

拉索防腐与PE护套修复技术

王日艺 严李荣 姚永湖

(柳州欧维姆工程有限公司 545005)

摘要:介绍一种新型的索类桥梁拉索防腐技术及应用。该技术属桥梁现场二次防腐,具有施工方便、不需对全桥进行封闭、经济、环保的优点。已有成熟的案例。

关键词:缠绕 防腐 热缩带 热封 螺距

1. 概述

索类桥是现代大跨桥梁的重要结构形式。随着我国城市公路建设的发展,近年来,因其独特的结构及漂亮的造型倍受人们的青睐,为城市增添了一道美丽的风景线,许多索类桥梁已成为城市的标志性建筑。据不完全统计,我国索类桥梁和建筑(如拱桥、斜拉桥、悬索桥及索类结构物)有500~800座。近两年来的调查结果表明,几乎所有的热挤PE高强钢丝拉索、吊杆都普遍存在外包HDPE提前开裂的现象,严重危害桥梁及其它结构的安全。如今国内外一些因外层HDPE管开裂而成为危桥的桥梁,枚不胜数。

究其原因,是由于当时技术水平、材料、施工技术及人们对索类构造认识的局限,索类构件在耐久性、适应性方面存在一些严重的问题。由此而引发出拉索维护的问题:此时是换索、表面喷涂防腐剂还是用其它更经济、更科学的解决方案?

鉴于以上问题,美国俄亥俄州的布朗公司开发了一套应用于吊索桥或斜拉索桥拉索防腐的系统。其大致包括:热缩带、缠绕机、加热装置、挂篮及一些辅助工具。大致原理是:用缠绕机按一定的缠绕角将带状热缩材料缠绕在钢绞线外层PE管上,再经加热装置处理,从而实现拉索的二次防腐。显而易见,较换索、表面喷涂防腐剂,此解决方案有无可比拟的优点:无须对桥梁进行

全封闭,工程量少,成本低,工期短,无污染。特别是日益倡导环保的今天,此解决方案愈来愈受国内业主的青睐,并逐渐推广使用。布朗公司就曾为杨浦大桥、重庆李家沱大桥、昆明远通大桥等的拉索做过防腐。

但是,国内目前尚无此类对已建成桥梁拉索防腐的系统,此类工程只能由布朗公司独揽,其维修费用相当昂贵。这样,不仅使国内业主经济利益受到损害,同时由于其技术上的封锁将束缚我国桥梁防腐技术的发展。我公司作为国内预应力行业产品的龙头企业,肩负着主导国内乃至东南亚地区预应力技术发展的使命。而且从另一层面看,近年来,索类产品已成为我公司新的经济增长点,为完善我公司产品系列,在这一领域形成自主知识产权的技术,2002年我公司专门成立了项目组研究此课题。目前,该体系的开发已取得了一定的成果(已申请了三项国家专利),并已应用于工程上。本文主要介绍该体系的内容和工程应用情况,以促进我国索类桥梁现场二次防腐技术的发展。

2. 热缩带特性及其国内外发展状况

热缩带是一种什么材料?有何特性呢?热缩带是热缩材料(又称高分子形状记忆材料)中的一种。热缩材料无论是生产工艺技术,还是产品性能,都属于高新技术和新材料的范畴。大致原理是利用高分子材料的形状记忆功能,加工成一定形状的半结晶聚合物,经高能射线辐照交联或化

学交联后形成网状,在其熔点(或软化点)以上对其施加应力使之变形至所需的形状后冷却定型,在使用时再次加热至其熔点(或软化点)以上时,又可恢复至原来的形状。正是由于交联成网状这种特点,使得高分子材料的物理化学性能得到了大大的改良。

防腐用热缩带通常由基材和热熔胶两部分组成,基材即是经高能射线辐照交联或化学交联后形成网状的高分子聚合物,热熔胶则涂在基材的一表面,用于热缩带搭接处封接的胶体。

在国外,50年代已开始对热缩材料的研究,当时由Dolet和Charlesby先后发现,高能辐射能使聚乙烯性能改良,Charlesby进而发现交联的结晶聚合物具有“形状记忆效应”,1959年Charlesby与Pinner为瑞凯(Raychem)公司申请了第一个聚乙烯热收缩管的专利权,从而开创了这一新型材料的新纪元。我国起步稍晚,在80年代初,“六五”期间由我国著名高分子化学科学家钱保功院士在中科院长春应化所研发成功,填补了国内热缩产业的空白,一举打破国外公司对我国市场的垄断。“七五”期间先后为兵器工业部的三七工程及航空工业部的直升飞机、人造卫星解决了系列配套的热材料。如今,经过二十多年的发展,热缩材料技术在我国已相当成熟,其基本性能指标已达到美国军标。由于热缩材料这种优异的“记忆”特性,将它加热收缩包裹在物体表面,能够起到绝缘、防潮、保护的作用。1987年以来,在国内得到飞速的发展,据不完全统计,全国已有大小企业300多家。目前基本上形成两大块格局,一是以四川双流为代表的通讯产品生产家集群,另一以长春CICA为代表的电力电缆附件产品生产家集群,这些厂家的产品已广泛应用于油田、化工、城建、海洋埋地钢质管道的防腐,二十多年来也完好无损。

项目组通过调研和大量的老化、盐雾和耐候

性试验,结果表明,热缩带在防腐方面有其它材料无可比拟的表现。况且,针对防腐用热缩带,国家石油工业部还制定了相关的检验标准(SYT 0413-2002),表1分别给出此标准的有关防腐用热缩带基材和热熔胶的主要物理、化学性能。从表中又可以看出合格的防腐热缩带在耐老化、耐候性和隔绝性、断裂伸长率方面性能优异。再从桥梁的拉索服役情况看,原HDPE护套开裂除工作环境恶劣外,原索体结构存在缺陷,即外护套HDPE受轴向拉应力过大也造成了拉裂现象。而热缩带的轴向、周向断裂伸长率均大于400。即热缩带在轴向、周向拉伸至断裂时,其变形是原来的4倍。这样,热缩带在结构热胀冷缩、振动等工况下会随结构互动而不发生开裂。综上,故认为采用品质优良的热缩带用于桥梁拉索现场防腐是适宜的。

3. 桥梁拉索防腐缠绕机、加热装置的性能要求及试验情况

桥梁拉索防腐缠绕作业属高空、劳动密集型作业,人工缠绕是无法满足工程要求的。悬索桥主缆、斜拉索桥拉索的PE管服役条件极其恶劣,除受风吹日晒外,还长期处在交变应力状态下。一般的悬索桥主缆、斜拉索桥拉索在服役5年后,其外层PE管都会出现不同程度的开裂或变形,PE管外圆会变得不规则。另外,悬索桥主缆、斜拉索桥拉索的缠绕防腐作业是有方向性的,即从下往向上缠,为减轻劳动强度,这就要求缠绕机与拉索间有足够克服缠绕机自重的摩擦力。故缠绕应满足以下要求:

- (1) 作业时对索体有足够的握裹力,及行走自适应性;
- (2) 适宜高空作业,操作简便;
- (3) 缠绕角可调并可锁定以适应不同索径的场合,保证缠绕效果的美观;

表1 防腐热缩带的物理、化学性能指标要求

序号	测试项目		单位	技术指标	测试结果	结论	执行标准
基材							
1	拉伸强度	轴向	MPa	≥17			GB/T1040-92
		周向	MPa	≥17			
2	断裂伸长率	轴向	%	≥400			GB/T1040-92
		周向	%	≥400			
3	维卡软化点		℃	≥90			GB/T1633-2000
4	脆化温度		℃	≥-65			GB5470-85
5	电气强度		MV/m	≥25			GB/T1408.1-1999
6	体积电阻率		Ω.m	≥1×10 ¹³			GB1410-89
7	耐环境应力开裂 (F50)		h	≥1000			GB1842-80
8	耐化学介质腐蚀 (7d)	10%HCl	轴	拉伸强度	%	≥85	SY/T0413-2002 附录D
			轴	断裂伸长率	%	≥85	
			周	拉伸强度	%	≥85	
			周	断裂伸长率	%	≥85	
		10%NaOH	轴	拉伸强度	%	≥85	
			轴	断裂伸长率	%	≥85	
			周	拉伸强度	%	≥85	
			周	断裂伸长率	%	≥85	
		10%NaCl	轴	拉伸强度	%	≥85	
			轴	断裂伸长率	%	≥85	
			周	拉伸强度	%	≥85	
			周	断裂伸长率	%	≥85	
9	耐热老化 (150℃, 168h)	轴	拉伸强度	MPa	≥14	GB/T1040-92	
			轴	断裂伸长率	%		≥300
		周	拉伸强度	MPa	≥14		
			周	断裂伸长率	%		≥300
序号	测试项目		单位	技术指标	测试结果	结论	执行标准
热熔胶							
10	软化点(环球法)		℃	≥90			GB/T4507-1999
11	搭接剪切强度		MPa	≥1.0			GB7124-86
12	脆化温度		℃	≤-15			SY/T 0413-2002附 录K
13	剥离强度 (内聚破坏)	钢	N/cm	≥70			GB/T2792-1998
		底漆钢	N/cm	≥70			
		PE	N/cm	≥70			
双组份无溶剂环氧底漆							
14	阴极剥离(65℃, 48h)		mm	≤10			Q/SY XQ8-2002附 录A
15	固化后剪切强度		MPa	≥5.0			SY/T0041-1997
热收缩带规格							
16	基材厚度		mm	≥1.5			未收缩前实测
17	胶层厚度		mm	≥0.8			
18	基材周向收缩率		%	≥15			200℃, 5min

(4) 拆装方便, 适合对象斜拉桥拉索那样两端固定不可拆通长索体的作业。

同样, 加热装置也必须具备缠绕机上述(1)、(2)、(4)的特点, 同时还应满足以下要求:

(1) 能按设定的温度及速度匹配进行均匀加热, 并且这种温度及速度匹配可以调整, 以适应不同批次、不同型号热缩带的加热要求;

(2) 作业具有连续性。

针对以上要求, 我公司项目组通过攻关, 借助先进的三维CAD/CAE平台, 半年内便开发出了桥梁拉索防腐专用缠绕机及加热装置, 其具有操作简单、轻巧、环保的特点。手动旋转架体的扶手, 缠绕机便按调定的螺距, 按调定的缠绕角将热缩带均匀地缠绕在索体上, 效果如图1示。加热装置主要由导向机构、加热筒、控制系统、牵引装置构成, 控制系统采用闭环控制, 在加热筒上安装有温度传感器, 传感器在工作时实时监测热缩带的温度, 保证加热温度在设定温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内。实验和经验表明, 热缩带的防腐效果与加热温度与速度两个参数的匹配关系相当大。温度太高, 会烤伤热缩带, 影响热缩带的耐候性和耐久性, 反之, 热缩带匝与匝之间热封效果不佳, 影响防潮、防水效果。控制系统主要担负着以适合的温度和速度匹配对缠包了热缩带的索体进行加热热封匝与匝之间的搭接处的任务, 达到良好的防腐效果, 如图2示。当然, 不同型号、规格、批次的热缩带, 不同索径的索体以及现场环境温度, 加热装置的温度和速度匹配是不同的。这种匹配是通过工艺性试验验证得出来的, 详见后述的施工工艺要点。

4. 施工工艺要点

防腐热缩带的防腐效果不仅取决于带原材料本身, 而且与施工工艺的关系也非常大, 为保证防腐的效果, 笔者认为应注意以下几点:

4.1 选用品质优良的热缩带及合适的规格

所选的热缩带应符合表2的要求。为施工方便和美观, 规格一般选每卷30m为宜, 宽度主要考虑美观因素, 根据索径不同按100mm、



图1 缠绕机缠绕作业效果



图2 加热热封后的效果

150mm、200mm选; 厚度在满足强度的条件下, 为方便施工选薄的为好。

4.2 缠包螺距

为保证施工上的方便和缠绕效果的美观, 缠绕机必须满足按一定的螺距均匀地将热缩带缠绕在拉索的外层PE管上, 并保证有足够的搭接, 使得加热热封后, 在相邻匝之间形成合适的接缝, 即沿拉索轴向形成均匀的双层缠绕物。并在施工现场每50米至少检验一次, 不合格处应调整缠绕机, 重新缠绕。

4.3 热熔胶热封粘合强度

为保证两防腐带之间有足够的粘合力, 施工前应做全比例工艺验证, 以确定热装置最佳的温度和速度匹配。随机选一根索, 缠绕一段约4米, 根据经验筛选几组温度和速度匹配加热, 并做好标记, 加热熔接冷却后, 将热缩带切开。每组温度和速度匹配取3件样品规格为125mm \times 25mm, 严格按GB/T2792-1998压敏胶粘180 $^{\circ}$ 剥离强度试验方法检验, 其熔合强度必须在大于25N。综合考虑, 取出最佳匹配。如果一次试验筛选不出或天气突变, 应重做试验。

4.4 特殊部位的处理

特殊部位是指以下几种情况:

4.4.1 开裂严重(裂缝超过20 mm), 应用HDPE母材焊后, 再缠绕处理;

4.4.2 上、下接头、换卷搭接处保证有75%以上的搭接, 即沿拉索形成均匀的三层缠绕物, 并

且换卷搭接处的长度应大于3倍索径；

4.5 施工前应把索体用丙酮清洗干净。

5. 工程应用实例

2004年2月，应业主要求，我公司对某桥的吊杆HDPE护套用缠绕式拉索防腐系统进行防腐，图3、4、5、6为工程施工的情况。



图3 某桥概貌



图4 某桥右行线13号吊杆开裂情况

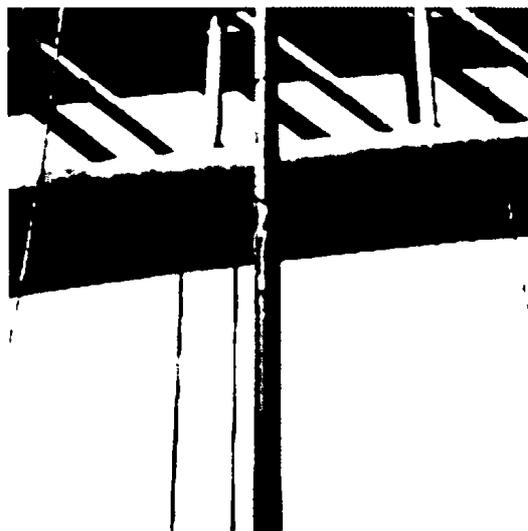


图5 某桥右行线11号吊杆开裂情况



图6 某桥右行线11号吊杆缠绕处理后的情况

6. 结论

缠绕式拉索防腐系统项目经设计、试制、试验和工程应用，符合设计、施工要求，其防腐性可靠，性能稳定，具有良好的耐久性和耐候性。该项目的成功开发，将有力地促进我国桥梁拉索防腐技术的发展。

参考文献：

- [1] 钱保功等编译. 高分子材料科技发展简史. 北京：科学出版社 1989年
- [2] 钱保功，余赋生，许观藩《高聚物的转变与松弛》北京：科学出版社 1982年
- [3] 唐兴伦等《ANSYS工程应用教程-热与电磁学篇》中国铁道出版社 2003年
- [4] Mark KACZINSKI.P.E 《Corrosion Protection of Cable》D_S_ Brown Company
- [5] Phoenix,AZ 《Recommendation for Stay Cable Design, Testing and Installation》1993
- [6] [日]幕内惠三《聚合物辐射加工》科学出版社
- [7] SY/T0413-2002 《埋地钢质管道聚乙烯防腐层技术标准》
- [8] 项海帆 范立础《中国桥梁五十年回眸》2003-8-25