

数据手册的奥妙—绝对最大额定值和热阻

作者：Vicky Wong，ADI公司应用工程师

内容提要

本文旨在回答有关绝对最大额定值和热阻的常见问题。

如果运算放大器工作不正常，对用户来说，这是一件非常令人沮丧的事。构建成功电路的方法有许多，但毁掉电路的方法甚至更多。不幸的是，用户面临的问题/故障有90%都与阅读数据手册时的粗心或误读有关。以下是有关绝对最大额定值和热阻的一些常见问题，虽然这些问题的答案看似很明显，但经常被普通读者误解。

放大器的工作参数可以略微高于绝对最大额定值吗？

绝对不可以。必须遵循数据手册中规定的绝对最大额定值，以防对器件造成永久性的损坏。绝对最大额定值表示器件可以承受的限值，而不是器件可以正常工作的限值。例如，当输入电压大于绝对最大额定值时，结果会导致运算放大器的输入差分对击穿，从而造成过大的故障电流。这不但会导致参数性能变化，还会造成金属迁移，随着时间的流逝，结果会对器件造成永久性损坏。简言之，务必与最大额定值保持距离，否则，器件很可能遭到破坏！

请更详细地说明绝对最大额定值。

绝对最大额定值表列出了电压、温度和允许电流的最大限值。

绝对最大额定值

参数	额定值
电源电压	6 V
输入电压	$\pm V_{SY} \pm 0.3V$
输入电流	$\pm 10\text{ mA}$
差分输入电压	$\pm V_{SY}$
对地输出短路持续时间	未定
存储温度范围	-65°C至+150°C
工作温度范围	-40°C至+125°C
结温范围	-65°C至+150°C
引脚温度(焊接，60秒)	300°C

注意，超出上述绝对最大额定值可能会导致器件永久性损坏。这只是额定最值，并不能以这些条件或者在任何其他超出本技术规范操作章节中所示规格的条件下，推断器件能否正常工作。长期在绝对最大额定值条件下工作会影响器件的可靠性。

图1. 绝对最大额定值示例表

可以对运算放大器施加的最大电源电压取决于制造工艺。这里指的是瞬时值，而非均值或最终值。ADI公司的低电压CMOS运算放大器一般限为6 V，高电压双极性器件则限为36 V。

最大输入电压取决于运算放大器的输入级架构和电源电压。几乎所有运算放大器均由ESD二极管提供保护。输入ESD二极管决定着输入电压可以超过电源电压的程度。一般地，输入电压不得超过供电轨的一个二极管压降(约为300 mV至700 mV，视温度而定)。当运算放大器的工作电压超过输入电压范围但处于绝对最大值以内时，其参数性能会发生变化。运算放大器不会受损，但可能无法正常工作，例如，它可能反相，输入偏置电流或输入失调电压可能大幅增加。一旦输入电压超过绝对最大值，运算放大器就可能遭受永久性损坏。用户经常会面临以下问题，未供

电运算放大器输入端存在电压(电源时序所致)。这会违反绝对最大额定值限制, 导致输入过压, 并且可能损毁器件。解决此问题的一个简便办法是使用集成输入过压保护的放大器。供应商集成了片内输入过压保护电路, 以此作为分立式模拟解决方案的便捷替代方案。一个例子是ADI公司的过压保护(OVP)精密放大器ADA4091-2。该放大器允许输入电压最多比电源电压高或低25 V, 而不会对器件造成损坏。

最大差分输入电压指可以在输入端之间施加但不会诱发过大电流的最大差分电压。有些运算放大器(见图2)利用内置背靠背二极管来保护输入级, 防止基极-发射极击穿。通过输入端之间的箝位二极管数量, 可以大致推知最大输入差分电压。

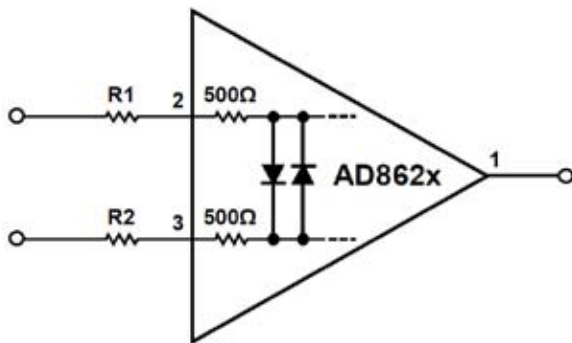


图2. 输入差分电压保护

绝对最大额定值表还包括输入端允许的最大输入电流。如果数据手册中未提供关于最大输入电流的信息, 一条不错的经验法则是, 始终把输入电流限制在5 mA以下。如果预计输入电流大于绝对最大值, 则在输入端插入串联电阻(见图2), 对流入器件的电流进行限制。但这样做会带来噪声并增加输入端折合失调电压。

当我超过绝对最大额定值时, 器件会立即发生故障吗?

当超过绝对最大额定值时, 有几种故障模式。

首先, 当超过最大额定值时, 器件会立即发生故障。当对放大器施加超大电压时, 比如, 对6 V CMOS放大器施加

30 V电源电压, 内置晶体管或结点几乎会立即发生故障。然后, 器件会遭到永久性损坏。

其次, 如果超过绝对最大额定值持续一段时间, 结果可能导致器件故障。有时候, 在承受过大电压或电流时, 器件不会立即发生故障, 但长期如此则会最终遭受损坏。例如, 在短时间内, 对6 V放大器施加7 V的电压可能是可以接受的。然而, 当器件持续遭受过压时, 结点会变弱。最后, 器件会发生故障。这种情况下, 器件的长期可靠性会遭到极大破坏。

第三, 超过绝对最大额定值会导致性能下降和结点过热, 最终会导致器件故障。过大的输入电流可能导致参数性能变化和金属迁移。随着热量越聚越多, 结点热限值也可能被超过。即使不超过结点热限值, 较高的结点工作温度也可能导致器件寿命大幅缩短。

因此, 为了避免对放大器造成任何损坏, 有必要防止超过绝对最大额定值。另外, 为了延长器件寿命, 也有必要在绝对最大额定值的基础上拥有充足的安全裕量。

存储、工作、结点和引脚焊接温度范围之间有何区别?

存储温度指器件在无电状态下的安全存放温度。这表示器件可以保存在仓库中, 温度范围为-65°C至+150°C(见图1), 并且用在电路中时仍然可以发挥应有的功能。

工作温度指器件在加电状态下周围环境或系统的温度。放大器通常会进行测试, 并规定能在电气规格表指定的工作温度范围内正常工作。部分标准工作温度范围为:

商用范围: 0°C至70°C

工业范围: -40°C至+85°C

扩展工业范围: -40°C至+125°C

军用范围: -55°C至+125°C

结点温度指在器件加电条件下, 封装中硅片的温度。用户往往会监控工作温度, 确保其不超过最大额定值, 却忽略了会随功耗增加的内部结点温度。本文后面部分将讨论结点温度的计算方法。

了会随功耗增加的内部结点温度。本文后面部分将讨论结点温度的计算方法。

引脚焊接温度指封装引脚在手工焊接过程中可以承受的温度。在图1中，在器件可能受到损坏之前，绝对最大引脚焊接温度为300°C，持续时间为60秒。但请注意，因可靠性问题，我们不建议采用手工焊接方法。

ADI公司采用两种封装引脚，含铅的锡铅引脚和无铅引脚（目前ADI正在转型，以逐步达到RoHS的要求，发布的所有新器件只包含无铅材料）。两种封装引脚在回流过程中的峰值焊接温度都不相同，含铅锡铅引脚为220°C，无铅引脚为260°C。更多信息详见IPC/JEDEC标准IPC/JEDEC J-STD-020。

再次强调，务必始终使器件保持在其正常工作和最大设计温度限值以内。

热阻是什么？

热阻指在热流从一个结构（如：IC结点）转移到另一个结构（如：周围空气）时遇到的阻力。热阻表示为每个单位热流的温差（单位：°C/W）。一般用符号 θ 来表示热阻。数据手册中的热阻额定值充当对不同封装器件进行热性能比较的一项指标。在ADI公司，热阻额定值均以JEDEC工业测试标准为依据，测试条件见数据手册。（JEDEC标准可以从JEDEC网站免费下载）。对于一个运算放大器，如果结点到空气的热阻为120°C/W，则在功耗为1 W时，IC结点与周围空气之间的测得温差为120°C。

我为什么要重视 θ_{JA} 和 θ_{JC} ？

图3所示为热阻表中的一个例子，其中列出了有关 θ_{JA} 和 θ_{JC} 的信息。

热阻

θ_{JA} 针对焊接在零气流4层JEDEC标准板上的器件而规定。对于LFCSP封装，裸露焊盘焊接到电路板。

封装类型	θ_{JA}	θ_{JC}	单位
8引脚 SOIC_N (R-8)	120	45	°C/W
8引脚 MSOP (RM-8)	142	45	°C/W
14引脚 TSSOP (RU-14)	112	35	°C/W
16引脚 LFCSP (CP-16-17)	55	14	°C/W

图3. 热阻表示例

θ_{JC} （结点到外壳热阻）表示在热流从硅片结点转移到外壳（封装顶部或底部）时遇到的阻力。 θ_{JC} 取决于芯片厚度、表面积和热流路径中器件材料的热导率。在JEDEC测试标准中，根据 θ_{JC} 定义，假定所有热量均流过封装顶部，流到散热器。依据该定义，无热量会流过封装侧面或底部。因此， θ_{JC} 仅在封装直接装在散热器上时有用。 θ_{JC} 越低，热量越容易注入散热器。

$$\theta_{JC} = \frac{T_J - T_C}{P_D}$$

其中：

T_J = 结温。

T_C = 外壳（封装表面）温度。

P_D = 封装功耗。

θ_{JA} （结点到空气热阻）表示在热流从硅片转移到周围（静止）空气时遇到的阻力。它也反映了热量通过各种路径在结点至周围空气之间流动的效率。在多数情况下，主要热流路径为从引脚到电路板。 θ_{JA} 因而可用于无外部散热器的封装。实践中， θ_{JA} 会受到周围环境和安装技术的影响。通风不良和插槽的使用可能显著增加热阻。用风扇形成气流，以较宽的走线把器件焊接到电路板上，可以增进散热效果。这种方法有助于降低结点到周围空气的热阻，因而可以降低结点温度。

$$\theta_{JA} = \frac{T_J - T_A}{P_D}$$

其中 T_A = 环境温度。

注意， θ_{JA} 多用于确定封装的额定值，不得用于预测系统的热性能。此项指标于比较在相同环境中测试的不同封装的热性能。较低的 θ_{JA} 数值表示，器件拥有较好的热性能，过热可能性较小。较大的封装(表面积较大)可以更加有效地散热，因此，其热阻通常较低。

已知环境温度和功耗时， θ_{JA} 也经常用来计算芯片结点温度。但请注意， θ_{JA} 只有在系统环境与JEDEC定义的测试环境几乎相同时才有用。 θ_{JA} 在很大程度上取决于电路板设计(比如，埋入层的数量、其他现有发热元件、铜直线量)和测试环境条件。

提醒一句：在计算温度时应慎重使用 θ_{JA} 。受实际环境和测试环境差异的影响，该指标通常会给出不准确的热计算结果。

如何计算结点温度的近似值，确保不超过绝对最大值？

假设测试条件与热测试标准的规定相同，芯片结点温度可通过下式计算得到：

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

T_A 为已知值， θ_{JA} 为给定值。封装的功耗可通过下式确定：

$$P_D = (I_{SY} \times V_{SY}) + I_{LOAD} \times (V_{SY} - V_{OUT})$$

其中：

$I_{SY} \times V_{SY}$ 指静态功耗。

$I_{LOAD} \times (V_{SY} - V_{OUT})$ 为输出级晶体管的功耗。

举例来说，图4中采用SOIC封装的双通道AD8622，其两个通道的总功耗为66 mW。

$$P_D = 2 \times \left((350 \mu A \times 30 V) + \frac{15 V^2}{10 K\Omega} \right)$$

$$P_D = 66 \text{ mW}$$

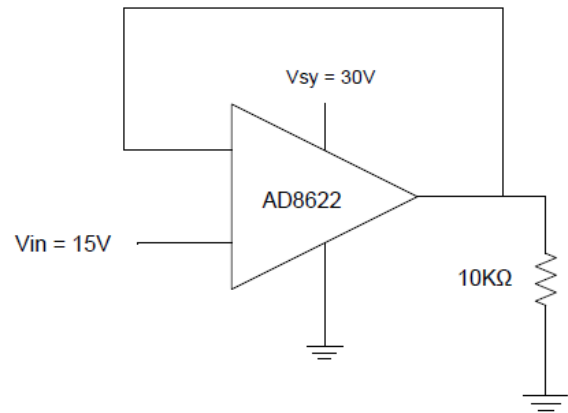


图4. 单位增益电压跟随器

若环境温度为25°C， T_J 可通过下式计算。(热阻值参见图3。)

$$T_J = 25 + \left(\frac{120^\circ \text{C}}{W} \times 66 \text{ mW} \right)$$

$$= 32.92^\circ \text{C}$$

如果使用的是四通道AD8624 (TSSOP)，则功耗会增加一倍，至132 mW，结点温度会增至39.78°C。

$$P_D = 4 \times \left((350 \mu A \times 30 V) + \frac{15 V^2}{10 K\Omega} \right)$$

$$= 132 \text{ mW}$$

$$T_J = 25 + \left(\frac{112^\circ \text{C}}{W} \times 132 \text{ mW} \right)$$

$$= 39.78^\circ \text{C}$$

要提高设计的可靠性，可以开发拥有较大低热阻铜走线面积的高能效电路板，并使用拥有多个开孔的多层PCB板，以帮助排出封装中的热量。另外，可以选择低热阻封装，或者以较轻的负载或较低的电源电压降低功耗。为了减少PCB板上的局部功耗，单通道比双通道好，双通道比四通道好。

最后，我的封装有一个裸露焊盘。我应该怎么办？

LFCSP封装(见图5)较小，通常有一个裸露焊盘(位于底部)用于散热。裸露焊盘充当散热器，需要焊接至印刷电路板

上的金属区域，以便把热量高效地传导至环境中。数据手册会规定焊盘的焊接位置，要么焊接至地，要么焊接至负或正电源引脚。在许多情况下， θ_{JA} 是在假定存在该连接的条件下进行测试的，如果未连接，热阻会高于额定值。

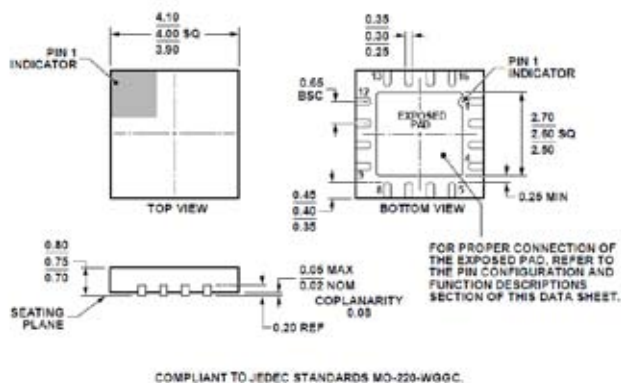


图5. 带裸露焊盘的LFCSP封装

MS-2251

参考文献

[ADA4091-2/ADA4091-4](#)，精密低功耗OVP、RRIO运算放大器，ADI公司。

[AD8665](#)，16 V、4 MHz轨到轨输出放大器，ADI公司。

[AN-892](#)应用笔记，温度测量原理及实用技术，ADI公司。

指南MT-036：运算放大器输出相位反转和输入过压保护，ADI公司。

指南MT-093，散热设计基础，ADI公司。

非常见问题解答，绝对最大额定值有什么了不起？ADI公司。

Hank Zumbahlen，基本线性设计，ADI公司，第1章，2007年。另见线性电路设计手册，Elsevier。

资源

本文提到的产品

产品	描述
ADA4091-2	双通道、精密、低功耗、OVP、轨到轨输入/输出运算放大器
AD8622	双通道、低功耗、低噪声、低偏置电流、精密轨到轨输出运算放大器
AD8624	四通道、低功耗、精密轨到轨输出四通道运算放大器
AD8665	16 V、4 MHz轨到轨输出放大器

