

第7期 · 综合完整版

焊锡膏选型系列 · 收官之作

焊锡膏选型速查手册

决策树 + 缺陷倒查

从合金→助焊剂→粒径→工艺→特殊需求
全链路系统化选型 · 不良反向精准排查
一套方法论 · 两张核心表 · 零基础可用

 决策树

 速查表

 缺陷倒查

 SOP流程

 参数矩阵

开篇前言

本系列从底层选型逻辑、粉体粒径、助焊剂体系、合金材料、综合工况逐层递进，完成焊锡膏全维度理论与产线适配讲解。前六期分别拆解选型基础框架、锡粉物理匹配、助焊剂分类与工艺方案、各类合金性能、多工况综合匹配逻辑。本期作为整套系列收官，不再堆砌理论知识，聚焦一线落地工具，整合前六期全部核心知识点，输出三大可直接打印使用内容：分层可视化选型决策树使用说明、全场景锡膏成套选型速查表、量产焊接缺陷反向倒查对照表。工艺、品质、采购工程师无需翻阅往期长文，依靠本手册即可快速完成锡膏选型、不良根因定位，实现标准化、轻量化选型作业。

第一部分：焊锡膏分层选型决策树

一、决策树使用规则

序号	规则内容
1	判定顺序：合规约束→产线工艺条件→PCB & 元件特性→行业特殊需求，逐层筛选，不可颠倒
2	每层仅需勾选对应工况，末端直接输出「合金 + 锡粉粒径 + 助焊剂」成套方案
3	出现多项特殊需求叠加时，优先满足可靠性、低温、无卤等硬性强制要求，再微调配方参数
4	所有判定标准遵循 IPC J-STD-004、IPC J-STD-005、IPC-7530A 行业规范

二、完整分层决策树逻辑

第一层：合规与温度硬性约束（第一步判定）

① 是否有无铅要求？

有（RoHS/出口）→ 进入无铅分支

- 是否热敏元件/FPC/低温制程（峰值≤180℃）
- ▶ 是：锁定 Sn42Bi58 低温合金
- ▶ 否：是否≥3次多次回流、堆叠封装，需要焊点避免再次熔融坍塌？
- ✓ 是：Sn95Ag5 高温高固相线合金
- ✓ 否：按可靠性选SAC合金
- 车规：SAC305/SAC387
- 精密封装：SAC405
- 消费控本：SAC0307

无（工控维修、内销无环保强制）

→ 直接选用 Sn63Pb37 有铅合金

焊接质量 = 合金性能 × 助焊剂活性 × 热过程控制 × 管理执行力

第二层：印刷工艺判定（第二步，匹配锡粉T级）

判定条件	锡粉等级	说明
钢网≥0.15mm、开孔 > 0.3mm、插件大焊点	T3/T4 粗粉	经济首选，稳定性好
钢网 0.10~0.12mm、0201常规细间距BGA	T4/T5 中细粉	目前最通用，推荐默认
薄钢网 < 0.10mm、01005/SiP/FC倒装	T6 超细粉	超细间距专用，需氮气
MicroLED微焊点、微量点胶	T7 超细微粉	半导体级，特殊处理

⚠ 车间环境补充判定

车间常年 > 28℃、高速印刷产线：同步要求锡膏高触变、高抗塌陷配方

第三层：PCB表面处理 + 清洗方案（第三步，匹配助焊剂）

PCB 焊盘类型	助焊剂活性选型	清洗方案参考（不由焊盘决定，依据产品需求选择）	补充规则
HASL 喷锡、OSP 板、ENIG 化金	通用低 / 中活性	可选用：免清洗、水洗、溶剂清洗，最终以产品可靠性、客户规范判定	无卤强制出口产品：助焊剂型号后缀统一为 0（ROL0/ORL0）
重度氧化焊盘	高活性	高活性助焊剂残留物腐蚀性风险高，优先建议清洗（水洗 / 溶剂清洗），不建议免洗	高活性助焊剂残留风险大，高可靠产品禁止免洗使用

终端应用场景（洁净度约束）	助焊剂选型
普通消费电子（允许免洗）	无卤 ROM0 / ROL0
汽车电子（车载）	主流无卤 ROL0 免洗；高可靠功率模块可选水洗水溶性
军工、医疗（零离子污染要求）	水洗水溶性助焊剂，焊后强制清洗
RF 射频高频板	低固微量残留 ROL0；常规射频可免洗，毫米波严苛工况建议清洗

说明：

1、PCB 表面处理仅用来确定助焊剂活性等级；清洗工艺不由焊盘类型决定，由终端应用、客户可靠性规范确定。

2、车载以 ROL0 免洗为量产主流；底盘安全件、功率模块等高安全等级，按客户规格可选用水洗方案。

3、RF 射频：普通射频板低固 ROL0 可免洗；仅毫米波、极高 Q 值电路，微量残留会干扰射频性能，建议清洗。

4、军工、医疗离子残留管控严苛，一般不允许免洗方案。

第四层：行业特殊需求微调（第四步，优化配方专项性能）

序号	特殊需求	调整方案
1	车规功率器件、低空洞指标 < 15%	升级低挥发、球形均匀锡粉专用锡膏
2	细间距防桥连、抗塌陷	加高触变、窄熔程配方
3	真空回流制程	选用低挥发份助焊剂，抑制锡珠飞溅
4	返修重工	配套同合金体系高活性短寿命返修锡膏

第二部分：全场景成套选型速查表（车间张贴版）

整合第6期行业场景方案，精简为一页速查，快速对照取用

应用场景	推荐合金	锡粉	配套助焊剂	核心工艺管控要点
普通消费电子主板、小家电	SAC0307/SAC305	T4	ROM0无卤免洗	标准空气/氮气回流，免清洗量产
车规BMS、IGBT、功率器件(AEC-Q200)	SAC305/SAC387	T5	ROL0低空洞无卤	精准控回流曲线，高温环境水洗，X-Ray空洞抽检
SiP、FC倒装、01005细间距BGA	SAC405	T6	高活性低固精密免洗	激光纳米钢网，氮气回流，严控坍塌锡珠
MicroLED、微芯片微量点胶印刷	SAC405	T7	超低残留无卤专用膏	恒温恒湿车间，全程防静电
FPC软板、LED、CMOS热敏模组	Sn42Bi58	T4/T5	低温适配低活性免洗	回流峰值160~180℃，氮气优先，定位治具固定板材
多层板、双面贴装、二次回流产品	Sn95Ag5	T4/T5	中活性无卤通用助焊剂	二次回流峰值≤220℃，加长预热段
工控维修、手动返修(无RoHS限制)	Sn63Pb37	T3/T4	ROL1含卤松香型	局部加热返修，焊后可水洗清除残留
镀镍、Alloy42难焊接基材	SAC305	T4	水溶性OR高活性助焊剂	焊后纯水完整清洗烘干，杜绝腐蚀残留
军工、航空航天高可靠产品	SAC387/Sn63Pb37(豁免)	T4	RMA/RA水洗型	炉后全检，X-Ray切片可靠性验证
医疗设备（ISO13485）	SAC305	T4	OR水溶性助焊剂	纯水完整清洗烘干，离子污染测试全检
高频RF射频通信模块	SAC305	T4	RMA松香型助焊剂	焊后清洗去除残留，避免介电常数干扰信号

回流焊温度曲线参数速查

基于IPC-7530A标准，可直接输入回流焊设备作为初始值，再根据实测微调

合金体系	熔点(℃)	预热区	保温区	回流峰值	冷却速率	关键提醒
SAC305	217~220	室温→150℃ 1.5~2.5℃/s	150~180℃ 60~120s	235~245℃ 保持20~40s	3~4℃/s	TAL60~90s
SAC105	217~222	室温→150℃ 1.5~2.5℃/s	150~180℃ 60~90s	230~240℃ 保持20~40s	3~4℃/s	BGA球熔点227℃，注意混合合金兼容
SAC0307	227~229	室温→155℃ 1.5~2.5℃/s	155~185℃ 80~120s	240~250℃ 保持20~40s	3~4℃/s	窗口偏窄，恒温需更充分
Sn63Pb37	183	室温→130℃ 1~3℃/s	130~160℃ 60~90s	210~230℃ 保持10~20s	2~4℃/s	宽容度高，但仅限豁免产品
SnBi58	138~139	室温→100℃ 1~2℃/s	100~120℃ 30~90s	160~190℃ 保持10~30s	2~3℃/s	脆性问题需注意
SAC+Ni改性	217~220	室温→150℃ 1.5~2℃/s	150~180℃ 60~100s	235~245℃ 保持30~50s	2~3℃/s	抗蠕变优，汽车/工控首选

升缓慢 · 恒充分 · 峰精准 · 冷均匀

六大曲线致命错误

序号	致命错误	后果	对策
①	升温>3℃/s	锡珠/元件开裂	控升温斜率
②	恒温<60s	基板温度不均导致立碑、助焊剂挥发不足导致空洞等问题	延长恒温段
③	峰值<熔点+20℃	润湿不良	提高峰值5~10℃
④	峰值>250℃(SAC)	氧化、底板/零部件烧坏	严禁超上限
⑤	TAL>90s	金属间化合物过厚	缩短液相时间
⑥	冷却>5℃/s	可能产生基座或元器件因应力不同导致的扭曲	控冷却速率

回流曲线实操调试步骤

① 用K型热电偶粘在PCB上（取板边、中心、BGA下方三个点）→ ② 过炉采集实际温度→ ③ 对比目标曲线，调整各温区设定值→ ④ 再次测温验证→ ⑤ 确认整板温差<±5℃后锁定参数

第三部分：量产焊接缺陷反向倒查对照表（核心排障工具）

出现不良无需逐一排查全流程，按缺陷定位「合金/锡粉/助焊剂/工艺」错配根源，同步给出替换整改方案

不良现象	严重度	材料错配根因分类	成套整改替换方案	配套工艺优化建议
钢网持续堵孔 印刷缺锡少锡	严重	锡粉粒径过粗、助焊剂粘度过高	升级T5/T6细一档锡粉，更换低粘度高触变锡膏	钢网做纳米涂层，定时擦拭钢网
0201/01005 批量桥连、印刷后塌陷	致命	低粘度、低触变助焊剂	高触变高固锡膏	降低车间环境温度，减小印刷压力
BGA焊点空洞超标 器件热阻偏大	致命	锡膏润湿不良	提高锡膏润湿性能	氮气回流，延长保温除气区间
ENIG化金板 大面积虚焊、黑焊盘	致命	ENIG镀金工艺偏差	更换合格化金板	
长期湿热环境 线路漏电、焊点腐蚀	严重	含卤高活性免洗锡膏未水洗	替换无卤水溶性助焊剂，增加水洗烘干工序	高可靠产品强制水洗工艺，离子污染测试抽检
多层板二次回流 焊点移位、脱落	严重	常规SAC低固相线合金不耐多次加热	更换Sn95Ag5高固相线高温合金	降低二次回流峰值温度，阶梯缓慢升温
不锈钢/镀镍焊盘 润湿差、不上锡	致命	普通免洗低活性助焊剂无法破除厚氧化层	更换水溶性OR高活性助焊剂	焊前轻微打磨焊盘，延长助焊剂活化保温段
真空回流 大量微小锡珠飞溅	中等	助焊剂挥发份过高	选用真空制程专用低挥发锡膏	减缓升温斜率，减少瞬间助焊剂沸腾
LED灯板焊接后 光衰严重、芯片损坏	严重	高温SAC合金搭配热敏元件	切换Sn42Bi58低温锡钎锡膏	回流峰值严格控制≤180℃，缩短高温时长

⚠ 紧急响应流程

发现缺陷→立即停线→SPI/AOI数据回溯→对照上表定位根因→执行对应排查动作→验证修复效果→恢复生产**严禁「边生产边排查」**！

缺陷倒查详细版（含根因概率排序 + 排查动作）

使用方法：当产线出现焊接不良时，先在左列找到对应的缺陷现象，中间列定位最可能的根因（按概率排序），右列获取对应的排查动作

缺陷现象	严重度	根因分析（按概率排序）	关联选型参数	排查动作 & 对策
虚焊/冷焊	致命	①回流峰值温度低于合金熔点+20℃ ②焊盘/引脚氧化严重 ③助焊剂活性不足或过期 ④钢网开孔偏小→锡量不足 ⑤PCB受潮，升温时放气	合金熔点匹配 助焊剂活性等级 钢网开口面积比	①实测峰值温度，调至熔点+25~30℃ ②检查焊膏有效期，更换高活性ROLO/RA ③SPI检测锡量，开孔扩至1:1.02 ④PCB烘烤120℃/4h
桥连/短路	致命	①钢网开孔过大或间距不足 ②印刷场边→锡膏溢出焊盘 ③贴片压力过大挤出锡膏 ④升温过快→焊料过度流动 ⑤刮刀压力过大	锡粉粒径(T3→T4) 焊膏粘度 触变指数Ti	①钢网开孔缩窄10~15% ②降刮刀压力至50~80N ③升温速率≤2℃/s ④细间距改T4/T5+高触变膏
立碑/曼哈顿	严重	①两端焊盘热容量不对称 ②钢网开孔不一致→锡量差>20% ③升温斜率>3℃/s ④贴片偏移→元件重心不稳 ⑤一端接地铜箔散热过快	焊盘DFM设计 钢网开口对称性 升温速率	①设计对称焊盘，接地端加热隔离槽 ②贴片精度校准至±0.05mm ③升温≤2℃/s，延长恒温 ④氮气保护改善润湿同步性
锡珠/飞溅	中等	①焊膏回温不充分→水分炸裂 ②预热升温过快>3℃/s ③焊膏受潮或过期 ④钢网背面残留污染 ⑤助焊剂溶剂沸点过低	焊膏存储条件 回温时间≥4h 预热曲线	①严格执行2~8℃冷藏+4h回温 ②升温速率降至1~2℃/s ③钢网每5~10片清洗一次 ④换低挥发助焊剂配方
空洞/气孔	严重	①预热不足→助焊剂挥发不彻底 ②焊膏本身空洞率高 ③BGA球氧化/PCB PAD设计不当 ④Via-in-pad未填充 ⑤升温速率过快>2℃/s	低空洞专用膏 热区参数 BGA焊球氧化度	①预热60~120s，升温≤1.5℃/s ②换低空洞配方锡膏 ③Via填充或加盖处理 ④真空回流焊（高可靠场景） ⑤BGA预烘烤125℃/12~24h
润湿不良	致命	①焊盘OSP膜老化/沉金镍层腐蚀 ②助焊剂活性不足 ③峰值温度偏低 ④焊膏金属含量偏低 ⑤PCB表面离子污染	助焊剂活性等级 合金润湿性 PCB表面处理	①换高活性RMA/RA助焊剂 ②峰值温度+5~10℃ ③PCB上线前等离子清洗 ④确认SAC305银含量≥3%
HIP头枕	致命	①BGA球氧化严重 ②焊膏与BGA球合金不匹配 ③TAL时间不足 ④PCB/BGA翘曲→接触不良 ⑤助焊剂活性不足	BGA球合金 焊膏合金兼容性 助焊剂活性	①BGA预烘烤125℃/12~24h ②TAL延长至>90s ③换高活性助焊剂(≥0.2%) ④X-Ray确认+堆叠优化
少锡/漏印	严重	①钢网堵塞（细粉氧化结块） ②刮刀压力不足 ③焊膏粘度偏高 ④脱模速度过快 ⑤钢网开孔面积比<0.5	锡粉粒径匹 配焊膏粘度 钢网面积比	①每5~10片擦网 ②粘度调至80~120Pa·s(T4) ③面积比≥0.66(T3/T4) ④脱模速度分段控制
偏移	中等	①贴片机Mark点识别误差 ②吸嘴磨损→真空不足 ③焊膏粘度低→元件滑动 ④轨道振动 ⑤PCB定位销松动	焊膏触变性 贴片机 CPK	①月度CPK校准≥1.67 ②换耐磨吸嘴 ③焊膏粘度上调10~20% ④检查轨道平整度
焊点发灰/暗淡	提示	①峰值温度过高→氧化发暗 ②助焊剂碳化残留 ③SAC305正常特性（非缺陷） ④冷却过慢→粗晶粒	峰值温度上限 助焊剂耐热性	①峰值降5~10℃ ②确认SAC305发灰属正常 ③冷却速率调至3~4℃/s

第四部分：标准化选型五步操作流程（评审使用规范）

配合决策树与速查表使用，形成企业标准化选型评审流程，用于新产品导入、锡膏物料变更评审

步骤	步骤名称	操作内容
1	锁定硬性约束	确认环保合规（无铅/无卤）、元件耐温等级、是否二次回流，确定基础合金体系
2	匹配印刷粉体	根据钢网厚度、最小开孔、元件精密等级选定T3~T7锡粉
3	匹配助焊剂体系	结合PCB表面处理、清洗工艺、洁净度要求确定助焊剂活性、卤素、类型
4	叠加特殊需求优化	低空洞、防桥连、射频、真空、低温等专项性能微调锡膏配方
5	小批量试产验证+缺陷倒查	上机印刷回流，若出现不良，对照缺陷倒查表反向调整材料组合，验证稳定后批量导入

第五部分：焊锡膏核心参数速查矩阵

一张表覆盖合金、粒径、助焊剂三大维度的关键参数边界值。所有数值来自IPC标准+一线量产验证数据

5.1 合金体系选型矩阵

合金	熔点(°C)	抗拉强度(MPa)	延展性(%)	成本指数	脆性	典型应用	禁忌场景
SAC305	217~220	45~50	20~25	100(基准)	中	消费/通信/汽车	热敏元件
SAC105	217~222	35~40	15~20	80~85	中	固定设备/非BGA角部	高抗跌落需求
SAC0307	227~229	30~35	12~18	60~70	中高	成本敏感型	高可靠/汽车
SAC+Ni/Ge	217~220	48~55	18~22	120~140	低	汽车/军工/工控	成本敏感
Sn63Pb37	183	40~45	30~35	50~60	低	军工豁免/维修	RoHS产品
SnBi58	138~139	30~35	5~8	90~100	极高	LED/热敏/二次回流	高温/振动/大电流
SnBiAg	138~187	35~40	8~12	100~110	高	阶梯焊接/精密热敏	长期>80°C工况

5.2 锡粉粒径选型矩阵（IPCJ-STD-005）

Type	粒径(μm)	最小开孔(μm)	适用最小间距	典型元件	氧化风险	成本系数	使用建议
T3	25~45	≥125	≥0.5mm	0603/0805/QFP0.65	低	1.0x	经济首选，稳定性好
T4	20~38	≥100	0.3~0.5mm	0402/0201/BGA0.5	中	1.2x	目前最通用，推荐默认
T5	15~25	≥75	<0.3mm	01005/μBGA/CSP	中高	1.5x	超细间距专用
T6	5~15	≥50	<0.2mm	WLCSP/μBGA	高	2.0x	先进封装，需氮气
T7/T8	2~11	≥25	极小	晶圆级/Flip-chip	极高	3.0x+	半导体级，特殊处理

5.3 助焊剂选型矩阵（IPCJ-STD-004）

类型	IPC编码	活性	卤素	清洗要求	残留特性	典型场景	注意事项
松香R	ROL0	低	无卤	免洗	硬/绝缘	精密芯片/OSP板	重度氧化不适用
免洗NC	ROL0/ROL1	低~中	可选	免洗	透明硬壳	消费电子90%	SIR需达标
轻活化RMA	ROL0/ROM0	中	无卤	可洗/免洗	软/透明	镀锡/镀镍PCB	多数通过SIR
活化RA	ROM1/ROH1	高	可含卤	必须清洗	软/可能腐蚀	氧化严重PCB	不洗=定时炸弹
水溶性WS	ORL0/ORH1	低~极高	可选	水洗	水溶性	医疗/军工/高洁净	需纯水清洗设备

第六部分：焊锡膏全生命周期管理SOP

再好的选型，管理不到位也是白费。以下SOP覆盖从入库到废弃的全流程，确保焊锡膏性能始终在线

入库→ 存储→ 上线

印刷→ 回流→ 检测

环节	标准操作	禁止事项	环节	标准操作	关键参数
来料检验	核对COA报告、批次号、有效期	无COA直接拒收	印刷	SPI全检，体积误差±10%	刮刀压力50~80N
冷藏存储	2~8°C密封，FIFO先进先出	禁止冷冻/温度波动	贴片	AOI视觉识别，偏移<25%	贴片精度±0.05mm
回温	密封回温≥4h(20~25°C)	禁止热水/烤箱加速	回流	按合金曲线执行，K型测温	整板温差≤±5°C
搅拌	自动搅拌机5~10s（ 正常情况无需搅拌 ）	禁止手工/剧烈搅拌	AOI检测	炉后全检，缺陷图片关联条码	检出率>99.5%
开封使用	24h内用完，加盖防干	禁止敞口过夜	X-Ray	BGA/QFN空洞率抽检	空洞<25%面积
剩余回收	8h内回冷藏，标记回温时间	禁止反复冻融>2次 禁止把钢网上未用完的锡膏回收到锡膏罐中	推力测试	每2h抽1板做破坏性推力	>1kgf(0402)

产线环境硬性标准

车间温度 22±2°C，湿度 45%~55% RH，车间微正压 5Pa，降低锡膏氧化与吸潮概率。

第七部分：一页速查卡（贴产线用）

以下速查卡可单独裁切，塑封后贴于印刷工位/回流焊旁。正面为选型决策，背面为缺陷速排

弋 选型决策速查（正面）

- ① 合规：RoHS→无铅 |豁免→可有铅
- ② 合金：SAC305(通用)/SAC0307(省钱)/SnBi(低温)/SAC+Ni(车规)
- ③ 粒径：≥0.5mm→T3 | 0.3~0.5mm→T4 | <0.3mm→T5
- ④ 助焊剂：免洗→ROL0 | 氧化→RMA |高洁净→OR水洗
- ⑤ 验证：SPI±10%→ 空洞<25%→ 推力达标

粘度：T4→80~120Pa·s | T5→100~180Pa·s | 金属含量：88~92% | Ti：0.4~0.6

Q 缺陷速排（背面）

- 虚焊→ 峰值↑|活性↑|锡量检查 桥连→ 开孔↓10% 压力↓|升温↓
- 立碑→ 焊盘对称|升温≤2℃/s|氮气 锡珠→ 回温≥4h|升温↓|擦网
- 空洞→ 预热60~120s|低空洞膏|真空 润湿差→ 换RA|清洗|峰值↑
- HIP→ BGA烘烤|TAL>90s|高活性膏 少锡→ 擦网|粘度↓|面积比≥0.66

第八部分：全系列1~7期知识图谱

期数	主题	核心产出	掌握程度检验
第1期	三步选型框架	合金→助焊剂→特殊需求底层逻辑	能画出框架图
第2期	锡粉粒径选型	五球法则+IPC分类+氧化控制	能算面积比/开孔
第3期	助焊剂(上)·分类标准	J-STD-004编码+五大品类	能解读ROL0/ORM1
第4期	助焊剂(下)·工艺选型	活性匹配+清洗决策+残留管控	能选助焊剂类型
第5期	合金体系专题	SAC305/105/0307/SnBi全对比	能按场景选合金
第6期	综合工艺&特殊需求	材料×工艺×工况三维选型模型	能整合全部参数
第7期	速查手册(本册)	决策树+缺陷倒查+SOP	能独立选型+排障

第九部分：全系列完整总结与收尾寄语

一、整套7期系列完整技术闭环复盘

期	阶段	核心内容
1	底层逻辑搭建	确立「合金→助焊剂→特殊工况」三段式核心选型框架，搭建整体思考逻辑
2~5	细分材料专项拆解	依次讲解锡粉粒径物理匹配、助焊剂分类与工艺选型、全品类合金性能边界，完成单一材料深度科普
6	综合工况整合落地	打破单一材料独立选型思维，建立工艺、基材、行业三维约束匹配模型，输出成套场景方案
7	标准化工具输出	把全部理论转化为可直接落地的决策树、速查表、缺陷倒查表，实现理论到车间实操的完整闭环

二、手册使用注意事项

序号	注意事项
1	本手册优先适配无铅SMT主流产线，有铅维修场景可直接对应速查表独立分支
2	多需求叠加场景，以产品可靠性、环保法规、元件耐热三大硬性要求为最高优先级
3	材料替换后必须做小批量试产验证，不可直接大批量切换物料
4	手册可根据企业自有产品品类、产线设备参数做内部二次微调，形成企业专属锡膏选型规范

系列收官寄语

从第一期的不知从何下手，到第七期的随手翻开就能选型排障
你已经完成了从「凭经验拍脑袋」到「系统化工程决策」的跨越
焊锡膏不是耗材，而是连接材料、设备、工艺的核心枢纽
当你开始用系统思维解决问题时，你就已经超越了80%的同行