

ICS 31.030
CCS L 90

团体标准

T/TMAC XXX—202X

5G/6G 通信设备用导热凝胶介电性能与电磁屏蔽效能 测试方法

Test methods for dielectric properties and electromagnetic
shielding effectiveness of thermal conductive gel for
5G/6G communication equipment

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国技术市场协会 发布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人，均可提出修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本作品著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市海淀区复兴路甲 23 号城乡华懋大厦 12 层 1217。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测试内容 2

 4.1 介电性能测试 2

 4.2 电磁屏蔽效能测试 2

5 测试条件 2

 5.1 环境条件 2

 5.2 设备运行条件 2

6 仪器设备 2

 6.1 介电性能测试仪器设备 2

 6.2 电磁屏蔽效能测试仪器设备 3

7 样品 3

 7.1 样品制备 3

 7.2 样品保存 3

8 测试方法 3

 8.1 总则 3

 8.2 介电性能测试方法 3

 8.3 电磁屏蔽效能测试方法 4

9 测试数据处理 4

 9.1 数据记录 4

 9.2 数据处理方法 4

 9.3 重复性与再现性评估 6

 9.4 数据审核与异常处理 6

 9.5 测试结果 6

10 质量保证和控制 7

 10.1 仪器设备校准 7

 10.2 环境监测 7

 10.3 样品检查 7

 10.4 人员保证 7

11 测试报告 7

附 录 A （资料性）5G/6G 通信设备用导热凝胶技术要求 8

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。

本文件由中国技术市场协会提出并归口。

本文件起草单位：杭州之江有机硅化工有限公司、北京中研博采技术服务有限公司。

本文件主要起草人：宋琦、乐志斌、夏卫彬。

5G/6G 通信设备用导热凝胶介电性能与电磁屏蔽效能测试方法

1 范围

本文件规定了5G/6G通信设备用导热凝胶介电性能与电磁屏蔽效能测试方法的测试内容、测试条件、仪器设备、样品、测试方法、测试数据处理、质量保证和控制以及测试报告等内容。

本文件适用于5G/6G通信基站、射频单元、光模块、服务器及终端设备用导热凝胶的介电性能与电磁屏蔽效能测试，其他高频通信电子设备用导热凝胶可参照执行。

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 1409 测量电气绝缘材料在工频、音频、高频（包括米波波长在内）下电容率和介质损耗因数的推荐方法

GB/T 2423.22 环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化

GB/T 7752 绝缘胶粘带工频介电强度和耐电压的试验方法

GB/T 12190 电磁屏蔽室屏蔽效能的测量方法

GB/T 25471 电磁屏蔽涂料的屏蔽效能测量方法

GB/T 27505 压力控制器

GB/T 30142 平面型电磁屏蔽材料屏蔽效能测量方法

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 31838.3 固体绝缘材料 介电和电阻特性 第3部分：电阻特性（DC方法） 表面电阻和表面电阻率

GB/T 33861 高低温试验箱能效测试方法

JJF 1495 矢量网络分析仪校准规范

SJ 20524 材料屏蔽效能的测量方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

导热凝胶 thermal conductive gel

以有机硅/聚氨酯等高分子为基体，添加导热陶瓷、金属颗粒等填料，具备高导热、低介电、柔性贴合、触变特性，用于5G/6G通信设备热管理与对屏蔽有一定的优化的凝胶状界面材料。

3.2

介电性能 dielectric properties

在高频电磁场作用下，导热凝胶的介电常数与介质损耗因数、体积电阻率、介电强度、高频介电稳定性、表面电阻率等电气特性，影响射频信号传输质量与绝缘安全性。

3.3

电磁屏蔽效能 electromagnetic shielding effectiveness (SE)

材料对电磁波的反射、吸收与多重反射衰减能力,以入射场强与透射场强的比值对数表示,单位 dB,表征对电磁干扰的抑制能力。

3.4

高频介电稳定性 high-frequency dielectric stability

在高低温循环等环境应力作用下,导热凝胶介电常数随温度与频率变化的漂移程度,表征材料在极端工况下对高频信号传输特性的保持能力。

4 测试内容

4.1 介电性能测试

5G/6G通信设备用导热凝胶介电性能测试包括以下项目:

- a) 介电常数与介质损耗因数: 1 kHz~52 GHz宽频测试,覆盖5G/6G主流频段;
- b) 体积电阻率: 直流法测量,评估绝缘可靠性;
- c) 介电强度: 工频击穿场强,验证高压绝缘安全;
- d) 高频介电稳定性: 高低温循环后介电参数漂移量;
- e) 表面电阻率: 评估表面漏电与抗干扰能力。

4.2 电磁屏蔽效能测试

5G/6G通信设备用导热凝胶电磁屏蔽效能测试包括以下项目:

- a) 屏蔽效能: 300 kHz~52 GHz频段屏蔽值(SE);
- b) 反射损耗、吸收损耗、多重反射损耗分量分离测试;
- c) 不同厚度、压力、温度下屏蔽效能稳定性;
- d) 贴合界面缝隙对屏蔽效能影响测试。

5 测试条件

5.1 环境条件

5G/6G通信设备用导热凝胶介电性能与电磁屏蔽效能测试环境条件应符合以下要求:

- a) 温度: $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- b) 相对湿度: 40%~60% RH;
- c) 气压: $101.3\text{ kPa} \pm 5\text{ kPa}$;
- d) 电磁环境: 屏蔽暗室/同轴测试装置,背景噪声 $\leq -60\text{ dBm}$ 。

5.2 设备运行条件

5G/6G通信设备用导热凝胶介电性能与电磁屏蔽效能测试设备运行条件应符合以下要求:

- a) 介电分析仪: 频率1 kHz~52 GHz,阻抗精度 $\pm 0.1\%$;
- b) 矢量网络分析仪: 频率300 kHz~52 GHz,动态范围 $\geq 100\text{ dB}$;
- c) 高压介电强度仪: 升压速率1 kV/s~5 kV/s,量程0 kV~50 kV;
- d) 高低温箱: $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$,控温精度 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6 仪器设备

6.1 介电性能测试仪器设备

5G/6G通信设备用导热凝胶介电性能测试的仪器设备应符合表1规定。

表1 介电性能测试仪器设备

设备名称	技术参数	适用标准
宽频介电分析仪	1 kHz - 52 GHz，阻抗精度 $\pm 0.1\%$	GB/T 1409
体积电阻率测试仪	电压10 V~1000 V，量程 $10^6\sim 10^{18}\Omega$	GB/T 31838.2
介电强度试验仪	0~50 kV，升压1~5 kV/s	GB/T 7752
高低温环境箱	-40 ℃~150 ℃，精度 $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$	GB/T 33861

6.2 电磁屏蔽效能测试仪器设备

5G/6G通信设备用导热凝胶电磁屏蔽效能测试应符合表2规定。

表2 电磁屏蔽效能测试仪器设备

设备名称	技术参数	适用标准
矢量网络分析仪	300 kHz~52 GHz，动态范围 $\geq 100\text{ dB}$	JJF 1495
同轴传输反射测试装置	适配D4935，7 mm/14 mm接口	GB/T 25471
屏蔽暗室	300 kHz~52 GHz，背景噪声 $\leq -60\text{ dBm}$	GB/T 12190
厚度/压力控制平台	厚度0.1~5 mm，压力0.1~0.5 MPa	GB/T 27505

7 样品

7.1 样品制备

5G/6G通信设备用导热凝胶介电性能与电磁屏蔽效能测试样品制备包括以下要求：

- a) 状态：充分搅拌脱泡，无气泡、无颗粒团聚；
- b) 成型：刮涂/模压成型，厚度 $0.5\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ 、 $1.0\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ 、 $2.0\text{ mm}\pm 0.05\text{ mm}$ ；
- c) 尺寸：介电试样 $\Phi 50\text{ mm}/\Phi 100\text{ mm}$ ；屏蔽试样 $150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ ；
- d) 固化：按产品规范完成固化/熟化，表面平整无缺陷。

7.2 样品保存

密封置于干燥、避光、室温环境，避免高温高湿与电磁干扰；保存期不超过7天，测试前在标准环境放置24 h。

8 测试方法

8.1 总则

5G/6G通信设备用导热凝胶介电性能与电磁屏蔽效能可参考附录A中技术指标要求。

8.2 介电性能测试方法

5G/6G通信设备用导热凝胶介电性能测试方法按照表3规定进行。

表3 5G/6G通信设备用导热凝胶介电性能测试方法

测试项目	测试方法	执行标准
介电常数/ 介质损耗	采用平行板电极法，将样品置于测试夹具中，使用阻抗分析仪在指定频点（如10GHz）测量其并联电容（ <i>C</i> ）与损耗因数（ <i>D</i> ），并根据电极面积（ <i>A</i> ）和样品厚	GB/T 1409

	度 (t)，按公式 (1) 计算得到介电常数 (ϵ_r)，仪器直接读取介质损耗因数 ($\tan \delta$ ，即 D)	
体积电阻率	采用三电极系统与高阻计，在样品上施加直流电压，测量其体积电阻 (R_v)。根据测量电极面积 (A) 和样品厚度 (t)，按公式 (2) 计算出体积电阻率 (ρ_v)	GB/T 31838.2
介电强度	将样品浸于绝缘油中，于两电极间施加工频交流电压并以恒定速率升压，直至击穿，记录击穿电压 (U_b)。根据样品厚度 (t)，按公式 (3) 计算出介电强度 (E_b)	GB/T 7752
高频介电稳定性	将样品置于高低温环境箱中进行规定循环试验，然后在标准测试条件下复测其关键频点的介电常数 (ϵ_r)。通过比较处理前 ($\epsilon_{r, initial}$) 与处理后 ($\epsilon_{r, final}$) 的数值，按公式 (4) 计算介电常数变化率	GB/T 2423.22
表面电阻率	使用三电极系统，在样品表面施加直流电压，测量表面电阻 ($R_{s, means}$)，并根据电极系统的几何因子 (k)，按公式 (5) 计算或直接得出表面电阻率 (R_s)	GB/T 31838.3

8.3 电磁屏蔽效能测试方法

5G/6G通信设备用导热凝胶电磁屏蔽效能测试方法按照表4规定进行。

表4 5G/6G通信设备用导热凝胶电磁屏蔽效能测试方法

测试项目	测试方法	执行标准
屏蔽效能	采用同轴传输线法，将样品置于矢量网络分析仪与测试夹具之间，测量其传输散射参数 (S_{21})。通过公式 (6) 计算得到屏蔽效能 (SE)	GB/T 30142
反射/吸收损耗	基于同轴传输线法测得的散射参数 (S_{11}, S_{21})，通过公式 (7) 和公式 (8) 分别计算反射损耗 (R) 和吸收损耗 (A)，以分析总屏蔽效能 (SE) 的构成分量	GB/T 25471
压力/温度稳定性	在配备压力控制装置的测试夹具上对样品施加不同压力 (p)，或在温控箱内设置不同温度 (T)，测量相应条件下的屏蔽效能 (ΔSE)。通过比较与基准条件 (SE_0) 的差异，按公式 (9) 计算评估屏蔽效能的变化量 (ΔSE)	GB/T 30142
界面缝隙影响	在标准测试样品中引入可控宽度的缝隙，测量有缝隙状态下的屏蔽效能 (SE_{gap})。通过比较 SE (无缝) 与 SE_{gap} 的差值，按公式 (10) 计算屏蔽效能下降值 (ΔSE_{gap})，以评估缝隙对屏蔽性能的影响	GB/T 12190

9 测试数据处理

9.1 数据记录

在测试过程中，应详细记录所有原始数据，包括但不限于测试环境条件、仪器设备参数、样品信息、测试步骤及每个步骤的具体操作细节、测量得到的数值及其单位，并确保数据记录的准确性和完整性。

9.2 数据处理方法

9.2.1 介电常数与介质损耗因数

介电常数按公式 (1) 计算：

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot t}{\epsilon_0 \cdot A} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- ϵ_r —— 相对介电常数；
- C —— 试样的并联电容，单位为法 [拉] (F)；
- t —— 试样厚度，单位为米 (m)；

ε_0 ——真空介电常数，其值为 8.854×10^{-12} ，单位为法每米（F/m）；
 A ——电极有效面积，单位为平方米（ m^2 ）

9.2.2 体积电阻率

体积电阻率按公式（2）计算：

$$\rho_v = R_v \cdot \frac{A}{t} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ρ_v ——体积电阻率，单位为欧姆米（ $\Omega \cdot \text{m}$ ）；
 R_v ——试样的体积电阻，单位为欧姆（ Ω ）

9.2.3 介电强度

介电强度按公式（3）计算：

$$E_b = \frac{U_b}{t} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

E_b ——介电强度，单位为千伏每毫米（kV/mm）；
 U_b ——击穿电压，单位为千伏（kV）；
 t ——试样厚度，单位为毫米（mm）

9.2.4 高频介电稳定性

高频介电稳定性以介电常数变化率表示，按公式（4）计算：

$$\eta = \frac{\varepsilon_{r, \text{ final}} - \varepsilon_{r, \text{ initial}}}{\varepsilon_{r, \text{ initial}}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

η ——介电常数变化率；
 $\varepsilon_{r, \text{ initial}}$ ——高低温试验前测得的介电常数；
 $\varepsilon_{r, \text{ final}}$ ——高低温试验后测得的介电常数

9.2.5 表面电阻率

表面电阻率按公式（5）计算或由仪器直接给出：

$$R_s = R_{s, \text{ means}} \cdot k \dots\dots\dots (5)$$

式中：

R_s ——表面电阻率，单位为欧姆（ Ω ）；
 $R_{s, \text{ means}}$ ——仪器测量或计算值，单位为欧姆（ Ω ）；
 k ——电极系统的几何因子

9.2.6 屏蔽效能

屏蔽效能按公式（6）计算：

基于同轴法兰夹具法，由矢量网络分析仪测得的散射参数 S_{21} 计算：

$$SE = -10 \lg \frac{P_t}{P_i} = -20 \lg |S_{21}| \dots\dots\dots (6)$$

式中

P_i ——入射与透射功率；
 P_t ——透射功率；
 $|S_{21}|$ ——正向传输系数的模值

9.2.7 反射损耗与吸收损耗

反射损耗（R）可由反射系数 S_{11} 计算：

$$R = -10 \log(1 - |S_{11}|^2) \cdots \cdots (7)$$

式中：

R ——反射损耗，单位为分贝（dB）；

$|S_{11}|$ ——反射系数（散射参数 S_{11} ）的模值。

吸收损耗可在忽略多次反射时，按公式（8）近似计算：

$$A = SE - R \cdots \cdots (8)$$

式中：

SE ——电磁屏蔽效能；

A ——吸收损耗，单位为分贝（dB）。

9.2.8 压力/温度稳定性

压力或温度稳定性导致的屏蔽效能变化量，按公式（9）计算：

$$\Delta SE = SE_{condition} - SE_0 \cdots \cdots (9)$$

式中：

ΔSE ——在特定压力或温度条件下，屏蔽效能相对于基准条件的变化量，单位为分贝（dB）；

$SE_{condition}$ ——在特定压力（p）或温度（T）条件下测得的屏蔽效能，单位为分贝（dB）；

SE_0 ——在基准条件（如标准大气压、25℃）下测得的屏蔽效能，单位为分贝（dB）

9.2.9 界面缝隙影响

界面缝隙对屏蔽效能的影响，按公式（10）计算：

$$\Delta SE_{gap} = SE - SE_{gap} \cdots \cdots (10)$$

式中：

ΔSE_{gap} ——因界面缝隙导致的屏蔽效能下降值，单位为分贝（dB）；

SE ——无缝隙状态下样品的屏蔽效能，单位为分贝（dB）；

SE_{gap} ——引入规定宽度缝隙后，在同一样品上测得的屏蔽效能，单位为分贝（dB）

9.3 重复性与再现性评估

9.3.1 重复性

同一实验室、同一操作员对同一样品进行6次测试，计算测试结果的相对标准偏差（RSD）。要求介电常数RSD≤3%，屏蔽效能RSD≤5%。

9.3.2 再现性

不同实验室或不同操作员对同一样品进行测试时，应评估测试结果的一致性。可通过实验室间的比对试验来验证测试方法的再现性。

9.4 数据审核与异常处理

9.4.1 数据审核

对所有测试数据进行严格审核，包括数据的准确性、完整性和合理性。审核内容应涵盖数据记录是否规范、计算过程是否正确、测试结果是否符合预期等。

9.4.2 异常数据处理

当发现测试数据异常时，应进行复查。首先检查测试过程中是否存在人为误差等不符合要求的情况。如确定数据异常，应重新测试异常项目，并记录异常原因及处理措施。

9.5 测试结果

将测试结果以清晰、准确的方式呈现，包括数据表格、图表、文字描述等。对于每个测试项目，应提供详细的测试结果，并对测试结果进行分析，结合样品的制备工艺、材料特性等因素，探讨物理与电化学性能之间的内在联系。分析结论包括性能指标的优劣、可能的影响因素、改进建议等。

10 质量保证和控制

10.1 仪器设备校准

所有仪器设备应定期送至专业计量机构进行校准，并在有效期内使用。在测试过程中，应对关键设备进行核查，测试前使用标准样品进行性能验证，并记录核查结果。发现偏差，应立即停用并重新校准。

10.2 环境监测

在测试过程中，应实时监测环境温度和湿度，并记录相关数据，当环境条件超出规定范围时，应暂停测试并采取相应的措施进行调整。

10.3 样品检查

在测试前和测试后，应对样品进行外观检查，确保样品无损坏或污染。

10.4 人员保证

测试人员应具备材料科学、电化学、物理化学、分析化学等相关专业本科及以上学历，或持有相关领域专业技术资格证书。严格执行本文件规定的测试方法，对关键工序需双人复核并签署操作记录。

11 测试报告

测试报告应包括以下内容：

- a) 测试样品的基本信息，如型号、编号、材料组成等；
 - b) 测试环境条件，包括温度、湿度等；
 - c) 测试仪器设备的型号、参数及校准状态；
 - d) 测试步骤及原始数据记录；
 - e) 数据处理结果；
 - f) 测试结果分析（如有）及结论；
 - g) 测试人员和审核人员签名及日期；
 - h) 附件，包括测试过程中记录的原始数据、图表、校准证书等复印件，以及其他需要说明的文件。
-

附录 A
(资料性)
5G/6G 通信设备用导热凝胶技术要求

A.1 介电性能技术要求

5G/6G通信设备用导热凝胶介电性能推荐采用表1指标。

表A.1 5G/6G通信设备用导热凝胶介电性能

测试项目	技术指标
介电常数（10 GHz）	2.0~4.0，相对误差≤3%
介质损耗因数（10 GHz）	≤0.02，相对误差≤5%
体积电阻率	≥1×10 ¹⁴ Ω·cm，相对误差≤10%
介电强度	≥15 kV/mm，相对误差≤5%
高频温变稳定性（-40~125 ℃）	介电常数变化率≤±5%
表面电阻率	≥1×10 ¹³ Ω/sq

A.2 电磁屏蔽效能技术要求

5G/6G通信设备用导热凝胶电磁屏蔽效能的技术要求推荐采用表2指标。

表A.2 5G/6G通信设备用导热凝胶电磁屏蔽效能性能

测试项目	技术指标
屏蔽效能SE（Sub- 6 GHz）	≥20 dB
屏蔽效能SE（毫米波24 GHz~52 GHz）	≥15 dB
反射损耗	≥10 dB
吸收损耗	≥8 dB
稳定性（85℃/85%RH，500 h）	SE衰减≤3 dB

A.3 试剂与材料要求

5G/6G通信设备用导热凝胶介电性能与电磁屏蔽效能测试所用试剂与材料包括以下内容：

- a) 无水乙醇：AR级；
- b) 标准介电材料：聚四氟乙烯、石英片；
- c) 标准屏蔽样品：铜箔、铝箔（纯度≥99.9%）；
- d) 电极材料：镀金铜电极、不锈钢电极，粗糙度Ra≤0.1 μm。