

桥梁拉索卷盘对护套性能影响的分析与试验研究

黄芳玮¹ 潘剑飞¹ 孙利民² 淡丹辉² 黄永玖¹

(1 柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006 2 同济大学 上海 200092)

摘要:桥梁拉索在结构中起到非常重要的作用,因此业主对其耐久性要求极高,目前拉索主受力筋的表面防护广泛应用的是高密度聚乙烯护套材料,外护套的防腐性能是关系到其寿命的第一道防线,本文从影响拉索防腐性能的众多因素中,专门针对拉索的卷盘出现的问题进行分析与试验,提出保证拉索防腐耐久的措施及意见。

关键词:拉索 高密度聚乙烯 应力开裂 卷盘

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2017.03.008

前言

拉索体系是现代大跨径桥梁的重要组成构件,要求其具备良好的抗疲劳性能及防腐耐久性。然而,斜拉索在结构中因暴露在相对恶劣的环境中,不可避免地受到振动疲劳、腐蚀老化、性能衰减等各种不利因素的影响。由于其索体长期处于高应力状态下,主受力筋对腐蚀作用非常敏感,斜拉桥的安全性和耐久性在很大程度上取决于斜拉索的抗腐蚀能力。

拉索外护套的性能是拉索体系研究的重点关注部分之一。我国的行业标准CJ297《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套》对高密度聚乙烯(以下简称:HDPE)材料性能提出了较高的技术指标,来保证现有桥梁拉索的质量,但从大量桥梁运营观测的实际情况看来,拉索的HDPE耐久性至今仍然存在诸多问题。本课题将从拉索卷盘的角度,分析护套所受到的各种作用及对性能产生的影响。

1 拉索的卷盘

热挤HDPE成品拉索需要在工厂内加工成索,卷盘包装后再运输到桥梁施工现场进行解盘安装,拉索护套受卷曲后对HDPE的性能会产生什么样的影响,需要进行深入的分析研究。

HDPE成品拉索从生产到应用经历盘卷收放的过程见图1:

成盘时拉索一端的锚头固定在收卷盘底座上后,收卷盘缓慢旋转,索体沿着卷筒一圈圈向上盘卷,同时调节轮随着索的向上盘卷而向上移

动,可根据需要进行多层盘卷;卷筒结构为下宽上窄,大约5°的倾斜,这样的结构能保证吊索在收卷完成后容易吊出成盘机,同时在放盘的过程中使上层索体不容易往下塌,保证解盘放索的顺利(见图2、图3、图4)。

由于考虑到卷盘对拉索护套会产生损伤,因此国家标准GB18365规定拉索的成盘直径不能小于索径D的18倍,一些厂家根据生产经验调整在20D的直径以上(见图5)。

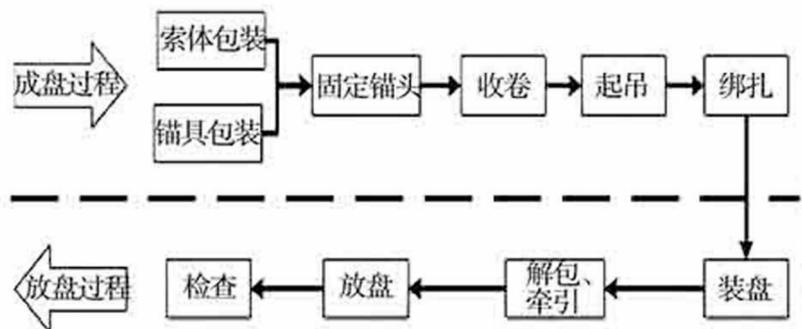


图1 过程图示

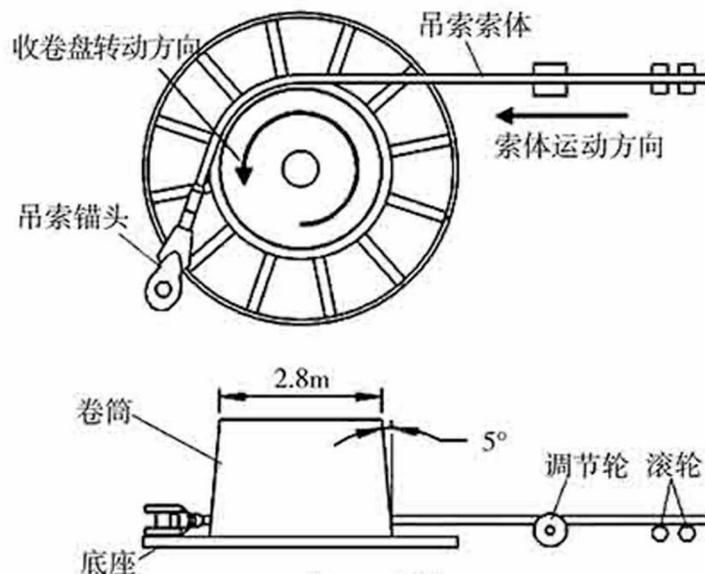


图2 成盘

转自《建筑知识》

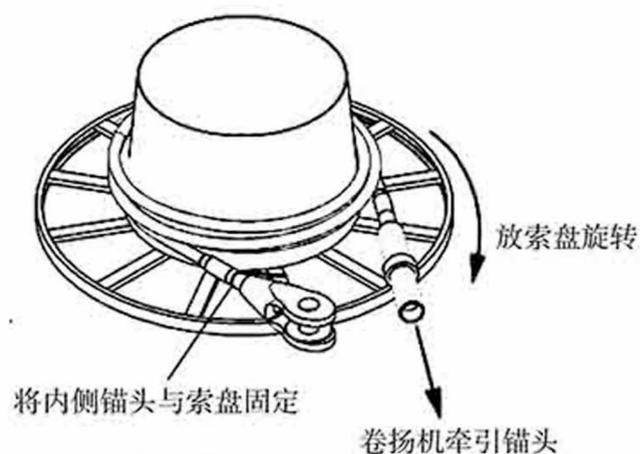


图3 收盘(解盘)



图4 拉索放盘施工

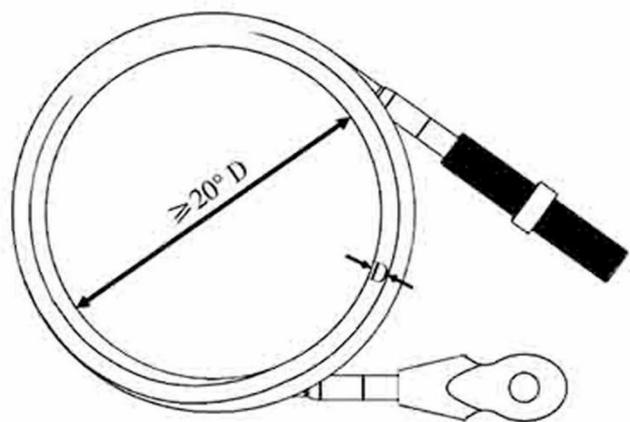


图5 卷盘内径控制

一般工程应用均参考这样的规定进行卷盘,欧洲有些规定更加严格些,如CIP法国斜拉索规范要求为50D,特别是在挂索吊装过程中不能对拉索索体造成过大的弯曲,其弯曲半径也不能超过规定的卷盘半径。

虽然一般拉索均按加工工艺要求进行制造,并按国家标准要求的直径卷盘,但实际工程中还是出现了拉索弯曲开裂等情况(见图6、图7)。主要是卷盘直径的规定主要是根据卷盘后的HDPE套管外沿没有超过弹性极限来限制的,而HDPE是种高分子材料,具有粘弹性,随着时间的变化,它的各项力学指标会发生变化。因此需

要进一步对其卷盘后的残余应力相对于时间及环境等因素综合加以研究,来推断其性能变化程度。

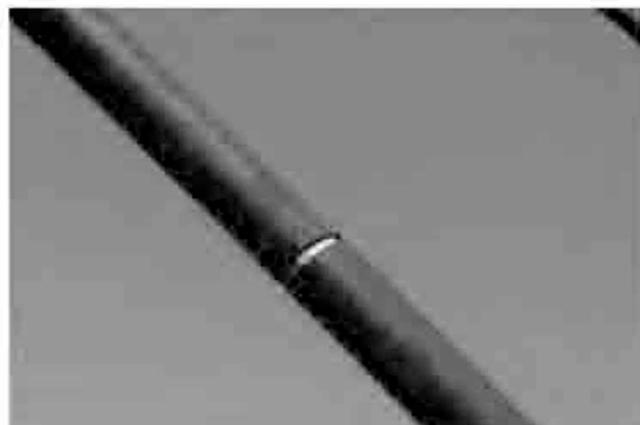


图6 拉索损伤

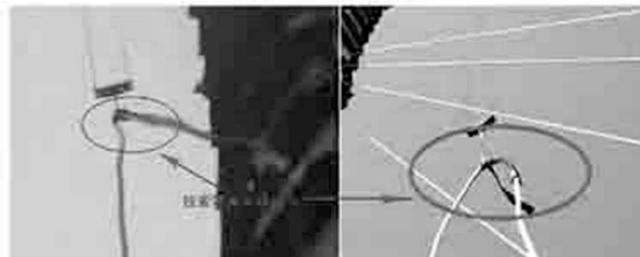


图7 拉索安装吊装时弯曲半径过小

2 基于HDPE护套成盘力学模型计算分析

国际后张协会PTI的规范《斜拉索设计、试验及安装建议》(Recommendations for Stay Cable Design, Festing and Installation)中对HDPE材料护套的要求如下表1。

表1 高密度聚乙烯材料护套性能验收值范围

性质	ASTM测试方法	允许范围
密度 (g/m ³)	D1505	0.941 ~ 0.955
软化指数	D1238	最大1.0
弯曲模量 (MPa)	D790	550 ~ 1100
屈服强度 (MPa)	D638	21 ~ 28
耐环境应力开裂性能 (F20, hrs)	D1639 (和C)	192
静水压力设计基准值 (MPa)	D2837	0.86 ~ 1.10

其中弯曲模量及屈服强度是护套设计控制指标,由于护套受到应力作用,会加速其老化开裂的进度,使外护套急剧劣化。因此在设计时一般考虑其所受到的应力不宜超过5MPa。

2.1 计算HDPE成盘弯曲的表观弹模、应力变化

这里所定义的表观弹模是指:在忽略时间的尺度效应的前提下,把粘弹性体看成弹性体,将不同时间下的应力、应变比值作为该种材料在该个时间下的表观弹模。表观弹模的数值由于计入了永久变形,所以只能用于单方向的力学过程,恢复过程的表观弹性模量将会不同。

下面来定义一下表观弹模所对应的时间尺

度，在卷盘过程中即为卷盘时间：卷盘时间是指将拉索从伸直状态盘曲到卷盘状态的时间（一圈），它所对应的是拉索外边缘的应变速率。

我们以图8的拉索截面来作为计算对象，卷盘半径为3m（>20D且>1.6m）

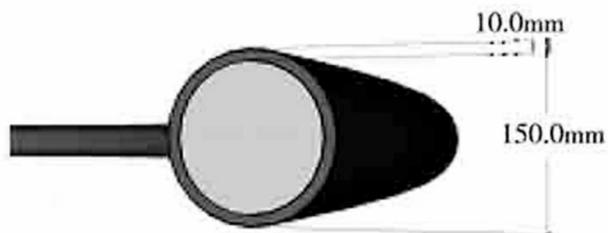


图8 拉索的假设截面
通过代入推导公式，得：

$$\frac{1}{E(t)} = 7.731 \times 10^{-4} + 2.623 \times 10^{-8}t + 9.683 \times 10^{-4} (1 - e^{-9.215 \times 10^{-4}t})$$

卷盘结束后，拉索的贮运过程是个应力松弛过程，在5MPa应力和25℃的环境下，可计算出该种HDPE的应力松弛函数。再用不同温度、时间对拉索开盘后HDPE初始弯矩的影响进行计算。

一般情况下，如果现实温度是变化的，可以将贮运时间微分处理。将各种温度下的贮运时间转换为参考温度25℃下的贮运时间，用计算数据做非线性拟合可以得到时间和温度与弯矩保留系数的关系云图（见图9）。

从图9中不难看到，拉索HDPE层的初始弯矩和贮运时间成正比，和贮运环境温度也成正比。

时间-温度对拉索PE护套弯矩保留系数关系图

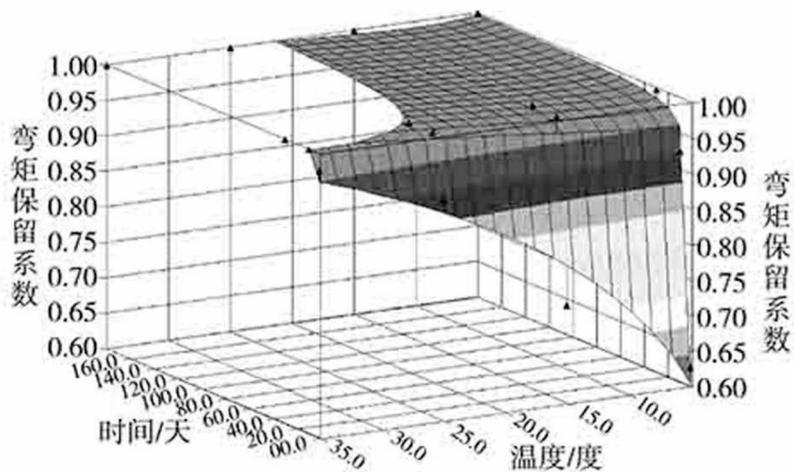


图9 时间和温度与弯矩保留系数的关系云图

2.2 计算分析结论

通过以上计算，结合HDPE材料性能指标，可以分析得到以下判断结论：

（1）贮运时间大于10天时，基本上卷盘时的弯矩在这段时间内会松弛掉，这时拉索HDPE

护套的初始弯矩和卷盘弯矩基本相当，完全取决于卷盘弯矩的大小。

（2）对于预制索的储运，必须按照规范明确的规定，卷盘直径至少是HDPE护套外径的18倍，建议提高至20倍，盘卷和开卷的温度必须控制在10℃~35℃之间，整个过程必须缓慢以免护套受到损坏。

3 拉索护套试验检测研究

为了更进一步验证计算所得的推论，本课题组选取了不同材料、两种颜色的HDPE拉索护套通过盘卷后进行性能试验测试，以确定盘绕存储时间对聚乙烯护套耐湿热、环境应力、紫外线老化开裂性能的影响。

3.1 试验原料

将两种护套原料：P110A+BB407H（黑色）原料及改性料（黄色）采用单螺杆挤出的方法成型（挤出速度为6m/min），制作两根30m长的PEJ15B-37索体。成型后的将两根索体以（20D）2m内径进行盘绕，定期从索体上取样观察护套表面质量及性能。护套盘绕存储时间分别为0、1、2、3、4、5个月。试验制样图如10。

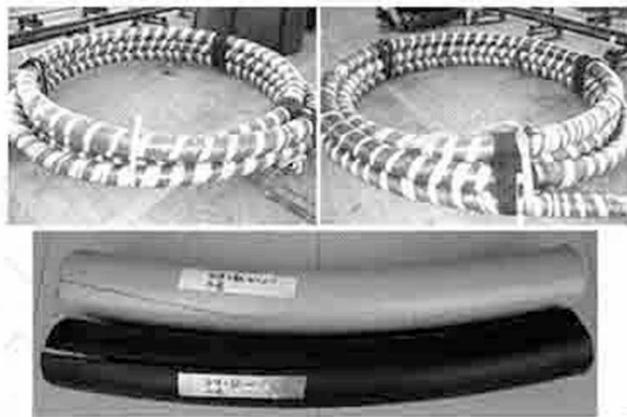


图10 试验制作

3.2 试验方案

本试验参考美国材料与试验学会标准（ASTM）关于测量聚乙烯管材和树脂耐慢性裂纹增长的缺口拉伸测试的标准试验方法F1473-01。试验过程中用显微镜观察护套试样在湿热、拉应力、紫外线辐射等老化因子作用下老化开裂的情况，从而了解黑、黄色两种HDPE护套的老化性能，以及因盘绕储存时间的变化而产生的应力对护套老化性能的影响。

制取的试样如图11。

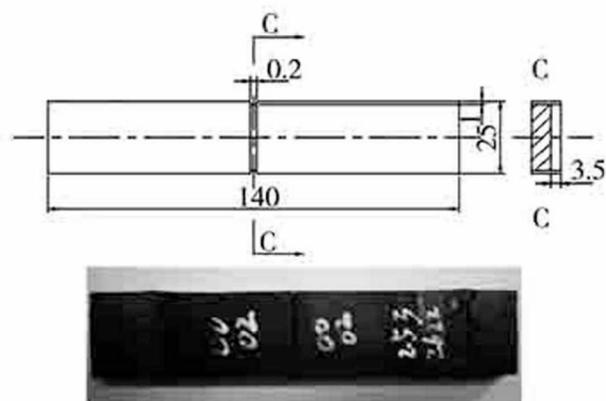


图11 试样

参照板材试样的试验方法，用专用夹具固定试样，使试样处于垂直悬挂状态，在试样下端悬挂砝码，在试样中形成拉应力。保持所有试样都处于同样的高度，并使护套外壁表面正对紫外线光源。如图12所示。

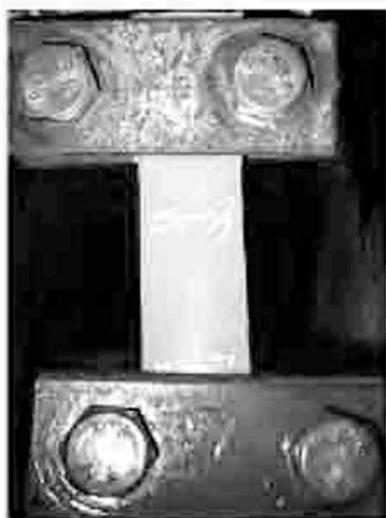


图12 护套试样的夹持

3.3 试验数据及状态记录

确定试验条件后，悬挂试样进行老化，用显微镜观察各老化时间段的试样表面，确定各试样老化开裂的临界时间段，见图13，研究试样的耐湿热、拉应力、紫外线老化开裂的性能。

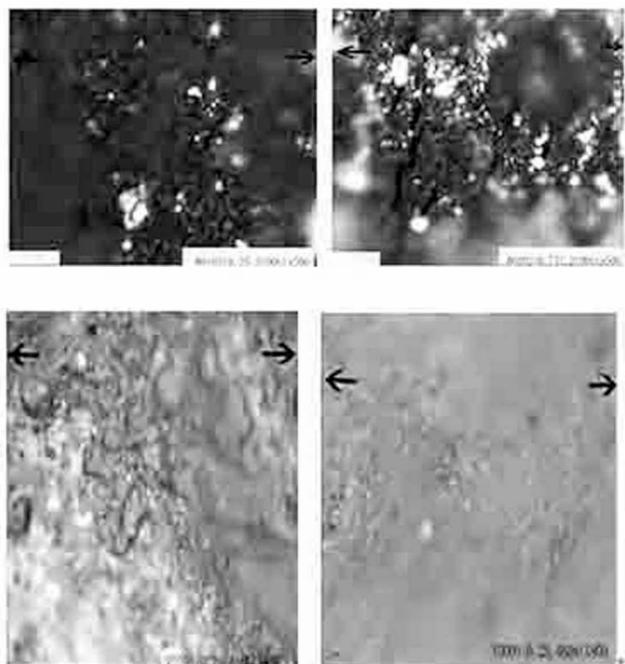


图13 护套试老化观察图

在温度 $55\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $52\% \sim 54\%$ ，紫外线辐射强度 $458 \pm 5\% \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ，拉应力 4.0MPa 等老化因子相同的条件下老化，盘绕存储时间分别为0~5个月的黑、黄色护套试样的耐环境应力开裂时间如图14所示。

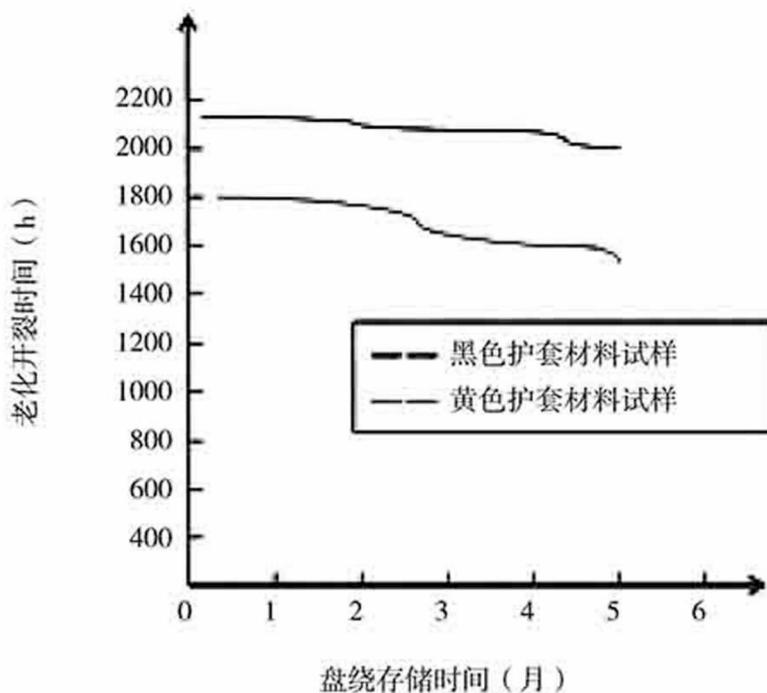


图14 老化开裂临界时间

3.4 试验结论

由试验试样状况及数据可知：

(1) 盘绕存储时间分别为0~5个月的黑色护套试样表面开裂的临界时间段均高于黄色护套试样。

(2) 2个月以内的盘绕储存时间对黑色、黄色护套试样耐湿热、环境应力、紫外线老化开裂性能的影响不大，但3个月以后有影响。

(3) 黑色护套比黄色护套拥有更好的耐湿热、环境应力、紫外线老化开裂性能。

(4) 在相同的老化因子条件下，随拉应力的增大，材料的耐环境应力开裂时间有所下降，因此拉应力水平对护套试样老化性能有一定的影响。

4 总结

通过对热挤HDPE拉索生产与施工过程状况的调查，针对索体盘卷弯曲半径与存贮时间对HDPE性能的影响进行了理论计算分析，再采用实际应用的拉索进行试验，结果证明盘卷因素对拉索的耐久性具有密切关系。

由于HDPE是具有粘弹性的高分子材料，随着盘卷放置时间的变化，其力学性能也会发生改

变。如果贮藏条件不佳,则会导致拉索的HDPE护套提早老化,或者是力学性能迅速下降,这样的话如果只是根据弹性极限来定义的卷盘半径就忽略了环境对于拉索的影响。而且这个时候的力学性能和制索完成初期相比已经有了变化,这种情况下卷盘会对HDPE护套产生损伤,使得HDPE层有了初始应力,这对拉索HDPE套管的寿命是很不利的。所以拉索的储运不但要注意避免划伤拉索的HDPE护套,也要注意拉索的贮藏环境、温度和时间。

参考文献

- [1] Post-Tensioning Institute, Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation [s]. The 4th Edition. 2001
- [2] 陈雷,侯亚丽,李春兰,张铭辉,曹胜先. HDPE5000S耐老化性能的研究. 塑料科技. 6, 2001
- [3] 叶昌明. HDPE耐环境应力开裂的机理、影响因素和改进. 塑料科技, 2002
- [4] 罗文波,杨挺青,安群力. 非线性粘弹体的时间-温度-应力等效原理及其应用. 固体力学学报, 2001, vol.22
- [5] 斜拉索热挤高密度聚乙烯高强钢丝拉索技术条件GB/T 18365—2001
- [6] George Wypye. 加速老化的相关性与使用寿命预测. 参考资料

信息视窗

《预应力技术》约稿函

《预应力技术》前身为《OVM通讯》和《海威姆预应力技术》。《OVM通讯》创办于1997年,《海威姆预应力技术》创办于2000年。2004年,合并为《预应力技术》。由中国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,截止至2016年12月已发行119期。《预应力技术》由我国著名桥梁专家、两院资深院士李国豪题写。目前,《预应力技术》在业内已具有较大的影响,被CNKI中国期刊全文数据库、SWIC中文科技期刊数据库和Airiti Library(台湾华艺线上图书馆)等数据库全文收录。

一、宗旨:为预应力技术行业提供一个学术讨论的园地,以便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。

二、栏目设置:《预应力技术》开辟预应力技术工程设计与施工、预应力产品开发与应用、预应力技术研讨与交流,新技术、新材料、新结构、新产品的介绍与信息等栏目,刊登国内外有关预应力方面的技术文章与报道。它的发送对象为我国高等院校、科研部门、设计施工单位及有关专家、学者、工程技术人员。

三、征稿对象:凡工作或研究方向涉及预

应力技术,包括桥梁、建筑、水利水电、岩土锚固等领域的广大专家、学者及工程技术人员。

四、来稿须知:

1、为了提高《预应力技术》质量,现长期向国内外的专家、学者、工程技术人员等征集稿件。来稿一经发表,编辑部按规定支付稿酬,并赠送样刊,欢迎您投稿并来函来电。

2、来稿不涉及保密、署名无争议等,文责自负。编辑部有权对文稿进行删改,如不同意删改,请投稿时注明,因工作量大,请作者自留底稿,恕不退稿。

3、来稿请附作者简介,内容包括出生年月、性别、职称、职务、学历、主要荣誉及联系方式(通讯地址/邮编/电话/电子邮箱)。投稿2个月后如无接到采用通知,可另行处理。

《预应力技术》编辑部

稿件寄送及联系地址:广西柳州市阳和工业园阳惠路1号《预应力技术》编辑部

邮编:545006

电话:0772-3116594

传真:0772-3116594

电子信箱:yylys@ovm.cn

联系人:王英 陆劭红