

doi:10.3969/j.issn.1003-4226.2016.03.001

预应力钢绞线力学性能试验研究

张小鹏, 王象良, 邢怀念, 李 达
(大连理工大学, 辽宁 大连 116024)

摘要:以 1×7 结构钢绞线为例,研究钢绞线拉伸时的力学特性,找出预应力钢绞线断丝检测方法和探索松弛过程中塑性应变变量。通过比较完整钢绞线和 2 种断丝情况下的曲线图,可以在不破坏混凝土的情况下判断钢绞线是否存在断丝,为断丝检测提供参考依据。松弛试验中,首先进行钢绞线的拉伸试验,并根据试验数据拟合出加载力和钢绞线应变的关系表达式;之后进行钢绞线的松弛试验,记录松弛过程中各时间点钢绞线的实际应变值,绘制应力松弛曲线、计算松弛率;最后在相应时间点处,通过关系表达式计算得出对应加载力下的拉伸应变,拉伸应变变量减去对应的松弛应变变量,即得塑性应变变量。

关键词:预应力钢绞线;应变测量;应力松弛;塑性应变

中图分类号:TG356.4+5 **文献标识码:**A

Experimental research on mechanical properties of prestressing steel strand

Zhang Xiaopeng, Wang Xiangliang, Xing Huainian, Li Da
(Dalian University of Technology, Dalian, 116024, China)

Abstract:The research of mechanical properties of steel strand in tension by taking 1×7 structure steel strand for example, prestressing steel strand broken wire detection method is found and plastic strain amount of relaxation process is explored. Comparing good quality steel strand and two kinds of broken wire through graph, whether steel strand exist broken wires can be measured without destroying concrete, provide reference for broken wire detection. In relaxation test, the tensile experiment of steel strand is carried out firstly, and relation expression between loading force and steel strand strain is fit by the experiment data, then the relaxation test of steel strand is done, the actual strain of steel strand during the each relaxation time is recorded, stress relaxation curve is drawn and relaxation rate is calculated. Finally, at the appropriate point in time, tensile strain under the loading force by a relation expression is calculated, tensile strain distract relaxation strain, that is plastic strain.

Keywords:prestressed steel strand; strain measurement; stress relaxation; plastic strain

在保持恒定变形的材料中,材料内部应力会随着时间增加而减小,这种现象称做应力松弛,它可以看成是一种广义的蠕变。应力松弛实质上是弹性变形渐渐变为塑性变形^[1]。预应力混凝土结构中,为了防止混凝土开裂,可以通过锚固钢绞线的方式,给混凝土提前施加一定的力。钢绞线在整个结构的寿命中都是处于受力状态,但由于应力松弛特性的存在,钢绞线上的力是有衰减的。相同强度级别的钢丝有普通钢丝和低松弛钢丝。低松弛钢丝具有低松弛特性,比普通钢丝更省材料。数据显示,普通钢丝和低松弛钢丝在初始载荷及其他使用条件都相同的情况下,50年后低松弛钢丝比普通钢丝应力提高 10% 左右^[2]。松弛率越低,越节省钢材,经济效益越好。过去对钢

材松弛试验研究大多是在高温条件下进行的,而实际建筑上所用的钢绞线一般都是在常温条件下使用的,因此开展常温条件下的研究很有必要。常温下,影响钢绞线应力松弛的因素主要有钢绞线的机械特性、制造工艺、钢绞线几何结构等^[3]。笔者通过试验,对 1×7 结构钢绞线的拉伸力学性能及松弛特性进行了分析与总结^[4],一方面研究钢绞线存在断丝情况下的应变分布,为钢绞线的损伤诊断提供参考依据;另一方面探索应力松弛状态下,塑性应变变量的测量方法。

1 钢绞线的规格尺寸和力学性能

1×7 结构钢绞线的规格尺寸和力学性能^[5]分别见表 1、表 2。

表 1 1×7 结构钢绞线规格尺寸
Table 1 1×7 structure steel strand dimension

公称直径 D_n /mm	直径允许偏差/mm	公称横截面积 S_n /mm ²	线质量/(g·m ⁻¹)	中心钢丝直径 d_0 加大范围/%
15.20	-0.15 ~ +0.40	140	1 101	≥2.5

表 2 1×7 结构钢绞线力学性能
Table 2 Mechanical properties of 1×7 structure steel strand

公称抗拉强度 R_m /MPa	整根钢绞线最大力 F_m /kN	整根钢绞线最大力的最大值 $F_{m(max)}/kN$	0.2% 屈服力 $F_{R0.2}/kN$	最大力总伸长率 ($L_0 \geq 500$ mm) $A_g/\%$	初始负荷相当于实际最大力的百分数/%	1 000 h 应力松弛率 $r/\%$
1 860	≥260	288	≥229	≥3.5	70	≤2.5

2 拉伸试验及结果分析

截取 3 段等长的 1×7 结构钢绞线,其截面如图 1 所示。对 1 号钢绞线外围的 6 根钢丝分别沿纵向粘贴应变片,2 号钢绞线外围 5 根钢丝沿纵向粘贴应变片,3 号钢绞线外围 6 根钢丝沿纵向粘贴应变片,粘贴应变片的钢绞线试样如图 2 所示。取 1 根钢丝并沿纵向粘贴应变片作为温度补偿片,试验在常温下进行。

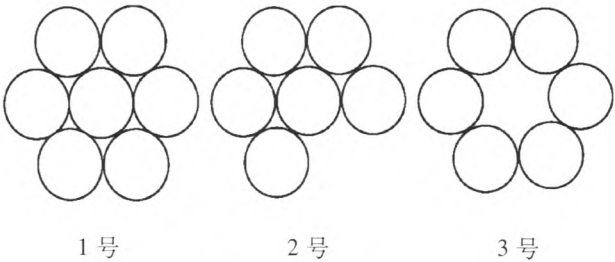


图 1 钢绞线截面
Fig. 1 Steel wire cross section

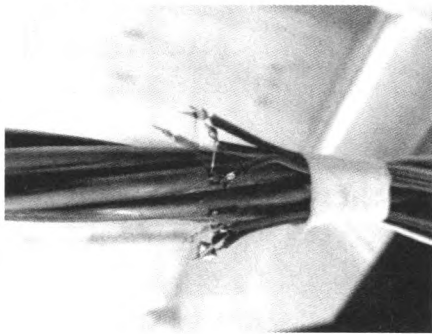


图 2 钢绞线试样
Fig. 2 Steel wire test specimen

分别对 1 号、2 号、3 号钢绞线试样进行拉伸试验特性分析。每根试样循环加载 2 次,并对每次加载 20,40,60,80,100,120,140,160,180,200 kN 试验力时钢丝的应变值进行记录。力的加载过程如图 3 所示。

对 1 号、2 号、3 号钢绞线试样进行拉伸加载试验,应变情况分别如图 4、图 5、图 6 所示。

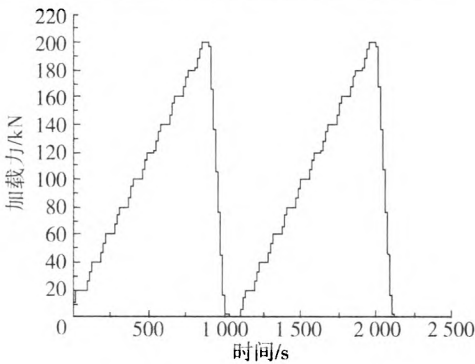
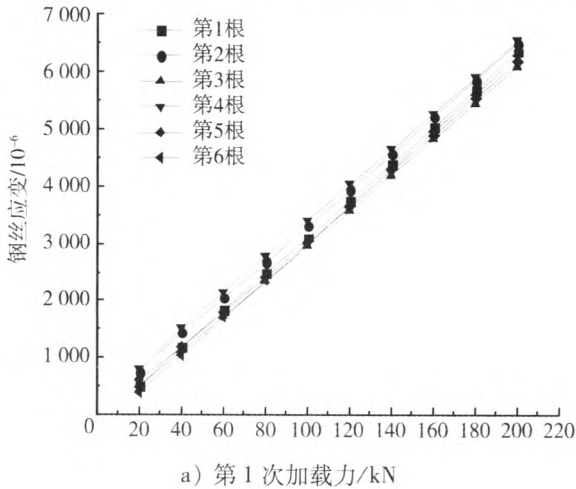


图 3 力的加载过程
Fig. 3 Loading process of the force

1 号模拟的是完整的钢绞线,2 号模拟的是外面断 1 根丝的钢绞线,3 号模拟的是中间断 1 根丝的钢绞线。通过上述 3 组试验可以发现,1 号钢绞线受力比较均匀,2 号与 3 号钢绞线的应变明显“混乱”,容易出现 1 根或几根分担更多力的情况,当几根钢丝达到屈服状态后,剩余的却没有很好地利用。工程应用中常出现钢绞线发生断丝的情况,3 组不同的拉伸曲线,为开展钢绞线的断丝检测提供了依据。

3 应力松弛试验及结果分析

预应力工程中,除了对钢绞线的张拉力学特性



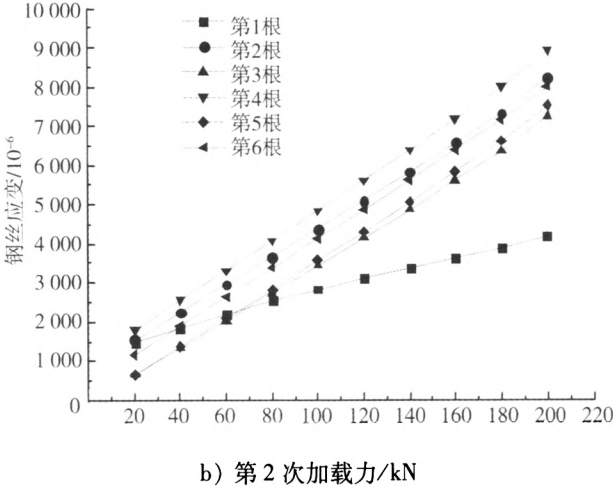
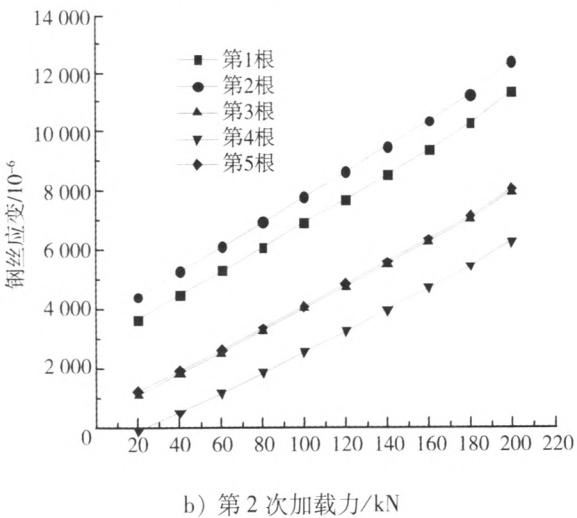
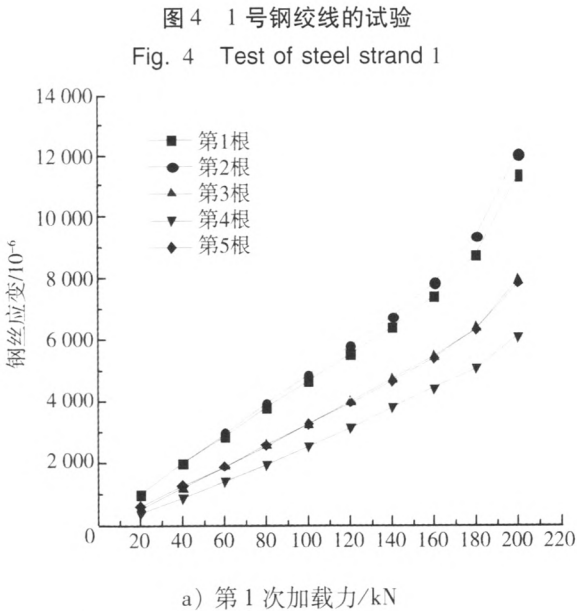
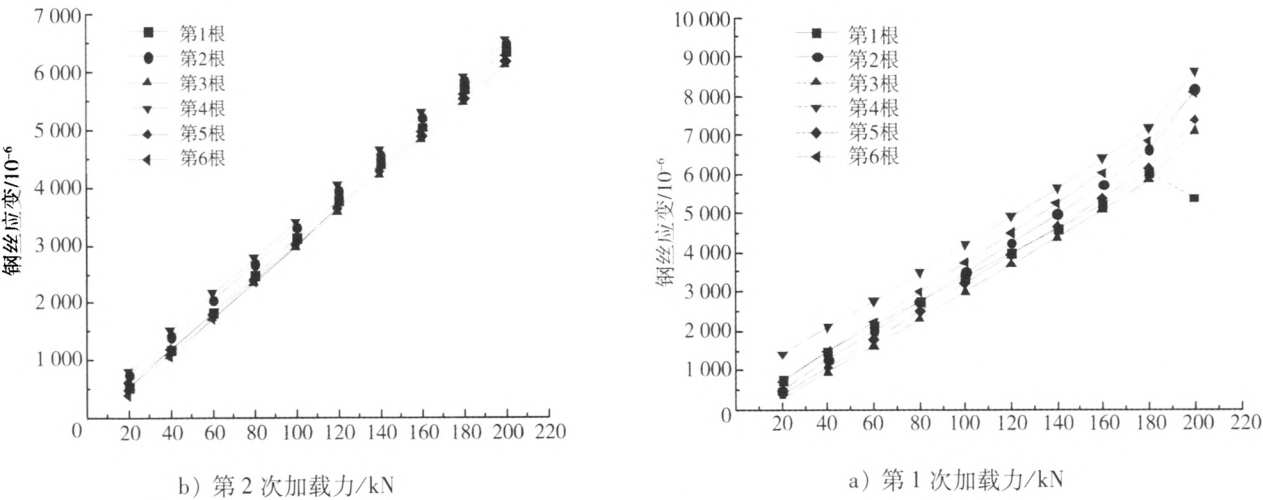


图 4 1 号钢绞线的试验
Fig. 4 Test of steel strand 1

图 5 2 号钢绞线的试验
Fig. 5 Test of steel strand 2

图 6 3 号钢绞线的试验
Fig. 6 Test of steel strand 3

分析外,整个结构使用过程中的可靠性也是探讨的重点,因此就涉及到了预应力钢绞线很重要的特性——应力松弛。此次试验采用 1 m 长的 1 号钢绞线,加载 182 kN 的力保持总位移不变。按照 GB/T

10120—1996^[6]试验标准,按 1,3,6,9,15,30,45 min 和 1,1.5,2,4,8,10,24 h 时间间隔定时记录,以后每隔 24 h 记录一次,直至试验结束。为计算出试验机加载力与各应变片的关系表达式,先按照 30,60,90,120,150,182 kN 的加载力测出应变值,再用最小二乘法拟合得出加载力与弹性应变的关系。其关系式为

$$\varepsilon = 25.793F - 18.886, \quad (1)$$

式(1)中: ε 为微应变,10⁻⁶; F 为加载力,kN。

松弛试验开始后,按照 GB/T 10120 要求,一直到第 5 天结束。松弛率计算公式

$$R = \frac{F_0 - F_r}{F_0} \times 100\%, \quad (2)$$

式(2)中: R 为松弛率,%; F_0 为初始试验力,kN; F_r 为剩余试验力,kN。

剩余试验力 F_r 与时间 T 的关系曲线如图 7 所示。由图 7 可以看出,初始试验力 $F_0 = 182$ kN,120 h 后剩余试验力 $F_r = 176.8$ kN,由式(2)计算松弛率为 2.86%。

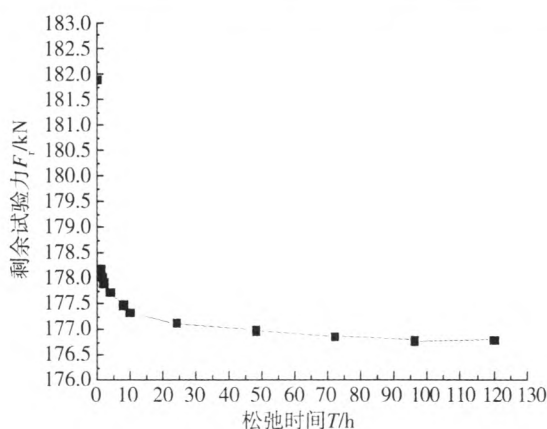


图 7 松弛曲线图

Fig. 7 Relaxation curve diagram

以时间的对数为横坐标,剩余试验力为纵坐标得出时间对数与应变的关系如图 8 所示。可以看出两者之间的关系近似为一条直线,使用最小二乘法线性回归后得到关于时间的方程式(3),即为时间对数与钢绞线应变的关系表达式。

$$F_r = -1.0656 \lg(t) + 178.5976. \quad (3)$$

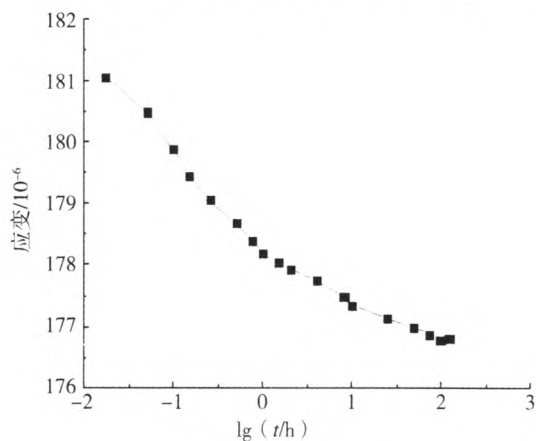


图 8 时间对数与应变的关系

Fig. 8 Relation between log time and strain

松弛试验过程中保持钢绞线总位移不变,试验力逐渐减小,钢绞线的松弛应变也在逐渐减小。将松弛应变和式(1)计算得出的应变对比,可以发现计算应变比松弛应变大。松弛应变与计算应变对比如图 9 所示。

随着松弛时间增加,加载力减小,相应的弹性变形量也会减小,而松弛应变减小得更多。松弛试验中损失的部分应变即是塑性变形量,松弛试验中塑性应变的变化规律如图 10 所示。可以看出,在松弛试验开始阶段,塑性变形增长较快,速率较大;之后的较长时间内,变形稳定,变形速率接近于零;在试验结束时变形速率稍微加大。此试验可以得出松弛过程中塑性应变的变化规律。

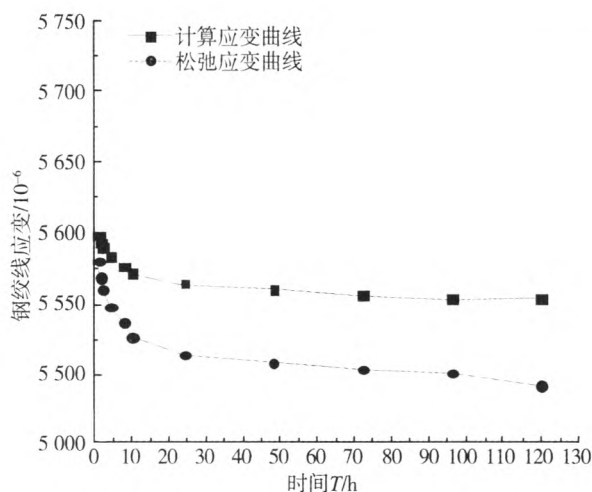


图 9 松弛应变与计算应变对比

Fig. 9 Contrast between relaxation strain and calculation strain

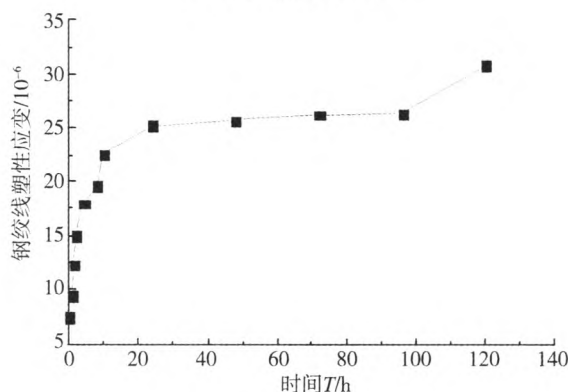


图 10 塑性应变的变化规律

Fig. 10 Change regularity of plastic strain

4 结论

(1)对取自预应力工程中的钢绞线,首先进行结构尺寸分析,然后将钢绞线进行拉伸试验,得到拉伸曲线图。通过曲线图,可以在不破坏混凝土的情况下判断钢绞线是否存在断丝,从而为断丝检测提供试验依据。

(2)松弛试验中,为衡量松弛过程中的弹性应变,首先对钢绞线进行张拉试验,通过试验数据点,拟合出拉伸试验力与钢绞线应变的线性公式。再通过试验得到松弛曲线图,求得松弛率和松弛预测模型。钢绞线的松弛应变可以通过电测法得到,根据公式(1)计算得到弹性应变,绘制关于时间的 2 种应变曲线图。塑性变形量为计算应变值减去测量的松弛应变值,进而得出关于时间的塑性变化曲线图。

参考文献

- [1] 湛利华,王萌,黄晓辉.基于蠕变公式的时效力松弛行为预测模型[J].机械工程学报,2013(10):70-76.

doi:10.3969/j.issn.1003-4226.2016.03.002

新型胎圈钢丝生产线工艺探讨

余 鹏

(上海交通大学, 上海 200240)

摘要:新型胎圈钢丝生产线避免了传统的铅浴回火工艺,提高生产效率。介绍了新型胎圈钢丝生产线生产工艺。消除钢丝内应力采用中频去应力退火,使钢丝表面温度达到350~500℃,电压控制在400~480V;镀铜采用化学镀,钢丝通过镀铜溶液在表面生成一层青铜;在钢丝表面涂库玛以提高钢丝与橡胶的黏合力。新型生产线的速度达到6m/s,提高了生产线产能,具有高效、环保等特点,降低生产成本,减少对环境的污染。

关键词:胎圈钢丝;无铅浴;中频去应力退火;环保;化学镀;力学性能

中图分类号:TG356.4+5 **文献标识码:**A

Discussion of new type bead wire production line process

Yu Peng

(Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract:New type bead wire steel wire production line avoids traditional lead bath tempering process, improves production efficiency. New type bead wire steel wire production line process is introduced. The intermediate stress relief annealing is adopted to relieve steel wire stress, surface temperature of steel wire reaches 350~500℃, voltage is controlled at 400~480V. Copper plating adopts electroless plating, the steel wire passes through copper solution and a layer bronze produces on the surface. To coat Kumar on steel wire surface is to increase adhesive force between steel wire and rubber. The speed of new type production line reaches 6m/s, production line capacity is improved, has characteristics of high efficiency, environmental production, production cost is reduced, the environment pollution is decreased.

Keywords:bead wire; no lead bath; intermediate stress relief annealing; environmental protection; electroless plating; mechanical property

我国现有的胎圈钢丝生产企业众多,大部分厂商均采用传统的铅浴回火工艺,由于国家对企业环保的要求越来越高,在一些地区尤其是工业发达地区铅浴工艺已经被明令禁止使用,这对胎圈钢丝生产企业扩大产能抢占市场有一定限制,也对企业转型升级,淘汰

当前落后装备提出迫切的要求。

笔者介绍一种新型环保的胎圈钢丝生产线,目前世界上仅有少量的企业在使用此新型生产线。和原始的铅浴生产线相比,新型胎圈钢丝生产线在工艺上有较大变化,这些变化有利于提高生产效率,减

[2] 张秀凤. 预应力钢材抗应力松弛性能的探究与探讨[J]. 上海钢研, 2005(2):1-6.

[3] 毛爱菊. 预应力钢材的松弛试验[J]. 金属制品, 2000(5):43-46.

[4] 高伯阳. 预应力高强度钢丝和七股钢绞绳的徐变及应力松弛试验[J]. 土木工程学报, 1964(2):29-40.

[5] 中国国家标准化管理委员会. 预应力混凝土用钢绞线:GB/T 5224—2014[S]. 北京:中国标准出版社, 2014.

[6] 中国国家标准化管理委员会. 金属应力松弛试验方法:

GB/T 10120—1996[S]. 北京:中国标准出版社, 1996.

(收稿日期:2016-03-31)

作者简介

张小鹏 1955年生,大连理工大学运载工程与力学学部副教授。

王象良 1988年生,大连理工大学运载工程与力学学部硕士研究生。

邢怀念 1978年生,大连理工大学运载工程与力学学部教师。

李 达 1986年生,大连理工大学运载工程与力学学部教师。