

《高密度互连（HDI）PCB 设计规则与布线规范》 （征求意见稿） 编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

本文件由中国技术市场协会提出并归口，经中国技术市场协会标准化工作委员会批准，正式列入 2025 年团体标准制修订计划，标准名称为《高密度互连（HDI）PCB 设计规则与布线规范》。

（二）项目背景

随着电子信息产业向小型化、高密度、高速度方向快速发展，高密度互连（HDI）PCB 作为核心互连器件，广泛应用于智能手机、平板电脑、高端服务器、航空航天电子设备等领域。其设计与布线质量直接决定了电子设备的信号传输效率、可靠性和稳定性，是保障产品性能的关键环节。

当前，HDI PCB 行业缺乏统一的设计与布线标准，不同企业采用的设计规范、布线参数、性能指标差异较大，导致产品兼容性差、质量参差不齐。在实际生产与应用中，因设计不规范引发的信号干扰、电源完整性问题、可制造性低下等问题频发，不仅增加了研发生产成本和产品故障率，也制约了行业技术交流与规模化发展。

随着器件集成度不断提升，HDI PCB 逐渐向任意层互连、微盲孔高密度排布等复杂结构发展，对设计规则、布线精度和性能要求更为严苛。现有分散的技术规范已无法满足行业发展需求，亟须制定统一的设计与布线标准，规范技术要求和评价体系，为

产业发展提供技术支撑，提升我国在电子电路领域的核心竞争力。

（三）目的意义

1. 目的

（1）建立统一技术规范

制定系统性的 HDI PCB 设计与布线标准，明确材料选择、结构设计、布线规则、性能要求等核心内容，统一行业技术尺度，确保不同企业设计生产的产品具备一致性和兼容性，引导行业规范化发展。

（2）提升产品质量水平

通过标准化的设计要求和布线规范，减少设计缺陷和工艺风险，提升 HDI PCB 的信号完整性、电源完整性和电磁兼容性，降低产品故障率，为下游电子设备提供高质量的核心互连部件。

（3）支撑产业高效发展

为企业研发、生产、验收提供清晰的技术依据，简化设计流程，提高生产效率，降低研发试错成本和质量管控成本，推动 HDI PCB 产业向高效、高质量方向升级。

2. 意义

（1）推动行业技术进步

统一的标准能够促进企业间技术交流与合作，避免重复研发和资源浪费。标准化的技术要求可引导企业聚焦核心技术创新，推动新型材料应用、精细布线工艺、复杂结构设计等领域的技术突破，带动整个电子电路产业升级。

（2）降低产业链成本

标准化设计可提高 HDI PCB 与上下游产品的兼容性，减少适

配调整成本；规范的布线规则和试验方法可降低生产过程中的不良率，减少报废损失；明确的验收标准可简化检验流程，降低检测成本，整体提升产业链的经济效益。

（3）增强市场竞争力

标准的制定与实施有助于提升我国 HDI PCB 产品的质量稳定性和技术先进性，打破国际技术壁垒，促进产品出口，增强我国在全球电子信息产业中的市场话语权和竞争力。

（四）起草单位及起草人名单

本文件起草单位：胜宏科技(惠州)股份有限公司、深圳华秋电子有限公司、北京中研博采技术服务有限公司、北京六只猫创意科技有限公司、北京彬诚科技有限公司等单位。

本文件主要起草人：陈涛、陈遂佰、王辉、李晓锋、乐志斌、夏卫彬、杨笛等。

（五）主要起草过程

1. 文本调研

2025 年 5 月启动了文本的调研工作，并于 2025 年 6 月完成了相关资料的收集和分析工作。

2. 标准立项

2025 年 9 月向中国技术市场协会标准化委员会提出申请，于 2025 年 12 月获得中国技术市场协会标准化工作委员会批准立项。

3. 形成标准草案

2025 年 12 月，起草组对资料收集情况进行汇总处理，确定了标准框架和主要内容。2025 年 12 月 19 日，《高密度互连 (HDI) PCB 设计规则与布线规范》形成标准初稿。

4. 形成征求意见稿

2025年12月22日至2025年12月26日，起草组根据反馈的意见和建议，对草案内容进行了修改和调整，形成标准征求意见稿。

二、确定标准主要内容的论据

（一）编制原则

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》以及《中国技术市场协会团体标准工作程序》的规定起草。

（二）标准主要内容及适用范围

本文件规定了高密度互连（HDI）PCB（以下简称“HDI PCB”）的设计要求、布线规则与结构技术要求、试验方法。

本文件适用于任意层互连、错孔、叠孔等结构的高密度互连印制板的设计、制造和验收。其他类型的PCB可参照使用。

（三）确定标准主要内容的论据

1. 规范设计核心环节，保障产品一致性

HDI PCB的设计质量直接影响产品性能，其材料选择、结构设计、布线规则等核心环节缺乏统一规范是导致产品质量差异的主要原因。本标准明确了不同密度级别HDI PCB的线宽/线距、过孔尺寸、介质层厚度等关键参数，规范了材料选择的技术要求，可有效避免因设计参数不统一导致的性能波动，保障不同企业生产产品的一致性和兼容性。

2. 明确性能指标与试验方法，提升测试可靠性

针对行业内性能测试方法不统一、结果可比性差的问题，本

标准制定了统一的电气性能要求和安全性要求，并明确了对应的试验方法和依据标准。例如，通过规定阻抗测试采用时域反射计（TDR）、插入损耗测试采用矢量网络分析仪（VNA）等，确保测试结果的准确性和可靠性，为产品质量评价提供科学依据。

3. 适应技术发展与产业需求

随着 HDI PCB 技术的发展，任意层互连、盘中孔设计等高密度结构应用日益广泛，本标准按密度级别划分技术指标，既满足当前不同应用场景的需求，又适应未来技术发展趋势。同时，结合电子设备对电磁兼容性、可靠性的高要求，在设计目标中明确电磁兼容性要求，在安全性要求中增加温度循环、振动冲击等测试项目，确保标准能够支撑产业高质量发展。

三、主要试验[或验证]情况分析、技术经济论证、预期经济效果

（一）主要试验[或验证]情况分析

为确保标准的科学性、合理性与可操作性，起草组联合第三方权威检测机构、HDI PCB 生产企业及下游应用终端厂商，选取覆盖常规密度、较高密度、极高密度三个等级的 15 款主流产品样品，严格依据 GB/T 4677、SJ 21193 等标准开展全维度试验验证，累计完成试验项目 420 项，获取有效数据 1800 余组，具体验证情况如下：

1. 尺寸与结构指标验证

线宽/线距精度：对各级别样品的内外层导线进行随机抽样测量，级别一（常规 HDI）样品内层最小线宽实测值集中在 0.078mm~0.095mm，线距偏差 $\leq\pm 0.005\text{mm}$ ；级别三（极高密度）

样品外层最小线宽最优值达 0.022mm，满足 0.020~0.038mm（不含）的要求，未达标样品因蚀刻工艺精度不足，线宽偏差超±0.008mm，验证了指标对制造工艺精度的约束作用。过孔与焊盘性能：激光钻孔最小孔径测试中，级别三样品最优值为 0.055mm，焊盘环宽实测 0.028mm，均符合要求；3 款未达标样品因钻孔定位偏差，焊盘环宽不足 0.025mm，存在信号传输中断风险，证明了该指标对连接可靠性的重要性。层间对位精度：级别三样品实测对位偏差≤±0.012mm，远优于±0.015mm 的限值；2 款常规 HDI 样品因层压工艺控制不当，对位偏差达±0.06mm，导致阻抗匹配异常，验证了层间对位精度指标的必要性。

2. 电气性能指标验证

导体电阻：20℃环境下，所有达标样品导体电阻实测值≤0.18Ω/m，最优值为 0.12Ω/m，满足≤0.20Ω/m 的要求；未达标样品因铜箔厚度不足（实测 0.018mm，低于标准要求的 0.02mm），电阻值达 0.25Ω/m，影响信号传输效率，证明了材料参数与电气性能的关联性。绝缘电阻与耐压：100V DC 条件下，所有样品绝缘电阻均≥600MΩ，最优值达 1200MΩ；500V AC 耐压试验持续 60s 后，无击穿、飞弧现象，未达标样品因介质层存在微小气泡，绝缘电阻仅 350MΩ，验证了材料选型与工艺控制对电气安全的影响。差分阻抗与插入损耗：1GHz 频点下，差分阻抗实测值集中在 87Ω~93Ω，满足 90Ω±5Ω 的要求；5GHz 频点插入损耗最优值为 0.38dB/inch，≤0.5dB/inch 的标准限值，未达标样品因线路设计不合理，插入损耗达 0.62dB/inch，导致高速信号传输失真，证明了布线规则的科学性。

3. 安全性与可靠性指标验证

热冲击与温度循环：-55℃~125℃1000次循环后，达标样品互连电阻变化 $\leq 8\%$ ，层间剥离强度 $\geq 1.2\text{N/mm}$ ；未达标样品因粘结片材料耐热性不足，互连电阻变化达15%，层间出现剥离现象，验证材料选型对极端环境适应性的影响。导电阳极丝（CAF）与电迁移：85℃、85%RH、100V DC条件下，96h后达标样品绝缘电阻 $\geq 12\text{M}\Omega$ ，电迁移路径 $\leq 1.5\text{mm}$ ；2款样品因介质层纯度不足，CAF绝缘电阻仅 $8\text{M}\Omega$ ，迁移路径达2.8mm，存在短路风险，证明安全指标对长期运行可靠性的保障作用。阻燃性：所有达标样品均通过UL 94 V-0等级测试，燃烧时间 $\leq 10\text{s}$ ，无滴落现象；1款样品因基材未添加阻燃剂，燃烧时间达35s，不符合安全要求，验证阻燃性指标的必要性。

（二）技术经济论证

本标准的实施将从产业链协同、企业成本效益、社会资源配置三个维度产生显著技术经济价值，具体分析如下：

1. 产业链层面

上游材料端：标准对基材介电常数、损耗因子等参数的明确要求，将引导材料供应商聚焦高性能材料研发。数据显示，符合标准的高Tg FR-4材料成本较普通FR-4高12%~15%，但标准实施后规模化采购可使成本降低8%~10%；低损耗材料因需求增长，量产成本预计下降18%~22%，推动高端材料在5G、新能源等领域的普及。中游制造端：标准化的尺寸公差与工艺要求将促使企业优化生产流程，激光钻孔、层压等关键工艺的良率可从当前88%提升至95%以上，单平方米HDI PCB制造成本降低10%~12%；

同时，统一的测试方法可减少企业重复检测成本，预计单款产品检测费用下降 30%~35%。下游应用端：消费电子领域，达标 HDI PCB 的信号传输稳定性提升可使终端产品故障率降低 20%，维修成本下降 25%；工业控制领域，高可靠性指标可满足复杂工况需求，设备停机时间减少 15%~18%，生产效率提升 10%以上。

2. 企业层面

成本与效益平衡：企业为满足标准高阶要求（级别三）需增加研发及设备改造每条生产线投入约 80 万元~120 万元，但产品良率提升与售后成本降低可使投资在 1.5 年~2 年内收回；达标产品的市场溢价能力可达 30%~35%，在高端通信、汽车电子等场景的市场占有率可提升 18%~22%。以年产 50 万平方米的中型企业为例，标准实施后预计年增收可达 1800 万元~2200 万元。**技术升级驱动：**标准对布线密度、阻抗控制精度等指标的严苛要求，将推动企业加大精密制造、仿真设计等核心技术研发，预计行业整体研发投入占比将从当前 5.2%提升至 8%~9%，催生一批关于微孔加工、信号完整性优化的核心专利，增强企业技术壁垒。

3. 社会经济层面

资源利用效率提升：标准化的模块化设计与通用化要求可实现零部件的互换通用，预计行业原材料复用率提升至 65%以上，减少废旧板材浪费，每年可降低行业原材料消耗约 1500 吨，节约木材、铜材等资源价值超 3 亿元。**产业升级带动：**标准推动的技术升级将带动精密制造、检测设备等相关产业发展，预计 5 年内可新增就业岗位 10000 个~12000 个；同时，HDI PCB 作为电子信息产业的核心基础部件，其标准化可支撑 5G 基站、新能源

汽车、人工智能终端等产品的升级迭代，每年为相关产业带来间接经济效益超 50 亿元。

（三）预期经济效果

制定和实施《高密度互连（HDI）PCB 设计规则与布线规范》后，将为行业和社会带来长期且显著的经济效益，具体体现在以下方面：

1. 产业提质增效效益显著

以单平方米高端 HDI PCB 平均售价 800 元计，达标产品因良率提升与性能优化，企业单位产值利润率可从当前 18% 提升至 28%~30%；若 2028 年国内达标 HDI PCB 产量达 8000 万平方米，行业新增产值将突破 240 亿元。在 5G 通信领域，达标产品的信号传输效率提升可使基站数据吞吐量增加 25%，单基站年运营收益提升 15 万元以上。

2. 出口竞争力大幅增强

国际市场对 HDI PCB 的尺寸精度、可靠性指标要求日趋严苛，本标准对标 IPC-4101、GB/T 43799 等国内外先进标准，在关键指标上实现全面覆盖。据海关数据，2024 年我国 HDI PCB 出口额为 42 亿美元，因标准不符导致的退货率达 9.5%；预计标准实施后，退货率可降至 3.5% 以内，年减少贸易损失约 2.4 亿美元，同时出口份额可提升 12%~16%，年新增出口额超 8 亿美元。

3. 行业集中度与创新能力提升

当前行业存在大量中小规模企业，产品性能参差不齐，缺乏核心技术。标准实施后，预计 45% 以上的低效产能将因无法满足工艺与性能要求退出市场，行业 CR5（前五大企业集中度）有望

从当前 35%提升至 55%以上，资源向技术领先企业集聚；同时，行业整体研发投入强度预计将从 4.8%提升至 7%~8%，推动微盲孔加工、高频低损耗材料应用等核心技术实现突破，加速国产替代进程，降低对进口高端 HDI PCB 的依赖度。

四、采用国际标准和国内外先进标准的程度

本文件不涉及国际国外标准的采标情况。

五、重大分歧意见处理经过及依据

本文件在制定过程中未出现重大分歧意见。

六、与现行相关法律、法规及相关标准的协调性

与现行相关法律、法规及相关标准相协调。

七、知识产权情况说明

本文件不涉及必要专利等知识产权情况。

八、其他应予说明的事项

无。

《高密度互连 (HDI) PCB 设计规则与布线规范》

团体标准工作组

2026 年 1 月 5 日