

# 桥梁拉索外层护套HDPE的磨损耐久性探讨

黄日金 玉进勇 杨青 陈建国 宋强

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

**摘要:** 预应力拉索在桥梁和一些大型建筑结构上应用很广泛, HDPE普遍用于拉索外层护套, 是拉索重要防护层, 起保护、防腐作用, 直接影响桥梁的安全使用与拉索的寿命。通过预应力拉索与转向器疲劳磨损性能试验和滑移距离较大的摩擦损耗试验, 对HDPE的磨损耐久性进行了探讨。前者针对微振动磨损进行, 在弯曲应力和偏转应力下进行200万次脉冲振动滑移试验以检测HDPE磨损程度; 后者针对滑移距离较大的振动磨损进行, 模拟实际受力状况测试转向器与钢绞线外套HDPE之间的磨损率。两组试验结果均表明HDPE的磨损率很低, 说明其有足够的磨损耐久性, 可满足桥梁拉索一般使用要求。试验结果可为桥梁拉索设计使用年限的确定提供一定参考。

**关键词:** HDPE 磨损耐久性 拉索 外层护套

## 1 引言

1933年英国ICI公司首先发现了聚乙烯(PE), 发展至今, 聚乙烯得到广泛应用, 也在桥梁预应力拉索上得到大量应用。HDPE(高密度聚乙烯, 密度为 $0.940\text{--}0.965\text{g/cm}^3$ )用作拉索外层护套(见图1), 起保护、防腐作用, 直接影响桥梁的安全使用与拉索的寿命。预应力拉索在桥梁和一些大型建筑结构上应用很广泛, 如桥梁上应用很多的体外索、系杆索等。在工程实际应用中, 当拉索需要转弯时, 就通过转向器来实现, 拉索穿过转向器后, 把力传给转向器, 转向器再把力传给工程构件(见图2和图3)。由于桥梁经常受到外力作用而产生振动或因温差影响产生体积变化, 造成拉索与转向器之间产生振动或滑移, 形成拉索外层HDPE磨损, 因此, HDPE使用寿命, 除了与材料本身性能结构有关之外, 还与使用环境及受力状态有关, 特别是结构受力状态及滑移摩擦, 如拉索与转向器之间的滑移摩擦, 直接磨损拉索外层HDPE。因此必要对HDPE的磨损进行试验分析, 以便了解其耐磨性, 以保证桥梁拉索长期使用的安全可靠性。

磨损包括微振动磨损和滑移距离较大的摩擦损耗, 下面分别从这两方面进行试验分析。拉索的外层HDPE与转向器的HDPE导向套管间的摩擦系数为0.083。

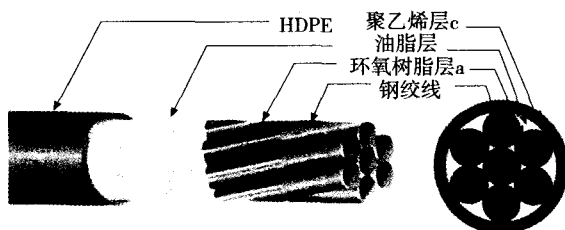


图1 拉索结构图

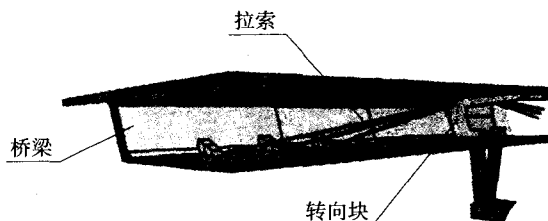


图2 拉索通过转向器转弯示意图

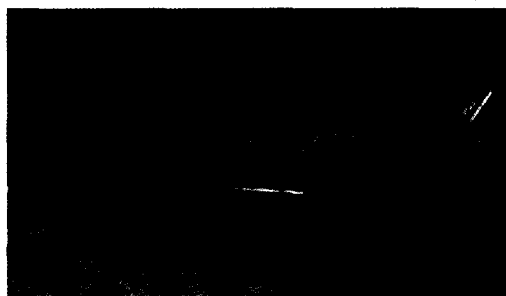


图3 拉索通过转向器转弯应用现场

## 2 试验分析

### 2.1 预应力拉索与转向器疲劳磨损性能试验

#### 2.1.1 试验目的

本试验是针对微振动磨损进行的, 主要是分

析拉索在使用受力状态中,经过外力冲击振动反复滑移后,拉索外层护套HDPE与转向器间的滑移磨损情况。试验方式是在弯曲应力和偏转应力下进行200万次脉冲振动滑移试验,然后根据以下几点来确定其磨损情况:

- (1) 检测拉索外层HDPE层是否磨损。
- (2) 检测转向器上HDPE是否磨损。
- (3) 检测锚固单元的损坏情况。

### 2.1.2 试验材料

(1) OVM体外预应力索用单层HDPE环氧喷涂无粘结钢绞线2根,锚具4套。

用于拉索和转向器上的HDPE原料基本性能应符合《CJ/T 3078 建筑缆索用高密度聚乙烯塑料》的要求,并附有生产厂家的质量保证书和产品合格证。

- (2) 试验台架。
- (3) 脉冲疲劳试验机。
- (4) 千斤顶。
- (5) 转向器(转向器转向偏角为 $4^\circ$ )。

### 2.1.3 试验场地

上海市建筑科学研究检测站。

### 2.1.4 试验方式

试验台架如图4和图5,按以下步骤进行试验:

(1) 将钢绞线两端PE剥除,穿过转向器,两端张拉锚固。

(2) 通过脉冲疲劳试验机,产生脉冲振动,使钢绞线与转向器间产生滑移。按如下要求进行试验:

上限应力 $\sigma_{\max}=1860 \times 0.6 = 1116\text{MPa}$

下限应力 $\sigma_{\min}=1116-80 = 1036\text{MPa}$

试验频率:4.2Hz(250次/分),进行200万次脉冲振动滑移

试验中有固定转向器的装置,通过脉冲疲劳试验机,转向器可振动,以保证钢绞线与转向器之间能产生相对滑移,使转向器和钢绞线之间产生偏转。此试验模拟实际应用工况中产生滑动偏移的情况。转向器和钢绞线HDPE层之间没有添加润滑剂。

### 2.1.5 检测结果

经200万次疲劳试验,试件未断丝,夹片、

锚板良好,通过转向器的钢绞线外层PE没有磨损破坏,钢丝上的环氧层良好,转向器上HDPE无磨损破坏,满足GB/T14370-2000标准要求。试验后转向器处PE层和环氧涂层的磨损情况见图6、图7。在弯曲应力和偏转应力下200万次疲劳破坏试验结果表明,这种滑动摩擦对索体的使用寿命没有影响。

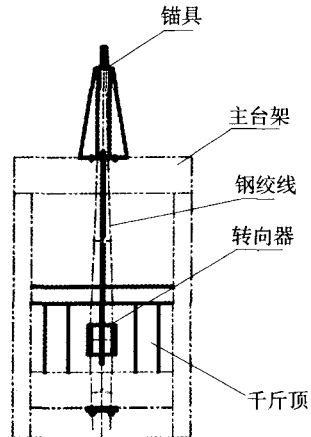


图4 试验装置示意图(图中主台架是脉冲疲劳试验机主台架)

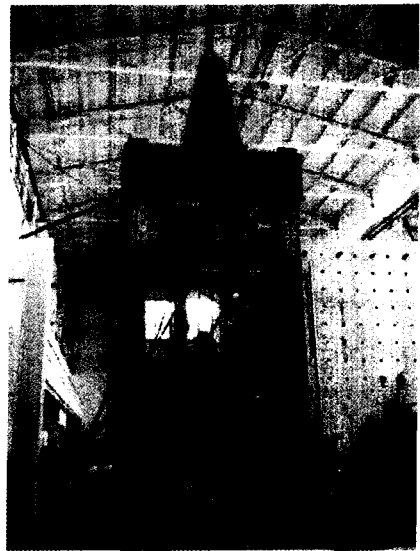


图5 试验现场



图6 试验后转向器处PE层磨损情况



图7 试验后转向器处环氧涂层磨损情况

## 2.2 预应力拉索与转向器滑移距离较大的摩擦损耗试验

本试验是针对滑移距离较大的振动磨损进行的，主要是分析拉索在使用受力状态中，经过外力反复冲击振动产生较大滑移距离后，拉索外层护套HDPE与转向器间的滑移磨损情况。

根据桥梁设计更换拉索周期，一般为30年，在这期间推测拉索与转身器间可能的相对位移量：

地震：相对位移量96mm，寿命期内发生次数假设为30次（1次地震）；

温差：相对位移量31mm，寿命期内发生次数约43800次；

极端制动力：71mm；寿命期内发生次数，假设约6570次（取中等制动力次数的2%）。

中等制动力：由重车产生，相对位移量2mm；重车平均3000辆/天，寿命期内发生次数=3000×365×30×0.01=328500次（取制动频率为1%）；

轻微制动力：由小车产生，相对位移量0.2mm；小车平均27000辆/天，寿命期内发生次数=27000×365×30×0.01=2956500次（取制动频率为1%）；

忽略轻微制动力产生的微振动，其他换算为相对位移量31mm，寿命期内发生次数约8万次。

计入轻微制动力产生的微振动，全部换算为相对位移量31mm，寿命期内发生次数约10万次。

根据假设推测：相对位移量31mm，寿命期内发生次数8~10万次，那么它的总累积相对位移量为： $31 \times 100000 = 3100000\text{mm}$ ；

通过试验，测试拉索外套HDPE之间的摩擦率，是否满足桥梁拉索使用要求。

### 2.2.1 试验目的

测试转向器与钢绞线外套HDPE之间的摩擦率。

### 2.2.2 试验场地

柳州欧维姆机械股份有限公司实验中心。

### 2.2.3 试验材料

(1) 支架及反复移动机构；

(2) 正应力产生装置（由弹簧、螺母螺杆组成）及定位机构；

(3) 1根5米长双层PE环氧喷涂无粘结筋；

(4) 转向器的PE套管1根0.1米。

### 2.2.4 设备、工具

(1) 电源插座；

(2) 卡尺、直尺等其他工具若干。

### 2.2.5 试验方法、步骤：

试验装置如图8和图9所示。

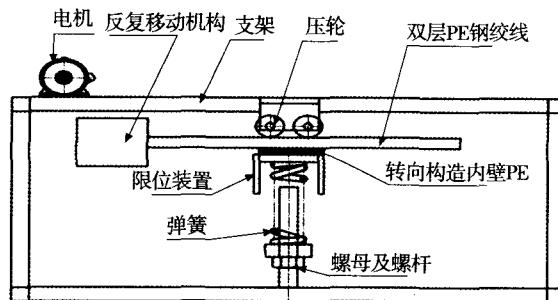


图8 试验装置示意图



图9 试验装置

(1) 准备试验支架及所需工具；

(2) 把双层PE环氧喷涂无粘结筋装夹在反复移动机构并张紧；

(3) 计算压力 $F = \text{正应力} \times \text{面积} = 0.45\text{MPa} \times 0.02\text{m} \times 0.1\text{m} = 900\text{N}$ ，即PE块上产生0.45MPa正应力，需要的压力为900N，故选用900N的力压弹簧，记下弹簧的长度 $L_1$ ；

(4) 将弹簧装在正应力产生装置上，拧上螺母，使弹簧的长度为 $L_1$ ，产生0.45MPa正应力；拧松螺母，用卡尺检查无粘结筋上的PE层厚度变化情况并记下并记录；

(5) 再拧紧螺母使弹簧的长度为 $L_1$ , 产生0.45MPa正应力;

(6) 接通反复移动机构上电机电源, 使钢绞线外套PE与转向器的定位套管之间每次产生0.5米相对滑移量的移动;

(7) 当PE层间磨擦产生过热时要暂停, 待冷却时再开机;

(8) 减速器(反复移动机构)输出轴每分钟为2.8转, 滑移1000米时间为 $1000/2.8/60=5.95$ 小时;

(9) 在滑移量为1000m、2000m、3000m、4000m、5000m时, 分别测试两组板材的剩余厚度和磨耗厚度并记录;

### 2.2.6 试验结果

损耗情况见表1所示的试验记录。

表1 试验记录

项目	数据					
滑移量(m)	0	1000	2000	3000	4000	5000
钢绞线外套PE剩余厚(mm)	18.00	17.92	17.86	17.78	17.72	17.64
钢绞线外套PE磨耗厚(mm)	0	0.08	0.06	0.08	0.06	0.08
转向器PE剩余厚(mm)	3	2.92	2.86	2.80	2.74	2.68
转向器PE磨耗厚(mm)	0	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06

由表1可见, 钢绞线外套PE与转向器PE在0.45MPa正应力接触, 经5000米的相对滑移量的移

(上接第22页)

裂缝宽度随时间增加而增大, 持荷2年左右裂缝宽度与长度变化基本趋于稳定。采用现行设计规范计算长期荷载作用特征裂缝宽度较实测值偏小11.8%~55.5%。

(4) 运用双线性法与曲率法预测部分预应力混凝土箱梁开裂后的长期挠曲变形, 两种方法预测结果基本一致。本试验箱梁持荷1001d实测跨中截面的长期挠度增长系数较规范值偏大18.5%。

### 参考文献

- [1] Mutsuyoshi H, Machida A. Behavior of prestressed concrete beams using FRP as external cable [J]. SP-138, American Concrete Institute, 1993: 401-417
- [2] Grace N F. Response of continuous CFRP prestressed concrete bridges under static and repeated loadings[J]. PCI Journal, 2000, 45 (6): 84-102
- [3] 薛伟辰. 有粘结预应力纤维塑料筋混凝土梁的试验研究[J]. 工业建筑, 1999, 29 (12): 11-13 (Xue Weichen. Experimental study on bonded prestressed concrete beams reinforced with Fiber Reinforced Plastics bars[J]. Industrial Construction, 1999, 29 (12): 11-13 (in Chinese))
- [4] 方志, 杨剑. 预应力CFRP筋混凝土T梁受力性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2005, 26 (5): 66-73 (Fang Zhi, Yang Jian. Experimental study on behavior of concrete T beam

动, 产生的磨耗量分别为0.36毫米和0.32毫米, 磨耗量很小。

### 3 小结

通过预应力拉索与转向器疲劳磨损性能试验和滑移距离较大的摩擦损耗试验, 对HDPE的磨损耐久性进行了探讨。前者针对微振动磨损进行, 在弯曲应力和偏转应力下进行200万次脉冲振动滑移试验以检测HDPE磨损程度; 后者针对滑移距离较大的振动磨损进行, 模拟实际受力状况测试转向器与钢绞线外套HDPE之间的磨耗率。两组试验结果均表明HDPE的磨耗率很低, 说明其有足够的磨损耐久性, 可满足桥梁拉索一般使用要求。根据聚乙烯管材环向抗拉强度的长期静水压设计基础值(HDB)确定, 普通聚乙烯管道使用寿命可达50年以上, 已被国际标准确认。本文试验的结果与上述标准是吻合的。本文对桥梁拉索的外层防护材料HDPE之间的磨耗情况进行的探讨, 为以后桥梁拉索设计使用年限提供一定参考。

### 参考文献

- [1] 王凡. 《桥梁预应力混凝土施工技术及标准规范实施手册》[M]. 长春: 吉林电子出版社.
- [2] 陆光炯. 《聚乙烯(PE)燃气管道的应用与发展》.
- [3] 柳州欧维姆机械股份有限公司. 《建筑缆索用圆管护套》.
- [4] prestressed with CFRP tendons[J]. Journal of Building Structures, 2005, 26 (5): 66-73 (in Chinese))
- [5] Patrick X W Z. Long-term deflection and cracking behavior of concrete beams prestressed with carbon fiber-reinforced polymer tendons[J]. Journal of composites for construction, ASCE, 2003, 7 (3): 187-193
- [6] Patrick X W Z. Theoretical study on short-time and long-time deflection of fiber-reinforced polymer prestressed concrete beams [J]. Journal of composites for construction, ASCE, 2003, 7 (4): 285-291
- [7] 中华人民共和国行业标准. JTGD62—2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004 (Professional Standard of the People's Republic of China. JTGD62—2004 Code for design of highway reinforced concrete and prestressed concrete bridges and culverts[S]. Beijing: People's communications Press, 2004 (in Chinese))
- [8] 中华人民共和国国家标准. GB50010—2002 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002 (National Standard of the People's Republic of China GB50010—2002 Code for design of concrete structures [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002 (in Chinese))
- [9] 中华人民共和国行业标准. TB10002.3—2005 铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2005 (Professional Standard of the People's Republic of China. TB10002.3—2005 Code for design on reinforced concrete and prestressed structure of railway bridges and culvert [S]. Beijing: China Railway Press, 2005 (in Chinese))
- [10] Ghali A, Favre R. Concrete structures: Stress and Deformations [M]. Chapman and Hall Ltd., 1986