

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2013.08.018

高强不锈钢丝试验研究

李承昌¹, 张劲泉¹, 王辉绵², 曹娇婵², 张江威¹

(1. 交通运输部公路科学研究院, 北京 100088; 2. 山西太钢不锈钢股份有限公司, 山西 太原 030003)

摘要:通过分析传统拉吊索存在的病害原因及其改进措施的不足,提出了将不锈钢丝应用于拉吊索的思路。提出了用于拉吊索高强不锈钢丝的强度、断裂延伸率等技术指标的目标要求。选择适合的不锈钢反复进行了力学和工艺性能试验。通过试炼得到了高强、高延性的不锈钢,并继续进行了力学及工艺性能试验,最终得到了符合桥梁拉吊索用的高强不锈钢丝,并提出了下一步的研发方向。

关键词:桥梁工程; 不锈钢丝; 试验研究; 拉吊索

中图分类号: U443.38

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2013)08-102-06

Experimental Study on High-strength Stainless Steel Wires

LI Cheng-chang¹, ZHANG Jin-quan¹, WANG Hui-mian², CAO Jiao-chan², ZHANG Jiang-wei¹

(1. Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China;

2. Shanxi Taigang Stainless Steel Co., Ltd., Taiyuan Shanxi 030003, China)

Abstract: By analyzing disease causes of traditional suspender cables and lack of the improvement measures, the idea of applying stainless steel wires to suspender cables is put forward. The objectives and requirements of technical indicators of high-strength stainless steel wires for suspender cables such as strength, elongation at fracture, etc. are proposed. The repeated mechanical and processing property tests of selected appropriate stainless steel are conducted, and the stainless steel with high strength and high ductility is obtained by trial refining. Then, the mechanics and processing property tests are continuously conducted, the high strength stainless steel wires suitable for bridge suspender cables are obtained at last, and the next stage research and development direction is put forward.

Key words: bridge engineering; stainless steel wire; experimental research; suspender cable

0 引言

拉吊索桥梁以其美观大方、跨越能力大等优点被广泛应用,但近年来却病害频发,其原因是传统拉吊索采用的是高强碳素钢丝或钢绞线,其结构十分纤细,且长期处于高应力状态下,对外界侵害比较敏感。随着使用年限的增长,逐步暴露出防腐层老化、锈蚀、断丝等病害,严重者出现拉吊索断裂,引起桥梁坍塌事故^[1]。调研资料表明,目前拉吊索桥梁换索周期一般为5~20 a,远小于20 a以上的设

计使用年限^[4]。

目前世界各国采取的改进措施主要从拉索防护材料、索体结构等方面着手,从实际应用效果来看不够理想。一个新的解决思路是利用不锈钢丝代替高强碳素钢丝,充分利用不锈钢的耐蚀、耐磨、高强等优良性能,从而彻底解决拉吊索钢丝锈蚀病害这一顽疾。

1 不锈钢丝拉吊索

不锈钢丝拉吊索,顾名思义,就是利用不锈钢丝制成的拉吊索,充分利用不锈钢的不锈特点,彻

收稿日期: 2012-09-07

基金项目: 交通运输部科技项目(2013318223350)

作者简介: 李承昌(1963-),男,山东新泰人,硕士,研究员。(chch.li@rioh.cn)

底解决拉吊索的锈蚀问题。

制约不锈钢材料应用于拉吊索设计的一个重要的原因是成本因素, 目前不锈钢的价格远高于普通碳素钢; 其次是传统观点认为其强度低。但从长远来看, 不锈钢丝应用于拉吊索是其发展方向, 原因是: (1) 目前虽然不锈钢的价格远高于传统拉吊索用钢丝价格, 但随着不锈钢冶炼、轧制技术的发展、成熟, 更多牌号高强不锈钢的开发应用, 二者之间的差距将会缩小; (2) 若将不锈钢丝应用于拉吊索, 将提高桥梁拉吊索的使用年限, 减少换索次数, 降低桥梁的养护成本; (3) 与传统拉吊索结构相比, 不锈钢丝具有耐蚀性好, 强度高, 耐磨性好等优点, 且仅简单防护即可, 与目前索体复杂护套防护相比成本有一定程度的降低; (4) 不锈钢丝应用于桥梁拉吊索, 可减少换索过程中对环境的污染, 且不锈钢丝具有回收利用率高、维护费用低等优点, 能够实现拉吊索设计用料从双高(高消耗、高污染)到双型(节约型、环保型)的转变。

2 拉吊索用高强不锈钢丝研究指标的确定

作为拉吊索材料应用的不锈钢, 在满足不锈性和耐腐蚀性的前提下, 还应具有优异的力学性能。

力学性能反映在应力作用下金属材料在形变和断裂过程中所表现的行为, 这些行为用强度、塑性和韧性等参量来表示。作为一大类合金钢, 传统观点认为不锈钢强度一般比较低, 这是一种误解。实际上, 不锈钢有着极广的强度范围, 不锈钢可采用各种强化措施, 这些强化措施包括固溶强化、马氏体强化、时效硬化、加工硬化、细化晶粒等。这些措施的综合应用大大提高了不锈钢的强度^[5]。近年来, 由于工程结构形式不断朝着大跨度、高应力方向发展, 因而对材料的要求也在不断提高, 超高强度不锈钢材料的研究也越来越引起人们的重视。

不锈钢种类繁多, 性能各异, 适用范围广。通常按基体组织分为马氏体不锈钢、奥氏体不锈钢、铁素体不锈钢、奥氏体-铁素体(双相)不锈钢和沉淀硬化不锈钢。不锈钢品种中, 沉淀硬化不锈钢的强度最高, 其次是马氏体不锈钢, 但这 2 种钢的延伸率小, 韧性差, 耐蚀性差; 奥氏体不锈钢虽延伸率大, 韧性好, 耐蚀性好, 但强度最低; 铁素体不锈钢强度高于奥氏体不锈钢, 但机械性能和工艺性能较差; 双相不锈钢兼有强度高, 延伸率大, 韧性好, 耐蚀性好等优点^[3,7]。现有主要高强不锈钢的牌号和力学性能见表 1。

表 1 主要高强不锈钢牌号及力学性能

Tab. 1 Grades and mechanical properties of main high strength stainless steels

钢号	组织	品种	热处理制度	直径 d/mm	断裂抗拉强度 R_m /MPa	名义屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	5 d 断裂 伸长率 δ_5 /%	弹性模量 E/MPa
0Cr12 Mn5Ni4 Mo3Al	沉淀硬化 半奥氏体	钢丝	—	4 5 6	1 900 1 855 1 710	1 830 — 1 630	9	190
0Cr17 Ni7Al	沉淀硬化 马氏体	棒材	TH565 RH510	—	1 370 1 615	1 275 1 510	9 6	199
1Cr12 Ni3Mo2V	马氏体	棒材	1 050 °C 空淬 320 °C 空冷 420 °C 空冷	—	1 340 1 370 ~ 1 420	1 215 ~ 1 230 1 240 ~ 1 275	15 14	209
0Cr15Ni 5Cu2Ti	沉淀硬化 马氏体	棒材	—	25	1 270	1 130	17.5	199
0Cr17 Ni4Cu4Nb	沉淀硬化 马氏体	棒材	固溶 1 040 °C, 1 h, 空冷	400 °C 450 °C 500 °C	1 555 1 660 1 675	1 210 1 425 1 440	13.2 11.7 9.8	206

从表 1 看出, 高强不锈钢强度虽达到 1 000 MPa 以上, 但其断裂延伸率是按试件直径 5 倍标距计算的, 若按《桥梁缆索用热镀锌钢丝》(GB/T 17101—2008)^[8]标准要求的 250 mm 标距折算, 用 5 倍标距计算出的断裂延伸率为 20%, 约为用 250 mm 标距计算出的断裂延伸率的 4%, 即表 1 的高强不锈

钢用 250 mm 标距计算的断裂延伸率均在 4% 以下, 其延性不满足应用要求, 且硬度高, 脆性大, 宜发生脆断, 不宜直接用于拉吊索。因此, 桥梁拉吊索用高强不锈钢丝需要重新研制, 其目标为抗拉强度不低于 1 200 Mpa, 250 mm 标距的断裂延伸率不小于 4%, 且有优良的疲劳、松弛性能。

3 高强度、高延性不锈钢的研制

基于以上指标,通过查阅相关资料研究发现,在不锈钢中添加氮能满足以上要求^[5,7]。高氮不锈钢与传统不锈钢相比,具有很多优点:

- (1) 氮作为稳定钢中奥氏体的合金元素,具有很强的扩大奥氏体区的能力,大约是镍的 18 ~ 30 倍,以少量的氮代替镍,可节约资源,降低成本;
- (2) 固溶氮可同时提高钢的强度和塑性。目前高氮高合金钢的 σ_b 最大可达 3 600 MPa,是迄今为止强度最高的合金,氮含量为 0.35% ~ 0.7% 的奥氏体不锈钢具有较高的综合力学性能和耐腐蚀性能;
- (3) 氮合金化还可显著提高不锈钢耐点蚀、缝

隙腐蚀、晶间腐蚀等局部腐蚀的性能。在奥氏体钢中,即使氮含量仅为 0.06% 也可显著改善不锈钢的抗腐蚀性能。点蚀当量的试验结果显示,氮的当量值为 20,即 1% 的氮抗拒腐蚀能力相当于含 20% Cr 的不锈钢。

采用高氮不锈钢代替传统钢材以节约资源和减少环境负担,是钢铁材料重要的发展方向。因此,选用高氮奥氏体不锈钢(专利产品)加工成盘条和钢丝后用作桥梁拉吊索材料。

将通过试炼出的高氮不锈钢热轧成盘条后,经过不同温度的固溶硬化和时效硬化,按照不同冷拔道次、面减率、拔丝速度、拔丝温度等,最后选用 5 组典型不锈钢丝在不同的拔丝和热处理工艺下优选样品进行了试验,试验结果见表 2。

表 2 试制不锈钢丝拉伸性能
Tab. 2 Trial tensile properties of stainless steel wires

样品	序号	直径 d / mm	断裂抗拉力 F_m /kN	名义屈服力 $F_{p0.2}$ /kN	L_0 断裂后的实际长度 L_u /mm($L_0 = 250$)	弹性模量 E /GPa	断裂抗拉 强度 R_m /MPa	名义屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率 $A_{B0}/\%$ ($A = 250$ mm)
1#	1-01	5.00	14.9	11.7	263	120	760	595	5.2
	1-02	5.00	23.1	16.9	265	180	1 175	860	6.0
	1-03	5.00	22.7	15.4	260	160	1 160	785	4.0
	1-04	5.00	22.9	16.6	265	180	1 165	845	6.0
	1-05	5.00	23.2	17.0	261	160	1 180	865	4.4
	1-06	5.00	22.9	17.0	264	240	1 165	865	5.6
2#	2-01	5.00	23.6	18.7	280	170	1 205	950	12.0
	2-02	5.00	23.3	18.8	277	170	1 190	955	10.8
	2-03	5.00	23.2	18.7	285	180	1 180	955	14.0
	2-04	5.00	23.4	18.7	285	180	1 195	950	14.0
	2-05	5.00	23.4	18.7	286	170	1 190	950	14.4
	2-06	5.00	23.5	18.8	297	180	1 195	960	18.8
	2-07	5.00	23.5	19.2	284	170	1 195	975	13.6
	2-08	5.00	23.8	18.3	280	200	1 210	930	12.0
	2-09	5.00	23.8	19.6	276	170	1 210	995	11.4
3#	3-01	5.00	25.1	19.1	299	170	1 280	970	19.6
	3-02	5.00	24.7	18.9	288	180	1 260	965	15.2
	3-03	5.00	24.6	18.6	296	190	1 250	950	18.4
	3-04	5.00	24.3	18.7	287	190	1 240	955	14.8
	3-05	5.00	23.3	17.9	283	180	1 185	910	13.2
	3-06	5.00	23.2	17.7	296	180	1 185	900	18.4
	3-07	5.00	23.8	18.1	286	180	1 210	925	14.4
	3-08	5.00	23.8	18.8	278	170	1 210	960	11.2
	3-09	5.00	23.7	18.0	294	170	1 205	920	17.6

续表 2

样品	序号	直径 d / mm	断裂抗拉力 F_m /kN	名义屈服力 $F_{p0.2}$ /kN	L_0 断裂后的实际长度 L_u /mm($L_0 = 250$)	弹性模量 E /GPa	断裂抗拉 强度 R_m /MPa	名义屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率 $A_{10}/\%$ ($A = 250$ mm)
4 [#]	4-1	5.00	36.0	26.5	258	160	1 830	1 350	3.2
	4-2	5.00	35.6	26.4	255	160	1 815	1 345	2.0
	4-3	5.00	35.5	26.3	260	160	1 810	1 340	4.0
	4-4	5.00	35.9	26.8	257	160	1 830	1 365	2.8
	4-5	5.00	35.5	26.2	254	170	1 810	1 335	2.0
	4-6	5.00	35.4	26.0	258	170	1 800	1 325	3.2
	4-7	5.00	35.7	26.1	255	180	1 820	1 330	2.0
	4-8	5.00	35.1	25.9	259	160	1 785	1 320	3.6
	4-9	5.00	35.8	26.3	260	170	1 820	1 340	4.0
5 [#]	5-1	5.5	31.8	26.9	261	152	1 338	1 134	4.5
	5-2	5.5	32.6	27.3	262	160	1 374	1 149	5
	5-3	5.5	31.0	26.6	265	152	1 305	1 119	6
	5-4	5.5	30.2	27.4	266	158	1 273	1 152	6.5
	5-5	5.5	31.4	27.1	264	150	1 324	1 143	5.5
	5-6	5.5	31.5	27.0	265	156	1 327	1 138	6
	5-7	5.5	32.5	28.0	262	161	1 369	1 178	5
	5-8	5.5	31.1	27.1	265	154	1 309	1 141	6
	5-9	5.5	31.8	27.5	265	154	1 339	1 157	6

由表 2 可见, 1[#]、2[#]、3[#]不锈钢丝强度低但延展性大, 理论上虽可通过增加拉拔道次、面减率提高强度, 但其表面硬度已很高, 不宜再次拉拔; 4[#]不锈钢丝强度高, 但延伸率不足 4%, 极限变形小, 易出现脆断; 5[#]不锈钢丝的抗拉强度超过 1 300 MPa, 断裂延伸率大于 4%, 性能较为稳定, 符合上文选定的目标, 因此初步选 5[#]作为桥梁拉吊索用的高强度、高延性不锈钢丝。

4 高强度、高延性不锈钢丝的力学、工艺性能试验

4.1 拉伸性能

对选定的不锈钢丝根据《金属材料室温拉伸试验方法》(GB/T228—2002)^[9]和《金属杨氏模量、弦线模量、切线模量和泊松比试验方法(静态法)》(GB/T8653)^[10]的规定进行拉伸试验。拉伸试验结果见表 3。

根据《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)^[11]对表 3 的抗拉强度进行统计分析。在 95% 保证率下的强度标准值一般取概率分布的 0.05 分位值。当材料强度服从正态分布时, 其标准值为:

$$R = \mu - 1.645\sigma = 1\,299\text{ MPa}。$$

考虑到新研制钢丝的使用经验不足, 确定新研制不锈钢丝的强度标准值为 1 250 MPa, 直径为 5.5 mm。

4.2 反复弯曲

反复弯曲试验按《金属材料 线材 反复弯曲试验方法》(GB/T238—2002)^[12]的规定进行。要求试件平直, 表面无损伤, 试验温度为 (23 ± 5)℃。将试样自由端弯曲 90°, 再返回至起始位置作为第 1 次弯曲。依次向相反方向进行连续而不间断的反复弯曲。弯曲操作以每秒不超过 1 次的均匀速率平稳无冲击地进行。连续试验至试样完全裂断为止, 试样断裂的最后 1 次弯曲不计入弯曲次数 N_b , 不锈钢丝试验弯曲圆弧半径为 15 mm。共进行 15 根试件的试验, 反复弯曲均大于 5 次。

4.3 缠绕

缠绕试验按《金属材料 线材 缠绕试验方法》(GB/T 2976—2004)^[13]的规定进行。要求试件平直, 表面无损伤, 试验温度为 10 ~ 35℃。试验方式采用芯棒缠绕, 芯棒直径为 15 mm。试样长度保证完成本试验即可, 缠绕速度为 20 圈/min。共进行 15 根试件的试验, 反缠绕圈数均大于 8 圈。

4.4 应力松弛

试样的选取根据《钢材力学及工艺性能试验取

表 3 钢丝试验结果统计表

Tab. 3 Statistics of steel wire test result

序号	直径 d /mm	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长 率 A /%	序号	公称直 径/mm	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长 率 A /%
1	5.5	1 383	4.4	32	5.5	1 400	4.0
2	5.5	1 357	4.8	33	5.5	1 373	4.0
3	5.5	1 350	5.2	34	5.5	1 344	6.0
4	5.5	1 320	6.0	35	5.5	1 337	6.0
5	5.5	1 370	4.8	36	5.5	1 412	5.2
6	5.5	1 387	4.8	37	5.5	1 374	3.2
7	5.5	1 384	3.2	38	5.5	1 383	5.6
8	5.5	1 340	3.6	39	5.5	1 381	4.8
9	5.5	1 418	3.6	40	5.5	1 397	4.6
10	5.5	1 360	3.2	41	5.5	1 412	4.0
11	5.5	1 321	4.0	42	5.5	1 380	6.0
12	5.5	1 374	4.4	43	5.5	1 374	4.8
13	5.5	1 341	4.4	44	5.5	1 291	6.0
14	5.5	1 395	4.8	45	5.5	1 300	4.8
15	5.5	1 353	4.0	46	5.5	1 265	4.0
16	5.5	1 344	4.4	47	5.5	1 314	5.6
17	5.5	1 347	5.6	48	5.5	1 392	4.0
18	5.5	1 349	6.0	49	5.5	1 340	5.0
19	5.5	1 347	5.6	50	5.5	1 328	4.5
20	5.5	1 354	4.2	51	5.5	1 338	4.5
21	5.5	1 358	4.8	52	5.5	1 374	5.0
22	5.5	1 328	5.6	53	5.5	1 305	6.0
23	5.5	1 345	4.4	54	5.5	1 273	6.5
24	5.5	1 370	4.4	55	5.5	1 324	5.5
25	5.5	1 367	4.0	56	5.5	1 327	6.0
26	5.5	1 374	4.0	57	5.5	1 369	5.0
27	5.5	1 379	4.8	58	5.5	1 309	6.0
28	5.5	1 392	5.6	59	5.5	1 339	6.0
29	5.5	1 315	4.0	均值 μ		1 354	
30	5.5	1 332	6.4	方差 σ		34	
31	5.5	1 405	4.8	R		1 299	

样规定》(GB 2975—1998)^[14]进行。在外观和尺寸合格的不锈钢上切取。切取样坯时,应防止因受热、加工硬化和变形而影响其力学和工艺性能。不锈钢丝的松弛试验采用直径为 5.5 mm 圆形横截面试样,长度为 2.4 m,根据《金属应力松弛试验方法》GB/T10120—1996)^[15]进行松弛试验。试样标距为直径的 60 倍,即 330 mm。试验温度为 (20±2)℃;初始应力取公称强度的 70%,在 3~5 min 内均匀施加全部初始应力,初始试验力保持时间为 1 min,保持时间结束点作为零时间,在零时间应立即保持初始总应变或标距恒定。定时记录试验力和试验温度,必要时监测试样的初始总应变或标距。

理论初始荷载为 20.8 kN (应力为 875 MPa,取 $R_b=1\ 250$ 的 70%),实际初始荷载为 20.82 kN,试验周期为 100 h,应力松弛率为 3.76%,100 h 应力松弛率外推值为 4.475%。松弛试验过程实测值见

表 4。

表 4 松弛试验实测值

Tab. 4 Measured values of relaxation test

时间 t /min	100 h 应力 松弛率 r /%	时间 t /h	100 h 应力 松弛率 r /%	时间 t /h	100 h 应力 松弛率 r /%
1	0.86	0.75	2.15	10	2.95
3	1.24	1	2.15	24	3.22
6	1.40	1.5	2.42	48	3.44
9	1.66	2	2.47	72	3.65
15	1.83	4	2.58	96	3.76
30	1.99	8	2.85	100	3.76

4.5 疲劳

参考《桥梁缆索用热镀锌钢丝》(GB/T17101—2008)的规定进行疲劳试验。试件要求平直,钢丝最大应力分别取 $0.55R^b$ 、 $0.5R^b$ 、 $0.45R^b$,应力幅值为 360 MPa,试验期间负荷循环变化的频率恒定,此频率不应超过 120 Hz。所有应力均轴向传递给试样,即没有钳口影响,也没有缺口影响。试验结果见表 5,其疲劳性能远优于碳素钢丝。试件断口见图 1、图 2。可以看出,在每个试件断口中间都有微小缺陷。

表 5 疲劳试验结果

Tab. 5 Fatigue test result

编号	公称直径 d_m /mm	频率/ Hz	$\sigma_{\max}$ / MPa	$\sigma_{\min}$ / MPa	疲劳次数/ ($\times 10^4$ 次)	断口位置
1	5.5	85	687.5	327.5	167.5	上夹具根
2	5.5	85	625	265	254.3	工作区
3	5.5	85	625	265	280.9	上夹具根
4	5.5	85	562.5	202.5	662.1	上夹具约 10 mm
5	5.5	85	562.5	202.5	613.3	未断

注: $\sigma_{\max}$ 应力最大值为 $0.55R^b$ 、 $0.5R^b$ 、 $0.45R^b$, $\sigma_{\min}$ 为 $\sigma_{\max}-360$ MPa, d_m 为钢丝公称直径。

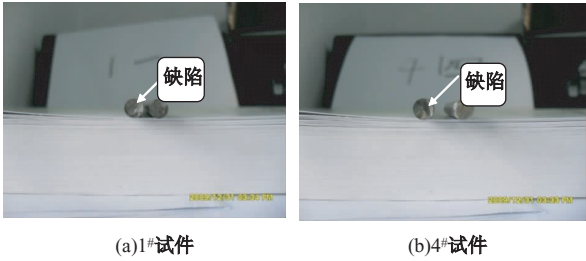


图 1 疲劳试验断口照片

Fig. 1 Fatigue fracture photos of specimens

5 结论

以上试验研究表明,新研制的高强度、高延性不锈钢丝在提高强度的同时,仍保留了足够的韧性,标准强度达到 1 250 MPa 以上,断裂延伸率超过

4%。由于不锈钢晶体构造均匀,材料内部缺陷少,其工艺性能、抗疲劳性能优于碳素钢丝,非常适合高频次、高应力变幅的拉吊索使用。但强度、弹模、松弛率不及碳素钢丝,还需对化学成份组成、冶炼、加工工艺进行研究改进,逐步提高。

参考文献:

References:

- [1] 张劲泉,王文涛. 桥梁检测与加固手册 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
ZHANG Jin-quan, WANG Wen-tao. Bridge Inspection and Reinforcement Manual [M]. Beijing: China Communications Press, 2007.
- [2] 葛燕, 朱锡昶, 李岩. 桥梁钢筋混凝土结构防腐 - 耐腐蚀钢筋级阴极保护 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 2 - 19.
GE Yan. ZHU Xi-chang, LI Yan. Bridges Reinforced Concrete Structure Corrosion-resistant Reinforcement Level Cathodic Protection [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011: 2 - 19.
- [3] 严彪. 不锈钢手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 33 - 58.
YAN Biao. Stainless Steel Handbook [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 33 - 58.
- [4] 徐俊. 拉索损伤演化机理与剩余使用寿命评估 [D]. 上海: 同济大学, 2006.
XU Jun. Cable Damage Evolution Mechanism and Remaining Service Life Assessment [D]. Shanghai: Tongji University, 2006.
- [5] 肖纪美. 不锈钢的金属学问题 [M]. 2 版. 北京: 冶金工业出版社, 2006.
XIAO Ji-mei. Metallography Issues of Stainless Steel [M]. 2nd ed. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2006.
- [6] MADULI U K, RAJ B. 高氮钢和不锈钢: 生产、性能与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
MADULI U K, RAJ B. High Nitrogen Steels and Stainless Steels: Manufacturing, Properties and Applications [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [7] 束德林. 工程材料的力学性能 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2007.
SU De-lin. Mechanical Properties of Engineering Material [M]. 2nd ed. Beijing: China Machine Press, 2007.
- [8] GB/T17101—2008, 桥梁缆索用热镀锌钢丝 [S].
GB/T17101—2008, Hot-dip Galvanized Steel Wires for Bridge Cables [S].
- [9] GB/T228—2002, 金属材料室温拉伸试验方法 [S].
GB/T228—2002, Metallic Materials—Tensile Testing at Ambient Temperature [S].
- [10] GB/T8653, 金属杨氏模量、弦线模量、切线模量和泊松比试验方法 (静态法) [S].
GB/T8653, Metallic Materials—Determination of Young's Modulus, Chord modulus, Tangent Modulus and Poisson's Ratio (Static Method) [S].
- [11] GB/T50153—2008, 工程结构可靠性设计统一标准 [S].
GB/T50153—2008, Unified Standard for Reliability Design of Engineering Structures [S].
- [12] GB/T238—2002, 金属材料 线材 反复弯曲试验方法 [S].
GB/T238—2002, Metallic Materials—Wire—Reverse Bend Test [S].
- [13] GB/T2976—2004, 金属材料 线材 缠绕试验方法 [S].
GB/T2976—2004, Metallic Materials—Wire—Wrapping Test [S].
- [14] GB/T2975—1998, 钢材力学性能及工艺性能试验取样规定 [S].
GB/T2975—1998, Steel Mechanical and Technical Performance Test Rules for Sampling [S].
- [15] GB/T10120—1996, 金属应力松弛试验方法 [S].
GB/T10120—1996, Metallic Materials—Stress Relaxation Test [S].