



陈帅雨, 翟志文, 张亚明, 等. 充电桩线缆聚醚型聚氨酯护套挤出问题分析[J]. 电线电缆, 2025, 68(12): 61-68.

CHEN S Y, ZHAI Z W, ZHANG Y M, et al. Analysis of extrusion challenges in polyether-based polyurethane sheaths for charging pile cables[J]. Wire & Cable, 2025, 68(12): 61-68.

DOI: [10.16105/j.dxdl.1672-6901.20250071](https://doi.org/10.16105/j.dxdl.1672-6901.20250071)

充电桩线缆聚醚型聚氨酯护套挤出问题分析

陈帅雨¹, 翟志文¹, 张亚明¹, 海旭强², 张启龙², 王娇娇³, 杨 来⁴

(1. 广东南缆电缆有限公司, 广州 510545; 2. 比亚迪股份有限公司, 深圳 518000; 3. 中汽研新能源汽车检验中心(天津)有限公司, 天津 300000; 4. 峰飞航空科技(昆山)有限公司, 昆山 215300)

摘 要: 大多数充电桩线缆采用聚醚型热塑性聚氨酯(thermoplastic polyurethane, TPU)护套。文中针对 TPU 护套的常见表面质量问题, 结合 TPU 护套的材料特性、挤出机理, 分析其影响因素, 并对相应典型质量问题的解决方案进行实践验证。结果表明, TPU 对挤出温度、挤出压力和剪切率均较为敏感, 优化后可显著减少 TPU 护套挤出的质量问题, 为 TPU 在充电桩线缆中的应用提供了理论依据和实践指导。

关键词: 充电桩线缆; 热塑性聚氨酯; 电缆护套

中图分类号: TM247.9

文献标志码: A

文章编号: 1672-6901(2025)12-0061-08

0 引 言

随着新能源汽车产业的蓬勃发展, 充电桩作为关键支撑基础设施, 其安全性与可靠性已成为全社会关注的焦点。充电桩线缆作为电能传输的核心部件, 其性能优劣直接决定了充电效率和系统安全。传统线缆材料在耐候性、耐磨性和柔韧性等关键性能指标上存在明显不足, 难以满足充电枪向超快充、智能化及轻量化发展的技术需求。热塑性聚氨酯(thermoplastic polyurethane, TPU)作为一种高性能弹性体材料, 凭借其优异的耐磨性、高强度、耐腐蚀性和耐候性能(如耐磨性优于聚氯乙烯约 10 倍, 耐温范围可达-40~125 ℃, 兼具良好的柔韧性和抗撕裂性), 在电线电缆领域, 特别是充电桩线缆应用中, 展现出显著的技术优势和广阔的应用前景。

然而, 在 TPU 护套充电桩线缆生产过程中, TPU 材料的挤出工艺面临严峻挑战。TPU 材料对挤出过程中的温度、压力及剪切速率等参数高度敏感, 工艺窗口较窄。这直接导致了生产过程中线缆表面粗糙、尺寸波动、表面凹痕、磨砂效果、内部气泡, 甚至断裂等质量问题频发, 不仅显著影响产品的合格率与成本, 更严重制约了 TPU 材料在高性能充电桩线缆中应用潜力的充分发挥及其可靠性保障。

因此, 本工作深入探讨 TPU 材料在充电桩线

缆挤出过程中出现的典型质量问题及其成因。通过行业实践经验和科学分析, 设计并实施针对性的试验方案, 系统观察工艺参数调整对质量问题的改善效果。本工作旨在揭示 TPU 挤出工艺的关键控制点, 为优化生产工艺、提升线缆性能的一致性与可靠性提供科学依据, 从而有效推动 TPU 材料在高品质充电桩线缆中的规模化应用, 助力新能源汽车充电基础设施的技术升级与安全保障。

1 TPU 材料特性及挤出工艺要求

TPU 电缆护套材料通常由热塑性聚氨酯树脂、增塑剂、阻燃剂、稳定剂等多种组分经配混加工制备。材料的挤出质量受挤出机型、挤出温度、螺杆参数(类型、直径、压缩比、长径比)、挤出压力及剪切速率等多因素影响, 且对挤出压力与剪切速率尤为敏感。

1.1 TPU 材料特性

充电桩线缆护套材料常采用聚醚型 TPU^[1]。聚醚型 TPU 的分子链呈(AB)_n 型嵌段线性结构: 软段(A)为聚醚多元醇, 如聚乙二醇(polyethylene glycol, PEG)、聚四氢呋喃(polytetramethylene ether glycol, PTMEG), 分子量为 1000~6000; 硬段(B)含丁二醇; 两者通过二异氰酸酯连接, 分子式可表示为[OCNH—RNHCO—OR'—O]_n, 其中, R、R' 为聚醚多元醇类型变化的基团。鉴于行业应用

主导性, 本工作聚焦于聚醚型 TPU^[2-3]。

1.2 TPU 材料挤出工艺要求

为阻隔 TPU 熔体中的杂质进入眼模, 在挤出机头安装多孔板及孔径为 125~180 μm 的滤网。此装置兼具过滤杂质与适度提升机头熔体压力的双重作用, 有助于增强熔体强度, 改善挤出成型稳定性。剪切速率表征材料流动时的剪切变形速率, 显著影响挤出质量。控制不当易导致熔体黏度波动, 进而影响产品外观与内在性能。本工作通过以下关键工艺优化 TPU 对剪切速率的敏感性^[4]。

1) 温度控制: 采用分区梯度控温策略。加料段至计量段温度递增, 确保充分塑化; 计量段至眼模温度递减, 以提升熔体强度, 减少表面黏性。

2) 螺杆设计: 选用渐变型螺杆。螺槽深度由加料段向计量段渐浅, 优化能量传递与物料输送。加料段深槽利于喂料, 后续渐变实现物料的渐进压实、熔融与均化。

3) 螺杆转速: 控制在 20~60 $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 范围。转速过高易引起热分解, 过低则易因滞留时间延长导致降解。

4) 干燥处理: 挤出前于 95~110 $^{\circ}\text{C}$ 下干燥约 3 h, 消除水分影响, 防止熔体降解及由此导致的挤出性能劣化、线缆机械性能下降及外观缺陷。

交流充电桩线缆的 TPU 护套挤出设备通常

采用 $\phi 70\sim\phi 100$ 机型, 其中螺杆设计为渐变型, 以适应 TPU 材料的特性。螺杆的压缩比一般控制在 3.0~3.5 之间, 而长径比则保持在 25~30 范围^[5]。压缩比的设置需要极为谨慎: 过高可能增加剪切热, 引发 TPU 的降解或变色; 过低则可能导致物料塑化不充分, 影响产品的均匀性和整体质量。同样, 长径比的选择也需要仔细权衡挤出稳定性与塑化效果: 过大可能导致挤出过程不稳定, 过小则可能使塑化效果不佳, 影响产品的均匀性。

基于挤出稳定性与塑化效果要求, 选用 $\phi 90$ 挤出机, 其螺杆压缩比设定为 3.2, 长径比为 28。该配置在保障稳定挤出的同时, 可确保物料充分塑化, 为后续分析提供可靠的工艺基础。

2 TPU 常见挤出质量问题

鉴于 TPU 在挤出过程中质量缺陷频发, 如挤出时眼模处存在流延、机头或温度不合适引起的合胶缝、冷却不充分的护套间擦痕、护套表面凹痕、磨砂效果频繁变化、成缆及包带纹路突出、磨砂颗粒度不均, 以及挤出温度引起的护套色差等众多问题^[6]。本工作选取 3 种典型问题进行深入剖析, 典型问题示意图见图 1。通过对这些问题的详细研究, 追溯问题根源, 并提出有效的解决方案, 以进一步提升 TPU 护套在交流充电桩线缆中的应用效果。



图 1 TPU 常见挤出质量问题: (a) 护套表面凹痕; (b) 护套表面磨砂效果频繁变化; (c) 护套表面磨砂颗粒度不均
Fig.1 Schematic diagram of common extrusion quality problems of TPU: (a) Sheath surface dents; (b) Frosted effect of the sheath surface changing frequently; (c) Uneven frosted particle size of the sheath surface

3 原因分析及解决方案

本工作通过系统分析与试验验证, 揭示 3 种典型质量问题的根本成因, 并据此提出有效的解决方案。

3.1 护套表面凹痕问题

护套表面凹痕是电缆外护套生产过程中一种显著的质量缺陷, 护套表面凹痕故障分析树见图 2。在 TPU 护套的挤出过程中, 护套表面偶发

连续凹痕, 见图 1(a)。观察生产现场发现, 这一现象并非在整个挤出过程中持续存在, 而是呈现间歇性的特点。为深入探究这一质量缺陷的成因, 开展系统分析与排查工作。

3.1.1 材料与护套表面凹痕

为了验证“材料内部成分不稳定或含有杂质可能导致护套表面产生凹痕”的假设, 团队进行了深入分析。考虑到凹痕现象在同一批次 TPU

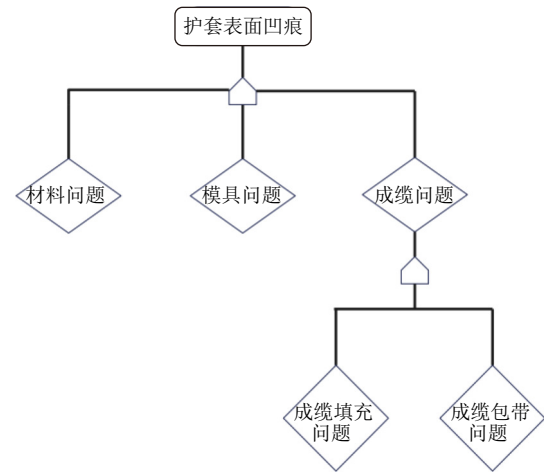


图 2 护套表面凹痕故障分析树
Fig.2 Fault tree analysis of sheath surface dents

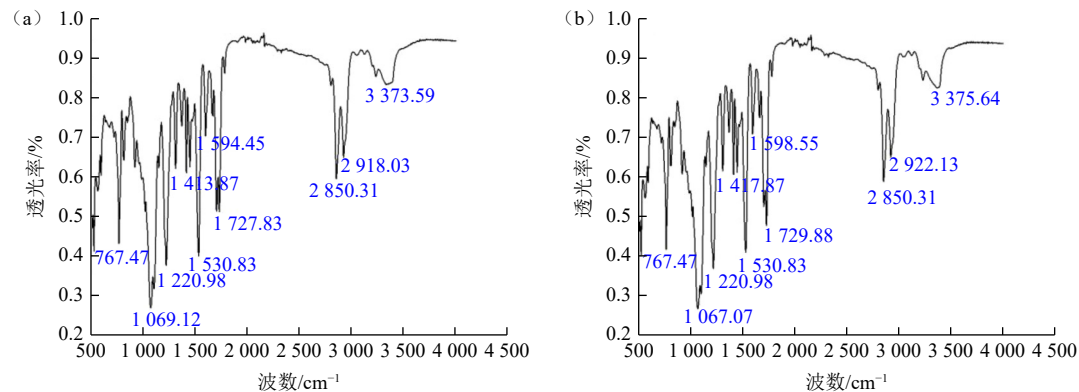


图 3 TPU 样品红外光谱分析:(a)凹痕表面; (b)正常表面
Fig.3 Infrared spectrum analysis of TPU samples: (a) Surface dents; (b) Normal surface

为了进一步验证材料内部成分是否发生局部变化,从而影响表面质量,对两组样品进行抗张强度和断裂伸长率测试,同时通过测试样品正反面以避免因机头上下温度差造成的数据偏差,测试结果见表 1。其中,样品的厚度均为 1.0 mm,宽度均为 4.0 mm。通过对比两组样品的力学性能,可以更深入地了解材料内部成分的稳定性及其对表面质量的影响。若两组样品的力学性能存在显著差异,则可能表明材料内部成分在局部发生了变化,这种变化可能是导致凹痕产生的原因之一。

由表 1 可知,凹痕表面样品的抗张强度均值和断裂伸长率均值(31.9 MPa, 632%)与正常表面样品(32.3 MPa, 635%)差异极小。对凹痕表面样品和正常表面样品的抗张强度和断裂伸长率进行方差计算可知,凹痕表面样品抗张强度和断裂伸长率的总体方差(0.2514, 171.9)与正常表面样品(0.7269, 39.5)相比,两组样品在抗张强度和断裂伸长率上的变异性存在差异,但均值差异的幅度

材料中仅为偶发,而非持续出现,初步推测材料内部成分不稳定的因素应该不是造成凹痕现象的主要原因。为了进一步排除该可能性,选取凹痕表面的 TPU 护套样品(样品 1、样品 2、样品 3)和正常表面的 TPU 护套样品(样品 4、样品 5)进行对比分析。

采用红外光谱分析技术对凹痕表面样品(样品 2)与正常表面样品(样品 4)进行检测,以探究两组样品是否存在杂质或材料差异,TPU 样品红外光谱分析结果见图 3。由图 3 可知,凹痕表面样品和正常表面样品的光谱特征几乎一致,未出现明显的杂质信号。这一结果表明,杂质并非导致护套表面凹痕的原因。

相对较小。

综合红外光谱和力学测试结果,可确认 TPU 护套材料的成分没有发生改变。对多批次 TPU 材料进行熔体指数测试,稳定在 $16\text{ g}\cdot(10\text{ min})^{-1}$,

表 1 电缆护套力学性能对比测试结果
Tab.1 Comparative analysis of mechanical properties for TPU cable sheaths

样品		断裂伸长率/%	拉断力/N	抗张强度/MPa
凹痕表面	样品 1 正面	612	124.0	31.0
	样品 1 反面	623	128.8	32.2
	样品 2 正面	653	126.4	31.6
	样品 2 反面	642	127.6	31.9
	样品 3 正面	631	130.0	32.5
	样品 3 反面	629	129.2	32.3
正常表面	样品 4 正面	626	131.2	32.8
	样品 4 反面	643	133.6	33.4
	样品 5 正面	638	125.6	31.4
	样品 5 反面	633	126.0	31.5

可以确定护套表面凹痕问题并不是由材料内部成分变化导致。

3.1.2 模具与护套表面凹痕

在欧标交流充电桩线缆的 TPU 护套挤出过程中, 挤压模具的选择和使用至关重要^[6]。根据生产配模经验, 通常情况下, 内模的尺寸会设定为成缆外径加上 0.2~0.3 mm, 而外模的尺寸则是线缆成品外径加上 0.2 mm。然而, 这种设计往往会产生较高的模内压力, 有可能导致成缆内部成分发生位移, 进而在护套表面形成凹痕。

为了验证这一假设, 其他所有工况条件不变, 并同时确保护套的圆整度, 采用半挤压式模具进行试验。试验结果显示, 护套表面凹痕深度有所减小, 但并未完全消除凹痕现象。这表明, 虽然模具压力对凹痕的产生有一定影响, 但并不是导致凹痕出现的根本原因。因此, 可以排除模具是引发护套表面凹痕的主要原因。

3.1.3 成缆与护套表面凹痕

基于护套表面凹痕的形状特征, 成缆可能是导致这一质量问题的主要因素。本工作从成缆线芯的两个潜在问题(填充不均和包带松散)展开详细分析。

1) 填充不均。缆芯采用多根芯线绞合结构, 在线芯间填充聚丙烯绳以确保其圆整度, 这是线

缆制造中的常见做法。若填充不足或不均匀, 有可能导致护套材料在挤出过程中内陷, 从而形成凹痕。为了验证这一假设, 对多根存在凹痕的线缆样品进行解剖和观察。在解剖过程中, 观察凹痕处的成缆线芯圆整度和填充材料状态。结果显示, 凹痕处的成缆线芯保持良好; 同时, 填充材料也呈现均匀且完整的填充状态, 无明显缺陷或不足。基于上述观察结果, 可以排除填充不均是护套表面凹痕的成因。这意味着, 尽管填充不足或不均可能导致凹痕的形成, 但在本工作观察的样本中, 这并不是导致护套表面凹痕的主要原因。

2) 包带松散。在成缆线芯的绕包过程中, 使用厚度为 0.06 mm 的无纺布作为包带材料。观察发现, 凹痕处的包带相对松散, 绕包不紧密, 而正常线缆的成缆线芯包带绕包紧密且无松散现象。为验证包带松散与凹痕的因果关系, 开展以下试验。

试验过程: ①选取相同规格、结构的芯线, 确保试验条件一致; ②制备两个成缆样品(样品 6 和样品 7); ③其他参数不变的工况下, 使用挤压式模具对缆芯进行 TPU 护套挤出。其中, 样品 6 绕包张力控制较小, 包带较为松散, 见图 4(a); 样品 7 绕包张力控制较大, 包带绕包紧密, 见图 4(b)。

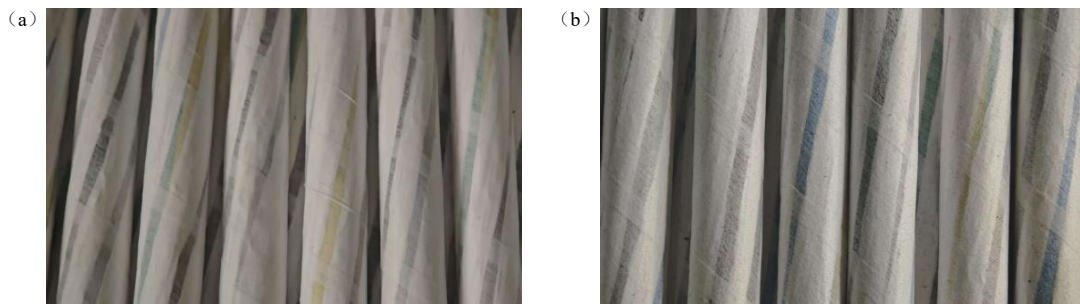


图 4 成缆线芯示意图:(a) 绕包松散; (b) 绕包紧密

Fig.4 Schematic diagram of cabled core: (a) Loosely wrapped; (b) Tightly wrapped

试验结果: 样品 1 护套表面一直出现凹痕, 而样品 2 护套表面未出现凹痕。

由上述试验可知, 护套表面凹痕是由于成缆时绕包带松散造成的, 而绕包带松散的原因有以下 3 个: ①绕包头的张力不均匀; ②绕包带宽度与成缆线芯外径不匹配; ③成缆收线时排线杂乱, 压线导致包带松散。

3.1.4 护套表面凹痕解决方案

通过对 TPU 材料内部成分、挤出模具和成缆线芯进行分析和验证, 最终确认护套表面凹痕的产生主要归因于成缆包带的松散状态。通过

优化绕包头张力, 在绕包时张力均匀、选择合适的绕包带宽度, 并注意成缆收线的压线问题, 基本可以解决 TPU 护套表面凹痕问题。

3.2 护套表面磨砂效果频繁变化问题

在 TPU 护套材料的挤出起始阶段, 护套表层磨砂效果的动态演变尤为显著, 见图 1(b), 其经历了由较为粗犷的磨砂质地逐步过渡至细腻磨砂状态, 乃至近乎无磨砂颗粒的平滑表面或微磨砂外观的复杂变迁。该变化历程通常延续约 0.5 h 后趋于平稳, 该质量波动现象在生产过程中造成了极大的材料浪费。鉴于护套表层磨砂效果频

繁波动的实际情况,对 TPU 护套表面磨砂效果频繁变化问题进行分析,其故障分析树见图 5。

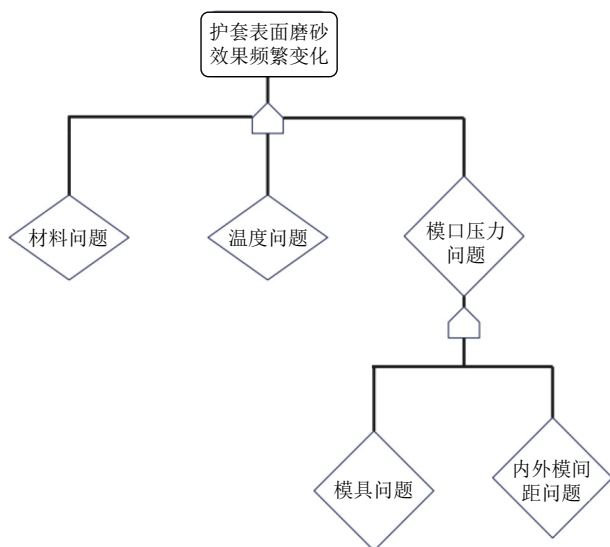


图 5 护套表面磨砂效果频繁变化故障分析树

Fig.5 Fault tree analysis for frosted effect of the sheath surface changing frequently

3.2.1 材料与护套表面磨砂效果

若护套表面磨砂效果频繁变化源于 TPU 材料内部成分的固有缺陷,则该波动理应贯穿整个挤出过程,而非随时间推移趋向稳定。为进一步探究,对来自不同供应商的 TPU 材料进行试验验证。试验结果表明,在挤出初期所有材料均展现出相似的磨砂效果变化,说明该问题的出现与材料批次无直接关联。据此,可排除材料内部成分是导致护套表面磨砂效果频繁变化的主要原因。

3.2.2 温度与护套表面磨砂效果

在 TPU 材料的挤出过程中,机夹、机颈、机头及眼模的设定温度依次为 188, 184, 181, 165 °C。一般而言,磨砂效果的调控主要依赖于对眼模温度的精细调节,适度降低眼模温度 2~3 °C,磨砂颗粒趋于粗化;反之,提高温度则导致颗粒细化。然而,值得注意的是,眼模温度的调整对表面质感的改善仅局限于一定范围内,且当温度达到稳定状态后,磨砂效果亦随之固定,不再发生显著变化。该现象与挤出初始阶段磨砂效果频繁波动的特征明显不符,故可排除挤出温度是导致护套表面磨砂效果频繁变化的主要原因。

3.2.3 模口压力与护套表面磨砂效果

通过文献回顾与分析^[5],发现模口挤出压力亦是影响 TPU 护套材料表面磨砂效果的关键因素之一。进一步探究显示,挤出模具的构造特性和模间距(模芯与模套之间的间距)对模口挤出压力具有显著影响,从而间接作用于护套表面的磨砂效果。

为验证上述假设,选取同一规格的线缆作为试验对象,分别采用挤压模具、半挤压模具及挤管模具进行 TPU 材料的挤出试验,结果见图 6。由图 6 可知,尽管不同模具条件下护套表面磨砂效果呈现一定程度的差异,但在挤出初始阶段,磨砂效果的频繁变化现象普遍存在。因此,可排除模具特性与护套表面磨砂效果频繁变化间的关联关系。



图 6 不同挤出模具挤出的护套表面示意图:(a)挤压模具;(b)半挤压模具;(c)挤管模具

Fig.6 Schematic diagram of sheath surface extruded by different extrusion molds: (a) Extrusion die; (b) Semi-squeeze die; (c) Tubing die

内外模间距作为调控机头压力的核心参数,在 TPU 护套材料挤出过程中扮演着重要角色,通常该间距被设定为 2~3 mm。为了深入探究内外模间距对磨砂效果的影响,将其调整至 4~5 mm,则护套表面磨砂效果见图 7。由图 7 可知,经过调整,挤出初始阶段原本存在的磨砂效果频繁变化现象得以消除,整个挤出过程中护套表面磨砂效果高度稳定。由此可以确定,较小的内外模间

距(2~3 mm)所引发的模口挤出压力不足,是导致护套表面磨砂效果频繁变化的核心原因。

3.2.4 护套表面磨砂效果解决方案

通过对 TPU 材料内部成分、挤出温度及模口挤出压力进行分析和验证,最终确定护套表面磨砂效果频繁变化是由于内外模间距较小,导致挤出压力不足,通过调整内外模间距至 4~5 mm 即可显著增强挤出过程的稳定性,从而解决护套

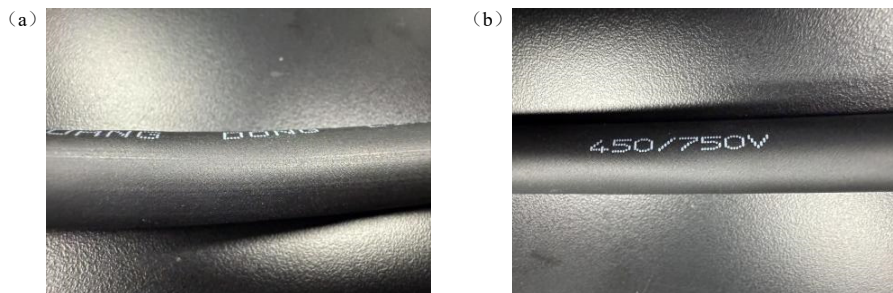


图7 不同内外模间距挤出的护套表面示意图:(a)内外模间距为2~3 mm;(b)内外模间距为4~5 mm

Fig.7 Schematic diagram of the sheath surface extruded with different mold spacings: (a) Module spacing of 2-3 mm; (b) Module spacing of 4-5 mm

表面磨砂效果频繁变化的问题。

3.3 护套表面磨砂颗粒度不均问题

TPU材料在挤出时偶尔会出现颗粒度不均问题,见图1(c)。所谓磨砂颗粒度不均就是护套表面一半磨砂颗粒粗,一半磨砂颗粒细,且在整个挤出过程中保持稳定。为了查明成因,对TPU护套材料表面磨砂颗粒度不均问题进行分析,其故障分析树见图8。

3.3.1 材料与护套表面磨砂颗粒度

若上述假设正确无误,即内外模间距不当导致的模口压力波动是引发护套表面磨砂效果非均匀变化的主因,那么材料内部的潜在缺陷理应导致磨砂效果在护套表面随机散布,而非形成界限清晰的粗磨与细磨区域。为了对这一假设进行验证,对磨砂颗粒度不均现象中的粗磨砂区与细磨砂区的TPU样品进行红外光谱分析,结果见图9。由图9可知,两个区域的TPU样品呈现高度一致的光谱特征,未检出任何杂质成分或材料上的差异,有力证明了磨砂颗粒度不均现象并非源于材料内部成分的固有缺陷。

3.3.2 温度与护套表面磨砂颗粒度

一般而言,粗磨砂颗粒的形成往往与塑化过

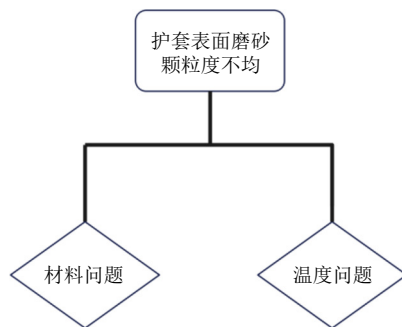


图8 护套表面磨砂颗粒度不均故障分析树

Fig.8 Fault tree analysis for uneven frosted particle size of the sheath surface

程中的低温状态相关,而细磨砂颗粒则可能对应正常或较高的塑化温度。为了验证这一假设,核查挤出设备各关键部位的温度(机夹、机颈、机头、眼模分别为188, 184, 181, 165℃),所有显示温度均符合既定的工艺规范。然而,磨砂颗粒度不均现象所呈现的分区特征暗示了可能存在局部温度偏差的问题。

为进一步探究,采用热电偶进行温度测量。结果显示,机头下半部的加热连接器存在接触不良的情况,这导致了该区域的实际温度低于预设

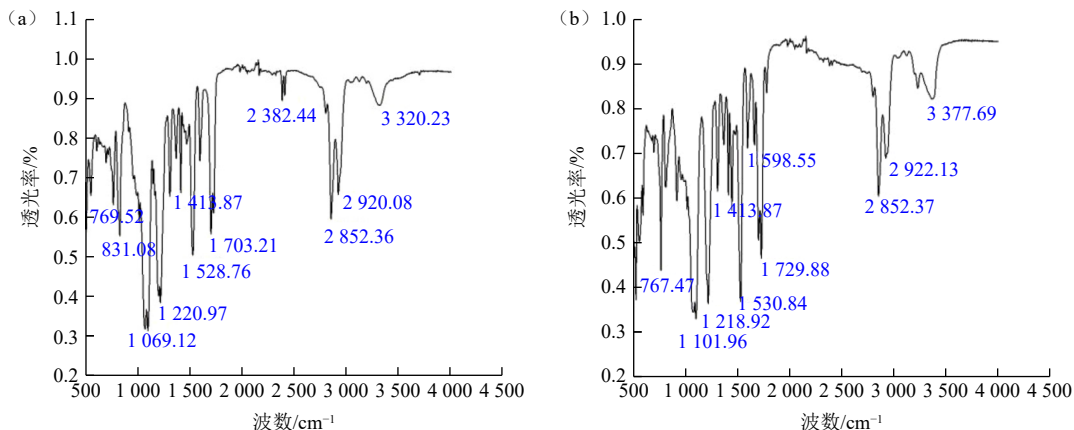


图9 磨砂颗粒度不均TPU样品红外光谱分析:(a)粗磨砂;(b)细磨砂

Fig.9 Infrared spectroscopy analysis of TPU samples with uneven frosted particle size: (a) Coarse frosted; (b) Fine frosted

值。这一温差进而造成了机头下半部护套的塑化不充分,形成了较粗的磨砂颗粒。

3.3.3 护套表面磨砂颗粒度解决方案

通过对 TPU 材料内部成分、挤出温度进行分析和验证,最终确定护套表面磨砂颗粒度不均是由于机头局部温度偏差导致,在对机头加热系

统进行针对性修复后,护套表面磨砂颗粒度不均现象得以消除。由于 TPU 材料对加工温度较为敏感,需要对挤出设备各区的温度进行定期校准,才能够保证 TPU 护套表面磨砂效果的稳定。

本工作重点研究了 3 种典型质量问题的成因与解决方案,结果汇总见表 2。

表 2 问题原因及解决方案汇总
Tab.2 Summary of problem causes and solutions

质量问题	原因分析	原因确定	解决方案
护套表面凹痕	①材料内部成分的稳定性及杂质含量; 成缆时绕包带松散 ②不同结构挤出模具; ③成缆问题		①优化绕包头张力,在绕包时控制张力均匀; ②选择合适的绕包带宽度; ③注意成缆收线时压线问题
护套表面磨砂效果 频繁变化	①材料内部成分变化; ②挤出温度变化; ③不同模口压力	挤出模口压力较小	通过调整内外模间距,加大模口挤出压力,可以显著增强TPU挤出过程的稳定性
护套表面磨砂 颗粒度不均	①材料内部成分变化; ②挤出温度变化	机头局部温度偏差	定期对挤出设备各区温度进行校准

4 结束语

对 TPU 护套材料在挤出加工中表现出的复杂特性进行研究,其挤出问题成因常涉及设备、工艺、线芯等多方面因素。本工作为 TPU 在充电桩线缆生产中的规模化应用提供了坚实的理论支撑和实践指导,可有效提升线缆产品的质量与生产效率,从而助力新能源汽车充电基础设施的快速发展。未来研究可深入探索 TPU 特性与挤出参数的定量关系,或引入先进自动化控制技术,从而进一步提升工艺的稳定性 and 可控性。

参考文献 References

[1] 孙刚伟, 严波. 低烟无卤阻燃热塑性聚氨酯弹性体护套料的改性 [J]. 电线电缆, 2024, 67(5): 58-62.
SUN G W, YAN B. Modification of low-smoke halogen-free flame retardant thermoplastic polyurethane elastomer sheath material[J]. Wire & Cable, 2024, 67(5): 58-62.

[2] 胡志刚. 无卤阻燃聚醚型聚氨酯材料的研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
HU Z G. Studies on halogen-free flame retarded polyether-based polyurethane[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.

[3] 高祥萍. 电线电缆护套用醚型聚氨酯热塑弹性体 [J]. 电线电缆, 1980(3): 15-16.

GAO X P. Ether-type polyurethane thermoplastic elastomer for wire and cable sheathing[J]. Wire & Cable, 1980(3): 15-16.

[4] 李增滋, 杨建军, 查刘生. 聚氨酯特种电缆材料的研究 [J]. 安徽大学学报 (自然科学版), 1989(3): 51-58.
LI Z Z, YANG J J, ZHA L S. Study on the special cable material of the polyurethane[J]. Journal of Anhui University (Natural Science Edition), 1989(3): 51-58.

[5] 刘辉, 陆根生. 聚氨酯电缆护套料的性能及其挤出工艺 [J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2008(5): 17-18.
LIU H, LU G S. Properties and extrusion process of TPU cable sheath compound[J]. Optical Fiber & Electric Cable and Their Applications, 2008(5): 17-18.

[6] 胡玮, 岳红涛. 热塑性聚氨酯弹性体在电缆护套上的应用 [J]. 电线电缆, 2010(6): 28-30.
HU W, YUE H T. Application of thermoplastic urethane elastomer in cable sheathing[J]. Wire & Cable, 2010(6): 28-30.

收稿日期: 2025-04-06
修回日期: 2025-08-18
作者简介: 陈帅雨 CHEN Shuaiyu
1993—, 男, 高级工程师
主要从事电线电缆相关工作
E-mail: 2476221814@qq.com

Analysis of Extrusion Challenges in Polyether-Based Polyurethane Sheaths for Charging Pile Cables

CHEN Shuaiyu¹, ZHAI Zhiwen¹, ZHANG Yaming¹, HAI Xuqiang², ZHANG Qilong²,
WANG Jiaojiao³, YANG Lai⁴

(1. Guangdong Line Giant Cable Co., Ltd., Guangzhou 510545, China; 2. BYD Co., Ltd., Shenzhen 518000, China; 3. China Automotive Research New Energy Vehicle Inspection Center (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin 300000, China; 4. Autoflight (Kunshan) Co., Ltd., Kunshan 215300, China)

Abstract: Most charging pile cables adopt polyether-type thermoplastic polyurethane (TPU) sheaths. Focusing on common surface quality problems of TPU sheaths, influencing factors were analyzed by combining material characteristics and extrusion mechanism of TPU sheaths, and relevant solutions to typical quality problems were also proposed and verified in practice. Results showed that TPU was highly sensitive to extrusion temperature, extrusion pressure and shear rate, TPU extrusion can be significantly reduced after optimization, which could provide theoretical basis and practical guidance for the application of TPU in charging pile cables.

Key words: charging pile cable; thermoplastic polyurethane; cable sheath