

Application Brief

适用于可湿性侧面 QFN 和 SON 封装的新型电镀技术



Tianyi Luo, Lance Wright, Kejun Zeng and Steve Kummerl

TMG/WW SC Packaging

摘要

Qual-Flat No-leads (QFN) 和 Small Outline No-leads (SON) 封装具有紧凑性、成本效益和良好的电气和热性能，广泛应用于移动和汽车行业。然而，在高可靠性行业中使用 QFN 封装存在一项挑战，那就是引线侧面的焊锡圆角形成不一致。因此，要在汽车行业中采用 QFN 和 SON，关键工艺之一是具有可湿性侧面特性，该特性使得可在 SMT 组装后有效地在印刷电路板 (PCB) 上形成焊锡圆角。为了确保组装的印刷电路板符合质量标准，必须在组装过程中目视检查这些电路板是否存在缺陷和异常。本文介绍了一种新型引线侧面镀锡的可湿性侧面功能。它可以形成可焊接的引线侧面，并增强光学表面贴装封装检查，能够检测湿性圆角高度。对陶瓷板的货架期研究和可焊性测试表明，它们能够满足可靠性标准。板级可靠性 (BLR) 测试表明，其性能与非可湿性侧面封装相媲美。

引言

汽车行业因空间限制、减轻重量、热管理和设计灵活性等需求，需要更小的封装解决方案。QFN 和 SON 封装能够满足节省空间、热管理和设计灵活性方面的需求。然而，QFN PCB 组装在焊接和检查方面面临着一些挑战。焊接是 QFN/SON PCB 组装过程的一部分，其中元件在通过模板涂抹焊锡膏后进行安装。回流焊在加热室中将 QFN/SON 封装焊接到 PCB 上。QFN/SON 封装通常包含由铜制成的金属引线框。标准 QFN/SON 封装的外露铜侧面容易发生氧化，而氧化的铜表面是不可焊接的。由于引线位于封装下方，如果焊料不足，可能会带来挑战，并导致热机械应力，从而造成板级可靠性降低，进而导致电气故障。为了更好地控制焊接质量，需要进行检查，例如光学或 X 射线检查。相较于自动光学检查 (AOI)，X 射线检查成本高且耗时。解决方案是使侧边的可湿性侧面端子具备焊料润湿特性，从而促进可靠的焊锡圆角形成，便于进行 AOI 来检查焊料缺陷。目前行业中现有的可湿性侧面解决方案包括阶梯式引线框 QFN/SON 封装和凹陷式引线框 QFN/SON 封装。

镀锡可湿性侧面

除了阶梯式引线框和凹陷式引线框 QFN/SON 封装的现有可湿性侧面选项外，TI 目前还提供采用新型电镀技术镀锡的可湿性侧面 QFN/SON 封装。一般来说，封装会经过典型的封装组装、模塑和固化过程。在封装分离前，引线底面会镀上一层哑光锡，以形成可焊接的表面处理层。然后，在模塑分离后，裸露的铜引线侧面将暴露出来。在 TI 的浸锡电镀工艺中，任何铜的氧化层都将在前期的化学步骤被去除，然后再将浸锡电镀到铜引线侧面，从而确保镀锡效果的一致性。之后，浸锡将作为一层镀层覆盖在裸露的铜引线侧面层上。这一工艺不会改变封装的电气性能和可靠性，而只会增加侧面润湿能力。图 1 展示了 PCB 板上的锯齿 QFN，其镀锡分离引线上形成了良好的焊锡圆角润湿效果。

浸锡工艺可以有效地电镀到引线侧面上，适用的引线框厚度范围通常为 0.1mm 至 0.2mm。该工艺在 SMT 回流期间，不仅能够实现底部引线的焊料湿润，还能实现侧面的焊料润湿，从而确保 AOI 兼容性。

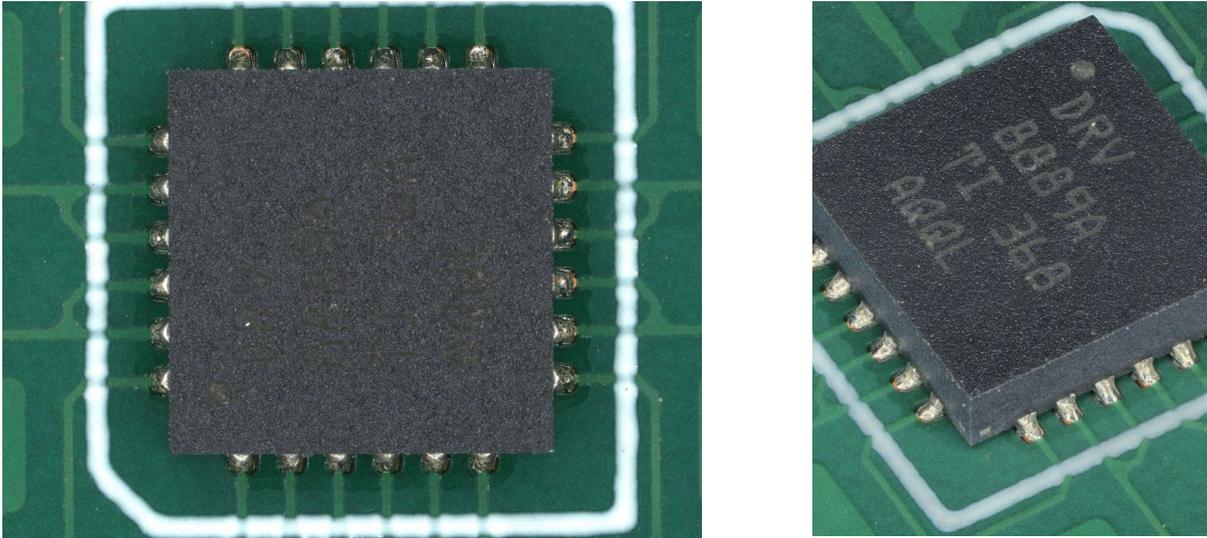


图 1. PCB 板上的锯齿 QFN，其镀锡分离引线上形成了良好的焊接圆角润湿效果

焊接圆角和检查

可湿性侧面的目的是在 PCB 上安装 SMT 后形成一个焊锡圆角。该圆角可以通过 AOI (自动光学检测) 系统检测到，标志着良好的焊接质量 (请参阅图 2)。AOI 系统广泛用于检查焊锡圆角。但是，AOI 系统可能会产生误报 (将合格焊点标记为有缺陷) 和漏报 (未检测到实际缺陷或缺陷逃逸)，从而影响生产效率和质量控制。误报会导致产量损失，而漏报可能导致应用中的早期故障。AOI 系统的效果依赖于针对特定汽车要求 (例如 IPC-A-610) 设定的明确焊点和焊锡圆角标准。为满足 AOI 系统功能，焊锡圆角高度的行业要求约为 100 μ m 且 Cpk = 1.67。

圆角高度是从 PCB 焊盘到 SMT 回流后圆角顶点的测量值。对于浸锡可润性侧面 QFN/SON 封装，浸锡电镀技术使引线侧面的整个表面镀上一层锡，并且引线框厚度通常在 0.1mm 至 0.2mm 之间。因此，经过 SMT 后的圆角高度测量结果能够保证最小为 100 μ m。这能够扩展 AOI 检查焊锡圆角高度的窗口，显著减少大规模生产中的误报率。由于 QFN/SON 引线框是通过蚀刻工艺制造的，引线侧面高度可以达到 Cpk = 1.67，因此湿性高度也能保证达到 CKP = 1.67，从而满足 SMT 组装过程中 AOI 系统的要求。

SEM 图像 (请参阅图 3) 展示了几种不同可湿性侧面技术在 SMT 后的焊锡圆角等距视图和截面图。通过将浸锡解决方案与其他两种称为阶梯式引线框和凹陷式引线框方案进行比较，可以看到所有这三种方案均在侧面引线处形成了良好的润湿效果和焊锡圆角，以确保满足 AOI 的要求。浸锡方案的截面图表明在封装到 PCB 组装过程中可以确保最小 100 μ m 的湿性高度。选择可湿性侧面技术时，PCB 阻焊层设计、丝印板设计、焊料类型和回流焊曲线没有变化。它能够实现与凹陷式方案和阶梯式方案相同的焊锡圆角效果，而无需对电路板设计进行重新修改。

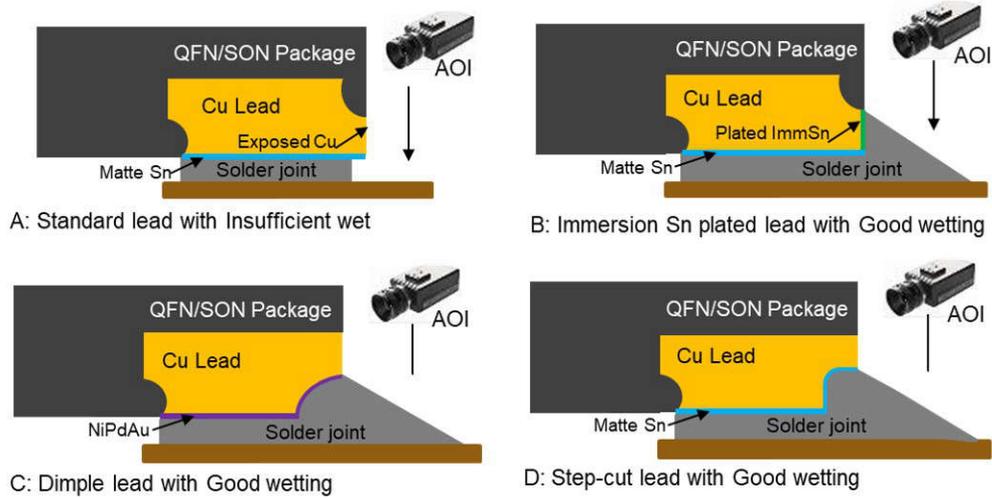


图 2. 标准 QFN/SON 的引线湿性不足 (A)、浸锡电镀湿性良好 (B)；阶梯式引线湿性良好 (C)；凹陷式引线湿性良好 (D)

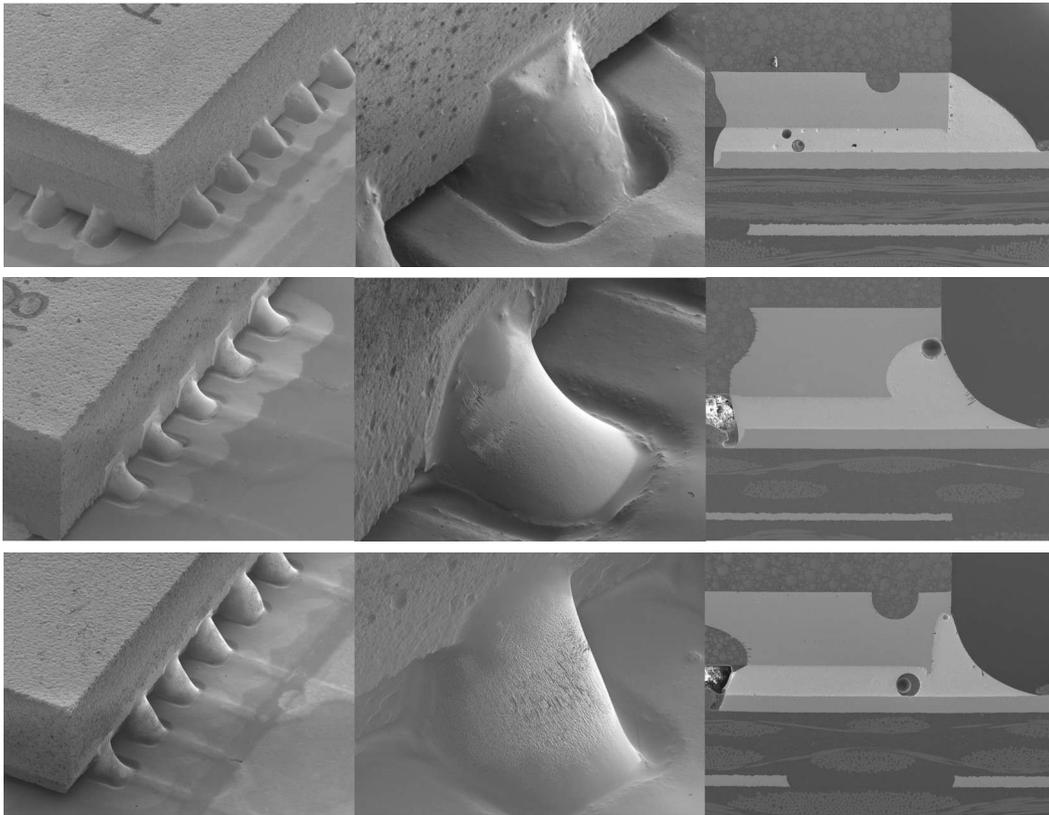


图 3. 具有浸锡的锯齿 QFN (顶部)、具有凹陷式引线的锯齿 QFN (中间)、具有阶梯式引线的锯齿 QFN (底部) 中的焊锡圆角和良好湿性

可焊性和货架期

可焊性测试对于在电子封装和电路板组装应用中形成稳定的焊点至关重要。该测试评估元件端接是否具有形成可靠焊接连接所需的润湿程度。可焊性会因污染或氧化而逐渐下降。可焊性测试还可以确定存放的元件是否对焊接到 PCB 的能力产生不利影响。

根据 J-STD-002 标准的无铅焊接表面贴装测试，使用烘烤预处理和不可湿性陶瓷板基板进行了可焊性测试。所有测试均采用 SnAgCu 焊锡膏 [1]。良好的湿性效果是指焊料在表面上形成相对均匀、光滑且连续的薄膜。圆角的湿性高度大于 100um，满足 IPC-7093A 中对于实现稳健 AOI 检测的圆角高度要求。为了验证各种预处理（无应力组装后状态、150°C 烘烤 4 小时、85°C 蒸汽老化 8 小时，再进行 SMT 回流）后的可焊性，我们进行了陶瓷板可焊性测试。图 4 展示了底部电镀哑光锡和侧面浸锡时具有良好的可焊性。所有引线的底部和侧壁均表现出良好的湿性效果，并且在所有电镀和浸锡表面上均显示出良好的湿性高度。

另外，我们使用与上述相同的方法，对多种具有不同 Cu-Sn IMC 厚度的老化器件进行了额外的可焊性研究。老化器件上的 FIB/截面显示了浸锡引线侧面上的 IMC 层和未消耗的锡层（请参阅图 5）。结果表明，浸锡器件在 25°C 储存条件下的货架期可超过 10 年。

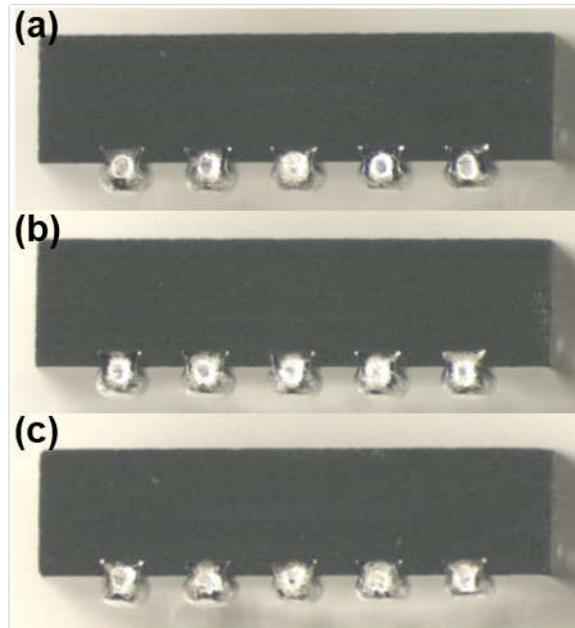


图 4. 预处理后侧壁侧面具有良好湿性效果的 SON 封装：(a) 无应力组装后；(b) 150°C 烘烤 4 小时；(c) 85°C 蒸汽老化 8 小时

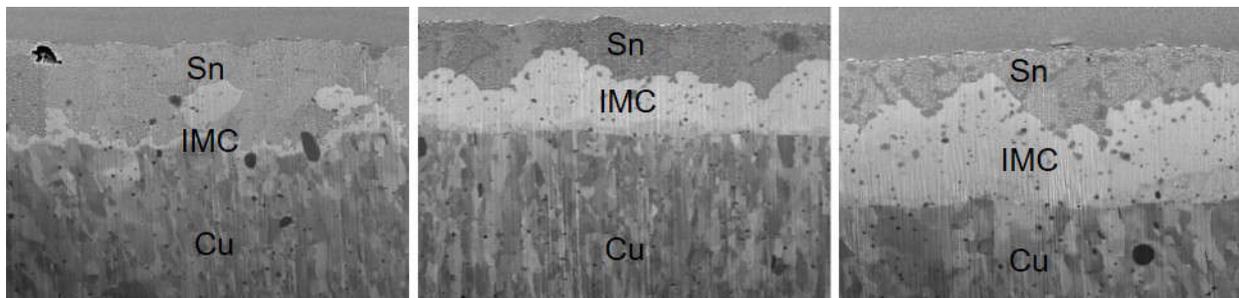


图 5. 浸锡 QFN 封装 FIB/截面横截面中的 IMC 层和未消耗的锡层，分别对应未老化器件（左）、货架期约为 5 年（中）、货架期约为 10 年（右）

PCB 设计

PCB 焊盘、模板和回流焊指南可在 [QFN 和 SON PCB 连接](#) 中找到。本应用手册介绍了具有和不具有可湿性侧面的 QFN/SON 封装。TI 的指南基于 IPC-7351，这是行业标准的 PCB 焊盘图案指南之一。具有可湿性侧面的 QFN 封装无需特殊的焊盘图案。指南建议焊盘至少延伸超出封装 0.2mm，以便有足够的空间形成良好的圆角。指南还允许焊盘延伸超过 0.2mm，以便优化湿性角度和 AOI 时提供更大的灵活性。此外，如果器件上有裸露的中心散热焊盘，相关细节也会在指南中给出。每个器件的具体数据表都提供了封装图以及建议的焊盘图案和模板图。

返修过程

具有浸锡镀层的 QFN/SON 封装是可以返修的，并且可在电路板组装后移除。QFN/SON 封装返修是一个精细的过程。[QFN 和 SON PCB 连接](#) 中也详细介绍了返修过程。下面简要概述了适用于 QFN 封装的过程：

1. 准备所有必要的工具和材料。
 - a. 使用具有精确温控功能的专业返修台。在进行返修之前，需要先对 PCB 进行烘烤，以降低分层的风险。
 - b. 此外，PCB 返修台应配备预热器，以减少热冲击并改善焊料流动，同时确保不超过 MSL 标签上标明的回流峰值温度。
2. 元件拆卸。
 - a. 遵循受控加热曲线，以尽可能减小元件和 PCB 上的热应力。避免可能造成损害的温度急剧变化。在 QFN/SON 封装周围涂抹助焊剂。使用热风返修台均匀地加热 QFN 封装，并确保温度不超过器件数据表中规定的最高温度。
3. 位置清洁。
 - a. 使用烙铁头和吸锡带确保 PCB 上没有残留物。避免使用腐蚀性清洁剂，以免损坏 PCB 或元件。
4. 位置准备。
 - a. 在清洁后的焊盘上涂抹一层助焊剂。使用模板准确地在焊盘上涂抹焊锡膏。
5. 元件放置。
 - a. 将新封装小心地放置在准备好的位置，确保对齐正确。
6. 回流焊接。
 - a. 将 PCB 预热至大约 150°C，以确保温度均匀。使用热风返修台进行回流焊接。逐步将温度提高到 250°C 至 260°C，确保热量分布均匀。让焊料回流，在元件引线与 PCB 焊盘之间形成良好的连接。
7. 冷却并检查。
 - a. 让 PCB 缓慢冷却，以避免热冲击。使用显微镜检查焊点，以确保其结构良好并且没有桥接或焊料不足等缺陷。执行电气测试，确保返修后的元件功能正常。

通过遵循德州仪器 (TI) 的这些步骤和建议，可以对 QFN 封装进行可靠且高质量的返修。有关最新的具体指南，请务必参阅德州仪器 (TI) 提供的最新文档和技术资源。

板级可靠性

表面贴装封装在 BLR 温度循环测试期间的表现是衡量可靠性的重要指标。BLR 测试旨在确定封装与 PCB 之间焊点的使用寿命。TI 的标准自动 TC 测试条件是 -40°C 到 +125°C，每个循环 60 分钟。该测试使用的 PCB 厚度为 1.6mm。这里组装了两种类型的 BLR 单元：一种是具有非可湿性侧面的标准单元，另一种是具有浸锡可湿性侧面的单元。测试过程中会监测焊接连接是否因焊点开裂而出现任何电气开路。目标是确保 1000 个循环内无电气故障发生。板上的单元将承受进一步的应力并生成 BLR 数据。

所有测试过的 QFN 封装都通过了测试标准。截面图显示 IMC 接口处的焊点出现破裂，这是采用亚光锡镀层的非可湿性侧面 QFN/SON 封装的标准故障模式。BLR 测试结果表明，与非可湿性侧面 QFN 封装相比，浸锡技术不会降低首次出现故障之前的 BLR 循环次数。

锡晶须测试

铜引线框的锡镀层上容易出现锡晶须自发生长，其中一些晶须可能长到足够长，从而导致短路故障。尽管 JEDEC 标准 JESD201A [2] 不要求对 QFN/SON 进行锡晶须测试，但为了确保浸锡层不会长出锡晶须并导致任何潜在问题，我们在电镀浴中添加了专有的抗晶须剂。为了验证其效果，我们按照 JEDEC 标准 JESD201A 和 JESD22-A121A [3] 进行了锡晶须测试。测试对象是一个 24 引脚 QFN 封装。我们执行了所有三项必需的测试：

- 热循环：测试条件为 -55°C/85°C，每小时 3 次循环；测试总共进行 1500 个循环；每完成 500 个循环后检查一次。
- 温度/湿度存储：测试条件为 30°C/60% 相对湿度；测试持续时间为 4000 小时；每隔 1000 小时检查一次。
- 高温/高湿存储：测试条件为 55°C/85% 相对湿度；测试持续时间为 4000 小时；每隔 1000 小时检查一次。

每到检测时间点，样品会被取出并在光学显微镜下进行检查。在具有哑光锡表面的引线底部和具有浸锡的引线末端侧壁上均未发现锡晶须。由此可以得出结论，对于底部为哑光锡、引线端为浸锡的 QFN 封装，并不存在锡晶须问题。

总结

在汽车无引线封装中集成可湿性侧面，大大提升了 SMT PCB 组装后和大规模生产期间的焊点检查能力。新型电镀技术可在 QFN/SON 封装的引线侧面镀锡，从而实现可湿性侧面。通过检查 SMT PCB 回流期间的焊锡圆角和圆角高度，我们发现具有浸锡可湿性侧面的 QFN/SON 封装展示了与凹陷式引线框方案和阶梯式方案等替代可湿性侧面方案具有相似的焊锡圆角。根据收集的可靠性测试数据，这些器件可确保具有良好的可湿性和 AOI 兼容性。当前数据还表明，这些元件在室温下的货架期超过 10 年。

参考资料

1. Electronic Components Industry Association, Assembly and Joining Processes and JEDEC Solid State Technology Association Committee: EIA/IPC/JEDEC J-STD-002. Solderability Tests for Component Leads, Terminations, Lugs, Terminals and Wires.
2. JEDEC Standard JESD201A, “Environmental Acceptance Requirements for Tin Whisker Susceptibility for Tin and Tin Alloy Surface Finishes”, JEDEC Solid State Technology Association, Sept. 2008.
3. JESD22-A121A, “Test Method for Measuring Whisker Growth on Tin and Tin Alloy Surface Finishes”, JEDEC Solid State Technology Association, July 2008. Reaffirmed Sept. 2019.
4. Welzel, Udo, et al. "Wettable-Flanks: Enabler for The Use of Bottom-Termination Components in Mass Production of High-Reliability Electronic Control Units." smtnet. com, May 23 (2018).
5. Mangrum, Marc A. "Side Wettable Flanks for Leadless Automotive Packaging." Amkor Technology, Inc (2020).

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

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