



3000 Lakeside Drive, Suite 309S
Bannockburn, IL 60015

IPC-TM-650 试验方法手册

1 范围

1.1 本方法采用石英膨胀计法测定层压材料在-55°C至100°C温度范围的线性热膨胀。无机基材（非层压材料）应当在-55°C至150°C温度范围内测试。

2 适用文件

ASTM-E-228 Standard Test Method for Linear Thermal Expansion of Solid Materials with a Vitreous Silica Dilatometer

ASTM-D-696 Test for Coefficient of Linear Thermal Expansion of Plastics

ASTM-E-831 Test for Linear Thermal Expansion of Solid Materials by Thermodilatometry

ASTM-E-77 Verification and Calibration of Liquid-in-Glass Thermometers

ASTM-E-220 Calibration of Thermocouples by Comparison Techniques

ASTM-E-644 Testing Industrial Resistance Thermometers

3 试样

3.1 覆金属层或未覆金属层的层压材料。

3.2 标准试样尺寸应当为：宽6.35 mm [1/4 in]，长50.8 mm - 101.6 mm [2 in - 4 in]，最小厚度3.2 mm [1/8 in]。端面应当平行磨光。任何尺寸偏差均应该认为会影响加热箱的热梯度、试样的热滞后和试样的弯曲。厚度小于3.2 mm [1/8 in]的试

编号： 2.4.41.1	
名称： 热膨胀系数 石英膨胀计法	
日期： 8/97	版本： A
提出本测试方法的原任务组： N/A	
翻译本测试方法的技术组： IPC TGAsia 7-11CN及CPCA TM-650试验方法工作组	

样，除非能肯定它在试验中保持平直，否则均应当用适当的夹具固定。

4 装置

4.1 管型或推棒型石英膨胀计可测定固体材料长度随温度的变化。温度受控于恒定的加热或冷却速率内。根据记录到的数据可以计算出线性热膨胀和线性热膨胀系数（CTE）。

该装置测定试样和膨胀计石英件之间的热膨胀的差异（图1）。

4.2 试样夹具（管）和探针应当用石英制成，探针接触点应当呈扁平状，或呈半径约为10 mm的圆角。

4.3 加热箱用于均匀地加热和冷却试样。试样温度变化速率应当可以控制，试样温度梯度应当超过0.5°C/cm。

4.4 传感器测量试样和试样夹具间的长度差异，传感器精度至少为 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 。传感器应当有保护装置或被固定，以使温度变化不致影响读数1.0 μm 以上。

4.5 千分尺用于测量试样起始长度 L_0 ，精度至少为 $\pm 25 \mu\text{m}$ 。

4.6 热电偶E、K或T型 用于测量试样温度（E型为镍铬-康铜，K型为镍铬-镍铝，T型为铜-康铜）。

4.7 记录仪或数据记录器 用于收集温度和长度数据。

IPC-TM-650		
编号: 2.4.41.1	名称: 热膨胀系数 石英膨胀计法	日期: 8/97
版本: A		

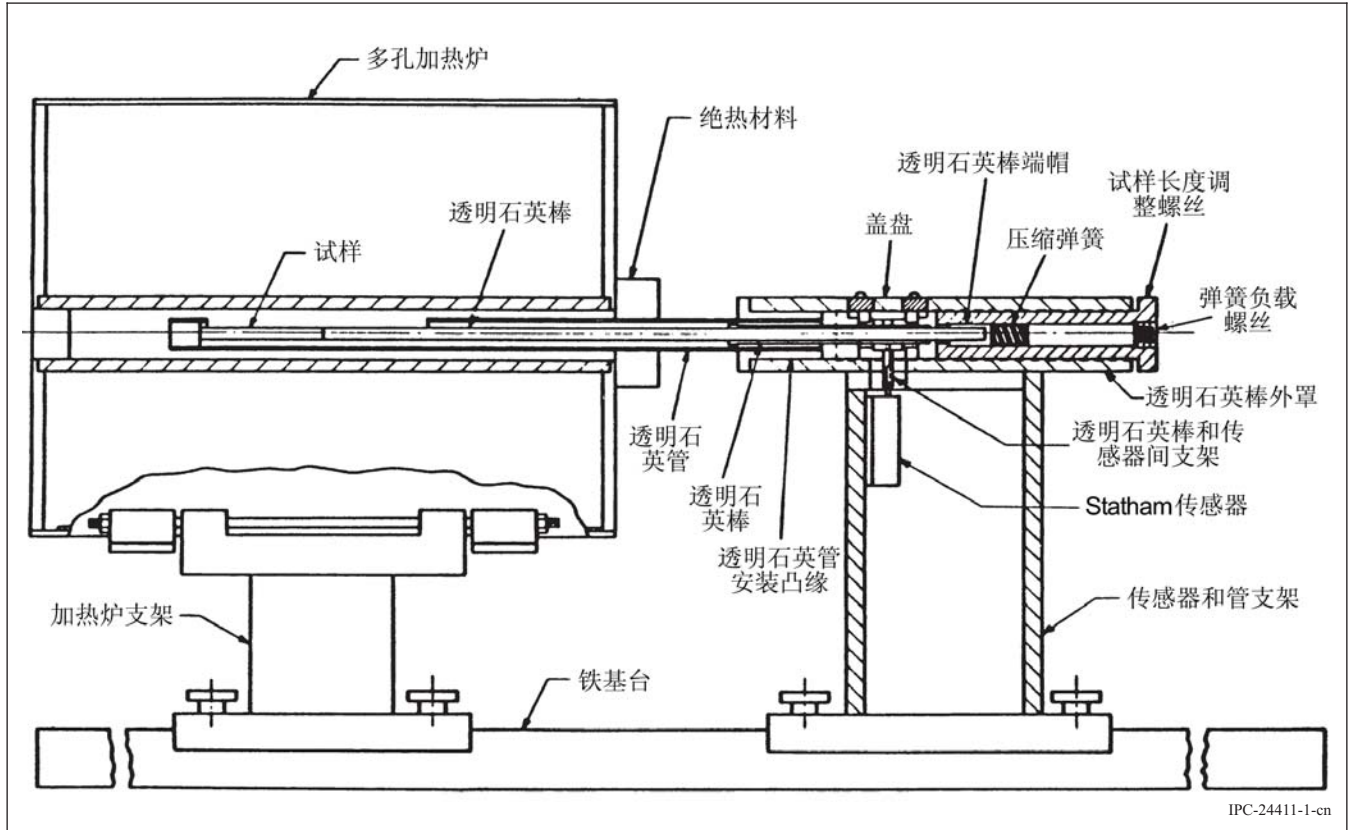


图1 石英膨胀计剖视图

5 程序

5.1 样品准备 试验样品先用带锯或金相用圆锯粗切，再用机械磨光，必须仔细清除试样端部的粗糙面，端面平行度应当达到 $\pm 0.001 \text{ mm/mm}$ [$\pm 0.001 \text{ in/in}$]。

5.2 预处理条件（仅适用于有机层压板样品）。

5.2.1 应当将试样浸入异丙醇中，并搅拌20秒。

5.2.2 条件处理E-1/110。

5.2.3 条件处理C₁-40/23/50。

5.3 校准

5.3.1 传感器应当用精密螺纹千分尺或块规通过测量施加的一系列已知位移量进行校准。

5.3.2 温度传感器应当按ASTM方法（E-220）或国家标准局建议的方法进行校准。

5.3.3 膨胀计作为一个整体系统，应当通过测定两种已知热膨胀系数的基准材料进行校准，其中一种材料的热膨胀应该接近样品，另一种应该与膨胀计接近。

5.3.4 推荐使用的基准材料为：

- NIST 石英玻璃（标准参考物质SRM 739）；
CTE $\sim 0.55 \text{ PPM}/^\circ\text{C}$ （供校准膨胀计）

IPC-TM-650		
编号: 2.4.41.1	名称: 热膨胀系数 石英膨胀计法	日期: 8/97
版本: A		

- NIST单晶蓝宝石（标准参考物质SRM 732）；CTE~5.5PPM/°C（供低膨胀材料使用）
- 无氧高导（OFHC）铜；CTE~17.3PPM/°C（供高膨胀材料使用）

5.3.5 膨胀计系统的热膨胀 $(\Delta L/L_o)_s$ 和校准系数，对导线的滞后、温度等的校准在20°C区间按下式计算：

$$(\Delta L/L_o)_s = (\Delta L/L_o)_t - (\Delta L/L_o)_m$$

$$A = \frac{\left(\frac{\Delta L}{L_o}\right)_t - \left(\frac{\Delta L}{L_o}\right)_s}{\left(\frac{\Delta L}{L_o}\right)_m}$$

式中：

L_o = 试样长度

$(\Delta L/L_o)_t$ = 基准材料的校准热膨胀

$(\Delta L/L_o)_m$ = 基准材料的实测热膨胀

$(\Delta L/L_o)_s$ = 膨胀计石英件热膨胀

5.4 试验程序 每次试验按5.2规定的处理程序进行两次热循环处理。第一次使试样正常化，第二次为获得计算CTE用的数据。

5.4.1 用千分尺测量试样长度，精确至 ± 0.025 mm [± 0.001 in]。

5.4.2 检查试样的所有接触面上无任何外来杂质后放入膨胀计中。厚度为3.2 mm [0.125 in]的试样应当用侧面板支撑。试样必须被良好安放，使其底部对着样品管和推棒的底部。

5.4.3 将热电偶测试头接触到试样中部。

5.4.4 装好传感器，使探头保持稳定地接触。在棒和试样间、样品管底部与试样间保持适当接触

的条件下，应当尽可能地减小试样所受应力。设定传感器至正常起始读数。

5.4.5 将装好的膨胀计放入加热箱内，并使其稳定达到平衡。

5.4.6 记录热电偶和传感器的起始读数。

5.4.7 在2°C/min的恒定速率下加热和冷却。

5.4.8 记录试样长度随温度的变化。

5.4.9 取出试样，在第一次测试后重复5.4.1-5.4.8程序。在开始第二次测试前必须重新测量试样长度。

5.4.10 总共测试四个试样，两个按层压增强材料的纵向，两个按横向。它用来代表一块457 mm \times 610 mm [18 in \times 24 in]板材的热膨胀特性。

6 计算

6.1 线性热膨胀（LTE），单位长度的长度变化随温度变化的关系用以下式表示：

$$\frac{\Delta L}{L_o} = A \left(\frac{\Delta L}{L_o}\right)_a + \left(\frac{\Delta L}{L_o}\right)_s$$

式中：

$(\Delta L/L_o)_a$ 是传感器指示的热膨胀， ΔL 是观察到的长度变化（ $\Delta L=L_2-L_1$ ）。LTE常以 $\mu\text{m}/\text{m}$ (parts per million, ppm)表示。

6.2 平均线性热膨胀系数是指线性热膨胀随温度的变化，用以下式表示：

$$\infty_m = \frac{\Delta L/L_o}{\Delta T} = \frac{(L_2 - L_1)}{L_o(T_2 - T_1)}$$

式中： L_1 和 L_2 是试样在试验温度 T_1 和 T_2 时的长度。

IPC-TM-650		
编号: 2.4.41.1	名称: 热膨胀系数 石英膨胀计法	日期: 8/97
版本: A		

6.3 瞬时线性热膨胀系数是指线性热膨胀曲线在温度T时的斜率，用以下式表示：

$$\alpha_T = (1/L_0) dL/dT$$

6.4 通常要求 $\Delta L/L_0$ 对T和 α_m 对T作图。

在报告平均热膨胀系数时，必须注明温度范围。