

# LM3402,LM3404

*Application Note 1629 Thermal Performance of the LM3404/04HV in SO-8 and PSOP-8 Packages*



Literature Number: ZHCA297

# 采用 SO-8 和 PSOP-8 封装的 LM3404/04HV 的散热性能

美国国家半导体公司  
应用注释 1629  
Chris Richardson  
2007年5月



采用 SO-8 和 PSOP-8 封装的 LM3404/04HV 的散热性能

## 引言

LM3404/04HV是一款降压型稳压器，专为驱动正向电流高达1.0A的大功率LED而设计。即使在开关转换器方式下工作，LED驱动器也常常会遇到一些极端的发热情形。例如，通常会将LED驱动器和LED一起放置在同一块金属核心PCB (MCPCB)上。在1.0A电流下，单芯白光LED的功耗会超过3W。MCPCB的温度能轻易达到60°C乃至更高。即使将驱动器放置在单独的PCB上，由于大功耗、狭小和封闭的空间以及极少的气流等综合因素，也会产生很高的环境温度和甚至更高的结温。

LED驱动器的高占空比会使集成（板载MOSFET）LED驱动器的散热条件变得更差。在采用多个LED的应用中，将尽可能多的LED串联，以便与稳压器的电流和电压限制相匹配。结果使得输出电压恰好低于输入电压。由24V输入提供5V输出的稳压器具有21%的占空比，意味着内置MOSFET在其21%的时间内是导通的。与之相反，通常会采用24V输入电压来驱动五个串联的白光LED，每个LED压降是3.5V时的输出电压为17.5V，强制MOSFET在73%的时间内导通。

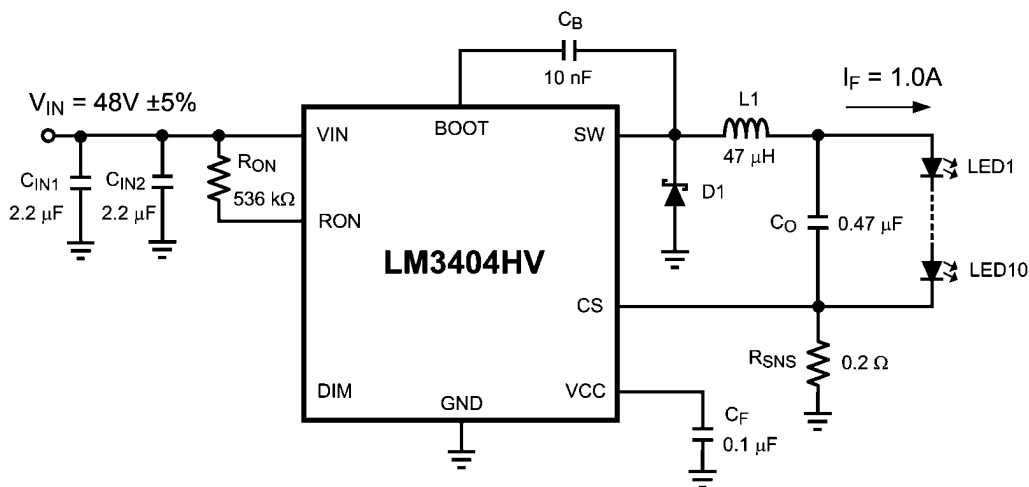
本应用注释的第一部分采用实验室测试的热性能结果和仿真结果，探讨LM3404HV在大电流、高输入电压、高占空比的许多LED驱动器应用中的性能。将带有裸露焊盘封装

（亦称为晶粒黏接焊盘或DAP）的业界标准的SO-8封装和引脚兼容的PSOP-8封装进行比较，有助于用户预测不同情况下的晶片温度，并确定哪种类型的封装最适合具体应用。

利用第一节中计算的功耗，本应用注释的第二部分估算在两种典型LED配置下LED驱动器LM3404HV的晶片温度。第一种配置是LM3404HV安装在分开的PCB上，通过线束将其连接到LED。这种情况假定环境温度受到LED散热的影响，但不是LED本身造成PCB发热。第二种情况假定LM3404HV与LED安装在相同的MCPCB上。在这种配置中MCPCB的温度对LM3404HV晶片温度的影响要比环境温度大很多，测试也假定一个固定的MCPCB温度而不是固定的环境温度。

## 测试电路

测试电路输入电压为 $48V \pm 5\%$ ，采用LM3404HV来驱动十个串联的3W白光LED。典型正向压降为36V（处于热平衡中）时总的正向电流 $I_F$ 为 $1A \pm 5\%$ 。输出电流纹波为 $70mA_{p-p}$ 或更低。开关频率为 $550kHz \pm 10\%$ 。电路的浪涌保护可高达60V。完整的材料清单列于文件的后面，在应用注释AN-1585中会给出性能波形。电路如图1所示。



30019201

图 1.

## 测试用的PCB

在本应用注释中测试用的PCB是LM3402/04 PSOP-8评估电路板。电路板的尺寸为1.95英寸×1.25英寸，并采用1盎司铜箔的两层板以及62mil的FR4材质。为了获得最佳的散热性能，顶层的大部分和完整底层都由大面积（形状）铜箔构成。这些区域主要作为LM3404HV的散热片。其中特别重要的是焊盘和散热通孔的布置，通过它们将PSOP-8封装的DAP连接到底层上的接地平面。图2所示为焊盘上的详细信息，这是为了获得最佳散热性能而推荐采用的布局。也可将PSOP-8封装的LM3404HV用在标准SO-8封装图形上，或者将SO-8封装的LM3404HV用在PSOP-8封装的评估电路板上，然而当将其正确地焊到散热焊盘，并连到一个大面积（1平方英寸或者更大）的铜箔区域上时，任一种选择都不能充分利用PSOP-8封装的增强散热性能。在本文的结尾会提供PCB的分层布局图。

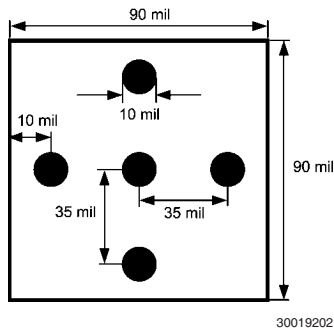


图2. PSOP-8焊盘和散热通孔布局

## 功耗

LM3404HV内部的功耗可分为三种类型：传导损耗（ $I^2R$ ），栅极电荷损耗和开关损耗。对于每种计算，使用最大值和最差情况。占空比D为0.75。MOSFET的导通电阻 $R_{\text{DSON}}$ 为 $0.75\ \Omega$ ，栅极电荷 $Q_G$ 为6nC，上升和下降时间 $t_r$ 和 $t_f$ 都是20ns。

内置MOSFET中的传导损耗 $P_C$ 为：

$$P_C = (I_F \times D)^2 \times R_{\text{DSON}} = (1.0 \times 0.75)^2 \times 0.75 = 420\ \text{mW}$$

栅极驱动器和线性稳压器中的栅极充电和VCC损耗 $P_G$ 为：

$$P_G = (I_{\text{IN-OP}} + f_{\text{SW}} \times Q_G) \times V_{\text{IN}}$$

$$P_G = (675 \times 10^{-6} + 550000 \times 6 \times 10^{-9}) \times 48 = 191\ \text{mW}$$

内置NFET中的开关损耗 $P_S$ ：

$$P_S = 0.5 \times V_{\text{IN}} \times I_F \times (t_r + t_f) \times f_{\text{SW}}$$

$$P_S = 0.5 \times 48 \times 1.0 \times (40 \times 10^{-9}) \times 550000 = 528\ \text{mW}$$

则LM3404HV内部的总功耗为

$$P_D = P_C + P_G + P_S = 1.14\ \text{W}$$

## 散热计算

LM3404HV所具有的最大工作结温( $T_J$ )为 $125^\circ\text{C}$ 。采用SO-8封装（型号 LM3404HVMA）和PSOP-8封装（型号 LM3404HVMR）的LM3404HV的校准测试都在实际的PSOP-8评估电路板上进行。结点到环境的热阻( $\theta_{\text{JA}}$ )的测试结果总结如下，单位为 $^\circ\text{C}/\text{W}$ 。

封装	0.5W	1.0W	1.5W
SO-8	102	99	未提供
PSOP-8	50.9	49.6	48.4

为了与期望的应用环境相匹配，所有测试都在无气流的条件下进行。之所以没有提供SO-8封装在1.5W处的数据，是因为最终的 $T_J$ 超过了 $125^\circ\text{C}$ 。 $\theta_{\text{JA}}$ 对于PCB的重要性就像其对于半导体芯片的意义一样。PSOP-8评估电路板的顶层包含大约75%的铜箔，而底层（的通孔和线路）大约占用90%的铜箔。因此估算的总铜箔面积为 $(0.75 + 0.9) \times (1.25'' \times 1.95'') = 4$ 平方英寸。

根据功耗和热阻数据，可估算出最大的工作环境温度，或者在给定工作环境温度下，可为LM3404HV选择合适的封装类型。

通过以下等式可确定最大的工作环境温度 $T_{\text{A-MAX}}$ ：

$$T_{\text{A-MAX}} = T_{\text{J-MAX}} - P_D \times \theta_{\text{JA}}$$

$$T_{\text{A-MAX}} (\text{SO-8}) = 125 - 1.14 \times 99 = 12^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{A-MAX}} (\text{PSOP-8}) = 125 - 1.14 \times 50 = 68^\circ\text{C}$$

从计算中可清楚看到高功耗的应用必须用PSOP-8封装。

还有一种可能，如果环境温度是已知的，LM3404HV的硅片温度可以通过上述等式的变形来估算：

$$T_J = T_A + P_D \times \theta_{\text{JA}}$$

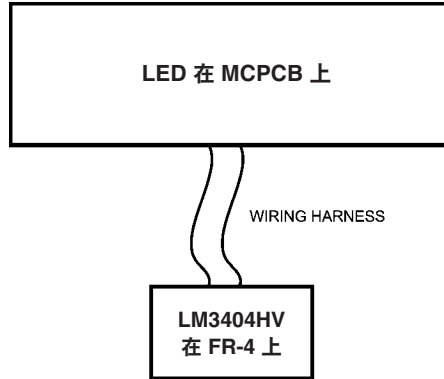
例如，如果带功率LED的壳体内部的环境温度达到 $60^\circ\text{C}$ ，再次对两种封装选项进行评估：

$$T_J (\text{SO-8}) = 60 + 1.14 \times 99 = 173^\circ\text{C}$$

$$T_J (\text{PSOP-8}) = 60 + 1.14 \times 50 = 117^\circ\text{C}$$

结果再次表明，SO-8封装不能将结温保持在规格的限值内。

## 采用FR4来预测散热性能



30019203

图3. 第一种系统电路配置图

采用有限元分析，在三种不同尺寸的PCB上对PSOP-8和SO-8封装的LM3404HV的散热性能仿真。这些仿真假定环境温度为22°C，功耗为1W，两层PCB由顶层和底层上的1盎司铜箔组成，中间用62mil的FR4介质分隔。结果如下所示：

$\theta_{JA}$ (°C/W)	PSOP-8	SO-8
1.25" x 1.95" (评估电路板)	55.1	104.8
1" x 1" (典型情况)	73.0	120.8
0.5" x 0.5" (最坏情况)	240.2	263.7

评估电路板情况的测试结果和仿真结果之间具有较好的关联性。通过将评估电路板的结果与典型及最坏情况的仿真结果比较，可以发现PCB尺寸的较大影响。若没有足够的铜箔面积去发散和消耗热量，外露焊盘的优势会受到削弱，即使PSOP-8封装也会被限制在低功耗、低环境温度的应用。

## 采用金属核心PCB来预测散热性能



30019204

图4. 第二种系统电路配置图

采用PSOP-8和SO-8封装的LM3404HV在下列组分的1英寸方截面MCPCB上消耗1W时，再次使用有限元分析来仿真LM3404HV的性能。

材料	厚度(mil)	热导率 (W/m-K)
金属核心 (6061-T6 铝)	40	167
绝缘材料	3	2.4
铜线 (75% 覆盖)	1.4	377

为了获得典型的工作条件，包含LM3404HV的1英寸方截面被假定为测量面积1英寸×6英寸的更大MCPCB的一部分。其它5平方英寸区域包含了5个大功率LED，假定它们将整个电路板加热到一个统一的温度， $T_{BD}$ 为50°C（代表一个稍大的散热区）和75°C（代表一个稍小的散热区）。从电路板至LM3404HV硅片的热阻 $\Psi_{JBd}$ 的测试结果列于下表：

$\Psi_{JBd}$ (°C/W)	$T_{BD} = 75^\circ\text{C}$ $T_A = 60^\circ\text{C}$	$T_{BD} = 75^\circ\text{C}$ $T_A = 45^\circ\text{C}$	$T_{BD} = 50^\circ\text{C}$ $T_A = 40^\circ\text{C}$	$T_{BD} = 50^\circ\text{C}$ $T_A = 30^\circ\text{C}$
SO-8	70.5	69.2	71.4	70.5
PSOP-8	9.8	9.2	10.5	10.1

利用下列等式和参数 $\Psi_{JBd}$ ，计算LM3404HV的结温：

$$T_J = \Psi_{JBd} \times P_D + T_{BD}$$

或者，通过从125°C的 $T_{J-MAX}$ 回溯计算， $\Psi_{JBd}$ 也可用于确定可容忍的最高电路板温度。

$$T_{BD-MAX} = 125 - \Psi_{JBd} \times P_D$$

从这些结果中也可得到两个主要结论。首先，电路板温度或者环境温度对散热阻抗影响很小。相反，热阻主要依赖于所采用的封装类型。其次，当DAP焊接到具有低热阻的大块区域，例如MCPCB时，PSOP-8封装能够再次表现出远优于SO-8封装的性能。

## 结论

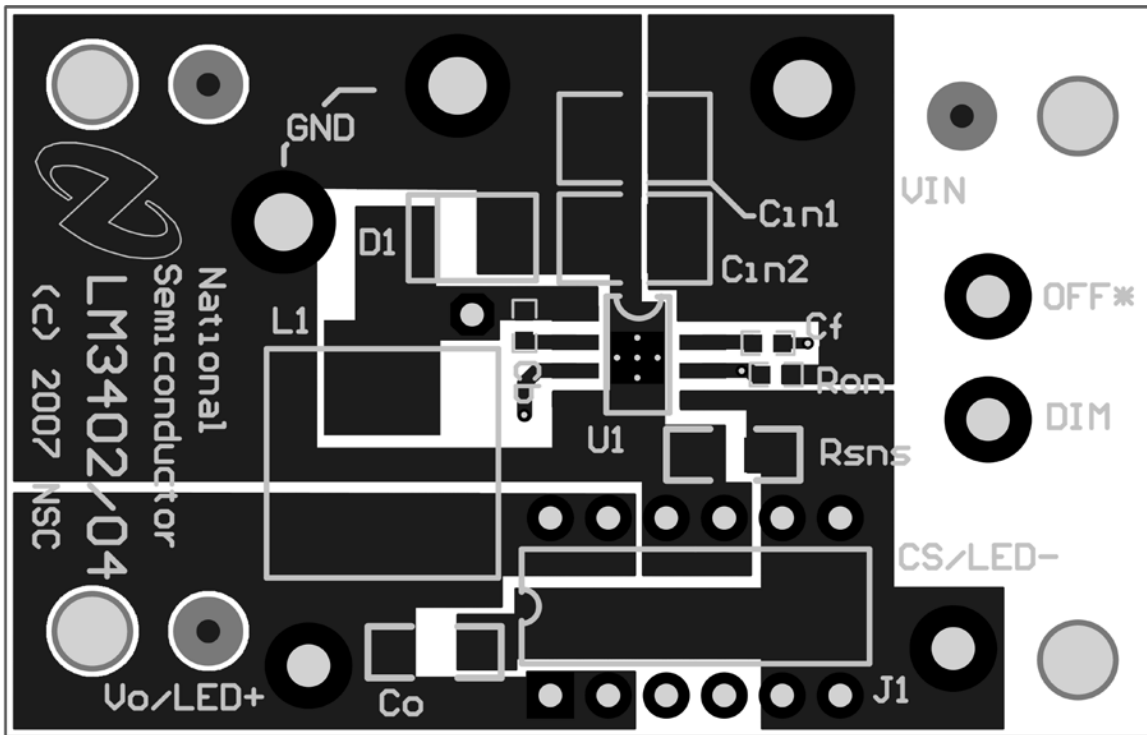
若环境温度、电路板温度和LM3404HV的功耗值越高，则越有可能需要采用PSOP-8封装，从而维持低于 $T_{J-MAX}$ 的结温。此外，随着热应力变得更大，同时PCB面积变得更小，就越有可能将LM3404HV安装在MCPCB上。

本应用注释中分析得到的结果用于指导用户为大功率LED驱动器，例如LM3404HV，选择合适的封装类型和配置。观察到的一般趋势对于其它的应用也是有效的，但是其不会与其它电路或者应用有直接联系。

## 材料清单

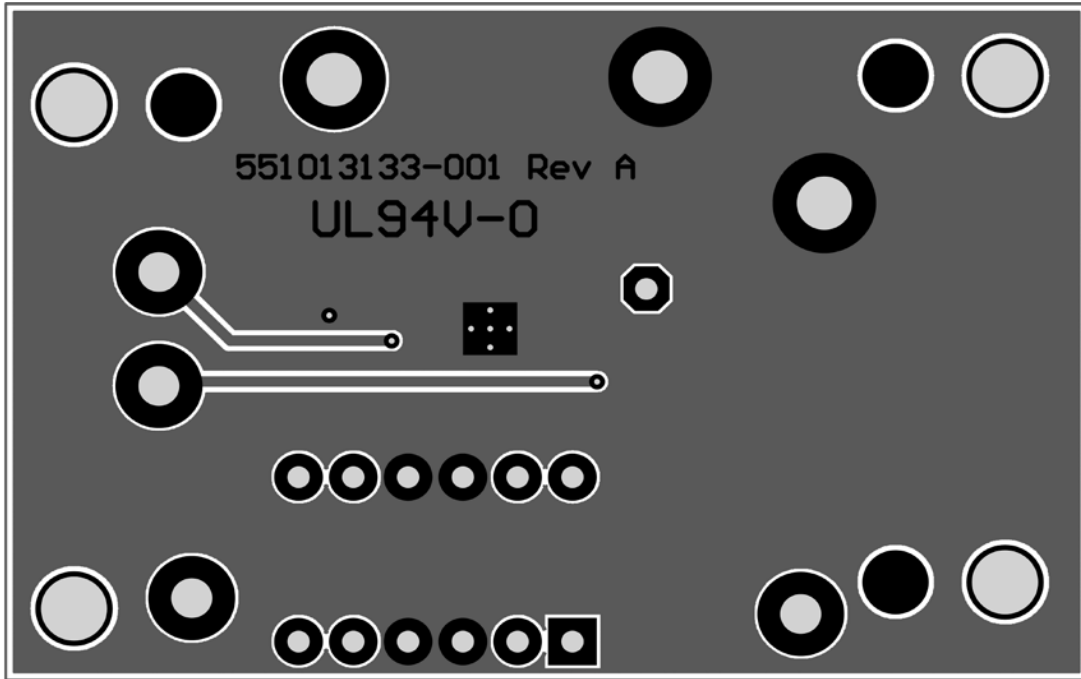
符号	器件型号	类型	尺寸	参数	数量	供应商
U1	LM3404HVMR	LED 驱动器	PSOP-8	75V 1A	1	NSC
L1	SLF10145T-470M1R4	电感	10.0 x 10.0 x 4.5mm	47 $\mu$ H, 1.4A, 0.1 $\Omega$	1	TDK
D2	CMSH2-60	肖特基二极管	SMB	60V 2A	1	Central Semi
Cf	VJ0603Y104KXXAT	电容	0603	100nF 10%	1	Vishay
Cb	VJ0603Y103KXXAT	电容	0603	10nF 10%	1	Vishay
Cin1, Cin2	C4532X7R2A105M	电容	1812	2.2 $\mu$ F 100V	2	TDK
Co	C3216X7R2A474M	电容	1206	0.47 $\mu$ F 100V	1	TDK
Rsns	ERJ8BQFR20V	电阻	1206	0.2 $\Omega$ 1%	1	Panasonic
Ron	CRCW06035363F	电阻	0603	536k $\Omega$ 1%	1	Vishay

## PCB布局



顶层

30019205



底层

30019206

## 注释

对于上述任何电路的使用，美国国家半导体公司不承担任何责任且不默示任何电路专利许可。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行通知。  
想了解最新的产品信息，请访问我们的网址：[www.national.com](http://www.national.com)。

## 生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

1. 生命支持设备/系统指：(a) 打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；(b) 支持或维持生命，依照使用说明书正确使用时，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。
2. 关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备/系统失效，或影响生命支持设备/系统的安全性或效力的任何部件。

## 禁用物质合规

美国国家半导体公司制造的产品和使用的包装材料符合《消费产品管理规范（CSP-9-111C2）》以及《相关禁用物质和材料规范（CSP-9-111S2）》的条款，不包含CSP-9-111S2限定的任何“禁用物质”。  
无铅产品符合RoHS指令。



**National Semiconductor**  
Americas Customer  
Support Center  
Email: [new.feedback@nsc.com](mailto:new.feedback@nsc.com)  
Tel: 1-800-272-9959

**National Semiconductor**  
Europe Customer Support Center  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: [europe.support@nsc.com](mailto:europe.support@nsc.com)  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor**  
Asia Pacific Customer  
Support Center  
Email: [ap.support@nsc.com](mailto:ap.support@nsc.com)

**National Semiconductor**  
Japan Customer Support Center  
Fax: 81-3-5639-7507  
Email: [jpn.feedback@nsc.com](mailto:jpn.feedback@nsc.com)  
Tel: 81-3-5639-7560

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时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, 并有权随时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 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。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。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品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 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐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, 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。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 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在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	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 机动性处理器	<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 © 2011 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司