

## Technical White Paper

# 利用新一代雷达传感器增强 ADAS 系统的检测和计算。



Habeeb Ur Rahman Mohammed, Systems and Applications Manager  
Ehtesham Ahmed Shareef, ADAS Applications Engineer

### 摘要

德州仪器 (TI) 的新一代雷达传感器 **AWR2E44P** 和 **AWR2944P** 推动了 TI 的 ADAS 雷达产品系列发展，专注于提高性能以满足严格的 NCAP ( 新车评估计划 ) 和 FMVSS ( 联邦机动车辆安全标准 ) 自动驾驶和安全法规。这些雷达器件为 AWR2944 平台带来了"性能"扩展，融合了射频和计算功能方面的重大进步，可满足 ADAS 应用不断发展的需求。AWR2E44P 和 AWR2944P 利用内部优化的工艺技术，旨在通过提供更好的 SNR、更高的处理能力和更大的存储容量来增强角雷达和前置雷达传感器的功能，从而满足联合国第 79 号条例 (UN R79) 的需求。这些改进扩大了检测距离，提高了角度精度，并在跟踪和分类等应用中实现了更复杂的处理算法。此外，它还让用户能够处理计算密集型 AI/ML 任务 ( 例如，雷达感知 )，以及信号处理算法。

TI 的专有 LoP ( 封装上装载 ) 技术目前属于第二代，它进一步增强了射频性能，帮助器件保持制造差异的稳健性，同时提高了成本效益。由软件组件提供支持的硬件评估模块易于使用，能够缩短开发周期。这些新型雷达器件保持与上一代器件的向后兼容性，简化了过渡过程，尽可能地降低了风险，节省了开发成本并缩短了安全认证时间。本白皮书重点介绍了 AWR2E44P 和 AWR2944P 雷达传感器如何建立新的性能基准，为 OEM 提供功能强大、可靠的器件，以满足未来 ADAS 要求并提高自动驾驶能力，同时不影响软件的可重用性和可扩展性。

### 内容

1 引言.....	2
2 ADAS 雷达市场趋势和需求发展.....	2
3 AWR2E44P 和 AWR2944P - 性能、处理和内存增强.....	2
3.1 信噪比 (SNR) 改善.....	3
3.2 TI 第二代封装上装载 (LOP) 技术.....	4
3.3 提高计算能力.....	4
3.4 扩展了雷达数据立方体的存储器.....	4
3.5 1Gbps 以太网接口.....	4
3.6 增强安全性和可靠性.....	4
3.7 eBOM 优化.....	5
4 不影响软件可扩展性和可重用性.....	5
4.1 软件开发套件.....	5
4.2 微控制器抽象层.....	5
4.3 毫米波 DFP ( 器件固件包 ) .....	5
4.4 TI 基础安全.....	5
4.5 安全诊断库.....	6
5 AWR2E44P 评估和测量.....	6
6 总结.....	7
7 鸣谢.....	7

## 1 引言

汽车行业向更高的自动驾驶等级转变，要求雷达传感器满足严格的安全和性能标准。雷达技术在为 ADAS 提供实时数据以及支持 ACC (自适应巡航控制)、LCA (车道变换辅助)、防撞等车辆功能方面发挥着关键作用。随着车辆不断发展以满足日益增长的监管和消费者期望，雷达传感器必须扩展检测范围，提高物体识别分辨率，并支持强大的数据处理功能。AWR2E44P 和 AWR2944P 传感器通过性能、计算能力和制造质量方面的关键技术进步来满足这些需求，为高性能、经济高效的雷达系统建立了新标准。AWR2E44P 支持 TI 的 LoP 天线接口，而 AWR2944P 支持 PCB 天线接口。

## 2 ADAS 雷达市场趋势和需求发展

五到六年前，ADAS 市场要求 OEM 在其车辆中提供 NCAP BSD (盲点检测)、ACC (自适应巡航控制) 和 AEB (自动紧急制动)，检测范围约为 150 至 200 米。OEM 的架构主要依赖数据速率限制高达 6-8Mbps 且具有 CAN-FD 接口的边缘传感系统。如今，随着 UN R79 的推出，市场趋势朝着更严格的 NCAP 要求加速：角雷达和前雷达的距离要求提高了 30-40%，而仰角检测等新增功能现在必不可少。OEM 的架构也已转变为高速以太网接口，支持高达 100Mbps 或更高的数据速率。为顺应这些趋势，引入了 AWR2944 雷达传感器，它提供了增强型配置，包括四个接收通道和四个发送通道。展望未来，雷达传感器必须满足更高的标准以支持 3 级和自动驾驶，包括区分静态物体和改进物体分类的复杂检测功能。这些系统需要优化 SNR，重点在于降低噪声系数，而不仅仅是升高输出功率，因为如果场景中存在障碍物或大型物体，仅升高输出功率会增加散热挑战和本底噪声挑战。AWR2944P 和 AWR2E44P 雷达传感器利用 TI 专有的增强型工艺和第二代 LoP 技术，实现更高的 SNR 和增强型计算性能，支持高速公路上和十字路口的免注视、免手扶自动驾驶等复杂场景。

## 3 AWR2E44P 和 AWR2944P - 性能、处理和内存增强

AWR2E44P 和 AWR2944P 相对于 AWR2944 产品系列性能得到了增强，并增强了射频性能和计算能力以满足 NCAP 和 AD 要求。图 3-1 展示了 AWR2E44P/AWR2944P 架构的方框图。这些器件均为单芯片 76-81GHz FMCW 雷达传感器，包括：

- 4 个集成发送器
- 4 个集成接收器
- 校准引擎
- 监测引擎
- 合成器
- C66x DSP
- 硬件安全模块 (HSM)
- 硬件加速器 (HWA)
- 存储器
- 接口

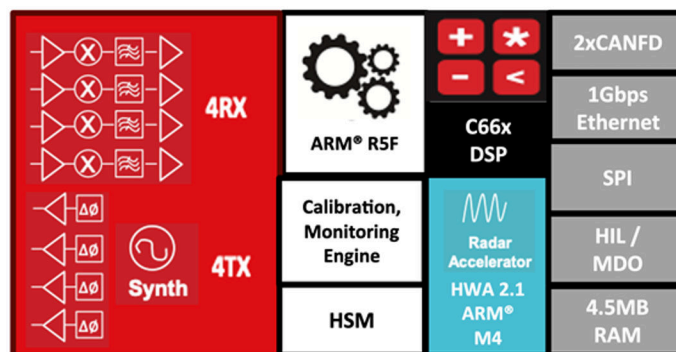


图 3-1. AWR2E44P / AWR2944P 方框图

AWR2E44P 和 AWR2944P 改善了整体传感器 SNR，增强了计算能力，增加了内存，使用了 TI 第二代 LoP，实现了 10 倍的高数据传输速率、HSM 改进和 EBOM (电子物料清单) 优化。

### 3.1 信噪比 (SNR) 改善

通过 LNA (低噪声放大器) 和 PA (功率放大器) 中的目标晶体管修改, AWR2E44P 和 AWR2944P 可获得 2 到 3dB 的 SNR 增益。这种改善对于复杂驾驶环境中的高精度检测和分类至关重要。这些目标晶体管增强功能改善了晶体管的  $F_t$  (传输频率) 和  $F_{max}$  (最大振荡频率)。 $F_t$  是电流增益接近 1dB 或 0dB 时的频率。更高的  $F_t$  支持更快的时钟速度, 这对于开关电路至关重要, 并可改善噪声系数, 从而在毫米波应用中提高前端性能。 $F_{max}$  是功率增益接近零时的频率。提高  $F_{max}$  可改善晶体管增益, 从而显著提升功率效率。凭借更优的  $F_t$  和  $F_{max}$ , TI 能够在不增加功耗的情况下实现最佳的 SNR。图 3-2 展示了在 AWR2944P 和 AWR2E44P 上如何将  $F_t$  和  $F_{max}$  分别相对于 AWR2944 提升 +20% 和 +10%, 从而实现更高的 SNR。图 3-2 和 图 3-4 展示了在典型条件下, AWR2944P 在输出功率和噪声系数方面实现的增强。因此, AWR2E44P 和 AWR2944P 具有更高的信号清晰度, 这对于在高噪声环境中通过最佳的 SNR 能力进行精确检测至关重要。

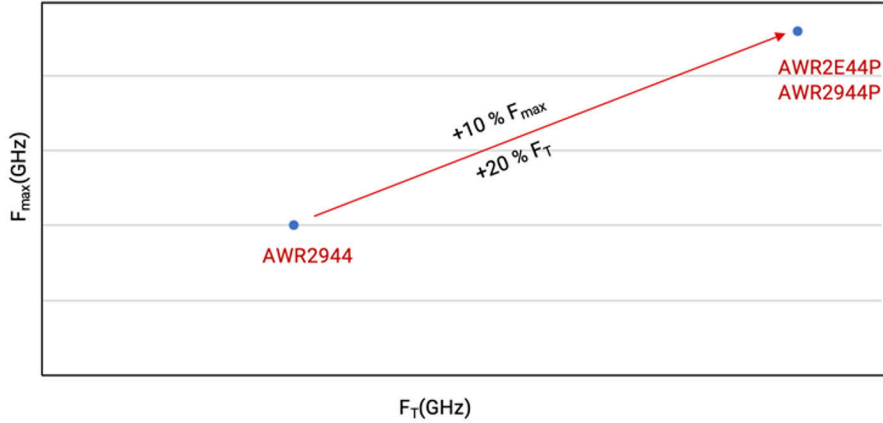


图 3-2. AWR2E44P 和 AWR2944P 的  $F_t$  和  $F_{max}$  增强

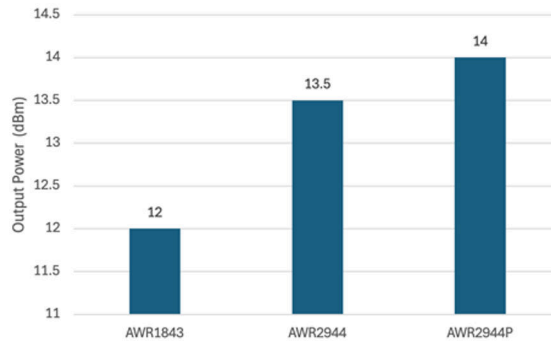


图 3-3. AWR2944P 的输出功率增强

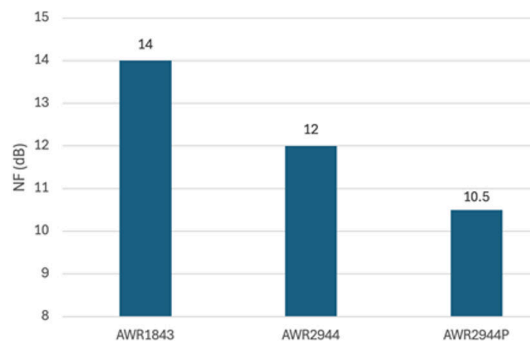


图 3-4. AWR2944P 的噪声系数增强

### 3.2 TI 第二代封装上装载 (LOP) 技术

TI 的 LoP 技术可以通过 PCB 内的波导将信号从封装辐射元件直接传输到 3D 天线，从而实现高效的电磁信号传输。AWR2E44P 采用第二代优化转换，可缩短与天线元件的传输距离，改善射频性能和热管理。图 3-5 展示了第二代 LoP 技术使用的双脊波导 (与上一代使用的椭圆形波导相比)。双脊波导可将过渡尺寸缩小约 17%。这种尺寸缩减可提高板级可靠性，从而确保在 PCB 和天线组件型号范围内实现稳定的性能。这种更紧凑的封装还可以降低射频损耗，并通过扩展天线的视场 (FoV) 提供更好的空间覆盖范围，这对于增强检测能力至关重要。

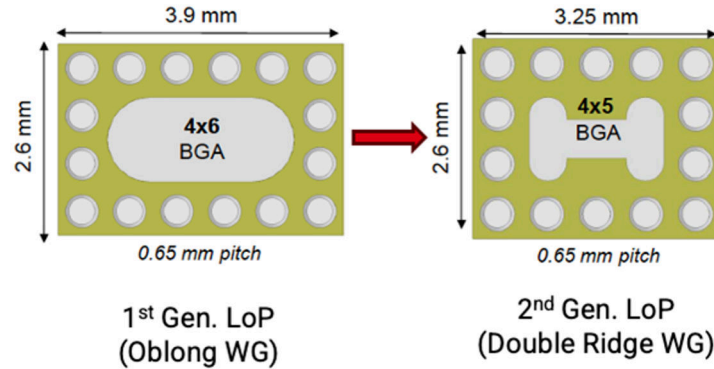


图 3-5. TI 第二代技术中的增强

### 3.3 提高计算能力

AWR2E44P 和 AWR2944P 将处理计算增加大约 30%。这对于促进和改进复杂的后处理算法 (如跟踪、聚类和分类)、从而为 ADAS 决策提供先进数据非常重要。这种计算能力让这些产品能够处理额外的 AI 和 ML 任务。如同雷达感知以及信号处理算法。AWR2944P 和 AWR2E44P 的计算增强显示了相对于 AWR2944 在 AWR2944P 和 AWR2E44P 上实现的计算增强。

表 3-1. AWR2944P 和 AWR2E44P 的计算增强

	AWR2944	AWR2944P/AWR2E44P	AWR2944P - AWR2E44P 计算增强
<b>MCU</b>	Arm® Cortex®-R5F, LS, 300MHz, 606 DMIPS	Arm® Cortex®-R5F, LS, 400MHz, 808 DMIPS	+50% DMIPS
		Arm® Cortex®-M4 100MHz, 125 DMIPS	
<b>DSP</b>	C66x, 360MHz, 11.52 GMAC	C66x, 450MHz, 14.4 GMAC	+25% GMACS
<b>HWA</b>	HWA 2.1, 300MHz, 8.4GOP	HWA 2.1, 400MHz, 11.2 GOP	+33.33% GOP

### 3.4 扩展了雷达数据立方体的存储器

AWR2944P 和 AWR2E44P 的存储器容量比 AWR2944 高 20%。实现更大的雷达数据存储容量，并支持高分辨率数据分析。

### 3.5 1Gbps 以太网接口

随着 SNR 升高，物体检测次数也会增加，而更高的以太网带宽可提供更强的数据传输能力。AWR2E44P 和 AWR2944P 具有数据速率为 1Gbps 的专用以太网 IP，可确保在 ADAS 系统之间实现无缝的数据通信，并满足互联车辆系统的高速要求。

### 3.6 增强安全性和可靠性

集成硬件安全模块 (HSM) 支持 AES-256、SHA-512、PLA、TRNG、SM2/3/4 等高级加密算法，从而满足自主应用更高的数据完整性和严格的网络安全要求。

### 3.7 eBOM 优化

AWR2E44P 和 AWR2944P 提供 25MHz 时钟输出，它可替代以太网 PHY 芯片的外部晶体，从而优化雷达传感器模块的电子物料清单 (EBOM)。

## 4 不影响软件可扩展性和可重用性

软件是 TI 产品中不可或缺的部分。AWR2E44P 和 AWR2944P 通过了 TÜV SÜD 按照 ISO 26262 和 IEC 61508 进行的功能安全软件开发认证。为了缩短开发周期并减少安全认证时间，AWR2E44P 和 AWR2944P 随附有参考代码，可供客户使用以下软件包实现其客户应用。

下面的大部分软件都通过 TI.com TI-REX (TI Resource Explorer) 提供，后者是供应 TI 用例特定参考应用、SBL 工具、详细文档 (TI Radar Academy) 和培训材料的一站式商店。

### 4.1 软件开发套件

AWR2E44P 和 AWR2944P 附带 *MCU Plus SDK*，其中包含带有应用示例的 SoC 外设驱动程序，以及支持 UART、CAN 和以太网的 SBL (安全启动加载程序)。要开始缩短开发周期，可以使用 *OOB (开箱即用) 演示和可视化工具*。

### 4.2 微控制器抽象层

为了更快上市，TI 提供了微控制器抽象层 (MCAL)，它提供了微控制器驱动程序、内存驱动程序、通信和 IO 驱动程序以及 *示例应用*。图 4-1 展示了采用 TI 提供的 MCAL 层的 AUTOSAR (AUTomotive Open System Architecture，汽车开放系统架构) 架构。包括 Vector 在内的众多 TI 首选合作伙伴将 TI-MCAL 与适用于第 1 层软件版本的 AUTOSAR® 集成在一起。

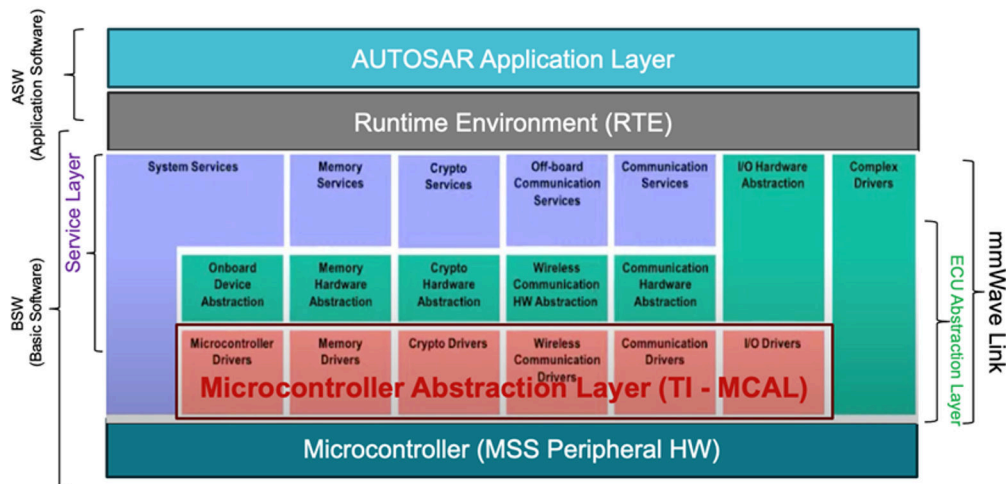


图 4-1. AUTOSAR 架构，以及 TI 提供的 MCAL 驱动程序包

### 4.3 毫米波 DFP (器件固件包)

TI 提供一组简洁的 API 来控制 AWR 器件的射频前端，并在适用于 *TI 毫米波 DFP (器件固件包)* 的 *ICD (接口控制文档)* 中提供了全面的文档。DFP 支持从一种 AWR 型号快速迁移到另一种 AWR 硬件型号

### 4.4 TI 基础安全

AWR2E44P 和 AWR2944P 附带 TIFS 封装，可加快安全功能的开发速度。客户可以使用 TIFS 作为第三方 HSM (硬件安全模块) 软件开发的起点。TIFS 软件包中提供了带有示例和 HSM 运行时参考应用程序的加密加速器驱动程序。

## 4.5 安全诊断库

AWR2E44P 和 AWR2944P 附带 TI SDL (安全诊断库)，可轻松实现安全诊断功能，并加快安全认证的开发，同时在安全手册中提供详细文档。

## 5 AWR2E44P 评估和测量

AWR2E44P 和 AWR2944P 器件随附有易于使用的评估模块 (EVM)，可直接连接到 [DCA1000EVM](#) 进行原始数据采集。图 5-1 展示了安装了 3D 波导天线的 AWR2E44PEVM。此 EVM 套件包含开始为片上 C66x DSP、ARM® Cortex®-R5F 控制器和硬件加速器 (HWA 2.1) 开发软件所需的一切资源。随附的几项调试功能可帮助您进行软件开发和硬件评估。其中包括板载 XDS110、CAN-FD 收发器、以太网 PHY、温度和电流传感器，以及用于连接 DCA1000EVM 或外部调试器的高速连接器。图 5-2 展示了在 AWR2E44PEVM 上测得的方位角和仰角天线方向图测量值。

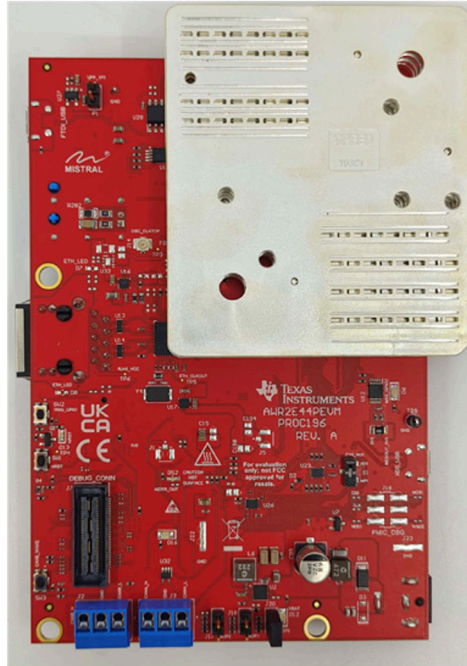


图 5-1. 具有 3D 波导天线的 AWR2E44P 评估模块

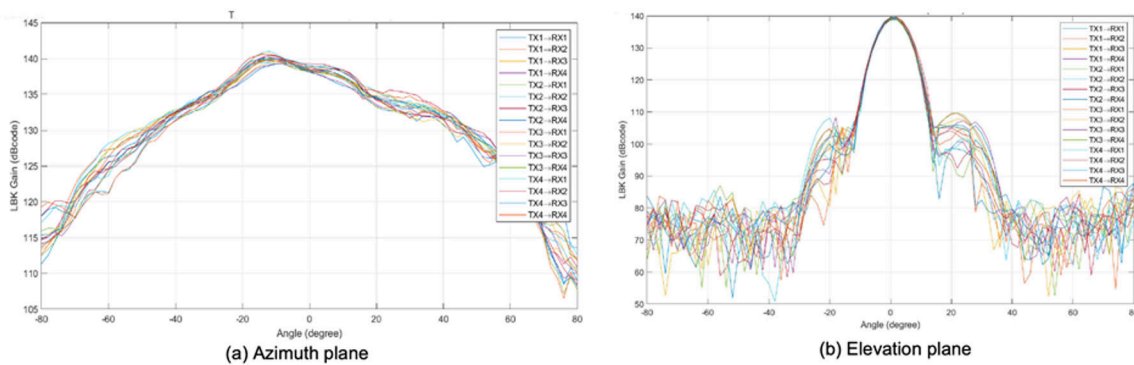


图 5-2. AWR2E44P 天线在方位角和仰角平面上的测量结果

## 6 总结

AWR2E44P 和 AWR2944P 雷达传感器代表着 ADAS 雷达技术的一次飞跃，在检测距离、角度精度和计算能力方面可获得更高的性能。这些器件采用专有处理技术（包括先进的晶体管优化和先进的第二代 LoP 封装），能够经济实惠地满足汽车行业对更高精度和可靠性不断发展的需求。这些新型雷达传感器在硬件和软件方面与以前的型号兼容，提供了无缝的升级路径，从而降低 OEM 开发成本并加快产品上市速度。通过硬件性能的持续创新，结合可扩展且可重复使用的软件，TI 正在帮助塑造 ADAS 和自动驾驶的未来，打造更安全、响应更灵敏且更智能的车辆。

## 7 鸣谢

作者感谢以下人员对本白皮书做出的贡献：*Snehaprabha Narnakaje*、*Gerold Joseph Dhanabalan*、*Peter Aberl*、*Krishnanshu Dandu*、*Sami Mardini*、*Aydin Kiasat*、*Sunil T. V.*、*James Murdock*、*Srinivas Lingam*、*Venkatesh Srinivasan*、*Mac Skinner* 和 *Michelle Johnson*。

## 重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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  
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司