

ICS 29.060.20

K 13



ZZB

浙江 制造 团体 标准

T/ZZB 0897—2018

高速平行传输对称电缆及组件

High-speed parallel transmission symmetrical pair cables and components

ZHEJIANG MADE

2018 - 12 - 24 发布

2018 - 12 - 31 实施

浙江省品牌建设联合会

发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 基本要求	2
5 产品的分类和命名	3
6 技术要求	5
7 试验方法	16
8 检验规则	20
9 标志、包装、运输与存贮	25
10 质量承诺	26

ZHEJIANG MADE

前 言

本标准参照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准的某些内容可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由浙江省品牌建设联合会提出并归口管理。

本标准由浙江省电子信息产品检验所牵头组织制定。

本标准主要起草单位：浙江兆龙互连科技股份有限公司。

本标准参与起草单位：杭州海康威视数字技术股份有限公司。

本标准主要起草人：陈萍、倪冬华、王德全、王发庆、王开德、张鑫锋、唐相雷、姚云涛、姚云翔、叶国强、周端希、金启平、龙志勇。

本标准由浙江省电子信息产品检验所负责解释。

ZHEJIANG MADE

高速平行传输对称电缆及组件

1 范围

本标准规定了高速平行传输对称电缆（简称电缆）及组件（简称电缆组件）的要求、试验方法、检验规则、包装和贮运等要求。

本标准适用于存储、数据中心与高性能计算机、服务器连接的高速平行直连电缆及电缆组件。

本标准规定电缆的标称阻抗为100 Ω，其单个线对单向传输速率最高达25 Gbps，传输频率0.2 GHz～25 GHz。

本标准规定电缆组件的标称阻抗为100 Ω，其单通道传输速率最高达50 Gbps。

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 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 2951.11 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 2951.14 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 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 3953 电工圆铜线
- GB/T 4910 镀锡圆铜线
- GB/T 4135 银
- 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 8815 电线电缆用软聚氯乙烯塑料
- GB/T 11313.1—2013 射频连接器 第1部分：总规范 一般要求和试验方法(IEC 61169-1:1998, IDT)
- GB/T 13849.1—2013 聚烯烃绝缘聚烯烃护套市内通信电缆 第1部分：总则
- GB/T 17738.1—2013 射频同轴电缆组件 第1部分：总规范 一般要求和试验方法(IEC 60966-1:1999, IDT)
- GB/T 18015.1 数字通信用对绞或星绞多芯对称电缆 第1部分 总规范
- 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 26572 电子电气产品中限用物质的限量要求
- GB/T 26125 电子电气产品 六种限用物质的测定
- GB/T 31834 20 GHz及以下数字用高速平行电缆
- HG/T 2904 模塑和挤塑用聚全氟乙丙烯树脂
- JB/T 8137.1 电线电缆交货盘 第1部分：一般规定

JB/T 10707 热塑性无卤低烟阻燃电缆料

YD/T 760 市内通信电缆用聚烯烃绝缘料

YD/T 1966—2009 移动通信用50 Ω射频同轴跳线

IEC TR 61156-1-2 数字通信用对绞或星绞多芯对称电缆 第1-2部分 对绞或星绞电缆的电气传输特性和测试方法 (Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications. Electrical transmission characteristics and test methods of symmetrical pair/quad cables)

3 术语和定义

3.1

平行线对 twinax

不同于GB/T 18015.1中绝缘导体的对绞的形式，结构是由两根绝缘单线平行排列，外面包覆金属屏蔽层。

3.2

平行线对电缆 twinax cable

包含一对或多对平行线对的电缆。

3.3

差分阻抗 differential impedance

被测线对中注入极性相反、幅度相等的差分（对称）信号时，所测得的阻抗值。

3.4

对内延时差 intra pair skew

规定上升沿时间的差分脉冲信号（或共模脉冲信号）在被测件的线对中传输时，该线对单位长度的两根单线之间信号传输的时间差值，即为对内差分延时差（或对内共模延时差），用ps/m表示。

3.5

对间延时差 inter pair skew

指同一根高速电子线内的任意两线对间单位长度的传播延时的差值，用ps/m表示。

3.6

电缆组件 cables components

包含电缆和连接器的产品。

4 基本要求

4.1 设计

4.1.1 对于微小型的高速平行传输对称电缆，利用极细同轴生产技术工艺进行设计。

4.1.2 采用工程计算软件对电缆和电缆组件产品的电气和传输参数进行设计分析，用仿真软件对产品进行传输性能分析。

4.2 材料

- 4.2.1 导体材料选用符合 GB/T 3953 标准要求的 TR 型软圆铜线，镀层用的银应选用符合 GB/T 4135 标准要求的高性能材料。
- 4.2.2 绝缘材料根据不同类型的产品选用符合 YD/T 760 标准要求的聚烯烃材料和符合 HG/T 2904 标准要求的含氟聚合物绝缘材料。
- 4.2.3 金属包带材料采用超薄型金属包带。
- 4.2.4 护套根据不同类别的产品选用不低于 GB/T 8815 标准标要求的 H-70 型的聚氯乙烯和符合 JB/T 10707 标准要求的 WDZ-H 型低烟无卤阻燃聚烯烃及阻燃聚乙烯材料。

4.3 制造工艺

- 4.3.1 电缆绝缘芯线采用专用材料挤出设备来实现，配置绝缘外径、电容等在线监测系统。
- 4.3.2 线对屏蔽采用高精度的恒张力包覆装置。
- 4.3.3 成缆采用高精度恒张力放线控制系统。
- 4.3.4 电缆组件加工采用专用工装夹具进行芯线定位。
- 4.3.5 绝缘及铝箔采用二氧化碳激光切割工艺。
- 4.3.6 电缆组件采用自动焊接工艺。

4.4 检测能力

- 4.4.1 应具备原材料的进厂检验能力，包括电性能、机械性能、阻燃性能、环保性能等的检测能力。
- 4.4.2 应具备电缆和电缆组件成品的关键技术要求的检测能力，包括物理尺寸试验、电气性能试验、绝缘、外护套厚度、传输性能试验、耐环境性能试验、机械性能试验的检测能力。

5 产品的分类和命名

5.1 产品分类

产品按成品类别分为电缆和电缆组件。

5.2 电缆的分类和命名

5.2.1 电缆型号

5.2.1.1 电缆的型号由型式代号和规格代号两部分组成。电缆的型式代号规定见图 1，其中各代号及含义按表 1 的规定。

表1 电缆型号代号及含义

分类		导体		总屏蔽结构		护套材料		最高传输频率	
代号	含义	代号	含义	代号	含义	代号	含义	代号	含义
HSC	高速平行传输对称电缆	SG	镀银铜线	SF	编织+铝箔	PVC	聚氯乙烯	3.25	最高传输频率 (GHz)
						LSZH	低烟无卤	5	
						FRPE	阻燃聚乙烯	10	
								15	
20									
25									

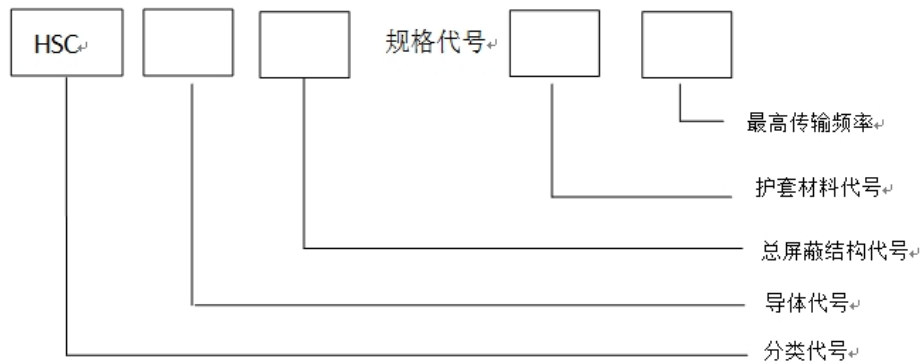


图1 电缆型式代号

5.2.1.2 电缆的规格代号由电缆中线对数及导体标称直径表示，见图2。

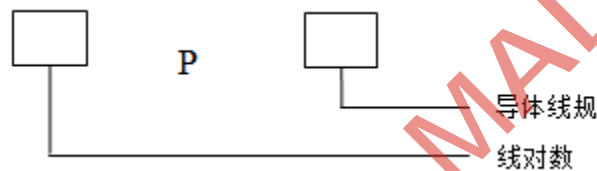


图2 规格代号

5.2.2 电缆的使用场合

电缆主要用于存储、数据中心机房等场所，与高性能计算机、服务器直接相连接。

5.2.3 电缆的规格

电缆规格见表2。

表2 电缆规格

导体标称直径 (mm)	38AWG (0.102)	36AWG (0.127)	34AWG (0.160)	32AWG (0.203)	30AWG (0.254)	28AWG (0.320)	26AWG (0.404)	24AWG (0.511)
标称线对数	2, 4, 8, 12, 16							

5.2.4 电缆的产品标记

产品标记一般由电缆型号、电缆规格等组成。例如：4对线径24AWG镀银铜导体、编织+铝箔总屏蔽结构、聚氯乙烯护套、最高传输频率为10 GHz的电缆标记为：HSC SG SF 4P 24 AWG PVC 10 GHz。

5.3 电缆组件分类和命名

5.3.1 电缆组件型号

顺着电缆印字方向，区分组件的左右端。组件型号由电缆组件类型、左右两端连接器代号、电缆代号和电缆组件长度组成。电缆组件类型、左右两端连接器代号之间用分隔符“/”隔开、连接器代号与电缆代号之间用分隔符“-”隔开。组件型号如图3所示。左右两端接头代号按表3、表4规定。

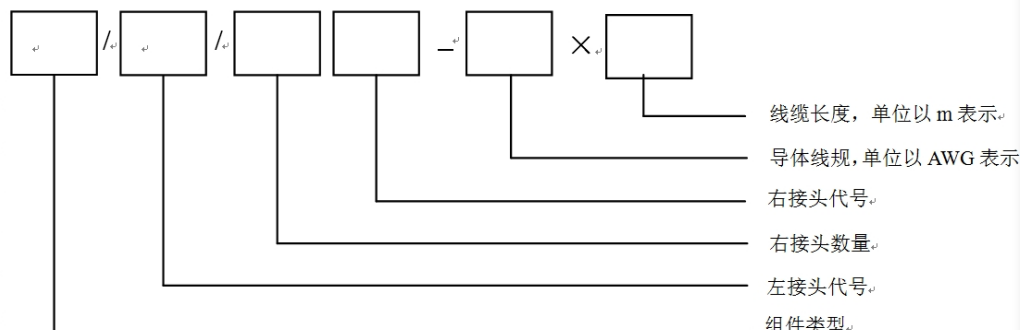


图3 组件的型式代号

表3 组件类型代号与含义

组件类型代号	含义
P	无源电缆组件
A	有源电缆组件

表4 连接器代号与含义

接头代号	含义
QSFP-DD	四通道小型可插拔收发双倍密度电缆连接器 (QSFP-DD)
SFP-DD	小型可插拔收发双倍密度电缆连接器 (SFP-DD)
QSFP	四通道小型可插拔收发电缆连接器 (QSFP+/QSFP28)
SFP	小型可插拔收发电缆连接器 (SFP+/SFP28)
8088	微型SAS，接口类型为SFF-8088电缆连接器 (Mini-SAS (SFF-8088))
CX4	CX4，接口类型为SFF-8470电缆连接器 (CX4 (SFF-8470))
XFP	万兆以太网接口小型封装可插拔电缆连接器 (XFP)

5.3.2 电缆组件标记示例

有源电缆组件，左端接QSFP28连接器，右端接4个SFP28连接器，连接电缆为38 AWG，电缆组件长度为3 m，产品标记为：A/QSFP28/4SFP28-38AWG×3 m。

6 技术要求

6.1 电缆的技术要求

6.1.1 导体

内导体采用镀银单股导体。

6.1.2 绝缘

6.1.2.1 绝缘材料

可采用聚烯烃或含氟聚合物，所选材料应使成品线缆的性能符合本标准的要求。

6.1.2.2 绝缘结构

绝缘结构分为以下两种：

- a) 实心聚烯烃绝缘或含氟聚合物绝缘；
- b) 泡沫皮、皮-泡-皮聚烯烃绝缘。

6.1.2.3 绝缘厚度

绝缘应连续地挤包在导体上，绝缘表面应光滑平整，其厚度应使成品电缆符合规定的性能要求，电缆的最大外径不宜大于1.6 mm。

6.1.2.4 绝缘火花

绝缘应经受挤塑生产线上的火花试验，当绝缘为发泡材料时的试验电压值应不小于直流1200V，对于采用其它实心材料时的试验电压值应不小于直流2000 V。

6.1.2.5 绝缘颜色

绝缘线芯应采用颜色识别标志。绝缘线芯的颜色色序应符合6.1.3.2节的规定。

6.1.2.6 绝缘的机械性能和环境性能

从成品电缆上取下的绝缘的机械性能和环境性能应符合表5的规定。

表5 绝缘的机械性能和环境性能

序号	项目名称	单位	指标
1	绝缘的抗张强度，中值 HDPE LDPE PP 泡沫皮、皮泡皮聚烯烃绝缘 含氟聚合物	MPa	≥16 ≥10 ≥20 ≥10 ≥16
	绝缘的断裂伸长率，中值 HDPE LDPE PP 泡沫皮、皮泡皮聚烯烃绝缘 含氟聚合物	%	≥300 ≥300 ≥150 ≥200 ≥200
2	绝缘收缩试验	%	≤5
	处理温度： HDPE LDPE PP 泡沫皮、皮泡皮聚烯烃绝缘 含氟聚合物	°C	115±2 115±2 115±2 100±2 232±2
	处理时间	h	1

表5 (续)

序号	项目名称	单位	指标
3	绝缘抗压缩性能 泡沫皮、皮泡皮聚烯烃绝缘： 施加压力 加力时间	N min	导体间无碰触 67 1
4	绝缘低温卷绕试验	失效数/试样数	0/10
	处理温度： HDPE LDPE PP 泡沫皮、皮泡皮聚烯烃绝缘 含氟聚合物	°C	-40±2 -40±2 -40±2 -40±2 -40±2
	处理时间	h	1

6.1.3 线对

6.1.3.1 线对结构

由分别称作a线和b线的两根绝缘导线平行均匀地包覆成线对。

6.1.3.2 线对色序

绝缘线芯应按规定的颜色色序构成线对。线对推荐采用的颜色色序见表6。

表6 推荐采用颜色色序

绝缘类型	线对序号	标志颜色
实心聚烯烃	a	白
	b	白
泡沫皮、皮泡皮聚烯烃	a	白
	b	白
FEP	a	本色
	b	本色

6.1.3.3 线对屏蔽

6.1.3.3.1 线对须带有屏蔽，根据屏蔽要求，可采用6.1.3.3.2条、6.1.3.3.3条其中一种方式进行屏蔽。

6.1.3.3.2 屏蔽由屏蔽包带组成，屏蔽内允许放置排流线：

- 屏蔽包带中屏蔽层厚度不小于0.004 mm；
- 屏蔽包带应绕包或纵包，绕包时重叠率应不小于25%，纵包时重叠宽度不小于铝箔宽度的15%；
- 如有排流线时，屏蔽包带的屏蔽面应与排流线相接触。

6.1.3.3.3 屏蔽由屏蔽包带和非吸湿性的非屏蔽性能包带组成，屏蔽内允许放置排流线：

- 屏蔽包带中屏蔽层厚度不小于0.004 mm；
- 屏蔽包带应绕包或纵包，绕包时重叠率应不小于25%，纵包时重叠宽度不小于铝箔宽度的15%；

c) 排流线应符合单一圆铜线应符合 GB/T 3953 中 TR 型的要求；镀锡圆铜线应符合 GB/T 4910 中 TXRH 型的要求；

d) 包带应绕包，其重叠率应不小于 25%。

6.1.3.3.4 线对如采用优先颜色色序，则每对被包覆的线对外均应有明确的标识，以便于多对产品时区分用。

6.1.4 缆芯

6.1.4.1 缆芯排列

缆芯由一个或多个平行线对组合而成，缆芯中平行线对按其标识从内层排列到外层；电缆允许采用非吸湿性填充材料填充以保证结构圆整，优先采用的缆芯结构排列见表7，也可采用其它方式的结构排列。

表7 优先采用的缆芯的结构排列

序号	线对	结构排列
1	2	2
2	4	4
3	8	2+6
4	12	4+8
5	16	2+6+8、1+5+10、4+12

6.1.4.2 缆芯包带

缆芯外可以包覆一层适当厚度的非吸湿性包带。

6.1.4.3 总屏蔽

6.1.4.3.1 缆芯具有总屏蔽时，根据屏蔽要求，可采用 6.1.4.3.2 条方式进行总屏蔽。

6.1.4.3.2 由屏蔽包带和编织组成，编织材料为单一圆铜线或镀锡铜线：

- 屏蔽包带的屏蔽面应与编织层相接触；
- 屏蔽包带中屏蔽层厚度应不小于 0.004 mm；
- 屏蔽包带可采用纵包或绕包，其重叠率应不小于 15%或重叠宽度不小于 2 mm；
- 编织用导体直径应不小于 0.05mm。单一圆铜线应符合 GB/T 3953 中 TR 型的要求；镀锡圆铜线应符合 GB/T 4910 中 TXRH 型的要求；
- 编织层允许编织丝单向断丝长度不大于 150 mm，断丝端头应修剪整齐；
- 编织密度应不小于 60%。

6.1.5 护套

6.1.5.1 护套材料

护套材料可采用聚氯乙烯、低烟无卤阻燃聚烯烃或阻燃聚乙烯。所选材料除应符合下列相关标准外，并应使成品电缆的性能符合本标准的要求。

6.1.5.2 护套完整性

护套应连续、均匀地包覆在缆芯上，表面应光滑平整，无孔洞、裂纹和气泡等缺陷。护套应经受挤塑生产线上的火花试验，所用电压为不小于直流1500 V或交流1000 V，交货成品应无击穿点。

6.1.5.3 护套最小厚度

成品上的护套最小厚度应符合表8的规定。

表8 护套最小厚度

缆芯直径 mm	最小平均厚度 mm	最小厚度 mm
1.0~8.8	0.36	0.30
8.9~13.5	0.60	0.50

6.1.5.4 电缆最大外径

成品电缆的最大外径应符合表9的规定。

表9 最大外径

标称对数	护套外径 mm							
	38AWG	36AWG	34AWG	32AWG	30AWG	28AWG	26AWG	24AWG
2	2.9	3.0	3.7	4.2	5.0	5.5	5.7	7.5
4	3.6	4.0	4.2	5.2	6.0	6.5	7.0	9.0
8	4.0	4.4	4.6	6.4	7.2	8.6	9.6	11.2
12	5.6	6.0	6.2	7.4	8.4	11.4	13.4	15.5
16	6.0	6.4	6.7	7.8	9.4	12.6	14.8	17.1

注：当客户有特殊要求时，允许按客户要求的护套外径进行生产。

6.1.5.5 护套颜色

宜为黑色或灰色。

6.1.5.6 护套下的撕裂绳

可以放置非吸湿性的非金属撕裂绳。

6.1.5.7 机械性能、环境性能和安全性能

成品电缆的机械性能、环境性能和安全性能除符合以上相关条文规定外，还应符合表10的规定。

表10 机械性能、环境性能和安全性能

序号	项目名称		单位	指标	处理温度 ℃	处理时间 h
1	机械性能					
1.1	老化前护套断裂伸长率, 中值	LSZH	%	≥125	/	/
		PVC		≥150		
		FRPE		≥100		
1.2	老化前护套抗张强度, 中值	LSZH	MPa	≥10.0		
		PVC		≥13.5		
		FRPE		≥8.27		
2	环境性能					
2.1	老化后护套断裂伸长率, 中值	LSZH	%	断裂伸长率	100	24×7
				断裂伸长率变化率 ^a		
		PVC		断裂伸长率	100	24×7
				断裂伸长率变化率		
		FRPE		断裂伸长率	100	24×2
				断裂伸长率变化率		
2.2	老化后护套抗拉强度, 中值	LSZH	MPa	抗拉强度	100	24×7
				抗拉强度变化率 ^b		
		PVC		抗拉强度	100	24×7
				抗拉强度变化率		
		FRPE		抗拉强度	100	24×2
				抗拉强度变化率		
2.3	电缆低温卷绕试验 芯轴直径: 电缆外径的 8 倍		/	不开裂	-20	4
2.4	热冲击试验		/	不开裂	150	1
3	安全性能					
3.1	单根电缆燃烧试验		/	上支架下缘和炭化部分起始点之间的距离应大于 50 mm。燃烧向下延伸的距离应不大于距离上支架下缘 540 mm。	/	/
^a 断裂伸长率变化率的计算公式为: 断裂伸长率变化率=(老化前断裂伸长率—老化后断裂伸长率)/老化前断裂伸长率×100%。 ^b 抗拉强度变化率计算公式为: 抗拉强度变化率=(老化前抗张强度—老化后抗张强度)/老化前抗张强度×100%。						

6.1.6 电气特性

电缆的电气特性应符合表11的规定。

表11 电缆的电气特性(20 °C)

序号	项目名称	单位	标称导体直径								长度换算关系
			AWG	38	36	34	32	30	28	26	
1	单根导体直流电阻, 最大值	$\Omega/100\text{ m}$	216	138	87.3	54.2	34.7	21.6	13.8	8.59	实测值 $\times L^a$ $\times 0.1$
2	线对直流电阻不平衡, 最大值	%	5.0								/
3	绝缘耐压, DC, 1 s: 导体间 0.3 kV; 导体 与屏蔽间 0.5 kV	/	不击穿								/
4	绝缘电阻最小值: 每根导线对其余线 芯与屏蔽间的绝缘 电阻	$M\Omega \cdot km$	100								实测值 $\times L \times 0.1$
5	绝缘线芯断线、混线	/	不断线, 不混线								/
6	屏蔽连续性	/	电气上连续								/

^a 表中 L 为电缆的实际长度, 单位为 100 m。

6.1.7 传输特性

6.1.7.1 延时差

对于所有线规的电缆, 在被测电缆的长度内其产生的延时差, 应不大于表12规定。

表12 电缆的延时差值(Skew)

项目	最高传输频率	单位	38AWG~24AWG
对内延时差 (intra pair skew)	25 GHz	ps/m	15
对间延时差 (inter pair skew)	10 GHz		50
	25 GHz		40

6.1.7.2 衰减

6.1.7.2.1 对于 28AWG~24AWG 线规镀银铜导体的电缆, 温度 20 °C 时测量, 最高传输频率为 25GHz 的电缆, 其规定线规的衰减值不大于表 13 中相应确定的数值。

表13 28AWG~24AWG 线规电缆的衰减值(Attenuation) (20 °C)

频率 (GHz)	衰减值最大值 (dB/10m)		
	28AWG	26AWG	24AWG
0.20	5.0	4.0	3.5
0.60	9.0	8.0	6.0
1.25	12.0	11.0	9.0
2.50	17.0	14.0	14.0
3.25	20.0	17.0	18.5
5.00	25.0	21.0	24.0
7.00	31.0	26.0	28.0
10.00	38.0	33.0	33.0
12.89	46.0	41.0	39.0
13.28	47.3	42.3	40.5
15.00	53.0	48.0	47.0
17.50	62.0	54.0	53.0
20.00	70.0	65.0	63.0
22.50	79.0	72.0	71.0
25.00	87.0	80.0	79.0

6.1.7.2.2 对于 34AWG~30AWG 镀银铜导体的电缆, 温度 20 °C 时测量, 最高传输频率为 25GHz 的电缆, 其规定线规的衰减值不大于表 14 中相应确定的数值。

表14 34AWG~30AWG 线规的电缆的衰减值(Attenuation) (20 °C)

频率 (GHz)	衰减值最大值 (dB/5m)		
	34AWG	32AWG	30AWG
0.20	4.4	3.8	3.5
0.60	8.0	6.5	5.5
1.25	12.0	9.5	8.0
2.50	18.0	14.2	10.5
3.25	20.0	18.5	13.0
5.00	25.0	23.0	16.5
7.00	30.0	28.0	21.0
10.00	35.0	33.0	24.5
12.89	41.0	39.0	28.0
13.28	42.3	40.5	29.5

表14 (续)

频率 (GHz)	衰减值最大值 (dB/5m)		
	34AWG	32AWG	30AWG
15.00	48.0	47.0	32.5
17.50	54.0	53.0	34.5
20.00	65.0	63.0	38.5
22.50	72.0	71.0	42.5
25.00	80.0	79.0	47.5

6.1.7.2.3 对于 38AWG~36AWG 线规镀银铜导体的电缆，温度 20℃ 时测量，最高传输频率为 25GHz 的电缆，其规定线规的衰减值不大于表 15 中相应确定的数值。

表15 38AWG~36AWG 线规电缆的衰减值 (Attenuation) (20℃)

频率 (GHz)	衰减值最大值 (dB/3m)	
	38AWG	36AWG
0.20	3.8	3.5
0.60	7.2	6.9
1.25	10.0	9.2
2.50	14.5	13.3
3.25	17.0	15.4
5.00	21.0	19.0
7.00	25.0	22.5
10.00	30.5	27.5
12.89	35.0	32.0
13.28	35.8	32.8
15.00	39.0	35.0
17.50	43.2	38.7
20.00	46.8	41.8
22.50	51.0	46.0
25.00	57.0	52.0

6.1.7.3 近端串音衰减

在电缆类别规定的传输频率的整个频率带内，电缆所有线对组合的近端串音衰减 (NEXT)，应 ≥ 30 dB。

6.1.7.4 差分阻抗

在电缆规定的上升沿时间为35 ps，取值区间20%~80%，其线对的差分阻抗为 $100 \Omega \pm 5 \Omega$ 。

6.1.7.5 环保性能

电缆的环保性能应满足GB/T 26572的规定。

6.2 电缆组件的要求

6.2.1 电缆组件的电气特性

对于电缆组件的电气特性应符合表16的规定。

表16 电缆组件的电气特性

序号	项目	单位	指标要求
1	绝缘电阻 (20 ℃, DC 100 V~500 V。长度换算关系: $0.001 \times \text{实测值} \times L$, L 为电缆长度, 单位为 m)	M Ω	≥ 1000
2	线对导体间介电强度 (DC300 V, 3 s)	/	介质不应有击穿

6.2.2 电缆组件的传输特性

6.2.2.1 单通道传输 10 Gbps 组件的传输特性

对于单通道传输10 Gbps电缆组件的传输特性应符合表17的规定。

表17 单通道传输 10Gbps 电缆组件的传输特性

序号	项目		单位	指标要求
1	差分阻抗	上升时间 70ps (20%~80%)	Ω	100 ± 10
2	插入损耗 (20 ℃时)	5.15 GHz	dB	≤ 17.04
3	对内延时差	上升时间 70 ps (20%~80%)	ps/m	≤ 15
4	对间延时差	上升时间 70 ps (20%~80%)	ps/m	≤ 50
5	差分回波损耗	$0.01 \text{ GHz} \leq f < 4.1 \text{ GHz}$	dB	$\geq 12 - 2\sqrt{f}$
		$4.1 \text{ GHz} \leq f \leq 11.1 \text{ GHz}$		$\geq 6.3 + 131g(f/5.5)$
6	共模回波损耗	$0.01 \text{ GHz} \leq f \leq 2.5 \text{ GHz}$	dB	$\geq 7 - 1.6f$
		$2.5 \text{ GHz} \leq f \leq 11.1 \text{ GHz}$		≥ 3

注：组件的插入损耗、对内延时差、对间延时差只在电缆及组件的最高传输频率范围内作要求。

6.2.2.2 单通道传输 25 Gbps 组件的传输特性

对于单通道传输25 Gbps电缆组件的传输特性应符合表18的规定。

表18 单通道传输 25Gbps 电缆组件的传输特性

序号	项目		单位	指标要求
1	差分阻抗	上升时间 35 ps (20%~80%)	Ω	100 ± 10
2	插入损耗 (20 °C时)	12.89 GHz	dB	8~22.48
3	对内延时差	上升时间 35 ps (20%~80%)	ps/m	≤ 15
4	对间延时差	上升时间 35 ps (20%~80%)	ps/m	≤ 50
5	差分回波损耗	$0.05 \text{ GHz} \leq f < 4.1 \text{ GHz}$	dB	$\geq 16.5 + 2\sqrt{f}$
		$4.1 \text{ GHz} \leq f \leq 19 \text{ GHz}$		$\geq 10.66 - 14 \log(f/5.5)$
6	共模回波损耗	$0.01 \text{ GHz} \leq f \leq 19 \text{ GHz}$	dB	≥ 2
7	差分转共模信号-插入损耗	$0.01 \text{ GHz} \leq f < 12.89 \text{ GHz}$	dB	≤ 10
		$12.89 \text{ GHz} \leq f \leq 15.7 \text{ GHz}$		$\geq (29/22)f + 27$
		$15.7 \text{ GHz} \leq f \leq 19 \text{ GHz}$		≤ 6.3
注：组件的插入损耗、对内延时差、对间延时差只在电缆及组件的最高传输频率范围内作要求。				

6.2.2.3 单通道传输 50 Gbps 组件的传输特性

对于单通道传输50 Gbps的电缆组件的传输特性应符合表19的规定。

表19 单通道传输 50Gbps (PAM4) 的电缆组件的传输特性

序号	项目		单位	指标要求
3	差分阻抗	上升时间 35ps (20%~80%)	Ω	100 ± 10
4	插入损耗 (20 °C时)	13.28 GHz	dB	8 dB~17.16 dB
5	对内延时差	上升时间 35 ps (20%~80%)	ps/m	10
6	对间延时差	上升时间 35 ps (20%~80%)	ps/m	40
7	差分回波损耗	13.28 GHz	dB	≥ 5.3
注：组件的插入损耗、对内延时差、对间延时差只在电缆及组件的最高传输频率范围内作要求。				

6.2.3 电缆组件的机械和环境特性

对于电缆组件的机械和环境特性应符合表20的规定。

表20 电缆组件的机械及环境性能

序号	项目	单位	试验条件	要求
1	摇摆测试	次	100	外观正常, 电气特性符合6.2.1条要求
2	振动	/	在相互垂直的两个方向进行, 扫描频率10 Hz~50 Hz, 位移幅值0.75 mm, 每轴向上的扫频循环次数5次。	外观正常, 电气特性符合6.2.1条要求
3	高温性能	°C	85±2	外观正常, 电气特性符合6.2.1条要求
		h	48	
4	低温性能	°C	-20±2	外观正常, 电气特性符合6.2.1条要求
		h	48	
5	高低温变化	°C	-20~+85	外观正常, 经过5次循环后在20 °C下插入损耗变化量≤15%
6	环保性能	/	/	符合GB/T 26572的规定要求

6.2.4 电缆组件开/短路

电缆组件的成品线应无开路和短路现象。

6.2.5 电缆组件线位正确性

电缆组件的成品线应无线位错位现象。

7 试验方法

7.1 通则

7.1.1 电缆试验方法通则

在进行电缆的电气特性和传输特性试验时, 对于28AWG~24AWG线规的电缆测试长度应为10m; 对于30AWG~34AWG线规的电缆测试长度应为5 m; 对于38AWG~36AWG线规的电缆测试长度应为3 m。

7.1.2 电缆组件方法通则

在进行电缆组件的电气特性和传输特性试验时, 测试长度按完成品的单位长度进行。

7.2 结构试验方法

7.2.1 电缆颜色色序及屏蔽结构

颜色色序及屏蔽结构用目视检查。

7.2.2 电缆绝缘外径

绝缘外径测量按GB/T 2951.11规定进行。

7.2.3 电缆屏蔽包带的屏蔽厚度

屏蔽包带的屏蔽厚度用分度值不低于0.002 mm的千分尺或测厚仪或其它合适的仪器测量。

7.2.4 电缆屏蔽包带的重叠率

屏蔽包带的重叠率测量用分辨率不低于0.5 mm的钢卷尺在成品电缆上进行。

7.2.5 电缆最大外径和护套厚度

电缆最大外径和护套厚度测量按GB/T 2951.11规定进行。非圆形电缆的等效外径等于测量得到的电缆护套实际周长除以 π 。

7.2.6 电缆护套外观

护套外观采用目视检查。

7.2.7 电缆组件外观

电缆组件外观采用目视检查。

7.3 机械性能试验方法

7.3.1 电缆绝缘抗张强度和断裂伸长率

绝缘抗张强度和断裂伸长率试验按GB/T 2951.11规定进行，其中FPE试样的拉伸速度为 (25 ± 5) mm/min。在出厂检验时，允许拉伸速度为 (50 ± 5) mm/min。

7.3.2 电缆护套抗张强度和断裂伸长率

护套老化后的抗张强度和断裂伸长率试验按GB/T 2951.11规定进行，其中PVC、LSZH、FRPE护套试片的最小厚度为0.4mm。LSZH、FRPE护套试片的拉伸速度为 (50 ± 5) mm/min，在出厂检验时，允许拉伸速度为 (500 ± 25) mm/min。

7.3.3 电缆低温冲击试验

电缆低温冲击试验按GB/T 2951.14规定进行。

7.3.4 组件摇摆测试

组件的摇摆测试按GB/T 11313.1—2013中9.5规定进行。

7.3.5 组件振动试验

组件的振动试验按GB/T 17738.1—2013附录D中D.2.1规定进行。

7.4 环境性能试验方法

7.4.1 电缆绝缘收缩试验

绝缘收缩试验按GB/T 2951.13规定进行。

7.4.2 电缆绝缘抗压性能

绝缘抗压性能试验按GB/T 13849.1—2013中的附录D规定进行。

7.4.3 电缆护套老化后的抗张强度和断裂伸长率

护套老化后的抗张强度和断裂伸长率试验按GB/T 2951.11规定进行，其中PVC、LSZH、FRPE护套试片的最小厚度为0.4mm。LSZH、FRPE护套试片的拉伸速度为(50±5)mm/min，在出厂检验时，允许拉伸速度为(500±25)mm/min。

7.4.4 电缆低温卷绕试验

电缆低温卷绕试验按GB/T 2951.14规定进行。

7.4.5 热冲击试验

热冲击试验按GB/T 2951.31规定进行。

7.4.6 电缆组件高温性试验

组件高温性能试验按YD/T 1966—2009中5.6.2规定进行。

7.4.7 电缆组件低温性试验

组件低温性能试验按YD/T 1966—2009中5.6.3规定进行。

7.4.8 电缆组件高低温变化试验

组件高低温变化试验按GB/T 11313.1—2013中9.4.4规定进行。

7.5 安全性能试验方法

单根电缆燃烧试验按GB/T 18380.11进行。

7.6 环保性能试验方法

环保性能试验方法应按照GB/T 26125的规定进行。

7.7 电气特性和传输特性试验方法

7.7.1 电缆单根导体直流电阻

导体电阻的测量应按照GB/T 3048.4的规定进行。

7.7.2 电缆线对直流电阻不平衡

线对直流电阻不平衡的测量应按照GB/T 18015.1的规定进行。

7.7.3 介电强度

7.7.3.1 电缆的介电强度

电缆的介电强度应按GB/T 17737.1—2013中11.5的规定进行。

7.7.3.2 电缆组件线对导体间介电强度

电缆组件线对导体间介电强度应按GB/T 11313.1—2013中9.2.6的规定进行。

7.7.4 绝缘电阻

7.7.4.1 电缆的绝缘电阻

电缆绝缘电阻测试应按GB/T 17737.1—2013中11.2的规定进行。

7.7.4.2 电缆组件的绝缘电阻

电缆绝缘电阻测试应按GB/T 17738.1—2013中8.11的规定进行。

7.7.5 电缆绝缘线芯断混线

绝缘芯线的断混线应通过适当的指示器（如欧姆表、指示灯或峰鸣器）进行检测。

7.7.6 电缆屏蔽连续性

屏蔽的连续性应通过适当的指示器（如欧姆表、指示灯或峰鸣器）进行检测。

7.7.7 电缆组件开/短路

电缆组件的开短路测试应通过适当的指示器（如电测机）进行检测。

7.7.8 电缆组件线位正确性

电缆组件的线位正确性测试应通过适当的指示器（如电测机）进行检测。

7.7.9 传输延时

7.7.9.1 电缆传输延时优先采用 TDR 仪表测试，也可采用 ENA 仪表测试，具体测试方法如下：

- a) 首先将测试仪表取样探头连接到测试夹具的 D+和 D-输入端，并用标准测试线分别与分析仪连接，将测试仪表调节到差分模式；
- b) 通过短引线连接测试夹具两端，测试传输延时，记录测试夹具自身的传输延时；
- c) 然后将被测电缆样品的数据线与测试夹具连接，可采用与测试夹具匹配的连接头或焊接方式。

7.7.9.2 测试电缆样品的传输延时，并将结果减去测试夹具自身的传输延时，计算得到测试结果。

7.7.9.3 按照 7.7.9 的方法分别测试电缆试样线对中两根导线的传输延时，将数据相减，并取绝对值，得到对内延迟差值。

7.7.9.4 按照 7.7.9 的方法分别测试电缆试样不同线对的传输延时，将数据相减，并取绝对值中最大值，作为对间延时差值。

7.7.10 衰减（插入损耗）

电缆的衰减应使用符合规定频率和动态范围的TDR或四端口网络分析仪测试，具体方法如下：

- a) 将用于测量的同轴电缆连接在网络分析仪的输入/输出端，在整个频率范围内进行(0 dB)基准线校准；
- b) 通过测量的同轴电缆连接测试夹具两端，测试衰减。

7.7.11 近端串音衰减

电缆的近端串音衰减应按IEC TR 61156-1-2中的规定进行测试。

7.7.12 差分阻抗

差分阻抗为差分信号沿电缆线对传输时受到的阻抗。差分阻抗优先采用TDR仪表测试，测试时将仪表调到差分时域反射模式，时域取值范围为1 ns~2.5 ns。

7.7.13 差分回波损耗

电缆组件的差分回波损耗测试按IEC TR 61156-1-2中的规定进行。

7.7.14 共模回波损耗

电缆组件的共模回波损耗测试按IEC TR 61156-1-2中的规定进行。

7.7.15 差分转共模信号-插入损耗

电缆组件的差分转共模信号-插入损耗测试按IEC TR 61156-1-2中的规定进行。

8 检验规则

8.1 电缆的检验规则

8.1.1 检验分类

检验分出厂检验和型式试验。

8.1.2 出厂检验

8.1.2.1 检验项目

出厂检验按检验项目分为全检与抽检两类，全检项目对每盘成品电缆进行检验，见表21，抽检应在每一个检查批的电缆中随机抽取，抽检项目见表22。

表21 出厂检验的全检项目

序号	试验项目	本标准条款
1	尺寸及结构	
1.1	颜色色序	6.1.3.2
1.2	屏蔽结构	6.1.3.3.2、6.1.3.3.3、6.1.4.3.2
1.3	护套完整性	6.1.5.2
1.4	电缆最大外径和护套厚度	6.1.5.4表9、6.1.5.3表8
1.5	识别标志	9.1.1.1.1
2	电气特性	
2.1	单根导体直流电阻	表11序号1
2.2	线对直流电阻不平衡	表11序号2
2.3	介电强度	表11序号3
2.4	绝缘电阻	表11序号4
2.5	绝缘线芯断线、混线	表11序号5
2.6	屏蔽连续性	表11序号6

表22 出厂检验的抽检项目

序号	试验项目	本标准条款
1	延时差	6.1.7.1
2	衰减	6.1.7.2

表22 (续)

序号	试验项目	本标准条款
3	近端串音衰减	6.1.7.3
4	差分阻抗	6.1.7.4
6	环保性能	6.1.7.5

8.1.2.2 抽样方案

8.1.2.2.1 进行出厂检验的抽检时，应将一天内连续生产的同一型号的线缆组成一个检查批。检查按 GB/T 2828.1 正常检查一次抽样方案，采用检查水平 I、合格质量水平 (AQL) 1.5。表 23 列出了按 GB/T 2828.1 正常检查一次抽样方案确定的样本数 (线缆盘数) 的示例。

表23 按正常检查一次抽样方案确定的样本数

批量范围	样本数 (线缆盘数)
1~8	2
9~15	2
16~25	3

8.1.2.2.2 出厂抽检出现不合格时，应对不合格项目进行第二次抽样检验，第二次抽样样本数应加倍。若第二次抽样检验仍出现不合格，则对该批产品进行 100% 检验。

8.1.3 型式试验

8.1.3.1 检验项目

8.1.3.1.1 型式试验是对产品进行的全性能检验，包括出厂检验的全部项目 (表 21 与表 22) 及表 24 中规定的项目。

表24 型式试验的部分项目

序号	试验项目	本标准条款
1	绝缘抗张强度和断裂伸长率	表 5 序号 1
2	绝缘收缩	表 5 序号 2
3	绝缘抗压性能	表 5 序号 3
4	绝缘低温卷绕	表 5 序号 4
5	单面复合铝箔的铝箔厚度	6.1.3.3.2、6.1.3.3.3、6.1.4.3.2
6	单面复合铝箔的重叠率	6.1.3.3.2、6.1.3.3.3、6.1.4.3.2
7	编织层及编织率	6.1.4.3.2
8	电缆长度标志和误差	9.1.1.1.2

表24 (续)

序号	试验项目	本标准条款
9	护套抗张强度和断裂伸长率	表 10 序号 1.1、1.2、2.1 和 2.2
10	电缆低温卷绕试验	表 10 序号 2.3
11	热冲击试验	表 10 序号 2.4
12	燃烧试验	表 10 序号 3.1

8.1.3.1.2 型式试验不合格时，应停止验收，分析不合格原因，采取措施，直到新的型式试验合格后才能恢复验收。

8.1.3.2 型式试验周期

正常生产时，型式试验每年至少应进行一次。有下列情况之一时，也应进行型式试验：

- 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定；
- 电缆结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- 出厂检验结果与上次型式试验有较大差异时；
- 产品长期停产后，恢复生产时；
- 质量监督部门提出要求时。

8.1.3.3 样本数

型式试验的样本应在该年生产并经出厂检验合格的电缆产品中随机抽取。每一型式电缆的样本数为3盘，样本中应包含该型式最大线对数的电缆规格。

8.2 电缆组件的检验规则

8.2.1 检验分类

成品电缆组件的检验分出厂检验和型式检验。

8.2.2 出厂检验

8.2.2.1 检验类型

出厂检验分为100%检验和抽样检验。

8.2.2.2 100%检验项目

出厂检验的100%检验项目、要求和试验方法见表25。

表25 100%检验项目、要求和试验方法

序号	项目名称	要求	试验方法
1	开/短路	6.2.4	7.7.7
2	线位正确性	6.2.5	7.7.8
3	线对导体间介电强度	表16	7.7.3.2

表25 (续)

序号	项目名称	要求	试验方法
4	差分阻抗	表17、表18、表19	7.7.12
5	插入损耗	表17、表18、表19	7.7.10
6	对内延时差	表17、表18、表19	7.7.9.1
7	对间延时差	表17、表18、表19	7.7.9.2

8.2.2.3 抽样检验项目

出厂检验的抽样检验应在完成表25规定的检验项目,且检验合格后的电缆上进行。抽样检验的项目、要求、试验方法和抽样方案见表26。

表26 抽样检验的项目、要求、试验方法和抽样方案

序号	项目名称	要求	试验方法	抽样方案 ^a
1	差分回波损耗	表17、表18、表19	7.7.13	5%
2	共模回波损耗	表17、表18、表19	7.7.14	5%
3	差分到共模信号-插入损耗	表17、表18、表19	7.7.15	5%

^a 抽样方案中的5%为单个检验批的抽样比例,每批至少抽取一个样本单位。

8.2.2.4 判定规则

8.2.2.4.1 按照表25和表26的规定,根据检验批的大小进行随机抽样检验,采用修约值比较法进行判定。100%检验项目,不合格率大于5%时,则该检验批不合格。不合格率小于或者等于5%时,应剔除不合格项的产品。抽样检验项目,如果被测试样本有不合格项目时,应重新抽取双倍数量的样本就不合格项目进行检验,如仍不合格,则该检验批不合格。

8.2.2.4.2 不合格品经返修后,可重新单独提交检验。重新检验时应和新的检验批分开,重新检验项目应包含原不合格项目和其它有关项目。

8.2.3 型式检验

8.2.3.1 检验项目

型式检验项目包括表25、表26和表27的全部项目。型式检验的其它项目见表27。

表27 型式检验的其它项目

序号	项目名称	要求	试验方法
1	绝缘电阻	表16	7.7.4.2
2	摇摆测试	表20	7.3.4
3	振动	表20	7.3.5
4	高温性能	表20	7.4.6
5	低温性能	表20	7.4.7
6	高低温变化	表20	7.4.8

表27 (续)

序号	项目名称	要求	试验方法
7	环保性能	表20	7.6

8.2.3.2 抽样方案

型式试验样本电缆组件应在出厂检验合格的电缆组件中随机抽取每种型式8个样本单位进行试验，其规格应有代表性。检验分组和检验组内检验顺序见表28。第I组试样测试完后，将其试样分配给其余组。

表28 型式检验的项目分组和抽样数量

检验组	检验项目及顺序	抽样数量
I	差分阻抗	8
	插入损耗	
	对内延迟差	
	对间延迟差	
	差分回波损耗	
	共模回波损耗	
	差分到共模信号-插入损耗	
	线对导体间介电强度	
	绝缘电阻	
II	摇摆测试	5
	高温性能	
	低温性能	
	高低温变化	
III	环保性能机械耐久性	3

8.2.3.3 检验周期

有下列情况之一时，一般应对电缆组件进行型式试验：

- 型式检验应每半年至少进行一次；
- 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定；
- 正式生产后，主要生产工艺或原材料有重大改变时；
- 停产半年以上，恢复生产时；
- 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时。

8.2.3.4 判定规则

8.2.3.4.1 当被抽取检验的样本单位有型式试验不合格项目时，允许重新抽取双倍新的样本单位重新试验。如果都能通过试验，则可判定为合格；如果仍有任何一个样本单位不能通过试验，则应判定为不合格。

8.2.3.4.2 如果型式检验不合格,制造厂应根据不合格原因,对全部产品进行改正处理。在采取可接受的改进措施以前,应停止产品鉴定和验收。在采取改进措施之后,应重新抽样进行型式试验。

9 标志、包装、运输与存贮

9.1 电缆的标志、包装与存贮

9.1.1 识别标志与长度标志

9.1.1.1 识别标志

护套外表面上应印有制造厂名或其代号和电缆型号,间距应不大于1 m。成品电缆标志应符合GB/T 6995.3规定。

9.1.1.2 长度标志及误差

电缆护套表面上应印有永久识别的清晰长度标志,颜色宜为黑色(或白色),长度标志以m(或ft)为单位,长度误差应不大于 $\pm 1\%$ 。

9.1.1.3 成盘包装

应整齐地绕在电缆盘上交货,电缆盘应符合JB/T 8137.1的规定,电缆盘的筒体直径应不小于电缆外径的15倍。

9.1.1.4 成品包装

电缆可根据客户要求分切成不同的长度后装包装盘或卷交货。

9.1.1.5 包装标志

在电缆的电缆盘(包装箱)上应注明:

- a) 制造厂名及商标;
- b) 电缆型号、本标准编号;
- c) 电缆长度 m;
- d) 毛重 kg;
- e) 出厂编号;
- f) 制造日期: 年 月;
- g) 防潮标志;
- h) 对于成盘包装的电缆盘,除上述规定的标识外,还应标明标识电缆盘正确旋转方向的箭头。

9.1.2 运输

电缆在运输、贮存过程中应注意以下事项:

- a) 保持包装完整,防止电缆受潮、浸水;
- b) 防止严重弯曲、挤压变形等机械损伤。

9.1.3 存贮

电缆应存贮在干燥通风、远离火源的地方。

9.1.4 电缆的使用条件

9.1.4.1 安装温度为： $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

9.1.4.2 安装时的最小弯曲半径不得小于 15 倍电缆直径。

9.2 电缆组件的包装、运输和贮存

9.2.1 组件产品包装

电缆组件通常采用下述的包装方式，也可以根据供需双方的协议进行包装：

- a) 成品电缆组件两端接头端面分别用塑料端盖密封；
- b) 将电缆组件绕成圈（成圈直径不小于电缆直径 20 倍），并用扎带扎紧；
- c) 将多个成圈的电缆组件放入干燥的包装箱中，用胶带将包装箱封口包封好，并使用包装带打包。

9.2.2 组件产品标识

电缆组件包装上应标明：制造厂名称（或商标）、产品型号、长度、装箱产品清单等。

9.2.3 合格证

产品合格证应包括以下内容：

- a) 制造厂的名称、详细地址、邮政编码、电话和传真号码；
- b) 产品的型号、批号、生产日期及产品标准号；
- c) 产品检验日期、出厂日期及检验员签名(或检验员代号图章)。

9.2.4 运输和贮存

运输和贮存中应注意以下事项：

- a) 防止受潮、浸水，避免高温及日晒；
- b) 防止挤压变形等任何机械损伤；
- c) 贮存在通风、干燥的地方。

9.2.5 电缆组件使用条件及说明

9.2.5.1 使用时的弯曲半径不得小于电缆外径的 20 倍。

9.2.5.2 工作温度： $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

9.2.5.3 相对湿度：45%~85%。

10 质量承诺

10.1 出厂产品提供必要的技术文件，在产品上标识可追溯性内容，以保证出现质量问题时可溯源。

10.2 产品自出厂之日起 18 个月内，确因产品制造质量问题而不能正常使用的，制造单位提供免费的维修或更换服务。