

中国电机工程学会标准  
交流 500kV 交联聚乙烯海底电缆及  
附件技术规范

T / CSEE 0083 — 2018

\*

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京九天众诚印刷有限公司印刷

\*

2019 年 1 月第一版 2019 年 1 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 3.25 印张 93 千字

\*

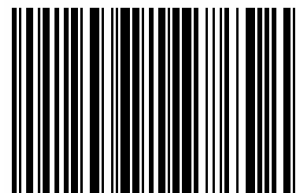
统一书号 155198 · 1136 定价 83.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电机工程学会官方微信



155198.1136

ICS 29.060.20

K 13

**CSEE**

# 中国电机工程学会标准

T/CSEE 0083 — 2018

---

## 交流 500kV 交联聚乙烯海底电缆及 附件技术规范

Technical code for AC 500kV submarine cables with cross-linked polyethylene insulation and their accessories



2018-12-25 发布

2019-03-01 实施

---

中国电机工程学会 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	2
4 额定电压和运行条件	3
5 型号、规格和标志	4
6 材料及技术要求	6
7 试验项目及试验条件	12
8 例行试验	16
9 抽样试验	18
10 海底电缆系统型式试验	22
11 海底电缆系统预鉴定试验及预鉴定扩展试验	30
12 安装后电气试验	34
13 验收规则	34
14 包装、运输和储存	35
附录 A (资料性附录) 海底电缆及附件代号、产品表示方法	36
附录 B (资料性附录) 交联聚乙烯绝缘料、半导体屏蔽料、半导体护套料的性能	38
附录 C (资料性附录) 半导体橡胶带、环氧树脂固化体、硅油的性能	40
附录 D (规范性附录) 张力弯曲试验方法	42
附录 E (规范性附录) 张力试验方法	44
附录 F (规范性附录) 导体透水试验、金属套下透水试验、接头径向透水试验方法	45

## 前 言

本标准按照《中国电机工程学会标准管理办法（暂行）》的要求，依据 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国电机工程学会提出。

本标准由中国电机工程学会高电压专业委员会技术归口并解释。

本标准起草单位：国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、中国电力科学研究院有限公司、电力工业电气设备质量检验检测中心、浙江舟山海洋输电研究院有限公司、南瑞集团有限公司、宁波东方电缆股份有限公司、江苏亨通高压海缆有限公司、中天科技海缆有限公司、青岛汉缆股份有限公司。

本标准主要起草人：胡列翔、王少华、赵健康、周自强、王晓建、杨黎明、阎孟昆、饶文彬、李特、徐明忠、欧阳本红、任广振、郑新龙、胡文堂、刘浩军、刘黎、曹俊平、周象贤、江贞星、高震、梁正波、朱智恩、樊友兵、张振鹏、周则威、潘文林、段伟喜、张建民、江航、周路遥、杨勇、高凯、黄友聪、邓显波。

本标准为首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：[cseebz@csee.org.cn](mailto:cseebz@csee.org.cn)）。

# 交流 500kV 交联聚乙烯海底电缆及附件技术规范

## 1 范围

本标准规定了交流 500kV 交联聚乙烯海底电缆及附件的运行条件，型号、规格和标志，材料及技术要求，试验项目及试验条件，试验，验收规则，以及包装、运输和储存等。

本标准适用于固定敷设在海底的 500kV 单芯交联聚乙烯绝缘海底电缆、光纤复合交联聚乙烯绝缘海底电缆及附件。

## 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 311.1 绝缘配合 第 1 部分：定义、原则和规则

GB/T 1527 铜及铜合金拉制管

GB/T 2951.11—2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 11 部分：通用试验方法——厚度和外形尺寸测量——机械性能试验

GB/T 2951.12—2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 12 部分：通用试验方法——热老化试验方法

GB/T 2951.21—2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 21 部分：弹性体混合料专用试验方法——耐臭氧试验——热延伸试验——浸矿物油试验

GB/T 2951.31—2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 31 部分：聚氯乙烯混合料专用试验方法——高温压力试验——抗开裂试验

GB/T 3048.4 电线电缆电性能试验方法 第 4 部分：导体直流电阻试验

GB/T 3048.8 电线电缆电性能试验方法 第 8 部分：交流电压试验

GB/T 3048.11 电线电缆电性能试验方法 第 11 部分：介质损耗角正切试验

GB/T 3048.12 电线电缆电性能试验方法 第 12 部分：局部放电试验

GB/T 3048.13 电线电缆电性能试验方法 第 13 部分：冲击电压试验

GB/T 3082 铠装电缆用热镀锌或热镀锌-5%铝-混合稀土合金镀层低碳钢丝

GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带

GB/T 3956 电缆的导体

GB/T 4109 交流电压高于 1000V 的绝缘套管

GB/T 4423 铜及铜合金拉制棒

GB/T 4909.3 裸电线试验方法 第 3 部分：拉力试验

GB/T 6995.2 电线电缆识别标志方法 第 2 部分：标准颜色

GB/T 7354 局部放电测量

GB/T 8287.1 标准电压高于 1000V 系统用户内和户外支柱绝缘子 第 1 部分：瓷或玻璃绝缘子的试验

GB/T 9771（所有部分）通信用单模光纤

GB/T 11017.1—2014 额定电压 110kV ( $U_m=126kV$ ) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 1 部分：试验方法和要求

GB/T 11604 高压电气设备无线电干扰测试方法

- GB/T 12357 (所有部分) 通信用多模光纤
- GB/T 12464 普通木箱
- GB/T 15065 电线电缆用黑色聚乙烯塑料
- GB/T 15972.40 光纤试验方法规范 第 40 部分: 传输特性和光学特性的测量方法和试验程序 衰减
- GB/T 15972.42 光纤试验方法规范 第 42 部分: 传输特性和光学特性的测量方法和试验程序 波长色散
- GB/T 16927.1 高电压试验技术 第 1 部分: 一般定义及试验要求
- GB/T 18480 海底光缆规范
- GB/T 20779.2 电力防护用橡胶材料 第 2 部分: 电缆附件用橡胶材料
- GB/T 21429 户外和户内电气设备用空心复合绝缘子 定义、试验方法、接收准则和设计推荐
- GB/T 22078.1 额定电压 500kV ( $U_m=550kV$ ) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 1 部分: 额定电压 500kV ( $U_m=550kV$ ) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件——试验方法和要求
- GB/T 22078.2 额定电压 500kV ( $U_m=550kV$ ) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 2 部分: 额定电压 500kV ( $U_m=550kV$ ) 交联聚乙烯绝缘电力电缆
- GB/T 22078.3 额定电压 500kV ( $U_m=550kV$ ) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第 3 部分: 额定电压 500kV ( $U_m=550kV$ ) 交联聚乙烯绝缘电力电缆附件
- GB/T 22381 额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备与充流体及挤包绝缘电力电缆的连接 充流体及干式电缆终端
- GB/T 23752 额定电压高于 1000V 的电器设备用承压和非承压空心瓷和玻璃绝缘子
- GB/T 26011 电缆护套用铅合金锭
- GB/T 26218.1 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 1 部分: 定义、信息和一般原则
- GB/T 32346.1—2015 额定电压 220kV ( $U_m=252kV$ ) 交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆及附件 第 1 部分: 试验方法和要求
- GB/T 32346.2 额定电压 220kV ( $U_m=252kV$ ) 交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆及附件 第 2 部分: 大长度交流海底电缆
- GB/T 32346.3 额定电压 220kV ( $U_m=252kV$ ) 交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆及附件 第 3 部分: 海底电缆附件
- JB/T 10181.11—2014 电缆载流量计算 第 11 部分: 载流量公式 (100%负荷因数) 和损耗计算 一般规定
- YD/T 814.3 光缆接头盒 第 3 部分: 浅海光缆接头盒
- YD/T 839 (所有部分) 通信光缆用填充和涂覆复合物
- IEC 60183: 2015 高压电缆选择导则 (Guidance for the selection of high-voltage A.C. cable systems)
- IEC 62271-209: 2007 高压开关和控制设备 第 209 部分: 额定电压 52kV 以上气体绝缘金属封闭开关的电缆连接——充流体和挤包绝缘电缆——充流体和干式电缆终端 (High-voltage switchgear and controlgear—Part 209: Cable connections for gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52kV—Fluid-filled and extruded insulation cables—Fluid-filled and dry-type cable-terminations)
- IEC/TR 62271-301: 2009 高压开关设备和控制设备 第 301 部分: 高压端子尺寸标准化 (High-voltage switchgear and controlgear—Part 301: Dimensional standardization of high-voltage terminals)

### 3 术语和定义

GB/T 22078.1~GB/T 22078.3、GB/T 32346.1~GB/T 32346.3 界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 额定电压和运行条件

### 4.1 额定电压

额定电压是电缆设计和电性能试验的基准电压。本标准用  $U_0$ 、 $U$  和  $U_m$  标识，这些符号的意义由 IEC 60183: 2015 给出：

- a)  $U_0$ ——电缆设计用的导体对地或金属屏蔽或金属套之间的额定电压有效值，kV；
- b)  $U$ ——电缆设计用的不同相导体间的额定电压有效值，kV；
- c)  $U_m$ ——设备最高工作电压有效值，kV。

在本标准中： $U_0=290\text{kV}$ ； $U=500\text{kV}$ ； $U_m=550\text{kV}$ 。

### 4.2 工作温度

电缆导体最高允许工作温度，正常运行时为  $90^\circ\text{C}$ ；短路时（最长持续时间不超过 5s）为  $250^\circ\text{C}$ 。

### 4.3 环境条件（适用于户外终端）

#### 4.3.1 标准参考大气条件

标准参考大气条件为：

- a) 温度： $t_0=20^\circ\text{C}$ ；
- b) 压力： $p_0=101.3\text{kPa}$ ；
- c) 绝对湿度： $H_0=11\text{g/m}^3$ 。

本标准规定的试验电压均为相应于标准参考大气条件下的数值。

#### 4.3.2 使用条件

本标准规定的试验电压，适用于下列使用条件下运行的设备：

- a) 周围环境最高空气温度不超过  $40^\circ\text{C}$ ；
- b) 安装地点的海拔不超过 1000m。

#### 4.3.3 试验电压值修正

- a) 对周围环境空气温度高于  $40^\circ\text{C}$  处的设备，其外绝缘在干燥状态下的试验电压应取本标准规定的试验电压值乘以温度修正因数  $K_i$ ，见式 (1)：

$$K_i=1+0.0033(t-40) \quad (1)$$

式中：

$t$ ——环境空气温度， $^\circ\text{C}$ 。

- b) 安装地点海拔超过 1000m，但不超过 4000m 的设备，其试验电压应按照 GB/T 16927.1 进行空气密度修正。

#### 4.3.4 污秽环境

外绝缘污秽等级应满足 GB/T 26218.1 的规定。

#### 4.3.5 特殊环境条件

设计用于特殊环境条件，例如地震、飓风、覆冰等非正常条件下运行的设备，可能需要某些特定的试验，见 GB/T 21429、GB/T 23752 和 GB/T 4109，本标准不作规定。

## 5 型号、规格和标志

## 5.1 海底电缆型号、规格和标志

## 5.1.1 海底电缆型号

海底电缆代号参见附录 A。海底电缆型号依次由产品系列代号，绝缘、导体、金属套、外被层特征代号和产品代号组成。本标准包括的海底电缆型号和名称见表 1。

表 1 海底电缆型号和名称

型 号	名 称
HYJQ41	交联聚乙烯绝缘 铅套 粗圆钢丝铠装 聚丙烯纤维外被层 海底电缆
HYJQ441	交联聚乙烯绝缘 铅套 双粗圆钢丝铠装 聚丙烯纤维外被层 海底电缆
HYJQ71	交联聚乙烯绝缘 铅套 扁铜线铠装或圆铜丝铠装 聚丙烯纤维外被层 海底电缆
HYJQ771	交联聚乙烯绝缘 铅套 双扁铜线铠装或双圆铜丝铠装 聚丙烯纤维外被层 海底电缆
HYJQ91	交联聚乙烯绝缘 铅套 扁钢丝铠装 聚丙烯纤维外被层 海底电缆
HYJQ991	交联聚乙烯绝缘 铅套 双扁钢丝铠装 聚丙烯纤维外被层 海底电缆
HYJQ41-F	交联聚乙烯绝缘 铅套 粗圆钢丝铠装 聚丙烯纤维外被层 光纤复合海底电缆
HYJQ441-F	交联聚乙烯绝缘 铅套 双粗圆钢丝铠装 聚丙烯纤维外被层 光纤复合海底电缆
HYJQ71-F	交联聚乙烯绝缘 铅套 扁铜丝铠装或圆铜丝铠装 聚丙烯纤维外被层 光纤复合海底电缆
HYJQ771-F	交联聚乙烯绝缘 铅套 双扁铜丝铠装或圆铜丝铠装 聚丙烯纤维外被层 光纤复合海底电缆
HYJQ91-F	交联聚乙烯绝缘 铅套 扁钢丝铠装 聚丙烯纤维外被层 光纤复合海底电缆
HYJQ991-F	交联聚乙烯绝缘 铅套 双扁钢丝铠装 聚丙烯纤维外被层 光纤复合海底电缆

## 5.1.2 海底电缆规格

海底电缆规格用电缆芯数、导体截面积标称值、光纤芯数和光纤类别表示。本标准包括的海底电缆规格见表 2。

表 2 海底电缆规格

型 号	截面积标称值 mm <sup>2</sup>
HYJQ41, HYJQ441 HYJQ41-F, HYJQ441-F HYJQ71, HYJQ771 HYJQ71-F, HYJQ771-F HYJQ91, HYJQ991 HYJQ91-F, HYJQ991-F	800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2500
注：用户有要求时允许采用其他截面积的导体。	

## 5.1.3 海底电缆产品表示方法

海底电缆产品表示方法参见附录 A。



### 5.1.4 海底电缆标志

- a) 采用标志带、非金属护套上印字方式作为标志。标志内容应包括制造商名称、产品型号、额定电压、导体截面积和制造年份的连续标志。
- b) 成品电缆外被层表面应有明显的长度标记。电缆两端头的 1000m 长度内，每 50m 应有一个连续的长度标记，电缆中间每 100m 或 50m 应有一个连续的长度标记，标志应字迹清楚、容易辨认、耐摩擦。
- c) 工厂接头处应有醒目的永久标志，标志应符合 GB/T 6995.2 的规定。

## 5.2 海底电缆附件型号、规格和标志

### 5.2.1 海底电缆附件型号

海底电缆附件代号参见附录 A。海底电缆附件型号依次由产品系列代号、附件代号、绝缘代号、接头外保护盒及外保护层代号组成。本标准包的海底电缆附件型号和名称见表 3。

表 3 海底电缆附件型号和名称

型 号		产 品 名 称
主型号	含副型号	
HYJZWY	HYJZWY4	交联聚乙烯绝缘海底电缆液体填充绝缘瓷套管终端，外绝缘污秽等级 e 级或更严
HYJZFY	HYJZFY4	交联聚乙烯绝缘海底电缆液体填充绝缘复合套管终端，外绝缘污秽等级 e 级或更严
HYJZGG	—	交联聚乙烯绝缘海底电缆干式绝缘 GIS 终端
HYJZGY	—	交联聚乙烯绝缘海底电缆液体填充绝缘 GIS 终端
HYJXXI	HYJXXI2	交联聚乙烯绝缘海底电缆整体预制绝缘件修理接头，金属保护盒含防水浇注剂
HYJXXZ	HYJXXZ2	交联聚乙烯绝缘海底电缆组合预制绝缘件修理接头，金属保护盒含防水浇注剂
HYJJR	—	交联聚乙烯绝缘海底电缆工厂接头（如需要）
HYJJG	—	交联聚乙烯绝缘海底电缆与陆上电缆的过渡接头

### 5.2.2 海底电缆附件规格

海底电缆附件规格用额定电压、适用电缆的相数及导体截面积表示。海底电缆附件规格应与所配套的电导体截面相适配。

### 5.2.3 海底电缆附件产品表示方法

海底电缆附件产品表示方法参见附录 A。

### 5.2.4 海底电缆附件标志

- a) 除工厂接头外，每个出厂的电缆附件产品应带有明显的耐久性标志，包括制造商名称、型号规格、额定电压、生产日期及编号。
- b) 接头保护盒、预制绝缘件等部件应采用适当的方式标明制造商名称、型号、规格。

## 6 材料及技术要求

### 6.1 海底电缆要求

#### 6.1.1 导体

- a) 导体应采用符合 GB/T 3956 相关规定的第 2 类紧压绞合圆形铜导体。用户有要求时，协商一致也可采用其他导体结构，如拱形单线绞合导体或分层绝缘导体。
- b) 导体表面应光洁，无油污，无损伤屏蔽及绝缘的毛刺、锐边以及凸起或断裂的单线。
- c) 制造长度上的海底电缆导体不应有整芯或整股焊接。导体中的单线允许焊接，但在同一层内，相邻两个接头之间的距离不应小于 300mm。

#### 6.1.2 绝缘

##### 6.1.2.1 绝缘料

绝缘料应采用超净的交联聚乙烯绝缘料，绝缘料的性能要求参见附录 B。

##### 6.1.2.2 绝缘厚度

绝缘厚度标称值应符合表 4 的规定。

表 4 绝缘厚度标称值

导体截面积标称值 mm <sup>2</sup>	绝缘厚度标称值 mm
800	34
1000, 1200	33
1400, 1600	32
1800, 2000, 2200, 2500	31

#### 6.1.3 半导体屏蔽

##### 6.1.3.1 分类

半导体屏蔽分为导体屏蔽和绝缘屏蔽。

##### 6.1.3.2 半导体料

挤包半导体屏蔽用半导体料应采用超光滑交联型的半导体屏蔽料，半导体屏蔽料的性能要求参见附录 B。

##### 6.1.3.3 导体屏蔽

导体屏蔽由半导体包带和挤包半导体层组成。其厚度近似值为 2.5mm，其中挤包半导体层最小厚度不小于 1.2mm。挤包半导体层应均匀地包覆在半导体包带外，并牢固地粘在绝缘层上。半导体层与绝缘层的界面应光滑，无明显绞线凸纹、尖角、颗粒、焦烧、气隙及擦伤的痕迹。

##### 6.1.3.4 绝缘屏蔽

绝缘屏蔽为挤包半导体层，其最小厚度不小于 0.8mm，绝缘屏蔽应与导体挤包屏蔽层和绝缘层一

起三层共挤，绝缘屏蔽应均匀地包覆在绝缘层表面，并牢固地黏附在绝缘层上。绝缘屏蔽的表面以及与绝缘层的界面应光滑，无尖角、颗粒、烧焦、气隙或擦伤的痕迹。

#### 6.1.4 纵向阻水层

##### 6.1.4.1 纵向阻水层构成和要求

- a) 在绝缘屏蔽层外应有纵向阻水层，纵向阻水层可采用半导电阻水膨胀带绕包而成。半导电阻水膨胀带应绕包紧密、平整、无褶皱、无擦伤。
- b) 纵向阻水层应使绝缘半导电屏蔽层与金属屏蔽层保持均匀接触，导通性能良好。

##### 6.1.4.2 半导电阻水膨胀带要求

- a) 半导电阻水膨胀带的体积电阻率应与电缆挤包绝缘屏蔽的体积电阻率相适应。
- b) 半导电阻水膨胀带应与其相邻的其他材料相容。

#### 6.1.5 金属套

##### 6.1.5.1 材料要求

应采用金属套作为径向阻水层，金属套一般采用连续挤包的无缝铅套。铅套用铅合金材料应符合 GB/T 26011 的规定。

##### 6.1.5.2 铅套的标称厚度

铅套的标称厚度应符合表 5 的规定。当其通流能力不能满足用户对短路容量的要求时，应采取增加金属套厚度或增加铜丝屏蔽的措施。

表 5 铅套标称厚度

导体标称截面积 mm <sup>2</sup>	铅套厚度 mm
800	3.9
1000	3.9
1200	4.0
1400	4.1
1600	4.2
1800	4.2
2000	4.3
2200	4.3
2500	4.4

#### 6.1.6 非金属内护套

##### 6.1.6.1 内护套材料

- a) 金属套外应挤包聚合物内护套作为防护层。对金属套和铠装两端短接接地的大长度单芯海底电缆，铅套外一般挤包以聚乙烯为基料的半导电护套作为内护套，也可挤包以聚乙烯为基料的绝缘型护套（ST<sub>7</sub> 型）作为内护套，但必须采取适当的方式，沿电缆长度方向以一定的间隔距离

将金属套和铠装层进行互联连接，并做好连接处的防水处理，金属套与铠装连接点透水性能试验应符合 10.6.5 的规定。登陆段陆上电缆单端互联接地运行时，应采用以聚乙烯为基料的绝缘型护套（ST<sub>7</sub>型）作为内护套。

- b) 半导体护套料的性能参见附录 B。
- c) 内护套的颜色一般为黑色，经供需双方协商，也可采用其他颜色。

#### 6.1.6.2 内护套的标称厚度

内护套的标称厚度应符合表 6 的规定。

表 6 内护套标称厚度

导体标称截面积 mm <sup>2</sup>	内护套厚度 mm
800	4.0
1000	4.0
1200	4.0
1400	4.0
1600	4.0
1800	4.0
2000	4.2
2200	4.2
2500	4.2

#### 6.1.7 防蛀层

当需要时，可以在内护套外绕包金属带作为防蛀层。

#### 6.1.8 内衬层

- a) 金属铠装层下应有内衬层。内衬层可采用聚丙烯绳绕包层，并在内衬层外面均匀涂敷沥青或其他合适的防腐材料。
- b) 内衬层的近似厚度不小于 1.5mm。
- c) 有光纤单元时，光纤单元应放置于内衬层中。内衬层可选用其他合适材料和方式，使光纤单元在制造、敷设安装过程中不受损伤。

#### 6.1.9 金属丝铠装层

- a) 金属丝铠装材料宜采用铜丝，也可采用镀锌钢丝或其他经验证耐海水腐蚀的金属材料。
- b) 当海底电缆要求具有很强拉力及机械保护情况下需采用镀锌钢丝铠装时，应充分考虑钢丝铠装层的交流损耗及对电缆载流量的影响，镀锌钢丝应符合 GB/T 3082 的规定。
- c) 铠装圆铜丝的直径一般为 6.0mm、7.0mm、8.0mm。如用户另有要求，可采用比规定直径更大的铜丝。
- d) 铠装圆钢丝的直径一般为 6.0mm、8.0mm，钢丝直径不包括钢丝上可能有的非金属防蚀层。如用户另有要求，可采用比规定直径更大的钢丝。
- e) 铠装扁金属丝的厚度一般为 2.0mm、2.5mm、3.0mm、3.5mm。如用户要求或协商同意，可采用比规定厚度更厚的扁金属丝。
- f) 金属丝铠装应很紧密，即相邻金属线间的间隙不大于所使用金属丝的直径。

### 6.1.10 外被层

- a) 电缆外被层一般采用纤维外被层。纤维外被层应有均匀涂敷的沥青或其他合适的防腐材料作为防腐层。纤维外被层的近似厚度为 4.0mm。
- b) 除纤维外被层外，可采用其他合适结构的外被层。

### 6.1.11 光纤单元

#### 6.1.11.1 材料

- a) 根据用户要求可采用单模光纤或多模光纤。单模光纤应符合 GB/T 9771 的规定，多模光纤应符合 GB/T 12357 的规定。
- b) 松套管材料宜采用不锈钢，不锈钢带材性能应符合 GB/T 3280 中 06Cr19Ni10 的规定。
- c) 填充化合物应采用符合 YD/T 839 要求的材料或等效材料。
- d) 护套可采用符合 GB/T 15065 规定的中密度或高密度聚乙烯材料，也可根据需要采用其他合适材料。

#### 6.1.11.2 结构

##### 6.1.11.2.1 基本要求

光纤单元宜采用中心束管式结构。经供需双方协商，也可采用其他结构。光纤单元结构应是全截面阻水结构，光纤单元护套以内的所有间隙应充满复合物或采用其他有效阻水措施。

##### 6.1.11.2.2 光纤

- a) 每一松套管中的光纤数宜为 2 芯~24 芯，可根据需要增加光纤芯数。
- b) 为便于识别，各光纤涂覆层表面应着色，并按 GB/T 6995.2 规定的颜色色码进行标识，具体见表 7。对于单管超过 12 芯的光纤，应采用色环或等效方式区分。

表 7 识别色码

色码	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
颜色	蓝	桔	绿	棕	灰	白	红	黑	黄	紫	粉红	青绿

##### 6.1.11.2.3 松套管及填充化合物

- a) 松套管可采用单层不锈钢结构，也可采用不锈钢复合结构。松套管应具有良好的机械性能和加工性能。不锈钢管宜采用激光焊接，焊接应连续、完整、无虚焊、无气孔。
- b) 松套管内的填充化合物应均匀分布，易于去除。
- c) 松套管的尺寸应规定管外径和管壁厚度，松套管外径和壁厚的标称尺寸可随管中的光纤芯数改变，但在同一光纤单元中应相同。光纤在松套管中的余长应均匀稳定。

##### 6.1.11.2.4 加强件

根据电缆结构要求，应采用合适方法使光纤单元得到有效保护。

##### 6.1.11.2.5 护套

护套采用挤包聚乙烯。护套厚度可根据用户要求确定，金属丝铠装的光纤单元护套的近似厚度不

应小于 0.8mm。内护套应无针孔、裂口等缺陷。

## 6.2 海底电缆附件要求

### 6.2.1 导体连接金具

- a) 导体连接杆应采用符合 GB/T 4423 规定的铜材制造。
- b) 导体连接管应采用符合 GB/T 1527 规定的铜材制造。压接型导体连接管的铜含量不应低于 99.9%，并经退火处理。
- c) 终端的接线端子应采用导电性良好的铜或铜合金制造，其尺寸应符合 IEC/TR 62271—301:2009 的要求。
- d) 导体连接金具的表面应光滑、洁净，不应有损伤、毛刺和凹凸斑痕及其他影响电气接触和机械强度的缺陷。铸造成型的接线端子的接触面及连接孔不得有气孔、砂眼和夹渣等缺陷。
- e) 连接金具的规格不应小于电缆导体截面。连接金具的机械强度应满足安装和运行条件的要求。

### 6.2.2 结构金具

- a) 附件结构金具（金属壳体、法兰、套管、包围支架等）应采用非磁性金属材料。
- b) 所有密封金具应有良好的组装密封性和配合性，不应有组装后造成泄漏的缺陷，如划伤、凹痕等。

### 6.2.3 密封圈及半导电橡胶带

- a) 附件用密封圈应与相接触的材料相容，并能在额定负荷下长期保持使用功能。
- b) 半导电屏蔽用橡胶带应是交联型的，其性能参见附录 C 表 C.1。

### 6.2.4 橡胶应力锥及预制橡胶绝缘件

- a) 橡胶应力锥及预制橡胶绝缘件用绝缘料与半导电料的性能应符合 GB/T 20779.2 的要求（其中的人工气候老化和耐电痕试验不适用）。
- b) 橡胶应力锥及预制橡胶绝缘件应无气泡、焦烧物和其他有害杂质，内外表面应光滑，无伤痕、裂痕和突起物。绝缘与半导电屏蔽的界面应结合良好，应无裂纹和剥离现象。半导电屏蔽内应无有害杂质。
- c) 橡胶绝缘件的尺寸规格应与电缆主绝缘的外径相适配。

### 6.2.5 环氧预制件及环氧套管

- a) 环氧树脂固化体的性能参见附录 C 表 C.2。环氧预制件及环氧套管应无有害杂质、气孔，内外表面应光滑、无缺陷。绝缘体与预埋金属件应结合良好，无裂纹、气隙、变形等异常情况。
- b) 环氧预制件的套管的密封性能应符合 10.9.2 的试验要求。

### 6.2.6 瓷套管

瓷套管应符合 GB/T 23752 的要求，污秽等级为 e 级或更严（推荐最小统一爬电比距 53.7mm/kV）。

### 6.2.7 复合套管

复合套管应符合 GB/T 21429 的要求，污秽等级为 e 级或更严（推荐最小统一爬电比距 53.7mm/kV）。

### 6.2.8 支柱绝缘子

支柱绝缘子应符合 GB/T 8287.1 的要求。

### 6.2.9 液体绝缘填充剂

液体绝缘填充剂应与相接触的绝缘材料及结构材料相容。对于 500kV 终端推荐采用经真空抽气的、符合附录 C 表 C.3 要求的硅油作为液体绝缘填充剂。

### 6.2.10 GIS 终端

- a) GIS 终端与 GIS 组合电器的安装连接尺寸应符合 IEC 62271—209: 2007 (或 GB/T 22381) 的要求。当 GIS 终端制造商与 GIS 组合电器制造商协商同意时, 也可以采用其他配合尺寸。
- b) GIS 终端应防止外绝缘的 SF<sub>6</sub> 气体进入终端及电缆系统, 例如采用出线杆插入电极嵌入环氧套管的 GIS 终端结构。

### 6.2.11 工厂接头

海底电缆的工厂接头应为模塑型 (如挤塑模塑接头等), 且应符合下列要求:

- a) 导体之间焊接的抗拉强度不应小于电缆本体抗拉强度的 85%;
- b) 绝缘应采用与电缆本体相同的交联聚乙烯绝缘料;
- c) 工厂接头恢复后铅套外径不宜超过电缆本体铅套外径的 20%;
- d) 工厂接头绝缘杂质、微孔和半导体屏蔽层与绝缘层界面微孔、突起应与电缆本体要求相同;
- e) 工厂接头绝缘的偏心度不宜大于 15%。

### 6.2.12 修理接头

#### 6.2.12.1 分类

修理接头主要分为软接头型修理接头和刚性修理接头两类。根据需要, 修理接头也可以用作交货长度电缆现场安装的接头。

#### 6.2.12.2 软接头型修理接头

软接头型修理接头的内部设计类似于工厂接头, 外径近似于电缆外径。应特别注意此类修理接头的金属铠装线的恢复处理, 应保证接头处的金属铠装恢复柔性连接并具有足够强度, 以避免金属铠装线松弛而使海底电缆敷设时电缆芯承受过度张力。

#### 6.2.12.3 刚性修理接头

- a) 刚性修理接头的内部设计通常采用预制结构, 也可类似于工厂接头。外部设计应具有良好的机械性能和防海水腐蚀性能, 可以耐受敷设和运行时所受的机械弯曲、机械张力和扭转的要求, 金属保护盒宜采用高强度不锈钢材料制成。
- b) 修理接头应具有完善的防水密封构件并做好防水浇注剂灌封工艺措施。
- c) 光纤复合海底电缆修理接头的整体水密封构件中应包含用于光纤单元的接线盒, 同时做好防水浇注剂灌封处理。光纤单元接线盒应符合 YD/T 814.3 的规定。

### 6.2.13 海底电缆与陆上电缆的过渡接头

- a) 过渡接头的内部设计通常是主绝缘为预制绝缘件, 外部设计应充分考虑使用环境状况, 必要时采用刚性修理接头形式。
- b) 过渡接头的海底电缆端应采用锚固装置固定, 并对过渡接头进行固定。

## 7 试验项目及试验条件

## 7.1 试验项目

海底电缆及附件试验分为例行试验（代号为 R）、抽样试验（代号为 S）、电缆系统型式试验（代号为 T）、电缆系统预鉴定试验（代号为 PQ）和电缆系统预鉴定扩展试验（代号为 EQ）。

a) 海底电缆及附件例行试验项目、要求及方法见表 8。

表 8 海底电缆及附件例行试验项目、要求及方法

序号	试验项目	试验类型	试验要求	试验方法
1	制造长度电缆试验			
1.1	局部放电试验	R	8.1.1	GB/T 3048.12
1.2	电压试验	R	8.1.2	GB/T 3048.8
2	工厂接头试验			
2.1	局部放电试验	R	8.2.1	GB/T 3048.12
2.2	电压试验	R	8.2.2	GB/T 3048.8
2.3	X 射线检验	R	8.2.3	8.2.3
2.4	铅套外径检查	R	8.2.4	
3	交货长度电缆例行试验			
3.1	电压试验	R	8.3.2	GB/T 3048.8
3.2	局部放电试验	R	8.3.3	GB/T 3048.12
4	修理接头例行试验			
4.1	预制绝缘件局部放电试验	R	8.4.2	GB/T 7354、GB/T 3048.12
4.2	预制绝缘件电压试验	R	8.4.3	GB/T 3048.8
5	过渡接头例行试验	R	8.5	
6	终端例行试验	R	8.6	
7	光纤单元试验			
7.1	光纤色谱识别	R	8.7.1	目测
7.2	光纤衰减系数测量	R	8.7.2	GB/T 15972.40

b) 海底电缆及附件抽样试验项目、要求及方法见表 9。

表 9 海底电缆及附件抽样试验项目、要求及方法

序号	试验项目	试验类型	试验要求	试验方法
1	电缆抽样试验			
1.1	导体检验	S	9.1.4	
1.2	导体电阻测量	S	9.1.5	GB/T 3048.4
1.3	绝缘厚度测量	S	9.1.6	GB/T 2951.11—2008
1.4	内护套厚度测量	S	9.1.6	GB/T 2951.11—2008
1.5	金属套厚度测量	S	9.1.7	GB/T 2951.11—2008



表 9 (续)

序号	试 验 项 目	试验类型	试验要求	试 验 方 法
1.6	铠装金属丝测量	S	9.1.8	9.1.8
1.7	直径测量	S	9.1.9	GB/T 2951.11—2008
1.8	XLPE 绝缘热延伸试验	S	9.1.10	GB/T 2951.21—2008
1.9	电容测量	S	9.1.11	GB/T 3048.11
1.10	局部放电试验	S	9.1.12	GB/T 3048.12
1.11	雷电冲击电压试验及随后的工频电压试验	S	9.1.13	GB/T 3048.13
1.12	导体屏蔽、绝缘屏蔽体积电阻率测量	S	9.1.14	GB/T 32346.1—2015 附录 A
1.13	半导体护套（如适用）体积电阻率测量	S	9.1.14	GB/T 32346.1—2015 附录 A
2	工厂接头抽样试验			
2.1	局部放电试验	S	9.2.2	GB/T 3048.12
2.2	电压试验	S	9.2.2	GB/T 3048.8
2.3	雷电冲击电压试验	S	9.2.3	GB/T 3048.13
2.4	XLPE 绝缘热延伸试验	S	9.2.4	GB/T 2951.21—2008
2.5	导体接头拉力试验	S	9.2.5	GB/T 4909.3
2.6	偏心度检测	S	9.2.6	

c) 海底电缆系统型式试验项目、要求及方法见表 10。

表 10 海底电缆系统型式试验项目、要求及方法

序号	试 验 项 目	试验类型	试验要求	试 验 方 法
1	绝缘厚度检查	T	10.4	GB/T 2951.11—2008
2	电缆（含工厂接头，若有）机械型式试验			
2.1	卷绕试验	T	10.5.1.2	10.5.1.2
2.2	张力弯曲试验	T	10.5.1.3	附录 D
3	透水试验	T	10.6	10.6、附录 F
4	电缆（含工厂接头，若有）电气型式试验	T		
4.1	环境温度下的局部放电试验	T	10.7.2.1	GB/T 3048.12
4.2	$\tan\delta$ 测量	T	10.7.2.2	GB/T 3048.11
4.3	热循环电压试验	T	10.7.2.3	GB/T 3048.8
4.4	环境温度和高温下的局部放电试验	T	10.7.2.4	GB/T 3048.12
4.5	操作冲击电压试验	T	10.7.2.5	GB/T 3048.13
4.6	雷电冲击电压试验及随后的工频电压试验	T	10.7.2.6	GB/T 3048.13
4.7	目测检验电缆和附件	T	10.7.2.7	目测检验
4.8	半导体屏蔽体积电阻率测量	T	10.7.2.8	GB/T 32346.1—2015 附录 A

表 10 (续)

序号	试 验 项 目	试验类型	试验要求	试 验 方 法
5	电缆组件和成品电缆段的非电气型式试验	T		
5.1	电缆结构检验	T	10.8.1	GB/T 2951.11—2008
5.2	老化前后绝缘材料机械性能试验	T	10.8.2	10.8.2
5.3	半导体护套体积电阻率测量	T	10.7.2.8	GB/T 2951.12—2008
5.4	老化前后内护套机械性能试验	T	10.8.3	10.8.3
5.5	成品电缆段相容性老化试验	T	10.8.4	GB/T 2951.31—2008
5.6	内护套高温压力试验	T	10.8.5	GB/T 2951.21—2008
5.7	XLPE 绝缘热延伸试验	T	10.8.6	GB/T 2951.21—2008
5.8	XLPE 绝缘微孔、杂质及半导体屏蔽层与绝缘层界面微孔和突起试验	T	10.8.7	GB/T 2951.11—2008
6	工厂接头和修理接头型式试验	T		
6.1	工厂接头导体连接拉力试验	T	10.5.1.4	9.2.5
6.2	修理接头张力试验	T	10.5.2	附录 E
6.3	工厂接头和修理接头径向透水试验	T	10.6.4	附录 F
6.4	工厂接头 XLPE 绝缘微孔、杂质及界面突起试验	T	10.8.7	GB/T 32346.1—2015 附录 B
7	户外终端型式试验			
7.1	户外终端无线电干扰试验	T	10.9.1	GB/T 11604
7.2	终端组装后的密封试验	T	10.9.2	10.9.2
7.3	户外终端短时(1min)工频电压试验(湿试)	T	10.9.3	GB/T 16927.1
8	导体压接和机械连接件的热机械性能试验 <sup>a</sup>	T	10.10	
9	光纤单元试验			
9.1	光纤衰减系数测量	T	10.11.1	GB/T 15972.40
9.2	光纤色散测量	T	10.11.2	GB/T 15972.42
9.3	光纤单元水密性试验	T	10.11.3	GB/T 18480
<sup>a</sup> 仅在要求时进行。				

d) 海底电缆系统预鉴定试验及预鉴定扩展试验项目、要求及方法见表 11。

表 11 海底电缆系统预鉴定试验及预鉴定扩展试验项目、要求及方法

序号	试 验 项 目	试验类型	试验要求	试 验 方 法
1	成品海底电缆系统预鉴定试验			
1.1	热循环电压试验	PQ	11.1.7	11.1.7
1.2	雷电冲击电压试验	PQ	11.1.8	11.1.8
1.3	电缆系统的检验	PQ	11.1.9	11.1.9
2	成品海底电缆系统预鉴定扩展试验			
2.1	弯曲试验	EQ	11.2.2.2.3	

表 11 (续)

序号	试 验 项 目	试验类型	试验要求	试 验 方 法
2.2	弯曲试验后局部放电试验	EQ	10.7.2.1	GB/T 3048.12
2.3	不施加电压热循环试验	EQ	11.2.2.2.4	GB/T 3048.8
2.4	$\tan\delta$ 试验	EQ	10.7.2.2	GB/T 3048.11
2.5	热循环电压试验	EQ	10.7.2.3	GB/T 3048.8
2.6	环境温度及高温下局部放电试验	EQ	10.7.2.4	GB/T 3048.12
2.7	雷电冲击电压试验及随后的工频电压试验	EQ	10.7.2.6	GB/T 3048.13
2.8	目测检验电缆和附件	EQ	10.7.2.7	目测检验
2.9	半导体屏蔽和半导体护套体积电阻率测量	EQ	10.7.2.8	GB/T 32346.1—2015 附录 A

## 7.2 与试验有关的电缆特性参数

为实施和记录本标准所规定的海底电缆系统试验，应确知或申明以下电缆特性参数见 GB/T 32346.1—2015 第 5 章。

## 7.3 试验条件

### 7.3.1 环境温度

除非特殊试验另有详细规定，试验应在环境温度为  $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$  下进行。

### 7.3.2 交流试验电压的频率和波形

除例行试验和安装后电气试验可采用  $10\text{Hz}\sim 500\text{Hz}$  的交流电压以外，其他试验的交流试验电压频率应为  $49\text{Hz}\sim 61\text{Hz}$ 。波形应基本是正弦形，电压值为有效值。

### 7.3.3 雷电冲击试验电压波形

标准雷电冲击电压波的波前时间和半波峰值时间要求参照 GB/T 3048.13 的规定。

### 7.3.4 操作冲击试验电压波形

标准操作冲击电压波的波前时间和半波峰值时间要求参照 GB/T 3048.13 的规定。

### 7.3.5 试验电压与额定电压

本标准规定的交流试验电压为额定电压  $U_0$  的倍数。 $U_0$  值和试验电压应按表 12 规定。

表 12 试 验 电 压

单位: kV

1	2	3	4	5	6	7	8	9
额定电压 $U$	设备最高电压 $U_m$	用于确定试验电压的 $U_0$	电压试验 <sup>a</sup> $2U_0$ (60min)	局部放电试验 $1.5U_0$	热循环电压试验 $2U_0$	雷电冲击电压试验	雷电冲击电压试验后的电压试验 $2U_0$	操作冲击电压试验
500	550	290	580	435	580	1550	580	1175

<sup>a</sup> 绝缘的电场强度不宜超过阈值  $27\text{MV/m}\sim 30\text{MV/m}$ ，以避免电缆在交货前遭受任何可能的绝缘损伤。进行电压试验时可降低试验电压同时延长试验时间以避免电场强度过高。在制造商和购买方同意的条件下，电压试验也可采用较低电压和较长时间代替。

## 8 例行试验

### 8.1 制造长度电缆例行试验

#### 8.1.1 局部放电试验

- a) 应按 GB/T 3048.12 的方法进行，其灵敏度要求为 10pC 或优于 10pC。试验电压逐步上升至 508kV ( $1.75U_0$ )，保持 10s，然后缓慢地下降至 435kV ( $1.5U_0$ )。在 435kV 下，制造长度电缆应无超过申明灵敏度的可检出的放电。
- b) 制造长度电缆相对较短、局部放电测试灵敏度可以达到 5pC 或优于 5pC 时，可在每根制造长度电缆上进行局部放电试验。
- c) 制造长度电缆相对较长、局部放电脉冲衰减很大而使局部放电测试灵敏度达不到上述要求时，制造长度电缆应按 9.1.12 进行局部放电试验。

#### 8.1.2 电压试验

- a) 按 7.3.1 规定的环境温度和 7.3.2 规定的交流试验电压的频率和波形，将试验电压逐步升高至 580kV ( $2U_0$ )，保持 60min，制造长度电缆绝缘不应发生击穿。
- b) 电缆长度太长而无法采用工频电压试验时，可对制造长度电缆采用频率为 10Hz~500Hz 的交流电压进行例行试验。

### 8.2 工厂接头例行试验

#### 8.2.1 局部放电试验

按 8.1.1 进行。如果由于试验现场的环境噪声等实际原因而不能进行工厂接头的局部放电试验，在制造商和用户协议下，可采用如超声波测量等方法或质量管理程序替代局部放电试验。

#### 8.2.2 电压试验

应经受 580kV ( $2U_0$ )、60min、频率不低于 10Hz 的电压试验。

#### 8.2.3 X 射线检验

##### 8.2.3.1 工厂接头恢复绝缘的 X 射线检验

宜使用 X 射线检验恢复绝缘界面质量和可能存在的金属杂质、气隙的状况，以确认工厂接头质量完好。

##### 8.2.3.2 工厂接头导体焊接的 X 射线检验

宜对每个工厂接头的导体焊接进行 X 射线检验，以确认焊接质量完好。

#### 8.2.4 铅套外径检查

工厂接头恢复后铅套外径不宜超过电缆本体铅套外径的 20%。

### 8.3 交货长度电缆例行试验

#### 8.3.1 一般要求

例行试验为交货长度电缆的工厂验收试验。如果装运前电缆上已安装固定的机械装置（如锚固装

置), 则工厂验收试验应在安装此固定的机械装置后进行。

### 8.3.2 电压试验

每根交货电缆应经受 580kV ( $2U_0$ )、60min、频率不低于 10Hz 的电压试验。如果成品交货电缆长度太长而无法进行例行试验, 可经制造商与用户协议, 降低试验电压并延长试验时间进行试验。

### 8.3.3 局部放电试验

如果交货电缆长度相对较短且工厂物流条件允许, 可对每根交货电缆进行局部放电试验。交货长度电缆按 8.1.1 规定的施加电压方法和灵敏度要求以及 GB/T 3048.12 电缆局部放电试验程序进行局部放电试验。

## 8.4 修理接头例行试验

### 8.4.1 一般要求

- a) 如果修理接头的主绝缘为预制绝缘件, 则这些预制绝缘件可在接头安装前经受例行试验。经制造商与用户协议, 可采用模拟附件试验装置对预制绝缘件进行例行试验。试验要求预制绝缘件所受的电场强度与实际修理接头例行试验的电场强度相同, 试验要求符合 8.4.2 和 8.4.3 的规定。
- b) 对于软接头型修理接头, 宜采用 8.2.1 进行修理接头试验。由于试验现场的环境噪声等实际原因而不能进行接头的局部放电试验, 在制造商和用户协议下, 可采用如超声波测量等方法或质量管理程序替代局部放电试验。

### 8.4.2 预制绝缘件局部放电试验

局部放电试验灵敏度应为 5pC 或优于 5pC, 在试验电压 435kV ( $1.5U_0$ ) 下, 预制绝缘件应无超过申明灵敏度的可检出的放电。

### 8.4.3 预制绝缘件电压试验

试验电压为 580kV ( $2U_0$ ), 保持 60min, 预制绝缘件不应发生击穿。

## 8.5 海底电缆与陆上电缆过渡接头例行试验

- a) 如果海底电缆与陆上电缆过渡接头的绝缘由预制绝缘件构成, 则这些预制绝缘件应在接头安装前进行例行试验。经制造商与用户协议, 可采用模拟附件试验装置对预制绝缘件进行例行试验作为过渡接头的例行试验。试验要求预制绝缘件所受电场强度与实际过渡接头例行试验的电场强度相同。
- b) 预制绝缘件的试验要求应符合 8.4.2 和 8.4.3 的规定。

## 8.6 终端例行试验

- a) 如果终端由预制绝缘件构成, 则这些预制绝缘件可在终端安装前进行例行试验。经制造商与用户协议, 可采用模拟附件试验装置对预制绝缘件进行例行试验作为终端例行试验。试验要求预制绝缘件所受电场强度与实际终端例行试验的电场强度相同。若终端不是预制绝缘件结构, 则应由制造商和用户协议, 采用实际可行的方法检验终端的质量。
- b) 预制绝缘件的试验要求应符合 8.4.2 和 8.4.3 的规定。

## 8.7 光纤单元试验

### 8.7.1 光纤色谱识别

光纤的颜色色码应符合 GB/T 6995.2 的相关规定。

### 8.7.2 光纤衰减系数测量

光纤的衰减应符合 GB/T 9771 和 GB/T 12357 的相关规定。

## 9 抽样试验

### 9.1 电缆抽样试验

#### 9.1.1 一般要求

应从代表制造水平的电缆上取样进行抽样试验。其中 9.1.4~9.1.13 应从绝缘线芯或成品电缆上取样进行试验。

#### 9.1.2 试验频度

9.1.4~9.1.11 及 9.1.14 应从每一根制造长度电缆上取一个试样进行试验。9.1.12 和 9.1.13 应从每一根制造长度电缆的首端和末端取试样（两个试样）进行试验。9.1.15 应从交货长度电缆上取一个试样进行检验。如果经制造商与用户协议同意短段电缆能做局部放电试验，则试样数可以减少。

#### 9.1.3 复试规定

如果任何一段选做试验的试样未通过抽样试验规定的任何一项试验，则应从同批次电缆上再取两段样品，对原来未通过的试验项目进行试验。如果加试的试样都通过试验，则该电缆符合本标准要求。如果任何一个试样未通过试验，则应判该电缆为不合格。

#### 9.1.4 导体检验

应采用实际可行的检测方法检验导体，应符合 GB/T 3956 的要求。

#### 9.1.5 成品电缆导体电阻和金属套电阻测量

- a) 整根电缆或电缆试样在试验前应置于温度稳定的试验室内至少 12h。如怀疑导体或金属套温度与试验室温度不同，则电缆应放在试验室内 24h 后再测量电阻。或者可将导体或金属套试样放置在可控温的恒温槽内至少 1h 后再测量电阻。
- b) 应根据 GB/T 3956 中的公式和系数，将导体或金属套的直流电阻校正到温度为 20℃ 时 1km 的数值。20℃ 下导体的直流电阻不应超过 GB/T 3956 规定的最大值。金属套如铅套的电阻温度系数应按 JB/T 10181.11—2014 中表 1 所示的电阻率和温度系数来确定。

#### 9.1.6 绝缘和内护套厚度测量

##### 9.1.6.1 一般要求

- a) 试验方法应符合 GB/T 2951.11—2008 的规定。
- b) 应从每根选作试验的电缆的一端（如果必需）截除任何可能受到损伤的部分后，切取一段代表

被试电缆的试样。

### 9.1.6.2 绝缘要求

任意点最小厚度不应小于标称厚度的 95% ( $t_{\min} \geq 0.95t_n$ )，绝缘偏心度应符合式 (2) 的规定：

$$\frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max}} \leq 5\% \quad (2)$$

式中：

$t_{\max}$ ——绝缘最大厚度，mm；

$t_{\min}$ ——绝缘最小厚度，mm。

注： $t_{\max}$  和  $t_{\min}$  为绝缘同一截面上的测量值，导体和绝缘上的半导体屏蔽层厚度不应包含在绝缘厚度内。

### 9.1.6.3 内护套要求

a) 内护套厚度的最小测量值加上 0.1mm 后，不应小于标称厚度的 85%，符合式 (3) 的规定：

$$t_{\min} \geq 0.85t_n - 0.1 \quad (3)$$

式中：

$t_{\min}$ ——最小厚度，mm；

$t_n$ ——标称厚度，mm。

b) 包覆在基本光滑表面上的内护套，其测量值的平均值 (mm) 应修约至一位小数，不应小于标称厚度。

注：内护套是指挤包在金属套外的非金属聚合物护套。

## 9.1.7 金属套厚度测量

### 9.1.7.1 一般要求

a) 海底电缆金属套采用铅和铅合金套。以下测量方法适用于铅和铅合金套厚度测量。

b) 铅或铅合金套的最小厚度不应小于标称厚度的 95%—0.1mm，符合式 (4) 的规定：

$$t_{\min} \geq 0.95t_n - 0.1 \quad (4)$$

式中：

$t_{\min}$ ——最小厚度，mm；

$t_n$ ——标称厚度，mm。

### 9.1.7.2 窄条法

a) 应采用测微计进行测量，测微计的两个平面端的直径为 4mm~8mm，测量精度为 ±0.01mm。

b) 应从成品电缆上取出一段长约 50mm 的金属套试样进行测量。应将试件沿纵向剖开，并小心地展平。在试件做清洁处理后，应沿金属套圆周，在距展平的铅片边缘不小于 10mm 处做多点测量，以确保测得最小厚度。

### 9.1.7.3 圆环法

a) 应采用测微计进行测量，测微计的一个测量头为平面，另一个测量头为球面；或一个测量头为平面，另一个测量头为宽 0.8mm、长 2.4mm 的矩形面。球面测量头或矩形面测量头应置于圆环内侧，测微计的精度为 ±0.01mm。

b) 应从试样上小心地切下圆环进行测量，沿圆形四周在足够多点上测量厚度以确保测得最小厚度。

## 9.1.8 铠装金属丝测量

## 9.1.8.1 测量方法

使用具有两个平面测量头的不确定度为 $\pm 0.01\text{mm}$ 的测微计来测量铠装圆金属丝的直径和铠装扁金属丝的厚度。铠装圆金属丝测量应在同一截面上两个互成直角的位置上各测一次，取两次测量平均值作为金属丝的直径。

## 9.1.8.2 要求

铠装金属丝尺寸低于标称尺寸的量值不应超过：

- a) 圆金属丝：5%；
- b) 扁金属丝：8%。

## 9.1.9 直径测量

如果用户要求测量绝缘芯和（或）电缆外径，则应按 GB/T 2951.11—2008 中 8.3 进行。

## 9.1.10 XLPE 绝缘热延伸试验

取样和试验方法应按照 GB/T 2951.21—2008，并采用表 13 给出的试验条件进行试验。应按所采用的交联工艺，宜在绝缘的最内层、中间及最外层分别取样，最内层、最外层取样点应尽量靠近半导电屏蔽层。

表 13 XLPE 绝缘热延伸试验要求

序号	试验项目和试验条件		单位	性能要求
1	热延伸试验（GB/T 2951.21—2008 第 9 章）			
	处理条件	空气烘箱温度	°C	200
		温度偏差	°C	$\pm 3$
		负荷时间	min	15
	机械应力	N/cm <sup>2</sup>	20	
1.1	负荷下最大伸长率		%	125
1.2	冷却后最大永久伸长率		%	10

## 9.1.11 电容测量

应测量导体和金属屏蔽/金属套间的电容。测量值与标称值的差值不应超过制造商申明标称值的 8%。

## 9.1.12 局部放电试验

未经 8.1.1 例行试验的试样，应从挤出电缆首端和末端取试样进行局部放电试验，不包含附件的试样有效长度不小于 10m。试验要求同 8.1.1。

## 9.1.13 雷电冲击电压试验

- a) 雷电冲击电压试验应在经局部放电试验的同一试样上进行。
- b) 应在导体温度为 95°C~100°C 时对电缆试样进行试验，按 GB/T 3048.13 规定的方法对试样施加雷电冲击试验电压，电缆应耐受 1550kV 正负极性各 10 次雷电冲击电压而不发生绝缘击穿。
- c) 雷电冲击电压试验后电缆试样应经受 580kV ( $2U_0$ )、15min 的工频电压试验，由制造商决定，



可在冷却过程中或室温下进行。绝缘不应发生击穿。

#### 9.1.14 导体屏蔽、绝缘屏蔽和半导体内护套体积电阻率测量

##### 9.1.14.1 试样

应从未经处理或运行的电缆绝缘芯取试样进行导体屏蔽、绝缘屏蔽和半导体内护套体积电阻率测量。

##### 9.1.14.2 试验方法

试验方法见 GB/T 32346.1—2015 附录 A。

##### 9.1.14.3 要求

半导体内护套体积电阻率，在  $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$  范围内测量值不应超过  $1000\Omega \cdot \text{m}$ 。导体屏蔽、绝缘屏蔽的半导体体积电阻率，在  $(90 \pm 2)^\circ\text{C}$  范围内测量值不应超过以下值：

- a) 导体屏蔽： $1000\Omega \cdot \text{m}$ ；
- b) 绝缘屏蔽： $500\Omega \cdot \text{m}$ 。

#### 9.1.15 成品电缆检验

- a) 长度大于金属丝铠装节距的成品电缆试样应经目测检验以确认制造过程并未造成任何有害的缺陷。电缆绝缘芯应无有害的压痕。屏蔽或铠装金属丝无跳线及灯笼状鼓起的缺陷。
- b) 应记录每层铠装的铠装金属丝数量并确定符合设计要求。在计算总截面积前，应测量每层 5 根铠装金属丝尺寸（圆线测量直径，扁线测量厚度、宽度）并计算平均截面积。铠装的总截面积不应小于申明值。应测量各铠装层的节距并确认在申明值的允许偏差  $\pm 10\%$  以内。

## 9.2 工厂接头抽样试验

### 9.2.1 一般要求

对海底电缆系统，宜按 8.2 所述对每根制造长度电缆和每个工厂接头进行局部放电例行试验，以检验整个海底电缆的质量。9.2.2~9.2.6 的抽样试验要在开始制作接头前仅对一个电缆芯的接头进行试验。电缆试样长度至少为 10m，并制备工厂接头试样进行试验。如按合同要求特定的工厂接头要做型式试验，则此抽样试验可以免除。如果工厂接头未通过任何一项试验，则应取两个加试的工厂接头试样，均通过试验才认为试验合格。

注：本条规定工厂接头的抽样试验是在开始制作接头前用以检验按工厂接头的设计、材料和工艺所制作的工厂接头样品性能的试验。有别于一般意义上的对批量生产产品的抽样试验。

### 9.2.2 局部放电试验和电压试验

在恢复外半导体层和金属接地导体或金属套后，即可按 8.3.3 和 8.3.2 进行局部放电试验和电压试验。局部放电测试灵敏度为  $5\text{pC}$  或优于  $5\text{pC}$ 。

### 9.2.3 雷电冲击电压试验

雷电冲击电压试验按 9.1.13 进行。

### 9.2.4 XLPE 绝缘热延伸试验

XLPE 绝缘热延伸试验按 9.1.10 进行。

### 9.2.5 工厂接头导体拉力试验

截取试样长度不小于 500mm，焊接处应靠近试样的中间部位，两端头用低熔合金浇灌。将试样夹持在试验机的钳口内，夹紧后试样的位置应保证试样的纵轴与拉伸的中心线重合。启动试验机时，加载应平稳，速度均匀，无冲击，当试样被拉伸断裂后，读数并记录最大负荷，试验结果的抗拉强度按式（5）计算。抗拉强度不应小于电缆本体抗拉强度的 85%。

$$\sigma = F/S \quad (5)$$

式中：

$\sigma$ ——抗拉强度，N/mm<sup>2</sup>；

$F$ ——最大拉力，N；

$S$ ——试样标称截面积，mm<sup>2</sup>。

### 9.2.6 偏心度检测

工厂接头绝缘的偏心度不宜大于 15%。

### 9.3 修理接头和终端的抽样试验

海底电缆系统的修理接头和终端不适于做抽样试验。

## 10 海底电缆系统型式试验

### 10.1 一般要求

10.1.1 型式试验的目的是检验海底电缆系统具有符合预期使用条件的性能。型式试验包含成品电缆和附件的机械试验和电气试验，按 10.4~10.10 的规定进行。如果在热循环电压试验或雷电冲击电压试验过程中，试验中断或试验参数发生偏离，则应重新进行相应的热循环电压试验或雷电冲击电压试验。

10.1.2 如果几个试样同时试验发生绝缘击穿，可去除击穿的试样，且视作一次中断。击穿的试样判定为不合格，并应重新试验。任何接头试样延伸范围以内的击穿认定为该接头的击穿。

### 10.2 型式试验认可范围

10.2.1 交流 500kV 交联聚乙烯绝缘海底电缆系统包含海底电缆、终端和各种接头。海底电缆系统的电缆和接头必须满足电缆在安装、敷设和修理时预期遭遇到的最高机械负荷的相应机械试验的要求。

10.2.2 当某一特定导体截面和结构的相同额定电压等级为 500kV 的海底电缆系统成功通过型式试验时，则在符合以下附加条件下，此型式试验有效范围可以覆盖到其他导体截面的 500kV 海底电缆系统：

- a) 经受到比通过型式试验的海底电缆系统较轻的机械应力（扭转、弯曲等）的海底电缆系统；
- b) 导体或金属套下阻水设计和方法没有改变；
- c) 接头的导体连接设计没有改变；
- d) 工厂接头按标称直径计算的导体屏蔽的电场强度和雷电冲击电场强度与通过试验的电缆系统相应的计算电场强度相比，都不超过 10%。

注 1：除设计改变对试验有影响的项目如 10.6 透水试验以外，全部型式试验程序不需重复。

注 2：工厂接头在电气和机械上的处理和试验应与电缆相同。

### 10.3 试验准备

10.3.1 机械试验所要求最短的完整的试样长度和工厂接头间距离按 10.5 规定。10.7 规定的成品电缆电气型式试验的试样数量由所含的接头数决定。不包含附件的试样电缆长度至少为 10m。应从经受机械

试验的电缆试样中取出电缆系统试样。附件间最短的电缆长度应为 5m。

10.3.2 每种附件应取一个试样经受电气型式试验。

10.3.3 电缆和附件应按制造商说明书规定的方法进行组装，采用其所提供的等级和数量的材料，包括润滑剂（如果有），还应包含接地连接件。

10.3.4 附件的外表面应干燥和清洁，但对电缆和附件都不应以制造商说明书没有规定的任何可能改变其电性能、热性能或机械性能的方法进行处理。

10.3.5 半导体屏蔽和半导体护套的体积电阻率测量应在单独的试样上进行。

#### 10.4 电气型式试验的电缆绝缘厚度检查和试验电压调整

电气型式试验前应在用于试验的电缆段上取代表性试样按 GB/T 2951.11—2008 中 10.1 规定的方法测量绝缘厚度：

- a) 如果绝缘平均厚度不超过标称厚度的 5%，则试验电压应为表 12 规定的试验电压值。
- b) 如果绝缘平均厚度超过标称厚度的 5%但不超过 15%，应调整试验电压，使得导体屏蔽上电场强度等于绝缘平均厚度为标称值，且试验电压为按表 12 规定时产生的电场强度。
- c) 用于电气型式试验的电缆的绝缘平均厚度不应超过标称厚度的 15%。

#### 10.5 成品海底电缆系统的机械试验

##### 10.5.1 海底电缆和工厂接头

###### 10.5.1.1 一般要求

用于 10.7 规定的成品电缆和工厂接头电气型式试验的试样应预先进行卷绕试验和张力弯曲试验。

###### 10.5.1.2 卷绕试验

- a) 在生产和敷设过程中，若全部采用旋转托盘，则可不作此试验。
- b) 卷绕试验应在至少可形成 8 整圈的海底电缆上进行。海底电缆试验段的中间应至少安装两个工厂接头，两个工厂接头的末端之间的最小距离应为两整圈海底电缆的长度。绕圈的形状应与海底电缆制造或运输时相同，制造商应规定绕圈的最小半径和方向，并应在最小的圆形绕圈半径上进行试验。
- c) 在开始卷绕前，应在海底电缆上标上平行于海底电缆轴的标志线以检验卷绕操作过程中海底电缆是否均匀扭转。放线架的高度距离绕圈的最上层海底电缆不应超过预计的海底电缆卷绕操作要求高度，例如在制造、收绕和敷设过程中放线架的高度。夹住海底电缆两端以防止电缆旋转，应以制造商规定的最小弯曲半径卷绕电缆。
- d) 卷绕后，海底电缆应再绕到电缆盘上。卷绕循环操作次数应与预期电缆在制造、收绕和敷设时卷绕次数相同。
- e) 卷绕操作过程中，海底电缆扭转应基本均匀，以预先加上的标志线评估。从海底电缆试验段中间部分截取样品，要求包括一个工厂接头，应进行目测检验。
- f) 卷绕试验结束后应无电缆绝缘、金属套和内护套破坏，以及导体或铠装的永久变形。
- g) 假如随后的张力弯曲试验也将进行，则可在张力弯曲后进行目测检验，因而可能减少接头数量而完成此项试验。

###### 10.5.1.3 张力弯曲试验

张力弯曲试验按附录 D 进行。

#### 10.5.1.4 工厂接头导体连接拉力试验

工厂接头导体连接拉力试验按 9.2.5 进行。

#### 10.5.2 修理接头

修理接头宜经受张力试验，可独立于电气试验外单独完成。张力试验按附录 E 进行，试验数据可以作为工程参考。

### 10.6 透水试验

#### 10.6.1 透水试验分类与要求

10.6.1.1 海底电缆的透水试验分为 4 种：

- a) 导体透水试验；
- b) 金属套下透水试验；
- c) 接头径向透水试验；
- d) 金属套与铠装短接点透水试验。

10.6.1.2 透水试验应经不同的机械预处理和（或）热预处理，这些预处理对海底电缆试验很重要，并需尽可能地模拟真实的安装情况。

10.6.1.3 本标准规定作为型式试验的导体透水试验的透水距离（ $d_1$ ）不应超过制造商的申明值，金属套下透水试验的透水距离（ $d_2$ ）不应大于 30m。用户特定要求的透水试验电缆长度由制造商与用户另按协议确定。

10.6.1.4 纵向、径向透水试验为型式试验项目，用以表明其设计、制造工艺及材料合格，符合预期使用要求。除非溶胀材料、阻水剂、导体或屏蔽和（或）金属套设计改变，一旦试验通过，型式试验不需重做。

10.6.1.5 除非用户另有特定要求，透水试验用水宜采用自来水或相当于海底电缆应用海域海水盐度的盐水。有争议时，推荐采用我国近海平均盐度质量比为  $(31 \pm 2) \% [(31 \pm 2) \text{ g/kg}]$  的盐水。

#### 10.6.2 导体透水试验

导体透水试验按附录 F.1 进行。

#### 10.6.3 金属套下透水试验

金属套下透水试验按附录 F.2 进行。

#### 10.6.4 接头径向透水试验

接头径向透水试验按附录 F.3 进行。

#### 10.6.5 金属套与铠装短接点透水试验

##### 10.6.5.1 概述

金属套与铠装短接点透水试验为检验电缆采用绝缘护套时，为了解决电缆金属套上的感应电压而对电缆的金属套和铠装之间进行短接的试验，短接情况下在最大水深时护套和金属套内无水侵入。电缆试样应尽量接近安装状况，即试验前试样要经受张力试验或张力弯曲试验（取决于其结构）。试验用水应符合 10.6.1.5 规定。

### 10.6.5.2 试样制备

电缆试样取自经受 10.5.1 机械试验的电缆（含短接点）。

### 10.6.5.3 试验

除非另有要求，试样浸入对应 100m 水深压力的加压水中，试验应持续 48h，试验时水温为 5℃～35℃。当到达试验时间后，将试样从水中取出。要求：

- a) 试样的短接点连续可靠、无断点；
- b) 护套和金属套内无水侵入迹象。

## 10.7 成品海底电缆系统电气型式试验

### 10.7.1 概述

应从已经受 10.5.1 张力弯曲试验及卷绕试验（如果适用）的电缆或电缆系统上取出型式试验的试样。修理接头试样在进行型式试验前应经受张力试验。

### 10.7.2 电气型式试验

#### 10.7.2.1 环境温度下的局部放电试验

本试验在热循环电压试验前进行，应按 GB/T 3048.12 的方法进行局部放电试验，测量灵敏度为 5pC 或优于 5pC。试验电压逐步升高电压至 508kV ( $1.75U_0$ )，保持 10s，然后缓慢地降低至 435kV ( $1.5U_0$ )。试样在试验电压 435kV 下应无超过申明灵敏度的可检出的放电。

#### 10.7.2.2 $\tan\delta$ 测量

通过导体电流将试样加热到规定的温度。电缆导体温度的测定参照 GB/T 11017.1—2014 附录 A。试样应加热至导体温度达到 95℃～100℃，然后应在工频电压 290kV ( $U_0$ ) 及上述规定温度下测量  $\tan\delta$ ，测量值不应大于  $8 \times 10^{-4}$ 。

#### 10.7.2.3 热循环电压试验

通过导体电流将试样加热到规定的温度。试样应加热至导体温度达到 95℃～100℃。应至少加热 8h。在每个加热期内，导体温度应在上述温度范围内至少保持 2h。随后应自然冷却至少 16h，直到导体温度冷却至不高于 30℃或者冷却至高于环境温度 15K 以内，取两者之中的较高值，但最高不高于 45℃。应记录每个加热周期最后 2h 的导体电流。加热和冷却循环应进行 20 次。在整个试验期内，试样上应施加 580kV ( $2U_0$ ) 电压。试验过程允许中断，只要完成总共 20 个加电压的完整热循环即可。

注：导体温度超过 100℃的热循环也认为是有效的。

#### 10.7.2.4 环境温度和高温下的局部放电试验

本试验应在 10.7.2.3 热循环电压试验最后一次热循环后进行，或在 10.7.2.6 试验后进行。局部放电试验包括环境温度下试验与高温下试验，试样在试验电压 435kV 下应无超过申明灵敏度的可检出的放电。

#### 10.7.2.5 操作冲击电压试验

应在导体温度为 95℃～100℃时对试样进行试验，导体温度应在此温度范围内至少保持 2h。应按

GB/T 3048.13 所述的方法施加 1175kV 的操作冲击试验电压。试样应耐受正负极性各 10 次操作冲击电压而不发生击穿或闪络。

#### 10.7.2.6 雷电冲击电压试验及随后的工频电压试验

a) 通过导体电流将试样加热到规定的温度。试样应加热至导体温度达到  $95^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，导体温度应在上述试验温度范围内至少保持 2h。

注：如果由于实际原因不能达到试验温度，可以外加热绝缘措施。

b) 应按照 GB/T 3048.13 给出的试验程序施加雷电冲击电压。电缆应耐受 1550kV 电压施加的 10 次正极性和 10 次负极性雷电冲击电压冲击而不发生绝缘击穿或闪络。

c) 雷电冲击电压试验后，应对试样系统进行 580kV ( $2U_0$ )、15min 的工频电压试验。由制造商决定，试验可在冷却过程中或环境温度下进行。试样不应发生绝缘击穿或闪络。

#### 10.7.2.7 目测检验电缆和附件

上述试验后，解剖电缆试样和拆开附件（如有可能），以正常视力或经矫正但不放大的视力检验试样，应无可能影响系统运行的劣化迹象（如电气品质下降、泄漏、腐蚀或有害的收缩）。

#### 10.7.2.8 半导体屏蔽和半导体护套体积电阻率测量

##### 10.7.2.8.1 试样

电缆半导体屏蔽和半导体护套的体积电阻率应在单独的试样上测量。应从制造后未经处理的电缆试样的绝缘芯上和从已经过 10.8.4 规定的组件材料相容性试验老化处理后的电缆试样的绝缘芯上分别取试件，进行导体和绝缘上的挤包半导体屏蔽的体积电阻率测定。应从海底电缆金属套的半导体护套上取试样测量体积电阻率。

##### 10.7.2.8.2 试验方法

试验方法应按 GB/T 32346.1—2015 附录 A 的规定进行。应在  $(90\pm 2)^{\circ}\text{C}$  范围内测量半导体屏蔽的体积电阻率。半导体护套的体积电阻率在  $(80\pm 2)^{\circ}\text{C}$  下测量。

##### 10.7.2.8.3 要求

半导体护套体积电阻率不应超过  $1000\Omega\cdot\text{m}$ 。老化前后的半导体屏蔽体积电阻率不应超过以下值：

- a) 导体屏蔽： $1000\Omega\cdot\text{m}$ ；
- b) 绝缘屏蔽： $500\Omega\cdot\text{m}$ 。

### 10.8 电缆组件和成品电缆段的非电气型式试验

#### 10.8.1 电缆结构检验

导体检查、绝缘和内护套厚度测量、金属套厚度测量应按 9.1.4、9.1.6、9.1.7 的规定进行。

#### 10.8.2 老化前后绝缘材料机械性能试验

##### 10.8.2.1 取样

试件取样和制备应按 GB/T 2951.11—2008 进行。

## 10.8.2.2 老化处理

老化处理应按 GB/T 2951.12—2008，并在表 14 规定的条件下进行。

表 14 电缆 XLPE 绝缘混合料的机械性能试验要求（老化前后）

序号	试验项目和试验条件	单 位	性能要求
			XLPE
0	正常运行时导体最高温度	℃	90
1	老化前（GB/T 2951.11—2008 中 9.1）		
1.1	最小抗拉强度	N/mm <sup>2</sup>	12.5
1.2	最小断裂伸长率	%	200
2	空气烘箱老化后（GB/T 2951.12—2008 中 8.1）		
2.1	处理条件		
	温度	℃	135
	温度偏差	℃	±3
	持续时间	h	168
2.2	抗拉强度		
	老化后最小值	N/mm <sup>2</sup>	—
	最大变化率 <sup>a</sup>	%	±25
2.3	断裂伸长率		
	老化后最小值	%	—
	最大变化率 <sup>a</sup>	%	±25

<sup>a</sup> 变化率：老化后测得中间值与老化前测得中间值的差值除以后者，以百分率表示。

## 10.8.2.3 预处理和机械性能试验

预处理和机械性能试验应按 GB/T 2951.11—2008 中 9.1 进行。

## 10.8.2.4 要求

老化前和老化后试样的试验结果应符合表 14 的要求。

## 10.8.3 老化前后内护套材料机械性能试验

## 10.8.3.1 分类

内护套可分为半导电型内护套和绝缘型内护套（ST<sub>7</sub>型）。

## 10.8.3.2 取样

试件取样和制备应按 GB/T 2951.11—2008 中 9.2 进行。

## 10.8.3.3 老化处理

老化处理应按 GB/T 2951.12—2008 中 8.1，并在表 15 规定的条件下进行。

表 15 电缆内护套混合料的机械性能试验要求（老化前后）

序号	试验项目和试验条件	单 位	性能要求
			绝缘（ST <sub>7</sub> 型）
1	老化前（GB/T 2951.11—2008 中 9.2）		
1.1	最小抗拉强度	N/mm <sup>2</sup>	12.5
1.2	最小断裂伸长率	%	300
2	空气烘箱老化后（GB/T 2951.12—2008 中 8.1）		
2.1	处理条件		
	温度	℃	110
	温度偏差	K	±2
	持续时间	h	240
2.2	抗拉强度		
	老化后最小值	N/mm <sup>2</sup>	—
	最大变化率	%	—
2.3	断裂伸长率		
	老化后最小值	%	300
	最大变化率	%	—
3	高温压力试验（GB/T 2951.31—2008 中 8.2）		
3.1	试验温度	℃	110
3.2	温度偏差	K	±2

#### 10.8.3.4 预处理和机械性能试验

预处理和机械性能试验应按 GB/T 2951.11—2008 中 9.2 进行。

#### 10.8.3.5 要求

老化前和老化后试样的试验结果应符合表 15 的要求。

### 10.8.4 检验材料相容性的成品电缆段老化试验

#### 10.8.4.1 试验目的

应进行成品电缆段老化试验以检验绝缘和内护套是否由于与电缆中其他组件相接触而过分劣化。

#### 10.8.4.2 取样

绝缘和内护套试样应从 GB/T 2951.12—2008 中 8.1.4 所述的成品电缆上取样。

#### 10.8.4.3 老化处理

电缆段的老化处理应按 GB/T 2951.12—2008 中 8.1.4，在空气烘箱中按以下条件进行：

- a) 温度：(100±2)℃；
- b) 时间：(7×24)h。



#### 10.8.4.4 机械性能试验

应按 GB/T 2951.12—2008 中 8.1.4 所述制备取自老化电缆段的绝缘和内护套的试样，并进行机械性能试验。

#### 10.8.4.5 要求

老化后抗拉强度和断裂伸长率的中间值与老化前得出的相应值（见 10.8.2 和 10.8.3）的变化率不应超过表 14 给出的适用于绝缘经空气烘箱老化后的试验值以及表 15 给出的适用于内护套经空气烘箱老化后的试验值。

#### 10.8.5 内护套高温压力试验

##### 10.8.5.1 方法

内护套的高温压力试验应按 GB/T 2951.31—2008 中 8.2 所述的试验方法进行。

##### 10.8.5.2 要求

试验结果参照 GB/T 2951.31—2008 中 8.2 的要求。

#### 10.8.6 XLPE 绝缘热延伸试验

XLPE 绝缘应经受 9.1.10 所述的热延伸试验。

#### 10.8.7 XLPE 绝缘微孔、杂质及半导体屏蔽层与绝缘层界面微孔和突起试验

绝缘杂质、微孔和半导体屏蔽层与绝缘层界面微孔、突起应按 GB/T 32346.1—2015 附录 B 的规定进行试验，试验结果应符合以下要求：

- a) 成品电缆绝缘中应无大于 0.02mm 的微孔；
- b) 成品电缆绝缘中应无大于 0.075mm 的不透明杂质；
- c) 半导体屏蔽层与绝缘层界面应无大于 0.02mm 的微孔；
- d) 导体半导体屏蔽层与绝缘层界面应无大于 0.05mm 进入绝缘层的突起以及大于 0.05mm 进入半导体屏蔽层的突起；
- e) 绝缘半导体屏蔽层与绝缘层界面应无大于 0.05mm 进入绝缘层的突起以及大于 0.05mm 进入半导体屏蔽层的突起。

#### 10.9 户外终端型式试验

##### 10.9.1 户外终端无线电干扰试验

户外终端试样在 319kV ( $1.1U_0$ ) 工频电压下，其 1MHz 的无线电干扰电压不应超过 500 $\mu$ V。试验方法按照 GB/T 11604 的规定进行。

##### 10.9.2 终端组装后的密封试验

制造商可根据适用条件选 10.9.2.2 或 10.9.2.3 规定的一种方法进行试验。

###### 10.9.2.1 试样安装

终端试样应按实际使用的安装要求进行组装，组装试样内允许不含绝缘件。试验装置应将密封金

具、瓷套管、复合套管或环氧套管试样两端密封。

#### 10.9.2.2 压力泄漏试验

在环境温度下对试样施加表压为  $(250 \pm 10)$  kPa 的气压，保持 1h。承受气压的试样应有防爆安全措施。任选浸水检验或密封面上涂肥皂液检验，观察是否有气体逸出。或施加相同水压，保持 1h。在密封面上涂白垩粉，观察是否有水渗出迹象。试验期间应无漏气或渗水迹象。

#### 10.9.2.3 真空泄漏试验

在环境温度下将试样抽真空至残压  $A$  为 10kPa 的气压，然后关闭试样与真空泵间的真空阀门，保持 1h。测量试样的压力值  $B$ 。测量用真空计的分辨率不应超过 2kPa。试验结束时，真空压力漏增值  $(B-A)$  不应超过 10kPa。

#### 10.9.3 户外终端短时（1min）工频电压试验（湿试）

户外终端试样应在 GB 311.1 规定的淋雨条件下，施加工频电压 680kV，历时 1min。试样不应发生闪络或击穿。

#### 10.10 导体压接和机械连接件的热机械性能试验

经制造商和用户同意，导体压接和机械连接件可进行电气热循环试验和机械性能试验。

#### 10.11 光纤单元试验

##### 10.11.1 光纤衰减系数测量

光纤衰减系数测量应符合 GB/T 9771 和 GB/T 12357 的相关规定。

##### 10.11.2 光纤色散测量

光纤色散测量应符合 GB/T 9771 和 GB/T 12357 的相关规定。

##### 10.11.3 光纤单元水密性试验

光纤单元水密性试验应符合 GB/T 18480 的规定。在 2MPa 水压下持续 336h，纵向渗水长度不应大于 200m。

### 11 海底电缆系统预鉴定试验及预鉴定扩展试验

#### 11.1 预鉴定试验

##### 11.1.1 概述

11.1.1.1 GB/T 22078.1 规定陆上超高压交联聚乙烯绝缘电缆的预鉴定试验，以证实交联聚乙烯绝缘电缆系统具有满意的长期运行性能。特别着重于电缆和附件的绝缘特性、电缆绝缘与附件界面和热机械的长期特性。500kV 海底电缆系统的预鉴定试验要求同陆上电缆系统，进行预鉴定试验的海底电缆系统应包含海底电缆、工厂接头、修理接头和终端，必要时应含过渡接头。

11.1.1.2 由于海底电缆预鉴定试验不含海底电缆机械试验，因此相同材料、制造工艺、设计电场强度水平的 500kV 海底电缆和附件试样应先经 10.7 规定的电气型式试验合格，然后进行预鉴定试验。

### 11.1.2 预鉴定试验认可的一般规定和认可范围

11.1.2.1 当额定电压 500kV 交联聚乙烯绝缘电缆系统成功通过预鉴定试验时，制造商就具有供应额定电压 500kV 同类型交联聚乙烯绝缘电缆系统的资格，只要其绝缘屏蔽的计算标称电场强度等于或低于已通过预鉴定试验的电缆系统的绝缘屏蔽的计算电场强度即可。

11.1.2.2 当通过预鉴定试验的额定电压 500kV 交联聚乙烯绝缘电缆系统由另一个已通过预鉴定试验的额定电压 500kV 交联聚乙烯绝缘电缆系统的电缆和（或）附件替换，且更换的电缆系统的电缆绝缘屏蔽的计算标称电场强度相等或较高时，则此新的成品电缆系统应进行 11.2 规定的预鉴定扩展试验并符合预鉴定扩展试验要求。

11.1.2.3 当通过预鉴定试验的额定电压 500kV 交联聚乙烯绝缘电缆系统由另一个未通过预鉴定试验的额定电压 500kV 交联聚乙烯绝缘电缆系统的电缆和（或）附件替换，或由另一已通过预鉴定试验的额定电压 500kV 交联聚乙烯绝缘电缆系统的电缆和（或）附件替换但该电缆系统的绝缘屏蔽的计算标称电场强度较低时，则此新的成品电缆系统应进行 11.1.3 规定的预鉴定试验并符合预鉴定试验要求。

### 11.1.3 成品海底电缆系统预鉴定试验认可范围

11.1.3.1 成品海底电缆系统预鉴定试验除应符合 11.1.2 预鉴定试验的一般规定外，还应符合 11.1.3.2～11.1.3.4 的规定。

11.1.3.2 与交联聚乙烯绝缘陆上电缆系统相比，交联聚乙烯绝缘海底电缆系统具有的主要差异性特点表现为：海底电缆系统通常需有工厂接头，海底电缆通常有铠装结构，其修理接头通常有机械保护盒（接头的外部设计）。由于工厂接头必须连同电缆经预鉴定试验合格，因此海底电缆系统预鉴定试验试样应包含海底电缆、工厂接头、修理接头和终端，必要时应含过渡接头。海底电缆的机械设计和接头的外部设计应在电气型式试验以前检验合格。因此相同材料、制造工艺和设计电场强度水平的 500kV 海底电缆和附件试样应先经 10.7 规定的电气型式试验合格，然后进行预鉴定试验。

11.1.3.3 通过预鉴定试验的 500kV 交联聚乙烯绝缘电缆系统的认可范围可以覆盖到另一个 500kV 交联聚乙烯绝缘海底电缆系统，只要符合以下条件：

- a) 采用预制部件的修理接头的绝缘屏蔽电场强度等于或低于通过预鉴定试验的电缆系统绝缘屏蔽电场强度；
- b) 如果导体截面较大的工厂接头已经通过预鉴定试验，而另一个导体截面较小（其热机械应力低得多）的工厂接头的电场强度比已通过预鉴定试验的工厂接头的电场强度大 10%，则该工厂接头应在大于已通过预鉴定试验的工厂接头的电场强度的条件下，经受强制的型式试验。

11.1.3.4 如果工厂接头的内部设计（材料、交联工艺等）有实质性改变，则应进行新的预鉴定试验。

### 11.1.4 成品海底电缆系统预鉴定试验的试验长度及程序

#### 11.1.4.1 试验长度及程序

预鉴定试验应包含在长约 100m 电缆试样上进行电气试验，含每种附件至少一件。附件间电缆最小净长应为 10m。预鉴定试验程序如下：

- a) 热循环电压试验（见 11.1.7）；
- b) 雷电冲击电压试验（见 11.1.8）；
- c) 结束上述试验后电缆系统的检验（见 11.1.9）。

如果有一个或多个附件不能通过 11.1.4 规定的所有试验，则在对试验系统修复后可继续对余下的电缆系统（电缆和余下的附件）进行预鉴定试验。如果余下的电缆系统符合 11.1.4 规定的试验要求，

则余下的电缆系统通过预鉴定试验。而没有完成试验的附件则没有通过预鉴定试验。但是可以对更换附件的电缆系统继续进行预鉴定试验，直到符合 11.1.4 预鉴定试验要求。若制造商决定要将修理的附件包含在电缆系统的预鉴定试验范围内，则预鉴定试验起始时间要从修理附件以后开始计算。

#### 11.1.4.2 预鉴定试验电缆的绝缘厚度检查和试验电压调整

预鉴定试验前应按 GB/T 2951.11—2008 中 8.1 规定的方法测量绝缘厚度，在用作预鉴定试验的电缆上取代表性试样，以检查绝缘厚度是否过多超过标称值。绝缘厚度检验和试验电压调整应按 10.4 规定的要求进行。

#### 11.1.4.3 试验布置

- a) 电缆和附件应按制造商说明书规定的方法进行安装，采用所提供的等级和数量的材料，包括润滑剂（如有）。
- b) 试验的布置应代表敷设设计的状况，例如刚性固定、柔性固定和过渡区敷设、埋地和空气中敷设。特别注意附件的热机械方面状况。
- c) 考虑海底电缆系统预鉴定试验布置难以模拟海底电缆系统在海底下实际敷设状况，如有要求，推荐采用 10.6.4 规定的方法对海底电缆系统刚性接头的金属保护盒开展透水试验，作为海底电缆系统预鉴定试验的补充试验，并将透水试验持续时间增加至 96h。
- d) 试验装置间和试验时环境条件会有变化，但不会产生主要影响，不必采用 7.3.1 所述的环境温度限制。
- e) 为达到合适的导体温度，试验的主回路和参照回路的导体电流及铠装电流应相同，两个回路的外部热特性应相同。

#### 11.1.4.4 热循环电压试验

采用导体电流加热组装试样，直到导体温度达到  $90^{\circ}\text{C}\sim 95^{\circ}\text{C}$ 。试验过程中因环境温度变化要调节导体电流，应选择加热布置，使远离附件的电缆导体达到上述规定温度，记录电缆表面温度作为试验数据。应至少加热 8h，每个加热周期内应在上述温度范围内至少保持 2h。随后应自然冷却至少 16h。在整个试验期间 8760h 内，应对组装试样施加电压  $493\text{kV}$  ( $1.7U_0$ ) 和热循环，加热和冷却循环应至少进行 180 次。试验期间不应发生试样击穿。

注 1：如果由于实际原因不能达到试验温度，可以采取热绝缘措施。

注 2：建议在试验期间进行局部放电测试以便提供可能劣化的早期警告，从而有可能在故障前进行修理。

注 3：应完成总的循环次数，不包括中断的循环。

注 4：导体温度超过  $95^{\circ}\text{C}$  的热循环也认为有效。

#### 11.1.4.5 雷电冲击电压试验

- a) 试验应在取自试验系统的总有效长度最少 30m 的一根或多根电缆试样上进行，在导体温度达到  $90^{\circ}\text{C}\sim 95^{\circ}\text{C}$  温度下进行雷电冲击电压试验。导体温度应在上述温度范围内至少保持 2h。

注：作为替代，试验也可在整个试验回路上进行。

- b) 应按 GB/T 3048.13 给出的步骤施加雷电冲击电压。电缆回路应耐受  $1550\text{kV}$  试验电压值施加的 10 次正极性和 10 次负极性电压冲击而不发生击穿。

#### 11.1.4.6 检验

目测检验应按 10.7.2.7 的规定执行。

## 11.2 预鉴定扩展试验

### 11.2.1 概述

11.2.1.1 预鉴定扩展试验主要用于更换的已通过预鉴定试验的附件。由于附件（通常为接头）的电气部件的电场强度或材料特性改变，即接头的内部设计改变而进行预鉴定扩展试验以确认设计合理。

11.2.1.2 根据海底电缆系统并不引入相对于陆上电缆系统的特定预鉴定试验的相同理由，海底电缆的预鉴定扩展试验也不增加另外的试验要求。当附件的内部设计相同或相似时，陆上电缆系统的预鉴定扩展试验也可以覆盖海底电缆系统。如果附件机械设计有改变，则在开始电气型式试验前应该经机械试验验证其外部设计是否合理。

### 11.2.2 海底电缆系统预鉴定扩展试验

#### 11.2.2.1 一般要求

预鉴定扩展试验应包括成品电缆系统预鉴定扩展试验的电气试验及电缆组件和成品电缆段的非电气型式试验。

#### 11.2.2.2 成品电缆系统预鉴定扩展试验的电气试验

##### 11.2.2.2.1 试样及试验布置

- a) 对已经过预鉴定试验电缆系统取样进行试验的成品电缆，取样按 11.2.2.2.3 进行试验，试样数由所含的附件数量决定，需要预鉴定扩展试验的电缆系统应包含每种附件至少有一个试样。试验可在试验室内进行，而不必模拟真实的敷设条件。
- b) 附件试样间电缆最短长度为 5m，电缆的总长度最短应为 20m。
- c) 应按制造商说明书规定，采用所提供的等级和数量的材料 [包括润滑剂（若有）] 组装电缆和附件。试验回路应呈 U 形弯曲，对铅或铅合金套电缆，弯曲直径为  $25(d+D)+5\%$ ，其中， $d$  为导体标称直径，mm； $D$  为电缆标称直径，mm。

注：若只对附件进行预鉴定扩展试验，则不要求试验回路呈 U 形弯曲以及进行半导电屏蔽和半导电护套体积电阻率测试。

##### 11.2.2.2.2 试验电压

预鉴定扩展试验前应测量电缆绝缘厚度和对试验电压进行调整（如有必要），按 10.4 的规定执行。

##### 11.2.2.2.3 预鉴定扩展试验的电气试验程序

预鉴定扩展试验的电气试验程序应如下：

- a) 弯曲试验。室温下电缆应绕圆柱体至少弯曲一整圈，再复位而轴不转，然后反方向弯曲重复此过程，如此反复弯曲应进行三次，对铅或铅合金套电缆的弯曲直径同 11.2.2.2.1 的规定。随后安装预鉴定扩展试验包含的附件，如果只对附件进行预鉴定扩展试验，则此项试验可以免除；
- b) 弯曲试验后进行局部放电试验（见 10.7.2.1），以检验安装的附件质量。
- c) 不施加电压热循环试验（见 11.2.2.2.4）。
- d)  $\tan\delta$  测量（见 10.7.2.2）。
- e) 热循环电压试验（见 10.7.2.3）。
- f) 环境温度及高温下的局部放电试验（见 10.7.2.4）。

- g) 雷电冲击电压试验及随后的工频电压试验（见 10.7.2.6）。
- h) 假如未作上述 f) 项试验，需经局部放电试验，同 b)。
- i) 完成上述试验后对含电缆和附件的系统进行检验（见 10.7.2.7）。
- j) 半导体屏蔽和半导体护套（如适用）体积电阻率测量（见 10.7.2.8）。如果只对附件进行预鉴定扩展试验，则此项试验可以免除。

#### 11.2.2.2.4 不施加电压热循环试验

应通过导体电流将试样加热到规定的温度。试样应加热至导体温度达到 90℃~95℃。应至少加热 8h。在每个加热期内，导体温度应在上述温度范围内至少保持 2h。随后应自然冷却至少 16h，直至导体温度冷却至不高于 30℃或者冷却至高于环境温度 15K 以内，取两者之中较高值，但最高为 45℃，应记录每个加热周期最后 2h 的导体电流。加热、冷却循环应进行 60 次。

注：导体温度超过 95℃的热循环也认为有效。

## 12 安装后电气试验

### 12.1 电压试验

12.1.1 在新的电缆线路上电缆及其附件安装完成后应进行电压试验。施加交流试验电压 493kV ( $1.7U_0$ )，频率 10Hz~500Hz，时间 1h。

12.1.2 如果电缆线路太长而不能按以上要求进行电气试验，则可由制造商和用户协议，降低试验电压而延长施加电压时间。

12.1.3 作为替代，可施加 290kV ( $U_0$ ) 交流试验电压，时间 24h。

12.1.4 在进行主绝缘交流耐压试验时可同时开展局部放电测量。

注：对于已运行的电缆线路，可采用较低电压和（或）较短时间进行试验。应考虑运行年份、环境条件、击穿经历及试验目的，经协商确定试验电压和时间。

### 12.2 时域反射计试验（TDR）

如果时域反射计用于电缆线路，宜进行时域反射测量以获得电缆行波传输特性的特征标志。

## 13 验收规则

### 13.1 电缆本体验收

13.1.1 制造商应按要求进行例行试验、抽样试验。抽样试验的频度和复试要求应符合 9.1.2、9.1.3 和 9.2.1 的规定。

13.1.2 产品的型式试验应由具有资质的独立检测机构检测认定符合本标准规定。用户有要求时，制造商应提供产品的型式试验报告。

13.1.3 产品应由制造商的质量检验部门检验合格后方可出厂。出厂的海底电缆应附有产品检验合格证书。用户有要求时，制造商应提供产品的试验报告。

13.1.4 产品应按表 8 和表 9 的规定进行试验。

13.1.5 产品应通过安装后的电气试验。

### 13.2 附件验收

13.2.1 电缆附件产品按表 8 和表 9 的规定进行试验。

13.2.2 产品应由制造厂的质量检验部门检验合格后方可出厂。每件出厂的附件产品应附有产品检验合

格证书。用户有要求时，制造商应提供产品的工厂试验报告或/和型式试验报告。

13.2.3 产品应通过安装后的电气试验。

## 14 包装、运输和储存

### 14.1 海底电缆

14.1.1 大长度海底电缆应采用船舶运输，旋转托盘内径不应小于电缆允许最小弯曲直径。电缆的两个端头应有可靠的防水密封处理。运输中严禁机械损伤电缆。

14.1.2 海底电缆上应标明：

- a) 制造商名称；
- b) 电缆型号；
- c) 额定电压，kV；
- d) 标称截面积， $\text{mm}^2$ ；
- e) 长度，m；
- f) 制造日期；
- g) 标准编号。

### 14.2 海底电缆附件

14.2.1 电缆附件产品的包装方式可根据产品特点而定，附件的零件可分开包装。

14.2.2 对各种预制绝缘件、带材等应有相应的防水、防潮等密封措施；对易碎、怕压部件或材料应有相应的防压、防撞击的包装措施，并在包装外部明显位置标出相应的字样或标记；易燃部件或材料应有防火标志。

14.2.3 附件包装箱可采用木箱或纸箱。木箱应符合 GB/T 12464 的要求。装箱时在箱内应装入装箱清单。包装箱侧面应标明附件（部件）名称、规格。包装箱的两端面应标示：

- a) 轻放；
- b) 防雨；
- c) 不得倒置。

14.2.4 附件产品在运输过程中不得将包装倒置及碰撞。产品应储存在清洁、干燥和阴凉处，不得在户外或阳光下存放。

附 录 A  
(资料性附录)

海底电缆及附件代号、产品表示方法

A.1 海底电缆代号

A.1.1 系列代号

海底电缆：H（前缀）

A.1.2 产品代号

光纤复合海底电缆：F（后缀）

A.1.3 材料特征代号

交联聚乙烯绝缘：YJ

铜导体：省略（T）

铅套：Q

粗圆钢丝铠装：4

双粗圆钢丝铠装：44

铜丝铠装：7

双铜丝铠装：77

扁钢丝铠装：9

双扁钢丝铠装：99

纤维外被层：1

注：铜丝铠装推荐采用扁铜丝铠装，允许采用圆铜丝铠装。两种铜丝铠装的代号相同，但圆铜丝铠装应在产品名称中注明，名称中未明确说明即为扁铜丝铠装。

A.1.4 光纤类别代号

光纤类别代号应符合 GB/T 9771 和 GB/T 12357 的规定。

A.2 海底电缆附件代号

A.2.1 系列代号

交联聚乙烯绝缘海底电缆：HYJ

A.2.2 附件代号

瓷套（户外）终端：ZW

复合套（户外）终端：ZWF

GIS 终端：ZG

工厂接头（软接头）：JR（如需要）

修理接头（现场接头）：JX

海底电缆与陆上电缆的过渡接头：JG



### A.2.3 绝缘代号

a) 终端内绝缘特征。

液体填充绝缘：Y

干式绝缘：G

六氟化硫（SF<sub>6</sub>）充气绝缘：Q

b) 接头内绝缘特征。

组合预制绝缘件：Z

整体预制绝缘件：I

### A.2.4 户外终端外绝缘污秽等级代号

e 级或更严（最小统一爬电比距 53.7mm/kV）：4

### A.2.5 接头保护盒及外保护层

玻璃钢保护盒：1

金属保护盒：2

## A.3 海底电缆产品表示方法

海底电缆产品用型号、额定电压、规格表示。

示例 1：额定电压 290/500kV、铜导体、单芯、导体截面积 1200mm<sup>2</sup>、交联聚乙烯绝缘、铅套、粗圆钢丝铠装聚丙烯纤维外被层、12 芯 B 型光纤复合海底电缆，表示为：HYJQ41-F 290/500 1×1200+12B。

示例 2：额定电压 290/500kV、铜导体、单芯、导体截面积 1200mm<sup>2</sup>、交联聚乙烯绝缘、铅套、圆铜丝铠装聚丙烯纤维外被层海底电缆，表示为：HYJQ71 290/500 1×1200（圆铜丝铠装）。

## A.4 海底电缆附件产品表示方法

海底电缆附件产品用型号、规格（额定电压、相数、适用电缆截面）表示。

示例 1：额定电压 290/500kV、导体标称截面积 1800mm<sup>2</sup>、交联聚乙烯绝缘海底电缆用液体填充绝缘瓷套管终端，外绝缘污秽等级 e 级或更严，表示为：HYJZWY4 290/500 1×1800。

示例 2：额定电压 290/500kV、导体标称截面积 1800mm<sup>2</sup>、交联聚乙烯绝缘海底电缆整体预制绝缘件修理接头，金属保护盒含防水浇注剂，表示为：HYJJX12 290/500 1×1800。

**附 录 B**  
(资料性附录)

交联聚乙烯绝缘料、半导体屏蔽料、半导体护套料的性能

B.1 交联聚乙烯绝缘料的性能见表 B.1。

**表 B.1 交联聚乙烯绝缘料的性能**

序号	项 目	单 位	性能指标要求	
1	老化前抗拉强度 [(250±50) mm/min]	N/mm <sup>2</sup>	≥17.0	
2	老化前断裂伸长率 [(250±50) mm/min]	%	≥500	
3	热延伸试验 (200℃, 0.20MPa)	负荷伸长率	%	≤100
		永久变形率	%	≤10
4	相对介电常数	—	≤2.35	
5	介质损耗角正切 (tanδ)	—	≤5.0×10 <sup>-4</sup>	
6	短时工频击穿强度 (较小的平板电极直径 25mm, 升压速率 500V/s)	kV/mm	≥30	
7	体积电阻率 (23℃)	Ω·m	≥1.0×10 <sup>14</sup>	
8	杂质最大尺寸 (1000g 样片中)	mm	≤0.075	

B.2 半导体屏蔽料的性能见表 B.2。

**表 B.2 半导体屏蔽料的性能**

序号	项 目	单 位	性能指标要求	
1	老化前抗拉强度 [(250±50) mm/min]	N/mm <sup>2</sup>	≥12.0	
2	老化前断裂伸长率 [(250±50) mm/min]	%	≥150	
3	热延伸试验 (200℃, 0.20MPa)	负荷伸长率	%	≤100
		永久变形率	%	≤10
4	直流电阻率 (体积)	23℃时	Ω·m	≤1.0
		90℃时	Ω·m	≤3.5

B.3 半导体护套料的性能见表 B.3。

**表 B.3 半导体护套料的性能**

序号	项 目	单 位	性能指标要求	
1	密度 (23℃)	g/cm <sup>3</sup>	≤1.15	
2	老化前抗拉强度 [(250±50) mm/min]	N/mm <sup>2</sup>	≥12.5	
3	老化前断裂伸长率 [(250±50) mm/min]	%	≥300	
4	空气热老化 (100℃, 7d)	抗拉强度变化率	%	±25
		断裂伸长率变化率	%	±25
5	体积电阻率 (23℃)	Ω·m	≤1.0	

B.4 绝缘型护套料（ST<sub>7</sub>）的性能见表 B.4。

表 B.4 绝缘型护套料（ST<sub>7</sub>）的性能

序号	项 目	单 位	性能指标要求	
1	熔体流动质量速率	g/10min	2.0	
2	密度	g/cm <sup>3</sup>	0.94~0.98	
3	拉伸强度	MPa	≥17.0	
4	断裂拉伸应变	%	≥600	
5	低温冲击脆化温度	℃	-76, 通过	
6	耐环境应力开裂	F <sub>0</sub> /h	≥500	
7	200℃氧化诱导期	min	≥30	
8	炭黑含量	%	2.60±0.25	
9	炭黑分散度	级	≤3	
10	维卡软化点	℃	≥110	
11	空气烘箱热老化	拉伸强度	MPa	≥16.0
		断裂拉伸应变	%	≥500
12	介质损耗角正切		≤0.005	
13	体积电阻率	Ω·m	1×10 <sup>14</sup>	

附 录 C  
(资料性附录)

半导体橡胶带、环氧树脂固化体、硅油的性能

C.1 半导体橡胶带的性能见表 C.1。

表 C.1 半导体橡胶带的性能

序号	项 目	单位	性能指标要求
1	老化前机械性能		
1.1	抗拉强度	N/mm <sup>2</sup>	≥0.7
1.2	断裂伸长率	%	≥300
2	空气烘箱老化后机械性能 (135±3℃, 7 d)		
2.1	抗拉强度变化率	%	≤±30
2.2	断裂伸长率变化率	%	≤±30
3	体积电阻率 (23℃)	Ω·m	≤10

C.2 环氧树脂固化体的性能见表 C.2。

表 C.2 环氧树脂固化体的性能

序号	项 目	单位	性能指标要求
1	电气性能 (室温下)		
1.1	体积电阻率 (23℃)	Ω·m	≥1.0×10 <sup>13</sup>
1.2	介质损耗角正切 (tanδ)	—	≤5.0×10 <sup>-3</sup>
1.3	相对介电常数	—	3.5~6.0
1.4	短时工频击穿电场强度	kV/mm	≥20
2	电气性能 (100℃)		
2.1	体积电阻率	Ω·m	≥1.0×10 <sup>13</sup>
2.2	介质损耗角正切 (tanδ)	—	≤5.0×10 <sup>-3</sup>
2.3	相对介电常数	—	3.5~6.0
2.4	热变形温度	℃	≥105

C.3 硅油的性能见表 C.3。

表 C.3 硅 油 的 性 能

序号	项 目	单位	性能指标要求
1	外观	—	无色透明、无杂质
2	运动黏度 (25℃)		
	低黏度硅油	cSt	40~1000
	高黏度硅油	cSt	7000~13000
3	黏度最大变化率		±4.8

表 C.3 (续)

序号	项 目	单 位	性能指标要求
4	闪点	℃	≥300
5	折光指数 (25℃)	—	1.35~1.47
6	击穿电压 (电极间距 2.5mm)	kV	≥35
7	体积电阻率 (25℃)	Ω · cm	≥1.0×10 <sup>15</sup>
8	挥发度 (150℃, 3h)	%	≤0.5

**附录 D**  
(规范性附录)  
**张力弯曲试验方法**

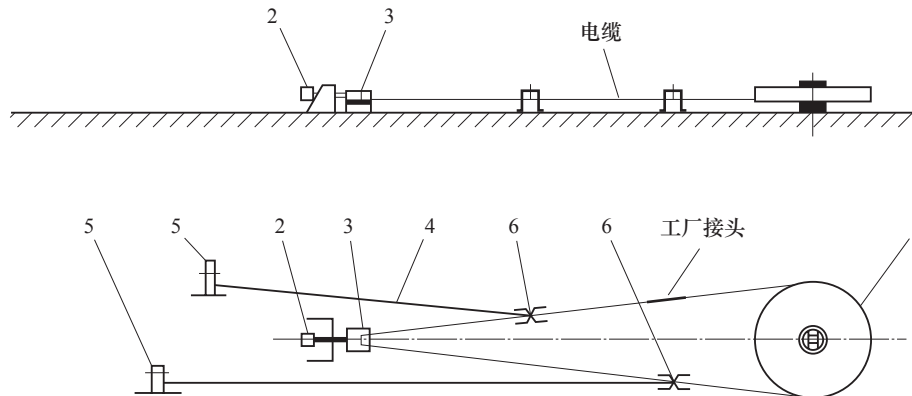
**D.1** 该试验用于考虑在海底电缆的敷设和常规的修复操作时施加于海底电缆上的力。常规的修复定义为修复暴露于海底的电缆或海底电缆上覆盖物不超过电缆自身直径范围。如海底电缆埋入范围超过自身直径，并且电缆修复后还要继续使用，则应采用适当的方法。在修复电缆前，也可以不先去除电缆上的覆盖物，而直接从电缆沟里拉出电缆进行修复，但在此情况下张力弯曲试验的张力应加上所需的额外张力。典型情况下，此额外张力可考虑在 5000N~20000N 范围内。

**D.2** 如果试样已经进行了卷绕试验，则本项试验可以从经过卷绕试验后至少含一个工厂接头的已试电缆上取样进行试验。当敷设时采用特殊设备如采用浮筒以减少机械应力时，按制造商和用户协议，张力弯曲试验可减小试验张力。

**D.3** 应安装电缆牵引头使得远离电缆端头的电缆各不同组件上所产生的力相当于敷设操作时分配的力。

**D.4** 试样长度应至少为 30m。海底电缆端部至工厂接头的距离至少为 10m 或者是 5 倍的铠装节距，取两者中较大的值。试样卷绕的转轮直径不应大于敷设船上装置的放缆滑轮直径。与此试验转轮相接触的海底电缆长度至少应为 2 倍的铠装节距且不小于转轮周长的一半。如试样含有若干个工厂接头，则工厂接头间的距离至少应等于试验转轮的周长。

**D.5** 采用合适的设备，包含可能有的工厂接头的电缆试样应在转轮上连续地卷绕和退绕三次，不改变弯曲方向，试验设备示意图见图 D.1。



说明：

- 1——转轮；
- 2——液压拉力柱体；
- 3——牵引滑轮；
- 4——钢丝绳；
- 5——绞车；
- 6——电缆牵引头。

**图 D.1 张力弯曲示意图**

**D.6** 水深不超过 500m 时，海底电缆段受到的试验张力宜用式 (D.1) 进行计算

$$T = 1.3Wd + H \quad (\text{D.1})$$

式中：

$T$ ——试验张力，N；

$W$ ——1m 海底电缆在水中的重量（电缆自重减去排开的同体积水重），N/m；

$d$ ——最大敷设水深，m；

$H$ ——最大允许水底接触点对电缆的张力，N。

$H$ 值可由式（D.2）计算

$$H=0.2Wd \quad (\text{D.2})$$

注 1：系数 1.3 是考虑由于敷设和修复引起的额外张力以及敷设和修复情况下的动态张力而附加的力。

注 2：考虑水底接触点对电缆的张力  $H$  的目的是给予敷设角一个安全裕度，以免在敷设过程发生电缆扭结。

注 3：将计算的试验张力以 100N 为修约间隔向上修约至最接近的数值。施加的试验张力至少应等于计算试验张力。

**D.7** 水深大于 500m 时，海底电缆段受到的试验张力宜用式（D.3）进行计算

$$T=Wd+H+1.2|D| \quad (\text{D.3})$$

式中：

$T$ ——试验张力，N；

$W$ ——1m 海底电缆在水中的重量（电缆自重减去排开的同体积水重），N/m；

$d$ ——最大敷设水深，m；

$H$ ——最大允许水底接触点对电缆的张力，N；

$D$ ——动态张力，N。

按简化模式，忽略纵向弹性和实际的电缆水中悬垂线形状， $D$  值可由式（D.4）计算

$$D=\pm 0.5b_n m d w^2 \quad (\text{D.4})$$

式中：

$b_n$ ——敷设滑轮峰对峰垂直运动量，m；

$d$ ——最大敷设水深，m；

$m$ ——单位长度电缆质量，kg/m；

$w$ —— $2\pi/t$ ，敷设滑轮运动的角频率，1/s；

$t$ ——运动时间，s。

注 1：此计算方法特别用于电缆敷设深度大于 500m 的场合。但如果敷设设备和敷设条件为已知，则可用于特定的水深小于 500m 的工程。

注 2：系数 1.2 为动态张力安全系数。

注 3：本标准尚不能给出对特定气候状况的  $b_n$  和  $w$  的计算通则。若无详细的敷设船运动状况，则应采用实际的波幅和周期来计算  $D$ 。后者计算偏于安全。

注 4：应按特定工程，特别是所用的敷设船和敷设作业时最恶劣的天气，估计这些参数。

注 5：试验张力应以 100N 为修约间隔向上修约至最接近的数值。

**附录 E**  
(规范性附录)  
**张力试验方法**

**E.1** 用作张力试验的电缆长度约为 50m，且不要求从卷绕试验的电缆上取出试样。电缆段应包含修理接头。电缆末端与接头的距离至少为 10m 或电缆铠装节距的 5 倍，取其中较大值。通过电缆上的牵引头作用在远离电缆两端的电缆各不同部分上的合力应相当于敷设作业时分布的力。试验装置中一个电缆牵引头可自由旋转，另一个应固定。

**E.2** 试验时电缆的张力应增大到以下值，见式 (E.1)

$$T_0 = 50W \quad (\text{E.1})$$

式中：

$T_0$ ——张力，N；

$W$ ——1m 电缆的质量，N。

**E.3** 施加负荷经 15min 后测量两标志线间距离，令其为  $L_0$ 。然后增加张力至张力弯曲试验的张力值，并保持 15min。然后测量标志线间的距离  $L_{\max}$ ，并记录自由旋转牵引头的旋转数。然后应将张力降低至  $T_0$  值，再测量标志线间的距离  $L_0'$ 。整个循环应进行三次。试验后应目测检验试样状况。对每次循环应计算相对伸长，见式 (E.2) 和式 (E.3)

$$L_1 = (L_{\max} - L_0) / L_0' \quad (\text{E.2})$$

$$L_2 = (L_0' - L_0) / L_0 \quad (\text{E.3})$$

式中：

$L_0$ ——试样施加  $T_0$  时的起始伸长；

$L_{\max}$ ——最大伸长；

$L_0'$ ——施加  $T_0$  时的永久伸长。



## 附录 F (规范性附录)

### 导体透水试验、金属套下透水试验、接头径向透水试验方法

#### F.1 导体透水试验

##### F.1.1 一般要求

导体透水试验为模拟电缆在最大水深区段处发生故障而造成水从导体侵入。电缆试样应尽量经受接近真实安装条件下的预处理。为此，试样在浸入水中前要经受张力弯曲试验和热循环试验。浸入水中试验时不需进行热循环。

##### F.1.2 试样制备

- a) 电缆试样取自经受机械试验的电缆。可以在电缆绝缘线芯上进行导体透水试验。试样长度至少为  $1.33d_1$  ( $d_1$  为试验的导体纵向透水距离)。
- b) 试样应至少经受三次热循环的预处理，以确保电缆已经受适当的热膨胀。每次热循环包含 8h 加热及随后 16h 冷却。采用电流加热导体，使导体温度达到  $95^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。在每次热循环结束前应保持此温度至少 2h。
- c) 试样经预处理以后，应剥露出导体约 50mm。剥露的环状部分应包含导体以外的所有各层，使导体暴露在水中。试样的末端应密封。试样置于压力容器中，进行透水试验。

##### F.1.3 试验

- a) 当试样浸入相应最大敷设水深水压的水中时，水压应尽量快速上升，以模拟在最大水深处电缆段发生故障的情况。试验持续时间为 240h，水温为  $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 。如果用户因特定海底电缆故障处理有试验时间要求，另由制造商与用户协议确定，但试验持续时间最长不超过 360h。
- b) 到达规定试验时间后，将试样从水中取出。在距离为  $d_1$  处作一切口。用目测检验切口处是否有水或者将试样末端浸入超过  $100^{\circ}\text{C}$  的硅油中，以观察切口处是否有水煮沸时的爆裂声，或采用吸墨纸吸水以观察是否有水。
- c) 导体透水参考试验装置如图 F.1 所示。

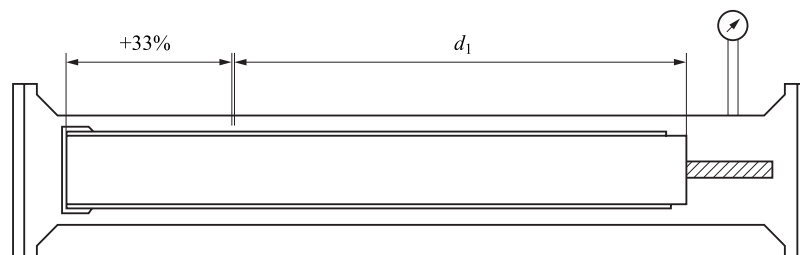


图 F.1 导体透水参考试验装置

#### F.2 金属套下透水试验

##### F.2.1 一般要求

- a) 金属套下透水试验为模拟近岸区电缆损坏而造成金属套下透水，此时外部水压对电缆的作用并

不增加金属套下阻水能力。电缆试样的预处理要尽量接近真实的电缆安装情况。电缆不需做张力弯曲试验但试样要经热循环以使试样在透水试验前受到径向膨胀。此热循环造成电缆的径向膨胀比电缆在浅海中受到外部水压的影响严重得多。

- b) 外部压力不会压缩金属套，因此对现在设计采用的金属套，试验压力设定为 0.3MPa。如果采用其他试验压力，制造商需提供理由。

## F.2.2 试样制备

- a) 试样长度至少应为  $(d_2+1)$  m ( $d_2$  为金属套下纵向透水距离)。试验应在成品电缆试样上进行。
- b) 试样应经三次热循环预处理以确保电缆已经受预期的热膨胀。每次热循环包含 8h 加热和随后 16h 冷却。采用电流加热导体，使导体最高温度达到  $95^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。在每次热循环结束前应保持此温度至少 2h。
- c) 经预处理后，在试样中间处或距试样端部 1m 处应切除 50mm 圆环。此圆环应包含电缆绝缘的半导电屏蔽以外的所有各层，以使半导电屏蔽层暴露在水中。试样置于压力容器中。必须在压力容器中测量导体的温度。

注：推荐采用在试验过程中不施加电压，直接测量与被试电缆串联的一段相同电缆的导体温度。

## F.2.3 试验

- a) 按规定的最大敷设水深加上水压，但不是按金属套所受压缩力加压。对金属套电缆及相似设计，最大水深为 30m（等效压力为 0.3MPa）是合适的。金属套下透水参考试验装置如图 F.2 所示。

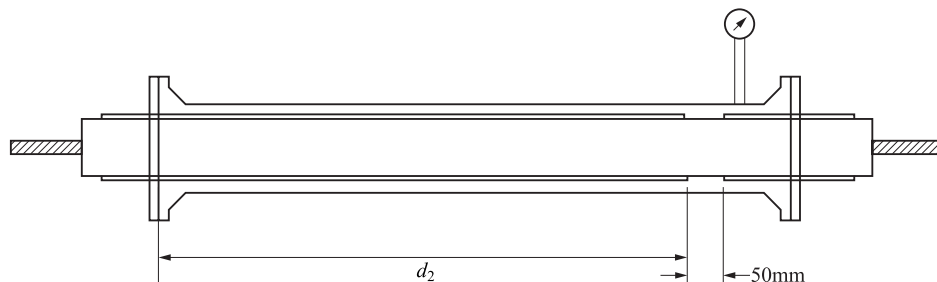


图 F.2 金属套下透水参考试验装置

- b) 电缆试样应经受 10 次热循环同时加上水压。水温为  $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 。每次热循环包含 8h 加热和随后 16h 冷却。采用电流加热，达到导体最高温度为  $95^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。在每次热循环结束前应保持此温度至少 2h。如果用户因特定海底电缆故障处理有增加热循环次数要求，另由制造商与用户协议确定，但最多不超过 15 次。达到试验时间时，应将试样从水中取出。在距离为图 F.2 所示  $d_2$  处能看到金属套下情况。目测检验端部应无水。

## F.3 接头径向透水试验

### F.3.1 一般要求

工厂接头和修理接头的外部水压试验为检验接头在最大水深时阻止径向透水的性能。电缆试样应尽量接近安装状况，即试验前试样要经受张力试验或张力弯曲试验（取决于其结构）以及热循环试验以使试样受到适当的张力和径向膨胀。

### F.3.2 试样制备

- a) 从已经受机械试验接头中取试样，至少经受 10 次热循环。每次热循环包含 8h 加热和随后 16h 冷

- 却。采用电流加热，达到导体温度为 95℃~100℃。在每次热循环结束前应保持此温度至少 2h。
- b) 对接头施加压力的部位进行水压试验。刚性接头不需对整个接头施加水压。用封帽将接头试样的电缆两端密封。试样应置于压力容器内。

### F.3.3 试验

试样浸入对应 100m 水深的加压水中。试验应持续 48h，试验时水温为 5℃~35℃。当到达试验时间后，将试样从水中取出。要求：

- a) 接头的阻水隔离结构应无水侵入迹象；
- b) 金属套无明显不规则突起缺陷。
-