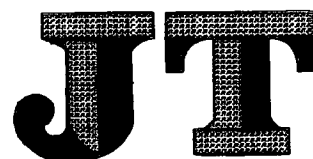


ICS 93.040

P 28

备案号:



# 中华人民共和国交通运输行业标准

**JT/T 775—2016**

代替 JT/T 775—2010

## 大跨度斜拉桥平行钢丝拉索

Cable of parallel steel wires for large-span cable-stayed bridge

2016-12-30 发布

2017-04-01 实施

中华人民共和国交通运输部 发布



目 次

前言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义、符号..... 1

4 结构、型号与规格..... 3

5 技术要求 ..... 6

6 试验方法..... 10

7 检验规则..... 13

8 标志、包装、运输和储存..... 14

附录 A(规范性附录) 索体断面排列图 ..... 16

附录 B(规范性附录) 斜拉索索体主要技术参数 ..... 22

附录 C(规范性附录) 锚具主要参数 ..... 24

附录 D(规范性附录) 斜拉索超张拉检验 ..... 26

附录 E(规范性附录) 拉弯疲劳试验 ..... 27

附录 F(规范性附录) 静态水密性试验 ..... 28

附录 G(规范性附录) 动态水密性试验 ..... 29

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 JT/T 775—2010《大跨径斜拉桥平行钢丝斜拉索》。本标准与 JT/T 775—2010 相比,主要变化如下:

——增加了锌铝合金镀层钢丝的术语和定义(见 3.1.1);

——删除了锚具结构中的垫板调整式锚具和固定端锚杯,增加了斜拉索防护罩、斜拉索密封罩和锚具保护罩(见 4.1.3,2010 年版的 4.1.2);

——增加了拉索用镀层钢丝的种类、强度级别,规定了锌铝合金镀层钢丝的技术要求,修改了钢丝的扭转性能参数(见 5.1.1);

——删除了氟化膜胶带的材料及要求(见 2010 年版的 5.1.3)。

——提高了高密度聚乙烯护套料的耐荧光紫外老化时间(见 5.1.3,2010 年版的 5.1.4);

本标准由全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会(SAC/TC 223)提出并归口;

本标准起草单位:江苏法尔胜缆索有限公司、中交公路规划设计院有限公司。

本标准主要起草人:赵军、薛花娟、刘明虎、卢靖宇、宁世伟、刘晓娣、魏巍巍、屠义伟、问建学、周祝兵、吴飞志、强强、许春荣、刘丽萍、梁中梅。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:JT/T 775—2010。

# 大跨度斜拉桥平行钢丝拉索

## 1 范围

本标准规定了大跨度斜拉桥用平行钢丝拉索的结构、型号与规格、技术要求、试验方法、检验规则，以及标志、包装、运输和储存要求。

本标准适用于跨度大于 400m 的斜拉桥平行钢丝拉索，中小跨度斜拉桥拉索可参照使用。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 228.1	金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
GB/T 231.1	金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法
GB/T 238	金属材料 线材 反复弯曲试验方法
GB/T 239.1	金属材料 线材 第1部分：单向扭转试验方法
GB/T 699	优质碳素结构钢
GB/T 1839	钢产品镀锌层质量试验方法
GB/T 2103	钢丝验收、包装、标志及质量证明书的一般规定
GB/T 2972	镀锌钢丝锌层硫酸铜试验方法
GB/T 2976	金属材料 线材 缠绕试验方法
GB/T 3077	合金结构钢
GB/T 4162	锻轧钢棒超声检验方法
GB/T 4237	不锈钢热轧钢板和钢带
GB/T 4956	磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法
GB/T 5796.2	梯形螺纹 第2部分：直径与螺距系列
GB/T 7753	压敏胶粘带拉伸性能试验方法
GB/T 17101	桥梁缆索用热镀锌钢丝
GB/T 18365	斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件
GB/T 20492	锌-5%铝-混合稀土合金镀层钢丝、钢绞线
GB/T 22315	金属材料 弹性模量和泊松比试验方法
CJ/T 297	桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料
NB/T 47013.4	承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测

## 3 术语和定义、符号

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1.1

**锌铝合金镀层钢丝** zinc-aluminum alloy coated steel wire

表面有锌铝合金镀层的钢丝。

### 3.1.2

**索体** bundle of parallel wires

将一定数量钢丝呈正六边形或缺角六边形紧密排列,经同心左向扭绞,并在外层包覆高密度聚乙烯护套的钢丝束。

### 3.1.3

**锚具** anchorage

将索体拉力传递给结构的连接部件。

### 3.1.4

**弹性模量** elastic modulus

斜拉桥平行钢丝拉索在弹性变化范围内轴向拉伸应力与轴向拉伸应变的比例常数。

### 3.1.5

**拉弯疲劳性能** bending fatigue property

斜拉桥平行钢丝拉索同时承受拉伸与弯曲两种荷载条件下的抗疲劳性能。

### 3.1.6

**钢丝标准抗拉强度** wire standard tensile strength

钢丝的破断荷载与钢丝的公称截面积的比值。

### 3.1.7

**索力** cable force

作用在斜拉桥平行钢丝拉索上的轴向拉伸荷载。

### 3.1.8

**公称破断索力** nominal breaking force of the cable

索体钢丝束内的钢丝公称截面积之和与钢丝标准抗拉强度的乘积。

### 3.1.9

**拉索效率系数** cable efficiency factor

实测最大索力与公称破断索力的比值。

## 3.2 符号

下列符号适用于本文件。

$A$ ——索体钢丝束的公称截面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ )

$a$ ——加载速度( $\text{MPa}/\text{min}$ )

$B$ ——锚杯外径,单位为毫米( $\text{mm}$ )

$C$ ——锚圈外径,单位为毫米( $\text{mm}$ )

$D$ ——预埋管尺寸,单位为毫米( $\text{mm}$ )

$E$ ——弹性模量,单位为兆帕( $\text{MPa}$ )

$F$ ——拉弯疲劳试验时施加于拉索的横向力,单位为千牛( $\text{kN}$ )

$f_{pk}$ ——索体钢丝标准抗拉强度,单位为兆帕( $\text{MPa}$ )

$H$ ——锚圈高度,单位为毫米( $\text{mm}$ )

$K$ ——索力设计安全系数

$L_{co}$ ——斜拉桥平行钢丝拉索设计基准温度下的无应力长度,单位为米( $\text{m}$ )

$L_{cp}$ ——斜拉桥平行钢丝拉索承受拉力  $P_1$  时的长度,单位为米( $\text{m}$ )

$L_s$ ——锚杯长度,单位为毫米(mm)

$\Delta L$ ——斜拉桥平行钢丝拉索长度允许偏差,单位为米(m)

$\Delta L_p$ ——斜拉桥平行钢丝拉索对应于  $P_1$ 、 $P_2$  下的长度变化值,单位为米(m)

$M$ ——锚具质量,单位为千克(kg)

$P_b$ ——斜拉桥平行钢丝拉索公称破断索力,单位为千牛(kN)

$P_1$ ——斜拉桥平行钢丝拉索弹性模量检测时的起始张拉力,单位为千牛(kN)

$P_2$ ——斜拉桥平行钢丝拉索弹性模量检测时的终止张拉力,单位为千牛(kN)

$P_{20}$ ——斜拉桥平行钢丝拉索 20% 的超张拉力,单位为千牛(kN)

$T$ ——斜拉桥平行钢丝拉索长度测量时的稳定均匀温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_0$ ——由设计确定的斜拉桥平行钢丝拉索设计基准温度,单位为摄氏度( $^{\circ}\text{C}$ )

$\alpha$ ——斜拉桥平行钢丝拉索线膨胀系数,单位为  $1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$

$\eta$ ——斜拉桥平行钢丝拉索效率系数

$\Delta\sigma$ ——疲劳试验的应力幅值,单位为兆帕(MPa)

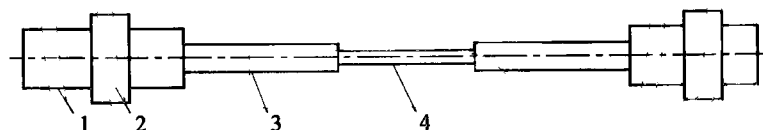
$\varphi$ ——单根钢丝直径,单位为毫米(mm)

## 4 结构、型号与规格

### 4.1 结构

#### 4.1.1 斜拉桥平行钢丝拉索

斜拉桥平行钢丝拉索(简称斜拉索)由索体和锚具(锚杯、锚圈、连接筒)等部件组成。斜拉索结构示意图见图 1。



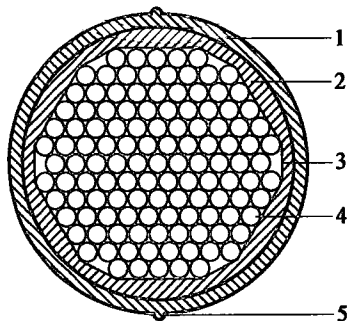
说明:

1——锚杯; 2——锚圈; 3——连接筒; 4——索体。

图 1 斜拉索结构示意图

#### 4.1.2 索体

斜拉索索体断面结构示意图见图 2,索体断面结构排列图见附录 A。



说明:

1——外层彩色高密度聚乙烯护套;

4——钢丝;

2——内层黑色高密度聚乙烯护套;

5——抗风雨振构造示意。

3——高强聚酯纤维带;

图 2 索体断面结构示意图

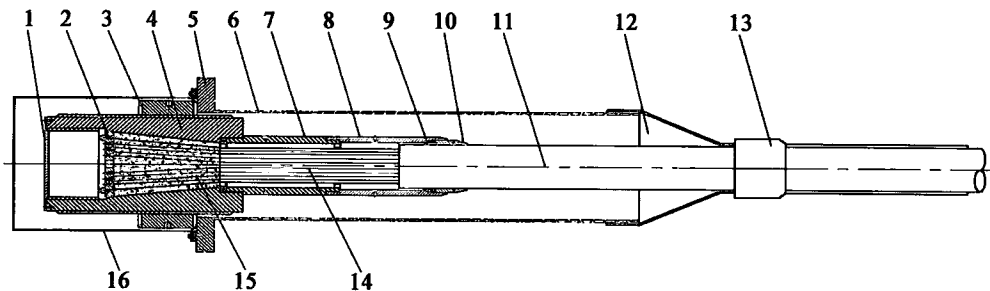
### 4.1.3 锚具

4.1.3.1 斜拉索锚固结构为冷铸镦头锚,采用螺纹调整拉索长度,其组成部件包括锚杯、锚圈、盖板、分丝板、连接筒等。

4.1.3.2 斜拉索两端安装锚具保护罩。

4.1.3.3 梁端预埋锚具钢管端采用锥形斜拉索防护罩和密封罩。

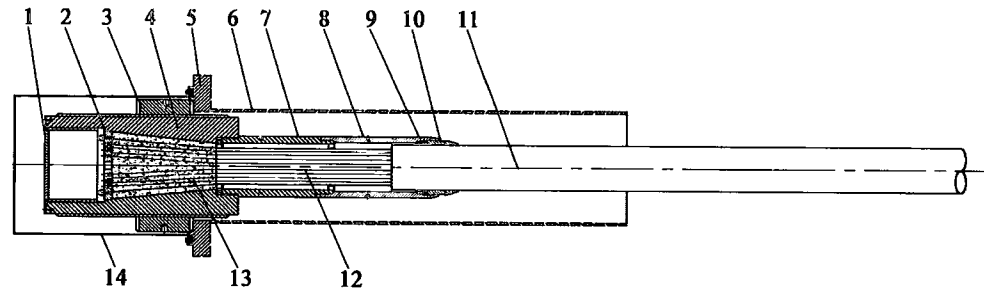
4.1.3.4 斜拉索锚具结构示意见图 3 和图 4。



说明:

- |           |             |
|-----------|-------------|
| 1——盖板;    | 9——密封胶圈;    |
| 2——分丝板;   | 10——密封压环;   |
| 3——锚圈;    | 11——索体;     |
| 4——锚杯;    | 12——斜拉索防护罩; |
| 5——锚垫板;   | 13——斜拉索密封罩; |
| 6——预埋管;   | 14——密封填料;   |
| 7——连接筒 a; | 15——冷铸锚固填料; |
| 8——连接筒 b; | 16——锚具保护罩。  |

图 3 斜拉索梁端锚具结构示意图



说明:

- |           |             |
|-----------|-------------|
| 1——盖板;    | 8——连接筒 b;   |
| 2——分丝板;   | 9——密封胶圈;    |
| 3——锚圈;    | 10——密封压环;   |
| 4——锚杯;    | 11——索体;     |
| 5——锚垫板;   | 12——密封填料;   |
| 6——预埋管;   | 13——冷铸锚固填料; |
| 7——连接筒 a; | 14——锚具保护罩。  |

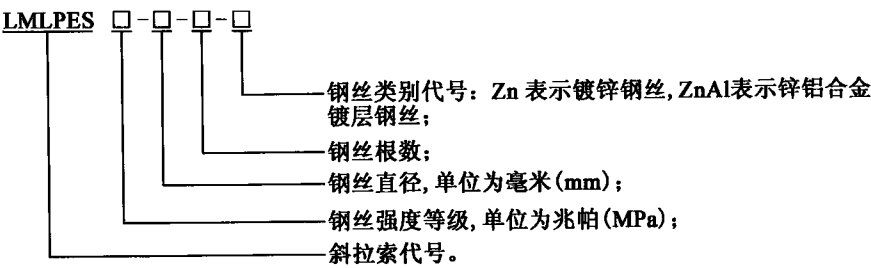
图 4 斜拉索塔端锚具结构示意图



4.2 型号

4.2.1 斜拉索

斜拉索型号表示方法见图 5。



注: ZnAl 为 Zn95Al5 的缩写。

图 5 斜拉索型号表示方法

示例:

109 根直径 7mm、强度等级为 1 860MPa 的锌铝合金镀层钢丝斜拉索,其型号表示为 LMLPES 1860-7-109-ZnAl。

4.2.2 索体

斜拉索索体型号表示方法见图 6。

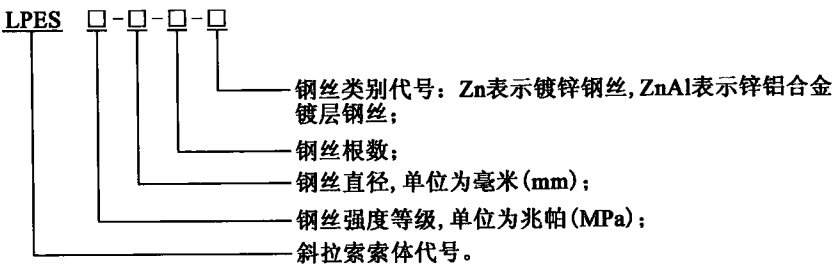


图 6 斜拉索索体型号表示方法

示例:

109 根直径 7mm、强度等级为 1 860MPa 的锌铝合金镀层钢丝斜拉索索体,其型号表示为 LPES 1860-7-109-ZnAl。

4.2.3 锚具

斜拉索锚具的型号表示方法见图 7。

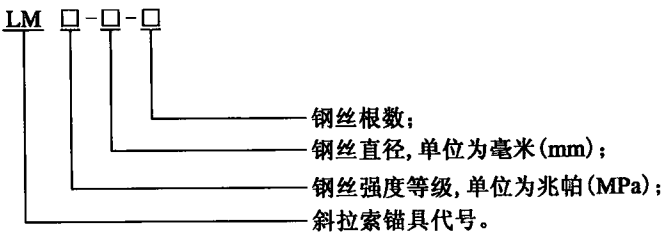


图 7 斜拉索锚具型号表示方法

示例:

109 根直径 7mm、钢丝强度等级为 1 860MPa 的斜拉索锚具,其型号表示为 LM 1860-7-109。

4.3 规格

4.3.1 斜拉索索体主要技术参数见附录 B。

4.3.2 斜拉索锚具主要尺寸见附录 C。

5 技术要求

5.1 材料

5.1.1 钢丝

5.1.1.1 斜拉索索体应采用热镀锌或锌铝合金镀层钢丝,并符合表 1 的要求。

表 1 钢丝技术要求

序号	项 目		单位	技 术 要 求		
1	公称直径		mm	$7.0 \pm 0.07$		
2	圆度		mm	$\leq 0.07$		
3	每米参考质量		g/m	$301 \pm 6$		
4	标准抗拉强度		MPa	$\geq 1\,770$	$\geq 1\,860$	$\geq 2\,000$
5	规定非比例延伸强度		MPa	$\geq 1\,580$	$\geq 1\,660$	$\geq 1\,800$
6	疲劳应力幅值		MPa	360	410	410
7	伸长率		%	$\geq 4.0$		
8	弹性模量		MPa	$(2.0 \pm 0.1) \times 10^5$		
9	反复弯曲性能		—	反复弯曲至断裂,弯曲次数 $\geq 5$		
10	缠绕性能		—	$3D \times 8$ 圈,不断裂		
11	扭转性能		—	扭转至断裂,扭转次数 $\geq 12$ 次		
12	松弛率		%	$\leq 2.5$		
13	铝含量	镀锌钢丝	%	—		
		锌铝合金镀层钢丝	%	$4.2 \sim 7.2$		
14	镀层单位质量		$\text{g/m}^2$	$\geq 300$		
15	线径增加的平均值		mm	$< 0.13$		
16	镀层附着性		—	$5D \times 8$ 圈,镀层不开裂、不起层用光裸手指摩擦不产生剥落		
17	硫酸铜试验		—	浸泡次数 $\geq 4$ 次,每次 60s,钢丝不露铜		
18	伸直性能(取弦长 1 000mm 钢丝,弦与弧的最大自然矢高)		mm	$\leq 15$		
19	自由圈升高度		mm	$\leq 150$		

注 1:规定非比例延伸强度是钢丝在非比例延伸率为 0.2% 时的强度。  
注 2:疲劳应力幅值是应力上限在  $0.45f_{pk}$  条件下,进行  $2 \times 10^6$  次疲劳循环试验,钢丝不断裂的疲劳应力幅。  
注 3:松弛率是钢丝在 70% 公称破断索力下,经 1 000h 后的钢丝松弛率。

5.1.1.2 钢丝不允许有任何形式的接头。

5.1.1.3 钢丝进场后应按 GB/T 2103 的规定进行验收。

### 5.1.2 高强聚酯纤维带

高强聚酯纤维带采用纤维增强的聚酯压敏胶带或两层聚酯带内夹纤维丝的增强复合带,其主要性能应符合表 2 的要求。高强聚酯纤维带应有质量保证单和合格证。

表 2 高强聚酯纤维带技术要求

宽度(mm)	厚度(mm)	破断拉力(N)	延伸率(%)
30~50	≥0.10	≥250(10mm 带宽)	≥3

### 5.1.3 高密度聚乙烯(HDPE)护套料

5.1.3.1 索体防护用 HDPE 护套料的主要性能应符合表 3 规定。

表 3 HDPE 护套料技术要求

序号	项 目		单位	技 术 要 求	
				黑 色	彩 色
1	密度		g/cm <sup>3</sup>	0.942~0.965	
2	熔体流动速率		g/10min	≤0.45	
3	拉伸断裂应力		MPa	≥25	
4	拉伸屈服应力		MPa	≥15	
5	断裂标称应变		%	≥600	
6	硬度		ShoreD	≥60	
7	拉伸弹性模量		MPa	≥500	
8	弯曲弹性模量		MPa	≥550	
9	冲击强度		kJ/m <sup>2</sup>	≥25	
10	软化温度		℃	≥115	
11	耐环境应力开裂		h	≥5 000	
12	冲击脆化温度		℃	< -76	
13	耐热应力开裂		h	≥96	
14	耐热老化 (100℃±2℃,168h)	拉伸断裂应力变化率	%	±20	
		断裂标称应变变化率	%	±20	
15	耐臭氧老化(温度 24℃±8℃, 臭氧浓度 50×10 <sup>-6</sup> ,暴露 1h)			无异常变化	
16	耐荧光紫外老化	拉伸断裂应力变化率	%	±25(3 000h)	±25(5 000h)
		断裂标称应变变化率	%	±25(3 000h)	±25(5 000h)
17	耐光色牢度		级	—	≥7
18	炭黑分散性		分	≥6	—
19	炭黑含量		%	2.5±0.3	—

5.1.3.2 护套料进场后应按照 CJ/T 297 规定进行验收。

5.1.4 锚杯和锚圈

5.1.4.1 锚杯和锚圈应符合下列要求：

- a) 选用符合 GB/T 699 和 GB/T 3077 规定的结构钢,具体要求见表 4；
- b) 采用锻钢件制作；
- c) 采用梯形螺纹,螺距与直径应符合 NB/T 47013.4 的规定；
- d) 符合 GB/T 4162 中 B 级和 NB/T 47013.4 中 II 级质量等级的规定；
- e) 采用热镀锌防腐,锌层厚度不应小于 90 $\mu$ m；
- f) 分丝板丝孔直径为  $\phi 7.6\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ 。

表 4 锚杯、锚圈材质要求

斜拉索钢丝公称抗拉强度 $f_{pk}$ (MPa)	锚杯材质	锚圈材质
1 770	40Cr	45 钢
1 860	42CrMo	40Cr
2 000	42CrMo	40Cr

5.1.4.2 同规格型号锚具相同部件应保证能互换。

5.1.5 冷铸锚固填料

冷铸锚固填料由钢丸、环氧树脂、固化剂、增韧剂、稀释剂、填充料等构成,冷铸锚固填料应符合 GB/T 18365 的规定,其抗压强度不应小于 147MPa。

5.1.6 附属构件

5.1.6.1 附属构件包括斜拉索锚具保护罩、拉索防护罩和拉索密封罩等。附属构件材料或其他已经证明同样适用的原材料应符合表 5 要求。

表 5 附属构件材料要求

附属构件名称	附属构件材料	符合标准
锚具保护罩	022Cr17Ni12Mo2 不锈钢	GB/T 4237
斜拉索防护罩	022Cr17Ni12Mo2 不锈钢	GB/T 4237
斜拉索密封罩	20 号钢	GB/T 699
	022Cr17Ni12Mo2 不锈钢	GB/T 4237

5.1.6.2 为方便检查锚具锈蚀情况,锚具保护罩宜设置窥视孔或其他有相似功能的构造,且应保证其可检、可更换。

5.2 外观表面要求和尺寸偏差

5.2.1 外观表面要求

5.2.1.1 索体外观表面不应有破损、深度大于 1.0mm 或面积大于 100mm<sup>2</sup> 的表面缺陷,允许存在水纹、毛糙等不影响护套使用质量的表面缺陷。

- 5.2.1.2 索体外表面应设置螺旋线或压花。
- 5.2.1.3 斜拉索锚杯和锚圈外表面镀层不应有可视损伤,螺纹不应有任何碰伤,螺纹连接副应能自由旋合。

5.2.2 尺寸偏差

- 5.2.2.1 索体护套厚度不大于 10mm 时,厚度允许偏差为  $-0.5\text{ mm} \sim +1.0\text{ mm}$ ;护套厚度大于 10mm 时,厚度允许偏差为  $-0.5\text{ mm} \sim +2.0\text{ mm}$ 。
- 5.2.2.2 斜拉索直径允许偏差为  $-1\text{ mm} \sim +4.0\text{ mm}$ 。
- 5.2.2.3 斜拉索长度  $L_{\text{CO}}$  允许偏差应符合下列要求:
- a)  $L_{\text{CO}} \leq 200\text{ m}, \Delta L \leq 0.020\text{ m}$ ;
  - b)  $L_{\text{CO}} > 200\text{ m}, \Delta L \leq (L_{\text{CO}}/20\,000 + 0.010)\text{ m}$ 。

5.3 力学性能

5.3.1 弹性模量

成品斜拉索弹性模量不应小于  $1.90 \times 10^5\text{ MPa}$ 。

5.3.2 静载性能

斜拉索静载性能应符合表 6 的要求。

表 6 静载性能要求

弹性模量 (MPa)	斜拉索效率系数	极限延伸率 (%)	断丝率 (%)
$\geq 1.90 \times 10^5$	$\geq 0.95$	$\geq 2$	$\leq 2$

5.3.3 疲劳性能

5.3.3.1 斜拉索轴向疲劳性能应符合表 7 的规定。

表 7 轴向疲劳性能要求

应力上限 (MPa)	应力幅值 (MPa)	循环次数 (次)	疲劳后的斜拉索效率系数	断丝率 (%)
$0.45f_{\text{pk}}$	200 ~ 250	$2 \times 10^6$	$\geq 0.95$	$\leq 2$

5.3.3.2 斜拉索拉弯疲劳性能应符合表 8 的规定。

表 8 拉弯疲劳性能要求

应力上限 (MPa)	应力幅值 (MPa)	循环次数 (次)	弯曲角度 (mrad)	疲劳后的斜拉索效率系数	断丝率 (%)
$0.45f_{\text{pk}}$	200 ~ 250	$2 \times 10^6$	10	$\geq 0.95$	$\leq 2$

5.3.4 水密性能

斜拉索索体与锚具连接部位、锚具及其密封结构应具有良好的静态和动态水密性能。

6 试验方法

6.1 抽样

除型式检验外,其他试验检验项目的抽样均从批量化生产的产品中抽取。

6.2 材料

6.2.1 钢丝

镀锌、锌铝合金镀层钢丝的试验方法按表 9 的要求进行。

表 9 镀锌、锌铝合金镀层钢丝试验方法

序号	项 目	试验方法	序号	项 目	试验方法
1	公称直径	GB/T 17101	12	扭转性能	GB/T 239.1
2	圆度	GB/T 17101	13	松弛率	GB/T 17101
3	公称截面积	GB/T 17101	14	铝含量	GB/T 20492
4	每米参考质量	GB/T 17101	15	镀层单位质量	GB/T 1839
5	标准抗拉强度	GB/T 228.1	16	线径增加的平均值	GB/T 17101
6	规定非比例延伸强度	GB/T 228.1	17	镀层附着性	GB/T 2976
7	疲劳应力幅值	GB/T 17101	18	硫酸铜试验	GB/T 2972
8	伸长率	GB/T 228.1	19	伸直性能	GB/T 17101
9	弹性模量	GB/T 22315	20	自由圈升高度	GB/T 17101
10	反复弯曲性能	GB/T 238	21	钢丝是否有接头	目测检测方法
11	缠绕性能	GB/T 2976			

6.2.2 高强聚酯纤维带

高强聚酯纤维带的宽度测定、厚度测定、破断拉力试验、延伸率试验按 GB/T 7753 的规定进行。

6.2.3 高密度聚乙烯(HDPE)护套料

HDPE 护套料的试验检验按 CJ/T 297 的规定进行。

6.2.4 锚杯和锚圈

锚杯和锚圈试验方法按表 10 的要求进行。

表 10 锚杯和锚圈试验方法

序 号	项 目	试 验 方 法
1	力学性能	GB/T 699、GB/T 3077
2	化学成分	GB/T 699、GB/T 3077
3	超声波检测	GB/T 4162

表 10(续)

序 号	项 目	试 验 方 法
4	磁粉检测	NB/T 47013.4
5	镀锌层厚度	GB/T 4956
6	外观尺寸	游标卡尺测量
7	螺纹尺寸	螺纹规检查

### 6.2.5 冷铸锚固填料

6.2.5.1 每个冷铸锚在浇铸填料时应同时制作一组 3 个尺寸为  $\phi 25\text{mm} \times 30\text{mm}$  或  $30\text{mm} \times 30\text{mm} \times 30\text{mm}$  的冷铸锚固填料试件,并同炉固化。

6.2.5.2 试件在  $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  下进行抗压强度试验,3 个试件测定值中任意一个与中值的差值超过 15%,则取中值为测定值,否则以其算术平均值为测定值。

### 6.2.6 附属构件

附属构件试验方法按表 11 的要求进行。

表 11 附属构件试验方法

序 号	项 目	试 验 方 法
1	锚具保护罩化学成分	GB/T 4237
2	斜拉索防护罩化学成分	GB/T 4237
3	斜拉索密封罩化学成分	GB/T 699、GB/T 4237

## 6.3 成品斜拉索

### 6.3.1 斜拉索外观表面

斜拉索索体外观表面、锚具外观用目测方式检查。

### 6.3.2 护套厚度

在斜拉索索体灌锚之前取索体最小厚度处(两端六边形角上或者近似六边形角上)测量护套厚度。护套厚度偏差用游标卡尺在剥套部位测量。

### 6.3.3 直径

每根斜拉索在索体最大直径处,沿着圆周方向每间隔  $60^\circ$  用游标卡尺测量一次。最大直径采用游标卡尺进行测量。

### 6.3.4 长度

6.3.4.1 每根斜拉索均应进行长度测量,长度测量应在稳定的均匀温度下避光进行。

6.3.4.2 斜拉索长度测量方法:经超张拉检验后(超张拉检验方法见附录 D),卸载至 20% 的超张拉力时测量拉索长度。拉索基准温度下的无应力长度计算公式如下:

$$L_{CO} = \frac{L_{CP}}{1 + \frac{P_{20}}{EA} + \alpha(T - T_0)}$$

(1)

6.4 力学性能

6.4.1 弹性模量

6.4.1.1 每种规格型号的斜拉索至少有 1 根应测定其弹性模量,弹性模量测量应在超张拉后进行。

6.4.1.2 由 0.2*P<sub>b</sub>* 开始加载,每级加载 0.1*P<sub>b</sub>*,持荷 5min,直至 0.5*P<sub>b</sub>*,加载速度 *a* 不大于 100MPa/min,弹性模量计算公式如下:

$$E = \frac{P_2 - P_1}{\Delta L_p} \cdot \frac{L_{CP}}{A}$$

(2)

6.4.2 静载性能

6.4.2.1 静载破断试验取 3 根试件为一组。试件宜取有代表性的大、中、小 3 种规格斜拉索各 1 根,试验拉索索体自由长度(不包括锚具内钢丝长度)不应小于 3.5m。

6.4.2.2 试验方法如下:

- a) 由 0.1*P<sub>b</sub>* 开始加载,每级 0.1*P<sub>b</sub>*,持荷 5min,加载速度 *a* 不大于 100MPa/min;
- b) 加载到 0.6*P<sub>b</sub>*,持荷 10min,卸载至 0.1*P<sub>b</sub>* 后测量分丝板的回缩值;
- c) 然后由 0.1*P<sub>b</sub>* 开始加载,每级 0.1*P<sub>b</sub>*,持荷 5min 后测量每级索长变化;
- d) 加载至 0.8*P<sub>b</sub>*,持荷 30min 后继续加载,每级 0.05*P<sub>b</sub>*,持荷 5min 后测量每级的索长变化,直到 0.95*P<sub>b</sub>*;
- e) 卸载后测量分丝板回缩值,并记录试验中的异常情况。

6.4.3 疲劳性能

6.4.3.1 轴向疲劳性能

轴向疲劳试验取 3 根试件为一组。试件宜取有代表性的大、中、小 3 种规格斜拉索各 1 根。试验拉索索体自由长度(不包括锚具内钢丝长度)不应小于 3.5m,轴向疲劳性能试验前试件应先经 0.48*P<sub>b</sub>* ~ 0.56*P<sub>b</sub>* 超张拉。

轴向疲劳试验方法如下:

- a) 将试件安装在试验设备上,并进行锚固;
- b) 将试件超张拉到 0.45*f<sub>pk</sub>*;
- c) 在 0.45*f<sub>pk</sub>* 上限应力下,进行 200 万次循环脉动加载,频率不超过 8Hz;
- d) 拉索轴向疲劳试验应力幅值应根据拉索抗拉强度等级确定,见表 12;

表 12 拉索抗拉强度等级与疲劳应力幅值对照表

钢丝标准抗拉强度 (MPa)	钢丝疲劳应力幅值 (MPa)	拉索疲劳应力幅值 (MPa)
1 770	360	200
1 860	410	250
2 000	410	250

- e) 试验过程中观察试件状况,如有异常现象发生,应记录发生异常位置、现象及当时脉冲计数;



f) 疲劳性能试验后,对同一试件进行  $0.95P_b$  轴向拉伸试验,试验过程中逐步、缓慢地增加荷载,加载速度  $\alpha$  不大于  $100\text{MPa}/\text{min}$ 。

#### 6.4.3.2 拉弯疲劳性能

拉弯疲劳试验方法见附录 E。斜拉索经轴向疲劳性能试验或拉弯疲劳性能试验,再进行轴向拉伸试验后,护套不应有损伤,且锚杯和锚圈旋合正常,拉索断丝率不应大于 2%,若试验拉索规格型号小于 150 根钢丝,则允许断丝不大于 3 根,断丝不应发生在锚固区。

#### 6.4.4 水密性能

##### 6.4.4.1 静态水密性

从疲劳试验后的斜拉索中任取 1 根(未进行  $0.95P_b$  拉伸试验的拉索)进行静态水密性试验,试验方法见附录 F。

##### 6.4.4.2 动态水密性

任取 1 根与实际工程同规格的斜拉索进行动态水密性试验,试验方法见附录 G。

### 7 检验规则

#### 7.1 检验分类

##### 7.1.1 型式检验

有下列情况之一时,应进行型式检验:

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定;
- b) 结构、材料、工艺有改变,影响产品性能时;
- c) 产品长期停产后,恢复生产时;
- d) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时;
- e) 正常生产满 3 年时。

##### 7.1.2 出厂检验

斜拉索出厂前应进行出厂检验,检验合格方可出厂,并应附检验结果。

#### 7.2 检验项目

斜拉索型式检验和出厂检验项目见表 13。

表 13 型式检验和出厂检验项目

序号	检验项目	技术要求	试验方法	型式检验	出厂检验
1	锚杯和锚圈	5.1.4	6.2.4	+	+
2	冷铸锚固填料	5.1.5	6.2.5	+	+
3	附属构件	5.1.6	6.2.6	+	+
4	斜拉索外观表面	5.2.1	6.3.1	+	+
5	直径	5.2.2	6.3.3	+	+
6	护套厚度	5.2.2	6.3.2	+	+
7	长度	5.2.2	6.3.4	+	+

表 13(续)

序号	检验项目	技术要求	试验方法	型式检验	出厂检验
8	弹性模量	5.3.1	6.4.1	+	+
9	静载性能	5.3.2	6.4.2	+	—
10	疲劳性能	5.3.3	6.4.3	+	—
11	水密性能	5.3.4	6.4.4	+	—
注：“+”为需进行检验，“—”为不作检验要求。					

7.3 抽样

型式检验的斜拉索试件应采用与批量化生产相同的材料和工艺进行制作。

7.4 判定规则

7.4.1 每根斜拉索出厂检验应按表 13 序号 1、2、4、5、6、7、8 进行检验,如有一项未通过,该根斜拉索即为不合格品。序号 8 检验可按每种规格至少 1 根进行,如不符合标准要求时,应重新自该同规格产品中取双倍试样,对该不合格项目进行复检。当复检结果全部符合要求时,则判定该批产品为合格品;反之,则判定为不合格品或者对该规格拉索逐根检验其弹性模量。

7.4.2 附属构件应按表 13 序号 3 进行检验。如材料的机械性能和化学成分不符合标准要求时,应重新自该批产品中取双倍试样,对该不合格项目进行复检。当复检结果全部符合要求时,则判定该批产品为合格品;反之,则判定为不合格品。

7.4.3 斜拉索型式检验项目中有一项不合格,则需要重新选择原材料和制作工艺,重新制作试样进行型式检验。

8 标志、包装、运输和储存

8.1 标志

8.1.1 在每根斜拉索两端锚具连接筒上,应用红色油漆标明斜拉索编号与规格型号。

8.1.2 每根斜拉索应有合格标牌,要求:

- a) 合格标牌和质量保证单相对应;
- b) 合格标牌应牢固可靠地系于包装层外的两端锚具上;
- c) 合格标牌上应注明斜拉索编号、规格型号、长度、质量、制造厂名、工程名称、生产日期等,字迹应清晰。

8.2 包装

8.2.1 斜拉索经出厂检验合格后独立包装,索体包装共两层:内层棉布、外层包覆纤维编织布。两端锚具涂防锈油脂、用聚丙烯薄膜及塑料纤维编织布双层包装后,再用三合一塑料编织套作整体包裹。

8.2.2 斜拉索以脱胎成盘或钢盘卷绕的形式包装,其盘绕内径视斜拉索规格而定,一般不小于 20 倍斜拉索外径。

8.2.3 每盘斜拉索采用不损伤拉索表面质量的材料捆扎结实,捆扎不少于 6 道。

8.3 运输

8.3.1 斜拉索运输时应垫防水材料,运输过程中应采取防水、防火措施。应避免易造成包装损坏的运

输方式。

**8.3.2** 在运输和装卸过程中,应采取措施防止腐蚀或机械损伤。

#### **8.4 储存**

按要求包装后的斜拉索应平稳整齐堆垛,不应与地面直接接触,不宜户外存放,若户外存放应加防紫外线遮盖。同时,两端的锚具须有保护和固定措施。

附录 A  
(规范性附录)  
索体断面排列图

索体断面排列图见图 A1 ~ 图 A31。

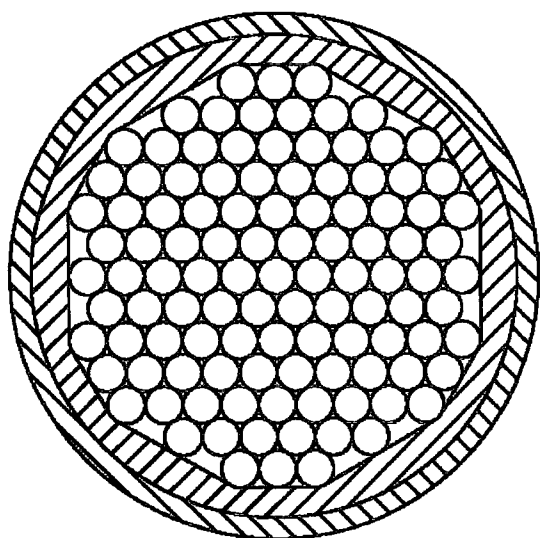


图 A1 109 丝断面排列图

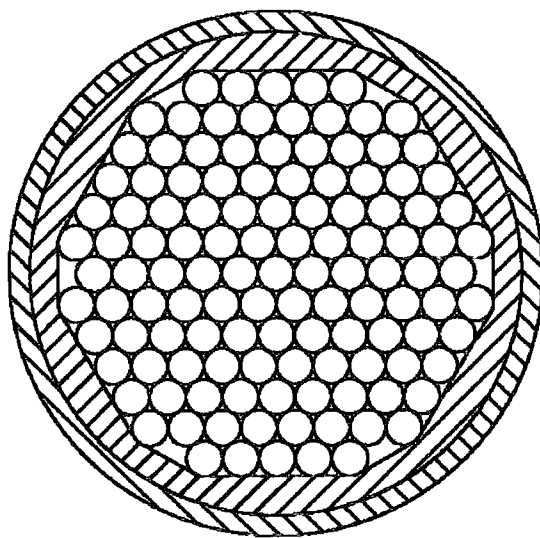


图 A2 121 丝断面排列图

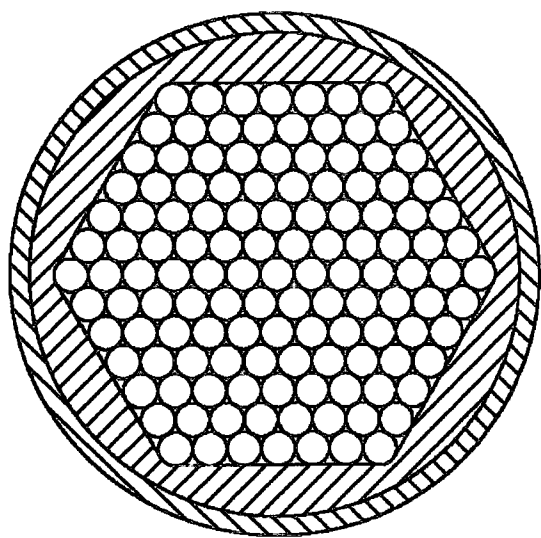


图 A3 127 丝断面排列图

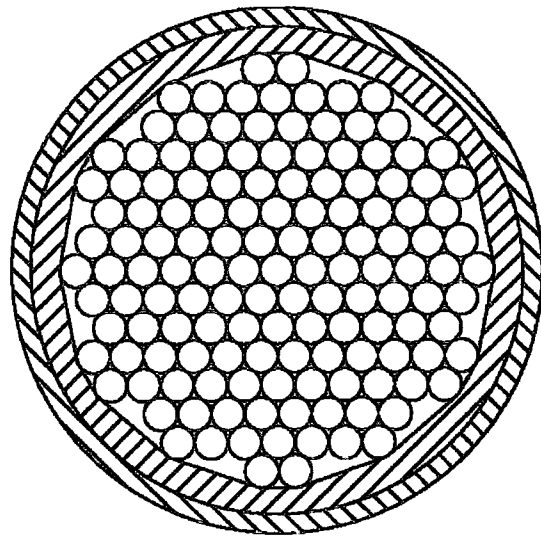


图 A4 139 丝断面排列图

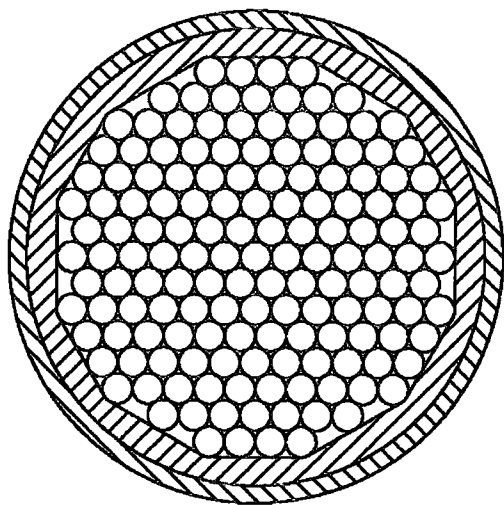


图 A5 151 丝断面排列图

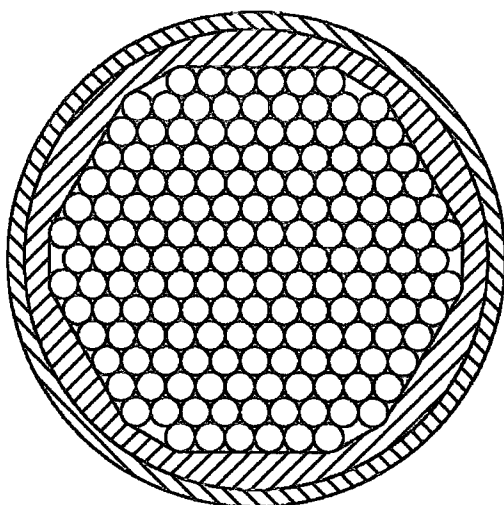


图 A6 163 丝断面排列图

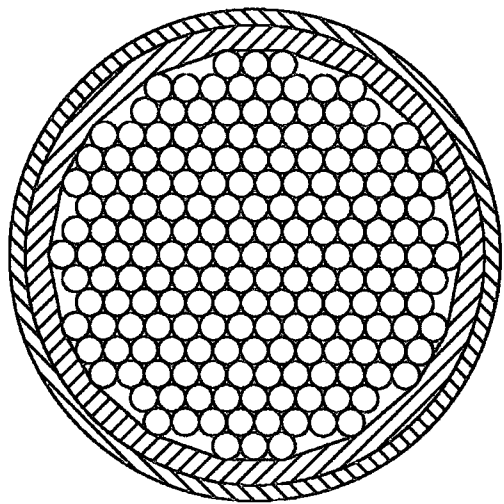


图 A7 187 丝断面排列图

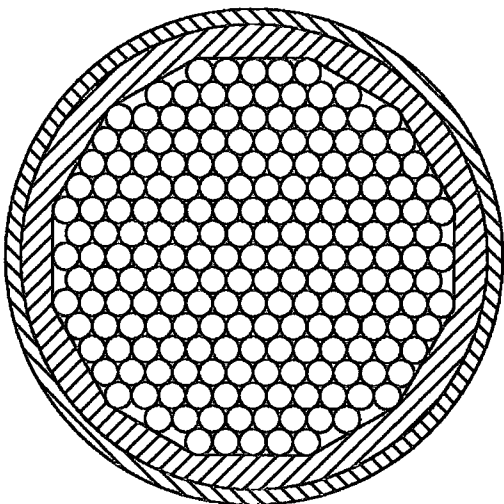


图 A8 199 丝断面排列图

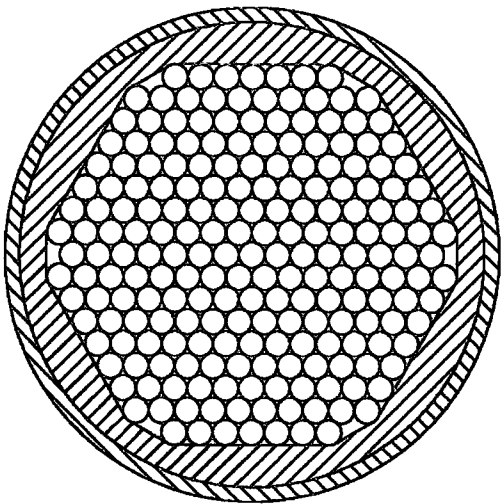


图 A9 211 丝断面排列图

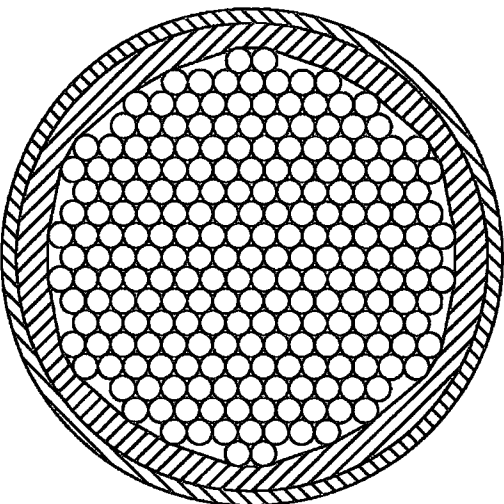


图 A10 223 丝断面排列图

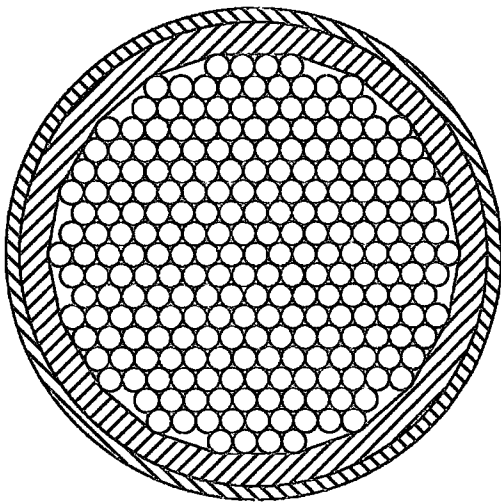


图 A11 241 丝断面排列图

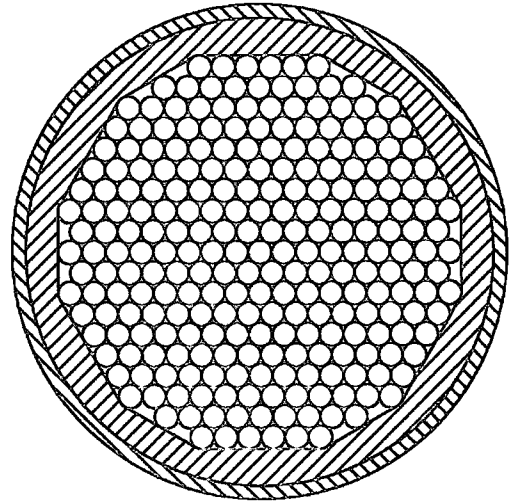


图 A12 253 丝断面排列图

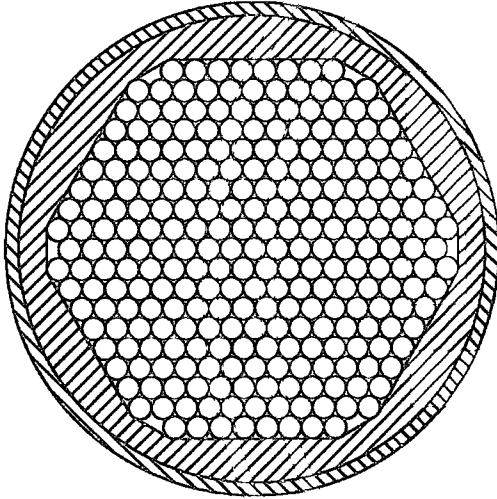


图 A13 265 丝断面排列图

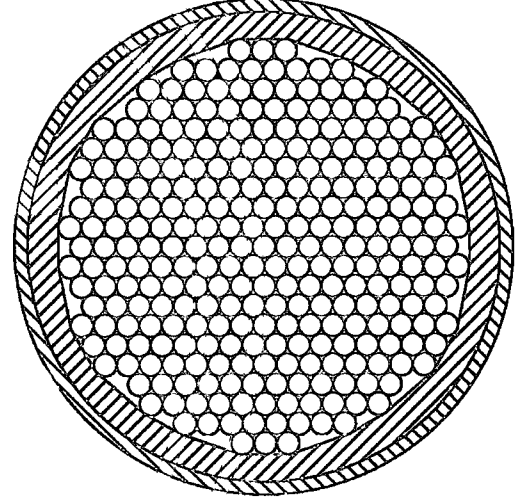


图 A14 283 丝断面排列图

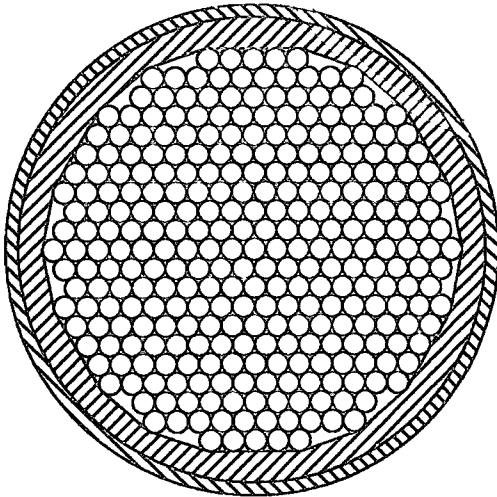


图 A15 301 丝断面排列图

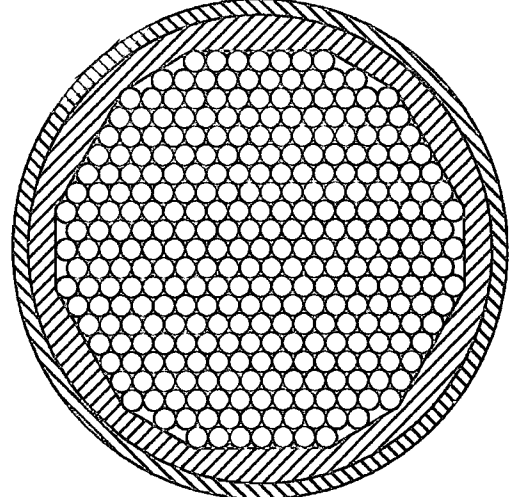


图 A16 313 丝断面排列图

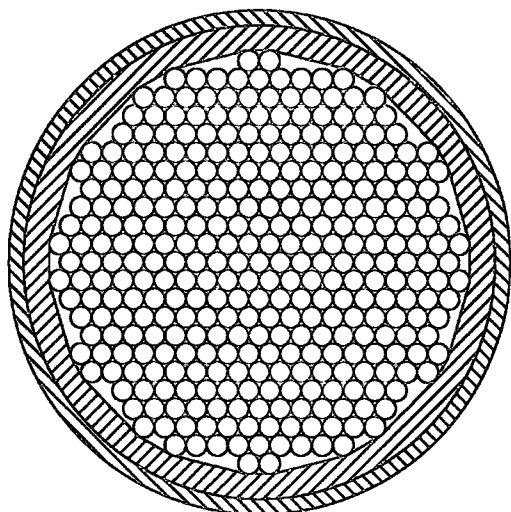


图 A17 337 丝断面排列图

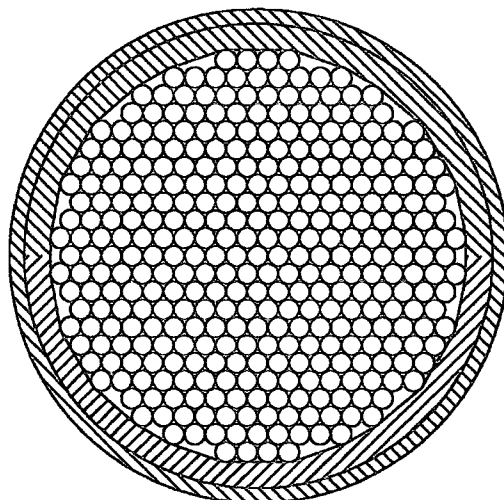


图 A18 349 丝断面排列图

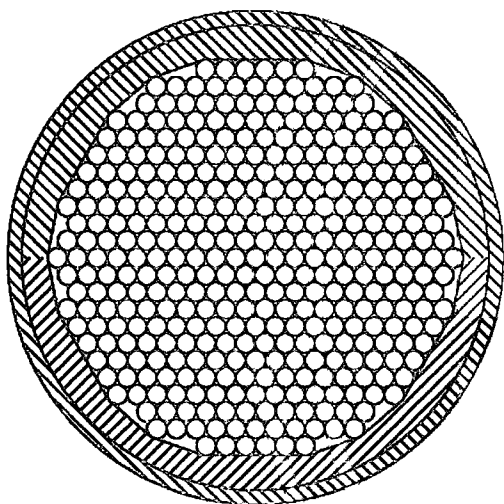


图 A19 357 丝断面排列图

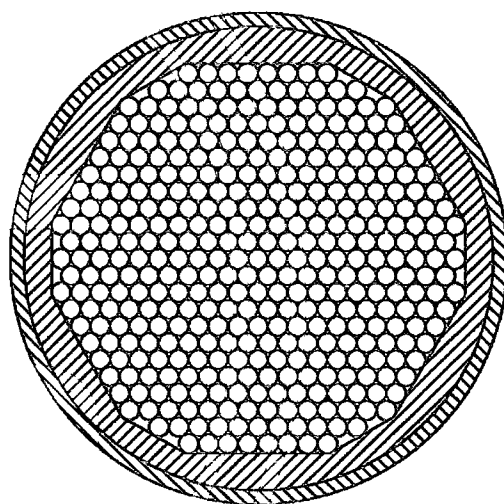


图 A20 379 丝断面排列图

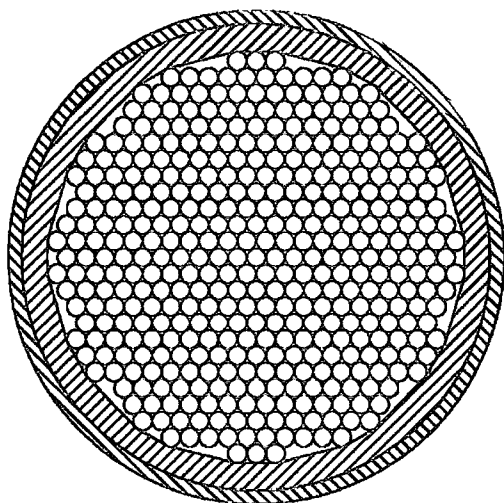


图 A21 409 丝断面排列图

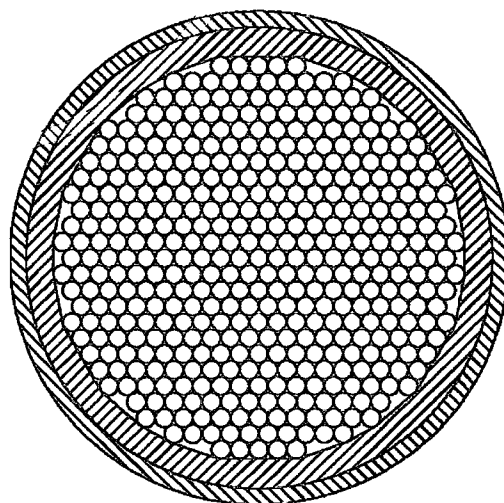


图 A22 421 丝断面排列图

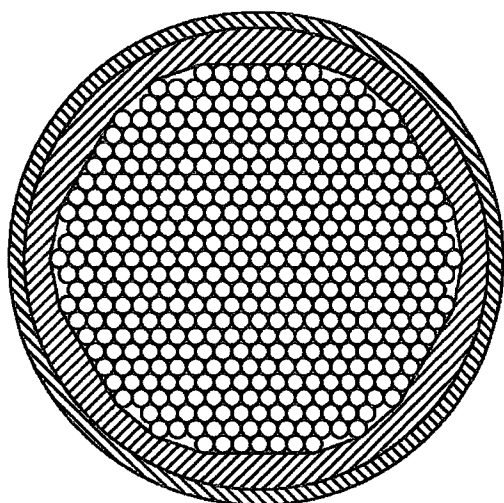


图 A23 439 丝断面排列图

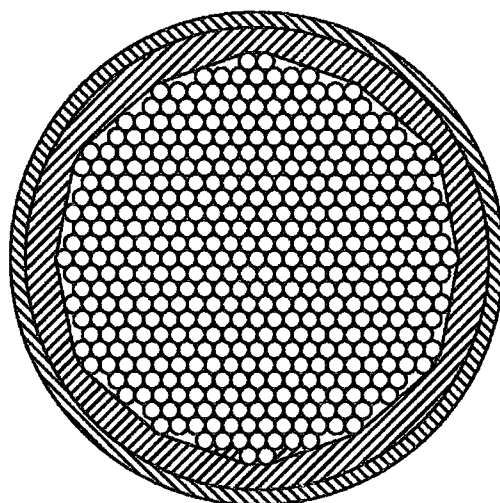


图 A24 451 丝断面排列图

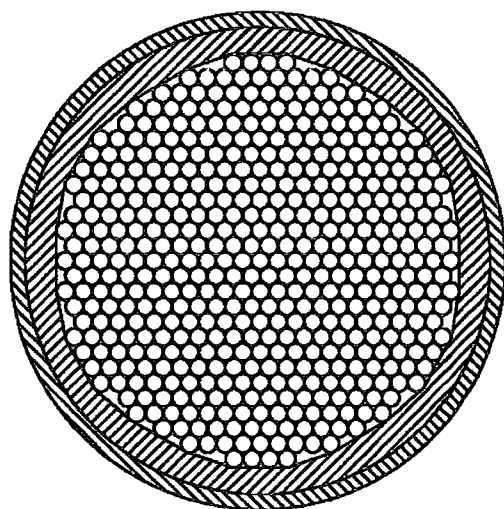


图 A25 475 丝断面排列图

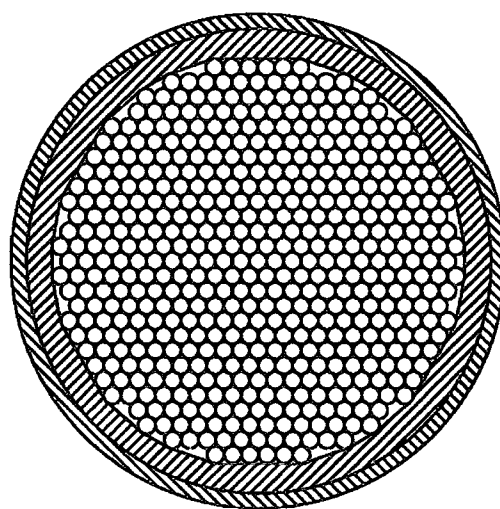


图 A26 499 丝断面排列图

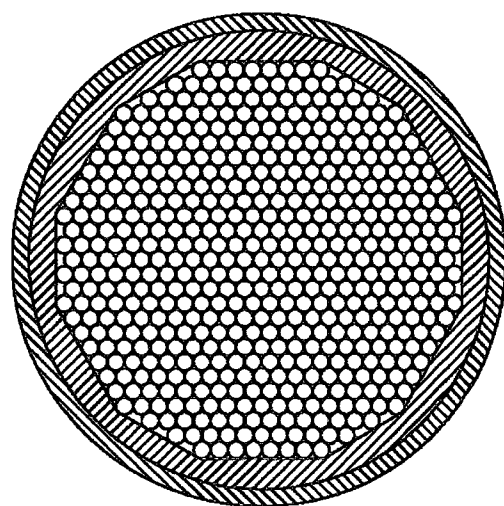


图 A27 511 丝断面排列图

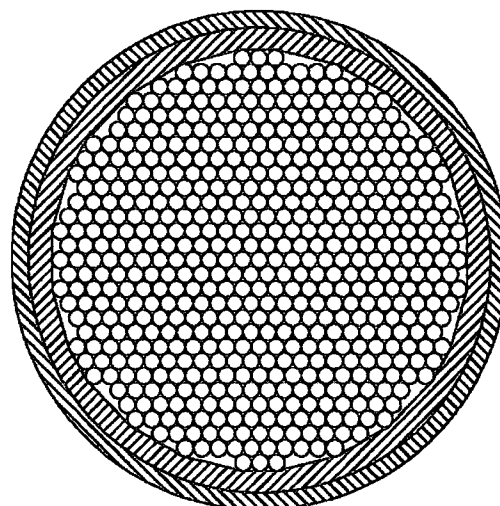


图 A28 547 丝断面排列图



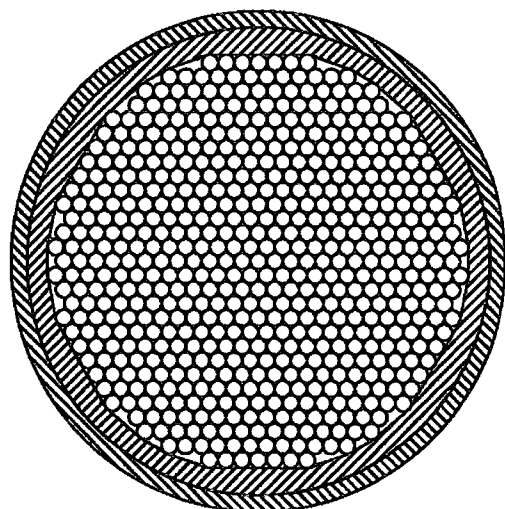


图 A29 583 丝断面排列图

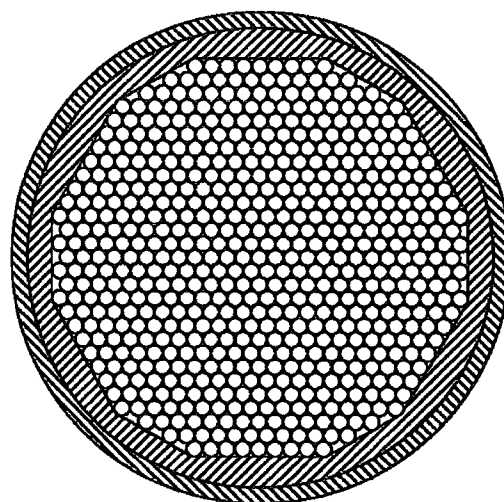


图 A30 595 丝断面排列图

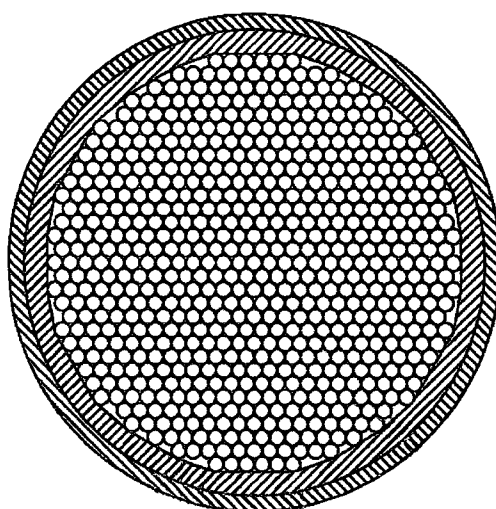


图 A31 649 丝断面排列图

附 录 B  
(规范性附录)  
斜拉索索体主要技术参数

斜拉索索体主要技术参数见表 B.1。

表 B.1 斜拉索索体主要技术参数表

规 格	索 体				裸 索			钢丝标准抗拉强度		
	外径 (mm)	护套层厚 (mm)		单位 质量 (kg/m)	直径 (mm)	面积 (mm <sup>2</sup> )	单位 质量 (kg/m)	$f_{pk}$ (MPa)		
		内层	外层					1 770	1 860	2 000
								破断索力 $P_b$ (kN)		
LPES( )-7-109-□	99	5	4	35.3	81.1	4 195	32.9	7 425	7 802	8 390
LPES( )-7-121-□	103	5	4	39.2	84.9	4 657	36.6	8 242	8 661	9 313
* LPES( )-7-127-□	109	5	4	41.1	91.0	4 888	38.4	8 651	9 091	9 775
LPES( )-7-139-□	111	5	4	44.9	92.2	5 349	42.0	9 468	9 950	10 699
LPES( )-7-151-□	113	6	4	48.5	94.4	5 811	45.6	10 286	10 809	11 622
* LPES( )-7-163-□	118	6	4	52.3	98.8	6 273	49.2	11 103	11 668	12 546
LPES( )-7-187-□	125	6	4	60.0	105.0	7 197	56.5	12 738	13 386	14 393
LPES( )-7-199-□	130	7	4	64.0	108.0	7 658	60.1	13 555	14 245	15 317
* LPES( )-7-211-□	135	7	4	67.9	112.7	8 120	63.7	14 373	15 104	16 240
LPES( )-7-223-□	138	7	4	71.6	116.3	8 582	67.4	15 190	15 963	17 164
LPES( )-7-241-□	143	8	4	77.5	119.0	9 275	72.8	16 416	17 251	18 550
LPES( )-7-253-□	146	8	4	81.3	121.6	9 737	76.4	17 234	18 110	19 473
* LPES( )-7-265-□	151	8	4	85.2	126.6	10 198	80.1	18 051	18 969	20 397
LPES( )-7-283-□	153	8	4	90.6	129.0	10 891	85.5	19 277	20 257	21 782
LPES( )-7-301-□	156	8	4	96.2	131.5	11 584	90.9	20 503	21 546	23 168
* LPES( )-7-313-□	161	8	5	105.0	135.3	12 046	94.6	21 321	22 405	24 091
LPES( )-7-337-□	167	8	5	107.9	140.5	12 969	101.8	22 956	24 123	25 939
LPES( )-7-349-□	168	8	5	111.5	142.0	13 431	105.4	23 773	24 982	26 862
LPES( )-7-367-□	175	9	5	117.7	147.1	14 124	110.9	24 999	26 270	28 248
* LPES( )-7-379-□	177	9	5	121.4	149.1	14 586	114.5	25 817	27 129	29 171
LPES( )-7-409-□	183	9	5	130.9	154.5	15 740	123.6	27 860	29 277	31 480
LPES( )-7-421-□	187	10	6	135.4	155.2	16 202	127.2	28 678	30 136	32 404
LPES( )-7-439-□	193	10	6	141.1	161.0	16 895	132.6	29 904	31 424	33 789
LPES( )-7-451-□	197	10	6	144.8	165.0	17 357	136.2	30 721	32 283	34 713
LPES( )-7-475-□	198	10	6	152.3	166.0	18 280	143.5	32 356	34 001	36 560

表 B.1(续)

规 格	索 体				裸 索			钢丝绳标准抗拉强度		
	外径 (mm)	护套层厚 (mm)		单位 质量 (kg/m)	直径 (mm)	面积 (mm <sup>2</sup> )	单位 质量 (kg/m)	$f_{pk}$ (MPa)		
		内层	外层					1 770	1 860	2 000
								破断索力 $P_b$ (kN)		
LPES( )-7-499-□	201	10	6	159.8	168.5	19 204	150.7	33 991	35 719	38 408
LPES( )-7-511-□	206	10	7	164.1	172.1	19 665	154.4	34 808	36 578	39 331
LPES( )-7-547-□	211	10	7	175.2	177.3	21 051	165.3	37 260	39 155	42 102
LPES( )-7-583-□	216	10	7	186.2	182.4	22 436	176.1	39 713	41 732	44 873
LPES( )-7-595-□	220	10	7	190.3	185.8	22 898	179.8	40 530	42 591	45 797
LPES( )-7-649-□	226	10	7	206.8	192.2	24 976	196.1	44 208	46 456	49 953
注 1: 括号中表示钢丝绳标准抗拉强度。										
注 2: 方框中表示钢丝绳类别。										
注 3: 带 * 者为不推荐使用的规格型号。										

附 录 C  
(规范性附录)  
锚具主要参数

锚具主要参数见表 C.1。

表 C.1 锚具主要参数

规格型号	锚杯外径 $B$ (mm)	锚杯长度 $L_s$ (mm)	锚圈外径 $C$ (mm)	锚圈高度 $H$ (mm)	锚具质量 $M$ (kg)	预埋管尺寸 $D$ (mm × mm)
LM( )-7-109	225	430	305	110	120	$\phi 273 \times 11$
LM( )-7-121	240	450	310	135	140	$\phi 273 \times 11$
* LM( )-7-127	245	450	315	135	147	$\phi 273 \times 9$
LM( )-7-139	250	460	325	135	155	$\phi 273 \times 7$
LM( )-7-151	265	480	340	135	177	$\phi 299 \times 11$
* LM( )-7-163	270	510	350	135	192	$\phi 299 \times 8$
LM( )-7-187	285	520	380	155	231	$\phi 325 \times 10$
LM( )-7-199	300	540	385	155	253	$\phi 325 \times 7.5$
* LM( )-7-211	305	555	405	180	287	$\phi 351 \times 12$
LM( )-7-223	310	575	405	180	297	$\phi 351 \times 12$
LM( )-7-241	325	585	420	180	329	$\phi 351 \times 8$
LM( )-7-253	335	595	440	180	361	$\phi 377 \times 10$
* LM( )-7-265	340	610	445	200	387	$\phi 377 \times 10$
LM( )-7-283	345	635	450	200	402	$\phi 377 \times 10$
LM( )-7-301	360	645	475	200	452	$\phi 402 \times 10$
* LM( )-7-313	365	655	480	200	466	$\phi 402 \times 10$
LML( )-7-337	375	695	485	220	513	$\phi 402 \times 9$
LM( )-7-349	385	710	505	220	569	$\phi 426 \times 12$
LM( )-7-367	390	715	510	220	577	$\phi 426 \times 12$
* LM( )-7-379	400	725	530	220	627	$\phi 450 \times 12$
LM( )-7-409	415	755	540	245	703	$\phi 450 \times 10$
LM( )-7-421	420	775	545	245	728	$\phi 450 \times 10$
LM( )-7-439	425	785	560	245	758	$\phi 465 \times 10$
LM( )-7-451	430	790	560	245	775	$\phi 465 \times 10$
LM( )-7-475	445	815	580	265	861	$\phi 480 \times 10$
LM( )-7-499	455	830	600	265	924	$\phi 500 \times 12$
LM( )-7-511	460	835	605	265	956	$\phi 500 \times 10$
LM( )-7-547	470	880	610	265	1 019	$\phi 500 \times 10$

表 C.1(续)

规格型号	锚杯外径 $B$ (mm)	锚杯长度 $L_s$ (mm)	锚圈外径 $C$ (mm)	锚圈高度 $H$ (mm)	锚具质量 $M$ (kg)	预埋管尺寸 $D$ (mm × mm)
LM( )-7-583	490	905	640	310	1 177	$\phi 530 \times 10$
LM( )-7-595	495	910	645	310	1 206	$\phi 530 \times 10$
LM( )-7-649	515	940	670	310	1 333	$\phi 550 \times 10$
注 1:不同索体抗拉强度所用锚具材质见表 4。 注 2:括号中表示钢丝标准抗拉强度。 注 3:带 * 者为不推荐使用的规格型号。						

附 录 D  
(规范性附录)  
斜拉索超张拉检验

D.1 基本要求

每根斜拉索均应经过超张拉检验。超张拉后,锚具的分丝板回缩值不应大于锚杯铸体长度的2%,锚圈与锚杯的旋合不受影响。超张拉力取1.1~1.4倍设计索力,超张拉力允许调整到最接近的50kN的整数倍,具体取值方法如下:

- a) 设计索力小于或等于3 000kN时取1.4倍;
- b) 设计索力大于3 000kN小于6 000kN时,取1.3倍;
- c) 设计索力大于或等于6 000kN小于10 000kN时,取1.2倍;
- d) 设计索力大于等于10 000kN时,取1.1倍。

D.2 超张拉检验方法

超张拉检验步骤如下:

- a) 将拉索锚具水平放置在反力架上,固定好锚具,使用液压千斤顶作为加载装置;
- b) 在锚具尾部选3个钢丝镦头作测点,3个测点至锚具中心的距离应大致相等,并互成120°;
- c) 以锚杯外端面为基准,用深度卡尺测出测点至基准面的垂直距离;
- d) 超张拉力分5级加载,加载速度 $a$ 不大于100MPa/min;
- e) 加载后再次测量测点至基准面的垂直距离,3个测点平均值前后两次的差为在该荷载下锚板的回缩值。

附录 E  
(规范性附录)  
拉弯疲劳试验

E.1 基本要求

拉弯疲劳试验允许以较小规格的试验索做模拟试验,但钢丝根数不少于组成最大规格斜拉索的钢丝总数的 20%。试验取 3 根试件为一组,试验拉索索体自由长度(不包括锚具内的钢丝长度)不应小于 3.5m。

E.2 试验方法

拉弯疲劳的试验方法包括以下两种:

- a) 在试验索的中心位置施加外力  $F$ ,使索体偏离锚具中心线,角向偏移为  $10\text{mrad}$ (设备容许时,推荐采用  $5\text{mrad} \pm 5\text{mrad}$  周期性变化的弯曲角度,频率可与拉索两端施加的脉动荷载一致),然后进行  $2.0 \times 10^6$  次的循环脉动加载,见图 E.1;

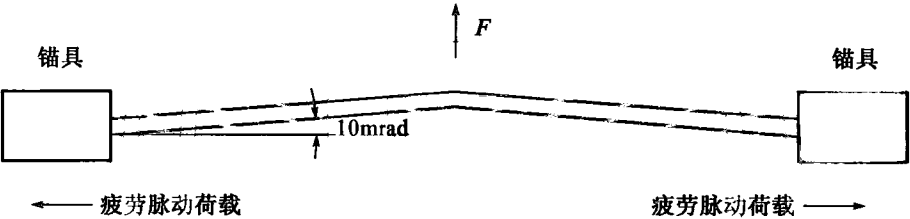


图 E.1 拉弯疲劳试验示意(一)

- b) 在试验索锚具端面上采用  $10\text{mrad}$  的楔形垫板,使索体中心线与锚具中心线偏离,形成  $10\text{mrad}$  的角度,然后进行  $2.0 \times 10^6$  次的循环脉动加载,见图 E.2。

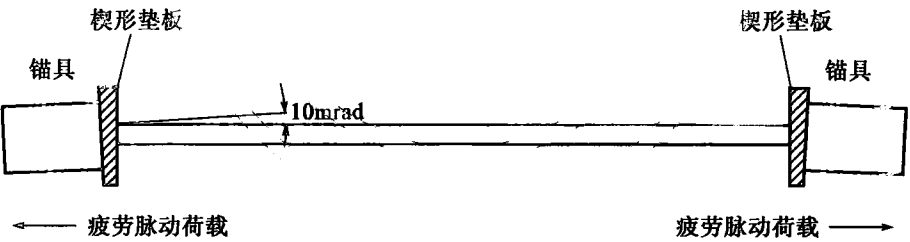


图 E.2 拉弯疲劳试验示意(二)

附 录 F  
(规范性附录)  
静态水密性试验

静态水密性试验装置见图 F.1。

从经轴向疲劳试验后的 3 根斜拉索中取一根斜拉索浸入有颜色的水中,水平面至索体与锚具连接部位的水深不小于 3m,静止放置 96h 后将斜拉索取出,解剖索体及锚具的连接部位,目测有无进水现象。

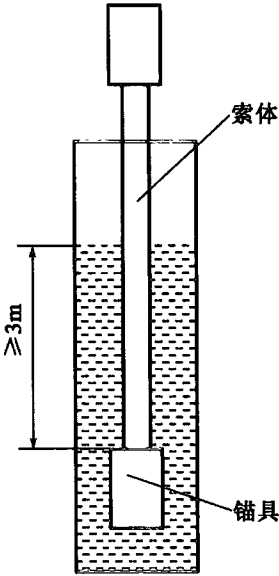


图 F.1 斜拉索静态水密性试验示意



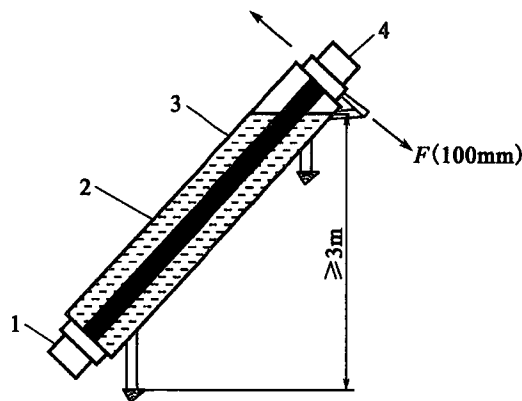
附录 G  
(规范性附录)  
动态水密性试验

G.1 基本要求

斜拉索组件应采取与实桥等比例的模型进行动态水密性试验,试验水深不小于 3m。

G.2 试验装置

试验装置见图 G.1。



说明:  
1——锚具;                    3——水(20℃~70℃);  
2——支架;                    4——轴向千斤顶(0.2 $P_b$ ~0.5 $P_b$ )。

图 G.1 斜拉索动态水密性试验装置示意

G.3 试验方法

在模型斜拉索生产过程中,在斜拉索钢丝与高强聚酯纤维带之间、护套与钢丝之间及护套与热收缩套之间放入指示试纸。然后按照以下步骤进行试验,见图 G.2。

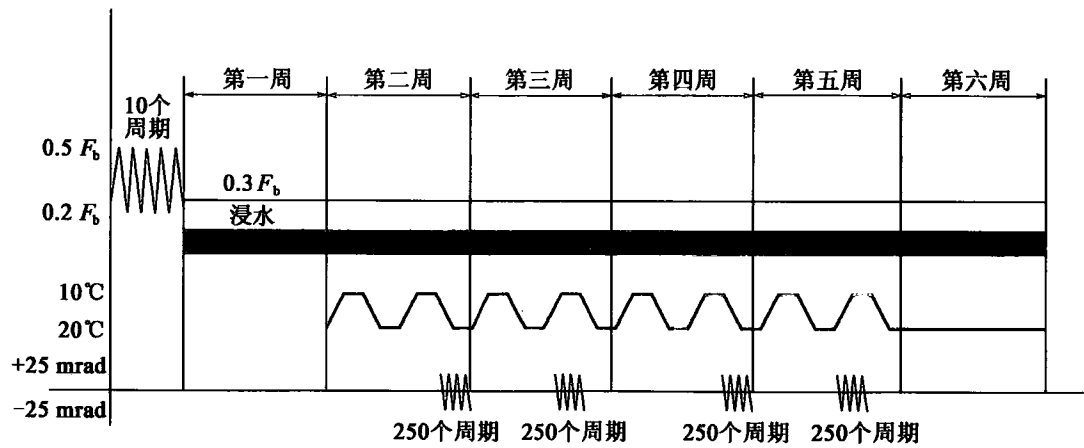


图 G.2 斜拉索动态水密性试验过程示意

- a) 在环境温度下,对斜拉索进行 10 个周期的  $0.2P_b \sim 0.5P_b$  的轴向循环加载,循环加载完成后,保持斜拉索轴向载荷为  $0.3P_b$ ;
  - b) 确认斜拉索与试验支架完全密封后,向试验支架内注满水,保持水深大于 3m,在环境温度状态下保持一周;
  - c) 然后水温从  $20^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$  进行热循环变化,每周两次,连续进行 8 次循环,一个热循环过程为:在 24h 内由  $20^{\circ}\text{C}$  逐步上升至  $70^{\circ}\text{C} \rightarrow$  保持  $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  的温度 24h  $\rightarrow$  在 12 h 内由  $70^{\circ}\text{C}$  逐步下降至  $20^{\circ}\text{C} \rightarrow$  保持  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  的温度 24h;
  - d) 进行热循环的同时,在水温处于特定温度时,每周对斜拉索进行一次 250 个周期的横向位移加载,行程为 200mm,共 4 次;
  - e) 在环境温度下静置 1 周;
  - f) 解除索力,拆下斜拉索,对其进行解剖,检查索体内指示试纸的变色情况。
-



中 华 人 民 共 和 国  
交 通 运 输 行 业 标 准  
大跨度斜拉桥平行钢丝拉索  
**JT / T 775—2016**

\*

人民交通出版社股份有限公司出版发行  
(100011 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号)  
各地新华书店经销  
北京市密东印刷有限公司印刷

\*

开本:880×1230 1/16 印张:2 字数:61千  
2017年3月 第1版  
2017年3月 第1次印刷

\*

统一书号:15114·2571 定价:30.00元

版权专有 侵权必究  
举报电话:010-85285150