

间接式冷凝器iCond的质量改进

叶学敏，一顺，史宇杰

上海马勒热系统有限公司 上海 201206

摘要：针对间接式冷凝器iCond的内漏、焊缝、底板位置度超差等质量缺陷，从冲压、装配、真空炉钎焊等工艺过程进行了全面分析，利用了柏拉图、鱼骨图等质量工具，结合使用DOE等验证方法，经过多轮试制，锁定了质量问题的关键，并制定了改善措施并实施，使产品质量达到了较高水平

关键词：间接式冷凝器iCond；质量改进；高速冲床；真空钎焊；泄漏

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.06.007

改善背景

随着新能源汽车的快速发展，汽车热管理系统因为很大程度影响汽车的续驶里程，越来越引起重视。间接式冷凝器是热管理系统中的关键零部件，一旦出现质量问题，会导致整个系统的功能丧失。本文主要改善的间接式冷凝器（以下简称iCond）是芯子尺寸大于180mm×80mm×90mm，换热叠片层数大于等于80层的高性能换热器，生产过程涉及了高速冲压及堆叠，预装配，零件堆叠，真空钎焊及后道的检漏和功能检测。整个工艺过程具有较大挑战，冲压速度最快达120次/min，冲速及模具对叠片质量都有较大影响，真空炉钎焊控制点较多，钎焊后产品的检漏压力要求达到了40bar（1bar=1×10⁵Pa，下同），非常容易出现内

漏等质量问题。

公司在刚开始生产该产品时，连续遇到了各种质量问题，产品的一次性合格率甚至不到30%，不但面临较大的交付风险，更产生了大量的质量报废成本，质量问题亟待改善。

问题与分析

1.明确问题

初步了解到的质量问题除了内漏，还涉及了不同位置的焊缝，法兰或水管位置度超差，底板平面度超差等各种问题。针对这些问题，通过柏拉图的分析，明确了最影响iCond质量的前三项失效分别为：泄漏、水滴法兰焊缝和底板平面度超差（见图1）。

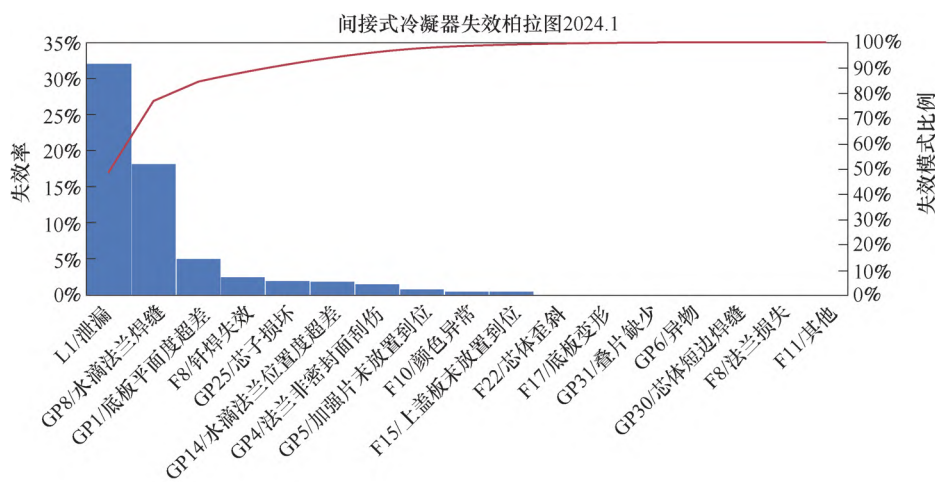


图1 iCond失效模式柏拉图

2. 泄漏问题分析

iCond的低压水侧和高压剂侧有不同的泄漏要求，低压侧要求在2.5bar压力下，漏率<4cc/min，高压侧要

求在40bar压力下，漏率<2×10⁻⁵mbarL/s。

针对泄漏，通过鱼骨头分别从人、机、料、法、环等各方面分析了可能发生的原因（见图2）。

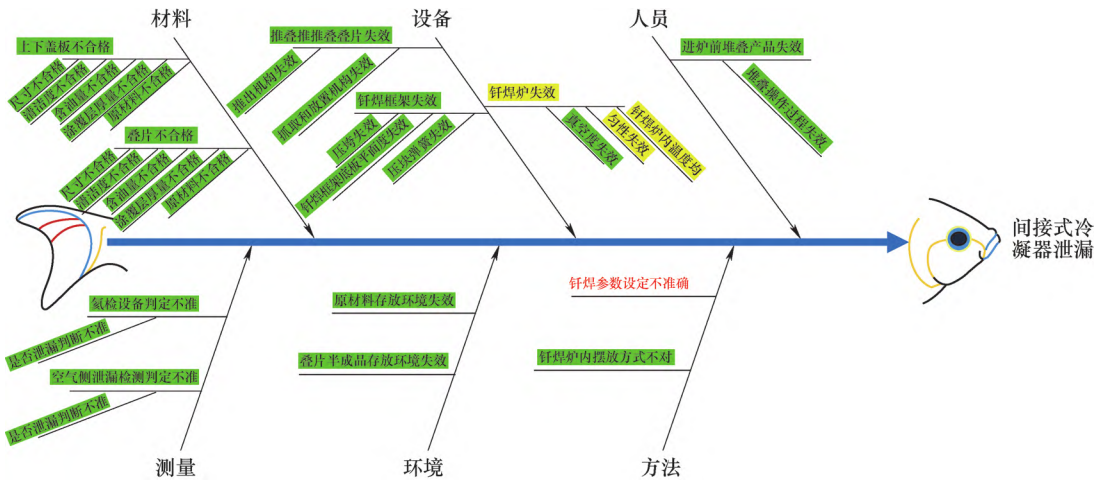


图2 iCond泄漏原因鱼骨图分析

材料方面，主要影响因素如下：

- 1) 上下盖板的尺寸、清洁度、含油量、涂覆层厚度及原材料影响。
- 2) 叠片的尺寸、清洁度、含油量、涂覆层厚度及原材料影响。

因为大部分泄漏发生在芯子高低压间的内漏，跟上下盖板关系不大，且经过分析清洁度含油量（见图3）等测试都合格，而叠片相关的尺寸等影响则比较大。

叠片为高速冲床冲压生产，经过跟踪叠片的关键尺寸数据，包括凸圆孔四周的平面度、凸圆孔和凸筋



图3 上下盖板达因笔含油量测试结果

高度差、圆孔槽平面度等的过程能力分析，发现某些尺寸有超差情况，且过程能力也很差（见图4）。

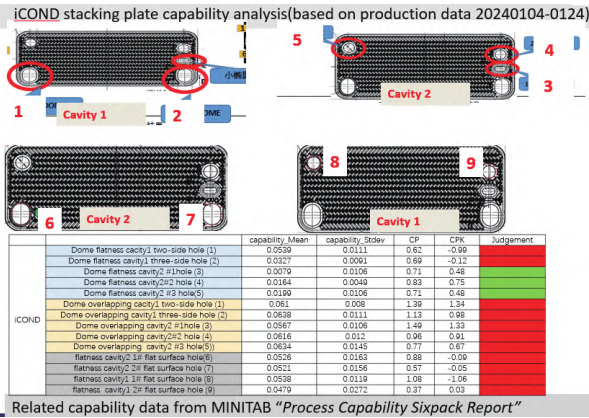


图4 iCond叠片关键尺寸过程能力分析结果

设备方面，主要影响因素如下：

- 1) 堆叠线抓取及芯子推出机构异常。
- 2) 冲床设备异常。
- 3) 钎焊夹具的弹簧及压块和底板平面度异常。
- 4) 真空钎焊炉异常，包括真空度及温度均匀性等。

经过多轮排查及钎焊夹具极限样件试制，发现大部分设备都正常不会影响到泄漏。但冲床因为保养不足有设备机油滴落的可能，且该机油在真空炉内不能被完全祛除，还能在产品内形成异常的发黄，验证发现被该机油污染的叠片相比其他叠片，其泄漏率明显偏高（33%VS.5%）。

人员操作方面和泄漏测试相关的排查，没有发现明显的异常。但在原材料存储及冲压后的叠片半成品存储，发现了不符合标准的情况。如冲压原材料卷材的存放，经过测量温度低于5℃，湿度大于40%且存放场地地面潮湿，这些都会影响钎焊质量从而泄漏。

同时，通过对泄漏件的切割及金相分析，发现在iCond特殊叠片上下凸圆孔的焊接质量有明显的差异（见图5），又做了CT分析也发现了特殊叠片上下凸圆孔的焊接质量有同样趋势。根据iCond的结构分析，因为有特殊叠片（见图6中的绿线位置），导致特殊叠片阻挡了水汽和油气充分的排掉（主要为图6中A、B位置），从而影响焊接质量造成泄漏。要改善这方面的影响，需要对真空钎焊的除脂段程序进行优化。

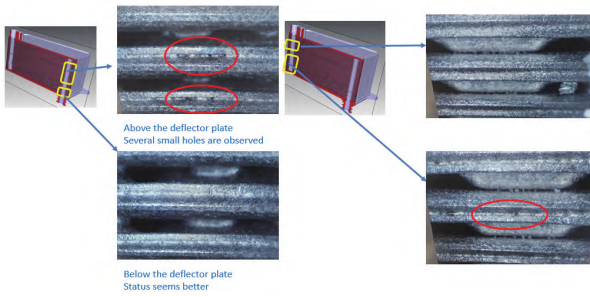


图5 泄漏件泄漏位置分析

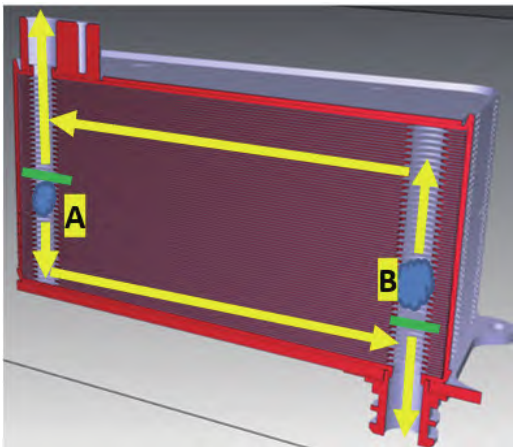


图6 iCond内部特殊叠片位置（绿线处）

3.水滴法兰焊缝问题分析

水滴法兰焊缝的发生原因相对简单，水滴法兰为机加工件，来料质量也相对稳定，排查下来水滴法兰跟上盖板的预装铆接结构合理，最大可能发生失效的过程还是在焊接。经过分析及试制，发现钎焊压块的材料对焊缝影响较大。

4.底板平面度超差问题分析

该项目的iCond底板因为其在热管理模块上的装配设计有平面密封，底板的尺寸为85mm×212mm，底板的平面度要求为0.4mm，相对苛刻，客观成为了平面度容易超差的直接原因。

改善方法与措施

1.泄漏问题改善

根据前文分析的泄漏因素影响，针对材料问题，基于叠片的尺寸报告，明确了叠片凸圆孔平面度，圆

孔槽平面度等几个关键尺寸有超差，通过在其对应模具位置增加或减少对应的垫片以调节冲压深度，同时微调模高速度压力等工艺参数，逐渐摸索出了模具冲床运行比较适合的状态，经过后面的过程能力分析，各项关键参数过程能力都比较稳定（见图7某一个凸圆孔尺寸过程能力），对泄漏的改善贡献比较突出。

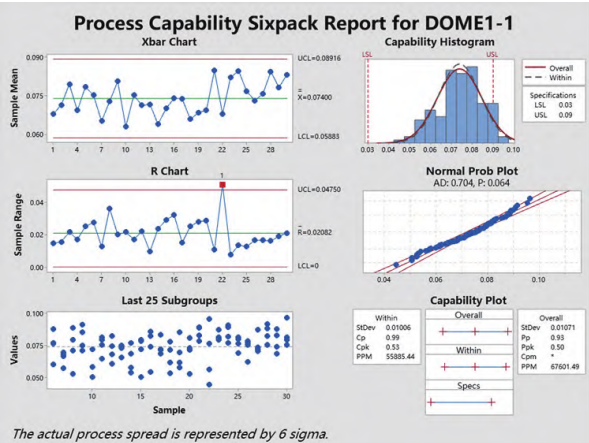


图7 模具冲床调整后关键的凸圆孔尺寸过程能力分析

关于叠片的各项尺寸控制及测试方法，也根据这次改善过程的调整及试制结果做了全面梳理，如凸筋高度的测量定义了叠片的九个取点位置取平均值，凸筋高度与凸圆孔高度差定义了高度仪测量方法等，同时也定义了首末件、巡检等各种尺寸测试项及外观标准，保证了后续量产的质量稳定监控。

针对设备问题，基于冲床的状态，再次梳理了原有的维护保养计划，将冲床的送料机构，对中机构，压力系统等都做了排查和保养，改善了主要的漏油问题，确保了后续正常生产。产品模具也梳理了关键的备件备品清单情况，更新了维护保养计划，确保生产的稳定性。

针对存储可能引起的质量不良，将原材料及半成品存储环境的温湿度放到到日常点检中，确保其符合条件。

针对钎焊除脂段程序，对比了全球范围内公司其他工厂真空钎焊的参数设置逻辑，将除脂段的设定温度从480℃提高到了540℃，这样更利于水汽及油气快速的排除，保持真空炉内氛围更优。

以上一些列改善措施实施后，iCond的泄漏率从之前的30%左右快速降低到了3%左右。

2.水滴法兰焊缝改善

根据前文分析，水滴法兰焊缝发生主要影响因素为钎焊压块的材料，进一步分析得知原有的碳纤维压块非常容易吸收空气中的水份，导致在真空炉内因为压块离水滴法兰根部较近，压块中水份在真空炉内影响周围氛围，从而造成钎焊不良出现焊缝。将碳纤维压块换为不锈钢压块后，此项失效模式不再出现。

3.底板平面度超差改善

根据前文分析，因为此产品对底板平面度要求较高，目前的工艺过程控制较难完全改善此问题，整个工艺过程中与底板接触并产生作用的仅有钎焊框架底板，钎焊框架底板目前能进行的是增加整形频次，经过试制结果摸索得出，钎焊框架底板需要在使用五次左右进行整形，基本能保证产品的底板平面度在合格范围内。考虑到操作工人机工程等因素，用整形压机替代了手工锤敲的整形，大大提高了整形效率。底板平面度超差的失效率从5%减低到了1%以下。

结语

根据这次间接式冷凝器质量改善过程，识别出了整个生产过程中人机料法环等各方面存在的问题，并一一做了针对性的改进措施，并将其进行了横向扩展到类似产品，及开展了如下一些长期措施。

- 1) 所有冲压过程PFEMA和控制计划全面梳理更新。
- 2) 真空钎焊除脂段程序逻辑更新应用。
- 3) 建立高速冲床模具分析及排查能力。
- 4) 针对原材料的进一步材料分析能力建立。
- 5) 经验教训库的更新。

以上，加强了公司的技术及质量控制能力，且间接式冷凝器一次性合格率稳定在95%以上。

参考文献:

[1] 王昕, 何帆. 持续质量改进在空调热交换器生产车间的应用[M]. 工业工程, 2007 (3): 95-98, 106.
[2] 李永哲, 刘铠, 张奇. 板式换热器板片的损坏原因和对策[J]. 中国设备工程, 2023 (23): 170-172. **AUTO1950**