

回流焊 PCB 溫度曲線講解



佛山市顺德区昊瑞电子科技有限公司

FOSHAN CITY SHUNDE HAORUI ELECTRON SCIENCE AND
TECHNOLOGY CO,LTD

www.gdrohs.cn

目 錄

- 理解锡膏的回流过程
- 怎样设定锡膏回流温度曲线
- 得益于升温-到-回流的回流温度曲线
- 群焊的温度曲线
- 回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

理解锡膏的回流过程

当锡膏至于一个加热的环境中，锡膏回流分为五个阶段

1. 首先，用于达到所需粘度和丝印性能的溶剂开始蒸发，温度上升必需慢(大约每秒 3°C)，以限制沸腾和飞溅，防止形成小锡珠，还有，一些元件对内部应力比较敏感，如果元件外部温度上升太快，会造成断裂。

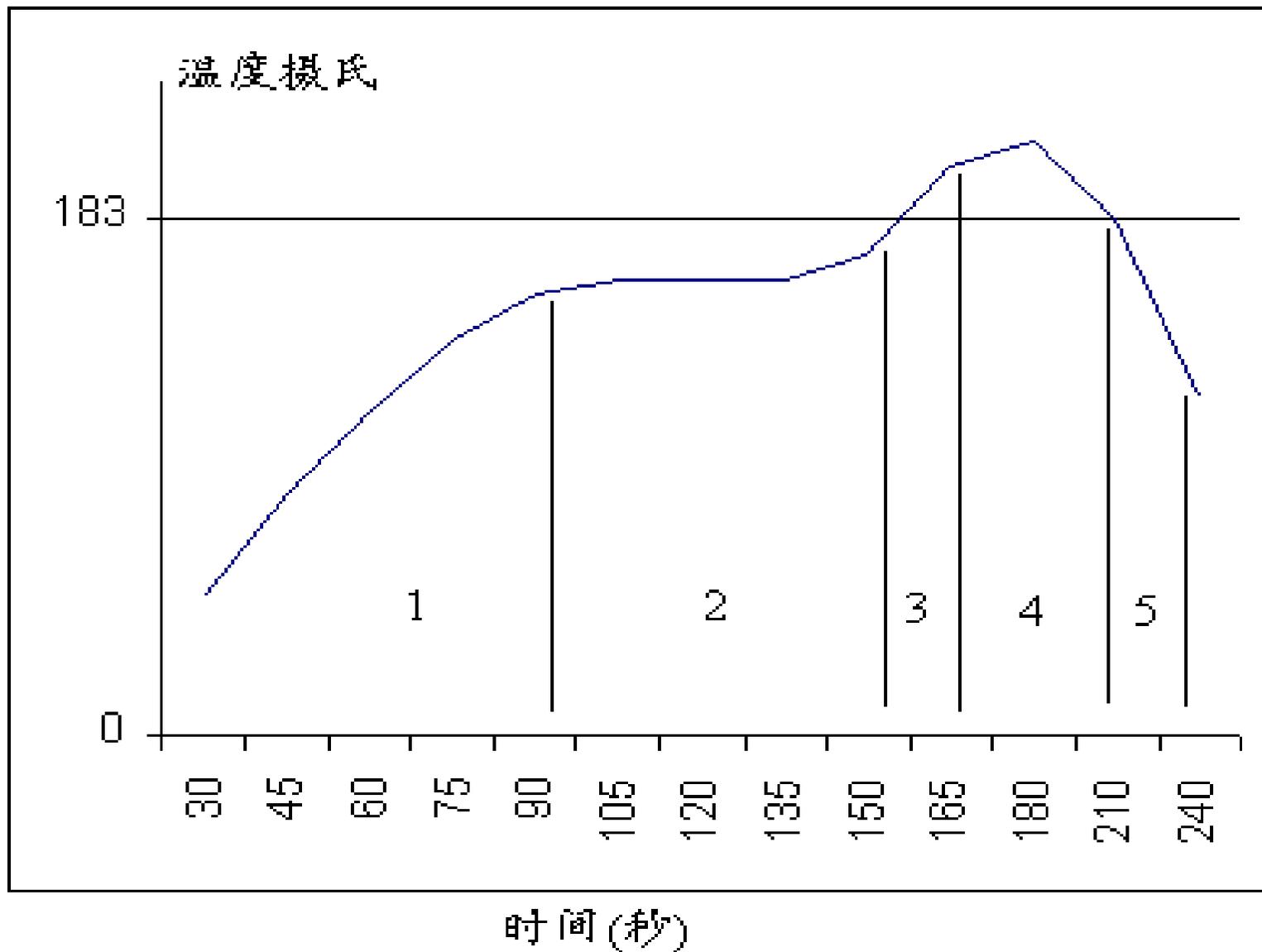
理解锡膏的回流过程

2. 助焊剂活跃，化学清洗行动开始，水溶性助焊剂和免洗型助焊剂都会发生同样的清洗行动，只不过温度稍微不同。将金属氧化物和某些污染从即将结合的金属和焊锡颗粒上清除。好的冶金学上的锡焊点要求“清洁”的表面。
3. 当温度继续上升，焊锡颗粒首先单独熔化，并开始液化和表面吸锡的“灯草”过程。这样在所有可能的表面上覆盖，并开始形成锡焊点。

理解锡膏的回流过程

4. 这个阶段最为重要，当单个的焊锡颗粒全部熔化后，结合在一起形成液态锡，这时表面张力作用开始形成焊脚表面，如果元件引脚与PCB焊盘的间隙超过4mil，则极可能由于表面张力使引脚和焊盘分开，即造成锡点开路。
5. 冷却阶段，如果冷却快，锡点强度会稍微大一点，但不可以太快而引起元件内部的温度应力。

理解锡膏的回流过程



理解锡膏的回流过程

回流焊接要求总结:

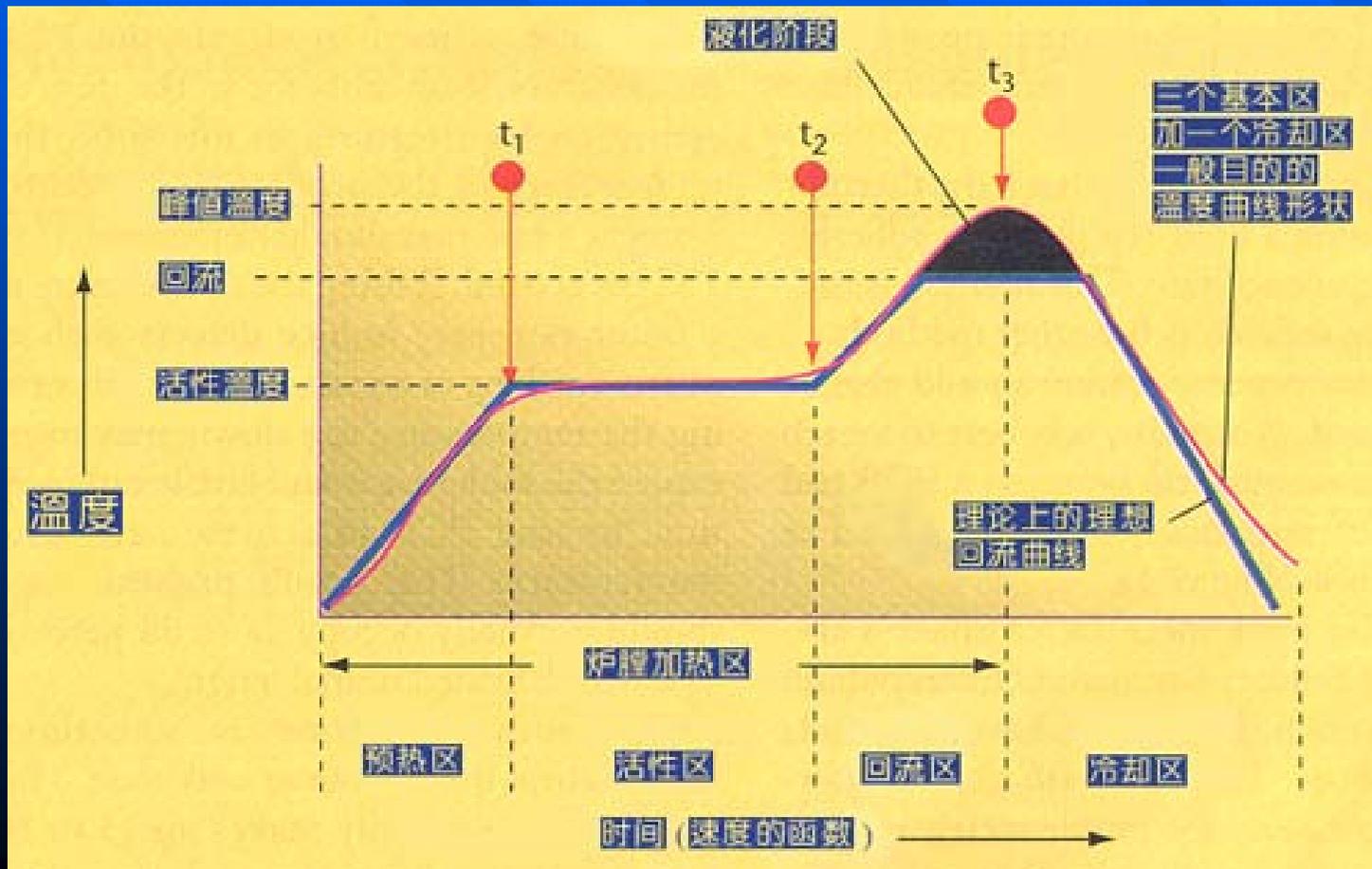
重要的是有充分的缓慢加热来安全地蒸发溶剂，防止锡珠形成和限制由于温度膨胀引起的元件内部应力，造成断裂痕可靠性问题。其次，助焊剂活跃阶段必须有适当的时间和温度，允许清洁阶段在焊锡颗粒刚刚开始熔化时完成。

理解锡膏的回流过程

时间温度曲线中焊锡熔化的阶段是最重要的，必须充分地让焊锡颗粒完全熔化，液化形成冶金焊接，剩余溶剂和助焊剂残余的蒸发，形成焊脚表面。此阶段如果太热或太长，可能对元件和PCB造成伤害。锡膏回流温度曲线的设定，最好是根据锡膏供应商提供的数据进行，同时把握元件内部温度应力变化原则，即加热温升速度小于每秒 3°C ，和冷却温降速度小于 5°C 。

怎样设定锡膏回流温度曲线

理想的曲线由四个部分或区间组成，前面三个区加热、最后一个区冷却。炉的温区越多，越能使温度曲线的轮廓达到更准确和接近设定。大多数锡膏都能用四个基本温区成功回流。



怎样设定锡膏回流温度曲线

预热区，也叫斜坡区，用来将PCB的温度从周围环境温度提升到所须的活性温度。在这个区，产品的温度以不超过每秒 $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ 速度连续上升，温度升得太快会引起某些缺陷，如陶瓷电容的细微裂纹，而温度上升太慢，锡膏会感温过度，没有足够的时间使PCB达到活性温度。炉的预热区一般占整个加热通道长度的 $25\sim 33\%$ 。

怎样设定锡膏回流温度曲线

活性区，有时叫做干燥或浸湿区，这个区一般占加热通道的33~50%，有两个功用，第一是，将PCB在相当稳定的温度下感温，允许不同质量的元件在温度上同质，减少它们的相当温差。第二个功能，是允许助焊剂活性化，挥发性的物质从锡膏中挥发。一般普遍的活性温度范围是120~150° C。

怎样设定锡膏回流温度曲线

回流区，有时叫做峰值区或最后升温区。这个区的作用是将PCB装配的温度从活性温度提高到所推荐的峰值温度。活性温度总是比合金的熔点温度低一点，而峰值温度总是在熔点上。典型的峰值温度范围是 $205\sim 230^{\circ}\text{C}$ ，这个区的温度设定太高会使其温升斜率超过每秒 $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ ，或达到回流峰值温度比推荐的高。这种情况可能引起PCB的过分卷曲、脱层或烧损，并损害元件的完整性。

怎样设定锡膏回流温度曲线

理想的冷却区曲线应该是和回流区曲线成镜像关系。越是靠近这种镜像关系，焊点达到固态的结构越紧密，得到焊接点的质量越高，结合完整性越好。



怎样设定锡膏回流温度曲线

作温度曲线的第一个考虑参数是传输带的速度设定，该设定将决定PCB在加热通道所花的时间。典型的锡膏制造厂参数要求3~4分钟的加热曲线，用总的加热通道长度除以总的加热感温时间，即为准确的传输带速度，例如，当锡膏要求四分钟的加热时间，使用六英尺加热通道长度，计算为： $6 \text{ 英尺} \div 4 \text{ 分钟} = \text{每分钟 } 1.5 \text{ 英尺} = \text{每分钟 } 18 \text{ 英寸}$ 。

怎样设定锡膏回流温度曲线

接下来必须决定各个区的温度设定，重要的是要了解实际的区间温度不一定是该区的显示温度。显示温度只是代表区内热敏电偶的温度，如果热电偶越靠近加热源，显示的温度将相对比区间温度较高，热电偶越靠近PCB的直接通道，显示的温度将越能反应区间温度。

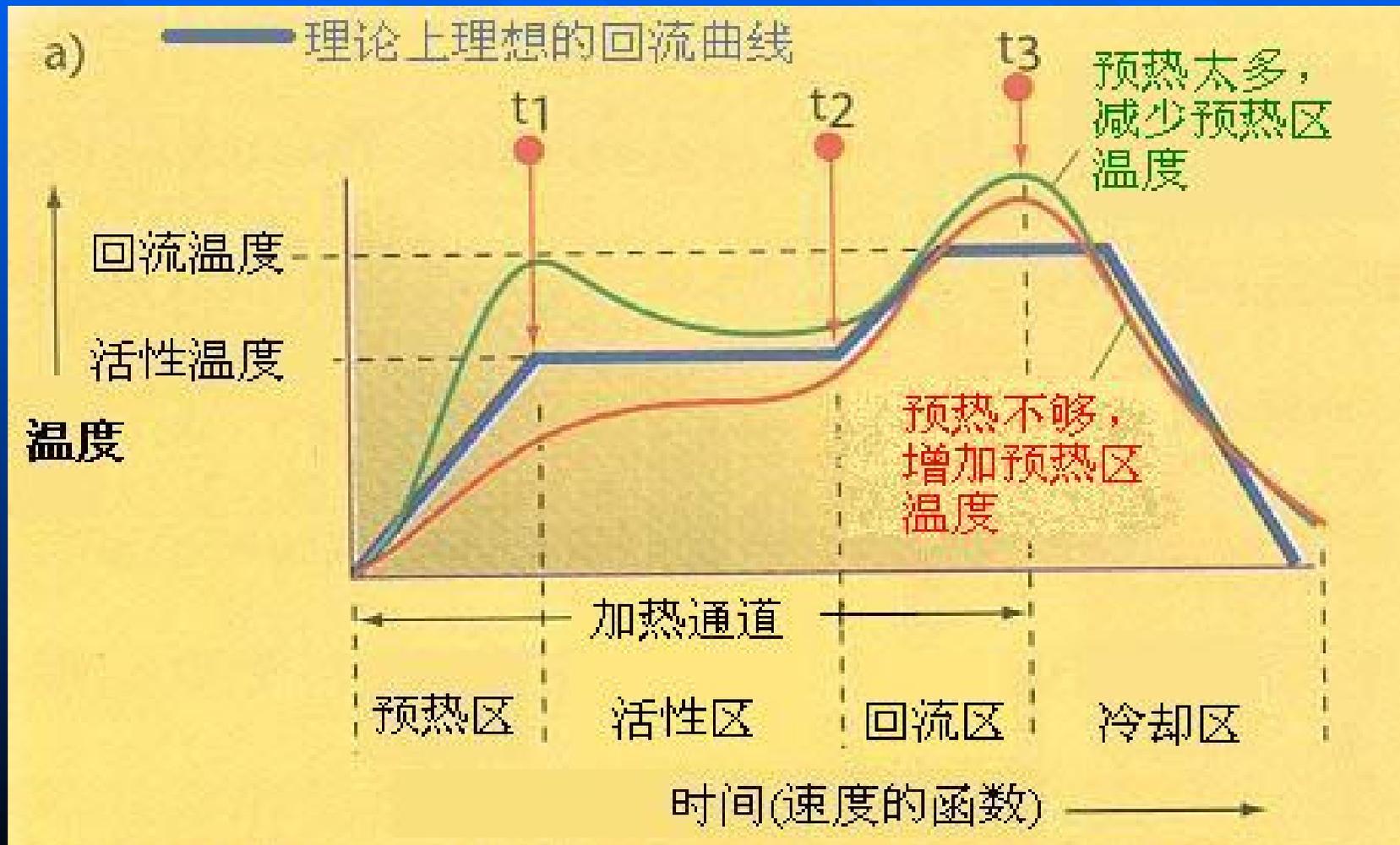
怎样设定锡膏回流温度线

典型PCB回流区间温度设定

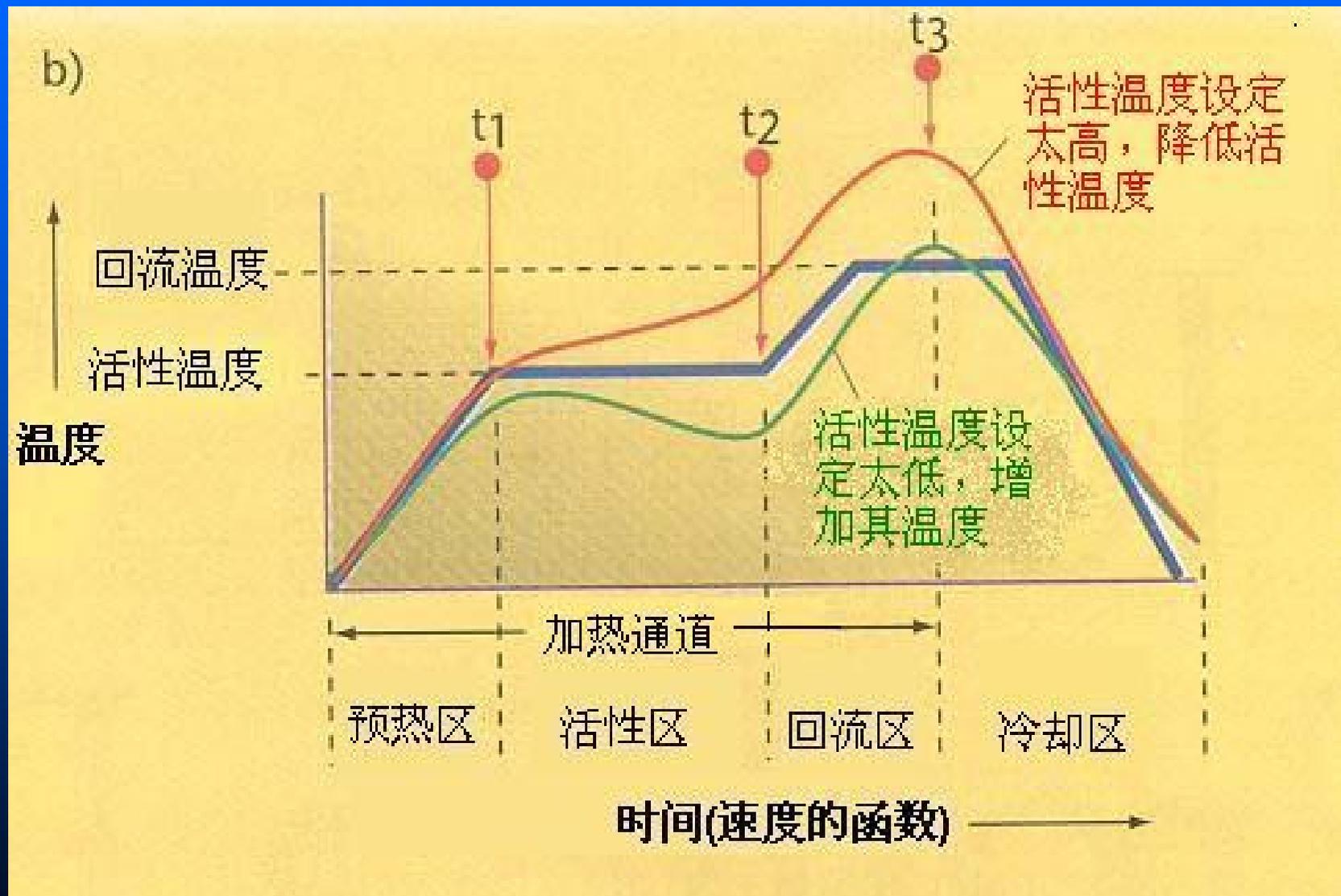
区间	区间温度设定	区间末实际板温
预热	210°C(410°F)	140°C(284°F)
活性	177°C(350°F)	150°C(302°F)
回流	250°C(482°F)	210°C(402°F)

怎样设定锡膏回流温度曲线

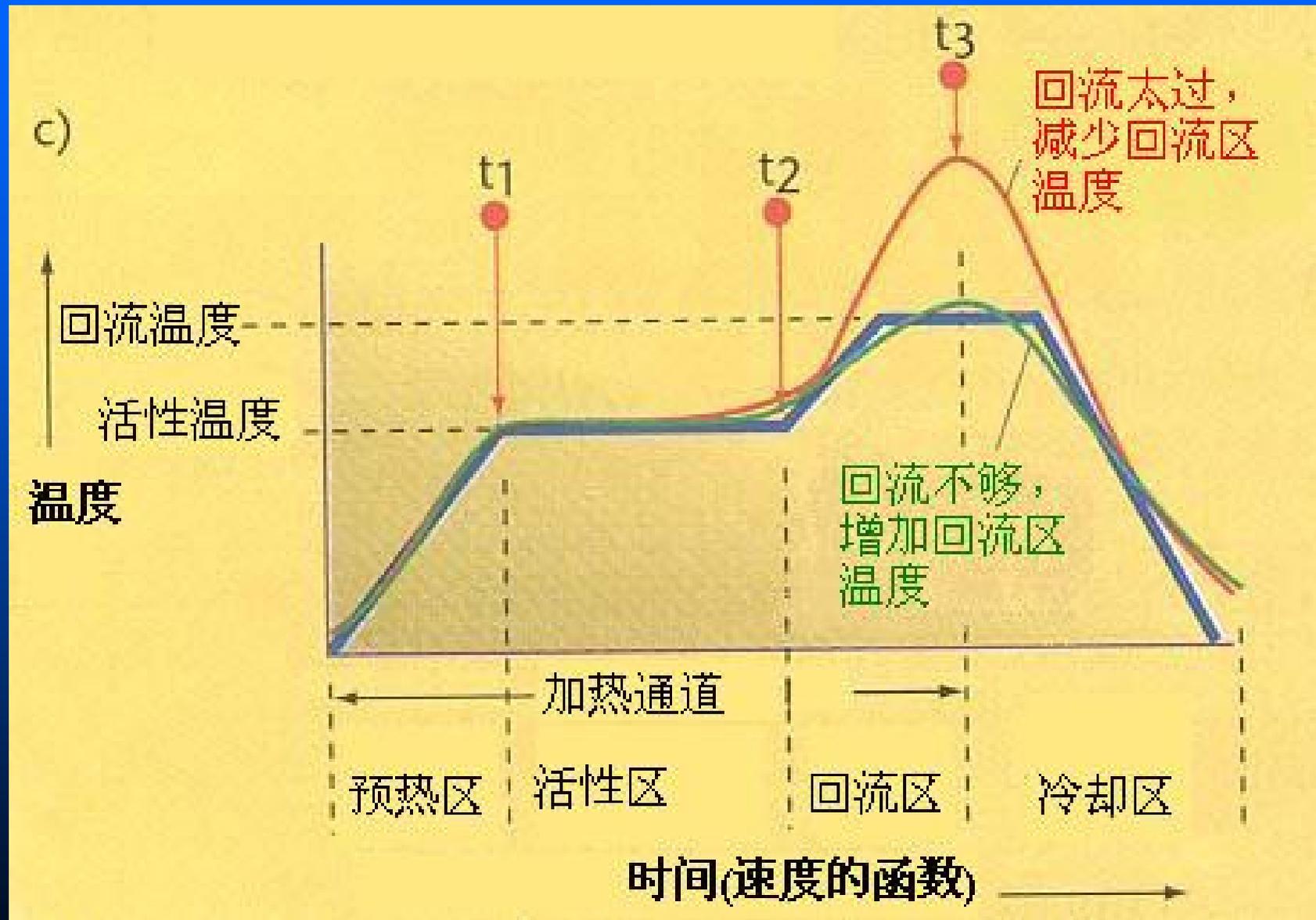
图形曲线的形状必须和所希望的相比较，如果形状不协调，则同下面的图形进行比较。选择与实际图形形状最相协调的曲线。



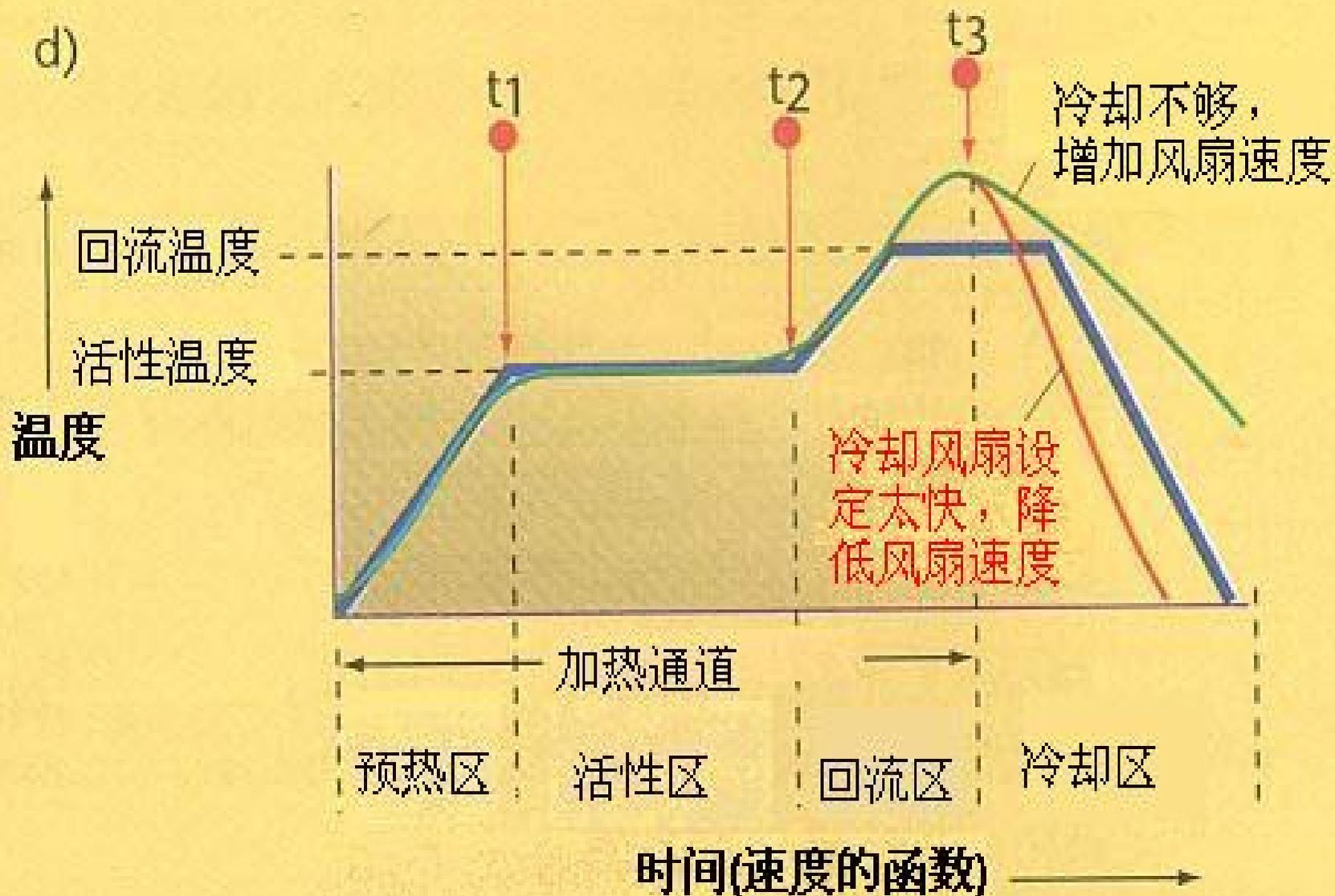
怎样设定锡膏回流温度曲线



怎样设定锡膏回流温度曲线



怎样设定锡膏回流温度曲线



得益于升温-到-回流的回流温度曲线

许多旧式的炉倾向于以不同速率来加热一个装配上的不同零件，取决于回流焊接的零件和线路板层的颜色和质地。一个装配上的某些区域可以达到比其它区域高得多的温度，这个温度变化叫做装配的D T。如果D T大，装配的有些区域可能吸收过多热量，而另一些区域则热量不够。这可能引起许多焊接缺陷，包括焊锡球、不熔湿、损坏元件、空洞和烧焦的残留物。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

为什么和什么时候保温

保温区的唯一目的是减少或消除大的 ΔT 。保温应该在装配达到焊锡回流温度之前，把装配上所有零件的温度达到均衡，使得所有的零件同时回流。由于保温区是没有必要的，因此温度曲线可以改成线性的升温-到-回流(RTS)的回流温度曲线。

为什么和什么时候保温

应该注意到，保温区一般是不需要用来活化锡膏中的助焊剂化学成分。这是工业中的一个普遍的错误概念，应予纠正。当使用线性的RTS温度曲线时，大多数锡膏的化学成分都显示充分的湿润活性。事实上，使用 RTS 温度曲线一般都会改善湿润。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

升温-保温-回流

升温-保温-回流 (RSS) 温度曲线可用于 RMA 或免洗化学成分，但一般不推荐用于水溶化学成分，因为 RSS 保温区可能过早地破坏锡膏活性剂，造成不充分的湿润。使用 RSS 温度曲线的唯一目的是消除或减少 D T。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

升温-保温-回流

RSS温度曲线开始以一个陡坡温升，在90秒的目标时间内大约 150°C ，最大速率可达 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 。随后，在 $150\sim 170^{\circ}\text{C}$ 之间，将装配板保温90秒钟；装配板在保温区结束时应该达到温度均衡。保温区之后，装配板进入回流区，在 183°C 以上回流时间为 $60(\pm 15)$ 秒钟。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

整个温度曲线应该从 45°C 到峰值温度 $215(\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 持续 $3.5\sim 4$ 分钟。冷却速率应控制在每秒 4°C 。一般，较快的冷却速率可得到较细的颗粒结构和较高强度与较亮的焊接点。可是，超过每秒 4°C 会造成温度冲击。



得益于升温-到-回流的回流温度曲线

升温-到-回流

RTS温度曲线可用于任何化学成分或合金，为水溶锡膏和难于焊接的合金与零件所首选。RTS温度曲线比RSS有几个优点。RTS一般得到更光亮的焊点，可焊性问题很少，因为在RTS温度曲线下回流的锡膏在预热阶段保持住其助焊剂载体。这也将更好地提高湿润性，因此，RTS应该用于难于湿润的合金和零件。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

升温-到-回流

因为RTS曲线的升温速率是如此受控的，所以很少机会造成焊接缺陷或温度冲击。另外，RTS曲线更经济，因为减少了炉前半部分的加热能量。此外，排除RTS的故障相对比较简单，有排除RSS曲线故障经验的操作员应该没有困难来调节RTS曲线，以达到优化的温度曲线效果。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

设定RTS温度曲线

RTS曲线简单地就说就是一条从室温到回流峰值温度的温度渐升曲线，RTS曲线温升区其作用是装配的预热区，这里助焊剂被激化，挥发物被挥发，装配准备回流，并防止温度冲击。RTS曲线典型的升温速率为每秒 $0.6 \sim 1.8^{\circ} \text{C}$ 。升温的最初90秒钟应该尽可能保持线性。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

设定RTS温度曲线



RTS曲线的升温基本原则是，曲线的三分之二在 150°C 以下。在这个温度后，大多数锡膏内的活性系统开始很快失效。因此，保持曲线的前段冷一些将活性剂保持时间长一些，其结果是良好的湿润和光亮的焊接点。

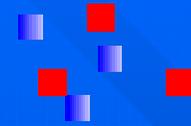
得益于升温-到-回流的回流温度曲线

设定RTS温度曲线

RTS曲线回流区是装配达到焊锡回流温度的阶段。在达到 150°C 之后，峰值温度应尽快地达到，峰值温度应控制在 $215(\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，液化居留时间为 $60(\pm 15)$ 秒钟。液化之上的这个时间将减少助焊剂受夹和空洞，增加拉伸强度。和RSS一样，RTS曲线长度也应该是从室温到峰值温度最大 $3.5\sim 4$ 分钟，冷却速率控制在每秒 4°C 。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

排除RTS曲线的故障



排除RSS和RTS曲线的故障，原则是相同的：按需要，调节温度和曲线温度的时间，以达到优化的结果。时常，这要求试验和出错，略增加或减少温度，观察结果。以下是使用RTS曲线遇见的普遍回流问题，以及解决办法。

。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

焊锡球

许多细小的焊锡球镶陷在回流后助焊剂残留的周边上。在RTS曲线上，这个通常是升温速率太慢的结果，由于助焊剂载体在回流之前烧完，发生金属氧化。这个问题一般可通过曲线温升速率略微提高达到解决。焊锡球也可能是温升速率太快的结果，但是，这对RTS曲线不大可能，因为其相对较慢、较平稳的温升。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

焊锡珠

经常与焊锡球混淆，焊锡珠是一颗或一些大的焊锡球，通常落在片状电容和电阻周围。虽然这常常是丝印时锡膏过量堆积的结果，但有时可以调节温度曲线解决。和焊锡球一样，在RTS曲线上产生的焊锡珠通常是升温速率太慢的结果。这种情况下，慢的升温速率引起毛细管作用，将未回流的锡膏从焊锡堆积处吸到元件下面。回流期间，这些锡膏形成锡珠，由于焊锡表面张力将元件拉向机板，而被挤出到元件边。和焊锡球一样，焊锡珠的解决办法也是提高升温速率，直到问题解决。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

熔湿性差

熔湿性差经常是时间与温度比率的结果。锡膏内的活性剂由有机酸组成，随时间和温度而退化。如果曲线太长，焊接点的熔湿可能受损害。因为使用RTS曲线，锡膏活性剂通常维持时间较长，因此熔湿性差比RSS较不易发生。如果RTS还出现熔湿性差，应采取步骤以保证曲线的前面三分之二发生在 150°C 之下。这将延长锡膏活性剂的寿命，结果改善熔湿性。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

焊锡不足

焊锡不足通常是不均匀加热或过快加热的结果，使得元件引脚太热，焊锡吸上引脚。回流后引脚看到去锡变厚，焊盘上将出现少锡。减低加热速率或保证装配的均匀受热将有助于防止该缺陷。



得益于升温-到-回流的回流温度曲线

墓碑

墓碑通常是不相等的熔湿力的结果，使得回流后元件在一端上站起来。一般，加热越慢，板越平稳，越少发生。降低装配通过 183°C 的温升速率将有助于校正这个缺陷。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

空洞

空洞是锡点的X光或截面检查通常所发现的缺陷。空洞是锡点内的微小“气泡”，可能是被夹住的空气或助焊剂。空洞一般由三个曲线错误所引起：不够峰值温度；回流时间不够；升温阶段温度过高。由于RTS曲线升温速率是严密控制的，空洞通常是第一或第二个错误的结果，造成没挥发的助焊剂被夹住在锡点内。这种情况下，为了避免空洞的产生，应在空洞发生的点测量温度曲线，适当调整直到问题解决。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

无光泽、颗粒状焊点

一个相对普遍的回流焊缺陷是无光泽、颗粒状焊点。这个缺陷可能只是美观上的，但也可能是不牢固焊点的征兆。在RTS曲线内改正这个缺陷，应该将回流前两个区的温度减少 5°C ；峰值温度提高 5°C 。如果这样还不行，那么，应继续这样调节温度直到达到希望的结果。这些调节将延长锡膏活性剂寿命，减少锡膏的氧化暴露，改善熔湿能力。

得益于升温-到-回流的回流温度曲线

烧焦的残留物

烧焦的残留物，虽然不一定是功能缺陷，但可能在使用RTS温度曲线时遇见。为了纠正该缺陷，回流区的时间和温度要减少，通常 5°C 。



得益于升温-到-回流的回流温度曲线

结论

RTS温度曲线不是适于每一个回流焊接问题的万灵药，也不能用于所有的炉或所有的装配。可是，采用RTS温度曲线可以减少能源成本、增加效率、减少焊接缺陷、改善熔湿性能和简化回流工序。这并不是说RSS温度曲线已变得过时，或者RTS曲线不能用于旧式的炉。无论如何，工程师应该知道还有更好的回流温度曲线可以利用。

注：所有温度曲线都是使用Sn63/Pb37合金， 183°C 的共晶熔点。

群焊的温度曲线

作温度曲线是一个很好的直观化方法，保持对回流焊接或波峰焊接工艺过程的跟踪。通过绘制当印刷电路装配(PCA)穿过炉子时的时间温度曲线，可以计算在任何给定时间所吸收的热量。只有当所有涉及的零件在正确的时间暴露给正确的热量时，才可以使群焊达到完善。这不是一个容易达到的目标，因为零件经常有不同的热容量，并在不同的时间达到所希望的温度。

群焊的温度曲线

经常我们看到在一个PCA上不只一种大小的焊点，同一个温度曲线要熔化不同数量的焊锡。需要考虑PCA的定位与方向、热源位置与设备内均匀的空气循环，以给焊接点输送正确的热量。许多人从经验中了解到，大型元件底部与PCA其它位置的温度差别是不容忽视的。

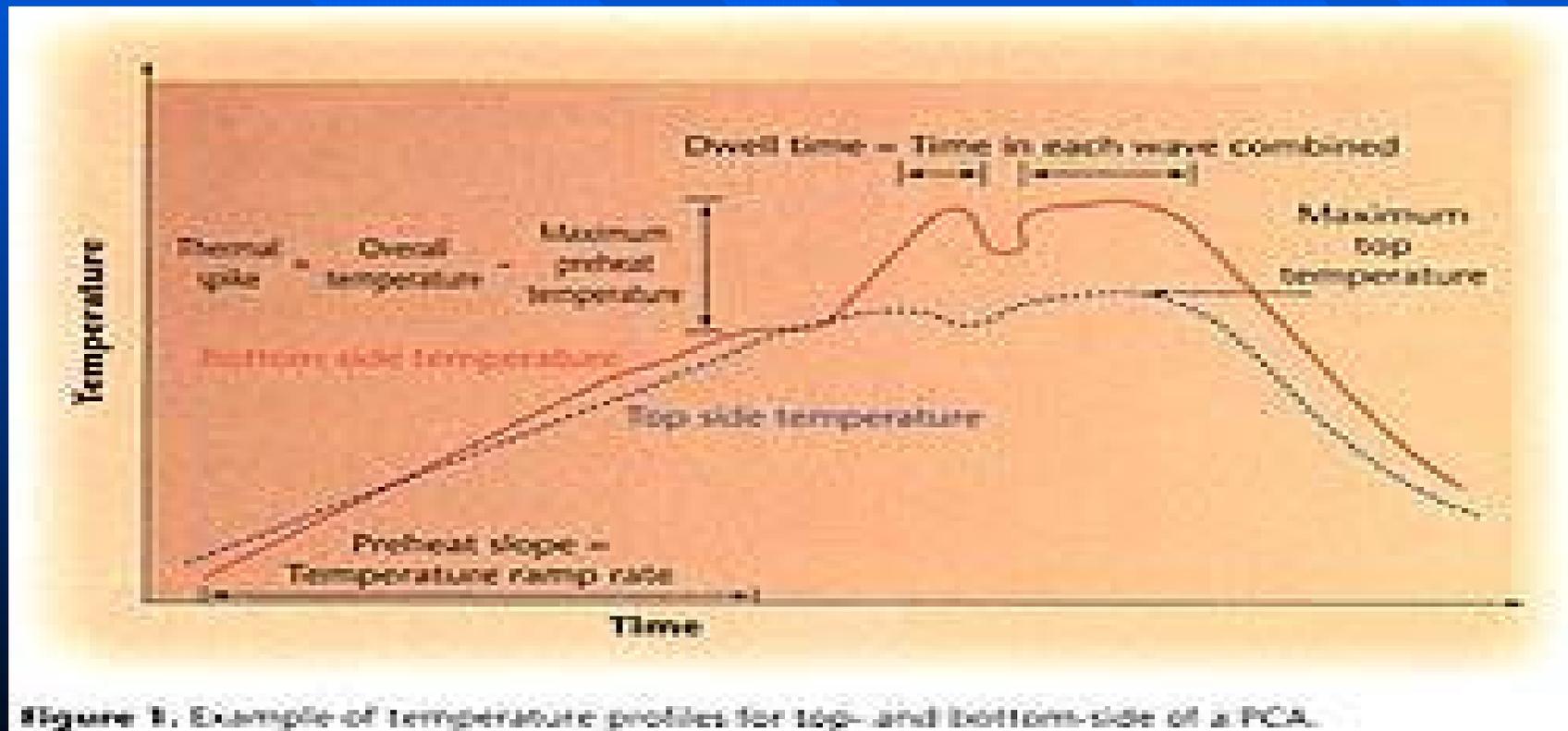


Figure 1. Example of temperature profiles for top- and bottom-side of a PCA.

群焊的温度曲线

为什么得到正确的热量是如此重要呢？当焊接点不得到足够的热量，助焊剂可能不完全活化，焊接合金可能未完全熔化。在最终产品检查中，可能观察到冷焊点(cold solder)、元件竖立(tomb-stoning)、不湿润(non-wetting)、锡球/飞溅(solder ball/ splash)等结果。另一方面，如果吸收太多热量，元件或板可能被损坏。最终结果可能是元件爆裂或PCB翘曲，同时不能经受对长期的产品可靠性的影响。

群焊的温度曲线

对于波峰焊接，装配已经部分地安装了回流焊接的表面贴装元件。已回流的焊接点可能回到一个液化阶段，降低固态焊点的位置精度。



群焊的温度曲线

除了热的数量之外，加热时间也是重要的。PCA温度必须以预先决定的速率从室温提高到液化温度，而不能给装配带来严重的温度冲击。这个预热，或升温阶段也将在助焊剂完全被激化之前让其中的溶剂蒸发。重要的是要保证，装配上的所有零件在上升到焊接合金液化温度之前，以最大的预热温度达到温度平衡。这个预热有时叫作“驻留时间”或“保温时间”。

群焊的温度曲线

对于蒸发锡膏内的挥发性成分和活化助焊剂是重要的。在达到液化温度之后，装配应该有足够的时间停留在该温度之上，以保证装配的所有区域都达到液化温度，适当地形成焊接点。如果在装配中有表面贴装胶要固化，固化时间和温度必须与焊接温度曲线协调。

群焊的温度曲线

在焊接点形成之后，装配必须从液化温度冷却超过 150°C 到室温。同样，这必须一预先确定的速度来完成，以避免温度冲击。稳定的降温将给足够的时间让熔化的焊锡固化。这也将避免由于元件与PCB之间的温度膨胀系数(CTE)不同所产生的力对新形成的焊接点损坏。



回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

经典印刷电路板 (PCB) 的温度曲线 (profile) 作图，涉及将PCB装配上的热电偶连接到数据记录曲线仪上，并把整个装配从回流焊接炉中通过。作温度曲线有两个主要的目的：1) 为给定的PCB装配确定正确的工艺设定，2) 检验工艺的连续性，以保证可重复的结果。通过观察PCB在回流焊接炉中经过的实际温度 (温度曲线)，可以检验和/或纠正炉的设定，以达到最终产品的最佳品质。

经典的PCB温度曲线将保证最终PCB装配的最佳的、持续的质量，实际上降低PCB的报废率，提高PCB的生产率和合格率，并且改善整体的获利能力。

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

回流工艺

在回流工艺过程中，在炉子内的加热将装配带到适当的焊接温度，而不损伤产品。为了检验回流焊接工艺过程，人们使用一个作温度曲线的设备来确定工艺设定。温度曲线是每个传感器在经过加热过程时的时间与温度的可视数据集合。通过观察这条曲线，你可以视觉上准确地看出多少能量施加在产品上，能量施加哪里。温度曲线允许操作员作适当的改变，以优化回流工艺过程。

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

一个典型的温度曲线包含几个不同的阶段 - 初试的升温 (ramp)、保温 (soak)、向回流形成峰值温度 (spike to reflow)、回流 (reflow) 和产品的冷却 (cooling)。作为一般原则，所希望的温度坡度是在 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 范围内，以防止由于加热或冷却太快对板和/或元件所造成的损害。

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

在产品的加热期间，许多因素可能影响装配的品质。最初的升温是当产品进入炉子时的一个快速的温度上升。目的是要将锡膏带到开始焊锡活化所希望的保温温度。最理想的保温温度是刚好在锡膏材料的熔点之下 - 对于共晶焊锡为 183°C ，保温时间在 $30\sim 90$ 秒之间。

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

保温区有两个用途：1) 将板、元件和材料带到一个均匀的温度，接近锡膏的熔点，允许较容易地转变到回流区，2) 活化装配上的助焊剂。在保温温度，活化的助焊剂开始清除焊盘与引脚的氧化物的过程，留下焊锡可以附着的清洁表面。向回流形成峰值温度是另一个转变，在此期间，装配的温度上升到焊锡熔点之上，锡膏变成液态。

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

一旦锡膏在熔点之上，装配进入回流区，通常叫做液态以上时间 (TAL, time above liquidous)。回流区时炉子内的关键阶段，因为装配上的温度梯度必须最小，TAL必须保持在锡膏制造商所规定的参数之内。产品的峰值温度也是在这个阶段达到的 - 装配达到炉内的最高温度。

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

必须小心的是，不要超过板上任何温度敏感元件的最高温度和加热速率。例如，一个典型的钽电容具有的最高温度为 230°C 。理想地，装配上所有的点应该同时、同速率达到相同的峰值温度，以保证所有零件在炉内经历相同的环境。在回流区之后，产品冷却，固化焊点，将装配为后面的工序准备。控制冷却速度也是关键的，冷却太快可能损坏装配，冷却太慢将增加TAL，可能造成脆弱的焊点。

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

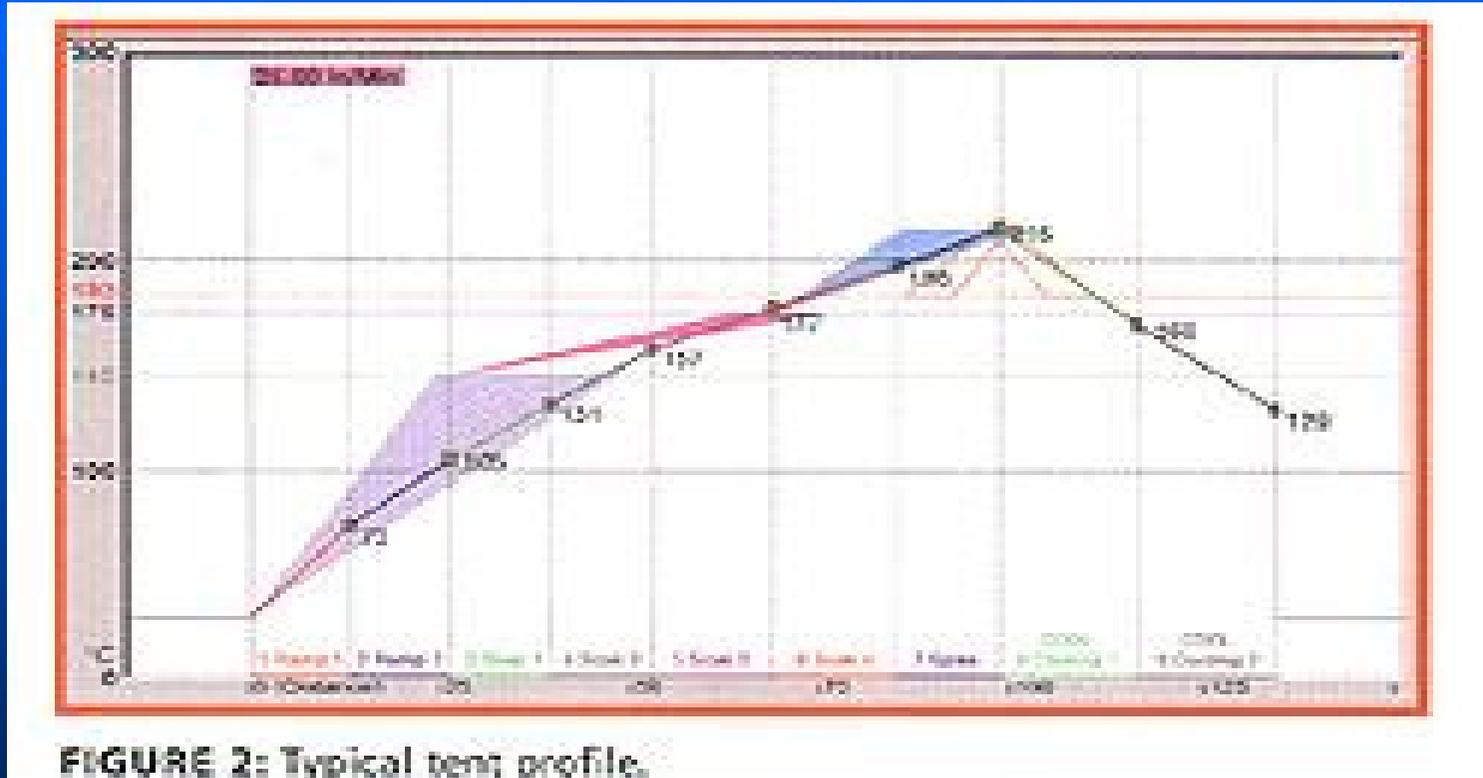
在回流焊接工艺中使用两种常见类型的温度曲线，它们通常叫做保温型 (soak) 和帐篷型 (tent) 温度曲线。在保温型曲线中，如前面所讲到的，装配在一段时间内经历相同的温度。帐篷型温度曲线是一个连续的温度上升，从装配进入炉子开始，直到装配达到所希望的峰值温度。

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线



典型的保温型温度曲线

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线



典型的帐篷型温度曲线

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

所希望的温度曲线将基于装配制造中使用的锡膏类型而不同。取决于锡膏化学组成，制造商将建议最佳的温度曲线，以达到最高的性能。温度曲线的信息可以通过联系锡膏制造商得到。最常见的配方类型包括水溶性(OA)、松香适度活化型(RMA, rosin mildly activated)和免洗型(no-clean)锡膏。

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

经典的PCB温度曲线系统元件

一个经典的PCB温度曲线系统由以下元件组成：

- 数据收集曲线仪，它从炉子中间经过，从PCB收集温度信息。
- 热电偶，它附着在PCB上的关键元件，然后连接到随行的曲线仪上。
- 隔热保护，它保护曲线仪被炉子加热。
- 软件程序，它允许收集到的数据以一个格式观看，迅速确定焊接结果和/或在失控恶劣影响最终PCB产品之前找到失控的趋势。

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

读出与评估温度曲线数据

锡膏制造商一般对其锡膏配方专门有推荐的温度曲线。应该使用制造商的推荐来确定一个特定工艺的最佳曲线，与实际的装配结果进行比较。然后可能采取步骤来改变机器设定，以达到特殊装配的最佳结果

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线



FIGURE 3: Classic PCB reflow thermal profile.

回流焊接工艺的经典PCB温度曲线

总结

做温度曲线是PCB装配中的一个关键元素，它用来决定过程机器的设定和确认工艺的连续性。没有可测量的结果，对回流工艺的控制是有限的。咨询一下锡膏供应商，查看一下元件规格，为一个特定的工艺确定最佳的曲线参数。通过实施经典PCB温度曲线和机器的品质管理温度曲线的一个正常的制度，PCB的报废率将会降低，而质量与产量都会改善。结果，总的运作成本将减低。

The End

Thanks!

