

# 防止过热与 EMI 损坏的工业级设计考量

作者：Rick Zarr, 高速信号与数据路径技术专家

## 前言

工业应用中的电子控制与传感组件能在制造、加工与生产的众多方面提供支持或实现显著的性能提升。但是，电子设备必须能够承受生产钢材、石油产品与化工品等恶劣环境或是具有极端高温、多灰尘以及潮湿的矿山环境。在设计必须承受这些状况（有可能存在极强的电场与磁场）的所有系统时一定要慎重考虑这些因素。只要能够考虑到这些条件并且设计能够适应最差工况，那么这些系统无论安装在何处都能够正常运行。为了实现能适用于工业应用的可行性解决方法，本文对主要设计障碍进行了探讨，同时还介绍了适用于最严酷条件的设计方案。

## 可靠性至关重要

在我们这个普通电话和低成本消费类电子产品无处不在的现代化世界，工程师为什么会为工厂中的周期性现场故障而焦虑呢？实际上，这既不牵涉到相关电子产品的费用也甚至可能不涉及系统维修的费用，相反，它很可能是有关安全或工厂生产力丧失的问题，其可让后者成本相形见绌。大规模制造厂的建造费用可能高达数 10 亿美元，而运营费用也会达到数百万。一些系统故障导致的单次停机事件就有可能耗费数天才能重新启动，而这有可能每天造成数十万美元、乃至高达数百万美元的收入损失。另外，只要发生危及生命的故障，那么造成的伤害让人难以想像。换言之，决不能让这些设施发生故障。

通常需要将电子控件安装到在正常运行期间人员无法进出的区域，例如熔炉附近或大件设备的后面。这就意味着在对该控制系统进程操作时，应关闭生产区，禁止有人进入。安装工业系统时的期望是能够运行很多年（有时是指设施的终身寿命）而不会发生故障或者无需维护。这才是工业系统设计人员面临的真正挑战。

## 热管理挑战

热量是电子产品晶体管与其它组件运行时产生的副产

品。其必须得到良好管理，否则温度升高会降低设备性能或造成器件损坏。要理解个中原由，只需简单了解一下半导体的制造方式就能对问题清晰明了。

集成电路 (IC) 制造采用扩散、退火等热处理工艺使原材料附着到结构周围和进入其内部。材料的原子在上述过程中迁移或形成晶体结构，这在相当高的温度（1200°C 或更高）下才会出现这种现象。不过，除非 IC 保持绝对零度（0°K 或 -273.15°C），否则热运动会继续导致扩散，但比制造过程速度慢得多。

用于生产 IC 的硅的奇妙之处在于其与电阻及温度具有非线性关系。在室温条件下硅的电阻随 IC 工作温度的升高而相应升高。但是，当温度升高到一定程度（高于建议限值），则其电阻开始下降，从而造成潜在正反馈情况。此外，IC 内部的各种其它系统原因也会造成这种情况，有可能导致热失控状况。随着更高电流流过，路径的电阻会由于加热而降低，最终热损伤会损坏 IC。

许多电源 IC 和稳压器采用输出级过热关断方法来防止热失控状况永久性地损坏 IC。但是，这仍然是一种故障状况，因此系统会停止继续运行。即使 IC 永远达不到过热关断状态，但是高温会降低长期可靠性，进而导致过早损坏。使用 IC 时必须遵守产品说明书的建议工况，以便封装内部的 IC 裸片温度保持在安全值范围内。

为了管理设备的工作温度，制造商通常使用风扇来增强流经发热组件的气流。但是，风扇人尽皆知的特点是不具备长期可靠性。另外，工业设备通常与环境隔离，这会妨碍外部空气对其进行冷却。热量必须通过散热路径从 IC 引到温度更低之处。

首先从裸片这一热源开始，必须使用 IC 产品说明书指定的热阻来根据器件的散热速率计算热力上升。热阻抗单位为 °C/W，是 IC 功耗和热量传输路径长度。例如，从结点（裸片）到 IC 外壳的热阻称为  $\theta_{jc}$  结点到外壳热阻 ( $\theta_{jc}$ )。

这些值极其重要。例如，如果采用无限制铜面作为散热片，SOT-223 封装中 LM340 等小型线性稳压器的结点到环境空气热阻 ( $\theta_{JA}$ ) 大约为  $50^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。如果输入电压为 5V，输出电压为 1.8V（通用 CMOS 内核电压），负载为 1A，则稳压器的功耗为 3.2W。这就意味着，即使是采用 PCB 上的一大片表面作为散热片并且环境空气温度为  $20^{\circ}\text{C}$ ，裸片温度仍然会升高到  $160^{\circ}\text{C}$ 。其远远超过器件的正常工作温度，有可能造成过热关断或随时间的推移逐渐损坏。

在本例中，除非外壳直接连接（除铜外）的更低热阻，否则没有其它方法可以为裸片散热。热量无法通过 PCB 铜制材料以足够快的速度排出，因此以上述功率电平无法防止 IC 内部温度升高。此处的解决方案是采用更高效的方法将 5V 转换为 1.8V，如 LMZ10501 纳米模块开关稳压器。另一种选择方案是采用热阻抗低得多的封装，但这不可避免地会占用更多 PCB 表面积。

与其电气同类一样，要计算温升，可连续累加热阻。例如， $T_{\text{Rise}} = P_{\text{Dissipated}} \times (\theta_{\text{JC}} + \theta_{\text{CA}} + \theta_{\text{AE}})$ ，其中  $\theta_{\text{JC}}$  为结点到外壳热阻、 $\theta_{\text{CA}}$  为外壳到环境热阻，而  $\theta_{\text{AE}}$  则为环境到外界或到设备所处大环境的热阻。选用超低热阻的封装有助于器件散热。另外，在外壳增加铝制散热片或热管有助于提供热阻更低的至空气路径。这样就能降低工作温度，从而显著提高长期可靠性。

## 电磁设计的考虑事项

管理封闭在气密箱体中的设备的热量并非是唯一的问题。现在我们来看一看设备的电磁 (EM) 环境以及电磁干扰 (EMI)。许多工程师都把 EMI 敏感性看成是由照明或其它电压过载条件导致的破坏，这种观点本来没什么问题。但是，这并非是极端电磁场的唯一引起故障的机制。详见下文。

减轻静电破坏是设计人员必须解决的实际问题。如果线缆（包括电源）进入底板，就会在设备中出现高压，无论是否是正常工况均如此。电源通常设计有防止出现电压峰值的内在保护。输入级可能还配备用于钳制输入的高速电压监控器，以防出现与过压相关的损坏。但是，当设备是通过电线网络连接，这些连接就会提供一种借助电线的电容储存电荷的方法。在传感器模块（带有源电子器件）和控制器之间配备电线长度达上千英尺的情况并不罕见。

自然界存在能够毁坏设备的现象，如直接雷击。但是，还存在另一种称为交叉冲击 (cross striking) 的更微妙效应。当带有大量电荷的雷暴云缓慢飘过长距离布线网络并且在线缆中感应出相反电荷时就会出现这种现象（图 1）。一般情况下，感应电荷被云层中的电荷固定在其位置中。但是，如果另一片带有相反电荷的云层在附近飘过，就有可能引起两朵云之间网络上空的静电放电（闪电）。

图 1：带相反电荷的云飘过时出现的交叉冲击情况

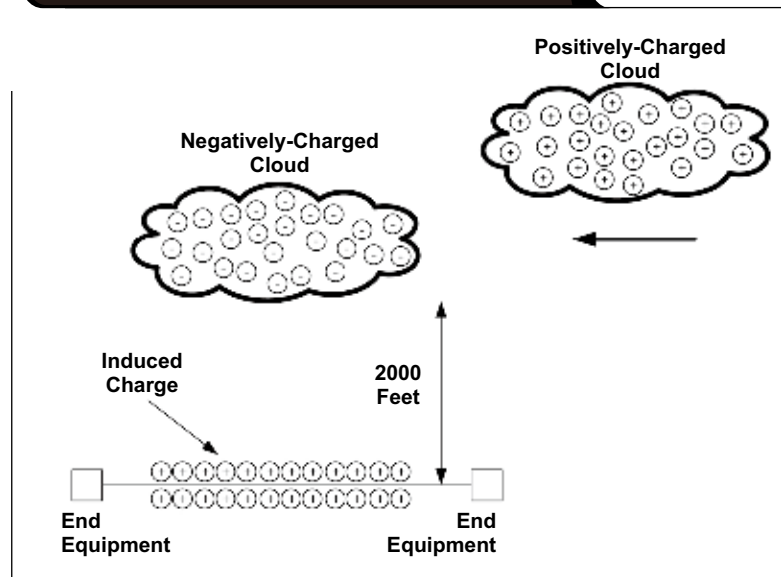
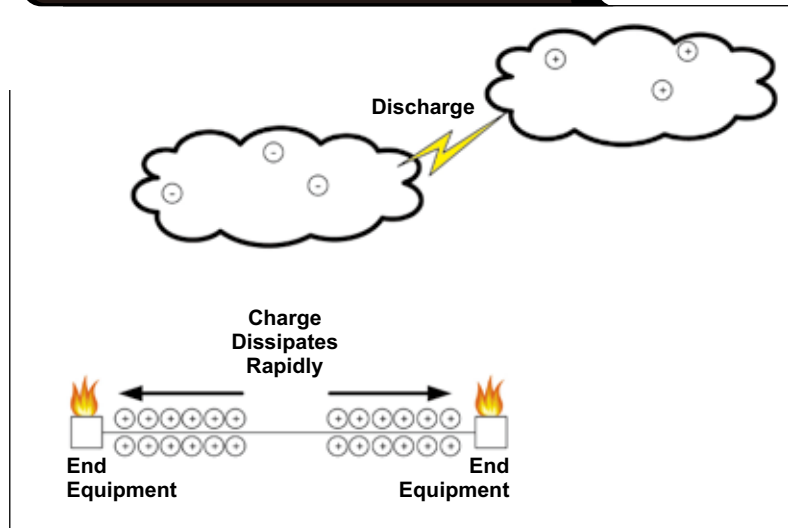


图 2：交叉冲击事件可能造成终端设备损坏



当正上空云朵中的电荷消散后，电线中的感应电荷也必须消散。由于电荷从电线中快速消失，因此在线缆两端会出现极其高的电压。如果不受控制，此类电压有可能破坏位于电线两端的所有设备（图 2）。为了降低这种破坏，需在终端设备的线缆终端配备电弧管或火花隙以及静电放电(ESD)保护二极管，从而提供将电荷引入大地的路径。否则，该路径会经过线缆驱动器或收发器，其很难幸免于难。

如前所述，其它类型的 EMI 不会直接损坏 IC。相反，其会导致 IC 转移其工作点；或者导致偏移指定限制。许多制造厂现在纷纷在其制造工艺中采用微波加热器或其它射频源。这些大型 RF 场能在 IC 中的各种寄生二极管和有源组件中产生感应电流。如果在设计 IC 时缺乏处理这些场的措施，那么内部偏置点就有可能转移，从而改变电路的工作点。

可以在众多对讲电话中观察到一种常见的非工业 EMI 问题。放大器通常容易受到手机等 RF 源的影响。在使用对讲电话通话时，若手机也在附近，则经常会在通话时听到嗡嗡声。蜂窝发射器产生的 RF 能量以寄生方式解调进入放大器链，从而可以通过扬声器发出可听到的声音。

但是，在工业控制应用中，这种现象要严重得多。其经常构成高精度测量中的偏移。其可能造成几度的温度感测误差或者远程传感器的其它测量误差。很多工艺都必须要求极其苛刻的容差。任何偏差都有可能造成生产工艺的灾难性失败，或者起码会造成质量不达标。

为了解决这个问题，设计人员需要采用抗 RF (RF-hardened) 组件（切勿与抗辐射 (radiation-hardened) IC 混淆）。LMP2021（单通道）与 LMP2022（双通道）运算放大器 IC 经过精心设计，可用于实现存在高电平 RF 场的高精度性能。采用此类 IC 可以降低 RF 干扰导致的高精度应用误差。

## 结论

对电子系统来说，工业环境是极其严酷苛刻的。设计人员必须兼顾考虑到高温以及其它损坏与干扰源。这些重任目前大部分由 IC 自身承担，因为它们具有处理极端条件的能力。但是，归根结底，能否最终实现连续多年无故障运行的系统，关键在于设计人员的决策。

## 相关 Web 网址

[www.ti.com/2q14-lmp2021](http://www.ti.com/2q14-lmp2021)  
[www.ti.com/2q14-lmp2022](http://www.ti.com/2q14-lmp2022)  
[www.ti.com/2q14-lm340](http://www.ti.com/2q14-lm340)  
[www.ti.com/2q14-lmz10501](http://www.ti.com/2q14-lmz10501)

订阅 AAJ:

[www.ti.com/subscribe-aaaj](http://www.ti.com/subscribe-aaaj)

TI Designs 参考设计库提供完整的设计方案，由资深工程师团队精心创建，支持汽车、工业、医疗、消费等广泛应用的设计。在这里，您能找到包括原理图、物料清单、设计文件及测试报告的全面设计方案。登陆TI Designs，找寻更多适合您的参考设计！简单设计，从TI起步。

马上登录 [TI.COM.CN/TIDESIGNS](http://TI.COM.CN/TIDESIGNS) 查询最适合您的设计文档。



WEBENCH® 设计中心: 易于使用且可提供定制结果的设计工具。  
PowerLab™ 参考设计库, 包含了近千个适用于所有应用的参考设计。  
电源在线培训课程

[www.ti.com.cn/webench](http://www.ti.com.cn/webench)  
[www.ti.com.cn/powerlab](http://www.ti.com.cn/powerlab)  
[www.ti.com.cn/powertraining](http://www.ti.com.cn/powertraining)

## WEBENCH® Designer My Designs

Clocks	Filters	传感器
电源	FPGA/μP	LED

输入您的供电要求:

直流  交流

最小                      最大

输入电压    14.0 V                      22.0 V

输出                      3.3 V                      2.0 A

环境温度                      30 °C

多负载                      单输出

**Power Architect**                      **开始设计**

## WEBENCH® Designer My Designs

最小                      最大

输入电压    14.0 V                      22.0 V

输出                      3.3 V                      2.0 A

环境温度                      30 °C

**SIMPLE SWITCHER®**

开始设计 ▶

德州仪器在线技术支持社区

[www.deyisupport.com](http://www.deyisupport.com)

中国产品信息中心 免费热线:

800-820-8682

TI新浪微博



[e.weibo.com/tisemi](http://e.weibo.com/tisemi)

## 热门产品

DAC8760	用于 4-20mA 电流回路应用的单通道、16 位、可编程电流/电压输出 DAC
DAC7760	单通道、12 位可编程电流输出和电压输出 DAC
ADS1247	极低噪音、精密 24 位 模数转换器
ADS1120	具有串行外设接口的低功耗、低噪声、16 位 ADC
ISO7242	四通道 2/2 25MBPS 数字隔离器
ISO7631FM	4kV <sub>PK</sub> 低功耗三通道、150MBPS 数字隔离器
TPS54062	4.7V 至 60V 输入、50mA 同步降压转换器
TLK105L	工业温度、单端口 10/100Mbs 以太网物理层
SN65HVD255	CAN 收发器具有快速循环次数, 可用于高度已加载网络

了解更多, 请搜索以下产品型号:

DAC8760





## 重要声明

德州仪器(TI)及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准,对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改,并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息,并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内,且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定,否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险,客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或间接含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息,不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可,或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分,仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时,如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分,则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权,且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意,尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供,但他们将独力负责满足与其产品及其在其应用中使用 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意,他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识,可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中,为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此,此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备)的授权许可,除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意,对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用,其风险由客户单独承担,并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品,这些产品主要用于汽车。在任何情况下,因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

产品	应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a> 通信与电信 <a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a> 计算机及周边 <a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a> 消费电子 <a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a> 能源 <a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a> 工业应用 <a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a> 医疗电子 <a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a> 安防应用 <a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a> 汽车电子 <a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a> 视频和影像 <a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>
OMAP应用处理器	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a> 德州仪器在线技术支持社区 <a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122  
Copyright © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

产品	应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a> 通信与电信 <a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a> 计算机及周边 <a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a> 消费电子 <a href="http://www.ti.com.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a> 能源 <a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a> 工业应用 <a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a> 医疗电子 <a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a> 安防应用 <a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a> 汽车电子 <a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a> 视频和影像 <a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>
OMAP应用处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/omap">www.ti.com.cn/omap</a>
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a> 德州仪器在线技术支持社区 <a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道1568号, 中建大厦32楼邮政编码: 200122  
Copyright © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司