

南京拓品微电子有限公司

NanJing Top Power ASIC Corp.

数据手册

DATASHEET

TP4056H

输入 30V 具有 OVP 功能

1A 线性锂离子电池充电器

描述

TP4056H 是一款输入耐压高达 30V，具有电源 OVP 功能的 1A 单节锂离子电池线性充电器，其采用了恒定电流/恒定电压的充电模式。带电池正负极反接保护。其底部带有散热片的 ESOP8/DFN2*2-8 封装与较少的外部元件数目使得 TP4056H 成为便携式应用的理想选择。TP4056H 适合 USB 电源、适配器电源和太阳能板电源供电工作。

由于采用了内部 PMOSFET 架构，加上防倒充电路，所以不需要外部隔离二极管。热反馈可对充电电流进行自动调节，以便在大功率操作或高环境温度条件下对芯片温度加以限制。充满电压可分为三档：4.35V，4.2V，3.7V。而充电电流可通过一个电阻器进行外部设置。当充电电流在达到最终浮充电压之后降至设定值 1/10 时，TP4056H 将自动终止充电循环。

当输入电压（交流适配器或 USB 电源或太阳能板电源）被拿掉时，TP4056H 自动进入一个低电流状态，将电池漏电流降至 1 μ A 以下。TP4056H 在有电源时也可置于停机模式，从而将供电电流降至 85 μ A。TP4056H 的其它特点包括电源自适应、电池温度检测、欠压闭锁、自动再充电和两个用于指示充电、结束的 LED 状态引脚。

特点

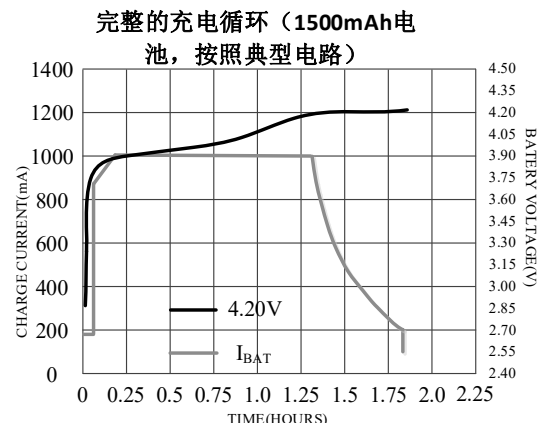
- 输入电源最高耐压 30V（按典型应用）
- 输入电源电压 6.3V 时芯片 OVP
- 锂电池正负极反接保护
- 电源自适应
- 高达 1000mA 的可编程充电电流
- 恒定电流/恒定电压操作，有温度自适应可实现充电速率最大化
- 精度达到 $\pm 1\%$ 的预设充电电压
- 用于电池电量检测的充电电流监控器输出
- 自动再充电
- 充电状态双输出、无电池和故障状态显示
- C/10 充电终止
- 涓流电流 C/5
- 无电源时电池漏电小于 1 μ A
- 软启动限制了浪涌电流
- 电池温度监测功能
- 采用 8 引脚 ESOP/DFN2*8 封装

应用

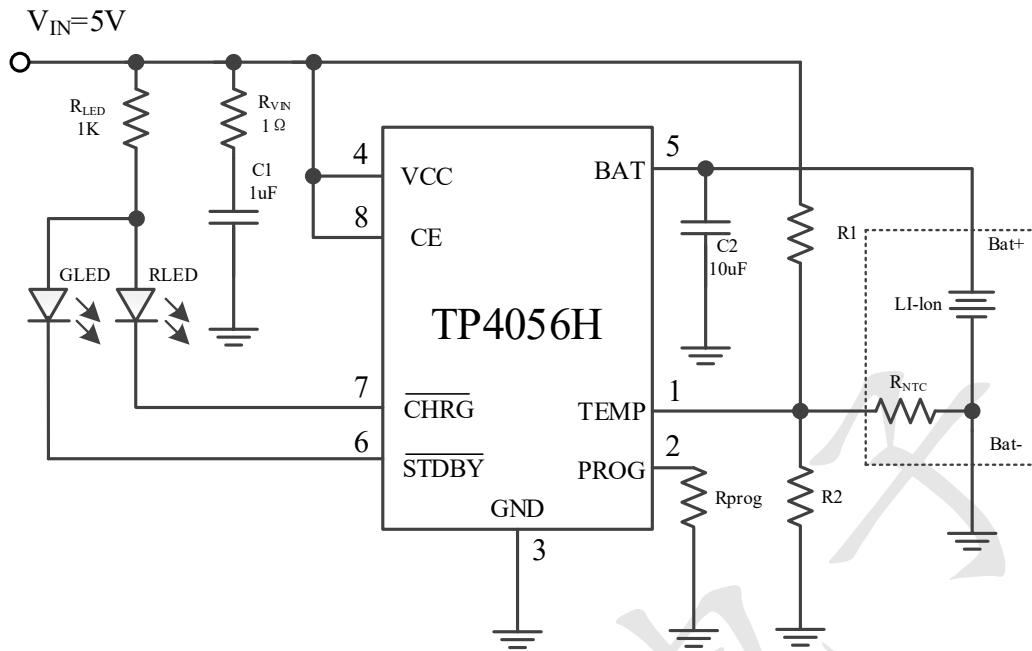
- 储能、快充设备
- 医美医疗
- 移动支付终端
- 智能穿戴、太阳能等充电器

绝对最大额定值

- 输入电源电压 (V_{CC})：-0.3V~35V
- PROG：-0.3V~6V
- BAT：-4.35V~10V
- \overline{CHRG} ：-0.3V~30V
- \overline{STDBY} ：-0.3V~30V
- TEMP：-0.3V~30V（上拉电阻 1K 以上）
- CE：-0.3V~30V
- BAT 短路持续时间：连续
- BAT 引脚电流：1100mA
- PROG 引脚电流：1.1mA
- 最大结温：145 $^{\circ}$ C
- 工作环境温度范围：-20 $^{\circ}$ C~85 $^{\circ}$ C
- 贮存温度范围：-65 $^{\circ}$ C~125 $^{\circ}$ C
- 引脚温度（焊接时间 10 秒）：260 $^{\circ}$ C



典型应用



封装/订购信息

<p>8 引脚 ESOP 封装(底部带有散热片)</p>	<p>订单型号</p> <p>TP4056H-4.35V-ESOP8 TP4056H-4.2V-ESOP8 TP4056H-3.7V-ESOP8</p>
	<p>器件标记</p> <p>AYYWWH→4.35V BYYWWH→4.2V CYYWWH→3.7V</p>
<p>BYYWWH(B 可变,代表不同预设电压。YYWW 代表生产年周,可变。H 固定)</p>	

<p>8 引脚 DFN2*2 封装(底部带有散热片)</p>	<p>订单型号</p> <p>TP4056H-4.35V-DFN228 TP4056H-4.2V-DFN228 TP4056H-3.7V-DFN228</p>
	<p>器件标记</p> <p>AYYWWH→4.35V BYYWWH→4.2V CYYWWH→3.7V</p>
<p>BYYWWH(B 可变,代表不同预设电压。YYWW 代表生产年周,可变。H 固定)</p>	

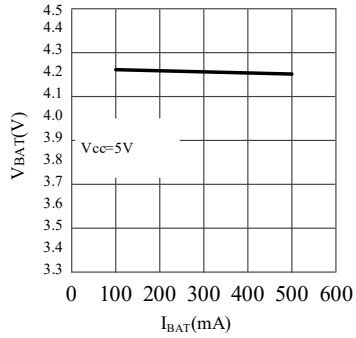
电特性

凡表注●表示该指标适合整个工作温度范围，否则仅指 $T_A=25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC}=5\text{V}$ ，除非特别注明。

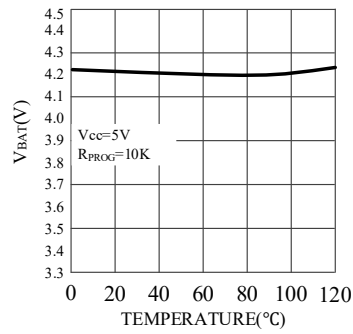
符号	参数		条件	最小值	典型值	最大值	单位	
V_{CC}	输入工作电源电压			● 4.5	5	6	V	
V_{CC}	输入电压范围					30	V	
V_{OVP}	过压保护点		V_{CC} 从低到高	● 6.0	6.3	6.6	V	
I_{CC}	输入电源电流		充电模式, $R_{PROG}=1\text{K}$	●	120	200	μA	
			待机模式 (充电终止)	●	60	85	μA	
			停机模式 (R_{PROG} 未连接, $V_{CC}<V_{BAT}$, 或 $V_{CC}<V_{UV}$)	●	60	85	μA	
V_{FLOAT}	截止电压		$0^{\circ}\text{C}\leq T_A\leq 85^{\circ}\text{C}$		4.306	4.35	4.394	V
					4.158	4.2	4.242	V
					3.663	3.7	3.737	V
I_{BAT}	BAT 引脚电流: (电流模式测试条件是 $V_{BAT}=4.0\text{V}$)		$R_{PROG}=2.05\text{K}$, 电流模式	●	450	500	550	mA
			$R_{PROG}=1.05\text{K}$, 电流模式	●	0.9	1	1.1	A
			待机模式, $V_{BAT}=4.2\text{V}$	●	0	-2	-6	μA
			停机模式 (R_{PROG} 未连接)			± 1	± 2	μA
			睡眠模式, $V_{CC}=0\text{V}$			-1	-2	μA
I_{TRIKL}	涓流充电电流		$V_{BAT}<V_{TRIKL}$, $R_{PROG}=1\text{K}$	●	100	200	300	mA
V_{TRIKL}	涓流充电门 限电压	4.35V/4.2V	$R_{PROG}=1\text{K}$, V_{BAT} 上升		2.8	2.9	3.0	V
		3.7V	$R_{PROG}=1\text{K}$, V_{BAT} 上升		2.4	2.54	2.68	V
V_{TRHYS}	涓流充电迟滞电压		$R_{PROG}=1\text{K}$		70	100	130	mV
V_{UV}	V_{CC} 欠压闭锁门限		从 V_{CC} 低至高	●	3.85	4.0	4.15	V
V_{UVHYS}	V_{CC} 欠压闭锁迟滞			●	150	250	350	mV
V_{ASD}	$V_{CC}-V_{BAT}$ 闭锁门限电压		V_{CC} 从低到高		80	100	120	mV
			V_{CC} 从高到低		30	50	70	mV
I_{TERM}	终止电流门限		$R_{PROG}=1\text{K}$	●	50	100	200	mA
V_{PROG}	PROG 引脚电压		$R_{PROG}=1\text{K}$, 电流模式	●	0.9	1.0	1.1	V
V_{CHRG}	\overline{CHRG} 引脚输出低电压		$I_{CHRG}=5\text{mA}$			0.3	0.6	V
V_{STDBY}	\overline{STDBY} 引脚输出低电平		$I_{STDBY}=5\text{mA}$			0.3	0.6	V
V_{TEMP-H}	TEMP 引脚高端翻转电压					80		$\%V_{CC}$
V_{TEMP-L}	TEMP 引脚低端翻转电压					45		$\%V_{CC}$
ΔV_{RECHRG}	再充电电池 门限电压	4.35V/4.2V	$V_{FLOAT}-V_{RECHRG}$		90	120	150	mV
		3.7V	$V_{FLOAT}-V_{RECHRG}$		320	360	400	mV
T_{LIM}	限定温度模式中的结温					140		$^{\circ}\text{C}$
$t_{RECHARGE}$	再充电比较器滤波时间		V_{BAT} 高至低			1.5		ms
t_{TERM}	终止比较器滤波时间		I_{BAT} 降至 $I_{CHG}/10$ 以下			1.5		ms
I_{PROG}	PROG 引脚上拉电流					3.0		μA
V_{ADPT}	V_{CC} 自适应启动电压		$R_{prog}=1\text{K}$, V_{CC} 从高到低		4.1	4.35	4.6	V
I_{BAT}	电池反向漏电流		电池反接, $V_{IN}=5\text{V}$			20	35	mA
V_{CE_ON}	CE 开启电压		$V_{IN}=5\text{V}$, CE 从低到高		0.7	0.73	0.76	V

典型性能特征

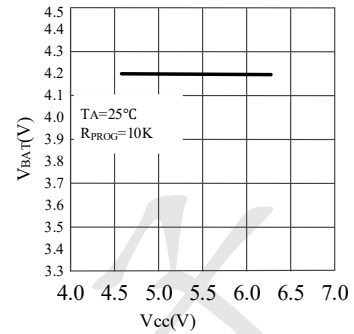
稳定输出（浮充）电压
与充电电流的关系曲线



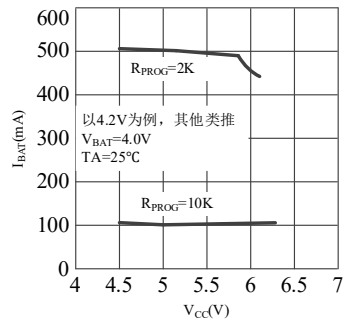
稳定输出（浮充）电压
与温度的关系曲线



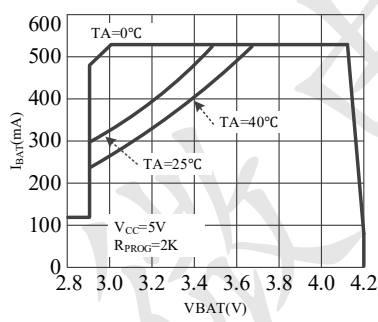
稳定输出（浮充）电压
与电源电压的关系曲线



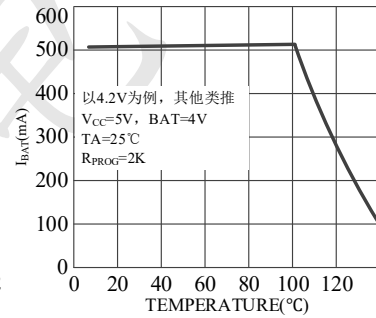
充电电流与电源电压
的关系曲线



充电电流与电池电压
的关系曲线



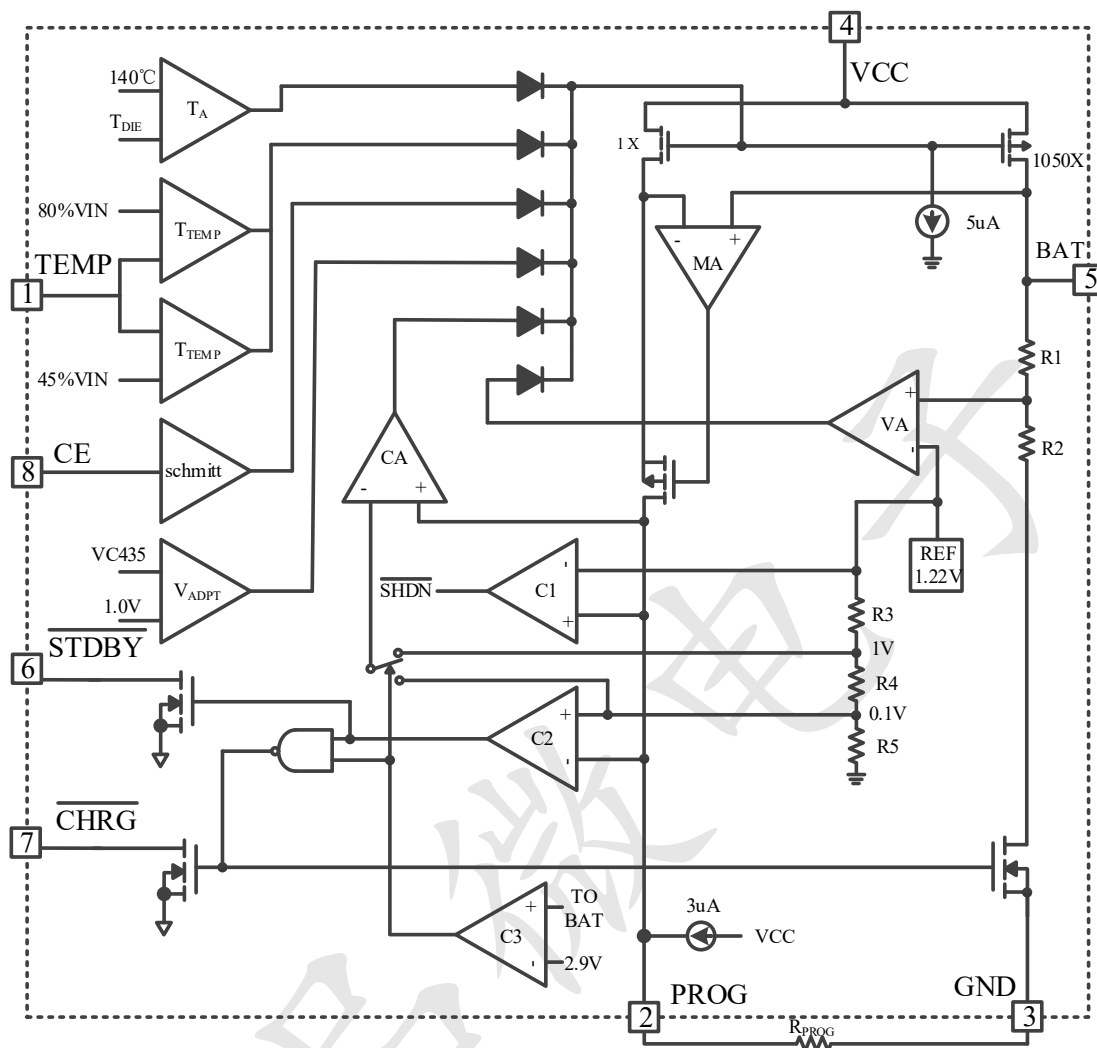
充电电流与芯片温度
的关系曲线



引脚功能

ESOP8/DFN228	引脚名称	引脚功能
1	TEMP	电池温度监测输入端
2	PROG	恒流充电电流设置和充电电流监测端
3	GND	电源地
4	VCC	输入电压正输入端
5	BAT	电池连接端
6	\overline{STDBY}	电池充电完成指示端
7	\overline{CHRG}	充电状态指示端
8	CE	芯片使能输入端
9	PAD	散热片，接地

方框图



工作原理（以 4.2V 为例）

TP4056H 是专门为一节锂离子或锂聚合物电池而设计的线性充电器电路，利用芯片内部的功率晶体管对电池进行恒流和恒压充电。充电电流可以用外部电阻编程设定，最大持续充电电流可达 1A。TP4056H 包含两个漏极开路输出的状态指示输出端，充电状态指示端 \overline{CHRG} 和电池故障状态指示输出端 \overline{STDBY} 。芯片内部的功率管理电路在芯片的结温超过 140℃ 时自动降低充电电流，这个功能可以使用户最大限度的利用芯片的功率处理能力，不用担心芯片过热而损坏芯片或者外部元器件。这样，用户在设计充电电流时，可以不用考虑最坏情况，而只是根据典型情况

进行设计就可以了，因为在最坏情况下，TP4056H 会自动减小充电电流。

当输入电压大于电源低电压检测阈值和芯片使能输入端接高电平时，TP4056H 开始对电池充电， \overline{CHRG} 引脚输出低电平，表示充电正在进行。如果电池电压低于 2.9V，TP4056H 采用涓流对电池进行预充电。当电池电压超过 2.9V 时，充电器采用恒流模式对电池充电，充电电流由 PROG 引脚和 GND 之间的电阻 R_{PROG} 确定。当电池电压接近 4.2V 电压时，充电电流逐渐减小，TP4056H 进入恒压充电模式。当充电电流减小到充电结束阈值时，充电周期结束， \overline{CHRG} 端输出高阻态， \overline{STDBY} 端输出低电位。

充电结束阈值是恒流充电电流的 10%。

当电池电压降到再充电阈值以下时，自动开始新的充电周期。芯片内部的高精度的电压基准源，误差放大器和电阻分压网络确保电池端调制电压的精度在 1% 以内，满足了锂离子电池和锂聚合物电池的要求。当输入电压掉电或者输入电压低于电池电压时，充电器进入低功耗的睡眠模式，电池端消耗的电流小于 1μA，从而增加了待机时间。如果将使能输入端 CE 接低电平，充电器停止充电。

充电电流的设定

充电电流是采用一个连接在 PROG 引脚与地之间的电阻器来设定的。设定电阻器和充电电流可根据 R_{PROG} 与充电电流的关系曲线来计算：

$$R_{PROG} = \frac{1050}{I_{BAT}}$$

客户应用中可根据需求选取合适的 R_{PROG} 。 R_{PROG} 与充电电流的关系可参考下表：

R_{PROG} (KΩ)	I_{BAT} (mA)
10	98
5.1	188
2	526
1.8	584
1.6	660
1.5	704
1.3	824
1.2	900
1.1	972
1	1070

充电终止

当充电电流在达到最终浮充电压之后降至设定值的 1/10 时，充电循环被终止。该条件是通过采用一个内部滤波比较器对 PROG 引脚进行监控来检测的。当 PROG 引脚电压降至 100mV 以下的时间超过 t_{TERM} (一般为 1.5ms) 时，充电被终止。充电电流被关断，TP4056H 进入待机模式，此时输入电源电流降至 85μA。（注：C/10 终止在涓流充电和热限制模式中失效）。

充电时，BAT 引脚上的瞬变负载会使 PROG 引脚电压在 DC 充电电流降至设定

值的 1/10 之间短暂地降至 100mV 以下。终止比较器上的 1.5ms 滤波时间 (t_{TERM}) 确保这种性质的瞬变负载不会导致充电循环过早终止。一旦平均充电电流降至设定值的 1/10 以下，TP4056H 即终止充电循环并停止通过 BAT 引脚提供任何电流。在这种状态下，BAT 引脚上的所有负载都必须由电池来供电。

在待机模式中，TP4056H 对 BAT 引脚电压进行连续监控。如果该引脚电压降到再充电电门限 (V_{RECHRG}) 以下，则另一个充电循环开始并再次向电池供应电流。

图 1 示出了一个典型充电循环的状态图。

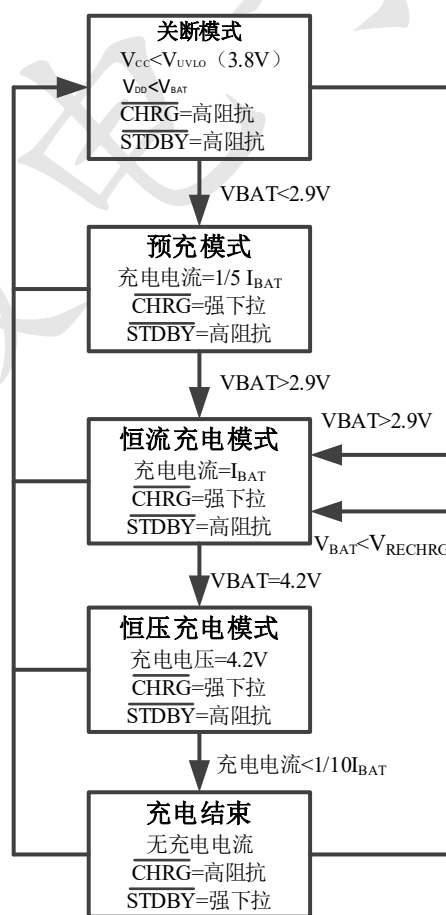


图 1：一个典型充电循环的状态图

充电状态指示器

TP4056H 有两个漏极开路状态指示输出端， \overline{CHRG} 和 \overline{STDBY} 。当充电器处于充电状态时， \overline{CHRG} 被拉到低电平，在其它状态， \overline{CHRG} 处于高阻态。当电池的温度处于正常温度范围之外， \overline{CHRG} 和 \overline{STDBY}

引脚都输出高阻态。

当TEMP端采用典型接法使用时，当电池没有接到充电器时，表示故障状态：红灯和绿灯都不亮。

在TEMP端接GND时，电池温度检测不起作用，当电池没有接到充电器时， \overline{CHRG} 输出脉冲信号表示没有安装电池。当电池连接端BAT引脚的外接电容为10μF时 \overline{CHRG} 闪烁频率约1-2秒。

当不用状态指示功能时，将不用的状态指示输出端接地。

充电状态	红灯	绿灯
	\overline{CHRG}	\overline{STDBY}
正在充电状态	亮	灭
电池充满状态	灭	亮
OVP、欠压、电池温度过高&过低等故障状态，或无电池接入(TEMP使用)	灭	灭
BAT反接状态	亮	亮
BAT端接10μF电容，无电池(TEMP=GND)	绿灯亮，红灯闪烁T=1-4 S	

热限制

如果芯片温度升至约140℃的预设值以上，则一个内部热反馈环路将减小设定的充电电流，直到芯片温度升至145℃以上时，将充电电流减小至0。该功能可防止TP4056H过热，并允许用户提高给定电路板功率处理能力的上限而没有损坏TP4056H的风险。在保证充电器将在最坏情况条件下自动减小电流的前提下，可根据典型（而不是最坏情况）环境温度来设定充电电流。

电池温度监测

为了防止温度过高或者过低对电池造成的损害，TP4056H内部集成有电池温度监测电路。电池温度监测是通过测量TEMP引脚的电压实现的，TEMP引脚的电压是由电池内的NTC热敏电阻和一个电阻分压网络实现的，如典型应用图例所示。

TP4056H将TEMP引脚的电压同芯片内部的两个阈值 V_{LOW} 和 V_{HIGH} 相比较，以确认电池的温度是否超出正常范围。在TP4056H内部， V_{LOW} 被固定在 $45\% \times V_{CC}$ ， V_{HIGH} 被固定在 $80\% \times V_{CC}$ 。如果TEMP引脚的电压 $V_{TEMP} < V_{LOW}$ 或者 $V_{TEMP} > V_{HIGH}$ ，则表示电池的温度太高或者太低，充电过程将被暂停；如果TEMP引脚的电压 V_{TEMP} 在 V_{LOW} 和 V_{HIGH} 之间，充电周期则继续。

如果将TEMP引脚接地，电池温度监测功能将被禁止。

确定R1和R2的值

R1和R2的值要根据电池的温度监测范围和热敏电阻的电阻值来确定，现举例说明如下：

假设设定的电池温度范围为 $T_L \sim T_H$ ，（其中 $T_L < T_H$ ）；电池中使用的是负温度系数的热敏电阻（NTC）， R_{TL} 为其在温度 T_L 时的阻值， R_{TH} 为其在温度 T_H 时的阻值，则 $R_{TL} > R_{TH}$ ，那么，在温度 T_L 时，第一引脚TEMP端的电压为：

$$V_{TEMP_L} = \frac{R_2 \parallel R_{TL}}{R_1 + R_2 \parallel R_{TL}} \times V_{CC}$$

在温度 T_H 时，第一引脚TEMP端的电压为：

$$V_{TEMP_H} = \frac{R_2 \parallel R_{TH}}{R_1 + R_2 \parallel R_{TH}} \times V_{CC}$$

然后，由

$$V_{TEMP_L} = V_{HIGH} = K_2 \times V_{CC} \quad (K_2 = 0.8)$$

$$V_{TEMP_H} = V_{LOW} = K_1 \times V_{CC} \quad (K_1 = 0.45)$$

则可解得：

$$R_1 = \frac{R_{TL} R_{TH} (K_2 - K_1)}{(R_{TL} - R_{TH}) K_1 K_2}$$

$$R_2 = \frac{R_{TL} R_{TH} (K_2 - K_1)}{R_{TL} (K_1 - K_1 K_2) - R_{TH} (K_2 - K_1 K_2)}$$

同理，如果电池内部是正温度系数（PTC）的热敏电阻，则 $>$ ，我们可以计算得到：

$$R_1 = \frac{R_{TL} R_{TH} (K_2 - K_1)}{(R_{TH} - R_{TL}) K_1 K_2}$$

$$R_2 = \frac{R_{TL} R_{TH} (K_2 - K_1)}{R_{TH} (K_1 - K_1 K_2) - R_{TL} (K_2 - K_1 K_2)}$$

从上面的推导中可以看出，待设定的

温度范围与电源电压 V_{CC} 是无关的，仅与 R_1 、 R_2 、 R_{TH} 、 R_{TL} 有关；其中， R_{TH} 、 R_{TL} 可通过查阅相关的电池手册或通过实验测试得到。

在实际应用中，若只关注某一端的温度特性，比如过热保护，则 R_2 可省去，仅接 R_1 即可。 R_1 的推导也变得简单，在此不再赘述。

输入过压 (OVP)

在 V_{IN} 输入电压达到 $6.3V$ 时，芯片启动OVP保护功能，此时芯片停机，停止向电池充电；当电源电压从 $6.3V$ 降低到约 $6.0V$ 时，芯片重新进入工作状态。

欠压闭锁

一个内部欠压闭锁电路对输入电压进行监控，并在 V_{CC} 升至欠压闭锁门限以上之前使充电器保持在停机模式。如果UVLO比较器发生跳变，则在 V_{CC} 升至比电池电压高 $100mV$ 之前充电器将不会退出停机模式。

手动停机

在充电循环中的任何时刻都能通过置CE端为低电位或去掉 R_{PROG} （从而使PROG引脚浮置）来把TP4056H置于停机模式。这使得电池漏电流降至 $1\mu A$ 以下，且电源电流降至 $85\mu A$ 以下。重新将CE端置为高电位或连接设定电阻器可启动一个新的充电循环。

如果TP4056H处于欠压闭锁模式，则 \overline{CHRG} 和 \overline{STDBY} 引脚呈高阻抗状态：要么 V_{CC} 高出BAT引脚电压的幅度不足 $100mV$ ，要么施加在 V_{CC} 引脚上的电压不足。

自动再启动

一旦充电循环被终止，TP4056H立即采用一个具有 $1.5ms$ 滤波时间($t_{RECHARGE}$)的比较器来对BAT引脚上的电压进行连续监控。当电池电压降至 $4.08V$ 以下时，充电循环重新开始。这确保了电池被维持在（或接近）一个满充电状态，并免除了进行周期性充电循环启动的需要。在再充

电循环过程中， \overline{CHRG} 引脚输出进入一个强下拉状态。

热考虑

由于ESOP8/DFN228封装的外形尺寸很小，因此，需要采用一个热设计精良的PCB板布局以最大程度地增加可使用的充电电流，这一点非常重要。用于耗散IC所产生的热量的散热通路从芯片至引线框架，并通过底部的散热片到达PCB板铜面。PCB板铜面为散热器。散热片相连的铜箔面积应尽可能大，并向外延伸至更大的铜箔区域，以便将热量散播到周围环境中。至内部或背部铜电路层的通孔在改善充电器的总体热性能方面也是非常有效。当进行PCB板布局设计时，电路板上与充电器无关的其它热源也必须予以考虑，因为它们将对总体温升和最大充电电流有所影响。

V_{CC} 旁路电容

输入旁路建议采用RC串联滤波，可根据实际耐压需求选择合适的耐压电容。电容品质越高可靠性越好。

充电电流软启动

TP4056H内置一个用于在充电循环开始时最大限度地减小涌入电流的软启动电路。当一个充电循环被启动时，充电电流将在 $20\mu s$ 左右的时间里从0上升至全幅值。在启动过程中，这能够起到最大限度地减小电源上的瞬变电流负载的作用。

电源自适应

当 V_{CC} 电压下降至 V_{ADPT} 时，自适应电路启动；自动降低输出电流直到 V_{CC} 不再降低，该功能使大电流充电系统可采用USB、小功率电源适配器或太阳能电池作为供电电源，而避免电源复位或重启。

电池反接保护功能

TP4056H 具备锂电池反接保护功能，当电池正负极反接至 TP4056H 的 BAT 输出引脚时，TP4056H 会停机显示故障状态，无充电电流。两个充电指示引脚亮，此时反接的电池漏电电流小于 20mA。将反接的电池正确接入，TP4056H 自动开始充电循环。

电池反接后若将电池移除，由于 TP4056H 输出端 BAT 引脚电容电位仍为

负值，则 TP4056H 指示灯不会立刻正常亮，只有正确接入电池，芯片才会自动激活充电功能。或者等待足够长的时间使 BAT 端电容的负电位电量释放完毕，BAT 端电位大于零伏，TP4056H 会显示正常的无电池指示灯状态。

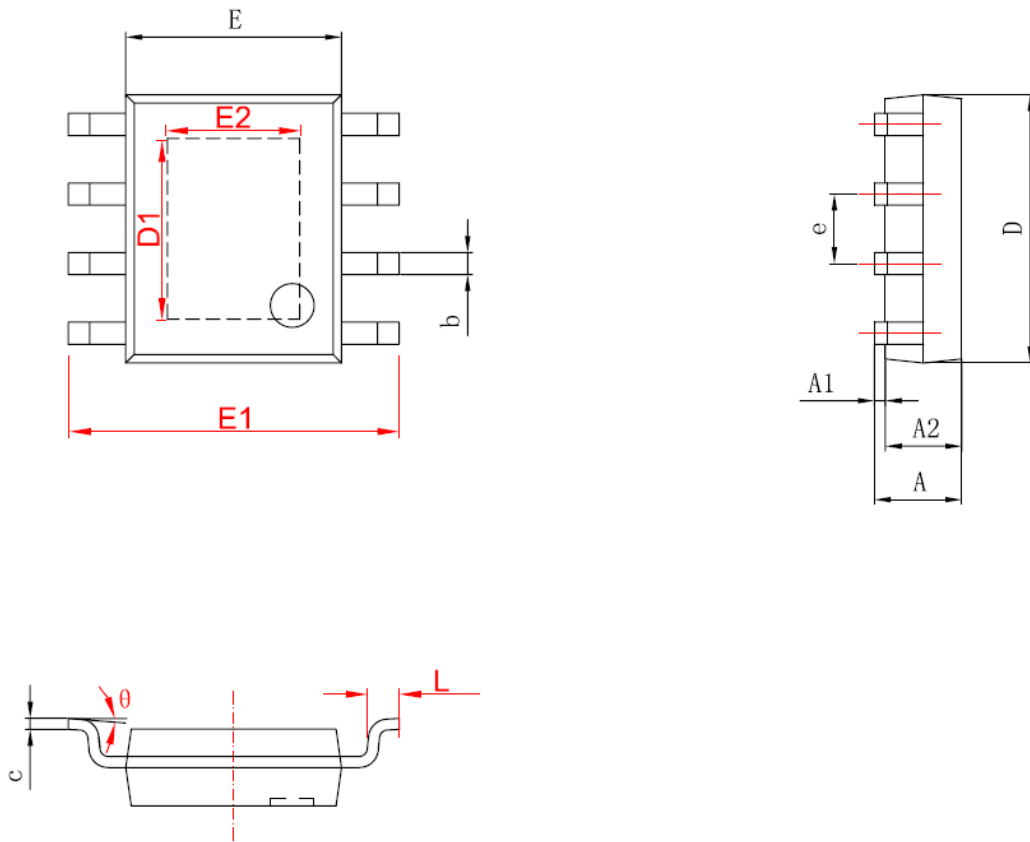
反接情况下，电源电压应在标准电压 5V 左右，不应超过 5.5V。若电池反接时输入电源电压过高，芯片的压差将超过其极限耐压值。

TP4056H 使用注意事项

- 1、TP4056H 采用 ESOP8/DFN2*2-8 封装，使用中需将底部散热片与 PCB 板焊接良好，底部散热区域需要加通孔，并采用大面积铜箔散热为佳。多层 PCB 增加足够的过孔对散热有良好的效果，散热效果不佳可能引起充电电流受温度保护而减小。在 ESOP8/DFN2*2-8 背面散热部分加适当的过孔，也方便了手工焊接，(可以从背面过孔处灌焊锡，将散热面可靠焊接)。
- 2、TP4056H 应用时，BAT 端的 $1\mu\text{F}\sim 10\mu\text{F}$ 电容和 VCC 端的 RC 滤波电容，位置须靠近芯片引脚放置，不宜过远。电容可选用常规的 0603 或 0805 或 1206 封装的高品质瓷片电容（若采用劣质电容，芯片易被损坏），电容地和 TP4056H 地单点集中连接。
- 3、测试 TP4056H 时，BAT 端应直接接电池，不可串联电流表，电流表可接在 VCC 端。

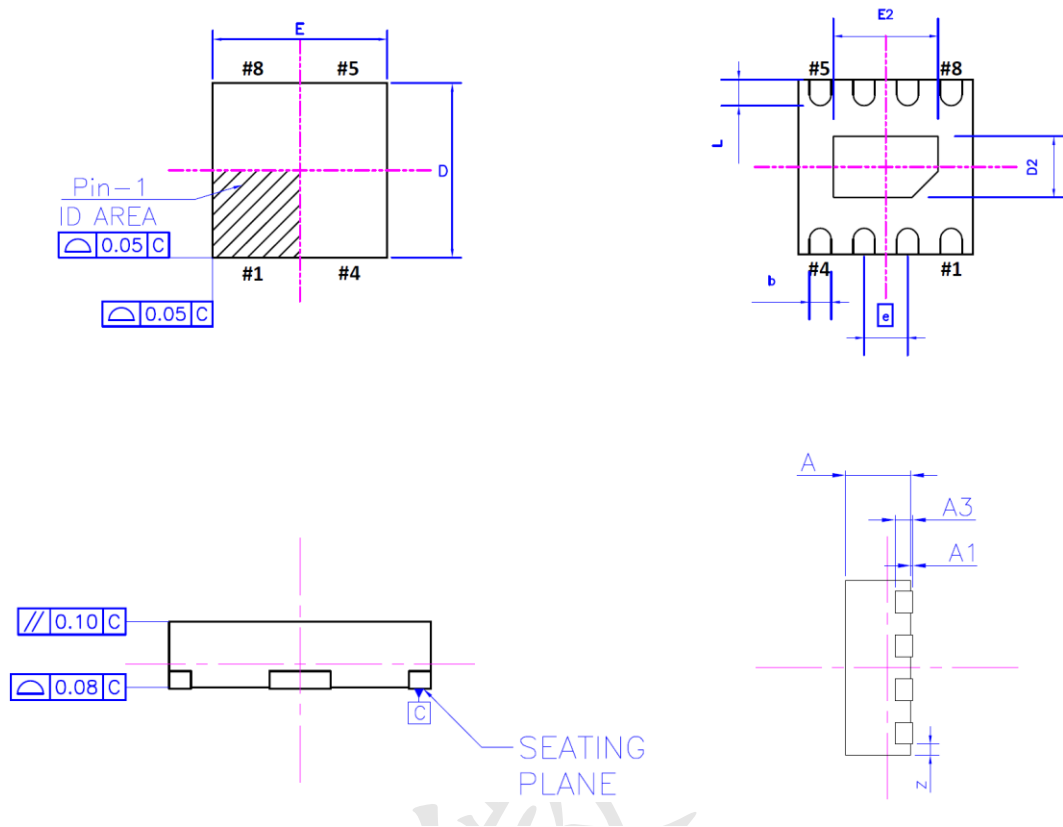
封装描述

8 引脚 ESOP8 封装 (单位 mm)



字符	Dimensions In Millimeters		Dimensions In Inches	
	Min	Max	Min	Max
A	1.350	1.750	0.053	0.069
A1	0.050	0.150	0.004	0.010
A2	1.350	1.550	0.053	0.061
b	0.330	0.510	0.013	0.020
c	0.170	0.250	0.006	0.010
D	4.700	5.100	0.185	0.200
D1	3.202	3.402	0.126	0.134
E	3.800	4.000	0.150	0.157
E1	5.800	6.200	0.228	0.244
E2	2.313	2.513	0.091	0.099
e	1.270 (BSC)		0.050 (BSC)	
L	0.400	1.270	0.016	0.050
θ	0°	8°	0°	8°

薄型 8 引脚带散热片塑料 DFN2*2 封装



Dimensions

Unit	D	E	D2	E2	A	A1	A3	b	e	h	L	y	z
mm	2.10 (2.00) 1.90	2.10 (2.00) 1.90	0.80 (0.70) 0.60	1.30 (1.20) 1.10	0.80 (0.75) 0.70	0.05 (0.02) 0.00	0.203 REF	0.30 (0.25) 0.20	0.50 BSC	-	0.400 (0.300) 0.200	-	0.125 REF

版本历史

日期	版本说明	版本
2026.03.1	第一版	Rev1.0
2026.06.10	极限参数微调, 封装形式修改	Rev1.1