

中华人民共和国国家标准

GB/T 9326.1—2008
代替 GB 9326.1—1988

交流 500 kV 及以下纸或聚丙烯复合纸 绝缘金属套充油电缆及附件 第 1 部分：试验

Oil-filled, paper or polypropylene paper laminate insulated, metal-sheathed cables
and accessories for alternating voltages up to and including 500 kV—

Part 1: Test

(IEC 60141-1:1993, Tests on oil-filled and gas-pressure cables and
their accessories—Part 1: Oil-filled paper or polypropylene paper
laminate insulated, metal-sheathed cables up to and including

Professional high voltage test

高压测量仪器智造 | 电力试验工程服务

2008-06-30 发布

2009-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

前 言

GB/T 9326《交流 500 kV 及以下纸或聚丙烯复合纸绝缘金属套充油电缆及附件》由五个部分组成：

- 第 1 部分：试验；
- 第 2 部分：交流 500 kV 及以下纸绝缘铅套充油电缆；
- 第 3 部分：终端；
- 第 4 部分：接头；
- 第 5 部分：压力供油箱。

本部分是 GB/T 9326 的第 1 部分。

本部分修改采用 IEC 60141-1:1993《充油电缆和压气电缆及其附件的试验 第 1 部分：交流电压 500 kV 及以下纸或聚丙烯复合纸绝缘金属护套充油电缆及其附件》第 3 版，第 1 号修改单(1995)和第 2 号修改单(1998)内容也纳入正文，并在它们所涉及的条款的页边空白处用垂直双线标识。

本标准对 IEC 60141-1:1993 部分内容作了一些修改，有关技术性差异已编入正文，并在它们所涉及的条款的页边空白处用垂直单线标识，在附录 D 中列出了本部分章条号与 IEC 60141-1:1993 章条编号的对照一览表。

本部分与 IEC 60141-1:1993 相比的技术差异是：

- 采用 GB 311.1—1997《高压输变电设备的绝缘配合》(IEC 60071-1:1993, NEQ)电压等级的规定，删去了 66 kV 以下和我国不适用的几种电压等级，其电压范围涵盖 66 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV 五个等级；
- 根据 GB 311.1—1997 的规定，增加了 330 kV、500 kV 电压等级的操作冲击电压试验；并根据 DL/T 401—2002《高压电缆选用导则》确定了试验用的操作冲击电压和雷电冲击电压峰值；
- 将 GB 9326.2—1988 中的电缆油样试验(分别为例行试验和安装后试验)、铅套扩张试验(特殊试验)、铅套和加强层液压试验(型式试验)、外护层沥青滴出试验(型式试验)、外护套刮磨试验(型式试验)增加作为本部分的内容；
- 电缆型式试验增加了铝套腐蚀扩展试验(见 4.10)，附件型式试验增加了终端的无线电干扰试验(见 7.6)；
- 安装后试验中增加了 GB 9326.1—1988 中的油流动试验(见 8.2)和浸渍系数试验(见 8.3)及其资料性附录(见附录 B 和附录 C)。

本部分代替 GB 9326.1—1988《交流 330 kV 及以下油纸绝缘自容式充油电缆及附件 一般规定》，还将 GB 9326.2—1988 的有关内容纳入本部分。

本部分与 GB 9326.1—1988 相比的主要技术差异是：

- 本部分的名称修改为与 IEC 60141-1:1993 一致，因而使得本部分与 GB 9326.1—1988 相比，适用的电压向上扩展到 500 kV，并包括了聚丙烯复合纸绝缘；
- 增加了聚丙烯复合纸绝缘的相关内容(见表 8)；
- 操作冲击试验施加试验电压(峰值)正、负极性各 3 次改为正、负极性各 10 次(前版第 2 部分的 7.4.4；本部分的 4.6)；
- 电缆型式试验增加了铝套腐蚀扩展试验(见 4.10)；附件型式试验增加了终端的无线电干扰试验(见 7.6)。

本部分的附录 A 为规范性附录，附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 为资料性附录。

本部分由中国电器工业协会提出。

GB/T 9326.1—2008

本部分由全国电线电缆标准化技术委员会(SAC/TC 213)归口。

本部分负责起草单位:上海电缆研究所。

本部分参加起草单位:武汉高压研究院、上海三原电缆附件有限公司、上海电缆厂有限公司、湖北永鼎红旗电气有限公司、沈阳电缆有限责任公司、东北电力设计院。

本部分主要起草人:邓长胜、阎孟昆、徐操、莫临元、王国忠、邢志强、梁波。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB 9326.1—1988。



交流 500 kV 及以下纸或聚丙烯复合纸 绝缘金属套充油电缆及附件 第 1 部分: 试验

1 概述

1.1 范围

GB/T 9326 的本部分适用于径向电场、纸或聚丙烯复合纸绝缘金属套充油电缆及其附件的试验。电缆及其附件运行时最小静压力为 20 kPa~300 kPa, 最大静压力不大于 800 kPa, 最小瞬时压力不小于 20 kPa(所述压力为表压, 高于大气压力的值)。

除 3.2、4.5 和 5.2 可经买方和制造厂协议适当修改外, 本部分亦适用于最大静压力超过 800 kPa 的电缆及附件。

这些试验适用于在标称相间电压不超过 500 kV 系统中使用的电缆及附件。

对于大长度电缆, 本部分经买方和制造方协议适用。

1.2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 9326 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件, 其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分, 然而, 鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件, 其最新版本适用于本部分。

GB 311.1—1997 高压输变电设备的绝缘配合(neq IEC 60071-1:1993)

GB/T 2951.11—2008 电缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 1 部分: 通用试验方法 第 1 章 厚度和外形尺寸的测量—机械性能试验(IEC 60811-1-1:2001, IDT)

GB/T 3048.13—2007 电线电缆电性能试验方法 第 13 部分: 冲击电压试验(IEC 60230:1966, IEC 60060-1:1989, MOD)

GB/T 3956—1997 电缆的导体(idt IEC 60228:1978)

GB/T 9326.2—2008 交流 500 kV 及以下纸或聚丙烯复合纸绝缘金属套充油电缆及附件 第 2 部分: 交流 500 kV 及以下纸绝缘铅套充油电缆(IEC 60141:1993, NEQ)

GB/T 11604—1989 高压电器设备无线电干扰测试方法(eqv IEC 60018:1983)

JB/T 8996—1999 高压电缆选择导则(idt IEC 60183:1984)

JB/T 10181.3—2000 电缆载流量计算 第 2 部分: 热阻 第 1 章 热阻的计算(idt IEC 60287-2-1:1994)

JB/T 10696.6—2007 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

JB/T 10696.5—2007 电线电缆机械和理化性能试验方法 第 5 部分: 腐蚀扩展试验

IEC 60229:2007 具有特殊保护作用的挤包的电缆外护套试验

1.3 定义和符号

GB/T 9326 的本部分采用下列定义和符号:

炭黑纸屏蔽的电缆: 电缆中用炭黑纸作为屏蔽包覆在导体上, 并且炭黑纸与绝缘相接触。

不用炭黑纸屏蔽的电缆: 电缆中不用炭黑纸, 而是用其他材料作屏蔽包覆在导体上; 或者有炭黑纸, 但不与绝缘接触。对于本部分, 导体无屏蔽的电缆包括在本组内。

U_0 : 电缆和附件设计用的导体与绝缘线芯屏蔽之间的额定工频电压。

U : 电缆和附件设计用的任何二个导体之间的额定工频电压。

U_m : 系统最高电压。是在正常运行条件下系统内任何时刻和任意一点可能持续出现的最高的线电压有效值。

U_p : 电缆和附件设计用的雷电冲击电压的峰值。

U_s : 电缆和附件设计用的操作冲击电压的峰值。

1.4 电压标示

电缆和附件应采用导体与绝缘线芯屏蔽间的额定电压 U_0 以及导体间的额定电压 U 来标示, 两者都以 kV 为单位, 例如 64/110。符合本部分的电缆能在下列类型的系统中运行:

——A类: 这一类包括那些接地故障能尽可能快、但任何情况下能在 1 min 内切除的系统。

——B类: 这一类包括那些在单相接地故障条件下能短时间运行的系统。按照 JB/T 8996—1999, 这段时间应不超过 1 h。对于本部分的电缆, 在任何场合可容许不超过 8 h 的故障运行。每年总的接地故障时间应不超过 125 h。

——C类: 这些电缆不是要用在 C 类系统中运行的。当有此要求时, 应由买方和制造方就电缆和附件的设计达成协议。

1.5 试验条件

1.5.1 工频试验电压的频率和波形

交流试验电压的频率应不低于 49 Hz 和不高于 61 Hz。电压的波形应基本上为正弦波。

1.5.2 冲击试验电压的波形

冲击电压波形应符合 GB/T 3048.13—2007。

1.5.3 环境温度

除非另有规定, 本部分试验的环境温度设定在 5 °C ~ 35 °C 之间。

1.6 特性

1.6.1 为了进行并记录本部分所述的试验, 必须了解或申明下述特性:

a) 额定电压 U_0 , kV; 雷电冲击耐受电压 U_p , kV; 操作冲击耐受电压 U_s , kV。

注: 上述对每种特定电缆规定的雷电冲击耐受电压 U_p 和操作冲击耐受电压 U_s 应按 4.5.2 的表 4 选取。

b) 导体的型式, 各导体的材料和标称截面 (mm^2) 及导体电阻 (导体电阻参见 2.2)。

c) 如果导体标称截面不是按 GB/T 3956—1997 给出的数值时的导体电阻。

d) 绝缘线芯数。

e) 每导体与绝缘线芯屏蔽间的电容, $\mu\text{F}/\text{km}$ 。

f) 在规定环境和安装条件下长期运行时最高允许导体温度, °C。

g) 最低和最高允许静油压, kPa。

h) 金属套的型式和材料, 及金属套加强层的结构 (若有的话)。

i) 单根或多根导体与金属套之间的热阻, °C · cm/W。

注: 热阻应采用 JB/T 10181.3—2000 给出的公式计算。

j) 电场强度 [见 4.1.2b) 的 3), 和 4.1.2c) 的 1) 或 2)], MV/m。

k) 附件的最大设计压力 (见第 5 章), kPa。

l) 导体屏蔽的类型 (有炭黑纸或者不用炭黑纸)。

m) 绝缘厚度的最小规定值, 金属套以及防蚀层的标称厚度, mm。

n) 电缆和导体的标称外径, mm。

o) 金属套上的防蚀层的形式和材料。

1.7 试验类型和试验频度

1.7.1 例行试验

例行试验是为了证明每根成品电缆的完善性而由制造厂在所有成品电缆上进行的试验。试验是在

制造长度上,即切割成交货长度前进行,还是在交货长度上进行,由买方和制造方之间协议决定。附件的例行试验按第5章进行。

1.7.2 特殊试验(抽样试验)

1.7.2.1 特殊试验是由制造厂在成品电缆的试样上或从成品电缆取下的组件上,以及附件的部件上按规定试验频度进行的试验,以验证成品电缆或附件符合设计规范。这些试验应仅在买方提出要求才做。

1.7.2.2 尺寸测量频度

除非买方另有要求,本试验应在不多于交货根数10%(至少一根)的电缆上进行。

1.7.2.3 机械试验频度

若合同中规定的总长度,三芯电缆超过2 km或单芯电缆超过4 km,试验的最大频度应按表1规定:

表1 电缆取样的频度

电缆长度/km				取自按合同制造的 电缆的试样数
多 芯 电 缆		单 芯 电 缆		
大于	小于或等于	大于	小于或等于	
2	10	4	20	1
10	20	20	40	2
20	30	40	60	3
依次类推	依次类推	依次类推	依次类推	依次类推

1.7.3 型式试验

型式试验是由制造厂在按照一般商业原则供应符合本部分要求的完成产品之前所进行的试验,以证明产品具有满足预期使用要求的满意性能。

这些试验具有这样的性质,即在它们做过后不需重做,除非材料或设计有了可能改变其性能特性的变动。

1.7.4 安装后试验

安装后试验是为了证明电缆及其附件的完整性而进行的试验。

2 电缆的例行试验

2.1 概述

2.2~2.7规定的试验,如1.7.1所定义,应在所有成品电缆上进行。对于2.3、2.4和2.5规定的试验,电缆应装有合适的终端,且最高位置的油压调整到不大于200 kPa或最小静压力(见1.6.1)加上50 kPa,取较大值(所述压力为表压)。

2.2 导体电阻试验

应测量成品电缆中每根导体的直流电阻。三芯电缆(标称截面不超过400 mm²)和单芯电缆(标称截面不超过2500 mm²)的电阻测量值,当校正到20℃、1 km长度的数值时,应不超过GB/T 3956—1997表2中第8和第9栏(铜导体)及第10栏(铝导体)第2种导体规定的数值。

对于导体大于上述标称截面或不包括在GB/T 3956—1997表2中的电缆,直流电阻应达到制造厂的声明值。

温度和长度的校正应按GB/T 3956—1997进行。

试验前,电缆应在合理的恒定温度中至少放置12 h。若对导体温度是否与环境温度相同有怀疑时,存放时间应延长到24 h。

2.3 电容试验

电容应在工频下用交流电桥进行测量,每一线芯电容应不大于声明值8%(见1.6.1)。

2.4 介质损耗角正切试验

介质损耗角正切应采用 1.5.1 规定的工频试验电压,于环境温度下在每根导体和线芯屏蔽之间进行测量。 U_0 值不超过 87 kV,测量应在额定电压 U_0 和 $2U_0$ 下进行, U_0 值超过 87 kV,测量应在额定电压 U_0 和 $1.67U_0$ 下进行。

若在低于 20 °C 温度下进行测量,测量结果应校正到 20 °C。按照下式试验温度与 20 °C 之间每差 1 °C 从测量值中减去其 2%:

$$\tan\delta_{20} = [1 - 0.02(20 - t)]\tan\delta_t$$

式中:

$\tan\delta_{20}$ ——换算至 20 °C 的 $\tan\delta$ 值;

$\tan\delta_t$ ——室温 t (°C)时, $\tan\delta$ 的测量值。

亦可按买方与制造厂间协议确认的适合于该种绝缘的校正曲线来进行校正。试验温度为 20 °C 或更高,则不应校正。

介质损耗角正切以及不同电压的损耗角正切之差应不超过表 7 对于纸绝缘电缆或表 8 对于聚丙烯复合纸绝缘电缆的相应数值或其声明值,取两者中的较小值。

2.5 交流电压试验

试验应在环境温度下进行,在每根导体和线芯屏蔽间施加工频交流试验电压 15 min。试验电压值应是(见表 9):

—— $2U_0 + 10$ kV, U_0 不超过 87 kV 的电缆;

—— $1.67U_0 + 10$ kV, U_0 超过 87 kV 的电缆。

电压应逐步增加至规定值,绝缘不应击穿。

上面规定的交流试验可以用直流试验代替,试验电压值为:

——交流试验电压的 2.4 倍, U_0 不超过 220 kV 时;

——交流试验电压的 2.0 倍, U_0 超过 220 kV 时(见表 9)。

试验历时 15 min,绝缘应不击穿。

2.6 挤包外护套试验

挤包外护套应符合 IEC 60229:2007 的例行试验要求。

成品电缆挤包的塑料护套应耐受直流电压负极性 25 kV 时间 1 min 的耐压试验,而不击穿,电压加在金属套或铠装与塑料护套表面的导电层之间。

2.7 电缆油样试验

电缆绝缘浸渍结束后 2 天~10 天及连接电缆出厂的压力箱充油后 2 天~10 天,从电缆油道及压力箱取出的油样应符合下述规定:

油温 20 °C ± 10 °C 时,工频击穿强度应不小于 50 kV/2.5 mm;

油温 100 °C ± 1 °C 和电场梯度 1 kV/mm 时, $\tan\delta$ 应小于表 2 的规定。

表 2 出厂试验电缆油样的 $\tan\delta$

额定电压/kV	$\tan\delta$
66,110,220	0.005 0
330	0.003 0
500	0.002 8

3 电缆的特殊试验(抽样试验)

3.1 厚度测量

3.1.1 绝缘厚度测量

绝缘厚度应在按 1.7.2.2 选取的每根成品电缆一端取下的试样上,用下述任一种方法进行测定。

总的绝缘厚度应不小于规定的最小值。

3.1.1.1 直径测量带尺法

对于圆形或椭圆截面的绝缘导体,试样应剥掉绝缘屏蔽带露出绝缘线芯为止。在此状态下,采用直径测量带尺在离每段线芯端部 50 mm 与 100 mm 处测量线芯直径。直径测量带尺的标尺分度(按直径)应不大于 0.5 mm。

然后,剥去绝缘露出导体屏蔽,用直径测量带尺测量导体屏蔽直径。每一测量点的绝缘厚度用该点上测量的两个直径之差的一半来计算。

3.1.1.2 恒压力千分表法

对于扇形截面的绝缘导体,从试样上剥下的各层纸带叠在一起,不必除去多余的浸渍剂,然后用具有下述特性的恒压力千分表(刻度盘)测量它们的总厚度。必要时,可将绝缘分成几小部分,以便于测量。千分表的精度应不小于 ± 0.005 mm,测量头直径为 6 mm~8 mm。施加的压力应是 350 kPa \pm 5%。测量面应是同心平面,而且行程范围内的平行度在 0.003 mm 之内。

3.1.2 金属套厚度的测量

3.1.2.1 铅套

铅套的最小厚度小于声明的标称值(见 1.6.1)应不超过 5%+0.1 mm。

铅套的厚度应由制造厂决定采用下述的一种方法来测量。

3.1.2.1.1 窄条法

铅套的厚度应在按 1.7.2.2 选取的成品电缆上切取约 50 mm 长的铅套试样上测量。试样应纵向剖开,并小心地展平。试样清理后,应沿铅套圆周离展平的试样边缘不少于 10 mm 处测量多点。测量用千分尺的测量头直径为 4 mm~8 mm,精度为 ± 0.01 mm。

3.1.2.1.2 圆环法

铅套厚度应在从试样上小心地切取的圆环上进行测量。应沿圆环试样圆周测量足够多的点,以确保测到最小厚度。测量用千分尺的一个测量头是平的,另一个是球状;或一个是平的,另一个是宽为 0.8 mm、长 2.4 mm 的矩形平面。球形测头或矩形测头应置于环的内侧。千分尺的精度应为 ± 0.001 mm。

3.1.2.2 光铝套或皱纹铝套

被测试样应在按 1.7.2.2 选取的成品电缆上距端部不小于 300 mm 处切取。试样应是小心地从铝套上截取的 50 mm 长的圆环。

应沿着圆环试样圆周测量足够多的点,以确保测到最小厚度。测量应采用测量头半径为 3 mm 球面的千分尺,其精度应为 ± 0.01 mm。

如此测得的最小厚度小于规定值(见 1.6.1)不应超过:

光铝套——10%+0.1 mm;

皱纹铝套——15%+0.1 mm。

3.1.3 挤包聚合物外护套厚度测量

3.1.3.1 应采用 GB/T 2951.11—2008 的 8.2 所述试验方法进行测量。

3.1.3.2 对于光铝套上挤包的聚合物外护套,六个测量值的平均值应不小于规定值(见 1.6.1),并且其最小测量值应不比规定值小 0.1 mm+15%标称值。

3.1.3.3 在所有其他情况下,任一点的最小测量厚度应不比规定值(见 1.6.1)小 0.2 mm+20%标称值。

3.1.4 复试步骤

若任何试样未通过 3.1 中任何一项试验,推荐从同一批产品中另取二个试样,进行原试样未通过的一项或几项试验。若附加的二个试样都通过试验,则被取试样的该批所有电缆应认为符合本部分要求。若其中任一个试样不合格,则这些试样代表的该批产品应为不合格。进一步的再取样和试验,应经双方

协商。

3.2 机械性能试验

机械性能试验包括电缆的弯曲试验及随后进行的电气试验和结构检查。本试验的试样应按 1.7.2.3 选取。

3.2.1 弯曲试验

弯曲试验应在至少能在试验圆筒上绕一整圈的足够长度的电缆试样上进行。除非顾客另有规定，试验应在环境温度下进行。

试验圆筒的直径见表 3。

表 3 弯曲试验圆筒的直径

电 缆 类 型	试验圆筒的直径 (偏差+5%)
铅套、铅合金套、皱纹铝套的单芯电缆	$25(D+d)$
铅套、铅合金套、皱纹铝套的三芯电缆	$20(D+d)$
所有光铝套电缆	$36(D+d)^a$
注：表中， D ——测量的承受压力的金属套外径或皱纹铝套电缆的皱纹波峰直径； d ——导体直径测量值，或者如果是非圆形导体，则是导体周长测量值的 1/3.14 倍。	
^a 事实上，由于这些电缆试验圆筒的直径较大，因此运输和安装时必须采用比加强铅套或皱纹铝套电缆更大直径的电缆盘和敷设半径。	

电缆应展直平放，一端固定在试验圆筒上。沿电缆顶部平行于电缆纵轴画一条参考线。然后平稳地转动圆筒，使所有电缆在上面紧绕一圈。然后反方向转动圆筒，使电缆放开。

将电缆沿其纵轴旋转 180° ，试验圆筒按前述一样的转动方向重复卷绕、放开过程。然后再将电缆沿其纵轴旋转 180° ，回到它的起始位置，即参考线向上。也允许采用另一试验方法，将试验圆筒反向转动，而电缆的位置可以保持相同，使电缆交替地在试验圆筒的顶部和底部卷绕。绕紧电缆/放开电缆/电缆翻转/绕紧电缆/放开电缆/电缆翻转的完整过程应在电缆试样上重复三次。

3.2.2 电气试验

上述弯曲试验完成后，电缆试样应按 2.5 规定的交流试验电压经受 15 min 高电压试验。

3.2.3 金属套、加强带或防蚀层的检查

按 3.2.2 做了工频高压试验后，应从经过试验的电缆试样的中部取下约 1 m 长的试样，剥开并进行检查。防蚀层和加强层不应严重地移位或损坏；承压护套应无裂纹和开裂。

3.2.4 绝缘的检查

按 3.2.3 内容检查后，应从试样的中部切下一段 300 mm 长的电缆段。应剥掉金属套和内层的绑扎带(若有的话)及填充物等，从而得到一段单芯电缆试样或三芯电缆的三段绝缘线芯试样。

应一次剥除少量绝缘纸带，并检查纸带撕裂和间隙。应符合下列要求：

- a) 在 300 mm 长的试样中，纵向撕裂或边缘撕裂超过 7.5 mm 的绝缘带数，每芯不应超过二处。
- b) 在整个绝缘中，任何一点不得有超过以下任何一条规定的缺陷：
 - 1) 相邻绝缘纸带上的二个任何长度的重合撕裂；
 - 2) 在相邻绝缘纸带上的二个任何长度的重合间隙。如果这些间隙重合是由于纸包反向引起的，则允许有三个。

上述要求中不包括炭黑纸。

3.2.5 复试步骤

若不符合上述要求，应从另一制造长度上取一新的试样，并应重复进行 3.2 规定的全部试验步骤。

若重复试验符合上述要求,则应认为该批电缆符合本部分。

3.3 铅套扩张试验

将 150 mm 长的铅管置于圆锥体上,圆锥体底部直径与高之比为 1:3。试验时,铅管内应加润滑油,垂直轻掷圆锥体底部,然后转动铅管或锥体,试验进行到将铅管扩张至要求内径时为止。铅套在圆锥体上扩张至铅套前直径的 1.3 倍,应不破裂。

4 电缆的型式试验

4.1 概述

4.1.1 4.3、4.4 和 4.5 规定的试验旨在证明电缆设计的基本性能参数符合规定要求。若合同涉及电缆的任一项试验或所有试验过去已经在“类同设计”的电缆上做过,并且制造厂对此提供证明,则某项试验或所有试验可以不做。

4.1.2 “类同设计”定义为一种电缆与合同电缆相比具备下列每项试验的如下特性(除以下规定外,允许有 5% 的偏差):

- a) 介质损耗角正切/温度试验(见 4.3)
 - 1) 额定电压 U_0 在 $\pm 10\%$ 之内;
 - 2) 相同的线芯数;
 - 3) 最高允许导体温度相同或更高;
 - 4) 最小允许油压相同或较低;
 - 5) 绝缘类型相同(即纸或聚丙烯复合纸)。

- b) 绝缘安全试验(见 4.4)

与上述对介质损耗角/温度试验规定一样,但附加下述要求:

- 1) 导体直径相同或更大;
- 2) 类同的导体形状;
- 3) 额定电压 U_0 下最大电场强度相同或更高(按实际尺寸计算)。

当制造厂实际上提供的电缆额定电压相同,绝缘厚度也相同,并与导体尺寸无关时,上述 1) 和 3) 的要求应不适用,而应采用下述要求:

- 1) 相同的规定绝缘厚度;
- 2) 相同的导体直径;或者应已经在二根电缆上进行了符合上述所有要求的试验,其中一根电缆导体直径比它小,另一根电缆导体直径比它大。

- c) 雷电冲击电压试验(见 4.5)和操作冲击电压试验(适用时,见 4.6)

与上述对绝缘安全试验规定一样,但有下述附加要求:

- 1) U_p 和 U_0 (适用时)下最大电场强度相同或更高(按实际尺寸计算)。

当制造厂实际上提供的电缆额定电压相同,绝缘厚度也相同,并与导体尺寸无关时,上述 1) 项应用下述要求代替:

- 2) 电缆已在等于或大于 U_p 和 U_0 (适用时)的电压下进行过试验。

4.2 试验要求

4.3、4.4、4.5 和 4.6 规定的试验可按制造厂的意愿,分别在不同的电缆试样上进行,或只在电缆的一根试样上进行。若在一根电缆试样上做一项以上的试验,试验顺序应由制造厂决定。若第二项或紧接的试验不符合要求,未通过的试验应在新的电缆试样上重复进行,且此重复试验的结果应只对试验结果的最终评价有效。

对于电气试验,此电缆试样或多个试样应安装合适的终端头,试验装置最高点的油压应保持在 1.6.1 所述的最小值,偏差为 $+25\%$ 。若是三芯电缆,电气试验应只在一根线芯上进行。

4.3 介质损耗角正切/温度试验

本试验应在至少 10 m 长的电缆试样上进行。

介质损耗角正切应在额定电压 U_0 下及下列情况下测量：

- a) 在环境温度下, 电缆温度应不得高于 25 ℃；
- b) 使用附录 A 所述的一种加热方法将电缆导体温度加热到不超过其最高允许温度 5 ℃后；
- c) 冷却期间, 在约 60 ℃和 40 ℃导体温度下；
- d) 冷却到环境温度后立即进行。

整个试验期间(即在所有 5 种温度条件下), 介质损耗角正切应不超过表 7 对于纸绝缘电缆或表 8 对于聚丙烯复合纸绝缘电缆的试验电压 U_0 的规定值。

4.4 绝缘安全试验

按 3.2.1 弯曲试验后, 应在电缆试样的导体与线芯屏蔽之间连续施加工频试验电压 24 h; 不包括终端头在内, 试样应至少 10 m 长, 试验应在环境温度下进行。试验电压值应为(见表 9):

- $2.5U_0$, 适用于 U_0 不超过 87 kV 的电缆;
- $1.73U_0 + 100$ kV, 适用于 U_0 超过 87 kV 的电缆。

试验过程中绝缘不应击穿。

4.5 雷电冲击电压试验

4.5.1 概述

雷电冲击电压试验应在已经按 3.2.1 的条件和步骤做过弯曲试验的电缆试样上进行。

若试样组合包括接头, 见 7.2 规定。冲击电压试验后, 电缆试样应按 4.5.4 进行交流电压试验。终端套管底板之间电缆的最小长度应为 10 m。

4.5.2 试验步骤和要求

雷电冲击电压试验应在试样按 4.5.3 的要求加热后进行。

电缆应在试验温度下至少保持 2 h, 然后在电缆的一根线芯的导体和线芯屏蔽间应施加规定的雷电冲击试验电压的峰值 10 次正极性和 10 次负极性冲击。

雷电冲击试验电压的峰值应不低于表 4 的规定值。

冲击电压发生器的校正和详细的试验步骤应按 GB/T 3048.13—2007 要求。

试验期间, 电缆绝缘不应击穿。

表 4 冲击电压试验的规定电压值(峰值)

电缆额定电压/kV	雷电冲击试验电压/kV	操作冲击试验电压/kV
66	450	—
110	550	—
220	1 050	—
330	1 175	950
500	1 550	1 175

4.5.3 试验温度

试验温度应是最高连续运行温度, 偏差为 +5 ℃。

制造厂可选择附录 A 中任何一种加热方法。

4.5.4 冲击试验后的交流电压试验

4.5.2 所述的试验完成后, 试样应由制造厂决定在环境温度下或在冷却过程的任何温度下进行工频高压试验。

试验应按 2.5 规定进行。电缆绝缘不应击穿。

4.6 操作冲击电压试验

操作冲击电压试验在雷电冲击试验之前进行。

电缆试样按 4.5.3 加热,试验温度达到电缆最高连续运行温度,偏差为 $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$,保持 2 h。

然后施加表 4 规定的操作冲击试验电压(峰值)正、负极性各 10 次。

绝缘应不击穿。

4.7 铅套和加强层液压试验

弯曲试验以后,取 5 m 长试样放置在槽钢或角铁上,每隔 1 m 予以固定,电缆两端头应加固。一端接压力表,一端接水压泵逐渐加液压至 2 倍设计最高压力,铅套应不开裂。

4.8 外护层沥青滴出试验

如电缆外护层有沥青,应从成品电缆上取 300 mm 长试样,试验前将试样两端 40 mm 的外护层剥除到金属套为止。清除金属套上的沥青残余物后,将试样水平放置于恒温烘箱内,在温度 $70\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下经 4 h,沥青涂料应不滴出。

4.9 挤包外护套刮磨试验

试样经 3.2.2 规定的弯曲试验后,应按 JB/T 10696.6—2007 进行刮磨试验。

把经过刮磨试验的试样,在室温下浸入 0.5%(质量比)氯化钠和大约 0.1%(质量比)非离子型表面活性剂水溶液中至少 24 h,铜带和铅套焊在一起作为负极,在铅套和盐溶液之间施加直流电压 20 kV 历时 1 min。然后按表 5 施加雷电冲击电压,正负极性各 10 次。试样应不击穿。

表 5 挤包外护套雷电冲击电压试验的规定电压值(峰值)

电缆额定电压/kV	雷电冲击试验电压/kV
66	37.5
110	37.5
220	47.5
330	62.5
500	72.5

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

4.10 铝套腐蚀扩展试验

试验按 JB/T 10696.5—2007 的规定进行。

5 附件的例行试验

5.1 概述

5.2 和 5.3 规定的试验应在按合同有关条款供应的每个附件上进行。

5.2 接头和终端套管组件

每个接头和终端套管部件,如瓷套和带焊缝的部件,应在环境温度下以二倍设计最大静压力(见 1.6.1)进行 15 min 液压试验,试验结果不应发生渗漏。

注:若设计压力超过 800 kPa,由制造厂和买方协商,试验压力可小于二倍设计最大静压力;但绝不能小于 1 600 kPa(所述压力为表压)。

5.3 压力箱——液压试验

应在环境温度下对所有压力箱施加相当于 1.1 倍压力箱的设计最大静压力的液压,若外保护层有可能掩盖存在渗漏,则此试验应在施加外保护套之前进行。

加压 8 h 后,应无渗漏可见。

5.4 压力表

如果压力表制造厂提供试验证书,则本试验可不做。每个垂直安装的压力表应在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温

度下做满刻度试验,随着升压和降压取其读数。

在最大表值刻度的10%以上及90%以下任一点的压力指示误差,应不大于最大刻度的1%,对其余刻度范围应不大于最大刻度的1.5%。

上述试验后,压力应升到最大表值读数以上25%,然后立即降到零。

然后,压力表应按照本条前二段规定的步骤重新进行精度试验。

5.5 报警压力表

如果压力表制造厂提供试验证书,则本试验可不做。电接点压力表的触发压力应进行校验,其与标准设定值的偏差应不大于满刻度值的±2%。

6 附件的特殊试验

6.1 压力箱——压力/体积(供油特性)试验

本试验应对合同中压力箱数的10%进行,但在任何情况下不能少于二只。在完成5.3规定的试验后,应检查压力箱的压力/体积特性(供油特性)。

压力/体积特性(供油特性)定义为压力为横座标和压力箱可供油的体积为纵座标的曲线。这一曲线在规定温度(例如20℃)和压力上下限之间(例如30 kPa和180 kPa表压之间)有效(所述压力为表压)。

试验应按下述步骤进行:

向压力箱中注油,使其达到压力上限。然后使其一直运行在相同的给定温度下,连续放出计量体积的油,同时记下相应的压力值,直至达到压力下限。

如此得到的油体积应不低于该种被试压力箱的特性曲线所代表的标称值的90%。

7 附件的型式试验

7.1 概述

7.3和7.4规定的试验,旨在证明基本的附件设计具有令人满意的性能特性,符合规定要求。若一项试验或若干试验过去已经在与合同中附件“类同设计”的附件上做过,并且制造厂对此提供了等效的证书,则某项试验或所有试验可以不做。

“类同设计”定义为一种附件与合同附件相比具备下列每项试验的如下特性(除非另有规定,允许有5%的偏差)。

——绝缘安全试验(见7.4):

- a) 额定电压 U_0 。在±10%以内;
- b) 相同线芯数;
- c) 电缆最高允许导体温度相同或较高;
- d) 最低允许油压相同或较低;
- e) 一般结构和电气设计类同;
- f) 电缆导体直径相同或较大;
- g) 电缆导体形状类同;
- h) 电缆绝缘材料相同(即纸或聚丙烯复合纸);
- i) 附件绝缘材料相同(即纸或聚丙烯复合纸);

——雷电冲击电压试验(见7.3)和操作冲击电压试验(适用时,见7.5):

与对绝缘安全试验规定的一样,但有下列附加要求:

- j) 附件已经在等于或大于 U_0 和 U_1 (适用时)的电压下做过试验。

7.2 试验要求

用作试验的电缆段,通常应是在装置中与附件相连的电缆试样。然而,若经买方和制造厂协商同

意,亦可以是额定电压等级较高的电缆。在前一种情况下,若电缆完全符合 4.4 和 4.5 的要求,且相邻附件端部之间的电缆长度不小于 5 m,则试验对电缆和附件应认为都有效。

7.3 雷电冲击电压试验

雷电冲击电压试验应按 4.5.2 和 4.5.3 进行,需控制电缆最热点的温度,而不是附件的温度。

试验装置的任何部分应不击穿,终端套管应不闪络。若防闪络用角形件或环不是被试设备的组成部分,则试验前可以移去。

7.4 绝缘安全试验

应进行 4.4 规定的绝缘安全试验。试验装置的任何部分应不击穿,终端套管应不闪络。

7.5 操作冲击电压试验

操作冲击电压试验应按 4.6 进行。

对终端套管应在湿状态下进行冲击试验。

试验装置的任何部分应不击穿,终端套管应不闪络。若消弧角与消弧环不是被试设备的组成部分,则试验前可以移去。

7.6 终端的无线电干扰试验

终端的无线电干扰试验应按照 GB/T 11604—1989 进行,并符合要求。

8 安装后的试验

8.1 概述

为完成合同,安装后的电缆线路应进行 8.1~8.5 所述的液压和电气试验。

8.2 油流动试验

试验方法及要求参见附录 B。

8.3 浸渍系数试验

试验方法及要求参见附录 C。

8.4 高电压试验

系统充油达到其设计油压后,应对电缆、接头以及终端组成的一个完整回路进行直流试验。电压应施加在每一导体和屏蔽之间,历时 15 min。试验回路应耐受下列电压(见表 9)或规定的雷电冲击电压的 50%(见 1.6.1),取其中较低的值:

- $4.5U_0$, 对于 U_0 不超过 64 kV 的电缆;
- $4U_0$, 对于 U_0 超过 64 kV 但不超过 127 kV 的电缆;
- $3.5U_0$, 对于 U_0 超过 127 kV 但不超过 220 kV 的电缆;
- $3U_0$, 对于超过 220 kV 的电缆。

如果电缆终端插入变压器或封闭式开关中,本试验需要按买方与变压器或开关制造厂,以及电缆承包商之间达成的协议进行。

注:如果发生闪络,电缆线路中可能产生暂态过电压。此暂态电压,如果高于所保证的耐受水平(见 1.6.1),电缆或附件可能被击穿。因此采取一切可能的措施以预防终端及其他设备闪络是很重要的。

8.5 防蚀层试验

绝缘护套系统采用的挤包外护套应按 IEC 60229:2007 第 5 章进行试验。

8.6 油样试验

电缆系统安装完毕,充油达到设计油压,静置 72 h 后,应从电缆终端出线杆放取油样进行试验,其性能应符合下述规定:

- 室温下工频电压击穿强度应大于 50 kV/2.5 mm;
- 油温 $100\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、电场强度 1 kV/mm 时, $\tan\delta$ 应小于表 6 的规定。

表 6 安装后电缆油样的 $\tan\delta$

额定电压/kV	$\tan\delta$
66,110,220	0.005 0
330	0.004 0
500	0.003 5

表 7 纸绝缘电缆的介质损耗角正切试验要求

额定电压 U_0 / kV	不用炭黑纸屏蔽的电缆					用炭黑纸屏蔽的电缆				
	最大介质损耗角正切 $\times 10^{-4}$			最大介质损耗角正切 之 差 值 $\times 10^{-4}$		最大介质损耗角正切 $\times 10^{-4}$			最大介质损耗角正切 之 差 值 $\times 10^{-4}$	
	U_0	$1.67U_0$	$2U_0$	U_0 与 $1.67U_0$ 之 间	U_0 与 $2U_0$ 之 间	U_0	$1.67U_0$	$2U_0$	U_0 与 $1.67U_0$ 之 间	U_0 与 $2U_0$ 之 间
36	35	—	43	—	10	35	—	55	—	24
64	33	—	40	—	8	33	—	45	—	14
127	30	34	—	5	—	30	36	—	7	—
190	28	31	—	4	—	28	34	—	7	—
290	28	31	—	4	—	28	34	—	7	—

注：本表列出的额定电压是 GB 311.1—1997 和 JB/T 8996—1999 推荐值。对于其他额定电压，介质损耗角正切值应由内推法求得。

表 8 聚丙烯复合纸绝缘电缆的介质损耗角正切试验要求

额定电压 U_0 / kV	不用炭黑纸屏蔽的电缆			用炭黑纸屏蔽的电缆		
	最大介质损耗角正切 $\times 10^{-4}$		最大介质损耗角正切之 差 值 $\times 10^{-4}$	最大介质损耗角正切 $\times 10^{-4}$		最大介质损耗角正切之 差 值 $\times 10^{-4}$
	U_0	$1.67U_0$	U_0 和 $1.67U_0$ 之 间	U_0	$1.67U_0$	U_0 和 $1.67U_0$ 之 间
127	14	16	4	14	19	6
190	14	16	4	14	19	6
290	14	16	4	14	19	6

注：本表中列出的额定电压是 GB 311.1—1997 和 JB/T 8996—1999 推荐值。

表 9 推荐用于三相系统的电缆的系统电压和试验电压的标准值

1	2	3	4	5	6	7
系统电压/kV ^a			电缆的试验电压/kV ^b			
标称值 ^c	设备的最高 电压 U_m	电缆的额定 电压 U_0	高电压试验(例行试验)		绝缘安全试验	安装后试验 ^d
			交流	直流	交流	直流
66	72.5	36	82	197	90	162
110	126	64	138	330	160	290
220	252	127	220	530	320	510
330	363	190	325	780	430	665
500	550	290	495	990	600	870

表 9 (续)

1	2	3	4	5	6	7
系统电压/kV ^a			电缆的试验电压/kV ^b			
标称值 ^c	设备的最高电压 ^e U _m	电缆的额定电压U ₀	高电压试验(例行试验)		绝缘安全试验	安装后试验 ^d
			交流	直流	交流	直流
<p>a 亦参见 GB 311.1—1997 和 JB/T 8996—1999。</p> <p>b 第 4、5、6、7 栏中的数值对于 200 kV 及以下的电压,修约到 kV 整数;对于超过 200 kV 的电压,分别修约到尾数 5 kV 或 10 kV 值。</p> <p>c 有效值。</p> <p>d 见 8.4。</p>						

附录 A
(规范性附录)
电缆试样加热方法

A.1 加热方法

通过以下方法将电缆试样缓慢加热到试验温度：

- a) 只加热金属套；
- b) 导体和金属套都加热；
- c) 只加热导体。

在 a) 和 b) 中加热金属套，由制造厂选择可以采用任何(电气或非电气)方法；在 b) 和 c) 中通过电流加热导体。在所有方法中，都可以使用合适的热绝缘材料包覆护套。

A.2 温度的控制

对于上述所有 a)、b)、c) 三种情况：

A.2.1 通过在适当的部位放置热电偶测量金属套的温度。

A.2.2 采用下列方法之一测量导体的温度：

- a) 直接测量导体温度，例如将热电偶放置在油道内(可行时)；
- b) 直接用热电偶测量金属套温度，再加上绝缘的温度差，后者通过计算试验温度下导体损耗和绝缘热阻得到(见 1.6.1)；
- c) (可行时)测量导体直流电阻，并计算导体温度。

附录 B
(资料性附录)
油流动试验

油流动试验是敷设安装以后进行油的自由流通试验,以检验电缆及附件的油道中有否堵塞物存在。

油的流通试验应在电缆线路的每一相上进行。在试验电缆线路下端接上辅助压力箱,上端接上带有阀门及压力表的溢油管。辅助压力箱的压力应调到使在最高端的压力介于0.05 MPa~0.10 MPa范围内。

关闭被试电缆相上工作压力箱阀门,打开辅助压力箱上阀门。

被试电缆相承受试验压力 1 h 后将溢油管上的阀门打开,在获得稳定的射流后,在量筒中注入 0.001 m³ 油,记下油开始溢流到量筒及结束所经过的时间以及辅助压力箱的压力,并按式 B.1 换算成单位时间流出的油的体积 Q(m³/s):

$$Q = 0.394 \frac{(p - 1.02 \times 10^4 h \gamma) r^4}{\eta l} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- p*——在油溢流到量筒期间辅助压力箱的平均过剩压力,Pa;
- h*——经受试验线段一相的上端与下端之间的位差,m;
- γ*——油的密度,t/m³;
- r*——油道半径,m;
- l*——油道长度,m;
- η*——在试验温度下油的黏度,Pa·s。

根据测量结果而得出的油的体积不低于按理论公式 B.1 计算值的 80%。

附录 C
(资料性附录)
浸渍系数试验

浸渍系数 K 是表示绝缘中含气量特性的参数。

浸渍系数测量应在电缆线路的每一相上进行。辅助压力箱及带有阀门和压力表的溢油管与被试电缆相连接,辅助压力箱的压力同附录 B 规定。辅助压力箱接在被试电缆相的上端。

试验时关闭被试电缆相工作压力箱上的阀门,打开辅助压力箱的阀门。在试验压力下 1 h 后将辅助压力箱上阀门关闭,溢油管阀门打开,油放入量筒中。放油完毕后,将溢油管阀门关闭,并恢复电缆线路供油的工作方式。

按式 C.1 计算浸渍系数 $K(\text{MPa}^{-1})$

$$K = \frac{\Delta V}{\Delta p \cdot V} \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

式中:

ΔV ——从试验线路的一相流出的油的体积, m^3 ;

V ——相中含有油的体积, m^3 ;

Δp ——在油流出的开始前及结束后,在该相中的压力之差, MPa 。

K 不大于 $60 \times 10^{-4} \text{MPa}^{-1}$ 。

附 录 D
(资料性附录)

本部分章条编号与 IEC 60141-1:1993 章条编号对照

表 D.1 给出了本部分章条编号与 IEC 60141-1:1993 章条编号对照一览表。

表 D.1 本部分章条编号与 IEC 60141-1:1993 章条编号对照

本部分章条编号	对应的国际标准章条编号
1	1
2.1~2.6	2.1~2.6
2.7	—
3.1	3.1
3.2	3.2
3.3	—
4.1~4.5	4.1~4.5
4.6~4.10	—
5~6	5~6
7.1~7.4	7.1~7.4
7.5~7.6	—
8.1~8.5	8.1~8.5
8.6	—
附录 A	附录 A
附录 B,附录 C,附录 D,附录 E	—

附录 E
(资料性附录)

本部分与 IEC 60141-1:1993 技术性差异及其原因

表 E.1 给出了本部分与 IEC 60141-1:1993 技术性差异及其原因的一览表。

表 E.1 本部分与 IEC 60141-1:1993 技术性差异及其原因

本部分的章条编号	技术性差异	原因
2.7	增加了“电缆油样试验”	保留 GB 9326.2—1988 的内容
3.3	增加了“铅套扩张试验”	保留 GB 9326.2—1988 的内容
4.6	增加了“操作冲击电压试验”	保留 GB 9326.2—1988 的内容
4.7	增加了“铅套和加强层液压试验”	保留 GB 9326.2—1988 的内容
4.8	增加了“外护层沥青滴出试验”	保留 GB 9326.2—1988 的内容
4.9	增加了“挤包外护套刮磨试验”	保留 GB 9326.2—1988 的内容
4.10	增加了“铅套腐蚀扩展试验”	我国高压电缆要求的试验项目
7.5	增加了“操作冲击电压试验”	保留 GB 9326.2—1988 的内容
7.6	增加了“终端的无线电干扰试验”	我国高压电缆要求的试验项目
8.2	增加了“资料性附录 B: 油流动试验”代替“考虑中”	为 GB 9326.1—1988 的内容
8.3	增加了“资料性附录 C: 浸渍系数试验”代替“考虑中”	为 GB 9326.1—1988 的内容
8.6	增加了“油样试验”	保留 GB 9326.2—1988 的内容



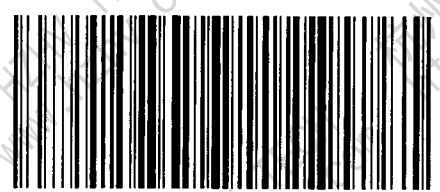
中华人民共和国
国家标准
交流 500 kV 及以下纸或聚丙烯复合纸
绝缘金属套充油电缆及附件
第 1 部分：试验
GB/T 9326.1—2008

*
中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号
邮政编码：100045
网址 www.spc.net.cn
电话：68523946 68517548
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*
开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 37 千字
2008 年 11 月第一版 2008 年 11 月第一次印刷

*
书号：155066·1-33571 定价 20.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话：(010)68533533



GB/T 9326.1—2008