ICS 29.060.20
K 13

ZZB

浙 江 制 造 标 准

ZZB 024.1—2015

额定电压 220kV（Um=252kV）交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆 第 1 部分：试验方法和要求

Long AC submarine cables with cross–linked polyethylene insulation for rated voltage of 220 kV(Um=252 kV)-Part 1:Test methods and requirements

ZHEJIANG MADE

2015－11－23 发布　　2015－12－4 实施

浙江省浙江制造品牌建设促进会　　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 1
4　试验条件 2
5　电缆的特性和主要设计参数 3
6　例行试验 3
7　抽样试验 4
8　海底电缆系统型式试验 8
9　预鉴定试验 16
10　预鉴定扩展试验 18
11　安装后电气试验 19

ZHEJIANG MADE

浙江制造 ZHEJIANG MADE

前　言

本标准依据GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准为推荐性标准，主要参照CIGRE TB 490《额定电压30 kV到500 KV挤包绝缘大长度海底电缆系统试验推荐规范》、IEC 62067：2011《额定电压150 kV(Um=170 kV)至500 kV((Um=550 kV)挤包绝缘电力电缆及其附件—试验方法和要求》以及《额定电压220 kV(Um=252 kV)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》国家标准报批稿，同时结合国家专项技术研究成果进行编制。

本标准由浙江省浙江制造品牌建设促进会提出。

本标准由浙江省质量技术监督局归口。

本标准起草单位：宁波东方电缆股份有限公司。

本标准主要起草人：周则威、叶信红、丰如男、沈佩芳、吕晓思、朱东锋。

本标准为首次发布。

ZHEJIANG MADE

浙江制造 ZHEJIANG MADE

额定电压220kV（Um=252kV）交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆 第1部分：试验方法和要求

1 范围

本标准规定了额定电压220 kV（Um=252 kV）交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆的术语和定义、试验条件、电缆的特性和主要设计参数、例行试验、抽样试验、海底电缆系统型式试验、预鉴定试验、预鉴定扩展试验、安装后电气试验等内容。

本标准适用于安装在海底的220 kV单芯和三芯交联聚乙烯绝缘海底电缆和光纤复合交联聚乙烯绝缘海底电缆。

2 规范性引用文件

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

GB/T 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（IEC 60811-1-1:2001,IDT）

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（IEC 60811-2-1:2001,IDT）

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（IEC 60885-3:1988,MOD）

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（IEC 60060-1:1989,MOD）

GB/T 3956 电缆的导体（IEC 60228:2004,IDT）

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第1部分：一般试验要求(IEC 60060-1:2006,MOD

GB/Z 18890.1 额定电压220 kV（Um=252 kV）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(IEC 60267:2001 MOD)

GB/Z 18890.3-2002 额定电压220 kV（Um=252 kV）交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第3部分 附件

JB/T 11167.1-2011 额定电压10 kV（Um=12 kV）至110 kV（Um=126 kV）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

JB/T 11167.3 额定电压10 kV（Um=12 kV）至110 kV（Um=126 kV）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

IEC 62067-2011 额定电压150 kV(Um=170 kV)以上至500 kV (Um=550 kV)挤包绝缘电力电缆及附件—试验方法和要求

3 术语和定义

GB/Z 18890.1-2002、JB/T 11167.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

ZHEJIANG MADE

工厂接头　factory joint

在可控工厂条件下的挤出长度或制造长度之间的接头。

3.2

制造长度　manufactured length

一次连续挤出的电缆长度或其部分长度。一般不含任何工厂接头，但当制作制造长度电缆过程（如挤包铅套）中发生意外必须切断电缆并采用工厂接头接续电缆时，制造长度电缆可含工厂接头。

3.3

交货长度　delivery length

交货长度可以是一根制造长度电缆或用工厂接头相连接的多根制造长度电缆。典型的交货长度为海底电缆的发运长度。

3.4

大长度　long length

海底电缆交货长度超过一百公里，超过单个电缆运输盘的容量。通常从工厂生产线直接输送到大型转盘或电缆敷设船上。本部分中电缆交货长度指：

——包含一个或多个工厂接头的电缆交货长度；

——电缆交货长度过长，因电气特性不能用厂内或现场试验设备严格按照相应标准进行电压试验和局部放电试验的电缆交货长度；

——不能用单个电缆运输盘将电缆从工厂运送到具有适当的试验装置场所的电缆交货长度。

3.5

工厂验收试验　factory acceptance test

制造商对成品电缆所作的试验以证实每根电缆均符合用户的要求。

注：试验通常由用户在场时进行。

4　试验条件

4.1　环境温度

除非特殊试验另有详细规定，试验一般应在环境温度（20±15）℃下进行。

4.2　工频试验电压的频率和波形

除非本部分另有指定，工频试验电压频率一般应为49 Hz ～61 Hz。波形应基本是正弦形。电压以有效值表示。

4.3　雷电冲击试验电压波形

按照GB/T 3048.13的规定，标准雷电冲击电压的波前时间应为1 μs～5 μs。按GB/T 16927.1的规定，半波峰时间为40 μs～60 μs。

4.4　试验电压与额定电压的关系

ZHEJIANG MADE

本部分规定的试验电压为额定电压Uo的倍数。为确定试验电压的Uo值为127 kV，试验电压应按表1规定。

表1　试验电压

单位：kV

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
额定电压 *U*	设备最高电压 *Um*	用于确定试验电压的 *Uo* 值	电压试验 2.5*Uo*（30 min）	局部放电试验 1.5*Uo*	tgδ 测量 *Uo*	热循环电压试验 2*Uo*	雷电冲击电压试验	雷电冲击电压试验后的电压试验 2*Uo*	安装后电压试验（60min）
220	252	127	318	190	127	254	1050	254	180

5　电缆的特性和主要设计参数

为实施和记录本部分所规定的电缆系统试验，应确知或申明以下电缆特性：

a）　金属铠装的材料和结构，如铠装丝数量和直径；
b）　电缆设计敷设水深和电缆安装时最大张力；
c）　阻止导体和金属屏蔽或金属套下纵向透水的方法；
d）　导体最高设计温度；
e）　卷绕能力，包括卷绕试验参数；
f）　额定电压，应给出 4.4 中所示 Uo、U 和 Um 值；
g）　导体型式、材料和标称截面积 mm^2 和导体结构；
h）　绝缘材料和标称厚度；
i）　绝缘的制造工艺；
j）　金属套材料和标称厚度；
k）　外护套材料和标称厚度；
l）　导体标称直径；
m）　电缆标称直径；
n）　绝缘的标称内径和外径；
o）　导体与金属屏蔽或金属套间的标称电容值；
p）　计算的导体屏蔽上的标称电场强度（E_1）和绝缘屏蔽上的标称电场强度（E_0）。

6　例行试验

6.1　制造长度电缆例行试验

应采用大功率变频耐压试验设备，频率不低于10 Hz的交流电压进行电压试验。按4.1规定的环境温度将试验电压逐步升高至318 kV(2.5U_0)，保持30 min，电缆绝缘应不发生击穿。

6.2　工厂接头例行试验

所有工厂接头在成品电缆交货时应经受6.3规定的交流电压试验。但工厂接头在接头制作后直接进行交流电压试验可以避免后续生产的成品电缆因所含工厂接头在试验时万一击穿而造成时间延误。试验电压为318 kV(2.5U_0)，保持时间30 min，工厂接头应不发生击穿。

ZHEJIANG MADE

6.3 交货电缆例行试验（工厂验收试验 FAT）

每根交货电缆应经受318 kV(2.5U_0),30 min 频率不低于10 Hz的交流电压试验。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。

7 抽样试验

7.1 电缆抽样试验

7.1.1 概述

应从代表生产线制造的电缆上取样进行抽样试验。其中7.1.4至7.1.13规定的试验，应从绝缘芯或成品电缆芯取样进行试验。

7.1.2 试验频度

试验项目7.1.4至7.1.11及7.1.14应从每一次挤出电缆的一个试样上进行试验。试验项目7.1.12和7.1.13应从每次挤出电缆的首端和末端取试样（两个试样）进行试验。试验项目7.1.15应从交货电缆取一个试样进行检验。若与用户协商同意，短段电缆能作局部放电试验，试样数可以减少。

7.1.3 复试规定

如果任何一段选作试验的试样未通过抽样试验规定的任何一项试验，应以相同工艺条件制作两根与未通过试验的电缆相同的一次挤出的电缆上分别取一个试样，并就原来未通过的项目进行试验。如果加试的试样都通过试验，则该电缆应认为符合本部分要求。如果任何一个试样未通过试验，则应判定该电缆为不合格。

7.1.4 导体检验

导体结构应符合GB/T 3956的要求。

7.1.5 成品电缆导体电阻和金属套电阻测量

整根电缆或电缆试样在试验前应置于温度适当稳定的试验室内至少12 h。如怀疑导体或金属套与实验室温度不同，则电缆应放在试验室内24 h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1 h后再测量电阻。

应根据 GB/T 3956中公式和系数，将导体直流电阻修正至温度为20 ℃,长度为1 km的电阻值。20 ℃下导体的直流电阻应不超过GB/T 3956规定的相应最大值。金属套如铅套的电阻温度系数应按表2所示的电阻率和温度系数来确定。

表2 所用金属电阻率和温度系数

材料	电阻率 Ω.m(20℃)	温度系数 1/K(20℃)
铅和合金铅	21.4×10^{-8}	4.0×10^{-3}

7.1.6 绝缘和电缆外护套厚度测量

7.1.6.1 概述

试验方法应按 GB/T 2951.11-2008 的规定。

ZHEJIANG MADE

应从每根选作试验的电缆一端（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。

7.1.6.2 绝缘要求

最小测量厚度不应小于标称厚度的90%：

$$t_{min} \geqslant 0.9t_n \quad \cdots\cdots (1)$$

以及，由下式定义的绝缘的偏心度不应大于 6%：

$$(t_{max} - t_{min})/t_{max} \leqslant 0.06 \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：

t_{min} ——绝缘最小厚度，单位为毫米（mm）；

t_n ——绝缘标称厚度，单位为毫米（mm）；

t_{max} ——绝缘最大厚度，单位为毫米（mm）。

注1：其中 t_{max} 和 t_{min} 为绝缘同一截面上的测量值。

注2：导体和绝缘上的半导电屏蔽层厚度不应包含在绝缘厚度内。

7.1.6.3 电缆外护套的要求

外护套厚度的最小测量厚度t_{min}应满足：

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

式中：

t_{min}——最小厚度，单位为毫米（mm）；

t_n ——标称厚度，单位为毫米（mm）。

此外，包覆在基本为光滑表面上的外护套，其测量值的平均值修约至一位小数，应不小于标称值。

7.1.7 金属套厚度测量

海底电缆金属套采用铅合金套。铅套的最小厚度 t_{min} 应满足：

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

式中：

t_{min}——最小厚度，单位为毫米（mm）；

t_n ——标称厚度，单位为毫米（mm）。

试验方法应符合JB/T 11167.1-2011的规定。

7.1.8 铠装金属丝的测量

7.1.8.1 测量方法

应按JB/T 11167.1-2011中7.1.8的规定执行。

7.1.8.2 要求

铠装金属丝尺寸低于本系列标准第2部分中规定的标称尺寸的量值应不超过：

——圆金属丝：5%；

——扁金属丝：8%。

7.1.9 直径测量

ZHEJIANG MADE

若用户要求测量绝缘芯、电缆外径，应按GB/T 2951.11-2008中8.3进行测量。

7.1.10 交联聚乙烯绝缘热延伸试验

取样和试验方法应按照GB/T 2951.21－2008，并在表3给出的试验条件下进行试验。

应按所采用的交联工艺，在交联度最低的绝缘部分制取试片。

表3 电缆 XLPE 绝缘混合料的热延伸试验要求

序号	试验项目和试验条件	单　　位	性能要求
			XLPE
1	热延伸试验(GB/T 2951.21-2008 中第 9 章)		
	处理条件：空气烘箱温度	℃	200
	温度偏差	℃	±3
	负荷时间	min	15
	机械应力	N/cm^2	20
1.1	负荷下最大伸长率	%	175
1.2	冷却后最大永久伸长率	%	15

7.1.11 电容测量

应测量导体和金属屏蔽和（或）金属套间的电容，测量值应不超过制造方申明的标称值的8%。

7.1.12 局部放电试验

应从挤出电缆首端和末端取至少10 m长试样，按GB/T 3048.12进行局部放电试验，要求测试灵敏度为10 pC 或优于10 pC。

试验电压逐步升高至222 kV(1.75Uo)，保持10 s，然后缓慢地降低至190 kV(1.5Uo)。

试样在试验电压190 kV下应无超过申明的灵敏度的可检出的放电。

7.1.13 雷电冲击电压试验

如果在一个试样上试验，雷电冲电压试验应在经局部放电试验的同一试样上进行。

应在导体温度95℃～100℃下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1050 kV，试样应耐受正负极性各10次雷电冲击电压而不发生绝缘击穿。

7.1.14 导体屏蔽、绝缘屏蔽和半导电外护套电阻率测量

7.1.14.1 试样

应从未经处理或运行的电缆试样绝缘芯取试样进行导体屏蔽、绝缘屏蔽和半导电挤包护套电阻率测量。

7.1.14.2 试验方法

试验方法应按GB/Z 18890.1-2002附录B（标准的附录）的规定。

7.1.14.3 要求

导体屏蔽、绝缘屏蔽的半导电体积电阻率，在（90±2）℃温度范围内测量值应不超过以下值：

——导体屏蔽：1000 Ω·m；

——绝缘屏蔽：500 Ω·m。

ZHEJIANG MADE

半导电挤包护套电阻率，在（23±2）℃温度范围内测量值应不超过1000 Ω·m。

7.1.15 成品电缆检验

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。屏蔽或铠装丝无跳线及灯笼状鼓起的缺陷。

应计数每层铠装的铠装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根铠装丝（圆线或扁线）的直径及其平均截面积。铠装的总截面积应不小于申明值。应测量各铠装层的节距并确认在申明值的允许偏差±10%。

7.2 工厂接头抽样试验

7.2.1 概述

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10 m，并制备工厂接头试样进行试验。若按合同要求特定的工厂接头要作型式试验，此抽样试验可以免除。

若工厂接头未通过7.2.2～7.2.5规定的任何一项试验，应取两个加试的工厂接头试样，并且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在开始制作接头前用以检验工厂接头的设计、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进行的抽样试验。

7.2.2 局部放电和交流电压试验

在恢复外半导电层和金属接地导体或金属套后，应按GB/T 3048.12进行局部放电试验，要求测试灵敏度为10 pC或优于10 pC。

试验电压逐步上升到222 kV（1.75U_0），保持10 s，然后缓慢地下降至190 kV(1.5U_0)，在190 kV下，应无超过申明灵敏度的可检出的放电。

应按6.3规定进行交流电压试验。

7.2.3 雷电冲击电压试验

应按7.1.13规定进行。

7.2.4 交联聚乙烯绝缘热延伸试验

应按7.1.10规定进行。

7.2.5 导体接头拉力试验

截取试样长度不小于500 mm，焊接处应靠近试样的中间部位，两端头用低熔合金浇灌。将试件夹持在试验机的钳口内，夹紧后试件的位置应保证试件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，当试件被拉伸断裂后，读数并记录最大负荷，试验结果抗拉强度按下式计算：

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

式（5）中：

σ ——抗拉强度，单位为牛顿每平方毫米（N/mm^2）；

F——最大力，单位为牛顿（N）；

S——试样标称截面积，单位为平方毫米（mm^2）。

ZHEJIANG MADE

8 海底电缆系统型式试验

8.1 概述

本章规定的各项试验是用以验证海底电缆系统具有满意的性能。

如果在热循环电压试验或雷电冲击耐受试验过程中，试验中断或试验参数发生偏离，应重新进行相应的热循环电压试验或雷电冲击耐受试验。

如果几个试样同时试验发生绝缘击穿，可去除击穿的试样，并且此事故作为一次中断。

击穿的试样判作不合格，并重新试验。任何接头试样延伸范围以内的击穿认作是该接头的击穿。

本标准所涉及的附件应符合GB/Z 18890.3-2002和JB/T 11167.3-2011所规定的电缆附件的相关要求。

8.2 型式试验认可范围

220 kV交联聚乙烯绝缘交流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经受电缆在安装、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。

当特定导体截面相同额定电压和相同设计的220 kV海底电缆系统已经成功地通过型式试验，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220 kV海底电缆系统：

——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；

——导体或金属套下阻水设计和方法没有改变[1)]；

——接头连接设计没有改变；

——工厂接头按导体屏蔽标称直径的计算标称电场强度和雷电冲击电场强度不超过通过试验的电缆系统相应的计算电场强度 10%。

8.3 型式试验概要

型式试验包含成品电缆和附件的机械试验和电气试验，应按8.5至8.9的规定进行。

8.4 试验准备

机械试验所要求最短的完整试样长度和工厂接头间距离按 8.6 规定。8.8 中规定的成品电缆电气型式试验的试样数量由所含的工厂接头数决定。不包含附件的试样电缆长度至少为 10 m。应从经受机械试验的电缆试样取出电缆系统试样。附件间最短的电缆长度应为 5 m。

每种附件应取一个试样经受电气型式试验。

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。

附件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方式进行任何可能改变其电气性、热性能或机械性能的方法进行处理。

8.8.2.7中所述的半导电屏蔽和半导电护套的电阻率测量应在单独的试样上进行。

8.5 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8.1规定方法测量绝缘厚度，以检查绝缘平均厚度超过标称值的百分比。

如果绝缘平均厚度超过标称厚度不到5%，试验电压按表1规定。

如果绝缘平均厚度超过标称厚度的5%，但不超过15%，则应调整试验电压，使得导体屏蔽上电场强度等于绝缘平均厚度为标称值，且试验电压应按表1规定时产生的电场强度。

1） 除去设计改变对试验有影响的项目如 8.7 透水试验以外，全部试验程序不需重复。

ZHEJIANG MADE

用于电气型式试验电缆的绝缘平均厚度应不超过标称值的15%。

8.6 成品海底电缆系统的机械试验

8.6.1 海底电缆和工厂接头

用于8.8规定的成品电缆和工厂接头电气型式试验的试样应经受以下机械试验。

8.6.1.1 卷绕试验

本试验应在8.6.1.2张力弯曲试验前进行。此项试验仅适用于海底电缆在制造或敷设时要卷绕的情况，不适用于海底电缆仅绕在电缆盘上或盘绕在转盘内的情况。海底电缆在卷绕操作时会经受扭转，因此卷绕试验后应检验海底电缆结构是否受损。

卷绕试验应在至少可形成8整圈适当长度的海底电缆上进行。在海底电缆试验段的中间应至少安装2个工厂接头，2个工厂接头末端间最小距离应为2整圈海底电缆。

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绕圈方向，并应在最小的圆形绕圈半径上进行试验。

开始卷绕前，应在海底电缆上标示平行于海底电缆轴向的标志线以检验卷绕操作过程中海底电缆是否均匀扭转。

放线架高度距离绕圈的最上层海底电缆应不超过海底电缆实际卷绕操作高度，例如在制造、收绕和敷设过程中放线架的高度。

海底电缆应根据制造商规定的最小弯曲半径进行卷绕试验，试验时应夹住海底电缆的两端以防止电缆旋转。

卷绕后，应将海底电缆再次绕到电缆盘上。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。

卷绕操作过程中，海底电缆扭转应基本均匀，可通过预先加上的标志线进行评估。从海底电缆试验段中部截取样品，包括1个工厂接头，进行目测检验。

卷绕试验结束后应不产生以下损伤：

a） 电缆绝缘、金属套和外护套破坏；

b） 导体或铠装永久变形。

如随后进行张力弯曲试验，则可在张力弯曲试验后进行目测检验。

8.6.1.2 张力弯曲试验

8.6.1.2.1 试验要求

本试验用以考虑海底电缆在敷设和常规修复操作时施加于海底电缆上的力。常规修复是指修复暴露在海床上的电缆或海底电缆上覆盖物不超过电缆自身直径范围。如海底电缆埋深超过自身直径，并且电缆修复后还要继续使用，则应采用适当方法。在修复电缆前，除去电缆上的覆盖物，亦可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5000 N～20000 N范围内。

如果试样已经进行了8.6.1.1的卷绕试验。可从已试电缆上截取至少含1个工厂接头的电缆进行试验。当敷设时采用特殊设备如采用浮筒以减少机械应力时，按供需双方协议可减小试验张力。

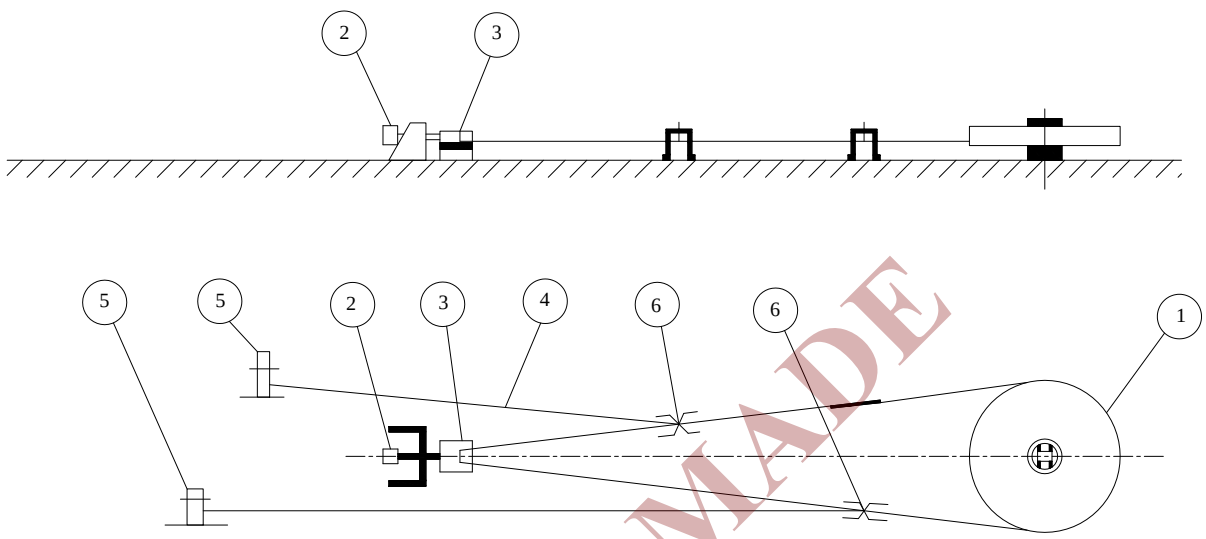
应安装电缆牵引头使远离电缆端头电缆各组件上所产生的力相当于敷设操作时分配的力。

试样长度应至少为30 m。海底电缆端部至工厂接头的距离应至少为10 m或者是铠装节距的5倍，取两者中较大的值。试样卷绕的转轮直径应不大于敷设船配备的放缆滑轮直径。与此试验转轮相接触的海

ZHEJIANG MADE

底电缆长度应至少为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应至少等于试验转轮的周长。

采用合适的设备，试样应在转轮上连续卷绕和退绕三次，不改变弯曲方向，试验设备示意图见图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1　张力弯曲试验示意图

8.6.1.2.2　试验张力的计算

试验张力的计算分为以下两种情况：

a)　水深为0 m～500 m

用式（6）计算试验电缆段受到的试验张力。

$$T = 1.3Wd + H \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：

T ——试验张力，单位为牛顿（N）；

W ——1 m海底电缆在水中的重量，单位为牛顿每米（N/m）；

d ——最大敷设水深，单位为米（m）；

H ——水底接触点对电缆的最大允许张力，见式（7），单位为牛顿（N）。

$$H = 0.2Wd \quad \cdots\cdots (7)$$

式（7）中 d 的最小值规定为200 m。

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应力。

注2：考虑水底接触点对电缆的张力 H 的目的是为给予敷设角的一个安全裕度，以免在敷设过程中发生电缆扭结。

ZHEJIANG MADE

将计算的试验张力以100 N为修约间隔向上修约至最接近的数值。施加的试验张力应至少等于计算试验张力。

b） 水深大于 500 m

若敷设设备和敷设条件为已知，此计算方法也可用于水深小于500 m的特定工程。

注：在深水中敷设重型电缆时，式（6）中的系数1.3可能导致安全裕度太大或太小，这取决于实际敷设情况。

用式（8）计算试验张力。

$$T = W \times d + H + 1.2 \times |D| \quad \cdots\cdots (8)$$

式中：

T ——试验张力，单位为牛顿（N）；

W ——1 m海底电缆在水中的重量，单位为牛顿每米（N/m）；

d ——最大敷设水深，单位为米（m）；

H ——水底接触点对电缆的最大允许张力，见式（7），单位为牛顿（N）；

1.2——动态力的安全系数。

D ——动态张力，单位为牛顿（N），见式（9），按简化模式，忽略纵向弹性和实际的电缆在水中悬垂线状。

$$D = \pm 1/2 \times b_n \times m \times d \times \omega^2 \quad \cdots\cdots (9)$$

式中：

b_n ——敷设滑轮峰对峰垂直运动量，单位为米（m）；

d ——最大敷设水深，单位为米（m）；

m ——海底电缆质量，单位为千克每米（kg/m）；

ω ——$2\pi/t$，敷设滑轮运动角频率，单位为秒分之一（1/s）；

t ——运动时间，单位为秒（s）。

本方法尚不能给出对特定气候状况的b_n和ω的计算通则。若无敷设船详细的运动状况，则应采用实际波幅和周期计算动态张力D，后者计算偏于安全。

应按特定工程，特别是所用敷设船和敷设作业时允许的最恶劣天气条件估计这些参数。

试验张力应以100 N为修约间隔向上修约至最接近的数值。施加试验张力应至少等于计算张力。

8.7 纵向、径向透水试验

8.7.1 概述

当海底电缆具有阻水结构时，应进行透水试验，海底电缆应分别进行导体透水、金属套透水试验和工厂接头径向透水试验。

导体透水试验为模拟电缆在最大水深区域发生故障而造成水从导体侵入，并沿长度方向透水情况。电缆试样应尽量经受接近真实安装条件下的预处理，即试样在浸入水中前应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试验，因为电缆在发生如此故障的情况下，电缆线路会退出运行。制造商应申明海底电缆经10 天透水试验后允许的电缆导体最大透水距离（d_1）。

金属套下透水试验为模拟海底电缆在近岸区域损坏而造成金属套下透水情况，此时外部水压对电缆的作用并不增加金属套下阻水能力。电缆试样的预处理应尽量接近真实的电缆安装情况。即电缆不需进行张力弯曲试验但应经受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

ZHEJIANG MADE

电缆在浅海中受到外部水压的影响严重得多。由于这种情况下电缆损伤不会使电缆退出运行，试验时必须进行热循环。外部压力不会压缩金属套，因此对目前设计采用的铅套，试验压力设定为0.3 MPa 是适合的。如果采用其他试验压力，制造商需提供理由。制造商应申明该海底电缆金属套允许的电缆金属套下最大透水距离（d_2）。

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。海底电缆试样应尽量接近安装状况，即试验前试样应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。

电缆试样应经不同的机械预处理和（或）热的预处理， 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。

除非用户另有特定要求，透水试验用水宜采用自来水或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±2）‰的盐水。

8.7.2 导体透水试验

8.7.2.1 试样准备和预处理

试样应从经受8.6.1机械试验的电缆上截取，试样长度应至少为d_1(1+33%)m，试验可在成品电缆或绝缘线芯上进行。

试样应经受至少3次24 h负荷循环以确保电缆经适度的热膨胀。该负荷循环中导体温度应超过电缆导体最高工作温度5℃~10℃，并在加热阶段的至少最后2 h保持恒定。

预处理后，在试样的一端切除大约50 mm的圆环，直至电缆的导体，试样的另一端密封。

8.7.2.2 试验

当试样浸入最大敷设水深的压力容器中，水压应尽可能快速地上升至规定的压力，以模拟电缆在最深区域的电缆故障，试验连续10天，水温控制在5℃~35℃之间。导体透水试验典型装置见如图2。

试验结束后，取出试样，在距离圆环d_1位置切断电缆，可将该电缆末端浸到100℃以上的硅油中观察是否有煮沸水产生的连续爆裂声，或者用吸墨纸检查电缆末端是否有水的存在。

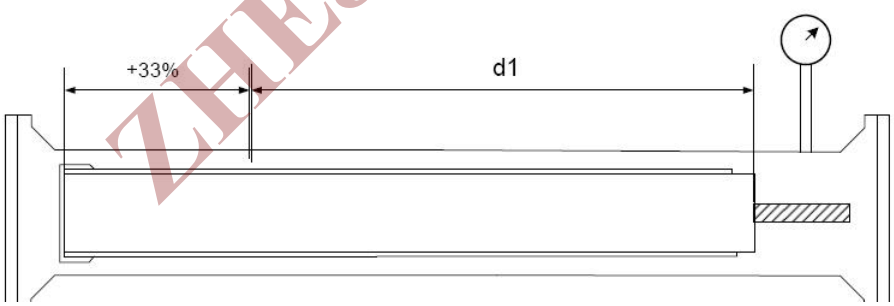


图2 导体透水试验典型装置

8.7.3 金属套下透水试验

8.7.3.1 试样准备和预处理

试样长度应至少为（d_2+1）m，试验可以在成品电缆上或在剥除铠装后的电缆上进行。

试样应经受至少3次24 h负荷循环以确保电缆经适度的热膨胀。该负荷循环中导体温度应超过电缆导体最高工作温度5℃~10℃，并在加热阶段的至少最后2 h保持恒定。

预处理后，在试样的中部或距试样末端1 m位置切除大约50 mm的圆环，直至电缆的绝缘屏蔽。

8.7.3.2 试验

ZHEJIANG MADE

将试样置于压力容器中，水温为5℃~35℃，施加压力至0.3 MPa。金属套透水试验的典型装置见图3。

试样应经受10次24 h负荷循环，该负荷循环中导体温度应超过电缆导体最高工作温度5℃~10℃，并在加热阶段的至少最后2 h保持恒定。

试验结束后，取出试样，在距离圆环d_2位置处检查绝缘屏蔽表面是否有水的存在。

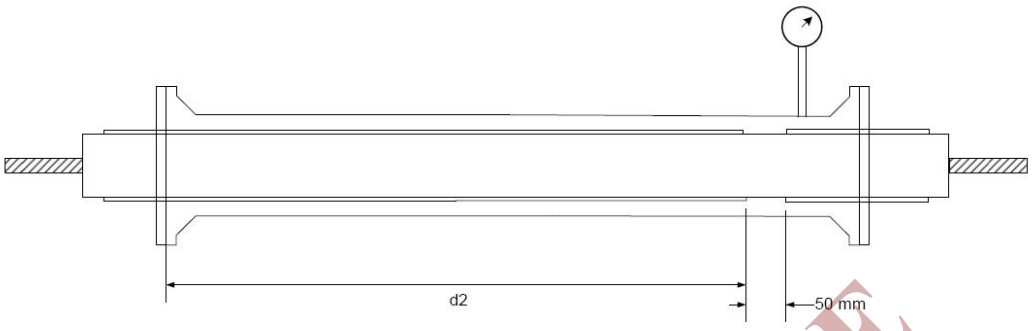


图3　金属套透水试验的典型装置

8.7.4　接头的径向透水试验

8.7.4.1　概述

接头试样应是经受过8.6.1规定的机械试验，并进行至少10次24 h负荷循环，该负荷循环中导体温度应超过电缆导体最高工作温度5℃～10℃，试样两端应密封。

8.7.4.2　试验

将试样浸入在对应敷设水深压力的水中，持续48 h，水温为5℃～35℃。

试验结束后，从水中取出试样，接头的阻水隔离结构应无水渗入迹象，且金属套应无可见的变形。

8.8　成品海底电缆系统电气型式试验

8.8.1　概述

应从经8.6.1张力弯曲试验及卷绕试验后（如果适用）的电缆或电缆系统上取出型式试验的试样。修理接头试样在型式试验前应按8.6.2.2进行张力试验。

无铠装电缆更方便进行电气试验。只要符合以下条件，三芯电缆取一芯或不含铠装的单芯电缆可用作电气试验。单芯电缆试验结果含海缆的机械试验及随后的电气型式试验可以覆盖三芯电缆。

a）　能表明不含铠装的单芯电缆或从三芯电缆取出的一芯电缆，其温度分布并不明显偏离有铠装电缆的温度分布。应注意复合光纤对其影响；

b）　包含铠装和接头盒的成品电缆和附件在电气试验前已经受机械试验；

c）　在电气试验前应目测检验确认未经电气试验的电缆芯符合要求并且与经电气试验的绝缘芯相似。

8.8.2　电气型式试验

8.8.2.1　环境温度下局部放电试验

环境温度（20±15）℃下应按GB/T 3048.12进行局部放电试验。局部放电试验测量灵敏度为5 pC 或优于5 pC。

试验电压逐步升高电压至222 kV(1.75Uo)，保持10 s，然后缓慢地降低至190 kV(1.5Uo)。

ZHEJIANG MADE

试样在试验电压190 kV下应不超过申明的灵敏度下可检出的放电。

8.8.2.2 tgδ 测量

应只通过导体电流将试样加热到规定的温度。可采用测量导体电阻，或采用置于屏蔽或金属套表面的热电偶，或采用同样加热方式的另一段相同电缆试样导体上的热电偶来确定导体温度。

试样加热至导体温度达到95℃～100℃。如果出于实际原因，不能达到试验温度，可以外加热绝缘措施。

工频电压应在127 kV(Uo)下测量tgδ，测量值不应大于8×10^{-4}。

注：此项试验可以在另外装有试验终端的试样上进行，试样不用进行余下试验。

8.8.2.3 热循环电压试验

应只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95℃～100℃ [2)]。

加热应至少8 h。在每个加热期内，导体温度应保持在上述温度范围内至少2 h。随后应自然冷却至少16 h。直到导体温度冷却至不高于30℃或者冷却至高于环境温度15℃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2 h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254 kV(2Uo)电压。试验过程允许中断，只要完成了总共20个加电压的完整热循环即可。

注：导体温度超过100℃的那些热循环也认为是有效的。

8.8.2.4 局部放电试验

应在以下两种状态下进行：

a) 环境温度下；

b) 高温下。

本试验应在 8.8.2.3 热循环电压试验最后一次热循环后进行。

8.8.2.5 雷电冲击电压试验及随后的工频电压试验

应只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℃。导体温度应保持在上述试验温度范围至少2 h [3)]。

应按照GB/T 3048.13给出的试验程序施加雷电冲击电压。

电缆应耐受施加的10次正极性和10次负极性雷电冲击电压1050 kV电压冲击而不发生绝缘击穿或闪络。

雷电冲击电压试验后，应对试样系统进行254 kV(2Uo)，15 min的工频电压试验。由制造方确定，试验可在冷却过程中或在环境温度下进行。不应发生绝缘击穿或闪络。

8.8.2.6 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），以正常视力或经校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、泄露、腐蚀或有害的收缩）。

8.8.2.7 半导电屏蔽和半导电护套（如果采用）电阻率测量

8.8.2.7.1 试样

2) 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。

3) 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。

ZHEJIANG MADE

电缆半导电屏蔽和半导电护套的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8.9.4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，进行导体上和绝缘上的挤包半导电屏蔽的电阻率测定。

应从海底电缆铅套的半导电护套取试样测量电阻率。

8.8.2.7.2 试验方法

试验方法应按GB/Z 18890.1-2002附录B(标准的附录)规定进行。

应在（90±2）℃温度范围内测量半导电屏蔽电阻率。

半导电护套的电阻率应在（80±2）℃下测量。

8.8.2.7.3 要求

老化前后的半导电屏蔽体积电阻率应不超过以下值：

a) 导体屏蔽：1000 Ω·m；

b) 绝缘屏蔽：500 Ω·m；

c) 半导电护套的体积电阻率应不超过 1000 Ω·m 。

8.9 电缆组件和成品电缆段的非电气型式试验

8.9.1 电缆结构检验

导体检查、绝缘测量、外护套和金属套厚度测量应按7.1.4、7.1.6、7.1.7规定进行，且应符合其要求。

8.9.2 老化前后绝缘的机械性能试验

应符合 JB/T 11167.1-2011 中 8.11.2 的规定。

8.9.3 老化前后外护套（ST_7）机械性能试验

应符合JB/T 11167.1-2011中8.11.3的规定。

8.9.4 检验材料相容性的成品电缆段老化试验

应符合 JB/T 11167.1-2011 中 8.11.4 的规定。

8.9.5 外护套(ST_7)高温压力试验

应符合 JB/T 11167.1-2011 中 8.11.5 的规定。

8.9.6 XLPE 绝缘热延伸试验

XLPE绝缘应经受7.1.10规定的热延伸试验，采用表2给出的试验条件，并应符合表2给出的要求。

8.9.7 XLPE 绝缘微孔杂质及半导电屏蔽层与绝缘层界面微孔和突起试验

应按GB/Z 18890.1-2002附录E（标准的附录）规定进行测试，试验结果应符合以下要求：

a) 成品电缆绝缘中应无大于 0.05 mm 的微孔；大于 0.025 mm，小于、等于 0.05mm 的微孔换算到每 10cm^3体积中微孔数应不超过 18 个；

b) 成品电缆绝缘中应无大于 0.125 mm 的不透明杂质。大于 0.05 mm，小于、等于 0.125 mm 的不透明杂质换算到每 10 cm^3体积中不透明杂质数应不超过 6 个；

ZHEJIANG MADE

c） 成品电缆绝缘中应无大于 0.16 mm 的半透明深棕色杂质；
d） 半导电屏蔽层与绝缘层界面应无大于 0.05 mm 的微孔；
e） 导体半导电屏蔽层与绝缘层界面应无大于 0.08 mm 进入绝缘层的突起和大于 0.08 mm 进入半导电屏蔽层的突起；
f） 绝缘半导电屏蔽层与绝缘层界面应无大于 0.08 mm 进入绝缘层的突起和大于 0.08 mm 进入半导电屏蔽层的突起。

9 预鉴定试验

9.1 概述

IEC 62067-2011规定陆上超高压（含额定电压220 kV）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。特别着重于电缆和其附件的绝缘特性、电缆绝缘与附件界面和热机械的长期特性。220 kV海底电缆系统的预鉴定试验要求同陆上电缆系统，但因大长度海底电缆的制造和运行特点，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。

由于海底电缆预鉴定试验不含海缆机械试验，相同材料、制造工艺、设计电场强度水平的220 kV海底电缆和附件试样应先经8.8规定的电气型式试验合格，然后进行预鉴定试验。

9.2 电缆（海底电缆或陆上电缆）系统预鉴定试验认可的一般规则和认可范围

9.2.1 当额定电压 220 kV 交联聚乙烯绝缘电缆系统成功地通过预鉴定试验，制造商就具有供应额定电压 220 kV 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。

9.2.2 当通过预鉴定试验的额定电压 220 kV 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 220 kV 交联聚乙烯绝缘电缆系统的电缆和（或）附件替换时，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，则只要满足 10.2 预鉴定扩展试验要求，目前预鉴定合格鉴定就可以扩展到更换后的另一额定电压 220 kV 交联聚乙烯绝缘电缆或附件系统。

9.2.3 当通过预鉴定试验的额定电压 220 kV 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 220 kV 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 220 kV 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，则此新的成品电缆系统应进行 9.3 规定的预鉴定试验并符合预鉴定试验要求。

9.3 成品海底电缆系统预鉴定试验和认可范围

9.3.1 概述

成品海底电缆系统预鉴定试验除应符合9.2预鉴定试验的一般规定外，还应符合9.3.2、9.3.3、9.3.4的规定。

9.3.2 交联聚乙烯绝缘海底电缆系统与交联聚乙烯绝缘陆上电缆系统相比，主要有以下不同点：
a） 海底电缆系统通常需有工厂接头；
b） 海底电缆通常有铠装结构；
c） 其修理接头通常有机械保护盒（外部设计）。

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（b）和（c）（外部设计）应先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220 kV海底电缆和附件试样应先经8.8规定的电气型式试验合格，然后进行预鉴定试验。

ZHEJIANG MADE
浙江制造 ZHEJIANG MADE

9.3.3 已通过预鉴定试验的220 kV交联聚乙烯绝缘电缆系统的认可范围可以覆盖到另一个220 kV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超过10%，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。

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

9.4 成品海底电缆系统预鉴定试验

9.4.1 概述

预鉴定试验应在包含长约100 m电缆试样上进行的电气试验，含附件每种至少一件。附件间电缆最小净长应为10 m。预鉴定试验程序如下：

a) 热循环电压试验（9.4.4）；

b) 雷电冲击电压试验（9.4.5）；

c) 上述试验完成后检验电缆系统（9.4.6）。

如果有一个或多个附件不能通过10.4规定的所有试验，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。假如余下的电缆系统符合9.4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9.4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。

9.4.2 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的8.1规定方法测量绝缘厚度，在用作预鉴定试验的电缆上取代表性试件，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8.5规定的要求。

9.4.3 试验布置

电缆和附件应按制造商说明书规定方法进行安装，采用所提供的等级和数量的材料，包括润滑剂(如有）。

试验布置应代表敷设设计的状况，例如刚性固定、挠性固定和过渡区敷设、埋地和空气中敷设。特别应注意附件热机械方面状况。

考虑海缆系统预鉴定试验布置难以模拟海缆系统在海底下实际敷设状况，如有要求，推荐采用8.7.4对海缆系统的刚性接头的金属保护盒径向透水性能加严试验，作为海缆系统预鉴定的试验的补充试验。透水试验持续时间增加至96 h。

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4.1 所述的环境温度限制。

单芯海底电缆的铠装会产生环流。为达到正确的导体温度，试验的主回路和参照回路的导体电流和铠装电流应相同，两个回路的外部热特性应相同。

9.4.4 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℃～95℃。试验过程中因环境温度变化要调节导体电流。

ZHEJIANG MADE

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。加热至少应8 h，每个加热期间导体温度应至少2 h保持上述温度，随后至少经16 h自然冷却。

在整个试验期间8760 h内应对组装试样施加电压216 kV(1.7Uo)和热循环，加热和冷却循环至少应进行180次。

试验期间应不发生试样击穿。

注1：如果由于实际原因，不能达到试验温度，可以外加热绝缘措施。

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而不管那些可能发生的中断。

注4：导体温度超过 95℃的那些热循环也认为有效。

9.4.5 雷电冲击电压试验

试验应在取自试验系统的总有效长度最少30 m的一根或多根电缆试样上进行，在导体温度达到90℃～95℃温度下进行雷电冲击电压试验。导体温度应保持在上述温度范围至少2 h。

注：作为替代，试验也可在整个试验回路上进行。

应按GB/T 3048.13给出的步骤施加冲击电压。

电缆回路应耐受1050 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破坏。

9.4.6 检验

海底电缆试样（电缆和附件）检验和要求应按8.8.2.6的规定执行。

10 预鉴定扩展试验

10.1 概述

扩展预鉴定试验主要用于更换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，即附件的内部设计改变而进行预鉴定扩展试验以确认设计合理。。

根据海底电缆系统并不引入特定的预鉴定试验的相同理由，海底电缆的扩展预鉴定试验亦不增加另外的试验要求。只要附件的内部设计相同或相似，陆上电缆系统的预鉴定扩展试验亦可以覆盖海底电缆系统。假如附件机械设计有改变，在开始电气型式试验前应经机械试验验证其外部设计是否合理。

10.2 海底电缆预鉴定扩展试验

10.2.1 概述

预鉴定扩展试验应包括下述10.2.2成品电缆系统的预鉴定扩展试验电气试验和8.9的电缆组件和成品电缆段的非电型式试验。

10.2.2 成品电缆系统预鉴定扩展试验的电气试验

10.2.2.1 试样及试验布置

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试样按10.2.2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。试验可在试验室进行，而不必模拟真实的敷设条件。

附件试样间电缆最短长度为5 m。电缆最短的总长度最短应为20 m。

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。弯曲直径对铅或铅合金套电缆为：

ZHEJIANG MADE

——单芯电缆为 25(d +D)+5%；

——三芯电缆为 20(d +D)+5%。

其中：

——d 为导体标称直径，单位为毫米（mm）；

——D 为电缆标称直径，单位为毫米（mm）。

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

10.2.2.2 试验电压

预鉴定扩展试验前应测量电缆绝缘厚度和试验电压调整（如有必要），按 8.5 规定。

10.2.2.3 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，如此反复弯曲应总共进行三次，对铅或铅合金套电缆的弯曲直径同 10.2.2.1。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，此项试验可以免除；

b) 弯曲试验后局部放电试验（见 8.8.2.4）以检验安装的附件质量；

c) 不施加电压热循环试验（见 10.2.2.4）；

d) tgδ 试验（见 8.8.2.2）；

e) 热循环电压试验(见 8.8.2.3)；

f) 环境温度及高温下局部放电试验（见 8.8.2.4）；

g) 雷电冲击电压试验及随后的工频电压试验（见 8.8.2.5）；

h) 假如未作上述（e）项试验，需经局部放电试验,同（b）；

i) 完成上述试验后对电缆附件进行检验（见 8.8.2.6）；

j) 半导电屏蔽和半导电挤包护套体积电阻率测量（见 8.8.2.7）。如果只对附件进行预鉴定扩展试验，此项试验可以免除。

10.2.2.4 不施加电压热循环试验

应只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℃。

加热应至少8 h，在每个加热期内，导体温度应保持在上述温度范围内至少2 h。随后应自然冷却至少16 h，直至导体温度冷却至不高于30℃或者冷却至高于环境温度15℃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2 h的导体电流。

加热冷却循环应进行60次。

注：导体温度超过95℃的那些热循环也认为有效。

11 安装后电气试验

11.1 绝缘交流电压试验

在新的电缆线路上电缆及其附件安装完成后应对绝缘进行交流电压试验。

施加交流试验电压180 kV，时间1 h。电压波形应基本为正弦形，频率为10 Hz～300 Hz。

作为替代，可用交流试验电压127 kV，时间24 h，作为最低试验要求。

11.2 时域反射计试验（TDR）

ZHEJIANG MADE

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

时域反射计测试所用的脉冲传输取决于电缆的电阻、电容和电感。由于所有信号力求消耗最小能量，脉冲沿电感和电阻最低的回路传输。海底电缆有金属屏蔽，而脉冲波不会在屏蔽外传输，因该处电感（及阻抗）增加很大。脉冲传输不受转盘卷绕或安装后状况的影响。试验表明，工厂内转盘上电缆与安装后电缆的时域反射脉冲波速非常接近，因而电缆宜在安装后进行时域反射测试。

ZHEJIANG MADE

浙江制造 ZHEJIANG MADE