

团 体 标 准

T/GDAQI XXX—2024

额定电压 1kV ($U_m=1.2kV$) 和 3kV ($U_m=3.6kV$) 热塑性聚丙烯绝缘电力电缆

Thermoplastic polypropylene insulated power cables with rated
voltages of 1kV ($U_m=1.2kV$) and 3kV ($U_m=3.6kV$)

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

广东省质量检验会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 电压标示和材料	3
5 导体	5
6 绝缘	5
7 光传输单元（若有）	6
8 多芯电缆的缆芯、内衬层和填充物	7
9 单芯或多芯电缆的金属层	9
10 金属屏蔽	9
11 同心导体	10
12 金属铠装	10
13 外护套	12
14 撕裂绳	12
15 试验条件	12
16 例行试验	13
17 抽样试验	14
18 电气型式试验	16
19 非电气型式试验	18
20 安装后试验	26
21 验收规则	27
22 交货长度	27
23 成品电缆标志	27
24 产品包装	27
25 电缆产品的补充条款	31
附录 A（规范性） 确定护层尺寸的假设计算方法	32
附录 B（规范性） 数值修约	37
附录 C（规范性） 电缆产品的补充条款	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1kV ($U_m=1.2kV$) 和3kV ($U_m=3.6kV$) 热塑性聚丙烯绝缘电力电缆的结构尺寸及性能指标。

额定电压 1kV ($U_m=1.2\text{kV}$) 和 3kV ($U_m=3.6\text{kV}$) 热塑性聚丙烯绝缘电力电缆

1 范围

本文件规定了额定电压1kV ($U_m=1.2\text{kV}$) 和3kV ($U_m=3.6\text{kV}$) 热塑性聚丙烯绝缘电力电缆的结构、尺寸和试验要求。

本文件适用于配电网或工业装置中额定电压1kV ($U_m=1.2\text{kV}$) 和3kV ($U_m=3.6\text{kV}$) 固定安装的热塑性聚丙烯绝缘电力电缆。

本文件不适用于特殊安装和运行条件的电缆，例如架空线路、采矿工业、核电厂（安全壳内及其附近）以及水下或船舶的电缆。

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 3048.13 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 6995.3 电线电缆识别标志方法 第3部分：电线电缆识别标志
- 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 9771（所有部分）通信用单模光纤
- GB/T 11017.2—2014 额定电压110kV ($U_m=126\text{kV}$) 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 通信用多模光纤

- GB/T 12706.1-2020 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 15972.40—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 15972.46—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 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: 卤酸气体含量的测量
- 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: 用测量pH值和电导率来测定气体的酸度
- 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 电缆和光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 电缆和光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 19216.21 在火焰条件下电缆或光缆的线路完整性试验 第21部分: 试验步骤和要求——额定电压0.6/1.0kV及以下电缆
- GB/T 19216.25 在火焰条件下电缆或光缆的线路完整性试验 第25部分: 试验步骤和要求——光缆
- GB/T 19666 阻燃和耐火电线电缆或光缆通则
- GB/T 29839—2013 额定电压1kV (Um=1.2kV) 及以下光纤复合低压电缆
- 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
- 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 979 光纤带技术要求和检验方法
- 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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

有关尺寸值的术语

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，通常标称值引伸出的量值在考虑规定公差下通过测量进行检验。

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。

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：

$U_0/U(U_m) = 0.6/1(1.2) \text{ kV}, 1.8/3(3.6) \text{ kV}$ 。

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_0 kV	额定电压 U_0 kV	
	A类、B类	C类
1.2	0.6	0.6
3.6	1.8	3.6

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）
热塑性聚丙烯绝缘	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其他因素的考虑也是重要的。

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 60724。

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 ℃
非金属层绞全干式光传输单元	G	85	90
非金属层绞填充式光传输单元	GT	85	90
非金属中心管全干式光传输单元	GX	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）表示松套层绞式结构；T表示油膏填充；（省略）表示全干式填充；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
无卤低烟阻燃	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		多芯电缆	
	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1种或第2种或第5种镀金属层或不镀金属层退火铜导体、第1种或第2种铝导体。

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	μS/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。任何隔离层的厚度不应包括在绝缘厚度之中。

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) 下的绝缘标称厚度 mm	
	0.6/1(1.2)kV	1.8/3(3.6)kV
1.5, 2.5	0.7	—
4, 6	0.7	—
10, 16	0.7	2.0
25, 35	0.9	2.0
50	1.0	2.0
70, 95	1.1	2.0
120	1.2	2.0
150	1.4	2.0
185	1.6	2.0
240	1.7	2.0
300	1.8	2.0
400	2.0	2.0
500	2.2	2.2
630	2.4	2.4
800	2.6	2.6
1000	2.8	2.8

注：不宜采用任何小于以上给出的导体截面。

7 光传输单元 (若有)

7.1 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。如有要求, 也可采用光纤带及非金属保护材料制成。光纤可为光纤束, 也可为光纤带。

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。

7.2 结构

7.2.1 光传输单元结构可以是圆形或其他结构。圆形光传输单元结构主要有层绞式和中心管式二种。典型光传输单元结构图参见 GB/T 29839—2013 附录 B。

7.2.2 层绞式光传输单元应由含多根光纤或光纤带的松套管及可能有的塑料填充绳绕非金属中心加强件绞合, 绞合方式为 SZ 螺旋绞或螺旋绞。

7.2.3 中心管式光传输单元应由含多根光纤或光纤带的松套管、护套和可能有的加强材料。

7.3 光纤

7.3.1 单模光纤应符合 GB/T 9771 或 YD/T 1954 的有关规定；光纤带特性应符合 YD/T 979 中的有关规定。

7.3.2 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。光纤带的色谱识别应符合 YD/T 979 中的有关规定。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 全色谱的优先顺序

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

7.4 松套管

7.4.1 涂覆光纤应放置在热塑性材料构成的松套管中，光纤在松套管中的余长应均匀稳定。

7.4.2 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。

7.4.3 对于层绞式光传输单元，其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，领示色可以是松套管或填充绳。

7.5 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。

7.6 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。允许用阻水纱作填充绳。

7.7 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。其他材质加强构件应满足相关标准规定。

7.8 护套

7.8.1 层绞式和中心管式光传输单元外都应挤包一层护套。

7.8.2 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。

8 多芯电缆的缆芯、内衬层和填充物

8.1 概述

成缆间隙可用非吸湿性材料填充圆整。

当电缆中含有光传输单元时，OPLC的绝缘线芯应为圆形结构，并与光传输单元以适宜的方式绞合成缆芯，光传输单元应放在成缆线芯的间隙中。

多芯电缆的缆芯与电缆的额定电压及每根绝缘线芯上有否金属屏蔽层有关。

8.2~8.4不适用于有护套的单芯电缆成缆的缆芯。

8.2 内衬层和填充

8.2.1 结构

内衬层可挤包或绕包。

除五芯以上电缆外，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，应采用挤包内衬层。

挤包内衬层前允许用合适的带子扎紧。

8.2.2 材料

用于内衬层和填充的材料应适合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。

8.2.3 挤包内衬层

挤包内衬层的标称厚度见表9。

表9 挤包内衬层厚度

缆芯假设直径 mm		挤包内衬层标称厚度 mm
—	≤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

当铠装电缆含有光传输单元时，挤包内衬层的最小标称厚度为1.4mm。

8.2.4 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。当多根带材绕包时，每一根均应重叠绕包。

8.3 额定电压 0.6/1kV 电缆

8.3.1 一般规定

额定电压0.6/1kV电缆可在绝缘线芯或缆芯外包覆统包金属层。

注：电缆采用金属层与否，取决于有关规范和安装要求，以免可能遭受机械损伤或直接电接触的危险。

8.3.2 有统包金属层的电缆（见第9章）

电缆缆芯外应有内衬层。内衬层和填充物应符合8.2规定，并应是非吸湿性材料。

当电缆中不含光传输单元时，如果所用金属带的单层厚度不超过0.3mm，金属带也可直接绕包在缆芯外，省略内衬层，这种电缆应符合19.16规定的特殊弯曲试验要求。

8.3.3 无统包金属层的电缆（见第9章）

只要电缆外部形状保持圆整而且缆芯和护套之间不粘连，内衬层就可省略。热塑性护套包覆在10mm²及以下圆形缆芯的情况下，外护套可嵌入缆芯间隙。如果采用内衬层，那么其厚度不必符合8.2.3或8.2.4规定。

8.4 额定电压 1.8/3kV 电缆

8.4.1 一般规定

额定电压1.8/3kV电缆应具有分相或统包金属层。

8.4.2 有统包金属层的电缆（见第9章）

缆芯外应有内衬层，内衬层和填充物应符合8.2规定，并应为非吸湿性材料。

8.4.3 有分相金属层的电缆（见第10章）

各个绝缘线芯的金属层应相互接触。

有附加统包金属层（见第9章）的电缆，当金属材料与分相包覆的金属层材料相同时，缆芯外应有内衬层。内衬层与填充物应符合8.2规定，并应为非吸湿性材料。

当分相与统包金属层采用的金属材料不同时，应采用符合13.2中规定的任一种材料挤包隔离套将其隔开。

既无铠装又无同心导体，也无其他统包金属层（见第9章）的电缆，只要电缆外形保持圆整，可省略内衬层。如采用热塑性护套包覆10mm²及以下的圆形缆芯时，外护套可嵌入缆芯间隙。若采用内衬层，其厚度不必按8.2.3或8.2.4规定。

9 单芯或多芯电缆的金属层

本部分包括以下类型的金属层：

- a) 金属屏蔽（见第10章）；
- b) 同心导体（见第11章）；
- c) 金属铠装（见第12章）。

金属层应由上述的一种或几种型式组成，包覆在多芯电缆的单独绝缘线芯上或单芯电缆上时应是非磁性的。

10 金属屏蔽

10.1 结构

金属屏蔽应由一根或多根金属带、金属编织、金属丝的同心层或金属丝与金属带的组合结构组成。金属屏蔽也可是符合10.2规定的金属铠装层。

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。金属屏蔽的搭盖和间隙应符合10.2规定。

10.2 要求

10.2.1 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。

10.2.2 铜丝屏蔽应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不应大于 4mm。相邻铜丝平均间隙的定义和计算见 GB/T 11017.2—2014 中 6.5.2。

10.2.3 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%，最小搭盖率不应小于 5%。供需双方协商一致时，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： $\geq 0.12\text{mm}$ ；

——多芯电缆： $\geq 0.10\text{mm}$ 。

铜带的最小厚度不应小于标称值的90%。

11 同心导体

11.1 结构

同心导体的间隙应符合10.2.2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。

11.2 要求

同心导体的尺寸、物理性能及电阻值要求应符合10.2规定。

11.3 使用

如采用同心导体结构，应在多芯电缆的内衬层外包覆同心导体层，对单芯电缆应直接在绝缘外或适当的内衬层外包覆同心导体层。

12 金属铠装

12.1 金属铠装类型

本部分包括铠装类型如下：

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

注：经制造方与购买方协商一致，额定电压0.6/1kV导体标称截面积不超过 6mm^2 的多芯电缆，可采用镀锌钢丝编织铠装。

12.2 材料

圆金属丝或扁金属线应为镀锌钢丝、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。

在要求铠装钢丝满足最小导电性的情况下，铠装层中允许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使用时，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。

除特殊结构外，用于交流回路的单芯电缆铠装应采用非磁性材料。

注：用于交流回路的单芯电缆磁性铠装即使采用特殊结构，电缆载流量仍将大为降低。

12.3 铠装的使用

12.3.1 单芯电缆

单芯电缆的铠装层下应有挤包或绕包内衬层，厚度应符合8.2.3或8.2.4规定。

12.3.2 多芯电缆

多芯电缆需要铠装时，铠装应包覆在符合8.2规定的内衬层上。如采用金属带直接绕包铠装时，见8.3.2规定。

12.3.3 隔离套

当铠装下的金属层与铠装材料不同时，应用13.2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（无卤阻燃ST8）应符合表6规定。

如果在铠装层下采用隔离套，可由其代替内衬层或附加在内衬层上。

挤包隔离套的标称厚度应按式（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）。

假设直径计算应按附录A进行，计算结果应修约到一位小数（见附录B）。

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。当含有光传输单元的电缆隔离套标称厚度的计算值小于1.4mm时，隔离套标称厚度取值为1.4mm。

12.4 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；

——铝或铝合金带：厚度0.5mm、0.8mm。

12.5 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应分别不小于表10和表11规定的数值。

表10 铠装圆金属丝标称直径

铠装前假设直径 mm		铠装金属丝标称直径 mm
—	≤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 铠装金属带标称厚度

铠装前假设直径 mm		金属带标称厚度 mm	
		钢带	铝或铝合金带
—	≤30.0	0.2	0.5
>30.0	≤70.0	0.5	0.5
>70.0	—	0.8	0.8

注：该表不适用于金属带直径包在缆芯上的电缆（见8.3.2）。

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。

12.6 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为最小。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。

12.7 双金属带铠装

当采用金属带铠装和符合8.2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的总厚度应按8.2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的总厚度应按8.2的标称值再加0.8mm。

绕包内衬层和附加包带垫层总厚度的测量值不应小于规定值的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%。

13 外护套

13.1 概述

所有电缆都应具有外护套。

外护套通常为黑色，但也可按制造方和买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。

13.2 材料

外护套应为热塑性材料。

无卤电缆的外护套（无卤阻燃ST8）应符合表6规定。

外护套材料应与表4中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。

13.3 厚度

若无其他规定，挤包外护套标称厚度值应按式（2）计算：

$$t_{os} = 0.35D_{os} + 1.0 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

t_{os} ——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）计算出的数值应修约到一位小数（见附录B）。

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。

14 撕裂绳

电缆中含有光传输单元，且用户要求时，可在光传输单元护套内、挤包内衬层下面、OPLC外护套下面放置撕裂绳。撕裂绳应连续贯通整根OPLC长度，不吸湿，不吸油，并具有足够的强度。

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 $1 \mu s \sim 5 \mu s$ ，标称半峰值时间 $40 \mu s \sim 60 \mu s$ 。其它方面应符合GB/T 16927.1。

16 例行试验

16.1 概述

例行试验通常应在每一根电缆制造长度上进行（见3.2.1）。根据购买方和制造方达成的质量控制协议，可减少试验电缆的根数。

本文件规定的例行试验为：

- a) 导体电阻测量（见16.2）；
- b) 电压试验（见16.3）；
- c) 光纤的衰减系数（适用时）（见16.4）。

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，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。也可选取另一种方法，即将导体试样浸在温度可控制的液体槽内，至少浸入1h后测量电阻。

电阻测量值应按GB/T 3956规定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。

16.3 电压试验

16.3.1 概述

电压试验应在环境温度下进行。制造方可选择采用工频交流电压或直流电压。

16.3.2 单芯电缆试验步骤

单芯屏蔽电缆的试验电压应施加在导体与金属屏蔽之间，时间为5min。

单芯无屏蔽电缆应将其浸入室温水1h，在导体和水之间施加试验电压5min。

注：单芯无金属层电缆的火花试验在考虑中。

16.3.3 多芯电缆试验步骤

对于分相屏蔽的多芯电缆，在每一相导体与金属层间施加试验电压5min。

对于非分相屏蔽的多芯电缆，应依次在每一绝缘导体对其余导体和金属层（若有）之间施加试验电压5min。

导体可适当地连接在一起依次施加试验电压进行电压试验以缩短总的试验时间，只要连接顺序可保证电压施加在每一相导体与其他导体和金属层（若有）之间至少5min而不中断。

三芯电缆也可采用三相变压器，一次完成试验。

16.3.4 试验电压

工频试验电压为 $2.5U_0+2kV$ ，对应标准额定电压的单相试验电压见表12。

表12 例行试验电压

额定电压 U_0 kV	试验电压 kV
0.6	3.5
1.8	6.5

若用三相变压器同时对三芯电缆进行电压试验，相间试验电压应取表12所列数据的1.73倍。

当电压试验采用直流电压时，直流电压值应为工频交流电压值的2.4倍。

在任何情况下，电压都应逐渐升高到规定值。

16.3.5 要求

绝缘应无击穿。

16.4 光纤的衰减特性

当电缆中含有光传输单元时进行。

16.4.1 试验方法

应按GB/T 15972.40—2008附录B中的方法B进行试验。

16.4.2 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GB/T 12357中的相关规定。

表13 单模光纤的衰减系数

单位为分贝每千米

光纤类别	B1.1和B1.3		B6	
	松套	带纤	A类	B类
最大衰减系数 (1310 nm)	0.40	0.50	0.40	0.50
最大衰减系数 (1550 nm)	0.30	0.40	0.30	0.40
注：适用于单根光纤长度不小于1km。				

17 抽样试验

17.1 概述

本文件要求的抽样试验包括：

- 色谱识别（若有）及结构尺寸（见 17.2）；
- OPLC 环境及机械性能试验（适用时）（见 17.3）；
- 光传输单元渗水性能（适用时）（见 17.4）。

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 概述

试验方法应符合GB/T 2951.11—2008第8章规定。

为试验而选取的每根电缆长度应从电缆的一端截取一段电缆来代表，如果必要，应将可能损伤的部分电缆先从该端截除。

对于超过三芯的等截面电缆，测量的绝缘线芯数目应限制在任意三个绝缘线芯上，或取总绝缘线芯数的10%，但应选取其中大的测量数。

17.2.3.2 对绝缘的要求

每一段绝缘线芯，绝缘厚度测量值的平均值（按附录B修约到0.1mm）不应小于规定的标称厚度；最小测量值不应低于规定标称值的90%再减0.1mm，见式（3）：

$$t_{imin} \geq 0.9t_{sn} - 0.1 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

t_{imin} ——绝缘厚度最小测量值，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

应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

应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及以下的金属带应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12.5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进行。

17.2.6 绕包搭盖率和间隙率的测量

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10.2.3规定。

铠装金属带间隙率应符合12.7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不应小于标称值的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12.7的规定。

17.2.8 光纤的结构、尺寸、色谱特性

当电缆中含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或YD/T 1954的有关规定；光纤带的结构、尺寸、色谱特性应符合YD/T 979中的有关规定。

17.3 OPLC 环境及机械性能试验

当电缆中含有光传输单元时进行。

OPLC电缆的环境性能试验应符合19.19的规定。

OPLC电缆的机械性能试验应符合19.18的规定。

17.4 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。

17.4.1 试样制备

从成品OPLC上取一段长1m的OPLC光传输单元试样。

17.4.2 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。

17.4.3 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OPLC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。

18 电气型式试验

18.1 概述

取成品电缆试样长度10m~15m。应依次进行下列试验。

- a) 环境温度下的绝缘电阻测量（见 18.2）；
- b) 正常运行时导体最高温度下的绝缘电阻测量（见 18.3）；
- c) 4h 电压试验（见 18.4）。

额定电压1.8/3（3.6）kV电缆应进行冲击电压试验；试验应在另外10m~15m长的成品电缆试样上进行（见18.5）。

最多同时试验3个绝缘线芯。

绝缘热稳定性试验应在另外至少10m长的成品电缆试样上进行，多芯电缆的加热电流应通过所有导体（见18.6）。

18.2 环境温度下的绝缘电阻测量

18.2.1 步骤

该试验可在任何其他电气试验之前的试验样品上进行。

应去掉所有外护层，测试前绝缘线芯应在环境温度下的水中浸泡至少1h。

直流测试电压应为80V~500V并施加足够长的时间，以达到合理稳定的测量，但不应少于1min也不应超过5min。

测量在每相导体与水之间进行。

如有要求，测量可在（20±1）℃下进一步证实。

18.2.2 计算

体积电阻率由所测得的绝缘电阻通过式（5）计算：

$$\rho = \frac{2 \times \pi \times L_i \times R}{\ln(D_i/d_i)} \dots \dots \dots (4)$$

式中：

ρ ——体积电阻率，单位为欧姆厘米（ $\Omega \cdot \text{cm}$ ）；

L_i ——电缆样品长度，单位为厘米（ cm ）；

R ——测量得到的绝缘电阻值，单位为欧姆（ Ω ）；

D_i ——绝缘外径，单位为毫米（ mm ）；

d_i ——绝缘内径，单位为毫米（ mm ）。

绝缘电阻常数 K_i 按式（6）计算，以兆欧千米（ $\text{M}\Omega \cdot \text{km}$ ）表示：

$$K_i = \frac{L_i \times R \times 10^{-11}}{\lg(D_i/d_i)} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

K_i ——绝缘电阻常数，单位为兆欧千米（ $\text{M}\Omega \cdot \text{km}$ ）。

L_i ——电缆样品长度，单位为厘米（ cm ）；

R ——测量得到的绝缘电阻值，单位为欧姆（ Ω ）；

D_i ——绝缘外径，单位为毫米（ mm ）；

d_i ——绝缘内径，单位为毫米（ mm ）。

注：对于成型导体的绝缘线芯，比值 D_i/d_i 为绝缘表面周长与导体表面周长之比。

18.2.3 要求

从测量值计算出的数值不应小于表14规定值。

表14 电缆绝缘的电气型式试验要求

试验项目和试验条件 (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）	$^{\circ}\text{C}$	90
体积电阻率 ρ ： ——正常运行时导体最高温度（见18.3）	$\Omega \cdot \text{cm}$	10^{12}
绝缘电阻常数 K_i ： ——正常运行时导体最高温度（见18.3）	$\text{M}\Omega \cdot \text{km}$	3.67

18.3 导体最高温度下绝缘电阻测量

18.3.1 步骤

电缆试样的绝缘线芯在试验前应浸在电缆正常运行时导体最高温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的水中至少1h。

直流测试电压应为80V~500V，应施加足够长的时间，以达到合理稳定的测量，但不应少于1min也不应超过5min。

测量应在每相导体与水之间进行。

18.3.2 计算

体积电阻率和（或）绝缘电阻常数，由绝缘电阻通过式（5）和（或）式（6）计算求得。

18.3.3 要求

由测量值计算出的数值不应小于表14规定值。

18.4 4h 电压试验

18.4.1 步骤

电缆试验用绝缘线芯应在试验前浸入环境温度的水中至少1h。

在水与导体之间施加4U0的工频电压，电压应逐渐升高并持续4h。

18.4.2 要求

绝缘不应击穿。

18.5 额定电压 1.8/3 (3.6) kV 电缆的冲击电压试验

18.5.1 步骤

试验应在导体温度高于正常运行时导体最高温度 $5^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ 下的电缆上进行。

应按GB/T 3048.13规定的步骤施加冲击电压，峰值为40kV。

对于没有分相屏蔽的多芯电缆，每次冲击电压应依次施加在每相导体与地之间，其他导体连接在一起并接地。

18.5.2 要求

每根电缆绝缘线芯应承受正负各十次冲击电压后不击穿。

18.6 绝缘热稳定性试验

18.6.1 通用要求

为表征电缆在短路条件下，绝缘材料的结构尺寸、电气性能的稳定性的稳定性。应进行绝缘热稳定性试验。

18.6.2 试样及安装

从整根连续电缆上取样，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。

18.6.3 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 $5\text{K}\sim 10\text{K}$ 。

多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。

18.6.4 要求

短路试验后，电缆应符合以下规定：

- 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），不应存在绝缘的可视变化；
- 短路试验后电缆样品应进行绝缘厚度的测量，试验步骤及要求应符合17.2.3规定；
- 短路试验后电缆样品应进行交流耐压试验，试验步骤及要求应符合16.3规定。

19 非电气型式试验

19.1 概述

本部分非电气型式试验项目见表17。

19.2 绝缘厚度测量

19.2.1 取样

应从每一根绝缘线芯上各取一个试样。

对多于三芯的等截面电缆，测量绝缘线芯的数目应限制在3个绝缘线芯或总芯数的10%中，取两者中的大者。

19.2.2 步骤

按GB/T 2951.11—2008中8.1规定进行。

19.2.3 要求

见17.2.3规定。

19.3 非金属护套厚度测量（包括外护套、挤包隔离套和挤包内衬层）

19.3.1 取样

每根电缆取一个样品。

19.3.2 步骤

按GB/T 2951.11—2008中8.2规定进行。

19.3.3 要求

见17.2.3规定。

19.4 绕包内衬层和（或）包带垫层总厚度的测量

应按17.2.7规定取样和进行试验，并符合其要求。

19.5 老化前后绝缘的机械性能试验

19.5.1 取样

应按GB/T 2951.11—2008中9.1规定进行取样和制备试片。

19.5.2 老化处理

应在表18规定的条件下按GB/T 2951.12—2008中8.1的规定进行老化处理。

19.5.3 预处理和机械试验

应按GB/T 2951.11—2008中9.1规定进行预处理和机械性能的试验。

19.5.4 要求

试片老化前和老化后的试验结果均应符合表18规定。

19.6 非金属护套老化前后的机械性能试验

19.6.1 取样

应按GB/T 2951.11—2008中9.2规定进行取样和制备试片。

19.6.2 老化处理

应在表19规定的条件下，按GB/T 2951.12—2008中8.1的规定进行老化处理。

19.6.3 预处理和机械性能试验

应按GB/T 2951.11—2008中9.2规定进行预处理和机械性能的试验。

19.6.4 要求

试片老化前和老化后的试验结果均应符合表19规定。

19.7 成品电缆段的附加老化试验

19.7.1 概述

本试验旨在检验运行中电缆绝缘和非金属护套与电缆中其他电缆部件接触时是否有劣化倾向。本试验适用于任何类型的电缆。

19.7.2 取样

应按GB/T 2951.12—2008中8.1.4规定从成品电缆上截取样品。

19.7.3 老化处理

应按GB/T 2951.12—2008中8.1.4规定在空气烘箱中进行电缆样品的老化处理。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18） (10 ± 2) ℃；
——周期： 7×24 h。

19.7.4 机械试验

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

19.7.5 要求

老化前和老化后抗张强度与断裂伸长率中间值的变化率（见19.5和19.6）不应超过空气烘箱老化后的规定值。绝缘的规定值见表18，非金属护套的规定值见表19。

19.8 ST2型PVC护套失重试验

19.8.1 步骤

应按GB/T 2951.32—2008中8.2规定取样和进行试验。

19.8.2 要求

试验结果应符合表19的规定。

19.9 绝缘和非金属护套的高温压力试验

19.9.1 步骤

应按GB/T 2951.31—2008第8章规定进行高温压力试验，试验条件见表18或表19。

19.9.2 要求

绝缘高温压力试验结果应符合表18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。

19.10 绝缘和PVC、无卤低烟护套的低温性能试验

19.10.1 步骤

应按GB/T 2951.14—2008第8章规定取样和进行试验，试验温度见表18或表19。

19.10.2 要求

试验结果应符合GB/T 2951.14—2008第8章规定。

19.11 PVC、无卤低烟护套抗开裂试验（热冲击试验）

19.11.1 步骤

应按GB/T 2951.31—2008第9章规定取样和进行试验，试验温度和加热持续时间见表19。

19.11.2 要求

试验结果应符合GB/T 2951.31—2008第9章规定。

19.12 绝缘和无卤护套吸水试验

19.12.1 步骤

按GB/T 2951.13—2008中9.2规定进行取样和试验。试验条件见表18或表19。

19.12.2 要求

绝缘试验结果应符合表18规定，护套试验结果应符合表19规定。

19.13 黑色聚乙烯护套碳黑含量测定

19.13.1 步骤

非阻燃型护套碳黑含量应按GB/T 2951.41—2008第11章规定取样和进行试验。阻燃型外护套的碳黑含量试验要求和试验方法由供需双方商定。

19.13.2 要求

试验结果应符合表19规定。

19.14 绝缘收缩试验

19.14.1 步骤

应按GB/T 2951.13—2008第10章规定取样和进行试验，试验条件见表18。

19.14.2 要求

试验结果应符合表18规定。

19.15 PE 护套收缩试验

19.15.1 步骤

应按GB/T 2951.13—2008第11章规定取样和进行试验，试验条件见表19。

19.15.2 要求

试验结果应符合表19规定。

注：无卤护套的收缩试验在考虑中。

19.16 特殊弯曲试验

19.16.1 概述

试验应在额定电压0.6/1kV有统包金属层并且金属带直接绕包在缆芯上且省略内衬层的多芯电缆上进行。

19.16.2 步骤

试样应在环境温度下绕在试验圆柱体上（例如线盘筒体）至少一圈，圆柱体的直径为 $7D(1\pm 5)\%$ ，其中 D 为电缆外径。然后松开电缆再在相反方向上重复此过程。

这种操作循环进行3次，然后将绕在试验圆柱体上的试样放入电缆正常运行时导体最高温度的空气烘箱中加热24h。

电缆冷却后应按16.3规定对弯曲状态的电缆进行电压试验。

19.16.3 要求

应无击穿，外护套应无裂纹。

19.17 无卤护套的附加机械性能试验

试验的目的是为了检查无卤外护套在电缆安装和运行过程中的可靠性。

注：磨损试验、耐撕裂试验和热冲击试验都在考虑中。

19.18 OPLC 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OPLC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应在1550nm波长上进行，试验方法见GB/T 15972.46—2008。在试验期间，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0.05dB时，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。

光纤拉伸应变宜采用相移法进行检测，其系统的精确度应优于0.01%。试验中检测到的光纤应变不大于0.01%时，判为无明显应变。OPLC拉伸应变采用机械方法或传感方法进行检测时，其系统的精确度应优于0.05%，试验中检测到的OPLC应变不大于0.05%时，判为无明显应变。

每项机械性能试验后，试样还应按16.3进行电压试验。

19.18.2 拉伸

19.18.2.1 试验条件

试验条件如下：

- a) 对于铜导体 OPLC，长期允许拉伸负荷为 $20\text{MPa} \times S_{\text{铜截面积}}$ ，短暂拉伸负荷为 $70\text{MPa} \times S_{\text{铜截面积}}$ ；
对于铝导体 OPLC，长期允许拉伸负荷为 $10\text{MPa} \times S_{\text{铝截面积}}$ ，短暂拉伸负荷为 $40\text{MPa} \times S_{\text{铝截面积}}$ ；
- b) 受试长度应不小于 10m；
- c) 拉伸速率应为 10mm/min；
- d) 持续时间为 5min。

19.18.2.2 步骤

应按GB/T 7424.2—2008规定的试验方法进行。

19.18.2.3 要求

对于OPLC，在长期允许拉伸负荷下，光纤应无明显附加衰减和应变；在短暂拉伸负荷下，光纤附加衰减应不大于0.2dB，应变应不大于0.3%，在去除此拉力后，光纤应无明显残余附加衰减和应变；护套应无目力可见开裂；对该试样进行成品电压试验，应符合16.3的要求。

19.18.3 压扁

19.18.3.1 试验条件

试验条件如下：

- a) OPLC 压扁特性应符合表 15 的规定；
- b) 持续时间为 10min。

表15 OPLC 压扁特性

结构	技术要求	
	长期压扁力	短暂压扁力

	允许力 N/100mm	光纤附加衰减	允许力 N/100mm	光纤附加衰减
无铠装	300	光纤应无明显附加衰减	1000	≤0.1dB
带铠装	1000	光纤应无明显附加衰减	3000	≤0.1dB

19.18.3.2 步骤

应按GB/T 7424.2—2008中试验方法—E3进行试验。

19.18.3.3 要求

护套应无目力可见开裂；在长期允许压扁力下光纤应无明显附加衰减；在短暂允许压扁力下，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；对该试样进行成品电压试验，应符合16.3的要求。

19.18.4 冲击

19.18.4.1 试验条件

试验条件如下：

- a) 冲锤重量：非铠装型 OPLC 为 450g，铠装型 OPLC 为 1kg；
- b) 冲锤落高：1m；
- c) 冲击柱面半径：12.5mm；
- d) 冲击次数：至少 5 次。

19.18.4.2 步骤

应按GB/T 7424.2—2008中试验方法—E4进行试验。

19.18.4.3 要求

护套应无目力可见开裂，光纤应无明显的残余附加衰减；对该试样进行成品电压试验，应符合16.3的要求。

19.18.5 U型弯曲

19.18.5.1 试验条件

对于无铠装结构OPLC，芯轴半径应不大于12D；对于铠装结构OPLC，芯轴半径应不大于10D；循环次数应不少于5次。

注：D为OPLC外径。

19.18.5.2 步骤

应按GB/T 7424.2—2008中试验方法—E11B进行试验。

19.18.5.3 要求

护套应无目力可见开裂，光纤应无明显的残余附加衰减。对该试样进行成品电压试验，应符合16.3的要求。

19.19 OPLC 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OPLC的环境性能，其试验结果符合规定的要求时，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OPLC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：

- OPLC 的衰减温度特性应符合表 16 的规定；
- OPLC 长度应不小于 100m，光纤可以串联熔接以获得足够的测试精度；如使用后向散射法测试光功率变化，则每一测试回路串联光纤的总长度应不小于 1km；如使用传输功率法测试光功率变化，则每一测试回路串联光纤的总长度应不小于 200m；
- 试验温度范围的低限 TA 和高限 TB 应符合表 16 的规定；
- 恒温时间(t1)应足以使试样温度达到稳定，不应少于 24h；
- 测试光纤数至少为 12 根光纤，当光纤数小于 12 根时，应全部测试；
- 循环次数为 2 次。

表16 OPLC 衰减温度特性

宜适用温度范围/°C		单模光纤允许光纤附加衰减 dB/km
底限TA	高限TB	
-15	+70	≤0.40
可根据用户使用要求, 另行规定温度范围。 注：OPLC温度附加衰减为适用温度下相对于20°C下的光纤衰减差。		

19.19.2.2 步骤

应按GB/T 7424.2—2008中试验方法—F1进行试验。

宜按照GB/T 15972.46—2008规定的测试方法进行衰减监测，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，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和B6单模光纤衰减变化监测应在1310nm和1550nm两个波长上进行，以两者中较差的监测结果来评定温度附加衰减等级。

19.19.2.3 要求

应符合表16的规定。

19.19.3 耐热试验

19.19.3.1 步骤

试验方法分以下两种：

- 方法一：环境箱法

应按照GB/T 7424.2—2008规定的试验方法—F1进行试验。

在完成温度循环试验后，将OPLC置于 $85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的环境中，240h后取出，检查OPLC各部分结构的完整性并测试光纤衰减；光纤附加衰减的初始值应在之前测量并记录，光纤残余附加衰减应在导体温度恢复至不超过室温 2°C 时测量并记录。

试验后，该试样还应进行电压试验，应符合16.3的要求。

b) 方法二：电加热法

将OPLC中的光纤串联熔接形成光功率监测回路；将OPLC中的主绝缘线芯首尾串联形成电流回路，在OPLC的导体、绝缘、光单元、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 $5^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ ，加热电流应通过所有主绝缘线芯的导体，待导体温升达到规定值稳定后持续至少168h。

在试验过程中应监测导体、绝缘间、光单元和外护套的温度，以及光单元的光纤在1550nm波长下的附加衰减。

19.19.3.2 要求

按照以上任一种方法试验后，OPLC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 0.40dB/km 。试验后，对该试样进行成品电压试验，应符合16.3的要求。

19.19.4 有填充的光单元滴流试验

19.19.4.1 试验条件

有填充的光单元滴流试验用于评定OPLC光传输单元中填充复合物和涂覆复合物的滴流性能。滴流试验温度为 90°C ，恒温时间为24h。

19.19.4.2 步骤

应按照GB/T 7424.2—2008中试验方法-F6进行试验。

19.19.4.3 要求

在试验结束后，用目力检查，不应有填充复合物从缆芯或缆芯与护套的界面流出或滴出。

19.20 OPLC 光学性能

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OPLC的光学性能，其试验结果符合规定的要求时，判为合格。

19.20.2 单模光纤尺寸参数

单模光纤尺寸参数应符合GB/T 9771的相关规定。

19.20.3 单模光纤的模场直径

单模光纤模场直径应符合GB/T 9771的相关规定。

19.20.4 光缆截止波长 λ_{cc}

光缆截止波长应符合GB/T 9771的相关规定。

19.20.5 单模光纤宏弯敏感特性

单模光纤宏弯敏感特性应符合GB/T 9771和YD/T 1954的相关规定。

19.21 燃烧特性试验

19.21.1 电缆的单根阻燃试验

该试验适用于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，当制造商声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规定。

19.21.2 电缆的成束阻燃试验

当制造商声明电缆有成束阻燃特性时应进行试验。

应根据声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。

19.21.3 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。

19.21.4 电缆的耐火试验

本试验适用于有单纯供火耐火特性的1kV电缆。

当电缆未含光传输单元时，试验要求和方法应符合GB/T 19216.21的规定。

当电缆含有光传输单元时，试验要求和方法应符合GB/T 19216.21的规定，光传输单元的样品长度应符合GB/T 19216.25的要求，并按GB/T 19216.25要求监测和（或）测量光传输变化，最大衰减增量由供需双方协商确定。

19.21.5 烟密度试验

该试验适用于无卤阻燃ST8护套的电缆。

试验步骤和结果评定应符合GB/T 17651.2的规定。无卤阻燃电缆，其最小透光率应不小于60%。

19.21.6 酸气含量

该试验适用于无卤阻燃ST8材料作为外护套的无卤电缆。

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

19.21.7 pH值和电导率试验

该试验适用于无卤阻燃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。

19.21.8 氟含量试验

该试验适用于无卤阻燃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。

19.21.9 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 安装后试验

如有要求，应在电缆和与之相配的附件安装完成后进行下述试验：

应施加4U0直流电压，持续15min。

注：电缆绝缘修复后的电气试验由安装要求决定，以上试验仅适用于新安装的电缆。

当电缆中有光传输单元时，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16.4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。OPLC电缆每盘宜是一个制造长度，OPLC交货盘筒体直径宜不小于OPLC外径的15倍。

24.2 盘装OPLC的最外层与缆盘侧板边缘的距离应不小于60mm。OPLC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。OPLC两端应固定在盘子内，其A（内）端预留可移出光传输单元长度应各不少于1.5m，以供测试、施工使用。

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，电缆盘应放置放稳，并用适当的方法固定，放置碰撞或翻倒。

表17 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	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	炭黑含量 ^a	—	—	×	—
5	燃烧特性试验				
5.1	电缆单根阻燃试验	—	×	d	d
5.2	电缆成束阻燃试验	—	d	d	d
5.3	电缆耐火试验	e			
5.4	烟密度试验	—	—	—	×
5.5	酸气含量试验	b	—	—	×
5.6	pH值和电导率	b	—	—	×
5.7	氟含量试验	c	—	—	×
5.8	低毒性能试验	f			
6	燃烧性能等级及附加信息试验	g			
7	OPLC机械性能	h			
8	OPLC环境性能	h			
9	OPLC光学性能	h			
注1：×表示型式试验项目。					
注2：—表示不适用。					
^a 仅适用于黑色外护套。					
^b 仅当制造商申明电缆有无卤特性时进行。					
^c 仅当制造商申明电缆有无卤特性时进行。					
^d 仅当制造商申明电缆有阻燃特性时进行。					
^e 仅当制造商申明电缆有耐火特性时进行。					
^f 仅当制造商申明电缆有低毒特性时进行。					
^g 仅当制造商申明电缆燃烧性能等级时进行。					
^h 仅当电缆为OPLC电缆时进行。					

表18 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）	℃
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)	°C	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)	°C	130
3.3	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	直径<12.5mm的冷弯曲试验 温度 (偏差±2K)	°C	-25
4.2	哑铃片的低温拉伸试验 温度 (偏差±2K)	°C	-25
4.3	低温冲击试验 温度 (偏差±2K)	°C	—
5	吸水试验 (GB/T 2951.13—2008中9.2重量法)		
5.1	温度 (偏差±2K)	°C	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)	°C	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19 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)	°C	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)	°C	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	直径<12.5mm的冷弯曲试验 温度 (偏差±2K)	°C	-15	—	-15
4.2	哑铃片的低温拉伸试验 温度 (偏差±2K)	°C	-15	—	-15
4.3	低温冲击试验 温度 (偏差±2K)	°C	-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)	°C	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)	°C	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)	°C	—	—	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)	°C	—	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。					
*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型号和产品表示方法等，见附录C规定。

附录 A (规范性) 确定护层尺寸的假设计算方法

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。

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
1.5	1.4	120	12.4
2.	1.8	150	13.8
4	2.3	185	15.3
6	2.8	240	17.5
10	3.6	300	19.5
16	4.5	400	22.6
25	5.6	500	25.2
35	6.7	630	28.3
50	8.0	800	31.9
70	9.4	1000	35.7
95	11.0		

A.2.2 绝缘线芯

A.2.2.1 无云母带耐火层的电缆绝缘线芯

无云母带耐火层绝缘线芯的假设直径（ D_c ）应按公式（A.1）计算：

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

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. 2. 2 有云母带耐火层的电缆绝缘线芯

有云母带耐火层绝缘线芯的假设直径（ D_c ）应按公式（A. 2）计算：

$$D_c = d_L + 2t_{in} + 0.4 \dots\dots\dots (A. 2)$$

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 ）的计算如下：

- a) 所有导体标称截面积相同见式（A. 3）；

$$D_f = KD_c \dots\dots\dots (A. 3)$$

式中：

D_f ——缆芯假设直径，单位为毫米（mm）；

K ——成缆系数，见表A. 2。

D_c ——绝缘线芯假设直径，单位为毫米（mm）；

- b) 有一根小截面的三芯电缆见式（A. 4）和式（A. 5）。

- 1) $D_{c2} < 2/3D_{c1}$

$$D_f = 2D_{c1} \dots\dots\dots (A. 4)$$

- 2) $2/3D_{c1} \leq D_{c2} < D_{c1}$

$$D_f = \frac{2.16(2D_{c1} + D_{c2})}{3} \dots\dots\dots (A. 5)$$

- c) 有一根小截面的四芯电缆见式（A. 6）。

$$D_f = \frac{2.42(3D_{c1} + D_{c2})}{4} \dots\dots\dots (A. 6)$$

- d) 有一根小截面的五芯电缆见式（A. 7）。

$$D_f = \frac{2.70(4D_{c1} + D_{c2})}{5} \dots\dots\dots (A. 7)$$

- e) 有两根小截面的五芯电缆见式（A. 8）。

$$D_f = \frac{2.70(3D_{c1} + D_{c2} + D_{c3})}{5} \dots\dots\dots (A. 8)$$

式中：

D_f ——缆芯假设直径，单位为毫米（mm）；

D_{c1} ——包括金属层（若有）的每相绝缘线芯的假设直径，单位为毫米（mm）；

D_{c2} 、 D_{c3} ——包括绝缘或护层或金属层（若有）的小截面绝缘线芯的假设直径，单位为毫米（mm）。

表A. 2 线芯成缆系数 K

芯数	成缆系数 K	芯数	成缆系数 K
2	2.00	24	6.00
3	2.16	25	6.00
4	2.42	26	6.00
5	2.70	27	6.15
6	3.00	28	6.41
7	3.00	29	6.41
7 ^a	3.35	30	6.41

8	3.45	31	6.70
8 ^a	3.66	32	6.70
9	3.80	33	6.70
9 ^a	4.00	34	7.00
10	4.00	35	7.00
10 ^a	4.40	36	7.00
11	4.00	37	7.00
12	4.16	38	7.33
12 ^a	5.00	39	7.33
13	4.41	40	7.33
14	4.41	41	7.67
15	4.70	42	7.67
16	4.70	43	7.67
17	5.00	44	8.00
18	5.00	45	8.00
18 ^a	7.00	46	8.00
19	5.00	47	8.00
20	5.33	48	8.15
21	5.33	52	8.41
22	5.67	61	9.00
23	5.67		

^a 绝缘线芯在一层中成缆。

A. 2. 4 内衬层

内衬层的直径 (D_B) 应按公式 (A. 9) 计算:

$$D_B = D_f + 2t_B \dots\dots\dots (A. 9)$$

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 40mm 及以下, $t_B = 0.4$, 单位为毫米 (mm);

——缆芯的假设直径 D_f 大于 40mm, $t_B = 0.6$, 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 12. 3. 3 规定的隔离套代替或附加在内衬层上时, 应按式 (A. 12) 计算。
- b) 单芯电缆: 无论有挤包还是绕包的內衬层。

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. 3 规定。

表A. 3 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.3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.3中规定的屏蔽层标称截面积应按公式 (A.10) 或公式 (A.11) 计算：

a) 金属带屏蔽

$$S_{mn} = n_t \times t_t \times W_t \dots\dots\dots (A.10)$$

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)。

b) 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。

c) 金属丝屏蔽（包括一反向扎线，若有）

$$S_{mn} = \frac{n_w \times d_w^2 \times \pi}{4} + n_h \times t_h \times W_h \dots\dots\dots (A.11)$$

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；

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.12) 计算：

$$D_s = D_u + 2t_{ss} \dots\dots\dots (A.12)$$

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.13) 计算：

$$D_{lb} = D_{ULb} + 2t_{Lb} \dots\dots\dots (A.13)$$

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.4规定。

表A.4 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_x) 应按公式 (A.14) 或公式 (A.15) 计算:

a) 扁或圆金属丝铠装

$$D_x = D_A + 2t_A + 2t_W \dots\dots\dots (A.14)$$

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

$$D_x = D_A + 4t_{AD} \dots\dots\dots (A.15)$$

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: $2.12 \approx 2.1$
 示例2: $2.449 \approx 2.4$
 示例3: $25.0478 \approx 25.0$
- 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: $2.17 \approx 2.2$
 示例5: $2.453 \approx 2.5$
 示例6: $30.050 \approx 30.1$

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: $2.449 \approx 2.45$ 修约到二位小数
 示例2: $2.449 \approx 2.4$ 修约到一位小数
 示例3: $25.0478 \approx 25.048$ 修约到三位小数
 示例4: $25.0478 \approx 25.0$ 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
绝缘厚度平均值	mm	修约到十分位	修约到十分位
绝缘最小厚度 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)
电缆产品的补充条款

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

第1种或第2种铜导体·····	(T) 省略
第5种铜导体·····	R
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

非金属层绞全干式光传输单元·····	G
非金属层绞填充式光传输单元·····	GT
非金属中心管全干式光传输单元·····	GX
非金属中心管填充式光传输单元·····	GXT
其他类型·····	GQ

注：光纤的类型应按GB/T 9771和GB/T 12357的规定，典型的光纤类型有以下几种：

- a) A：多模光纤；
- b) B1.1：非色散位移单模光纤（ITU-T G.652A 和 ITU-T G.652B 光纤）；
- 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 光纤）；
- d) B6：弯曲损耗不敏感光纤；
 - B6a：弯曲损耗不敏感 A 类光纤（ITU-T G.657A 光纤）；
 - B6b：弯曲损耗不敏感 B 类光纤（ITU-T G.657B 光纤）。

C.1.1.4 护层代号

聚氯乙烯护套·····	V
聚乙烯或聚烯烃护套·····	Y

注：护层代号包括内衬层和隔离套等。

C.1.1.5 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.1.1.6 外护套代号

聚氯乙烯外护套·····	2
聚乙烯或聚烯烃外护套·····	3

C.1.2 功能特性代号（如有特殊要求时）

C.1.2.1 光纤复合低压电缆代号

光纤复合低压电缆·····OPLC

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

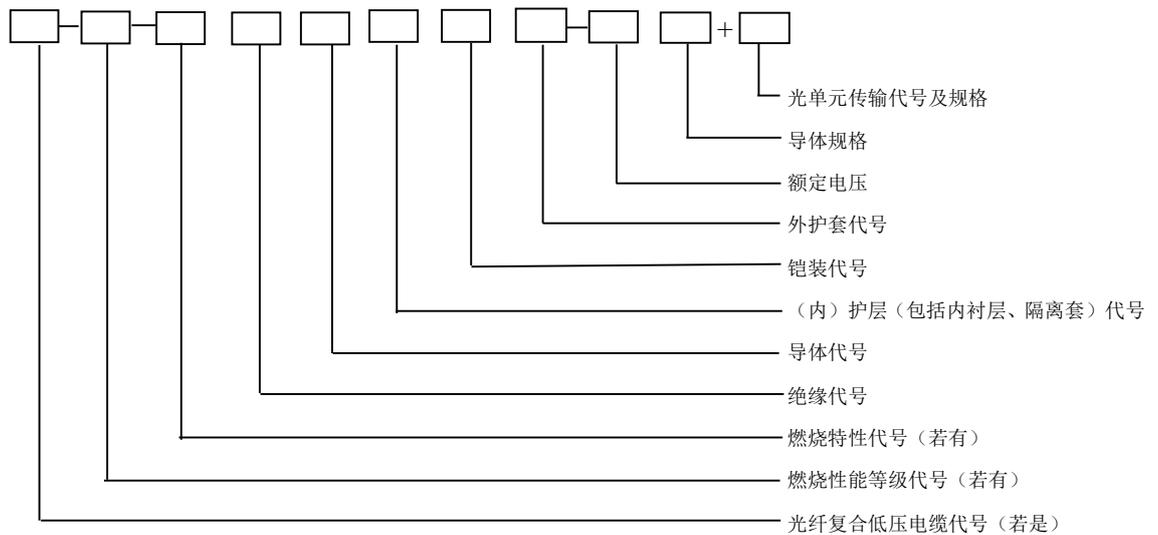
单纯供火的耐火·····N

注1：含卤产品，单根阻燃代号Z省略。

注2：耐火仅适用于0.6/1kV电缆。

C.2 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

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
<p>^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。</p> <p>^b 无卤低烟阻燃电缆和无卤低烟阻燃耐火电缆护套代号 Y 或 3 表示无卤聚烯烃护套。</p>		

C.3 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。

示例1：

铜芯热塑性聚丙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆，额定电压为 0.6/1kV，3+1 芯，标称截面积 95mm²，中性线截面积 50mm²，表示为：

PV22-0.6/1 3×95+1×50 xxxx-2024

示例2：

铝芯热塑性聚丙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套电力电缆，额定电压为 0.6/1kV，4 芯，标称截面积 240mm²，表示为：

PLV22-0.6/1 4×240 xxxx-2024

示例3：

铜芯热塑性聚丙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆，第 5 种导体，额定电压为 0.6/1kV，5 芯，标称截面积 70mm²，表示为：

PRV-0.6/1 5×70 xxxx-2024

示例4：

铜芯热塑性聚丙烯绝缘聚烯烃护套无卤低烟阻燃 A 类电力电缆，额定电压为 0.6/1kV，4+1 芯，标称截面积 120mm²，保护线截面积 70mm²，表示为：

WDZA-PY-0.6/1 4×120+1×70 xxxx-2024

示例5：

铜芯热塑性聚丙烯绝缘聚烯烃护套无卤低烟阻燃 A 类耐火阻燃 1 级电力电缆，燃烧性能等级为 B₁ 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 0.6/1kV，3+2 芯，标称截面积 240mm²，中性线和保护线截面积 120mm²，表示为：

B₁-WDZAN-PY-0.6/1 4×240+1×120 xxxx-2024 GB 31247 B₁- (d₀, t₁, a₁)

示例6：

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钢带铠装聚氯乙烯护套光纤复合低压电缆，额定电压为 0.6/1kV，4 芯，标称截面积 240mm²，表示为：

OPLC-PV22-0.6/1 4×240+GT-24B1.1 xxxx-2024

C.4 多芯电缆中性线和保护线导体标称截面

多芯电缆中性线和保护线导体推荐的标称截面积见表 C.2。

表C.2 多芯电缆中性线和保护线导体的推荐标称截面积

主绝缘线芯导体标称截面积 mm ²	中性线和保护线较小导体标称截面积 mm ²
4	2.5
6	4
10	6
16	10
25	16
35	16
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185