

团 体 标 准

T/GDAQI XXX—2024

额定电压 6kV ($U_m=7.2\text{kV}$) 到 35kV ($U_m=40.5\text{kV}$) 热塑性聚丙烯绝缘电缆或光 纤复合电缆

Thermoplastic polypropylene insulated cables or fibre optic
composite cables for rated voltages from 6 kV ($U_m = 7.2\text{ kV}$) to 35 kV
($U_m = 40.5\text{ kV}$)

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 3

4 电压标示和材料 3

5 导体 5

6 绝缘 6

7 屏蔽 6

8 光传输单元（若有） 7

9 三芯电缆的缆芯、内衬层和填充 8

10 单芯或三芯电缆的金属层 9

11 金属屏蔽 9

12 同心导体 10

13 金属铠装 10

14 外护套 12

15 试验条件 12

16 例行试验 13

17 抽样试验 15

18 电气型式试验 17

19 非电气型式试验 20

20 安装后电气试验 27

21 验收规则 28

22 交货长度 28

23 成品电缆标志 28

24 产品包装 28

25 电缆产品的补充条款 32

附录 A（规范性） 确定护层尺寸的假设直径计算方法 33

附录 B（规范性） 数值修约 37

附录 C（规范性） 电缆的补充条款 38

前 言

本文件按照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。

本文件由广东产品质量监督检验研究院、广州市明兴电缆有限公司提出。

本文件由广东省质量检验协会、广东省电线电缆标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

随着各行各业对低碳、减排要求的提高，对使用的电线电缆也有更高的要求，聚丙烯材料，简称PP，是100%可回收、生态可持续的高性能电缆材料，以此材料生产的热塑性聚丙烯绝缘电线电缆，对推动电线电缆行业低碳、减排起到重要的意义。

本文件旨在确定额定电压6kV（ $U_m=7.2\text{kV}$ ）到35kV（ $U_m=40.5\text{kV}$ ）热塑性聚丙烯绝缘电缆或光纤复合电缆的结构尺寸及性能指标。

额定电压 6kV ($U_m=7.2\text{kV}$) 到 35kV ($U_m=40.5\text{kV}$) 热塑性聚丙烯绝缘电缆或光纤复合电缆

1 范围

本文件规定了额定电压6kV ($U_m=7.2\text{kV}$) 到35kV ($U_m=40.5\text{kV}$) 热塑性聚丙烯绝缘电缆或光纤复合电缆的结构、尺寸和试验要求。

本文件适用于配电网或工业装置中固定安装的额定电压6kV ($U_m=7.2\text{kV}$) 到35kV ($U_m=40.5\text{kV}$) 热塑性聚丙烯绝缘电缆或光纤复合电缆。本文件也适用于纵向阻水结构电缆及其试验。

本部分不适用于特殊安装和运行条件的电缆，例如用于架空电缆、采矿工业、核电厂（安全壳内及其附近），以及用于水下或船舶的电缆。

2 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 156 标准电压

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 2951.14—2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 14 部分：通用试验方法 低温试验

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 2951.41—2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 41 部分：聚乙烯和聚丙烯 混合料专用试验方法 耐环境应力开裂试验 熔体指数测量方法 直接燃烧法测量聚乙烯中碳黑和（或）矿物质填料含量 热重分析法（TGA）测量碳黑含量 显微镜法评估聚乙烯中碳黑分散度

GB/T 3048.10 电线电缆电性能试验方法 第 10 部分：挤出护套火花试验

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 3956 电缆的导体

GB/T 6995.2 电线电缆识别标志方法 第 2 部分：标准颜色

GB/T 7113.2 绝缘软管 第 2 部分：试验方法

GB/T 7424.2—2008 光缆总规范 第2部分：光缆基本试验方法

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 9771（所有部分） 通信用单模光纤

GB/T 11017.2—2014 额定电压 110 kV ($U_m=126\text{ kV}$) 交联聚乙烯绝缘电力电缆及其附件 第2部分：电缆

GB/T 11091 电缆用铜带

- GB/T 12357.1 通信用多模光纤 第1部分：A1类多模光纤特性
- GB/T 12706.1—2020 额定电压1kV (Um=1.2 kV) 到35kV (Um=40.5kV) 挤包绝缘电力电缆及附件 第1部分：额定电压1kV (Um=1.2kV) 和3kV (Um=3.6kV) 电缆
- GB/T 12706.2—2020 额定电压1kV (Um=1.2kV) 到35kV (Um=40.5kV) 挤包绝缘电力电缆及附件 第2部分：额定电压6kV (Um=7.2kV) 到30kV (Um=36kV) 电缆
- GB/T 15972.20—2008 光纤试验方法规范 第20部分：尺寸参数的测量方法和试验程序 光纤几何参数
- GB/T 15972.40—2008 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 15972.44—2008 光纤试验方法规范 第44部分：传输特性和光学特性的测量方法和试验程序 截止波长
- GB/T 15972.45—2008 光纤试验方法规范 第45部分：传输特性和光学特性的测量方法和试验程序 模场直径
- GB/T 15972.46—2008 光纤试验方法规范 第46部分：传输特性和光学特性的测量方法和试验程序 透光率变化
- 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 16927.3 高电压试验技术 第3部分：现场试验的定义及要求
- GB/T 17650.1 取自电缆或光缆的材料燃烧时释出气体的试验方法 第1部分：卤酸气体总量的测定
- GB/T 17650.2 取自电缆或光缆的材料燃烧时释出气体的试验方法 第2部分：酸度（用 pH 测量）和电导率的测定
- GB/T 17651.2 电缆或光缆在特定条件下燃烧的烟密度测定 第2部分：试验程序和要求
- GB/T 18380.11 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第11部分：单根绝缘电线电缆火焰垂直蔓延试验 试验装置
- GB/T 18380.12 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第12部分：单根绝缘电线电缆火焰垂直蔓延试验 1 kW 预混合型火焰试验方法
- GB/T 18380.13 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第13部分：单根绝缘电线电缆火焰垂直蔓延试验 测定燃烧的滴落（物）/微粒的试验方法
- GB/T 18380.33 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第33部分：垂直安装的成束电线电缆火焰垂直蔓延试验A类
- GB/T 18380.34 电缆在火焰条件下的燃烧试验 第34部分：垂直安装的成束电线电缆火焰垂直蔓延试验B类
- GB/T 18380.35 电缆在火焰条件下的燃烧试验 第35部分：垂直安装的成束电线电缆火焰垂直蔓延试验C类
- GB/T 18380.36 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第36部分：垂直安装的成束电线电缆火焰垂直蔓延试验 D类
- GB/T 19666 阻燃和耐火电线电缆或光缆通则
- GB 31247 电缆及光缆燃烧性能分级
- JB/T 8137（所有部分） 电线电缆交货盘
- JB/T 8996 高压电缆选择导则
- JB/T 10696.6 电线电缆机械和理化性能试验方法 第6部分：挤出外套刮磨试验
- YD/T 839.2 通信光缆用填充和涂覆复合物 第2部分：纤膏
- YD/T 1118.1 光纤用二次被覆材料 第1部分：聚对苯二甲酸丁二醇酯
- YD/T 1118.2 光纤用二次被覆材料 第2部分：改性聚丙烯
- YD/T 1181.1 光缆用非金属加强件的特性 第1部分：玻璃纤维增强塑料杆
- YD/T 1181.2 光缆用非金属加强件的特性 第2部分：芳纶纱
- YD/T 1181.3 光缆用非金属加强件的特性 第3部分：芳纶增强塑料杆
- YD/T 1954 接入网用弯曲损耗不敏感单模光纤特性

IEC 60229:2007 电力电缆 具有特殊保护作用的挤包外护套试验 (Electric cables—Tests on extruded oversheaths with a special protective function)

IEC 60986 额定电压6kV($U_m=7.2\text{kV}$) ~ 30kV($U_m=36\text{kV}$) 电缆的短路温度限值 (Short-circuit temperature limits of electric cables with rated voltages from 6 kV ($U_m=7.2\text{ kV}$) up to 30 kV ($U_m=36\text{ kV}$))

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

有关尺寸值术语

3.1.1

标称值 nominal value

指定的量值并经常用于表格之中。

注：在本文件中，通常标称值引申出的量值在考虑规定公差下通过测量值进行检验。

3.1.2

近似值 approximate value

既不保证也不检查的数值。

注：近似值可用于其他尺寸值的计算。

3.1.3

中间值 median value

将试验得到的若干数值以递增（或递减）的次序排列时，若数值的数目是奇数，中间的那个值；若数值的数目是偶数，中间两个数值的平均值。

3.2

有关试验的术语

3.2.1

例行试验 routine tests

R

由制造方在成品电缆的所有制造长度上进行的试验，以检验所有电缆是否符合规定的要求。

3.2.2

抽样试验 sample tests

S

由制造方按规定的频度，在成品电缆试样上、或在取自成品电缆的某些部件上进行的试验，以检验电缆是否符合规定的要求。

3.2.3

型式试验 type tests

T

按一般商业原则对本文件所包含的一种类型电缆在供货之前所进行的试验，以证明电缆具有满足预期使用条件的满意性能。

注：该试验的特点为除非电缆材料或设计或制造工艺的改变可能改变电缆的特性，试验做过以后就不需要重做。

3.2.4

安装后电气试验 electrical tests after installation

在安装后进行的试验，用以证明安装后的电缆及其附件完好。

4 电压标示和材料

4.1 额定电压

额定电压是电缆设计和电缆性能试验用的基准电压，本文件中电缆的额定电压 $U_0/U(U_m)$ 标示如下：

$U_0/U(U_m) = 3.6/6(7.2) \text{ kV}, 6/6(7.2) \text{ kV}, 6/10(12) \text{ kV}, 8.7/10(12) \text{ kV}, 8.7/15(17.5) \text{ kV}, 12/20(24) \text{ kV}, 18/20(24) \text{ kV}, 18/30(36) \text{ kV}, 21/35(40.5) \text{ kV}, 26/35(40.5) \text{ kV}.$

在电缆的额定电压标示 $U_0/U(U_m)$ 中:

—— U_0 为电缆设计用的导体对地或金属屏蔽之间的额定工频电压;

—— U 为电缆设计用的导体之间的额定工频电压;

—— U_m 为设备可使用的“最高系统电压”的最大值(见GB/T 156)。

对于一种给定应用电缆的额定电压应适合电缆所在系统的运行条件。为了便于选择电缆,将系统划分为以下三类:

——A类电缆:该类系统任一相导体与地或接地导体接触时,能在1min内与系统分离。

——B类电缆:该类系统可在单相接地故障时做短时运行,接地故障时间按JB/T 8996的规定应不超过1h;对于本文件包括的电缆,在任何情况下应不超过8h及更长的带故障运行时间;任何一年接地故障的总持续时间不应超过125h。

——C类电缆:包括不属于A类、B类的所有系统。

宜认识到,在系统接地故障不能立即自动解除时,故障期间加在电缆绝缘上过高的电场强度,会在一定程度上缩短电缆寿命。如系统预期会经常地运行在持久的接地故障状态下,该系统可划为C类。

用于三相系统的电缆, U_0 的推荐值见表1。

表1 额定电压 U_0 推荐值

系统最高电压 U_m kV	额定电压 U_0 kV	
	A类、B类	C类
7.2	3.6	6.0
12.0	6.0	8.7
17.5	8.7	12.0
24.0	12.0	18.0
36.0	18.0	—
40.5	21.0	26.0

4.2 绝缘混合料

绝缘混合料及其代号、导体最高温度见表2。

表2 绝缘混合料及其代号、导体最高温度

绝缘混合料	代号	正常运行时导体最高温度 ℃	
		正常运行	短路(最长持续5s)
热塑性聚丙烯	PP	90	250

表2中的温度由绝缘混合料的固有特性决定,在使用这些数据计算额定电流时还应考虑其他因素。

例如正常运行时,如果直接埋入地下的电缆按表2所示导体最高温度在连续负荷(100%负荷因数)下运行,电缆周围土壤的热阻系数经过一定时间后,会因土壤干燥而超过原始值,因此导体温度可能会超过最高温度。如果能预料这类运行条件,应采取适当的预防措施。

短路温度的导则可参照IEC 60986。

4.3 光传输单元

光传输单元、代号、最高允许温度及正常运行时导体最高温度见表3。

表3 光传输单元、代号、最高允许温度及正常运行时导体最高温度

光传输单元	代号	光传输单元最高允许温度 ℃	正常运行时导体最高温度 ℃
非金属层绞填充式光传输单元	GT	85	90
非金属中心管填充式光传输单元	GXT	85	90
其他类型	GQ	85	90
注：G表示光传输单元；X表示松套中心管式结构；（省略）表示非金属；T表示油膏填充；Q表示其他结构。			

4.4 护套混合料

护套混合料及其代号、正常运行时导体最高温度见表4。

表4 护套混合料及其代号、正常运行时导体最高温度

护套混合料	代号	正常运行时导体最高温度 ℃
聚氯乙烯	ST ₂	90
聚乙烯	ST ₇	90
无卤阻燃	ST ₈	90

4.5 敷设条件

4.5.1 电缆安装时的环境条件

电缆安装时的环境温度不宜低于0℃。

4.5.2 电缆安装时的最小弯曲半径

电缆安装时的最小允许弯曲半径应符合表5规定。

表5 电缆安装时的最小弯曲半径

项目	单芯电缆		三芯电缆	
	无铠装	有铠装	无铠装	有铠装
安装时的电缆最小弯曲半径	20D	15D	15D	12D
靠近连接盒和终端的电缆的最小弯曲半径（弯曲应小心控制，如采用成型导板）	15D	12D	12D	10D
注：D为电缆外径。				

5 导体

导体应是符合GB/T 3956的第2种镀金属层或不镀金属层退火铜导体，或是第2种铝导体，导体也可以是纵向阻水结构。

6 绝缘

6.1 材料

绝缘应由热塑性聚丙烯绝缘材料挤包成型。
无卤电缆的绝缘应符合表6规定。

表6 无卤混合料的试验方法和要求

序号	试验项目	单位	要求
1	酸气含量试验（GB/T 17650.1）		
1.1	溴和氯含量（以HCl表示），最大值	%	0.5
2	pH值和电导率（GB/T 17650.2）		
2.1	pH值，最小值	—	4.3
2.2	电导率，最大值	μ S/mm	10
3	氟含量试验（GB/T 7113.2）		
3.1	氟含量，最大值	%	0.1

6.2 绝缘厚度

绝缘标称厚度见表7。
导体或绝缘外面的任何隔离层或半导体屏蔽层的厚度不应包括在绝缘厚度之中。
表7中额定电压6/6kV、8.7/10kV、18/20kV电缆分别与6/10kV、8.7/15kV、18/30kV电缆结构完全相同，详见表1。
不宜采用任何小于表7中给出的导体截面积。如果需要更小截面积，可用导体屏蔽来增加导体的直径（见7.2）或增加绝缘厚度，限制在试验电压下加于绝缘的最大电场强度不超过表中给出的最小导体尺寸计算得出的场强值。

表7 热塑性聚丙烯绝缘标称厚度

导体标称截面积 mm ²	额定电压U ₀ /U（U _m ）kV下的绝缘标称厚度 mm						
	3.6/6(7.2)	6/6(7.2) 6/10(12)	8.7/10(12) 8.7/15(17.5)	12/20(24)	18/20(24) 18/30(36)	21/35(40.5)	26/35(40.5)
25	2.5	3.4	4.5	—	—	—	—
35	2.5	3.4	4.5	5.5	—	—	—
50~185	2.5	3.4	4.5	5.5	8.0	9.3	10.5
240	2.6	3.4	4.5	5.5	8.0	9.3	10.5
300	2.8	3.4	4.5	5.5	8.0	9.3	10.5
400	3.0	3.4	4.5	5.5	8.0	9.3	10.5
500~1000	3.2	3.4	4.5	5.5	8.0	9.3	10.5
	3.2	3.4	4.5	5.5	8.0	9.3	10.5

7 屏蔽

7.1 通用要求

所有电缆的绝缘线芯上应有金属屏蔽层。

单芯或三芯电缆绝缘线芯应有屏蔽，由导体屏蔽和绝缘屏蔽组成。

7.2 导体屏蔽

导体屏蔽应是非金属的，由挤包热塑性半导体料或在导体上先包半导体带再挤包半导体料组成。挤包半导体层应与绝缘紧密结合，其与绝缘层的界面应光滑。热塑性半导体层应适应电缆的运行温度并与电缆绝缘材料相兼容。

7.3 绝缘屏蔽

绝缘屏蔽应由非金属半导体层与金属层组合而成。

每根绝缘线芯上应直接挤包与绝缘线芯紧密结合或可剥离的非金属的热塑性半导体层，与绝缘层的界面应光滑，热塑性半导体层应适应电缆的运行温度并与电缆绝缘材料相兼容。

需要时，可以在每根绝缘线芯上重叠包覆一层半导体带。

金属屏蔽层应包覆在每根绝缘线芯的外面，并应符合第11章的要求。

8 光传输单元（若有）

8.1 概述

光传输单元宜为非金属松套结构，光纤数量应满足用户要求。

光传输单元的材料应适合电缆的运行温度并与电缆绝缘材料相兼容，光传输单元的加入不会影响电缆的正常运行。

无卤电缆的光传输单元，非金属材料应符合表6规定。

8.2 结构

8.2.1 光传输单元结构可以是圆形或其他结构。圆形光传输单位结构主要有层绞式和中心管式二种。

8.2.2 层绞式光传输单元应由含多根光纤的松套管及可能的塑料填充绳绕非金属中心加强件绞合，并与护套和可能的非金属加强材料组合而成，绞合方式为 SZ 螺旋绞或螺旋绞。

8.2.3 中心管式光传输单元应由含多根光纤的松套管和可能的护套、加强材料组合而成。

8.3 光纤

8.3.1 单模光纤应符合 GB/T 9771 的有关规定。多模光纤应符合 GB/T 12357.1 的有关规定。

8.3.2 松套管中的光纤，应采用全色谱识别，其标志颜色应符合 GB/T 6995.2 规定，并且应不褪色、不迁移。光纤标志颜色的顺序见表 8, 当单套管中光纤芯数超过 12 芯时，宜用环状色标或成束识别。原始的色码在整个电缆的设计寿命期内应可清晰辨认。

表8 全色谱的顺序

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

8.4 松套管

8.4.1 涂覆光纤应放置在松套管中，光纤在松套管中的余长应均匀稳定。

8.4.2 松套管材料可用聚对苯二甲酸丁二醇酯（简称 PBT）塑料、聚丙烯塑料或其他合适的材料，应具有良好的机械性能、耐水解性能、耐老化性能和加工性能。PBT 应符合 YD/T 1118.1 规定，聚丙烯塑料应符合 YD/T 1118.2 规定。

8.4.3 对于层绞式光传输单元，松套管宜采用全色谱识别，标志颜色应符合表 8 规定，也可采用红绿或红蓝领示色谱识别。

8.5 阻水材料

如有阻水要求,光传输单元可采用合适的阻水材料填充。若连续填充触变型阻水纤膏,纤膏应符合YD/T 839.2的有关规定。阻水材料应与其相邻的其他光传输单元相容,应不损害光纤传输特性和使用寿命。

8.6 填充绳

填充绳用于在非金属层绞式光传输单元结构中填补空位,其外径应使光传输单元结构圆整。填充绳应是圆形塑料绳,表面应圆整光滑。

8.7 加强构件

加强构件可为中心加强件,也可为四周加强件。加强构件应具有足够的截面积、杨氏模量和弹性应变范围,用以增强光传输单元的机械性能。玻璃纤维增强塑料圆杆(简称GFRP)的杨氏模量宜不低于50GPa,并应符合YD/T 1181.1的有关规定。芳纶纤维增强塑料圆杆(简称KFRP)的杨氏模量宜不低于50GPa,并应符合YD/T 1181.3的有关规定。芳纶丝束的杨氏模量宜不低于90GPa,并应符合YD/T 1181.2的有关规定。在制造长度范围内,GFRP和KFRP不允许接头;芳纶丝每束允许有1个接头,但在任意200m光传输单元长度内只允许1个丝束接头。

8.8 护套

8.8.1 层绞式和中心管式光传输单元外都应挤包一层护套。

8.8.2 护套可采用聚乙烯材料、无卤低烟阻燃聚烯烃材料或聚氯乙烯材料,表面应光滑圆整、无裂缝、无气泡、无砂眼和机械损伤等。

9 三芯电缆的缆芯、内衬层和填充

9.1 通用要求

当电缆中含有光传输单元时,屏蔽线芯应与光传输单元以适宜的方式绞合成缆芯,并且光传输单元应放在成缆线芯的外侧间隙中,不允许放置在缆芯的中间位置。

三芯电缆的缆芯与电缆的额定电压有关。

9.2~9.4不适用于有护套的单芯电缆成缆的缆芯。

9.2 内衬层和填充

9.2.1 结构

内衬层可挤包或绕包,额定电压U为35kV的电缆应采用挤包内衬层。

圆形绝缘线芯电缆只有在绝缘线芯间的间隙被密实填充时,才可采用绕包内衬层。

当铠装电缆含有光传输单元时,应采用符合13.3.3条款的隔离套挤包。

挤包内衬层前可用合适的带子扎紧。

9.2.2 材料

用于内衬层和填充的材料应适应电缆的运行温度并与电缆绝缘材料相兼容。除纵向阻水型电缆外,内衬层和填充物应采用非吸湿性材料。

无卤电缆的内衬层和填充应符合表6规定。

9.2.3 挤包内衬层厚度

挤包内衬层的标称厚度见表9。

表9 挤包内衬层标称厚度

缆芯假设直径	挤包内衬层标称厚度
--------	-----------

—	≤25.0	1.0
>25.0	≤35.0	1.2
>35.0	≤45.0	1.4
>45.0	≤60.0	1.6
>60.0	≤80.0	1.8
>80.0	—	2.0

9.2.4 绕包内衬层

缆芯假设直径为40.0mm 及以下时,绕包内衬层的标称厚度取0.4mm;当大于40.0mm 时,则取0.6mm。
绕包内衬层采用单根或多根带材重叠绕包而成,不应露出缆芯或下层包带。当多根带材料绕包时,每一根均应重叠绕包。

9.3 具有统包金属层的电缆（见第 10 章）

电缆的缆芯外应包覆内衬层。内衬层和填充物应符合9.2规定。
如果电缆每个绝缘线芯均采用半导体屏蔽并统包金属层,其内衬层应采用半导体材料,填充物也可采用半导体材料。
统包金属层不适用于额定电压U为35kV的电缆。

9.4 具有分相金属层的电缆（见第 11 章）

各个绝缘线芯的金属层应相互接触。
若电缆分相金属屏蔽缆芯外具有另外的同样金属材料的绕包金属层（见第10章），电缆的缆芯外应包覆内衬层。内衬层和填充物应符合9.2规定。内衬层和填充物也可采用半导体材料。
当分相与统包金属层采用的金属材料不同时,应采用符合14.2中规定的任一种材料挤包隔离套将其隔开。
若电缆没有统包金属层（见第10章），只要电缆外形保持圆整,可省略内衬层。

10 单芯或三芯电缆的金属层

本文件包括以下类型的金属层：
a) 金属屏蔽（见第 11 章）；
b) 同心导体（见第 12 章）；
c) 金属铠装（见第 13 章）。
金属层应为上述的一种或几种形式组成,包覆在单芯电缆上或三芯电缆的单独绝缘线芯上时应是非磁性的。
可采取措施使金属层周围具有纵向阻水性能。

11 金属屏蔽

11.1 结构

金属屏蔽应由一根或多根金属带、金属丝的同心层或金属丝与金属带的组合结构组成。
金属屏蔽可为在统包屏蔽情况下符合11.2规定的铠装。
选择金属屏蔽材料时,应特别考虑存在腐蚀的可能性,这不仅为了机械安全,也为了电气安全。金属屏蔽绕包的搭盖和间隙应符合11.2规定。

11.2 要求

11.2.1 金属屏蔽中铜丝屏蔽的电阻,适用时应符合 GB/T 3956 规定。铜丝屏蔽的标称截面积应根据故

障电流容量确定。

11.2.2 铜丝屏蔽由疏绕的软铜线组成，表面可采用反向绕包的铜丝或铜带扎紧，相邻铜丝的平均间隙应不大于 4mm。相邻铜丝平均间隙的定义和计算应符合 GB/T 11017.2-2014 中 6.5.2 的规定。

11.2.3 铜带屏蔽应由一根重叠绕包的软铜带组成。重叠绕包铜带间标称搭盖率为 15%，最小搭盖率应不小于 5%。要求时，可采用其他结构。

屏蔽原材料软铜带应选择符合 GB/T 11091 规定的铜带。

铜带标称厚度为：

——单芯电缆：≥0.12mm；

——三芯电缆：≥0.10mm。

铜带的最小厚度应不小于标称值的90%。

11.2.4 额定电压 U 为 35kV 且标称截面积为 500mm² 及以上电缆的金属屏蔽应采用铜丝屏蔽结构。

12 同心导体

12.1 结构

同心导体的间隙应符合11.2.2规定。

选用同心导体结构和材料时，应特别考虑腐蚀的可能性，这不仅为了机械安全，也为了电气安全。

12.2 要求

同心导体的尺寸、结构及其电阻值要求，应符合11.2规定。

12.3 使用

如要求采用同心导体结构，可在三芯电缆的内衬层外，对单芯电缆也可直接在半导体绝缘屏蔽层上或适当的内衬层外覆盖同心导体层。

13 金属铠装

13.1 金属铠装类型

本文件铠装类型如下：

- a) 扁金属线铠装；
- b) 圆金属丝铠装；
- c) 双金属带铠装。

13.2 材料

圆金属丝或扁金属丝应为镀锌钢丝、不锈钢丝（非磁性）、铜丝或镀锡铜丝、铝丝或铝合金丝。

金属带应为镀锌钢带、不锈钢带（非磁性）、铝带或铝合金带。钢带应采用工业等级的热轧或冷轧钢带。

在要求铠装钢丝层满足最小导电性的情况下，铠装层中可包含足够的铜丝或镀锡铜丝，以确保达到要求。

选择铠装材料时，尤其是铠装作为屏蔽层时，应特别考虑腐蚀的可能性，这不仅为了机械安全，也为了电气安全。

除非采用特殊结构，用于交流系统单芯电缆的铠装应采用非磁性材料。

注：用于交流系统的单芯电缆以磁性材料为主的铠装即使采用特殊结构，电缆载流量仍将大为降低。

13.3 铠装的应用

13.3.1 单芯电缆

单芯电缆的铠装层下应有挤包或绕包的内衬层，厚度应符合9.2.3或9.2.4规定。

13.3.2 三芯电缆

三芯电缆需要铠装时，铠装应包覆在符合9.2规定的内衬层上。

13.3.3 隔离套

当铠装下的金属层与铠装材料不同时，应采用14.2中规定的一种材料，挤包一层隔离套将其隔开。隔离套应经受GB/T 3048.10规定的火花试验。

无卤电缆的隔离套应符合表6规定。

如果在铠装层下采用隔离套，可代替内衬层或附加在内衬层上。

在金属层周围具有纵向阻水结构的电缆不必采用隔离套。

隔离套的标称厚度应按公式(1)计算：

$$t_{ss} = 0.02D_u + 0.6 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

t_{ss} ——隔离套标称厚度，单位为毫米（mm）；

D_u ——隔离套前的假设直径，单位为毫米（mm）。

计算应按附录A的规定进行，计算结果应按附录B的规定修约到0.1mm。

电缆隔离套标称厚度的计算值小于1.2mm时，隔离套标称厚度取值为1.2mm。

13.4 铠装金属丝和铠装金属带的尺寸

铠装金属丝和铠装金属带应优先采用下列标称尺寸：

- 圆金属丝（细）：直径0.8mm、1.25mm、1.6mm、2.0mm、2.5mm、3.15mm；
- 圆金属丝（粗）：直径4.0mm；
- 扁金属线：厚度0.8mm；
- 钢带：厚度0.2mm、0.5mm、0.8mm；
- 铝带或铝合金带：厚度0.5mm、0.8mm。

13.5 电缆直径与铠装层尺寸的关系

铠装圆金属丝的标称直径和铠装金属带的标称厚度分别见表10和表11。

表10 铠装圆金属丝标称直径

铠装前假设直径		铠装金属丝的标称直径
—	≤10.0	0.8
>10.0	≤15.0	1.25
>15.0	≤25.0	1.6
>25.0	≤35.0	2.0
>35.0	≤60.0	2.5
>60.0	—	3.15, 4.0

表11 铠装金属带标称直径

铠装前假设直径		金属带的标称厚度	
		钢带	铝带或铝合金带
—	≤30.0	0.2	0.5
>30.0	≤70.0	0.5	0.5
>70.0	—	0.8	0.8

铠装前电缆假设直径大于15.0mm的电缆，扁金属线的标称厚度应取0.8mm。电缆假设直径为15.0mm及以下时，不应采用扁金属线铠装。

13.6 圆金属丝或扁金属线铠装

金属丝铠装应紧密，即使相邻金属丝间的间隙很小。必要时，可在扁金属线铠装和圆金属丝铠装外疏绕一条标称厚度最小为0.3mm的镀锌钢带，钢带厚度的偏差应符合17.2.4规定。

采用粗圆金属丝铠装时，当铠装下隔离套或内衬层的标称厚度计算值小于2.0mm时，隔离套或内衬层的标称厚度应取值为2.0mm。

13.7 双金属带铠装

当采用双金属带铠装和符合9.2规定的绕包内衬层时，内衬层应采用包带垫层加强。如果铠装金属带厚度为0.2mm，内衬层和附加包带垫层总厚度按9.2的标称值再加0.5mm；如果铠装金属带厚度大于0.2mm，内衬层和附加包带垫层总厚度按9.2的规定值再加0.8mm。

绕包内衬层和附加包带垫层总厚度的测量值应不小于规定值的80%再减0.2mm。

钢带铠装由双钢带左向绕包在内衬层上，内层和外层钢带的标称厚度和标称宽度应相同。外层钢带应在内层钢带绕包间隙的上方，且应看不到内层钢带的绕包间隙。两层钢带的绕包间隙均不应大于钢带标称宽度的50%。

14 外护套

14.1 通用要求

所有电缆都应具有外护套。

外护套通常为黑色，但也可按照供需双方协议采用黑色以外的其他颜色，以适应电缆使用的特定环境。

包覆在铠装、金属屏蔽或同心导体上的电缆外护套应经受GB/T 3048.10规定的火花试验。

用户要求时，可在外护套下放置载有电缆相关信息等功能的元件，但元件的放置应不影响电缆的正常运行，不应降低相邻材料的厚度要求。元件的摆放位置及数量由制造商与用户协商。

14.2 材料

外护套应为符合表4规定的热塑性材料（聚氯乙烯、聚乙烯或无卤低烟阻燃材料）。

外护套材料应与4.4规定的电缆运行温度相适应。

在特殊条件下（例如为了防白蚁）使用的外护套，可能有必要使用化学添加剂，但这些添加剂不应包括对人类及环境有害的材料。

14.3 厚度

若无其他规定，挤包外护套标称厚度的值应按公式（2）计算：

$$t_{ss} = 0.035D_{os} + 1.0 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

t_{ss} ——外护套标称厚度，单位为毫米（mm）；

D_{os} ——挤包护套前电缆的假设直径，单位为毫米（mm）。

按公式（2）计算出的数值应按附录B的规定修约到0.1mm。

当单芯电缆外护套标称厚度的计算值小于1.4mm时，外护套标称厚度取值为1.4mm。当多芯电缆外护套标称厚度的计算值小于1.8mm时，外护套标称厚度取值为1.8mm。

15 试验条件

15.1 环境温度

除非另有规定，试验应在环境温度（20±15）℃下进行。

15.2 工频试验电压的频率和波形

工频试验电压的频率应为49 Hz~61 Hz；波形应基本上为正弦波，引用值为有效值。

15.3 冲击试验电压的波形

按GB/T 3048.13规定，冲击波应具有有效波前时间 $1\mu\text{s}\sim 5\mu\text{s}$ ，标称半峰值时间 $40\mu\text{s}\sim 60\mu\text{s}$ 。其它方面应符合GB/T 16927.1规定。

15.4 电缆导体温度的确定

试验中电缆导体温度的确定可参见GB/T 12706.2—2020中附录C规定的方法。

16 例行试验

16.1 通用要求

例行试验通常应在每一根电缆制造长度上进行。根据供需双方达成的质量控制协议，可以减少试验电缆的根数或采用其他的试验方法。

本文件规定的例行试验正常顺序应是：

- a) 导体电阻测量（见16.2）；
- b) 局部放电试验（见16.3）；
- c) 电压试验（见16.4）；
- d) 当电缆外护套上有半导体结构时，外护套直流耐压试验（见16.5）；
- e) 光纤的衰减特性（适用时）（见16.6）。

16.2 导体电阻

应对例行试验中的每一根电缆长度的所有导体进行电阻测量，若有同心导体也包括在内。

成品电缆或从成品电缆上取下的试样，试验前应在保持适当温度的试验室内至少存放12h。若怀疑导体温度是否与室温一致，电缆应在试验室内存放24h后测量。也可将导体试样放在温度可以控制的液体槽内至少1h后测量电阻。

电阻测量值应按GB/T 3956给出的公式和系数校正到20℃下1km长度的数值。

每一根导体20℃时的直流电阻不应超过GB/T 3956规定的相应的最大值。标称截面积适用时，同心导体的电阻也应符合GB/T 3956规定。

铝合金导体的导体直流电阻要求与相同标称截面积的铝导体一致。

16.3 局部放电试验

应按GB/T 3048.12进行局部放电试验，试验灵敏度应为10pC或更优。

三芯电缆的所有绝缘线芯都应试验，电压施加于每一根导体和金属屏蔽之间。

将试验电压逐渐升高到 $2U_0$ 并保持10s，然后缓慢降到 $1.73U_0$ 。

在 $1.73U_0$ 下，应无任何由被试电缆产生的超过声明试验灵敏度的可检测到的放电。

注：被试电缆的任何放电都可能有害。

16.4 电压试验

16.4.1 通用要求

电压试验应在环境温度下采用工频交流电压进行。

额定电压 U 为35kV的电缆，除非购买方另有要求，制造方可任选一种表12规定的程序（ $3.5U_0$, 15min 或 $2.5U_0$, 30min）进行例行电压试验。

16.4.2 单芯电缆试验

在单芯电缆的导体与金属屏蔽之间施加试验电压。

16.4.3 三芯电缆试验

在每一根导体与金属屏蔽层之间施加电压。

16.4.4 试验电压及持续时间

对应额定电压的单相工频试验电压及持续时间应符合表12规定。

表12 例行试验电压及持续时间

额定电压 U_0 kV	3.6	6	8.7	12	18	21	26
试验电压及持续时间	14.5kV, 15min	24kV, 15min	35kV, 15min	48kV, 15min	72kV, 15min	73.5kV, 15min 或53kV, 30min	91kV, 15min 或65kV, 30min

在任何情况下，电压都应逐渐升高到规定值。

16.4.5 要求

绝缘应无击穿。

16.5 外护套耐压试验

适用时，对于外护套上有涂敷或挤包半导体层的电缆，应按IEC 60229：2007中3.1规定进行外护套直流电压试验。

16.6 光纤的衰减特性

当电缆中含有光传输单元时进行。

16.6.1 试验方法

应按GB/T 15972.40—2008附录B中的方法B进行试验。

16.6.2 要求

单模光纤的衰减系数应符合表13的规定。多模光纤的衰减系数应符合表14的规定。

表13 单模光纤的衰减系数

测试波长 nm	测试波长最大衰减系数 dB/km		
	B1.1和B1.3	B4	
		I 级	II 级
1310	0.36	—	—
1550	0.22	0.22	0.25

表14 多模光纤的衰减系数

测试波长 nm	测试波长最大衰减系数 dB/km	
	A1a (50/125 μm)	A1b (62.5/125 μm)
850	3.5	3.5

1300	1.5	1.5
------	-----	-----

17 抽样试验

17.1 概述

- 本文件要求的抽样试验包括：
- a) 色谱识别（若有）及结构尺寸（见 17.2）；
 - b) 额定电压高于 3.6/6（7.2）kV 电缆的电压试验（见 17.3）；
 - c) 光纤的截止波长（适用时）（见 17.4）；
 - d) 光纤的模场直径（适用时）（见 17.5）
 - e) 光传输单元渗水性能（适用时）（见 17.6）；
 - f) 填充式光传输单元复合滴流试验（适用时）（见 17.7）。

17.2 色谱识别（若有）及结构尺寸

17.2.1 概述

结构检查应在距电缆端部不少于100mm处用目力检查电缆结构的完整性、色谱（若有），并取样检查结构尺寸。

17.2.2 导体检查

应采用检查或可行的测量方法检验导体结构是否符合GB/T 3956规定。

17.2.3 绝缘、挤包非金属屏蔽和非金属护套厚度的测量（包括外护套、挤包隔离套和挤包内衬层）

17.2.3.1 通用要求

按GB/T 2951.11—2008中第8章给出的试验方法进行测量。
为试验而选取的每根电缆长度应从电缆的一端截取一段来代表，如果必要，应将可能损伤的部分电缆先从该端截除。

17.2.3.2 对绝缘的要求

每一段绝缘线芯，绝缘厚度最小测量值应不低于规定标称值的90%再减0.1mm，见公式（3），同时，还应符合公式（4）的规定。

$$t_{i\ min} \geq 0.9t_{in} - 0.1 \dots\dots\dots (3)$$

$$(t_{i\ max} - t_{i\ min})/t_{i\ max} \leq 0.15 \dots\dots\dots (4)$$

式中：
 $t_{i\ min}$ ——绝缘厚度最小测量值，单位为毫米（mm）；
 t_{in} ——绝缘标称厚度，单位为毫米（mm）；
 $t_{i\ max}$ ——绝缘厚度最大测量值，单位为毫米（mm）。
注： $t_{i\ min}$ 和 $t_{i\ max}$ 在同一截面测得。

17.2.3.3 对挤包非金属屏蔽的要求

挤包在导体上和绝缘上的半导体非金属屏蔽，其厚度的最小测量值均应不小于0.50mm。

17.2.3.4 对非金属护套的要求

采用与外护套紧密粘结的挤包外半导体层结构时，挤包外半导体层的厚度可作为护套厚度的一部分，最多不超过0.3mm。不考虑哑铃片的制作方式，包含挤包外半导体层的护套应满足该类型护套的所有机械性能的要求。

非金属护套厚度最小测量值应不小于规定标称值的80%再减0.2mm，见公式（5）：

$$t_{s\ min} \geq 0.8t_{sn} - 0.2 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$t_{s\ min}$ ——非金属护套厚度最小测量值，单位为毫米（mm）；

t_{sn} ——非金属护套标称厚度，单位为毫米（mm）。

17.2.4 铠装金属丝和金属带的测量

17.2.4.1 金属丝的测量

使用具有两个平测头精度为±0.01mm的千分尺来测量圆金属丝的直径和扁金属线的厚度。对圆金属丝应在同一截面上两个互成直角的位置上各测量一次，取两次测量的平均值作为金属丝的直径。

17.2.4.2 金属带的测量

使用具有两个直径为5mm平测头、精度为±0.01mm的千分尺进行测量。对带宽为40mm及以下的金属带在宽度中央测其厚度；对更宽的带子在距其每一边缘20mm处测量，取其平均值作为金属带厚度。

17.2.4.3 要求

铠装金属丝和金属带的尺寸低于13.4中给出标称尺寸的量值应不超过：

- 圆金属丝：5%；
- 扁金属线：8%；
- 金属带：10%。

17.2.5 外径测量

如果要求测量电缆外径，按GB/T 2951.11-2008中第8章给出的试验方法进行测量。

17.2.6 绕包搭盖率和间隙率

按GB/T 12706.1-2020中16.10和16.11给出的试验方法测量搭盖率和间隙率。

铜带屏蔽最小搭盖率应符合11.2.3规定。

铠装金属带间隙率应符合13.7规定。

17.2.7 绕包内衬层和（或）包带垫层总厚度的测量

按GB/T 12706.1-2020中16.12给出的试验方法测量绕包内衬层和（或）包带垫层总厚度。

绕包内衬层厚度测量值应不小于规定标称值的80%再减0.2mm。

当采用双金属带铠装时，绕包内衬层和附加包带垫层的总厚度应符合13.7规定。

17.2.8 光纤的结构、尺寸、色谱特性

当电缆中有光传输单元时进行。

单模光纤的结构、尺寸、色谱特性应符合GB/T 9771的有关规定。多模光纤的结构、尺寸、色谱特性应符合GB/T 12357.1的有关规定。

17.3 4h 电压试验

17.3.1 取样

试验终端之间的一根成品电缆长度应至少为5m。

17.3.2 步骤

在环境温度下，在每一导体与金属层间施加工频电压4h。

17.3.3 试验电压

试验电压按表15的规定。将试验电压逐渐升高到规定值，并持续4h。

表15 抽样试验电压

额定电压U ₀ kV	3.6	6	8.7	12	18	21	26
试验电压 kV	14.5	24	35	48	72	84	104

17.3.4 要求

绝缘不应发生击穿。

17.4 光纤的截止波长

当电缆中有光传输单元时进行。
光纤的截止波长的测试按5%的抽样比例进行。
光纤的截止波长应符合GB/T 9771的相关规定。

17.5 光纤的模场直径

当电缆中有光传输单元时进行。
光纤的模场直径的测试按5%的抽样比例进行。
光纤的模场直径应符合GB/T 9771的相关规定。

17.6 光传输单元渗水性能

当电缆中含有有阻水要求的光传输单元时进行。

17.6.1 试样制备

从成品OPMC上取一段1m的OPMC光传输单元试样。

17.6.2 试验方法

渗水试验用于评定光传输单元的阻水性能，试验方法见GB/T 7424.2—2008中的方法F5B。

17.6.3 要求

试验完毕，在试样未密封端应检测不到水，则判定为合格。若第一个样品失败，则取OPMC光传输单元临近的另外一段重做试验，如测试合格，则判定为合格；如失败，则判定为不合格。

17.7 填充式光传输单元复合物滴流试验

当电缆中含有填充式光传输单元时进行。

17.7.1 试验方法

应按GB/T 7424.2—2008中试验方法——F6复合物滴流进行试验。

17.7.2 要求

在（85±1）℃温度下，24h后，应无填充复合物从缆芯或缆芯与护套的界面流出或滴出。

18 电气型式试验

18.1 通则

具有特定电压和导体截面积的一种型式的电缆通过了本文件的型式试验后，对于具有其他导体截面积和/或额定电压的电缆型式批准仍然有效，只要满足下列三个条件：

- a) 绝缘和半导体屏蔽材料以及所采用的制造工艺相同；
 - b) 导体截面积不大于已试电缆，但是如果已试电缆的导体截面积为 $95\text{mm}^2 \sim 630\text{mm}^2$ （含）之间，则 630mm^2 及以下的所有电缆也有效；
 - c) 额定电压不高于已试电缆。
- 型式批准与导体材料无关。

18.2 通用要求

从成品电缆中取10m~15m长的电缆试样按18.3进行试验。

18.3所列的试验应依次在同一试样上进行。

三芯电缆的每项试验或测量应在所有绝缘线芯上进行。

18.10、18.11规定的测试，应分别在另外的试样上进行。

18.3 试验顺序

试验顺序如下：

- a) 弯曲试验及随后的局部放电试验（见 18.5 和 18.6）；
- b) 热循环试验、 $\tan \delta$ 测量及随后的局部放电试验（见 18.7）；
- c) 冲击电压试验及随后的工频电压试验（见 18.8）；
- d) 4h 电压试验（见 18.9）。

18.4 特殊条款

额定电压低于6/10（12）kV的电缆，不进行 $\tan \delta$ 测量。

18.5 弯曲试验

在室温下，将试样围绕试验圆柱体（例如线盘的筒体）至少一整圈，然后松开展直，再在相反方向上重复此过程。

此操作循环进行3次。

试验圆柱体的直径应不大于：

——纵包复合金属箔电缆：

- $25(d+D) \times (1+5\%)$ 单芯电缆；
- $20(d+D) \times (1+5\%)$ 三芯电缆。

——其他类型电缆：

- $20(d+D) \times (1+5\%)$ 单芯电缆；
- $15(d+D) \times (1+5\%)$ 三芯电缆。

其中：

D——电缆外径，单位为毫米（mm），按17.2.5测量；

d——导体的实测直径，单位为毫米（mm）。

如果导体不是圆形，应按公式（6）计算：

$$d = 1.13\sqrt{S} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

d ——导体的实测直径，单位为毫米（mm）。

S ——导体标称截面积，单位为平方毫米（ mm^2 ）。

本试验完成后，试样应立即进行局部放电试验，并应符合18.6规定。

18.6 局部放电试验

按GB/T 3048.12规定进行局部放电试验，试验灵敏度应为5pC或更优。
三芯电缆的所有绝缘线芯都应试验，电压施加于每一根导体和金属屏蔽之间。
将试验电压逐渐升高到2U₀并保持10s，然后缓慢降到1.73U₀。
在1.73U₀下，应无任何由被试电缆产生的超过声明试验灵敏度的可检测到的放电。
注：被试电缆的任何放电都可能有害。

18.7 热循环试验、额定电压 6/10（12）kV 及以上电缆 tan δ 的测量及随后的局部放电试验

热循环试验前，应先进行室温下tan δ 的测量。在经受局部放电试验后的样品，按GB/T 3048.11规定进行室温下tan δ 的测量。在交流电压U₀ 下，tan δ 测量值应不高于20×10⁻⁴。
将经过上述各项试验后的试样在试验室的地面上展开，并在试样导体上通以电流加热，直至导体达到稳定温度，此温度应超过电缆正常运行时导体最高温度5K~10K。
三芯电缆的加热电流应通过所有导体。
加热循环至少持续8h，在每一加热过程中，导体在达到规定温度后至少维持2h，随后在空气中自然冷却至少3h，使导体温度不超过环境温度10K。
此循环重复20次。
经受热循环时，试样按GB/T 3048.11规定进行至少一次超过导体最高温度5K~10K时tan δ 的测量。在交流电压U₀下，tan δ 测量值应不高于40×10⁻⁴。
第20个循环结束后，按GB/T 3048.11规定进行室温下tan δ 的测量。在交流电压U₀下，tan δ 测量值应不高于20×10⁻⁴。
经过上述各项试验后的样品，应随后进行局部放电试验并应符合18.6规定。

18.8 冲击电压试验及随后的工频电压试验

试验应在超过电缆正常运行时导体的最高温度5K~10K的温度下进行。
按GB/T 3048.13规定的步骤施加冲击电压，电压峰值应符合表16的规定。

表16 冲击电压

额定电压U kV	6	10	15	20	30	35
试验电压峰值 kV	60	75	95	125	170	200

电缆的每一个绝缘线芯应耐受10次正极性和10次负极性冲击电压而不击穿。
在冲击电压试验后，电缆试样的每个绝缘线芯在环境温度下应经受工频电压试验，试验电压及持续时间应符合表12规定。

18.9 4h 电压试验

试验应在室温下进行。
在试样的导体和金属屏蔽层之间施加工频交流电压4h。
试验电压按表15规定。将电压逐渐升高至规定值。绝缘不应发生击穿。

18.10 半导电屏蔽电阻率

18.10.1 通用要求

挤包在导体上的和绝缘上的半导电屏蔽的电阻率，应在取自电缆绝缘线芯上的试样上进行测量，绝缘线芯应分别取自制造好的电缆样品和进行过按18.6规定的材料相容性试验老化处理后的电缆样品。

18.10.2 步骤

试验步骤按GB/T 12706.2—2020附录D进行。
在电缆正常运行时导体最高温度±2K范围内进行测量。

18.10.3 要求

在老化前和老化后，电阻率应不超过下列数值：

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

18.11 绝缘热稳定性试验

18.11.1 通用要求

此试验为表征电缆在短路条件下，屏蔽及绝缘材料的结构尺寸、电气性能的稳定性。

18.11.2 试样及安装

从整根的连续电缆上取样，每段样品长度至少为10m。试验回路由单独的电缆组成，不包括电缆附件。

18.11.3 步骤

试验应在环境温度下进行。

用交流或直流电流将导体温度升到电缆最高允许短路温度，短路试验连续进行两次，升温至要求短路温度的时间不超过5s，两次短路试验短路温度持续时间分别为1s和5s，每次短路试验开始时电缆导体温度可超过环境温度5K~10K。

三芯电缆的加热电流应通过所有导体。

短路试验电流应确保导体温度在 $(250 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，试验中电缆导体温度的确定参见GB/T 12706.2—2020中附录C。

短路试验正式试验前，可采用一根相同电缆开展模拟试验，以确定短路试验需施加的电流值。

18.11.4 要求

短路试验后，电缆应符合以下规定：

- a) 用正常或矫正视力，观察短路试验后电缆样品两端及中部（可在c）项试验结束后，对电缆分段检查），不应存在导体屏蔽、绝缘、绝缘屏蔽的可视变化（例如导体屏蔽熔融等）；
- b) 短路试验后电缆样品应进行导体屏蔽厚度、绝缘厚度和绝缘屏蔽厚度的测量，试验步骤及要求应符合17.2.3规定；
- c) 短路试验后电缆样品应进行局部放电和交流耐压试验，试验步骤及要求应符合16.3和16.4规定。

19 非电气型式试验

19.1 概述

本文件要求的非电气型式试验项目按表19规定。

19.2 绝缘厚度测量、挤包非金属屏蔽层厚度

19.2.1 取样

从每一根绝缘线芯上各取一个样品。

19.2.2 步骤

按GB/T 2951.11—2008的8.1进行测量。

19.2.3 要求

绝缘厚度应符合17.2.3.2规定，挤包非金属屏蔽层厚度应符合17.2.3.3规定。

19.3 非金属护套厚度测量（包括外护套、挤包隔离套、挤包内衬层）

19.3.1 取样

取一个电缆试样。

19.3.2 步骤

按GB/T 2951.11—2008的8.2进行测量。

19.3.3 要求

应符合17.2.3.4规定。

19.4 老化前后绝缘的机械性能试验

19.4.1 取样

按GB/T 2951.11—2008的9.1取样和制备试片。

19.4.2 老化处理

老化处理应在表20规定的条件下，按GB/T 2951.12—2008的8.1进行。

19.4.3 预处理和机械性能试验

按GB/T 2951.11—2008的9.1进行试片的预处理和机械性能试验。

19.4.4 要求

试片老化前和老化后的试验结果均应符合表20规定。

19.5 非金属护套老化前后的机械性能试验

19.5.1 取样

按GB/T 2951.11—2008的9.2取样和制备试片。

19.5.2 老化处理

老化处理应在表21规定的条件下，按GB/T 2951.12—2008的8.1进行。

19.5.3 预处理和机械性能试验

按GB/T 2951.12—2008的9.2进行试片的预处理和机械性能试验。

19.5.4 要求

试片老化前和老化后的试验结果均应符合表21规定。

19.6 成品电缆段的附加老化试验

19.6.1 概述

本试验旨在检验电缆绝缘和非金属护套与电缆中的其他材料接触有无造成运行中的劣化倾向。
本试验适用于任何类型的电缆。

19.6.2 取样

按GB/T 2951.12—2008的8.1.4从成品电缆上截取试样。

19.6.3 老化处理

电缆样品的老化处理按GB/T 2951.12—2008中的8.1.4，在空气烘箱中进行。老化条件如下：
——温度：高于电缆正常运行时导体最高温度（见表20） (10 ± 2) K；

——周期：7×24h。

19.6.4 机械性能试样

取自老化后电缆段试样的绝缘和护套试片，按GB/T 2951.12—2008中8.1.4进行机械性能试验。

19.6.5 要求

不应超过空气烘箱老化后的规定值（见19.4和19.5）。

绝缘应符合表20的规定值，非金属护套应符合表21的规定值。

19.7 ST2 型 PVC 护套失重试验

19.7.1 步骤

按GB/T 2951.32—2008中的8.2取样和进行试验。

19.7.2 要求

试验结果应符合表21规定。

19.8 绝缘和非金属护套的高温压力试验

19.8.1 步骤

按GB/T 2951.31—2008第8章进行取样和试验，试验条件按表20或表21规定。

绝缘高温压力试验时，应采用带绝缘屏蔽的绝缘线芯，计算压力时绝缘试样厚度的平均值 δ 应为绝缘厚度平均值和绝缘屏蔽厚度平均值的算数平均值之和，计算压力时试样外径平均值D应为绝缘屏蔽后绝缘线芯平均外径。

19.8.2 要求

绝缘高温压力试验结果应符合表20规定，护套高温压力试验结果应符合GB/T 2951.31—2008中第8章规定。

绝缘高温压力试验结束后，应测量带绝缘屏蔽的绝缘线芯的压痕深度。

19.9 绝缘和 PVC、无卤低烟护套的低温性能试验

19.9.1 步骤

按GB/T 2951.14—2008第8章进行取样和试验，试验条件按表20或表21规定。

19.9.2 要求

绝缘低温性能试验结果应符合表20规定，护套低温性能试验结果应符合表21规定。

19.10 PVC、无卤低烟护套抗开裂试验（热冲击试验）

19.10.1 步骤

按GB/T 2951.31—2008第9章进行取样和进行试验，试验温度和加热持续时间见表21。

19.10.2 要求

试验结果应符合GB/T 2951.31—2008中第9章规定。

19.11 绝缘和无卤低烟护套吸水试验

19.11.1 步骤

按GB/T 2951.13—2008第9章进行取样和试验，试验条件按表20或表21规定。

19.11.2 要求

绝缘试验结果应符合表20规定，护套试验结果应符合表21规定。

19.12 黑色聚乙烯护套炭黑含量测定

19.12.1 步骤

非阻燃型护套炭黑含量按GB/T 2951.41—2008第11章进行取样和试验。阻燃型外护套的炭黑含量试验要求和试验方法由供需双方商定。

19.12.2 要求

试验结果应符合表21规定。

19.13 绝缘收缩试验

19.13.1 步骤

按GB/T 2951.13—2008第10章进行取样和试验，试验条件按表20规定。

19.13.2 要求

试验结果应符合表20规定。

19.14 PE 护套收缩试验

19.14.1 步骤

按GB/T 2951.13—2008第11章进行取样和试验，试验条件按表21规定。

19.14.2 要求

试验结果应符合表21规定。

19.15 聚乙烯外护套和 PVC 外护套刮磨试验

19.15.1 步骤

试样经18.5规定的弯曲试验后，按JB/T 10696.6进行刮磨试验。

将经过刮磨试验的试样在室温下浸入0.5%（质量分数）氯化钠和大约0.1%（质量分数）非离子型表面活性剂水溶液中至少24h。

将金属屏蔽和铠装作为负极，在负极和盐溶液之间施加直流电压20kV，历时1min。然后施加雷电冲击电压20kV，正负极性各10次。

19.15.2 要求

电压试验过程中，试样不应击穿。

将试样从溶液中取出，剥下包含刮磨部位1m长的护套，用肉眼观察护套内外表面，应无裂缝和开裂。

19.16 绝缘屏蔽的可剥离性试验

19.16.1 通用要求

当制造方声明采用的挤包半导电绝缘屏蔽为可剥离型时，应进行本试验。

19.16.2 步骤

在老化前和老化后的样品上各进行三次试验，可在三个单独的电缆试样上进行试验，也可在同一个电缆试样上沿圆周方向彼此间隔约120°的三个不同位置上进行试验。

从老化前和按19.6老化后的被试电缆上取下长度至少250mm的绝缘线芯。

在每一个试样的挤包绝缘屏蔽表面上从试样的一端到另一端向绝缘纵向切割成两道彼此相隔宽(10±1)mm相互平行的深入绝缘的切口。

沿平行于绝缘线芯方向（也就是剥切角近似于 180° ）拉开长50mm、宽10mm的条形带后，将绝缘线芯垂直地装在拉力机上，用一个夹头夹住绝缘线芯的一端，并将10mm条形带夹在另一个夹头上。

施加使10mm条形带从绝缘分离的拉力，拉开至少100mm长的距离。在剥离角近似 180° 和速度为 (250 ± 50) mm/min条件下测量拉力。

试验在 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 温度下进行。

对未老化和老化后的试样连续地记录其剥离的数值。

19.16.3 要求

从老化前后的试样绝缘上剥下的挤包半导体屏蔽的剥离力应不小于4N且不大于60N。

绝缘表面应无损伤及残留的半导体屏蔽痕迹。

19.17 透水试验

当制造方声称采用了纵向阻水屏障电缆的设计时，应进行透水试验。本试验的目的是满足地下埋设电缆的要求，而不适用于水底电缆。

本试验用于下列电缆设计：

- a) 在金属层附近具有纵向阻水屏障；
- b) 沿着导体具有纵向阻水屏障。

试验装置、取样和试验步骤按GB/T 12706.2—2020附录F规定。

19.18 OPMC 机械性能

19.18.1 总则

下列规定的各试验方法及试验条件用于验证OPMC的机械性能，其试验结果符合规定的要求时，方可判为合格。

机械性能试验中光纤衰减变化的检测宜在GB/T 15972.46-2008规定的波长上进行，试验期间，检测系统的稳定性引起的检测结果不确定度应优于0.03dB。试验中光纤衰减变化量的绝对值不超过0.03dB时，可判为无明显附加衰减；允许衰减有某些数值的变化时，应理解为该数值已包含不确定度在内。

19.18.2 压扁试验

19.18.2.1 试验条件

试验条件如下：

- a) OPMC压扁特性应符合表17的规定；
- b) 持续时间为10min。
- c) 光纤长度：不小于100m。

表17 OPMC 压扁特性

OPMC压扁特性	OPMC压扁特性			
	OPMC压扁特性		短暂压扁力	
	OPMC压扁特性	光纤附加衰减	允许力 N/100mm	光纤附加衰减
OPMC压扁特性	OPMC压扁特性	光纤应无明显附加衰减	105D	$\leq 0.1\text{dB}$
OPMC压扁特性	OPMC压扁特性	光纤应无明显附加衰减	210D	$\leq 0.1\text{dB}$
OPMC压扁特性				

19.18.2.2 步骤

应按GB/T 7424.2—2008中试验方法—E3进行试验。

19.18.2.3 要求

护套应无目力可见开裂；在允许压扁力下，光纤附加衰减应不大于0.10dB，去除此压扁力后，光纤应无明显的残余附加衰减。

19.18.3 弯曲试验

在电气性能中的弯曲试验完成后，测试光纤的附加衰减，光纤残余附加衰减应不大于0.20dB。

19.19 OPMC 环境性能

19.19.1 总则

下列规定的各试验方法及试验条件用于验证OPMC的环境性能，其试验结果符合规定的验收要求时，判为合格。

19.19.2 衰减温度特性

19.19.2.1 试验条件

衰减温度特性试验用于评定OPMC中光传输单元的适用温度范围及其温度附加衰减特性。试验条件如下：

- a) 试样长度：试样长度应足以获得衰减测量所需的精度；
- b) 温度范围：试验温度范围的低限 TA 和高限 TB 应符合表 18 的规定；
- c) 恒温时间(t1)：应足以使试样温度达到稳定，不应少于 24h；
- d) 测试光纤数：至少为 24 根光纤，当光纤数小于 24 根时，应全部测试；
- e) 循环次数为 2 次。

表18 电缆衰减温度特性

宜适用温度范围 ^a ℃		单模光纤允许光纤附加衰减 ^b dB/km
底限 ^c T _A	高限 ^c T _B	
-15	+85	≤0.1
^a 可根据用户使用要求, 另行规定温度范围。		
^b 为适用温度下相对于20℃下的光纤衰减差。		
^c 在GB/T 7424.2—2008中给出的定义。		

19.19.2.2 步骤

应按GB/T 7424.2—2008中试验方法—F1温度循环进行。

衰减监测应按GB/T 15972.46—2008规定的测试方法进行。在试验期间，监测仪表的重复性引起的监测结果的不确定度应优于0.02dB/km。试验中光纤衰减变化量的绝对值不超过0.02dB/km时，可判为衰减无明显变化。允许衰减有某数值的变化时，应理解为该数值已包括不确定度在内。B1.1、B1.3单模光纤衰减变化监测应在1310nm或1550nm两个波长上进行，也可在用户指定的波长上进行；B4单模光纤衰减变化监测应在1550nm波长上进行。

19.19.2.3 要求

应符合表18规定。

19.19.3 电缆耐热特性试验

19.19.3.1 热循环耐热试验方法

将电缆中的光纤串联熔接形成光功率监测回路,将电缆中的绝缘线芯首尾串联形成电流回路,在导体、绝缘、光传输单元、护套等位置放置温度传感器测量温度。

在回路中施加电流,加热导体直至达到稳定温度,此温度应超过电缆正常运行时导体最高温度5℃~10℃,加热电流应通过所有绝缘线芯的导体。

在试验过程中应监测导体、绝缘间、光传输单元和外护套的温度以及光传输单元的附加衰减,建议单模光纤在1550nm波长下测量,多模光纤在850nm波长下测量,或在用户指定的波长下测量。

本试验可以与电气性能试验中的热循环试验同时进行。

19.19.3.2 过载耐热试验方法

通过了本标准19.19.3.1的试验后,应接着进行热过载试验。将导体加热至超过电缆正常运行时导体最高温度35℃~40℃,稳定2h后,在空气中自然冷却至少3h(对于额定电压35kV电缆自然冷却至少16h),使导体温度不超过环境温度10℃,同时进行光纤的附加衰减监测。

在试验过程中应监测导体、绝缘间、光单元和外护套的温度以及光单元中光纤的附加衰减(单模1550nm,多模850nm,或根据客户要求)。

19.19.3.3 要求

电缆外护套应无目力可见开裂,各部分标记应完好,光纤附加衰减应不大于0.20dB。试验后,该样品的电压试验应符合本文件16.4要求。

19.19.3.4 光传输单元渗水试验

光传输单元的渗水性能应符合本文件17.6要求。

19.19.4 填充式光传输单元复合物滴流试验

填充式光传输单元复合物滴流性能应符合本文件17.7要求。

19.20 OPMC 光学性能和传输性能

19.20.1 总则

下列规定的各试验方法及其试验条件依据GB/T 15972—2008的要求,用于验证OPMC的光学性能,其试验结果符合规定的验收要求时,判为合格。

19.20.2 光纤的衰减系数

光纤的衰减系数测量试验方法见GB/T 15972.40—2008规定,衰减系数应符合16.6条款中表13和表14的规定。

19.20.3 光纤的截止波长

光纤的截止波长测量试验方法见GB/T 15972.44—2008规定,截止波长应符合GB/T 9771的相关规定。

19.20.4 光纤的模场直径

光纤的模场直径测量试验方法见GB/T 15972.45—2008规定,模场直径应符合GB/T 9771的相关规定。

19.21 光纤的尺寸参数

光纤的尺寸应按GB/T 15972.20—2008规定的试样方法测量,尺寸参数应符合GB/T 9771和GB/T 12357.1的相关规定。

19.22 燃烧特性试验

19.22.1 电缆的单根阻燃试验

本试验适用于ST2护套的电缆，且仅有特别要求时才进行试验。

对于其他材料护套的电缆，当制造方申明电缆有单根阻燃特性时应进行试验。

试验要求和方法应符合GB/T 18380.11、GB/T 18380.12、GB/T 18380.13的规定。

19.22.2 电缆的成束燃烧试验

当制造商声明电缆有成束阻燃特性时应进行试验。

应根据申明的类别进行成束阻燃试验，阻燃A类、阻燃B类、阻燃C类、阻燃D类的试验要求和方法应分别符合GB/T 18380.33、GB/T 18380.34、GB/T 18380.35、GB/T 18380.36的规定。

19.22.3 燃烧性能分级

当制造商声明电缆有燃烧性能等级特性（B1或B2）时应进行试验。

应根据声明的燃烧性能等级和附加信息进行电缆在受火条件下火焰蔓延、热释放和产烟特性的试验以及附加信息相关试验，试验要求和方法应符合GB 31247的规定。

电缆燃烧性能等级附加信息包括燃烧滴落物/微粒等级、烟气毒性等级和腐蚀性等级。

19.22.4 烟密度试验

本试验适用于无卤阻燃ST8材料作为外护套的无卤电缆。

试验步骤和结果评定应符合GB/T 17651.2的规定。

19.22.5 酸气含量

本试验适用于无卤低烟阻燃ST8材料作为外护套的无卤电缆。

试验方法应符合GB/T 17650.1的规定，无卤电缆的试验结果应符合表6规定。

19.22.6 pH值和电导率试验

本试验适用于无卤低烟阻燃ST8材料作为外护套的无卤电缆。

试验方法应符合GB/T 17650.2规定，无卤电缆的试验结果应符合表6规定。

19.22.7 氟含量试验

本试验适用于无卤低烟阻燃ST8材料作为外护套的无卤电缆。

试验方法应符合GB/T 7113.2规定，无卤电缆的试验结果应符合表6规定。

19.22.8 低毒试验

当制造商声明电缆有低毒性能时应进行试验。

应根据声明进行低毒试验，试验要求和方法应符合GB/T 19666的规定。

20 安装后电气试验

20.1 通则

试验应在电缆及其附件安装完成后进行。

宜按20.2进行外护套的直流电压试验，并在有要求时按20.3进行绝缘试验。对于只进行外护套的直流电压试验的情况，可以用供需双方认可的质量保证程序代替绝缘试验。

20.2 外护套的直流电压试验

在电缆的每相金属套或金属屏蔽与接地之间施加IEC 60229:2007第5章规定的直流电压及持续时间。为了有效试验，应使外护套的全部外表面接地良好。外护套上的导电层能够帮助达到此目的。

20.3 绝缘试验

20.3.1 交流电压试验

按供需双方协议，按GB/T 16927.3的规定，可采用下列a)项或b)项或c)项交流电压试验：

- a) 在导体与金属屏蔽间施加 $2U_0$ ，频率为 20Hz~300Hz，持续 60min；
- b) 在导体与金属屏蔽间施加系统的额定电压 U_0 ，持续 24h；
- c) 在导体与金属屏蔽间施加均方根值为 $3U_0$ 的电压，频率为 0.1Hz，持续 15min。

交流电压试验期间，可同时监测 $\tan \delta$ 和（或）局部放电。

对已运行电缆线路，可采用较低电压和/或较短时间进行试验，试验电压和时间与已运行时间、环境条件、击穿历史以及试验目的相关，由供需双方协商确定。

20.3.2 直流电压试验

作为交流电压的替代，可采用直流电压 $4U_0$ ，施加 15min。

直流电压试验可能对被试绝缘系统造成危险。尽可能采用 20.3.1 中的交流电压试验。

对已运行的电缆线路，可采用较低的电压和/或较短的时间进行试验。试验的电压和时间应考虑已运行的时间、环境条件、击穿历史以及试验目的相关，由供需双方协商确定。

20.4 安装后光单元传输特性试验

电缆安装完成后应测量整个线路的光纤衰减系数及光纤通断情况。

应按GB/T 15972.40—2008中附录B方法B进行试验。

光纤衰减系数应符合本文件 16.6 的规定，每根光纤长度应不小于线路的实际长度。

21 验收规则

21.1 产品应由制造方的质量检验部门检验合格方可出厂。每个出厂产品的包装件上应附有产品质量检验合格证。

21.2 产品应按本文件规定的试验项目进行试验验收。

22 交货长度

根据双方协议长度交货，长度计量误差不应超过 $\pm 0.5\%$ 。

23 成品电缆标志

成品电缆的护套表面上应有制造厂名、产品型号、规格及长度的连续标志，标志应字迹清楚，容易辨认、耐擦。

成品电缆标志应符合GB/T 6995.3规定。

阻燃1级、阻燃2级的电缆，成品电缆上应有GB 31247规定的标识。

24 产品包装

24.1 电缆应妥善包装在符合JB/T 8137（所有部分）规定的电缆盘上交货。电缆端头应可靠密封，伸出盘外的电缆端头应密封保护。OPMC 电缆每盘宜是一个制造长度，OPMC 交货盘筒体直径宜不小于 OPMC 外径的 20 倍。

24.2 盘装 OPMC 的最外层与缆盘侧板边缘的距离应不小于 60mm。OPMC 两端应密闭并具有表示端别的颜色标志，A（内）端为红色，B（外）端为绿色。OPMC 两端应固定在盘子内，其 A（内）端预留不少于 1m 长度的光传输单元，以满足测试需要。

24.3 成盘电缆的电缆盘外侧或成圈电缆的附加标签应标明：

- a) 制造方名称和商标；

- b) 产品的型号及规格;
 - c) 长度: m;
 - d) 毛重: kg;
 - e) 制造日期: 年、月;
 - f) 表示电缆盘正确滚动方向的符号;
 - g) 本文件编号;
 - h) 阻燃 1 级、阻燃 2 级电缆, 应按 GB 31247 的规定, 在包装上标识出燃烧性能等级及附加信息。
- 24.4 电缆的运输和贮存应符合下列要求:
- a) 电缆应避免在露天存放, 电缆盘不应平放;
 - b) 运输中不应从高处扔下装有电缆的电缆盘, 不应机械损伤电缆;
 - c) 吊装包装件时, 不应几盘同时吊装。在车辆、船舶等运输工具上, 电缆盘应置平放稳, 并用适当的方法固定, 防止碰撞或翻到。

表19 非电气型式试验

序号	试验项目 (混合料代号见4.2和4.4)	绝缘	非金属屏蔽	护套		
		PP	—	ST ₂	ST ₇	ST ₈
1	尺寸					
1.1	厚度测量	×	×	×	×	×
2	机械性能 (抗张强度和断裂伸长率)					
2.1	老化前	×	—	×	×	×
2.2	空气烘箱老化后	×	—	×	×	×
2.3	成品电缆段老化	×	—	×	×	×
3	热塑性能					
3.1	高温压力试验 (凹痕)	×	—	×	×	×
3.2	低温性能试验	×	—	×	—	×
4	其他各类试验					
4.1	空气烘箱失重试验	—	—	×	—	—
4.2	热冲击试验 (抗开裂)	—	—	×	—	—
4.3	吸水试验	×	—	—	—	×
4.4	收缩试验	×	—	—	×	—
4.5	外护套刮磨试验 ^a	—	—	×	×	—
4.6	炭黑含量 ^b	—	—	—	×	—
4.7	可剥离试验 ^c		×			
4.8	透水试验 ^d					
5	燃烧特性试验					
5.1	电缆单根阻燃试验	—	—	×	^e	^e
5.2	电缆成束阻燃试验	—	—	^e	^e	^e
5.3	烟密度试验	—	—	—	—	×
5.4	酸气含量试验	^f	^f	—	—	×
5.5	pH值和电导率	^f	^f	—	—	×
5.6	氟含量试验	^f	^f	—	—	×
5.7	低毒性能试验	^g				

6	燃烧性能等级及附加信息试验	h
7	OPMC机械性能	i
8	OPMC环境性能	i
9	OPMC光学性能	i
10	OPMC光纤尺寸参数	i
注1：×表示型式试验项目。		
注2：—表示不适用。		
^a 仅对额定电压U为35kV的电缆适用。 ^b 仅对黑色外护套适用。 ^c 用于制造方申明采用可剥离绝缘屏蔽电缆的设计中。 ^d 用于制造方申明采用纵向阻水屏障电缆的设计中。 ^e 仅当制造方申明电缆有对应阻燃特性时进行。 ^f 仅当制造方申明电缆有无卤特性时进行。 ^g 仅当制造方申明电缆有低毒特性时进行。 ^h 仅当制造商申明电缆燃烧性能等级时进行。 ⁱ 仅当电缆为OPMC电缆时进行。		

表20 电缆绝缘机械性能试验要求（老化前后）

序号	试验项目 (混合料代号见4.2)	单位	PP
	正常运行时导体最高温度（见4.2）	℃	90
1	老化前机械性能（GB/T 2951.11—2008中9.1）		
1.1	抗张强度，最小	N/mm ²	15.0
1.2	断裂伸长率，最小	%	350
2	空气烘箱老化后机械性能（GB/T 2951.12—2008中8.1）		
2.1	处理条件		
2.1.1	温度（偏差±3K）	℃	135
2.1.2	持续时间	h	240
2.2	老化后抗张强度，最小	N/mm ²	15.0
2.3	老化后抗张强度变化率 ^a ，最大	%	±30
2.4	老化后断裂伸长率，最小	%	350
2.5	老化后断裂伸长率变化率 ^a ，最大	%	±30
3	高温压力试验（GB/T 2951.31—2008中第8章）		
3.1	压力计算系数K	—	0.7
3.2	温度（偏差±2K）	℃	130
3.3	时间	h	6
3.4	最大压痕深度	%	10
4	低温性能试验 ^b （GB/T 2951.14—2008中第8章） 未经老化前进行试验		
4.1	哑铃片的低温拉伸试验 温度（偏差±2K）	℃	-25
4.2	低温冲击试验 温度（偏差±2K）	℃	—

5	吸水试验（GB/T 2951.13—2008中9.2重量法）		
5.1	温度（偏差±2K）	℃	85
5.2	持续时间	h	336
5.3	重量最大增量	mg/cm ²	0.5
6	收缩试验（GB/T 2951.13—2008中第10章）		
6.1	标志间长度L	mm	200
6.2	温度（偏差±3K）	℃	130
6.3	持续时间	h	1
6.4	最大允许收缩率	%	4
^a 老化前后得出的中间值只差值除以老化前中间值，以百分数表示。			
^b 因气候条件，购买方可要求采用更低的温度。			

表21 护套机械性能试验要求（老化前后）

序号	试验项目 (混合料代号见4.4)	单位	ST ₂	ST ₇	ST ₈
1	老化前机械性能（GB/T 2951.11—2008中9.2）				
1.1	抗张强度，最小	N/mm ²	12.5	12.5	9.0
1.2	断裂伸长率，最小	%	150	300	125
2	空气烘箱老化后机械性能（GB/T 2951.12—2008中8.1）				
2.1	处理条件				
2.1.1	温度（偏差±2K）	℃	100	110	100
2.1.2	持续时间	h	168	240	168
2.2	老化后抗张强度，最小	N/mm ²	12.5	—	9.0
2.3	老化后抗张强度变化率 ^a ，最大	%	±25	—	±40
2.4	老化后断裂伸长率，最小	%	150	300	100
2.5	老化后断裂伸长率变化率 ^a ，最大	%	±25	—	±40
3	高温压力试验（GB/T 2951.31—2008中第8章）				
3.1	温度（偏差±2K）	℃	90	110	80
4	低温性能试验 ^b （GB/T 2951.14—2008中第8章） 未经老化前进行试验				
4.1	哑铃片的低温拉伸试验 温度（偏差±2K）	℃	-15	—	-15
4.2	低温冲击试验 温度（偏差±2K）	℃	-15	—	-15
5	空气烘箱中失重试验（GB/T 2951.32—2008中8.2）				
5.1	温度（偏差±2K）	℃	100	—	—
5.2	持续时间	h	168	—	—

5.3	最大允许失重量	mg/cm ²	1.5	—	—
6	热冲击试验（GB/T 2951.31—2008中第9章）				
6.1	温度（偏差±3K）	℃	150	—	150
6.2	持续时间	h	1	—	1
7	吸水试验（GB/T 2951.13—2008中9.2重量法）				
7.1	温度（偏差±2K）	℃	—	—	70
7.2	持续时间	h	—	—	24
7.3	重量最大增量	mg/cm ²	—	—	10
8	收缩试验（GB/T 2951.13—2008中第11章）				
8.1	温度（偏差±2K）	℃	—	80	—
8.2	加热持续时间	h	—	5	—
8.3	加热周期	—	—	5	—
8.4	最大允许收缩率	%	—	3	—
9	炭黑含量（仅对于黑色护套）（GB/T 2951.41—2008中第11章）				
9.1	标称值	%	—	2.5	—
9.2	偏差	%	—	±0.5	—
注：—表示不适用。					
a老化前后得出的中间值只差值除以老化前中间值，以百分数表示。					
b因气候条件，购买方可要求采用更低的温度。					

25 电缆产品的补充条款

电缆产品的补充条款包括电缆代号、产品型号和产品表示方法等，见附录C规定。

25.1

附录 A
(规范性)
确定护层尺寸的假设直径计算方法

A.1 通则

电缆护层如护套和铠装，其厚度通常与电缆标称直径有一个“阶梯表”的关系。

有时候会产生一些问题，计算出的标称直径不一定与生产出的电缆实际尺寸相同。在边缘情况下，如果计算直径稍有偏差，护层厚度与实际直径不相符合，就会产生疑问。不同制造方的成型导体尺寸变化、计算方法不同会引起标称直径不同和由此导致使用在基本设计相同的电缆上的护层厚度不同。

为了避免这些麻烦，而采取假设计算方法。这种计算方法忽略形状和导体的紧压程度而根据导体标称截面积、绝缘标称厚度和电缆芯数，利用公式计算假设直径。这样护套厚度和其他护层厚度都可通过公式或表格而与假设直径有了相应的关系。假设直径计算的方法明确规定，使用的护层厚度是唯一的，它与实际制造中的细微差别无关。这就使电缆设计标准化，可预先计算每一个导体截面积的护层厚度尺寸。

假设直径仅用来确定护套和电缆护层的尺寸，不是代替精确计算标称直径所需的实际过程，实际标称直径计算应分开计算。

采用下述规定的电缆各种护层厚度的假设计算方法，是为了保证消除在单独计算中引起的任何差异，例如由于导体尺寸的假设以及标称直径和实际直径之间不可避免的差异。

所有厚度值和直径都应按附录B中的规则修约到一位小数。

扎带（例如反向螺旋绕包在铠装外的扎带）如果不厚于0.3mm，在此方法中忽略。

当电缆中放置有光传输单元、电缆相关信息等功能的元件，按以下假设直径计算时，光传输单元和功能元件引起的假设直径增量均忽略不计。

A.2 方法

A.2.1 导体

不考虑形状和紧压程度如何，每一标称截面导体的假设直径（ d_L ）由表A.1给出。

表A.1 导体的假设直径

导体标称截面积 mm ²	d_L mm	导体标称截面积 mm ²	d_L mm
25	5.6	185	15.3
35	6.7	240	17.5
50	8.0	300	19.5
70	9.4	400	22.6
95	11.0	500	25.2
120	12.4	630	28.3
150	13.8	800	31.9

A.2.2 绝缘线芯

任何绝缘线芯的假设直径（ D_C ）应按公式（A.1）计算：

$$D_C = d_L + 2t_{in} + 3.0 \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

D_C ——绝缘线芯假设直径，单位为毫米（mm）；

d_L ——导体假设直径，单位为毫米（mm）；

t_{in} ——绝缘的标称厚度，单位为毫米（mm）（见表 7）

如果采用金属屏蔽或同心导体，则应根据 A.2.5 考虑增大绝缘线芯的标称直径。

A. 2. 3 缆芯直径

缆芯的假设直径（ D_f ）应按公式（A. 2）计算：

$$D_f = B \cdot D_c \cdots \cdots \cdots (A. 2)$$

式中：

D_f ——缆芯假设直径，单位为毫米（mm）；

B ——三芯电缆的成缆系数，数值为 2.16。

D_c ——绝缘线芯假设直径，单位为毫米（mm）；

A. 2. 4 内衬层

内衬层的直径（ D_B ）应按公式（A. 3）计算：

$$D_B = D_f + 2t_B \cdots \cdots \cdots (A. 3)$$

式中：

D_B ——内衬层假设直径，单位为毫米（mm）；

D_f ——缆芯假设直径，单位为毫米（mm）；

t_B ——计算公式中的厚度，单位为毫米（mm）。

t_B 假设值规定如下：

——缆芯的假设直径 D_f 为 40 mm 及以下， $t_B=0.4$ ，单位为毫米（mm）；

——缆芯的假设直径 D_f 大于 40 mm， $t_B=0.6$ ，单位为毫米（mm）。

t_B 假设值应用于：

a) 三芯电缆：无论有无内衬层；无论内衬层为挤包还是绕包。

当有一个符合 13.3.3 规定的隔离套代替或附加在内衬层上时，应按式（A. 6）计算。

b) 单芯电缆：无论有挤包还是绕包的内衬层。

A. 2. 5 同心导体和金属屏蔽

由于同心导体和金属屏蔽使直径增加的数值应符合表A. 2规定。

表A. 2 同心导体和金属屏蔽使直径的增加值

同心导体或金属屏蔽的标称截面积 mm ²	直径的增加值 mm	同心导体或金属屏蔽的标称截面积 mm ²	直径的增加值 mm
1.5	0.5	50	1.7
2.5	0.5	70	2.0
4	0.5	95	2.4
6	0.6	120	2.7
10	0.8	150	3.0
16	1.1	185	4.0
25	1.2	240	5.0
35	1.4	300	6.0

如果同心导体或金属屏蔽的标称截面积介于表 A. 2 所列数据的两数值之间，那么取这两个标称值中较大数值所对应的直径增加值。

如果有金属屏蔽层，表 A. 2 中规定的屏蔽层标称截面积应按公式（A. 4）或公式（A. 5）计算：

a) 金属带屏蔽

$$s_{mn} = n_t \times t_t \times W_t \cdots \cdots \cdots (A. 4)$$

式中：

s_{mn} ——屏蔽层标称截面积，单位为平方毫米（mm²）；

n_t ——金属带根数；

t_t ——单根金属带的标称厚度，单位为毫米（mm）；

W_t ——单根金属带的标称宽度，单位为毫米（mm）。

当屏蔽总厚度小于 0.15 mm 时，直径增加值为零。

屏蔽总厚度规定如下：

——单根金属带重叠绕包屏蔽或两层金属带搭盖绕包屏蔽，屏蔽总厚度为金属带厚度的两倍；

——金属带纵包屏蔽时，如果搭盖率小于 30 %，屏蔽总厚度为金属带的厚度；如果搭盖率达到或超过 30 %，屏蔽总厚度为金属带厚度的两倍。

b) 金属丝屏蔽（包括一反向扎线，若有）

$$S_{mn} = \frac{n_w \times d_w^2 \times \pi}{4} + n_h \times t_h \times W_h \dots\dots\dots (A. 5)$$

式中：

s_{mn} ——屏蔽层标称截面积，单位为平方毫米（mm²）；

n_w ——金属丝根数；

d_w ——单根金属丝直径，单位为毫米（mm）；

n_h ——反向扎带根数；

t_h ——厚度大于0.3mm的反向扎带的厚度，单位为毫米（mm）；

W_h ——反向扎带的宽度，单位为毫米（mm）。

A. 2. 6 隔离套

隔离套的假设直径（ D_s ）应按式（A. 6）计算：

$$D_s = D_u + 2t_{ss} \dots\dots\dots (A. 6)$$

式中：

D_s ——隔离套假设直径，单位为毫米（mm）。

D_u ——隔离套前的假设直径，单位为毫米（mm）；

t_{ss} ——隔离套标称厚度，单位为毫米（mm）。

A. 2. 7 包带垫层

包带垫层的假设直径（ D_{lb} ）应按公式（A. 7）计算：

$$D_{lb} = D_{ULb} + 2t_{Lb} \dots\dots\dots (A. 7)$$

式中：

D_{Lb} ——包带垫层假设直径，单位为毫米（mm）；

D_{ULb} ——包带前假设直径，单位为毫米（mm）；

t_{Lb} ——包带垫层厚度，单位为毫米（mm）。

A. 2. 8 金属带铠装电缆的附加垫层（加在内衬层外）

金属带铠装电缆因附加垫层引起的直径增加量应符合表A. 3规定。

表A. 3 因附加垫层引起的直径增加量

附加垫层下的假设直径 mm	因附加垫层引起的直径增加 mm
≤29. 0	1. 0
>29. 0	1. 6

A. 2. 9 铠装

铠装外的假设直径（ D_k ）应按公式（A. 8）或公式（A. 9）计算：

a) 扁或圆金属丝铠装

$$D_x = D_A + 2t_A + 2t_W \dots\dots\dots (A. 8)$$

式中:

D_X ——铠装假设直径, 单位为毫米 (mm);

D_A ——铠装前假设直径, 单位为毫米 (mm);

t_A ——铠装金属丝的假设直径或厚度, 单位为毫米 (mm);

t_W ——如果有反向螺旋扎带时厚度大于 0.3mm 的反向螺旋扎带时厚度, 单位为毫米 (mm)。

b) 双金属带铠装

$$D_X = D_A + 4t_{AD} \cdots \cdots \cdots (A. 9)$$

式中:

D_X ——铠装假设直径, 单位为毫米 (mm);

D_A ——铠装前假设直径, 单位为毫米 (mm);

t_{AD} ——铠装带厚度, 单位为毫米 (mm)

附录 B
(规范性)
数值修约

B.1 假设计算法的数值修约

在按附录 A 计算假设直径和确定单元尺寸而对数值进行修约时，采用下述规则。

当任何阶段的计算值小数点后多于一位数时，数值应修约到一位小数，即精确到0.1mm。每一阶段的假设直径数值应修约到0.1mm，当用来确定包覆层厚度和直径时，在用到相应的公式或表格中数值去计算之前应先进行修约，按附录A要求从修约后的假设直径计算出的厚度应依次修约到0.1mm。

用下述实例来说明这些规则：

a) 修约前数据的第二位小数为 0、1、2、3 或 4 时，则小数点后第一位小数保持不变（舍弃）；

示例1：2.12≈2.1

示例2：2.449≈2.4

示例3：25.0478≈25.0

b) 修约前数据的第二位小数为 9、8、7、6 或 5 时，则小数点后第一位小数应增加 1（进一）。

示例4：2.17≈2.2

示例5：2.453≈2.5

示例6：30.050≈30.1

B.2 用作其他目的的数值修约

除 B.1 考虑的用途外，有可能需要将某些数值修约到多于一位小数，例如计算几次测量的平均值，或标称值加上一个百分偏差以后的最小值。在这些情况下，应按有关条文修约到小数点后面的规定位数。

这时修约的方法为：

a) 如果修约前应保留的最后数值后一位数为 0、1、2、3 或 4 时，则最后数值应保持不变（舍弃）；

b) 如果修约前应保留的最后数值后一位数为 9、8、7、6 或 5 时，则最后数值加 1（进一）。

示例1：2.449≈2.45 修约到二位小数

示例2：2.449≈2.4 修约到一位小数

示例3：25.0478≈25.048 修约到三位小数

示例4：25.0478≈25.0 修约到一位小数

B.3 测量值或其计算值与规定值的表示和判定

在判定测量值或其计算值是否符合要求时，应将测试所得的测量值或其计算值与规定值做比较，比较方法应采用修约值比较法，比较规则应符合 GB/T 8170 的规定。

测量值或其计算值的修约数位通常应与规定值的数位一致。表 B.1 列出了一些规定值、测量值或其计算值的修约数位。

表B.1 规定值、测量值或其计算值的修约数位

项 目	单位	规定值的修约数位	测量值或其计算值的修约数位
绝缘最小厚度 非金属屏蔽最小厚度 非金属护套最小厚度 挤包内衬层最小厚度 绕包内衬层厚度 绕包内衬层和包带垫层总厚度 铠装金属丝最小直径 铠装金属线最小厚度 铠装金属带最小厚度 屏蔽铜带最小厚度	mm	修约到百分位	修约到百分位

附录 C
(规范性)
电缆的补充条款

C.1 电缆产品代号

C.1.1 材料特征代号

C.1.1.1 导体代号

铜导体.....(T)省略
铝导体.....L

C.1.1.2 绝缘代号

热塑性聚丙烯绝缘.....P

C.1.1.3 光传输单元代号

非金属层绞填充式光传输单元.....GT
非金属中心管填充式光传输单元.....GXT
其他类型.....GQ

注：光纤的类型按照GB/T 9771、GB/T 12357.1和YD/T 1954的规定，典型的光纤类型有以下几种：
a) A1：多模光纤的类型应符合GB/T 12357.1的规定，典型的多模光纤类型有A1a和A1b；
b) B1.1：非色散位移单模光纤（ITU-T G.652A和ITU-T G.652B）；
c) B1.3：波长段扩展的非色散位移单模光纤（ITU-T G.652C和ITU-T G.652D）；
d) B4：非零色散位移单模光纤（ITU-T G.655）。

C.1.1.4 金属屏蔽代号

铜带屏蔽.....(D)省略
铜丝屏蔽.....S

C.1.1.5 护层代号

聚氯乙烯护套.....V
聚乙烯或无卤低烟阻燃护套.....Y
金属箔复合护套.....A

注：护层代号包括内衬层和隔离套等。

C.1.1.6 铠装代号

双钢带铠装.....2
细圆钢丝铠装.....3
粗圆钢丝铠装.....4
(双)非磁性金属带铠装.....6
非磁性金属丝铠装.....7

注1：非磁性金属带包括非磁性不锈钢带、铝或铝合金带等。若订货合同中未注明，采用何种非磁性金属带由制造方确定。

注2：非磁性金属丝包括非磁性不锈钢丝、铜丝或镀锡铜丝、铜合金丝或镀锡铜合金丝、铝或铝合金丝等。若订货合同中未注明，则采用何种非磁性金属丝由制造方确定。

C.1.1.7 外护套代号

聚氯乙烯外护套.....2
聚乙烯或无卤低烟阻燃外护套.....3

C.1.2 功能特性代号（如有特殊要求时）

C.1.2.1 光纤复合中压电缆代号

光纤复合中压电缆.....OPMC

C.1.2.2 燃烧性能等级代号

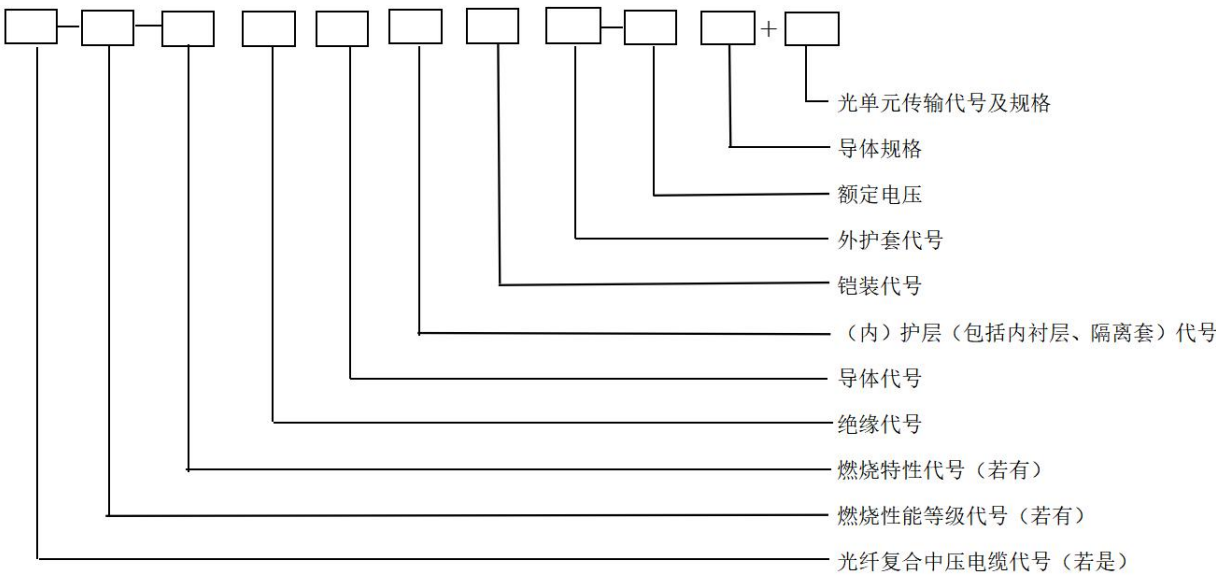
阻燃1级.....B1
阻燃2级.....B2

C.1.2.3 燃烧特性代号

无卤低烟.....WD
低毒U
单根阻燃Z
成束阻燃A类、B类、C类、D类.....ZA、ZB、ZC、ZD
注：含卤产品，单根阻燃代号Z省略。

C.2 电缆产品型号

产品型号的组成和排列顺序见图C.1。



图C.1 产品型号的组成和排列顺序

电缆常用型号见表C.1。

表C.1 电缆的常用型号与规格

型号 ^{a, b}		名称
铜芯	铝芯	
PV	PLV	热塑性聚丙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆
PY	PLY	热塑性聚丙烯绝缘聚乙烯或聚烯烃护套电力电缆
PV22	PLV22	热塑性聚丙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆
PV23	PLV23	热塑性聚丙烯绝缘钢带铠装聚乙烯或聚烯烃护套电力电缆

PV32	PLV32	热塑性聚丙烯绝缘细圆钢丝铠装聚氯乙烯护套电力电缆
PV33	PLV33	热塑性聚丙烯绝缘细圆钢丝铠装聚乙烯或聚烯烃护套电力电缆
^a 电缆的型号可按 C.1.2 的规定进行组合，组合的型号应合理。具有光传输单元、燃烧性能等级和（或）燃烧特性的电缆，名称和型号应按 C.1.2 的规定在上述型号的基础上编制。 ^b 无卤低烟阻燃电缆护套代号 Y 或 3 表示无卤聚烯烃护套。		

C.3 电缆产品表示方法

产品用型号（型号中有数字代号的电缆外护套，数字前的文字代号表示内护层）、规格（额定电压、芯数、标称截面积+光传输单元规格（若有））及本文件编号表示。

阻燃电缆产品的表示方法应符合GB/T 19666规定。

示例1：

铜芯热塑性聚丙烯绝缘铜带屏蔽聚氯乙烯护套电力电缆，额定电压为8.7/15kV，单芯，标称截面积300mm²，表示为：

PV-8.7/15 1×300 XXXX-2024

示例2：

铝芯热塑性聚丙烯绝缘铜带屏蔽钢带铠装无卤低烟阻燃C类电力电缆，额定电压为21/35kV，三芯，标称截面积150mm²，表示为：

WDZC-PLY23—21/35 3×150 XXXX-2024

示例3：

铜芯热塑性聚丙烯绝缘铜带屏蔽钢带铠装聚烯烃护套无卤低烟阻燃A类阻燃1级电力电缆，燃烧性能等级为B_i级，燃烧滴落物/微粒等级为d₀级，烟气毒性等级为t₁级，腐蚀性等级为a₁级，额定电压为8.7/15kV，3芯，标称截面积240mm²，表示为：

B_i-WDZA-PY23-8.7/15 3×240 XXXX-2024 GB 31247 B_i-（d₀， t₁， a₁）

示例4：

包含24芯B1.1类光纤非金属层绞填充式光传输单元的铜芯热塑性聚丙烯绝缘铜带屏蔽钢带铠装聚氯乙烯护套光纤复合电力电缆，额定电压为8.7/15kV，3芯，标称截面积300mm²，表示为：

OPMC-PV22-8.7/15 3×300+GT-24B1.1 XXXX-2024