

Application Note

QFN 和 SON PCB 连接

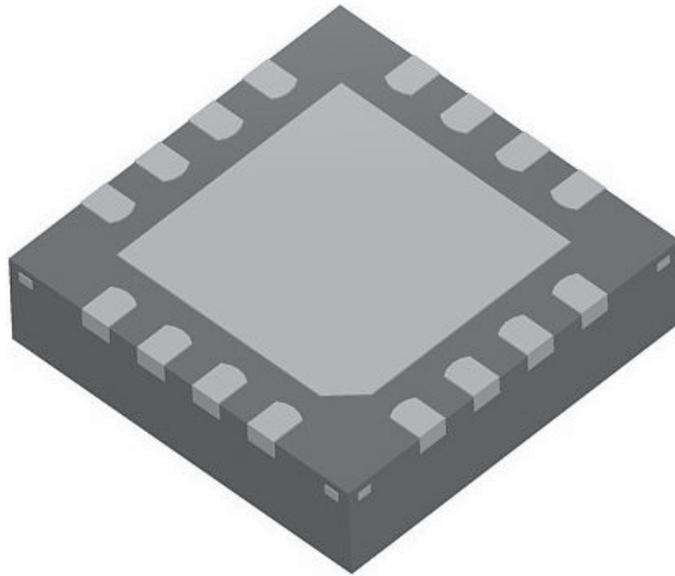


Steve Kummerl, Bernhard Lange, Dominic Nguyen

Texas Instruments

摘要

Quad Flatpack No-lead (QFN) 和 Small-Outline No-lead (SON) 均属于无引线封装，通过元件底部焊盘连接到基板 (PCB 或陶瓷) 表面实现电气连接。本应用报告包含将 QFN 和 SON 器件与印刷电路板 (PCB) 连接的相关介绍性信息。



内容

1 德州仪器 (TI) Quad Flatpack No Lead 和 Small-Outline No Lead	3
1.1 引言.....	3
2 制造注意事项	4
2.1 SMT 工艺.....	4
3 印刷电路板 (PCB) 设计指南	5
3.1 焊盘类型.....	5
3.2 焊盘设计.....	5
3.3 引线指焊盘 PCB 设计.....	6
3.4 外露焊盘 PCB 设计.....	7
3.5 阻焊层.....	8
3.6 表面抛光.....	9
3.7 电路板布局布线注意事项.....	9
4 焊锡膏丝网印刷工艺	10
4.1 焊锡膏.....	10
4.2 焊接模板.....	10
4.3 引线指模板设计.....	10
4.4 外露焊盘模板设计.....	11
5 封装到电路板组装过程	13
5.1 放置和对齐.....	13

5.2 回流焊.....	13
5.3 PCB 清洁.....	14
5.4 检查.....	14
6 返工指南 (热气对流和手动)	16
6.1 元件拆除.....	16
6.2 现场恢复.....	16
6.3 元件更换和回流焊.....	16
6.4 手动返工注意事项.....	18
7 修订历史记录	19

插图清单

图 1-1. QFN 结构.....	3
图 2-1. 带有湿敏等级 (MSL) 的封装材料标签信息.....	4
图 3-1. QFN 和 SON 外形尺寸.....	5
图 3-2. PCB 焊盘图案.....	6
图 3-3. 基板或 PCB 引线指几何形状.....	6
图 3-4. 供参考的 X 射线图像.....	7
图 3-5. PCB 阻焊层和禁止区域示例.....	8
图 3-6. 避免过度弯曲.....	9
图 4-1. 焊接模板轮廓.....	10
图 4-2. 宽高比和面积比图示.....	11
图 4-3. 示例焊盘图案和外露焊盘模板设计.....	12
图 5-1. 回流焊时的封装自对齐.....	13
图 5-2. QFN 和 SON 铅和无铅示例回流焊曲线.....	14
图 5-3. 典型圆角形成图示.....	15
图 6-1. 示例微型模板.....	17
图 6-2. 示例热气对流喷嘴.....	17
图 6-3. 预热器.....	18
图 6-4. 手动返工损坏.....	19

表格清单

表 2-1. 组件质量的基本要素.....	4
表 3-1. PCB 尺寸定义.....	6
表 6-1. 无铅焊接元件拆除.....	16
表 6-2. 无铅焊接元件放置.....	18

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 德州仪器 (TI) Quad Flatpack No Lead 和 Small-Outline No Lead

1.1 引言

Quad Flatpack No-lead (QFN) 封装和 Small-Outline No Lead (SON) 封装是采用传统铜引线框技术的热增强型塑料封装。该结构实现了具有成本效益的高级封装解决方案，与传统引线式封装相比，有助于最大限度地增加布板空间，并提高电气性能和热性能。

QFN 封装的全部四个侧面都有焊盘。SON 通常在封装的两侧具有焊盘。

QFN 和 SON 具有多种设计样式。QFN 和 SON 通过矩阵引线框进行模塑和机械分离。封装尺寸由多个关键因素决定，包括裸片尺寸、终端数量等。

所有 QFN 和 SON 均属于无引线封装，通过元件底部焊盘连接到基板（印刷电路板 (PCB)、陶瓷）表面以实现电气连接。标准 QFN 和 SON 封装具有外露焊盘，可增强热特性和电气特性，从而实现高功率和高频应用。

备注

本 QFN 和 SON PCB 应用报告是一份指南。需要精确的工艺开发和实验来优化具体的应用/性能。

QFN STRUCTURE AND STITCH BONDS

Decapsulated Image of Stitch Bond

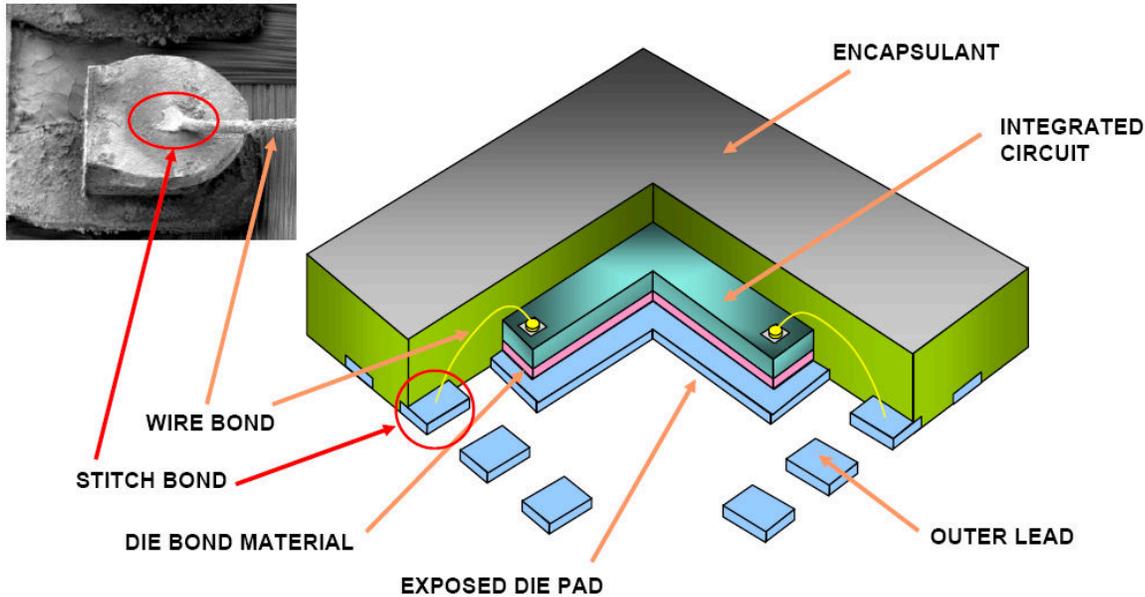


图 1-1. QFN 结构

2 制造注意事项

2.1 SMT 工艺

许多因素促成了高良率组装过程。表 2-1 突出显示了一些关键重点领域及其影响因素。

表 2-1. 组件质量的基本要素

焊锡膏质量	均匀的粘度和纹理。无异物。焊锡膏必须在到期日期之前使用。必须保持适当的运输和贮存温度。在焊接模板上，必须防止焊锡膏失去水分。
PCB 质量	清洁、平坦、电镀或带涂层的焊盘区域。连接表面必须清洁且无阻焊层残留物。
贴装精度	通常不需要严格的容差。只要引线指的主要部分（超过 50%）与电路板上焊锡膏覆盖的焊盘区域接触，QFN 和 SON 封装就会自动居中。PCB 上的对齐标记（基准点）有助于验证器件是否正确放置。
回流焊曲线	根据元件的湿敏等级 (MSL)、元件密度和所用焊锡膏的建议曲线，回流焊温度取决于 PCB 设计、PCB 厚度和峰值回流焊温度。必须为使用各种 QFN 和 SON 封装的每种 PCB 类型绘制回流焊曲线。有关回流焊曲线，请参阅节 5.2 中的图 5-2。
焊料量	焊料量对于确保所有预期焊料连接的最佳接触非常重要。

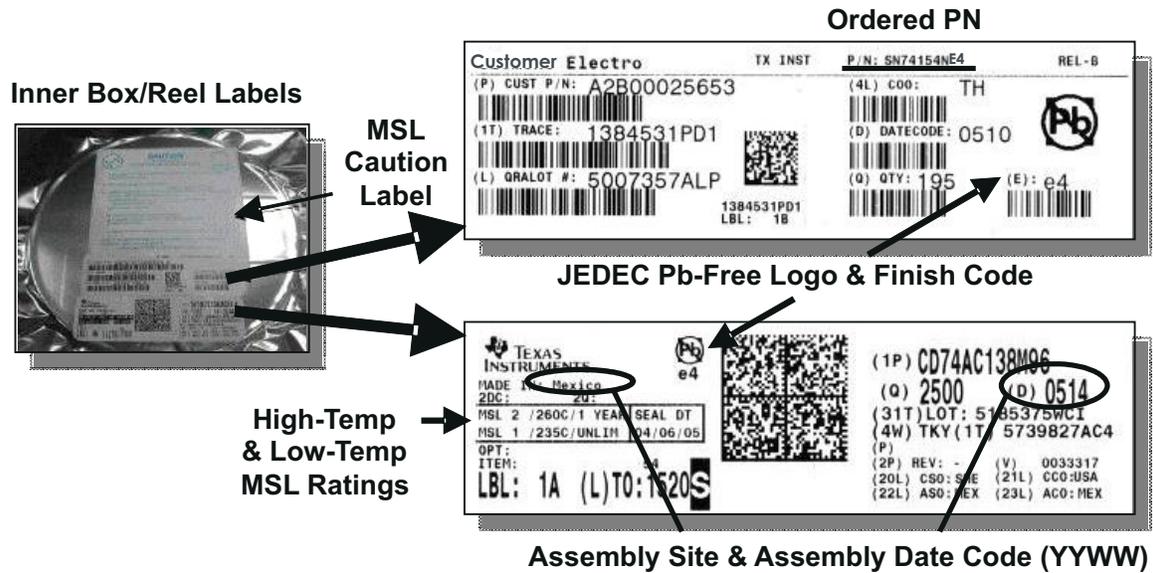


图 2-1. 带有湿敏等级 (MSL) 的封装材料标签信息

3 印刷电路板 (PCB) 设计指南

在基板主板上实施 QFN 和 SON 封装的关键工作之一是焊盘的设计。QFN 和 SON 封装底部有外露的引线指。通过使用丝网印刷焊锡膏焊接器件并在放置后进行回流焊，可以在元件和主板之间建立电气和机械连接。为了确保焊点几何形状一致，设计焊盘图案时必须考虑元件外露的引线框图案。

3.1 焊盘类型

QFN 和 SON 封装的 PCB 焊盘有两种基本设计：铜限定或非阻焊层限定类型 (NSMD) 和阻焊层限定类型 (SMD)。业界已经对这两种类型焊盘的优点进行了讨论，尽管 TI 建议使用铜限定类型焊盘 (NSMD)，但这两种类型都可以与 QFN 和 SON 封装一起使用。

由于与阻焊相比，铜蚀刻的容差更严格，因此建议使用 NSMD 焊盘而不是 SMD 焊盘。此外，NSMD 焊盘有助于将焊锡膏限制在阻焊层开口内。根据定义，NSMD 还会提供更大的铜焊盘区域，并允许焊料锚定到铜焊盘的边缘，从而增加了可湿性表面积。

3.2 焊盘设计

IPC-7351 是开发 PCB 焊盘图案的业界通用指南之一。由于 QFN 和 SON 是新的封装类型，因此本应用报告可用作指南。在设计最佳 PCB 焊盘图案时，应同时参考本指南和 IPC-7351。

图 3-1 显示了设计匹配的基板焊盘图案所需的各种 QFN 和 SON 尺寸。由于大多数封装是正方形的，尺寸 $D = E$ ，并且两个封装的引线沿 E 方向，因此侧视图尺寸 (D 、 S 、 $D2$ 和 L) 用于确定主板 PCB 或基板上的焊盘长度。图 3-2 显示了待确定的主板 PCB 或基板焊盘图案尺寸。表 3-1 提供了这些尺寸的说明。

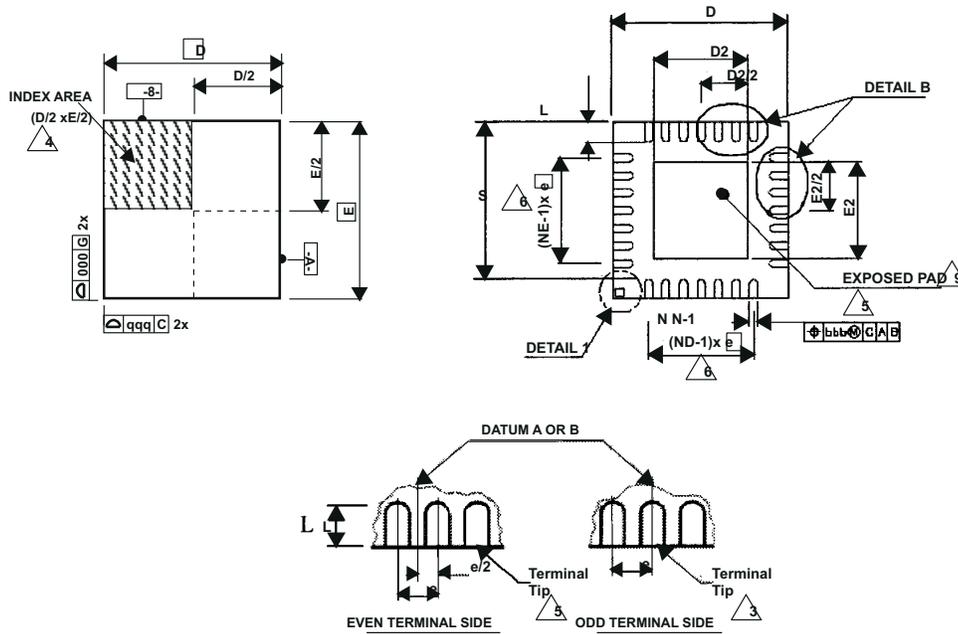


图 3-1. QFN 和 SON 外形尺寸

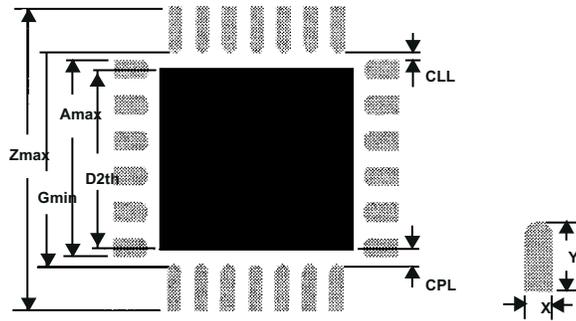


图 3-2. PCB 焊盘图案

表 3-1. PCB 尺寸定义

符号	说明
A_{max}	每侧焊盘宽度的外缘范围
$Z_{max}^{(1)}$	焊盘端子外侧尺寸, 通常至少比封装主体大 0.8mm
$G_{min}^{(1)}$	焊盘端子内侧尺寸
X	引线焊盘宽度
Y	引线焊盘高度
C_{LL}	焊盘角边缘到相邻焊盘内侧的距离
C_{PL}	焊盘中心到引线焊盘内边缘的距离, 其值不应小于 0.2mm

(1) 尺寸 Z_{max} 和 G_{min} 分别是焊盘端子的外侧和内侧尺寸。X 和 Y 分别表示焊盘宽度和长度。定义间隙尺寸 C_{LL} 和 C_{PL} 的目的是防止焊料桥接。

3.3 引线指焊盘 PCB 设计

建议 PCB 引线焊盘设计至少比封装焊盘长度 (也称为外缘长度) 长 0.1mm, 并向封装中心线延伸 0.05mm (也称为内缘)。TI 使用超出封装主体 0.4mm 外缘长度的典型值作为优化焊料量的标准, 这应被视为电路板设计的模型起点。PCB 焊盘宽度必须至少比封装上的端子宽度宽 0.05mm (每侧 0.025mm) (请参阅图 3-3)。然而, 为了避免引线间距为 0.5mm 的元件出现焊料桥接, 焊盘宽度应减小至 0.28mm 或更小。0.28mm 宽度基于最大端子宽度为 0.3mm 的 0.5mm 间距元件 (根据机械制图)。如果电路板供应商无法在 0.28mm 宽的焊盘之间实现阻焊网, 则应减小宽度以适应电路板供应商的阻焊网容差。对于需要最小焊盘图案的电路板设计, 必须考虑宽高比和面积比模板设计参数, 从而实现可制造的焊盘图案设计。模板的设计通常与焊盘图案有关, 因此在最大限度地减小尺寸时必须仔细考虑这两者。IPC-7525 说明了设计模板时所需的参数。

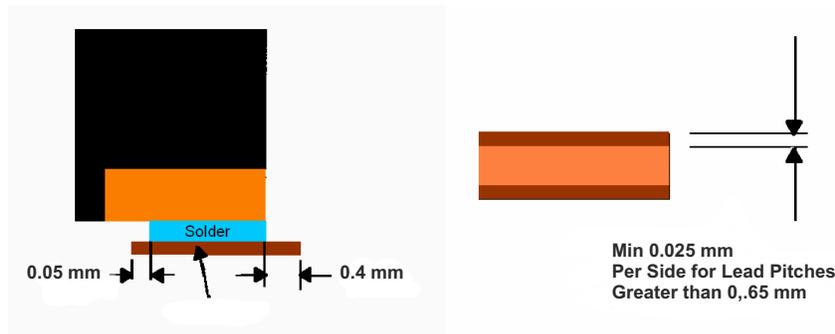


图 3-3. 基板或 PCB 引线指几何形状

3.4 外露焊盘 PCB 设计

外露焊盘的结构可增强散热和电气特性。为了充分利用该功能，必须用焊料将焊盘物理连接到 PCB 基板。发布的热性能数据 θ_{JA} 基于包含过孔（充当各层的热路径）的四层 PCB，这也称为符合 JESD51-7 标准的 JEDEC 高 K 电路板设计。

PCB 上散热焊盘的尺寸应等于 QFN 和 SON 上外露焊盘的尺寸。需要足够的间隙 (CPL) 以防止焊料桥接。实验表明，0.2mm 的最小间隙对于大多数设计而言是令人满意的。

3.4.1 散热焊盘过孔设计

位于数据表末尾附近的 TI 示例焊盘图案中表示的过孔数量应被视为示例起点。并非所有应用都需要过孔。是否需要过孔取决于器件耗散的功率。如果电路板布线变得太难而无法使用散热过孔，请联系您当地的 TI 代表以获取进一步的指导。然而，为了获得机械强度和可靠性，中心散热焊盘应始终焊接到电路板上。对于具有热挑战性的应用，TI 建议在放置散热过孔时采用大约 1.0mm 的间距。根据标准 PCB 制造能力，建议以直径为 0.3mm 的钻孔作为起点，但较小的过孔可降低焊料量损耗的风险。在需要考虑过孔中焊料量损耗的应用中，可以使用堵塞或掩蔽来实现可重复的过程。

堵塞的过孔消除了焊料量损耗的风险。如果堵塞过孔在经济上不适用，则掩蔽也可以带来好处。由于电镀工艺中会产生化学物质滞留，因此从电路板背面或顶部进行掩蔽可能会导致一些印刷电路板制造商遇到加工问题。在从电路板背面进行堵塞或掩蔽的情况下，由于掩蔽的过孔内滞留的空气，产生空洞的可能性可能会增加。请咨询您的电路板制造厂以获取建议。

另一种阻焊层掩蔽技术是从电路板顶部掩蔽。进行掩蔽时，过孔阻焊层直径必须比过孔直径大 0.1mm。另一种形式是创建阻焊层的交叉影线图案，以创建可预测的覆盖区域。试验表明，从顶部进行掩蔽不太可能在外露焊盘和 PCB 焊盘之间产生随机空洞。有关各种过孔掩蔽结构的 X 射线结果，请参阅图 3-4。

对于使用有机保焊剂 (OSP) 的抛光，不从电路板顶部或底部掩蔽任何过孔已显示出可重复的焊接性能。此外，优化曲线以在关键回流焊阶段实现最大助焊剂活性可减少出现的空洞数量。试验表明，浸泡时间过长会在合金熔化温度之前激活大部分助焊剂，从而导致大的空洞。请咨询您的焊锡膏制造商，了解替代型材是否能在所用合金的临界熔化阶段提供更多的助焊剂活性。

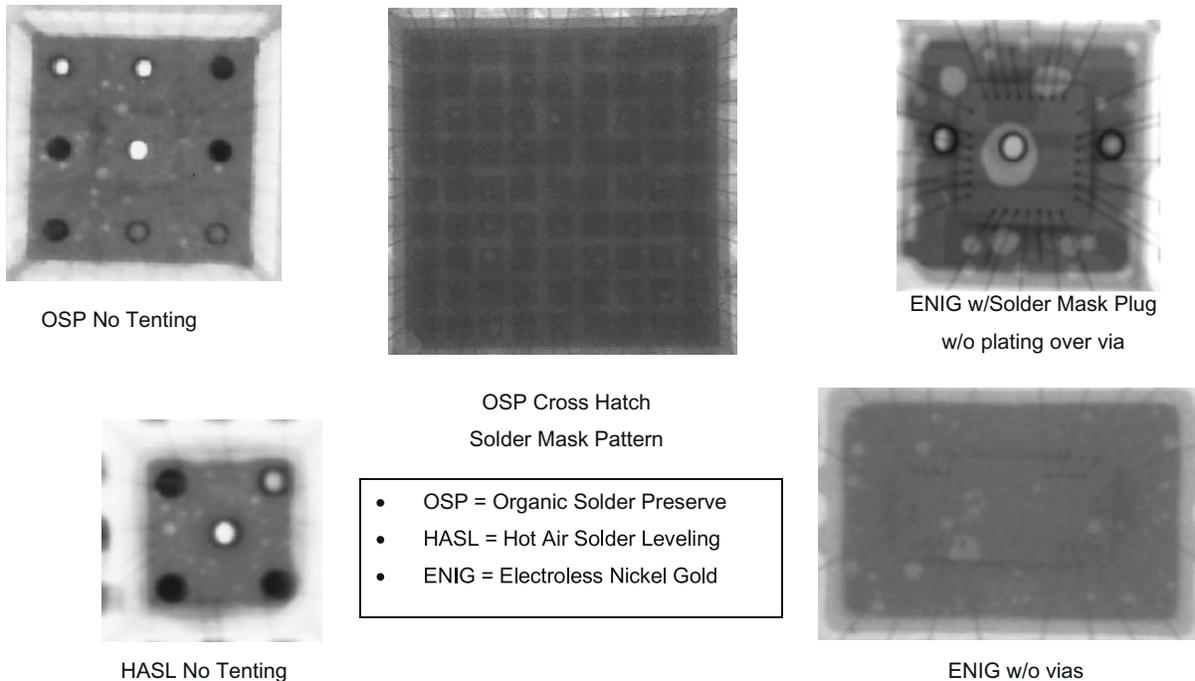


图 3-4. 供参考的 X 射线图像

3.5 阻焊层

如节 3.1 中所述，建议使用非阻焊层限定焊盘 (NSMD) 而非阻焊层限定焊盘 (SMD)，用于产生一致的焊点几何形状。可以在每个单独的引线指周围设计阻焊层，引线间距为 0.65mm 及以上。请向您的电路板制造厂核实是否存在阻焊层开口，但 NSMD 开口通常比引线指焊盘尺寸大 0.1mm 至 0.14mm。对于 0.5mm 的引线间距，建议在每侧所有焊盘周围设计间隙为 0.05mm 或更小的阻焊层，因此请咨询您的电路板制造厂以了解容差要求。

为了最大限度地增加转角区域中的阻焊层，有必要绕过每一行的内侧转角 (请参阅图 3-5)。这可以确保 PCB 封装设计的转角处有足够的阻焊层，并防止金属特征侵入超过 0.2mm 的空气间隙。此外，据观察，某些 QFN 配置利用了元件下方的外露金属引脚 1 特性，如果该区域存在过孔，则可能会导致过孔短路。因此，TI 建议在所有 QFN 设计的引脚 1 旁边保留布线和过孔禁止区域，以防止这种风险并在选择不同的供应商时提供更大的灵活性 (请参阅图 3-5)。

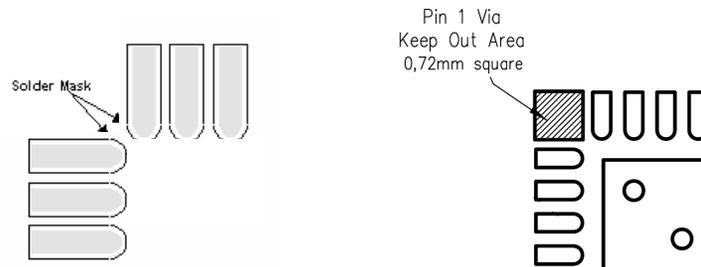


图 3-5. PCB 阻焊层和禁止区域示例

3.6 表面抛光

常见的表面抛光有多种。选择可接受的表面抛光的关键因素是确保焊盘具有均匀的涂层。不规则的表面镀层、不均匀的焊锡膏厚度和焊接镀层的凸起可能会降低总体表面贴装良率。具有有机可焊性防腐剂 (OSP) 涂层的裸铜、化学镍金或电镀镍金抛光已被证明可提供可接受的焊盘表面。一种表现出不规则加工的表面抛光被称为“干膜工艺”。这是因为在去除干膜期间产生的铜侧蚀效应阻碍了在回流焊过程中实现最佳的侧壁润湿性。

电镀相对于 OSP 的优点是：

- 存放期
- 永久覆盖铜过孔和不暴露于焊接工艺的其他功能，以及
- 耐污染性

尽管存在这些差异，OSP 在业界仍表现出稳健的性能。总之，QFN 和 SON 焊接的受控组装工艺依赖于平坦且均匀的连接部位。实现平坦均匀的表面可以更好地控制焊锡膏印刷的均匀性，从而实现整体稳健的过程。

3.7 电路板布局布线注意事项

市场上有各种各样厚度各异的 QFN 封装。在对电路板设计进行布局时应仔细考虑较薄 QFN 封装的位置，以避免制造过程中出现极端偏转的区域（请参阅图 3-6）。基板过度弯曲可能会导致封装损坏，在组装流程中应加以避免。

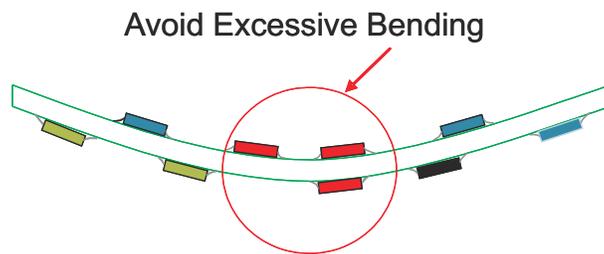


图 3-6. 避免过度弯曲

4 焊锡膏丝网印刷工艺

4.1 焊锡膏

锡膏印刷的质量是生产高良率组件的一个重要因素。焊膏是提供可靠且可重复的组装过程所需的助焊剂和焊料合金的载体。安装 QFN 和 SON 时通常使用低残留、免清洗焊料 (SN63/Pb37 或 SAC 合金) 锡膏, 但是, 如果可以充分清除电路板上的残留物, 也可以使用水溶性助焊剂材料。通常, 焊锡膏的选择决定曲线和回流焊参数。大多数锡膏制造商会为其产品提供建议的热曲线, 必须在制造前参考。焊膏供应商正在销售特殊的 SMD 专用焊膏, 以最大限度地减少焊点中的空洞。如果要使用 CSP 和 QFN 等低间隙器件, 则不建议使用高腐蚀性助焊剂, 除非可以从器件下方将其清除。TI 建议使用焊锡膏制造商建议的温度曲线, 以在对热最敏感的元件的 MSL (湿敏等级) 指南范围内优化助焊剂活性。有关 MSL 分级的更多详细信息, 请参阅 J-STD-033。

4.2 焊接模板

形成一致的焊点是必要的。QFN 和 SON 的大外露焊盘与小引线指之间的差异可能会对实现均匀的间隙高度提出挑战。为此, 必须仔细考虑模板设计。

模板厚度和模板开孔几何形状决定了沉积在器件焊盘图案上的焊锡膏的精确量。模板对齐精度和一致的焊料量转移对于均匀的回流焊处理至关重要。

模板通常由镍堆积或不锈钢制成, 与激光切割不锈钢模板相比, 镍堆积模板可以提供更光滑的侧壁。孔径通常为梯形, 这有助于确保焊锡膏均匀脱离并减少涂抹 (请参阅图 4-1)。

QFN 和 SON 引线指的焊点厚度通常介于 0.050mm 和 0.075mm 之间, 这与在中心散热焊盘区域印刷的焊料量直接相关。制造过程中使用的模板厚度范围为 0.100mm 至 0.150mm (0.004in 至 0.006in), 采用典型的 0.125mm 模板设计, 适用于 0.5mm 间距元件。除了所用最小孔径的面积和宽高比之外, 模板的实际厚度还取决于 PCB 上的其他表面贴装器件。

使用硬度为 95 或更硬的刮刀, 例如不锈钢刮刀。必须微调刀片角度和速度, 以确保均匀的锡膏转移。建议在放置器件之前检测印刷焊锡膏。可重复的焊料沉积是在该过程的下游实现稳定的回流焊良率的最重要因素。作为指导, 建议 QFN 和 SON 元件的模板厚度为 0.125mm (0.005in)。IPC-7525 概述了设计模板时需要考虑的必要参数。

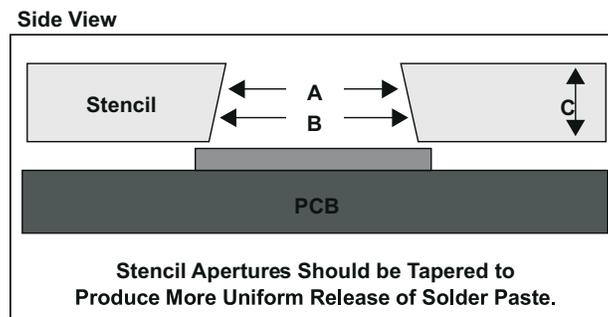


图 4-1. 焊接模板轮廓

4.3 引线指模板设计

模板孔径通常被设计为与 PCB 或基板焊盘尺寸 1:1 匹配 (针对外围引线指建议 1:1, 而非中心散热焊盘, 有关外露焊盘建议, 请参阅节 4.4)。对于 0.5mm 及以下的细间距 QFN 和 SON 元件, 可能需要将模板孔径减小 20%, 以防止 QFN 下方发生短路, 尤其要注意不得超过面积比或宽高比。如果 SMT 设备贴装力度没有得到很好的调节, 从而导致焊锡膏挤出过多而产生短路, 则建议进行该减小。对于 0.4mm 间距元件, 建议使用 0.2mm 的焊盘宽度, 以帮助进行焊锡膏印刷并在焊盘之间形成 0.2mm 的间隙。

引线指模板尺寸取决于具体的 QFN 和 SON 引线指尺寸。例如, 在具有 0.85mm x 0.28mm 宽焊盘的 0.5mm 间距器件上, 应使用 0.23mm x 0.8mm 的模板孔径和 0.125mm 的厚度来满足 IPC-7525 中概述的足够印刷量和面积比要求 (请参阅图 4-2)。如果必须最大程度地减小电路板焊盘图案, 则应在电路板设计之前考虑模板的宽高比和面积比。

模板的面积比对于印刷实现良好的锡膏脱离至关重要。对于面积比小于 0.66 的非常小的孔径，模板必须采用镍成型。与激光生成的模板相比，该类型的模板具有优异的脱离特性。实验表明，镍制模板的印刷面积比可低至 0.57。在设计具有挑战性面积比的孔径时，请咨询您的模板供应商以获取建议。

宽高比与模板的制造相关。模板制造商要求宽高比（请参阅图 4-2）大于 1.5（请参阅 IPC-7525）。

面积比越高，焊锡膏脱离越好，沉积量也越大。模板厚度与面积比成反比。因此，模板越薄，面积比就越高，最终产生稳定的焊锡膏脱离效果（请参阅 IPC-7525）。

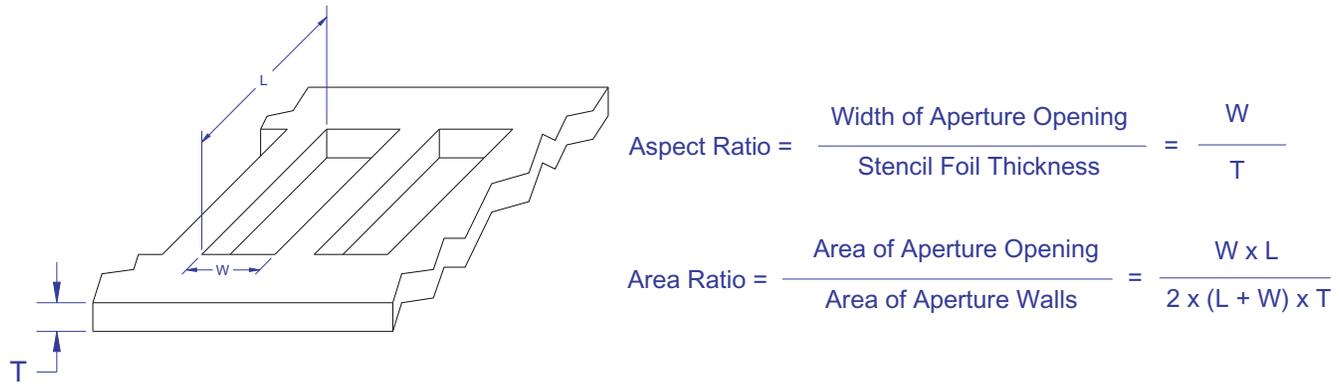


图 4-2. 宽高比和面积比图示

4.4 外露焊盘模板设计

由于封装底部有外露的芯片焊盘，QFN 和 SON 封装具有较高的热效率和电效率。外露芯片必须焊接到 PCB 或主板基板上。

最好的做法是尽量减少外露焊盘互连内空洞的存在。完全消除很困难，但外露焊盘模板的设计至关重要。根据建议的模板设计，可以在回流焊过程中对焊锡膏进行释气处理，并且还可以调节成品焊料厚度。通常，焊锡膏覆盖率约为焊盘面积的 50% 至 70%（请参阅图 4-3）。设计一个与外露焊盘按 1:1 比例印刷焊料的孔径会导致金属体积过大，从而使器件“浮动”并导致开路和其他制造缺陷。此外，在高功率应用中，散热焊盘焊点回流焊后的空洞量不应超过 50%（使用 X 射线进行验证）。根据 JEDEC 高 K 板层叠，已将 25% 确定为热性能回报递减点，但 TI 更倾向于设置 50% 的限制（请参阅 JESD51-7）。

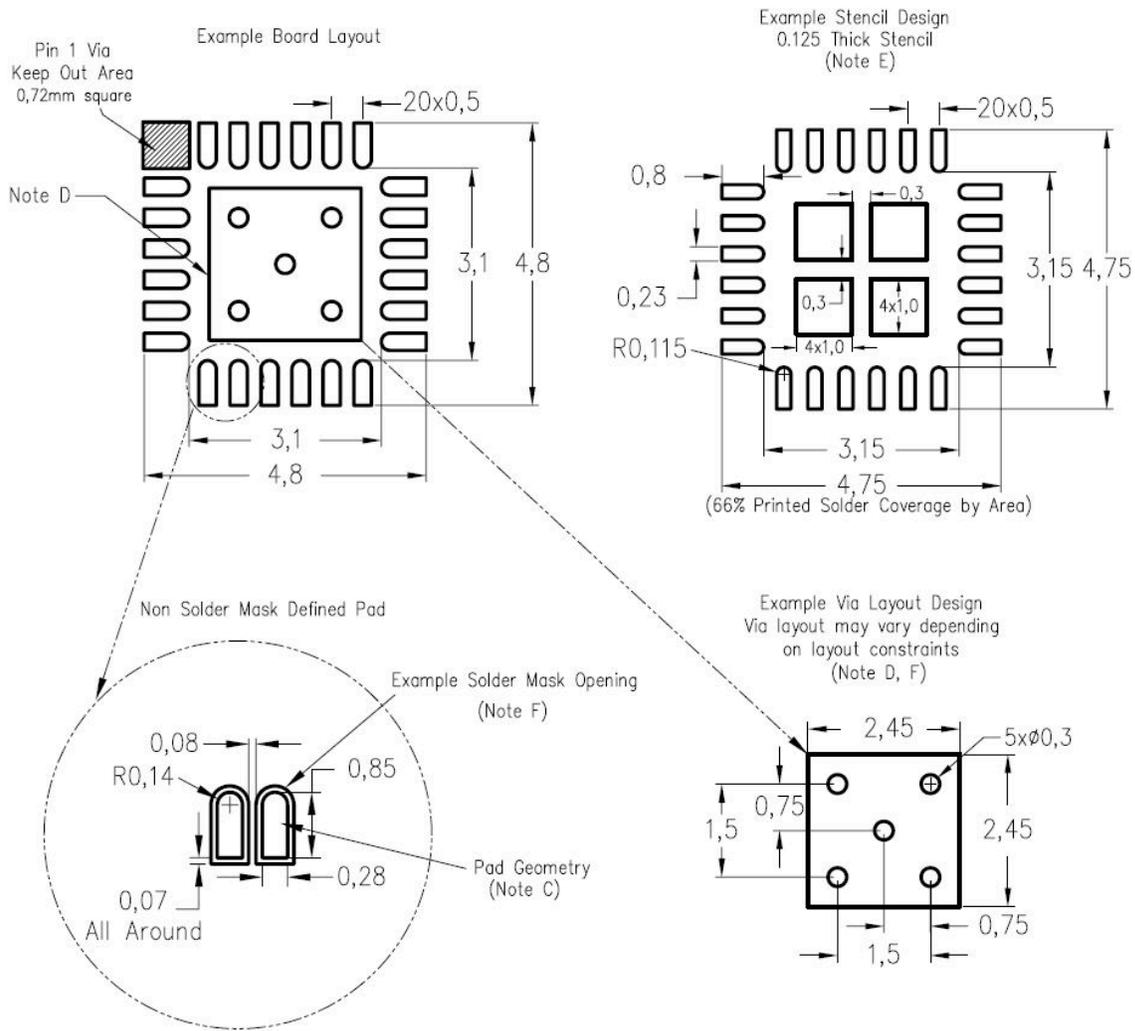


图 4-3. 示例焊盘图案和外露焊盘模板设计

5 封装到电路板组装过程

5.1 放置和对齐

贴片精度决定了封装放置和旋转 (θ) 对齐。该精度取决于设备和工艺。轻微错位的器件 (偏离焊盘中心的幅度小于 50%) 会在回流焊期间自动自对齐 (请参阅图 5-1) 。

必须在回流焊之前移除严重错位的封装 (偏离焊盘中心的幅度大于 50%) ，因为如果进行回流焊，这些封装可能会因焊桥而产生电气短路。使用机器视觉进行封装对齐有两种常用的方法：

- 封装轮廓，也称为“背光”。视觉系统会定位封装轮廓。
- 引线框识别，也称为“顺光”。一些视觉系统可以直接定位引线框图案。

对于 QFN 和 SON 放置，这两种方法都是可以接受的。顺光识别型对齐往往更精确，但速度也较慢，因为需要在贴片机器执行更复杂的视觉处理。

封装轮廓法使贴片系统能够更快地运行，但通常不太精确。这两种方法都是可以接受的，并且已被主要的贴片设备供应商和合同组装厂成功演示。

建议起始贴装力度为 1.5N，并且应尽可能减小该力度。选择贴装力度后，检测 QFN 封装的全部四个侧面，以确保每个侧面都固定在焊锡膏中。压力过大可能会因焊料从器件下方挤出而导致短路，在极端情况下，可能会导致封装破裂。应仔细考虑较薄 QFN 封装的位置。基板过度弯曲也可能导致封装损坏，在组装流程中应加以避免。

5.2 回流焊

对 QFN 和 SON 元件进行回流焊时没有特殊要求。与所有 SMT 元件一样，在所有新电路板设计中检查曲线非常重要。此外，如果电路板上有多于个封装，则必须在电路板上的不同位置检查曲线。元件温度可能因周围元件、器件在电路板上的位置和封装密度而异。

为了最大限度地提高 QFN 和 SON 的自对齐效果，建议不要超过为焊锡膏规定的最高回流焊温度。较好的做法是使 PCB 的温度升降不超过每秒 4°C。

回流焊曲线指南 (请参阅图 5-2) 基于实际焊盘到 PCB 焊盘焊点位置的温度。由于用于监测温度的系统热电偶的位置，焊点处的实际温度通常与回流焊/返工系统中的温度设置不同。

具体的生产回流焊和返工系统因制造商和型号而异。因此，必须在实际焊点位置使用热电偶建立特定于系统的曲线。

TI 已根据 JEDEC J-STD-020 针对三种回流焊操作对 QFN 和 SON 进行了测试和鉴定。这允许在 PCB 的每侧进行一次回流焊操作 (假设使用双面 PCB) ，并在必要时进行一次返工操作。

TI 建议使用焊膏制造商提供的温度曲线，以在对热最敏感的元件的 MSL 指南范围内优化助焊剂活性。有关 MSL 分级的更多详细信息，请参阅 J-STD-033。

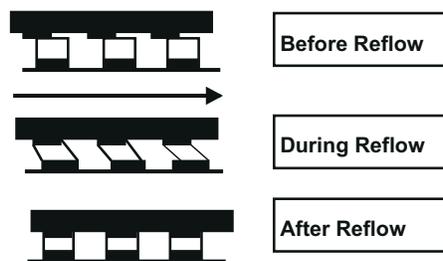
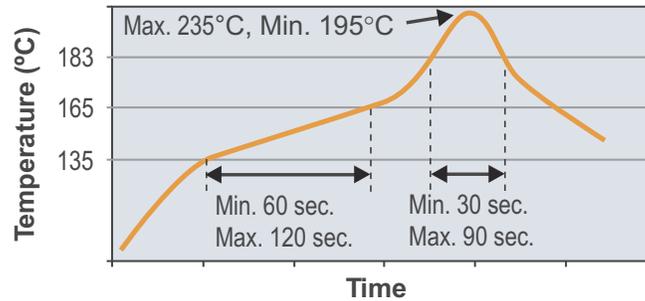


图 5-1. 回流焊时的封装自对齐

SnPb Temperature Profile Example



Pb-Free Temperature Profile Example

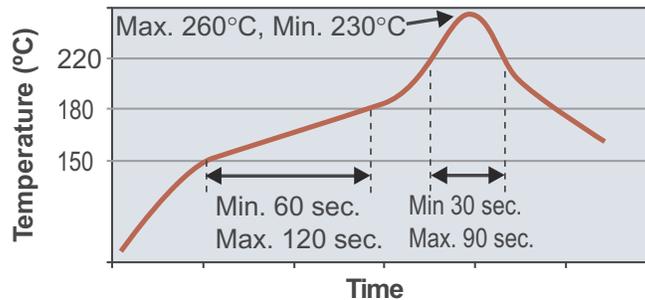


图 5-2. QFN 和 SON 铅和无铅示例回流焊曲线

5.3 PCB 清洁

如果使用了低残留免清洗焊锡膏，则通常不需要进行 PCB 清洁。随着含氯氟烃 (CFC) 的材料淘汰，大多数公司已改用免清洗系统或基于水溶性助焊剂的系统。免清洗助焊剂和焊料可最大限度地减轻留在电路板上的残留物可能以腐蚀形式产生的有害影响。由于有多种免清洗焊锡膏可供选择，因此请执行应用特定评估，以确定是否有任何残留物可能对组件造成损害。有关执行的测试和建议使用条件，请与您的焊锡膏供应商联系。

评估水溶性助焊剂的清洁过程，并特别注意 QFN 元件下方的清洁。由于市场上的清洁介质种类繁多，超出 TI 的控制范围，因此每个客户都应在清洁前与供应商讨论材料相互作用。除了清洁之外，还必须考虑干燥电路板上任何残留的清洁介质，以防止腐蚀等潜在问题。

5.4 检查

通常通过使用透射类型的 X 射线设备来完成 PCB 上的 QFN 和 SON 检测。

在大多数情况下，不会进行 100% 的检测。通常，X 射线检测用于确定工艺参数，然后监测生产设备和工艺。透射 X 射线可以检测桥接、短路、开路 and 焊料空洞。X 射线检测设备有许多不同的类型，功能也各不相同。X 射线检测系统具有从手动光学检测到自动光学检测 (AOI) 的各种功能。不同的系统还提供单维或多维检测功能。

如节 5.2 所述，在回流焊过程中，QFN 和 SON 利用表面张力与焊盘自动对齐。因此，QFN 和 SON 不大可能发生边缘错位。如果发生错位情况，则可能是整个焊盘引起的。这种效果使得可以在回流焊之后进行粗略的视觉对齐检查。PCB 上的基准标记有助于对 PCB 进行目视检查，还可用于在任何返工过程中手动放置装置。

外部圆角的形成可能因制造因素而异，例如助焊剂活性、焊料量和总体间隙高度。由于 TI 无法控制的因素，无法保证组装过程中封装侧面的焊锡圆角高度一致。IPC-A610D 不需要侧面圆角，因为侧面终端未进行电镀。虽然元件侧面的润湿性似乎有所减少，但下面的焊点不受影响（请参阅图 5-3）。

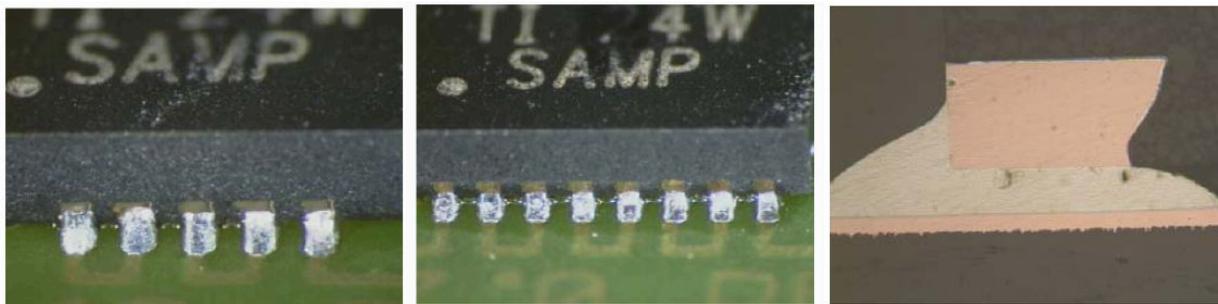


图 5-3. 典型圆角形成图示

6 返工指南 (热气对流和手动)

返工设备持续快速发展以解决芯片级封装问题。许多制造商使用单个返修台来合并多个返工过程步骤，例如元件拆除、现场恢复、焊锡膏和助焊剂涂抹、对齐、元件放置和回流焊。用于对齐、放置和其他领域 (例如表征和存储单个元件回流焊曲线) 的分光成像技术的进步极大地简化了返工过程。

由于 QFN 和 SON 允许在较小的产品上提供更多的功能和特性，因此值得关注的领域是返工过程中相邻元件的热隔离。一些制造商已经通过设计热气喷嘴来解决这一问题，这些喷嘴可以在返工元件周围保留禁止区域，以便在回流焊过程中对相邻元件进行热隔离。

原始设备制造商对在返工过程中焊锡膏和纯助焊剂涂抹有不同的要求。为那些需要焊锡膏的人，我们开发了微型模板和刮刀。这些微型模板使用与元件放置相同的分光成像进行对齐。微型刮刀可以在整个微型模板上实现简单、均匀的焊锡膏覆盖。节 6.3 展示了在放置元件之前将焊料丝网印刷到元件上的技术。

6.1 元件拆除

强烈建议在返工前烘烤电路板，以降低电路板或器件脱落的风险。到目前为止，拆除元件是返工过程最简单的部分。优化热曲线后，使用工艺参数来拆除器件。

在此过程中使用的气体喷嘴围绕着器件并密封在电路板上。QFN 或 SON 通过热气从顶部被加热，而余热则从相邻元件排出。喷嘴中的防挤压功能可防止对 QFN 和 SON 的顶部施加过大的力。整个组件还通过板下加热器从底部加热，以帮助防止翘曲。在加热元件之前将电路板预热至固定的温度也有助于确保过程的可重复性。回流焊过程完成后，喷嘴真空吸盘自动被激活，元件缓慢地从焊盘上抬起。喷嘴中的真空吸盘被设计为在元件因任何原因未完全回流焊时脱离。这样可以防止抬起焊盘的可能性。建议在拆除 QFN 和 SON 时使用助焊剂。

表 6-1 列出了拆除 0.056in FR4 板上组装的 QFN 封装的通用指南。建议针对不同的板厚度和所使用的设备修改加热曲线。器件不得超过 MSL 标签上列出的峰值温度。必须在返工前对器件和板进行烘烤，以降低脱落的风险。

表 6-1. 无铅焊接元件拆除

- | | |
|-----|--|
| 1. | 向元件涂抹助焊剂。 |
| 2. | 将喷嘴与要拆除的器件对齐。 |
| 3. | 将喷嘴保持在器件上方 0.050in。注意防止真空吸头超程，否则在测量该距离时可能会损坏器件或真空吸头。 |
| 4. | 将板预热至 90°C，喷嘴预热 20% 气流，125°C |
| 5. | 浸热阶段：20% 气流，225°C，90s |
| 6. | 升温阶段：20% 气流，335°C，30s |
| 7. | 回流焊阶段：25% 气流，370°C，65s |
| 8. | 在回流焊周期结束时启用真空，降低真空喷嘴，然后拆除器件。 |
| 9. | 冷却阶段：40% 气流，25°C，50s |
| 10. | 关闭真空，从喷嘴上拆下器件。 |
| 11. | 使用任何金属镊子或粗暴处理都可能会损坏器件，使其无法分析。 |
| 12. | 拆除器件后请勿重复使用。 |

6.2 现场恢复

在拆除 QFN 和 SON 之后，必须去除电路板焊盘上的残留焊料。QFN 或 SON PCB 现场由于其焊盘尺寸极小而非非常脆弱。为了避免损坏焊盘或阻焊层，必须非常小心地执行现场恢复过程。拆除元件后，向现场涂抹助焊剂。使用配有小扁平刀片的温控焊铁轻轻地将已预先浸泡在助焊剂中的吸锡带涂在 PCB 焊盘上。

用酒精和无绒棉签清除现场中残留的助焊剂。然后在执行更换过程之前检查现场。请勿使用拆除的器件。拆除的器件上增加的焊料量会导致共面问题和焊料量不一致。在元件的外围引线上执行现场恢复也可能导致不可见的损坏。

6.3 元件更换和回流焊

更换前的第一步是将焊锡膏涂抹在电路板上或直接涂抹在元件上。根据应用的不同，由于电路板密度和返工点易接触性等因素，这两种方法中有一种可能更好用。根据具体情况评估哪种方法最好。这两种方法都需要使用微型

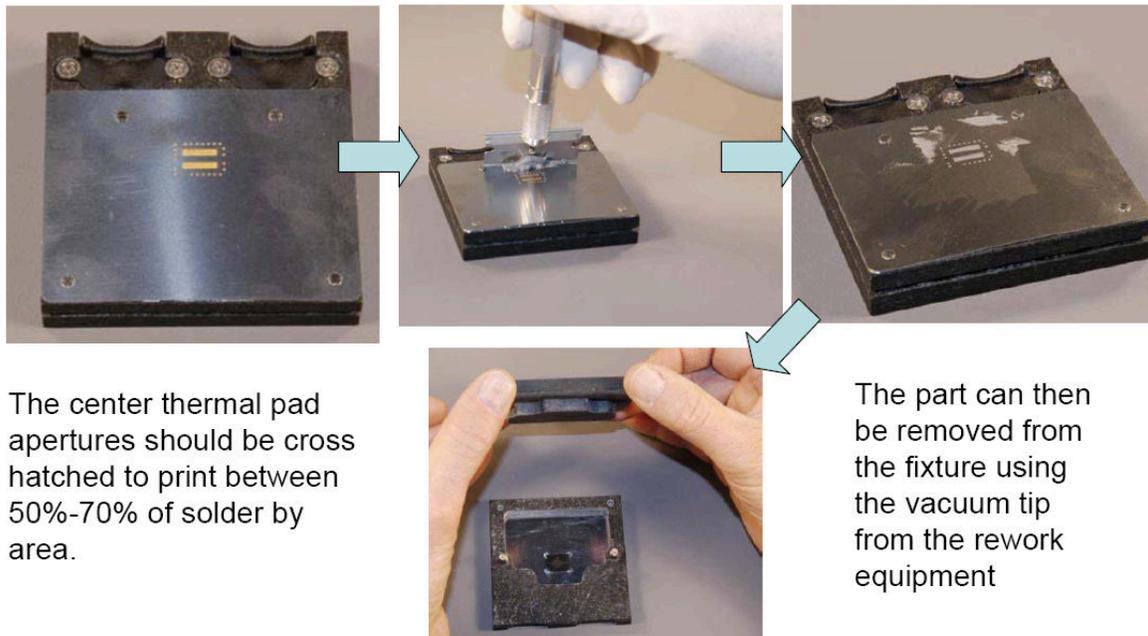
模板。图 6-1 显示了将焊料直接丝网印刷到元件上的步骤。使用 Photo Stencil 提供的夹具将焊锡膏涂抹到器件上。

元件插入工具可确保将轻量级 QFN 和 SON 正确套准到印刷电路板上。此外，插入工具消除了对元件的手动处理，手动处理可能会在元件焊盘上沉积有害的皮肤油脂。

用于对齐的光学系统由分光棱镜与装有变焦镜头的检查显微镜或摄像机组合而成。利用该光学系统，操作员能够看到 QFN 和 SON 底部叠加在相应 PCB 焊盘图案上的放大图像。

QFN 和 SON 的对齐和放置必须精确到 0.1mm 以内。当 QFN 和 SON 正确对齐时，X-Y 工作台被锁定以防止进一步移动。降低喷嘴 (图 6-2)，直至其轻轻接触电路板。喷嘴真空自动停用，热回流焊周期开始。基于 PC 的软件提供必要的过程控制，以确保产生可重复的结果。冷却阶段完成后，喷嘴被抬起，组件被拆下以进行检查。

图 6-1 显示了拆除 0.056in FR4 板上组装的 QFN 封装的通用指南。建议针对不同的板厚度和所使用的设备修改加热曲线。器件不得超过 MSL 标签上列出的峰值温度。必须在返工前对器件和板进行烘烤，以降低脱落的风险。

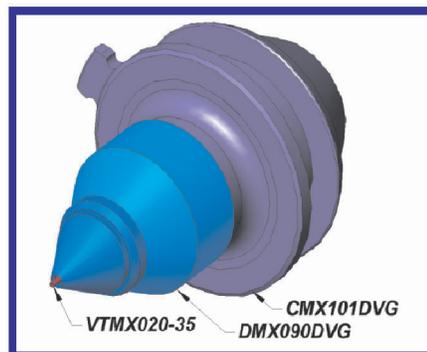


Images taken from Photostencil QFN rework application note

图 6-1. 示例微型模板

Example Air-Vac Rework Nozzle for QFN Package sizes between 2.15 mm to 4.5 mm

- NMX188DVG
 - .188" Exhaust Opening
 - Used for QFN Package sizes between 2.15 mm to 4.5 mm
 - VTMX020-35 Vacuum Tip
- A larger nozzle will be required for larger package sizes.
- Refer to www.air-vac-eng.com for recommended nozzle sizes by package dimension



Hot Gas Convection Nozzle

图 6-2. 示例热气对流喷嘴

表 6-2. 无铅焊接元件放置

1. 使用微型丝网印刷工具将焊锡膏涂抹到元件或电路板上 (请参阅图 6-4)。
2. 将器件与焊盘对齐。
3. 将器件放置在电路板上。注意防止在放置过程中超程，否则可能会损坏器件或真空吸头。
4. 将喷嘴提升 0.050in
5. 将板预热至 90°C，喷嘴预热 20% 气流，125°C。
6. 浸热阶段：20% 气流，225°C，90s
7. 升温阶段：20% 气流，335°C，30s
8. 回流焊阶段：25% 气流，370°C，65s
9. 冷却阶段：40% 气流，25°C，50s

6.4 手动返工注意事项

如果需要手动修整，强烈建议在返工之前烘干电路板和更换用元件，这样可降低电路板或器件脱落的风险。还强烈建议使用预热器 (请参阅图 6-3)，以降低温度过冲的风险。通过使用预热器，可以减小焊铁头尺寸和温度过冲的可能性，从而实现可靠的手动焊铁工艺。

IPC7711 建议最初使用尽可能低的焊铁头温度。还建议使用最小的焊铁头尺寸，这可以减轻温度过冲并降低电路板或元件脱落的风险。

当焊铁接触外围引线并对 QFN 器件的侧面施加压力时，可能会导致损坏。在使用焊铁执行手动返工时，避免接触 QFN 器件的侧面，否则会发生损坏 (请参阅图 6-4)。如果采用手工焊接，则焊铁头只能接触电路板焊盘，而不能接触元件侧面。通常，建议采用温控热气对流修复方法而不是手动焊接，因为这样可以避免过度用力的风险。在封装上测得的最高返工温度不应超过发货标签上规定的 MSL 等级。有关 MSL 标签示例，请参阅图 2-1。

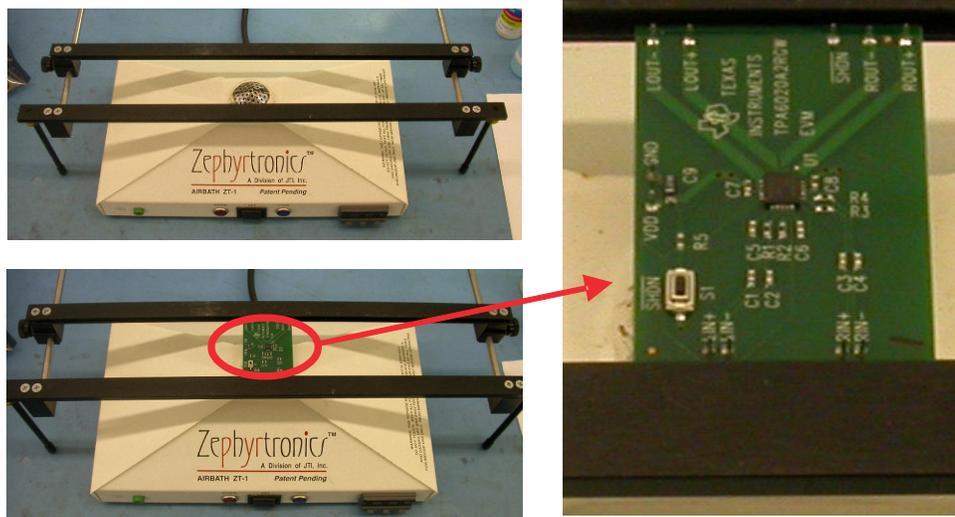

图 6-3. 预热器



图 6-4. 手动返工损坏

7 修订历史记录

Changes from Revision B (August 2018) to Revision C (December 2023)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
Changes from JULY 25, 2007 to AUGUST 28, 2018	Page
• 通篇进行了编辑和格式更改.....	1

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司