

# 您的手机 RF 是否准备好使用 5G ?

作者: Ben Thomas, 移动产品 5G 业务开发总监

## 摘要

5G 标准的加速发展使移动运营商能够推进其 5G 部署计划, 即使在 5G 规范仍在继续发展的当下, 也给智能手机制造商在手机设计中增加 5G 新无线电 (NR) 支持施加了一定压力。5G 提出了多种具有挑战性的要求, 包括宽度前所未有的带宽、4x4 MIMO、更高的高峰均功率比、非常高的 PA 线性度以及广泛的载波聚合驱动型频率拥塞。此外, 初期移动部署将采用非独立 (NSA) 5G 新无线电规范。由于同时需要 4G LTE 和 5G 连接性, 所以该规范提出了更多复杂的 RF 挑战。尽管这些规范仍在继续发展, 但仍必须利用现有的系统知识和专业技能来估计对 RF 设计的影响。如同在之前的主要技术过渡过程中, 解决复杂的 5G 挑战需要采用创新型 RF 解决方案。

## 引言

5G 标准的加速发展使移动运营商能够推进其 5G 部署计划，其中一些早期部署将于明年完成。根据 Strategy Analytics 预测，一旦开始部署，5G 手机就可能成为今后十年智能手机行业增长最快速的领域，出货量将从 2019 年的 200 万台增至 2025 年的 15 亿台。最近的一项调查显示，差不多 50% 的消费者可能选择 5G 智能手机作为其下一部移动设备，部分原因在于数据速率预计将会得到提高。

“预计 5G 手机将成为今后十年智能手机行业增长最快的领域。”

然而，5G 发展热潮给手机设计带来了巨大的 RF 挑战。由于标准制定的时间线比较紧迫，基本 RF 规格的关键细节仍存在不确定性，如功率回退水平、区域频段组合、上行 MIMO 和补充上行链路 (SUL)。

由于运营商坚持主张适时在手机中纳入 5G 内容，以完成其网络部署计划，所以即使在规范仍在继续发展的当下，智能手机制造商也面临着制定实施战略的压力，以满足具有挑战性的 5G RF 要求。这些要求包括宽度前所未有的带宽、高峰均功率比、非常高的功率放大器 (PA) 线性度以及广泛的载波聚合驱动型频率拥塞。

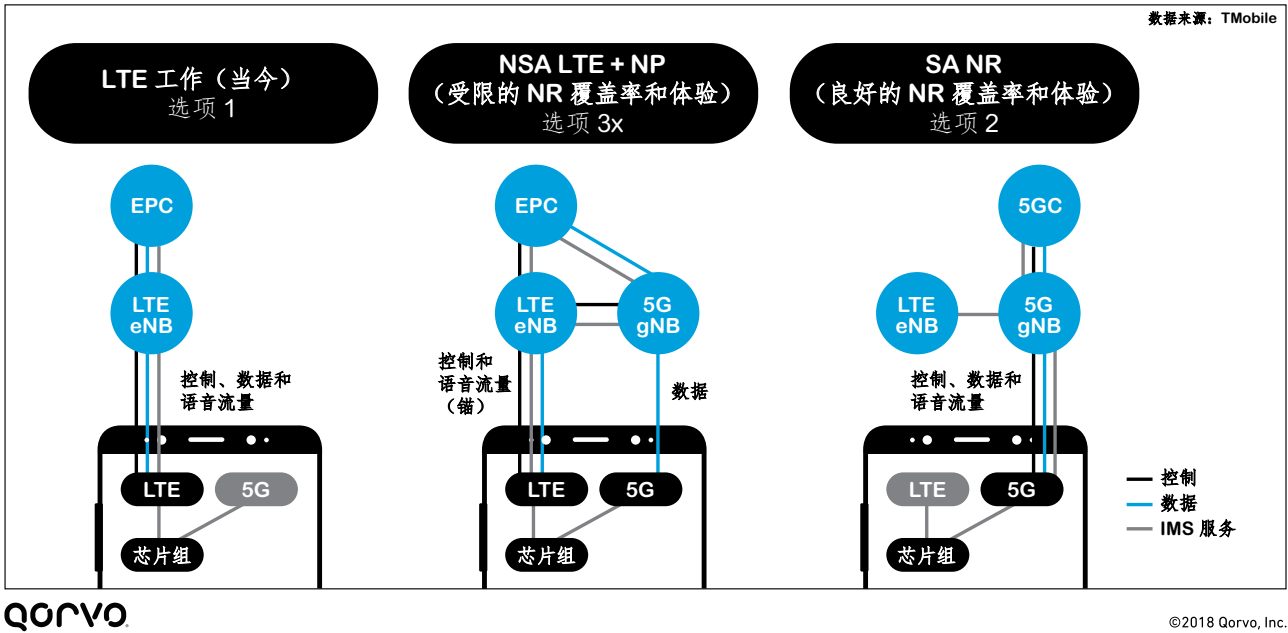
## 了解真实情况

5G 最终将支持众多应用。然而，移动运营商的初期实施以增强型移动宽带 (eMBB) 为重点，预计将实现数据速率比当今 4G 数据速率提高多达 20 倍。

实现真正的 5G 技术需要在智能手机和 5G 新无线电 (NR) 基础设施中采用新硬件，而不仅仅是提高 4G 数据速率并将其重塑为 5G，就如同之前 3G 到 4G 的技术过渡。

初始的 5G NR 规范集已于 2017 年 12 月交付使用，5G 阶段 1 (3GPP 版本 15) 对其进行了定义。这些规范侧重于利用非独立 (NSA) 5G NR 技术实现移动宽带部署，即可用于大多数早期 5G 网络部署 (图 1) 的技术。通过利用 LTE 锚频段进行控制以及 5G NR 频段提高数据速率，NSA 可用来加快 5G 部署。利用该方法，运营商只需扩展其现有的 LTE 网络即可快速实现 5G 速度，且无需构建全新的 5G 核心网络。5G 独立 (SA) 规范消除了 LTE 锚的必要性，并将需要扩建一个全 5G 网络，目前定于 1 年后 (2018 年 12 月) 交付使用。

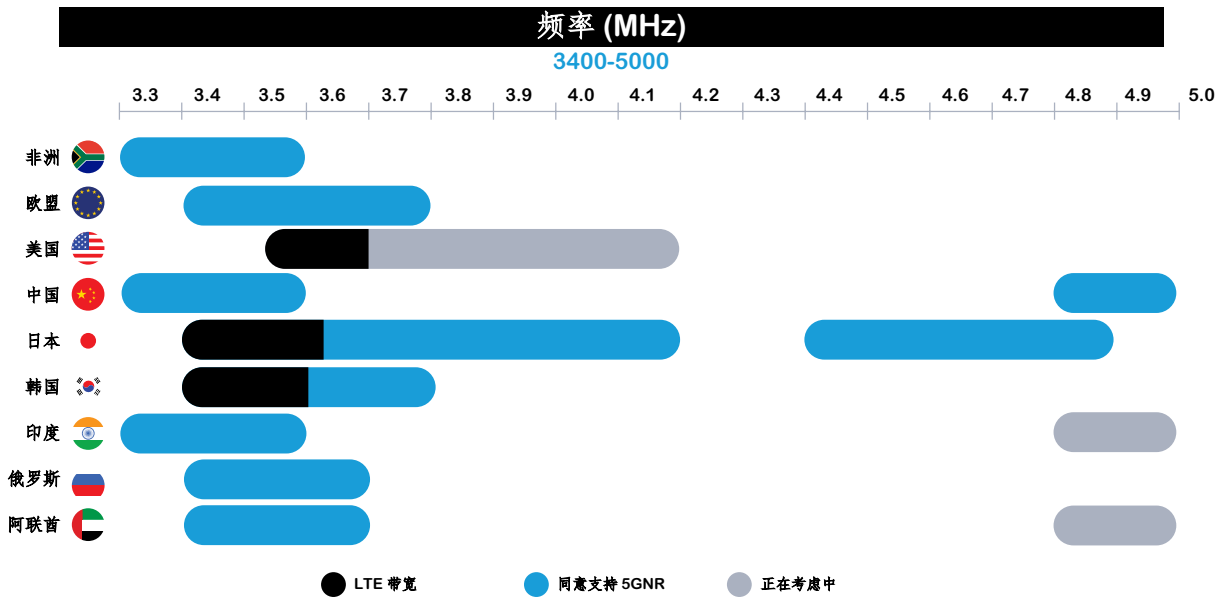
图 1. 从 LTE 到 5G 部署的逐步过渡。



版本 15 NSA 规范整合了开始设计 5G 智能手机所需的众多 5G 规范，包括新频段、载波聚合 (CA) 组合以及关键的 RF 特性（如波形、调制和子载波间隔）。

正如预期那样，规范定义了两个广泛的频谱范围，即 sub-6 GHz (FR1) 和毫米波 (FR2) 频率。它们包括第一组新 5G FR1 频段（n77、n78 和 n79），将用于许多全球 5G 部署（图 2）。从长远角度看，许多 LTE 频段已被指定用于重新分配为 5G 频段，但只有一小部分有望在近期使用，包括 n41、n71、n28 和 n66。版本 15 规范还包括 600 多个新的 CA 组合。

图 2. 5G FR1 频段（n77、n78 和 n79）的新区域分配。



©2018 Qorvo, Inc.

5G 规范定义了两个可选波形: CP-OFDM 和 DFT-s-OFDM。CP-OFDM 在资源模块中提供了很高的频谱封装效率(高达 98%),并为 MIMO 提供了良好的支持。因此,当运营商优先考虑尽可能提高网络容量时(例如在密集城市环境中),可能会使用该波形。DFT-s-OFDM 是用于 LTE 上行链路的同一波形,其频谱封装效率更低,但范围更广(表 1)。

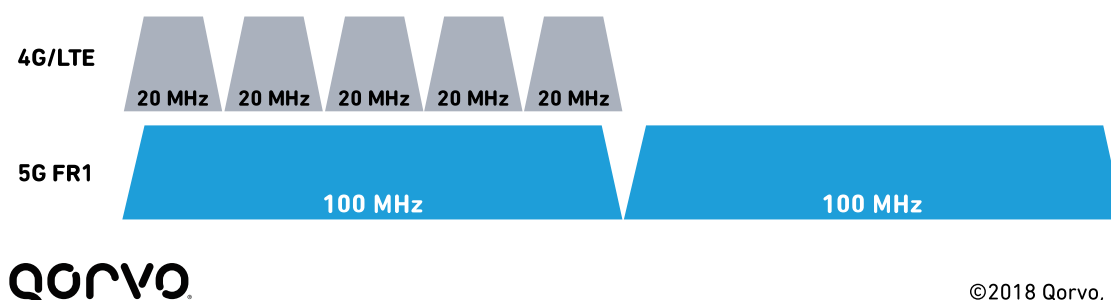
表 1. 关键的 5G 规范。

	UE 发射波形类型	调制阶数	信道 BW	子载波间隔 (SCS)
4G	SC-FDMA	QPSK、16QAM、64QAM、256QAM	5-20 MHz	15 KHz
5G1	DFT-s-OFDM	$\pi/2$ BPSK、QPSK、16QAM、64QAM、256QAM	5-50 MHz	15 KHz
	DFT-s-OFDM	$\pi/2$ BPSK、QPSK、16QAM、64QAM、256QAM	5-100 MHz	30 KHz、60 KHz (可选)
5G2	CP-OFDM	$\pi/2$ BPSK、QPSK、16QAM、64QAM、256QAM	5-50 MHz	15 KHz
	CP-OFDM	$\pi/2$ BPSK、QPSK、16QAM、64QAM、256QAM	5-100 MHz	30 KHz、60 KHz (可选)

规范还确认,尽管数据速率得到提高,但 5G 移动宽带的时间排程就如同 LTE,且对核心 RF 实施不会产生任何额外影响。然而,5G 技术大大降低了延迟,因此天线交换和天线调谐的可用时间更少。这可能导致需要使用在某些应用中速度比 4G 快 10 倍的开关技术。

4G 到 5G 过渡过程中的另一个重大变化就是手机必须支持宽度前所未有的带宽。提高带宽是 5G 的基本宗旨：是实现以全新 5G 频段为目标的更高数据速率的关键。单载波带宽可高达 100 MHz，即 LTE 最高带宽 20 MHz 的 5 倍（图 3），且在 FR1 频率范围内，可存在 2 个上行链路和 4 个下行链路载波，以分别实现 200 MHz 和 400 MHz 的总带宽。管理该带宽所面临的挑战预计将影响整个 RF 子系统，这样即使是最具创新精神的 RF 公司也要提高标准。

图 3. 最大信道带宽比较：4G LTE 与 5G NR。



## 手机设计面临的挑战

智能手机制造商面临的挑战就是，如何对已经拥有大量 4G LTE 功能的手机快速增加 5G 支持功能，以及如何在不断延迟产品发布周期或在不影响达成全球发货量目标的情况下实现这一功能增加。

### 5G NSA 双连接性

尽管 5G NSA 是加快 5G 部署的关键，但也大大增加了 RF 复杂性，因为它要求同时实现 4G LTE 和 5G 连接性。

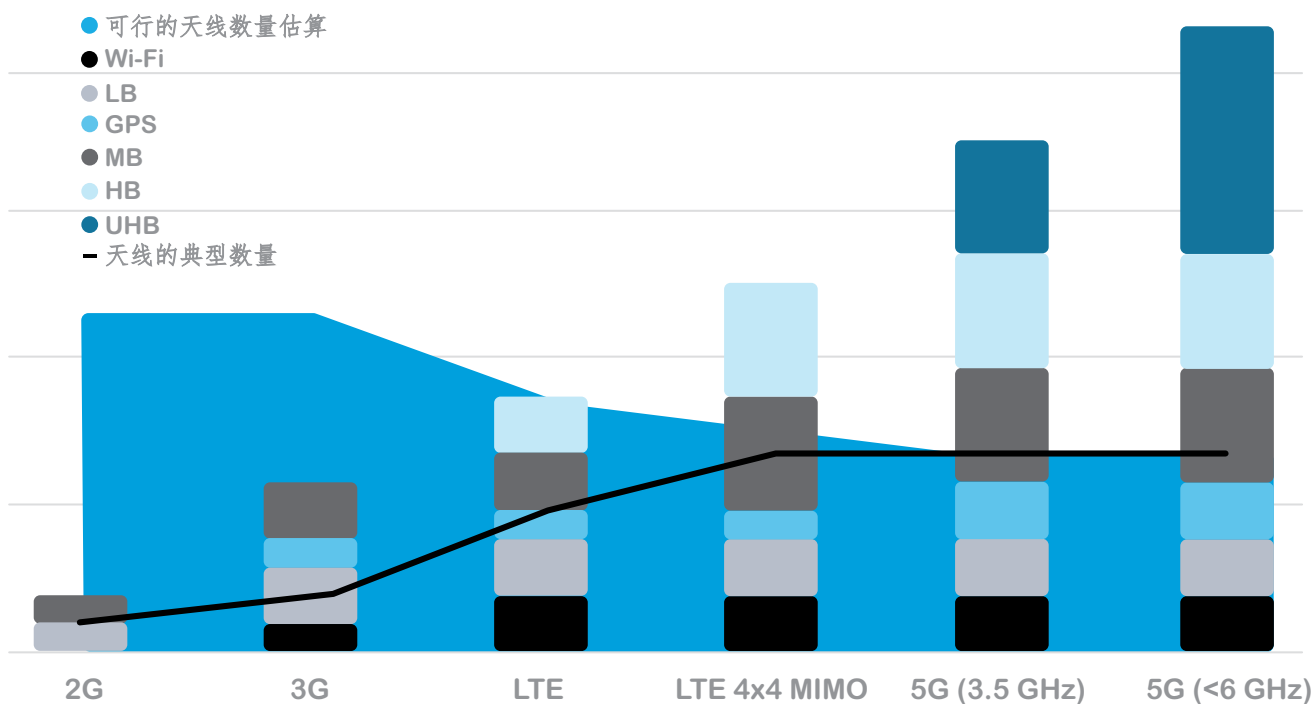
在许多情况下，运营商预计将整合 4G FDD-LTE 频段和 5G 频段。NSA 规范允许手机在一个或多个 LTE 频段中传输数据，同时在一个 5G 频段中接收数据。这就大大增加了传输频率谐波劣化接收器灵敏度的可能性。

例如，将 LTE 频段 1、3、7 和 20 与 5G 频段 n78 整合在一起。频段 n78 比任何 LTE 频段占用的频率范围都更高，且极其宽 (3.3-3.8 GHz)。因此，存在一个更大的威胁，即在其中一个 LTE 锚频段上传输数据生成的谐波频率将落入 n78 频率范围，而如果频率衰减不足，则可能导致接收器灵敏度劣化。然而，实现必要的 CA 衰减所需的滤波功能可能会导致 RFFE 插入损耗增加，从而提高 PA 输出功率要求，降低系统整体效率。

此外，双连接性还会带来其他挑战。例如，在手机中容纳两个主手机天线将是可取的方案。在 LTE 和 5G 频段中同时进行数据传输还会产生电源管理问题，且需要使用一个占用更多空间的附加 DC 转换器，从而没有任何空间进一步扩展天线容量。

图 4 表明了这一趋势，即如果关键 RF 功能组增加，典型旗舰智能手机中可用的天线容量和天线数量就会减少。如图所示，即使采用当今一些 18:9 屏幕高宽比智能手机的较大外形尺寸，可用天线容量也会缩减，直至限制添加更多天线的的能力。

图 4. 随着手机 RF 内容的增加，添加天线的能力将受限。



©2018 Qorvo, Inc.

### 4x4 MIMO

5G MIMO 要求使这个问题更加严重。与 4G LTE 不同的是，在 MIMO 为可选的情况下，5G 手机必须在 1 GHz 以上频段的下行链路中支持 4x4 MIMO。这不仅适用于新频段（如 n77），还适用于重新分配的 LTE 频段。例如，如果频段 3 被重新分给 5G NR，从而变成 n3，那么手机现在就必须遵守 5G NR 规范。因此，LTE 接收分集要求（即两个接收路径）立即成为 4 个接收路径的要求。

对于一些已经支持可选 4x4 LTE MIMO 的手机设计，这种改变并不明显。然而，对于其他许多手机，这种改变将需要大幅增加 RF 内容、信号路由复杂性和天线带宽。总的来说，这意味着在已分配给 RF 前端的拥挤空间内挤入更多内容，因为需要 4 根天线和 4 个独立的 RF 通道。所有这些甚至都没有考虑 2x2 上行链路 MIMO 的影响，如针对 n77、n78、n79 和 n41 的规定。

这种架构性转变会产生许多影响。其中一个最明显且最至关重要的影响就是，天线调谐和天线转换开关将变得更加重要。当今的智能手机已经需要依赖天线调谐来提高辐射效率，但是天线调谐将在向 5G 的过渡过程中发挥更大的作用，同时通过使每根天线能够高效地支持更宽的频率范围，帮助智能手机制造商将天线数量保持在可承受范围内。

根据相关的注解，如今，双工信号已经很常见（例如，低频段和中频段 / 高频段信号），但是 5G 使信号路由复杂性提升到一个全新水平。鉴于天线的最大数量开始趋向稳定（如图 4 所示），超高频段频率和双连接性上行链路要求将需要对信号路由至天线的方式做出实质性改变。高性能天线转换开关能够最大化信号连接的数量，同时符合严格的 CA 抑制要求，并维持低插入损耗，因此将迅速取代简单的双信器。

所有这个新 RF 内容的另一个影响就是，虽然功能性不断增加，但可用于 RF 实施的面积却不然。因此，该趋势可能会加速集成式 RF 前端模块的部署。整合了 PA、开关、滤波器和 LNA 的高度集成模块（如 Qorvo 的 RF Fusion™）需要更少的空间，同时还可减少损耗，支持载波聚合。

“强制性的 4X4 MIMO 影响较多。”

### 宽度前所未有的带宽和新波形

用于实现 5G 高数据速率的宽度前所未有的带宽和新波形为 RF 功率输出、电源管理和线性度带来了巨大挑战。

当今的旗舰 LTE 手机通常都使用包络跟踪 (ET) 和 PA 来最小化功耗。ET 通过不断调整 PA 电源电压以跟踪 RF 包络的方式来优化效率。然而，包络跟踪器预计在 5G 部署期间只支持最多 60 MHz 带宽，而新 5G 频段（如 n77 和 n79）将支持高达 100 MHz 带宽的单载波传输。因此，PA 将需要在平均功率跟踪 (APT) 固定电压模式下运行，以实现宽带 5G 传输，同时会降低效率。

表 1 中高亮显示的新 5G 波形增加了挑战性。将更高的 CP-OFDM 高峰均功率比 (PAR) 与海量信道带宽组合要求在 5G 中增加 PA 回退值，以避免超出规定限值，并保持高品质数据链路所需的线性度。结果，传输链效率有可能会下降，且 PA 设计可能需要满足极具挑战性的高线性功率要求。

这好像并不是那么复杂，RF 前端 (RFFE) 可能还需要支持 LTE，以便在已将 FR1 频率用于 LTE 的区域实现向后兼容性。为最大限度地延长电池续航时间，手机制造商希望尽可能地使用 ET，这意味着使用 ET 实现 LTE 传输和最高 60 MHz 宽频率的 5G 信号。因此，PA 必须在 ET 模式下实现高饱和效率，在 APT 模式下实现高线性效率。平衡高带宽 APT 模式和低带宽 ET 模式之间的 PA 运行给 RFFE 供应商带来了额外的复杂性挑战。此外，我们需要高级电源管理来实现 ET 和 APT 模式之间的切换。

## LTE 频段重新分配的复杂性

重新分配 LTE 频段以满足 5G NR 规范要求会产生额外的复杂性。在未来数年内，许多现有的 3G/4G 频谱分配将逐步被重新分配为 5G NR 频段。在每个市场完成这一过渡之前，智能手机 PA 将需要能够在每个所述频段中高效地支持 4G 和 5G 传输。预计，在所有频段上完全实现至 5G NR 的过渡可能需要十年或更长时间。在该频率范围内同时支持 LTE 和 5G 部署的需求给 RFFE 带来了额外的复杂性。

例如，频段 41 是最初被重新分配的一组频段之一（重新分配为 n41）。作为 LTE 频段使用时，技术理论上最大的带宽为 60 MHz（通过聚合 3 个 20 MHz 载波实现），且 ET 可用于节省电力。作为 5G 频段使用时，单载波带宽最高可达 100 MHz，同时要求 PA 在 APT 模式下运行；信号带宽的增长对 RF 滤波器设计也会产生影响。

此外，某些情况下，每个信道带宽分配的资源模块 (RB) 数量应作为 4G 至 5G 重新分配过渡的组成部分进行审查。许多 RB 限值都是几年前最初创建 LTE 规范时确定的；从那时起，技术和知识已经发展到仍有改进空间的程度。移动运营商对这些改进空间非常感兴趣，因为它们可以提高频谱使用效率。对于手机 OEM 和 RF 前端供应商来说，这将复杂性提升到了另一个层次，因为 RF 链可能需要以未包含在其最初设计中的方式运行。

## 应对挑战

由于标准的加速发展以及部署计划的激进，5G 的发展速度超过了最初预期，从而增加了智能手机制造商的压力，使其不得不快速调整手机以支持 5G。新标准带来了史无前例的 RF 挑战，而尽管这些规范仍在继续发展，但仍必须利用现有的系统知识和专业技能来估计对 RF 设计的影响。另外，由于智能手机外形尺寸的限制，移动行业面临着一系列前所未有的挑战。如同在之前的技术过渡过程中，解决复杂的 5G 挑战需要采用创新型 RF 解决方案。RF 供应商必须提高关键领域的标准，如 PA 设计、RFFE 模块集成、天线调谐和天线转换开关。在帮助手机 OEM 按时发布已成为消费者生活必需品的以数据为中心的移动设备方面，这些核心的 5G 功能将发挥至关重要的作用。

“如同在之前的技术过渡过程中，解决复杂的 5G 挑战将需要创新型 RF 解决方案。”



## 关于作者

Ben Thomas 是 Qorvo 公司 5G 移动业务开发部总监。在此之前，Thomas 先生担任过高级手机功率平台技术营销总监、企业关系总监、业务开发经理和其他销售职位。他担任台湾、韩国和中国分公司的地区销售经理，负责分公司的开设和运营，为公司在亚洲的业务拓展做出了巨大贡献。除了在 Qorvo 的现任职务，他还作为公司代表在 3GPP RAN4 标准化机构任职。Thomas 先生拥有维克森林大学商学院的 MBA 学位以及乔治亚理工学院的电机工程学学士学位。

## 关于 Qorvo

Qorvo（纳斯达克代码：QRVO）长期坚持提供创新的 RF 解决方案以实现更加美好的互联世界。我们结合产品和领先的技术优势、以系统级专业知识和全球性的制造规模，快速解决客户最复杂的技术难题。Qorvo 服务于全球市场，包括先进的无线设备、有线和无线网络和防空雷达及通信系统。我们在这些高速发展和增长的领域持续保持着领先地位。我们还利用我们独特的竞争优势，以推进 5G 网络、云计算、物联网和其他新兴的应用市场以实现人物、地点和事物的全球互联。请访问 [www.qorvo.com](http://www.qorvo.com)，了解我们如何创造美好的互联网世界。