



中华人民共和国国家标准

GB/T 37133—2025

代替 GB/T 37133—2018

电动汽车用高压连接系统

High voltage connection system for electric vehicle

2025-02-28 发布

2025-02-28 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 一般要求 2

4.1 外观 2

4.2 结构 2

4.3 工作环境 3

4.4 系统中的部件 3

4.5 材料和镀层 3

4.6 保护匹配 3

5 技术要求 3

5.1 耐电压 3

5.2 绝缘电阻 4

5.3 绝缘配合 4

5.4 载流能力 4

5.5 温升 4

5.6 短时低倍电流过载 4

5.7 瞬时高倍电流过载 5

5.8 防护等级 5

5.9 低温贮存 5

5.10 高温贮存 5

5.11 耐盐雾 5

5.12 耐化学试剂 5

5.13 振动 5

5.14 高温耐久 5

5.15 温度快速变化 5

5.16 防凝露 6

5.17 湿热循环 6

5.18 冰水冲击 6

5.19 混合气体腐蚀 6

5.20 机械冲击 6

5.21 耐臭氧(适用时) 6

5.22 跌落(适用时) 6

5.23 低气压 6

5.24 耐紫外线 6

5.25 阻燃 6

5.26 禁限用物质 7

5.27 电磁屏蔽效能 7

6 试验方法 7

6.1 一般试验条件 7

6.2 外观和结构 7

6.3 耐电压 7

6.4 绝缘电阻 7

6.5 绝缘配合 7

6.6 载流能力 8

6.7 温升 8

6.8 短时低倍电流过载 8

6.9 瞬时高倍电流过载 8

6.10 防护等级 8

6.11 低温贮存 8

6.12 高温贮存 8

6.13 耐盐雾 8

6.14 耐化学试剂 8

6.15 振动 8

6.16 高温耐久 8

6.17 温度快速变化 9

6.18 防凝露 9

6.19 湿热循环 9

6.20 冰水冲击 9

6.21 混合气体腐蚀 9

6.22 机械冲击 9

6.23 耐臭氧(适用时) 9

6.24 跌落(适用时) 9

6.25 低气压 9

6.26 耐紫外线 9

6.27 阻燃 9

6.28 禁限用物质 10

6.29 电磁屏蔽效能 10

7 检验规则 10

7.1 检验分类	10
7.2 出厂检验	10
7.3 型式检验	10
附录 A (规范性) 高压连接器的要求	12
A.1 结构	12
A.2 可燃性	12
A.3 可插拔连接器的插拔要求	12
A.4 可插拔连接器的电气要求	13
A.5 可插拔连接器的性能要求	14
A.6 可插拔连接器的环境适应性要求	14
A.7 检验分组	15
附录 B (规范性) 高压电缆的要求	17
B.1 高温压力	17
B.2 热老化	17
B.3 抗延燃	17
B.4 其他要求	18
附录 C (资料性) 高压连接系统中软铜排的要求	19
C.1 表面质量	19
C.2 平面度	19
C.3 剥离强度	19
C.4 耐折弯	19
C.5 热老化	19
附录 D (资料性) 典型连接器固定端安装尺寸	20
D.1 对插式连接器	20
D.2 集成式贯通连接器	22
附录 E (资料性) 典型连接器固定端界面结构尺寸	25
附录 F (资料性) 高压连接系统电磁屏蔽效能测量方法	28
F.1 三同轴法	28
F.2 线注入法	29
F.3 三同轴法(屏蔽衰减)	32
参考文献	35

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。

本文件代替 GB/T 37133—2018《电动汽车用高压大电流线束和连接器技术要求》，与 GB/T 37133—2018 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了材料和镀层等要求(见第4章)；
- b) 增加了绝缘配合、载流能力、电流过载等电气性能要求，增加了高温耐久、温度快速变化、防凝露、湿热循环、冰水冲击、混合气体腐蚀、机械冲击、耐臭氧、跌落、低气压、耐紫外线、阻燃等环境适应性要求(见第5章)；
- c) 增加了相应的试验方法(见第6章)；
- d) 更改了检验规则中的型式检验要求(见第7章，2018年版的第10章)；
- e) 增加了连接器的接触电阻、电流循环、极性和编码、软电缆及其连接、屏蔽环保持力、接触件保持力、动态密封、低温操作等要求(见附录A)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国汽车标准化技术委员会(SAC/TC 114)归口。

本文件起草单位：中国汽车技术研究中心有限公司、华为数字能源技术有限公司、深蓝汽车科技有限公司、比亚迪汽车工业有限公司、苏州智绿科技股份有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、中汽研新能源汽车检验中心(天津)有限公司、中航光电科技股份有限公司、河南天海电器有限公司、深圳市沃尔新能源电气科技股份有限公司、安费诺精密连接器(深圳)有限公司、中国汽车工程研究院股份有限公司、菲尼克斯(中国)投资有限公司、北京新能源汽车股份有限公司、弗迪动力有限公司、深圳巴斯巴科技发展有限公司、威凯检测技术有限公司、南京康尼新能源汽车零部件有限公司、苏州汇川联合动力系统股份有限公司、苏州瑞可连接系统股份有限公司、浙江金桥铜业科技有限公司、宇通客车股份有限公司、小米汽车科技有限公司、长城汽车股份有限公司、泰科电子(上海)有限公司、威海市泓淋电力技术股份有限公司、罗森伯格亚太电子有限公司、乐清市八达光电科技股份有限公司、四川康钊威科技有限公司、广州电缆厂有限公司、四川永贵科技有限公司、宁波吉利汽车研究开发有限公司、无锡鑫宏业线缆科技股份有限公司、山东银浦动力科技有限公司、万华化学集团股份有限公司、深圳市越洋达科技有限公司。

本文件主要起草人：夏全飞、周成勇、徐泉、王娇娇、梁维、张亮、陈小亮、何佳、卢胜军、谭泽强、王伟、王国堂、张强、帅强军、李彦、周同昌、张海云、徐平安、海旭强、姜开轩、纪克、张金伟、钱建林、李丹、李晓印、袁昌荣、郑子路、耿文静、李统刚、刘玉峰、向晓东、陈赫、赵斌、崔久德、崔志超、徐扬、张旺威、李荫荣、万中华、周光荣、黄宏图、黎欢乐、曾广健、王文博、邓自星。

本文件于2018年首次发布，本次为第一次修订。

电动汽车用高压连接系统

1 范围

本文件规定了电动汽车用高压连接系统的要求、试验方法和检验规则。

本文件适用于符合 GB 18384—2020 规定的 B 级电压电路的电动汽车用连接系统。连接系统中用于传导 A 级电压电路的部分参考使用本文件。

本文件不适用于电动汽车传导充电连接装置。

本文件不适用于换电接口。

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 2423.8 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Ed:自由跌落

GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Ka:盐雾

GB/T 3956 电缆的导体

GB/T 5095.2 电子设备用机电元件 基本试验规程及测量方法 第 2 部分:一般检查、电连续性和接触电阻测试、绝缘试验和电压应力试验

GB/T 5095.3 电子设备用机电元件 基本试验规程及测量方法 第 3 部分:载流容量试验

GB/T 5095.5 电子设备用机电元件 基本试验规程及测量方法 第 5 部分:撞击试验、静负荷试验、寿命试验和过负荷试验

GB/T 5095.9—1997 电子设备用机电元件 基本试验规程及测量方法 第 9 部分:杂项试验

GB/T 5169.11—2017 电工电子产品着火危险试验 第 11 部分:灼热丝/热丝基本试验方法 成品的灼热丝可燃性试验方法(GWEPT)

GB/T 5585.1 电工用铜、铝及其合金母线 第 1 部分:铜和铜合金母线

GB/T 5585.2 电工用铜、铝及其合金母线 第 2 部分:铝和铝合金母线

GB/T 7762—2014 硫化橡胶或热塑性橡胶 耐臭氧龟裂 静态拉伸试验

GB/T 11918.1—2014 工业用插头插座和耦合器 第 1 部分:通用要求

GB/T 16422.2 塑料 实验室光源暴露试验方法 第 2 部分:氙弧灯

GB/T 16935.1—2023 低压供电系统内设备的绝缘配合 第 1 部分:原理、要求和试验

GB 18384—2020 电动汽车安全要求

GB/T 19596 电动汽车术语

GB/T 25085.2—2024 道路车辆 汽车电缆 第 2 部分:试验方法

GB/T 28046.3—2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第 3 部分:机械负荷

GB/T 28046.4—2011 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第 4 部分:气候负荷

GB/T 28046.5—2013 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第 5 部分:化学负荷

GB/T 30038 道路车辆 电气电子设备防护等级(IP 代码)

GB/T 30512—2014 汽车禁用物质要求

GB/T 43332—2023 电动汽车传导充放电安全要求

ISO 16750-4:2023 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第4部分:气候负荷(Road vehicles—Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment—Part 4: Climatic loads)

3 术语和定义

GB 18384—2020、GB/T 19596 和 GB/T 43332—2023 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高压连接器 high voltage connector

在电动汽车高压电缆间、高压电缆与高压部件间,提供电气连接和分离功能的由一组或多组导体端子和绝缘护套等组成的部件。

3.2

高压连接系统 high voltage connection system

由高压电缆、高压连接器和/或其他导体部件组成的,在电动汽车高压部件间传导 B 级电压的连接装置。

注:高压连接系统还包括如波纹管、热缩管、固定装置、防护管(槽)等辅助部件。

3.3

软铜排 flexible copper busbar

由柔性铜排制成的导体母线。

4 一般要求

4.1 外观

- 4.1.1 高压连接系统的外观上应清晰、牢固地标有产品基本信息。
- 4.1.2 高压连接系统的标记应符合 GB 18384—2020 中 5.1.2 的规定。
- 4.1.3 高压连接系统易触及的表面应无毛刺、飞边及类似尖锐边缘。
- 4.1.4 高压连接系统应无损伤、变形等缺陷。

4.2 结构

4.2.1 正常连接时,高压连接系统的防护等级应满足 IPXXD。若高压连接系统可不通过工具手动断开,则非连接状态的高压连接系统各部分防护等级应满足 IPXXB。

4.2.2 具有高压互锁功能的高压连接系统,系统的功率和信号/控制接触件应满足:

- 高压连接系统连接时,功率接触件先接通,信号/控制接触件后接通;
- 高压连接系统断开时,信号/控制接触件先断开,功率接触件后断开;
- 功率接触件和高压互锁接触件的接触长度有 1 mm 以上的差值。

4.2.3 高压连接系统的电缆压接、螺纹连接、焊接等连接位置,应无松脱、断裂等连接缺陷。

4.2.4 若高压连接系统带有屏蔽层,则连接系统应具有可接地结构。

4.2.5 高压连接系统的连接器完全连接后,接触件有效接触长度应不小于 1 mm。

4.2.6 高压连接系统的各配对连接器连接时,不应发生接触件的损坏或金属壳体、异物导致的不同接触件间非预期导通,密封圈等附件无结构损坏,且无影响功能或性能的位移、变形。

4.3 工作环境

4.3.1 高压连接系统工作环境的温度应满足表 1。

表 1 环境温度

温度分级 ^a	温度范围 ^b	适用位置示例
T1	−40 ℃ ~ +85 ℃	除 T2、T3 外的其他区域或位置
T2	−40 ℃ ~ +105 ℃	乘员舱内阳光直射位置、乘员舱外发热等位置
T3	−40 ℃ ~ +125 ℃	靠近发动机、排气管或其他热源
^a 高压连接系统连接不同温度环境的部件时,应符合较严酷温度分级的相关要求。 ^b 若产品使用位置有其他要求,可协商调整温度范围。		

4.3.2 高压连接系统应符合相对湿度为 5%~95%的工作环境要求。

4.3.3 高压连接系统应符合其安装部位及所连接高压部件的振动环境要求。

4.4 系统中的部件

高压连接系统中,高压连接器部分的要求应满足附录 A,高压电缆部分的要求应满足附录 B,软铜排的要求可参考附录 C。典型连接器固定端安装尺寸可参考附录 D,典型连接器界面结构尺寸可参考附录 E。

4.5 材料和镀层

4.5.1 高压连接系统的材料应满足产品的使用要求。

4.5.2 高压连接系统的电接触界面宜采用相同的镀层种类。

4.5.3 高压连接系统的铜排应符合 GB/T 5585.1 的规定,铝排应符合 GB/T 5585.2 的规定。

4.5.4 高压连接系统中电缆的导体应符合 GB/T 3956 的规定。

4.6 保护匹配

4.6.1 高压连接系统的上下级保护装置之间应满足保护匹配要求,下级负载发生故障时,下级保护装置应优先于上一级保护装置断开。

4.6.2 高压连接系统的电缆和保护装置之间应满足保护匹配要求,保护装置应在电缆损伤前断开。车辆供电回路的保护匹配要求应满足 GB/T 43332—2023 中 6.2.3 和 6.2.4 的要求。

5 技术要求

5.1 耐电压

高压连接系统不同回路导体与导体之间、导体与外壳之间、导体与屏蔽层之间、屏蔽层与外壳之间应能承受规定的电压,无介质击穿或电弧现象。除非另有规定,测试过程中的漏电流应符合表 2 的要求。

表 2 漏电流

导线长度/m	漏电流/mA
<5	≤5
5~<10	≤10
10~<20	≤15
≥20	供需双方协商

5.2 绝缘电阻

高压连接系统不同回路导体与导体之间、导体与外壳之间、导体与屏蔽层之间、屏蔽层与外壳之间的绝缘电阻应不小于 100 MΩ。

5.3 绝缘配合

高压连接系统的绝缘配合应符合表 3 的要求。

表 3 绝缘配合

额定电压 ^a V	电气间隙 ^b /mm		爬电距离 ^c /mm	
	基本绝缘	加强绝缘	污染等级 2	污染等级 3
250	1.5	5.5	1.8	3.6
400	2.0	5.5	2.8	5.6
630	2.5	8.0	4.5	9.0
800	3.0	8.0	5.6	11.0
1 000	4.0	8.0	7.1	14.0
1 250	5.5	9.0	9.0	18.0

^a 当选定的额定电压不在表中时,按照表中较大等级选择。

^b 表中电气间隙数值均按照非均匀电场选定进行选择,数据基于海拔不高于 2 000 m 的场景,当海拔高于 2 000 m 时,应按照 GB/T 16935.1—2023 中表 A.2 对电气间隙进行修正。

^c 表中爬电距离均按照材料组别 II [相比电痕化指数(CTDI)≥400] 选择,也可依据 GB/T 16935.1—2023,二者选其一。

5.4 载流能力

高压连接系统中的载流部件应进行载流能力测试,载流能力曲线可作为产品选型的参考依据。

5.5 温升

除非另有规定,高压连接系统在正常连接工作时,系统各点温升不应大于 55 K。

5.6 短时低倍电流过载

高压连接系统的载流能力应能承受 2 倍额定电流 30 s 的测试,试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2 和 5.5 的要求。

5.7 瞬时高倍电流过载

高压连接系统应能承受 10 倍额定电流 1 s 的冲击测试,试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2 和 5.5 的要求。

5.8 防护等级

高压连接系统完成连接后,系统各连接部位的防护等级应满足表 4 的规定。

表 4 防护等级

密封分级 ^a	防护等级	适用场合示例
S1	IP67 和 IPX6	除 S2 外的其他位置
S2	IP6K9K 和 IPX8	底盘等位置较低处,高压水可到达位置
^a 高压连接系统连接不同使用场景的部件时,系统各部分需要符合相应密封级别的相关要求。		

5.9 低温贮存

高压连接系统应按 4.3.1 规定的温度下限进行低温贮存试验。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2 和 5.8 的要求。

5.10 高温贮存

高压连接系统应按 4.3.1 规定的温度上限进行高温贮存试验。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2 和 5.8 的要求。

5.11 耐盐雾

除非另有规定,高压连接系统应进行耐盐雾试验,试验周期为 96 h。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2 和 5.8 的要求。

5.12 耐化学试剂

高压连接系统应进行耐化学试剂试验。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2 和 5.8 的要求。

5.13 振动

高压连接系统应进行随机振动试验,随机振动的严酷度限值及试验持续时间应符合 ISO 16750-3: 2023 的规定。试验中,对高压连接系统进行电路连续性监测,应无持续时间大于 1 μ s 且电阻大于 7 Ω 的瞬断。试验过程中,对高压连接系统的功率回路施加额定电流,对温升进行记录,不进行考核。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2、5.5 和 5.8 的要求。

5.14 高温耐久

高压连接系统应进行高温耐久试验,试验方法按照 6.16 的规定。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2、5.5 和 5.8 的要求。高温条件下对产品进行绝缘电阻测试,绝缘电阻应不小于 10 M Ω 。

5.15 温度快速变化

高压连接系统应进行温度快速变化试验,测试的严酷度及试验持续时间应符合 6.17 的规定。试验

中,对高压连接系统中非功率回路进行电连续性监测,应无持续时间大于 $1\ \mu\text{s}$ 且电阻大于 $7\ \Omega$ 的瞬断。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2、5.5 和 5.8 的要求。

5.16 防凝露

对于有防凝露要求的高压连接系统,应按照 6.18 进行防凝露试验。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2 和 5.8 的要求。

5.17 湿热循环

高压连接系统应按照 6.19 进行湿热循环试验。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2、5.5 和 5.8 的要求。

5.18 冰水冲击

高压连接系统应按照 6.20 进行冰水冲击试验。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2 和 5.8 的要求。

5.19 混合气体腐蚀

高压连接系统应按照 6.21 进行混合气体腐蚀试验。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2 和 5.8 的要求。

5.20 机械冲击

高压连接系统应按照 6.22 进行机械冲击试验。机械冲击试验应符合 GB/T 28046.3—2011 中 4.2 的规定。试验中,应无持续时间大于 $1\ \mu\text{s}$ 且电阻大于 $7\ \Omega$ 的瞬断。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2、5.5 和 5.8 的要求。

5.21 耐臭氧(适用时)

对于使用了橡胶密封的高压连接系统,橡胶件耐臭氧试验按照 6.23 进行。试验后,橡胶材料应无龟裂等损伤。

5.22 跌落(适用时)

高压连接系统应按照 6.24 进行跌落试验。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2、5.5 和 5.8 的要求;或者,产品有明显可见的不可使用的损伤,如零件的破损、缺失、开裂。

5.23 低气压

对于应用场景海拔超过 2 000 m 的高压连接系统,应按照 6.25 进行耐电压测试。试验过程中,高压连接系统应满足 5.1 的要求。

5.24 耐紫外线

对于存在阳光直射场景的高压连接系统,高压连接系统的塑料材料耐紫外线试验按照 6.26 进行,试验后材料的弯曲强度和冲击强度应不小于试验前的 70%。

5.25 阻燃

高压连接系统应按照 6.27 进行阻燃试验,对连接器和线缆以外的非金属件进行试验,移开火焰后,应满足以下任一要求:

- 样品不燃烧；
- 可以燃烧但火焰在 60 s 内自行熄灭且燃烧距离不大于 50 mm。

5.26 禁限用物质

高压连接系统中所有零部件禁限用物质应符合 GB/T 30512 的要求。

5.27 电磁屏蔽效能

具有电磁屏蔽特性的高压连接系统,屏蔽效能、转移阻抗、屏蔽衰减等要求由供需双方协商。

6 试验方法

6.1 一般试验条件

6.1.1 除非特殊要求,所有试验应在下列环境条件下进行:

- a) 环境温度: $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- b) 相对湿度: 15%~90%;
- c) 大气压力: 86 kPa~106 kPa。

6.1.2 所有测试仪表、设备,其精度应高于被测指标精度至少一个数量级或误差小于被测参数允许误差的三分之一。

6.1.3 试验样品的试验布置应模拟产品的实际使用状态。试验前,高压连接系统中的高压电缆和高压连接器应符合相关型式检验要求,其中,高压连接器的要求见附录 A,高压电缆的要求见附录 B。

6.1.4 本文件规定的试验方法均为型式检验方法。

6.2 外观和结构

对高压连接系统的外观和结构进行检查,确认接触件的接触顺序满足 4.2.3。

6.3 耐电压

应施加以下频率为 50 Hz~60 Hz 的交流试验电压 1 min:

- 如果采取基本绝缘,施加 $2U+1\ 000\text{ V(rms)}$ 的交流电压;
- 如果采取双重绝缘和加强绝缘,施加 $2U+3\ 250\text{ V(rms)}$ 的交流电压。

其中 U 为组件所连接的电路的最大工作电压,单位为伏(V)。

等效直流试验电压是交流电压值的 1.41 倍。

其中,高压互锁接触件与外壳/屏蔽层之间按照 500 V 交流进行。

6.4 绝缘电阻

在高压连接系统的不同回路高压导体与高压导体之间、高压导体与互锁导体之间、高压导体与外壳之间、高压导体与屏蔽层之间,依次测量绝缘电阻,测量回路的直流电压为 $1\ 000\text{ V} \pm 50\text{ V}$ 。在高压互锁导体与外壳之间、高压互锁导体与屏蔽层之间、外壳与屏蔽层之间,依次测量绝缘电阻,测量回路的直流电压为 $500\text{ V} \pm 50\text{ V}$ 。应读取稳定的绝缘电阻数值,如未达到稳定,则应在加压后的 $60\text{ s} \pm 5\text{ s}$ 后读取数值。

除非另有说明,试验后绝缘电阻测试应在试验结束 2 h 内完成。

6.5 绝缘配合

应对自由端、固定端以及插合状态的连接器分别进行测量。测量可以在三维模型上进行,并考虑尺

寸公差。除非另有规定,高压连接器的电气间隙和爬电距离应符合 5.3 的规定。

6.6 载流能力

按照 GB/T 5095.3 中试验方法 5b 测量连接器功率接触件及屏蔽层的载流能力,屏蔽层载流由供需双方协商。截面积 5 mm^2 及以下导线,接线长度不小于 0.5 m ;截面积 5 mm^2 以上导线,接线长度不小于 1.4 m 。

6.7 温升

对高压连接系统进行温升试验,试验不含互锁信号端子。试验电流为系统额定电流值,试验时间按 GB/T 11918.1—2014 中第 22 章的要求。截面积 5 mm^2 及以下导线,接线长度不小于 0.5 m ;截面积 5 mm^2 以上导线,接线长度不小于 1.4 m 。

6.8 短时低倍电流过载

按照 GB/T 5095.3 中试验方法 5a 进行试验,并按照如下步骤:

- a) 对高压连接系统通额定电流至温度稳定;
- b) 将电流提升至 2 倍额定电流,除非另有规定,通流时间 30 s 。

6.9 瞬时高倍电流过载

按照 GB/T 5095.5 中试验方法 10 d 进行试验。过载电流为 10 倍额定电流,持续时间 1 s ,重复次数 1 次。

6.10 防护等级

防护等级试验方法按 GB/T 30038。

6.11 低温贮存

低温贮存试验方法按 GB/T 28046.4—2011 中 5.1.1.1。

6.12 高温贮存

高温贮存试验方法按 GB/T 28046.4—2011 中 5.1.2.1。

6.13 耐盐雾

耐盐雾试验方法按 GB/T 2423.17。

6.14 耐化学试剂

耐化学试剂试验方法按 GB/T 28046.5—2013。

6.15 振动

除非另有规定,振动条件按照 ISO 16750-3:2023,试验过程中全程对高压连接系统的接触对通额定电流并记录温升值,同时进行瞬断测试,温升和瞬断测试可采用不同的样品。

6.16 高温耐久

高压连接系统应在最高温度条件下放置 $1\ 008\text{ h}$,最高温度条件参照高压连接系统产品最高耐温等级,高温状态下的绝缘电阻测量在试验的最后 2 h 进行。除非另有规定,线缆按照不大于 5 倍导线外径

的弯曲半径值布置。

6.17 温度快速变化

高压连接系统应进行 100 个循环的温度快速变化试验,并采用以下细则。

- a) 低温温度: $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$; 高温温度: 最高环境温度; 保持时间: 30 min; 转换时间: $<30\text{ s}$ 。
- b) 除非另有规定, 线缆按照不大于 5 倍导线外径的弯曲半径值布置。

6.18 防凝露

防凝露试验方法按 ISO 16750-4:2023 中 5.6.2.4。

6.19 湿热循环

湿热循环试验按照 GB/T 28046.4—2011 中 5.6.2.2 及 5.6.2.3 的规定, 湿热状态下的绝缘电阻测试在试验的最后 2 h 进行。除非另有规定, 线缆按照不大于 5 倍导线外径的弯曲半径值布置。

6.20 冰水冲击

冰水冲击试验方法按 GB/T 28046.4—2011 中 5.4.3。

6.21 混合气体腐蚀

混合气体腐蚀试验方法按 GB/T 28046.4—2011 中 5.8。

6.22 机械冲击

机械冲击试验方法按 GB/T 28046.3—2011 中 4.2。

6.23 耐臭氧(适用时)

耐臭氧试验方法按 GB/T 7762—2014 中 9.2, 并采用以下细则: 将高压连接系统中橡胶件静置于试验设备内; 试验温度 $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$; 相对湿度 65%; 气流流速 $12\text{ mm/s} \sim 16\text{ mm/s}$; 暴露时间 72 h。

6.24 跌落(适用时)

跌落试验方法按 GB/T 2423.8, 跌落高度 1 m, 单方向跌落 1 次, 跌落次数共 6 次。

6.25 低气压

将高压连接系统置于低气压箱中, 按照 GB/T 16935.1—2023 中表 A.2 设定低气压值, 持续时间 30 min, 在低气压条件下进行耐电压测试。

6.26 耐紫外线

耐紫外线试验按 GB/T 16422.2 中的方法 A, 采用循环 1, 共 500 个试验周期, 试验后对材料的弯曲强度和冲击强度进行测试。

6.27 阻燃

阻燃试验按 GB/T 5095.9—1997 中的试验方法 20a, 应采用以下细则:

- a) 严酷等级: 作用时间为 5 s;
- b) 喷火时, 火焰和水平面夹角 45° , 线缆和水平面夹角 45° 。

6.28 禁限用物质

按照 GB/T 30512 的要求进行试验,优先选用 X 射线荧光光谱法测试。

6.29 电磁屏蔽效能

电磁屏蔽效能试验方法可参考附录 F。高压连接系统表面转移阻抗的测试可采用 F.1 或 F.2,屏蔽衰减的测试可采用 F.3。

7 检验规则

7.1 检验分类

产品检验分出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 高压连接系统应进行产品出厂检验。

7.2.2 高压连接系统产品出厂检验项目均应合格,出厂检验项目见表 5。

7.3 型式检验

7.3.1 高压连接系统型式检验的检验项目、检验顺序见表 5。每组样品数量为 3 个。

7.3.2 高压连接系统所有样品的型式检验项目均应合格。

表 5 出厂检验和型式检验

序号	检验项目	检验要求	检验方法	出厂检验 ^b	型式检验								
					A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	外观和结构	4.1、4.2	6.2	○	1,9	1,8	1,10	1,11	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8
2	耐电压	5.1	6.3	○	2,7	2	2,8	2,9	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6
3	绝缘电阻	5.2	6.4	○	3,8	3	3,9	3,10	3,8	3,7	3,7	3,7	3,7
4	载流能力	5.4	6.6			4							
5	温升	5.5	6.7			5	7	8					
6	短时低倍电流过载	5.6	6.8			6							
7	瞬时高倍电流过载	5.7	6.9			7							
8	防护等级	5.8	6.10		6		6	7	6	5	5	5	5
9	低温贮存	5.9	6.11					4					
10	高温贮存	5.10	6.12					5					
11	耐盐雾	5.11	6.13								4		
12	耐化学试剂	5.12	6.14									4	
13	振动	5.13	6.15				4						
14	高温耐久	5.14	6.16					6					
15	温度快速变化	5.15	6.17							4			

表 5 出厂检验和型式检验（续）

序号	检验项目	检验要求	检验方法	出厂检验 ^b	型式检验								
					A	B	C	D	E	F	G	H	I
16	防凝露	5.16	6.18		4								
17	湿热循环	5.17	6.19						5				
18	冰水冲击	5.18	6.20		5								
19	混合气体腐蚀	5.19	6.21										4
20	机械冲击	5.20	6.22				5						
21	耐臭氧(适用时) ^a	5.21	6.23										
22	跌落(适用时) ^c	5.22	6.24										
23	低气压	5.23	6.25						4				
24	耐紫外线 ^a	5.24	6.26										
25	阻燃 ^c	5.25	6.27										
26	禁限用物质	5.26	6.28										
27	电磁屏蔽效能 ^c	5.27	6.29										
注 1：型式检验方案由供需双方协商。 注 2：在检验项目结束后复检试验时，温升试验选取每组中的 1 个样品进行。 注 3：耐化学试剂项目的样品数量根据需要进行调整。 注 4：除 A 组外，其余各组防护等级测试仅针对第二位特征码进行测试。													
^a 耐臭氧、耐紫外线测试单独分组，针对材料样块独立开展。 ^b 标“○”为出厂检验测试必选项，其他项可根据需求选用。 ^c 跌落、阻燃、电磁屏蔽效能使用独立的样件进行测试。													

附 录 A
(规范性)
高压连接器的要求

A.1 结构

高压连接器配合时,各导体触头应对应唯一的接触触头。
高压连接器在连接状态时应具有保持功能,机械保持机构动作时宜具有声音或视觉提示。

A.2 可燃性

高压连接器的可燃性应满足 GB/T 5169.11—2017 中第 10 章的要求,可燃性试验程序按 GB/T 5169.11—2017 中第 8 章,试验温度为 850 ℃。试验适用于将高压载流部件保持于正常位置的绝缘材料部件。

A.3 可插拔连接器的插拔要求

A.3.1 插接力

高压连接器的直接插接力或采用的助力装置的操作力均应小于 100 N。在进行误插接操作时,施加表 A.1 的插接力,高压连接器不应损坏,接触件不应接触。

表 A.1 插接力

最大持续工作电流/A	插接力/N
≤ 20	100
$> 20 \sim 40$	200
> 40	300

A.3.2 保持力

高压连接器的保持机构在工作状态下,最小保持力见表 A.2 的要求。沿高压连接器接触端子分离方向施加拔出外力时,连接不应断开,且保持机构不应损坏。

注:拔出外力为高压连接器的最小保持力。

表 A.2 高压连接器保持力

最大持续工作电流/A	最小保持力/N
≤ 20	100
$> 20 \sim 40$	150
> 40	500

A.3.3 插拔次数

高压连接器应保证插拔寿命不小于 50 次。根据寿命要求对高压连接器进行空载插拔试验循环,试

验结束后,应满足:

- 无明显的外观、结构和使用功能劣化;
- 插拔力符合 A.3.1 的要求;
- 保持力和保持机构符合 A.3.2 的要求;
- 性能复试满足 5.1、5.2 和 5.5 的相关要求。

A.4 可插拔连接器的电气要求

A.4.1 接触电阻

除非另有规定,高压连接器的各接触对的接触电阻应满足表 A.3 的要求。按照 GB/T 5095.2 中试验方法 2b“规定试验电流法”测量接触件接触电阻,通电电流为器件额定电流的一半。

表 A.3 接触电阻

电流等级/A	试验前接触电阻/mΩ	试验后接触电阻/mΩ
20	2	3
40	1	1.5
80	0.5	0.75
250	0.2	0.3
400	0.15	0.23
接触电阻不应作为产品合格的唯一要求。 其余电流规格可以使用插值法进行规定。 互锁接触件的接触电阻按照对插后回路电阻不超过 30 mΩ		

A.4.2 屏蔽接触电阻

除非另有规定,对于屏蔽层连接器,接触电阻满足表 A.4 的要求。按照 GB/T 5095.2 中试验方法 2a“毫伏法”测量屏蔽层接触电阻。

表 A.4 屏蔽接触电阻

屏蔽接触电阻类型	接触电阻/mΩ
电缆屏蔽层到线束连接器屏蔽层接触电阻	<3
连接器屏蔽层间接触电阻	<4
设备连接器屏蔽层到设备壳体接触电阻	<3

A.4.3 电流循环

高压连接系统应按如下过程进行电流循环试验,试验过程中温升不能超过 55 K,试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2 和 5.8 的要求。

高压连接系统按照通流 45 min、不通流 15 min 为 1 个循环,进行 1 008 个循环的电流循环试验,除非另有规定,通电电流为额定电流,试验过程中温升不应超过 55 K。试验要求如下。

- a) 环境温度:室温。
- b) 导线长度:截面积 5 mm² 及以下导线,接线长度不小于 0.5 m;截面积 5 mm² 以上导线,接线

长度不小于 1.4 m。

- c) 试验过程中持续监测温升、电压降,每个循环的通流和不通流环节至少分别监测 1 次。

A.5 可插拔连接器的性能要求

A.5.1 极性和编码

连接器的极性符合 A.1 的要求。

2 个连接器采用编码防呆时,不同编码的连接器不能对插且不发生非预期的接通。

A.5.2 软电缆及其连接(适用时)

高压连接系统的接线部分应具有可靠的软电缆连接能力,试验后不应出现引起产品性能降低的导线绝缘层位移,高压连接系统应满足 5.1、5.2、5.5 和 5.8 的要求。按照 GB/T 11918.1—2014 中第 23 章的要求进行测试。

A.5.3 屏蔽环保持力

对于使用了压接屏蔽环的高压连接系统,屏蔽环保持力满足如下要求:

- 截面积为 4 mm^2 以下的导线,应不低于 60 N;
- 截面积为 4 mm^2 及以上但不超过 6 mm^2 的导线,应不低于 100 N;
- 截面积为 6 mm^2 以上的导线,应不低于 150 N。

对装配后的屏蔽环施加规定的力,对于内外两层屏蔽环的结构,应确保拉力仅作用于外屏蔽环。

A.5.4 接触件在绝缘体中的保持力

高压连接器的接触件在绝缘体中的最小保持力应不低于表 A.5。沿接触件与绝缘体分离方向施加表 A.5 的最小保持力时,接触件不应从绝缘体中脱出或发生影响产品功能的损坏,且无影响正常操作的轴向位移。

表 A.5 接触件在绝缘体中的保持力

接线截面积/ mm^2	最小保持力/N
$2 \sim < 5$	110
$5 \sim < 8$	175
$8 \sim < 32$	235
≥ 32	450
其余电流规格可使用插值法进行规定	

A.6 可插拔连接器的环境适应性要求

A.6.1 动态密封

对于有密封要求的高压连接系统,应进行动态密封试验。试验中,产品密封不失效。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2 和 5.8 的要求。试验步骤如下:

- a) 将试验样件使用可接气路的密封工装进行装配,形成完整的密封腔体,对连接器进行 5 次完整的插拔操作;
- b) 如图 A.1 所示,将装配密封工装和试验件的试验装置接入可调压力的气源,然后放入盐水溶

- 液中并完全浸没,每升自来水加入 15 g~16 g 的盐和 10 mL 的洗洁精,在加入试验装置前充分混合;
- c) 沿着导线出线方向为轴向,连接器出线尾部端面为平面,将所有导线沿同一方向弯曲 90°,模拟可能的弯曲使用状态,除非另有规定,线缆弯曲半径不大于 5 倍线径;
 - d) 通过外接气路,对试验装置的密封腔体施加 48 kPa 的压力,保持 15 s,并确认是否有气泡产生;
 - e) 保持气体压力不变且试验装置处于液体中,将导线沿平行于连接器尾部端面的方向旋转,除非另有规定,旋转过程中线缆弯曲半径不大于 5 倍线径,旋转速率按照 1 圈/min,共旋转 5 圈,当导线截面积超过 50 mm² 时,旋转操作可以使用 4 个呈 90°方向的摇摆操作进行替代,过程中观察是否有气泡产生;
 - f) 将气体压力调整为-48 kPa,然后重复步骤 e);
 - g) 从水中去除样品,擦干外表面的液体,进行绝缘电阻和耐电压测试;
 - h) 打开连接器,观察液体是否渗透进连接器的内部。

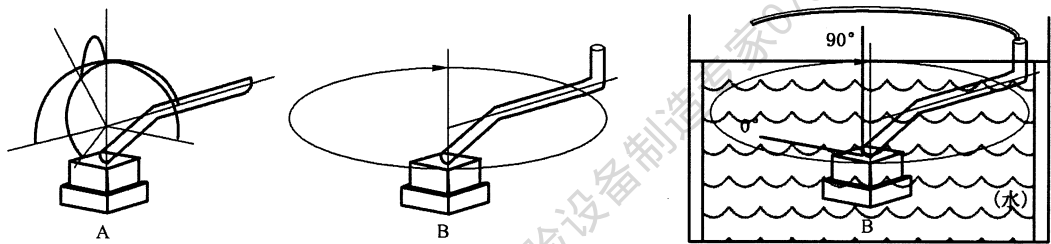


图 A.1 动态密封测试示意图

A.6.2 低温操作

高压连接系统应进行低温操作试验。试验中,连接器能实现顺利插拔,外观无异常,导线不应出现开裂。试验后,高压连接系统应满足 5.1、5.2 和 5.8 的要求。

低温操作试验应在-40℃条件下对连接器进行 5 次完整的插拔操作。连接器应在低温条件持续 8 h,试验中连接器能实现顺利插拔。试验可以在低温箱内进行,如果从低温箱中取出,应在取出后 30 s 内进行插拔循环,且在 3 min 内完成所有 5 次完整插拔操作。

A.7 检验分组

高压连接器型式检验的检验项目、检验顺序见表 A.6。每组样品数量为 3 个。

表 A.6 高压连接器型式检验

序号	检验项目	检验要求和方法	型式检验			
			A	B	C	D
1	结构	A.1	1	1	1	1
2	可燃性	A.2	3			
3	插拔力	A.3.1		3		

表 A.6 高压连接器型式检验（续）

序号	检验项目	检验要求和方法	型式检验			
			A	B	C	D
4	保持力	A.3.2		5		
5	插拔次数	A.3.3		4		
6	接触电阻	A.4.1			2	
7	屏蔽接触电阻	A.4.2			3	
8	电流循环	A.4.3			4	
9	极性和编码	A.5.1		2		
10	软电缆及其连接	A.5.2				2
11	屏蔽环保持力	A.5.3				3
12	接触件在绝缘体中的保持力	A.5.4		7		
13	动态密封	A.6.1		6		
14	低温操作	A.6.2	2			

附 录 B
(规范性)
高压电缆的要求

B.1 高温压力

高压电缆高温压力应按 GB/T 25085.2—2024 的 5.4.5 进行试验,试验温度见表 B.1。试验后按 GB/T 25085.2—2024 的 5.2.4 进行耐电压测试。

表 B.1 高温压力试验温度

温度分级	试验温度/℃
T1	85±2
T2	125±3
T3	150±3

B.2 热老化

B.2.1 240 h 短期老化

高压电缆 240 h 短期老化应符合 GB/T 25085.2—2024 中 5.4.3 的要求,短期老化试验温度见表 B.2。

表 B.2 短期老化试验温度

温度分级	试验温度/℃
T1	110±2
T2	150±3
T3	175±3

B.2.2 热过载

高压电缆热过载应符合 GB/T 25085.2—2024 中 5.4.4 的要求,热过载试验温度见表 B.3。

表 B.3 热过载试验温度

温度分级	试验温度/℃
T1	135±3
T2	175±3
T3	200±3

B.3 抗延燃

高压电缆抗延燃性应符合 GB/T 25085.2—2024 中 5.4.15 的要求。

B.4 其他要求

其他要求宜符合 GB/T 25085.2—2024。

深圳市鼎准电子有限公司 - 连接器&线束可靠性试验设备制造专家 0755-26478771; WWW.SZTOPS.CN

附录 C

(资料性)

高压连接系统中软铜排的要求

C.1 表面质量

- C.1.1 目测焊接端头及侧面无毛刺,无开焊、错位等现象,焊口边缘圆滑过渡无断片、裂痕。
- C.1.2 目测焊接后软带部分无粘连,铜软连接表面光滑,安装孔内无毛刺、变形。
- C.1.3 贴有镍片时,目测其表面应无焊化、起泡、起皮、分层、麻面等现象。
- C.1.4 有热缩套管时,套管热缩均匀,无破损、烧焦等不良现象。

C.2 平面度

平面度测量方法见 GB/T 11337—2004 中 5.4.1,搭接区域平面度应不大于0.2 mm。

C.3 剥离强度

焊接区域的剥离强度应不小于 3 N/mm。

试验方法:将软铜排表面第一层夹持到工装夹具上,使被测层与原始界面保持为 90°,采用不超过 20 mm/min 的拉伸速度进行剥离试验。

C.4 耐折弯

在图 C.1 所示的折弯区域内,折弯角度为 90°,折弯次数为 30 次(每次折弯需达到图示水平位置和竖直位置,但不超过极限位置),折弯后应无裂纹、断片。

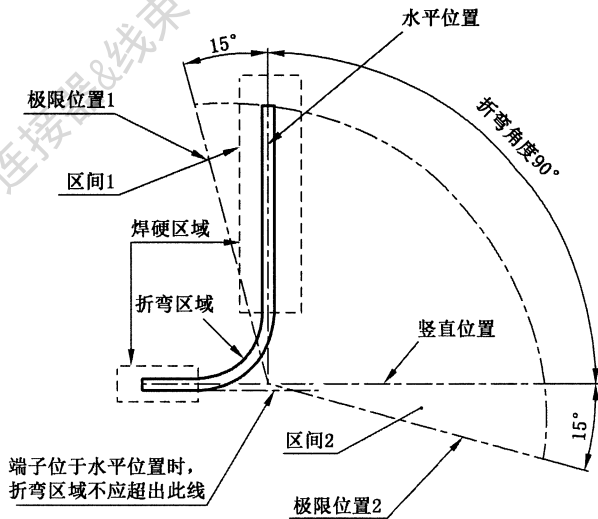
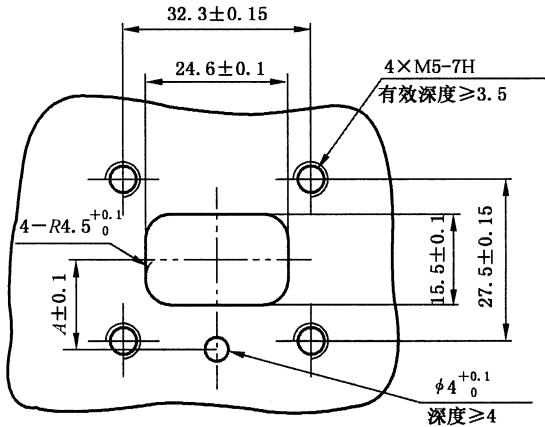


图 C.1 折弯测试示意图

C.5 热老化

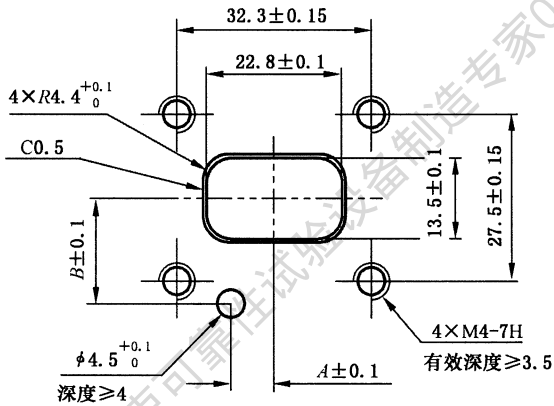
在试验温度为 130 °C 的环境中放置 168 h 后,绝缘层应不出现开裂、融化等异常现象,耐电压符合要求。

单位为毫米



所有装配接触面平面度 ≤ 0.2 , A 的具体尺寸由供需双方协商。

a) 1 型



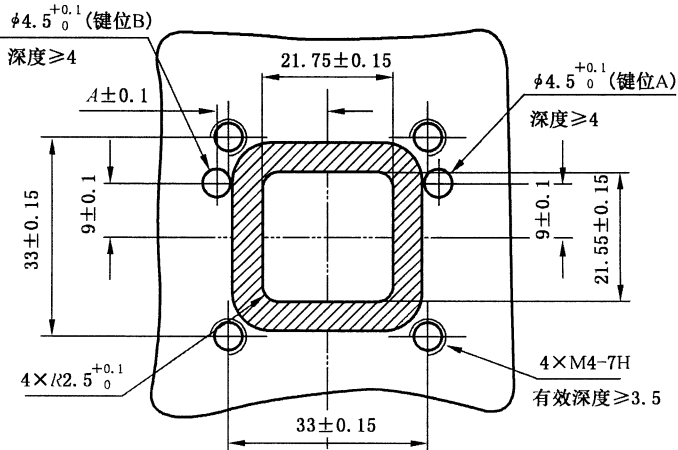
所有装配接触面平面度 ≤ 0.2 , A 和 B 的具体尺寸由供需双方协商。

b) 2 型

图 D.2 2 芯对插式小电流连接器固定端安装尺寸

D.1.3 3 芯对插式小电流连接器固定端安装尺寸见图 D.3。

单位为毫米

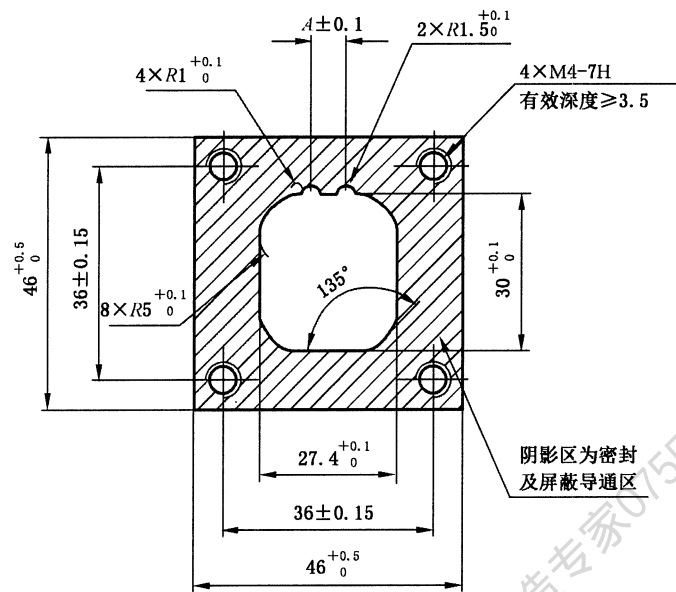


所有装配接触面平面度 ≤ 0.2 , A 的具体尺寸由供需双方协商。

图 D.3 3 芯对插式小电流连接器固定端安装尺寸

D.1.4 4 芯对插式小电流连接器固定端安装尺寸见图 D.4。

单位为毫米

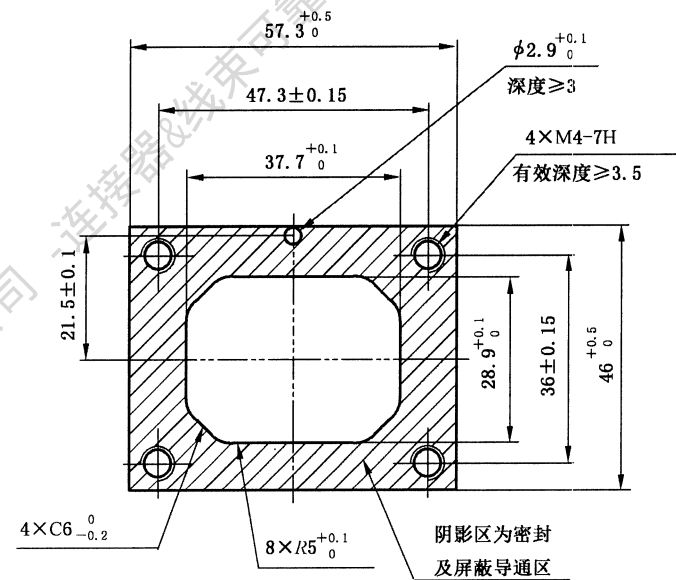


所有装配接触面平面度 ≤ 0.2 , A 的具体尺寸由供需双方协商。

图 D.4 4 芯对插式小电流连接器固定端安装尺寸

D.1.5 6 芯对插式小电流连接器固定端安装尺寸见图 D.5。

单位为毫米



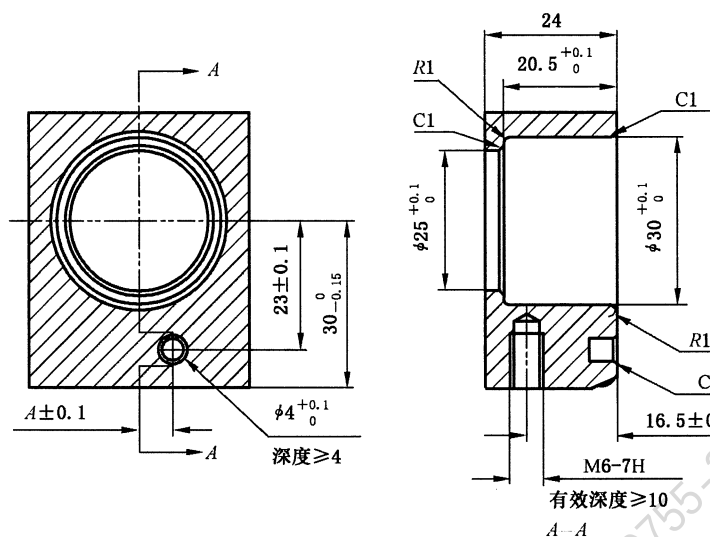
所有装配接触面平面度 ≤ 0.2 。

图 D.5 6 芯对插式小电流连接器固定端安装尺寸

D.2 集成式贯通连接器

D.2.1 单芯集成式贯通连接器固定端安装尺寸见图 D.6。

单位为毫米

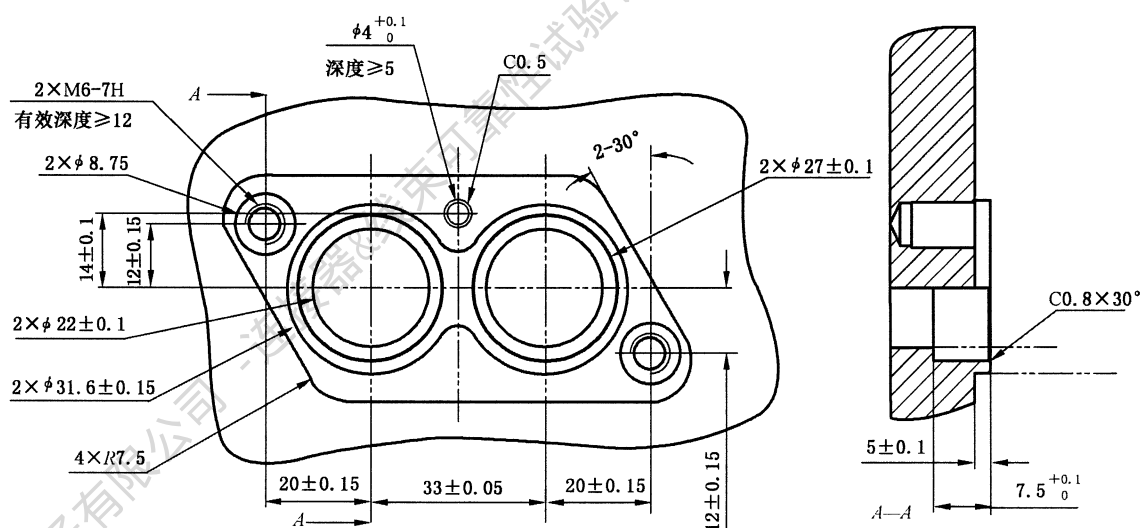


所有装配接触面平面度 ≤ 0.2 , A 的具体尺寸由供需双方协商。

图 D.6 单芯集成式贯通连接器固定端安装尺寸

D.2.2 2 芯集成式贯通连接器固定端安装尺寸见图 D.7。

单位为毫米

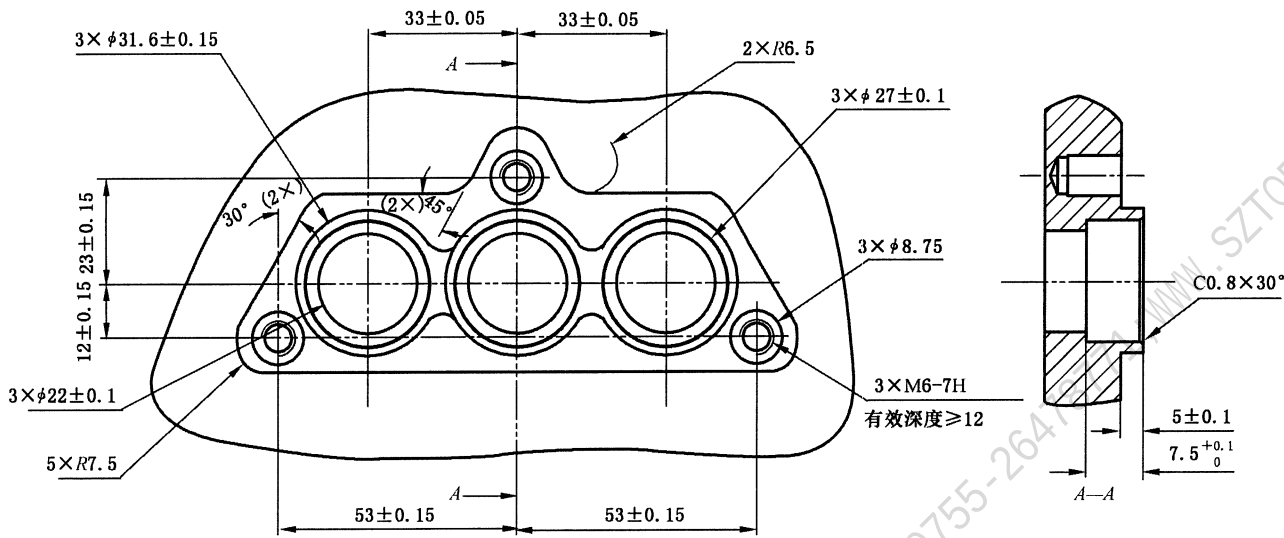


所有装配接触面平面度 ≤ 0.2 。

图 D.7 2 芯集成式贯通连接器固定端安装尺寸

D.2.3 3 芯集成式贯通连接器固定端安装尺寸见图 D.8。

单位为毫米



所有装配接触面平面度≤0.2。

图 D.8 3 芯集成式贯通连接器固定端安装尺寸

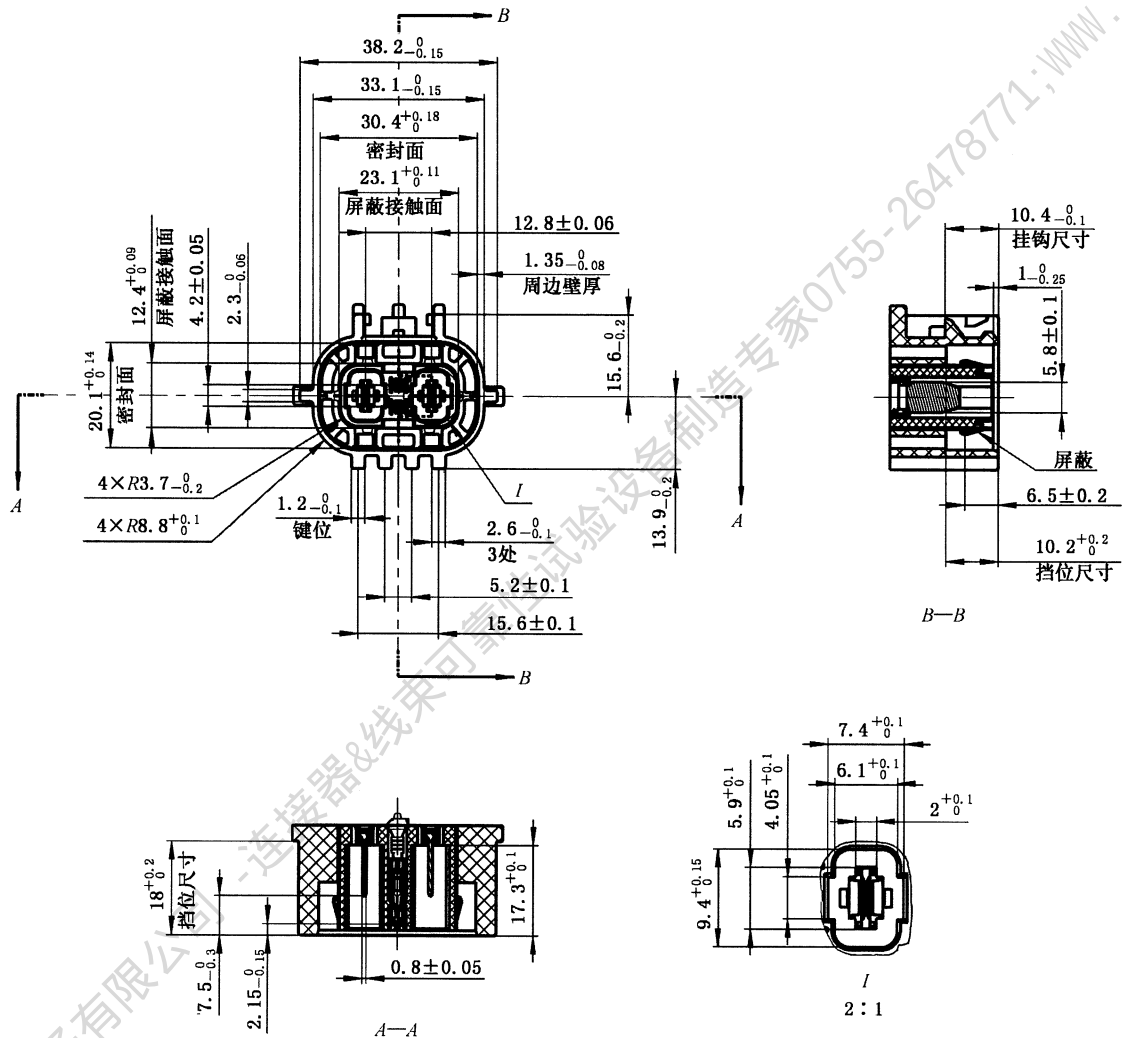
附录 E

(资料性)

典型连接器固定端界面结构尺寸

E.1 2 芯 40 A 小电流连接器固定端界面结构尺寸见图 E.1。

单位为毫米



附录 F

(资料性)

高压连接系统电磁屏蔽效能测量方法

F.1 三同轴法

F.1.1 原理

通过向被测屏蔽电缆芯线注入定量的电流,测试屏蔽层与测试夹具间的耦合电压,或者通过对被测屏蔽线缆的屏蔽层外表面与测试夹具构成的回路注入定量的电流,测试屏蔽层与电缆芯线之间的耦合电压,其耦合电压与注入电流的比值为被测屏蔽线缆的表面转移阻抗。

F.1.2 试验设备

F.1.2.1 射频信号源及接收装置

矢量网络分析仪频率范围至少满足 9 kHz~3 GHz,带宽 100 Hz,其应至少具有两个测试端口及相应的校准器件,并且具备通过测量反射波电压幅度计算阻抗(TDR)的测试功能。

F.1.2.2 阻抗匹配

芯线与屏蔽层之间匹配电阻应采用多个电阻匹配,保证电缆电阻匹配的均匀性。

F.1.2.3 屏蔽制具

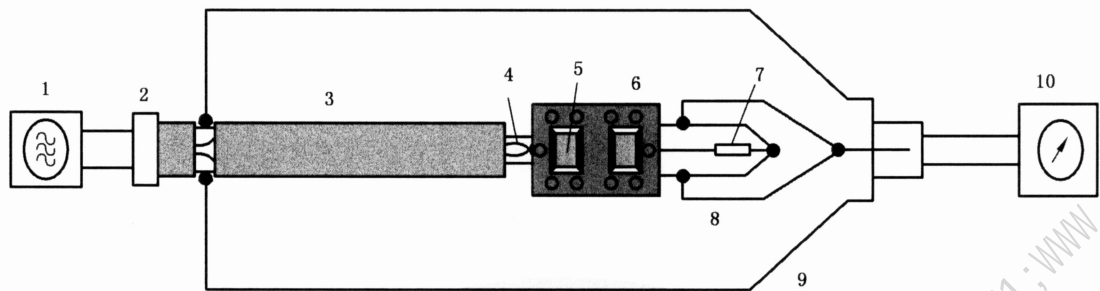
三同轴测试设备见 IEC 62153-4-15:2021 中的要求。

F.1.3 测试要求

F.1.3.1 一般要求

被测样品最大测试耦合长度为 0.83 m,样品布置如图 F.1。

F.1.3.2 测试布置



- 标引序号说明：
- 1 —— 矢量网络分析仪信号输出端；
 - 2 —— 同轴电缆终端，近端；
 - 3 —— 连接屏蔽线缆；
 - 4 —— 屏蔽层；
 - 5 —— 连接器；
 - 6 —— 屏蔽盒；
 - 7 —— 远端， $R_1 = Z_1$ ；
 - 8 —— 屏蔽帽；
 - 9 —— 测试管；
 - 10 —— 矢量网络分析仪信号接收端。

图 F.1 高压连接系统三同轴法测试布置图

F.1.3.3 测试程序

测试步骤如下：

- a) 线缆一端(内回路)连接到矢量网络分析仪信号输出端，外回路连接到矢量网络分析仪信号接收端；
- b) 衰减因子(a_{meas})应在整个频率范围内以对数频率扫描进行测试，测试频率点应与校准频率点相同，计算方法见公式(F.3)；
- c) 由衰减因子可计算得到表面转移阻抗，计算方法见公式(F.1)。

$$Z_T = \frac{(R_1 + Z_0) \cdot 10^{(a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}})}}{2L_c} \dots\dots\dots (F.1)$$

式中：

- Z_0 —— 系统阻抗(通常为 50 Ω)；
- a_{meas} —— 测试过程中的衰减，单位为分贝(dB)；
- L_c —— 高压屏蔽线缆耦合长度，单位为米(m)；
- R_1 —— 内电路终端阻抗，单位为欧(Ω)；
- Z_T —— 表面转移阻抗，单位为毫欧每米($\text{m}\Omega/\text{m}$)；
- a_{cal} —— 校准过程中的衰减，单位为分贝(dB)。

F.2 线注入法

F.2.1 原理

通过把规定的电压和电流施加到线缆的屏蔽层并测试感应电压来获得表面转移阻抗的方法，确高

压连接系统的表面转移阻抗。

F.2.2 试验设备

F.2.2.1 射频信号源及接收装置

矢量网络分析仪频率范围至少满足 9 kHz~3 GHz,带宽 100 Hz,其应至少具有两个测试端口及相应的校准器件,并且具备通过测量反射波电压幅度计算阻抗(TDR)的测试功能。

F.2.2.2 阻抗匹配

芯线与屏蔽层之间匹配电阻应采用多个电阻匹配,保证电缆电阻匹配的均匀性。

F.2.2.3 屏蔽制具

线注入法测试设备见 IEC 62153-4-6:2017 中的要求。

F.2.3 测试要求

F.2.3.1 一般要求

该测试装置应独立布置(无参考接地平面)。通过矢量网络分析仪提供参考地,确保测试布置附近无其他金属物体(最小距离为 20 cm),外部环境不能影响测试结果。远端测试样品布置如图 F.2,近端测试样品布置如图 F.3。

高压连接系统的耦合长度取决于测试的最高频率。如果没有明确的规定,其耦合长度宜为 500 mm,但应不小于 300 mm。

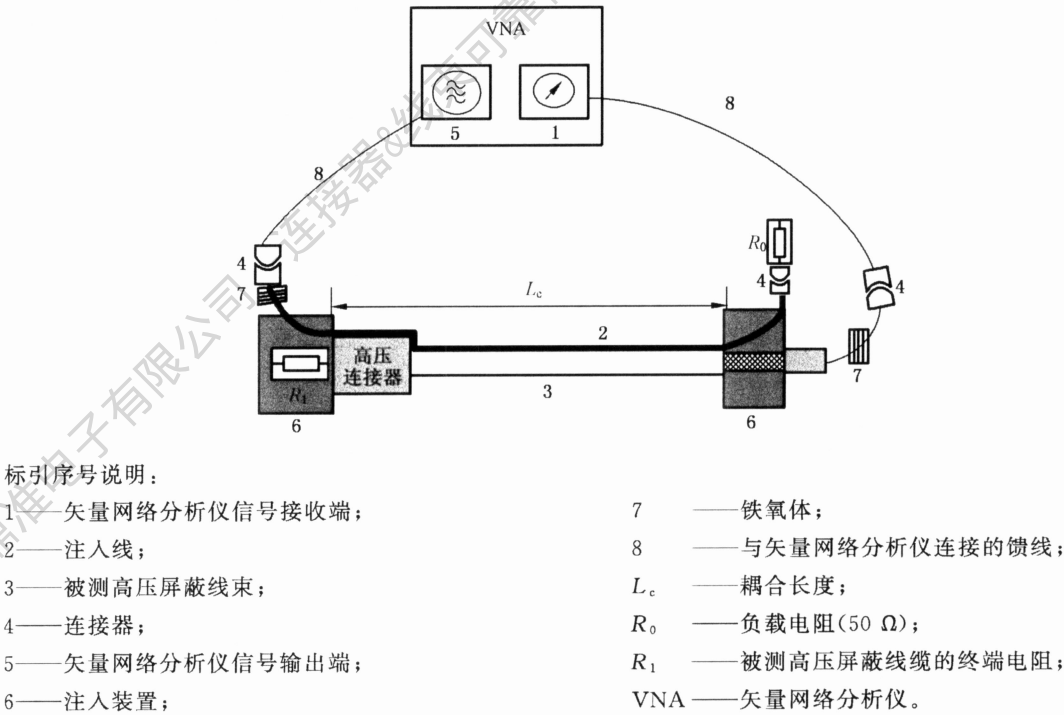
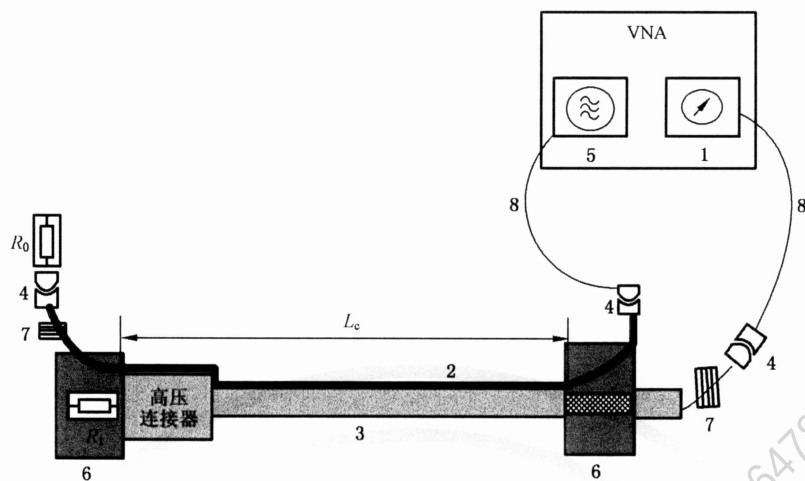


图 F.2 高压连接系统表面转移阻抗远端测试布置——线注入法



- 标引序号说明：
- 1 —— 矢量网络分析仪信号接收端；
 - 2 —— 注入线；
 - 3 —— 被测高压屏蔽线束；
 - 4 —— 连接器；
 - 5 —— 矢量网络分析仪信号输出端；
 - 6 —— 注入装置；
 - 7 —— 铁氧体；
 - 8 —— 与矢量网络分析仪连接的馈线；
 - L_c —— 耦合长度；
 - R_0 —— 负载电阻(50 Ω)；
 - R_1 —— 被测高压屏蔽线缆的终端电阻；
 - VNA —— 矢量网络分析仪。

图 F.3 高压连接系统表面转移阻抗近端测试布置——线注入法

F.2.3.2 测试程序

测试步骤如下。

- a) 高压连接系统的制备。
- b) 注入装置的制备。
- c) 校准：应使用对数频率扫描法测试连接线、注入装置和注入电路的回波损耗。应保存校准数据，以便对测试结果进行修正，校准过程中的衰减计算方法见公式(F.2)。

$$a_{cal} = -20 \cdot \lg(S_{21}) = 20 \cdot \lg \left| \frac{U_{gen, cal}}{U_{rec, cal}} \right| \dots\dots\dots (F.2)$$

- 式中：
- a_{cal} —— 校准过程中的衰减，单位为分贝(dB)；
 - S_{21} —— 散射参数，校准程序中的正向传输系数；
 - $U_{gen, cal}$ —— 校准时信号源的输出电压，单位为伏(V)；
 - $U_{rec, cal}$ —— 校准时接收机的输入电压，单位为伏(V)。
- d) 衰减应在整个频段内优先采用对数频率扫描进行测试，测试频点应与校准频点相同。
 - e) 考虑到注入线不能覆盖整个高压屏蔽线缆的四周，测试结果与注入线位置有关，每测试一次，将注入线沿着被测高压屏蔽线缆以芯线为轴旋转 90°，测试至少 4 个位置，同时确保源线缆与被测线缆的相对位置固定且阻抗匹配。

f) 按照图 F.2 和图 F.3 进行测试布置,测试过程中的衰减计算方法见公式(F.3)。

$$a_{\text{meas}} = -20 \cdot \lg(S_{21}) = 20 \cdot \lg \left| \frac{U_{\text{gen, meas}}}{U_{\text{rec, meas}}} \right| \quad \dots\dots\dots (\text{F.3})$$

式中:

a_{meas} ——测试过程中的衰减,单位为分贝(dB);

S_{21} ——散射参数,校准程序中的正向传输系数;

$U_{\text{gen, meas}}$ ——测试时信号源的输出电压,单位为伏(V);

$U_{\text{rec, meas}}$ ——测试时接收机的输入电压,单位为伏(V)。

g) 由衰减因子可计算得到表面转移阻抗,计算方法见公式(F.4)~公式(F.7)。

$$Z_T = \frac{1}{L_c} \frac{(R_0 + Z_G)(R_1 + Z_R)}{2\sqrt{Z_G Z_R}} 10^{-\frac{A_T}{20}} \quad \dots\dots\dots (\text{F.4})$$

$$Z_G = Z_R = R_0 = Z_0 \quad \dots\dots\dots (\text{F.5})$$

$$Z_T = \frac{(R_1 + Z_0)}{L_c} 10^{-\frac{A_T}{20}} \quad \dots\dots\dots (\text{F.6})$$

$$A_T = a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}} \quad \dots\dots\dots (\text{F.7})$$

式中:

Z_G ——信号源的阻抗,单位为欧(Ω);

Z_R ——接收机的阻抗,单位为欧(Ω);

Z_0 ——具有相同阻抗的系统,与(矢量网络分析仪)端口的阻抗保持一致,单位为欧(Ω);

R_0 ——负载电阻(50 Ω);

R_1 ——被测高压屏蔽线缆的终端电阻,单位为欧(Ω);

a_{meas} ——测试过程中的衰减,单位为分贝(dB);

a_{cal} ——校准过程中的衰减,单位为分贝(dB);

Z_T ——被测高压连接系统的表面转移阻抗,单位为毫欧每米($\text{m}\Omega/\text{m}$);

L_c ——被测高压连接系统耦合长度,单位为分贝(dB)。

在低频时,电容耦合阻抗可忽略不计,有效表面转移阻抗为表面转移阻抗。

F.3 三同轴法(屏蔽衰减)

F.3.1 原理

屏蔽衰减是电气长度较长电缆的屏蔽效率的合判依据,为馈入高压屏蔽线束的功率 P_1 和辐射到外部的峰值功率 P_2 的比值的对数。

F.3.2 试验设备

F.3.2.1 射频信号源及接收装置

矢量网络分析仪频率范围至少满足 9 kHz~3 GHz,带宽 100 Hz,其应至少具有两个测试端口及相应的校准器件,并且具备通过测量反射波电压幅度计算阻抗(TDR)的测试功能。

F.3.2.2 阻抗匹配

芯线与屏蔽层之间匹配电阻应采用多个电阻匹配,保证电缆电阻匹配的均匀性。

F.3.2.3 屏蔽制具

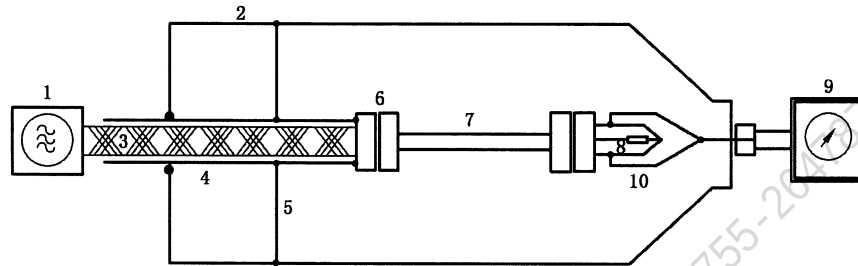
三同轴测试设备见 IEC 62153-4-15:2021 和 IEC 62153-4-7:2021 中的要求。

F.3.3 测试要求

F.3.3.1 一般要求

被测样品根据实际长度进行测试,测试产品为两端连接器带线缆进行测试,不应破坏线束产品和中间线缆,样品布置如图 F.4。

F.3.3.2 测试布置



标引序号说明:

- 1 —— 信号源;
- 2 —— 三同小室;
- 3 —— 测试连接线;
- 4 —— 管中管;
- 5 —— 滑动板;
- 6 —— 测试连接器;
- 7 —— 测试组件(电缆);
- 8 —— 匹配电阻;
- 9 —— 接收机;
- 10 —— 屏蔽帽。

图 F.4 高压屏蔽线束三同轴法测试布置图

F.3.3.3 测试程序

测试步骤如下。

- a) 线缆一端(内回路)连接到矢量网络分析仪信号输出端,外回路连接到矢量网络分析仪信号接收端。
- b) 屏蔽衰减(a_s)应在整个频率范围内以线性频率扫描进行测试,测试频率点应与校准频率点相同,计算方法见公式(F.8)。

$$a_s = -10 \times \lg \left(\text{Env} \left| \frac{P_{r, \max}}{P_1} \right| \right) \quad \dots\dots\dots (\text{F.8})$$

式中:

- a_s —— 屏蔽衰减,单位为分贝(dB);
- P_1 —— 测试程序中的馈入功率,单位为分贝毫瓦(dBm);
- $P_{r, \max}$ —— 测试程序中的周期最大辐射功率,单位为分贝毫瓦(dBm)。

- c) 屏蔽衰减 a_s 应采用归一化值 $Z_s = 150 \, \Omega$ 进行计算,计算方法见公式(F.9)和公式(F.10);

$$a_s = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_1}{P_{r, \max}} \right| = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_1}{P_{2, \max}} \cdot \frac{2 \cdot Z_s}{R} \right| \quad \dots\dots\dots (\text{F.9})$$

$$a_s = \text{Env} \cdot \{ -20 \cdot \lg |S_{21}| + 10 \cdot \lg |1 - r^2| + 10 \cdot \lg \left| \frac{300 \, \Omega}{Z_1} \right| \} \quad \dots\dots (F.10)$$

- a_s ——与 150 Ω 辐射阻抗相关的屏蔽衰减,单位为分贝(dB);
 P_1 ——测试程序中的馈入功率,单位为分贝毫瓦(dBm);
 $P_{r, \max}$ ——测试程序中的周期最大辐射功率,单位为分贝毫瓦(dBm);
 Env ——记录为实测值最小包络曲线的衰减值,单位为分贝(dB);
 R ——发生器阻抗与被测电缆标称特性阻抗之间的反射系数;
 S_{21} ——散射参数,校准程序中的正向传输系数;
 Z_1 ——被试电缆的标称特性阻抗,单位为欧(Ω)。

参 考 文 献

- [1] GB/T 11337—2004 平面度误差检测
- [2] IEC 62153-4-6:2017 Metallic cables and other passive components test methods—Part 4-6: Electromagnetic compatibility (EMC)—Surface transfer impedance—Line injection method
- [3] IEC 62153-4-15:2021 Metallic cables and other passive components test methods—Part 4-15: Electromagnetic compatibility (EMC)—Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation-or coupling attenuation with triaxial cell
-

深圳市鼎准电子有限公司 - 连接器&线束可靠性试验设备制造专家0755-26478771; WWW.SZTOPS.CN