

钢丝网增强PE复合管模具结构改进

邱 林

青龙管业集团股份有限公司 宁夏 银川 750000

宁夏青龙塑料管材有限公司 宁夏 银川 750000

摘要: 在钢丝网增强PE复合管生产制造环节, 模具性能极为关键。本文剖析现有钢丝网增强PE复合管模具结构, 指出模具成型部件磨损快、加热冷却不均、定位不准等问题。从技术、经济、操作三方面开展可行性分析, 明确改进方向与目标。提出成型部件选材与表面处理优化、加热冷却系统改进、定位固定装置优化等具体改进举措, 以提升复合管质量、模具寿命与生产效率。

关键词: 钢丝网增强PE复合管; 模具结构; 改进措施

引言: 钢丝网增强PE复合管凭借优异性能, 在众多领域广泛应用。模具作为生产核心设备, 结构合理性直接影响产品质量与生产效率。长期使用中暴露诸多问题, 如成型部件磨损影响尺寸精度、加热冷却不均降低抗开裂性能、定位不准导致增强效果不均等。因此, 对模具结构进行改进优化, 成为提升产品质量与生产效益的重要课题。

1 现有钢丝网增强 PE 复合管模具结构分析

1.1 模具整体结构组成

钢丝网增强PE复合管模具构造复杂且精密, 由多个关键部分协同运作; 成型部件是模具核心, 按照不同功能分为芯管模具、钢丝网缠绕模具(导丝、分丝、定位约束环)、胶层复合模具、外PE层复合模具和封口模具。如图1所示为芯管模具, 主要包括口模与芯模。口模决定复合管外径尺寸与外表面形状, 芯模塑造内径尺寸与内表面形态, 二者相互配合, 赋予复合管精确几何尺寸与特定外观^[1]。加热与冷却系统对模具运行至关重要。挤压过程中, 加热系统为PE材料提供合适加工温度, 使其达到良好塑化状态, 便于流动成型; 冷却系统让成型后的复合管快速降温定型, 确保产品尺寸稳定。定位与固定装置是保证钢丝网与PE材料准确复合的关键。生产时, 钢丝网作为增强材料, 位置准确性直接影响复合管力学性能。该装置借助特定机械结构, 将钢丝网固定在预定位置, 防止在PE材料流动过程中偏移。连续挤出成型机组采用连续挤出成型工艺, 成型后的管材持续从模腔挤出, 保障了生产的连续性与产品的完整性; 钢丝网缠绕模具(导丝、分丝、定位约束环)则通过多组导向轮与定位机构, 实现钢丝网的均匀缠绕, 是复合管增强结构的核心保障。

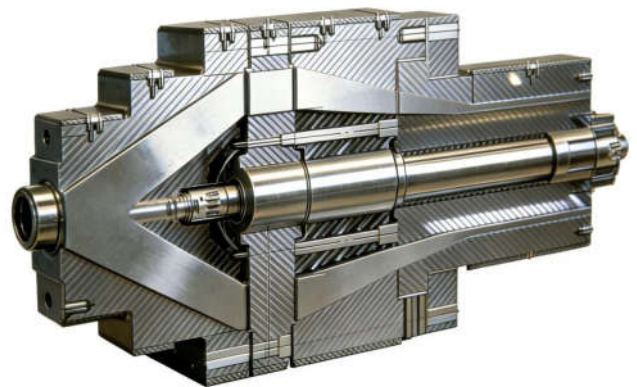


图1

1.2 各部分结构功能与工作原理

成型部件凭借精确尺寸设计与合理形状构造, 对复合管尺寸与形状进行塑造。生产时, 在挤出机螺杆旋转产生的压力推动下, PE材料通过芯管模具口模与芯模之间的间隙, 按预设形状与尺寸成型, 挤出压力一般设定在16-22MPa。加热与冷却系统通过精准控温, 影响材料流动性与成型质量。合适加热温度能让PE材料具备良好的流动性, 均匀填充模具型腔; 及时冷却促使材料快速固化, 减少收缩变形, 提升复合管尺寸精度。加热温度波动范围控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内, 冷却速度需达到5-8 $^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$ 。定位与固定装置采用机械夹紧、定位销定位等方式, 确保钢丝网在模具中位置精准。PE材料经挤出机进入芯管模具形成芯管, 芯管经过缠绕机组时, 钢丝通过缠绕模具(导丝、分丝、定位约束环)与PE芯管充分融合, 形成均匀网状增强结构。钢丝网缠绕模具(导丝、分丝、定位约束环)中, 多组导向轮的间距与角度设计直接影响钢丝网的缠绕张力与螺旋角, 进而决定复合管的环向强度; 连续挤出成型机组中, 加热烘箱、冷却风环的分段控温设计则是保证管材尺寸稳定性的关键。

1.3 现有模具结构存在的问题

成型部件（芯管模具、胶层复合模具、外PE层复合模具）在长期使用中，因与PE材料频繁摩擦，磨损速度较快。经过5000次生产循环后，成型部件尺寸精度可能下降0.2-0.5mm，导致复合管尺寸精度降低，影响产品质量。加热与冷却系统若存在设计缺陷或控制不精准，会造成加热与冷却不均匀，使复合管内部应力分布不均，当内部应力超过6MPa时，会降低产品抗开裂性能。定位与固定装置对钢丝网位置控制不够精准，易使钢丝网在生产中发生偏移，当偏移量超过1mm时，会导致复合管增强效果不均匀，部分区域强度降低20%-30%。钢丝网缠绕模具实际运行中，导向轮的磨损会导致钢丝网张力波动，进而引发缠绕偏移；连续挤出成型机组中，口模与芯模的磨损则会直接导致管材圆度偏差，这些问题均需通过结构改进予以解决。

2 模具结构改进的可行性分析

2.1 技术可行性

从成型部件改进看，当前材料科学领域已研发出多种高硬度、耐磨合金材料，例如硬度达HRC50-55的合金钢，此类材料在硬度、耐磨性、韧性等方面性能良好，能够满足成型部件长期与PE材料摩擦的使用要求^[2]。在表面处理技术方面，镀铬、氮化等工艺已成熟应用于工业生产，可有效提升成型部件表面硬度与耐磨性，镀铬能使表面硬度提高到HV900-1000，氮化处理可使表面形成0.1-0.2mm氮化物层，提升硬度至HV1000-1200。对于加热与冷却系统，新型加热元件如电磁感应加热或远红外加热技术较为成熟，能够实现高效、均匀加热；冷却系统设计方面，合理规划冷却水道布局并选用高效冷却介质，可有效提升冷却效果。定位与固定装置改进方面，专用钢丝网定位夹具设计以及卡扣式、螺栓式等固定方式在相关领域已有应用经验，可确保钢丝网位置精准与固定稳定。针对钢丝网缠绕模具，可采用耐磨陶瓷涂层处理导向轮表面，将其磨损率降低60%以上；连续挤出成型机组则可通过加装温度传感器阵列，实现加热冷却系统的闭环控制，温度波动可控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内。

2.2 经济可行性

成型部件采用更耐磨材料或进行表面处理，虽会增加一定初始成本，但从长远看，可显著延长模具使用寿命，减少模具更换频率与维修成本，降低整体生产成本。优化加热与冷却系统，提高加热效率与冷却速度，可缩短生产周期，提高生产效率，进而增加经济效益。改进定位与固定装置，提高钢丝网与PE芯管复合效果，可提升复合管质量，减少次品率，降低因产品质量问题带来的损失。以连续挤出成型机组为例，采用电磁感应

加热后，加热效率可提升30%，单根管材生产周期缩短15%；钢丝网缠绕模具导向轮的耐磨处理，可使模具维护周期从3个月延长至12个月，年维护成本降低约40%。

2.3 操作可行性

改进后的模具结构在操作上不会给生产人员带来过多困难。成型部件材料更换与表面处理在模具制造阶段完成，不影响后续生产操作。加热与冷却系统改进后，通过合理控制温度策略，生产人员可较为轻松地实现对模具温度的精准控制。定位与固定装置改进后，人工辅助定位结合简单机械定位的方式，操作简便，易于掌握。例如，钢丝网缠绕模具改进后，采用快拆式导向轮设计，更换时间从2小时缩短至30分钟；连续挤出成型机组的温度控制系统则采用可视化人机界面，操作人员仅需通过触摸屏即可完成温度参数的调整与监控。

3 模具结构改进方向与目标

3.1 改进方向

针对现有钢丝网增强PE复合管模具结构存在的问题，需从多个关键方面进行改进^[3]。成型部件生产中频繁接触PE材料，磨损突出，严重影响复合管尺寸精度与模具寿命。因此，提高成型部件耐磨性为首要改进方向，通过选用更耐磨材料或特殊表面处理工艺，增强抗磨损能力，延长寿命。加热与冷却系统对复合管成型质量起决定作用，不均匀的加热与冷却会使复合管内部产生应力，影响抗开裂性能与尺寸稳定性。优化该系统，确保热量均匀分布与及时散发，实现均匀加热冷却，是提升质量关键。定位与固定装置对钢丝网位置控制精准度，直接关系复合管增强效果，偏差会导致各部位强度不均。增强其精准控制能力，保证钢丝网准确位置，是提高力学性能重要举措。

3.2 改进目标

通过上述改进方向的实施，旨在达成一系列明确改进目标。提升复合管生产质量，使复合管尺寸精度、表面质量以及力学性能等指标显著提高，从而减少次品率，降低因产品质量问题带来的损失。提高模具使用寿命，减少模具更换频率与维修成本，进而降低整体生产成本。缩短生产周期，通过优化模具结构，提高生产过程中的稳定性与流畅性，减少生产环节中的等待时间与调整时间，最终实现生产效率的有效提升。

4 模具结构具体改进措施

4.1 成型部件改进

成型部件长期与PE材料摩擦，磨损影响模具寿命与管材质量。材料选择上，选用硬度达HRC50-55的合金钢，适配生产压力25MPa、温度180-230℃工况，兼顾耐磨、加工性能与成本。表面处理采用镀铬，使表面硬度提升至HV900-1000；氮化处理形成0.1-0.2mm氮化物层，硬度

达HV1000-1200。结构设计优化方面，口模、芯模关键部位设计可拆卸易损件，磨损时无需整体更换，降低维修成本，提高经济性。具体方案及效果如表1所示。

表1

改进类别	具体方案	关键参数	应用效果
材料选择优化	选用合金钢	硬度HRC50-55；适配生产压力15MPa、温度180-220℃	提升成型部件耐磨性，满足生产工况需求，兼顾加工性能与成本效益
表面处理工艺	镀硬铬	表面硬度提升至HV900-1000	增强抗磨损与抗腐蚀能力，延长部件使用寿命
表面处理工艺	氮化处理	形成0.1-0.2mm氮化物层；表面硬度提升至HV1000-1200	改善表面疲劳性能，降低长期摩擦下的磨损速率
结构设计优化	设计可拆卸易损件（口模、芯模关键部位）	无需整体更换成型部件	降低维修成本，提高模具使用经济性

4.2 加热与冷却系统改进

加热方式改进上，传统加热存在效率低、均匀性差的问题。采用电磁感应加热或远红外加热等新型加热元件，可直接作用于模具，减少热量传递损耗，提升加热效率，同时实现均匀加热，避免局部冷热不均，需结合生产规模、精度要求，分析各类加热方式的优缺点与适用场景，合理选型^[4]。冷却系统优化中，需根据实际生产配置调整：若配置模温机，可借助其精准控温功能，配合优化冷却水道走向与间距，保障冷却均匀性；若无需专门冷却装置，则通过优化工艺流程，搭配高效冷却介质，加快冷却速度、缩短生产周期。温度控制上，安排专人实时监测模具温度，凭经验及时调整加热或冷却功率，温度过高则降功率、强冷却，过低则提功率、弱冷却，实现模具温度精准控制，减少复合管因温度波动产生的应力不均、尺寸偏差等问题，提升产品质量。

4.3 定位与固定装置改进

钢丝网定位技术上，设计专门的钢丝网定位夹具，根据管材的规格与钢丝规格定制适配的夹具结构，确保钢丝网在钢丝网缠绕模具中的准确位置。生产时，钢丝网由多组导向轮进行连续送进与张力控制，导向轮的间距与角度经过精准计算，可使钢丝网始终保持恒定张力并均匀缠绕在芯管外侧。无需人工辅助即可实现自动对中定位，大幅提升定位精度并消除人为误差。固定方式优化方面，改进钢丝网与模具的固定方式，采用张力自适应夹紧结构替代传统卡扣式、螺栓式固定，通过实时监测钢丝网张力并动态调整夹紧力，确保钢丝网在高速挤出过程中不发生轴向或周向位移，同时避免刚性固定导致的钢丝网变形。不同固定方式影响钢丝网与PE芯管的结合紧密程度及复合管力学性能，需结合实际生产中的强度测试结果，选用结合效果更优的固定方式。

4.4 模具出口结构改进

在挤出工艺里，芯管模具、胶层复合模具、外PE层复合模具出口结构对管材成型质量影响显著。针对出口

流道设计，可采用渐变式流道结构。这种结构能使熔融物料在挤出过程中流动更平稳，有效减少因流动不畅产生的内应力，避免管材出现扭曲、变形等问题。渐变式流道的收缩角度一般控制在15°-25°，能较好地平衡物料流动速度与压力分布。对于口模与芯模的间隙设计也至关重要。合理的间隙能保证管材壁厚均匀，根据管材规格，将间隙精度控制在±0.05mm以内。间隙过小，物料挤出阻力大，易造成管材内壁粗糙；间隙过大，则管材壁厚不均，影响使用性能。此外，在模具出口处设置冷却定型装置。通过合理布置冷却水路，控制冷却水流量与温度，使管材在挤出后迅速定型。一般冷却水温度控制在15-22℃，能提高管材的尺寸稳定性。在实际生产中，根据不同规格管材的挤出情况，对模具出口结构参数进行微调，确保管材质量符合标准要求。

结束语

通过对钢丝网增强PE复合管模具结构的深入分析，针对现存问题制定并实施一系列改进措施，在复合管生产质量、模具使用寿命及生产效率提升方面成效显著。改进后的模具结构有效降低产品次品率，减少生产成本，提升生产过程的稳定性与流畅性。后续将持续跟踪模具实际运行状态，结合生产反馈进一步优化结构设计，维持模具优良性能，为钢丝网增强PE复合管高质量生产提供坚实支撑。

参考文献

- [1]张杰.复杂荷载作用下钢丝网骨架聚乙烯复合管力学性能研究[J].建筑技术开发,2022(17):92-95.
- [2]杜新国.钢丝网骨架聚乙烯复合管法兰连接结构的研究与应用[J].建筑技术开发,2022,49(15):108-111.
- [3]杜新国,王清标,胡忠经,等.复杂条件下钢丝网骨架聚乙烯复合管施工技术分析[J].建筑技术开发,2022,49(19):66-68.
- [4]邹修敏,胡飞.钢丝网骨架聚乙烯复合管弯曲特性及制备工艺[J].塑料工业,2024,52(11):28-35,54.