



中华人民共和国国家标准

GB XXXXX—202X
代替GB 8965.4—2022

个体防护装备 防电弧装备 第4部分：服装

Personal protective equipment — Arc-resistant equipment — Part 4: Clothing

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2026年5月）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 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.....	II
引言.....	III
1 范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语和定义.....	5
4 技术要求.....	6
5 测试方法.....	10
6 标识与制造商提供的信息.....	11
附录 A（规范性） 面料电弧防护性能测试方法.....	12
附录 B（规范性） 防电弧服电弧防护性能测试方法.....	26
附录 C（资料性） 电弧危害能量计算方法和示例.....	33
参考文献.....	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。

本文件代替GB 8965.4—2022《防护服装 防电弧服》，本文件与GB 8965.4—2022相比，除结构性调整和编辑性修改外，主要技术变化如下：

- a) 更改了电弧热防护性能值的术语和定义（见 3.6，2022 年版的 3.6），增加了熔融、入射能量、入射能量限值、电弧防护性能值、混合区的术语和定义（见 3.8、3.10、3.11、3.12、3.13），更改了电弧防护等级的术语和定义（见 3.13，2022 年版的 3.9）；
- b) 更改了标识的要求（见 6.1，2022 年版的 6.1）；
- c) 删除了包装的要求（见 2022 年版的 6.2）；
- d) 更改了面料电弧性能测试方法（见附录 A，2022 年版的附录 B）；
- e) 增加了入射能量限值要求和测试方法（见 A.6.7）；
- f) 增加了防电弧服防电弧性能测试方法（见附录 B）。

本文件为GB XXXX《个体防护装备 防电弧装备》的第4部分。GB XXXX已经发布了以下部分：

- 第1部分：头罩和面屏；
- 第2部分：手套；
- 第3部分：鞋套；
- 第4部分：服装。

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应急管理部提出并归口。

本文件所代替文件的历次版本发布情况为：

- 本文件于 2022 年首次发布。
- 本次为首次修订。

引 言

作业人员在电气作业及相关作业场所，可能遭受电弧闪爆后通过辐射导致的热伤害。本文件考虑到人体不同部位所遭受的电弧热伤害协同防护能形成全身防护体系，特编制防电弧装备系列标准。系列标准拟由4个部分构成。

——第1部分：头罩和面屏。目的在于明确在电气作业及相关作业场所中，可能遭受电弧瞬间能量及其热伤害的头部及眼面部防护的头罩和面屏的技术要求。

——第2部分：手套。目的在于明确在电气作业及相关作业场所中，可能遭受电弧瞬间能量及其热伤害的手部防护的手套的技术要求。

——第3部分：鞋套。目的在于明确在电气作业及相关作业场所中，可能遭受电弧瞬间能量及其热伤害的足部防护的鞋套的技术要求。

——第4部分：服装。目的在于明确在电气作业及相关作业场所中，可能遭受电弧瞬间能量及其热伤害的身体防护的服装的技术要求。

个体防护装备 防电弧装备 第4部分：服装

1 范围

本文件规定了电气作业及相关作业场所防电弧服的要求、标识与制造商提供的信息，描述了测试方法。

本文件适用于防护电气作业及相关作业场所中，可能遭受电弧瞬间能量及其热伤害的防护服。

本文件不适用于电气作业及相关场所的绝缘防护服、电磁防护服及带电作业屏蔽服。

本文件不包含防电弧头罩、防电弧面屏、防电弧手套和防电弧鞋套等个人防电弧用品。

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 2912.1 纺织品 甲醛的测定 第1部分：游离和水解的甲醛（水萃取法）
- GB/T 3291.1 纺织 纺织材料性能和试验术语 第1部分：纤维和纱线
- GB/T 3291.2 纺织 纺织材料性能和试验术语 第2部分：织物
- GB/T 3291.3 纺织 纺织材料性能和试验术语 第3部分：通用
- GB/T 3916—2013 纺织品 卷装纱 单根纱线断裂强力和断裂伸长率的测定（CRE法）
- GB/T 3917.3 纺织品 织物撕破性能 第3部分：梯形试样撕破强力的测定
- GB/T 3920 纺织品 色牢度试验 耐摩擦色牢度
- GB/T 3921 纺织品 色牢度试验 耐皂洗色牢度
- GB/T 3922 纺织品 色牢度试验 耐汗渍色牢度
- GB/T 3923.1 纺织品 织物拉伸性能 第1部分：断裂强力和断裂伸长率的测定（条样法）
- GB/T 4669—2008 纺织品 机织物 单位长度质量和单位面积质量的测定
- GB/T 4802.1 纺织品 织物起毛起球性能的测定 第1部分：圆轨迹法
- GB/T 4802.3 纺织品 织物起毛起球性能的测定 第3部分：起球箱法
- GB/T 5296.4 消费品使用说明 第4部分 纺织品和服装
- GB/T 5455—2014 纺织品 燃烧性能 垂直方向损毁长度、阴燃和续燃时间的测定
- GB/T 7573 纺织品 水萃取液pH值的测定
- GB/T 7742.1 纺织品 织物胀破性能 第1部分：胀破强力和胀破扩张度的测定 液压法
- GB/T 8628 纺织品 测定尺寸变化的试验中织物试样和服装的准备、标记及测量
- GB/T 8629—2017 纺织品 试验用家庭洗涤和干燥程序
- GB/T 8630 纺织品 洗涤和干燥后尺寸变化的测定
- GB 8965.1—2020 防护服装 阻燃服
- GB/T 12704.1 纺织品 织物透湿性试验方法 第1部分：吸湿法
- GB/T 12903 个体防护装备术语
- GB/T 17592 纺织品 禁用偶氮染料的测定
- GB 18401—2010 国家纺织产品基本安全技术规范
- GB/T 18885—2020 生态纺织品技术要求

GB 20097 防护服 通用技术规范
 GB 20653 防护服 职业用高可视性警示服
 GB/T 21294 服装理化性能的检验方法
 GB/T 23344 纺织品 4-氨基偶氮苯的测定
 GB 26859 电力安全工作规程 电力线路部分
 GB 26860 电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分
 GB/T 38302—2019 防护服 热防护性能测试方法
 FZ/T 70007 针织上衣腋下接缝强力试验方法
 FZ/T 81007 单、夹服装

3 术语和定义

GB/T 12903、GB/T 3291.1~3291.3界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电弧 electric arc

电流通过某些绝缘介质（例如空气）所产生的瞬间火花和能量。

注：电弧是一种气体放电现象。

3.2

电弧危害 arc hazard

由电弧释放巨大能量引起的对人员造成伤害或者对设备造成损坏。

3.3

防电弧服 arc flash protective clothing

用于保护可能暴露于电弧或相关热危害中人员躯干、四肢的防护服。

3.4

电弧危害能量 arc hazard energy

瞬时电弧电压值乘以瞬时电弧电流值，再乘以电弧释放的增量时间所得到的叠加。

3.5

斯托尔曲线 Stoll curves

一种用于预计达到二度烧伤的时间和热能关系的标准曲线。

注：能量值落在斯托尔曲线上方易造成二度烧伤，而落在斯托尔曲线下方不易引起二度烧伤。

[来源：GB/T 38302-2025, 3.4]

3.6

电弧热防护性能值 arc thermal performance value; ATPV

依据斯托尔曲线，入射到材料上、有50%的可能性使足够的热量穿透试样引起二级烧伤的能量值。

注1：电弧热防护性能值是用来反映材料电弧防护性能的指标之一，单位为卡每平方厘米（cal/cm²）。

注2：电弧危害能量单位英制和公制转换公式为1 cal/cm²=4.184 J/cm²。

3.7

破裂 breakopen

材料上形成一个或多个孔，热能可以通过这些孔穿过材料的一种反应（现象）。

注：当出现任意一个面积大于1.6 cm²或任意方向上长度大于2.5 cm的洞时，样品被认为破裂。横跨开口或孔的单根纱线并不能影响孔洞大小的评价结果。在多层阻燃材料的样品测试中，所有层都破裂才能判定测试结果为破裂。在多层样品的测试中，如果某些层是可燃的，当这些层暴露在外时，判定测试结果为破裂。

3.8

熔融 ablation

在电弧试验中，指多层材料体系中某一层出现明显烧蚀或形成单个及多个大孔洞的物理现象。

注：试样中除最内层以外的任意一层，若材料脱落或形成孔洞面积不小于 16 cm²，或任一方向孔洞长度不小于 8 cm，均判定为发生熔融。孔洞开口处残留的单根纤维丝，在本试验方法中不做孔洞尺寸折减。

3.9

破裂阈能 breakopen threshold energy E_{BT}

入射到材料上、有50%的可能性造成材料破裂的能量值。

注：破裂阈能是用来反映材料电弧防护性能的指标之一，单位为卡每平方米（cal/cm²）。

3.10

入射能量 incident energy E_i

在距离电弧特定距离的单位表面积上所接收的、由电弧产生的热能。

3.11

入射能量限值 incident energy limit $ELIM$

产品所允许的入射能量阈值，在此值以下时，产品的所有响应参数均位于斯托尔曲线下且不会发生破裂。

注1：材料或材料组合的 $ELIM$ 值是通过测试样本数据集计算得出，该数据集同时用于测定ATPV和/或 E_{BT} 。

注2：根据本标准要求，赋予产品的 $ELIM$ 值可能等于或低于其计算值，具体取决于测试样本是否满足额外的视觉设计和性能评估标准。

3.12

电弧防护性能值 arc protection value

进行开放电弧测试时描述产品电弧防护性能的数值。

注：电弧防护性能值可以是ATPV值、 E_{BT} 值或 $ELIM$ 值。

3.13

电弧防护级别 arc rating

由电弧防护性能值确定的电弧防护装备防护能力的高低。

3.14

混合区 mix zone

一个数据点范围，其中测量的入射能量（独立变量X）与二元响应（即值“0”或“1”）（因变量Y）相关联，用于研究材料响应或多个研究参数的组合。

注：当数据点分布中最高入射能量的二元响应为“0”大于最低入射能量的二元响应为“1”时，建立混合区。如果最高入射能量的二元响应为“0”低于最低入射能量的二元响应为“1”，则混合区为空。

4 技术要求**4.1 面料****4.1.1 理化性能**

面料的理化性能应符合表1的要求。表1中未标注“机织物”或“针织物”的技术要求，对所有类型面料均适用。

表1 面料理化性能要求

项 目		指 标	
断裂强力（机织物）/N（洗前，洗后）	单位面积质量 $\leq 200 \text{ g/m}^2$	≥ 300	
	单位面积质量 $> 200 \text{ g/m}^2$	≥ 450	
撕破强力（机织物）/N	单位面积质量 $\leq 200 \text{ g/m}^2$	≥ 25	
	单位面积质量 $> 200 \text{ g/m}^2$	≥ 35	
胀破强力（针织物）/kPa		≥ 200	
透湿量（仅考核单层面料）/[$\text{g}/(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h})$]		≥ 5000	
起球/级		≥ 3	
水洗尺寸变化率（机织物）/%		$-3.0 \sim +3.0$	
松弛尺寸变化率（针织物）/%		$-5.0 \sim +5.0$	
热稳定性/%		≤ 5	
色牢度/级	耐皂洗		$\geq 3-4$
	耐摩擦	干摩擦	$\geq 3-4$
		湿摩擦	≥ 3
	耐汗渍		$\geq 3-4$
甲醛含量/（ mg/kg ）	直接接触皮肤	≤ 75	
	非直接接触皮肤	≤ 300	
pH		$4.0 \sim 8.5$	
可分解致癌芳香胺染料		不得检出	
异味		无	

4.1.2 阻燃性能

面料的阻燃性能在洗涤前和经过5.16规定的洗涤程序洗涤后，应符合表2的要求。如果防电弧服面料为多层组成，则将每一层单独测试。若面料中包含非阻燃功能的功能层，功能层不应有熔融、滴落现象。防电弧阻燃面料应与非阻燃面料分开洗涤，以避免从其他织物上沾染可燃物质。

表2 面料阻燃性能要求

项 目	指 标
续燃时间/s	≤ 2
阴燃时间/s	≤ 4
损毁长度/mm	≤ 100
熔融、滴落	无

4.1.3 电弧防护性能

面料电弧防护性能按照表3中的规定分为四个级别。按照附录A规定进行测试，测试时应同时测试面料的电弧热防护性能值、破裂阈能和入射能量限值（ $ELIM$ ），取电弧热防护性能值、破裂阈能两者中的较低值来判定防护级别，需标注最低值是 $ATPV$ 还是 E_{BT} 。对于电弧热防护性能值或破裂阈能值接近或高于 100 cal/cm^2 ，且不符合斯托尔曲线，应报告 $ELIM$ 值。如果最终确定的 $ATPV$ 或 E_{BT} 高于 100 cal/cm^2 ，则应报告 $ELIM$ 值为 100 cal/cm^2 。

表3 面料电弧防护性能

级 别	面料单位面积质量 g/m ²	电弧热防护性能值（ $ATPV$ ） cal/cm ²	破裂阈能（ E_{BT} ） cal/cm ²
1 级	≤200	$6\leq ATPV<8$	$6\leq E_{BT}<8$
2 级	≤290	$8\leq ATPV<25$	$8\leq E_{BT}<25$
3 级	≤600	$25\leq ATPV<40$	$25\leq E_{BT}<40$
4 级	无要求	$ATPV\geq 40$	$E_{BT}\geq 40$

4.2 里料

如防电弧服使用里料，里料性能应符合表4的规定。里料的阻燃性能在洗涤前和经过5.16规定的洗涤程序洗涤后，应符合表4的规定。

表4 里料性能要求

项 目		指 标
阻燃性能	续燃时间/s	≤2
	阴燃时间/s	≤4
	损毁长度/mm	不应烧通
	熔融、滴落	无
热稳定性/%		≤5
甲醛含量/(mg/kg)		≤75
pH		4.0~8.5
可分解致癌芳香胺染料		不应检出
异味		无

4.3 服装

4.3.1 款式与结构

- 4.3.1.1 防电弧服的款式应简洁、实用，在褂式、下装分离式、衣裤（帽）连体式等款式中选用。
- 4.3.1.2 防电弧服设计时应考虑与防电弧面罩、防电弧头罩、防电弧手套和防电弧鞋罩等个人防护用品的配套兼容性。
- 4.3.1.3 防电弧服及配用的防护用品应完整地覆盖身体暴露区域，服装应为长袖设计以保护整个胳膊。
- 4.3.1.4 防电弧服的设计及连接部位应能保证方便和快速的穿脱，避免紧身设计。
- 4.3.1.5 服装的设计应对使用者在使用和工作中不会造成任何的行动障碍，在不影响设计强度及防护效果的情况下，避免冗余结构，减少外部的带、袪及其它装饰物使用。
- 4.3.1.6 分体式上衣长度应盖住裤子上端 20 cm 以上，领口、袖口采用可调式闭合结构。必须有外衣袋时，袋口应有袋盖或闭合件封口，袋盖长应大于袋口长度 2 cm 以上，闭合件应有防电弧面料遮盖。

4.3.2 号型尺寸

防电弧服的号型尺寸按 GB 20097 规定选定，超出范围部分按档差进行设置。主要部位尺寸极限偏差应符合 FZ/T 81007 的规定，超出规定的部分可以自行确定。

4.3.3 缝制

4.3.3.1 服装各部位缝制线路应顺直，整齐、平服、牢固、松紧适宜，无跳针、断线，起落针处应有回针。

4.3.3.2 缝纫线单线强力不小于 10 N。缝纫线经耐热性测试，应无熔融和烧焦现象。

4.3.3.3 机织物类面料制成的防电弧服，肩缝、袖子与衣身、裤后裆接缝强力应不小于 225 N，其他部分接缝强力不小于 100 N，针织物类服装的裤后裆缝和腋下接缝强力应不小于 74 N。

4.3.4 辅料及附件

4.3.4.1 若使用拉链、钩、扣、粘扣带时，应使用耐高温材料，其表面应加防电弧面料掩襟，设计时应便于连接和解脱。

4.3.4.2 应尽量少使用服装辅件和配饰，若必须使用，面积应尽可能小。若使用金属部件，金属部件不应与身体直接接触或直接外露，其表面应有防电弧面料掩襟。如果使用橡筋类的辅料，辅料包裹布应使用面料。若使用里料或口袋布时，里料和口袋布要求应阻燃、不熔融。

4.3.4.3 使用反光材料或荧光材料时，其材质应是阻燃材料，其阻燃性能应与面料阻燃性能一致，反光材料的逆反射系数应符合 GB 20653 对反光材料的反光性能要求，使用荧光材料的，荧光材料的颜色性能应符合 GB 20653 对基底材料或组合性能材料的颜色性能要求。

4.3.4.4 若使用外露的配件或标识，其基布材料应是阻燃材料。制造商标识采用绣花等工艺的，按 5.19 规定试验时，应无熔融和烧焦现象。

4.3.4.5 防电弧服的领子、挂面、袖头、下摆袂、腰头、袋盖等部位可以敷衬，敷衬部位应不渗胶，按 GB/T 8629—2017 中 4 N 方法水洗 20 次后，不应有起泡、脱层现象。

4.3.5 外观

防电弧服外观应符合 GB 8965.1—2020 中 5.6 的规定。

4.3.6 水洗尺寸变化率

允许洗涤的机织物类面料制成的防电弧服成品水洗尺寸变化率应符合表 5 的规定。

表5 防电弧服水洗后尺寸变化率的要求

部 位	水洗尺寸变化率/%	备 注
领大	-1.0~1.0	只考核立领
胸围	-2.5~2.5	—
衣长	-2.5~2.5	—
腰围	-1.5~1.5	—
裤长	-2.0~2.0	—

4.3.7 电弧防护性能

按照附录B对防电弧服进行电弧防护性能测试,综合外观性能评估,确定防电弧服的电弧防护性能值,与该服装所用面料的电弧防护性能值进行比较,取这两个值中的较低值为服装电弧防护性能值,并进行级别判定。

注1:基于外观性能的要求,防护服装的电弧防护性能可能低于所选用面料的电弧防护性能。

注2:选购和配置防电弧服时,电弧危害能量计算方法和示例见附录C。

5 测试方法

- 5.1 防电弧服面料的单位面积质量按 GB/T 4669—2008 中的方法 5 测试。
- 5.2 面料的断裂强力按 GB/T 3923.1 规定测试。如果防电弧服面料为多层组成,则只测试最外层面料的断裂强力。
- 5.3 面料的撕破强力按 GB/T 3917.3 规定测试。如果防电弧服面料为多层组成,则只测试最外层面料的撕破强力。
- 5.4 面料的胀破强力按 GB/T 7742.1 规定测试,测试面积为 7.3 cm²。
- 5.5 面料的透湿量按 GB/T 12704.1 规定测试。
- 5.6 机织物类面料的起球试验按 GB/T 4802.1 规定测试;针织物类面料的起球试验按 GB/T 4802.3 测试。
- 5.7 面料的尺寸变化率和松弛尺寸变化率按 GB/T 8628 和 GB/T 8630 规定测试,采用 GB/T 8629—2017 中的 4 N 程序,机织物采用悬挂晾干的方式干燥,针织物采用平铺晾干方式干燥。如果使用说明上为轻柔洗涤或手洗,则采用 4 G 或 4 H 程序洗涤,洗涤次数为 1 次。
- 5.8 面料和里料的热稳定性按 GB 8965.1—2020 附录 A 规定,在温度 (180±2) °C 条件下进行测试。
- 5.9 面料的耐皂洗色牢度按 GB/T 3921 规定测试。
- 5.10 面料的耐摩擦色牢度按 GB/T 3920 规定测试。
- 5.11 面料的耐汗渍色牢度按 GB/T 3922 规定测试。
- 5.12 面料、里料的甲醛含量按 GB/T 2912.1 规定测试。
- 5.13 面料、里料的 pH 值按 GB/T 7573 规定测试。
- 5.14 面料、里料的可分解致癌芳香胺染料按 GB/T 17592 和 GB/T 23344 规定测试。
- 5.15 面料、里料的异味按 GB 18401—2010 中 6.7 的规定测试。
- 5.16 面料和里料的阻燃性能按 GB/T 5455—2014 中条件 A 规定的方法测试。如无特殊说明,本文件中面料和里料的洗涤应使用 GB/T 8629—2017 中规定的 A 型标准洗衣机,使用正常搅拌方式洗涤 12.5 h,漂洗 8 h,并悬挂干燥。漂洗过程中应换水两次,每次换水前脱水 2 min。洗涤所用洗衣粉应为中性,pH 值为 7.0~7.5。或使用 A 型标准洗衣机并使用中性洗涤剂按 GB/T 8629—2017 中 4 N 方式洗涤 50 次,并悬挂干燥。如服装注明为不可洗涤的服装,则测试前可不经洗涤预处理。
- 5.17 单层或多层防电弧服面料电弧防护性能按附录 A 规定测试。
- 5.18 缝纫线强力按 GB/T 3916—2013 中方法 A 或方法 B 的规定测试。
- 5.19 缝纫线耐热性能按 GB 8965.1—2020 中 6.19 的规定测试。
- 5.20 防电弧服接缝强力,机织物类服装按 GB/T 21294 规定的方法测试,针织物材料制成的服装接缝强力按 FZ/T 70007 规定的方法测试,测试位置为裤后裆缝和腋下接缝,每个部分各取一个样。
- 5.21 防电弧服外观按 GB 8965.1—2020 中 5.6 的规定测试。
- 5.22 防电弧服水洗后的尺寸变化率按 GB/T 8628 和 GB/T 8630 规定测试,采用 GB/T 8629—2017 中的 4 N 程序洗涤,洗涤次数为 1 次。机织物采用悬挂晾干的方式干燥,针织物采用平铺晾干的方式干燥。
- 5.23 防护服装电弧防护性能按附录 B 规定测试。

6 标识与制造商提供的信息

6.1 标识

6.1.1 每件（套）防电弧服上应有标识，并符合 GB/T 5296.4 要求。耐久性标签上应有图形符号，依据 GB/T 20097，应采用图 1 形式并在图形符号下方标注本文件编号、级别、电弧防护性能值（ATPV 或 E_{BT} ）和 $ELIM$ 值。



GB XXXXX—XXXX

电弧防护性能级别：__级

ATPV或 E_{BT} : __cal/cm²

$ELIM$: __cal/cm²

图 1 防电弧服图形符号

6.1.2 标识应包括但不限于以下内容：

- a) 本文件编号；
- b) 产品名称；
- c) 产品款号；
- d) 号型规格；
- e) 材料组成；
- f) 图形符号；
- g) 电弧防护性能值，性能等级；
- h) 入射能量极限值（ $ELIM$ ）
- i) 生产日期、批次和有效期；
- j) 制造商名称，生产地址。

6.2 制造商提供的信息

制造商提供的信息应包括但不限于以下内容：

- a) 6.1 要求的所有内容；
- b) 材料为本质阻燃织物或后处理阻燃织物的说明；
- c) 有无使用 GB/T 18885—2020 附录 E 中规定的禁用阻燃剂的说明；
- d) 适用及不适用条件；
- e) 使用要求、穿着指导、注意事项；
- f) 保养、储存、洗涤、熨烫说明，不可洗涤服装应注明“不可洗涤”。

附录 A

(规范性)

面料电弧防护性能测试方法

A.1 基本要求

A.1.1 本测试方法旨在测定一种面料或面料组合的电弧防护等级。本测试方法中，测定面料在暴露于电弧闪爆时及闪爆后，透过测试面料的总热量。用铜热量计来测定试样的暴露热能和热交换值。用铜的已知热物理特性来确定传输到和透过试样的各种热能。

A.1.2 通过本测试方法测定的热能传递值是评定面料电弧防护等级的基础。本测试方法所测定的电弧防护等级是在斯托尔曲线模型下，该电弧闪爆能量有50%可能造成人体二度烧伤或面料破裂（测试样品在达到皮肤烧伤预测情况之前出现破裂现象）的能量值。电弧防护性能也可基于测试设备或材料性能的限制或委托要求，表示为入射能量限值（*ELIM*）。

A.1.3 测试面料应按A.5.1中所描述的记录要求，记录测试样品在电弧闪爆时所观察到的情况。

A.1.4 由于电弧闪爆的不确定性，在各传感器上可观察到不同的热传递值。按A.6要求评估各传感器的结果。

A.1.5 本测试方法中，除因电弧闪爆导致样品移动外，样品应保持垂直、稳定。

A.1.6 本检测方法规定了一组标准电弧闪爆参数。不同的电弧闪爆条件下会产生不同的结果。除了标准闪爆情况以外，其它设定的电弧闪爆参数也应记录在检测报告中。

A.2 设备

A.2.1 概述

测试设备由供电电源、测试电路控制系统、数据采集系统、电弧电极、三组双传感器面板和监测传感器组成等。

A.2.2 热量计（传感器）结构

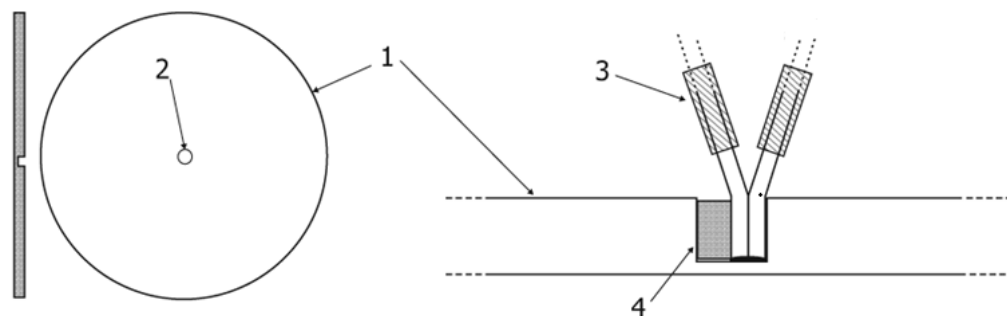
A.2.2.1 热量计应由纯度大于 99.9%的电气用铜制成。铜盘厚度应为 $1.6 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ ，直径为 $40 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ ，质量为 $18 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ 。应测量每个铜盘的厚度、直径和质量，以确定用于热容量计算的每个热量计的实际响应系数。在一组平均质量/面积比在 $\pm 0.008 \text{ g/cm}^2$ 以内的铜盘的情况下，可以使用该组热量计的平均值。

A.2.2.2 应采用接点焊接式 K 型（镍铬-镍铝）热电偶制作热量计，热电偶截面积为 0.05 mm^2 或同等规格，不得超过该规格尺寸。热电偶应按图 A.1 所示安装在铜盘的钻孔内部，钻孔设于铜圆盘中心，钻孔深度 $1.3 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ ，孔径以可容纳裸露热电偶接点为准。热电偶伸入铜盘内部的整段接点须保持完全裸露。可采用铜填充料对热电偶接点进行机械固定，严禁对热电偶进行钎焊/焊接。热电偶线在离开铜盘后应立即分开。

A.2.2.3 放置热量计圆盘的绝缘材料，在 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 及以下温度环境下，导热系数不得超过 $0.23 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 。受材料力学性能限制，绝缘板厚度应不小于 1.3 cm 。绝缘板可为圆形或矩形，尺寸可按实际工况选取，但伸出铜盘边缘的宽度至少为 5 mm 。

A.2.2.4 在绝缘板正面加工出圆形凹槽，用于嵌装铜盘，使铜盘表面与周边绝缘材料表面齐平。支撑

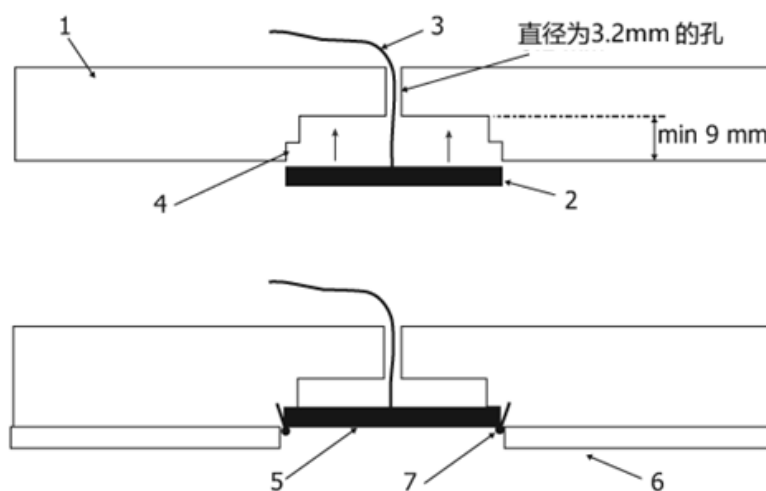
肩厚度应不小于 1.0 mm 且不大于 1.6 mm，即凹槽内径不小于 36 mm、且不大于 38 mm，见图 A.2。凹槽的加工尺寸应保证与铜盘形成过盈摩擦配合（将铜盘安装到位后，将前板翻转过来，铜盘不会掉落）。另配置四根带不锈钢平头的不锈钢短销进行辅助固定，短销截为实用长度（如 5 mm），垂直或略微倾斜敲入绝缘板；短销一半压在铜圆盘上、一半落在绝缘板上，起到限位支撑作用。



标引序号说明：

- 1——铜盘；
- 2——热电偶孔；
- 3——热电偶线；
- 4——铜填充料。

图A.1 热量计结构



标引序号说明：

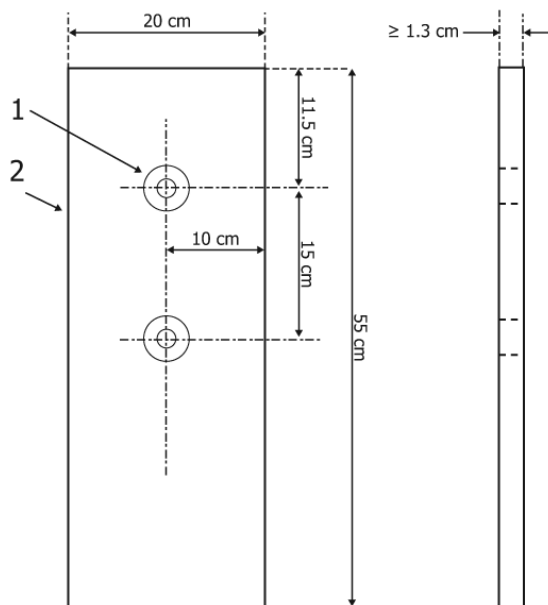
- 1——绝缘材料；
- 2——铜盘；
- 3——热电偶；
- 4——支撑肩；
- 5——铜盘完全插入绝缘板；
- 6——高温隔热板，仅作为监测传感器的保护隔热板，板上开孔尺寸为40.5 mm至42 mm，板厚3 mm；
- 7——不锈钢短销。

图A.2 热量计与热电偶安装详图

A.2.3 双传感器面板

A. 2. 3. 1 每个双传感器面板应由两个传感器、一个绝缘板、织物支撑架、织物夹持机构和两个监测传感器组成。

A. 2. 3. 2 绝缘板尺寸为 $20\text{ cm} \times 55\text{ cm} \pm 1.3\text{ cm}$ ，采用电工级耐热材料制成，在温度不超过 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境下，导热系数不得超过 $0.30\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，绝缘板的前边缘应做圆角处理，形成光滑过渡，以确保织物能够顺畅滑动，如图 A. 3 所示，需将两个传感器嵌入绝缘板的垂直中心线位置，且传感器表面应与绝缘板表面齐平。也可选择将两个铜盘直接安装在绝缘板上，绝缘板应满足 A. 2. 2. 3 的材料性能要求。双传感器面板的结构设计，应确保两根热电偶导线的侧面和背面完全免受电弧闪曝带来的影响（如热、污染）及潜在损坏。



标引序号说明：

- 1——热量计；
- 2——双传感器面板。

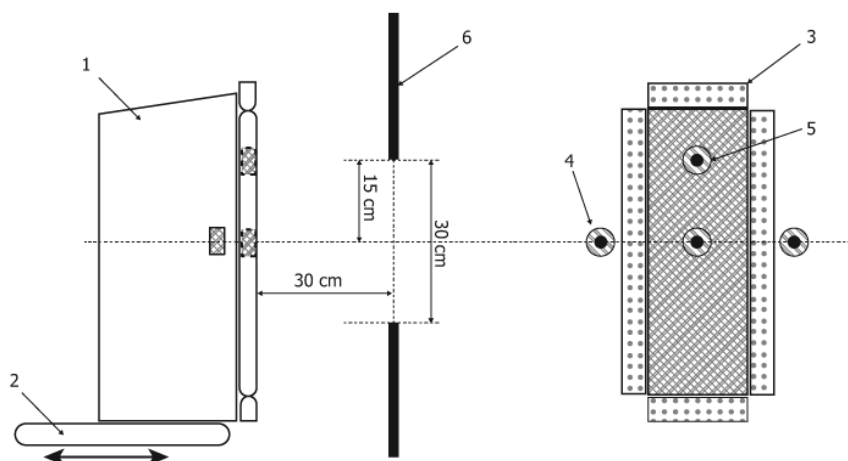
图A. 3 双传感器面板结构

A. 2. 3. 3 应采用支撑架，将面板固定为与电极垂直的状态，并将试样维持在正确的间距与高度。支撑架的示例见图 A. 4。对于面板中不与热量计接触的部分，可采用替代绝缘材料进行制作。支撑架的材质可选用任意合适的、结构稳定且阻燃的材料。

A. 2. 3. 4 监测传感器位于双传感器面板的两侧，用于测量入射能量。监测传感器的尺寸和支撑方式可以根据面板结构进行布置：铜盘的侧面与背面完全被防护，免受电弧事件带来的影响（如热、污染）及潜在损坏。为防止铜圆盘周边的绝缘材料受电弧强高温损坏，可增设薄隔热防护板（耐火薄板）对传感器绝缘材料进行防护。该薄板应具备电绝缘性能，且厚度不得超过 3 mm 。覆盖传感器绝缘材料的隔热防护板，应开设孔径略大于热量计圆盘的通孔（扩径不大于 2 mm ），并按图 A. 2 要求与热量计同心居中布置。该薄隔热板可采用螺钉固定在传感器面板表面，螺钉安装位置距铜盘边缘不得小于 1.5 cm 。

注：使用隔热板有助于最大限度地减少对绝缘材料表面的损坏。硅酸钙绝缘材料可用于传感器结构，因为它具有低导热性、较低的熔化温度，并且在直接暴露于电弧时可能会损坏。

A. 2. 3. 5 在热量计的外表面应喷涂一层热辐射系数大于 0.9 的黑色耐高温油漆涂层。使用前，应对涂层进行干燥，使涂层均匀一致（目测应无表面厚薄不均及厚点），可使用外部热源进行加热以去除残留在涂层表面的有机物，如加热灯。



标引序号说明：

- 1——面板结构支撑架；
- 2——支撑台或底座；
- 3——夹持机构；
- 4——监测器（每个面板各2个）；
- 5——面板上的2个传感器；
- 6——不锈钢焊条。

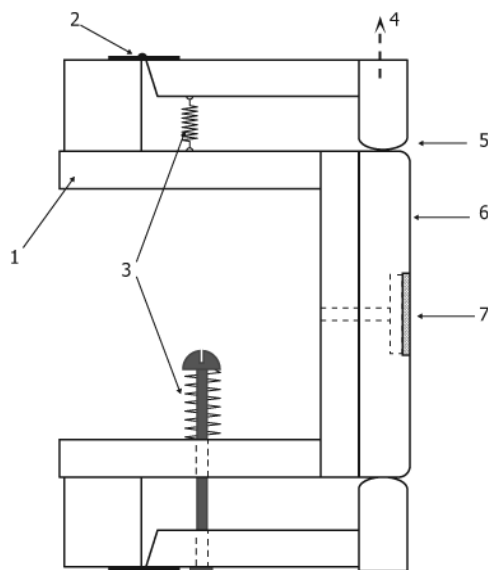
图A.4 支撑架

A. 2. 3. 6 夹持机构，每组双传感器面板应配置四个夹具（每侧各 1 个），用于固定试样位置，典型结构见图 A. 4、图 A. 5。

A. 2. 3. 7 夹具系统应包覆面板整个周边，并允许试样材料在电弧作用过程中自由收缩。

A. 2. 3. 8 每个夹具施加的夹持力应介于 4.4 N~6.7 N 之间，将试样牢靠固定在双传感器面板边缘。

A. 2. 3. 9 其他满足上述功能要求的安装方式，亦可采用。



标引序号说明：

- 1——支撑台；
- 2——支撑机构；

- 3——弹簧布置方式；
 4——弹簧提供作用力；
 5——夹具边缘倒圆角， $r=12\text{ mm}$ ；
 6——双传感器面板边缘倒圆角， $r=12\text{ mm}$ ；
 7——热量计。

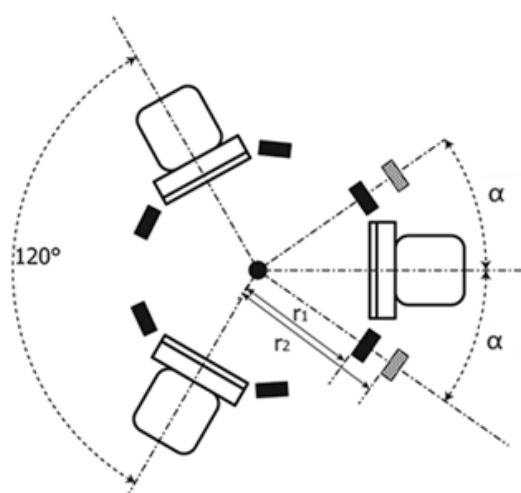
图 A.5 夹持机构

A.2.4 双传感器面板和监测传感器布置

A.2.4.1 每次试验应采用三组双传感器面板组合布置，各面板按 120° 等分间隔布设，面板间距按表 A.1 规定取值，布置形式详见图 A.6。

表 A.1 双传感器面板及监测传感器随入射能量的布设方式

目标入射能量, cal/cm^2	0 ~ 55	>40
双传感器面板位置, mm	305 ± 5	305 ± 5
监测传感器	位置 1	位置 2
电极垂直中心线与监测传感器热量计表面中心之间的距离, mm	$r_1, 340 \pm 5$	$r_2, 410 \pm 5$
面板表面垂线与监测传感器表面垂线之间的夹角 α , °	35^{+5}_0	35^{+5}_0



标引序号说明：

r_1 、 r_2 ——电极垂直中心线与监测传感器热量计表面中心之间的距离。

图 A.6 监测传感器与三组双传感器面板布置方式

A.2.4.2 在每块双传感器面板的两侧应各布设一个监测传感器。监测传感器的布设方向，应垂直于从电极中心线引至监测传感器板面中心的径向连线。自电弧电极中心线出发，引向监测传感器中心的径向线，与引向面板表面中心线的径向线之间的夹角 α ，应按表 A.1 规定的范围进行调整（见图 A.6）。

r_1 、 r_2 应根据不同入射能量取值。

A.2.4.3 应实测监测传感器与双传感器面板的实际距离（ r_1 、 r_2 ），并将该实测值用于入射能量计算的修正系数取值。各面板及监测传感器的实际距离测量精度应为 $\pm 2\text{ mm}$ 。修正系数取监测传感器实际距离与对应布设位置的双传感器面板实际距离比值的平方。

示例：若双传感器面板距离为 305 mm，入射能量监测传感器距离为 340 mm，则入射能量修正系数为： $(340/305)^2=1.24$

A. 2.5 供电母线与电极

A. 2.5.1 供电母线及电弧电极应作为整体结构布置的组成部分；该结构设计用于减小电弧所受电磁作用力，从而使电弧的旋转中心沿两电极之间的中心线居中。含六根导电管框架笼体与电弧电极的典型结构布置如图 A.7 所示。电弧应按图示保持竖直姿态。笼体的供电方式可依据实验室采用的设计方案，选择顶部供电或底部供电。

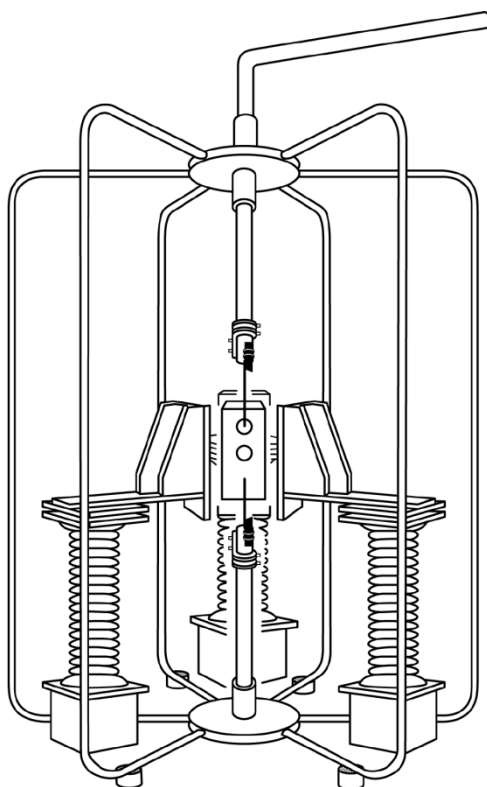


图 A.7 供电母线与电弧电极

A. 2.5.2 笼式结构布置，笼式结构应由导电管材制成（例如铝管、钢管等金属管材），笼体直径应在 2.0 m~2.5 m 之间，体高度不应小于 3 m。

A. 2.5.3 电极应采用直径为 19 mm 的不锈钢（303 型或 304 型合金）棒材。

A. 2.5.4 熔丝，连接两相对电极端头的熔断丝用于引燃电弧，该熔断丝在试验过程中会被烧蚀耗尽。熔断丝应采用直径不大于 0.5 mm 的铜丝。

A. 2.6 供电电源

A. 2.6.1 电源应能满足在 30.5 cm 的间隙产生电弧放电，频率为 50 Hz 的交流电，电弧电流在 $8 \text{ kA} \pm 0.5 \text{ kA}$ ，电弧持续时间应为 1s。测试回路的 X/R（电抗/电阻）比值就是测试电流值，测试电流应包含一个直流分量，使试验电流首个峰值达到对称有效值的 2.3 倍。

A. 2.6.2 电源电压应足以在整个试验期间维持电弧稳定燃烧。实践证明，开路电压不低于 2000 V 即可满足使用要求。

A. 2.6.3 为能够对电弧额定防护能级高达 100 cal/cm^2 的材料开展测试，供电电源应具备 2 s 以上的

电弧持续供电能力。若供电电源仅能产生更短时长的电弧，则仅可对电弧防护能级更低的材料进行试验。

A. 2.7 测试电路控制系统

合闸开关应具备逐次试验间波内 ± 0.5 ms 的精准合闸能力，使合闸相位角能够产生与 A. 2.6 所述试验回路 X/R 比值对应的最大非对称电流。

A. 2.8 数据采集系统

A. 2.8.1 数据采集系统应能记录测试所需要的电压、电流和热量计的数值。

A. 2.8.2 每个热量计的温度数据（热量输出值）采集频率应不小于 20 个/s，采集系统能记录的最高温度应不低于 500℃，精度至少为 $\pm 2\%$ ，最小分辨率为 0.1℃。

A. 2.8.3 监测传感器与面板传感器的温度数据采集，应至少在引燃电弧前 0.1 s 开始，以获取稳定可靠的传感器初始温度；并在电弧引燃后，持续采集不少于 30 s。

A. 2.8.4 电流和电压数据的采集频率应不低于每秒 2 000 个，电流和电压采集系统的精度应至少为 3%。

A. 2.8.5 用于测量电弧电流、电压及量热计信号的所有波形记录仪，其采集起始时刻应保持同步。

A. 2.8.6 数据采集系统保护，本测试方法存在一定破坏性，应在热量计的输出端采取安全保护隔离措施。

A. 3 安全防护措施

A. 3.1 测试设备会释放大量的能量，并且电弧会产生强光。应注意保护工作区域的人员安全，工作人员应处于保护屏障的后方或有一个安全距离，以防止触电和接触到熔融金属。对试验进行直接观察的工作人员需要佩戴相应的防护眼镜。如果测试在室内进行，应有通风系统带走燃烧产生的烟和废气。气流会干扰电弧，会降低热量计表面的热通量，可以用非可燃性材料对试验区域的设备进行遮蔽。户外测试时，应该防止测试样品暴露在潮湿和有风的环境中。测试设备的启动装置应放置在不受电弧闪爆影响的地方，测试设备应对地绝缘以确保达到需要的测试电压。

A. 3.2 测试设备、电极和热量计会在测试过程中发热，当需要接触和处置这些物体时，应配戴手套和袖套。

A. 3.3 如果样品在燃烧或者释放可燃气体时要特别小心，应准备一个灭火器，确保所有材料起火时可以及时扑灭。

A. 3.4 每次测试完成后应及时关闭电源，以防止测试设备和所有其他实验设备产生意外的电弧。测试设备和其他实验室设备应绝缘接地。在数据采集完成后、人员进入之前，应对测试区域进行通风。在烟气和废气排完之前，任何人不可以进入测试区域。

A. 4 试样的制备

A. 4.1 测试样品

在双传感器平板上装夹的测试样品，洗涤后的尺寸长度应不小于 61 cm、宽度应不小于 30.5 cm。测试样品的长度方向应沿面料的经向或纬向进行裁剪。

A. 4.2 测试样品的洗涤

A. 4.2.1 规定数量的测试面料洗涤后作为测试样品，按照 GB/T 8629—2017 中的 4N 程序洗涤，洗涤温度为 49℃。

- a) 除非产品标注不可水洗，否则试样应按照制造商维护说明水洗三次，并在最后一次洗涤后烘干一次。若采用替代洗涤方法，须在试验报告中予以记录说明。
- b) 测试样品可平铺在制样台上，并适当按压使其恢复平整。
- c) 如使用其它洗涤程序，应在测试报告上记录。

A. 4. 2. 2 对于除了洗涤还需要清洁的面料，可按制造商推荐的操作方法进行 3 次清洁，完成后烘干，并在报告上记录。

A. 4. 3 测试样品的预处理

电弧试验前，试样应在温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $50\% \pm 20\%$ 的环境中调湿 1 h。成品试样自该温湿度环境取出后，应在 20 min 内完成测试。

A. 4. 4 测定样品的单位面积质量

测试样品在洗涤、干燥和调湿后，剪裁成测试规定尺寸，随机选出 3 个样品，用如下方法确定其单位面积质量：

- a) 从测试样品上沿对角线随机冲切至少三个圆形测试样品，直径在 38mm 至 76mm 范围之内，这些样品应不包含相同的经纬纱。
- b) 在天平上称量这些样品，天平的精度为 0.001g。
- c) 用公式 (A. 1) 计算每个测试样品的单位面积质量。测试结果取三个样品单位面积质量的平均值，取整数。

$$AD = \frac{m}{\pi \times (d/2)^2} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

AD ——圆形测试样品的单位面积质量，单位为克每平方米 (g/m^2)；

m ——圆形测试样品的质量，单位为克 (g)；

π ——3.14159；

d ——圆切样品直径，单位为米 (m)。

A. 5 试验程序

A. 5. 1 一般要求

A. 5. 1. 1 试验应在基本静止空气环境中进行。若采用强制通风系统排出试验区域内的燃烧产物、烟雾及有害气体，该通风装置必须在电弧暴露结束、数据采集完成后方可开启。

A. 5. 1. 2 每次试验前，传感器的初始温度应控制在 $15\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。可对传感器进行冷却或加热处理，例如在电弧暴露后，通过气流吹拂或接触冷 / 热表面的方式调节温度。

A. 5. 1. 3 测试参数电弧电流应为 $(8 \pm 0.5)\text{ kA}$ ，电极间距为 30.5 cm，电弧电极的中心线至样品表面距离为 30.5 cm。双传感器面板及监测传感器放置位置见表 A. 1。

注 1: 1 号位置与 2 号位置之间需设置测试区间重叠；原因是材料电弧防护等级有时会超出预期等级。在评定 $40\text{ cal}/\text{cm}^2$ 防护等级时，若分界区间范围较宽，往往需要开展最高达 $55\text{ cal}/\text{cm}^2$ 的多次电弧暴露试验。

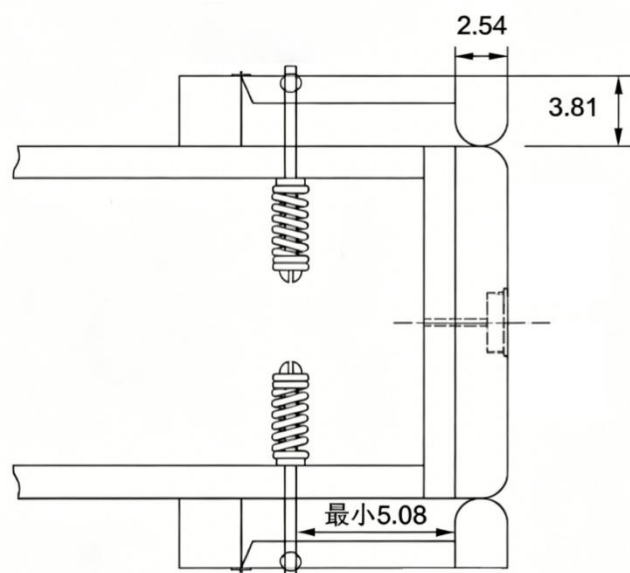
注 2: 对同一种材料开展电弧防护等级评定的整套系列试验过程中，宜不更改监测传感器的布设位置。

A. 5. 1. 4 对于预期电弧防护级别接近 $100\text{ cal}/\text{cm}^2$ ($4184\text{ kJ}/\text{m}^2$) 的面料，可能无法在测试设备的限制范围内满足某些多层系统确定 $ATPV$ 或 E_{br} 的数据点分布要求。在这种情况下，可采用确定电弧防护级别限值 ELIM 值的方法作为替代。

A. 5. 1. 5 将试样固定于试验板上，不得拉伸面料；借助试夹持结构夹持样品，保证试样在电弧暴露过程中

可自由收缩，见图 A.8。若采用多层试样，其叠放装夹方式应模拟实际服装的常规层叠穿着状态。

单位为厘米



A.8 夹持机构中典型弹簧夹具结构

A.5.1.6 记录样品的信息，包括：（1）样品唯一性编号；（2）样品的分层顺序（从最外层开始依次列出）；（3）材料描述，包括纤维成分、机织 / 针织类型、颜色；（4）单位面积质量（洗涤和熨烫后）；试验前（洗涤、熨烫预处理之后）；（5）测试试样数量；（6）制造商报告的面料单位面积质量。

A.5.1.7 材料主观评价，每次电弧暴露试验结束后，均应通过视频观测试样，并待受试试样冷却后再次观察。小心将试样从试验板上取下，同时记录电弧暴露产生的各类表现变化。若任一试样组件出现以下现象，均应纳入目视检查结果记录：（1）破损开裂；（2）烧蚀；（3）熔融、滴落或两者同时发生；（4）炭化；（5）续燃时间；（6）材料收缩或膨胀；（7）电弧引燃。报告中应给出材料主观评价汇总结果。

A.5.2 ATPV 测试程序

A.5.2.1 在同一面料上裁取 21 个样品，每次测试用 3 个样品，分别固定于 3 组双传感器平板上。

A.5.2.2 用一定范围内的入射能量进行至少 7 次测试来评估面料的电弧防护等级。测定 ATPV 值需要至少 20 个入射能量的平均值，为确定电弧防护级别 ATPV，数据点集的分布应如下：

- 应至少有 3 个 SCD 为负值的数据点，位于临界区间下边界以下（始终低于斯托尔判据）。
- 应至少有 3 个 SCD 为非负值的数据点，位于临界区间上边界以上（始终高于斯托尔判据）。
- 应至少有 10 个数据点落在最终 ATPV 值的 $\pm 20\%$ 范围内。

注：SCD 为斯托尔曲线差值。

A.5.2.3 所有数据点应都是有效的，除非监测传感器的量热计温度超过 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、测试或数据采集设备出现故障，或试样安装失败。当测试次数满足最小次数要求时，所有有效的数据点都应采用，不应随意舍弃。

A.5.2.4 出现破损开裂的试样，仍可作为 ATPV 评定的有效数据点。若在入射能量低于 ATPV 评定值上浮 20% 的情况下，出现两次及以上面料破损开裂现象，则应对该破损开裂响应进行评估。此时，可能需要开展 7 次以上试验，以完成破损开裂响应的判定（见 A.5.3）。

A.5.2.5 应使用迭代法以达到所需的数据分布标准。在前两次电弧闪爆后，如果 6 个测试结果既有高于又有低于斯托尔曲线标准时，可确定 ATPV 值的一个预估值，用此预估值作为后续测试的测试参数，以获得 ATPV 值的 $\pm 20\%$ 范围内的数据点。目标是在完成所需的 20 个数据点时达到所需的数据分布标准。若未

足数据分布标准，应进行额外测试以满足数据点分布。对试验结果数据应采用逻辑回归进行统计分析。

A.5.2.6 多层阻燃面料的 ATPV 值确定，如果多层阻燃面料除最内层（即最靠近传感器面板）外的任意阻燃层出现熔融情况时的入射能量小于此多层面料测得的 ATPV 值，则此入射能量确定为熔融能量 E_{ab} 。当最内层也出现熔融或破裂时，则确定为破裂阈能 E_{BT} 。破裂阈能测定方法见 A.6.2，破裂判定标准见 3.7。本试验方法规定的破损开裂判定方法，用于对出现熔融的阻燃层确定其熔融响应能量 E_{ab} 。通过上述测试方法确定的熔融能量 E_{ab} 即为 E_{BT} 。并执行 3.8 的熔融孔洞尺寸判定准则，并同步开展烧伤评定。

- a) 通过破裂测定方法确定的阻燃层熔融能量 E_{ab} 应不等于多层面料的 E_{BT} 。
- b) 如果在测定熔融能量 E_{ab} 时，没有面板测试结果预示是烧伤（即没有超过斯托尔曲线标准的数据），则应记录测定 E_{ab} 之前的 ATPV 值。
- c) 如果在测定熔融能量 E_{ab} 时，任意面板测试结果在预示是烧伤时小于 E_{ab} 值（即有超过斯托尔曲线标准的数据），则应重新确定一个 ATPV 值，除非任意面板上样品出现熔融应作为超过斯托尔曲线标准处理。

注1：含熔融层（或表现出熔融效应）的多层防护结构，可吸收大量热能，其电弧防护性能值（ATPV）明显高于无熔融效应的系统。部分多层材料的熔融效应会形成极宽的临界区间，计算出的 ATPV 远高于实际可能造成烧伤的能量水平。反之，若仅在熔融发生的能量及以上开展试验，可能会遗漏低能量下就会造成烧伤的情况。因此，对试验中表现出该行为的结构，需额外增加试验，以评估其是否存在更低的有效 ATPV 值。

注2：若混合区为空，可在混合区中点对应的入射能量附近补充一次试验。若补充试验后混合区仍为空，且逻辑回归无法拟合出逻辑模型的“S形”曲线，则 ATPV 或 E_{BT} 值应取为该区间上下边界入射能量的平均值。

A.5.3 E_{BT} 测试程序

A.5.3.1 破裂阈能 E_{BT} 测试采用与 ATPV 评定类似的迭代流程，区别在于以面料主观破损开裂现象结合入射能量 E_i 进行判定。

A.5.3.2 为确定电弧防护级别 EBT，数据点集的分布应如下：

- a) 至少 3 个数据点低于破裂混合区下限（未观察到破裂）；
- b) 至少 3 个数据点高于破裂混合区上限（始终观察到破裂）；
- c) 至少 10 个数据点在最终 E_{BT} 的 $\pm 20\%$ 范围内。

A.5.3.3 若这些范围内的数据不足，应在相应的入射能量范围内进行额外测试并记录面料响应。

A.5.3.4 E_{BT} 的测定，无需考虑其与斯托尔曲线或 ATPV 评定的关联关系。该结果可作为多层防护体系的补充参考信息；但需在试验报告中明确标注为超出斯托尔判据的破损开裂，且不得将其视作面料的电弧防护等级。

A.5.4 参数和样品状态的记录

A.5.4.1 记录热量、电流、电压、时间等参数和面料的测后状态。

A.5.4.2 在电弧闪爆即将发生前、发生过程中和发生后 30 s 时，记录每个热量计上传感器的读数。

A.5.4.3 当确定了电弧闪爆的触发时间点时，将每个热量计在此时间点前和此时间点测得的温度数据平均后得到每个传感器的热量计初始温度， $T_{\text{初始}}$ （ $^{\circ}\text{C}$ ）。

A.5.4.4 按公式（A.2）计算每个铜热量计在初始温度时的热容：

$$C_p = \frac{A+B \times t + C \times t^2 + D \times t^3 + E/t^2}{63.546} \dots \dots \dots (\text{A.2})$$

式中：

C_p ——初始温度时的热容，单位为卡每克摄氏度 [$\text{cal}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$];

A ——系数，4.237312;

B ——系数，6.715751；
 C ——系数，-7.46962；
 D ——系数，3.339491；
 E ——系数，0.016398。

t ——（实测温度+ 273.15）/1000，单位为开尔文（K）。

A. 5. 4. 5 需对所有铜热量计按每个时间求取铜块热容。方法为：先依据 A. 5. 5. 4 确定的初始温度计算初始热容，再以该时间点的实测温度作为终止热容，通过公式（A. 3）求取各传感器的平均热容。

$$\bar{C}_p = \frac{C_{pT\text{初始}} + C_{pT\text{最终}}}{2} \dots\dots\dots(\text{A.3})$$

式中：

\bar{C}_p ——平均热容，单位为卡每克摄氏度[cal/(g·°C)]；
 $C_{pT\text{初始}}$ ——初始温度时的热容，单位为卡每平方厘米（cal/cm²）；
 $C_{pT\text{最终}}$ ——终止温度时的热容，单位为卡每平方厘米（cal/cm²）。

A. 5. 4. 6 通过公式（A. 4）计算每个时间点间隔测得的入射能量，单位为 cal/cm²。

$$Q = \frac{m \times \bar{C}_p \times (T_{\text{最终}} - T_{\text{初始}})}{S} \dots\dots\dots(\text{A. 4})$$

式中：

Q ——入射热量，单位为卡每平方厘米（cal/cm²）；
 m ——铜盘质量，单位为克（g）；
 \bar{C}_p ——平均热容，单位为卡每克摄氏度[cal/(g·°C)]；
 $T_{\text{最终}}$ ——铜盘在最终时间点上的最终温度，单位为摄氏度（°C）；
 $T_{\text{初始}}$ ——铜盘在初始时间点上的起始温度，单位为摄氏度（°C）；
 S ——铜盘暴露面积，单位为平方厘米（cm²）。

A. 5. 4. 7 当铜盘质量为 18.0 g，暴露面积为 12.57 cm²时，计算热量的公式可简化为公式（A. 5）。若热量计使用不同质量或/和暴露面积的铜盘，则公式（A. 5）中的常数因子必须相应调整。

$$Q = 1.432 \times \bar{C}_p \times (T_{\text{最终}} - T_{\text{初始}}) \dots\dots\dots(\text{A. 5})$$

式中：

Q ——热量，单位为卡每平方厘米（cal/cm²）；
 \bar{C}_p ——平均热容，单位为卡每克摄氏度[cal/(g·°C)]；
 $T_{\text{最终}}$ ——铜盘在最终时间点上的最终温度，单位为摄氏度（°C）；
 $T_{\text{初始}}$ ——铜盘在初始时间点上的起始温度，单位为摄氏度（°C）。

A. 5. 4. 8 监测传感器半径（ r_2 ）不为 30.5 cm 时，对于在电弧闪爆时测得的入射能量温度上升值应乘以一个 $(r_2/30.5)^2$ 的系数。

A. 5. 4. 9 每块平板对应一个时间点的总入射能量是由单位时间内 2 个监测热能传感器测定的结果平均而得。

A. 5. 4. 10 对应一个时间点的透过样品传递到平板上的总热量是由单位时间内 2 个平板热能传感器测定的结果平均而得。

A. 6 测试结果

A. 6. 1 传感器所承受热量的确定

A. 6. 1. 1 在电弧热暴露开始之前、期间和之后 30 秒内，分别测定每个热量计的响应。电弧起始时刻

(t_0) 应依据电弧电流波形或线圈感应电压的电弧电信号进行判定。

注：确定电弧起始时刻 (t_0) 的一种可靠方法，是设定高于噪声水平的电流信号阈值。可将首个超出噪声阈值的采样点定义为电弧起始时刻。也可采用其他传感器替代电弧电流信号，用以判定电弧起始时刻。

A. 6. 1. 2 确定电弧起始点后，将从热量计收集的起始点之前和之前 0. 1s 的温度数据取平均值，以获得每个传感器的起始热量计温度。

A. 6. 1. 3 传感器 i 所承受的热量 Q_i ，即：入射至监测传感器的热量，入射至未被试样覆盖的测温板传感器的热量，或透过试样传递至测温板传感器的热量。应按公式 (A. 6) 列关系式，对所有铜热量计（监测传感器和双传感器面板器）在每一采样时刻进行计算。

$$Q_i = \frac{10 \times m_i}{a_i \times 63.546} \times \left[A \times (T_i - T_{0,i}) + B \times \left[\frac{T_i^2 - T_{0,i}^2}{2} \right] + C \times \left[\frac{T_i^3 - T_{0,i}^3}{3} \right] + D \times \left[\frac{T_i^4 - T_{0,i}^4}{4} \right] + E \times \left[\frac{1}{T_{0,i}} - \frac{1}{T_i} \right] \right] \quad (\text{A. 6})$$

式中：

Q_i ——传感器 i 的热量，单位为 kJ/m^2 ， Q_i 可以用 cal/cm^2 表示，即所得数字除以 41.840；

m_i ——传感器 i 的铜盘质量，单位为 g ；

T_i ——传感器 i 的铜盘在每个采样时刻的温度，单位为 K ；

$T_{0,i}$ ——传感器 i 的铜盘在 t_0 （电弧起始时间）时的初始温度（单位： K ）；

a_i ——是传感器 i 的暴露铜盘面积，单位为 cm^2 ；

A ——系数，17.72891；

B ——系数， 28.09870×10^{-3} ；

C ——系数， -31.25289×10^{-6} ；

D ——系数， 13.97243×10^{-9} ；

E ——系数， 0.068611×10^6 。

A. 6. 2 监测传感器的入射能量 (E_i)

A. 6. 2. 1 各监测传感器的能量—时间曲线（入射能量曲线）应采用入射能量修正系数修正，修正系数为监测传感器实际距离与相邻测温板实际距离之比的平方（见 A. 2. 4. 3）。入射能量 E_i 取修正后能量—时间曲线的最大值。

A. 6. 2. 2 试样所暴露的入射能量应确定为每个面板旁边的监测传感器（即面板左侧和右侧的传感器）的两个入射能量值的平均值。

A. 6. 3 双传感器面板的透射能量 (Q_t)

通过测试样本的能量数据（也就是暴露到测试样本后表面的能量），应计算每个测试样本的平均透射能量数据数组 $Q_{t, \text{avg}}$ ，对于每个采样间隔，平均传输能量应根据两个传感器的入射能量值计算得出，而不能根据对入射能量值进行数学拟合的任何曲线计算得出。

A. 6. 4 预示二度皮肤烧伤的评定（斯托尔曲线比较法）

A. 6. 4. 1 将通过 A. 6. 1. 5 确定的每组面板各时间点的平均热量值与斯托尔曲线经验模型相比较。斯托尔曲线的时间对齐，依据公式 (A. 7) 的斯托尔曲线公式，按与热量计波形数据相同的采样频率生成斯托尔曲线数据序列。斯托尔曲线起始点应与电弧起始时刻 (t_0) 对齐。斯托尔曲线完成电弧时刻对齐后，可进行逐点曲线比对，求解各平均透射能量序列 $Q_{t, \text{avg}}$ 对应的斯托尔曲线差值序列。

A. 6. 4. 2 如果平板传感器测得的热量值超过自电弧触发时间点起至热量确定时间内的斯托尔反应值，则评定为预示二度皮肤烧伤。按公式 (A. 7) 计算斯托尔反应值。如果一组面板在任意时间点中超过斯托尔反应值，记录为 1，如果没有超过，记录为 0。

$$S_r = 1.1991 \times t_i^{0.2901} \dots \dots \dots (\text{A. 7})$$

式中：

S_r ——斯托尔反应值，单位为卡每平方厘米（cal/cm²）；

t_r ——从电弧触发时间点起至热量确定的运行时间，单位为秒（s）。

A. 6.5 电弧热防护性能值（ATPV）的确定

A. 6.5.1 按 A. 5.2 所述的步骤，应通过至少 20 个平板测定的数据计算电弧热防护性能值。如果在特定的测试条件下收集了超过 20 个数据点，则所有有效结果都应用于计算电弧热防护性能值。

A. 6.5.2 对测试数据结果进行逻辑回归分析。以监测传感器上得到的最大平均入射能量作为每组平板的连续变量 X。相应的 Y 值是 X 值与斯托尔反应值的比较结果，若超过为 1，未超过为 0。

A. 6.5.3 通过逻辑回归方法确定的斜率和截距来按公式（A. 8）倒推计算出有 50%可能性超过斯托尔反应值的数值，该值即为电弧热防护性能值的结果，或与斯托尔曲线相交的入射能量值。

$$ATPV = \left| \frac{I}{S} \right| \dots\dots\dots (A. 8)$$

式中：

ATPV——电弧热防护性能值，单位为卡每平方厘米（cal/cm²）；

I——通过逻辑回归方法确定的截距，单位为卡每平方厘米（cal/cm²）；

S——通过逻辑回归方法确定的斜率。

A. 6.6 破裂阈能（ E_{BT} ）的确定

A. 6.6.1 用确定电弧热防护性能值相同的方法确定破裂阈能，通过测试面板破裂信号和按 A. 6.2 确定的入射能量（ E_i ）确定。

A. 6.6.2 采用此方法时，无需考虑所产生的入射能量及其与斯托尔曲线或电弧热防护性能值的关系。

A. 6.6.3 一组样品在测试过程中出现了破裂，记录为 1，没有出现破裂的记录为 0。

A. 6.6.4 对测试数据结果进行逻辑回归分析。通过逻辑回归方法确定的斜率和截距按公式（A. 9）倒推计算出有 50%可能性面料破裂的数值，该值即为破裂阈能（ E_{BT} ），或预示破裂的入射能量值。

$$E_{BT} = \left| \frac{I}{S} \right| \dots\dots\dots (A. 9)$$

式中：

E_{BT} ——破裂阈能，单位为卡每平方厘米（cal/cm²）；

I——通过逻辑回归方法确定的截距，单位为卡每平方厘米（cal/cm²）；

S——通过逻辑回归方法确定的斜率。

A. 6.7 $ELIM$ 的确定

A. 6.7.1 对于在 1s 至 30s 的时间间隔内达到或超过斯托尔曲线或出现破裂或收缩开裂的每个入射能量数据点，应记录二进制响应值 $Y = 1$ ；对于未达到上述情况的数据点，应记录二进制响应值 $Y=0$ 。

A. 6.7.2 $ELIM$ 应计算为混合区下方三个最高入射能量数据点的平均值，即二元响应 $Y = 0$ 的情况，即在 1 s 至 30 s 的时间间隔内，无破裂开口、无收缩开口且未达到或超过斯托尔曲线标准。如果混合区为空，则 $ELIM$ 为无破裂开口、无收缩开口且未达到或超过斯托尔曲线的三个最高入射能量数据点的平均值。

A. 6.8 电弧等级

A. 6. 8. 1 若在 ATPV 值及不高于其 20% 的能量范围内试样均未发生破裂，则将 ATPV 值记录为测试样品的电弧等级。

A. 6. 8. 2 如果材料试样的破裂发生在 ATPV 的 20% 以内，则可能需要进行额外的测试，以确定 E_{BT} 是否低于 ATPV。如果发现 E_{BT} 值低于确定的 ATPV，则将 ATPV 值记录为测试样品的电弧等级。

A. 6. 8. 3 如果确定了 E_{BT} 值，并且发现其高于确定的 ATPV，则将 ATPV 值记录为测试样品的电弧等级， E_{BT} 可以作为附加信息报告。

A. 6. 8. 4 对于面料电弧防护性能值接近或高于 100 cal/cm^2 的，如果无法满足数据点分布要求且无法完成逻辑回归，则应报告 ELIM 值。

A. 6. 8. 5 如果要求电弧防护性能以 ELIM 值表示，而非 ATPV 或 E_{BT} 值，则应测定并报告 ELIM 值。

附录 B (规范性)

防电弧服电弧防护性能测试方法

B.1 基本要求

B.1.1 本测试方法用于测定防电弧服（以下简称“服装”）的电弧防护性能。服装的电弧防护等级应根据附录 A 测定的面料电弧防护等级，并结合测试后的服装外观性能进行综合评定。

B.1.2 该测试方法将服装暴露于开放电弧中，使服装外表面受到的电弧能量等于或大于根据附录 A 确定的面料或服装所用面料组合的电弧防护等级。

B.1.3 若规定入射能量等级下，受试服装及服装组合样品不满足外观性能评定要求，该入射能量不得作为服装电弧防护等级判定值。需进一步降低入射能量进行测试，在满足外观性能要求下，则该入射能量值作为服装及服装组合的电弧防护等级判定值。

B.2 设备

B.2.1 概述

服装防电弧性能测试设备与面料测试设备测试原理及结构基本相同，主要区别在于把面料测试配置的双传感器平板，更换为适配穿着形态的人体模型。

B.2.2 人体模型

B.2.2.1 人体模型应包含躯干结构，可根据测试需求增设手臂（部分）、腿部（部分）及头部。模型主体采用耐高温、不易燃、不导电材料，应在电弧闪爆及冷却过程中不变形、不熔融。

注：模型主体可以采用玻璃纤维增强高温树脂复合材料。

B.2.2.2 人体模型应设计为能够被拆分成独立的身体部位的结构，以便穿脱服装。

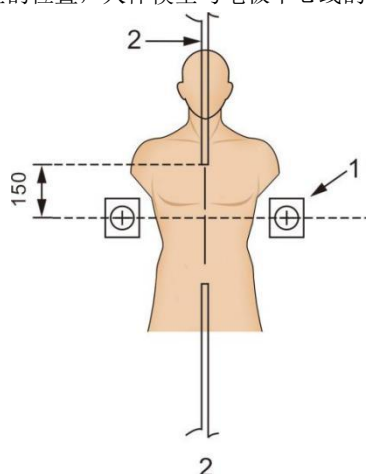
B.2.2.3 人体模型应呈直立姿势，垂直放置，确保胸骨位于电弧电极间距中心位置，见图 B.1a)。

B.2.2.4 人体模型的高度应可调节，以便根据测试需求，使肚脐或裆部位于电极间距中点的高度（见图 B.1b) 和图 B.1c)）。

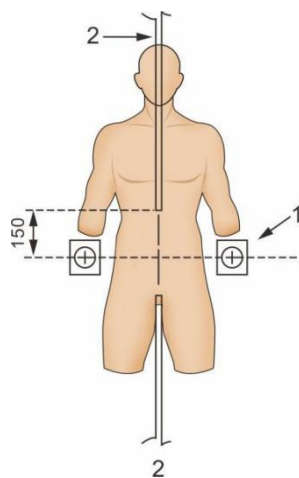
B.2.2.5 为充分评估服装上可能影响其性能的所有部位，如侧面或背部的脱卸式闭合件及附件，人体模型应可旋转一定角度，确保这些部位可充分暴露于电弧，如旋转 90° 实现侧面暴露，旋转 180° 实现背部暴露，且可将暴露于电弧的模型表面与电极中心线的最近距离保持为 305 mm。

注1：人体模型的胸围通常为1000 mm±100 mm。

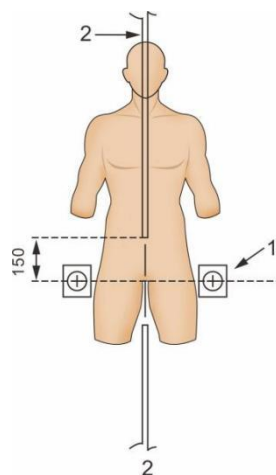
注2：为了便于在测试过程中调整人体模型的位置，人体模型与电极中心线的水平距离宜为200 mm~600 mm可调。



a) 电极间距中心位于胸骨高度的位置



b) 带有部分臂部和腿部的人体模型，电极间距中心位于肚脐高度的位置



c) 带有部分臂部和腿部的人体模型，电极间距中心位于裆部高度的位置

标引序号说明：

1——监测传感器

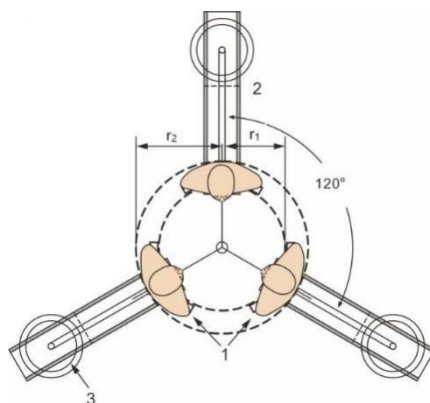
2——电极。

注：为了便于安装试样，图B.1a) 中臂部长度可短至100 mm，图B.1b) 中臂部和腿部长度可短至100 mm，图B.1c) 中膝上腿的长度可短至300 mm。

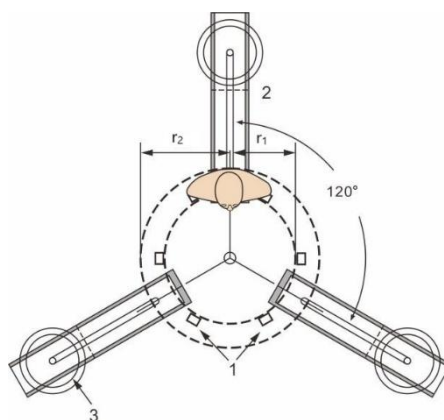
图B.1 人体模型示例

B.2.3 传感器布置

进行电弧性能测试时，至少应使用 1 个人体模型。若使用多个人体模型（2~3 个），人体模型之间的间隔夹角应不小于 120° ，见图 B.2。每个人体模型的两侧均应布置 1 个监测传感器。人体模型表面垂线与监测传感器表面垂线之间的夹角应为 $35^{+5}_0^\circ$ 。人体模型在笼体中位置及其监测传感器的相对位置见图 B.3。



a) 三个人体模型和六个监测传感器的布局俯视图



b) 一个人体模型和两个面板以及六个监测传感器的布局俯视图

标引序号说明:

1——监测传感器位置;

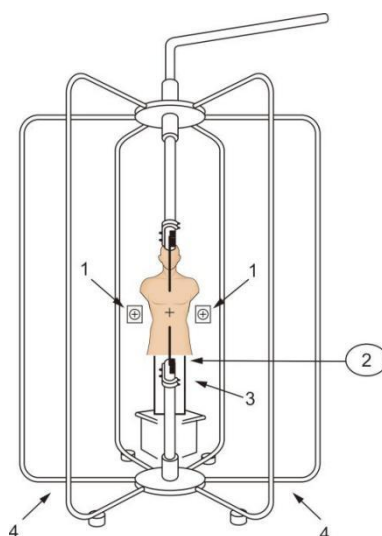
2——带有滑动系统的支架,用于人体模型的旋转,并调整其与电极的距离;

3——带有滑动系统的人体模型支架;

r_1 ——电弧电极中心线与1号位置监测传感器热量计表面中心的间距, $340 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$;

r_2 ——电弧电极中心线与2号位置监测传感器热量计表面中心的间距, $410 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ 。

图B.2 电弧电极、人体模型和监测传感器的相对位置



标引序号说明：

- 1——监测传感器；
- 2——带有滑动系统的支架，用于人体模型的旋转，并调整其与电极的距离；
- 3——人体模型支架；
- 4——母线。

图B.3 笼体布置与一个躯干人体模型及其监测传感器的相对位置

B.3 试样制备

B.3.1 测试样品

测试样品应为成品服装（即带衬里、口袋和闭合件等），或按照制造商说明搭配穿着的服装组合。服装或服装组合的尺寸应与人体模型相适配。

B.3.2 测试样品的清洗

如果服装允许洗涤，则在测试前，应根据制造商说明对测试样品进行清洗处理，如果未指定清洗次数，则应在完成五次清洁周期（一次清洁周期为一次洗涤和一次烘干）之后进行测试。如果允许水洗和干洗，则只进行洗涤。如果产品仅允许干洗，则只进行干洗。

B.3.3 测试样品的预处理

测试前，样品应在温度为18℃至28℃、相对湿度为45%至75%的条件下预处理至少24小时。

B.4 试样安装

B.4.1 将用于保护躯干和手臂的服装穿在人体模型上，电极间距中心应与胸骨处于同一高度，见图B.1a)。

B.4.2 将用于保护腿部的服装（如裤子）穿在至少包含躯干下部（包括腰部、臀部和裆部）及部分腿部的人体模型上，电极间距中心应与裆部处于同一高度，见图B.1c)。但如果相同的服装部件（例如服装材料、缝纫线、五金件）和/或设计特征（例如弹性腰带）已在用于保护躯干和手臂的服装中进行了测试，并且满足了此类服装的外观性能要求，则无需进行此类测试。若服装下部或服装组合的组件及/或特征与上部不同，应另取一件该服装或服装组合试样，按图B.1c)所示方式穿着并测试。

B.4.3 对于前片闭合系统未沿全前片连续布置、和/或腰部设有附加设计特征（如弹性腰带）的服装，应穿在至少包含躯干及部分腿部的人体模型上，且测试时电极间距中心应与肚脐处于同一高度，见图B.1b)。若该服装的相同设计特征已在用于保护躯干和手臂的服装测试中通过外观性能要求，则无需进行此测试。

B.4.4 对于多层叠穿的服装组合，应选取其试样进行测试，测试时电极间隙的中心应位于该组合最外层服装的相关高度处。

B.4.5 试样应按制造商提供的使用说明，连同配套附件一并安装，安装方式应模拟实际穿着状态。拉链不得裁剪。测试时所有闭合件均应扣合。试样应在人体模型正面展平，多余面料收于模型背部。

B.4.6 穿着服装的人体模型应正面朝向电弧。若试样的部件如侧缝、脱卸式闭合件、附属配件等或设计特征在常规定位时无法充分暴露，应调整人体模型位置，如旋转90°以侧面朝向电弧、旋转180°以背部朝向电弧。应另取一套服装或组合服装，在人体模型旋转姿态下进行试验，确保该部位服装结构构件正面完全朝向电弧。人体模型放置时，其电弧电极的中心线至人体模型表面的距离始终为305 mm。若该服装的相同结构部件及/或设计特征已在等于或高于该入射能量的用于保护躯干和手臂的服装测试中通过外观性能要求，则无需在旋转姿态下重复开展试验。

B.4.7 在穿着测试服装前，人体模型应先穿着未经处理的白色棉制内衣。内衣的单位面积质量应小于等于 180 g/m^2 ，实际单位面积质量应记录在报告中。白色棉质内衣用于主观检测服装、闭合装置或接合部位的热传递情况，以及主观检测服装是否释放化学物质，因为这种释放可能会改变白色内衣的颜色。作为内层，白色未经处理的棉质内衣在受到约 85 kJ/m^2 (2 cal/cm^2) 的热暴露时，会出现烧焦或炭化或两者兼而有之的现象。内衣在电弧闪爆后出现的焦痕或炭化等现象应记录在测试报告中。

注1：导致焦痕或炭化变色的实际能量可能因底层衣物的实际质量而有所不同。

注2：适用的内衣示例为：单位面积质量 $(170\pm 8.5)\text{ g/m}^2$ 的白色平纹针织棉质内衣和 $(140\pm 7)\text{ g/m}^2$ 的白色平纹针织棉质圆领T恤。

注3：测试委托方可以指定内衣，内衣试样可采用其他材质、或其他面密度的材料替代（例如合成纤维材料，受热时可能熔融和/或释放化学物质等）；也可规定试验时人体模型不穿戴内衣。

B.5 测试程序

B.5.1 测试参数设置

B.5.1.1 电弧电流应为 $8\text{ kA}\pm 0.5\text{ kA}$ ，电极间距为 $305\text{ mm}\pm 15\text{ mm}$ ，采用不锈钢电极，且电弧电极的中心线至人体模型表面的距离为 $305\text{ mm}\pm 5\text{ mm}$ 。

B.5.1.2 服装所用面料已按附录A测定电弧防护等级，并确定电弧防护性能值，则电弧持续时间的选取应使所得入射能量暴露值处于该材料电弧防护等级的 $0\%\sim +25\%$ 范围内。

注：如果测试委托方不要求获得与面料电弧等级相同的服装或服装组合电弧等级，可选择短于上述规定的电弧持续时间。

B.5.1.3 监测传感器位置应根据A.5.2和表B.1规定的入射能量进行调整。

B.5.1.4 监测传感器的温度数据记录应在电弧闪爆前启动，并应持续至电弧闪爆后至少 30 s 。

表B.1 监测传感器的位置

参数	监测传感器位置	
	位置1	位置2
距电极垂直中心线 305 mm 处，人体模型表面的入射能量， cal/cm^2	0~55	>40
电极垂直中心线与监测传感器热量计表面中心之间的距离， mm	$r_1, 340\pm 5$	$r_2, 410\pm 5$
人体模型表面垂线与监测传感器表面垂线之间的夹角， $^\circ$	35^{+5}_0	35^{+5}_0

B.5.2 测试数量

B.5.2.1 应至少测试1件穿在人体模型上的服装或服装组合试样。

B.5.2.2 为了给服装或服装组件确定电弧防护等级，可能需要在不同的入射能量暴露条件下依次进行一系列测试，每次测试都使用新的测试样品，以满足以下要求：在所测试的样品中，至少在最低入射能量下测试的试样应符合B.6.2中给出的外观性能检查标准。

B.5.2.3 如果上述要求未得到满足，则需在更低的入射能量下进行进一步测试，按照每次递减 5% 入射能量方式测试，直至满足上述要求；否则，不得为该服装或服装组件赋予电弧防护等级。

注1：通常情况下，仅当前期测试的试样未满足外观检查标准时，才需在更低的入射能量下测试更多试样。但制造商也可将服装或服装组合的电弧等级评定为（显著）低于其所用面料或面料组合的电弧等级，在此情况下，可在（显著）低于面料或面料组合电弧等级的入射能量下进行测试。

注2：服装及服装组合的设计和制造通常符合相关要求，测试1件、2件或最多3件试样即可完成服装或服装组合的电弧等级评定。

B.6 测试结果

B.6.1 外观检查

B.6.1.1 应观察并记录电弧闪爆对服装试样造成的影响，具体观察时间包括：

- a) 电弧闪爆期间；
- b) 电弧闪爆后、从人体模型上取下试样前；
- c) 闪爆后的试样冷却后，以及从人体模型上取下试样后。

B.6.1.2 电弧暴露所产生的影响，以及因规范脱卸操作而进一步扩大的损伤，均应按表 B.1 进行评定，观察结果应通过以下术语进行描述和记录：破裂、烧蚀、熔融、滴落、点燃、续燃时间、自熄、炭化、脆化、收缩、变色。此外，还应记录服装闭合件及其他附件的功能状态。

B.6.1.3 根据表 B.1 描述，报告并评定暴露对内衣的影响。尤其应调查在暴露过程中测试服装是否释放出的气体或其他化学物质导致内衣的颜色发生变化或其他性能受损。

表 B.2 测试后样品状态描述内容

检查内容	检查时间	检查结果
破裂	从人体模型上取下前	“是”（可注明破裂区域的位置及尺寸）或“否”
烧蚀	从人体模型上取下前	“是”（注明受影响的层数，可附加烧蚀区域的位置及尺寸）或“否”
熔融及/或滴落	电弧闪爆期间至从人体模型上取下前	“是”或“否”
点燃	电弧闪爆期间至从人体模型上取下前	“是”（可注明点燃区域的位置及尺寸）或“否”
续燃时间	电弧闪爆后至从人体模型上取下前	时间（整秒）及燃烧区域描述
若点燃，是否自熄	电弧闪爆期间至从人体模型上取下前	“是”或“否”
炭化	从人体模型上取下前后	“是”（炭化区域位置及尺寸可选择性报告）或“否”
脆化	从人体模型上取下后	“是”（脆化区域位置及尺寸可选择性报告）或“否”
膨胀与收缩	从人体模型上取下后	面料膨胀、无收缩、适度收缩或过度收缩
快速脱卸闭合件	从人体模型上取下前（仅适用于含闭合件的试样）	“是”或“否”
其他闭合件	从人体模型上取下前（如口袋等服装配件的闭合件，仅适用于含闭合件的试样）	“是”或“否”
颜色变化	从人体模型上取下前后	“是”（需描述颜色变化）或“否”
白色棉质内衣颜色变化	从人体模型上取下被测服装后	“是”（需描述颜色变化及位置）或“否”

B.6.2 电弧等级

B.6.2.1 按照附录 A 规定的方法计算服装的 E_{BT} 、 $ATPV$ 和 $ELIM$ 值，并结合被测试样外观评估确定电弧等级，见 B.5.2。

B.6.2.2 若服装或服装组合试样符合表 B.3 中的要求，则判定其满足外观性能评估标准。

表 B.3 测试后样品外观性能要求

观察到的结果	观察时间	外观性能评估标准	不影响电弧等级但需记录的观察结果
熔融和/或滴落	电弧闪爆期间至从人体模型取下前	组件（如缝纫线、闭合件、纽扣、反光条、标识、标签、刺绣、腰带等）无滴落物或熔融燃烧碎屑	组件熔融但无滴落物或熔融燃烧碎屑
熔融	从人体模型取下后	组件（如闭合件、纽扣、反光条、标识、标签、刺绣、腰带等）未熔融至服装内侧	—
续燃时间	电弧闪爆后至从人体模型取下前	组件（如缝纫线、闭合件、纽扣、反光条、标识、标签、刺绣、腰带等）在电弧闪爆后燃烧时间不超过5秒	不适用于表面积小于10 cm ² 的标签、刺绣或其他装饰物
快速脱卸必需的扣件功能状态	从人体模型取下时	从服装处于闭合状态到完全打开，人员完成打开动作的时间不得超过 30 s	—
破裂（若电弧等级标注为ELIM）	从人体模型取下前	测试服装的所有层均无破裂	若电弧等级标注为ATPI或E _{BT} 时不适用此要求

B.6.2.3 若满足上述电弧等级评定要求，应按以下方式确定电弧等级值：

- a) 在已测试的试样中，选择经最高入射能量测试且符合 B.6.2 中外观检查标准的试样，且所有经更低入射能量测试的试样（若有）均需符合该外观检查标准。
- b) 在测试过程中，所选试样所暴露的入射能量值应与构成该试样的材料或材料组合的电弧防护等级值进行比较。
- c) 将较低值评定为该服装或服装组合的电弧等级。

附录 C

(资料性)

电弧危害能量计算方法和示例

C.1 概述

根据典型作业工况下的系统电压、故障电流、电弧持续时间和操作距离等相关影响因素，计算预计可能的电弧危害能量。选购和配置的防电弧服的电弧能量值不低于计算的电弧事故能量值。

注1：本附录中所涉及到的经验公式来自IEEE 1584—2018、NFPA 70E。

注2：本附录中曲线拟合计算方法及计算示例参考《中低压配电网不停电作业适应性技术研究》相关成果。

C.2 电弧危害能量计算步骤

电弧危害能量计算需要经过以下步骤，分别是：

- 收集系统和安装数据，如系统容量、系统单线图、系统接地情况和工作环境等；
- 确定系统运行的模式，如系统分合闸情况、系统运行方式是否存在并列或备用运行等；
- 计算作业点短路电流，如计算低压配电系统作业点三相短路电流；
- 计算电弧电流，电弧电流主要取决于三相短路电流，由于电弧阻抗的存在，计算的弧闪电流将会比短路电流小，尤其是低压系统；
- 调研保护装置的特性并确定电弧持续时间，通过调研系统内二次保护装置的时间—电流特性，确定电弧持续时间；
- 根据实际情况如电压等级、母线结构确定作业点可能产生电弧位置的极间距离；
- 根据作业工况确定人员躯干至电弧点的工作距离，烧伤度的评定是以人体皮肤的烧伤面积来判定的，头部和躯干的皮肤面积占人体总面积的很大部分，而且这部分皮肤的烧伤对日常生活的影响是最大的，因此电弧防护是基于在一定的的工作距离上，在人员的脸部和躯干产生的事故能量，而不是指在手部或胳膊上的事故能量；
- 根据电弧危害能量计算公式计算作业中可能产生的电弧能量；
- 在计算事故能量的方程式中引入由一个电弧源至人体，并能够产生二度烧伤的距离，并以此计算电弧防护用品保护范围。

C.3 电弧危害能量计算方法

C.3.1 经验公式计算方法

C.3.1.1 概述

经验公式计算方法参考IEEE 1584-2018，适用于频率50 Hz、系统电压380 V~15 000 V，短路故障电流700 A~106 000 A、导体间隙13 mm~152 mm的场合。计算步骤为：

- 计算电弧电流 I_a ；
- 计算典型事故能量 E_n ；
- 计算实际事故能量 E 。

C.3.1.2 计算电弧电流 I_a 。

电弧电流采用公式 (C.1) 计算。

$$\lg I_a = K + 0.662 \lg I_{bf} + 0.0966 V + 0.000526G + 0.558 V (\lg I_{bf}) - 0.00304G (\lg I_{bf}) \dots \dots \dots (C.1)$$

式中：

- I_a ——电弧电流，单位为千安培（kA）；
 K ——常数，开放结构为0.153；封闭式结构为0.097；
 I_{bf} ——短路故障电流，单位为千安培（kA）；
 V ——系统电压，单位为千伏特（kV）；
 G ——导体极间距离，单位为毫米（mm），见表C.1。
 1 kV及以上电弧电流采用公式（C.2）计算。

$$\lg I_a = 0.00402 + 0.983 \lg I_{bf} \dots\dots\dots (C.2)$$

表C.1 元器件和电压级别因子

系统电压 V	元器件类型	典型导体间隙 G mm	距离指数 α
220~1000	敞开式结构	10~40	2.000
	封闭式结构	32	1.473
	电机控制柜和仪表盘	25	1.641
	线缆	13	2.000
1000~5000	敞开式结构	102	2.000
	封闭式结构	13~102	0.973
	线缆	13	2.000
5000~15000	敞开式结构	13~153	2.000
	封闭式结构	153	0.973
	线缆	13	2.000

C.3.1.3 计算典型事故能量 E_n

在电弧持续时间0.2 s，工作距离610 mm的典型条件下，典型事故能量采用公式（C.3）计算。

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1.081 \lg I_a + 0.0011 G \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

- E_n ——典型电弧放电时间和工作距离的事故能量，单位为焦每平方厘米（J/cm²）；
 K_1 ——常数，开放结构为-0.792，箱型结构为-0.555；
 K_2 ——常数，未接地及高压电阻接地系统为0，接地系统为-0.113；
 I_a ——电弧电流，单位为千安培（kA）；
 G ——导体间隙，单位为毫米（mm），见表C.1。

C.3.1.4 计算实际事故能量 E

实际事故能量采用公式（C.4）计算。

$$E = 4.184 C_f E_n (t/0.2) (610^x / D_x) \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

- E ——实际事故能量，单位为焦每平方厘米（J/cm²）；
 C_f ——系数，1 kV以下为1.5，1 kV以上为1.0；
 E_n ——典型事故能量，单位为焦耳每平方厘米（J/cm²）；

- t ——电弧时间，单位为秒（s）；
 x ——距离指数，见表C.1；
 D ——操作距离，单位为毫米（mm）。

C.3.2 曲线拟合计算方法

C.3.2.1 概述

曲线拟合计算方法，适用于频率50 Hz、系统电压380 V，短路故障电流15 000 A~5 0000 A的开放环境作业与封闭环境作业场合。

C.3.2.2 计算电弧能量

开放环境下电弧能量采用公式（C.5）计算。

$$E_{in.open} = 4\,314.9D^{-1.968}[0.001\,1I_b^2 - 0.025\,9I_b + 0.9768] \dots\dots\dots(C.5)$$

封闭环境下电弧能量采用公式（C.6）计算。

$$E_{in.close} = 505.46D^{-1.463}[0.001\,6I_b^2 - 0.011\,1I_b + 0.9328] \dots\dots\dots(C.6)$$

式中：

- $E_{in.open}$ ——开放环境下电弧能量，单位为卡每平方厘米（cal/cm²）；
 D ——距离电弧距离，单位为厘米（cm）；
 I_b ——三相短路电流，单位为千安培（kA）；
 $E_{in.close}$ ——封闭环境下电弧能量，单位为卡每平方厘米（cal/cm²）。

C.3.3 Lee氏高压理论计算模型

当系统电压超过15 kV或导体间隙超过经验计算模型适用范围时，采用公式（C.7）计算。当电压超过15 kV，可认为电弧电流和短路故障电流相同。

$$E = 2.14210^6 V I_{bf} \left(\frac{t}{D^2} \right) \dots\dots\dots(C.7)$$

式中：

- E ——实际事故能量，单位为焦每平方厘米（J/cm²）；
 V ——系统电压，单位为千伏（kV）；
 I_{bf} ——短路故障电流，单位为千安（kA）；
 t ——电弧时间，单位为秒（s）；
 D ——操作距离，单位为毫米（mm）。

C.4 电弧危害能量计算公式使用示例

在某10 kV操作作业时，系统电压 V 为10 kV，短路故障电流 I_{bf} 为10 kA，电弧持续时间 t 为0.25 s，操作距离 D 为0.7 m，有接地保护。系统电压小于15 kV，采用C.3.1的经验公式计算方法，算得：

$$\lg I_a = 0.00402 + 0.983 \times \lg I_{bf} = 0.00402 + 0.983 \times \lg 10 = 0.987$$

电器柜为封闭式结构， $K_1 = -0.555$ ；其他接地系统， $K_2 = -0.113$ ；系统电压在5 kV~15 kV之间的电器柜， $G = 153$ mm。

$$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1.081 \lg I_a + 0.0011 G = -0.555 - 0.113 + 1.081 \times \lg 0.987 + 0.0011 \times 153 = 0.567$$

$$E_n = 3.692 \text{ J/cm}^2$$

1 kV以上系统， $G=1$ ；系统电压在5 kV~15 kV之间的电器柜， $x=0.973$ 。

$$E=4.184C_i E_n \left(\frac{t}{0.2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) = 4.184 \times 3.692 \times \left(\frac{0.25}{0.2} \right) \left(\frac{610^{0.973}}{700^{0.973}} \right) = 16.9 \text{ J/cm}^2$$

典型作业工况电弧危害能量计算示例

根据GB 26859和GB 26860的相关设定，选取部分典型作业工况，计算可能出现的电弧危害能量，见表C.2、表C.3。

表C.2 380 V 系统典型工况电弧危害能量计算表

序号	作业种类	作业项目	预估最大短路电流 kA	电弧时间 ms	产生电弧部位的极间距离 mm	产生电弧时作业人员身体距离电弧距离 mm	电弧能量 cal/cm ²
1	带电作业	架空线路绝缘杆作业法项目及临近带电作业	28.87	250	150	700	1.13
2	带电作业	架空线路绝缘手套作业法项目	28.87	250	20	500	5.63
3	带电作业	接触低压金属配电箱（表箱）带电作业项目	28.87	250	20	300	22.56*
4	倒闸操作	接触低压金属配电箱（表箱）的电气操作	28.87	250	20	300	22.56*
5	维护	邻近或交叉电力线作业	28.87	250	150	1 000	0.55
6	停电检修	室内停电检修工作	28.87	250	20	700	5.7
7	停电检修	架空线路装、拆接地线，停电检修工作	28.87	250	150	700	1.13
8	巡检	室内 0.4 kV 设备及线路日常巡视及非直接接触的检测工作	28.87	250	20	700	5.7
9	巡检	室外 0.4 kV 设备及线路日常巡视及非直接接触的检测工作	28.87	250	150	700	1.13
10	巡检	直接接触室内运行设备的带电检测项目	28.87	250	20	400	14.81*
11	巡检	直接接触室外运行设备的带电检测项目	28.87	250	150	400	3.45

注1：未标*的计算结果为采用C.3.1方法计算，标*的计算结果为采用C.3.2方法计算。

注2：本表采用了典型工况进行计算可能的电弧能量，但是实际事故的能量有可能超过预计可能电弧能量。因此在根据各表选择和使用个人电弧防护用品时，可能出现无法完全避免伤害的情况。

注3：表中的数据无法涵盖所有应用情况，在使用时应充分考虑其和实际情况的差异。使用者可根据相关原理或商业软件自行评估。计算结果不作为任何的规范要求。

表C.3 10 kV系统典型工况电弧能量计算表

序号	作业种类	作业项目	预估最大短路电流 kA	电弧时间 ms	产生电弧部位的极间距离 mm	产生电弧时作业人员身体距离电弧距离 mm	电弧能量 cal/cm ²
1	带电作业	架空线路绝缘杆作业法项目及临近带电作业	9.09	250	300	700	3.44
2	带电作业	架空线路绝缘手套作业法项目	9.09	250	300	500	6.71
3	电缆不停电作业	电缆线路设备上不停电作业	9.09	250	125	300	20.75
4	倒闸操作	10 kV 设备上开关柜、配电站、开闭所内等倒闸操作	9.09	250	125	300	10.01
5	倒闸操作	10 kV 设备上柱上开关、跌落式熔断器、隔离开关及刀闸等倒闸操作	9.09	250	300	700	3.96
6	维护	邻近或交叉电力线作业	9.09	250	300	1 000	1.69
7	维护	室内设备维护	9.09	250	125	700	3.81
8	维护	室外设备维护	9.09	250	300	700	3.44
9	停电检修	室内 10 kV 设备及线路停电检修工作	9.09	250	125	700	3.81
10	停电检修	架空线路装、拆接地线、停电检修工作	9.09	250	300	700	3.44
11	巡检	室内 10 kV 设备及线路日常巡视及非直接接触的检测工作	9.09	250	125	700	3.81
12	巡检	室外 10 kV 设备及线路日常巡视及非直接接触的检测工作	9.09	250	300	700	3.44

注1：本表的计算结果为采用A.3.1方法计算所得。

注2：本表采用了典型工况进行计算可能的电弧能量，但是实际事故的能量有可能超过预计可能电弧能量。因此在根据各表选择和使用个人电弧防护用品时，可能出现无法完全避免伤害的情况。

注3：表中的数据无法涵盖所有应用情况，在使用时应充分考虑其和实际情况的差异。使用者可根据相关原理或商业软件自行评估。计算结果不作为任何的规范要求。

C.5 直流电电弧的计算

直流电电弧的计算方法参考公式 (C.8) 公式 (C.9) 所示，该计算方法的系统电压不大于1 000 V。

$$I_{arc} = 0.5 \times I_{bf} \quad \text{..... (C.8)}$$

$$IE_m = \frac{0.01 \times V_{sys} \times I_{arc} \times T_{arc}}{D^2} \quad \text{..... (C.9)}$$

式中：

I_{arc} ——电弧电流，单位为安培 (A)；

I_{bf} ——系统短路电流，单位为安培 (A)；

IE_m ——预估电弧事故能量，单位为卡每平方厘米 (cal/cm²)；

V_{sys} ——系统电压，单位为伏特 (V)；

T_{arc} ——电弧时间，单位为秒 (s)；

D ——工作距离，单位为厘米 (cm)。

参 考 文 献

[1] IEC 61482-1-1:2019 Live working-Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc-Part 1-1: Test methods-Method 1: Determination of the arc rating(ELIM, ATPV and/or EBT)of clothing materials and of protective clothing using an open arc

[2] ASTM F1959/F1959M-24b Standard Test Method for Determining the Arc Rating of Materials for Clothing

[3] NFPA 70E Standard for Electrical Safety in the Workplace

[4] IEEE 1584-2018 IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations

[5] 国家电网公司科技项目《中低压配电网不停电作业适应性技术研究》验收报告



**《个体防护装备 防电弧装备 第 4
部分：服装》
(征求意见稿)
编制说明**

标准编制组

一、工作简况

（一）任务来源

电弧是电流通过某些绝缘介质（例如空气）所产生的瞬间火花和能量，其伤害程度极深，且损失严重。实验显示，电弧可产生 20000 °C 高温会对人体产生致命伤害。涉及电气作业的相关高风险行业电弧事故频发，对作业人员的生命安全构成了严重威胁。为此，我国于 2022 年发布了《GB 8965.4-2022 防护服装 防电弧服》国家标准，为电弧防护服的设计、生产和使用提供了科学的指导。编制 GB 8965.4-2022 所参考的 ASTM F1959-14e1 等标准已进行了版本升级，优化完善了标准的技术要求。修订我国的标准，使其与国际先进标准接轨，能够消除国际贸易中的技术壁垒，为我国防电弧服产品出口创造更有利的条件。

2026 年 5 月 25 日，国家标准化管理委员会下达《家用电动干衣机能效限定值及能效等级》等 77 项强制性国家标准计划和相关标准外文版计划的通知（国标委发〔2026〕35 号），本标准计划号为 20263009-Q-450，本标准由应急管理部提出并归口，军事科学院系统工程研究院军需工程技术研究所负责牵头编制。

（二）协作单位

本标准协作单位为应急管理部国际交流合作中心、苏州热工研究院有限公司、泰和新材集团股份有限公司、北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所、南通谐好安全科技有限公司、优普泰（深圳）科技有限公司、宜禾股份有限公司、山东太阳鸟服饰有限公司、奥珞贸易（上海）有限公司、联勤保障部队工程大学。

（三）主要工作过程

1.2025 年 8 月 6 日，在北京组织召开了该标准的启动会，牵头起草单位介绍了标准项目制定情况和进度安排，明确了工作的基本程序、时间节点和任务分工，听取了标准参与单位的意见和建议，为后续标准编制工作有序推进奠定了坚实基础。

2.2025 年 8 月—11 月，启动标准外文翻译及专项调研工作。期间系统开展标准文本梳理、专业术语校核、全文翻译编译，同步深入开展行业现状、相关标准对标及应用场景调研，收集不同规格防护面料及防护服样品检测情况，为后续

标准编制、内容完善及落地实施筑牢前期工作基础。

3.2025年11月，本标准草案编制完成后，牵头单位向起草组各成员单位征求意见。各起草单位结合自身业务实际与专业领域，对标准条款内容、技术指标、表述规范等方面提出修改建议。我单位逐条梳理、认真研究各方反馈意见，逐一论证意见采纳可行性，对标准草案相关内容进行针对性修改完善，进一步提升了标准的科学性、严谨性和实操性。

4.2025年12月，开展了电弧测试实验室调研，标准起草组组织部分成员赴山东省产品质量检验研究院，开展《个体防护装备 防电弧装备》系列标准技术研讨交流。参会人员围绕标准关键技术内容、试验方法及指标设定等进行深入研讨，现场全程观摩电弧测试试验流程，并重点就测试样品管控、试验结果记录程序及数据分析方法等事项开展专业交流，进一步统一了试验操作要求，为完善标准相关试验条款、增强标准的科学性与可操作性提供了重要技术支撑。

5.2026年1-4月，在前期调研工作基础上，结合调研收集的相关资料及技术意见，对标准草案进行系统梳理、逐条修改完善，完成标准草案修订优化工作，形成标准征求意见稿，同步编制完成标准编制说明。

（四）起草人、起草人所在单位及其所做工作

本标准起草人、起草人所在单位及其所做工作如下：

马天，军事科学院系统工程研究院军需工程技术研究所，组织和协调，负责标准起草总体工作；

李伟萍，军事科学院系统工程研究院军需工程技术研究所，参与标准框架、技术内容的制定，协调参编单位及各项编制工作；

刘笑，应急管理部国际交流合作中心，参与拟定标准章节结构与整体框架制定等；

黄海辉，应急管理部国际交流合作中心，检索、收集国内现行国标、行标及相关法律法规等；

顾燕苏，苏州热工研究院有限公司，面料及服装电弧性能测试方法及电弧能量计算，以及标准技术内容研讨

郁余斌，苏州热工研究院有限公司，面料及服装电弧性能测试方法及电弧能量计算，以及标准技术内容研讨；

毕景中，泰和新材集团股份有限公司，国外标准翻译、校对及标准技术内容研讨等；

刘基，北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所，试验方法的确认及标准技术内容研讨；

罗穆夏，北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所，面料电弧试验方法的研讨；

唐珊珊，军事科学院系统工程研究院军需工程技术研究所，引用试验方法的核对、确认，协助核对标准文稿排版；

安彪，南通谐好安全科技有限公司，提供企业自身面料测试报告，结合企业生产实践、产品研发及测试经验，参与标准技术内容研讨；

吴银，优普泰（深圳）科技有限公司，提供企业自身面料测试报告，结合企业生产实践、产品研发及测试经验，参与标准技术内容研讨；

马金芳，宜禾股份有限公司，提供企业自身面料测试报告，结合企业生产实践、产品研发及测试经验，参与标准技术内容研讨；

周丽，山东太阳鸟服饰有限公司，提供企业自身面料测试报告，结合企业生产实践、产品研发及测试经验，参与标准技术内容研讨；

何晴芳，奥珞贸易（上海）有限公司，结合企业生产实践、产品研发及测试经验，参与标准技术内容研讨；

钱佳炜，联勤保障部队工程大学，参与技术要求讨论，核对标准章节层级、条款编号、表述规范，完善标准文稿。

二、标准编制原则和强制性国家标准主要技术要求的论据

（一）标准编制原则

本标准的制定起草遵循以下基本原则。

1. 先进性原则

起草组紧密跟踪并借鉴最新版国际标准 NFPA 70E-2024、ASTM F1959-24b、IEC 61482-1-1-2019 相关测试方法标准的最新技术内容。通过充分调查研究和论证、借鉴引用或改进现有方法和技术的途径，确保本标准在产品技术规范内容和测试技术方法方面的准确、可靠和便捷性。

2. 适合性原则

本标准的起草工作紧密结合国内当前应用实际，国内产品类型和功能，国内测试技术的具体情况，确保新制订的标准国内容易落地、便于推广。

3.科学性原则

本标准的关键指标及制订技术内容，尽可能通过其他权威或可靠技术文件，或者进行实际测试或多家实验室的比对实验，使标准内容更加可靠。

4.规范性原则

本标准在格式和文字表述方面严格按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》的要求进行编写，做到文件表述的一致性、协调性和易用性。

(二) 主要技术要求的依据（包括验证报告、统计数据等）及理由

1. 标准引用情况说明

本标准中的标准引用情况见表 1。

表 1 标准引用情况表

序号	第一次出现的条款号或附录号	类型	主要内容	引用文件号/标准号	引用文件/标准名称	引用的主要内容
1	3	术语和定义	术语和定义	GB/T 12903	个体防护装备术语	术语和定义
2	3	术语和定义	术语和定义	GB/T 3291.1	纺织 纺织材料性能和试验术语 第1部分:纤维和纱线	术语和定义
3	3	术语和定义	术语和定义	GB/T 3291.2	纺织 纺织材料性能和试验术语 第2部分: 织物	术语和定义
4	3	术语和定义	术语和定义	GB/T 3291.3	纺织 纺织材料性能和试验术语 第3部分: 通用	术语和定义
5	3	术语和定义	术语和定义	GB/T 38302-2025	防护服装 热防护和假人火焰轰燃防护性能测试方法	术语和定义
6	4.3.2	要求	号型尺寸	GB 20097	防护服装 通用技术规范	号型尺寸
7	4.3.2	要求	号型尺寸	FZ/T 81007	单、夹服装	尺寸极限偏差
8	4.3.4.3	要求	辅料及附件	GB 20653	职业用高可视性警示服	逆反射系数
9	4.3.4.5	要求	辅料及附件	GB/T 8629—2017	纺织品 试验用家庭洗涤和干燥程序	洗涤程序

序号	第一次出现的条款号或附录号	类型	主要内容	引用文件号/标准号	引用文件/标准名称	引用的主要相关内容
10	4.3.5	要求	外观	GB 8965.1-2020	防护服装 阻燃服	外观
11	5.1	试验方法	试验方法	GB/T 4669—2008	纺织品 机织物 单位长度质量和单位面积质量的测定	单位面积质量
12	5.2	试验方法	试验方法	GB/T 3923.1	纺织品 织物拉伸性能 第1部分：断裂强力和断裂伸长率的测定（条样法）	断裂强力
13	5.3	试验方法	试验方法	GB/T 3917.3	纺织品 织物撕破性能 第3部分：梯形试样撕破强力的测定	撕破强力
14	5.4	试验方法	试验方法	GB/T 7742.1	纺织品 织物胀破性能 第1部分：胀破强力和胀破扩张度的测定 液压法	胀破强力
15	5.5	试验方法	试验方法	GB/T 12704.1	纺织品 织物透湿性试验方法 第1部分：吸湿法	透湿性能
16	5.6	试验方法	试验方法	GB/T 4802.1	纺织品 织物起球实验 第1部分：圆轨迹法	起球性能
17	5.6	试验方法	试验方法	GB/T 4802.3	纺织品 织物起毛起球性能的测定 第3部分：起球箱法	起球实验
18	5.7	试验方法	试验方法	GB/T 8628	纺织品 测定尺寸变化的试验中织物试样和服装的准备、标记及测量	尺寸变化率
19	5.7	试验方法	试验方法	GB/T 8630	纺织品 洗涤和干燥后尺寸变化的测定	尺寸变化率
20	5.9	试验方法	试验方法	GB/T 3921	纺织品 色牢度试验 耐皂洗色牢度	耐皂洗色牢度
21	5.10	试验方法	试验方法	GB/T 3920	纺织品 色牢度试验 耐摩擦色牢度	耐摩擦色牢度
22	5.11	试验方法	试验方法	GB/T 3922	纺织品 色牢度试验 耐汗渍色牢度	耐汗渍色牢度
23	5.12	试验方法	试验方法	GB/T 2912.1	纺织品 甲醛的测定 第1部分：游离和水解的甲醛（水萃取法）	甲醛含量
24	5.13	试验方法	试验方法	GB/T 7573	纺织品 水萃取液pH值的测定	pH 值限量
25	5.14	试验方法	试验方法	GB/T 17592	纺织品 禁用偶氮染料的测定	可分解致癌芳香胺染料
26	5.14	试验方法	试验方法	GB/T 23344	纺织品 4-氨基偶氮苯的测定	可分解致癌芳香胺染料
27	5.15	试验方法	试验方法	GB 18401-2010	国家纺织产品基本安全技术规范	异味

序号	第一次出现的条款号或附录号	类型	主要内容	引用文件号/标准号	引用文件/标准名称	引用的主要内容
28	5.16	试验方法	试验方法	GB/T 5455-2014	纺织品 燃烧性能 垂直方向损毁长度、阴燃和续燃时间的测定	阻燃性能
29	5.18	试验方法	试验方法	GB/T 3916—2013	纺织品 卷装纱 单根纱线断裂强力和断裂伸长率的测定 (CRE法)	缝纫线
30	5.20	试验方法	试验方法	GB/T 21294	服装理化性能的检验方法	接缝强力
31	5.20	试验方法	试验方法	FZ/T 70007	针织上衣腋下接缝强力试验方法	接缝强力
32	6.1	标识与包装	标识	GB 5296.4	消费品使用说明 第4部分 纺织品和服装	产品使用说明
33	6.2	制造商提供的信息	制造商提供的信息	GB/T 18885—2020	生态纺织品技术要求	禁用阻燃剂
34	附录 A.4.2	面料电弧防护性能测试	测试样品的洗涤	AATCC Laboratory Procedure 1-2021	家用洗涤实验室程序：机洗	样品洗涤和干燥
35	附录 C.5	附录	典型作业工况电弧危害能量计算示例	GB 26859	电力安全工作规程 电力线路部分	基本电气安全要求
36	附录 C.5	附录	典型作业工况电弧危害能量计算示例	GB 26859	电力安全工作规程 发电厂和变电站电气部分	基本电气安全要求

2. 主要技术要求的依据及理由

本标准各项主要技术要求，依据 GB 8965.4-2022《防护服装 防电弧服》、IEC 61482-1-1:2019 (Live working-Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc-Part 1-1:Test methods -Method 1:Determination of the arc rating (ELIM, ATPV and/or EBT)of clothing materials and ofprotective clothing using an openarc) DL/T 320《个人电弧防护用品通用技术要求》等标准，结合我国电力等行业电弧防护实际需求与安全生产法规要求制定，与现行标准体系协调一致、无冲突。编

制过程中，通过行业调研、电弧试验验证、起草组多轮技术研讨，系统梳理了国内防电弧服产品现状、面料技术水平等；并赴相关检验研究院开展电弧测试过程观摩与技术交流，对试验样品制备、结果记录程序及数据分析方法进行了统一，为技术指标设定提供了充分试验与实践依据。

（1）标准的关系

本标准防电弧装备系列标准的第 4 部分：

——第 1 部分 头罩和面屏。目的在于明确在电气作业及相关作业场所中，可能遭受电弧瞬间能量及其热伤害的头部及眼面部防护的头罩和面屏的技术要求。

——第 2 部分 手套。目的在于明确在电气作业及相关作业场所中，可能遭受电弧瞬间能量及其热伤害的手部防护的手套的技术要求。

——第 3 部分 鞋套。目的在于明确在电气作业及相关作业场所中，可能遭受电弧瞬间能量及其热伤害的脚部防护的鞋套的技术要求。

——第 4 部分 服装。目的在于明确在电气作业及相关作业场所中，可能遭受电弧瞬间能量及其热伤害的身体防护的服装的技术要求。

（2）主要技术要求

本标准规定了面料、里料和服装的性能，面料性能包括理化性能（断裂强力、撕破强力、胀破强力、透湿量、起球、水洗尺寸变化率、松弛尺寸变化率、热稳定性、色牢度、甲醛含量、pH 值、可分解致癌芳香胺染料、异味）、阻燃性能和电弧防护性能。里料性能包括阻燃性能、热稳定性、甲醛含量、可分解致癌芳香胺染料、异味。服装性能包括款式与结构、号型尺寸、缝制、辅料及附件、外观、水洗尺寸变化率、电弧防护性能。包含 3 个附录，分别为面料电弧防护性能测试方法、防电弧服整体电弧防护性能测试方法、电弧危害能量计算方法和示例。

（3）主要技术要求的变化及理由

本修订版标准的主要适用范围未作修改，标准的主要技术要求与 GB 8965.4-2022 基本相同，主要变化为增加了防电弧服电弧性能要求，并明确了防电弧服整体电弧防护性能测试方法。

GB 8965.4-2022 制定阶段，国内尚未建立完善的防电弧服成品整体电弧性能测试技术方法，受当时检测技术条件限制，标准仅以面料电弧防护性能等效替

代成品服装的防电弧性能进行规定。实际应用中，防电弧服的版型结构、接缝工艺、开合设计、分层搭配等服装整体构造因素，均会对电弧能量屏蔽与防护效果产生显著影响，单一面料性能无法真实代表成品服装实际防护能力，不能完全等效替代成品整体电弧防护性能评价。同时受服装外观结构、缝制工艺等因素影响，成品服装电弧防护性能可能会低于所用基材面料的防护水平，仅考核面料指标存在评价偏差，无法真实反映产品实际防护水平，存在安全管控漏洞。

为弥补原有标准技术短板，真实客观评价防电弧服成品实际防护能力，规范产品设计、生产及检验评价依据，本次修订新增防电弧服整体电弧防护性能技术要求；同时参考 IEC 61482-1-1:2019 国际标准作为配套测试方法，统一成品电弧等级 ATPV、E_{BT} 等的检测流程、试验条件与结果判定规则，使标准技术要求与国际接轨，提升标准科学性、合理性与实操性，有效保障电力作业人员人身安全，也为防电弧服产品质量检测、选型应用及行业规范化发展提供完整技术支撑。

在入射能量选取方面，考虑到面料是防电弧服防护性能的基础，其电弧等级可作为成品测试的核心基准，因此明确测试时可以服装所用面料的已知电弧等级作为入射能量基准，匹配对应电弧持续时间，确保入射能量处于面料电弧等级范围内，既保证测试的针对性，又依托面料性能数据降低测试盲目性，同时兼顾测试效率与科学性。针对无需评定服装或服装组合与面料等同电弧等级的场景，允许选用更短的电弧持续时间，主要是考虑到实际应用中部分产品无需达到面料同等防护水平，该规定可灵活适配不同产品的设计需求与使用场景，避免过度测试造成的资源浪费，提升标准的适用性。

在低能量复测规则设定上，明确常规情况下仅当首轮测试试样未满足外观检查标准时，才需在更低入射能量下测试更多试样，主要是因为外观质量是防电弧服防护完整性的基础，若试样未通过外观检查，其防护性能可能已受影响，通过低能量复测可进一步验证产品在不同能量条件下的防护稳定性，同时避免无意义的复测，确保测试结果的严谨性与权威性。

在成品电弧等级评定与对应测试要求方面，允许制造商将服装或服装组合的电弧等级评定为（显著）低于其所用面料或面料组合的电弧等级，并可在对应低入射能量下开展测试，核心原因是结合防电弧服的实际设计与生产特点——服装版型、接缝工艺、开合设计等结构因素会影响防护效果，导致成品防护性能可能

低于面料性能，该规定既尊重产品实际防护水平，又为制造商提供合理的等级评定空间，同时通过明确低入射能量测试要求，确保等级评定的规范性与可追溯性，避免因等级评定与实际测试脱节，导致产品防护能力误判，切实保障作业人员使用安全。

综上，本次明确的防电弧服成品电弧性能及测试要求，既贴合行业实际检测能力与产品设计生产现状，又兼顾科学性、严谨性与适用性，能够有效规范成品测试流程，真实反映产品实际防护水平，为标准落地实施、产品质量管控及行业规范化发展提供有力支撑。

（三）新旧标准技术内容变化的依据和理由（修订标准需填写）

本标准与 GB 8965.4—2022 相比，除结构性调整和编辑性修改外，主要技术变化和理由如下所示。

1. 更改了电弧热防护性能值的术语和定义

理由：将 $1 \text{ cal/cm}^2=4.19 \text{ J/cm}^2$ ，改为 $1 \text{ cal/cm}^2=4.184 \text{ J/cm}^2$ ，与国际标准换算保持一致。

2. 增加了熔融、入射能量、入射能量限值和电弧防护性能值术语和定义（见 3.8、3.10、3.11、3.12）

理由：为了更好地理解和执行标准，增补术语和定义。

2.更改了电弧防护等级的术语和定义（见 3.13，2022 年版的 3.9）

理由：明确以电弧防护性能值作为定级依据，由原笼统定性描述改为定量界定；适用对象从单一材料扩展至电弧防护装备，界定更严谨、范围更完整，便于标准理解执行，同时与国际标准术语逻辑保持一致，统一判定口径。

3. 更改了标识的要求（见 6.1，2022 年版的 6.1）

理由：本次修订参考 GB 20097-2025 的最新要求，优化防电弧服标识条款：一是统一并细化了标识必备要素，规范了图形符号及下方标注格式；二是新增 ELIM 值标注要求，与 IEC 等国际标准接轨，便于用户全面掌握防护边界，实现精准选型。

4.删除了包装的要求（见 2022 年版的 6.2）

理由：原标准中包装要求多为通用性内容，与通用标准重复，删除后可避免企业按多重标准执行的重复成本，本标准核心为防电弧服的安全性能要求，包装

属于通用储运要求,删除后可突出标准重点,使条款更聚焦于防电弧服安全性能,提升标准的针对性和执行效率。

5.更改了面料电弧性能测试方法（见附录 A，2022 年版的附录 B）

理由：原标准参考的 ASTM F1959/F1959M-14^{e1} 版本进行了更新，相较于旧版标准，新版标准优化了试验逻辑、细化操作流程、明晰判定规则，条文表述更加严谨规范、技术要求更为清晰明确。为保持试验方法与国际先进标准一致，统一测试流程、数据计算方式及结果判定依据，提升试验数据准确性、重复性与通用性，本文件同步完成修订更新。

6.增加了入射能量限值要求和测试方法（见 A.6.3）

理由：ELIM 是 IEC 61482-1-1:2019 等国际防电弧标准的核心性能指标，新增该要求及对应测试方法，实现了我国标准与国际技术体系的术语、指标和测试方法统一，便于产品出口、国际互认和结果采信。旧标准仅以 ATPV 或 EBT 值作为单一判定依据，未覆盖入射能量极限边界。ELIM 代表材料在电弧暴露下不发生二次引燃的入射能量限值，与 ATPV 或 EBT 值结合，可形成更完整的防护性能评价体系，避免因单一指标导致的防护误判，提升标准的科学性与严谨性。

7.增加了防护服装电弧性能测试方法（见附录 B）

理由：GB 8965.4-2022 制定阶段，国内尚未建立完善的防电弧服成品整体电弧性能测试技术方法，受当时检测技术条件限制，标准仅以面料电弧防护性能等效替代成品服装的防电弧性能进行规定。实际应用中，防电弧服的版型结构、接缝工艺、开合设计、分层搭配等服装整体构造因素，均会对电弧能量屏蔽与防护效果产生显著影响，单一面料性能无法真实代表成品服装实际防护能力，不能完全等效替代成品整体电弧防护性能评价。同时受服装外观结构、缝制工艺等因素影响，成品服装电弧防护性能可能会低于所用基材面料的防护水平，仅考核面料指标存在评价偏差，无法真实反映产品实际防护水平，存在安全管控漏洞。

为弥补原有标准技术短板，真实客观评价防电弧服成品实际防护能力，规范产品设计、生产及检验评价依据，本次修订新增防电弧服整体电弧防护性能技术要求；同时参考 IEC 61482-1-1:2019 国际标准作为配套测试方法，统一成品电弧等级 ATPV、EBT 等的检测流程、试验条件与结果判定规则，使标准技术要求与国际接轨，提升标准科学性、合理性与实操性，有效保障电力作业人员人身安全，

也为防电弧服产品质量检测、选型应用及行业规范化发展提供完整技术支撑。

三、与有关法律、行政法规和其他强制性标准的关系， 配套推荐性标准的制定情况

（一）有关法律、行政法规和其他强制性标准的关系

本标准符合现行法律法规，符合《中华人民共和国标准化法》和《中华人民共和国标准化法实施条例》的精神，《中华人民共和国安全生产法》第四十五条规定“生产经营单位必须为从业人员提供符合国家标准或者行业标准的劳动防护用品，并监督、教育从业人员按照使用规则佩戴、使用”。本标准与我国现有个体防护标准体系中相关配备标准、技术规范标准、选用标准等互相支持、互为补充，共同构成个体防护领域的标准体系，无抵触、矛盾现象，协同促进个体防护产品的有效应用。

（二）配套推荐性标准的制定情况

本标准引用的推荐性标准主要为各项涉及的测试方法标准，已经实施多年，能够满足防电弧服标准的技术要求。配套标准如下：

GB/T 2912.1 纺织品 甲醛的测定 第 1 部分：游离和水解的甲醛（水萃取法）、GB/T 3291.1 纺织 纺织材料性能和试验术语 第 1 部分：纤维和纱线、GB/T 3291.2 纺织 纺织材料性能和试验术语 第 2 部分：织物、GB/T 3291.3 纺织 纺织材料性能和试验术语 第 3 部分：通用、GB/T 3916—2013 纺织品 卷装纱 单根纱线断裂强力和断裂伸长率的测定（CRE 法）、GB/T 3917.3 纺织品 织物撕破性能 第 3 部分：梯形试样撕破强力的测定、GB/T 3920 纺织品 色牢度试验 耐摩擦色牢度、GB/T 3921 纺织品 色牢度试验 耐皂洗色牢度、GB/T 3922 纺织品 色牢度试验 耐汗渍色牢度、GB/T 3923.1 纺织品 织物拉伸性能 第 1 部分：断裂强力和断裂伸长率的测定（条样法）、GB/T 4669—2008 纺织品 机织物 单位长度质量和单位面积质量的测定、GB/T 4802.1 纺织品 织物起毛起球性能的测定 第 1 部分：圆轨迹法、GB/T 4802.3 纺织品 织物起毛起球性能的测定 第 3 部分：起球箱法、GB/T 5296.4 消费品使用说明 第 4 部分 纺织品和服装、GB/T 5455—2014 纺织品 燃烧性能 垂直方向损毁长度、阴燃和续燃时间的测定、GB/T 7573 纺织品 水萃

取液 pH 值的测定、GB/T 7742.1 纺织品 织物胀破性能 第 1 部分：胀破强力和胀破扩张度的测定 液压法、GB/T 8628 纺织品 测定尺寸变化的试验中织物试样和服装的准备、标记及测量、GB/T 8629—2017 纺织品 试验用家庭洗涤和干燥程序、GB/T 8630 纺织品 洗涤和干燥后尺寸变化的测定、GB/T 12704.1 纺织品 织物透湿性试验方法 第 1 部分：吸湿法、GB/T 12903 个体防护装备术语、GB/T 17592 纺织品 禁用偶氮染料的测定、GB/T 18885—2020 生态纺织品技术要求、GB/T 21294 服装理化性能的检验方法、GB/T 23344 纺织品 4-氨基偶氮苯的测定、GB/T 38302—2019 防护服装 热防护性能测试方法、FZ/T 70007 针织上衣腋下接缝强力试验方法、FZ/T 81007 单、夹服装。

四、与国际标准化组织、其他国家或者地区有关法律法规和标准的比对分析

（一）采标情况

本标准的制定不属于采标制定，是在参考借鉴 NFPA 70E、IEC 61482-1-1、IEC 61482-1-2、IEC61482-2、ASTM F 1959 的基础上制定。

（二）与国际、国外有关法律法规和标准对比情况

目前，国际上关于防电弧服的标准有 NFPA 70E，关于电弧防护性能的测试方法主要有 IEC 标准（IEC 61482-1-1:2019 和 IEC 61482-2）和 ASTM F1959/F1959M-24b 标准。

NFPA 70E 标准将电弧防护等级分为 4 级，对面料面密度没有明确要求。NFPA 70E 标准中的防电弧服 1 级范围从 $4\text{cal}/\text{cm}^2$ 开始，本标准 1 级范围调整从 $6\text{cal}/\text{cm}^2$ 开始，其余等级的值与 NFPA 70E 相同，且规定了每个防护等级的单位面积质量要求。

IEC 61482-1-1 的检测方法等同于美标 NFPA70E 指定的检测方法标准 ASTM F 1959。目前国际市场上广泛认可根据 ATPV 或 E_{BT} 值来判定防护等级，也与使用企业对电气工作场所的电弧危害评判方法接轨。本标准涉及的面料电弧防护性能检测方法参考 ASTM F1959 标准制定，服装整体电弧性能测试方法参考 IEC 61482-1-1。文件指标结合现有国际国内实际使用情况，可操作性强，可以对企业

的生产使用和研究以及行业监管起到指导作用。

（三）与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

将同一款面料送至国内外不同检测机构测试，测试结果如下表所示。

表 1 测试样品性能对比

测试 面料克重	国内检测机构			国外检测机构		
	ATPV	E _{BT}	ELIM	ATPV	E _{BT}	ELIM
280g/m ²	15.45	29.55	/	13	/	11
220g/m ²	20.50	23.01	/	17	/	/

从本次比对数据看，国内外机构测试结果虽存在一定偏差，但偏差主要源于试验条件、设备校准等实验室间系统误差，且偏差范围未超出标准允许的合理波动区间。两种机构测得的 ATPV 值均能满足对应防护等级的最低要求，未出现因数据偏差导致产品跨等级判定的情况，防护等级判定结果完全一致。ASTM F1959/F1959M 的精度与偏差（Precision and Bias）条款明确指出：电弧防护测试结果存在实验室间系统偏差，属于该方法的固有特性，其测试方法设计已考虑并认可不同实验室间的合理差异范围。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

六、强制性国家标准自发布日期至实施日期之间的过渡期的建议及理由

（一）过渡期建议及理由（实施标准需要的技术改造、成本投入、老旧产品退出市场时间等）

本标准指标结合现有国际国内实际使用情况，可操作性强，对企业的生产使用和研究以及行业监管起到了指导作用，相关技术要求也不会对产品生产提出过高难度，不会引起生产成本的明显增加。因此，本标准实施所需技术条件是成熟的，建议按照正常流程进行发布和实施，建议过渡期 12 个月，以便企业调整生产、更新技术和培训员工。

（二）实施标准可能产生的社会和经济影响等

随着国家安全生产监管力度的加强以及从业人员自我工作安全意识的提高，防护服装市场已呈高速发展态势。同时，随着我国工业化和城市化程度不断深化，出现了大量存在电弧伤害风险的电气作业或相关作业场所。与其他电伤害不同，发生电弧伤害时，人体主要由于巨大的电弧能量受到热伤害。与已受到广泛关注的意外触电相比，电弧伤害甚至更加危险，发生电弧伤害时，非常容易直接造成人员伤亡。防电弧服是应用于电气作业或其他相关作业，用于防护人员产品作为作业人员日常穿着的，用于避免上述危害的躯干部防护装备，其质量水平直接影响作业人员的安全和健康。本标准的发布实施和推进落实，将有助于规范和提高我国防电弧服服装材料及成品的质量技术水平，进一步推动防电弧服的应用领域的扩大，促进该产品的规范使用。

七、实施强制性国家标准有关的政策措施（包括实施监督管理部门以及对违反强制性国家标准的有关行为进行处理的有关法律、行政法规、部门规章依据等）

（一）实施监督管理部门

本标准的实施监督管理部门为县级及以上应急管理部门。

（二）对违反强制性国家标准的有关行为进行处理的有关法律、行政法规、部门规章依据等

与实施和处罚违反本标准有关的法律法规及部门规章主要有《中华人民共和国安全生产法》《市场监管总局办公厅 住房和城乡建设部办公厅 应急管理部办公厅 关于进一步加强安全帽等特种劳动防护用品监督管理工作的通知》。

《中华人民共和国安全生产法》

第九十九条 生产经营单位有下列行为之一的，责令限期改正，处五万元以下的罚款；逾期未改正的，处五万元以上二十万元以下的罚款，对其直接负责的主管人员和其他直接责任人员处一万元以上二万元以下的罚款；情节严重的，责令停产停业整顿；构成犯罪的，依照刑法有关规定追究刑事责任：（五）未为从业人员提供符合国家标准或者行业标准的劳动防护用品的。

《市场监管总局办公厅 住房和城乡建设部办公厅 应急管理部办公厅 关于进一步加强安全帽等特种劳动防护用品监督管理工作的通知》的保障措施中规定“（四）严格追责问责。对未使用符合国家或行业标准的特种劳动防护用品，特种劳动防护用品进入现场前未经查验或查验不合格即投入使用，因特种劳动防护用品管理混乱给作业人员带来事故伤害及职业危害的责任单位和责任人，依法追究相关责任。”

八、是否需要对外通报的建议及理由（通报与否均应说明理由）

建议对外通报。理由如下：

1. 需要进行对外通报。国外对于电气及相关作业人员采用防电弧服已有十几年的历史，其中美国每一年都在更新电力行业防电弧服装的标准，对外通报有助于各国了解我国焊接服的技术要求和质量水平，促进国内外技术交流。

2. 本标准是在参考借鉴美国及 IEC 标准的基础上制定，在参考国外的经验与标准的基础上制定符合中国国情的产品标准。本标准技术指标与国际上防电弧服标准 NFPA 70E 有差异，面料电弧性能测试参考 ASTM F1959/F1959M-24b 中规定的方法，防电弧服整体电弧性能参考 IEC 61482-1-1:2019 的方法，但技术要求水平基本与国际产品接轨，标准通报有助于各国了解我国焊接服产品质量水平，促进我国防电弧服产品进入国际市场。

3. 标准通报也有助于各国了解我国防电弧服产品的技术要求，将国外先进产品引入我国市场，有助于进一步提高我国防电弧服产品技术水平，提高作业人员防护水平。

九、废止现行有关标准的建议

本标准代替 GB 8965.4—2022《防护服装 防电弧服》。待该标准发布实施后，建议废止 GB 8965.4—2022《防护服装 防电弧服》。

十、涉及专利的有关说明

无。

十一、强制性国家标准所涉及的产品、过程和服务目录

本标准主要涉及防电弧服。

十二、其他应予以说明的事项
无。