

# 拉索环氧涂层钢丝的防护性能试验研究

张日亮 华剑平 黄永玖 黎念权

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

**摘要:**随着桥梁建设对拉索结构耐久性要求的不断提高,加强钢丝拉索防护性能、强度特性等使用性能的研究显得越来越重要。以环氧涂层钢丝与镀锌钢丝的性能对比进行研究,阐述环氧涂层钢丝优越的防护性能。为钢丝拉索的内层防护提供一种新的技术。

**关键词:**拉索 环氧涂层 高强钢丝 防护 性能

## 1 引言

国内外桥梁拉索仍以光圆钢丝、镀锌钢丝及钢绞线为受力载体,外层热挤塑高密度聚乙烯护套(HDPE)的防护方法为主。钢丝表面防护性能的好坏,直接影响拉索寿命。光圆钢丝力学性能好、强度高,但缺少外层保护,在自然环境中极易发生锈蚀腐蚀;镀锌钢丝由于采用热镀锌工艺使得力学性能有所下降。柳州欧维姆机械股份有限公司经过多年研究,成功研发出一种拉索环氧涂层高强钢丝,基本保持高强钢丝的力学性能,有着良好的耐腐蚀性能,可以很好地应用在桥梁拉索中。

## 2 环氧涂层钢丝静电喷涂原理

环氧涂层高强钢丝涂层防护,采用静电喷涂工艺<sup>[1]</sup>,是利用高压静电电场使带负电的涂料微粒沿着电场相反的方向定向运动,并将涂料微粒吸附在钢丝表面。该工艺使静电喷涂的喷枪、涂料微粒接负极,钢丝接正极并接地,在高电压作用下,喷枪的端部与钢丝之间形成一个较强的静电电场。在静电力和运载气体的双重作用下,环氧树脂涂料微粒均匀地飞向钢丝并被沉积在光圆钢丝基体上形成均匀的涂膜,再经过200℃左右加热,迅速喷水冷却固化,形成均匀、表面光滑的环氧树脂保护层。由于温度较低,基本保持高强钢丝原有强度等级。

## 3 环氧涂层钢丝技术特点

环氧树脂防腐材料综合性能优良,耐腐蚀性能突出,适用范围广,价格适中,不但具有密实、抗水、抗渗漏好、强度高等特点,同时

具有附着力强、施工简便等良好的工艺性,能形成阻隔钢丝与外界电流接触的离子防腐屏障,有效地防止处于恶劣环境条件下钢丝被腐蚀<sup>[2]</sup>。

环氧涂层钢丝(图1)在保持光圆钢丝原有的物理、力学性能的同时,还具备优良的耐碱性、耐酸性和耐溶剂性等化学性能,有效地提高了钢丝在恶劣环境中的防腐性和耐久性,为解决拉索防护问题,提高使用寿命上提供了一项新技术。

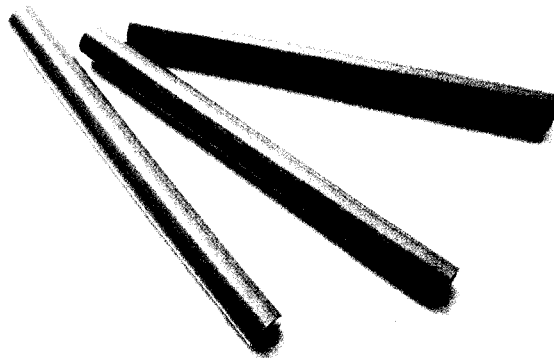


图1 环氧涂层钢丝

## 4 环氧涂层钢丝防护性能试验

环氧涂层钢丝防护性能试验,包括环氧涂层的物理性能、环氧涂层钢丝的防腐性能试验。

### 4.1 环氧涂层的物理性能试验(图2)

该试验主要是检验涂层与钢丝的附着性,抗损伤能力,以及在高低温条件下其性能的变化。试验结果<sup>[3、4]</sup>如表1。

试验结果表明钢丝表面的环氧涂层耐磨、耐弯曲、抗冲击、具有很好的附着能力。

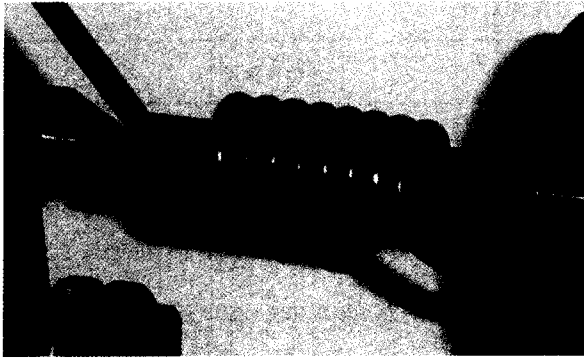


图2 附着力试验

表1 物理性能试验结果

| 项目        | 试验结果   |
|-----------|--|
| 附着力性能     | 5D, 8圈, 涂层不开裂或不起层, 涂层完好  |
| 弯曲性能      | 5D, 180° 弯曲, 涂层表面无肉眼可见的开裂和起层                                     |
| 冲击性能      | 冲击功9N.m, 锤1800g, 除锤芯直接冲击部位外, 涂层无开裂、膨胀、剥落等现象                      |
| 超低温冷冻性能   | 在液氮中浸泡30分钟后, 进行弯曲、冲击试验, 涂层无脆化、开裂、膨胀、剥落等现象                        |
| 耐热性及耐低温性能 | 经过-70℃低温后, 进行附着力性能试验, 涂层不开裂、不起层; 经过+100℃高温, 进行附着力性能试验, 涂层不开裂、不起层 |

## 4.2 环氧涂层钢丝的防护性能试验

为了验证环氧涂层对钢丝的防护性能, 通过对环氧涂层钢丝与镀锌钢丝的防护性能做比较, 进行了一系列的腐蚀对比试验, 主要包括盐雾试验、干湿交替试验、耐化学药品试验、耐溶剂性试验。试验参照GB/T11547-1989《塑料耐液体化学药品(包括水)性能测定方法》和GB/T10125-1997《人造气氛腐蚀试验盐雾试验》标准要求进行。试验结果<sup>[5-7]</sup>对比如表2所示。

### 4.2.1 盐雾试验

用来测量和评价涂层耐腐蚀能力的常用方法有: 盐雾试验、腐蚀膏试验、潮湿试验、孔隙率试验、现场大气曝晒试验等, 其中比较典型的是盐雾试验。适用于环氧涂层钢丝与镀锌钢丝对比

试验的是中性盐雾试验。试验条件为5%NaCl溶液, PH6.5-7.2。盐雾试验分2种状态进行, 一种是不加载荷状态, 另一种是施加 $0.7\sigma_b$ 应力状态。试验结果表明, 两种状态下的盐雾腐蚀试验, 在经过6000h后, 环氧涂层钢丝表面无明显可见变化, 保护等级大于9级<sup>[5]</sup>。而镀锌钢丝在无应力状态下的盐雾腐蚀试验, 1500h后表面明显锈蚀<sup>[6]</sup>。参见(图3~图5)。

### 4.2.2 干湿交替试验

腐蚀环境的物理状态也很重要, 浸在单相水溶液中的金属的腐蚀就比在干、湿交替状态的腐蚀程度要轻。因而, 防护层在干、湿交替状态下抵御腐蚀的能力也是体现其防腐能力的重要表征。试验条件: 海水16h/空气8h, 30个循环以上。试验结果表明, 环氧涂层钢丝经过229个循环后, 钢丝表层和内部均不发生锈蚀<sup>[7]</sup>。镀锌钢丝在30个循环后, 表面颜色变暗, 有污斑出现<sup>[6]</sup>。

### 4.2.3 耐化学试剂试验

对于桥梁缆索用高强钢丝, NaOH溶液、Ca(OH)<sub>2</sub>溶液所形成的腐蚀环境易引发其应力腐蚀, 而氯化物则是引发其“氢脆”的诱导因素。因而, 桥梁拉索高强钢丝防腐层抵御这几种化学溶液腐蚀的能力是体现其关键特性防腐能力的重要表征, 对钢丝的使用寿命起决定性作用。试验条件: 氢氧化钠溶液3mol/L, 氢氧化钙溶液3mol/L, 氯化钙溶液3mol/L。试验结果远远大于1000h的技术指标, 在以上3种溶液中, 环氧涂层钢丝经过5000h的腐蚀试验, 环氧层仍然完好, 钢丝表面无明显可见变化, 保护等级大于9级<sup>[7]</sup>。镀锌钢丝在同等条件下经过1000h后, 表面有不同程度的腐蚀现象<sup>[6]</sup>。

### 4.2.4 耐溶剂性试验

耐溶剂性试验是检验桥梁拉索高强钢丝防腐层抵御化学溶剂溶解的能力。试验条件: 甲基乙基酮擦拭10次。试验结果表明, 环氧涂层钢丝、镀锌钢丝经过甲基乙基酮擦拭10次后, 钢丝表层均无软化和粘着现象<sup>[6, 8]</sup>。

表2 防腐性能试验结果对比

| 项目     | 环氧涂层钢丝   | 镀锌钢丝                           |                    |
|--------|--|--------------------------------|--------------------|
| 盐雾试验   | 无应力盐雾试验6000小时, 无锈蚀、膨胀、气泡等现象, 表面无明显可见变化<br>在 $0.7\sigma_b$ 应力下盐雾试验6000小时, 无锈蚀、膨胀、气泡的现象, 表面无明显可见变化 | 无应力盐雾试验1500小时, 表面明显锈蚀          |                    |
| 耐干湿性   | 海水16h/空气8h, 229个循环, 表层和内部均不发生锈蚀  | 海水16h/空气8h, 30个循环表面颜色变暗, 有污斑出现 |                    |
| 耐溶剂性   | 甲基乙基酮擦拭10次, 表层无软化和粘着现象   | 甲基乙基酮擦拭10次, 表层无软化和粘着现象         |                    |
| 化学药品浸泡 | 氢氧化钠溶液   | 5500h浸泡后, 表面无明显可见变化            | 1000h表面颜色变黑        |
|        | 氢氧化钙溶液   | 5500h浸泡后, 表面无明显可见变化            | 1000h表面出现疏松层锈蚀     |
|        | 氯化钙溶液  | 5500h浸泡后, 表面无明显可见变化            | 1000h表面颜色变暗, 有污斑出现 |

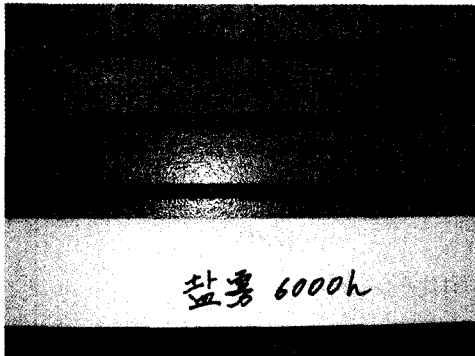


图3 环氧涂层钢丝无应力6000h

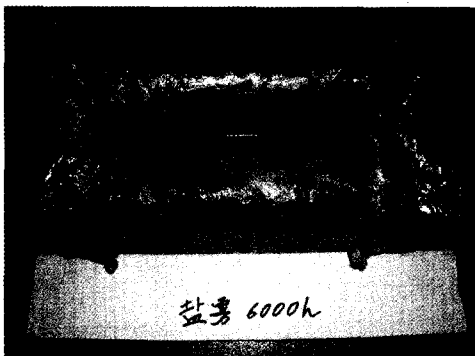
图4 环氧涂层钢丝 $0.7\sigma_b$ 应力6000h

图5 镀锌钢丝无应力1500h

试验结果表明环氧涂层钢丝在以上试验中, 外部、内部均无锈蚀、膨胀、气泡的现象, 在盐雾试验、干湿交替试验、耐化学试剂试验中体现出的防腐性能明显优于镀锌钢丝, 在耐溶剂性试验中体现出的防腐性能与镀锌钢丝相当。

### 5 拉索环氧涂层钢丝的技术创新

由于采用新的防护技术和成熟的生产工艺使得环氧涂层高强钢丝具有以下技术创新:

(1) 涂层加工过程不会造成光圆钢丝强度性能的变化, 高强度等级的钢丝附着防护层后, 仍然保持原有的高强度等级, 避免镀锌高强钢丝镀锌后等级降低。

(2) 涂层附着力强, 具有优良的耐碱性、耐酸性和耐溶剂性等化学性能, 防护性能优于其它类型的钢丝; 相对于镀锌层, 环氧涂层的防护能力明显提高, 更适应于桥梁拉索高强钢丝的应力腐蚀环境, 拉索耐久性获得明显提升。

(3) 钢丝的环氧粉末喷涂制作工艺成熟, 喷涂过程中无环境污染, 对人体无毒害; 涂层质量稳定可靠。

(4) 索体中环氧涂层钢丝, 其涂层为非金属材料, 避免了钢丝与钢丝之间的钢性接触, 降低接触应力, 减少微动磨损, 提高了拉索的抗疲劳性能。

(5) 环氧涂层钢丝拉索中各根钢丝之间有涂层介质的存在, 大大提高了拉索结构的内部阻尼, 能有效抑制拉索的振动。

## 6 结语

环氧涂层钢丝对比镀锌钢丝具有更适合桥梁拉索应力腐蚀特点的优良防护性能,并充分发挥高强钢丝力学性能的技术特点,相对镀锌钢丝节省了部分钢材。顺应了桥梁建设发展要求,其技术优越性正逐渐被越来越多的业内专家所共识,应用前景十分广阔。

### 参考文献

[1] 南仁植. 粉末涂料与涂装技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000

- [2] 孙曼灵. 环氧树脂应用原理与技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002
- [3] 国家建筑钢材质量监督检验中心. 环氧涂层钢丝检验报告(建钢检字(2007W)第723-1号). 2007-08-09
- [4] 国家建筑钢材质量监督检验中心. 环氧涂层钢丝检验报告(建钢检字(2007W)第1177-2号). 2007-12-10
- [5] 国家化学建筑材料测试中心.  $\phi 7$ 环氧钢丝检验报告(2008(S)0290). 2008-04-17
- [6] 国家化学建筑材料测试中心.  $\phi 7$ 镀锌钢丝检验报告(2007(S)0729). 2007-11-28
- [7] 国家化学建筑材料测试中心. 环氧涂层钢丝检验报告(2008(S)0289). 2008-04-17
- [8] 国家化学建筑材料测试中心. 环氧涂层钢丝检验报告(2007(S)0727-2). 2007-11-28

## 征稿启事

《预应力技术》由詹天佑土木工程科学技术发展基金会欧维姆预应力技术发展基金和柳州欧维姆机械股份有限公司联合主办,双月发行。其宗旨是为预应力技术行业提供一个学术讨论的园地,以利于交流预应力技术经验,活跃预应力学术气氛,推广预应力技术的应用,促进预应力技术的发展。《预应力技术》被CNKI中国期刊全文数据库和SWIC中文科技期刊数据库收录。

《预应力技术》向全国范围内征集优秀稿件,欢迎广大读者、作者积极投稿。

### 一、征稿范围

凡涉及公路铁路、桥梁、建筑、水利水电、岩土锚固等应用预应力技术的工程设计、施工、机具研制开发以及应用和发展预应力技术的各种技术论文,均属于征稿范围之内,如:

- 1、预应力技术发展的总结性和前瞻性论文;
- 2、预应力技术理论研究性论文;
- 3、预应力结构分析、计算、设计方法论文;
- 4、预应力工程施工工艺技术论文;
- 5、预应力新产品、新材料及施工机具研制和应用技术论文。

5、有关预应力工程测试、试验与监测技术论文;

6、推广应用预应力技术的大型构件提升、转体、平移、逆装等特种工程施工技术方法论文。

### 二、稿件要求

1、排版格式:标题—作者(单位,邮编)—摘要—关键词—正文—参考文献。

2、文章标题务求简明确切,一般不超过20个字(必要时可加副标题),避免使用非公知公认的符号,尽量不出现结构式和数学式;正文各级标题用阿拉伯数字连续编号,层次分明,可用至3级标题。

3、摘要文字量宜300字以内。写作结构为:研究目的、采用的主要方法与材料、最主要结果,结合文章内容,便于读者检索。关键词一般选用3~5个。

4、图和表:文中所附必要的图和表,切忌与文字表述重复。图和表中的题名、注释或说明语等所有中文表一律用三线表。图片请提供清晰照片。

5、量和单位:按我国法定计量单位以及国际标准中关于量和单位的规定书写。

6、请注明联系方式(地址、电话、E-mail)。

三、《预应力技术》一律不收版面费。稿件一经采用,即付稿酬。

### 四、联系方式

邮编:545005

地址:广西柳州市龙泉路3号《预应力技术》编辑部

电话:0772-3116594

传真:0772-3137745, 3113588

投稿邮箱:info@ovmchina.com