



中华人民共和国国家标准

GB/T 31489.3—2020

额定电压 500 kV 及以下直流输电 用挤包绝缘电力电缆系统 第 3 部分：直流海底电缆

D.C. extruded cable systems for power transmission at a rated
voltage up to and including 500 kV—Part 3: D.C. submarine cables

2020-12-14 发布

2021-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、符号	2
4 使用特性	3
5 产品命名	3
6 技术要求	5
7 成品电缆标志	11
8 电缆试验	11
9 验收规则	15
10 装船和贮运	15
11 安装后的试验	15
附录 A (资料性附录) 绝缘料和半导电屏蔽料的性能	16
附录 B (资料性附录) 半导电护套料性能	17



前 言

GB/T 31489《额定电压 500 kV 及以下直流输电用挤包绝缘电力电缆系统》分为以下四个部分：

——第 1 部分：试验方法和要求；

——第 2 部分：直流陆地电缆；

——第 3 部分：直流海底电缆；

——第 4 部分：直流电缆附件。

本部分为 GB/T 31489 的第 3 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国电线电缆标准化技术委员会(SAC/TC 213)归口。

本部分起草单位：上海电缆研究所有限公司、上海国缆检测中心有限公司、中天科技海缆有限公司、宁波东方电缆股份有限公司、江苏亨通高压海缆有限公司、中国三峡新能源(集团)股份有限公司、南方电网科学研究院有限责任公司、中国电力科学研究院有限公司、国网电力科学研究院有限公司、青岛汉缆股份有限公司、中航宝胜海洋工程电缆有限公司、富通住电海缆有限公司、博禄贸易(上海)有限公司、陶氏化学(中国)投资有限公司、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司。

本部分主要起草人：范玉军、朱涛、谢书鸿、夏峰、潘文林、刘淑军、侯帅、赵鹏、朱智恩、段伟喜、陈大勇、周厚强、徐伟、缪晓雄、杨建军、王衍东、顾霄、李星辰、肖敬成、夏俊峰、李闯、孙建生、胡明、叶信红、陈沛云、徐晓峰、周雁。



额定电压 500 kV 及以下直流输电 用挤包绝缘电力电缆系统 第 3 部分:直流海底电缆

1 范围

GB/T 31489 的本部分规定了额定电压 500 kV 及以下直流输电用交联聚乙烯绝缘海底电缆的使用特性、产品命名、技术要求、成品电缆标志、试验、验收规则、装船和贮运以及安装后的试验。

本部分适用于在海底敷设和运行条件下使用的额定电压 500 kV 及以下交联聚乙烯绝缘直流海底电缆。对于敷设于江河湖泊的水下电缆,也可参照执行。

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 494—2010 建筑石油沥青
- 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 2951.13—2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 13 部分:通用试验方法——密度测定方法——吸水试验——收缩试验
- 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 2951.32—2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 32 部分:聚氯乙烯混合料专用试验方法——失重试验——热稳定性试验
- 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 3048.14 电线电缆电性能试验方法 第 14 部分:直流电压试验
- 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 4909.3—2009 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 9771(所有部分) 通信用单模光纤

GB/T 11017.1—2014 额定电压 110 kV($U_m=126$ 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

GB/T 12357(所有部分) 通信用多模光纤

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 18480 海底光缆规范

GB/T 26011 电缆护套用铝合金锭

GB/T 31489.1—2015 额定电压 500 kV 及以下直流输电用挤包绝缘电力电缆系统 第 1 部分:试验方法和要求

JB/T 10259 电缆和光缆用阻水带

YD/T 839(所有部分) 通信电缆光缆用填充和涂覆复合物

3 术语和定义、符号

3.1 术语和定义

GB/T 11017.1—2014 和 GB/T 31489.1—2015 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 GB/T 11017.1—2014 中的某些术语和定义。

3.1.1

标称值 nominal value

指定的量值并经常用于表格之中。

[GB/T 11017.1—2014, 定义 3.1.1]

注:在本部分,通常在考虑规定公差下标称值引伸出的量值可通过测量进行检验。

3.1.2

测量值 measurement value

按规定方法进行测量或测试所获得的数值。

3.1.3

近似值 approximate value

一个既不保证也不检查的数值,用于其他尺寸值的计算。

3.1.4

大长度 long length

不能移动到屏蔽室进行局部放电测量的电缆长度。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

U_0 : 电缆系统设计用的导体与屏蔽之间的额定直流电压。

$U_{P2,S}$: 当操作冲击电压与实际直流电压极性相同时,电缆系统可能经受的操作冲击电压最大绝对峰值的 1.15 倍。

$U_{P2,O}$: 当操作冲击电压与实际直流电压极性相反时,电缆系统可能经受的操作冲击电压最大绝对峰值的 1.15 倍。

U_{P1} :当雷电冲击电压与实际直流电压极性相反时,电缆系统可能经受的雷电冲击电压最大绝对峰值的 1.15 倍。

4 使用特性

4.1 额定电压

额定直流电压 U_0 等级宜分为:100 kV、160 kV、200 kV、250 kV、320 kV、400 kV、500 kV。
可根据工程需求调整 U_0 ,调整范围一般不超过 10%,例如将 U_0 从 500 kV 调整为 525 kV。

4.2 工作温度

不同绝缘混合物料适用的电缆导体最高温度见表 1。

表 1 绝缘混合物料适用的电缆导体最高温度

绝缘混合物料	导体最高温度 °C	
	正常运行	短路(最长持续时间 5 s)
交联聚乙烯(DC-XLPE-70)	70	180 ^a
交联聚乙烯(DC-XLPE-90)	90	250
^a 在供需双方协商一致的情况下,可接受超过 180 °C 的值。		

5 产品命名

5.1 代号

海底电缆的相关代号及含义见表 2。

表 2 代号及含义

代号	含义
DC	直流
H	海底电缆
YJ(70 省略)	交联聚乙烯绝缘(导体正常运行最高温度为 70 °C)
YJ90	交联聚乙烯绝缘(导体正常运行最高温度为 90 °C)
T(省略)	铜导体
Q	铅套
F	光纤复合
4	粗圆钢丝铠装
9	扁钢线铠装

表 2 (续)

代号	含义
44	双粗圆钢丝铠装
99	双扁钢线铠装
1	聚丙烯纤维外被层

注：可采取其他类型的铠装形式。

5.2 型号

海底电缆常用型号和名称见表 3 和表 4。

表 3 海底电缆(70 °C)的型号和名称

型号	名称
DC-HYJQ41	铜芯交联聚乙烯绝缘铅套粗圆钢丝铠装聚丙烯纤维外被层直流海底电缆
DC-HYJQ441	铜芯交联聚乙烯绝缘铅套双粗圆钢丝铠装聚丙烯纤维外被层直流海底电缆
DC-HYJQ91	铜芯交联聚乙烯绝缘铅套扁钢线铠装聚丙烯纤维外被层直流海底电缆
DC-HYJQ991	铜芯交联聚乙烯绝缘铅套双扁钢线铠装聚丙烯纤维外被层直流海底电缆
DC-HYJQ41-F	铜芯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直流海底电缆
DC-HYJQ441-F	铜芯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直流海底电缆
DC-HYJQ91-F	铜芯交联聚乙烯绝缘铅套扁钢线铠装聚丙烯纤维外被层光纤复合直流海底电缆
DC-HYJQ991-F	铜芯交联聚乙烯绝缘铅套双扁钢线铠装聚丙烯纤维外被层光纤复合直流海底电缆

表 4 海底电缆(90 °C)的型号和名称

型号	名称
DC-HYJ90Q41	铜芯交联聚乙烯绝缘铅套粗圆钢丝铠装聚丙烯纤维外被层直流海底电缆
DC-HYJ90Q441	铜芯交联聚乙烯绝缘铅套双粗圆钢丝铠装聚丙烯纤维外被层直流海底电缆
DC-HYJ90Q91	铜芯交联聚乙烯绝缘铅套扁钢线铠装聚丙烯纤维外被层直流海底电缆
DC-HYJ90Q991	铜芯交联聚乙烯绝缘铅套双扁钢线铠装聚丙烯纤维外被层直流海底电缆
DC-HYJ90Q41-F	铜芯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直流海底电缆
DC-HYJ90Q441-F	铜芯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直流海底电缆
DC-HYJ90Q91-F	铜芯交联聚乙烯绝缘铅套扁钢线铠装聚丙烯纤维外被层光纤复合直流海底电缆
DC-HYJ90Q991-F	铜芯交联聚乙烯绝缘铅套双扁钢线铠装聚丙烯纤维外被层光纤复合直流海底电缆

5.3 规格

电缆的规格用额定电压、导体芯数、导体标称截面积/铜丝屏蔽(若有)标称截面积、光纤单元(若有)表示。

电缆导体标称截面积(mm^2)为:95、120、150、185、240、300、400、500、630、800、1 000、1 200、(1 400)、1 600、(1 800)、2 000、2 500、3 000、3 500。括号内截面积为非优选截面积。用户要求时,可采用其他截面积的导体。

5.4 产品表示方法

产品用型号、规格和本部分的标准编号表示。

示例 1: 额定电压 200 kV、铜导体标称截面积 1 600 mm^2 、交联聚乙烯绝缘(70 $^{\circ}\text{C}$)铅套双扁钢丝铠装聚丙烯纤维外被层 12 芯 B1 型光纤复合直流海底电缆,表示为:

DC-HYJQ991-F—200 kV 1×1600+12B1 GB/T 31489.3—××××

示例 2: 额定电压 320 kV、铜导体标称截面积 2 500 mm^2 、交联聚乙烯绝缘(90 $^{\circ}\text{C}$)铅套粗圆钢丝铠装聚丙烯纤维外被层直流海底电缆,表示为:

DC-HYJ90Q41-320 kV 1×2500 GB/T 31489.3—××××

6 技术要求

6.1 导体

导体应为符合 GB/T 3956 的第 2 种铜导体,单线可采用圆形单线或预制成型单线。

导体应采用阻水结构。

导体不应整芯焊接,应不存在断裂的单线。单线可焊接,但在同一层内,相邻两个接头之间的距离应不小于 300 mm。导体表面应光洁,无油污,无损伤导体屏蔽及绝缘的毛刺、锐边以及凸起的单线。

导体的直流电阻应符合 GB/T 3956 对第 2 种导体的规定,3 000 mm^2 和 3 500 mm^2 铜导体的 20 $^{\circ}\text{C}$ 导体直流电阻应分别不大于 0.006 0 Ω/km 和 0.005 1 Ω/km 。

6.2 导体屏蔽

导体屏蔽可由半导体带和挤包半导体层复合而成,320 kV 以下电压等级的电缆挤包的半导体层的最小厚度应不小于 0.8 mm,320 kV 及以上电压等级的电缆挤包的半导体层的最小厚度应不小于 1.2 mm。

半导体层应与绝缘层牢固地结合。半导体层与绝缘层的界面应连续光滑,无明显凸纹、尖角、颗粒、焦烧及擦伤的痕迹。

导体屏蔽电阻率应符合 GB/T 31489.1—2015 中 6.4.8 的规定。

导体屏蔽与绝缘层界面的微孔和突起试验应符合 GB/T 31489.1—2015 中 6.3.4 的规定。

导体屏蔽料的性能参见附录 A 中的半导体屏蔽料。

6.3 绝缘

6.3.1 材料

绝缘料应为直流电缆用交联聚乙烯料,按照工作温度分为 DC-XLPE-70 和 DC-XLPE-90。绝缘料的性能参见附录 A。

6.3.2 厚度

绝缘标称厚度见表 5。制造方也可自行设计并给出绝缘厚度的标称值。

绝缘最小厚度应符合公式(1)规定,320 kV 及以下直流电缆绝缘的偏心度应符合公式(2)规定,320 kV 以上直流电缆绝缘的偏心度应符合公式(3)规定。

$$t_{\min} \geq 0.90t_n \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max}} \leq 0.10 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{t_{\max} - t_{\min}}{t_{\max}} \leq 0.08 \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中：

t_{\max} ——绝缘最大厚度,单位为毫米(mm)；

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} 和 t_{\min} 应为绝缘同一截面上的测量值。

表 5 绝缘标称厚度

导体标称截面积 mm ²	绝缘标称厚度						
	mm						
	U_0 100 kV	U_0 160 kV	U_0 200 kV	U_0 250 kV	U_0 320kV	U_0 400 kV	U_0 500 kV
95	12.0	—	—	—	—	—	—
120	12.0	—	—	—	—	—	—
150	12.0	—	—	—	—	—	—
185	11.5	—	—	—	—	—	—
240	11.0	17.0	—	—	—	—	—
300	11.0	16.0	—	—	—	—	—
400	10.5	15.0	18.0	24.0	—	—	—
500	10.5	15.0	18.0	24.0	—	—	—
630	10.5	15.0	17.5	23.0	—	—	—
800	10.5	14.5	16.5	22.0	25.0	—	—
1 000	10.0	14.0	16.0	21.0	25.0	27.0	30.0
1 200	10.0	14.0	16.0	21.0	25.0	27.0	30.0
(1 400)	10.0	14.0	16.0	20.5	25.0	26.5	29.0
1 600	10.0	14.0	16.0	20.5	24.5	26.0	29.0
(1 800)	—	—	16.0	20.5	24.0	26.0	29.0
2 000	—	—	16.0	20.5	24.0	26.0	29.0
2 500	—	—	—	20.5	24.0	26.0	28.0
3 000	—	—	—	—	24.0	26.0	28.0
3 500	—	—	—	—	24.0	26.0	28.0

6.3.3 性能

成品电缆绝缘的机械物理性能应符合 GB/T 31489.1—2015 中 6.3.2 的规定。

绝缘微孔杂质试验应符合 GB/T 31489.1—2015 中 6.3.4 的规定。

成品电缆绝缘的相关电气性能应符合 GB/T 31489.1—2015 中 6.4 的规定,其中绝缘电导率试验应分别在 30 ℃和相应的工作温度(70 ℃或 90 ℃)下测试,并应符合 GB/T 31489.1—2015 中 6.4.9 的规定。

6.4 绝缘屏蔽

绝缘屏蔽应为挤出的半导体层,320 kV 以下电压等级电缆的绝缘屏蔽最小厚度应不小于 0.5 mm,320 kV 及以上电压等级电缆的绝缘屏蔽最小厚度应不小于 1.0 mm。

半导体层应与绝缘层牢固地结合。半导体层与绝缘层的界面应连续光滑,无明显尖角、颗粒、焦化及擦伤的痕迹。

绝缘屏蔽电阻率应符合 GB/T 31489.1—2015 中 6.4.8 的规定。

绝缘屏蔽与绝缘层界面的微孔和突起试验应符合 GB/T 31489.1—2015 中 6.3.4 的规定。

绝缘屏蔽料的性能参见附录 A 中的半导体屏蔽料。

6.5 纵向阻水缓冲层

绝缘屏蔽层外应有纵向阻水缓冲层,纵向阻水缓冲层应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、无皱纹。

纵向阻水缓冲层应使绝缘屏蔽层与金属屏蔽层保持电气上接触良好,且具有一定的缓冲作用,厚度应能满足补偿电缆运行中热膨胀的要求。

绕包用的半导电缓冲带的体积电阻率应与电缆挤包的绝缘屏蔽的体积电阻率相适应,其他物理力学性能应符合 JB/T 10259 要求。

6.6 金属套

6.6.1 一般要求

海底电缆应采用金属套作为径向阻水层。金属套应采用连续挤包的无缝铅套。

金属套可作为金属屏蔽。当金属套的厚度不能满足短路容量的要求时,应采用增加金属套厚度或内部增加铜丝屏蔽的措施。

铅套应采用铅合金制造。可选用符合 GB/T 26011 规定的铅合金材料,也可采用性能相当或更优的铅合金材料。

供需双方协商一致,也可采用除铅以外的其他材料作为金属套或金属屏蔽。

6.6.2 厚度

铅套的标称厚度见表 6,制造方也可自行设计并给出金属套厚度的标称值。

铅套最小厚度应不小于标称厚度的 95%减去 0.1 mm。

6.6.3 防蚀层

需要时,金属套表面可采用沥青、沥青漆或热熔胶作为防蚀层,沥青可采用符合 GB/T 494—2010 要求的 10 号沥青。

表 6 铅套标称厚度

导体标称截面积 mm ²	铅套标称厚度 mm						
	U_0 100 kV	U_0 160 kV	U_0 200 kV	U_0 250 kV	U_0 320kV	U_0 400 kV	U_0 500 kV
≤300	2.1	2.4	—	—	—	—	—
400	2.2	2.5	2.6	3.0	—	—	—
500	2.3	2.5	2.7	3.1	—	—	—
630	2.4	2.6	2.8	3.1	—	—	—
800	2.5	2.7	2.8	3.2	3.3	—	—
1 000	2.6	2.8	2.9	3.2	3.5	3.6	3.8
1 200	2.7	2.9	3.0	3.3	3.6	3.7	3.9
(1 400)	2.8	3.0	3.1	3.4	3.7	3.7	3.9
1 600	2.8	3.1	3.2	3.5	3.7	3.8	4.0
(1 800)	—	—	3.3	3.6	3.8	3.9	4.1
2 000	—	—	3.4	3.6	3.8	4.0	4.1
2 500	—	—	—	3.8	4.0	4.1	4.3
3 000	—	—	—	—	4.2	4.3	4.5
3 500	—	—	—	—	4.3	4.5	4.6

6.7 非金属护套

6.7.1 材料

金属套外应采用挤包的非金属护套作为防护层。非金属护套可采用符合 GB/T 31489.1—2015 规定的 ST₇ 型材料,或采用以聚乙烯为基料的半导体护套料,其性能参见附录 B。

需要时,可在非金属护套外绕包金属带作为防蛀层。

6.7.2 厚度

绝缘型非金属护套的标称厚度见表 7。

半导体护套的标称厚度可适当减小,宜为表 7 中规定的标称厚度减去 1.0 mm,也可由供需双方协商确定。

非金属护套的最小厚度应不小于标称厚度的 85% 减去 0.1 mm。

表 7 非金属护套标称厚度

导体标称截面积 mm ²	非金属护套标称厚度						
	mm						
	U_0 100 kV	U_0 160 kV	U_0 200 kV	U_0 250 kV	U_0 320kV	U_0 400 kV	U_0 500 kV
≤300	2.1	2.4	—	—	—	—	—
400	2.1	2.4	2.6	3.0	—	—	—
500	2.2	2.5	2.7	3.1	—	—	—
630	2.3	2.6	2.8	3.1	—	—	—
800	2.4	2.7	2.8	3.2	3.3	—	—
1 000	2.5	2.8	2.9	3.2	3.5	3.6	3.8
1 200	2.6	2.9	3.0	3.3	3.6	3.7	3.9
(1 400)	2.7	3.0	3.1	3.4	3.7	3.8	3.9
1 600	2.8	3.1	3.2	3.5	3.7	3.8	4.0
(1 800)	—	—	3.3	3.6	3.8	3.9	4.1
2 000	—	—	3.4	3.7	3.9	4.0	4.2
2 500	—	—	—	3.8	4.1	4.2	4.4
3 000	—	—	—	—	4.2	4.4	4.6
3 500	—	—	—	—	4.4	4.5	4.7

6.7.3 性能

成品电缆的绝缘型护套(ST₇)机械物理性能应符合 GB/T 31489.1—2015 中 6.3.3 的规定。

成品电缆的半导电型护套的电阻率在(80±2)℃条件下应不超过 1000Ω·m。

6.8 内衬层

金属铠装层下应有内衬层。内衬层可采用聚丙烯绳绕包。

内衬层厚度的近似值应不小于 1.5 mm。

光纤复合海底电缆光纤单元可放置于内衬层内。内衬层中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。

6.9 金属铠装层

金属丝铠装层应采用镀锌钢丝或其他经验证耐海水腐蚀的金属材料。镀锌钢丝应符合 GB/T 3082 的规定。钢丝表面应有均匀的沥青或其他合适的防腐材料。

圆钢丝直径的标称值一般为 4.0 mm、5.0 mm、6.0 mm、7.0 mm、8.0 mm,钢丝直径不包括钢丝上可能有的非金属防蚀层。供需双方协商一致时,可采用直径为其他值的钢丝。

扁钢线厚度的标称值一般为 2.0 mm、2.5 mm、3.0 mm。供需双方协商一致时,可采用厚度为其他值的钢线。

扁金属线铠装应紧密。必要时,可在扁金属线铠装和圆金属丝铠装外疏绕一条最小标称厚度为 0.3 mm 的金属带。

圆金属丝直径的测量值应不低于标称值的 95%，扁金属线厚度的测量值应不低于标称值的 92%。

6.10 外被层

外被层一般采用纤维外被层，也可采用其他合适的外被层结构。外被层的近似厚度为 4.0 mm。

6.11 光纤单元

6.11.1 材料

根据用户要求可采用单模光纤或/和多模光纤。单模光纤应符合 GB/T 9771(所有部分)的规定，多模光纤应符合 GB/T 12357(所有部分)的规定。

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。

填充物应采用符合 YD/T 839(所有部分)要求的材料或等效材料。

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。

6.11.2 结构

6.11.2.1 一般要求

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

6.11.2.2 光纤

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。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。对于单管超过 12 芯的光纤，应采用色环或等效方式，用于区分。

6.11.2.3 松套管及填充化合物

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。

松套管内的填充物应均匀分布，易于去除。

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。

6.11.2.4 加强件

根据电缆结构要求，可增加单层或双层金属丝铠装层作为加强件，也可采用非金属丝作为加强件。

6.11.2.5 护套

护套采用挤包聚乙烯。护套厚度可由供需双方协商确定。护套应无针孔、裂口等缺陷。

6.11.3 技术要求

6.11.3.1 衰减系数

光纤的衰减系数应符合 GB/T 9771(所有部分)和 GB/T 12357(所有部分)的相关规定。

6.11.3.2 色散

光纤的色散应符合 GB/T 9771(所有部分)的相关规定。

6.11.3.3 水密性

水密性应符合 GB/T 18480 的规定。在 2 MPa 水压下持续 336 h,纵向渗水长度应不大于 200 m。

6.12 成品电缆

成品电缆应符合第 8 章的规定。

电缆的叠加冲击电压峰值见表 8。

表 8 电缆叠加冲击电压试验峰值

额定电压 U_0	$U_{Pz,S}$	$U_{Pz,O}$	U_{PI} (若适用)
< 320 kV	$2.5U_0$	$1.2U_0$	$2.1U_0$
≥ 320 kV	$2.1U_0$	$1.2U_0$	$2.1U_0$

如工程有特殊需求,供需双方协商一致时,相应参数可选用高于表 8 中的值。

7 成品电缆标志

采用标志带或非金属护套上印字方式作为标志。标志应为连续标志,内容应有制造方名称、产品型号、产品规格和制造年份。

成品电缆外被层表面应有明显的长度标记,距两端头 1 000 m 每 50 m 应有一个连续的长度标记,其余电缆每 100 m 应有连续的长度标记。

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。

8 电缆试验

8.1 试验类别及代号

试验类别及代号见表 9。

表 9 试验类别及代号

试验类别	代号
开发试验	D
例行试验	R
抽样试验	S
型式试验	T
预鉴定试验	PQ

8.2 试验项目及要求

8.2.1 开发试验

当制造方不采用表 5 的绝缘标称厚度时,应进行开发试验,开发试验的项目由制造方自行决定,试验项目可包括但不限于 GB/T 31489.1—2015 中第 5 章规定的内容。

8.2.2 例行试验

例行试验的项目、要求及方法见表 10。

表 10 例行试验项目、要求及方法

试验项目	试验类型	试验要求	试验方法
		GB/T 31489.1—2015 章条号	
直流电压试验	R	8.1	GB/T 3048.14
交流电压试验(若适用)	R	8.1	GB/T 3048.8
非金属护套直流电压试验(要求时进行)	R	8.1	GB/T 3048.14
导体直流电阻试验	R	8.1	GB/T 3048.4
上述试验的顺序由制造方决定。 需要时,可增加交流局部放电试验,测试参数应由供需双方协商确定。			

8.2.3 抽样试验

抽样试验的项目、要求及方法见表 11。

表 11 抽样试验项目、要求及方法

试验项目	试验类型	试验要求	试验方法	
		GB/T 31489.1—2015 章条号		
海底电缆(输电)的抽样试验	导体检查	S	9.1.4	适当方法
	导体和金属屏蔽(套)直流电阻测量	S	9.1.5	GB/T 3048.4
	电容测量	S	9.1.6	GB/T 3048.11
	绝缘和非金属护套厚度测量	S	9.1.7	GB/T 2951.11—2008
	金属套厚度测量	S	9.1.8	GB/T 31489.1—2015 中 9.1.8
	外径测量	S	9.1.9	GB/T 2951.11—2008
	交联聚乙烯绝缘热延伸试验 ^a	S	9.1.10	GB/T 2951.21—2008
	冲击电压试验 ^{b,c}	S	9.1.11	GB/T 31489.1—2015 中 6.4.5、GB/T 3048.13
透水试验	S	9.1.12	GB/T 31489.1—2015 中 6.3.8.2	

表 11 (续)

试验项目		试验类型	试验要求	
			GB/T 31489.1—2015 章条号	试验方法
工厂接头的抽样试验(若适用)	局部放电试验和交流电压试验	S	9.2.3	GB/T 3048.8、 GB/T 3048.12
	冲击电压试验 ^{b,c}	S	9.2.4	GB/T 31489.1—2015 中 6.4.5、GB/T 3048.13
	绝缘热延伸试验	S	9.2.5	GB/T 2951.21—2008
	拉伸试验	S	9.2.6	GB/T 4909.3—2009
^a 正常运行时允许导体最高工作温度为 70 °C 的产品,供需双方协商一致时可降低热延伸的负重值为 5 N/cm ² 。 ^b 若型式试验与抽样试验所用样品为相同批次,在满足抽样频次的前提下,可在抽样试验中省略此项测试。 ^c 电缆和工厂接头的冲击试验可同时进行。				

8.2.4 型式试验

电缆应作为电缆系统的一部分进行型式试验,型式试验的项目、要求及方法见表 12。

表 12 型式试验项目、要求及方法

试验项目		试验类型	试验要求		
			本标准 章条号	GB/T 31489.1— 2015 章条号	
非电气型式试验	电缆结构尺寸检查	T	—	6.3.1	GB/T 2951.11—2008
	绝缘机械物理性能 ^{a,b}	T	6.3.3	6.3.2	GB/T 2951.11—2008、 GB/T 2951.12—2008、 GB/T 2951.13—2008、 GB/T 2951.21—2008
	非金属护套机械物理性能(若适用)	T	6.7.3	6.3.3	GB/T 2951.11—2008、 GB/T 2951.12—2008、 GB/T 2951.13—2008、 GB/T 2951.31—2008、 GB/T 2951.32—2008
	绝缘微孔杂质及半导体层与绝缘界面微孔和突起试验	T	6.2、6.3.3、 6.4	6.3.4	GB/T 11017.1—2014 中附录 H
	海底电缆的透水试验	T	—	6.3.8.2	GB/T 31489.1—2015 中 6.3.8.2

表 12 (续)

试验项目	试验类型	试验要求		试验方法	
		本标准章条号	GB/T 31489.1—2015 章条号		
电气型式试验	绝缘厚度检查	T	—	6.4.1	GB/T 2951.11—2008
	电气型式试验前机械预处理试验	T	—	6.4.3.2	GB/T 31489.1—2015 中 6.4.3.2
	负荷循环试验	T	—	6.4.4	GB/T 31489.1—2015 中 6.4.4
	叠加操作冲击电压试验	T	6.12	6.4.5.2、6.4.5.3	GB/T 31489.1—2015 中 6.4.5、GB/T 3048.13
	叠加雷电冲击电压试验(若适用)	T	6.12	6.4.5.4	GB/T 31489.1—2015 中 6.4.5、GB/T 3048.13
	直流电压试验	T	—	6.4.5.5	GB/T 3048.14
	检查	T	—	6.4.6	GB/T 31489.1—2015 中 6.4.6
	导体直流电阻试验	T	—	6.4.7	GB/T 3048.4
	半导体层电阻率试验	T	—	6.4.8	GB/T 11017.1—2014 中附录 D
	半导体型护套电阻率测试(若适用)	T	6.7.3	—	GB/T 11017.1—2014 中附录 D
	电缆绝缘电导率试验	T	6.3.3	6.4.9	GB/T 31489.1—2015 中附录 A
	电缆绝缘空间电荷试验	T	6.3.3	6.4.10	GB/T 31489.1—2015 中附录 B
^a 正常运行时允许导体最高工作温度为 70 ℃ 的产品,供需双方协商一致时可降低热延伸的负重值为 5 N/cm ² 。 ^b 绝缘热收缩试验仅适用于 U_0 为 200 kV 及以下的电缆产品。					

8.2.5 光纤复合海底电缆的光单元试验项目、要求及方法

光纤复合海底电缆还应进行光纤单元的试验,试验项目、要求及方法见表 13。

表 13 光纤单元试验项目、要求及方法

试验项目	试验类型	试验要求	试验方法
光纤色码识别	R	6.11.2.2	目测
光纤衰减系数测量	R	6.11.3.1	GB/T 15972.40
光纤色散测量	T	6.11.3.2	GB/T 15972.42
光纤单元水密性试验	T	6.11.3.3	GB/T 18480

8.2.6 预鉴定试验

预鉴定试验项目、要求及方法见表 14。

表 14 预鉴定试验项目、要求及方法

试验项目	试验类型	试验要求	试验方法
		GB/T 31489.1—2015 章条号	
长期电压试验	PQ	7.4	GB/T 3048.14
叠加冲击电压试验	PQ	7.5	GB/T 3048.13
检查	PQ	7.6	目测
注：预鉴定试验前，适当时可考虑机械预处理。			

9 验收规则

电缆应按第 8 章规定的试验方法进行开发试验、例行试验、抽样试验、型式试验和(或)预鉴定试验并应符合试验要求。抽样试验的频度和复试要求应按照 GB/T 31489.1—2015 中 9.1.2 和 9.1.3 的规定。如果电缆绝缘的一些非电气性能指标与 GB/T 31489.1—2015 不一致，则应由供需双方协商一致，并在相应的检测报告中指出。对于相同电缆结构，若对 4.1 中额定电压进行了调整，则所有电气试验应以调整后较高电压作为依据进行相应的测试，所取得的测试报告对调整前较低的额定电压也是有效的。对于 100 kV 以下电压等级的电缆，在供需双方同意的情况下，也可参照本部分进行相应的测试。

型式试验和预鉴定试验应由独立的检测机构或制造方按第 8 章进行测试并应符合要求。

产品应由制造方的质量检验部门检验通过后方能出厂。买方要求时，制造方应提供产品的相关试验报告。

产品的工厂验收应按表 10 和表 11 规定的试验项目进行并应符合要求。

10 装船和贮运

大长度电缆应采用船舶运输，缆舱内圈直径应大于电缆允许最小弯曲直径，装船时应采用适当方式减小电缆所受的扭力，以免因受扭而损伤电缆，同时还应避免因电缆径向遭受过大压强而导致电缆损伤。较短电缆可采用专用电缆吊运托盘运输。电缆两端应有可靠的防水密封处理。运输中不应机械损伤电缆。

随电缆应有标识牌标明：

- a) 制造方名称；
- b) 电缆型号、规格；
- c) 长度，m；
- d) 毛重，kg；
- e) 制造日期，年 月；
- f) 本部分编号。

11 安装后的试验



电缆系统敷设安装后的电气试验应满足 GB/T 31489.1—2015 中第 10 章的规定。

附 录 A
(资料性附录)
绝缘料和半导电屏蔽料的性能

电缆绝缘料和半导电屏蔽料的性能参见表 A.1。

表 A.1 电缆绝缘料和半导电屏蔽料的性能

项 目	单 位	绝 缘 料	半 导 电 屏 蔽 料
抗张强度	MPa	≥17.0	≥12.0
断裂伸长率	%	≥450	≥150
热延伸试验 [(200±3) °C, 20N/cm ²] ^a			
负荷下伸长率	%	≤100	≤100
永久变形率	%	≤10	≤10
介电常数	—	≤2.5	—
短时击穿强度[较小的平板电极直径 25 mm, 升压速率 500 V/s, 样品厚度为(1±0.1) mm]			
工频击穿强度	kV/mm	≥30	—
直流击穿强度	kV/mm	≥100	—
体积电阻率			
23 °C	Ω·m	≥1.0×10 ¹³	<1.0
工作温度(70 °C或 90 °C)	Ω·m	—	<10
杂质最大尺寸(1 000 g 样片中)	mm	≤0.10	—
^a 正常运行时允许导体最高工作温度为 70 °C 的产品, 供需双方协商一致时可降低热延伸的负重值为 5 N/cm ² 。			

附录 B
(资料性附录)
半导体护套料性能

半导体护套料的性能参见表 B.1。

表 B.1 半导体护套料的性能

项目	单位	性能指标
密度(23℃)	g/cm ³	≤1.15
老化前抗拉强度[(250±50)mm/min]	N/mm ²	≥12.5
老化前断裂伸长率[(250±50)mm/min]	%	≥300
空气热老化(100℃×7 d)		
抗拉强度最大允许变化率	%	±25
断裂伸长率最大允许变化率	%	±25
体积电阻率(23℃)	Ω·m	<1.0