

DB32

江苏省地方标准

DB32/T 4595—2023

大跨径公铁两用斜拉桥平行钢丝
拉索通用技术条件

General specification of parallel stay cable for the long span
railway and highway stay cable bridge

地方标准信息服务平台

2023-12-01 发布

2024-01-01 实施

江苏省市场监督管理局 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言Ⅲ

1 范围1

2 规范性引用文件1

3 术语和定义2

4 符号3

5 结构、型号与规格.....3

6 技术要求8

7 试验方法.....14

附录A（规范性） 斜拉索索体主要技术参数18

附录B（规范性） 锚具主要参数20

附录C（规范性） 拉弯疲劳试验22

附录D（规范性） 静载水密性试验23

附录E（规范性） 动态水密性试验24

附录F（规范性） 索体断面排列图26

附录G（规范性） 抗火拉索结构及相关要求32

地方标准信息服务平台

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由无锡市市场监督管理局提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会钢丝绳分技术委员会归口。

本文件起草单位：江苏法尔胜缆索有限公司、江苏法尔胜路桥科技有限公司、江苏省交通工程建设局、中铁大桥勘测设计院集团有限公司、江苏东纲金属制品有限公司。

本文件主要起草人：赵军、薛花娟、吴琼、李镇、夏鹏飞、王强、周祝兵、郑清刚、强强、陈建峰、姚永峰、周能作、夏涛、尹东亚、束卫红、邹建秋、顾彬、顾逸平、王飞、费汉兵、吴树文、朱维军。

地方标准信息服务平台

大跨径公铁两用斜拉桥平行钢丝 拉索通用技术条件

1 范围

本文件规定了大跨径公铁两用斜拉桥平行钢丝拉索的结构、型号与规格和技术要求,描述了对应的试验方法。

本文件适用于大跨径公铁两用斜拉桥平行钢丝拉索,其他桥梁及结构拉索可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 223.3 钢铁及合金化学分析方法 二安替比林甲烷磷钼酸重量法测定磷量
GB/T 223.4 钢铁及合金 锰含量的测定 电位滴定或可视滴定法
GB/T 223.12 钢铁及合金化学分析方法 碳酸钠分离-二苯碳酰二肼光度法测定铬量
GB/T 223.23 钢铁及合金 镍含量的测定 丁二酮肟分光光度法
GB/T 223.59 钢铁及合金 磷含量的测定 钼磷钼蓝分光光度法和铈磷钼蓝分光光度法
GB/T 223.71 钢铁及合金化学分析方法 管式炉内燃烧后重量法测定碳含量
GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法
GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
GB/T 699 优质碳素结构钢
GB/T 700 碳素结构钢
GB/T 1839 钢产品镀锌层质量试验方法
GB/T 2792 胶粘带剥离强度的试验方法
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 锻轧钢棒超声检测方法
GB/T 4237 不锈钢热轧钢板和钢带
GB/T 4336 碳素钢和中低合金钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)
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 7125 胶粘带厚度的试验方法
GB/T 11170 不锈钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)
GB/T 11261 钢铁 氧含量的测定 脉冲加热惰气熔融—红外线吸收法
GB/T 16422.3 塑料 实验室光源暴露试验方法 第3部分:荧光紫外灯
GB/T 17101 桥梁缆索用热镀锌或锌铝合金钢丝
GB/T 17911 耐火纤维制品试验方法

GB/T 18365 斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索
GB/T 20123 钢铁 总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外吸收法(常规方法)
GB/T 20124 钢铁 氮含量的测定 惰性气体熔融热导法(常规方法)
GB/T 21834 中低合金钢 多元素成分分布的测定 金属原位统计分布分析法
GB/T 21839 预应力混凝土用钢材试验方法
GB/T 22315 金属材料 弹性模量和泊松比试验方法
GB/T 26253 塑料薄膜和薄片水蒸气透过率的测定 红外检测器法
GB/T 30776 胶粘带拉伸强度与断裂伸长率的试验方法
GB/T 32370 胶粘带长度和宽度的测定
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
XF/T 714 构件用防火保护材料快速升温耐火试验方法
YB/T 4130 耐火材料 导热系数试验方法(水流量平板法)
YB/T 4306 钢铁及合金 氮含量的测定 惰性气体熔融热导法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

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

表面热镀锌-铝合金镀层的钢丝。

3.2

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。

3.3

锚具 anchorage

将索体拉力传递给结构的连接部件。

3.4

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系数。

3.5

拉弯疲劳性能 tension bending fatigue performance

斜拉索在同时承受拉伸与弯曲两种荷载条件下的抗疲劳性能。

3.6

钢丝标准抗拉强度 wire standard tensile strength

钢丝拉断前承受的最大标称拉应力。

3.7

索力 cable force

作用在斜拉索上的轴向拉伸荷载。

3.8

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。

3.9

斜拉桥平行钢丝拉索效率系数 efficiency factor of stay cables

实测平行钢丝拉索最大破断索力与公称破断索力之比值。

3.10

斜拉索长度 length of stay cable

梁、塔端锚垫板外端面之间的距离。

4 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(mm^2);
- B —— 锚杯外径,单位为毫米(mm);
- C —— 锚圈外径,单位为毫米(mm);
- D —— 预埋管尺寸,单位为毫米(mm);
- E —— 弹性模量,单位为兆帕(MPa);
- F —— 拉弯疲劳试验时施加于拉索的横向力,单位为千牛(kN);
- f_{pk} —— 索体钢丝标准抗拉强度,单位为兆帕(MPa);
- H —— 锚圈高度,单位为毫米(mm);
- 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(m);
- L_{20} —— 斜拉桥平行钢丝拉索承受拉力 P_{20} 时的长度,单位为米(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(m);
- L_S —— 锚杯长度,单位为毫米(mm);
- ΔL —— 斜拉桥平行钢丝拉索长度允许偏差,单位为米(m);
- ΔL_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测长张拉力,一般终止张拉力的 20%,单位为千牛(kN);
- t —— 斜拉桥平行钢丝拉索测长时的环境温度,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- t_0 —— 斜拉桥平行钢丝拉索设计基准温度,由设计确定,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- α —— 斜拉桥平行钢丝拉索线膨胀系数,为 $1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- η —— 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);
- ϕ —— 单根钢丝直径,单位为毫米(mm)。

5 结构、型号与规格

5.1 结构

5.1.1 总体结构

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 1。

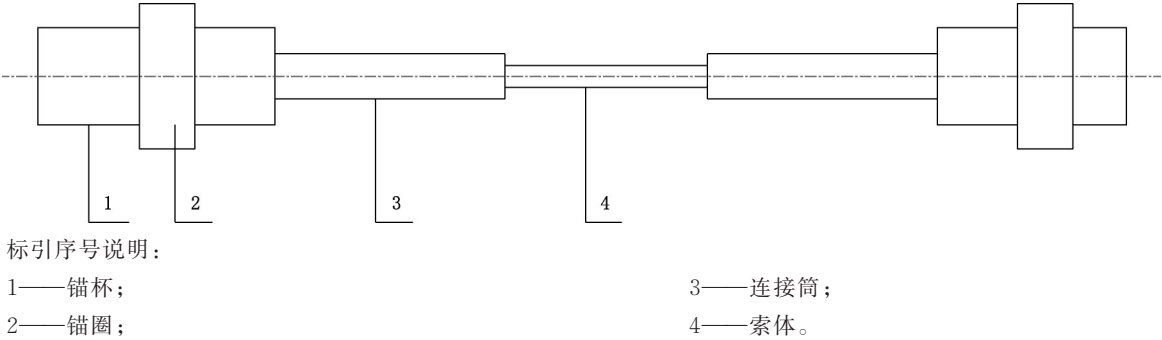


图1 斜拉索结构示意图

5.1.2 索体

5.1.2.1 常规拉索索体断面结构示意见图 2,索体断面结构排列图应符合附录 F。

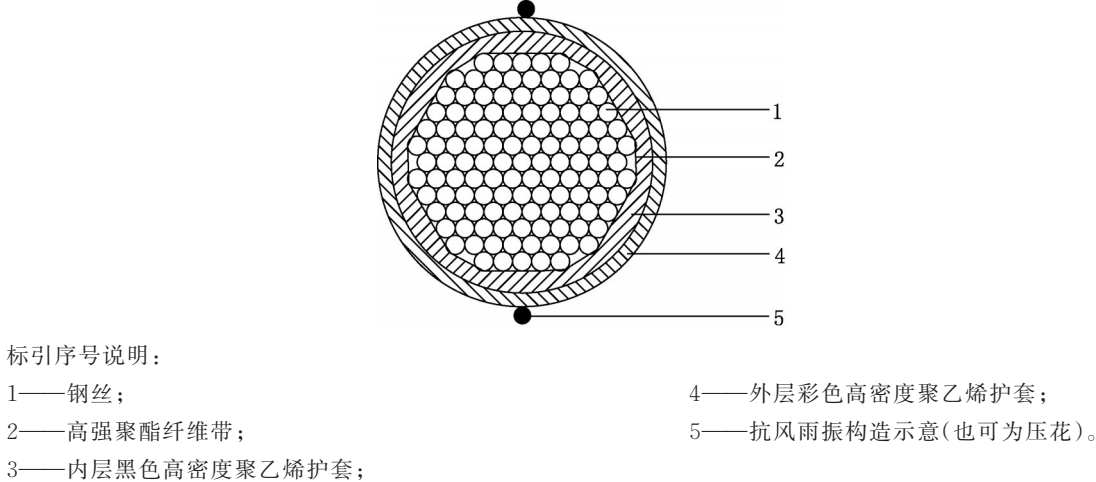


图2 常规斜拉索索体断面结构示意图

5.1.2.2 根据客户要求,可在斜拉索外缠绕聚氟乙烯胶带,其索体断面示意见图 3。

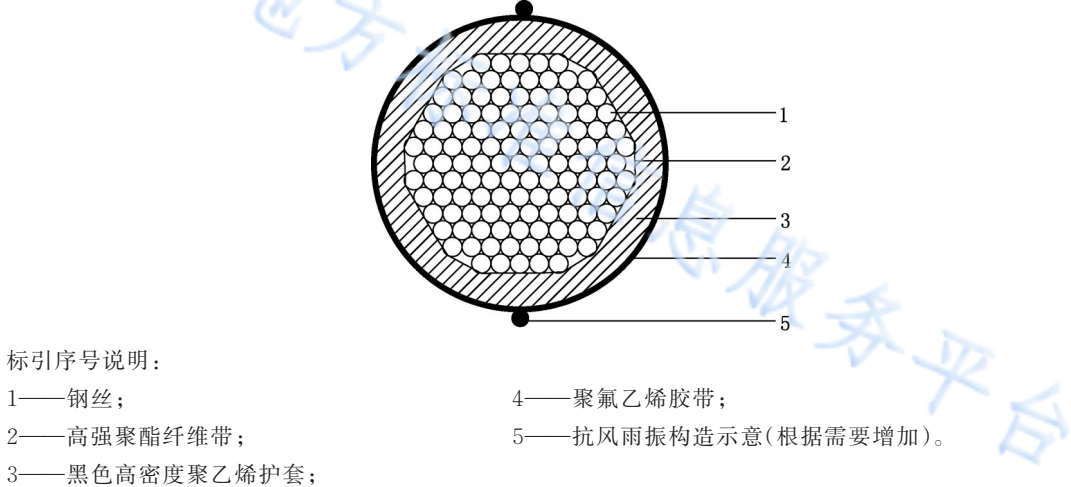


图3 外缠绕聚氟乙烯胶带斜拉索索体断面结构示意图

5.1.2.3 根据客户要求,可在斜拉索内设置防火带,防火结构及防火要求应符合附录 G,防火拉索索体断面示意图见图 4。

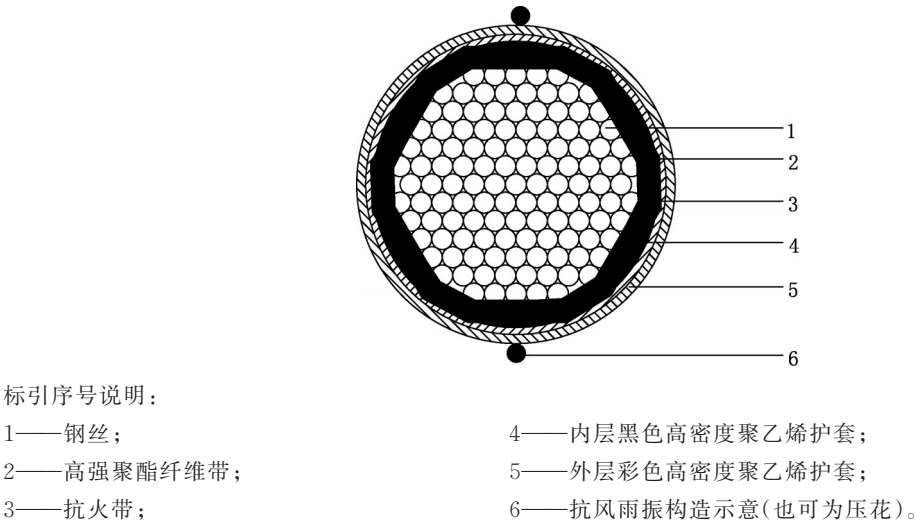


图 4 内置防火带斜拉索索体断面结构示意图

5.1.3 锚具

5.1.3.1 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。

5.1.3.2 斜拉索两端宜安装锚具保护罩。

5.1.3.3 梁端预埋钢管端采用锥形斜拉索防护罩和密封罩。

5.1.3.4 斜拉索锚具结构根据是否设置球面副以及其形式分为 A 类、B 类和 C 类,A 类斜拉索锚具结构不设置球面副,B 类斜拉索锚具设置球面副,球面副由球面锚圈及球面垫板组成,C 类斜拉索锚具设置球面副,球面副由球面支座和球面垫板组成。在梁和塔中使用有所不同,详见图 5~图 10。

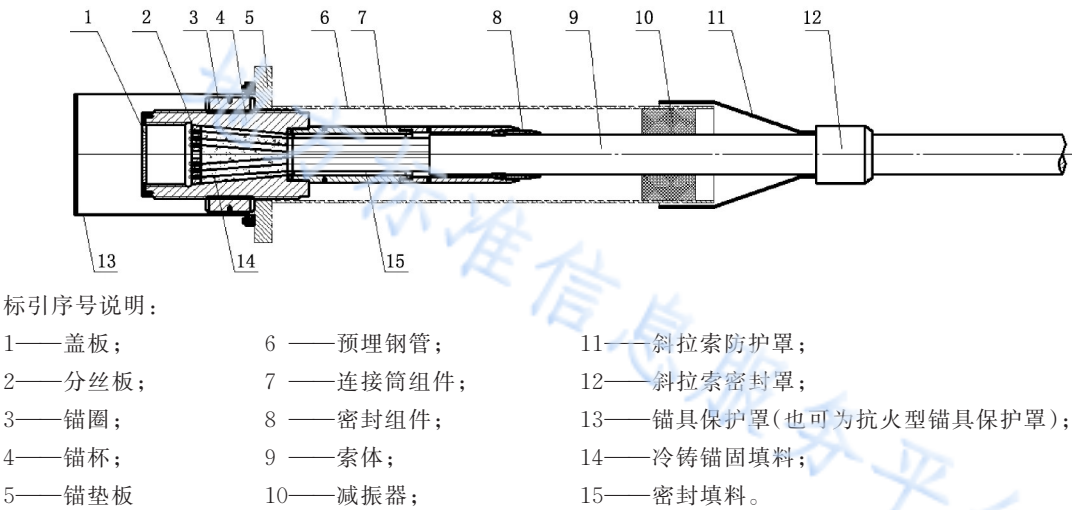
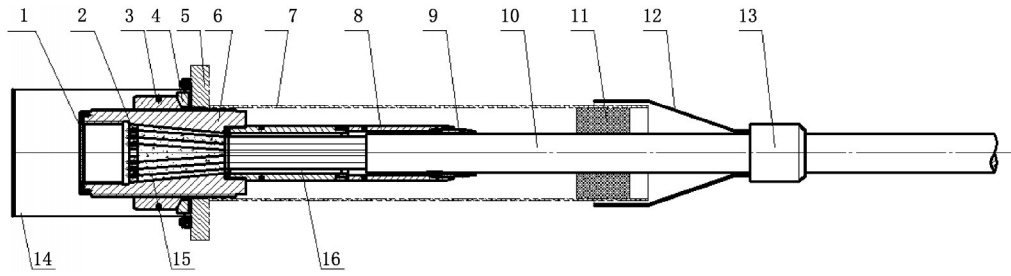


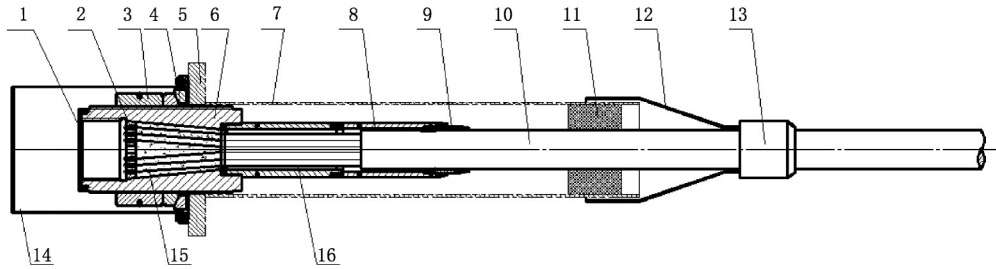
图 5 A 类斜拉索梁端锚具结构示意图



标引序号说明:

- | | | |
|----------|-------------|------------------------|
| 1——盖板; | 7——预埋钢管; | 13——斜拉索密封罩; |
| 2——分丝板; | 8——连接筒组件; | 14——锚具保护罩(可为抗火型锚具保护罩); |
| 3——球面锚圈; | 9——密封组件; | 15——冷铸锚固填料; |
| 4——球面垫板; | 10——索体; | 16——密封填料。 |
| 5——锚垫板; | 11——减振器; | |
| 6——锚杯; | 12——斜拉索防护罩; | |

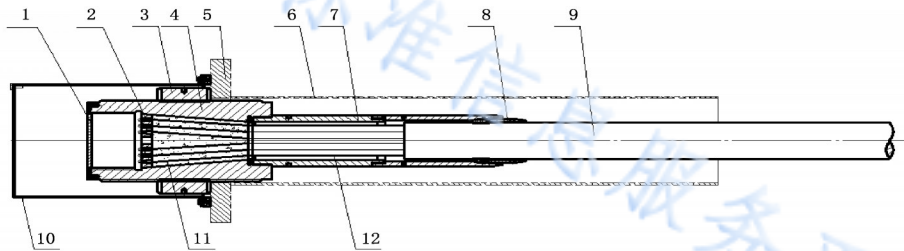
图6 B类斜拉索梁端锚具结构示意图



标引序号说明:

- | | | |
|---------|-------------|------------------------|
| 1——盖板; | 7——预埋钢管; | 13——斜拉索密封罩; |
| 2——分丝板; | 8——连接筒组件; | 14——锚具保护罩(可为抗火型锚具保护罩); |
| 3——锚圈; | 9——密封组件; | 15——冷铸锚固填料; |
| 4——球面副; | 10——索体; | 16——密封填料。 |
| 5——锚垫板; | 11——减振器; | |
| 6——锚杯; | 12——斜拉索防护罩; | |

图7 C类斜拉索梁端锚具结构示意图



标引序号说明:

- | | | |
|---------|-----------|-------------|
| 1——盖板; | 5——锚垫板; | 9——索体; |
| 2——分丝板; | 6——预埋钢管; | 10——锚具保护罩; |
| 3——锚圈; | 7——连接筒组件; | 11——冷铸锚固填料; |
| 4——锚杯; | 8——密封组件; | 12——密封填料。 |

图8 A类斜拉索塔端锚具结构示意图

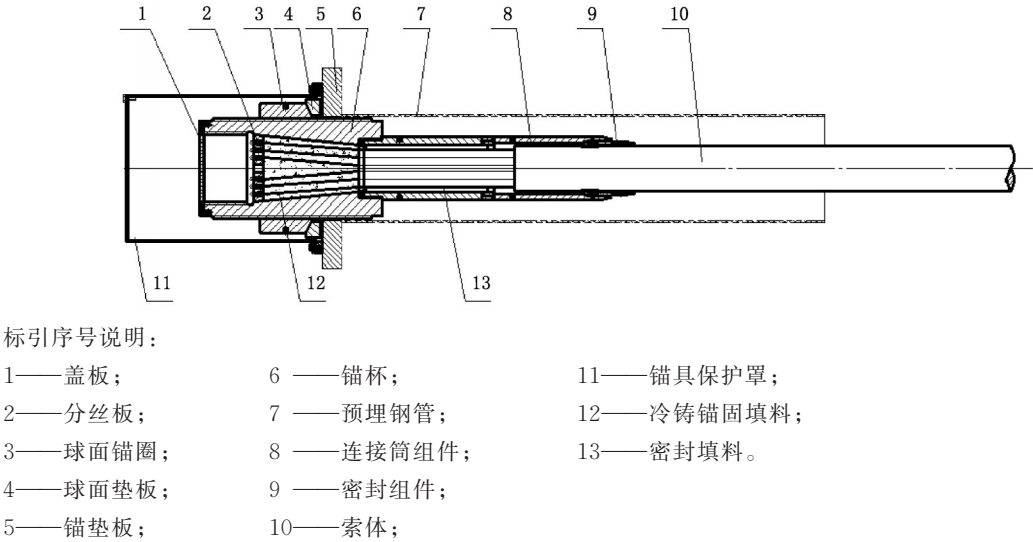


图9 B类斜拉索塔端锚具结构示意图

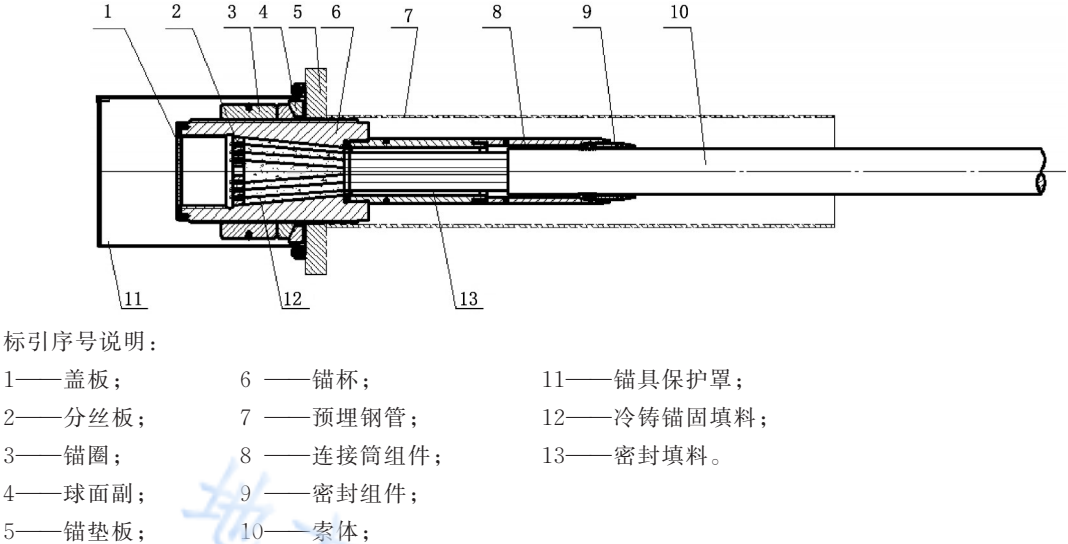


图10 C类斜拉索塔端锚具结构示意图

5.2 型号

5.2.1 斜拉索

斜拉索型号表示方法见图 11。

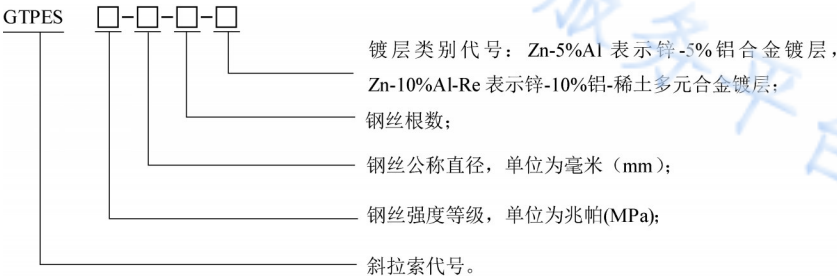


图11 斜拉索型号表示方法

示例:109根直径7 mm 钢丝、强度等级为1 860 MPa 锌-5% 铝合金镀层钢丝斜拉索,其型号表示为GTPES 1860-7-109-Zn-5%Al。

5.2.2 索体

斜拉索索体型号表示方法见图 12。

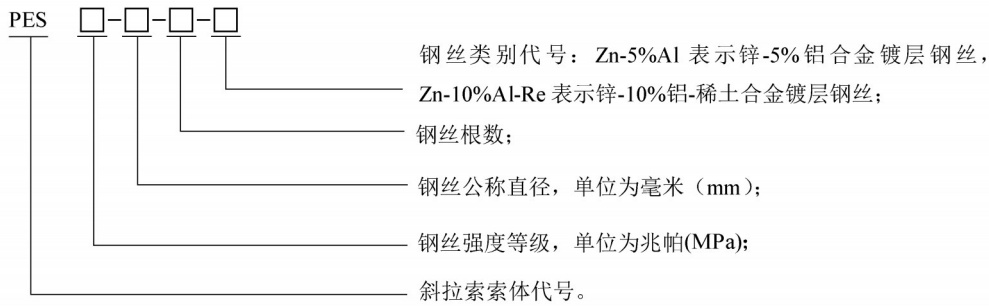


图 12 斜拉索索体型号表示方法

示例:109根直径7 mm 钢丝、钢丝强度等级为1 860 MPa 锌-5% 铝合金镀层钢丝斜拉索索体,其型号表示为PES 1860-7-109-Zn-5%Al。

5.2.3 锚具

斜拉索锚具的型号表示方法见图 13。



图 13 斜拉索锚具型号表示方法

示例:109根直径7 mm 钢丝、钢丝强度等级为1 860 MPa 的不设球面副斜拉索锚具,其型号表示为LM 1860-7-109-A。

5.3 规格

5.3.1 斜拉索索体主要技术参数应符合附录 A 的规定。

5.3.2 斜拉索锚具主要尺寸参数应符合附录 B 的规定。

6 技术要求

6.1 材料

6.1.1 钢丝

6.1.1.1 斜拉索索体宜采用锌-5% 铝合金镀层钢丝或者锌-10% 铝-稀土合金镀层钢丝,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±0.07		
2	不圆度		mm	≤0.07		
3	每米参考质量		g	301±6		
4	抗拉强度		MPa	≥1 860	≥2 000	≥2 100
5	规定塑性延伸强度 ^a		MPa	≥1 660	≥1 790	≥1 890
6	疲劳应力幅值 ^b		MPa	360	410	460
7	断后伸长率		%	≥4.0		
8	弹性模量		MPa	(2.0±0.1)×10 ⁵		
9	反复弯曲性能		次	≥5		
10	缠绕性能		圈	3D×8,不断裂		5D×8,不断裂
11	扭转性能		次	≥12	≥8	≥8
12	松弛率 ^c		%	≤2.5		
13	铝含量 ^d	锌-5% 铝合金镀层钢丝	%	≥4.2		
		锌-10% 铝-稀土合金镀层钢丝	%	9.0~14.5		
14	单位面积镀层重量		g/m ²	300~400		
15	镀层附着性		圈	5D×8,镀层不开裂或不起层到用光裸手指擦掉的程度		
16	镀层均匀性		次	≥2,每次 45 s,不挂铜		
17	伸直性能(取弦长 1 000 mm 钢丝,弦与弧的最大自然矢高)		mm	≤25		
^a 规定非比例延伸强度是钢丝在非比例延伸应变达到引伸计标距 0.2% 时的应力。						
^b 疲劳应力幅值是应力上限在 0.45f _{pk} 条件下,进行 2×10 ⁶ 次疲劳循环试验,钢丝不断裂的疲劳应力幅。						
^c 松弛率是钢丝在 70% 公称破断拉力下,经 1 000 h 后的钢丝松弛率。出厂检验中,在保证 1 000 h 型式试验松弛合格的基础上,也可采用至少 120 h 的试验数据推算 1 000 h 的松弛值。						
^d 锌-铝 10% -稀土合金镀层钢丝防腐性能优于 锌-5% 铝合金镀层钢丝,防腐性能要求高的项目建议采用 锌-10% 铝-稀土合金镀层钢丝。						

6.1.1.2 钢丝不准许有任何形式的接头。

6.1.1.3 钢丝进场后应按 GB/T 17101 的规定进行验收。

6.1.2 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。

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(10 mm 带宽)	≥3

6.1.3 抗火带

抗火带宜采用由玻纤铝箔胶带和高硅氧纤维复合的反射型隔热阻燃抗火带,应符合表 3 的要求。

表 3 抗火带主要技术指标

厚度 mm	宽度 mm	破断拉力 N	热传导系数(650 ℃) W/(m·K)
≥5	80~100	>500(25 mm 带宽)	<0.1

6.1.4 高密度聚乙烯(HDPE)护套料

索体防护用高密度聚乙烯护套料的主要性能应符合表 4 的规定。

表 4 高密度聚乙烯护套料技术要求

序号	项目		单位	技术要求	
				黑色	彩色
1	密度		g/cm ³	0.940~0.955	
2	熔体质量流动速率		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		%	≥400	
6	拉伸弹性模量		MPa	≥500	
7	弯曲弹性模量		MPa	<1 000	
8	冲击强度		kJ/m ²	≥50	
9	邵氏硬度		Shore D	≥50	
10	耐环境应力开裂>5 000 h		—	通过	
11	脆化温度<-76 ℃		—	通过	
12	耐热应力开裂>96 h		—	通过	
13	200 ℃氧化诱导期		min	≥60	
14	耐荧光紫外老化 3 000 h	拉伸断裂应力变化率	%	±25	
		断裂标称应变变化率	%	±25	
15	耐光色牢度		级	—	≥7
16	炭黑分散性		级	≤3	—
17	炭黑含量		%	2.5±0.3	—

6.1.5 聚氟乙烯胶带

聚氟乙烯胶带应符合表 5 的要求。

表 5 聚氟乙烯胶带技术要求

序号	项目			单位	技术要求
1	有效厚度			μm	≥ 115
2	纵向破断力			N/cm	≥ 45
3	断裂伸长率			%	≥ 90
4	水蒸气渗透率			$\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	≤ 18
5	剥离强度	与 HDPE		N/cm	≥ 5
		与聚氟乙烯胶带		N/cm	≥ 5
6	耐热老化性能(85℃,相对湿度 85%,1 000 h)	纵向破断力		N/cm	≥ 40
		断裂伸长率		%	≥ 80
		剥离强度	与 HDPE	N/cm	≥ 5
			与聚氟乙烯胶带	N/cm	≥ 5
7	耐荧光紫外老化性能(1 000 h)	纵向破断力		N/cm	≥ 40
		断裂伸长率		%	≥ 80

6.1.6 锚杯和锚圈

6.1.6.1 锚杯和锚圈应符合以下要求：

- a) 选用符合 GB/T 3077 规定的合金结构钢,要求见表 6,也可采用强度不低于表中的其他合金结构钢材料；
- b) 采用锻钢件制作；
- c) 采用梯形螺纹,螺距与直径应符合 GB/T 5796.2 的规定；
- d) 符合超声探伤 GB/T 4162 中 B 级和磁粉探伤 NB/T 47013.4 中 II 级质量等级的规定；
- e) 采用热镀锌或粉末渗锌防腐,锌层厚度应不小于 90 μm ；
- f) 分丝板丝孔直径为 7.6 mm $\pm$ 0.1 mm。

表 6 锚杯、锚圈材质要求

索体钢丝标准抗拉强度(f_{pk})/MPa	锚杯材质	锚圈材质	球面副材质
1 860	42CrMo	40Cr	45
2 000	42CrMo	35CrMo	40Cr
2 100	42CrMo	35CrMo	40Cr

6.1.6.2 同规格型号锚具相同部件应具有互换性。

6.1.7 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,其抗压强度在 23℃±5℃下应不小于 147 MPa。

6.1.8 附属构件

6.1.8.1 附属构件包括斜拉索锚具保护罩、斜拉索防护罩和斜拉索密封罩等。附属构件材料应符合表 7 的要求。

表 7 附属构件材料要求

附属构件名称	附属构件材料	符合标准
斜拉索锚具保护罩	022Cr17Ni12Mo2	GB/T 4237
	Q235	GB/T 700
斜拉索防护罩	022Cr17Ni12Mo2	GB/T 4237
	Q235	GB/T 700
斜拉索密封罩	20	GB/T 699
	022Cr17Ni12Mo2	GB/T 4237

6.1.8.2 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,应保证其可检、可更换。

6.1.8.3 附属构件采用其他材料时,其化学成分应符合相关标准的规定。

6.1.8.4 非不锈钢材质的附属构件表面应根据项目要求进行防腐。

6.1.8.5 抗火锚具保护罩安装于梁端锚具处,采用双层不锈钢板制成,内部填充抗火带,兼具美观和保护锚具不受火灾时高温的影响。

6.2 外观表面和尺寸偏差

6.2.1 外观表面

6.2.1.1 索体外观不应有破损、深度大于 1.0 mm 或面积大于 100 mm² 的表面缺陷,可采用焊枪对高密度聚乙烯进行热熔焊接修补。

6.2.1.2 索体外表面设置螺旋线或压花。

6.2.1.3 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。

6.2.2 尺寸偏差

6.2.2.1 索体护套厚度不大于 10 mm 时,厚度允许偏差为-0.5 mm~+1.0 mm;护套厚度大于 10 mm 时,厚度允许偏差为-0.5 mm~+2.0 mm。

6.2.2.2 斜拉索直径允许偏差为-1 mm~+4.0 mm。

6.2.2.3 斜拉索长度 L_{co} 允许偏差应符合以下要求:

- a) $L_{co} \leq 200\text{ m}, \Delta L \leq 0.020\text{ m};$
- b) $L_{co} > 200\text{ m}, \Delta L \leq (L_{co}/20\ 000 + 0.010)\text{ m}.$

6.2.3 超张拉

每根拉索均应进行超张拉,成品拉索超张拉后,锚板内缩值应不大于铸体长度的 2%;铸体长度小于 300 mm,锚板回缩值应不大于 6 mm。

6.3 力学性能

6.3.1 弹性模量

斜拉索弹性模量应不小于 1.90×10^5 MPa。

6.3.2 静载性能

斜拉索静载性能应符合表 8 的要求。

表 8 静载性能要求

项目	弹性模量 MPa	斜拉索效率系数 η	极限延伸率 %	断丝率 %
性能要求	$\geq 1.90 \times 10^5$	≥ 0.95	≥ 2	≤ 2

6.3.3 疲劳性能

6.3.3.1 斜拉索轴向疲劳性能应符合表 9 的要求。

表 9 轴向疲劳性能要求

项目	应力上限 MPa	应力幅值 $\Delta\sigma$ MPa	循环次数 次	疲劳后的斜拉索效率系数 η	断丝率 %
性能要求	$0.45f_{pk}$	250~280	2 000 000	≥ 0.95	≤ 2

6.3.3.2 斜拉索拉弯疲劳性能应符合表 10 的要求。

表 10 拉弯疲劳性能要求

项目	应力上限 MPa	应力幅值 $\Delta\sigma$ MPa	循环次数 次	弯曲角度 mrad	疲劳后的斜拉索效率系数 η	断丝率 %
性能要求	$0.45f_{pk}$	250~280	2 000 000	10	≥ 0.95	≤ 2

6.4 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。

6.5 防火性能

6.5.1 索体

内置防火带的斜拉索索体的防火性能需满足在明火作用下,拉索耐火时间不小于 30 min,且其内部钢丝温升不超过 300 ℃。

6.5.2 锚固部位

采用防火锚具保护罩的斜拉索锚固部位的防火性能,需满足在明火作用下 30 min,斜拉索锚固不失效。

7 试验方法

7.1 材料

7.1.1 钢丝

钢丝的试验方法按表 11 的要求进行。

表 11 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	10	反复弯曲性能	GB/T 21839
2	不圆度	GB/T 17101	11	缠绕性能	GB/T 2976
3	公称截面积	GB/T 17101	12	扭转性能	GB/T 17101
4	每米参考质量	GB/T 17101	13	松弛率	GB/T 17101
5	标准抗拉强度	GB/T 21839	14	铝含量测定	GB/T 17101
6	规定非比例延伸强度	GB/T 21839	15	镀层单位重量	GB/T 1839
7	疲劳应力幅值	GB/T 17101	16	镀层附着性	GB/T 2976
8	断后伸长率	GB/T 21839	17	镀层均匀性	GB/T 2972
9	弹性模量	GB/T 22315	18	伸直性能	GB/T 17101

7.1.2 高强聚酯纤维带

高强聚酯纤维带的破断拉力、延伸率试验应按 GB/T 30776 的规定进行。

7.1.3 抗火带

抗火带的试验方法按表 12 的要求进行。

表 12 抗火带试验方法

序号	检测内容	检验方法
1	厚度	游标卡尺
2	宽度	游标卡尺
3	破断拉力	GB/T 17911
4	热传导系数	YB/T 4130

7.1.4 高密度聚乙烯护套料

高密度聚乙烯护套料的试验方法应按 CJ/T 297 的规定进行。

7.1.5 聚氟乙烯胶带

聚氟乙烯胶带的性能按表 13 的要求进行。

表 13 聚氟乙烯胶带试验方法

序号	项目	试验方法
1	外观和颜色	目视检测
2	尺寸	GB/T 32370
3	厚度	GB/T 7125
4	纵向破断力	GB/T 30776
5	断裂伸长率	GB/T 30776
6	水蒸气透过率	GB/T 26253
7	剥离强度	GB/T 2792
8	湿热老化性能	GB/T 2792
9	耐荧光紫外老化	GB/T 16422.3

7.1.6 锚杯、锚圈和球面副

锚杯、锚圈和球面副试验方法按表 14 的要求进行。

表 14 锚杯、锚圈、球面副试验方法

序号	项目	试验方法
1	力学性能	GB/T 228.1、GB/T 229
2	化学成分	GB/T 4336、GB/T 11261、GB/T 20123、GB/T 20124、GB/T 21834
3	超声波检测	GB/T 4162
4	磁粉检测	NB/T 47013.4
5	镀层厚度	GB/T 4956
6	外观尺寸	游标卡尺、千分尺测量
7	螺纹尺寸(锚杯、锚圈)	螺纹规检查

7.1.7 冷铸锚固填料

7.1.7.1 每个冷铸锚在浇铸填料时应同时制作一组三个尺寸为 $\phi 25\text{ mm}\times 30\text{ mm}$ 或 $30\text{ mm}\times 30\text{ mm}\times 30\text{ mm}$ 的冷铸锚固填料试件。

7.1.7.2 试件在 $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 下进行抗压强度试验,三个试件测定值中任一个与中值的差值超过中值 15%,则取中值为测定值,否则以其算术平均值为测定值。

7.1.8 附属构件

附属构件试验方法按表 15 的要求进行。

表 15 附属构件试验方法

序号	项目	试验方法
1	化学成分	GB/T 223.3、GB/T 223.4、GB/T 223.12、GB/T 223.23、GB/T 223.59、GB/T 223.71、GB/T 4336、GB/T 11261、GB/T 11170、GB/T 20123、GB/T 21834、YB/T 4306
2	涂镀层厚度	GB/T 4956
3	外观尺寸	游标卡尺、千分尺测量
4	防火锚具保护罩内抗火带厚度	在安装外壳之前采用游标卡尺、千分尺测量

7.2 外观表面与尺寸偏差

7.2.1 外观表面

- 7.2.1.1 斜拉索索体外观表面采用目测检查,如有破损或缺陷时采用游标卡尺进行测量。
- 7.2.1.2 索体外表面的螺旋线或压花采用游标卡尺进行测量。
- 7.2.1.3 锚具外观用目测检查,螺纹连接副采用旋合试验进行检查。

7.2.2 尺寸偏差

- 7.2.2.1 在斜拉索索体灌锚之前取索体两端六边或者近似六边形角上最小厚度处测量护套厚度。
- 7.2.2.2 斜拉索直径测量在索体六边或者近似六边形角上沿着圆周方向每间隔 60°用游标卡尺进行测量,取平均值。
- 7.2.2.3 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。
- 7.2.2.4 经超张拉检验后,卸载至 20% 的超张拉力时测量斜拉索长度。拉索基准温度下的无应力长度按公式(1)计算:

$$L_{CO} = \frac{L_{CP}}{1 + \frac{P_{20}}{EA} + \alpha(t - t_0)} \dots\dots\dots (1)$$

7.3 力学性能

7.3.1 超张拉

- 7.3.1.1 试验前,千斤顶油泵、油压表及测力仪器等均应进行标定,预张拉时应配套使用。
- 7.3.1.2 张拉力取 1.1 倍~1.4 倍设计索力。设计索力小于或等于 3 000 kN 时取 1.4 倍;设计索力大于 3 000 kN 且小于 6 000 kN 时,取 1.3 倍;设计索力大于或等于 6 000 kN 时,取 1.2 倍;设计索力大于或等于 10 000 kN 时,取 1.1 倍,张拉力允许调整到最接近 50 kN 的整数倍上,并分为 5 级加载,加载速度不大于 100 MPa/min。

7.3.2 弹性模量

- 7.3.2.1 每批斜拉索中,每种规格型号的斜拉索应测定至少 1 根弹性模量,弹性模量测量应在预张拉后进行。
- 7.3.2.2 由 0.2P_b开始加载,每级加载 0.1P_b,持荷 5 min,直至 0.5P_b,加载速度不大于 100 MPa/min,弹性模量(E)按公式(2)计算:

$$E=\frac{P_2-P_1}{\Delta L_p}\cdot\frac{L_{CP}}{A}.....(2)$$

7.3.3 静载性能

7.3.3.1 试验拉索索体自由长度(不包括锚具内钢丝长度)应不小于 3.5 m。

7.3.3.2 试验方法如下：

- a) 由 0.1 P_b 开始加载,每级 0.1 P_b ,持荷 5 min,加载速度不大于 100 MPa/min;
- b) 加载到 0.6 P_b ,持荷 10 min后,卸载至 0.1 P_b 后量测分丝板的回缩值;
- c) 然后由 0.1 P_b 开始加载,每级 0.1 P_b ,持荷 5 min后量测每级索长变化;
- d) 加载至 0.8 P_b ,持荷 30 min后继续加载,每级 0.05 P_b ,持荷 5 min后量测每级的索长变化,直到 0.95 P_b ;
- e) 卸载后量测锚板回缩值,并记录试验中的异常情况。

7.3.4 疲劳性能

7.3.4.1 轴向疲劳试验拉索索体自由长度(不包括锚具内钢丝长度)应不小于 3.5 m。试验方法如下：

- a) 将试件安装在试验设备上,并进行锚固;
- b) 将试件预张拉到 0.45 f_{pk} ;
- c) 在 0.45 f_{pk} 上限应力下,进行 200 万次循环脉动加载,频率不超过 8 Hz;
- d) 疲劳试验应力幅值应根据拉索抗拉强度等级确定,见表 16;

表 16 斜拉索抗拉强度等级与疲劳试验应力幅值对照表

标准抗拉强度(f_{pk}) MPa	钢丝疲劳试验应力幅值 MPa	斜拉索疲劳试验应力幅值 MPa
1 860	410	250
2 000	410	250
2 100	460	280

- e) 试验过程中观测试件状况,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 0.95 P_b 轴向拉伸试验,试验过程中逐步缓慢地增加荷载,加载速度不大于 100 MPa/min。

7.3.4.2 拉弯疲劳试验基本要求和试验方法应按附录 C 的要求进行。

7.4 水密性能

7.4.1 静态水密性

疲劳试验后的斜拉索(未进行 0.95 P_b 拉伸试验拉索)进行静态水密性试验,试验方法应按附录 D 的要求进行。

7.4.2 动态水密性

试验方法应按附录 E 的要求进行。

7.5 抗火性能

抗火性能按照 XF/T 714 的试验方法进行。

附 录 A

(规范性)

斜拉索索体主要技术参数

斜拉索索体的主要技术参数应符合表 A.1 的规定。

表 A.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(f_{pk}) MPa		
	外径 mm	护套层厚 mm		单位质 量 kg/m	直径 mm	面积 m ²	单位质 量 kg/m	1 860	2 000	2 100
		内层	外层					破断索力(P_b) kN		
PES()-7-109-□	99	5	4	35.3	81.1	4 195	32.9	7 802	8 390	8 809
PES()-7-121-□	103	5	4	39.2	84.9	4 657	36.6	8 661	9 313	9 779
*PES()-7-127-□	109	5	4	41.1	91.0	4 888	38.4	9 091	9 775	10 264
PES()-7-139-□	111	5	4	44.9	92.2	5 349	42.0	9 950	10 699	11 234
PES()-7-151-□	113	6	4	48.5	94.4	5 811	45.6	10 809	11 622	12 203
*PES()-7-163-□	118	6	4	52.3	98.8	6 273	49.2	11 668	12 546	13 173
PES()-7-187-□	125	6	4	60.0	105.0	7 197	56.5	13 386	14 393	15 113
PES()-7—199-□	130	7	4	64.0	108.0	7 658	60.1	14 245	15 317	16 083
*PES()-7-211-□	135	7	4	67.9	112.7	8 120	63.7	15 104	16 240	17 052
PES()-7-223-□	138	7	4	71.6	116.3	8 582	67.4	15 963	17 164	18 022
PES()-7-241-□	143	8	4	77.5	119.0	9 275	72.8	17 251	18 550	19 477
PES()-7-253-□	146	8	4	81.3	121.6	9 737	76.4	18 110	19 473	20 447
*PES()-7-265-□	151	8	4	85.2	126.6	10 198	80.1	18 969	20 397	21 417
PES()-7-283-□	153	8	4	90.6	129.0	10 891	85.5	20 257	21 782	22 871
PES()-7-301-□	156	8	4	96.2	131.5	11 584	90.9	21 546	23 168	24 326
*PES()-7-313-□	161	8	5	105.0	135.3	12 046	94.6	22 405	24 091	25 296
PES()-7-337-□	167	8	5	107.9	140.5	12 969	101.8	24 123	25 939	27 235
PES()-7-349-□	168	8	5	111.5	142.0	13 431	105.4	24 982	26 862	28 205
PES()-7-367-□	175	9	5	117.7	147.1	14 124	110.9	26 270	28 248	29 660
*PES()-7-379-□	177	9	5	121.4	149.1	14 586	114.5	27 129	29 171	30 630
PES()-7-409-□	183	9	5	130.9	154.5	15 740	123.6	29 277	31 480	33 054
PES()-7-421-□	187	10	6	135.4	155.2	16 202	127.2	30 136	32 404	34 024
PES()-7-439-□	193	10	6	141.1	161.0	16 895	132.6	31 424	33 789	35 479

表 A.1 斜拉索索体主要技术参数表（续）

规格	索体				裸索			钢丝标准抗拉强度(f_{pk}) MPa		
	外径 mm	护套层厚 mm		单位质 量 kg/m	直径 mm	面积 mm ²	单位质 量 kg/m	1 860	2 000	2 100
		内层	外层					破断索力(P_b) kN		
PES()-7-451-□	197	10	6	144.8	165.0	17 357	136.2	32 283	34 713	36 449
PES()-7-475-□	198	10	6	152.3	166.0	18 280	143.5	34 001	36 560	38 388
PES()-7-499-□	201	10	6	159.8	168.5	19 204	150.7	35 719	38 408	40 328
PES()-7-511-□	206	10	7	164.1	172.1	19 665	154.4	36 578	39 331	41 298
PES()-7-547-□	211	10	7	175.2	177.3	21 051	165.3	39 155	42 102	44 207
PES()-7-583-□	216	10	7	186.2	182.4	22 436	176.1	41 732	44 873	47 117
PES()-7-595-□	220	10	7	190.3	185.8	22 898	179.8	42 591	45 797	48 086
PES()-7-649-□	226	10	7	206.8	192.2	24 976	196.1	46 456	49 953	52 451
注1:括号中表示钢丝标准抗拉强度。 注2:方框中表示钢丝类别。 注3:带*为不推荐使用规格型号。 注4:抗火拉索的索体外径在现有索体外径基础上,需增加 20 mm~25 mm。										

地方标准信息服务平台

附 录 B
(规范性)
锚具主要参数

锚具的主要参数应符合表 B.1 的规定。

表 B.1 锚具主要参数

规格型号	锚杯外径 (<i>B</i>) mm	锚杯长度 (<i>L_s</i>) mm	锚圈外径 (<i>C</i>) mm	锚圈高度 (<i>H</i>) mm	锚具质量 (<i>M</i>) kg	预埋管尺寸 (<i>D</i>) 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	$\phi 402 \times 10$
LM()-7-337	375	695	485	220	513	$\phi 402 \times 9$
LM()-7-349	400	805	535	240	679	$\phi 450 \times 15$
LM()-7-367	405	810	545	240	705	$\phi 450 \times 12$
*LM()-7-379	415	820	555	240	727	$\phi 450 \times 10$
LM()-7-409	430	850	575	265	813	$\phi 465 \times 10$
LM()-7-421	435	870	580	265	882	$\phi 480 \times 15$
LM()-7-439	440	890	590	265	910	$\phi 480 \times 10$
LM()-7-451	445	890	600	265	945	$\phi 480 \times 10$
LM()-7-475	460	915	620	285	1 000	$\phi 500 \times 12$
LM()-7-499	470	930	640	285	1 124	$\phi 508 \times 12$

表 B.1 锚具主要参数（续）

规格型号	锚杯外径 (<i>B</i>) mm	锚杯长度 (<i>L_s</i>) mm	锚圈外径 (<i>C</i>) mm	锚圈高度 (<i>H</i>) mm	锚具质量 (<i>M</i>) kg	预埋管尺寸 (<i>D</i>) mm
LM()-7-511	475	935	645	285	1 156	φ508×10
LM()-7-547	485	980	650	285	1 230	φ530×15
LM()-7-583	505	1005	680	330	1 327	φ560×20
LM()-7-595	510	1010	685	330	1 436	φ560×15
LM()-7-649	530	1040	710	330	1 583	φ560×10
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*为不推荐使用规格型号。						

地方标准信息服务平台

附 录 C
(规范性)
拉弯疲劳试验

C.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%。试验取三根试件为一组,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 3.5 m。

C.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 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 2.0×10^6 次的循环脉动加载,见图 C.1;

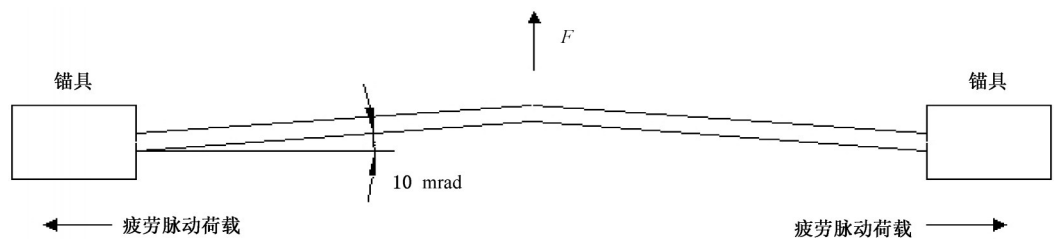


图 C.1 拉弯疲劳试验示意(一)

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

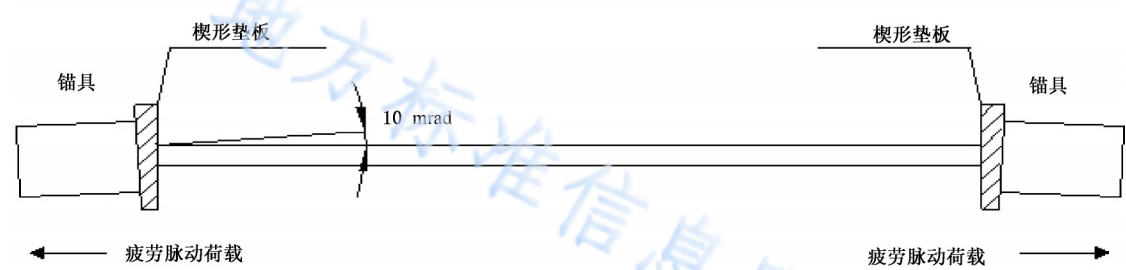


图 C.2 拉弯疲劳试验示意(二)

附录 D
(规范性)
静载水密性试验

D.1 试验装置

静态水密性试验装置见图 D.1。

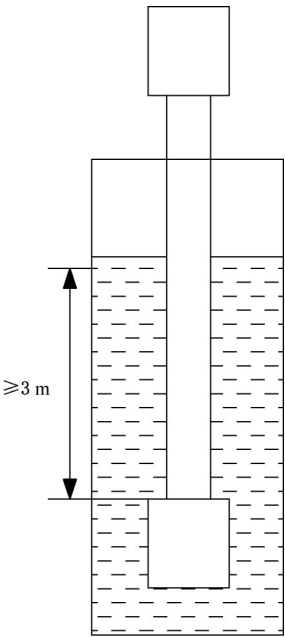


图 D.1 斜拉索静态水密性试验示意图

D.2 试验方法

从经轴向疲劳试验后的斜拉索中取最小规格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 3 m,静止放置 96 h 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。

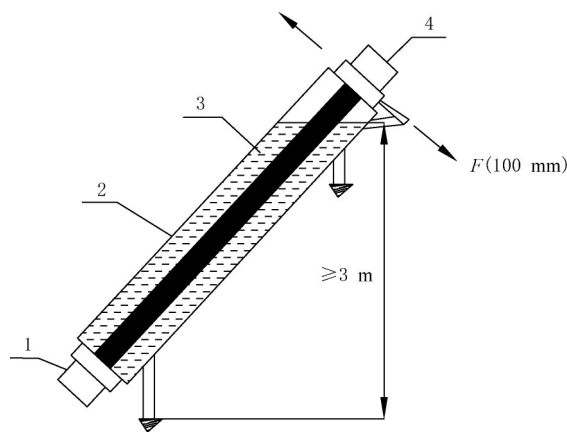
附录 E
(规范性)
动态水密性试验

E.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 3 m。

E.2 试验装置

试验装置见图 E.1。



标引序号说明:

- 1——锚具;
2——支架;

- 3——水(20℃~70℃);
4——轴向千斤顶(0.2 P_b ~0.5 P_b)。

图 E.1 斜拉索动态水密性试验装置示意图

E.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、在护套与密封填料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 E.2:

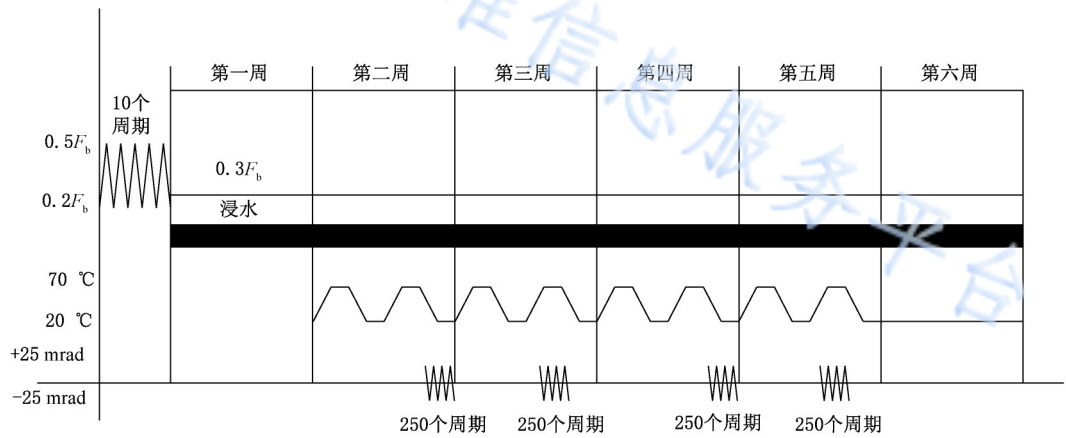


图 E.2 斜拉索动态水密性试验过程示意

- 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 3 m,在环境温度状态下保持一周;
- c) 然后水温从 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行热循环变化,每周两次,连续进行八次循环,一个热循环过程为:在 24 h 内由 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 逐步上升至 $70\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ 保持 $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度 24 h $\rightarrow$ 在 12 h 内由 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 逐步下降至 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow$ 保持 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度 24 h;
- 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 200 mm,共 4 次;
- e) 在环境温度下静置一周;
- 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。

地方标准信息服务平台

附录 F
(规范性)
索体断面排列图

图 F.1~图 F.31 规定了不同规格的索体断面排列。

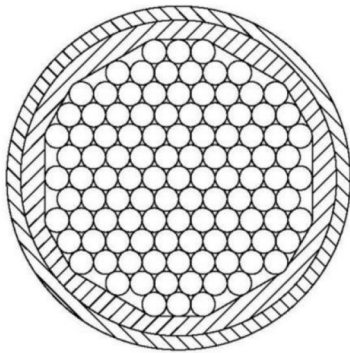


图 F.1 109 丝断面排列图

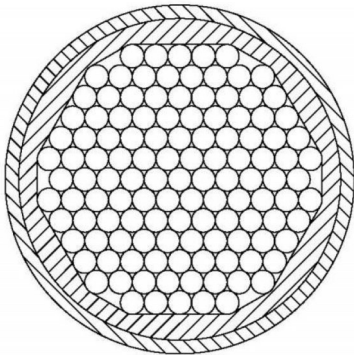


图 F.2 121 丝断面排列图

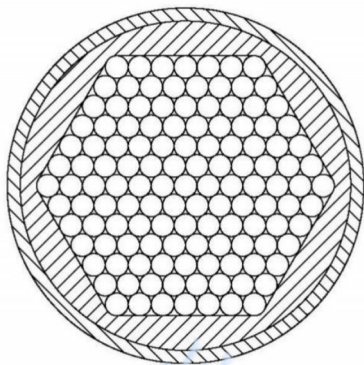


图 F.3 127 丝断面排列图

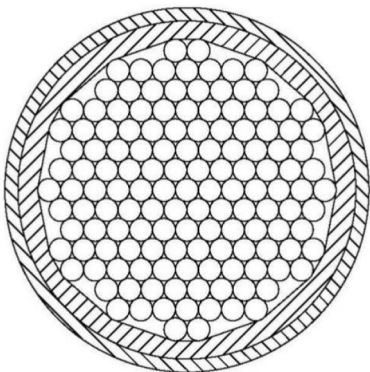


图 F.4 139 丝断面排列图

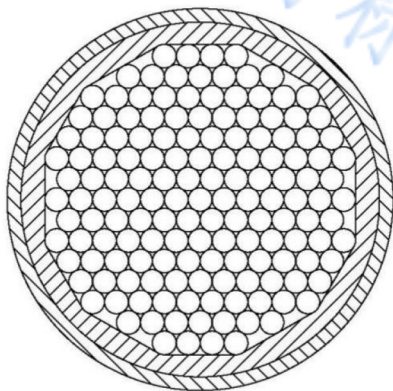


图 F.5 151 丝断面排列图

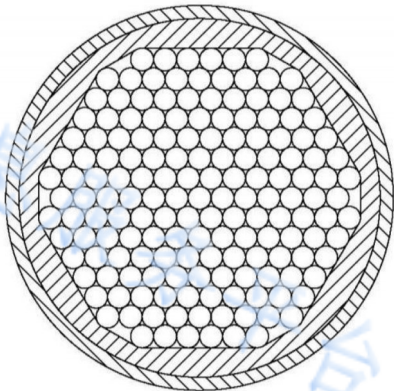


图 F.6 163 丝断面排列图

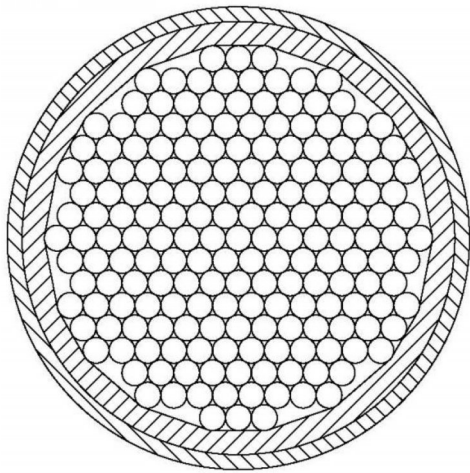


图 F.7 187 丝断面排列图

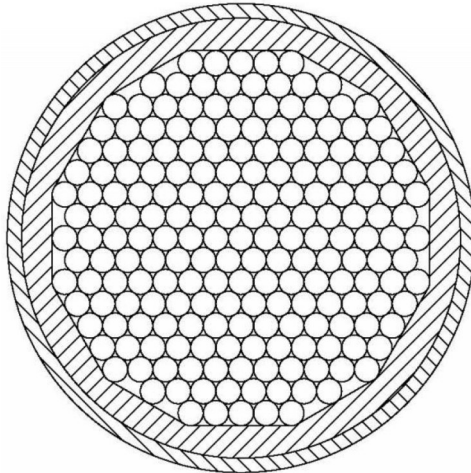


图 F.8 199 丝断面排列图

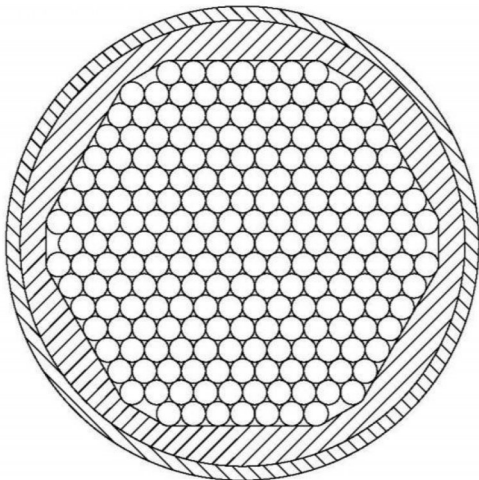


图 F.9 211 丝断面排列图

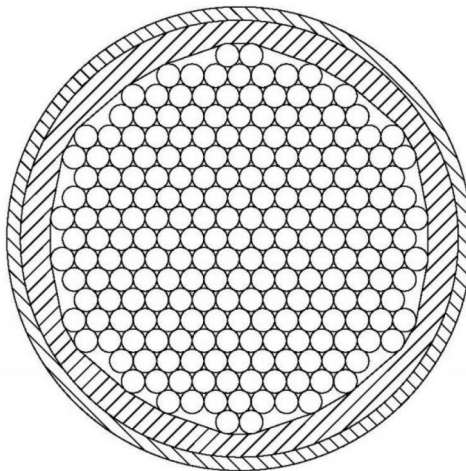


图 F.10 223 丝断面排列图

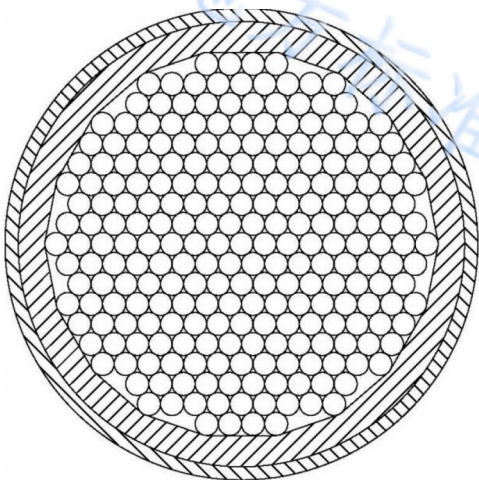


图 F.11 241 丝断面排列图

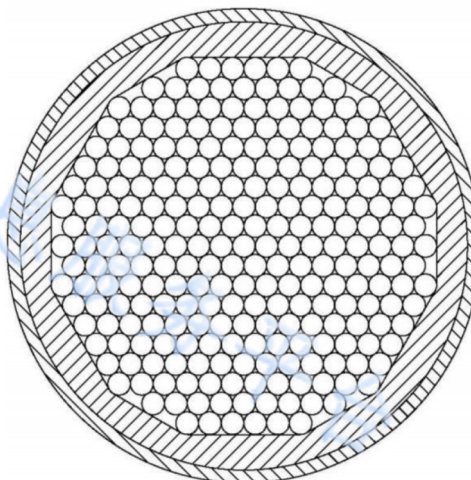


图 F.12 253 丝断面排列图

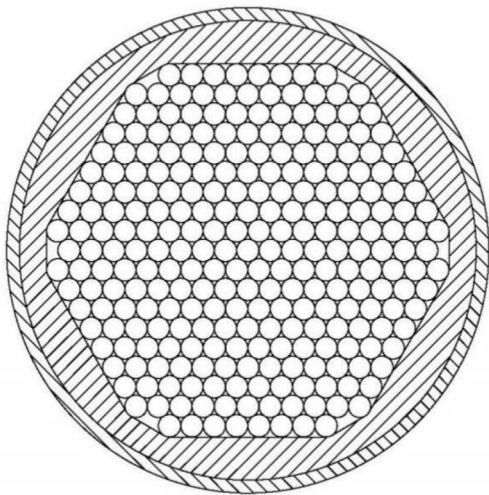


图 F.13 265 丝断面排列图

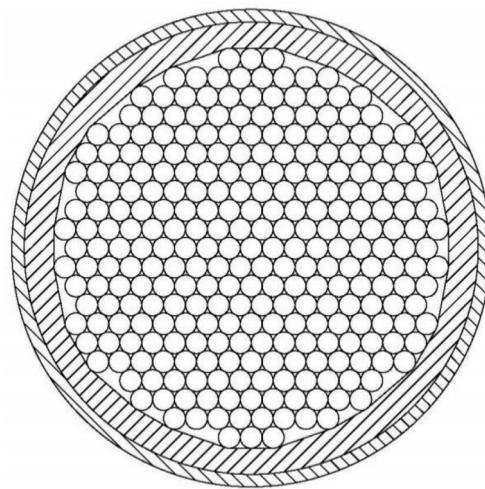


图 F.14 283 丝断面排列图

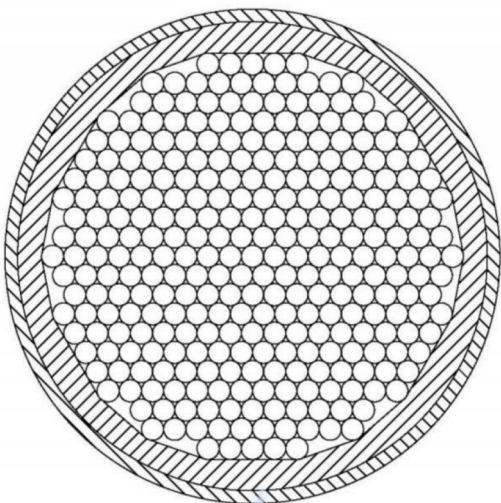


图 F.15 301 丝断面排列图

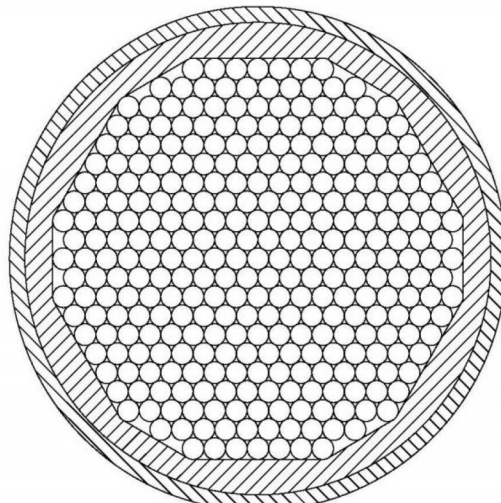


图 F.16 313 丝断面排列图

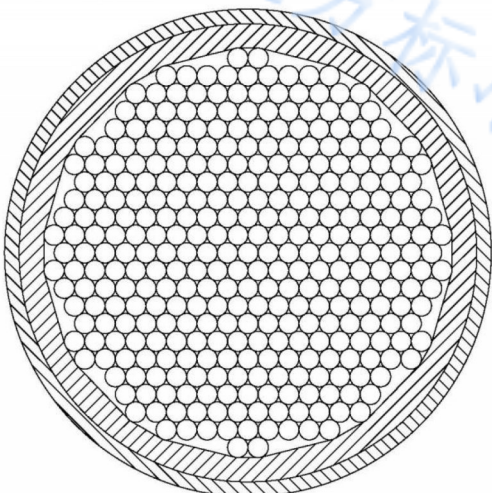


图 F.17 337 丝断面排列图

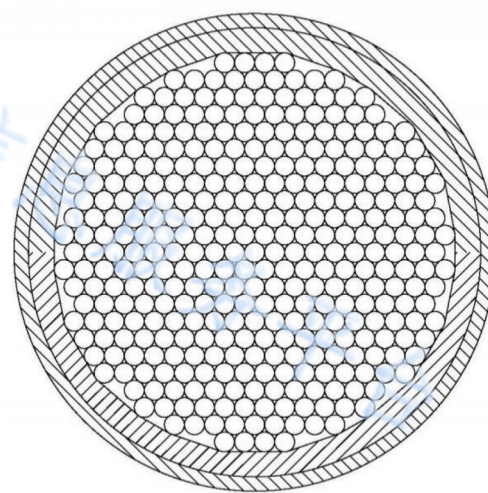


图 F.18 349 丝断面排列图

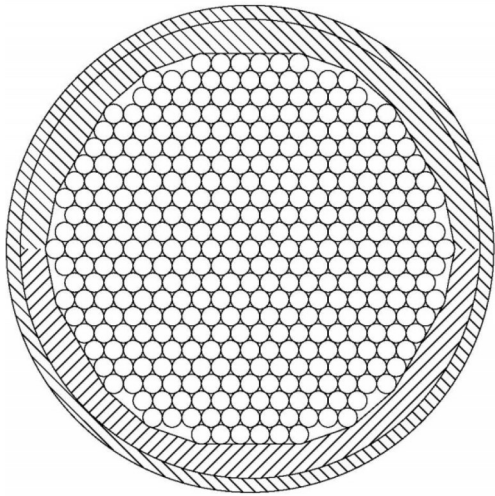


图 F.19 367 丝断面排列图

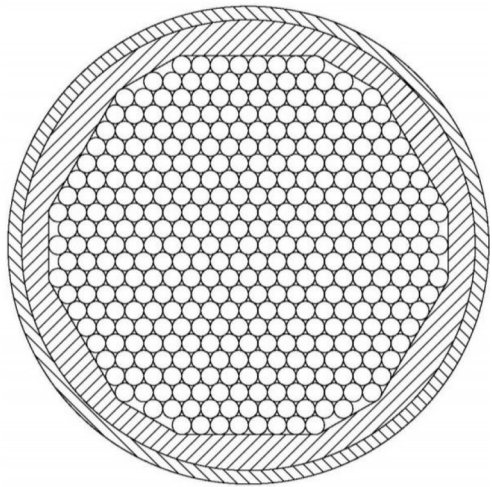


图 F.20 379 丝断面排列图

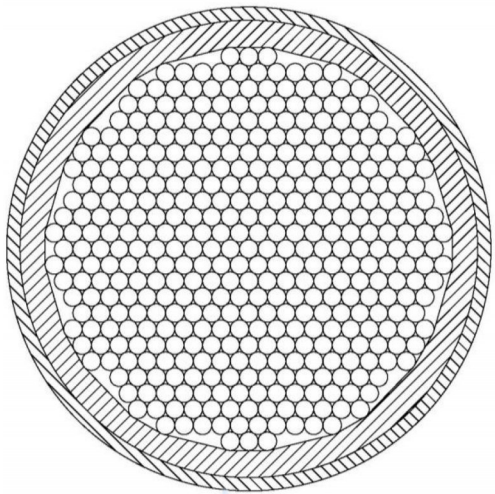


图 F.21 409 丝断面排列图

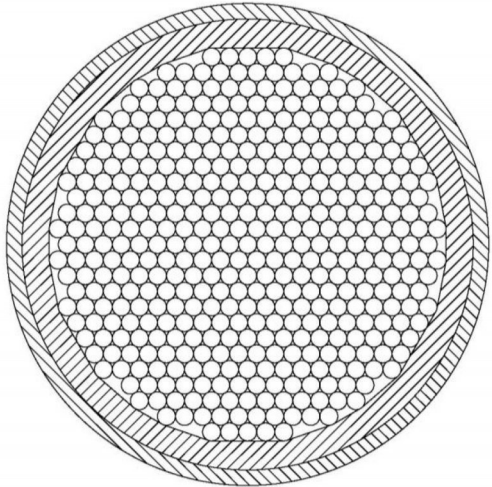


图 F.22 421 丝断面排列图

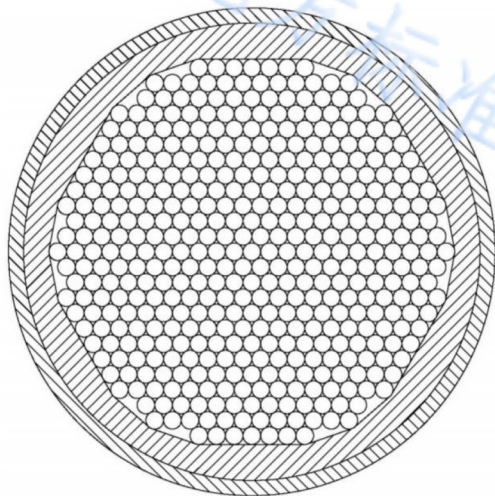


图 F.23 439 丝断面排列图

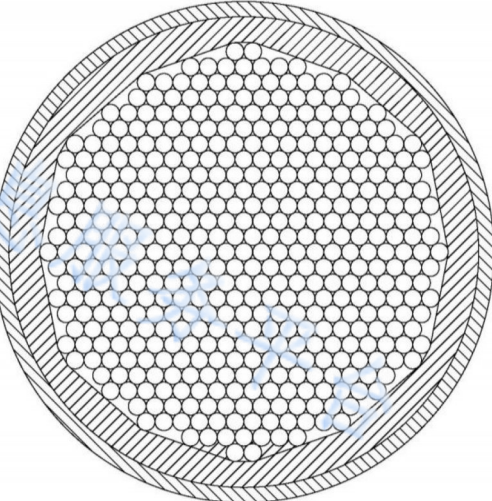


图 F.24 451 丝断面排列图

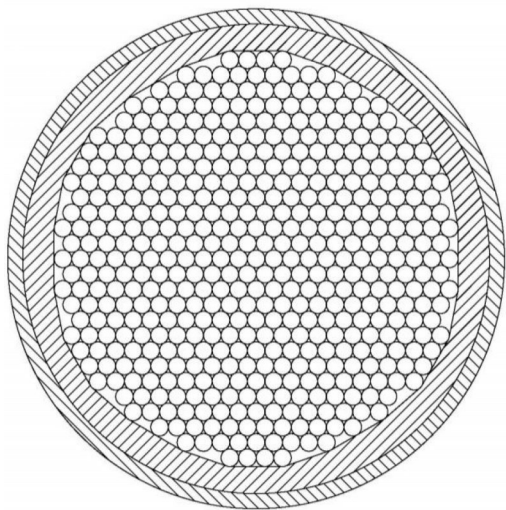


图 F.25 475 丝断面排列图

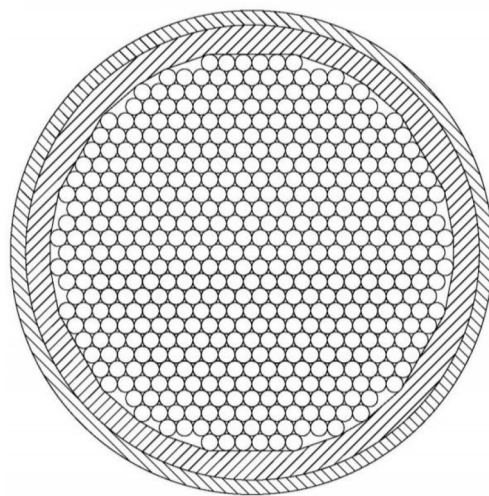


图 F.26 499 丝断面排列图

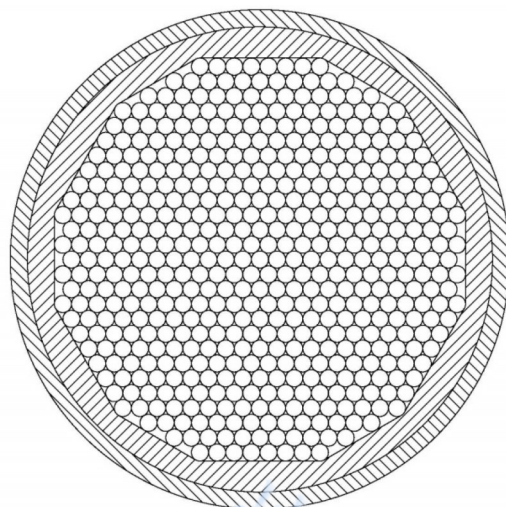


图 F.27 511 丝断面排列图

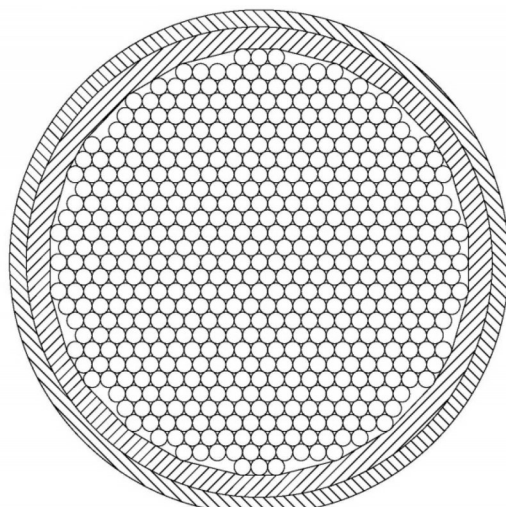


图 F.28 547 丝断面排列图

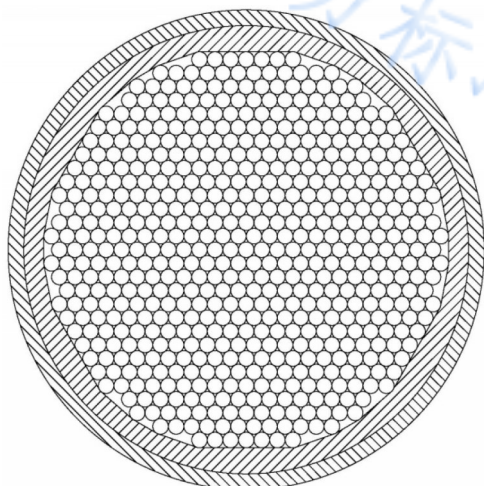


图 F.29 583 丝断面排列图

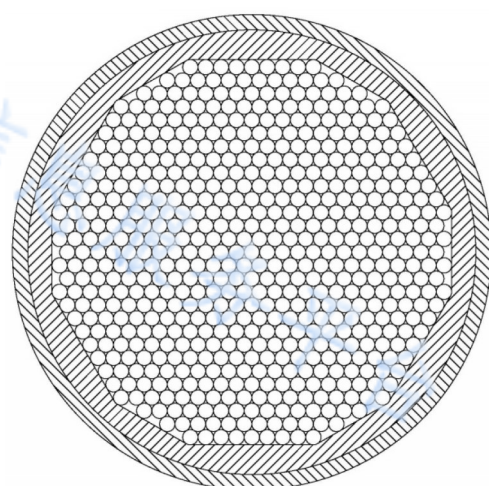


图 F.30 595 丝断面排列图

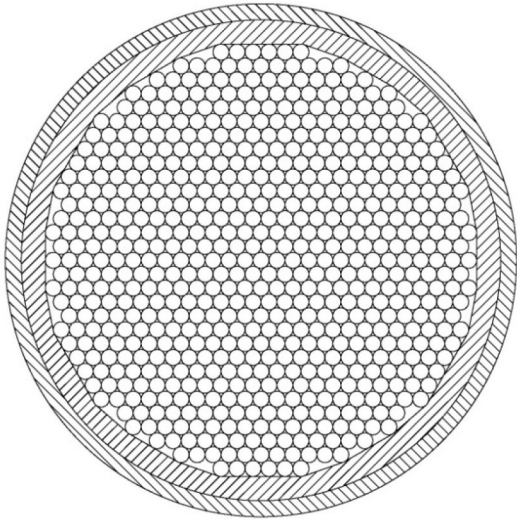


图 F.31 649 丝断面排列图

地方标准信息服务平台

附 录 G
(规范性)

防火拉索结构及相关要求

对于有防火要求的斜拉索,在斜拉索扭绞完成后,通过专用缠带机在指定位置处缠绕两层防火带,按照不小于50%进行搭接,然后再缠绕一层高强度聚酯纤维带,按照20%~50%进行搭接,最后进行挤塑,其结构见图G.1。

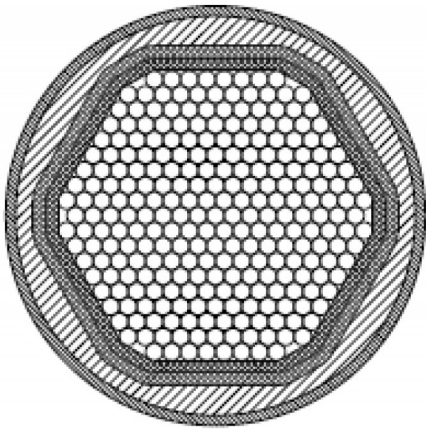


图 G.1 防火拉索结构图

地方标准信息服务平台