冲压信号端子的嵌入注塑密封结构优化研究

张圣
华北电力大学在职研究生，中国·北京 102206

摘要：针对连接器嵌入注塑工序中，传统机加工实心信号端子加工成本高、生产效率低，而普通冲压中空端子易出现熔融树脂渗漏污染接插面的行业痛点，提出一种集成环形凸台与双道折弯挡片的冲压式信号端子结构。通过在端子与外壳配合区域冲压成型单侧 0.10mm 过盈量的环形凸台，阻断树脂沿配合面的径向渗漏路径；在端子中空腔体内部设置两道一体折弯挡片，第一道挡片与内壁单侧间隙控制在 0.12mm 以内实现初级节流降压，第二道挡片间隙控制在 0.08mm 以内实现精细密封。结合常用树脂的流变特性与微间隙渗透规律，分析双级密封的阻隔机理，并通过成型试验与多维度性能测试验证结构有效性。结果表明，该结构端子在二次注塑成型后无树脂渗漏，密封合格率达 100%，可为连接器嵌入注塑工艺的降本增效提供工程参考。

关键词：连接器信号端子；嵌入注塑；冲压成型；密封结构；过盈配合

Optimization Study on Sealing Structure of Stamped Signal Terminals in Insert Molding

Zhang Sheng
In-service Postgraduate Student, North China Electric Power University, China Beijing 102206

Abstract: To tackle the drawbacks of traditional machined solid signal terminals (high cost, low productivity) and molten resin leakage on mating surfaces of conventional stamped hollow terminals in connector insert molding, this paper proposes a stamped signal terminal structure integrated with an annular boss and double bent baffles. An annular boss with 0.10 mm unilateral interference is stamped at the terminal-housing fitting area to block radial resin seepage. Two integrally bent baffles are set inside the hollow cavity: the first baffle with a unilateral gap ≤ 0.12 mm realizes primary throttling and pressure reduction, and the second with a gap ≤ 0.08 mm performs fine sealing. Combined with resin rheological properties and micro-gap permeation rules, the two-stage sealing mechanism is analyzed and verified via molding tests and multi-dimensional performance verification.The results show that the terminal structure achieves zero resin leakage after overmolding with a 100% sealing qualification rate, providing engineering reference for cost reduction and efficiency improvement of connector insert molding processes.

Keywords: Connector signal terminal; Insert molding; Stamping forming; Sealing structure; Interference fit

0 引言

汽车电子、工业控制中，电连接器可靠性直接影响整机运行。嵌入注塑（二次注塑，SR）是连接器绝缘封装核心工艺，先将金属端子装入连接器，再将半成品埋入型腔注胶，使端子尾部与外壳一体成型，兼具结构强度与环境防护。随成本与效率要求提升，信号端子正由切削加工向高速冲压转型。传统实心端子由铜棒切削，压入预制孔后靠过盈结构阻挡树脂，密封可靠，但材料利用率不足 50%，单件工时约为冲压的 10 倍。冲压端子由铜带连续成型，材料利用率达 70% 以上，冲次速度超过 120 次 /min，十万级以上批量成本优势显著；但中空开口结构易形成树脂轴向渗漏通道。以 PA66 为例，80~120 MPa 注射压力下，熔融树脂易沿配合间隙及端子中空部渗入接插区，导致接触电阻升高、插拔异常。加装橡胶圈、点胶封堵等会增加工序和成本，可靠性有限。为此，提出径向凸台过盈密封与轴向双挡片逐级密封相结合的一体化冲压端子结构，结合 PA66 熔体微间隙渗漏特性确定关键尺寸，并经工艺试验验证密封性能与经济性，为冲压端子嵌入注塑规模化应用提供支撑。

1 传统嵌入注塑信号端子工艺特性与现存问题

1.1 机加工实心端子的工艺原理与局限

机加工信号母端子通常以 C5191 磷铜棒为原料，经车床下料、车削外圆、铣削接插面、电镀及压入冠簧等工序制成，整体为实心回转体结构。嵌入注塑时，端子先压入塑胶外壳预制安装孔，依靠过盈配合形成径向静密封；实

心结构无内部轴向通道，二次注塑时 PA66 熔体无法从内部渗入接插面，密封性能稳定，广泛应用于 IP67 及以上防护等级的连接器。

但该工艺存在明显局限：一是材料利用率低，切削产生大量切屑，整体利用率仅 30%~50%，浪费严重；二是生产效率低，单台数控车床日产仅 1000~1500 件，难以匹配大批量订单交付；三是加工成本高，单件成本约为冲压工艺的 3 倍以上。随着连接器行业竞争加剧，机加工端子成本压力持续上升，替代需求迫切。

1.2 冲压中空端子的渗漏路径与失效模式

冲压端子采用 0.2~0.5mm 厚的铜带为原料，通过连续模完成冲裁、折弯、拉深、成型等工序，整体为中空薄壁结构，材料利用率可达 70%~85%，生产效率高，大批量生产优势显著。但在嵌入注塑过程中，冲压端子的树脂渗漏问题成为制约其大规模应用的关键因素。

根据渗漏路径的不同，失效模式可分为三类：

（1）径向渗漏：端子与塑胶外壳安装孔之间存在配合间隙，二次注塑充模阶段，PA66 熔体在高压作用下沿配合间隙向接插面方向渗透。普通间隙配合下，配合间隙通常在 0.20~0.60mm，远大于 PA66 熔体的临界渗透间隙，树脂极易沿缝隙渗出，在接插面形成溢料。

（2）轴向渗漏：冲压端子内部为贯通中空腔体，二次注塑时，树脂从端子尾部开口进入腔体，沿轴向向接插端流动，最终从接插面的弹性缝隙溢出，污染接触区域。轴向渗漏是冲压端子最主要的失效形式，传统冲压端子无内部阻隔结构，熔体可直接贯穿整个端子腔体，渗漏发生率极高。

（3）包圆结合缝渗漏：冲压母端子由板材折弯包圆成型，合缝处存在一条沿轴向延伸的结合缝隙。针对该部位的渗漏，行业内已有成熟的量产解决方案：将包圆的其中一侧冲裁成台阶式搭接结构，包圆成型后两侧形成台阶式错缝挡墙，可阻断树脂的直线渗透路径。该方案已在多款产品中批量验证通过，因此本文不将其作为本次研究对象。

树脂渗漏不仅会导致端子接触电阻升高、插拔力超标，严重时还会造成接插失效，同时增加后道人工检查及清理工序，进一步提升制造成本。因此，在保留冲压工艺成本优势的基础上，通过结构优化解决树脂渗漏问题，具有重要的工程应用价值。

2 冲压式防渗漏信号端子结构设计

2.1 整体结构方案

本文设计的冲压式信号端子整体分为接插段、配合密封段、压接段三部分，采用 0.40mm 厚的锡青铜带 C5191 经连续冲压一体成型。接插段为适配公端插合的冠簧式弹性接触结构，实现与对插端子的多点电连接；配合密封段设置外部环形凸台与内部双挡片，分别实现径向与轴向密封；压接段为两段式压接结构，用于与导线压接固定。图 1 为端子的环形凸台与内部双挡片结构。

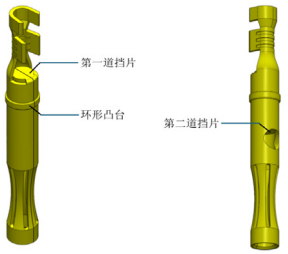


图 1 端子的环形凸台与内部双挡片结构

2.2 环形凸台过盈配合径向密封设计

针对径向渗漏问题，在端子配合密封段的外壁通过胀形冲压工艺成型一圈环形凸台，凸台截面为圆弧形，单边高度为 0.2mm。端子压入外壳安装孔后，凸台与孔壁形成过盈配合，双侧总过盈量 0.2mm，利用 PA66 塑胶的弹性变形，使孔壁紧密包裹凸台棱边，阻断树脂沿配合面的渗漏路径。

过盈量的设计需兼顾密封性能与装配可行性：过盈量过小，密封面压力不足，易出现间隙渗漏；过盈量过大，压装力过大易导致端子变形或塑胶孔开裂。同时环形凸台的圆弧头部可起到导向作用，降低压装阻力，压装力控制在 80N 以内，适配自动化压装设备的节拍要求。

2.3 双道折弯挡片轴向逐级密封设计

两道挡片采用分级密封设计思路，挡片由端子侧壁材料向内折弯形成，与端子本体为一体结构，无需额外密封零件：第一道折弯挡片（靠近压接端）：折弯后与端子内壁的单侧间隙控制在 0.12mm 以内，作为初级密封单元。其作用是对进入腔体的 PA66 熔体进行节流降压，大幅降低熔体流速与压力，同时使部分熔体在挡片前冷却凝固，形成自然封堵层。第二道折弯挡片（靠近接插端）：折弯后与端子内壁的单侧间隙控制在 0.08mm 以内，作为精细密封单元。经过第一道挡片的压力衰减后，剩余熔体压力不足以突破 0.08mm 的间隙阻力，实现完全密封。双挡片间距设置为 6.0mm，形成缓冲腔体，进一步消耗熔体动能。

3 树脂熔体微间隙渗漏机理与密封阈值分析

3.1 PA66 注塑熔体的流变特性

PA66（聚酰胺 66）属于半结晶型热塑性塑料，是连

接器外壳最常用的工程塑料之一，具有机械强度高、耐温性好、绝缘性能优异等特点。在注塑成型过程中，PA66 为典型的假塑性流体，黏度随剪切速率升高而降低，呈现剪切变稀特性。

常规连接器注塑工艺下，PA66 的料筒温度为 280~310℃，熔体零剪切黏度约为 50~150Pa·s，注射压力通常设定为 70~100MPa，保压压力 40~70MPa。熔体的渗透能力与黏度成反比，与注射压力成正比，黏度越低、压力越高，越容易渗入微小间隙。在嵌入注塑过程中，充模阶段熔体压力达到峰值，此时渗透能力最强，是渗漏发生的主要阶段[1-2]。

3.2 微小间隙下熔体渗透的临界条件

注塑中飞边与渗漏本质相同，均为熔体在压力下渗入微小间隙。PA66 为低黏度结晶性塑料，临界渗透间隙决定密封效果。根据以往相关注塑经验来看，临界飞边间隙约 0.008~0.015 mm：小于 0.008mm 基本不渗透，0.01~0.02mm 出现轻微飞边，大于 0.02mm 渗漏显著。嵌入注塑中熔体沿端子轴向流程长，压力沿程衰减大，允许密封间隙可大于临界渗透间隙。飞边间隙可用 Moldflow 或实验分析，本文采用实验。受模具加工精度与产品制造累计公差限制，两道挡片单侧间隙分别取 0.12mm 和 0.08mm。

3.3 双挡片结构的逐级密封机制

双道挡片的密封原理类似于迷宫式密封，通过逐级节流、降压、冷却，实现熔体的多重阻隔，其作用机制分为三个阶段：（1）初级节流。熔体从射嘴口进入腔体后，首先遇到第一道挡片，0.12mm 的间隙使大部分熔体被阻挡，少量熔体通过间隙时，由于通流面积突然减小，流速升高且静压下降，同时熔体与低温金属挡片发生热交换，温度降低、黏度升高，流动阻力进一步增大；（2）缓冲降压。通过第一道挡片的熔体进入两道挡片之间的缓冲腔，通流面积突然扩大，流速骤降，压力进一步衰减，部分熔体在此处冷却凝固，形成自生的密封层，阻挡后续熔体前进；（3）精细密封。剩余低压熔体到达第二道挡片，0.08mm 的间隙形成更高的流动阻力，此时熔体压力已不足以克服间隙的黏滞阻力与表面张力，无法通过第二道挡片，最终实现完全密封。

4 成型工艺控制与装配精度保障

4.1 端子冲压成型精度控制

密封结构的尺寸精度直接决定了最终密封效果，因此冲压过程中需严格控制关键尺寸公差。采用高精度模具加工，模具核心零件采用慢走丝加工，精度达到 ±0.005mm；凸台高度与挡片间隙应采用每 2 小时进行一次抽检，每次抽检 5 件，确保尺寸公差在 ±0.02mm 以内。

针对 C5191 磷青铜的材料特性，冲压工艺参数控制如下：冲裁间隙控制在料厚的 6%~9%，避免毛刺过大影响配合精度；折弯工序采用分步折弯工艺，先折 45° 再折至 90° ，减少回弹，保证挡片角度稳定；成型凸台时采用胀形工艺，使材料均匀变形，避免局部减薄开裂。端子电镀采用局部镀金工艺，以节约成本。

4.2 端子压装过盈量控制

端子与外壳的压装采用自动压入设备，压装力与压入行程由设备监控，确保环形凸台完全进入安装孔，过盈量稳定在 0.10~0.30mm。压装后进行轴向保持力测试，端子保持力≥ 2N，满足组装工艺对机械强度的要求。

设计过程中对端子与外壳做公差分析，保证预定的过盈量，压装前对材料进行尺寸检测，避免因尺寸超差导致的密封失效。

4.3 嵌入注塑工艺参数匹配

嵌入注塑工艺参数需与密封结构相匹配，在保证成型质量的前提下降低渗漏风险。选用通用级 PA66，预干燥温度 85℃，干燥 4 小时，含水率控制在 0.2% 以下，避免熔体出现气泡导致渗漏。

成型工艺参数优化如下[3]：

熔体温度：285~295℃，既保证熔体充模流动性，又避免温度过高导致黏度下降过多；注射压力：70~100MPa，保压压力 40~70MPa，在保证充模饱满的前提下降低压力，减少渗漏驱动力；模具温度：60~90℃，适当延长熔体冷却时间，使树脂在渗透过程中提前凝固。

5 试验验证与性能检测

5.1 试样制备与试验方法

为验证本文设计的双挡片冲压母端子的嵌入注塑密封效果，制备 30 件样品进行测试。端子采用 C5191 锡磷青铜带经冲压模成型，压入连接器外壳预制孔后，进行二次注塑成型。

二次注塑采用 PA66 材料，工艺参数设定为：熔体温度 290℃，注射压力 90MPa，保压压力 50MPa，模具温度 80℃。

测试项目包括：外观检查：目视观察所有试样的接插端面是否有树脂溢出；气密性测试：全部试样按 IP67 等级进行 1m 水深浸泡 30min 测试，检查是否进水；截面剖切：抽取 5 件样件沿轴向剖切，显微镜下观察树脂在端子

内部的渗透深度。

5.2 密封性能测试结果

测试结果显示：30 件样件的接插端面均未发现树脂溢出现象；剖切观察可见，PA66 熔体仅渗入端子内部第一道挡片的腔体区域，最大渗透深度不超过 2.0mm，第二道挡片及接插段内部完全无树脂残留；IP67 气密性测试全部合格，无进水现象。

结果表明，本文设计的环形凸台 + 双道挡片结构可有效阻挡二次注塑过程中 PA66 树脂的径向与轴向渗漏，密封合格率达到 100%，满足嵌入注塑工艺的防冲胶要求。

6 结语

针对连接器嵌入注塑中冲压母端子树脂渗漏，设计带环形凸台与双道折弯挡片的冲压式信号端子。试验表明：0.2 mm 过盈环形凸台可阻断径向渗漏，二次注塑形成可靠径向静密封，压装力适配；双道折弯挡片逐级密封，第一道 0.12 mm 间隙节流降压，第二道 0.08 mm 间隙精细密封，结合 PA66 微间隙渗透特性，可阻挡轴向渗漏。该端子密封合格率 100%，与机加工实心端子相当，单件成本降低 60% 以上，效率提升，具经济与工程应用前景。

参考文献：

[1] 洪慎章. 注塑工艺及模具设计第三讲注塑成型工艺（一）[J]. 橡塑技术与装备，2017,43(10):1-6.

[2] 叶旭强，段凯歌，刘敬祺等. PA66 与 PA6T 材料性能差异研究[J]. 上海塑料，2026,54(3):26-30.

[3] 瞿俊杰，刘可，戴钧明等. 阻燃 PA66 纤维的制备与性能[J]. 现代纺织技术，2026,34(1):93-102.

作者简介：张圣（1980.12-），男，湖北武汉人，在读硕士，研究方向：机械互联连接器设计。