

热挤 HDPE 护套在桥梁缆索防护中的应用

叶觉明

(中铁大桥局桥梁科学研究院, 武汉 430034)

摘要 选择热挤高密度聚乙烯 (HDPE) 护套对桥梁缆索索体进行防腐保护, 介绍热挤 HDPE 护套的成型工艺及性能。结合工程实践, 探讨热挤 HDPE 护套的成型缺陷及应用中的变色、老化和龟裂、破坏和修补、质量检验等问题, 并提出了相应的解决措施。

关键词 高密度聚乙烯 桥梁缆索 热挤 护套 防腐 应用

桥梁的缆索系统是现代大跨度桥梁, 如悬索桥、斜拉桥和拱吊桥的主要承重结构, 也可以说是桥梁的生命索。缆索系统长期承受动载和静载, 暴露在风雨、潮湿和污染空气的环境中, 既受“应力腐蚀”、疲劳腐蚀”, 又受“金属腐蚀”作用, 很容易遭受腐蚀破坏, 一旦发生腐蚀, 后果不堪设想。国内外已有桥梁缆索破坏失效的实例, 引起的安全事故和经济损失是非常严重的。

桥梁缆索一般是由钢丝、钢绞线、钢丝绳等与锚具组成, 按索体结构分, 主要有平行(半平行) 钢丝绳、钢绞线索、钢丝绳索几类。缆索防腐一直是人们关注的问题, 缆索索体防护主要应用的是类似于电线电缆技术的防护方法, 如热挤 HDPE 护套防护的平行钢丝绳索、HDPE 套管防护的平行钢绞线索。表 1 列出几种索体结构的防护体系^[1]。

表 1 缆索索体防护体系

索体结构	基本防护	外层防护
平行钢丝绳	热镀锌钢丝	热挤黑 HDPE 护套 热挤 HDPE + PUR 护套 ¹⁾ 热挤黑 HDPE + 彩色 HDPE 护套 ¹⁾
平行钢绞线索	钢绞线 + 油脂或石蜡 + 热挤 HEPE 护套 镀锌钢绞线 + 油脂或石蜡 + 热挤 HDPE 护套 环氧涂层钢绞线	HDPE 套管

注: 1) 分层热挤。

国内使用较多的是平行钢丝绳, 这种缆索是将若干根钢丝同向轻度扭绞并用包带扎紧, 再在最外层直接热挤 HDPE 护套作防护。图 1 为某缆索横断面示意图^[2]。这种缆索挠曲性能好, 可以盘绕, 具备长途运输的条件, 宜在工厂中机械化生产。平行钢绞线索常用的防护方法是, 将填充石蜡外挤 HDPE 护套的镀锌钢绞线平行锚固, 外套 HDPE 套管作防护。笔者主要介绍热挤 HDPE 护套的性能及

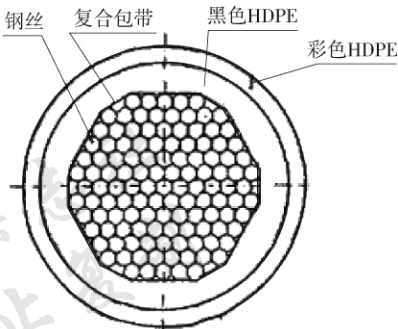


图 1 缆索横断面示意图

其在桥梁缆索防护应用中存在的问题。

1 HDPE 的性能

在选取缆索的护套材料时, 材料的耐环境应力开裂性是一项很重要的性能指标, 因为当弯曲半径较小时, 在环境应力作用下, 缆索护套很容易产生开裂, 从而影响缆索护套的使用寿命。HDPE 具有密度较大, 力学强度、熔点和硬度较高的特点, 同时可应用各种先进技术改善和提高 HDPE 的其它性能。实际应用的是以 HDPE 为基料的缆索热挤护套用料, 其中都含 2.5% 左右的炭黑并已加入了抗氧剂以保持 HDPE 加工和成型后的热稳定性, 使之具备吸湿性小、耐磨性好、耐寒性好、耐化学药品性好、易加工及良好的耐环境应力开裂性等优点。

2 热挤 HDPE 护套

图 2 为缆索热挤 HDPE 护套生产装置示意图。热挤 HDPE 护套主要采用挤出成型(挤塑) 工艺。利用挤出机, 借助柱塞或螺杆的挤压作用, 使受热熔化的 HDPE 连续通过口模成型。为保证连续成型, 需要有挤塑设备和牵引设备(滚轮式或履带式), 还要有定型和必要的后处理工艺。为减小大规格缆索的风雨振动问题, 有时还在热挤 HDPE 护套表面设置螺旋筋(或在索体表面压花) 减振。

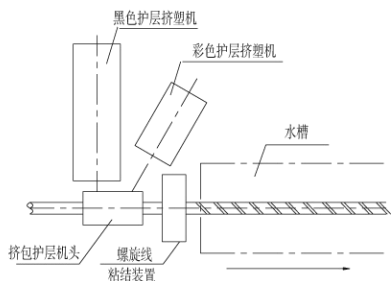


图2 缆索热挤HDPE护套生产装置示意图

缆索护套所用材料一般为黑色HDPE,加工过程就是将配好的HDPE颗粒经过挤塑设备和模具加热熔融挤制到缆索钢丝束(或钢绞线、钢丝绳)表面,再经过水槽冷却定型而成。HDPE是一种高结晶性的聚合物,HDPE护套在热挤加工和冷却过程中都存在一定的拉伸定向,这种拉伸定向一般发生在HDPE的熔点和玻璃化转变温度之间,拉伸定向程度与所选用的挤塑模具、挤塑温度、牵引速度和冷却水温有关。要消除护套的收缩应力就应适当控制HDPE分子的定向程度,提高HDPE的结晶度,实际操作中消除护套收缩应力的关键是控制冷却的速率。

HDPE挤塑时温度要求较高,护套内应力较容易集中,要采用梯度冷却的方法设置多个不同温度的水槽分级冷却来消除应力,但冷却水槽的水温过高有可能形成气泡而导致护套表面产生凹凸不平的缺陷,所以冷却水温和冷却温度梯度要设置合理。如果挤塑温度太低,会因塑化不好而产生应力开裂。在挤塑前HDPE一定要充分干燥,而且挤塑时剪切力不要太大,否则护套表面会不光滑,还容易产生气孔及针眼等缺陷。在实际的热挤HDPE护套加工过程中应严格控制挤塑温度和牵引速度,尽量减少HDPE的拉伸。冷却过程特别要注意第1节水槽水温的控制。

热挤HDPE护套的主要优点体现在:(1)耐腐蚀性。HDPE为惰性材料,除少数强氧化剂外,可耐多种化学介质的侵蚀,无电化学腐蚀,不需要另外的防腐层。(2)密实性。热挤HDPE护套可以连续成型,在索体表面形成密实的连续防护层。(3)较高的韧性。热挤HDPE护套的韧性较好,断裂伸长率一般超过600%。(4)较好的挠性。热挤HDPE护套可承受索体的垂度和一定程度的弯曲,可以在一定直径下成盘和成圈。(5)较好的耐刮痕能力。(6)良好的抵抗快速裂纹传递能力。(7)较长的使

用寿命。质量优良的热挤HDPE护套使用寿命可达50 a以上。

3 热挤HDPE护套成型及应用中存在的问题

热挤HDPE护套由于性能较优,在桥梁缆索索体防护中得以广泛应用,但由于HDPE本身性能的制约和加工工艺方面的原因,在缆索热挤HDPE护套成型及应用过程中也存在一些问题,需要改进和提高。

3.1 热挤HDPE护套的成型缺陷和处理

热挤HDPE护套技术源于电线电缆护套的加工技术,但电线电缆一般直径较小,导体材料较轻。而桥梁缆索规格较大,索体材料较重,挤塑成型有一些新的特点。在缆索护套成型过程中,随着缆索直径和质量增大,容易出现两个问题:(1)由于HDPE自重和索体的影响,HDPE层厚度容易产生局部不均匀、偏心现象;由于缆索牵引距离长,且热挤HDPE护套尚处在固化过程,经过滚轮时容易造成挤压变形,特别是附加的螺旋筋(或压花)更容易变形。(2)在挤塑和绕制时,如果成型扭绞设备不同步、生产设备限制造成缆索的回转半径较小,容易产生索股的变形,甚至缠包带崩断。

因此生产过程的技术和工艺控制非常重要,在生产时要注意对缆索成型和挤塑生产线设备工艺参数的设置、对HDPE熔体温度及熔体压力的监控。在生产线上设置微机监测控制系统,出现问题会及时发出警报。对制品的外观尺寸,要进行必要的在线测量。控制热挤HDPE护套的外观尺寸,先进的方法是将自动检测与主机相连,实现自动调整模具,自动控制护套壁厚和外径。通过对缆索成型和挤塑技术的改进,以及严格的工艺控制,可以减少缆索热挤HDPE护套的缺陷。

3.2 热挤彩色HDPE护套的变色问题

目前热挤彩色HDPE护套普遍存在变色问题。由于长期置于室外环境,彩色HDPE的抗紫外线能力较差,外层容易变色。这是因为一般HDPE的着色耐候性较差,长期暴露在使用环境容易引起材料性能劣化。一般采取加炭黑的方法改善HDPE的抗紫外线能力,但由于桥梁的特殊景观功能,要求缆索有带色的外观,故采用黑色HDPE内层加彩色HDPE外层的护套结构。实用的彩色HDPE由HDPE和色母料混合,色母料所用的颜料有有机颜料和无机颜料之分,为提高分散性,颜料要经过特殊的分散处理。颜料的材质不同,处理方式不同,性能

效果也是有差异的。通过专门的技术和工艺,对颜料进行特殊改性,解决颜料的耐候持久性,可以使热挤 HDPE 护套表面光滑细腻、色彩鲜艳,且符合缆索防护套的高耐磨、高强度、耐老化的要求。为适应长期日晒暴露环境,颜料应不含金属成分。

3.3 热挤 HDPE 护套的老化和龟裂

老化和龟裂是热挤 HDPE 护套破坏的一种基本现象,主要有环境老化破坏或环境应力龟裂、应力老化和龟裂、溶剂老化和龟裂等。在拉伸应力作用下,这些龟裂现象可能造成典型的脆性破坏。当热挤 HDPE 护套发生拉伸应力的部位(承受载荷的部位)长期暴露或附着、接触药品后,随着时间的推移,由于化学溶剂(包括药品和油脂)、紫外线与拉伸应力的综合作用,很容易产生老化和龟裂现象。可能的原因是:由于拉伸应力作用(施加载荷的状态下)使分子之间产生间隙,紫外线作用或有害溶剂渗透到间隙中导致分子间的凝聚力(分子间的强力结合)降低,引起分子移动而造成老化和龟裂。所以要解决热挤 HDPE 护套的老化龟裂问题,需同时关注缆索使用条件、应力状况和有害化学溶剂的影响。

热挤 HDPE 护套有一定柔性,但缆索成盘包装很容易使其弯曲,且缆索成盘或成圈包装半径较小时,热挤 HDPE 护套内侧将产生压应力,外侧将产生拉应力。当材料形变超过一定限度时,会因蠕变发生破坏。当成品缆索长期外置、弯曲应力超过 HDPE 的屈服值时,直接影响热挤 HDPE 护套的使用寿命。除氧化性的酸(如 HNO_3)外,HDPE 能耐大多数酸碱的侵蚀,在 60°C 以下不溶于任何溶剂,超过 60°C 后可溶于烷类及氧化烃类的溶剂。HDPE 能吸收油类特别是高温矿物油,可引起膨胀、变色甚至破裂。在制造缆索和对缆索采取的进一步防护措施中应考虑这些因素。

为了防止发生作为疲劳破坏起点的龟裂,可以采取以下措施:(1)增大缆索成盘成圈半径,采取措施避免应力集中。(2)改进配方和工艺,增加热挤 HDPE 护套表面的平滑性。(3)避免附着具有侵蚀性的油类、清洁剂及其它化学溶剂。

虽然紫外线的穿透能力不是很强,而且有机材料老化主要是那些受阳光直射的地方,但桥梁缆索一般都是处于较恶劣的环境条件下,光和氧对 HDPE 老化的影响起主导作用。在 HDPE 中引入抗氧剂可以提高其对热老化的抵抗力,为此有必要开发功能性母料,如 HDPE 用抗氧剂、HDPE 用紫外防

护剂等,通过合理的配方,使之能产生协同效应,提高热挤 HDPE 护套的热氧稳定性和使用寿命,提高其综合性能。

3.4 热挤 HDPE 护套的破坏和修补

热挤 HDPE 在正常情况下具有一定的硬度和表面强度,但与钢材等相比则小得多,在制造、运输、施工中须特别注意保护。由于表面增加了螺旋筋(或压花)结构,给保护工作带来了一些新的困难。特别是在缆索架设施工时容易划伤热挤 HDPE 护套。对于小面积的划伤,深度在 3 mm 以下时,可以用专用焊枪用相同的 HDPE 原料覆盖并焊接在损坏处,再用电磨机进行表面处理,恢复表面平整。对于比较深、范围较大的损坏,修复面积大于 10 cm^2 ,深度在 3 mm 以上时,宜采用加热套管进行恢复。施工时,先将相同的 HDPE 原料填充在受损部位,然后用加热套管使 HDPE 热熔补充在损坏的缆索护套缺口上,热熔完成后仍用电磨机进行表面处理,恢复表面平整。缆索修补过程中,应特别注意采用与原缆索相同色彩、质量合格的 HDPE 料进行修补,操作时要注意加热温度,既不能因温度不足而产生夹生现象,更不容许因温度过高而使材料发生炭化,修复表面不允许出现气泡。

加热修补工艺存在局部应力集中的问题,还有一种方法是采用专用密封胶修补。但两种修补工艺都较难达到满意的修补效果,在缆索承受动载的作用下修补好的缺陷还容易再次破坏,再次破坏和修补失效现象在工程中有较多实例。热挤 HDPE 护套在长时间、小载荷作用下,小的损坏容易产生慢速裂纹增长,导致材料的破坏。因此研究消除破坏造成的裂纹和研究材料的耐慢速裂纹增长的性能是十分必要的,如果在这方面取得突破,就可以进一步提高热挤 HDPE 护套的使用寿命。资料报道,国外进行慢速裂纹增长的研究已形成一定的规范和专业检测标准。

3.5 热挤 HDPE 护套的质量检验

热挤 HDPE 护套的质量取决于原材料、缆索成型和挤塑工艺,以及制造和架设过程对护套的保护。首先必须选择优质的高性能 HDPE,现在生产 HDPE 的厂家较多,工艺技术不同,质量存在差别。即使是同类产品也有不同的牌号、规格,性能也存在差异。目前热挤 HDPE 护套一般多采用国外进口黑色 HDPE(已掺抗紫外线吸收剂和炭黑),而彩色 HDPE 则为国内配混(因批量原因和色泽选择原因不好进

口),但多强调用进口原料配混。对原材料应进行必要检查验收。在挤塑加工过程中需要加强过程工序检验和控制。检验内容包括热挤 HDPE 护套的外观、成型尺寸及物理性能。外观主要检查是否有影响护套性能的沟槽、划伤、凹陷和杂质等;尺寸主要包括外径、壁厚和螺旋线(或压花)的尺寸,测量值应在标准规定的允许偏差范围内。由于缆索是连续挤塑,不能在生产过程中对热挤 HDPE 护套进行抽样检验。但可对 HDPE 原料和护套余料抽样取样,进行拉伸屈服应力、断裂伸长率、弯曲强度、热稳定性、老化、耐应力开裂等性能的测试。以上性能试验与外观、尺寸等一起作为热挤 HDPE 护套的出厂检验项目。

3.6 热挤 HDPE 护套的使用寿命

桥梁缆索设计借用电缆护套使用标准,要求缆索护套使用寿命要达到 25 a,但实际使用中,由于原材料选用不当和加工使用方面的综合原因,早期的缆索护套十余年后已出现彩色层变色、老化龟裂等破坏现象。近年已经推出了一些热挤 HDPE 护套维修维护方法,通过在原缆索热挤 HDPE 护套外缠包带绕包和涂料涂装,加强护套的防腐蚀功能,同时达到改变缆索色彩的景观效果。

在近年 HDPE 性能得以改善和提高后,考虑到换索、缠包、涂装维护和维修成本较大,桥梁缆索护套设计提出了 50 a 寿命的使用要求。具体方法是选用高性能 HDPE,在索体内填充不干腻子 and 石蜡

油脂等复合防腐材料,改善索体钢丝的防腐和润滑效果。试验结果表明,专业化生产的高性能 HDPE 套管可以达到 50 a 使用寿命,但热挤 HDPE 护套的使用寿命能否达到 50 a 则受到加工和使用条件的影响,由于缆索长期处于日照条件,在高温地区索体内的化学溶剂、矿物油填充材料还可能对热挤 HDPE 护套的性能造成不良影响。所以对缆索防护 50 a 的概念要认真思考,经过系统的试验和研究来探讨新的可行的防护体系。

4 结语

HDPE 有许多优点,使其在桥梁缆索防护中得以应用。但 HDPE 本身也有一些缺点,加之制造工艺及检查验收方面的问题,影响它的应用效果。为了改善和提高热挤 HDPE 护套的使用性能,需要结合桥梁缆索的使用特点,进一步研究新的加工和使用性能更优的缆索护套材料。特别是规格较大的缆索,成盘外侧护套因缆索变形拉伸可能超过 HDPE 的弹性变形范围(HDPE 断裂伸长率高,但弹性伸长范围小),使热挤 HDPE 护套长期受力变形,会直接影响护套性能,减少使用寿命。需要从材料、挤塑加工、储运和使用等方面改善缆索护套性能、延长使用寿命。

参考文献

- 1 叶觉明,钟建驰.大桥斜拉索防腐蚀技术及其应用.腐蚀与防护, 2003(5):221
- 2 GB/T 18365-2001 斜拉索热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件.

APPLICATION OF HOT-EXTRUDING HDPE JACKET IN BRIDGE CABLE PROTECTION

Ye Jueming

(Bridge Science Research Institute, Major Bridge Engineering Bureau, Wuhan 430034, China)

ABSTRACT The hot-extruding high density polyethylene(HDPE) jacket was applied in bridge cable protection. The molding technology and performance of hot-extruding HDPE jacket were presented. The molding faults and application problems such as color change, aging and worming, damaging and repairing, quality inspection were discussed combining with the practice, and the relevant solving measures were put forward.

KEYWORDS high density polyethylene, bridge cable, hot-extruding, jacket, corrosion protection, application

富强鑫注塑机应用广泛

台湾富强鑫精密工业股份有限公司近日推出新一代油压注塑机“HT 系列高性能智能型注塑机”。由于具有应用范围广、成本低的特点,符合行业的发展需求,新机型一面市便受到业界的欢迎。

据该公司介绍,HT 系列高性能智能型注塑机满足客户对“一机多用”及“节省成本”的需求,在设计时将现有机种的机械规格加大,使得机器本体与模具的搭配更具弹性。该

机型还设计了两种运行状态即标准模式及高压模式。在标准模式下可消除回油损耗,节省电费,并提高注射速率,适用于一般 PP、ABS 类产品;在高压模式下则可提高注塑压力,适用于 PC、PMMA、LCP 等高压制品。这使得同一台注塑机可适用于不同产品,客户不需要换任何零件,仅需自行更改电控设定即可,使用极为方便。HT 系列采用了再生注塑回路设计,使用较小功率的马达即可达到相同的注射速率和注塑压力的要求,可有效降低设备成本,节省能源。(一凡)