团体标准

发 布

中国电机工程学会

202X—XX—XX实施

202X—XX—XX发布

柔性低频交流输电系统高压电气设备

第6部分 低频交流交联聚乙烯海底电缆试验规范

Test specification for low frequency AC cross-linked polyethylene submarine cable

（征求意见稿）

T/CSEE XX —202X

ICS 19.020

CCS K40

目 次

[前 言 III](#_Toc180509497)

[1 范围 1](#_Toc180509498)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc180509499)

[3 术语和定义 2](#_Toc180509500)

[4 试验条件 2](#_Toc180509501)

[4.1 环境温度 2](#_Toc180509502)

[4.2 低频试验电压的频率和波形 2](#_Toc180509503)

[4.3 低频试验电流的频率和波形 2](#_Toc180509504)

[4.4 雷电冲击试验电压波形 2](#_Toc180509505)

[4.5 操作冲击试验电压波形 2](#_Toc180509506)

[4.6 试验电压与额定电压的关系 2](#_Toc180509507)

[5 电缆的特性和主要设计参数 3](#_Toc180509508)

[6 例行试验 4](#_Toc180509509)

[6.1 概述 4](#_Toc180509510)

[6.2 制造长度电缆例行试验 4](#_Toc180509511)

[6.3 工厂接头例行试验 5](#_Toc180509512)

[6.4 交货长度电缆例行试验 6](#_Toc180509513)

[6.5 修理接头例行试验 6](#_Toc180509514)

[6.6 终端例行试验 6](#_Toc180509515)

[6.7 过渡接头例行试验 6](#_Toc180509516)

[7 抽样试验 7](#_Toc180509517)

[7.1 电缆抽样试验 7](#_Toc180509518)

[7.2 工厂接头抽样试验 10](#_Toc180509519)

[7.3 修理接头和终端的抽样试验 10](#_Toc180509520)

[8 型式试验 10](#_Toc180509521)

[8.1 概述 10](#_Toc180509522)

[8.2 型式试验认可范围 11](#_Toc180509523)

[8.3 型式试验概要 11](#_Toc180509524)

[8.4 试验准备 11](#_Toc180509525)

[8.5 电气型式试验的电缆绝缘厚度检查和试验电压调整 11](#_Toc180509526)

[8.6 成品海底电缆系统的机械试验 11](#_Toc180509527)

[8.7 纵向、径向透水试验 14](#_Toc180509528)

[8.8 成品海底电缆系统电气型式试验 17](#_Toc180509529)

[8.9 电缆组件和成品电缆段的非电气型式试验 19](#_Toc180509530)

[9 预鉴定试验 21](#_Toc180509531)

[9.1 概述 21](#_Toc180509532)

[9.2 电缆系统预鉴定试验认可的般规则和认可范围 22](#_Toc180509533)

[9.3 成品海底电缆系统预鉴定试验和认可范围 22](#_Toc180509534)

[9.4 成品海底电缆系统预鉴定试验 22](#_Toc180509535)

[10 预鉴定扩展试验 23](#_Toc180509536)

[10.1 概述 23](#_Toc180509537)

[10.2 海底电缆预鉴定扩展试验 24](#_Toc180509538)

[11 安装后电气试验 25](#_Toc180509539)

[11.1 绝缘交流电压试验 25](#_Toc180509540)

[11.2 时域反射计试验（TDR) 25](#_Toc180509541)

[附 录 A 26](#_Toc180509542)

[附 录 B 28](#_Toc180509543)

[B.1 试验设备 28](#_Toc180509544)

[B.2 试样制备 28](#_Toc180509545)

[B.3 步骤 28](#_Toc180509546)

[B.4 试验结果及计算 28](#_Toc180509547)

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准化管理办法》、《中国电机工程学会标准化管理办法实施细则》的要求，依据GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会XXXXXXXXXX标准专业委员会技术归口和解释。

本文件起草单位：、、、。

本文件主要起草人：、、、。

本文件首次发布。

本文件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)）。

低频交流交联聚乙烯海底电缆试验规范

1. 范围

本标准的本部分规定了额定电压10kV~500kV、系统频率低于50Hz的交流海底电缆系统、电力电缆及其附件的试验方法和要求。

此试验要求适用于额定电压10kV~500kV单芯和三芯交联聚乙烯低频海底电缆和光纤复合交联聚乙烯绝缘低频交流海底电缆；也适用于工厂接头（软接头）、修理接头、海底电缆与陆上电缆间过渡接头和终端等海底电缆附件。

本部分不适用于特殊应用场合如海上浮动平台的动态电缆的试验。

1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 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 3048.12 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 3956-2008 电缆的导体

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 32346.1-2015 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

GB/T 32346.2-2015 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2部分：大长度交流海底电缆

GB/T 32346.3-2015 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3部分：海底电缆附件

GB/T 41629.1-2022 额定电压500 kV(Um=550 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

GB/T 41629.2-2022额定电压500 kV(Um=550 kV)交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆及附件 第2部分：大长度交流海缆

GB/T 41629.3-2022 额定电压500 kV(Um=550 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

JB/T 11167.1-2011 额定电压10kV（Um=12kV）至110kV（Um=126kV）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 11167.2-2011 额定电压10kV(Um=12kV)至110kV(Um=126kV)交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆及附件 第2部分：交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆

JB/T 11167.3-2011 额定电压10kV(Um=12kV)至110kV(Um=126kV)交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆及附件 第3部分：交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆附件

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）和损起计算一般规定

1. 术语和定义

GB/T 32346.1、GB/T 41629.1、JB/T 11167.1界定的术语和定义适用于本文件。

**低频海底电缆 Low frequency submarine cable**

应用于额定频率为50 Hz以下交流输电系统中的海底电缆。

1. 试验条件
   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（25±15℃下进行）。

* 1. 低频试验电压的频率和波形

试验电压频率应为低频系统的运行频率，波形应基本是正弦形。电压值以均方根值（r.m.s.）表示。

* 1. 低频试验电流的频率和波形

试验电流频率应为低频系统的运行频率，波形应基本是正弦形。电流值以均方根值（r.m.s.）表示。

* 1. 雷电冲击试验电压波形

按照GB/T 3048.13，标准雷电冲击电压波的波前时间应为1µs~5µs，按照GB/T 16927.1，半波峰时间应为（50±10）µs。

* 1. 操作冲击试验电压波形

按照GB/T16927.1规定,标准操作冲击电压的波前时间应为(250±50)µs，半波峰时间应为(2500±1500)µs。

* 1. 试验电压与额定电压的关系

本部分中的试验电压是根据假定电缆和附件用于IEC 60183中定义的A类系统而确定。本部分规定的试验电压用额定电压*U*0的倍数表示，试验电压应按表1、表2和表3规定。

表1 试验电压（额定电压500kV）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 额定电压*U* | 设备最高电压*U*m | 用于确定试验电压的*U*0值 | 电压试验2*U*0a  （60min） | 局部放电试验  1.5*U*0 | 热循环电压试验2*U*0 | 雷电冲击电压试验 | 雷电冲击电压试验后的电压试验  2*U*0 | 操作冲击电压试验 | 安装后的电压试验 |
| kV | kV | kV | kV | kV | kV | kV | kV | kV | kV |
| 500 | 550 | 290 | 580 | 435 | 580 | 1550 | 580 | 1175 | 493（1h） |
| 290（24h） |
| a 绝缘的电场强度不宜超过阈值27MV/m~3MV/m，以避免电缆在交货前遭受任何可能导致以后运行时发生击穿的绝缘损伤。9.3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。  在制造方和购买方同意条件下，即使绝缘试验最大电场强度低于30MV/m，9.3电压试验亦可采用较低电压和较长时间代替，但试验电压应不低于435kV(1.5*U*0)，试验时间不超过10h。 | | | | | | | | | |

表2 试验电压（额定电压220kV）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 额定电压*U* | 设备  最高电压*U*m | 用于确定试验电压的*U*0值 | 电压试验2.5*U*0  （30min） | 局部放电试验  1.5*U*0 | tanδ  试验  *U*0 | 热循环电压试验2*U*0 | 雷电冲击电压试验 | 雷电冲击电压试验后的电压试验  2*U*0 | 安装后的电压试验  （60min） |
| kV | kV | kV | kV | kV | kV | kV | kV | kV | kV |
| 220 | 252 | 127 | 318 | 190 | 127 | 254 | 1050 | 254 | 180 |

表3 试验电压（额定电压10kV~110kV）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 额定电压*U* | 设备  最高电压  *U*m | 用于确定试验电压的*U*0值 | 电压试验 | 局部放电试验  1.73*U*0 | tanδ  试验 | 热循环电压试验2*U*0d | 雷电冲击电压试验 | 安装后  电压试验  （60min） | 4h电压  试验  4*U*0 |
| kV | kV | kV | kV | kV | kV | kV | kV | kV |  |
| 110 | 126 | 64 | 160a | 96c | 64 | 128 | 550 | 128 | - |
| 35 | 40.5 | 21 | 53a | 26 | 21 | - | 200 | 42 | 84 |
| 26 | 65a | 45 | 26 | - | 52 | 104 |
| 30 | 36 | 18 | 63b | 30 | ≥2 | - | 170 | 36 | 72 |
| 20 | 24 | 12 | 42b | 20 | - | 125 | 24 | 48 |
| 15 | 17.5 | 8.7 | 30.5b | 15 | ≥2 | - | 95 | 17 | 35 |
| 10 | 12 | 6 | 24b | 10 | - | 75 | 12 | 24 |
| 8.7 | 30.5b | 15 | - | 17 | 35 |
| a 试验电压为2.5*U*0，施加电压时间为30min。  b 试输电压为3.5*U*0，施加电压时间为5 min。  c 试验电压为1.5*U*0。  d 试验电压频率10Hz~300Hz，时间为1h。 | | | | | | | | | |

1. 电缆的特性和主要设计参数

为实施和记录本部分所述电缆系统的试验，应确知或申明以下电缆的特性

1. 金属铠装的材料和结构，如铠装丝数量和直径；
2. 电缆设计敷设水深和电缆安装时最大张力；
3. 阻止导体和金属屏蔽或金属套下纵向透水的方法；
4. 导体最高设计工作温度；
5. 卷绕能力，包括卷绕试验参数；
6. 额定电压，应给出4.5中*U*0，*U*和*U*m的值；
7. 导体类型、材料和标称截面积和导体结构；
8. 绝缘材料和标称厚度（*t*n）；
9. 绝缘的制造工艺；
10. 金属屏蔽层或金属套材料和标称厚度；
11. 外护套材料和标称厚度；
12. 导体标称直径（*d*）；
13. 电缆标称直径（*D*）；
14. 绝缘的标称内径(*d*ii)和外径(*D*io)；
15. 导体与金属屏蔽或金属套间的标称电容值；
16. 计算的导体屏蔽上的标称电场强度(*E*i)和绝缘屏敲上的标称电场强度(*E*0)，

 （1）

 （2）

 （3）

式中：

*D*io——计算的绝缘标称外径，单位为毫米(mm)；

*d*ii ——申明的绝缘标称内径，单位为毫米(mm)；

*t*n ——申明的绝缘标称厚度，单位为毫米(mm)。

1. 例行试验
   1. 概述

例行试验用以表明制造的电缆完整，并证明产品符合设计和创造规范而不超出规定偏差范围。

* 1. 制造长度电缆例行试验

应在每个制造长度电缆上进行试验。

* + 1. 电压试验

按4.1规定的环境温度和4.2规定的低频试验电压的频率和波形进行电压试验。

对于500kV电缆，应将导体与金属屏蔽和（或）金属套之间的试验电压逐渐上升至580kV（2*U*0），然后保持60min。制造长度电缆绝缘应不发生击穿。

对220kV电缆，将导体与金属屏蔽和（或）金属套之间的试验电压逐步升高至318kV(2.5*U*0），保持30min。制造长度电缆绝缘应不发生击穿。

对35kV和110kV电缆，应逐步将导体与金属屏蔽和（或）金属套之间的试验电压升高至2.5*U*0，试验时间应为30min，试验期间绝缘应不发生击穿。

对10kV~30kV电缆，应逐步将导体与金属屏蔽和（或）金属套之间的试验电压升高至3.5*U*0，试验时间应为5min，试验期间绝缘应不发生击穿。

如因电缆长度太长而无法采用相应的系统电压频率进行试验，允许对制造长度电缆采用频率不低于10Hz交流电压进行例行试验。

* + 1. 局部放电试验

通常海底电缆长度远大于计及电缆衰减所能进行局部放电测量的长度，因此通常在挤出电缆的起始端和结束端取试样进行局部放电测量。

应按GB/T 3048.12进行局部放电试验。要求测试灵敏度为10pC或优于10pC。附件的试验按相同原则进行。

对于500kV电缆，试验电压应逐渐升至508kV（1.75*U*0）并保持10s，然后慢慢地降至435kV(l.5 *U*0），在435kV下被试品应无可检测出的放电。

对220kV电缆，试验电压逐步上升至222kV（1.75*U*0），保持10s，然后缓慢地下降至190kV(1.5*U*0）。在190kV下，制造长度电缆应无超过申明灵敏度的可检出的放电。

对110kV电缆，升高试验电压至1.75 *U*0，保持10s，然后缓慢地降低至1.5*U*0测量局部放电。在96kV下，在计及放电脉冲衰减条件下．要求测试灵敏度为10pC或优于10pC，试样在测量电压下应无超过申明灵敏度的可检出的放电。

对10kV~35kV电缆，升高试验也压至2*U*0，保持10s，然后缓慢地降低至1.73*U*0的测量局部放电。在计及放电脉冲衰减条件下．要求测试灵敏度为10pC或优于10pC，试样在测量电压下应无超过申明灵敏度的可检出的放电。

假如制造长度电缆相对较短，局部放电测试灵敏度可以达到10pC或优于10pC，则可在每根制造长度电缆上进行局部放电测试。

假如制造长度电缆的长度很长，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，制造长度电缆应按7.1.12电缆抽样试验的局部放电试验程序进行局部放电试验。

* + 1. 电缆外护套电气试验

对于500kV电缆，按GB/T 2952.1规定，在金属套和外护套表面导电层之间以金属套接负极施加直流电压25kV，历时1min，外护套应不击穿。可以在外护套上包裹导电层，也可以将电缆浸入水中进行试验。

* 1. 工厂接头例行试验
     1. 局部放电试验

推荐采用局部放电试验作为每个工厂接头的例行试验。试验方法在考虑中。局部放电试验灵敏度应为5pC或优于5pC。工厂接头应在包覆外半导电屏蔽后即进行局部放电检测。在与制造长度电缆例行试验相同的电压下，应无超过申明的灵敏度的可检出的放电。

如果由于试验现场例如环境噪音等实际原因而不能进行工厂接头的局部放电检测，在制造商和用户协议下，可以采用如超声披测量等方法或质量管理程序替代局部放电试验。

* + 1. 电压试验

所有工厂接头在成品电缆交货时还要经受6.4.2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的延误。在与制造长度电缆例行试验相同的电压和相同试验时间下，工厂接头应不发生击穿。

* + 1. X射线检验

6.3.3.1 工厂接头恢复绝缘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气泡及金属杂质等状况，以表明工厂接头质量完好。

注：试验方法和要求在考虑中。

6.3.3.2 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，以表明焊接质量完好。

注：试验方法和要求在考虑中。

* 1. 交货长度电缆例行试验
     1. 概述

本项试验为交货电缆的工厂验收试验（FAT，Factory Acceptance Test）。如果电缆装运前电缆上己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。

* + 1. 电压试验

每根交货电缆应经受6.2.1中的交流电压试验。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。

* + 1. 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，可以对每根交货电缆进行局部放电试验。交货长度电缆按6.2.2规定的施加电压方法和灵敏度要求以及GB/T 3048.12长电缆局部放电试验程序进行局部放电试验。

* 1. 修理接头例行试验
     1. 概述

如果刚性修理接头的主绝缘为预制绝缘件，这些预制绝缘件可以在接头安装前经受例行试验。经制造商与用户协议，可以采用模拟附件试验装置对预制绝缘件进行例行试验。试验时要求预制绝缘件

所受电场强度与实际电场强度相同。试验要求按6.5.2和6.5.3对于软接头型修理接头，推荐采用6.3.1局部放电试验进行修理接头试验。如果由于试验现场例如环境噪音等实际原因而不能进行接头的局部放电检测，在制造商和用户协议下，可以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。

* + 1. 预制绝缘件局部放电试验

在6.3.1规定的施加电压方法和灵敏度要求下，应无超过申明的灵敏度的可检出的放电。

* + 1. 预制绝缘件电压试验

在6.3.2中规定的交流试验电压下，预制绝缘件应不发生击穿。

* 1. 终端例行试验

假如终端由预制绝缘件构成，这些预制绝缘件可以在终端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电场强度相同。假如终端不是预制绝缘件结构，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。

预制绝缘件的试验要求按6.5执行。

* 1. 过渡接头例行试验

如果过渡接头由预制绝缘件构成，这些预制绝缘件可以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作为过被接头的例行试验。试验要求预制绝缘件所受电场强度与实际电场强度相同。

预制绝缘件的试验要求按6.5。

1. 抽样试验
   1. 电缆抽样试验
      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、7.1.13应从绝缘线芯或成品电缆上取样进行试验。

* + 1. 试验频度

试验项目7.1.4、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。假如经制造商与用户协议同意短段电缆能做局部放电试验，试样数可以减少。

* + 1. 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，就原先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，则应判该电缆为不合格。

* + 1. 导体检验

应采用实际可行的检测方法检验导体是否符合GB/T 3956。

* + 1. 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。

应根据GB/T 3956中公式和系数，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JB/T 10181.11-2014表1所示的电阻率和温度系数来确定。

* + 1. 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。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。

7.1.6.2 绝缘要求

最小测量厚度不应小于标称厚度的90%，见式（4）：

 （4）

以及，由式（5）定义的绝缘的偏心度不应大于8%:

 （5）

式中：

——最大厚度，单位为毫米（mm)；

——最小厚度，单位为毫米（mm)；

 ——标称厚度，单位为毫米（mm）。

注：其中和为绝缘同一截面上的测量值。

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 对电缆外护套的要求

外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%，见式（6）

 （6）

式中：

——最小厚度，单位为毫米（mm)；

 ——标称厚度，单位为毫米（mm）。

此外，包覆在基本光滑表面上的外护套，其测量值的平均值（mm）按附录B修约至一位小数，不应小于标称厚度。

* + 1. 金属套厚度测量

7.1.7.1 概述

海底电缆金属套采用铅和铅合金套。以下试验适用于铅和铅含金套厚度测量。铅或铅合金套的最小厚度应不小于标称厚度的95%-0.1mm，见式（7）。

 （7）

式中：

——最小厚度，单位为毫米（mm)；

——标称厚度，单位为毫米（mm）。由制造方确定采用下述的一个方法测量铅套厚度。

7.1.7.2 窄条法

应采用测微计进行测量，测微计的两个平面的直径为4mm8mm，测量精度为±0.01mm.

应从成品电缆取出一段长约50mm的铅套试件进行测量。应将试件沿纵向剖开，并小心地展平。在试件作清洁处理后，应沿铅套圆周，在距展平的铅片边缘不小于10mm处作足够多点的测量，以确保测得最小厚度。

7.1.7.3 圆环法

应采用测微计进行测量，测微计的一个测量头为平面，另一测量头为球面，或一个测量头为平面，另一测量头为宽0.8mm、长2.4mm的矩形面。球面测量头或矩形平面测量头应置于圆环内侧。测微头的精度为±0.01mm.

应从试样小心地切下圆环进行测量。应沿圆形四周足够多点上测量厚度以确保测得最小厚度。

* + 1. 铠装金属丝的测量

7.1.8.1 测量方法

使用具有两个平面测量头准确度为士0.01mm的测微计来测量圆铠装金属丝直径和扁铠装金属丝的厚度。圆铠装金属丝测量应在同一截面上两个互成直角的位置上个测一次，取两次测量平均值作为金属丝的直径。

7.1.8.2 要求

铠装金属尺寸低于GB/T 41629.2、GB/T 32346.2、JB/T 11167.2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%。

* + 1. 直径测量

如果用户要求测量绝缘线芯和（或）电缆外径，测量应按GB/T 2951.11-2008中的8.3进行。

* + 1. 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，并采用表4给出的试验条件进行试验。应按所采用的交联工艺，在认为交联度最低的绝缘部分制取试片。

表4 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 |
| 1  1.1  1.2 | 热廷伸试验(GB/T2951.21-2008的9章)  处理条件：空气烘箱湿度  温度偏差  负荷时间  机械应力  负荷下最大伸长率  冷却后最大永久伸长率 | ℃  K  min  N/cm2  %  % | 200  ±3  15  20  175  15 |

* + 1. 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%。

* + 1. 局部放电试验

如果未经6.2.2例行试验的局部放电试验，则应从挤出电缆首端和末端取至少10m长试样进行局部放电试验。试验要求同6.2.2.

* + 1. 雷电冲击电压试验

如果在一个试样上试验，雷电冲击电压试验应在经局部放电试验同一试样上进行。应在导体温度95℃~100℃下对电缆试样进行试验。应按GB/T 3048.13规定的方法，对试样施加如表1、表2、表3所示的雷电冲击试验电压。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

* + 1. 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绝缘芯取试样进行导体屏蔽、绝缘屏蔽和半导电外护套电阻率测量。

7.1.14.2 试验方法

试验方法应按附录A。

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：1000Ω•m；

——绝缘屏蔽：500Ω•m。

半导电护套体积电阻率，在（80±2）℃温度范围内测量值应不超过1000Ω•m。

* + 1. 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士10%以内。

* 1. 工厂接头抽样试验
     1. 概述

对海底电缆系统，推荐按6.2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，因为例行试验可检验整个海底电缆的质量。

7.2.2至7.2.5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10m，并制备工厂接头试样进行试验。假如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。

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。

* + 1. 局部放电试验和交流电压试验

在恢复外半导电层和金属接地导体或金属套后，即可按6.3.2和6.3.3进行局部放电试验和交流电压试验。局部放电测试灵敏度为5pC或优于5pC.

* + 1. 雷电冲击电压试验

按7.1.13进行。

* + 1. 交联聚乙烯绝缘热延伸试验

按7.1.10进行。

* + 1. 导体接头拉力试验

应按制造商规范进行导体接头拉力试验。导体接头拉断力要求及试验方法分别见GB/T 41629.3、GB/T 32346.3、JB/T 11167.3，此项试验可在分开的导体试样上进行。

* + 1. 试验合格准则

假如工厂接头未通过上述任何一项试验，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。

* 1. 修理接头和终端的抽样试验

抽样试验不适用于海底电缆系统的修理接头和终端。

1. 型式试验
   1. 概述

本章规定的试验目的为表明海底电缆系统具有符合预期使用条件的满意性能。如果在热循环电压试验或雷电冲击试验过程中，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。任何由3.1、3.2和3.3定义的接头试样延伸范围以内的击穿认作是该接头的击穿。

* 1. 型式试验认可范围

交联聚乙烯绝缘低频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。

当特定导体截面和相同设计的低频交流海底电缆系统已经成功地通过型式试验，则在符合GB/T 41629.1、GB/T 32346.1、JB/T 11167.1中的规定和以下附加条件下，此型式试验有效范围可以覆盖到相同运行频率、同一电压等级、其他导体截面的低频海底电缆系统：

——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；

注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，全部型式试验程序不需重复。

——接头的导体连接设计没有改变；

——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与通过试验的电缆系统相应的计算电场强度相比较不超过10%。

注2：工厂接头与电缆尺寸相同，因此电气和机械上处理和试验应与电缆相同。

* 1. 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，按8.5~8.9规定进行。

* 1. 试验准备

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8.6规定。

* 1. 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是否超过标称值太多。

如果绝缘平均厚度超过标称厚度不到5%，试验电压按表l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为按表1规定时产生的电场强度。

用于电气型式试验电缆的绝缘平均厚度应不超过标称值15%。

* 1. 成品海底电缆系统的机械试验
     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

如果适用，此项试验应在8.6.1.2张力弯曲试验前进行。此项试验仅适用于电缆在制造或敷设时要卷绕的情况，而不适用于电缆仅仅绕在电缆盘上或盘绕在转盘内的情况。电缆在卷绕操作时，会经受扭转，因此在卷绕试验后检验电缆结构是否受损很重要。卷绕试验应在至少可形成人整圈的电缆上进行试验。应在电缆试验段的中间至少安装两个工厂接头。接头的末端间最小距离应为两整圈电缆。但假如采用刚性修理接头，则卷绕试验只需包含一个工厂接头。

绕圈的形状应与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。务必要能够在最小半径的圆形绕圈上进行试验。

在开始卷绕前，应在电缆上标上平行于电缆轴的标志线以检验卷绕操作过程中电缆是否均匀扭转。绕圈的电缆最上层上放线架高度应不超过可以预计的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。

夹住电缆两端以防止电缆旋转，电缆应以制造商规定的最小弯曲半径卷绕电缆。

卷绕后，电缆应再绕到电缆盘上。这样的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，电缆扭转应基本均匀，如预先加上的标志线所示。从电缆试验段中间部分取试样，包括1个工厂接头，应经目测检验。

卷绕试验结束试样应不产生以下损伤：

——电缆绝缘、金属套和外护套破坏；

——导体或铠装永久变形。

假如随后的张力弯曲试验亦将进行（8.6.1.2），则可在张力弯曲后作目测检验，因而可能减少接头数量而完成此项试验。

8.6.1.2 张力弯曲试验

8.6.1.2.1 试验要求

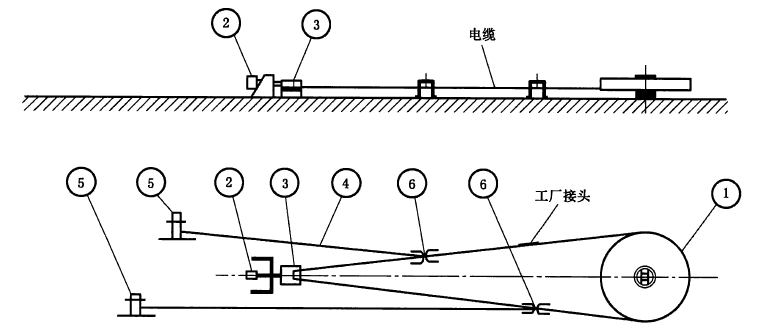
本项试验用以考虑到在电缆敷设和常规的修复电缆操作时施加于电缆上的力。常规的修复定义为修复暴露置于海底的电缆或电缆上覆盖物不超过电缆自身直径范围。假如电缆埋入范围超过自身直径，并且电缆在修复后还要重新使用，则应采用适当方法，在修复电缆前，除去电缆上的覆盖物。亦可直接在置于电缆沟移出电缆进行修复，但在此情况下张力试验中应估计井加上此所需的额外的张力。典型情况下，此外加的张力可考虑在5000N~20000N之间。

假如已经卷绕试验，本项试验可从经8.6.1.1卷绕试验至少含一个工厂接头的己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，按制造商和用户协议，张力弯曲试验时可减少试验张力。

应安装电缆牵引头使得远离电缆端头电缆各不同组件上所受的合力相当于敷设操作时所分配的力。

试样长度至少应为30m。电缆端部至工厂接头的距离至少为10m或是铠装节距的5倍，取其较大的值。试样卷绕在直径不大于装置在敷设船的放缆滑轮直径的转轮上。与此试验转轮相接触的电缆长度至少应两倍于铠装节距，且不小于圆盘周长的一半。假如试样含几个接头，则接头间距离至少应等于试验转轮周长。

采用适用的设备，包含可能有的接头的电缆试样应在转轮上连续地卷绕和退出卷绕三次，而不改变弯曲方向。图l是适用于此试验的一个设备的示例。



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——牵引头。

图1 张力弯曲试验机

8.6.1.2.2 试验力计算

8.6.1.2.2.1 水深为0m~500m

此方法推荐用于电缆敷设和修复通常在水深小于500m的情况。用式（8）计算试验电缆段受到的试验张力：

 （8）

式中：

T——试验张力，单位为牛（N）；

W一lm电缆水中重量（电缆自重减去排开的同体积水重），单位为牛每米（N/m)；

d——最大敷设水深，单位为米（m)；

H——最大允许水底接触点对电缆的张力C见式（9），单位为牛（N）。

 （9）

式（9）中d的最小值规定为200m。

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力而附加的力。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。

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。

8.6.1.2.2.2 水深大于500m

此方法特别用于电缆敷设深度大于500m场合，但如敷设设备和敷设条件为已知，可用于特定的水深小于500m的工程。

应该注意，特别当深水中敷设重型电缆时，式（8）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（10）计算试验张力：

 （10）

式中：

*T*——试验张力，单位为牛（N）；

*W*——1m电缆水中重量（电缆自重减去排开的同体积水重），单位为牛每米（N/m)；

*d*——最大敷设水深，单位为米Cm)；

*H*——最大允许水底接触点对电缆的张力［式（9）］，单位为牛（N)；

1.2——动态力的安全系数。

按简化模式，忽略纵向弹性和实际的电缆水中悬垂线形状，用式（11）计算动态张力D:

 （11）

式中：

*D*——动态张力，单位为牛（N）；

*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*——电缆质量，单位为千克每米（kg/m)；

*ω*——2π/*t*，敷设滑轮运动的角频率单位为每秒(1/s)；

*t*——运动时间，单位为秒（s）。

本部分尚不能给出对特定气候状况的*b*n和*ω*的计算通则。如果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。

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条件，估计这些参数。试验张力应以100N为修约间隔向上修约至最接近的数值。施加试验张力至少应等于计算张力。

* + 1. 修理接头

8.6.2.1 概述

修理接头应经受8.6.2.2张力试验。张力试验数据可以作为工程参考。

8.6.2.2 张力试验

用作张力试验的电缆长度约50m，且不要求从8.6.1.1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的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。

试验时电缆的张力应增大到以下值，见式（12）:

 （12）

式中：

*T*0——张力，单位为牛（N）；

*W*——1m电缆的重量，单位为牛（N）。

张力*T*0等于试验电缆总长度的重量，大致相当于有适当支撑（按此消除任何悬链状），保持电缆呈直线而无伸长与转动所需的力。

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8.6.1.2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*。整个循环应进行三次。

对每次循环应计算相对伸长，见式（13）和式（14）:

 （13）

 （14）

式中：

*L*0——试样施加*T*0时的起始伸长；

——最大伸长；

——施加*T*0的永久伸长。

试验后应目测检验试样状况。

* 1. 纵向、径向透水试验
     1. 概述

对大长度海底电缆的透水试验分为三种试验：

——导体透水试验；

——金属套下透水试验；

——接头径向透水试验。

透水试验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。

海底电缆典型的纵向透水距离不超过30m。本部分规定作为型式试验的导体透水试验距离（*d*1)和金属套下透水试验的透水距离（*d*2）应不大于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。

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。除非膨胀材料、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。

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为重量比（31±2）‰［（31±2)g/kg］的盐水。

* + 1. 导体透水试验

8.7.2.1 概述

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人。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。漫入水中试验时不需进行热循环，因为电缆发生如此故障的情况下，电缆线路会退出运行。

试验用水按8.7.1规定。

8.7.2.2 试样制备

电缆试样取自经受8.6.1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1.33*d*1。*d*1为试验的导体纵向透水距离，按8.7.1规定。

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，使得导体温度达到95℃~100℃。在每次热循环结束前应保持此温度至少为2h。

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。

8.7.2.3 试验

当试样漫入相应最大敷设水深水压的水中。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10天，水温为5℃~35℃。如果用户因特定海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15天。

到达规定试验时间后，将试样从水中取出。在距离为出处作一切口。用目测检验切口处是否有水或者将试样末端浸入超过100℃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。

导体透水参考试验装置如图2所示。

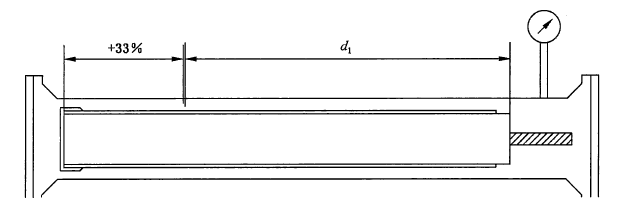


图2导体透水参考试验装置

* + 1. 金属套下透水试验

8.7.3.1 概述

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。电缆不需作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。因为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，因此对现在设计采用的铅套，试验压力设定为0.3MPa是适合的。

如果采用其他试验压力，制造商需提供理由。

试验用水按8.7.1规定。

8.7.3.2 试样制备

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。试样不必经8.6.1机械试验，因为热循环时经受的热膨胀比电缆张力弯曲试验严格。

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℃~100℃。在每次热循环结束前应保持此温度至少2h。

经预处理后，在试样中间处或距试样端部lm处应切除去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，串联一段与被试电缆相同的电缆，直接测量该段电缆的导体温度。

8.7.3.3 试验

按相应于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。对铅套电缆及相似设计，最大水深为30m是合适的。参见8.7.3.1所述。

电缆试样应经受10次热循环同时加上水压。水温为环境温度5℃~35℃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℃~100℃。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3所示*d*2处能看到金属套下情况。目测检验端部，应无水。

金属套下透水参考试验装置如图3所示。

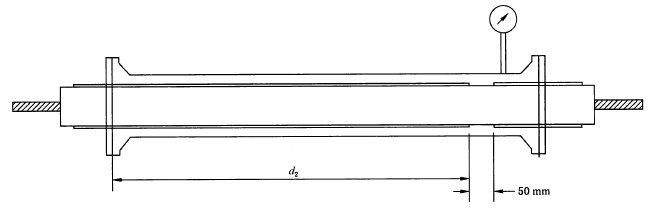


图3金属套下透水参考试验装置

* + 1. 接头径向透水试验

8.7.4.1 概述

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。

试验用水按8.7.1规定。

8.7.4.2 试样制备

从已经受机械试验（8.6.1和8.6.2）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。

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均施加水压。三芯电缆至少须对其中一芯接头作此试验。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。

8.7.4.3 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。

如果考虑9.4.3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，推荐采用8.7.4对海缆系统的刚性接头的金属保护盒施加径向阻水性能加严试验，作为9.4海缆系统预鉴定试验的补充试验。试验持续时间增加至96h。

要求：

1. 接头的阻水隔离结构应无水侵入迹象；
2. 金属套无明显不规则突起缺陷。
   1. 成品海底电缆系统电气型式试验
      1. 概述

应从已经受8.6.1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电气型式试验的试祥。修理接头试祥在电气型式试验前应经受8.6.2.2张力试验。

注：在电气型式试验前应完成机械试验。因此，单芯电缆系统的型式试验不能覆盖三芯电缆系统。

无铠装电缆实际上更方便进行电气试验。因此，只要符合以下条件，三芯电缆可以取一芯或不含铠装的单芯电缆用作电气试验。

——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

——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；

——在电气试验前应目测检验确认未经电气试验的电缆线芯符合要求并且与经电气试验的绝缘线芯相似。

* + 1. 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5pC或优于5pC。

对于500kV电缆，试验电压应逐渐升至508kV（1.75*U*0）并保持10s，然后慢慢地降至435kV(l.5*U*0），在435kV下被试品应无可检测出的放电。

对220kV电缆，试验电压逐步上升至222kV（1.75*U*0），保持10s，然后缓慢地下降至190kV(1.5*U*0）。在190kV下，制造长度电缆应无超过申明灵敏度的可检出的放电。

对110kV电缆，升高试验电压至1.75*U*0，保持10s，然后缓慢地降低至1.5*U*0测量局部放电。在96kV下，在计及放电脉冲衰减条件下．要求测试灵敏度为10pC或优于10pC，试样在测量电压下应无超过申明灵敏度的可检出的放电。

对10kV~35kV电缆，升高试验也压至2*U*0，保持10s，然后缓慢地降低至1.73*U*0的测量局部放电。在计及放电脉冲衰减条件下．要求测试灵敏度为10pC或优于10pC，试样在测量电压下应无超过申明灵敏度的可检出的放电。

8.8.2.2 tanδ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。

试样应加热至导体温度达到95℃~100℃。

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。

然后应在低频电压*U*0及上述规定温度下测量tan8，测量值不应大于8×10-4。

注2：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到95℃~100℃。

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。

加热应至少8h。在每个加热期内，导体温度应保持在上述温度范围内至少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2*U*0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2：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

——环境温度下试验；以及

——高温下试验。

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，或在下述8.8.2.5项试验后进行。

8.8.2.5操作冲击电压试验

操作冲击电压试验只适用于电压等为500kV的低频海缆系统。

应在导体温度为95℃~100℃对试样进行试验导体温度在此温度范围内至少保持 2h应按 GB/T 3048.13 施加符合表1中给出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绝缘击穿或闪络。

8.8.2.5 雷电冲击电压试验及随后的低频电压试验

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。

应按照GB/T 3048.13给出的试验程序施加雷电冲击电压。

电缆应耐受如表1、表2、表3施加的10次正极性和10次负极性雷电冲击电压，电压冲击而不发生绝缘击穿或闪络。

雷电冲击电压试验随后的低频电压试验只适用于电压等级不低于220kV的低频海缆系统。雷电冲击电压试验后，应对试样系统进行2*U*0，15min的低频电压试验。由制造方决定，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

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附录A.

应在（90±2）℃温度范围内进行测量半导电屏蔽电阻率。

半导电护套的电阻率在（80±2）℃下测量。

8.8.2.7.3 要求

老化前后的半导电屏蔽和电阻率应不超过以下值：

——导体屏蔽：1000Ω•m；

——绝缘屏蔽：500Ω•m。

半导电护套电阻率应不超过：1000Ω•m。

* 1. 电缆组件和成品电缆段的非电气型式试验
     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，并应符合其要求。

* + 1. 老化前后绝缘的材料机械性能试验

8.9.2.1 取样

试件取样和制备应按GB/T 2951.11-2008进行。

8.9.2.2 老化处理

老化处理应按GB/T 2951.12-2008，并在表5规定的条件下进行。

表5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 |
| 0  1  1.1  1.2  2  2.1  2.2  2.3 | 正常运行时导体最高温度  老化前(GB/T 2951.11-2008的9.1)  最小抗张强度  最小断裂伸长率  空气烘箱老化后(GB/T 2951.12-2008 的8.1)  处理条件：温度  温度偏差  持续时间  抗张强度  a) 老化后最小值  b) 最大变化率a  断裂伸长率  a) 老化后最小值  b) 最大变化率a | ℃  N/mm2  %  ℃  K  h  N/mm2  %  %  % | 90  12.5  200  135  ±3  168  --  ±25  --  ±25 |
| a变化率:老化后测得中间值与老化前测得中间值的值除以后者，以百分率表示。 | | | |

8.9.2.3 预处理和机械性能试验

预处理和机械性能测试应按GB/T 2951.11-2008的9.1进行。

8.9.2.4 要求

老化前和老化后试件的试验结果应符合表6给出的要求。

* + 1. 老化前后外护套（ST7）机械性能试验

8.9.3.1 概述

海缆工程用电缆需用绝缘外护套时（包含登陆段单芯电缆铠装与金属套单端互联接地及具有绝缘护套的大长度海缆沿长度每隔一定间距将铅套与铠装互联）应采用以聚乙烯为基料的ST7外护套。

注：金属套和铠装两端互连接地的大长度海底电缆也可采用半导电护套。半导电护套的电阻率测量方法和要求按8.8.2.70半导电护套料的性能要求按GB/T 41629.2、GB/T 32346.2、JB/T 11167.2中的规定。

8.9.3.2 取样

试件取样和制备应按GB/T 2951.11-2008的9.2进行。

8.9.3.3 老化处理

老化处理应按GB/T 2951.12-2008的8.1并在表6规定的条件下进行。

表6电缆外护套ST7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 |
| 0  1  1.1  1.2  2  2.1  2.2  2.3  3 | 老化前(GB/T 2951.11-2008的8.2)  最小抗张强度  最小断裂伸长率  空气烘箱老化后(GB/T 2951.12-2008 的8.1)  处理条件：温度  温度偏差  持续时间  抗张强度  a) 老化后最小值  b) 最大变化率a  断裂伸长率  a) 老化后最小值  b) 最大变化率aa  高温压力试验(GB/T 2951.31-2008 的8.2)  试验温度  温度偏差 | N/mm2  %  ℃  K  h  N/mm2  %  %  %  ℃  K | 12.5  300  110  ±2  240  --  --  300  --  110  ±2 |
| a变化率:老化后测得中间值与老化前测得中间值的值除以后者，以百分率表示。 | | | |

* + 1. 检验材料相容性的成品电缆段老化试验

8.9.4.1 概述

应进行成品电缆段老化试验以检验绝缘、挤包半导电层和外护套（ST7）是否由于与电缆中其他组件相接触而过分劣化。

8.9.4.2 取样

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

8.9.4.3 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：

——温度：(l00±2）℃；

——时间：（7×24)h。

8.9.4.4 机械性能试验

应按GB/T 2951.12-2008的8.1.4所述制备取自老化电缆段的绝缘和外护套的试件，并进行机械性能试验。

8.9.4.5 要求

老化后抗张强度和断裂伸长率的中间值与老化前得出的相应值（见8.9.2和8.9.3）的变化率应不超过表5给出适用于绝缘经空气烘箱老化后试验值以及表6 给出适用于外护套经空气烘箱老化后的试验值。

* + 1. 护套（ST7）高温压力试验

8.9.5.1 方法

ST7外护套的高温压力试验段应按GB/T 2951.31-2008的8.2所述，采用该试验方法和表6的试验条件进行。

8.9.5.2 要求

试验结果应符合GB/T 2951.31-2008的8.2要求。

* + 1. XLPE绝缘热延伸试验

XLPE绝缘应经受7.1.10所述的热延伸试验，采用表4给出的试验条件，并应符合表4要求。

* + 1. 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

应按附录B规定进行测试，试验结果应符合以下要求：

1. 成品电缆绝缘中应无大于0.05mm的微孔；大于0.025mm，并小于或等于0.05mm的微孔换算到每10cm3体积中微孔数应不超过18个；
2. 成品电缆绝缘中应无大于0.125mm的不透明杂质。大于0.05mm，并小于或等于0.125mm的不透明杂质换算到每10cm3体和、中不透明杂质数应不超过6个；
3. 成品电缆绝缘中应元大于0.16mm的半透明深棕色杂质；
4. 半导电屏蔽层与绝缘层界面应无大于0.05mm的微孔；
5. 导体半导电屏蔽层与绝缘层界面应元大于0.08mm进人绝缘层的突起以及大于0.08mm进入半导电屏蔽层的突起；
6. 绝缘半导电屏蔽层与绝缘层界面应元大于0.08mm进入绝缘层的突起以及大于0.08mm进入半导电屏蔽层的突起。
7. 预鉴定试验
   1. 概述

预鉴定试验只适用于电压等级不低于220kV的低频海缆系统。

GB/T 32346.1-2015、GB/T 41629.1-2022分别规定了220kV、550kV工频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。低频海底电缆系统的预鉴定试验要求同工频海缆系统，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，必要时还应包含过渡接头。

海底电缆预鉴定试验不含海底电缆机械试验。因此，单芯电缆系统的预鉴定试验可以覆盖三芯电缆系统的预鉴定试验。

* 1. 电缆系统预鉴定试验认可的般规则和认可范围

9.2.1 当低频交联聚乙烯绝缘电缆系统成功地通过预鉴定试验，制造商就具有供应相同运行频率同类型交联聚乙烯绝缘电缆系统的资格，只要电缆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的绝缘屏蔽的计算标称电场强度。

9.2.2 当通过预鉴定试验的低频交联聚乙烯绝缘电缆系统由另一个己通过预鉴定试验的低频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低频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低频交联聚乙烯绝缘电缆系统由另一个未通过预鉴定试验的低频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低频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电缆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。

* 1. 成品海底电缆系统预鉴定试验和认可范围

9.3.1 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和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：

1. 海底电缆系统通常需有工厂接头；
2. 海底电缆通常有铠装结构；
3. 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的低频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。

9.3.3 通过预鉴定试验的低频交联聚乙烯绝缘电缆系统的认可范围可以覆盖到另一个相同运行频率、同一电压等级交联聚乙烯绝缘海底电缆系统，只要符合以下条件：

——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的绝缘屏蔽电场强度；

——如果导体截面较大的工厂接头已通过预鉴定试验，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）有实质性的改变，应进行新的预鉴定试验。

* 1. 成品海底电缆系统预鉴定试验

9.4.1 概述

预鉴定试验应含长约100m成品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10m。预鉴定试验程序如下:

1. 热循环电压试验（9.4.4)；
2. 雷电冲电压试验（9.4.5)；
3. 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9.4规定的所有试验，在对试验系统修理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。假如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分超过标称值。

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试验的补充试验。透水试验持续时间增加至96h。

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。

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

在整个试验期间8760h内，应对组装试样施加电压1.7*U*0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预警，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℃的热循环认为有效。

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30m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2h。

注：作为替代，试验也可在整个试验回路上进行。

应按照GB/T 3048.13给出的步骤施加冲击电压。试样回路应耐受表1、表2、表3所示的正负极性各10次雷电冲击试验电压而不破坏。

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。

1. 预鉴定扩展试验
   1. 概述

预鉴定扩展试验主要用于更换己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证实其外部设计合理。

* 1. 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气型式试验。

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

从已经预鉴定试验电缆系统的成品电缆取试样按10.2.2.3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5m。电缆的总长度最短应为20m。

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：

——单芯电缆为25(*d*+*D*)+5%；

——三芯电缆为20(*d*+*D*)+5%。

其中：*d*——导体标称直径，单位为毫米（mm)；

*D*——电缆标称直径，单位为毫米（mm）。

如果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所述。

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:

1. 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；
2. 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；不施加电压热循环试验（见10.2.2.4)；
3. tanδ试验（见8.8.2.2) ；
4. 热循环电压试验（见8.8.2.3)；
5. 环境温度及高温下局部放电试验（见8.8.2.4)；
6. 雷电冲击电压试验及随后的低频电压试验（见8.8.2.5)；雷电冲击电压试验随后的低频电压试验只适用于电压等级不低于220kV的低频海缆系统。
7. 假如未作上述e）项试验，需经局部放电试验，同b)；
8. 完成上述试验后对含电缆和附件的系统进行检验（见8.8.2.6)；
9. 半导电屏蔽和半导电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8h。在每个加热期内，导体温度应保持在上述温度范围内至少2h.随后应自然冷却至少16h，直到导体温度冷却至不高于30·c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℃的那些热循环也认为有效。

1. 安装后电气试验
   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。

对于500kV电缆，应将导体与金属屏蔽和（或）金属套之间的试验电压逐渐上升至580kV（2*U*0），然后保持60min。制造长度电缆绝缘应不发生击穿。

在新的电缆线路上电缆及其附件安装完成后宜对绝缘进行交流电压试验。可选择a)或b)项进行试验。

1. 电压波形应基本为正弦形，频率为10Hz~300Hz。对于500kV电缆，施加交流试验电压493kV，时间1h。对220kV电缆，施加交流试验电压180kV，时间1 h。电压波形应基本为正弦形，频率为10Hz~300Hz。制造长度电缆绝缘应不发生击穿。对10kV~110kV电缆，交流耐压试验水平应由制造商和用户协商确定如果可能，试脸电压应按表5第10栏的规定历时l h。
2. 施加交流试验电压*U*0，时间24 h。

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

* 1. 时域反射计试验（TDR)

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。

1. （规范性）  
   半导电屏蔽和半导电护套电阻率测量方法

应从长度150mm的成品电缆试样上制备每个试件。

应将绝缘线芯试样沿纵向对半切开，除去导体及隔离层(如果有)以制备导体屏蔽试件(见图.1a)。应将绝缘线芯外所有包覆层除去以制备绝缘屏蔽试件(见图A.1b)。半导电护套电阻率测试试件的制备和测量与绝缘屏蔽相同。

屏蔽的体积电阻率的测定步骤应如下：

应将四只涂银电极A、B、C和D[见图A.1a)和图A.1b)]置于半导电层表面。两个电位电极B和C应间距50mm。两个电流电极A和D应分别放置在每个电位电极外侧至少25mm处。

应采用合适的夹子连接电极。连接导体屏蔽电极时，应确保夹子与试件外表面的绝缘屏蔽相互绝缘。

应将组装好的试样放人已经预热到规定温度的烘箱内，至少放置30min后，用功率不超过100mW的测量电路测量两个电位电极间的电阻。

电阻测量后，应在环境温度下测量导体屏蔽和绝缘屏蔽的外径，以及测量导体屏蔽层和绝缘屏蔽层的厚度，每个数据取图A.1 b)所示试样上六个测量值的平均值。

体积电阻率ρ（用Ω·m表示）应按式(A.1)和(A.2)计算:

1. 导体屏蔽

 （A.1）

式中：

——体积电阻率，单位为欧米(Ω·m)；

——测量电阻，单位为欧(Ω)；

——电位电极间距离，单位为米(m)；

——导体屏蔽外径，单位为米(m)；

——导体屏蔽平均厚度，单位为米(m)。

1. 绝缘屏蔽

 （A.2）

式中：

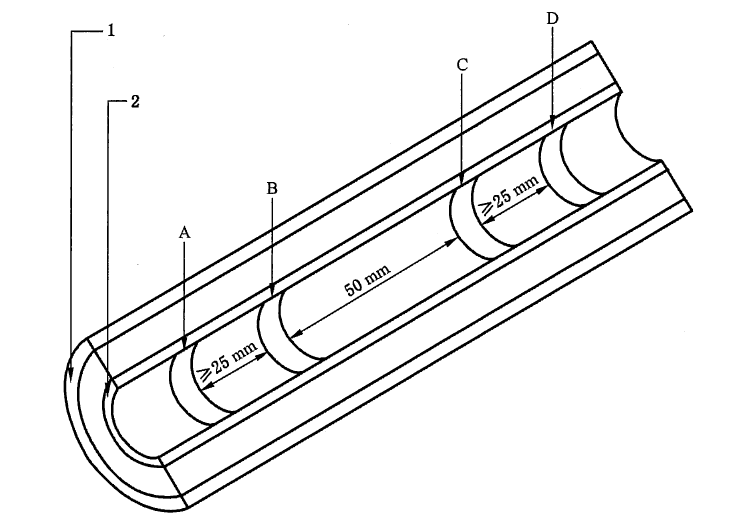
——体积电阻率，单位为欧米(Ω·m)；

——测量电阻，单位为欧(Ω)；

——电位电极间距离，单位为米(m)；

——绝缘屏蔽外径，单位为米(m)；

——绝缘屏蔽平均厚度，单位为米(m)。



说明：1-绝缘屏蔽层；2-导体屏蔽层；B、C-电位电极；A、D-电流电极。

1. **导体屏蔽的体积电阻率测量**



说明：1-绝缘屏蔽层；2-导体屏蔽层；B、C-电位电极；A、D-电流电极。

1. **绝缘屏蔽的体积电阻率测量**

**图A.1 导体屏蔽和绝缘屏蔽的体积电阻率测量的试样制备图**

1. （规范性）  
   绝缘层微孔、杂质和半导电屏蔽层与绝缘层界面微孔、突起试验

B.1 试验设备

B.1.1显微镜

最小放大倍数为 15 倍的显微镜。

最小放大倍数为 40倍的测量显微镜。

B.1.2 切片机

普通用途的切片机或具有类似功能的其他设备。

B.2 试样制备

从约50mm长的电缆绝缘线芯样品上沿径向切取80个含有导体屏蔽，绝缘和绝缘屏蔽的圆形或螺旋形薄试片，试片的厚度约0.4mm~0.7mm。切割用的刀片应锋利，以便获得的试片具有均匀的厚度和极光滑的表面。应非常小心地保持试片表面清洁，并防止擦伤。

B.3 步骤

应采用透射光普遍检查全部80个试片绝缘内的微孔、不透明杂质和半透明棕色物质，以及绝缘与半导电屏蔽层界面处的微孔和突起。

应采用最小放大倍数为15倍的显微镜检测在上述普遍检查中可疑的20个连续试片(或相等圈数的螺旋形试片)的全部区域。记录并列表统计下列各项：

——所有大于或等于0.025mm的微孔；

——所有大于或等于0.05mm的不透明杂质；

——所有大于或等于0.16 mm的半透明棕色(琥珀状)物质；

——所有大于或等于0.08 mm的绝缘层与半导电屏蔽层界面的突起这个表格应成为试验报告的组成部分。

对最大的微孔、最大的杂质、最大的半透明棕色物质以及最大的绝缘与半导电层界面的突起应做标记。应采用最小放大倍数为40倍的测量显微镜对最大的微孔、最大的杂质、最大的半透明棕色物质以及最大的绝缘与半导电层界面的突起在其最大尺寸方向上测量其尺寸。

B.4 试验结果及计算

测量及计算 20个试片绝缘的总体积，将统计表中的微孔和杂质数量换算成每10cm3绝缘体积中的数量，计算值应修约为整数。

应记录和报告最大的微孔、最大的杂质、最大的半透明棕色物质以及最大的绝缘与半导电层界面突起的尺寸。