dots n$ 。

4.5 空芯印制板的换热计算

根据空芯印制板组装件的风道结构和热负载，分别取风道当量直径为特征尺寸、气

流的平均温度为定性温度，计算印制板换热面的对流换热系数。其计算公式如下：

$$h = C_p J G P r \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中： $G = \frac{q_v \cdot \rho}{A}$ ，其中 q_v 为体积流量， m^3/s ； A 为风道横截面积， ρ 为空气密度， kg/m^3 ；

J 与风道结构及雷诺数有关。由公式(15)、(16)、(17)、(18)给出。

4.5.1 当风道长宽比大于8:1时，

$$J = \frac{6}{Re^{0.98}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中： $200 < Re < 1800$ 。

4.5.2 当风道为正方形时，

$$J = \frac{2.7}{Re^{0.95}} \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中： $Re < 1800$ 。

$$J = \frac{0.023}{Re^{0.2}} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中： $10^4 < Re < 1.2 \times 10^5$ 。

4.5.3 当风道中有肋片时，

$$J = \frac{0.27}{Re^{0.7}} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中： $400 < Re < 1500$ 。

附加说明：

本文件由电子部标准所提出；
 本文件由西北电讯工程学院负责起草；
 本文件主要起草人：赵惇爰、曹建华。