

指导性文件

**GUIDANCE NOTES**

**GD07-2023**



中国船级社

# 海上定位系泊系统用纤维缆 检验指南

2023

2023年3月1日生效

北京

# 目 录

<b>第 1 章 总 则</b> .....	<b>1</b>
第 1 节 一般规定.....	1
第 2 节 定义与缩写.....	1
第 3 节 接受标准.....	2
<b>第 2 章 产品检验</b> .....	<b>4</b>
第 1 节 一般规定.....	4
第 2 节 图纸资料.....	4
第 3 节 型式试验.....	4
第 4 节 单件/单批检验.....	5
第 5 节 标记和合格证书.....	6
第 6 节 产品发证.....	7
<b>第 3 章 材料和设计</b> .....	<b>8</b>
第 1 节 一般规定.....	8
第 2 节 纤维缆材料.....	8
第 3 节 强度设计.....	9
第 4 节 刚度模型.....	9
第 5 节 疲劳设计.....	12
第 6 节 蠕变设计.....	13
第 7 节 扭矩协调性设计.....	16
第 8 节 其他环境条件的影响.....	16
第 9 节 移动式系泊系统的考虑.....	17
<b>第 4 章 试 验</b> .....	<b>18</b>
第 1 节 一般规定.....	18
第 2 节 纱线试验.....	18
第 3 节 破断载荷试验.....	19
第 4 节 伸长率与刚度试验.....	20
第 5 节 抗海水泥沙颗粒入侵试验.....	21
第 6 节 子绳眼环插接完整性试验.....	22
第 7 节 整绳循环耐久性试验.....	23
第 8 节 3-T 耐力试验.....	24
第 9 节 与钢丝绳的扭矩匹配试验.....	25
第 10 节 轴向压缩疲劳试验.....	25
第 11 节 蠕变速率验证试验.....	25
<b>第 5 章 海上安装检验</b> .....	<b>27</b>
第 1 节 一般规定.....	27
第 2 节 储存与运输.....	27
第 3 节 海上安装检验.....	28
<b>第 6 章 在役检验</b> .....	<b>31</b>
第 1 节 在役检验.....	31
第 2 节 在位检查和维保.....	32

# 第 1 章 总 则

## 第 1 节 一般规定

### 1.1.1 一般要求

1.1.1.1 本指南为海上定位系泊系统中的纤维缆检验提供依据。

1.1.1.2 对于含有纤维缆的定位系泊系统,纤维缆部分应符合本指南、中国船级社(CCS)规范及接受标准的规定,纤维缆以外的部分应符合 CCS 相关规范。

1.1.1.3 对于主管机关的有关要求,也应予以满足。

### 1.1.2 适用范围

1.1.2.1 本指南适用于海上浮动设施和海上移动平台定位系泊系统中的纤维缆,且仅限于在两端自由延伸的纤维缆。

1.1.2.2 本指南适用的纤维缆类型包括聚对苯二甲酸乙二醇酯(聚酯, PET)、聚芳酰胺(芳纶, Aramid)和高分子量聚乙烯(HMPE)。对于其他类型的纤维缆,可参考本指南中适用要求。

### 1.1.3 等效与免除

1.1.3.1 与本指南要求(包括接受标准的要求)不一致的设计规定,可予以接受以替代本指南的相应要求,其条件是以书面文件证明或表明其至少与本指南要求具有同等的安全水平,并经合同各方及 CCS 同意。

1.1.3.2 对于具有新颖结构和新颖特性的纤维缆,如应用本指南的任何规定可能严重妨碍对其特性的应用或结构的使用时,经 CCS 同意,可免除该规定。

### 1.1.4 风险评估的应用

1.1.4.1 如果业主、作业者、设计者或其它机构欲通过风险评估对纤维缆进行设计、制造或操作,经 CCS 对其风险评估文件进行审核认为满意之后,则风险评估中采用的风险控制方案及措施可代替本指南的全部或部分规定。

## 第 2 节 定义与缩写

### 1.2.1 定义

1.2.1.1 除另有规定外,本指南有关定义如下:

(1) 海上浮动设施:系指采用缆绳、锚链或者张力筋腱或压载等非刚性固定方式长期系固在某一地点并漂浮(包括坐底工况)于海面的建筑或装置;通常用于海上油、气处理、储存及装卸,渔业养殖,发电或变电,休闲旅游,或其他作业用途;

(2) 海上移动平台:系指可根据需要从一个作业地点转移到另一个作业地点的海上平台;

(3) 永久性系泊系统:系指在同一作业地点连续系泊作业年限超过 5 年的系泊系统;

(4) 移动式系泊系统:系指在同一作业地点连续系泊作业年限小于 5 年的系泊系统;

(5) 纱线:系指由一束未加捻或加捻纤维的总称;

(6) 纱线干态断裂强力:指在纱线干态断裂试验时测得的平均断裂载荷;

(7) 护套:系指包裹在缆绳或子绳外面的一种编织或者塑料层,用于保护缆绳并将缆绳结构固定;

(8) 端头:系指纤维缆连接到装配接口的方式(如拼接、密封型插口和楔形插口等);

(9) 聚酯缆:系指由聚酯纤维制成的缆绳,被广泛的应用于海上系泊系统;

(10) HMPE 缆：系指由高分子量聚乙烯纤维制成的缆绳，比聚酯缆具有更高的强度和刚度；

(11) 芳纶缆：系指由芳香族聚酰胺纤维制成的缆绳；

(12) 最小破断载荷：系指纤维缆公认标准中规定的破断试验时必须达到的指标；

(13) 线密度：系指纤维缆在预加载荷下，其单位长度的质量；

(14) 刚度：系指缆绳张力变化与应变变化之比；

(15) 静态刚度：系指在缓慢变化的拉力下，缆绳的张力变化与应变变化之比；

(16) 动态刚度：系指在周期载荷作用下，缆绳的张力变化与应变变化之比；

(17) 静动态刚度模型：系指一种刚度模型，其中平均载荷和循环载荷下的伸长率由载荷与伸长率中的不同斜率表示。

(18) 轴向压缩疲劳：系指芳纶或相似类型的纤维缆在低张力或受压下的一种失效模式；

(19) 蠕变：系指在持续的张力或循环负荷下，长度的永久增加；

(20) 蠕变失效：系指由于纤维缆在载荷作用下随时间的累积、不可恢复的伸长而导致的纤维缆失效；

(21) 扭矩匹配法：系指一种与钢丝绳等扭矩组件扭转特性相匹配的纤维缆设计方法；

(22) 子绳（绳股）：组成成品绳的最大组件。

## 1.2.2 缩写

1.2.2.1 除另有规定外，本指南采用的缩写如下：

ROV —— 水下机器人；

ISO —— 国际标准化组织。

## 1.2.3 符号

1.2.3.1 除另有规定外，本指南采用的符号定义如下：

$EA$  —— 刚度；

$\Delta T$  —— 载荷变化值；

$\Delta \varepsilon$  —— 应变变化值；

$K_r$  —— 等效无量纲刚度；

$C$  —— 蠕变系数；

$K_{rs}$  —— 静态刚度；

$K_{rd}$  —— 动态刚度；

$N$  —— 循环次数；

$R$  —— 张力范围与最小破断载荷比值。

## 第3节 接受标准

### 1.3.1 一般要求

1.3.1.1 除满足本指南要求外，对于纤维缆的设计、制造、安装、检验和试验，CCS 接受公认标准的适用部分。

1.3.1.2 如采用其它标准替代本指南所列标准时，则应证明该替代标准与接受的标准具有同等的安全水准，并经 CCS 评估和同意后方可使用。

1.3.1.3 任何与设计标准之间的不一致，以及对设计标准要求的免除及更改均应在设计文件中明文说明，并经 CCS 同意。

1.3.1.4 应采用设计合同生效之日时最新版本的标准，否则应在合同中予以明确规定。

### 1.3.2 接受的标准

1.3.2.1 CCS 接受的纤维缆主要相关标准如下：

(1) ISO18692 Fibre Ropes for Offshore Satationkeeping Polyester；

(2) ISO1141 Fibre Ropes—Polyester—3-,4-,8- and 12-Strand Ropes；

- (3) ISO10325 Fibre Ropes—High Modulus Polyethylene—8-Strand Bradided ropes, 12-Strand Braided Ropes and Covered Ropes;
- (4) API RP 2SK Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures;
- (5) API RP 2SM Recommended Practice for Design, Manufacture, Installation, and Maintenance of Synthetic Fiber Ropes for Offshore Mooring;
- (6) API RP 2I In-service Inspection of Mooring Hardware for Floating Structure.

## 第2章 产品检验

### 第1节 一般规定

#### 2.1.1 一般要求

2.1.1.1 本节给出了对海上定位系泊系统用纤维缆进行产品检验的相关要求，包括产品设计图纸资料的审查、单件/单批检验和证书签发。

2.1.1.2 申请方可根据 CCS《钢质海船入级规范》第1篇第3章的要求，对海上定位系泊系统用纤维缆申请工厂认可以及认可后的单件/单批检验。

2.1.1.3 若委托方申请海上定位系泊系统用纤维缆鉴证检验可参照本指南执行。

### 第2节 图纸资料

#### 2.2.1 图纸资料

2.2.1.1 除 CCS《海上移动平台入级规范》和《海上浮动设施入级规范》中列出的适用文件外，申请方向本社申请工厂认可时，下列资料应提交本社批准：

- (1) 验收技术条件或企业标准；
- (2) 型式试验大纲。

2.2.1.2 申请方向本社申请产品工厂认可时，下列图纸资料应提交本社备查：

- (1) 纤维缆采用的标准；
- (2) 原材料合格供应商清单；
- (3) 原材料验收技术要求、原材料质量证明文件、原材料复检报告（或记录）；
- (4) 质量管理文件、质量控制文件；
- (5) 生产厂概况、缆绳生产历史和相关说明；
- (6) 纤维缆生产、检测主要设备清单；
- (7) 检验人员状况；
- (8) 纤维缆（含端头）生产工艺流程图和生产工艺文件，包括但不限于以下项目：
  - ① 纱线组合工艺；
  - ② 纤维缆组合工艺；
  - ③ 股线装配工艺；
  - ④ 纤维缆护套加工工艺；
  - ⑤ 端头处理工艺；
- (9) 认可和出厂检验试验用报告格式；
- (10) 企业注册登记证明；
- (11) 纤维缆产品质量证明书样本。

2.2.2.2 已审查的资料，如有原则性的修改或补充，申请人应将修改或补充部分重新提交审查。

### 第3节 型式试验

#### 2.3.1 原材料检验

2.3.1.1 每批用于制造纤维缆的材料应进行下列项目检验，试验方法及抽样要求见下表，检验的结果应符合纤维缆生产厂所标明的相关技术要求：

纱线检验项目表

表 2.3.1.1

检验项目	标准	抽样方法及数量
纱线干态断裂强力及伸长率	ASTM D885	每5000kg纤维缆材料至少抽取1个样品。
纱线-纱线耐磨试验	ISO18692	每20000kg纤维缆材料抽取1个样品，每个纤维缆订单至少进行一次抽取试验。
线密度	ISO18692	每5000kg纤维缆材料中抽取1个样品。
整理剂含量	ASTM D2257	每20000kg纤维缆材料抽取1个样品，每个纤维缆订单至少进行一次抽样试验。

### 2.3.2 纤维缆检验

2.3.2.1 样品应从同批号原材料、同一结构、同一尺寸，按相同工艺制造的纤维缆中抽取。一般从每根缆绳的端头截取一段作为试验样品。

2.3.2.2 纤维缆检验项目包括以下内容：

(1) 外观检查：目测缆绳编绞是否均匀，有无断股、松捻，外表有无磨损、擦伤、切割和其它形式的损坏；目测缆绳表面有无沾染油污和颜色异变现象；

(2) 物理性能试验：

- ① 破断载荷试验；
- ② 伸长率与刚度试验；
- ③ 直径测量；
- ④ 线密度测算；

(3) 抗海水泥沙颗粒入侵试验（如适用）；

(4) 子绳眼环插接完整性试验；

(5) 整绳循环耐久性试验；

(6) 3-T 耐力试验；

(7) 与钢丝绳的扭矩匹配试验（如适用）；

(8) 轴向压缩疲劳试验（如适用）；

(9) 蠕变速率验证试验（如适用）。

## 第4节 单件/单批检验

### 2.4.1 取样

2.4.1.1 单件/单批检验取样按 2.3.2.1 执行。

### 2.4.2 单件/单批检验

2.4.2.1 试验项目按照本章 2.3.1.1 和 2.3.2.2 要求执行，试验方法按照本指南第四章要求执行。

2.4.2.2 认可后的单件/单批检验，如纤维缆直径小于认可时样品直径，可接受部分试验的免除，具体要求见表 2.4.2.2。

试验免除要求

表 2.4.2.2

测试类型	是否免除
纱线试验	不免除
破断载荷试验	不免除
伸长率与刚度试验	只有动态刚度可免除
抗海水泥沙颗粒入侵试验	可免除
子绳眼环插接完整性试验	可免除
整绳循环耐久性试验	可免除
3-T 耐力试验	可免除
与钢丝绳的扭矩匹配试验	不免除
轴向压缩疲劳试验	可免除
蠕变速率验证试验	不免除

2.4.2.3 表 2.4.2.2 试验需要满足以下条件才能接受免除:

- (1) 批量批准的有效期不超过 4 年;
- (2) 一个试样: 在试样 $\pm 20\%$ 最小破断载荷范围内纤维绳;
- (3) 两个试样: 在小试样 80%最小破断载荷和大试样 120%最小破断载荷之间的纤维绳, 此方法不适用于动态刚度试验;
- (4) 批量批准仅适用下述设计参数相同的缆绳:
  - ① 子绳结构;
  - ② 纱线类型;
  - ③ 眼环结构的层数;
  - ④ 端头的 D/d 比;
  - ⑤ 五金件支承面形状;
  - ⑥ 捻接长度(绞合线匝数和锥形匝数);
  - ⑦ 防磨损材料及其在眼环部位的应用;
  - ⑧ 土壤颗粒过滤材料 and 设计(仅适用于“抗海水泥沙颗粒入侵试验”)。

## 第 5 节 标记和合格证书

### 2.5.1 标记

2.5.1.1 每卷成品纤维绳均应在绳体的明显易见处(例如护套)标明产品名称、规格、制造厂名(或商标)的信息。

2.5.1.2 经验收合格的纤维绳应在每根绳的端头处, 以牢固的方式(建议以铅封方式)系上至少含有纤维绳编号、材料、结构和 CCS 标志的标签。

### 2.5.2 原材料证书

2.5.2.1 原材料制造厂应为每批制绳的原材料提供附有如下性能参数的原材料质量保证书:

- (1) 纤维牌号或规格;
- (2) 线密度;
- (3) 纱线干态断裂强力及伸长率;
- (4) 纱线-纱线耐磨性能;
- (5) 加入的整理剂种类及相关说明书(如有时);
- (6) 整理剂的含量及水溶性说明。

### 2.5.3 纤维绳证书

2.5.3.1 制造厂应对合格的纤维绳提供至少具有下列内容的合格证书:

- (1) 产品名称、型号及编号;
- (2) 用于制造纤维绳的材料;
- (3) 纤维绳的线密度;
- (4) 纤维绳的整卷长度和直径;
- (5) 纤维绳的结构型式;
- (6) 纤维绳的设计破断载荷及实测的湿态破断载荷;
- (7) 制造和检验日期;
- (8) 许用温度;
- (9) 产品储存期。

## 第 6 节 产品发证

### 2.6.1 产品发证

2.6.1.1 经工厂认可和产品检验合格后，由 CCS 向申请人签发海上定位系泊系统用纤维缆的产品证书和/或等效证明文件。

## 第3章 材料与设计

### 第1节 一般规定

#### 3.1.1 一般要求

3.1.1.1 海上定位系泊系统用纤维缆设计应遵循 CCS《材料与焊接规范》、《海上移动平台入级规范》和《海上浮动设施入级规范》等规范中的方法。

3.1.1.2 带有纤维缆的系泊系统顶部和底部应设置适当长度的锚链或钢丝绳。上部锚链/钢丝绳的长度应足以保证纤维缆上端在其使用寿命期间保持在不受水面船舶和海上活动机械损伤、紫外线照射和海生物影响的深度。

### 第2节 纤维缆材料

#### 3.2.1 原材料

3.2.1.1 海上定位系泊系统用纤维缆的制缆原材料通常采用聚对苯二甲酸乙二醇酯（聚酯，PET）、聚芳酰胺（芳纶，Aramid）和高分子量聚乙烯（HMPE）等材料，这些原料的性能列于表 3.2.1.1。如采用其他材料，应有足够的证据证明其性能满足要求。

纤维缆原材料参数

表 3.2.1.1

参数	纤维材料类型		
	聚酯	芳纶	HMPE
强度重量比	中	高	高
刚度	中	高	高
拉-拉疲劳损伤	高	高	高
轴向压缩疲劳损伤	高	低*	高
耐磨性	高	中	高
蠕变抗力	高	高	低

注：\*代表这种性能的效果取决于系泊系统的构成和应用环境条件。

3.2.1.2 海上定位系泊系统用纤维缆的原材料应质地良好、材质均匀、耐腐蚀和耐老化。制造方宜对材料性能采用符合本指南第4章的试验进行验证。

3.2.1.3 制绳用整理剂应符合以下要求：

(1) 海上定位系泊系统用纤维缆用整理剂应对纤维缆或成品纤维缆的性能无损伤，且处理后的纤维缆可降低各绳股纱线间的摩擦，延长纤维缆的使用寿命；

(2) 海上定位系泊系统用纤维缆用整理剂应能在纤维缆的规定寿命期内长期有效。纤维缆生产商应提供相关的证明以说明其采用的整理剂的长效性。

3.2.1.4 制绳用护套的材料应符合以下要求：

(1) 用于制造护套的材料应该足够的柔软，以使纤维缆能够在设计载荷下通过滚轮或一定直径的滑轮布放时不致损伤纤维缆本体；

(2) 对于纤维缆短时间或长时间的弯曲（如安装或缠绕在卷盘上的运输）应根据纤维缆及护套的材料和尺寸对最小半径分别予以限制；

(3) 选取的护套的材料应有良好的耐低温性能，以保证其在低温下仍能对纤维缆提供足够的保护。

#### 3.2.2 结构设计

3.2.2.1 常用的纤维缆典型结构型式有：平行纤维缆（平行纱线、绳股或子绳等）和编织绳（8股或12股）等。

3.2.2.2 护套的设计应符合以下要求：

- (1) 护套应能保证纤维缆在运输、安装或操作阶段提供足够的保护；
- (2) 护套的设计形式应对纤维缆提供足够的保护，以防止在使用过程中海水中漂浮颗粒或其他外来坚硬杂质进入绳股间对纤维缆造成伤害；
- (3) 护套可以是编织、挤压、胶带缠绕或其他方式；
- (4) 护套应牢固固定在端接区域，以防止护套从端部脱落而暴露承载芯；
- (5) 在有可能发生海生物咬伤纤维缆的区域，可采用加硬护套的方式；
- (6) 应该在护套或纤维缆可见部分提供清晰可见的标记，以便检测纤维缆的扭转情况；
- (7) 护套的设计应确保允许水能完全充满纤维缆结构，水的作用是传递热量，并在循环加载过程中减轻热量积聚；
- (8) 护套应该有足够的弹性，在缆绳受力的任何时候不致损坏。

#### 3.2.2.3 端头的设计应符合以下要求：

- (1) 纤维缆通常采用的端头型式为捻接式，对于其他形式的端头，应根据具体情况提交详细的设计报告和测试报告以供批准；
- (2) 端头设计应仔细考虑端头重量、弯曲限制和热积累；
- (3) 纤维缆生产厂商所标明的最小破断强度应为包括纤维缆和其上所有端头部分的强度。样品试验所用纤维缆应与实际使用的纤维缆端头类型和结构型式方面一致；
- (4) 对于捻接式，应尽量减少眼环和终端连接硬件之间的摩擦并最大限度地提高耐磨性。捻接式需要以销、衬套或套环形式安装在孔眼中的硬件，以便在纤维缆和系泊系统中的其他组件之间进行连接。

### 3.2.3 防沙层

3.2.3.1 水性颗粒（如沙子）引起的内部磨损是纤维缆强度损失的重要因素。纤维缆不得用于高浊度区域，除非采用合适的护套或防沙层进行保护，以尽量减少颗粒渗透。

3.2.3.2 为达到防止颗粒进入的要求，应根据第4章内容对护套或防沙层进行试验，其试验条件应反映纤维缆暴露于颗粒物时的状况。

## 第3节 强度设计

### 3.3.1 一般要求

3.3.1.1 对纤维缆应用环境条件的选取以及其在完整和破损工况下的安全系数应参考CCS《海上单点系泊装置入级规范》第4篇的相关要求。

3.3.1.2 纤维缆一般由具有粘弹性的材料制成，其刚度特性随着载荷时长、载荷幅度、载荷周期、循环次数以及加载历史而变化，其刚度模型的选取参考本章第4节的内容。

## 第4节 刚度模型

### 3.4.1 一般要求

3.4.1.1 本节主要适用于聚酯缆，同时也可作为HMPE和芳纶等纤维缆的刚度设计和分析提供指导。

### 3.4.2 刚度特性

3.4.2.1 基于工程经验，对纤维缆刚度的分析采用简化模型。常用的两种计算模型为：上下边界刚度模型和静动态刚度模型。

3.4.2.2 HMPE比芳纶和聚酯具有更高的静动刚度，其准静态刚度主要取决于风暴持续时间。

### 3.4.3 上下边界刚度模型

3.4.3.1 上下边界刚度模型定义了下限刚度（安装刚度）和上限刚度（风暴刚度）作为

系泊系统计算的第一次近似,刚度下限值和上限值分别用于计算系泊系统最大位移和最大张力。上下边界刚度模型是一种简单且广泛使用的模型,但上下限值的确定和选用需要仔细的考量。

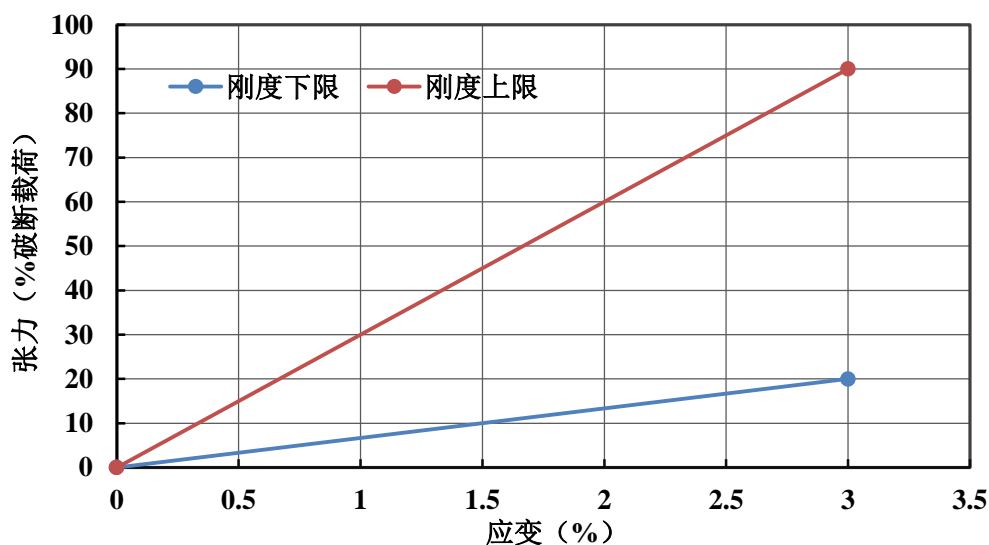


图 3.4.3.1 聚酯缆上下边界刚度模型

#### 3.4.4 静动态刚度模型

3.4.4.1 聚酯缆的伸长特性很大程度上取决于材料的大分子结构。静态刚度是缓慢加载时受拉构件的刚度；动态刚度是当受拉构件处于周期载荷作用时的刚度。现有试验结果和工程项目表明，动态刚度为静态刚度的 2~3 倍。为准确预报浮体的位移和系泊张力，应在浮体系泊计算时通过静动态刚度模型考虑上述特性。

3.4.4.2 在静动态刚度模型中，在初始张力到平均张力的载荷曲线中使用静态刚度，在之后周期载荷部分使用动态刚度。

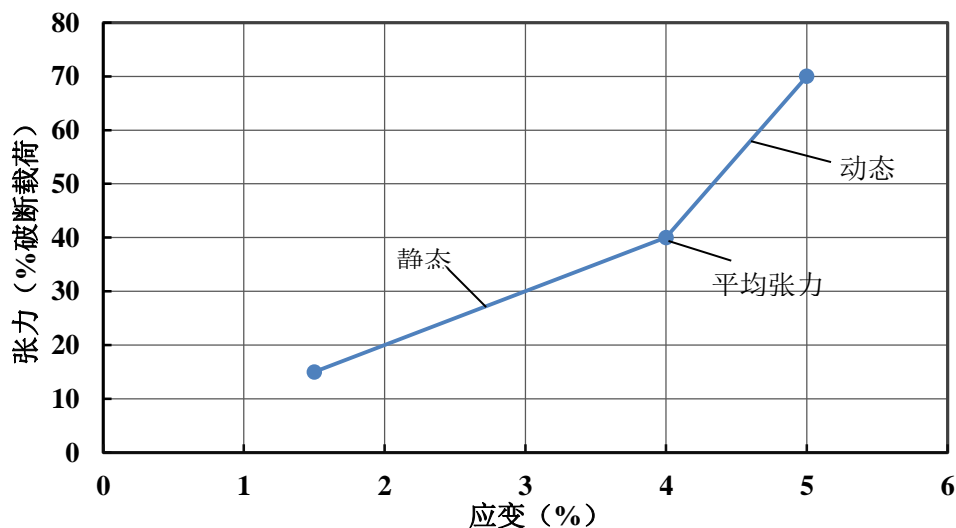


图 3.4.4.2 聚酯缆静动态刚度模型

聚酯缆刚度定义为：

$$EA = \frac{\Delta T}{\Delta \varepsilon} \quad \text{kN}$$

式中： $\Delta T$ ——载荷变化值，kN；

$\Delta \varepsilon$ ——应变变化值；

$EA$ ——刚度或弹性模量与缆绳截面积的乘积, kN。

聚酯缆的等效无量纲刚度  $K_r$  定义为:

$$K_r = \frac{EA}{MBS}$$

式中:  $MBS$  为聚酯缆的最小破断载荷, kN。

3.4.4.3 基于工程经验, 推荐使用准静态模型计算静态刚度。准静态方程定义为:

$$K_{rs} = \frac{T_2 - T_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1 + C \times \log(t)}$$

式中:  $T_2$ ——试验初始张力, 通常是纤维缆的预张力, kN;

$T_1$ ——试验终点张力, 通常是纤维缆的风暴平均张力, kN;

$\varepsilon_1$ ——起点应变;

$\varepsilon_2$ ——终点应变;

$C$ ——蠕变系数, 通过回归分析确定;

$t$ ——环境事件的持续时间。

如适用, 准静态刚度试验需要针对安装前、安装后和使用过的缆绳分别进行。若使用其它静态刚度模型, 需经过专门的试验提供合适的数据, 并经 CCS 审查。

3.4.4.4 动态刚度方程推荐选择三参数方程, 如下:

$$K_{rd} = \alpha + \beta L_m + \gamma F + \delta \log(P)$$

式中:  $L_m$ ——平均载荷占最小破断载荷的百分比;

$F$ ——载荷幅值占最小破断载荷的百分比;

$P$ ——载荷周期, s;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ ——与上述参数相关的系数, 在初始设计时取值可参考 3.4.5。

3.4.4.5 动态刚度方程中的三参数方程对动态刚度的影响如下:

(1) 载荷幅值的影响: 基于工程经验, 推荐以下做法,

- ① 在正弦载荷的情况下, 在强度和疲劳分析中,  $F$  取最大张力幅值;
- ② 在随机载荷的情况下,  $F$  取最大张力的 0.5 倍;
- ③ 波浪载荷下的疲劳分析,  $F$  可以忽略。

(2) 载荷周期的影响: 对波频响应, 载荷周期取响应峰值周期; 对低频响应和涡激运动 (VIM) 响应, 载荷周期取系泊系统的固有周期。

(3) 加载历史的影响: 为研究加载历史的影响, 缆绳的状态被分成了三种,

- ① 安装前: 缆绳没有被预拉, 刚度最低;
- ② 安装后: 缆绳在安装期间被预拉, 达到了初步的磨合;
- ③ 老化: 预拉之外, 缆绳又经过了剧烈的载荷, 达到了完全磨合的状态。

现有的试验数据表明, 安装后的缆绳刚度和使用过的缆绳刚度差别很小。因此, 可以按照比较保守的方法采用使用过的缆绳刚度。

### 3.4.5 初始设计时刚度值

3.4.5.1 在聚酯缆系泊系统初始设计时, 由于无法得到基于试验的精确刚度值, 需要使用近似的刚度值。本节可对初始设计的刚度值提供指导, 这些数据来源于部分聚酯缆永久性系泊系统的试验数据。

3.4.5.2 动态刚度的三参数模型方法 (参见 3.4.4.4) 是根据已有的聚酯缆试验数据推导得到, 如表 3.4.5.2 所示。其中上界值对张力较为保守, 下界值对偏移量较为保守。这种方法需要粗略估计平均张力、张力幅值和加载周期的影响。

初始设计时的动态刚度系数

表 3.4.5.2

系数	上界值	下界值
$\alpha$	26.0	20.3
$\beta$	0.28	0.22
$\gamma$	-0.42	-0.33
$\delta$	-0.97	-0.76

3.4.5.3 准静态刚度是根据已有的试验数据测量得到, 试验结果表明安装后的聚酯缆与

老化的聚酯缆刚度变化较大，见表 3.4.5.3。

初始设计时的准静态刚度值

表 3.4.5.3

聚酯缆绳状态	刚度等级		
	低 (%MBS)	中 (%MBS)	高 (%MBS)
安装后	10	13	15
老化	13	15	18

### 3.4.6 其他刚度模型

3.4.6.1 若选用其他刚度模型，需保证这些模型可以反映聚酯缆基本的伸长特性且可以得到可靠的预报结果。

## 第5节 疲劳设计

### 3.5.1 拉-拉疲劳

3.5.1.1 对于聚酯缆，在缺少可靠数据的情况下，可采用回归分析得到的“均值-两个标准差”的曲线来进行聚酯缆绳疲劳分析。聚酯缆比锚链和钢丝绳具有更好的抗疲劳性，因此疲劳评估通常集中在疲劳寿命较短的锚链和钢丝绳上。

设计曲线的表达式如下：

$$NR^M = K$$

式中：N——循环；

R——张力范围与最小破断载荷的比值；

M——取值为 5.2 (T-N 曲线的斜率)；

K——取值为 25000 (T-N 曲线的截距)。

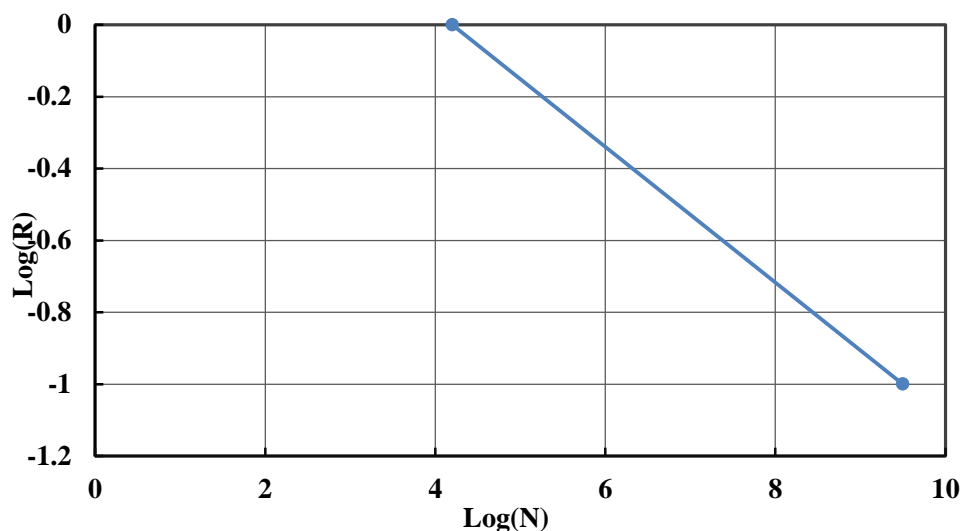


图 3.5.1.1 聚酯缆疲劳设计曲线

3.5.1.2 对于其他类型的纤维缆，设计者应经过测试或从制造商获得疲劳数据，以确定系统的拉-拉疲劳寿命。

### 3.5.2 轴向压缩疲劳

3.5.2.1 对于聚酯缆和 HMPE，不需要进行轴向压缩疲劳分析。但芳纶缆在低张力下容易发生轴向压缩疲劳而导致失效，下述小节主要针对芳纶缆的轴向压缩疲劳进行介绍。

3.5.2.2 由于轴向压缩疲劳的失效机理，芳纶缆在系泊系统的应用中不太理想。但在行业的长期研究中表明，这一问题可以通过下述措施来克服：

- (1) 改进接头、整理剂和护套的设计；

- (2) 建立合适的最小张力标准和分析流程；
- (3) 进行轴压疲劳试验，以提供足够的抗轴压疲劳破坏的能力。

3.5.2.3 针对 3.5.2.2 中提到的第 (2) 条和第 (3) 条措施，其推荐的标准为：

(1) 对于在强风暴环境（通常 100 年重现期）的完整系泊，其背风处芳纶缆底部的预测最小张力应大于 2% 的最小破断载荷；

(2) 缆绳在承受 2000 次动态负载循环（张力范围为 1%~20% 的最小破断载荷）后应保持 95% 的最小破断载荷的最小剩余强度；

(3) 如果芳纶缆在预安装后悬挂了浮筒，则其应保持 2% 的最小破断载荷的最小张力。

3.5.2.4 在 3.5.2.3 中的 (1) 和 (2) 中的要求可根据项目的具体情况加以修改，但不应与具体的原则有重大偏差。为了满足审查需求，设计者应提供以下信息：

- (1) 最小张力的设计标准；
- (2) 轴向压缩疲劳试验步骤：张力范围、试验循环次数和频率；
- (3) 试验后的剩余强度；
- (4) 设计准则和试验步骤的依据。

3.5.2.5 在芳纶缆系泊系统分析时，应采用时域分析方法；若采用频域分析方法，则首先要采用时域分析进行验证。

### 3.5.3 疲劳寿命

3.5.3.1 纤维缆定位系泊系统的疲劳安全系数与部件的可检测条件和位置相关，纤维缆的拉-拉疲劳安全系数应不小于表 3.5.3.1 中的规定值。

纤维缆疲劳安全系数

表 3.5.3.1

部件位置	可检测部件	不可检测且关键部件
疲劳寿命与设计寿命比值	3	10

## 第 6 节 蠕变设计

### 3.6.1 一般要求

3.6.1.1 蠕变失效（或蠕变断裂）是纤维缆在载荷作用下随着时间的推移发生累积的、不可恢复的伸长的结果。

3.6.1.2 在系泊系统应用中，聚酯缆和芳纶在载荷作用下不会发生明显的蠕变，但 HMPE 的主要问题是其蠕变倾向，因此，本节主要针对 HMPE 的蠕变失效进行分析。

3.6.1.3 一般的，在永久性系泊系统中需要考虑纤维缆的蠕变；在移动式系泊系统中，由于作业持续时间短，其蠕变问题关注较少。

3.6.1.4 影响蠕变的主要因素有平均载荷、载荷持续时间和温度等。

### 3.6.2 蠕变的影响因素

3.6.2.1 蠕变状态和时间有关，对于蠕变曲线，其应变是时间的函数，如图 3.6.2.1 (1) 所示；其蠕变速率为该曲线的斜率，如图 3.6.2.1 (2) 所示。根据蠕变速率的不同行为可以分为三种蠕变状态：

(1) 初级蠕变（状态 I）：在这种状态下发生非晶态重新排列，开始时的高蠕变率在结束时降低到平稳水平。通过使用了弹性和延迟弹性部件，应变是可逆的；

(2) 稳态蠕变（状态 II）：在这种状态下分子链发生滑动。蠕变速率略有增加，因为在恒定载荷下，随着蠕变的继续，纱线应力实际上略微增加。蠕变速率被视为该状态的常数。这种应变称为“塑性蠕变”，是不可逆的；

(3) 第三蠕变（状态 III）：在这种状态下，分子链开始断裂。高应变将导致细丝颈缩，并将增加局部应力，从而进一步加速应变直至断裂。

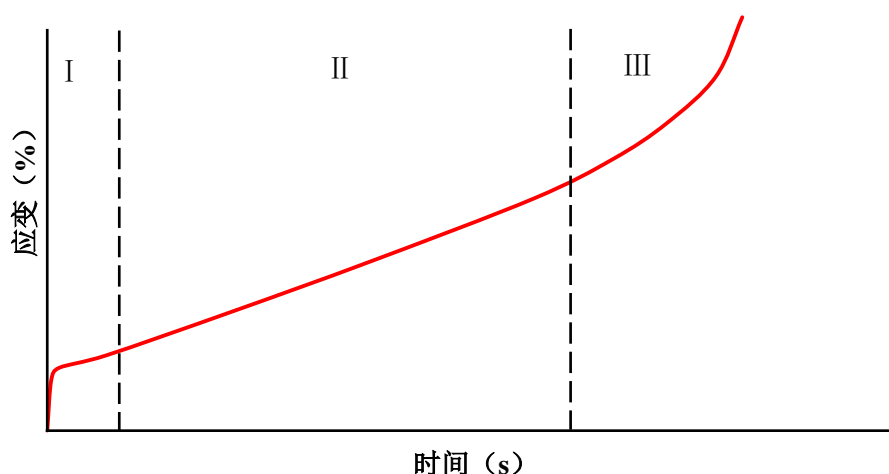


图 3.6.2.1 (1) 典型的 HMPE 蠕变曲线

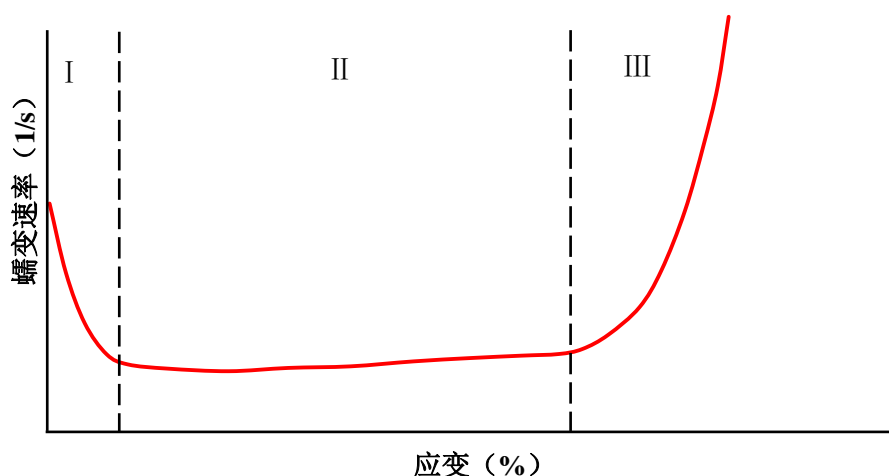


图 3.6.2.1 (2) 典型的 HMPE 蠕变速率曲线

3.6.2.2 蠕变速率还取决于施加的载荷和温度。因此，为避免过度蠕变，HMPE 缆应放置在合适的设计水深（温度对水深较为敏感）。

### 3.6.3 蠕变分析

3.6.3.1 为估算设计使用寿命期间的蠕变应变，应对系泊系统进行蠕变分析。为简化分析，提出以下假设：

- (1) 相较于设计使用寿命而言，蠕变状态 I 的持续时间较短，其蠕变可以忽略；
- (2) 状态 II 的蠕变采用恒定蠕变速率随时间估算，但其蠕变速率仍为载荷和温度的函数；
- (3) 蠕变速率为纱线应力和温度的函数，其可以通过纱线试验和蠕变模型获得；
- (4) 与缆绳设计和单位质量相关的资料信息容易获得，因此纱线应力可以通过特定缆绳的转换因子转换为缆绳张力（% 最小破断载荷）；
- (5) 状态 II 的应变定义为不可逆的塑性蠕变，因此蠕变是可以累积的。对于特定温度，年累积蠕变应变  $G_t$  可由下式计算：

$$G_t = \sum h_i H_i$$

式中： $h_i$ ——张力区间  $i$  内的每年持续时间；

$H_i$ ——张力区间  $i$  内的蠕变速率。

#### 3.6.3.2 蠕变分析的步骤如下：

(1) 长期的环境事件可以用若干离散的设计工况表示。每个设计工况由一个参考方向和一个参考海况组成，其特征参数是有义波高、谱峰周期、谱峰因子、流速和风速。应设定每个设计条件的发生概率；

(2) 对于每个设计工况，需要确定所有纤维缆的平均张力；

(3) 通过 3.6.3.1 (5) 中的计算公式计算一个设计条件（一个方向的海况）的年蠕变应变；

(4) 重复步骤 (3)，计算各海况和方向的年蠕变应变  $G_i$ ，即所有海况和方向的蠕变应变之和；

(5) 设计使用寿命  $M$  的纤维缆总蠕变应变预测值为：

$$G = MG_i$$

式中： $M$ ——设计使用寿命，年。

#### 3.6.4 蠕变断裂分析

3.6.4.1 为估算系泊系统的蠕变断裂寿命，应对系泊系统进行蠕变断裂分析。如果监测蠕变，蠕变断裂寿命应大于设计使用寿命的 5 倍；如果不监测蠕变，蠕变断裂寿命应大于设计使用寿命的 10 倍。为简化分析，提出以下假设：

(1) 相较于设计使用寿命而言，蠕变状态 III 的持续时间较短，因此开始出现状态 III 时，则可以认为开始发生蠕变断裂；

(2) 蠕变速率为纱线应力和温度的函数，其可以通过纱线试验和蠕变模型获得；

(3) 与缆绳设计和单位质量相关的资料信息容易获得，因此纱线应力可以通过特定缆绳的转换因子转换为缆绳张力（% 最小破断载荷）；

(4) 年累积蠕变断裂损伤比  $B$  可由下式计算：

$$B = \sum c_i / C_i$$

式中： $c_i$ ——张力区间  $i$  内的每年持续时间；

$C_i$ ——张力区间  $i$  内的蠕变断裂时间。

#### 3.6.4.2 蠕变断裂分析的步骤如下：

(1) 长期的环境事件可以用若干离散的设计工况表示。每个设计工况由一个参考方向和一个参考海况组成，其特征参数是有义波高、谱峰周期、谱峰因子、流速和风速。应设定每个设计条件的发生概率；

(2) 对于每个设计工况，需要确定所有纤维缆的平均张力；

(3) 通过 3.6.4.1 (4) 中的计算公式计算一个设计条件（一个方向的海况）的年蠕变断裂损伤；

(4) 重复步骤 (3)，计算所有海况和方向的总年蠕变断裂损伤  $B_i$ ，即所有海况和方向的蠕变应变之和；

(5) 纤维缆的蠕变断裂寿命预测值为：

$$L = 1/B_i \quad \text{年}$$

式中： $L$ ——蠕变断裂寿命，年。

#### 3.6.5 蠕变模型认证

3.6.5.1 产生蠕变和蠕变断裂分析的设计数据的蠕变模型应根据第 4 章第 11 节规定的程序，通过至少一种载荷和一种温度下的缆绳蠕变速率验证试验进行验证。如果发现分析中使用的设计数据不保守，应使用验证试验结果进行调整，并重复蠕变和蠕变断裂分析。为了正确调整设计数据，可能需要对缆绳蠕变速率进行额外测试。

#### 3.6.6 准静态刚度

3.6.6.1 对于 HMPE，3.4.4.3 的方程应修正为：

$$K_{rs} = \frac{T_2 - T_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1 + Ct}$$

式中的参数定义与 3.4.4.3 保持一致。

## 第7节 扭矩协调性设计

### 3.7.1 一般要求

3.7.1.1 在系泊系统分析中，纤维缆与系泊组件（如钢丝绳）之间的扭矩协调性应加以考虑。

3.7.1.2 系泊组件有两种扭矩类别：

- 1) 计入扭矩分量：在安装或恢复过程中，将扭转计入到组件中并在组件之间传递；
- 2) 不计入扭矩分量：扭转可以忽略。纤维缆通常不计入扭矩分量，但可以通过在设计时看作为一个扭矩组件。

### 3.7.2 永久性系泊系统

3.7.2.1 对于永久性系泊系统，通常将无扭矩纤维缆和无扭矩钢制组件一起使用从而得到一种无扭矩纤维缆。如果使用了扭矩钢制组件，则在纤维缆设计时应有相同的扭转特性，从而保证与钢制组件相匹配。

### 3.7.3 移动式系泊系统

3.7.3.1 移动式系泊系统一般使用的是扭矩钢制组件，特别是对于深水环境条件，因此对于移动式系泊系统应该特殊考虑。

3.7.3.2 对于移动式系泊系统，行业内比较推荐以下两种设计方法：

- (1) 采用扭矩匹配方法，需要进行扭矩匹配试验；
- (2) 不采用扭矩匹配方法，如果钢制组件的动态扭转可以在纤维缆和钢制组件的连接处得到约束，则在移动式系泊系统设计时可以使用无扭转纤维缆。

## 第8节 其他环境条件的影响

### 3.8.1 抗紫外线性能

3.8.1.1 在储存、运输和安装过程中，对于易受紫外线影响的纤维缆，应采取相应措施（如采用不透明的罩子等）保护纤维缆免受紫外线辐射损害的影响。

### 3.8.2 海生物

3.8.2.1 纤维缆的强度基本不受海洋生长物的影响，但海洋生长物会使得纤维缆在水中的重量和拖曳载荷发生变化。根据工程经验，在纤维缆的承载部分使用过滤器可以有效防止有害海生物生长。

3.8.2.2 具有坚硬外壳的海生物会在绳套与承载芯之间生长，对纱线造成磨损破坏；柔软的海生物会附着在纤维缆表面，从而影响水下机器人（ROV）对纤维缆的检测能力。因此，在不损害纤维缆的基础上，可采取适当的方法去除海生物。

### 3.8.3 失效时的回弹

3.8.3.1 纤维缆中的相当一部分能量以弹性方式储存在缆绳中，在制定安装程序时应考虑对工作人员和设备的安全影响。

## 第9节 移动式系泊系统的考虑

### 3.9.1 一般要求

3.9.1.1 本章主要适用于永久性系泊系统；对于移动式系泊系统，大部分条款也适用，但鉴于永久性系泊系统和移动式系泊系统存在差异，需注意以下条款：

- (1) 对顶部和底部的锚链或钢丝绳的要求不同；
- (2) 移动式系泊系统的纤维缆通常无预张力或预张力较小，这可能会导致纤维缆在初期使用时柔性较大，但随着其老化，纤维缆变硬，在进行刚度试验和系泊分析时需要对此进行考虑；
- (3) 动态刚度和准静态刚度依赖于平均张力、张力幅值、持续时间和系泊系统的固有周期等参数，由于移动式系泊系统作业持续时间较短，这些参数存在不确定性，一般是通过简单而保守的假设来确定这些参数。

## 第4章 试验

### 第1节 一般规定

#### 4.1.1 一般要求

4.1.1.1 本节提供了纤维缆试验指南，包括纤维缆试验和纱线试验。

4.1.1.2 纤维缆的性能特征需形成文件并提交 CCS，以满足产品的预期用途和服务环境条件。

#### 4.1.2 试验规程

4.1.2.1 试验试样的要求如表 4.1.2.1 所示。

试验试样要求

表 4.1.2.1

测试类型	是否允许平行结构的子绳测试样品?	是否需要与生产缆绳相同的插头?	最小测试样品长度
破断载荷试验	否	是	40D
伸长率与刚度试验	是	否	5m
抗海水泥沙颗粒入侵试验	否	是	40D
子绳眼环插接完整性试验	是	是	5m
整绳循环耐久性试验	否	是	40D
3-T 耐力试验	是	是	5m
与钢丝绳的扭矩匹配试验	否	是	与钢丝绳长度相同
轴向压缩疲劳试验	否	是	40D
蠕变速率验证试验	是	否	5m

注：D 为缆绳的标称直径。

4.1.2.2 在试验测试前（除纱线试验、3-T 耐力试验和抗海水泥沙颗粒入侵试验外），应将整个试样在淡水中浸泡 4 小时（子绳）或 12 小时（整绳），试样取出后应尽快进行试验。若浸泡后超过 16 小时，应再次浸泡。

4.1.2.3 试验机应满足以下要求：

- (1) 具有足够的机床长度、行程、加载速率和加载力，以执行该试验；
- (2) 试验机应有测力和记录装置，且经过公认的独立校准机构校准。一般校准应在一年内完成，并备有校准证书原件供检查，其证书副本应附在检测报告中。破断载荷试验的精度至少为 $\pm 1\%$ 。

4.1.2.4 试样内部温度应通过合适的温度测量装置进行监测。对于聚酯缆，试样内部温度应保持在 40 °C 以下；HMPE 缆对温度敏感，因此应记录试验温度以保证试验可行性；芳纶缆可以承受较高的内部温度（大于 70 °C）。当试验（尤其是动载荷试验）的缆绳温度有过高风险时，应停止测试，在温度降到可接受的水平后再继续测试。

### 第2节 纱线试验

#### 4.2.1 一般要求

4.2.1.1 在纤维缆制造前，应进行纱线试验。

#### 4.2.2 纱线干态断裂强力和伸长率试验

4.2.2.1 应取四个基本纱线样品并进行测试。样品应在温度为 15~25 °C 和相对湿度 60%~70% 的条件下进行测试。

4.2.2.2 试样应按照公认的标准（如 ASTM D885）或等效方法施加载荷直至断裂，并记录纱线的平均干态断裂强力和干态伸长量。测试的方法应在设计文件中予以说明，并在每

次纱线测试时采用同样的方法。

#### 4.2.3 纱线-纱线耐磨试验

4.2.3.1 纱线-纱线耐磨试验按照公认的标准（ISO18692）或等效方法进行测试。

### 第3节 破断载荷试验

#### 4.3.1 一般要求

4.3.1.1 为了保持一致性，所有的测试（包括循环程序和载荷范围）应使用相同的加载程序进行。

4.3.1.2 破断载荷试验报告中应包含以下信息：

- (1) 破断力和相应的伸长率；
- (2) 载荷-伸长率图表；
- (3) 破断的位置和性质；
- (4) 测试条件（如环境温度、湿度和偏差等）。

#### 4.3.2 试样

4.3.2.1 至少选择5个试样进行测试。

4.3.2.2 试样最小自由长度至少为缆绳标称直径的40倍，并且试样应与生产缆绳有相同的端接方式（包括护套或套管）。试样在测试前不应被拉伸至超过其设计破断载荷的5%，也不应该在张力下循环或保持。该方法不适用于已经使用过的缆绳的测试。

4.3.2.3 在试验前，试样需在淡水里浸泡至少12小时。

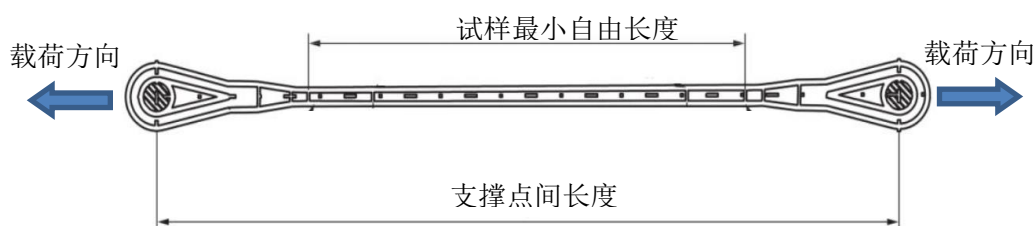


图 4.3.2.2 通用试验设置

#### 4.3.3 试验程序

4.3.3.1 试样按以下方式进行测试：

- (1) 对缆绳从1%~50%的设计破断载荷循环加载，循环十次；
- (2) 在第11次循环中，对缆绳加载张力，直至缆绳断裂；
- (3) 记录破断力（施加在缆绳上的最大力）和缆绳破断的位置（如接头之间、接头末端、眼环或其他对断裂位置的描述）。

#### 4.3.4 测试结果接受说明

4.3.4.1 试验应测试5个完整的缆绳试样，如果所有试样的破断力均高于设计破断载荷，则缆绳的破断载荷将被接受。

4.3.4.2 如果只有一个缆绳试样的破断力低于设计破断载荷，则应进行调查以确定原因。如果调查表明发生了独立事件，则可以再测试两个试样，如果两个试样的破断力均高于设计破断载荷，则缆绳的破断载荷将被接受。

4.3.4.3 如采用其他试验程序，应及时提交支持试验和数据分析方法可靠性的文件，并经CCS验船师认可。

## 第4节 伸长率与刚度试验

### 4.4.1 一般要求

4.4.1.1 为保持一致性，所有的测试（包括循环程序和载荷范围）应使用相同的加载程序进行。

### 4.4.2 试样和试验机

4.4.2.1 至少选择3个试样进行测试。

4.4.2.2 试样长度至少为5 m。试样在测试前不应被拉伸至超过其设计破断载荷的5%，也不应在张力下循环或保持。

4.4.2.3 试样在试验前在水中至少浸泡4小时，试验期间应加水保持试样整体湿润。

4.4.2.4 试验机应配备一个伸长测量装置和数据采集系统，以便测量和记录伸长量。

### 4.4.3 安装预紧试验

4.4.3.1 该试验在静态刚度试验之前进行，预张紧操作可以在安装过程中尽可能的去除缆绳的永久伸长和增加缆绳的刚度。

4.4.3.2 试样按以下方式进行测试：

(1) 将缆绳拉近至1%的设计破断载荷，测量并记录初始长度；

(2) 将张力增加到规定的预张力，并保持至少2小时。记录第1、10和100分钟以及最后的缆绳伸长率；

(3) 将张力增加到规定的预紧张力（最大安装张力），并保持2小时。记录第1、10和100分钟以及最后的缆绳伸长率；

(4) 将张力降低至预张力，并保持至少6小时。记录第1、10和100分钟以及最后的缆绳伸长率；

(5) 将张力降低至1%的设计破断载荷，并保持至少2小时。记录第1、10和100分钟以及最后的缆绳伸长率。

以上步骤(1)结束时测量的长度与步骤(4)结束时测量的长度之差为由于安装引起的永久伸长。

### 4.4.4 预安装后缆绳的准静态刚度试验

4.4.4.1 该试验应在已进行安装预紧试验的试样上进行。

4.4.4.2 试样按以下方式进行测试：

(1) 将缆绳张力从1%的设计破断载荷增加到预张力，并保持至少100分钟。记录1、10和100分钟以及最后的缆绳伸长率；

(2) 以每分钟约10%的设计破断载荷的速率将张力从预张力增加到30%的设计破断载荷，并保持至少2小时。记录第1、10和100分钟以及最后的缆绳伸长率；

(3) 以每分钟约10%的设计破断载荷的速率将张力从30%增加到45%的设计破断载荷，并保持至少2小时。记录第1、10和100分钟以及最后的缆绳伸长率；

(4) 以每分钟约10%的设计破断载荷的速率将张力从45%增加到60%的设计破断载荷，并保持至少2小时。记录第1、10和100分钟以及最后的缆绳伸长率；

(5) 以每分钟约10%的设计破断载荷的速率将张力从60%的设计破断载荷降低到预张力，并保持至少200分钟。记录1、10和100分钟以及最后的缆绳伸长率。

该测试的数据可用于确定安装后缆绳的准静态刚度。

### 4.4.5 使用后缆绳的准静态刚度试验

4.4.5.1 该试验应在已进行预安装后缆绳的准静态刚度试验的试样上进行。

4.4.5.2 试样按以下方式进行测试：

(1) 以每分钟大约10%的设计破断载荷的速率将张力从预张力增加到65%的设计破断载荷，并在此张力下保持100分钟。记录1、10和100分钟时的伸长率；

(2) 进行 1000 次动态负载循环，张力范围为 35% 至 65% 设计破断载荷，每个周期为 12 至 35 秒；

(3) 在最后一个循环中，以每分钟大约 10% 的设计破断载荷的速率将张力从 65% 的设计破断载荷降低到预张力，并在此张力下保持 100 分钟。记录 1、10、100 分钟时的伸长率；

(4) 进行上述试验步骤后，重复 4.4.4 预安装后的准静态刚度试验步骤。

该测试的数据可用于确定使用后缆绳的准静态刚度。

#### 4.4.6 动态刚度试验

4.4.6.1 该测试用于确定缆绳在不同平均张力和张力范围下的动态刚度（在波浪频率（WF）和低频载荷（LF）下）。

4.4.6.2 该试验应在已进行使用后缆绳的准静态刚度试验的试样上进行（如 4.4.5 所述）。

4.4.6.3 试样按以下方式进行测试：

(1) 在预张力和 55% 的设计破断载荷之间循环 10 次，周期为 12 至 35 秒，然后恢复预张力并保持至少 100 分钟；

(2) 对于每个 WF 测试区间（12 到 35 秒周期），缆绳在表 4.4.6.3 中最小载荷和最大载荷之间循环 40 次，以至少 1 Hz 的频率记录载荷和伸长率；

(3) 对于每个 LF 测试区间（250 秒周期），缆绳在表 4.4.6.3 中最小载荷和最大载荷之间的张力下循环 20 次，以至少 0.25 Hz 的频率记录载荷和伸长率；

(4) 聚酯缆试样参考以下测试矩阵进行测试，该测试矩阵适用于广泛的缆绳系泊应用：

一般聚酯缆绳系泊应用的动态刚度测试矩阵

表 4.4.6.3

序号	平均载荷(% 设计破断载 荷)	载荷幅值 (%设计破 断载荷)	最小载荷 (%设计破 断载荷)	最大载荷 (%设计破 断载荷)	周期 (s)	循环次数 (次)
1	15	5	10	20	250	20
2	20	3	17	23	12 to 35	40
3	20	3	17	23	250	20
4	23	16	7	39	250	20
5	30	16	14	46	12 to 35	40
6	30	16	14	46	250	20
7	30	28	2	58	250	20
8	35	8	27	43	12 to 35	40
9	35	8	27	43	250	20
10	40	30	10	70	12 to 35	40
11	40	30	10	70	250	20
12	50	20	30	70	12 to 35	40
13	50	20	30	70	250	20
14	60	10	50	70	250	20

4.4.6.4 动态刚度通过如下方式确定：

(1) 动态刚度应使用循环的峰谷点通过 3.4.4.2 的刚度公式计算，应变应基于循环期间的平均缆绳长度；

(2) 对于每个测试区间，计算每个循环的动态刚度，并报告最后三个循环的平均刚度作为测试区间的动态刚度。

## 第5节 抗海水泥沙颗粒入侵试验

### 4.5.1 一般要求

4.5.1.1 海底预置缆绳和意外掉到海底的缆绳再利用需要进行此项测试。阻止颗粒进入纤维缆通常采用护套或防沙层来实现。本试验同时适用于护套和防沙层的试验。

### 4.5.2 试样

4.5.2.1 至少选择 2 个试样进行测试。

## 4.5.2.2 试样的要求如下:

(1) 试样的长度至少为缆绳标称直径的 40 倍。如若全尺寸试验不能在室内进行, 可以进行缩尺试验, 但其缩尺后的直径不能小于原缆绳直径的 1/2;

(2) 试样的表面应完全被与生产缆绳相同的过滤层和护套覆盖, 且其厚度不大于生产缆绳的厚度;

(3) 试样的端部应防水密封。

## 4.5.3 试验程序

## 4.5.3.1 试样按以下方式进行测试:

(1) 试验应置于高压舱内并完全浸没在水中;

(2) 试样浸入后, 应在大气压下保持 1 小时;

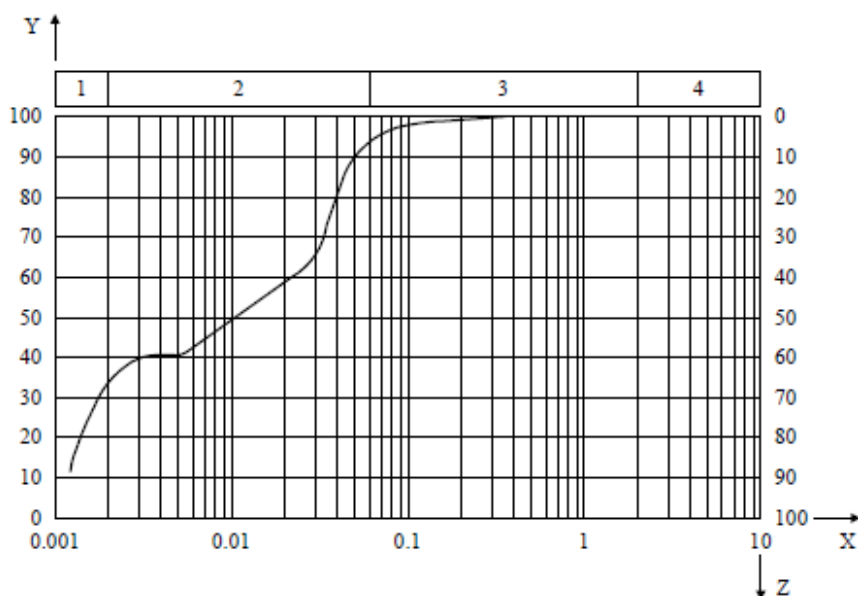
(3) 将土壤以 25% 的水重添加到水中, 土壤分级应包含 30%~40% 的黏土(小于 2 微米), 以及 50%~60% 的淤泥 (2 到 63 微米), 土壤分级示例如图 4.5.3.1 所示;

(4) 将压力增加到 10MPa, 在缆绳试样上施加水平(前后)和垂直(提起和放下)运动(最小 1 米)至少 20 次, 以模拟安装过程中的缆绳运动和掉落过程。模拟结束后, 缆绳应在舱内保持 72 小时;

(5) 最后释放压力并将试样取出;

(6) 试样取出后应对样品进行解剖, 去除过滤层和护套, 并拍照记录该过程;

(7) 在扫描电子显微镜 (SEM) 下检查缆绳承载芯的纱线样品, 检测土壤颗粒的存在, 缆绳内部纱线中不应该含有直径大于 5 微米的土壤颗粒。



- ① 黏土 $\leq 2$ 微米 ( $\mu\text{m}$ ); ②泥沙 $> 2$ 微米 ( $\mu\text{m}$ )且 $\leq 63$ 微米 ( $\mu\text{m}$ ); ③砂 $> 63$ 微米 ( $\mu\text{m}$ )且 $\leq 2$ 毫米 (mm); ④砾石 $> 2$ 毫米 (mm)且 $\leq 63$ 毫米 (mm);  
X 粒径 (mm), Y 合格率 (%), Z 保留百分比 (%)

图 4.5.3.1 土壤分级示例

## 第 6 节 子绳眼环插接完整性试验

## 4.6.1 一般要求

4.6.1.1 子绳眼环插接完整性试验的目的是证明对于实际的缆绳, 眼环在铺设后不会移动, 并且在使用足够长的时间后最终不会被拉出。为了保持一致性, 所有的测试(包括循环程序和载荷范围)应使用相同的加载程序进行。

4.6.1.2 眼环插接完整性试验报告中应包含以下信息:

- (1) 测试条件（如环境温度、湿度和偏差等）；
- (2) 记录循环 1~10、循环 20、50、100、200、300、400、500、600、700、800 和循环 900~1000 的载荷与“销柱-销柱间距离”拉伸曲线。如果测试继续，则进一步记录循环 1100 和 1200 等，直到测试停止，此时应记录一系列每 100 个循环；
- (3) 记录循环周期的峰值伸长，以证明渐进行为，如图 4.6.1.2 所示；
- (4) 测试过程的缆绳和测试设备电脑软件显示的照片文件。

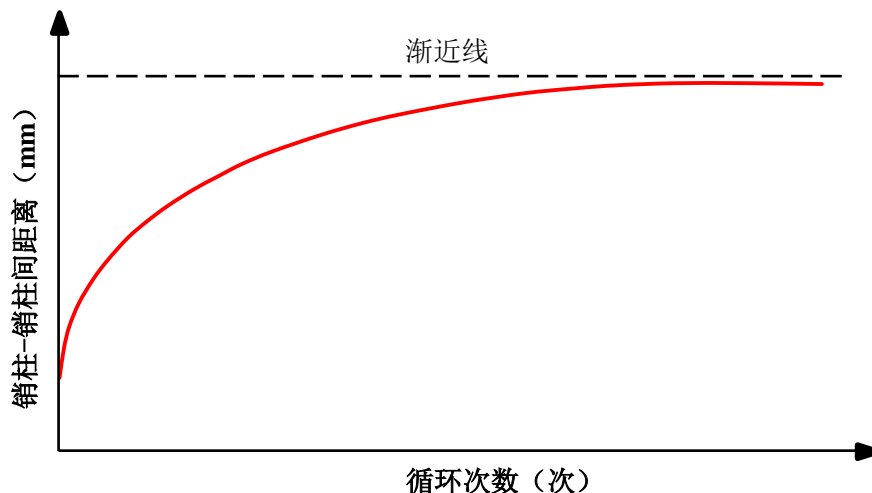


图 4.6.1.2 缆绳循环测试过程中“销柱-销柱间距离”出现渐进行为以显示眼环插接已锁定

#### 4.6.2 试样

- 4.6.2.1 至少选择 3 根子绳试样进行测试，试样子绳眼环插接方式需要与整绳相同。
- 4.6.2.2 试样应安装在试验机中的光滑钢销柱上。

#### 4.6.3 试验程序

- 4.6.3.1 试样按以下方式进行测试：
  - (1) 载荷范围为 5%~50% 的设计破断载荷，至少进行 1000 次循环；
  - (2) 如果在最初的 1000 次循环中测试缆绳的载荷与“销柱-销柱间距离”的拉伸曲线未出现渐进行为，则需继续进行循环测试；
  - (3) 记录测试过程中载荷与“销柱-销柱间距离”的拉伸曲线。

#### 4.6.4 测试结果接受说明

- 4.6.4.1 如果测试缆绳在循环过程中载荷与“销柱-销柱间距离”的拉伸曲线切线逐渐水平，出现渐进行为，则缆绳眼环插接完整性试验完成。
- 4.6.4.2 如果测试循环过程中，缆绳眼环插接部位滑出，或载荷与“销柱-销柱间距离”的拉伸曲线未出现渐进行为，则样品眼环插接完整性测试失败。

## 第 7 节 整绳循环耐久性试验

#### 4.7.1 一般要求

- 4.7.1.1 为了保持一致性，所有的测试（包括循环程序和载荷范围）应使用相同的加载程序进行。
- 4.7.1.2 整绳循环耐久性试验报告中应包含以下信息：
  - (1) 测试条件（如环境温度、湿度和偏差等）；
  - (2) 载荷范围及循环次数；
  - (3) 载荷-伸长率图表；
  - (4) 测试结束，整绳内部子绳情况：是否有粘连、损坏现象等。

#### 4.7.2 试样

4.7.2.1 至少选择 1 根整绳试样进行测试，测试前缆绳需在淡水中浸泡至少 12 小时，测试过程中需对试样进行淋水降温。

4.7.2.2 试样长度至少为缆绳标称直径的 40 倍，并且试样应与生产缆绳有相同的端接方式（包括护套或套管）。试样在测试前不应被拉伸至超过其设计破断载荷的 5%，也不应在张力下循环或保持。该方法不适用于已经使用过的缆绳的测试。

#### 4.7.3 试验程序

4.7.3.1 试样按以下方式进行测试，以下每个循环载荷应在 1 分钟内完成：

- (1) 载荷范围为 10% ~ 50% 的设计破断载荷，进行 17000 次循环；
- (2) 载荷范围为 5% ~ 55% 的设计破断载荷，进行 5500 次循环；
- (3) 循环结束后，解剖整绳护套及防沙层，检查记录缆绳内部纤维磨损情况。

#### 4.7.4 测试结果接受说明

4.7.4.1 测试循环结束后，整绳内部子绳不允许有熔断或严重粘连损坏的情况，如果有该情况出现，则缆绳测试失败。

## 第 8 节 3-T 耐力试验

#### 4.8.1 一般要求

4.8.1.1 3-T 耐力试验是通过测量纤维缆在失效前维持高载荷水平（载荷一般为 90%~95% 最小破断载荷）的时间来测试纤维缆的蠕变性能。为了保持一致性，所有的测试（包括循环程序和载荷范围）应使用相同的加载程序进行。

#### 4.8.2 试样

4.8.2.1 对于纤维缆，通常在两种不同的张力水平下至少测试 5 根新的子绳与 5 根经过整绳循环耐久性试验解剖提取出来的子绳。

4.8.2.2 如果测试是在空气中进行的，则不应预先浸泡缆绳，以在测试期间保持温度稳定。最好在温度调节过的水或空气进行测试。对于系泊应用，推荐的基本测试温度为 20 ℃。

#### 4.8.3 试验程序

4.8.3.1 试样按以下方式进行测试：

- (1) 将试样安装在试验机上；
- (2) 试样进行 10 次载荷 1% ~ 50% 的设计破断载荷的循环；
- (3) 将试样加载到指定的载荷并保持载荷恒定，记录载荷与时间的图像；
- (4) 测量从达到指定载荷到缆绳发生破断的时间。

#### 4.8.4 测试结果接受说明

4.8.4.1 为了建立 3-T 设计曲线的斜率，需要至少两个载荷水平下的破断时间。

4.8.4.2 建议选择合适的高载荷水平，使测试时间控制在 4 天内。

4.8.4.3 测量获得在不同载荷水平下缆绳的断裂的时间，数据处理恒定载荷  $F$  下的断裂时间（TTR）根据：

$$F = B - A \cdot \log_{10}(TTR) \quad \text{kN}$$

式中： $F$ ——恒定张力值，kN；

$TTR$ ——断裂时间，s。

根据以上公式导出处理数据获得系数  $A$  和  $B$ ，从而估算缆绳在高载荷下的使用寿命。

## 第9节 与钢丝绳的扭矩匹配试验

### 4.9.1 一般要求

4.9.1.1 当考虑纤维缆与扭矩钢丝绳（6股或8股）连接的永久性系泊系统时，需要进行扭矩匹配试验，以验证纤维缆和钢丝绳之间的扭矩特性是相容的。

### 4.9.2 试样和试验机

4.9.2.1 纤维缆的试样长度应与钢丝绳的试样长度一致。

4.9.2.2 试验机应配备一个旋转角测量装置和数据采集系统，以便测量和记录旋转角。

### 4.9.3 试验程序

4.9.3.1 试样按以下方式进行测试：

- (1) 取等长的纤维缆和钢丝绳试样，将其连接并布置在两端固定的试验机上；
- (2) 试样加载至2%钢丝绳的最小破断载荷，测量两绳的长度以及钢丝绳的捻距；
- (3) 试样在钢丝绳的2%~20%的最小破断载荷之间以20~30s的周期循环10次；
- (4) 试样保持在20%钢丝绳的最小破断载荷；
- (5) 试样在钢丝绳的10%~30%的最小破断载荷之间以20~30s的周期循环10次，并记录每个循环的连接处的旋转角。

### 4.9.4 测试结果接受说明

4.9.4.1 通过上述试验程序测得的钢丝绳每捻长度的平均旋转角度不应超过 $5^{\circ}$ 。

## 第10节 轴向压缩疲劳试验

### 4.10.1 一般要求

4.10.1.1 本试验主要针对芳纶及类似缆绳的测试，以证明芳纶及类似缆绳具有足够的抗轴向压缩疲劳破坏的能力。

### 4.10.2 试样

4.10.2.1 试样长度至少为缆绳标称直径的40倍。

### 4.10.3 试验程序

4.10.3.1 试样应按以下方式进行试验：

- (1) 将缆绳从1%的设计破断载荷的低谷张力循环到20%的设计破断载荷的峰值张力，每周期小于1分钟，至少循环2000次；
- (2) 拉断缆绳，采用4.3.3节的试验方法，测定剩余强度。

### 4.10.4 测试结果接受说明

4.10.4.1 通过上述试验得到的剩余强度应大于95%的设计破断载荷。

## 第11节 蠕变速率验证试验

### 4.11.1 一般要求

4.11.1.1 该测试仅适用于HMPE缆，旨在证明生成用于HMPE蠕变分析和蠕变断裂分析（第3章第6节）的蠕变数据的蠕变模型是合适的。

4.11.1.2 蠕变试验应在受控温度条件下进行，在测试期间，温度应尽可能保持恒定，

控制温度波动范围在 5 °C 内。

4.11.1.3 应记录环境温度和湿度。测试应选择不超过 25 °C 的测试温度和不超过 55% 的设计破断载荷的张力。

#### 4.11.2 试样

4.11.2.1 通常在两种不同的张力水平下至少测试 4 根新的子绳。

#### 4.11.3 试验程序

4.11.3.1 试样按以下方式进行测试：

(1) 测试应在恒定负载和恒定温度下进行，应选择与应用缆绳的项目相关的载荷水平和温度，以便可以有把握地确定状态 II (3.6.2.1) 中的蠕变速率；

(2) 持续时间应使样品在至少 24 小时内显示出恒定的蠕变速率，并且载荷水平和温度应在持续时间内尽可能保持恒定。应至少每小时记录整个持续时间内的载荷和伸长率；

(3) 蠕变速率是从测试结束时（例如最后 24 小时）的应变与时间数据获得的，应与蠕变模型针对特定负载和温度生成的蠕变速率进行比较；

(4) 还应报告在状态 I 期间测量的总应变。

## 第5章 海上安装检验

### 第1节 一般规定

#### 5.1.1 一般要求

5.1.1.1 纤维缆的储存、运输和安装作业应按批准的文件和程序进行，文件和程序的编制应按照储存、运输和安装工艺各个阶段作业中所承受的载荷进行分析、计算和校核，使纤维缆在操作与处理中所承受的载荷和弯曲半径都保持在设计允许的范围。

5.1.1.2 纤维缆的储存、运输和海上安装除应满足本章的技术要求，还应符合 API RP 2SM 第9章和 API RP 2I 第5章的相关适用规定。

5.1.1.3 纤维缆在储存和运输过程中应采取必要措施以防止阳光照射及纤维缆受潮，且环境温度不应超过相应纤维缆的许用温度。

5.1.1.4 纤维缆一般采用滚筒缠绕的方式进行储存、运输和安装，在纤维缆缠绕到滚筒的过程中及运输过程中应采取必要措施以防止纤维缆与滚筒发生摩擦而损坏纤维缆。

5.1.1.5 应注意端头处的弯曲半径不应小于厂商规定的最小允许弯曲半径。

5.1.1.6 金属的端头配件应单独缠绕或单独保存以避免损坏纤维缆。

5.1.1.7 应防止异物（砂砾等）接触纤维缆。

5.1.1.8 系泊系统纤维缆在海上安装作业期间应遵守设施所在海域和地区的相关安全条例规定。安装前，应向甲方与第三方提交安装程序供审查。安装偏差应在安装程序中规定，并在设计计算中适当考虑。

5.1.1.9 纤维缆的操作过程，包括但不限于纤维缆的运输、装船、倒缆、铺设、回接与张紧等作业。

### 第2节 储存与运输

#### 5.2.1 一般要求

5.2.1.1 在选择纤维缆的包装、海运和储存系统时应足够谨慎。

5.2.1.2 设计方应对纤维缆的生产过程、陆上和海上运输和搬运、堆场储存和分段、安装和回收（如适用）予以重点关注。

5.2.1.3 对于纤维缆，应配备纤维缆操作指导说明书，根据指导说明书的要求对纤维缆的储存与运输进行操作，以避免在储存与运输过程中对纤维缆的损坏。储存与运输说明书应至少包含起重要求、缠绕要求、运输要求、存储要求等内容。

5.2.1.4 储存与运输说明书中应详细说明纤维缆的搬运限制（例如限制缆绳上的局部和整体受到压力）、最小弯曲半径（例如缠绕等）。对于直径较大的超长缆绳，可能需要将纤维缆装入特殊储罐中。

5.2.1.5 纤维缆应储存在平坦开阔的场地，防止意外的移动，并且避免靠近热源、火源及化学药剂等危险物。

5.2.1.6 每个纤维缆存储滚筒应清楚标记内容物并提供可追溯性。

5.2.1.7 纤维缆成品包装应使用防风雨材料牢固包裹。

5.2.1.8 在储存与运输过程中，应保护纤维缆不受高温、化学和紫外线辐射损伤的影响。

5.2.1.9 在存放和/或缠绕纤维缆时，应避免使用具有锋利和/或突出边缘的金属件刮擦纤维缆。纤维缆的金属配件应单独包装或单独保存，防止任何纤维缆磨损。

5.2.1.10 纤维缆滚筒的吊装需要专用的吊装撑杆和吊装索具，吊装作业前，需对吊装撑杆与吊装索具进行仔细检查并正确安装，吊装作业要由经过培训并具有经验的吊装作业人员进行操作，防止纤维缆滚筒吊装过程中坠落。

### 第3节 海上安装检验

#### 5.3.1 一般要求

5.3.1.1 一般应尽量减少纤维缆与海床的接触，但在某些安装情况下，在与浮式结构物连接之前，有必要预铺设纤维缆。如果纤维缆通过了抗海水泥沙颗粒入侵试验，则允许在海底预铺纤维缆。

5.3.1.2 应制定完整详细的系泊系统安装和回收（如适用）程序用于纤维缆的安装和回收操作。

#### 5.3.2 海洋环境工况

5.3.2.1 纤维缆系泊系统海上安装作业一般受海况与天气限制，应对作业区域预期的海洋环境工况进行详尽的评估以确保有足够的窗口期进行施工作业。

5.3.2.2 纤维缆系泊系统海上安装包含多项作业，每项作业有各自的允许环境工况。

#### 5.3.3 施工现场调查

5.3.3.1 安装前，潜水员或水下机器人应对安装现场及其附近区域进行勘测，验证安装现场的海床状况，以确认没有障碍物或碎片，并应具备现场障碍物清除的应急程序。在计划编制过程中，应充分考虑相关现场调研信息。

#### 5.3.4 文件资料审查

5.3.4.1 海上安装作业需要提交送审的文件包括但不限于：

- (1) 安装作业计划；
- (2) 质量检验计划；
- (3) 风险分析；
- (4) 预调查程序；
- (5) 定位程序；
- (6) 安装程序；
- (7) 后调查程序；
- (8) 甲板布置图；
- (9) 装船布置图；
- (10) 吊装索具布置图；
- (11) 装船计算分析；
- (12) 吊装计算分析；
- (13) 安装计算分析。

#### 5.3.5 资料提交

5.3.5.1 安装完成后，应整理和提交相关资料，包括施工资料、ROV 影像资料、定位资料、完工报告等，并确保提交的资料齐全并符合要求。

#### 5.3.6 铺设

5.3.6.1 纤维缆铺设程序应提交审查的包括但不限于以下内容：

- (1) 纤维缆装船、倒缆方案；
- (2) 纤维缆铺设方案；
- (3) 纤维缆预张紧方案（如适用）；
- (4) 纤维缆湿存方案；
- (5) 纤维缆铺设分析；
- (6) 应急预案。

5.3.6.2 在按照批准的程序对纤维缆进行铺设之前，应进行以下预调查工作：

- (1) ROV 对所有已安装结构进行目视检查，如锚桩/吸力锚、快速母接头和系泊基础

竣工条件等；

(2) 检查现有水下基础设施状态，记录现场预安装的任何海底基础设施，并验证位置，以确保在纤维缆铺设期间不会发生碰撞；

(3) 用 ROV 对纤维缆铺设和湿存路线进行目视调查，并应沿着每条铺设和湿存路线进行声纳扫描，调查过程中发现的任何异常或碎片应报告。在可行的情况下，应绘制、记录和清除这些异常。

5.3.6.3 通常，安装操作取决于正在安装的系泊系统、可用的安装设备、天气和现场条件。在纤维缆系泊现场铺设期间，应按顺序开展以下各项内容：

(1) 现场安装开始之前，要进行施工资源的动员与设备的测试工作；

(2) 准备工作完成后，按照批准的程序对纤维缆系泊系统进行铺设；

(3) 在铺设过程中，应进行以下现场测试和测量（如适用）：

① 定位测量系统校准和验证；

② 纤维缆触底测量；

③ 纤维缆扭转测量。

5.3.6.4 海上安装应根据纤维缆操作指导说明书，以尽量减少装卸和安装过程中的损坏，在海上铺设期间需注意如下事项：

(1) 在纤维缆倒缆与铺设之前，应检查设备与纤维缆倒缆及铺设路径上的所有潜在接触面和锐边，以确保没有可能损坏纤维缆的区域；

(2) 应为纤维缆提供甲板保护，并在滚筒和绞车上缠绕聚乙烯绳/或覆盖 PE 箔，以保护纤维缆不受锋利边缘的影响；

(3) 一般应尽量减少纤维缆与海床的接触，但在某些安装情况下，在与浮式结构物连接之前，有必要预铺设纤维缆。如果纤维缆通过了抗海水泥沙颗粒入侵试验，则允许在海底预铺纤维缆；

(4) 纤维缆铺设路由的布置方式应避免摩擦、切割或过度弯曲物造成的损坏。

#### 5.3.6.5 铺设后调查

ROV 对预铺设的纤维缆系泊系统进行铺设后调查，记录纤维缆在海底的路由。ROV 进行纤维缆扭转调查，若扭转超过接受标准，需采取应对措施释放纤维缆的扭转。

### 5.3.7 回接

5.3.7.1 纤维缆回接程序应提交审查的包括但不限于以下内容：

(1) 平台限位方案；

(2) 纤维缆回接方案；

(3) 纤维缆张紧方案；

(4) 平台限位计算分析；

(5) 纤维缆回接计算分析；

(6) 纤维缆张紧计算分析；

(7) 应急预案。

5.3.7.2 在与平台连接前，使用目视测量和声纳扫描在指定位置进行调查，并提供完整的安装前调查报告，调查内容包括：

(1) 锚桩、快速接头（如适用）和纤维缆竣工状态；

(2) ROV 将对所有安装项目进行目视检查；

(3) 纤维缆打捞回收索具状况；

(4) ROV 进行目视调查纤维缆系泊连接路由并沿每条纤维缆路由进行声纳扫描；

(5) 现场预安装的任何水下基础设施，必须注明并核实位置，确保纤维缆连接期间没有碰撞；

(6) 识别任何海底异常或碎屑。

5.3.7.3 纤维缆系泊系统回接前，应进行以下工作：

(1) 需确保有足够的天气窗口，能保证完成一定数量的纤维缆回接，使平台进入安全稳定状态；

(2) 需进行平台限位测试，限位测试满足回接要求才可进行正式回接作业；

(3) 应合理进行预张紧操作设计，以尽可能地获得永久伸长并增加缆绳刚度，并记录

每一步的预紧力水平、持续时间和缆绳伸长，与设计值进行比较；

(4) 要进行施工设备安装与测试工作。

5.3.7.4 在纤维缆系泊现场回接期间，应确保有符合施工要求的天气和现场条件，并按顺序开展以下各项内容：

(1) 按照批准的程序对纤维缆系泊系统进行回接；

(2) 在全部纤维缆系泊完成首次回接之后，开始进行提拉张紧。平台在提拉过程中尽可能地保持平衡状态（小倾角），通常采用分段提拉法进行对角提拉张紧。

5.3.7.5 纤维缆系泊系统全部回接完成后，应进行下列检查：

(1) 潜水员水下利用倾角仪测量全部纤维缆的顶链倾角，同时记录平台的吃水、系泊中心位置等数据；

(2) ROV 对纤维缆进行回接后调查，记录其关键点坐标、扭转数及水下状态。

## 第6章 在役检验

### 第1节 在役检验

#### 6.1.1 一般要求

6.1.1.1 在役检验一般应符合 CCS《海上移动平台入级规范》、《海上浮动设施入级规范》和 API RP 2I 的相关要求。

6.1.1.2 为保持使用纤维缆海上系泊系统入级证书的有效性，应按照本节规定进行各种检验（如适用时）。CCS 验船师在检验中可根据其专业判断扩大检验范围，业主应提供相应的检验条件。

6.1.1.3 在检验中，如发现海上定位系泊系统用纤维缆的损坏或缺陷并认为必须立即进行处理时，业主或其代理人应主动通知 CCS。

6.1.1.4 业主有责任向 CCS 提出保持证书有效性的各种检验的申请，并按要求作好检验的项目准备和为检验提供安全措施。

6.1.1.5 若委托方申请海上定位系泊系统用纤维缆鉴证检验可参照本指南执行。

#### 6.1.2 年度检验

6.1.2.1 所有入级系泊系统用纤维缆应进行年度检验。年度检验应在初次入级检验日期或上次特别检验日期的每周年日的前后 3 个月内进行。

6.1.2.2 年度检验项目包含：

(1) 审查纤维缆锚腿的再次张紧记录，并与设计方确认是否为塑性形变引起的拉紧预留有足够长度的链索，以确保纤维缆绳的底端不会触地，顶端不会接触到导缆器并保持在水面以下；

(2) 确认记录的蠕变值符合系统的设计预期值。任何偏差都应由设计方进行修正，并视情况采取适当的补救措施；

(3) 确认纤维缆的预张力应限制在推荐的设计限值范围内。

#### 6.1.3 特别检验

6.1.3.1 所有入级系泊系统用纤维缆应进行特别检验。特别检验可在到期之日前 1 个年度检验开始，于到期之日前完成。如特别检验开始的时间早于到期日前 1 个年度检验，则全部特别检验应在特别检验开始后的 15 个月内完成。在此情况下特别检验开始时进行的项目，方可作为特别检验的组成部分。对非常规设计、搁置状态或异常环境下的系泊系统用纤维缆，其特别检验应根据具体情况确定。

6.1.3.2 特别检验项目包含：

(1) 特别检验需要有一个详细的检验计划，确保掌握量化信息以备不时之需，同时检测者也应有一份待检物品的清单。特别检验计划应指明具体使用了何种方法及手段对系泊系统的运行工况进行检验；

(2) 特别检验包括坞内检验或水下检验（ROV 或潜水员进行），同时系泊系统所有部件的检查应使得现场验船师满意；

(3) 审查纤维缆锚腿的再次张紧记录，并与设计方确认是否为塑性形变引起的拉紧预留有足够长度的链索，以确保纤维缆不接触到下面的导缆器并保持在水面以下；

(4) 确认记录的蠕变值符合系统的设计预期值。任何偏差都应由设计方进行修正，并视情况采取适当的补救措施；

(5) 确认水下检测时纤维缆距离水面的深度以及距离海床的高度应符合设计批准图纸或制造商的技术要求；

(6) 确认水下检测时纤维缆的扭度应符合设计批准图纸或制造商的技术要求；

(7) 确认纤维缆的预张力应限制在推荐的设计限值范围内；

(8) 对纤维缆外观进行检查时应特别注意检查纤维缆绳终端的情况；

- (9) 检查缆体或缝隙处是否有异物，如有应将其清除；
- (10) 如有海生物影响缆绳的状况，应在不损坏缆绳的情况下进行清除。

#### 6.1.4 临时检验

6.1.4.1 临时检验系指不属于各种定期检验的任何检验。发生下列情况时，系泊系统的业主或其代理人应申请临时检验：

- (1) 发生系泊系统用纤维缆状态失效的损坏、缺陷或失效时；
- (2) 发生特殊事件（如经历强烈风暴或者包括坠物、碰撞、水下物体碰触干涉等事故），当该事件接近或超过纤维缆设计的极限工况和/或业主认为需要进行针对性检测或更换系泊锚腿部件时，需要向 CCS 申请临时检验；
- (3) 检验的延期。

6.1.4.2 进行特殊事件临时检验的范围应根据检测目的而定。例如，如果是因物体掉落而进行的检测，该检测宜限定在物体掉落可能损坏的区域内进行。

6.1.4.3 遭受强烈风暴（即接近于设计极限的工况）的特殊事件后，应至少按照年度检验要求进行临时检验。适用时，应考虑采取部分特别检验要求的检验措施。

6.1.4.4 进行水下系泊系统巡检时，如发现纤维缆任何破损，应及时针对破损范围和深度制定应对措施，包括增加保护、修复和更换等措施。

## 第 2 节 在位检查和维保

### 6.2.1 一般要求

6.2.1.1 系泊系统的业主或操作方应制定纤维缆的检查、维护和状态评估计划。该计划应由系泊系统操作方、缆绳制造商与 CCS 共同制定，以期各方就给定装置的整体安全评估一致。

6.2.1.2 在操作过程中，应定期监测纤维缆张力或几何形状，如有必要，应对纤维缆绳进行调整以保持定位性能。

### 6.2.2 在位检查

6.2.2.1 发生下列情况时，应进行在位检查：

- (1) 在位服役期间，若系泊系统在温和环境条件下的张力变化超过预张力的 $\pm 5\%$ ；
- (2) 经过台风等级接近系泊系统设计时所考虑等级时。

6.2.2.2 如未经历台风，建议每五年周期对系泊系统进行调整，以抵消纤维缆的蠕变带来的纤维缆松弛。

6.2.2.3 应对服役期间的在位监测和检测数据保存记录。

### 6.2.3 在位维保

6.2.3.1 水下进行系泊系统检查，发现纤维缆任何破损，及时针对破损范围和深度制定应对措施，包括增加保护、修复和更换决策。检查内容包括：

- (1) 整体维保：检测纤维缆海生物生长状态，并检查纤维缆的扭转状态；
- (2) 眼环维保：检查纤维缆眼环位置是否损坏。如损坏，需报 CCS，并分析原因和制定处理措施；修复结果报 CCS；
- (3) 护套：检查护套是否被损坏，并记录护套的损坏程度；如果损坏没有穿透护套，子绳完好，则不需要修理护套；如果损坏穿透护套，但未穿透防沙层，且子绳完好，则视护套的损坏程度，采取相应的修理措施；
- (4) 防沙层：检查防沙层是否损坏，如果防沙层损坏但未穿透，需要进行评估并采取措施；
- (5) 子绳：如果防沙层损坏，则应对子绳进行检查。解开距离损坏区域一侧大约 0.3 米的护套，计算并记录损坏的子绳数量，记录损坏子绳的识别标记，评估子绳损坏程度，从而确定是否使用该缆绳。

6.2.3.2 在海上进行维修操作时必须保证完善的设施设备并严格按照权威机构规定程序进行。修复程序应包括：

- (1) 缆绳的维修情况说明,以及可以用来恢复缆绳强度的直列式拼接或终端拼接技术;
- (2) 外层护套和防沙层损坏可修复情况说明, 以及各类设施和设备的修复要求;
- (3) 详细记录受损区域的情况;
- (4) 去除缆绳承重部分中有明显磨损的部分;
- (5) 防止磨损颗粒进一步进入缆绳的承重部分;
- (6) 确保缆绳在重新布置后不会进一步受到损伤。

所有的缆绳修复及直列式接头、终端接头都应保持与新造缆绳相同的质量控制程序。