

团 体 标 准

T/CAAMTB XXXX—XXXX

新能源汽车动力电池用气凝胶隔热片

Aerogel insulation sheets for power batteries of new energy vehicles

（征求意见稿）

2022-XX-XX 发布

2022-XX-XX 实施

中国汽车工业协会 发 布

目 次

前言.....II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 分类和标记 2

5 要求 3

6 测试方法 5

7 检验规则 7

8 标志、包装、运输及贮存 9

附录 A 尺寸和密度测试方法..... 11

附录 B 压缩性能测试方法..... 13

附录 C 热冲击防护性能测试方法..... 15

附录 D 抗火焰冲击性能测试方法..... 19

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国汽车工业协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

新能源汽车动力电池用气凝胶隔热片

1 范围

本文件规定了新能源汽车动力电池用气凝胶隔热片（以下简称气凝胶隔热片）术语定义、产品分类、指标要求、测试方法、检验规则以及储运的要求。

本文件适用于经过封装的新能源汽车动力电池电芯间用气凝胶隔热片的性能测试。未经封装的气凝胶隔热片也可参考采用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 1695 硫化橡胶 工频击穿电压强度和耐电压的测试方法

GB/T 2408 塑料 燃烧性能的测定 水平法和垂直法

GB/T 2792 胶粘带剥离强度的试验方法

GB/T 4132 绝热材料及相关术语

GB/T 5480 矿物棉及其制品试验方法

GB/T 10294 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法

GB/T 10295 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法

GB/T 16491 电子式万能试验机

GB/T 16839.2 热电偶 第2部分:允差

GB/T 30512 汽车禁用物质要求

GB/T 31838.2 固体绝缘材料 介电和电阻特性 第2部分：电阻特性(DC方法) 体积电阻和体积电阻率

GB/T 34336 纳米孔气凝胶复合绝热制品

JB/T 6412 排风柜

3 术语和定义

GB/T 4132和GB/T 34336界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 新能源汽车动力电池用气凝胶隔热片 Aerogel thermal insulation sheets for new energy vehicle batteries

使用气凝胶毡作为芯材，通过一定的加工方式进行封装，用于新能源汽车动力电池电芯单体间热失控防护的薄片状材料。

3.2 零载厚度 Zero load thickness

气凝胶隔热片在未承受压力或承受极小压力情况下，接近自然状态的厚度值，用 h_0 表示。

3.3 封装厚度 Package thickness

气凝胶隔热片处于正常封装状态的一般压力值下的厚度值，用 h_1 表示。

3.4 损坏厚度 Failure thickness

气凝胶隔热片在承受模拟热失控电芯膨胀压力时出现结构性破坏的厚度值，用 h_2 表示。

3.5 开阀厚度 Opening valve thickness

气凝胶隔热片在承受模拟热失控电芯开阀泄压前最大压缩量时的厚度值，用 h_3 表示。

3.6 热冲击防护性能 Resistance to heat shock

气凝胶隔热片对高温热面高压冲击的抵抗水平。

4 分类和标记

4.1 分类

产品按芯材种类分为玻璃纤维复合气凝胶（FG）、陶瓷纤维复合气凝胶（CF）、预氧丝复合气凝胶（PF）以及其他气凝胶（OF）。

4.2 标记

产品标记由：产品名称和产品技术特征组成。

产品技术特征包括：

a) 按芯材分类标识标明产品分类；

b) 尺寸和标称密度，格式为：芯材长度×宽度×厚度-芯材标称密度-封装厚度，其中长度、宽度和厚度的单位均为mm，标称密度单位为 kg/m^3 。

c) 其他，以括号型式放在尺寸和标称密度后，如封装材料、覆膜材料和边框材料等。

示例1：芯材长度、宽度和厚度分别为 150mm、100mm、2mm，封装厚度 1.8mm，芯材密度为 180 kg/m³无封装的预氧丝气凝胶隔热片标记为：
预氧丝气凝胶隔热片 PF 150×100×2-180-1.8

示例2：芯材长度、宽度和厚度分别为 150mm、150mm、3mm，封装厚度 2.6mm，芯材密度为 160 kg/m³封装材料为 PET 膜，经热压成型的玻璃纤维气凝胶隔热片标记为：
玻璃纤维气凝胶隔热片 FG 150×150×3-160-2.6 （PET 热压）

5 要求

5.1 外观

试样表面平整，不得有妨碍使用的污迹、破损和鼓包。

5.2 尺寸和密度

5.2.1 尺寸允许偏差

长度和宽度偏差应小于标称长度和宽度值2%。

厚度偏差应符合表1的规定。

表1 厚度允许偏差 单位/mm

项目	标称厚度区间		
	标称厚度<2	2≤标称厚度<5	5≤标称厚度
厚度允许偏差	±0.1	±0.2	±10%标称厚度

5.2.2 对角线差

封装样品的对角线差应不超过试样对角线长度平均值1%。

5.2.3 密度允许偏差

应符合表2的规定。

表2 密度允许偏差 单位/(kg/m³)

项目	标称密度区间			
	标称密度<140	140≤标称密度<200	200≤标称密度<260	260≤标称密度
密度允许偏差	+ 10	+ 15	± 25	± 10%标称密度

5.3 垂直燃烧

应符合GB/T 2408规定的V0级要求。

5.4 压缩性能

5.4.1 压缩弹性模量

弹性段或规定变形区间压缩模量不低于0.5MPa。

5.4.2 规定载荷压缩曲线

报告达到规定载荷前的应力应变曲线及要求载荷点的试样厚度，达1.0MPa压强前不应出现屈服点。

5.5 尺寸稳定性

长度、宽度方向尺寸变化率应不超过1.0%。

试样标称厚度小于3mm时，厚度方向尺寸变化量应不超过0.15mm；试样标称厚度大于等于3mm时，厚度方向尺寸变化率应不超过标称厚度10%。

5.6 绝缘性能

5.6.1 击穿电压

应不低于4kV/mm。

5.6.2 体积电阻率

应不低于1000MΩ·m。

5.7 导热性能

封装制品平均温度25℃换算为单位厚度的热阻应不低于40.0 (m²·K) /W；

芯材高温段导热系数应符合表3的规定。

表3 导热系数 单位:W/ (m · K)

测试温度℃	分类指标			
	FG 玻纤	CF 陶纤	PF 预氧丝	OF 其他气凝胶
100	≤0.025	≤0.025	≤0.030	≤0.030
200	——	——	≤0.035	——
300	≤0.036	≤0.035	——	≤0.036
500	≤0.072	≤0.060	——	——
800	——	≤0.110	——	——

注：平均温度25℃换算为单位厚度（1m）的热阻应不低于40.0 (m²·K) /W，可粗略等同于平均温度25℃均质隔热片的导热系数不超过0.025W/ (m · K) 。当隔热片带有外覆层结构时，导热性能不应以导热系数形式表示。

5.8 热冲击防护性能

测试条件符合本文件附录 C 中 C.5 的参数要求时，冷面最高温升应不超过 200℃。

5.9 质量吸湿率

应不超过1%。

5.10 禁限用物质

应满足GB/T 30512中对有害物质的含量要求。

5.11 耐老化性能

有耐老化要求时，应满足老化后气凝胶隔热片热阻保留率不低于90%，老化后体积电阻率和热冲击防护性能应符合本文件5.6.2和5.8的要求。

5.12 抗火焰冲击性能

有抗火焰冲击性能要求时，应满足灼烧5分钟内隔热片未发生火焰击穿。

5.13 剥离强度

对封装膜材表面的粘结特性有要求时，应满足180°剥离强度不低于25N/25mm。

6 试验方法

6.1 状态调节

测试前应在（22±5）℃、（50±10）%相对湿度的环境下放置不少于24h。未经说明，宜使用经过封装的整体制品作为试样进行测试。

6.2 外观

在光照明亮条件下距试样 0.5 m 处进行目测检查。

6.3 尺寸和密度

按附录A的规定。

6.4 垂直燃烧

按GB/T 2408规定。若样品有封装边框，测试时应去除边框并将边框和去除边框的片材均按照GB/T 2408规定的垂直燃烧方法测试，边框试样宜按照实际封装的宽度和厚度测试。

6.5 压缩性能

按附录B的规定。

6.6 尺寸稳定性

测试3块试样，带有边框的试样厚度以边框厚度和片材厚度中较大的值进行计算。

按本文件附录A的规定测试尺寸，将试样夹在两块表面光滑平整的金属平板中心组成试件，平板应完全覆盖试样且边缘至少超过试样边缘10mm，通过合适的方式为试样提供20kPa压强。将试件按照高温（70±2）℃或低温（-40±2）℃保温，保温时长为（72±1）h，测试结束后取出试样放入干燥器中自然恢复温度15min，按本文件附录A的规定测试试样尺寸。

注：可根据供需双方要求选择低温、高温测试方法或调整测试压力温度，与本文件测试条件不同的测试参数应在报告中标记。

按式(1)计算尺寸变化率，测试结果以3块试样结果的算数平均值表示，保留一位小数。

$$\delta_L = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100. \dots\dots\dots (1)$$

式中： δ_L 尺寸变化率，单位为 %；
 L_1 测试前尺寸，单位为毫米（mm）；
 L_2 测试后尺寸，单位为毫米（mm）。

试样标称厚度小于3mm时，按式(2)计算厚度变化量，测试结果以3块试样结果的算数平均值表示，保留一位小数。

$$\delta_d = |d_{前} - d_{后}| \dots\dots\dots (2)$$

式中： δ_d 厚度变化量，单位为毫米（mm）；
 $d_{前}$ 测试前厚度，单位为毫米（mm）；
 $d_{后}$ 测试后厚度，单位为毫米（mm）。

6.7 绝缘性能

6.7.1 击穿电压

按GB/T 1695中规定的板状测试方法进行。连续升压升压速率1kV/s，逐级升压电压值为0.5 kV。测试环境条件为温度（22±5）℃，相对湿度（50±10）%。使用单层试样进行测试。

注1：测试对象为未封装芯材时，测试前应将裁切好的试样浸入GB/T 1695要求的变压器油中使试样完全浸润。

注2：测试结果应满足精密度要求，即测试单值结果和平均值结果之差的绝对值不应超过其平均值10%，未满足测试精密度时，应增加测试组数直至3组单值结果满足精密度要求。

6.7.2 体积电阻率

按GB/T 31838.2的规定，测试条件为1000V DC，极化60s后取值，测试条件为温度（22±5）℃，相对湿度（50±10）%，使用单层试样进行测试。

6.8 导热性能

按GB/T 10295规定测试平均温度25℃热阻，测试时应保留原始封装材料，可叠加多层进行测试并注明单层试样厚度。应将热阻值按照试样厚度换算成1m的标准尺寸热阻进行判定。

按GB/T 10294规定测试平均温度大于等于100℃温度点导热系数，仅测试芯材，宜叠加多层测试。

6.9 热冲击防护性能

按附录C的规定。

6.10 质量吸湿率

按GB/T 5480的规定，需要封装使用的芯材应采用封装后的整体进行测试。

6.11 禁限用物质

按 GB/T 30512 的规定测定材料中铅、汞、镉、六价铬、多溴联苯（PBB）和多溴二苯醚（PBDE）的含量。

6.12 耐老化性能

试样经过规定条件下一定时间老化后，以热阻保留率、体积电阻率和热冲击防护性能表征耐老化性能，老化处理条件如下：

方法A 湿热老化 （85±2）℃、相对湿度（85±5）%，持续1000h。

方法B 冷热循环老化 设置循环条件为8h -40℃，15h 70℃，升温降温过程时间为30min，持续30个循环。

热阻保留率按式(3)计算，结果保留1位小数：

$$\delta_{\lambda R} = \frac{\lambda R_2}{\lambda R_1} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

式中： $\delta_{\lambda R}$ 热阻保留率，单位为 %；
 λR_1 老化前热阻，单位为米平方开尔文每瓦（m²·K）/W；
 λR_2 老化后热阻，单位为米平方开尔文每瓦（m²·K）/W。

6.13 抗火焰冲击性能

按附录D的规定。

6.14 剥离强度

按GB/T 2792的规定的180° 剥离方法，剥离测试参数可由供需双方商定。

7 检验规则

7.1 出厂检验

产品出厂时，应进行出厂检验。出厂检验项目为：外观、尺寸和密度、压缩性能、绝缘性能和热冲击防护性能。

7.2 型式检验

型式检验是指为考核产品质量而对标准中规定的技术要求进行的全项检验。有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 1) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定；
- 2) 正式生产后，原材料、工艺有较大的改变，可能影响产品性能时；
- 3) 正常生产时，每年至少进行一次；
- 4) 产品停产1个月后，恢复生产时；
- 5) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- 6) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时。

不同分类的产品型式检验项目见表4。

表4 型式检验项目

测试项目		封装 FG	封装 CF	封装 PF	封装 OF	芯材
外观		√	√	√	√	√
尺寸和密度	尺寸允许偏差	√	√	√	√	※
	对角线差	※	※	※	※	—
	密度允许偏差	√	√	√	√	√
垂直燃烧		√	√	√	√	√
压缩性能	压缩弹性模量	※	※	※	※	※
	规定载荷压缩曲线	√	√	√	√	√
尺寸稳定性		※	※	※	※	※
绝缘性能	击穿电压	√	√	√	√	—
	体积电阻率	√	√	√	√	※
导热性能		√	√	√	√	√
热冲击防护性能		√	√	√	√	√
质量吸湿率		√	√	√	√	√

禁限用物质	√	√	√	√	√
耐老化性能	※	※	※	※	※
抗火焰冲击性能	√	√	√	√	※
剥离强度	※	※	※	※	—
注 1：“√”表示应检项目；“※”表示选做项目；“—”表示不检项目。					
注 2：若产品以未封装芯材状态直接使用，应按照对应芯材的封装产品种类进行型式检验。					

7.3 组批

以同一原料，同一生产工艺，同一品种，稳定连续生产的产品为一个检查批，但最多不超过5000片。

7.4 抽样

所有的单位产品被认为是质量相同的，样本可以由一个或多个单位产品构成，单位产品应从检查批中随机抽取。抽样数量应能满足测试需求，并且不少于30片。

7.5 判定规则

所有的性能应看作独立的，以测定结果的修约值进行判定。

批质量判定规则：按照供需双方商定的异化测试参数进行测试的项目指标均符合供需双方要求且完全按照本文件测试参数进行测试的项目指标均符合标准要求时判该批产品合格，否则判该批产品不合格。

8 标志、包装、运输及贮存

8.1 标志

在标志、标签或使用说明书上应标明：

- 1) 标记，按4.2条的规定；
- 2) 生产企业名称、详细地址；
- 3) 生产日期或批号；
- 4) 标志符号按GB/T 191规定；
- 5) 注明指导安全使用的警句或图示；
- 6) 包装单元中产品的数量。

标志文字及图案应醒目清晰，易于识别，且具有一定耐久性。

8.2 包装

包装材料应具有防潮性能，每一包装中应放入同一规格的产品，特殊包装由供需双方商定。

8.3 运输

产品运输工具应具备干燥防雨措施、搬运时应轻拿轻放，避免受重压。

8.4 贮存

产品应在干燥、通风、防雨、远离火源、热源和化学溶剂的条件下贮存。应按品种、规格分别堆放，避免重压。

附 录 A
(规范性附录)
尺寸和密度测试方法

A.1 范围

本附录规定了气凝胶隔热片尺寸和密度的测试方法，包括试样尺寸、对角线差、密度允许偏差。

A.2 测试仪器

A.2.1 测厚仪

精度0.01mm，量程不小于10mm，测试压力为 (20 ± 1) kPa，测头直径6mm。

A.2.2 游标卡尺

量程满足测试需求，精度0.02mm。

A.2.3 电子天平

量程满足测试需求，精度 0.01g。

A.2.4 钢直尺

量程满足测试需求，精度 1mm。

A.3 试样

未经明确要求，均按照整体进行测试。

A.4 测试步骤

A.4.1 尺寸允许偏差

A.4.1.1 长度和宽度允许偏差

使用游标卡尺或钢直尺（尺寸超过300mm时应采用钢直尺，读数时估读至0.5mm）测量样品的长度和宽度，测量位置距边缘10mm处及试样中心位置，具体位置见图A.1虚线标记。测试3块试样，报告试样的长度宽度平均值与标称尺寸的偏差值，结果保留一位小数。

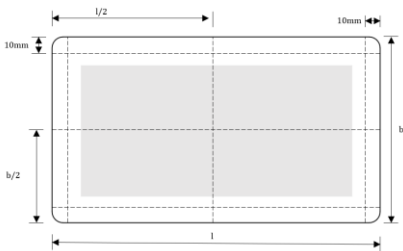


图 A.1 长度与宽度测量位置

A. 4. 1. 2厚度测试方法

对于无封装边框的样品。使用A. 2中规定的测厚仪分别测量3块试样的厚度，测试位置为对角线交点及各边中点连线与对角线的交点，每块试样测试5个位置。结果取算数平均值，精确至0.01mm。

对于有封装边框的样品。使用游标卡尺分别测量3块试样四边边框中点，结果取算数平均值，精确至0.1mm，报告为边框厚度。之后将边框去除，使用A. 2中规定的测厚仪分别测量3块试样的厚度，测试位置为对角线交点及各边中点连线与对角线交点，结果取算数平均值，精确至0.01mm，报告为去框厚度。

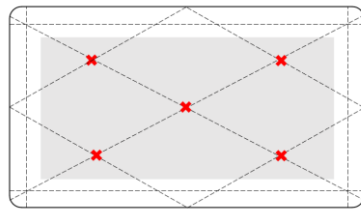


图 A. 2 厚度测量位置

A. 4. 2 对角线差

仅测试经过封装的样品。将试样平放在平整的操作台上，使用钢直尺或游标卡尺测量对角线长度，两条对角线长度之差为对角线差。测试3块试样，结果取3块试样对角线差的平均值，保留1位小数。

A. 4. 3 密度允许偏差

测试3块试样。经过封装的样品按照原始的封装状态进行测试，未经封装的样品保留原始厚度，避开边缘100mm位置将样品裁切为长度宽度不小于100mm的矩形试样块进行测试。

按照A. 4. 1的规定测试试样尺寸，带有边框的样品厚度按照边框厚度计算。使用A. 2. 3规定的电子天平测量试样质量。密度允许偏差为试样实测密度与产品标称密度的差值，报告每块试样密度偏差单值与3块试样密度偏差绝对值的算数平均值，保留至整数。

附录 B
(规范性附录)
压缩性能测试方法

B.1 范围

本附录规定了气凝胶隔热片规定位移和规定载荷压缩性能的测试方法。

B.2 仪器

B.2.1 强力机

施加压力的速率满足测试需求,具有压力传感器和精密位移传感器,位移传感器精度不低于0.01mm,压力传感器精度不低于10N。

B.2.2 测厚仪

满足附录A规定。

B.3 试样

根据不同试样状态,按照以下要求至少制备3组试样。

- 1) 有封装边框的试样,测试时应去除边框。可提供与实际使用状态一致仅无边框的试样进行测试。
- 2) 未封装试样,宜提供芯材尺寸不小于(100×100)mm,与实际使用状态一致的封装样品作为试样进行测试。
- 3) 封装试样,尺寸小于(200×200)mm取试样原始尺寸测试,若试样某边尺寸超过200mm,应不破坏原始封装状态将整体试样的中间(200×200)mm长的部分置于压板下进行测试。

B.4 测试步骤

B.4.1 初始厚度

按照附录A 的规定测量样品初始厚度 h ,若试样厚度不足5mm,应叠加试样至整体厚度达到5mm以上且不超过10mm,并报告叠加层数;若试样厚度超过5mm,使用单层试样进行测试,并报告试样初始厚度。

B.4.2 压缩弹性模量

以20kPa(若试样无法与压板良好接触,可适当增加压力直至试样与压板间无肉眼可见的间隙)为压缩起点,并规定此时形变量为0,以1.0mm/min($\pm 20\%$ 以内)的恒定速率连续压缩试样直至试样形变量大于10%。以5%形变时载荷 F_1 及此时位移量 X_1 、10%形变时载荷 F_2 及此时位移量 X_2 、试样初始截面积 A 、压缩起点时试样厚度 d 计算压缩弹性模量。若试样存在明显的弹性段,即压缩曲线出现直线段,取弹性段起点和终点作为特征点代替5%和10%形变量特征点计算。结果取3块试样平均值,保留至整数。

$$E = 10^3 \times \frac{(F_2 - F_1)d}{(X_2 - X_1)A} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：E—压缩弹性模量，单位为千帕（kPa）；

F₁—5%形变时载荷，单位为牛顿（N）；

F₂—10%形变时载荷，单位为牛顿（N）；

A—试样初始截面积，单位为平方米（m²）；

d—压缩起点时试样厚度，单位为米（m）；

X₁—5%形变时位移量，单位为米（m）；

X₂—10%形变时位移量，单位为米（m）。

B.4.3 规定载荷压缩曲线

将试样平放在压板中央，对于具有弧度的试样，可连续施加压力直至试样与压板间无肉眼可见的间隙，对于平整的试样应将试样与上压板接近至1mm左右作为起点。以1.0mm/min（±20%以内）的恒定速率连续压缩试样，直至试样屈服或压缩试样至规定载荷1.0MPa（试样无明显屈服点时）。

特征点选取应按测厚仪测试厚度修正计算。记录测厚仪测得的原始厚度h；压缩起点位移x₀为零点，此时厚度为零载厚度记为h₀；承受20kPa压强时的厚度为封装厚度记为h₁，此时位移记为x₁；连续压缩试样直至试样屈服时试样厚度为损坏厚度记为h₂，此时位移记为x₂；试样无明显屈服点时，压缩试样至压强达到1.0MPa，承受0.9MPa压强时试样的厚度为开阀厚度记为h₃，此时位移记为x₃。即原始厚度使用测厚仪测出为h，零载厚度h₀=h+|x₁-x₀|，封装厚度h₁=h，损坏厚度h₂=h-|x₂-x₀|，开阀厚度h₃=h-|x₃-x₀|。

注：以上压缩起点为针对平整样品接触压板产生压力时读数，对于需要预压的弧形样品，零载厚度通过游标卡尺直接测得。

B.5 测试报告

若测试存在试样叠放的情况，应在报告中标明叠加层数，使用单层试样进行测试时，应在报告中标明厚度。

规定载荷压缩曲线应注明零载厚度、封装厚度、开阀厚度，若试样在施加1.0MPa压力前出现屈服，报告损坏厚度和压强。

附录 C
(规范性附录)
热冲击防护性能测试

C.1 范围

本附录规定了隔热片对背温面防护效果的测试方法,适用于经过封装的气凝胶隔热片及其他受到高温高压工况的片状热防护材料。

C.2 试样

宜提供与实际使用状态一致、尺寸为(150×150)mm的标准封装试样,使用单层试样试验,至少测试3组平行组。

注:试样制备应保留原始封装外覆层;若有边框,宜去除,若去除边框可能对测试结果产生影响,可保留边框测试并在报告中注明;若有其他要求,试样状态可由供需双方商定。

C.3 测试装置

C.3.1 原理

模拟电芯间热扩散防护工况。加热模块达到规定温度后,将测温模块安装在加压装置上,通过加压装置带动测温模块和试样向加热模块移动,试样接触加热模块的热板后关闭加热器进行规定时间加压,之后卸压至较低接触压力,自然降温至测试结束。通过测温模块记录的最高温升表征隔热片热防护效果。

C.3.2 加热模块

加热模块由通过硅碳棒加热的GH 4169铁镍合金加热板及其外防护组成,能在加热过程中以最大(10±2)℃/min升温速率运行。

加热板尺寸(150×150×25)mm,有效区域为其中心(100×100)mm,热电偶应嵌入式装入加热板,采用3路热电偶并联测量,布置方式见图C.1(a),热板表面应通过合适的方式加工成平面,平面度不低于0.2mm。加热板温度为3个测温热电偶温度平均值,温度控制精度不应低于规定测试温度0.5%。

加热板外防护应填充平均温度500℃的导热系数不大于0.15W/m·K的隔热防护材料,防护层厚度不小于100mm,如图C.1(b)所示。

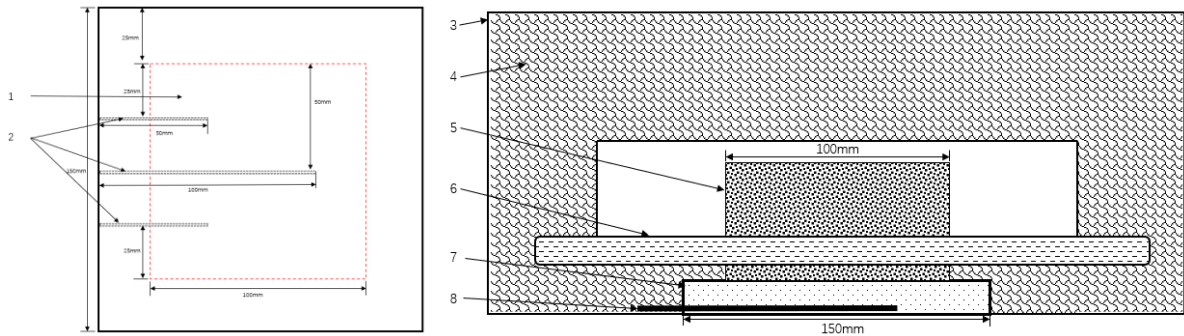


图 C.1 (a) 加热板热电偶布置方式

图 C.1 (b) 加热板外防护结构

图中：1-有效加热区域 2-热电偶表面槽位置 3. 外保护壳 4. 隔热防护材料（平均温度500℃的导热系数不大于0.15W/m·K） 5-固定硅碳棒的热交换媒介 6-硅碳棒 7-加热板 8-热面测温热电偶

图 C.1 加热模块结构示意图

C.3.3 测温加压模块

测温加压模块由加压装置和测温模块组成，结构如图C.2（a）所示。

加压装置为符合GB/T 16491规定的1级试验机，最大载荷满足测试需求，压力控制精度应不低于最大测试载荷1%。试验机的压盘为外径为100mm金属压盘。

测温模块由冷面压板和安装在冷面压板上的热电偶组成。冷面压板为长宽为150mm、厚度30mm、比热容（ 800 ± 50 ）J/（kg·K）的热压成型碳化硅陶瓷，在碳化硅陶瓷一侧平面加工与加热板位置对应的热电偶槽位，另一侧平面加工与试验机金属压盘卡口，卡口内径略大于金属压盘外径，深度5mm。测温模块如图C.2（b）所示。将热电偶使用导热胶或耐高温胶带并联安装在冷面压板上，冷面温度为3根热电偶示数平均值。测温模块安装时应在金属压盘上垫放与金属压盘直径一致厚度为3mm的云母片，以切断测温模块与金属压盘的热桥。

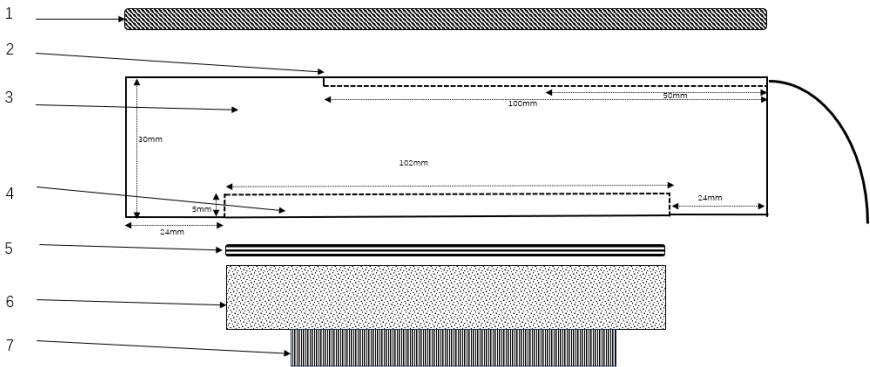


图 C.2 （a）测温加压模块组装结构

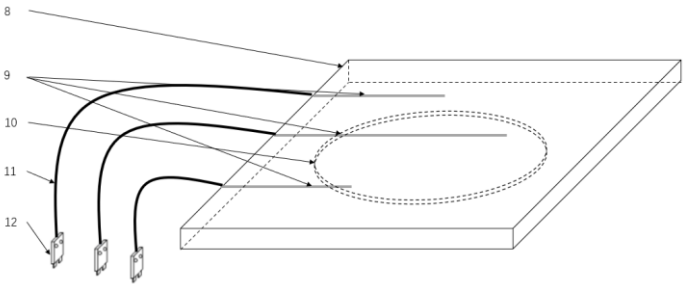


图 C.2 （b）测温模块结构示意图

图中：1-试样 2-冷面测温热电偶 3-碳化硅陶瓷冷面压板 4-冷面压板与金属压盘的卡口 5-云母片 6-试验机金属压盘 7-试验机压力载荷传感器 8-碳化硅陶瓷冷面压板（同图 C.2（a）-3） 9-冷面测温热电偶（同图 C.2（a）-2） 10-冷面压板与金属压盘的卡口（同图 C.2（a）-4） 11-热电偶连接线 12热电偶插头

图 C.2 测温加压模块结构示意图

C.3.4 通风橱

设备应整体置于通风橱中，通风橱内壁距离设备边缘至少300mm。通风橱宜满足JB/T 6412中规定的FGB-180的排风量和尺寸要求。应在通风橱内壁水平方向距离热板中点 (600 ± 50) mm处安装测量误差不超过 0.5°C 的环境温度计。

C.3.5 热电偶

加热模块和测温模块使用的热电偶应符合GB/T 16839.2规定的一级精度要求。采用丝径为 $0.3\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$ 的S型热电偶/K型热电偶，其热接点应绝缘且不能接地。

C.3.6 装置调试要求

C.3.6.1 压板平行度

测试前应安装好冷面压板，使用钢直尺测量冷面压板四边中心到加热板的距离，设备压板平行度应满足冷面压板每边中心到加热板的距离与冷面压板四边中心到加热板的距离平均值差的绝对值不超过平均值的2%。

C.3.6.2 压板光洁度

测试前应用200目砂纸打磨残留试样碎屑及膜材料熔化物，保证测试前压板表面基本平整、无污染物和氧化物。

C.3.6.3 装置维护

对设备老化情况进行周期性检查，加热功率衰减达10%，应对加热装置进行更换或维护。

C.4 测试参数确定

可根据隔热片芯材种类和应用工况确定测试压强 P 和规定测试温度 T 。测试温度、压强和加热加载过程可由供需双方商定。如无规定，按照本文件测试步骤中规定的参数进行。

C.5 测试步骤

C.5.1 测试过程实验室环境应保持 $(22 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $(50 \pm 10)\%$ 。

C.5.2 测温模块冷却后置于 $(22 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 恒温环境中调节不少于30min。启动排风系统换气，使通风橱内环境温度计读数 T_0 满足 $(22 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。

C.5.3 按照附录A的规定测量试样初始厚度 h_1 ，并记录试样测试前状态。

C.5.4 以厚度不低于50mm，长宽不低于200mm的柔性保温棉毡（宜采用平均温度 500°C 的导热系数不大于 $0.15\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ 的硅酸铝材料）作为试验机金属压盘的热防护，关闭通风系统，启动加热器。

C.5.5 加热板温度达到设定测试温度 T （ 600°C ）并以温度波动 $\pm 1\%$ 以内稳定1min后，连接测温模块热电偶，去除柔性保温棉毡，将测温模块安装在金属压盘上并在卡口和金属圆盘之间垫放与金属压盘直径一致厚度为3mm的云母片，启动程序记录冷面和热面热电偶温度，此时测温模块三根热电偶平均温度记为初始温度 T_s 。

C.5.6 启动试验机，将试样快速抬升至距离热板 (5 ± 2) mm处，再以50mm/min的速率继续抬升试样与热板接触，接触后立即关闭加热器，连续加压直至试样产生 (0.9 ± 0.02) MPa测试压强 P ，在压力达到规定值后，以测试压强 P 恒压。恒压过程维持5min后，启动试验机以50mm/min的速率向下移动，卸压至试样承受 (0.03 ± 0.01) MPa压强，继续保持压力至测温模块温度下降或冷热面温差小于130℃。

C.5.7 取出试样，观察并记录试样状态。

C.6 测试结果

试样冷面最高温升计算见式C.1

$$\Delta T = T_{max} - T_s \quad C.1$$

式中：

ΔT ——冷面最高温升，单位摄氏度（℃）；

T_{max} ——测试过程中冷面最高温度，由测温模块热电偶温度计算，单位摄氏度（℃）；

T_s ——初始温度，单位摄氏度（℃）。

注：若测温模块热电偶记录的温度-时间曲线出现峰值，则测温模块三根并联热电偶平均值的峰值温度为实验过程冷面最高温度；若温度一直呈上升趋势未见明显峰值，则测试终止时测温模块三根并联热电偶平均值的温度为实验过程冷面最高温度。

测试结果应报告测试压强 P 、设定测试温度 T 、试样初始厚度 h_l 、试样冷面最高温升 ΔT 单值与平均值，精确至1℃、测试环境室温 T_0 和试样测试前后状态照片。

附录 D

(规范性附录)

抗火焰冲击性能测试方法

D.1 范围

本附录规定了气凝胶隔热片的抗火焰冲击性能测试方法。

D.2 试样

试样尺寸取试样原始尺寸，保留原始封装外覆层，试样数量3片。

D.3 测试装置

金属夹具：两个中空的钢制框架，中空区域面积为 (80×80) mm，边框宽度为30mm，通过夹持边缘使试样平面垂直于水平面。

热电偶及温度记录装置：精度不低于 1°C 的贴片式热电偶与温度记录仪连接。

火焰发生器：丁烷-氧气预混燃烧发生器，喷嘴为口径1.2mm耐高温铜制直喷孔，混合室为文丘里结构，内置铜网防回火。气体控制系统采用双阀调节混合气体比例来微调火焰温度，混合气体压强为0.15MPa。火焰发生器喷嘴可以通过火焰发生器底部的机械结构进行水平转向，使喷嘴火焰达到要求后转向试样中心位置，喷嘴距离试样中心位置为 (100 ± 5) mm。

D.4 测试过程

D.4.1 将热电偶使用耐高温胶带粘贴至试样背面中心位置，若胶带与试样粘附性差，可延长胶带长度粘至金属夹具的边框上。

D.4.2 将火焰发生器喷嘴偏离试样进行火焰调节。将丁烷流速调节至0.35L/min并点燃，缓慢增加氧气流速，直至火焰呈蓝色锥形。调节气体流速直至蓝色锥形火焰长度约为120mm。

D.4.3 将稳定后的火焰发生器喷嘴水平转向试样中心位置，同时开始记录热电偶温度及灼烧时间。测试过程中观察试样是否发生肉眼可见的形变、颜色变化，中心点是否出现熔融、滴落。

D.4.4 开始计时5min后或试样出现明显击穿情况时停止测试，先关闭氧气阀门，一段时间后再关闭丁烷阀门。

D.5 测试结果

D.5.1 结合测试后试样状态和灼烧过程温度曲线，判定试样是否发生火焰击穿。

1) 试样中心点发生穿孔性破坏时判定为发生火焰击穿。

2) 若存在试样背面温度快速升温至接近火焰温度，即使试样未发生破坏也判定试样发生火焰击穿。

D.5.2 报告测试过程试样是否发生火焰击穿，测试过程是否有肉眼可见的形变、颜色变化，芯材中心点是否出现熔融、滴落。