

# 胶管钢丝反复弯曲试验的影响因素探讨

吕青, 汤建忠, 崔恒伟, 邹国华, 赵同

(江苏兴达钢帘线股份有限公司, 江苏泰州 225721)

**摘要:** 研究圆柱支座半径和张紧力等测试参数对胶管钢丝反复弯曲试验结果的影响。结果表明: 圆柱支座半径越小, 胶管钢丝弯曲次数越少, 且两者呈近似幂指数关系; 按照GB/T 238—2013选择较小圆柱支座半径, 弯曲试验结果更稳定, 可有效降低试验误差导致误判的几率; 张紧力过大会导致胶管钢丝弯曲性能明显下降。

**关键词:** 胶管; 钢丝; 弯曲试验; 圆柱支座半径; 张紧力

**中图分类号:** TQ336.3; TQ330.38<sup>+9</sup>

**文章编号:** 2095-5448(2022)08-0409-03

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.12137/j.issn.2095-5448.2022.08.0409



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

反复弯曲试验次数是胶管钢丝的重要力学性能指标之一, 反映了胶管钢丝的韧性<sup>[1]</sup>, 目前国内关于胶管钢丝的产品标准均对反复弯曲指标做出了明确的规定。在测试过程中, 除试样本身性能的影响外, 不同试验方法和试验条件对测试结果也有一定的影响, 如圆柱支座半径和张紧力等。本工作通过研究反复弯曲的试验条件, 探讨胶管钢丝反复弯曲试验的影响因素。

## 1 试验仪器

WJJ-6C型机动弯折试验机, 宁夏青山试验机有限公司产品, 其工作原理如图1所示, 在拨杆部位使用弹簧控制样品测试的张紧力。

## 2 试验过程

### 2.1 圆柱支座半径的影响

涂应宏等<sup>[2]</sup>指出, 圆柱支座半径对金属线材弯曲次数有重大影响, 且两者呈近似幂指数的关系, 随着圆柱支座半径的增大, 金属线材的反复弯曲次数会明显增加。

在GB/T 238—2013《金属材料 线材 反复弯

**作者简介:** 吕青(1976—), 女, 河北唐山人, 江苏兴达钢帘线股份有限公司工程师, 硕士, 主要从事钢帘线试验及试验室管理工作。

**E-mail:** lvqing160@126.com

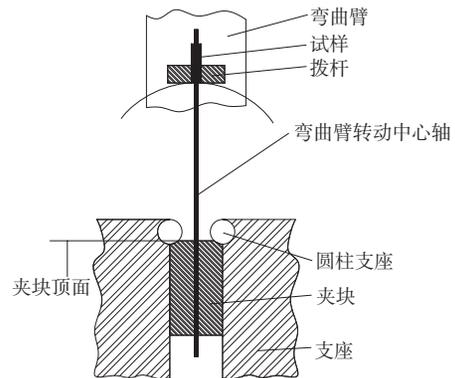


图1 机动弯折试验机工作原理示意

曲试验方法》中规定根据线材不同公称直径选择不同的圆柱支座半径, 如表1所示, 但在GB/T 11182—2017《橡胶软管增强用钢丝》中规定, 所有胶管钢丝均采用2.5 mm的圆柱支座半径测试反复弯曲性能。

选取直径为0.25, 0.295, 0.35, 0.50和0.65 mm的胶管钢丝在不同圆柱支座半径条件下进行反复弯曲试验, 结果如表2所示。

表1 钢丝反复弯曲试验参数 mm

圆形金属线材公称直径( $d$ )	圆柱支座半径( $r$ )	圆柱支座至拨杆距离	拨杆孔直径
$0.3 \leq d < 0.5$	$1.25 \pm 0.05$	15	2.0
$0.5 \leq d < 0.7$	$1.75 \pm 0.05$	15	2.0
$0.7 \leq d < 1.0$	$2.5 \pm 0.1$	15	2.0

表2 胶管钢丝在不同圆柱支座半径条件下的弯曲试验结果

d/mm	r/mm	弯曲次数						
		1#	2#	3#	4#	5#	平均值	极差
0.25	1.25	47	50	47	46	49	48	4
	1.75	82	77	77	82	80	80	3
	2.50	133	132	140	137	129	134	11
0.295	1.25	33	35	35	34	35	34	2
	1.75	58	57	63	62	63	61	3
	2.50	109	114	120	115	108	113	12
0.35	1.25	24	25	26	25	25	25	2
	1.75	45	49	42	50	45	46	3
	2.50	73	74	69	76	72	73	7
0.50	1.25	17	17	18	18	17	17	1
	1.75	29	31	29	30	28	29	1
	2.50	49	46	50	52	48	49	6
0.65	1.25	9	10	9	9	10	9	1
	1.75	16	15	17	18	18	17	1
	2.50	30	34	34	33	30	32	4

从表2可以看出,不同圆柱支座半径对金属材料弯曲次数有重大影响,圆柱支座半径越小,弯曲次数越少,且两者呈近似幂指数的关系,这种规律在直径较小胶管钢丝上表现更明显。

同时也可以看到,根据GB/T 238—2013选择圆柱支座半径,胶管钢丝弯曲次数极差更小。

目前国内外胶管钢丝的弯曲试验均采用2.5 mm圆柱支座半径,必然导致极差大,试验结果不能准确反映钢丝的弯曲性能,甚至会造成误判。

### 2.2 张紧力的影响

GB/T 238—2013规定,为确保试样与圆柱支座圆弧面的连续接触,对试样施加的张紧力不超过其公称抗拉强度相对力值(公称破断力)的2%,而张紧力的大小主要通过调节弹簧位移来确定。根据胡克定律,弹簧位移与力值存在以下线性关系<sup>[3]</sup>:

$$F=P\lambda$$

式中  $F$ ——弹簧轴向压力,N;  
 $P$ ——弹簧弹性系数,N·mm<sup>-1</sup>;  
 $\lambda$ ——弹簧轴向压缩量,mm。

弹簧弹性系数通常是一个常数,可根据弹簧的切变模量、直径、有效圈数和旋绕比直接计算。本次试验选用的WJJ-6C型机动弯折试验机配备有两种弹簧,簧丝直径分别为1.0和1.8 mm,同时该仪器已制作刻度尺,可根据弹簧压缩量直接确定钢丝的张紧力大小,如图2所示。



图2 WJJ-6C型机动弯折试验机张紧力控制装置

当张紧力在2~10 N之间时,选择簧丝直径为1.0 mm的弹簧;当张紧力在10~60 N之间时,选择簧丝直径为1.8 mm的弹簧。

选取直径为0.25,0.295,0.35,0.50和0.65 mm的胶管钢丝在不同张紧力条件下进行反复弯曲试验,为便于比较张紧力对胶管钢丝弯曲试验结果的影响,结合笔者在测试过程中发现由于弹簧选取不合理导致张紧力超过试样公称破断力2%的情况,选择施加的张紧力分别为试样公称破断力的1%,2%,5%和10%,试验结果如表3所示。

从表3可以看出:不同张紧力对胶管钢丝反复弯曲性能有一定的影响,在满足不超过试样公称

表3 胶管钢丝在不同张紧力条件下的弯曲试验结果

d/mm	R/%	弯曲次数					平均值
		1#	2#	3#	4#	5#	
0.25	1	134	131	137	129	130	132
	2	129	124	126	129	132	128
	5	111	114	115	119	113	114
	10	105	109	103	104	109	106
0.295	1	103	110	109	105	101	106
	2	107	106	105	106	100	105
	5	102	104	103	104	101	103
0.35	10	99	94	99	100	102	99
	1	73	80	72	76	72	75
	2	69	75	73	75	69	72
	5	63	57	57	54	54	57
0.50	10	50	55	55	52	52	53
	1	49	46	50	52	48	49
	2	50	48	49	49	50	49
	5	41	46	43	43	42	43
0.65	10	35	37	38	35	37	36
	1	30	35	34	33	30	32
	2	32	34	28	27	30	30
	5	27	27	28	25	29	27
0.65	10	22	20	22	21	20	21

注:R为张紧力与公称破断力的比值。

破断力2%时,张紧力对胶管钢丝反复弯曲次数的影响并不明显;当张紧力超过公称破断力2%时,胶管钢丝反复弯曲次数明显减少,特别是较细规格胶管钢丝对张紧力更为敏感。

在扫描电子显微镜下观察胶管钢丝反复弯曲断口的形貌。张紧力设为试样公称破断力的1%~2%时断口如图3所示,因钢丝反复弯曲导致弯曲表面和内部均出现大量裂纹,钢丝达到疲劳极限出现断裂,属于典型的反复弯曲断口。随着张紧力的不断增大,出现颈缩状断口的概率不断增大,在张紧力达到试样公称破断力的10%时,出现了如图4所示的颈缩状弯曲断口,主要是因为钢丝不仅受到交变弯曲应力的影响,同时还受到了较大张紧力的作用,随着弯曲次数的不断增加,不同晶面可能出现滑移错位缺陷,钢丝在反复弯曲中出现应力集中现象,导致反复弯曲性能下降。

### 3 结论

(1) 圆柱支座半径越小,胶管钢丝弯曲次数越少,且两者呈近似幂指数的关系,这种规律在较细规格胶管钢丝上表现更明显。

(2) 按照GB/T 238—2013选择圆柱支座半径,胶管钢丝弯曲次数极差更小,检测结果更稳定,可降低胶管钢丝性能误判的风险。

(3) 张紧力过大会导致胶管钢丝的弯曲性能明显下降,为了保证弯折试验机准确检测胶管

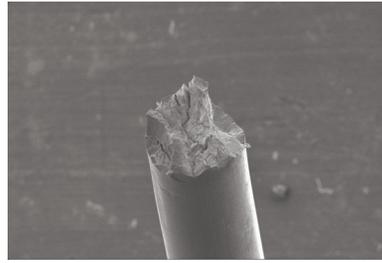


图3 典型反复弯曲断口

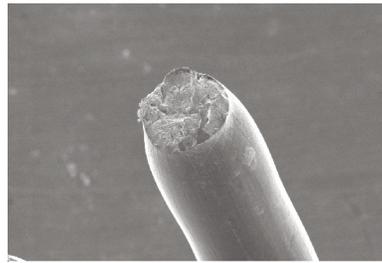


图4 颈缩状弯曲断口

钢丝弯曲性能,减少仪器误差导致的检测结果不准确现象,应对检测过程中的张紧力进行监控,确保张紧力持续满足标准要求。

### 参考文献:

- [1] 宁云娥.“GB 238—84”金属线材反复弯曲试验方法在检测工作中的应用[J].大连特殊钢,1990(1):31-34.
- [2] 涂应宏,李荣峰,刘东.浅谈国家标准GB/T 238《金属材料 线材 反复弯曲试验方法》修订工作中的几点体会[J].理化检验-物理分册,2013,49(11):759-762.
- [3] 吴澎,陈建豪.钢丝反复弯曲试验机张紧力指示装置的改造和试验[J].理化检验-物理分册,2014,50(10):748-751.

收稿日期:2022-03-31

## Influencing Factors of Repeated Bending Test of Rubber Hose Steel Wire

LYU Qing, TANG Jianzhong, CUI Hengwei, ZOU Guohua, ZHAO Tong

(Jiangsu Xingda Steel Cord Co., Ltd, Taizhou 225721, China)

**Abstract:** The influence of test parameters such as the radius of the cylindrical support and the tension force on the result of repeated bending test of rubber hose steel wire was studied. The results showed that the smaller the radius of the cylindrical support was, the less the number of times the hose wire was bent, and the two had an approximate power exponential relationship. By selecting a smaller radius of the cylindrical support according to GB/T 238—2013, the bending test results were more stable and the probability of misjudgment caused by test error could be effectively reduced. Moreover, excessive tension would lead to an obvious decline of the bending property of the rubber hose steel wire.

**Key words:** rubber hose; steel wire; bending test; cylindrical support radius; tension