



中华人民共和国国家标准

GB/TXXXX—202X

代替 GB/T 23467-2009、GB/T 38302-2019

防护服装 热防护和假人火焰轰燃防护性能 测试方法

Protective clothing—Thermal protective performance test method and flash fire
protective performance manikin test method

ISO 13506-1:2024 《Protective clothing against heat and flame
Part 1: Test method for complete garments — Measurement of transferred energy
using an instrumented manikin》, MOD
ISO 13506-2:2024 《Protective clothing against heat and flame — Part 2: Skin burn
injury prediction — Calculation requirements and test cases》, MOD

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2025 年 1 月 16 日）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 热防护性能测试方法	3
5 用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法	14
附录 A （资料性）皮肤烧伤预测计算要求和测试案例	32
参考文献	41

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。

本文件中假人和火焰轰燃防护性能测试方法部分修改采用ISO 13506-1:2024《火焰和热防护服-第1部分：成套防护服的测试方法-使用仪器化假人测试传递的能量(Protective clothing against heat and flame—Part 1: Test method for complete garments—Measurement of transferred energy using an instrumented manikin)》、ISO 13506-2:2024《火焰和热防护服-第2部分：皮肤烧伤预测计算要求和测试用例(Protective clothing against heat and flame— Part2: Skin burn injury prediction — Calculation requirements and test cases)》，与ISO 13506-1:2024、ISO 13506-2:2024相比，除结构性调整和编辑性改动外，主要技术性差异及其原因如下：

- 为了与我国标准体系结构保持一致，将ISO 13506-1:2024、ISO 13506-2:2024的技术内容合并调整到第5章用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法中；
- 为适应我国的技术条件，对原理、设备和材料、试样制备和调湿、测试步骤等做出了具有技术差异性的调整。

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。

本文件由全国个体防护装备标准化技术委员会(SAC/TC112)归口执行。

本文件起草单位：中科国联劳动防护技术研究院（北京）有限公司、军事科学院系统工程研究院军需工程技术研究所、泰和新材集团股份有限公司、杜邦（中国）研发管理有限公司、北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所、祐力（中国）投资有限公司等。

本文件主要起草人：杨文芬、罗穆夏、毕景中等。

防护服装 热防护和假人火焰轰燃防护性能测试方法

1 范围

本文件规定了热防护材料的热防护性能值（以下简称为“TPP”）、热防护性能评估（以下简称为“TPE”）的测试方法和用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法。其中，热防护性能值（TPP）和热防护性能评估（TPE）测试方法包括原理、实验室人员健康和安全、设备和材料、试样制备和调湿、校准和维护保养、测试步骤、结果计算、测试报告；用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法包括原理、测试装置、安全操作、测试样品、测试准备、测试过程、测试报告。

本文件中，热防护性能值（TPP）和热防护性能评估（TPE）测试适用于单层或多层材料的热防护性能测试，应用于暴露在对流及辐射热危害的从业人员的热防护材料的评估；用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法适用于防护服阻燃性能的测试与评价。

本文件不适用于非阻燃及遇高温易熔融、滴落等材料及非阻燃服装的测试。

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 6529 纺织品 调湿和试验用标准大气（ISO 139:2005, MOD）

GB/T 1335.1 服装号型 男子

GB/T 1335.2 服装号型 女子

GB/T 3291 纺织 纺织材料性能和试验术语

GB/T 8629 纺织品 试验用家庭洗涤和干燥程序

GB/T 13640 劳动防护服 号型

3 术语和定义

GB/T 3291、GB/T 13640界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热防护性能值 thermal protective performance

TPP

在测试热防护材料过程中，通过测得的该材料在累计时间上的传热反应曲线与Stoll曲线的交点来确定的累积能量。

注：单位为千瓦·秒/平方米(卡/平方厘米) $[\text{kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2 (\text{cal}/\text{cm}^2)]$ 。

3.2

热防护性能评估 thermal performance estimate

TPE

在测试热防护材料过程中，通过测得的该材料在一定时间上的传热反应曲线与Stoll曲线的相切(或近似相切)来确定的总累积能量。

注：单位为千瓦·秒/平方米(卡/平方厘米) [$\text{kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ (cal/cm^2)]

3.3

Stoll 曲线 stoll curve

在测试热防护材料过程中,通过测得的该材料在一定时间上的传热反应曲线与Stoll曲线的相切(或近似相切)来确定的总累积能量。

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

3.4

热通量 heat flux

单位时间内在单位面积上传递的热量。

注：单位：千瓦/平方米(卡/平方厘米) [kW/m^2 (cal/cm^2)]。

3.5

热暴露反应 response to heat exposure

在热防护性能测试时,材料暴露于热源下的表现反应。

注：比如开裂、熔融、滴落、炭化、脆化、鼓包、收缩、粘结和燃烧等。

3.6

开裂 breakopen

材料受热后出现的面积不小于 3.2 cm^2 或任何方向尺寸不小于 2.5 cm 的空洞。

注：允许该空洞中存在单根纱。

3.7

脆化物 embrittlement

高温或不完全燃烧所形成的易脆的残余物。

3.8

热收缩 thermal shrinkage

物品或者材料高温下出现一个或多个方向尺寸的减少。

3.9

鼓包 bubble

材料表现为受热变形后形成凸起的状态。

3.10

烧伤 burn injury

在人体组织不同深度造成的热损伤。

注：当人体组织受热并在高温下持续一定时间后,人体组织就会发生烧伤。烧伤程度分为一度、二度和三度三个烧伤等级;烧伤程度取决于温度高低和持续时间的长短。

3.11

火焰分布 flame distribution

在服装轰燃测试中,从燃烧器喷出热通量可控的火焰在假人表面形成的空间分布。

3.12

仪器化假人 instrumented manikin

具有成年人尺寸、表面至少布设100个热传感器用于服装轰燃测试中的假人。

3.13

热传感器 heat sensor

试验中测量传递到假人表面热量的一种仪表(装置)。

3.14

热防护 thermal protection

用于检测单件服装或整套防护服阻止产生烧伤的热传递性能的一种属性。

3.15

预估总烧伤面积 predicted total area of burn injury

服装轰燃测试中，通过热传感器计算出的发生二度以上烧伤面积之和。

3.16

二度烧伤 second-degree burn injury

在模拟人体表皮/真皮组织界面造成的不可恢复的烧伤。

3.17

二度烧伤面积 second-degree burn injury area

服装轰燃测试中，由热传感器测量出的人体表皮/真皮界面二度烧伤面积之和。

3.18

三度烧伤 third-degree burn injury

在模拟人体真皮/皮下组织界面中造成的不可恢复的烧伤。

3.19

三度烧伤面积 third-degree burn injury area

服装轰燃测试中，由热传感器测量出的人体真皮/皮下组织界面三度烧伤面积之和。

4 热防护性能测试方法

4.1 原理

将试样水平放置并暴露于对流辐射组合热源，暴露的总热通量为 $(84 \pm 2) \text{ kW/m}^2$ [$(2.00 \pm 0.05) \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{s}$]。使用铜量热传感器测量并记录试样的温度随时间变化情况，结合铜的热学性能参数将温度变化情况换算为透过试样传递的热能，得到热能随时间变化的传热反应曲线。可采取以下两种测试方法表征材料的热防护性能：

- a) 第1个测试方法：铜量热传感器测的传热反应曲线与 Stoll 曲线相交点所对应的时间与材料暴露的总热通量的乘积（即：累积能量），得到试样的热防护性能值（TPP）；
- b) 第2个测试方法：铜量热传感器在移出规定的对流辐射热后记录的传热反应曲线与 Stoll 曲线相切（或近似相切）时的暴露时间与总热通量的乘积即为试样的热防护性能评估（TPE）。

4.2 试验人员的健康和安全

4.2.1 热防护性能实验室人员的安全健康应符合以下条件：

- a) 样品的燃烧和高温测试可能会产生影响操作人员健康的烟雾和有毒气体，测试人员需佩戴防毒面罩。可将测试仪器安装在通风橱内或通风良好的区域内，每次测试后应排出烟雾和烟尘。但在试样燃烧过程中应避免火焰受通风影响；
- b) 在操作高温组件（如测试中的试样夹持架和传感器）时需佩戴防高温手套；
- c) 测试过程中要防止燃气泄漏以免发生爆炸；
- d) 辐射灯开启时操作人员需配戴防炫目眼镜。

4.2.2 假人轰燃实验室人员的安全健康：

- a) 为确保测试安全，应严格遵循实验室提供的操作规程。包括但不限于：测试前对燃烧室进行通风处理；点火系统检查和激活时，燃烧室内应无任何人员；测试过程中需隔离燃烧室，以控制燃烧过程及其产生的燃烧产物；测试完成后，燃烧室应进行通风处理。

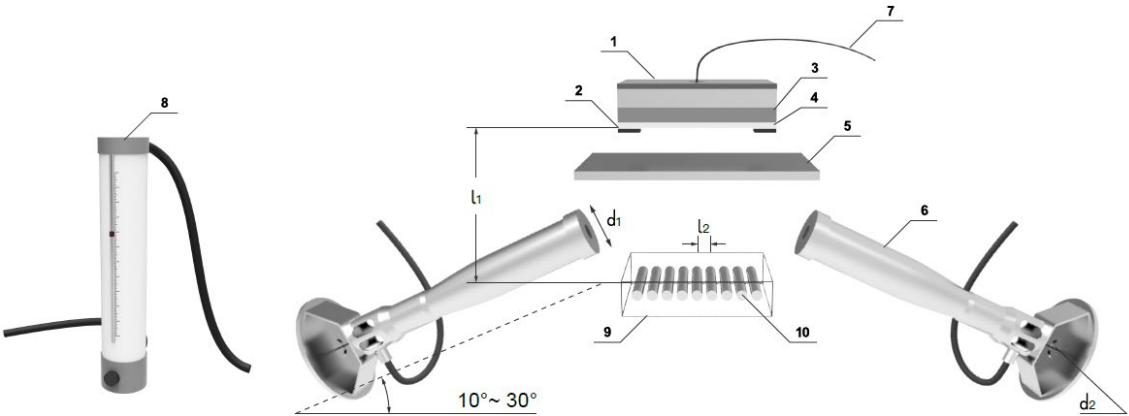
- b) 燃烧室应配备合格的灭火系统。
- c) 测试过程中注意防止人员接触燃烧后的产物、烟雾和气体。可以使用通风系统防止接触燃烧后的有害烟气。在燃烧室内作业、处理燃烧后的服装以及测试后清洁仪器化的假人模型时，应配备适当的个体防护装备。

4.3 设备和材料

4.3.1 总体布置

测试仪器结构包括组合对流辐射热源、用于控制暴露时间的隔热遮板、试样和传感器支撑架结构、试样固定器组件、铜量热传感器组件和数据采集/分析系统等，见图1。

单位为毫米



标引序号说明：

- 1—铜量热传感器；
- 2—试样夹持架；
- 3—可选隔距框；
- 4—测试样品；
- 5—隔热遮板；
- 6—燃烧灯；
- 7—传感器输出线；
- 8—气体流量计；
- 9—辐射灯外罩；
- 10—辐射灯管；
- l_1 —样品到辐射灯距离， (125 ± 10) mm；
- l_2 —辐射灯管间距， (13.0 ± 0.5) mm；
- d_1 —燃烧灯喷嘴直径， (38 ± 2) mm；
- d_2 —燃烧灯喷孔直径， (1.2 ± 0.1) mm。

图1 热防护性能测试仪器总体布置图

4.3.2 燃烧气源

采用工业级丙烷（纯度为95%以上）或甲烷（纯度为99%以上）。

4.3.3 气体流量计

标准条件下量程为0~6 L/min，精度为4%的气体流量计，建议使用质量流量计。

4.3.4 热源

4.3.4.1 燃烧灯

用于可燃气（丙烷或甲烷）喷射的两台燃烧灯，其顶部喷口直径为 (38 ± 2) mm，喷孔直径为 (1.2 ± 0.1) mm。燃烧灯中心线与水平方向呈现10°到45°斜向上的角度。两灯之间喷射的火源外焰交叉点位于试样的中心点。尺寸精度为5%。

注：根据经验，当燃烧灯中心线与水平方向呈10°到30°的角度时，测试效果更稳定。

4.3.4.2 辐射灯

辐射灯由9只500W并列排放的透明或半透明石英红外灯管组成。可通过控制器变换功率，距离试样正面 (125 ± 10) mm，灯管之间的中心距离为 (13.0 ± 0.5) mm。

4.3.4.3 辐射灯外罩

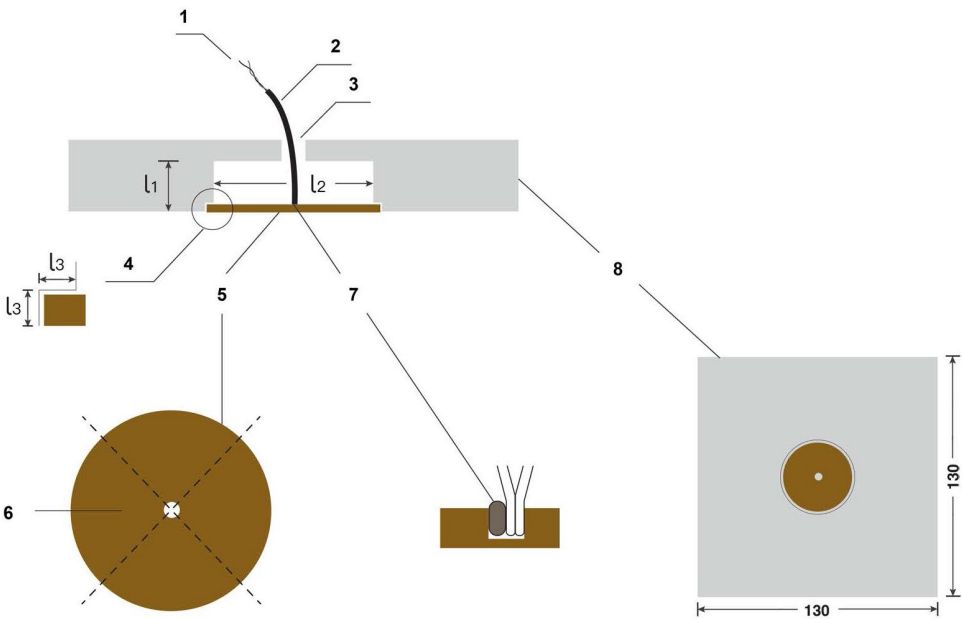
辐射灯外罩应采用冷却装置，防止局部过热和操作人员的灼伤。

4.3.5 铜量热传感器的构造

4.3.5.1 铜量热传感器的组成部件

铜量热传感器由以下几个部分组成，其形状如图2所示：

单位为毫米



标引序号说明：

1—热电偶线；

- 2—J型或K型热电偶；
3—绝热板孔洞直径， $(3.0\pm0.1)\text{ mm}$ ；
4—凸缘；
5—无氧铜，重 $(18.00\pm0.05)\text{ g}$ ，直径为 $(40.0\pm0.5)\text{ mm}$ ，厚度为 $(1.6\pm0.1)\text{ mm}$ ；
6—铜片中心钻孔放置热电偶，直径为 $(1.2\pm0.1)\text{ mm}$ ，进深为 $(1.3\pm0.1)\text{ mm}$ ；
7—铜片与热电偶的连接方式之一（铜插销）；
8—铜量热传感器的平面图；
1₁—铜片至绝热板孔洞之间的镂空高度， $(9.5\pm0.5)\text{ mm}$ ；
1₂—铜片至绝热板孔洞之间的镂空直径， $(37\pm0.5)\text{ mm}$ ；
1₃—铜片与绝热板相嵌的凸缘长度和高度， $(1.6\pm0.1)\text{ mm}$ 。

图2 铜量热传感器的构造

- a) 铜片：无氧铜材质，直径为 $(40.0\pm0.5)\text{ mm}$ ，质量为 $(18.00\pm0.05)\text{ g}$ （未钻孔前），厚度为 $(1.6\pm0.1)\text{ mm}$ ，中心有一个 $(1.2\pm0.1)\text{ mm}$ 直径， $(1.3\pm0.1)\text{ mm}$ 进深的孔洞；
b) 绝热板：铜片镶嵌在绝热板中间组成传感器。其厚度为 $(13\pm2)\text{ mm}$ ，导热系数值应小于 $0.15\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，具备高温稳定性和热冲击缓冲性。铜片固定在绝热板上；

注：目前普遍采用硅酸钙板。

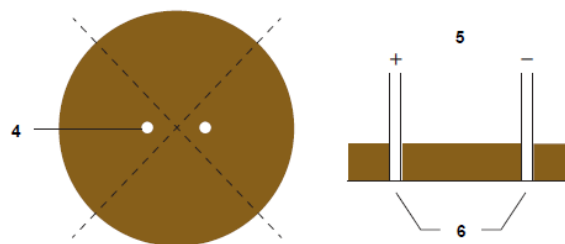
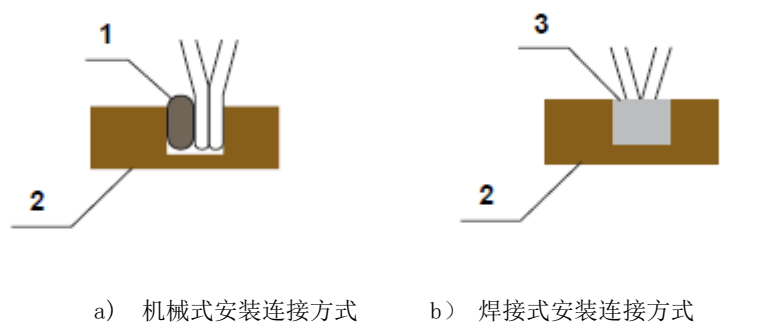
- c) 热电偶：采用单个的 J 型（铁/铜镍型）或 K 型（镍铬/镍铝型）热电偶丝（直径不大于 0.25 mm ）安装在铜片的中心孔洞中，组成铜量热计，其安装连接方式有三种，如图 3 所示：
d) 热电偶丝通过铜插销的机械挤压（如图 2）插入铜片中心孔洞，完成机械连接；
e) 用高熔点焊料（温度高于 280°C ）焊接热电偶丝与铜片；

注1：由5%铈-95%铅（熔点大约为 307°C ）和5%铈-93.5%铅-1.5%银（熔点大约为 300°C ）构成的焊料较为合适；

注2：上文中确定的最低温度为 280°C 与焊接点对应，需精准的焊接技术避免“冷”焊接接头（焊料未连接热电偶和铜片）；

- f) 铜量热传感器总重需达 $(1.00\pm0.01)\text{ kg}$ 并且向下均匀受力。

单位为毫米



c) 固定式安装连接方式

图3 铜量热传感器的安装连接方式

标引序号说明：

- 1—铜插销；
- 2—铜片；
- 3—高熔点焊料；
- 4—固定式安装部位：直径为（0.02 ~0.6）mm的孔洞；
- 5—热电偶丝的正负极；
- 6—银焊料填充部位。

4.3.5.2 铜量热传感器的表面处理

选用乙醇或丙酮等石油溶剂清洁铜片表面。单层涂覆铜片表面的黑色喷漆需采用耐高温（300℃以上）无光并且吸收率大于0.9的喷漆。按照供应商建议的流程烘干和固化喷漆,达到厚薄均一、表面平整,可使用外部热源（例如辐射灯）加热固化。

4.3.6 试样夹持架

试样夹持架（见图4，公差范围在±1mm）需要三个完整的配件组成—上夹板，下夹板和隔距框（建议使用高温不变形、耐腐蚀材质）。进行非接触式测试时应使用隔距框。

单位为毫米

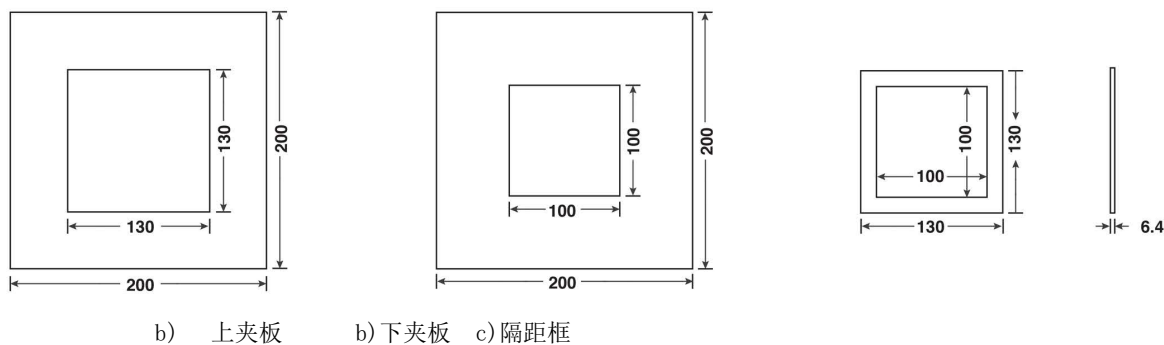


图4 试样夹持架

4.3.7 隔热遮板

位于试样夹持架和热源之间，来回移动隔离热源。隔热遮板移出热源的响应时间不应大于0.5s。建议采用水冷方式防止过热。

4.3.8 数据采集分析系统

数据采集分析系统包含以下要求：

- a) 能指示或记录铜热量传感器上的温度响应；
- b) 通过温度响应计算产生的累积热量；

- c) 根据温度响应随时间的增长而与 Stoll 曲线相交来确定测试终点;
- d) 在温度达到 250°C 之前, 数据采集的最低频率不低于每秒 10 个;
- e) 采集的最小分辨率为 0.1°C, 精度为 $\pm 0.7^\circ\text{C}$;
- a) 转换 J 或 K 型热电偶的毫伏信号为温度, 能冷端修正。

注: 软件的设置需匹配不同的热电偶。

4.4 试样制备和调湿

4.4.1 取样

剪取试样时距离布边至少 100 mm, 每个样本上剪取至少三块试样, 每块试样尺寸为 $(150\pm 2)\text{mm}\times(150\pm 2)\text{mm}$, 应平整不含接缝。多层试样不应含有易熔融材料并视作整体进行测试。其他如洗涤等条件另有规定, 按相关的产品标准执行。

4.4.2 调湿和测试用标准大气

调湿和测试用标准大气应符合 GB/T 6529 的规定。

试样应在温度 $(20.0\pm 2.0)^\circ\text{C}$, 相对湿度 $(65.0\pm 4.0)\%$ 的标准大气中放置 24 h。调湿后试样应在 30 min 内完成测试。测试时环境温度不大于 35°C。

4.4.3 测试条件

所有测试和校准需在有通风罩或通风良好的区域以有效排出燃烧后的物质、烟气和废气。使用铜量热传感器测定总热通量定在 $(84\pm 2)\text{ kW/m}^2$ [$(2.00\pm 0.05)\text{ cal/cm}^2\cdot\text{s}$]。

4.5 校准和维护保养

4.5.1 校准

4.5.1.1 辐射灯热通量校准和火焰调节

4.5.1.1.1 辐射灯热通量校准

辐射灯预热 15 min 后, 将标准辐射热流计放于铜量热传感器相同的空间位置上, 调节功率达到输出热通量为 $(13\pm 4)\text{ kW/m}^2$ [$(0.3\pm 0.1)\text{ cal/cm}^2\cdot\text{s}$]。老化的辐射灯管如在调节相同热通量需要增加的电压幅度大于 5 V 时, 应立即更换。

注: 标准辐射热流计的型号通常为施米特-博特 (Schmidt-Boelter) 或者盖登 (Gardon)。

4.5.1.1.2 火焰调节

取下标准辐射热流计, 调节可燃气气压至 $(40\sim 70)\text{ kPa}$ 之间。在辐射灯开启时 (热通量为 $(13\pm 4)\text{ kW/m}^2$ [$(0.3\pm 0.1)\text{ cal/cm}^2\cdot\text{s}$]), 以低气流量启动燃烧灯, 调节燃烧灯针阀和风门, 充分利用蓝色外焰均匀燃烧并聚焦于试样中心点下方, 其形状如图 5 所示。

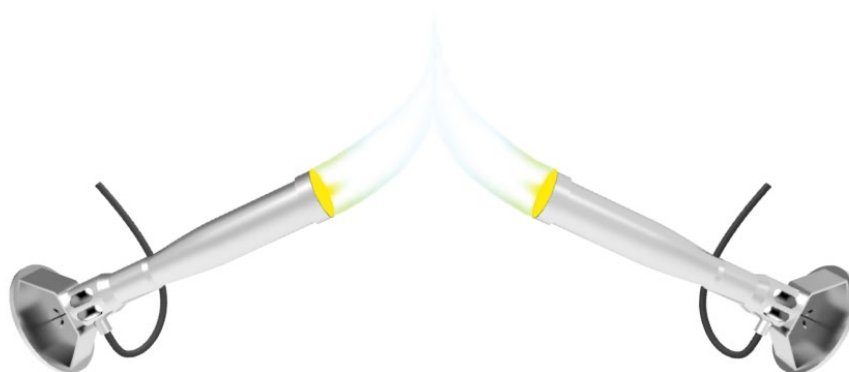


图5 火焰状态示意图

4.5.1.2 总热通量的校准

4.5.1.2.1 确保传感器表面清洁平整、无沉积物。绝热板与铜片之间连接完整，无凹凸不平。铜片表面黑色涂层平整，无沉积、水泡等。否则，按照步骤 4.5.1.3 修复铜量热传感器表面。传感器温度稳定（1 分钟内温度变化小于 1°C ）后进行校准。

4.5.1.2.2 在热源稳定后，启动数据采集系统，将达到起始温度范围的传感器（ $28\sim 33^{\circ}\text{C}$ ）放在试样夹持架上。

4.5.1.2.3 铜量热传感器在热源上的暴露持续时间为 10 s，从隔热遮板移出瞬间计时开始。

4.5.1.2.4 采集数据停止后移出传感器，远离热源并冷却至室温。

4.5.1.2.5 程序通过 4.7.1 中的计算方法结合传感器记录 0~10 s 的温度变化数据（温差大约为 $(144.5\sim 151.5)^{\circ}\text{C}$ ），得出的平均热通量值即为总热通量值。

4.5.1.2.6 如果 4.5.1.2.5 中测定的总热通量在 $(84\pm 2)\text{ kW/m}^2$ [$(2.00\pm 0.05)\text{ cal/cm}^2\cdot\text{s}$] 范围内，该值作为总热通量校准值归入后续的试样计算中。如果总热通量值在范围外，需调节气体流量计，重复校准过程（参见 4.5.1.2.2~4.5.1.2.5）直到符合范围完成校验。

4.5.1.3 保养

4.5.1.3.1 传感器的表面修复：传感器表面沾有沉积物，或出现黑漆涂层不平整，或呈现裸铜，应及时使用溶剂和黑漆修复。溶剂使用时确保远离火源。重新涂覆后的传感器需按步骤 4.5.1.2.2~4.5.1.2.5 进行校准后使用。

4.5.1.3.2 试样夹持架的保养：保持试样夹持架的清洁，使用无水溶剂清洗焦油、煤烟或其他燃烧分解物。

4.6 测试步骤

4.6.1 热防护性能值测试（TPP）

4.6.1.1 热防护性能值为 3 个试样测试结果的平均值。

4.6.1.2 校准热源—按步骤 4.5.1.2.2~4.5.1.2.5 中校准热源，使总热通量达到 $(84\pm 2)\text{ kW/m}^2$ [$(2.00\pm 0.05)\text{ cal/cm}^2\cdot\text{s}$]，记录总热通量数据。随后取下试样夹持架，装上试样和传感器准备测试。建议在测试完成 3 组样品共 9 个试样后重新校准总热通量（可增加校准频次）。

4.6.1.3 试样正面朝向热源，背面放置铜量热传感器。多层试样的内层正对传感器。传感器和试样之间加隔距框即为非接触式，不加则为接触式测试，应在报告中注明。6.4 mm 厚的隔距框仅在非接触式测试时使用。

注：多层试样隔距框的使用——非接触式（加隔距框）测试通常用于模拟衣服内层和穿着者之间的空气层。在本项测试方法中，对于测试时间超过60s的多层试样，不建议使用非接触式（加隔距框）测试。

4.6.1.4 测试前使用隔热遮板隔离热源。隔热遮板移出后，试样暴露于热源上方中心点处并开始记录数据。

4.6.1.5 当铜量热传感器测得的累积能量（计算方法见 4.7.2）与 Stoll 曲线相交后，中止测试，记录暴露时间，试样移出热源。Stoll 曲线计算公式见 4.7.1。

4.6.1.6 热防护性能值是暴露时间与校准总热通量的乘积（公式见 4.7.3）计算得出。

4.6.1.7 记录测试中观察到的现象。

4.6.1.8 将试样夹持架和传感器组件冷却至(28~33) °C(模拟人体表皮的温度)，再按步骤 4.6.1.3-4.6.1.7 进行剩余样品的测试。完成三个试样测试后取平均值记录为试样的热防护性能值。

4.6.1.9 剔除与平均值相差超过±10 %的测试结果，重新裁样补足三个试样进行测试。

4.6.2 热防护性能评估测试（TPE）

4.6.2.1 一般需要三组试样完成热防护性能评估，一组试样确定评估时间，后两组试样作为评估时间验证。

4.6.2.2 按步骤 4.6.1.2 校准热源，记录下总热通量数值。

4.6.2.3 按步骤 4.6.1.3-4.6.1.5 热防护性能值方法测试试样，得到试样的最大暴露时间（ $t_{\max}$ ）。

4.6.2.4 将最大暴露时间除以 2 即为暴露时间（ t_{trail} ）。

4.6.2.5 在设备软件中输入暴露时间（ t_{trail} ），装备样品准备测试。

4.6.2.6 当达到暴露时间（ t_{trail} ）后，隔热遮板复位，试样离开热源，仪器依然记录数据。在此过程中，环境温度不可超过 35 °C。

注：如果无法满足此要求，也可以将样品架整体设计为可取下的结构，当隔热遮板复位后，可快速手动将“样品架/试样/传感器”整体取下远离热源，但要持续记录数据。

4.6.2.7 试样在热源暴露结束后仪器持续采集数据的时间应不少于 30 s，以完全释放试样上的蓄积热能。当传感器上测量的传热反应曲线下降时便可手动停止采集数据。30s 后传热反应曲线未下降时须延长采集时间（采集时间不超过 120s）。

4.6.2.8 从传感器测得的传热反应曲线与 Stoll 曲线的下列关系来测定热防护性能评估。

- a) 如果 60s（或 120s）内传感器测量到的传热反应曲线超过 Stoll 曲线（即超出二度烧伤），需要减少暴露时间 t_{trail} 。取从前序较低暴露时间（首次最低暴露时间为 0 s）到当前暴露时间 t_{trail} 的中间值。设定此时间，重复步骤 4.6.2.5~4.6.2.7，直到试样的传热反应曲线与 Stoll 曲线相切，或当前的暴露时间 t_{trail} 和前序暴露时间差值不大于 0.5s，此试样组的热防护性能评估为当前的暴露时间 t_{trail} 与校准总热通量数值的乘积；
- b) 如果 60s（或 120s）内传感器测量到的传热反应曲线远低于 Stoll 曲线（即未能预计到二度烧伤），需要增加暴露时间 t_{trail} ，取当前暴露时间与前序较高暴露时间（首次最高暴露时间为 9.2.3 中的暴露时间 $t_{\max}$ ）的中间值，设定此时间，重复步骤 9.2.5~9.2.7。直到试样的传热反应曲线与 Stoll 曲线相切，或当前的暴露时间 t_{trail} 和前序暴露时间差值不大于 0.5s，此试样组的热防护性能评估为当前的暴露时间 t_{trail} 与校准总热通量数值的乘积。

4.6.2.9 记录测试中观察到的现象。

4.6.2.10 重复验证暴露时间 t_{trail} , 热防护性能评估是已验证的暴露时间 t_{trail} 与校准总热通量的乘积(公式见 4.7.4), 取三个数值的平均值即为平均热防护性能评估。

4.6.2.11 剔除与平均值相差超过 $\pm 10\%$ 的测试结果, 重新裁样补足试样进行测试。

4.7 结果计算

4.7.1 Stoll 曲线的公式

Stoll曲线的计算按公式(1)进行。

$$J_1 = (5.0204 \times t_i^x) \times 10 \text{ 或 } J_2 = 1.1991 \times t_i^x \dots\dots\dots (1)$$

式中:

J_1 ——单位面积热能, 单位为 ($\text{kw}\cdot\text{s}/\text{m}^2$);

J_2 ——单位面积热能, 单位为 (cal/cm^2);

t_i ——试样在热源暴露开始起经过的时间, 单位为 (s);

x ——系数, 0.2901。

4.7.2 传感器的向响应计算方式

4.7.2.1 初始温度下的铜片热容量的计算公式

初始温度下的铜片热容量的计算按公示(2)进行。

$$C_p = 4.1868 \times \frac{A+B \times t+C \times t^2+D \times t^3+E/t^2}{63.546} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

C_p ——热容量 ($\text{J}/\text{g}^\circ\text{C}$) 温度为 16°C 和 1085°C 之间的铜热容

t ——(测定温度 $^\circ\text{C} + 273.15$)/1000;

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;

4.7.2.2 测定暴露开始和结束时的温度与时间相关性的累积热量值。

4.7.2.2.1 在温度随时间上升期间铜片的平均热容量: 通过利用在 10.2.1 中确定的初始热容量和相关时间间隔期测定的温度计算所有传感器的平均热容量, 按公示(3)进行:

$$\overline{C_p} = \frac{C_p@Temp_{\text{起始}} + C_p@Temp_{\text{结束}}}{2} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

式中:

$\overline{C_p}$ ——平均铜片的热容量, 单位为 ($\text{J}/\text{g}^\circ\text{C}$);

$C_p@Temp_{\text{起始}}$ ——起始温度时的铜热容量, 单位为 ($\text{J}/\text{g}^\circ\text{C}$);

$C_p@Temp_{最终}$ ——终止温度时的铜热容量，单位为（J/g°C）；

4.7.2.2.2 按照公式（4）计算测定的任何暴露期间内的累积热暴露：

$$Q = \frac{质量 \times \overline{C_p} \times (Temp_{最终} - Temp_{起始})}{面积 \times 10} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

Q——铜量热传感器测得的累积热能，单位为（kW·s/m²）；

质量——铜片的质量，单位为（g）；

$\overline{C_p}$ ——温度上升期间铜片的平均热容量，单位为（J/g°C）；

Temp_{最终}——一定时间热暴露后的铜片温度，单位为（°C）；

Temp_{起始}——铜片的初始温度，单位为（°C）；

面积——铜片的面积，单位为（cm²）。

4.7.2.2.3 由于传感器设计时铜片质量恒定 18.0g，暴露面积恒定 12.57cm²，因此传感器的累积热能可简化成按公示（5）计算：

$$Q = \frac{1.432 \times \overline{C_p} \times (Temp_{最终} - Temp_{起始})}{10} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

Q——铜量热传感器测得的累积热能，单位为（kW·s/m²）；

$\overline{C_p}$ ——温度上升期间铜片的平均热容量，单位为（J/g°C）；

Temp_{最终}——一定时间热暴露后的铜片温度，单位为（°C）；

Temp_{起始}——铜片的初始温度，单位为（°C）。

注：如果采用不同质量和暴露面积的铜片，上文公式5中的常数1.432相应调整。

4.7.2.2.4 传感器校准计算的热通量公式

任何时间间隔的铜量热计入射热通量按公式（6）计算：

$$q = \frac{m \times \overline{C_p} \times (Temp_{最终} - Temp_{起始})}{吸收率 \times 面积 \times (time_{最终} - time_{起始})} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

q——入射热通量，单位为（kW/m²）；

m——铜片的质量，单位为（g）；

$\overline{C_p}$ ——温度上升期间铜片的平均热容量，单位为（J/g°C）；

Temp_{最终}——一定时间热暴露后的铜片温度，单位为（°C）；

Temp_{起始}——铜片的初始温度，单位为（°C）；

面积——铜片的面积，单位为（cm²）；

吸收率——针对热量计表面的黑色涂漆的值（通常为0.9）；

time_{最终}——停止暴露时的时间；

time_{起始}——开始暴露时的时间。

对于质量为 18.0g、暴露面积为 12.57cm²、黑漆吸收率为 0.9 且校准采样间隔为 10s 的铜盘/铜片，入射热通量简化为公式（7）：

$$q = 1.591 \times \overline{C_p} \times (\text{Temp}_{\text{最终}} - \text{Temp}_{\text{起始}}) \dots\dots\dots (7)$$

式中：

q ——入射热通量，单位为（kW/m²）；

$\overline{C_p}$ ——温度上升期间铜片的平均热容量，单位为（J/g°C）；

$\text{Temp}_{\text{最终}}$ ——一定时间热暴露后的铜片温度，单位为（°C）；

$\text{Temp}_{\text{起始}}$ ——铜片的初始温度，单位为（°C）。

4.7.3 热防护性能值（TPP）的计算方式

4.7.3.1 热防护性能值计算按公式（8）进行：

$$\text{TPP} = t_{\text{交点}} \times F \dots\dots\dots (8)$$

式中：

TPP——热防护性能值，单位为（kW/m²）；

$t_{\text{交点}}$ ——测试的累积能量与Stoll曲线相交的时间，单位为（s）；

F ——校准总热通量，单位为（kW/m²）。

4.7.3.2 取第 9.1 中测定的至少三个独立试样测试热防护性能值的平均值，并作为该试样的平均热防护性能值（TPP）（以 kW·s/m² [或 cal/cm²]计）报告。从实验室样本中测试的补充增加试样应纳入平均值中。

4.7.4 热防护性能评估（TPE）的计算方式

4.7.4.1 热防护性能评估的计算公式见公式（9）：

$$\text{TPE} = T_{\text{trial}} \times F \dots\dots\dots (9)$$

式中：

TPE——热防护性能评估，单位为（kW·s/m²）；

t_{trial} ——传热反应曲线与Stoll曲线相切或近似相切点的暴露时间，单位为（s）；

F ——校准总热通量，单位为（kW/m²）。

4.7.4.2 取第 9.2 中测定的至少三个独立试样的热防护性能评估的平均值，并作为该试样的平均热防护性能评估（TPE）报告（单位为 kW·s/m²（cal/cm²））。从实验室样本中测试的任何额外试样应纳入平均值中。

4.8 测试报告

测试报告应包括以下内容：

- 1) 说明测试是按照本标准中方法一或方法二（TPP 或 TPE）要求进行；
- 2) 试样的描述包括：名称、规格、送检单位、层数等；
- 3) 试验条件包括：燃气种类、纯度、压力、环境温湿度等；

- 4) 测试方式（接触式或非接触式）；
- 5) 热暴露的情况：校准的热通量值；
- 6) 试样的预处理条件：洗涤/干燥或干燥清洁循环次数或指定的洗烫条件；
- 7) 记录每个试样的热防护性能值或热防护性能评估及其平均值；
- 8) 其他观察到的现象描述；
- 9) 测试日期和人员。

5 用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法

5.1 原理

本测试方法用于评估防护服装遭遇短时火焰轰燃（闪火）时的火焰和热防护性能。本测试方法中，平均入射热通量为 84 kW/m^2 ，暴露时间范围为3 s至20 s。

测试过程是将调湿后的测试样品放置在固定的直立假人上，并暴露于热通量、持续时间和火焰分布可控的实验室模拟的火灾中。测试程序、数据采集、结果计算和测试报告的准备均通过计算机硬件和软件程序进行。暴露期间和暴露后通过假人上的传感器测量而得到的透过样品的能量，用于计算传递到假人表面的总能量。结果用于计算预估的皮肤烧伤程度和总的预估皮肤烧伤区域，附录A中所述。预估的皮肤烧伤信息用于计算假人的热防护因子（TMPF）。测试样品的性能由数据采集期间透过测试样品传递的总能量、假人的热防护因子（TMPF）以及测试样品对测试暴露的响应来表示。

本测试方法还可用于其他用途，如对面料和防护服装涉及的研究、防护服装组合的比较，或针对特定应用或最终用途标准的任何防护服装或装备的评估。

5.2 测试装置

5.2.1 仪器化假人

5.2.1.1 一般要求

采用与成年男性或成年女性外形尺寸相同的直立假人，见图6。

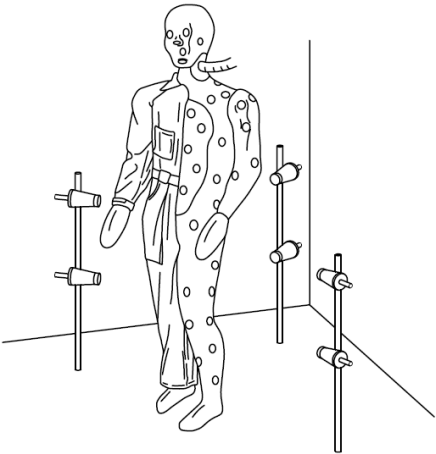
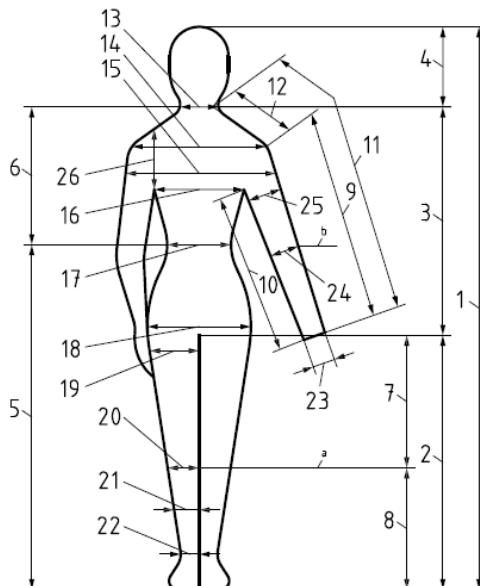


图6 仪器化假人和燃烧喷嘴系统的局部视图

5.2.1.2 尺寸及外形

假人由头、胸部(背部)、腹部(臀部)、臂、手、腿、脚等组成。男性假人的控制部位尺寸见表1，女性假人的控制部位尺寸见表2。假人的控制部位编号见图7。

假人的手臂在肩部有一定的旋转空间，以便于假人的穿衣和脱衣。



^a 膝盖高度

^b 肘部高度

图7 假人的控制部位编号

表1 男性假人尺寸

测量部位编号	测量部位描述	尺寸/ (mm)
1	身高/全身高度	1810±60
2	腿部内侧高度(从胯部到脚后跟的距离)(约等于部位7尺寸与部位8尺寸之和)	880±75
3	躯干中心长度(从颈部后方到胯部再到前颈部)	1560±60
4	头部高度, 包含颈部(头顶到颈椎点侧面)	255±45
5	脚跟至腰部高度	1125±50
6	锁骨至后腰(颈椎点至腰部)	480±70
7	胯部到膝盖	330±45
8	站姿, 膝盖点高	530±70
9	肩沿手臂到手腕处(肩到手腕, 手肘弯曲)	585±75
10	腋下长度(手臂内侧)	470±40
11	后颈椎点到手腕的长度, 三点测量法: 从锁骨之间到手腕(肩部到肘部, 肘部弯曲)	785±65
12	肩长(从颈椎点侧边到肩骨顶部)	170±75
13	颈围(周长)	420±60
14	背部肩宽(从一侧肩膀经后颈椎点到另一侧肩膀)	500±90
15	上胸围(前颈向下100mm)	475±95

测量部位编号	测量部位描述	尺寸/（mm）
16	胸围，腋下	995±105
17	腰围	870±25
18	最大臀围	1015±15
19	大腿围	590±40
20	膝围长	390±50
21	小腿围（最大水平围）	400±30
22	踝围（以最小腿围测量）	280±30
23	腕围	205±30
24	肘围	290±25
25	上臂围，在肩骨点到肘部之间的中心点	320±35
26	袖笼围	410±50

表2 女性假人尺寸

测量部位编号	测量部位描述	尺寸/（mm）
1	身高/全身高度	1612±55
2	腿部内侧高度（从胯部到脚后跟的距离）（约等于部位7尺寸与部位8尺寸之和）	788±50
3	躯干中心长度（从颈部后方到胯部再到前颈部）	1503±55
4	头部高度，包含颈部（头顶到颈锥点侧面）	230±45
5	脚跟至腰部高度	981±45
6	锁骨至后腰（颈锥点至腰部）	405±60
7	胯部到膝盖	352±40
8	站姿，膝盖点高	437±40
9	肩沿手臂到手腕处（肩到手腕，手肘弯曲）	580±50
10	腋下长度（手臂内侧）	422±30
11	后颈锥点到手腕的长度，三点测量法：从锁骨之间到手腕（肩部到肘部，肘部弯曲）	685±65
12	肩长（从颈锥点侧边到肩骨顶部）	104±55
13	颈围（周长）	373±45
14	背部肩宽（从一侧肩膀经后颈锥点到另一侧肩膀	445±75
15	上胸围（前颈向下100mm）	
16	胸围，腋下	952±80
17	腰围	827±60
18	最大臀围	1022±30
19	大腿围	627±40
20	膝围长	331±40
21	小腿围（最大水平围）	331±40
22	踝围（以最小腿围测量）	250±30
23	腕围	180±25

测量部位编号	测量部位描述	尺寸/(mm)
24	肘围	268±25
25	上臂围，在肩骨点到肘部之间的中心点	
26	袖笼围	371±45

5.2.1.3 制作材料

假人宜用阻燃、且热稳定性好的非金属材料制作（如陶瓷或玻璃增强乙烯基酯树脂）。外壳的厚度应在3 mm-12 mm之间，局部区域（如关节处）可适当调整厚度。

注：假人的厚度设计与材料的热性能相关，以能保持稳定形态的结构来要求。经验表明，厚度的差异可能影响假人的操作性，但不影响测试结果的可重复性。不同的厚度导致热应力的不同会增加裂纹的风险，影响假人的使用寿命。此外，假人厚度越大，冷却时间也相应延长。假人内部采用中空结构，以容纳传感器的电气布线。假人所用材料不能受湿度或清洁液（如水，丙酮）的影响。这类清洁液常会用于清洗传感器。

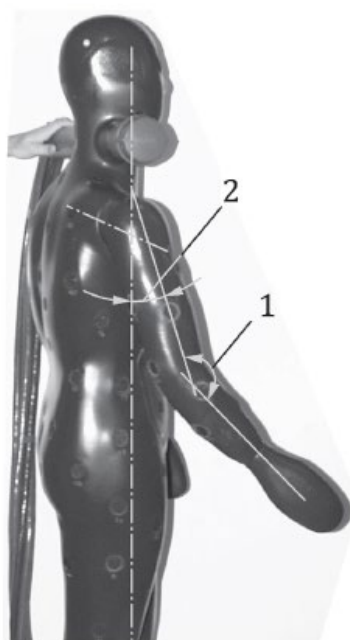
5.2.1.4 假人的姿势

假人宜采用相同的姿势，以符合测试的可重复性。

注1：可以通过地面上的插针，便携式刚性定位框架和/或用于设置垂直方向和手臂位置的光或激光束来实现。

假人上臂与下臂之间的肘部角度（见图8）应设置在150°到165°之间。肩部角度应设置在从假人中心线向外25°到35°之间。此角度适用于所有假人暴露情况（裸露和穿戴测试样品）。图8中标示了参考线和角度。允许假人的腿保持静止。允许躯干相对于腿部有轻微的扭曲。腿部之间的间距小于10°，脚踝之间的距离大约在120mm到250mm之间。

注2：胶带可以用来增加手臂关节的摩擦力，以确保在暴露过程中保持固定姿势。



标引序号说明：

1-上臂与下臂之间的肘部角度

2-肩部和臀部与肩部与肘部之间的夹角

图8 手臂姿势

5.2.2 假人传感器

5.2.2.1 传感器的基本信息

测量系统应采用能够输出用于测量吸收热通量的假人传感器，并计算测试条件下传感器表面的入射热通量。入射热通量用于设定裸露假人的测试条件，而吸收热通量则用于计算通过测试样品传递的能量。

每个假人传感器都与假人表面的特定区域对应。如果传感器布局中的传感器面积分布相等，则通量通过每个传感器的均匀分布进行计算；如果假人系统的传感器面积分布不均，则在计算热通量时应进行区域加权处理。

假人传感器的相关面积通过连接其周围传感器点的假人曲面上的直线确定，形成的区域即为该传感器的相关表面积（见图9）。假人传感器的设计布局应尽量使每个相关表面积的大小相近。测试结果报告应包括每个传感器的独立测量值，以及假人各身体部位的平均值。每个区域的传感器数量足以描述防护服装的整体性能。

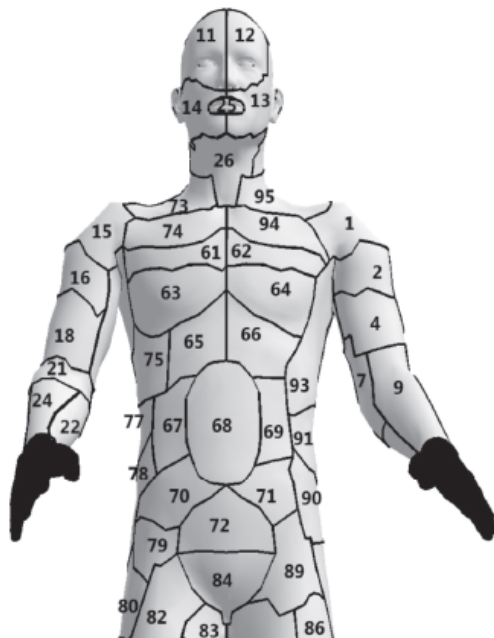


图9 假人传感器的布局及相关表面积示例

5.2.2.2 传感器的数量和分布

假人表面应至少安装110个传感器，在可行的范围内，传感器应尽可能在各部位均匀分布（不包括手和脚），表3给出了一种可接受的传感器各部位分布情况。当使用110个传感器时，各部位传感器数量分布应符合表3第三列的要求。当使用超过110个传感器时，各部位传感器代表的假人表面积分布应符合表3第四列（不包括手和脚）的要求。

注1：现有的假人使用的传感器数量范围从110个（不包括手和脚）到135个（包括手和脚）。假人由复杂的三维曲面组成。为了将传感器放置在表面上，接近均匀分布，必须在假人形态的几何结构下做些许的妥协。

注2：如果需要，可以在手和脚上添加额外的传感器。当在手和脚上额外的传感器时，各部位传感器代表的假人表面积分布应符合表3第五列的要求。

表3 传感器分布

身体部位	身体区域	假人传感器数量（最少）	总传感器分布百分比/% （不包括手和脚）	面积/m ² （包括手和脚， 总表面积为2m ² 和 1.7m ² ，对应男性和女性 假人） ^a
头	头部	8	7	0.13/0.12
胸腹	胸部	10	40（躯干）	0.77/0.58（躯干）
	腹部	11		
背部	上后背	11		
	下后背	11		
右手臂	双臂	18	16	0.26/0.23
左手臂				
右腿	大腿和小腿（腿部）	41	37	0.61/0.55
左腿				
双手	手部	0	--	0.1/0.1
双脚	脚部	0	--	0.13/0.12
合计		110	100	2/1.7
^a 多个来源（例如，美国环保署《暴露因素手册》（1997年最终报告），美国环保署，华盛顿特区，EPA/600/P-95/002F a-c, 1997）假设男性/女性的总表面积分别约为2 m ² /1.7 m ² ，身高分别约为1.85 m/1.69 m，且体重为平均值。减去未覆盖传感器的区域（手和脚）后，男性/女性的表面积分别约为1.8 m ² /1.5 m ² 。				

5.2.2.3 传感器的测量能力

热传感器量程应为0.0 kW/m²至130.0 kW/m²。热传感器应能承受高达200 kW/m²的热通量，并能承受热通量的快速变化（如4 s裸体假人直接暴露）。在此量程范围内允许通过将裸体假人直接暴露在火焰下，用传感器设置火焰暴露等级，也允许在穿上测试外衣或防护服后测量实验中传递到假人的热量。

注1：参考传感器的校准对假人轰燃的测试至关重要。因此，必须确保参考传感器得到良好的维护，定期检查和校准，因为参考传感器的任何变化可能会引发从传感器校准到假人模型的校准，再到比对测试中的测试结果之间的连锁反应。

注2：传感器的工作范围为0 kW/m²至130 kW/m²，并且需要在暴露于高达200 kW/m²的热通量下时，不损坏，具体情况取决于制造商的规格、规定的校准曲线和其他响应校正因子。校准时，使用可追溯的参考传感器和辐射热源，热通量范围为约5至70 kW/m²，线性区域以外可进行外推，超出或低于此范围（ISO 14934-2:2013, 4.3，方法2：球形黑体腔法）。

5.2.2.4 传感器的规格要求

5.2.2.4.1 传感器的结构

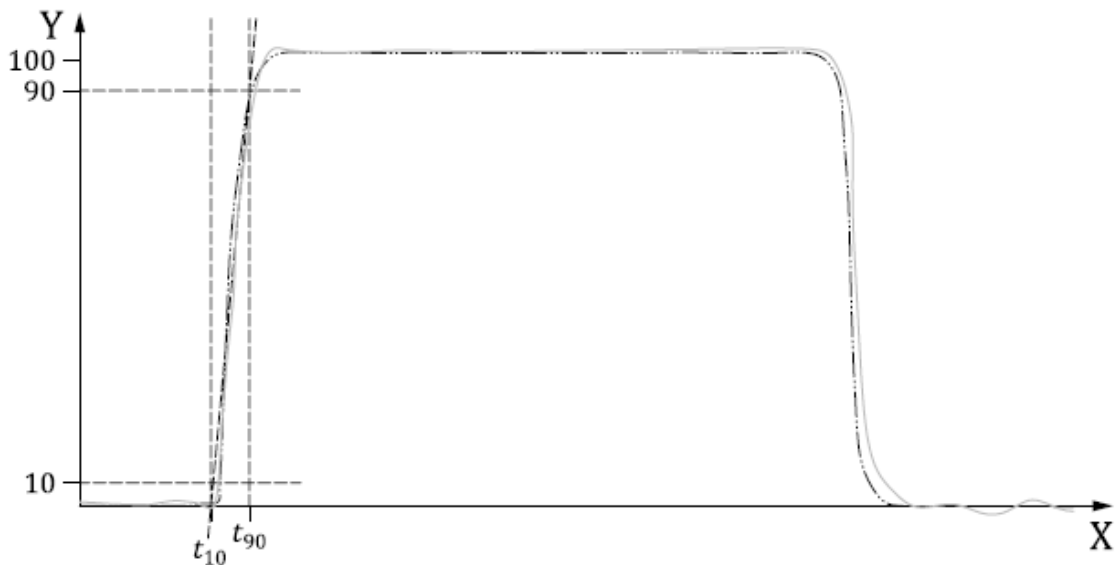
传感器应由具有已知热特性的材料制成，能够直接显示热通量，或者通过传感器温度响应计算其随时间变化的热通量。传感器的外表面的吸收率应 ≥ 0.9 ，或者喷涂一薄层的黑色耐高温漆，吸收率 ≥ 0.92 。

5.2.2.4.2 传感器的校准

假人身体上的每个传感器的校准应按照5.6.2中的程序进行。校准记录需存档，以便在使用周期内进行假人传感器总体系统的验证。

5.2.2.4.3 传感器的响应

热传感器的响应时间应小于或等于0.5s。可采用已校准的热源和遮光装置来验证传感器的响应时间。图10中给出了一个传感器响应时间校准过程中从稳态值的10%到90%的读数变化示例。



- ^a X 轴为时间，单位为 s；
- ^b Y 轴为热通量的相对波动范围，单位为 %；
- ^c 浅色虚线是假人热传感器的反应曲线；
- ^d 深色虚线是参考传感器的反应曲线。

图10 传感器响应时间校准示例

注：用于假人测试的热传感器的动态响应受多种因素影响，包括感测元件的设计和热扩散率。对于基于热电偶的传感器，优选设计是将热扩散率在热电偶元件中降至最低。这些设计包括：固有设计（接点基于每根导线通过中间导热材料独立连接的表面接触面积——可以实现毫秒级响应时间，适用于较大导线直径，例如0.3 mm及以下，这是最快的设计）；通过对接焊接连接导线（瞬态响应与导线直径相关——直径为0.18 mm及以下时，响应时间约为150 ms或更快）；以及通过焊接形成珠状接头的导线连接（珠状接头的尺寸为0.12 mm及以下时，响应时间约为150 ms或更快）。

5.2.2.5 传感器的定位

安装在假人表面的传感器，凹陷深度不应超过1.5 mm，在中心轴与人体模型表面平齐的高曲率区域，相对两侧表面，从表面凸出不应超过2 mm。

- 注1：在小半径曲面位置（例如手臂和腿部）的假人传感器可能会有一些差异。实验证明假人传感器表面相对于假人表面的位置会影响其读数。假人传感器的边缘不应超出上述规定的要求。因为传感器凸出表面，热通量读数会较高；如果传感器低于表面，读数会比预期值低。
- 注2：由于传感器表面可能因积聚的烟灰或传感器与假人之间的沉积物形成隔热层或桥接效应，传感器的热通量读数可能增加或减少。在测试容易残留烟灰的服装时，需要及时清洁传感器插槽。

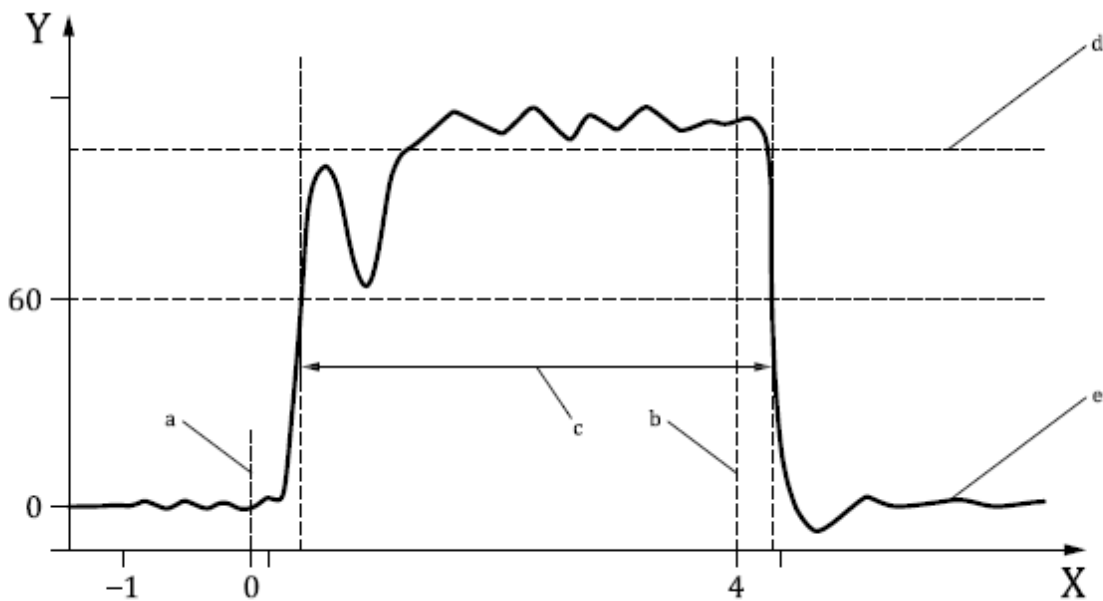
5.2.2.6 假人热通量验证

5.2.2.6.1 热通量定义

每一天首次裸体假人热通量验证时，裸体假人的热通量应为 $(84 \pm 2) \text{ kW/m}^2$ 。之后的裸体假人空白测试应满足 $(84 \pm 4.2) \text{ kW/m}^2$ 的要求。无论是首次验证还是之后的验证，都不应受测量不确定性要求的限制。

裸体假人暴露热通量的数据采集时间定义为（见图11）：

- a) 当所有传感器加热至平均热通量 $\geq 60 \text{ kW/m}^2$ 时开始（时间精确至 0.1s）；
 - b) 暴露结束后，当所有传感器的平均热通量降至 $\leq 60 \text{ kW/m}^2$ 时结束（时间精确至 0.1s）。
- 从采集数据开始到结束的时间内所有的热通量数据，即使低于 60 kW/m^2 ，也应计算在内。



- ^a X 轴是时间（单位为 s）
- ^b Y 轴是热通量，单位为 kW/m^2
- ^c a 为暴露开始计时
- ^d b 为暴露结束的时间
- ^e c 为热通量采集的时间段
- ^f d 为裸体假人暴露的热通量曲线
- ^g e 为传感器平均热通量值。

图11 裸体假人的热通量验证的采集时间（以 4s 暴露时间为例）

5.2.2.6.2 暴露热通量要求

在裸体假人热通量采集时间内，除手和脚位置的传感器外，所有传感器上的热通量分布应满足以下要求：

- a) 每个传感器的平均入射热通量应在采集时间内统计。这些值的平均值应在首次验证时达到 $(84 \pm 2) \text{ kW/m}^2$ ，后续验证时达到 $(84 \pm 4.2) \text{ kW/m}^2$ （对应 $\pm 5\%$ ），标准差不应超过 21 kW/m^2 ；
- b) 每个身体部位（包括头部）的平均入射热通量应在上述 a) 项的平均值的 $\pm 15\%$ 范围内。

5.2.2.6.3 对称性

对称性评估应在样品测试前的初始裸体假人测试上进行。它们应满足以下条件（三项中的一项可在 $\pm 10\%$ 范围内）：

- a) 假人的左侧（仅包括左臂和左腿）与右侧（仅包括右臂和右腿）的对称性，平均热通量差异应不超过 $\pm 5\%$ ；
- b) 假人的上半部分（仅包括手臂和躯干，头部除外）与下半部分（仅包括腿部）的对称性，平均热通量差异应不超过 $\pm 5\%$ ；
- c) 假人的前部（仅包括躯干前部，头部除外）与后部（仅包括躯干后部，头部除外）的对称性，平均热通量差异应不超过 $\pm 5\%$ 。

5.2.3 数据采集系统

数据采集系统应在数据采集过程中至少以每秒10次的采样速率获取和存储每个传感器输出的数据，并能持续采集最长240s过程中的数据。测量系统（传感器、电缆和数据采集系统）的精度达到0.5%或 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ （如果使用温度传感器）。

无论是假人还是校准系统的数据采集分析系统，包含以下要求：

- a) 模拟到数字转换分辨率 ≥ 16 位；
- b) 每个通道的采样频率 $\geq 10\text{ Hz}$ ；
- c) 温度最小分辨率为 0.1°C ；
- d) 硬件过滤器（如果有），范围在 2 Hz 到 50 Hz 之间（通常为 15 Hz ）；
- e) 冷端修正（如果使用热电偶）。

注：硬件过滤器可以通过软件实现。过滤的目的是最小化因电磁干扰（EMI）引起的传感器响应采样伪影，例如电磁阀的开闭、测试室中的照明源、点火设备等。已观察到高电磁干扰环境会增加测量传感器响应的偏差。

5.2.4 计算机软件程序

5.2.4.1 总则

应使用能进行以下计算的软件程序。

5.2.4.1.1 用于校准裸体假人的火焰暴露

- a) 测量传感器的吸收热通量随时间的变化，或将假人传感器数据转换为入射热通量随时间的变化；
- b) 根据吸收的热通量计算入射热通量；

注：计算入射能量需要了解传感器表面向火焰吸收的对流热传递、传感器的发射率、辐射和对流热传递模式的划分，以及基于参考热通量 84 kW/m^2 的数值。某些传感器的设计还需进行额外的响应校正，解决因结构引起的热损失、热增益和基线偏差。

- c) 计算每个假人上的传感器的暴露热通量，并提供随时间变化的热通量数值，以计算暴露的热通量；
- d) 计算整个假人的总平均暴露热通量；
- e) 验证每个身体部位（包括头部）的暴露热通量是否符合 5.2.2.6.3 的要求；
- f) 验证是否满足 5.2.2.6.3 的对称性要求。

5.2.4.1.2 用于测试样品的测量

- a) 测量吸收热通量随时间的变化，或将假人传感器数据转换为随时间变化的系数热通量；
- b) 计算每个假人传感器上的能量，以及整个系统的总传递能量。

5.2.4.2 入射热通量

在裸体假人轰燃暴露时间内,使用软件程序根据每个传感器吸收的热通量确定入射热通量。入射热通量应按规定进行记录。

5.2.4.3 暴露热通量

在裸体假人测试中,应为每个假人传感器计算暴露热通量,该值为热流计算周期内该传感器的平均入射热通量。通过对假人传感器数据进行加权平均,计算每个身体部位和整个假人的暴露热通量。报告的值是热流计算周期内所有传感器加权平均的总和。

注:身体部位(头部、右臂、左臂、胸部和腹部、背部、左腿和右腿)是必要的,以便比较假人不同平面和高度的热通量,确保火焰包围在整个假人上的均匀性。

5.2.4.4 假人热防护因子(TMPF)

假人热防护因子(TMPF)用于评估比较服装的热防护性能,可用于产品标准中设定的合格与不合格值。TMPF是一个因子,表示在给定热假人暴露条件下,基于身体表面积烧伤百分比与服装质量的关系。头部数据应排除在外,因为在测试服装暴露时通常不保护头部。

5.2.4.5 传递能量

5.2.4.5.1 总则

每个假人传感器的传递能量等于该传感器的吸收能量,应根据每个传感器的相关面积进行计算。总传递能量应为所有假人传感器传递能量的总和。传递能量是每个传感器在计算周期内吸收热通量的积分,考虑到每个传感器代表的假人表面面积。

5.2.4.5.2 数据剪切规则

为避免因暴露后的热通量读取偏移而导致的传递能量的过度或不足估计,应采用以下数据剪切规则:

- a) 低于 1 kW/m^2 的热流值(包括负热流)应设为 0;
- b) 如果暴露结束后至少 5 s 内的热流斜率低于 $100 \text{ W/m}^2/\text{s}$, 则该热流应设为 0。

注:数据剪切不足或过度可能是计算错误或传感器故障的迹象。

5.2.4.5.3 传递能量的计算

传递能量可以通过公式(10)计算:

$$Q_i = A_i \cdot \int_0^T q'_i(t) dt \dots\dots\dots (10)$$

式中:

T —总数据采集时间(s);

Q_i —假人传感器*i*的传递能量(J);

$q'_i(t)$ —假人传感器*i*在时间*t*的热通量(W/m^2);

A_i —假人传感器*i*相关的面积(m^2)。

对于离散数据集,假人传感器*i*的传递能量可通过公式(11)计算:

$$Q_i = A_i \sum_{j=1}^{N-1} \frac{\dot{q}_i(t_j) + \dot{q}_i(t_{j+1})}{2} \cdot (t_{j+1} - t_j) \dots\dots\dots (11)$$

总传递能量为所有假人传感器的传递能量综合，可通过公式（12）计算：

$$Q_{tot} = \sum_{i=1}^n Q_i \dots\dots\dots (12)$$

式中：

Q_{tot} —总传递能量（J）；

n —假人传感器的数量。

5.2.5 燃烧室

5.2.5.1 燃烧室设计要求

燃烧室应为设计有观察窗、用于维护仪器化假人及燃烧设备的通道和门，具有通风、防火功能的封闭空间。燃烧室应配备排气系统，以便在暴露和数据采集时间结束后快速排出燃烧室内气体。

5.2.5.2 燃烧室尺寸

燃烧室最小尺寸应为2.2m×3.3 m×2.4m，最大尺寸为10.7m×6.4 m×6.7 m。燃烧室空间必须保证可以在测试服装表面上提供均匀的火焰，并且在假人周围提供足够的调试空间，可以方便的给假人穿衣而不会碰到墙壁或是燃烧器。

注：房间的尺寸来源于多个实验室的测量结果，设置了上下限。最小的燃烧室体积为23.5 m³，最大的为1174 m³。

5.2.5.3 燃烧室空气的控制

燃烧室内应有独立的通风装置，应保证充足的氧气在燃烧暴露期间充分燃烧并达到试验所需的热流量，并在数据采集期间调节到稳定状态，在数据采集结束后，强制排气系统应快速排出燃烧产生的废气。要求燃烧室外部的开口能提供适量的空气，以保证燃烧测试过程中燃料充分燃烧。

除燃烧过程需要的自然空气供给外，燃烧室应与外部的空气扰动隔绝，以保证引导火焰和燃烧火焰在实验前、实验期间和数据采集期间都不受影响。

强制排气系统每分钟最小排风量至少应为燃烧室的容积，以排出燃烧试验产生的气体。另外，强制排气系统在排尽燃烧气体后还能以较小的通风量为假人和传感器提供冷却空气。

5.2.5.4 燃烧室安全设备

燃烧室应配备足够的安全装置和探测器，以保证测试装置安全操作。安全装置和探测器包括：丙烷气体探测器、门启闭探测器、火焰探测器、灭火器、紧急按钮及其他需要的安全装置。

5.2.6 燃料及输送系统

5.2.6.1 燃料

采用纯度大于85%纯度的液体丙烷。

注：大部分实验室使用纯度大于90%的丙烷作为燃料。某些地区由于供应或许可要求，无法使用如此高浓度的丙烷。

燃料混合中的丁烷含量和其他因素（如海拔高度）可能会对热通量有影响，需要及时正确的校准。

5.2.6.2 输送系统

5.2.6.2.1 输送系统组成

输送系统由输送管、压力调节器、阀门和压力传感器等部分组成，应保证气体燃料安全传送到点火系统和燃烧嘴。

5.2.6.2.2 输送系统要求

输送的燃料能提供3s到20s均匀的至少为84 kW/m²热通量（容差为5 %）。燃料输送应可控，使燃烧时间控制在设定值的±0.1s范围内。配备可控燃烧器的输送系统应符合相关安全性要求。最后一个阀门和燃烧器之间的剩余气体不应超过200 m³，阀门关闭后管道中的剩余气体燃烧时间不超过0.1 s。

5.2.6.3 燃烧器系统

5.2.6.3.1 燃烧系统构成

燃烧器系统应包括至少8个喷口混合燃烧器，每个燃烧器应由安全引导火焰和点火器组成，燃烧器提供所需的热量，火焰分布应满足 5.2.6.3.4的要求。

注：8个燃烧器的燃烧系统被证明可满足要求，但大多数实验室使用了12个燃烧器。

5.2.6.3.2 安全引导火焰

安全引导火焰应是置于燃烧室底部的一个微弱的火焰，通过点火器而被点燃，适当地被遮盖以避免室内气体流通而熄灭。在燃烧室开启通风以后，安全引导火焰在燃料管充满燃料的同时自动点燃，并在整个试验过程中保持燃烧状态。当安全引导火焰熄灭或偶然关断时，应立即点燃，才能继续试验。

5.2.6.3.3 点火器

每个燃烧器出口处都应配备一个点火器，为了不影响燃烧效果，点火器不能位于燃烧器的正前方。点火器需在燃烧器燃料阀门打开前先点燃，实验前应确认每个燃烧器的引导火焰都已点燃。点火器应配有锁定阀门，以防止燃料泄露。

5.2.6.3.4 燃烧器

采用大型工业级空气引射式燃烧器分布于仪器化假人周围，以产生均匀的黄色火焰。燃烧室至少应布置 8 个燃烧器，产生均匀的围绕假人布置的火焰包围模拟状态和燃烧效果。8个燃烧器在仪器化假人膝盖及大腿的高度以90°配置。

注1：燃烧器设计用于产生延迟混合的扩散火焰，火焰呈现红色至黄色的光辉，火焰温度为1000 °C至1400 °C（见ILT数据）。

注2：内径为10 mm到15 mm的单喷口可以产生符合要求的火焰（L.B.White Bertha 500型号，去除内置孔径尺寸的插入件）。根据燃烧室的大小，去除孔径插入件可以降低喷射速度，形成由浮力控制的火焰形态，产生延迟、长而光亮的慢速扩散火焰，改进成了较均匀的火球覆盖面。

5.2.7 图像采集系统

系统应录制实验前、实验过程中、实验后的仪器化假人影像。主要录制燃烧时假人前部的燃烧暴露过程，其后部燃烧暴露过程也可选择性地录制。

5.2.8 安全检查单

检查单内容应包括在计算机操作程序中，以确保燃烧试验前满足所有的安全要求。安全检查单应至少包括：

- a) 确认假人已穿上测试服装;
- b) 确认燃烧室的门已关闭;
- c) 确认燃烧室中无人;
- d) 其他所有安全要求已满足。

5.3 安全操作

5.3.1 实验室应提供实验过程操作指南,测试中必须严格执行。这些指南包括:

- a) 在任何的试验测试前应彻底更新燃烧室内的气体;
- b) 点燃安全火焰防止燃料累积发生爆炸;
- c) 进行每项测试时,点火系统工作前应确认燃烧室内无人;
- d) 测试过程中隔绝燃烧室以控制热量和燃烧产物;
- e) 测试后燃烧室通风换气;
- f) 其他安全指南。

5.3.2 燃烧室应配备合格的灭火系统。

5.3.3 实验员要求包括:

- a) 不允许接触燃烧产物;
- b) 在燃烧室充分通风前严禁接触气体产物;
- c) 处理燃烧后的服装及清洁假人时,相关人员应穿戴合适的防护装备。

5.4 测试样品

5.4.1 样品分类

本测试方法可用于三种评估:服装面料的比较、服装设计、服装使用说明。由于测试结果依赖于被测试材料性能、服装尺寸和服装设计,因此每种评估有不同的服装要求。

服装面料评估要求标准的服装设计和服装尺寸;服装设计评估要求服装面料和尺寸相同,具有不同的设计特点;服装使用说明评估要求标准尺寸的服装,服装材料及设计代表用户需求。

5.4.2 实验室抽样

如产品标准中无其他规定,应提供三套满足评估要求的服装或全套服装,服装在假人上的贴合度是测试评估的关键,实验室应从满足GB/T 1335.1和GB/T 1335.2的要求中选择适合的测试服装或样品尺寸。

5.4.3 洗烫

测试服装在预处理前要预先洗涤和烘干以去除服装生产中的残留化学品,只能进行单次洗涤一干燥循环的测试服装除外。洗烫条件参照 GB/T 8629。

5.4.4 预处理

每个测试样品在温度 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度 $(65\pm 5)\%$ 的环境中进行24h预处理。从预处理区域取出的测试样品应在30min内进行测试,否则应立即密封在聚乙烯(或者其他低水蒸气渗透性材料)袋中。测试样品在袋中封存时间不宜超过4h,从袋中取出后应在20min内被测试。

5.4.5 标准参考服装设计

标准参考服装应用于测试设备的质量管控（例如，监测假人系统性能的变化，确保假人被均匀火焰包围，以及实验室之间的比对测试）以及确保假人测试系统的可重复性和可重现性。

标准参考服装设计为连体服，前面带有长金属拉链闭合，且拉链内部有门襟覆盖，以防止拉链与任何假人传感器直接接触。优选的设计是不带口袋、袖口或裤脚口，且腰部不带松紧带的款式。

服装尺码要求应根据表2和表3中假人模型的规格进行选择。表4列举了标准参考服装的面料材质供参考和选择使用。

表4 参考服装的面料类型

序号号	面料材质	参考编号	克重 (g/m ²)
1	芳纶(杜邦 Nomex® Comfort ^a), 浅蓝色	B200X1	220
2	阻燃棉, 藏青色	B200X3	335
3	PBI® Matrix ^b	B200X8	205
4 ^c	芳纶(杜邦 Nomex® Comfort ^a), 浅蓝色	B200X2	260
5 ^c	腈氯纶/阻燃棉/导电纤维 (54/45/1%), 桔色	B200X4	325
^a Nomex® 是杜邦公司提供的产品的商品名称。本信息为方便本文件的用户提供。如果能够证明其他等效产品能够达到相同的结果, 也可使用。 ^b PBI® Matrix 是由 PBI Performance Products, Inc. 提供的产品的商品名称。本信息为方便本文件的用户提供。 ^c 最后两款服装曾用于 2014-2015 年的多个实验室之间比对测试 [N108 Final Draft RR ISO 13506-1 Non Confidential]。			

注1：在2015年至2021年间进行的多实验室测试中，参与实验室测试了表4中列出的三种不同面料制成的前三款连体服，所用尺码为欧洲52码。这些连体服由PWG Bedrijfveilige Kleding B.V. (www.pwg.nl) 制造。

注2：选择参考服装时，重要的是要检查服装的合身性以及结果的任何差异。此外，当重新购买现有参考服装时，需要检查结果的一致性。即使是相同面料的批次变化也可能略有不同的重量，进而影响测试结果的一致性。这不仅与面料有关（不同批次的面料可能在重量上有微小差异），还与服装有关（取决于制造商），因为不同的制造商在裁剪和缝制服装时可能会有所不同。

5.5 测试方法前样品的要求：

为了实施本测试方法，相关的产品标准中至少应规定以下参数：

- 性能要求和/或符合性要求；
- 暴露条件；
- 样品数量（至少三个）；
- 样品的预处理；
- 样品的调湿处理；
- 服装穿戴说明；
- 如需使用内衣，标明内衣使用的规格，如长度、尺寸、厚度和材料等；
- 对闭合系统的定义及其实施方案（拉链、按扣、勾环闭合系统）。

5.6 测试设备

5.6.1 仪器准备

5.6.1.1 燃烧室换气

燃烧室持续换气量应足以排除10倍于燃烧室容积的空气，以清除燃料管线中所有残存气体。

5.6.1.2 燃料加注

在关闭管线溢流阀后打开燃料供给阀,使管线中丙烷气体达到操作所需的压力,但不允许泄露到燃烧室中。在燃烧测试时,打开阀门向燃烧器提供丙烷气体。应在靠近操作气压附近设置高压和低压检测器,以使当供气出现故障时关闭系统。

5.6.1.3 安全引导火焰的点燃

在燃烧室通风后点燃安全引导火焰,同时进行气体管线的气体加注。安全引导火焰在火焰燃烧系统安全可靠地关闭之前不能熄灭。安全引导火焰熄灭,燃料供给管线的阀门将自动关闭,同时排空管线中的气体。

5.6.1.4 暴露条件的确认

在进行裸体假人或服装暴露测试之前,确认所有假人传感器的温度在至少1min内保持稳定并满足以下条件:

- a) 所有传感器的温度低于 38 °C;
- b) 所有传感器的平均温度在 15 °C 到 34 °C 之间;
- c) 没有任何传感器的温度变化超过 1 °C。

对于服装暴露测试,只有被覆盖的传感器需要满足以上条件。

采用以下过程进行样品测试,将裸体假人直接暴露于轰燃环境中 4 s,如果测试时间小于 4 s,则记录实际测试时间。确认热通量值的计算标准差不大于 2.1 kW/m²,确定规定的测试条件在±5%以内。如热通量或标准差不在规定范围内,应确定产生偏差的原因并校正。根据要求,至少在测试当天开始和结束时都需进行裸体假人暴露测试,以确保服装测试结果的有效性。

实验表明,通过定期测试参考服装来监测整体系统性能是有效的。建议在设定了裸体测试条件后,先测试参考服装。如果计算的热通量或假人传感器的热通量值变化不在之前相同参考服装测试所得的统计可接受的两倍标准差范围内,则应查明偏差原因并进行纠正后再进行样品测试。

应记录裸体假人测试中的总入射能量,作为可重复性的指标。如果总入射能量变化超过±5%,则应调查原因,并重复裸体假人测试确保符合要求。

5.6.2 传感器校准

5.6.2.1 传感器校准原则

5.6.2.1.1 应使用已知的对流或辐射热源或者两者的混合热源对传感器进行校准。用于校准的设备至少能提供范围为 8.4kW/m²~84kW/m²的热通量,其范围应与测试设置和服装测试期间可能受到的辐射及热量传递条件相一致。

5.6.2.1.2 用热流传感器验证由校准设备产生的热通量在测试要求的暴露水平的±5%范围内。

5.6.2.1.3 假人表面所用传感器应保证在燃烧实验产生的热流范围内热流响应是准确的。如对已知的用于校准的燃烧热量的响应是线性的但误差不在 5%之内,在热通量计算时需要考虑修正因子。如响应不是线性的同时误差也不在 5%以内,需要对每一传感器确定一个修正曲线。

5.6.2.1.4 还应将传感器、数据采集、燃烧模型作为一个整体进行校准。将每个传感器暴露在已知的热通量下,由计算机程序计算出引起二度烧伤所需的时间。通过 Stoll 及 Chianta 所描述的人体组织的反应来计算已知的燃烧热流中达到二度烧伤所需的持续时间。计算机计算的导致二度烧伤时间与 Stoll 及 Chianta 所提出的时间误差应该在±5%以内。其中烧伤计算中还包括一个用于补偿传感器差异及达到相应烧伤结果的校准因子。每个传感器的校准系数将被记录,在烧伤分析时需采用最新的校准结果。

注: Stoll及Chianta描述的人体组织反应参见文献 “Method and Rating System for Evaluation of Thermal Protection”,

Aerospace Medicine, Vol 40,1969, pp1232-1238.

5.6.2.1.5 当启用新的燃烧假人、替换或修理了某个传感器或测试结果出现偏移或与期望值不同时,都应对传感器进行校准。

5.6.3 燃烧火焰的校准

5.6.3.1 将裸体假人暴露于火焰中测量轰燃的强度和均匀性。计算燃烧期间每个传感器的平均热通量、平均热流量的面积加权平均值及标准差。

5.6.3.2 确定燃烧器位置并调整火焰,使假人中所有传感器平均热通量的标准差不超过 2.1 kW/m^2 。确认每次裸体假人测试时,平均热流水平的标准差等于或小于 2.1 kW/m^2 ,否则调整燃烧器使燃烧火焰均匀。

5.6.3.3 在测试一套样品前多次将裸体假人暴露在火焰中,如果测试前后平均热流偏差超过 $\pm 5\%$ 时,应重复测试。每天应在实验开始时以及在工作结束时检查热暴露水平。

5.6.3.4 火焰校准持续时间为 4 s ,监控靠近燃料供给顶端燃烧供给管线中燃料的压力。该位置燃料绝对压力在每次火焰燃烧期间下降不应超 10% 。通过数据采集系统的内部时钟控制火焰燃烧持续时间,持续时间的测量误差应在规定值的 $\pm 5\%$ 或者 0.1 s 以内。

5.6.3.5 在 5.6.3.1 中计算的平均热通量应与规定测试条件的误差不超过 $\pm 5\%$ 。否则通过调整燃烧头修正气体压力以调整燃料流量,重复校准直到达到规定值。当所有传感器温度降至 38°C 时校准才可再次重复进行,这样可以消除内部温度的提升或者温度梯度对二、三度烧伤计算的影响。

5.6.3.6 由计算机控制的数据采集系统在校准期间,每一传感器至少每秒读取 5 次输出数据。测量系统的准确度不低于可读数据的 2% ,如读取温度传感器的值,则优于 $\pm 0.6^\circ\text{C}$ 。在燃烧期间对每个传感器的采样频率需高于每秒 2 次。

5.6.3.7 每天第一个和最后一个测试都应用假人对轰燃暴露进行校准。燃烧结果报告包括:平均的燃烧热通量(kW/m^2)、燃烧时间(s)、假人传感器的标准差、二度和三度烧伤及总烧伤百分比。

5.7 测试过程

5.7.1 服装穿着

给假人穿上被测服装,如被测服装为封闭式服装,则应有一个足够大的开口以穿过数据线缆,开口处应用不可燃缝合材料(如金属材料)修补。每次测试时服装的宽松度和穿着方式相同,使测试结果产生的误差最小化。

5.7.2 记录测试信息

记录测试信息,包括:测试目的、测试系列、服装说明、测试条件、测试注意事项、暴露时间、数据采集时间、人员观察测试情况及其他与测试有关的信息。

5.7.3 确认安全操作条件

遵守计算机程序中的安全说明并填写安全屏上的所有条目,确保达到所有安全要求,保证测试实验的安全。

5.7.4 点燃引导火焰

当所有安全条件均满足时,点燃引导火焰并确认燃烧测试中将用到的燃烧器的引导火焰均被点燃。警告:除面板指示灯及计算机显示外,还要实际观察确认每一个引导火焰是否被点燃。当满足所有安全要求,引导火焰被点燃和确认,供气管最后一道阀门被打开,燃烧测试开始。

5.7.5 开启图像采集系统

开启图像采集系统记录每一次测试。

5.7.6 燃烧测试服装

点击计算机上的按钮开始燃烧测试。计算机程序将开始采集数据，数据采集时间应保证所有储藏在服装中的热量已经释放到空气和假人中。通过检查计算烧伤与时间的关系来确定所有传感器的总烧伤量是否已经稳定并且数据采集结束时有否继续上升，如果烧伤量在数据获取时间的最后10s并不恒定，则需增加数据采集时间。实验结束后，打开强制排气系统，排除燃烧废气。

5.7.7 服装燃烧现象评价

将观察到任何有关测试服装或者阻燃服装整体反应评价输入到计算机中。这些评价包括：燃烧后火焰附着在测试衣服上的燃烧状态和持续时间，材料的收缩、炭化或者可观察的降解等。

5.7.8 准备下一次燃烧测试

从假人身上仔细移除燃烧后的服装或者整套防护服。如果传感器温度太高，打开通风设备将其冷却至38℃以下，检查假人及传感器，确保已经清除所有残留的物质。如发现残留物，用肥皂水或石油溶剂使用柔和、有效的方法清洁假人和传感器。如必要，对传感器表面重新喷漆，并将其烘干，确保在下一次测试前假人和传感器是干燥的。

5.7.9 传感器检查

当位于测试服装下两个或两个以上传感器无法正常工作时，就应进行维修或者替换损坏的传感器。使用前校准被修理或替换后的传感器。

5.7.10 测试余下的样品

在相同的测试条件对余下的样品进行测试。

5.8 测试报告

测试报告应包括以下内容：

- a) 声明样品测试是按照本标准要求进行，样品的描述包括服装类型、款号、尺寸、织物重量、纤维类型、颜色、非标准的服装特点 and 设计特征；
- b) 报告测试目的：材料结构的评估、服装设计评估或者服装使用说明；
- c) 暴露条件：描述暴露条件的信息，包括：
 - 1) 用假人裸体暴露实验测定每个传感器平均热通量和平均热通量的标准差；
 - 2) 每次测试中额定热通量、暴露时间及数据采集时间；
 - 3) 服装测试前所存放的时间及测试房间的温度和相对湿度等差异信息；
 - 4) 其他必要的有关信息。
- d) 结果计算：
 - 1) 二度烧伤的假人面积(%)；
 - 2) 三度烧伤的假人面积(%)；
 - 3) 假人表面烧伤总面积(%) (二度和三度烧伤总和) 以及相关的差异统计；

- 4) 其他用于评估的计算信息包括所有传感器接收到的总热量(每个传感器接收到的热量之和)、用于标识假人表面二度和三度烧伤的位置及程度的图表、传感器数据和总体结果的表格。
- e) 客观观察:
- 1) 燃烧期之后火焰的强度和持续时间;
 - 2) 产生的烟量;
 - 3) 测试服装的物理稳定性;
 - 4) 其他任何可能被用来解释结果及描述测试服装性能的观察。

附录 A
(资料性)

皮肤烧伤预测计算要求和测试案例

A.1 术语

A.1.1 烧伤伤害

由于热量传递到皮肤表面而导致人体组织在不同深度的温度升高所造成的伤害。

注：当组织被加热在高温下（ $>44\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）下维持一定的时间时，人体组织会产生烧伤伤害。本文中假设皮肤由三层构成：即表皮层（坚韧的外层）、真皮层（表皮下方的皮层）和皮下组织（位于真皮深处的脂肪层）。本文中假设各层厚度在人体各处均相同，不会随年龄、位置和性别变化而改变。

A.1.1.1 I 度烧伤伤害

I度烧伤：仅表皮的皮层部分受损的烧伤

注：皮肤会变红，但不会起泡或完全烧穿。I度烧伤伤害是可逆的。本文中，预计I度烧伤伤害发生是指皮肤深度为 $75\text{ }\mu\text{m}$ （即在表皮/真皮交界处）， Ω 值为0.53时（见公式(3)）。

I度烧伤面积：仅热通量传感器区域内预测的I度烧伤伤害的总和。

A.1.1.2 II 度烧伤伤害

II度烧伤、部分皮层烧伤：烧伤伤害延伸至表皮和真皮的不同深度，但不会破坏真皮层的全部厚度，且皮下组织未受损。

注：II度烧伤伤害比I度烧伤伤害更为严重，导致表皮层完全坏死（活细胞死亡），伴有水泡，但若受损面积较小，则可逆。本文中，预计II度烧伤伤害是指皮肤深度为 $75\text{ }\mu\text{m}$ （即在表皮/真皮交界处）， Ω 值为1.0时（见公式(3)）。

II度烧伤面积：仅热通量传感器区域内预测的II度烧伤伤害的总和。

A.1.1.3 III 度烧伤伤害

III度烧伤、全皮层烧伤：烧伤损害全皮层组织，也可累及皮下组织。

注：III度烧伤是不可逆的。本文中，预计III度烧伤伤害是指皮肤深度为 $1200\text{ }\mu\text{m}$ （即在真皮/皮下组织交界处）， Ω 值为1.0时（见公式(3)）。

III度烧伤面积：仅热通量传感器区域内预测的III度烧伤伤害的总和。

A.1.2 Ω 值

皮肤损伤参数，即损伤微积分的值（见公式A.3），表示在特定皮肤深度和温度条件下的预测烧伤伤害。

A.1.3 疼痛时间

疼痛传感器达到 43.2°C 所需的时间。

注：本文中，疼痛传感器指在皮肤表层下 $195\text{ }\mu\text{m}$ 的位置。

A.2 概述

在使用特定的测试方法对假人表面进行热量测量时，旨在评估皮肤烧伤风险的计算结果可用于比较不同防护服的相对性能。本文件概述了为此目的所采用的计算方法，并应与前文中描述的测试相结合使

用。前文中规定了能量传递的测量方法，可作为评估测试样品相对热防护性能的基础。性能的有效性依赖于所用材料的结构、设计以及服装在测试假人上的贴合程度。测试中平均暴露热通量为84 kW/m²，持续时间为3 s至20 s。

在本测试方法中，烧伤伤害的预测是基于一种简化的数学模型，该模型并不能直接用于转换为任何具体暴露测试条件下实际的人体皮肤烧伤情况。这一模型的构建基于对人体前臂掌侧的测量数据（Stoll 和 Greene）。

在常温大气条件下，测试样品被置于成人尺寸的假人上（参见第5.1条），并置于受控的实验室火焰模拟环境中，接受热通量、时间和火焰分布的精确控制。测试程序的实施、数据采集、结果计算以及测试报告的编制均由计算机硬件与软件程序完成。

在暴露过程及其后续，测试样品上布置的热通量传感器用于测量从样品中传递至假人表面的热能，热量的变化随时间而异。本文通过前文中的热通量测量结果，计算每个热能传感器的预测疼痛时间、I度、II度和III度烧伤面积，以及总体暴露所产生的总烧伤面积。测试样品的识别、测试条件、测试目的的备注、以及样品对火焰暴露的响应都将被记录并包含在测试报告中。总传递能量和/或预测皮肤烧伤伤害面积，以及样品对火焰暴露的响应方式，将是评估样品在本测试方法下性能的重要指标。同时，皮肤烧伤伤害的预测方法也可与那些产生类似曝光的其他测试方法共同使用。

第A.3条中详细列出了预测皮肤伤害所需的计算步骤，而第A.4条则列出了需要进行测试的一系列案例，以验证该计算方法是否符合规定的准确性要求。

A.3 预测皮肤烧伤伤害的计算

A.3.1 皮肤模型

A.3.1.1 概述

本附录中包含两个皮肤模型的规格说明。

对于温度相关热导率的皮肤模型（皮肤模型A），其皮肤属性值应符合表A.1、表A.2和表A.3中的规定。

对于温度无关热导率的皮肤模型（皮肤模型B），其皮肤属性值应符合表A.1和表A.4中的规定。

A.3.1.2 假人传感器热通量随时间的变化

根据本文提供的每个假人传感器*i*在每个持续时间*t*上的吸收热通量值 $q_i(t)$ ，（单位：kW/m²）作为皮肤烧伤伤害预测的数据输入源。

A.3.1.3 皮肤和皮下组织（脂肪）内部温度的预测

A.3.1.3.1 概述

热暴露应表示为一个瞬时的一维热扩散问题，其中皮肤的表皮、真皮层以及皮下组织（脂肪）中的温度随位置（深度）和时间的变化，通过抛物线微分方程式（傅里叶场方程）公式（A.1）表示：

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

ρC_p ——体积热容量，单位为 J·m⁻³·K⁻¹；

t——时间，单位为秒(s)；

x——从皮肤表层算起的深度，单位为米(m)；

$T(x, t)$ ——在深度 x 和时间 t 处的温度，单位为摄氏度（℃）；

$k(x, T)$ ——在深度 x 和温度 T 处的热导率，单位为 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 。

在求解公式(1)时，应使用皮肤模型A的参数（见表A. 1和表A. 2）或皮肤模型B的参数（见表A. 1和表A. 3）。

表A. 1 皮肤模型——各层厚度及层间界面深度

参数	皮肤表层	表皮	表皮/真皮界面	真皮	真皮/皮下组织界面	皮下组织
距离皮肤表层的深度（ μm ）	0	——	75	——	1200	——
层厚度（ μm ）	——	75	——	1125	——	3885

A. 3. 1. 3. 2 温度相关热导率的皮肤模型的物理特性（皮肤模型 A）

由于层组分的热物理特性（简化组成：水、蛋白质和脂肪），皮肤各层的热导率随温度变化而变。Cooper和Trezek以及Knox等建立了基于每层的水、蛋白质和脂肪比例来估算皮肤和皮下组织（脂肪层）热物理特性的关系。A.3.1.3.2.1中列出了满足A. 4中要求的层组成、层体积热容量 $\rho C_p(x)$ 及温度相关热导率 $k(x, T)$ 值，这些值可用于求解公式(1)。参考热导率值（温度为32.5℃）、层体积热容量和层组成见表A. 2。有关在不同于32.5℃温度下热导率 k 值得计算方法，请参阅A.3.1.3.2.1。

表A. 2 温度相关热导率得皮肤模型得物理特性

参数	表皮	真皮	皮下组织
热导率 k （ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ）（当 $T(0, 0) = 32.5^\circ\text{C}$ 时）	0. 6155	0. 5976	0. 3659
体积热容量 ρC_p （ $\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ ）	$4. 158 \times 10^6$	$4. 017 \times 10^6$	$2. 285 \times 10^6$
水分含量（质量百分比）	80	70	20
脂肪含量（质量百分比）	6	12	72
蛋白质含量（质量百分比）	14	18	8

A. 3. 1. 3. 3 温度无关热导率的皮肤模型的物理特性（皮肤模型 B）

当假设热导率 k 仅取决于层而与温度无关时，表A. 3中显示的热导率 k 和体积热容量 ρC_p 的值满足A. 4的要求，可用于求解公式(1)。

表A. 3 温度无关热导率的皮肤模型的物理特性

参数	表皮层	真皮层	皮下组织层
热导率, k （ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ）	0. 6280	0. 5820	0. 2930
体积热容量, ρC_p （ $\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ ）	$4. 40 \times 10^6$	$4. 184 \times 10^6$	$2. 60 \times 10^6$

A. 3. 1. 3. 4 公式(1)的求解数学方法

求解公式(1)的有效离散化方法包括：

- a) 有限差分法（采用“组合方法”的中心差分表示法，在时间步长 Δt 和空间步长 Δx 具有二阶截断误差）；
- b) 有限元法（例如 Galerkin 方法）；
- c) 有限体积法（有时称为控制体积法）。

通过将A.3.1.2中确定的每个传感器的持续时长内吸收热通量值作为皮肤表面的边界条件，通过数值模拟得到每个传感器对应的皮肤和皮下组织内部温度场。模拟结果需要覆盖整个采样时间，并至少包含以下温度值：

- 表面温度（深度=0.0 m, 即 $T(0,t)$ ）；
- 真皮/表皮层温度（用于预测二度烧伤）：深度位75 μm , 即 $T(75 \mu\text{m}, t)$ ；
- 真皮/皮下组织层温度（用于预测三度烧伤）：深度为 1200 μm , 即 $(1200 \mu\text{m}, t)$ 。

为实现高精度计算，建议在所有数值模型中采用等间距深度 Δx 的网格划分，节点间距取 15 μm ，并在皮肤表面195 μm 处设置节点以计算疼痛时间。实验表明，这一分辨率在兼顾计算精度与效率的同时，可有效描述热传导现象。

A. 3. 1. 4 初始条件和边界条件

初始条件和边界条件如下：

- a) 初始温度 $T(x,0)$ ：三层中的初始温度随深度线性增加，表面温度为 32.5℃。皮下组织层（深度为 5085 μm ）始终保持在 33.5℃不变。
- b) 热通量：热通量仅施加在皮肤表面，并被皮肤表层吸收，皮肤和皮下组织层仅通过热传导传递热通量。

$$k \frac{\partial T}{\partial x} = q(t) \dots\dots\dots (A. 2)$$

式中：

k ——热导率，单位为 $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ；
 T ——温度，单位为摄氏度（℃）；
 x ——深度，单位为 μm ；
 q ——热通量，单位为 kW/m^2 ；
 t ——时间，单位为 s 。

注：假设皮肤及其深层仅通过热传导忽略了真皮和皮下组织中由于血液变化导致的热传导的增加。表A. 2和表A. 3中的活体值是基于Stoll和Greene的实验记过以及Weaver和Stoll的数值反推得出的，这些值在很大程度上考虑了实验参与者的血流情况。

- a) 在时间开始时，皮肤表面的热通量为零；
- b) 在暴露时间时，皮肤表面的热通量值为按时间累积而吸收的热通量值（见 A.3.1.2）。对于辐射热损失或模型中传感器与皮肤表面之间的发散率/吸收率差异，不进行修正。

A. 3. 1. 5 用于预测皮肤烧伤伤害的 Ω 值

Henriques的损伤积分模型（见公式 A. 3）用于计算在每个测量时间间隔内，在皮肤模型深度为75 μm （预测一度和二度烧伤伤害）及1200 μm （预测三度烧伤伤害）处的皮肤温度值，进行烧伤伤害的定量预测。

$$\Omega = \int_{t_0}^t P(x, T) \cdot e^{-\Delta E(x, T)/(R \cdot [T(x, t) + 273.15])} dt \dots\dots\dots (A. 3)$$

式中：

Ω ——烧伤伤害参数；

t ——暴露时间和数据采集周期，单位为 s；

$P(x, T)$ ——与深度和温度相关的指数项，单位为 s^{-1} ；

E ——数学常数（欧拉数），约为 2.7183；

$\Delta E(x, T)$ ——与深度和温度相关的活化能，单位为 $J \cdot mol^{-1}$ ；

R ——通用气体常数， $8.3145 J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ ；

$T(x, t)$ ——与深度和时间相关的皮肤温度，单位为 $^{\circ}C$ 。

通过数值积分计算 Ω ，积分范围为暴露期间皮肤温度 $T(x,t) \geq 44^{\circ}C$ 。用于预测一度、二度和三度烧伤伤害的 P 和 $\Delta E(x, T)/R$ 值列于表A. 4中。

A. 3. 1. 5. 1 一度烧伤

为确定预测的一度烧伤伤害时间，需在数据采集周期内每个时间点计算75 μm 深度处的 Ω 值。预测一度烧伤伤害时间是 $\Omega \geq 0.53$ 时首次达到的时间点。如果不存在，则预测不会发生一度烧伤伤害。

A. 3. 1. 5. 2 二度烧伤

为确定预测的二度烧伤伤害时间，需在数据采集周期内每个时间点计算75 μm 深度处的 Ω 值。预测一度烧伤伤害时间是 $\Omega \geq 1.0$ 时首次达到的时间点。如果不存在，则预测不会发生二度烧伤伤害。

A. 3. 1. 5. 3 三度烧伤

为确定预测的二度烧伤伤害时间，需在数据采集周期内每个时间点计算1200 μm 深度处的 Ω 值。预测一度烧伤伤害时间是 $\Omega \geq 1.0$ 时首次达到的时间点。如果不存在，则预测不会发生三度烧伤伤害。

A. 3. 1. 5. 4 疼痛发生时间

疼痛发生时间是当皮肤组织在195 μm 深度处达到 $43.2^{\circ}C$ 时的时间点。

表A. 4 使用公式 A. 3 计算 Ω 的常数

烧伤程度	温度范围	$P(s^{-1})$	$\Delta E/R(K)$
一度和二度烧伤	$44^{\circ}C \leq T \leq 50^{\circ}C$	2.185×10^{124}	93534. 9
	$T > 50^{\circ}C$	1.824×10^{51}	39109. 8
三度烧伤	$44^{\circ}C \leq T \leq 50^{\circ}C$	4.322×10^{64}	50000
	$T > 50^{\circ}C$	9.389×10^{104}	80000

A. 4 皮肤烧伤伤害计算测试案例和现场校准

A. 4. 1 测试案例和现场验证

公式A. 3中的 Ω 值的计算基于绝对温度，因此确保皮肤烧伤伤害预测方法与Stoll和Greene的实验点匹配，准确地计算各皮肤层地温度至关重要。

要求包括三个步骤。首先，应对计算机代码地准确性进行验证确保预测半无限固体中地内部温度分布。第二步是确保皮肤伤害预测与Stoll等人测量和预测地条件相匹配。最后，通过将假人上地传感器暴露于已知地热通量下，并检查预测的二度烧伤伤害发生时间是否与Stoll和Greene的实验点一致，检查设备上皮肤烧伤伤害方法的输入输出精度。

A. 4. 2 皮肤层温度预测测试案例

A.4.2.1 概述

这两个测试案例是基于半无限固体热传导的闭合解法，该固体最初处于均匀温度下，其表面瞬间暴露在恒定热通量下。解析解法可在任何热传导教材中找到。

对于以下两个案例，将组织层的初始温度设置为30℃。在第一个时间间距时从热通量为零到达满值。在计算中将基底温度（5085 μm 处）始终保持在30℃。

A.4.2.2 案例一

- a) 皮肤表面吸收的热通量 $= 2 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$;
- b) 所有三层组织层的热导率 $k = 0.1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- c) 所有三层组织层的体积容量 $\rho C_p = 4 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$;
- d) 计算暴露开始后 60 s 时 0 μm、75 μm 和 1200 μm 深度处的温度，使用 $\leq 0.1 \text{ s}$ 的时间间距。

A.4.2.3 案例二

- a) 皮肤表面吸收的热通量 $= 20 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$;
- b) 所有三层组织层的热导率 $k = 0.6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- c) 所有三层组织层的体积容量 $\rho C_p = 4 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$;
- d) 计算暴露开始后 6 s 时 0 μm、75 μm 和 1200 μm 深度处的温度，使用 $\leq 0.1 \text{ s}$ 的时间间距。

A.4.2.4 准确性要求

对于这两个案例中的三个位置处的温度和温升，计算机代码预测的温升应与闭合解法的温升相匹配，最大误差不超过 0.2 %。

表A.5 案例一

深度 (μm)	温度 (℃)	温升 (℃)
0	57.64	27.64
75	56.17	26.17
1200	40.02	10.02

表A.6 案例二

深度 (μm)	温度 (℃)	温升 (℃)
0	65.68	35.68
75	63.24	33.24
1200	39.07	9.07

A.4.3 皮肤烧伤伤害计算测试案例

在A.3.1.5中使用的计算方法应符合表A.7中的验证要求。

在验证皮肤烧伤伤害模型时，使用表A.2中指定的层厚度、热导率和体积热容量或表A.3中的值并满足A.3.1.4中指定的初始和边界条件，除了将A.3.1.4中 d) 部分的暴露热通量更改为表A.7中的恒定值。选

择总计算时间，使表皮/真皮和真皮/皮下组织在冷却阶段均低于44℃。对于这些测试案例，在冷却阶段假设皮肤表面没有热量损失。

表A.7 皮肤模型验证数据集

吸收的暴露热通量（暴露期间恒定） ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) ^a	暴露持续时间 (s)	所需时间间距 (s)
3935	35.9	0.01
5903	21.09	0.01
11805	8.30	0.01
15740	5.55	0.01
23609	3.00	0.01
31479	1.95	0.01
39348	1.41	0.01
47218	1.08	0.01
55088	0.862	0.001
62957	0.713	0.001
70827	0.603	0.001
78697	0.522	0.001
^d 使用此表中的吸收热通量和暴露时间的皮肤模型应在表皮/真皮界面处，在界面冷却至或低于44℃时，得到 Ω 值为 1 ± 0.10 的所有测试案例结果。此预测要求基于Weaver和Stoll的研究结果。计算时应使用表A.1和表A.2或表A.3中列出的皮肤层属性，以及表A.4中的计算常数。此外，当 $\Omega=1$ 时的时间不应小于此表中列出的暴露持续时间。该要求时为了使预测与Stoll和Greene的观察结果保持一致。请注意，是一个累积值，表皮/真皮界面温度低于44℃不会产生负值。		

A.4.4 烧伤伤害预测的现场验证

除了对单个传感器的校准外，还应对传感器-数据采集-烧伤伤害预测模型整体进行验证。将从每个数据采集模块中随机选择的传感器暴露于已知的恒定热通量下，暴露时间满足表A.8的要求，以便通过假人烧伤伤害预测程序计算出二度烧伤伤害。验证应使用辐射热源进行。在表A.8中列出了三个不同范围的热通量（3800-4200 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、7600-8400 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 、15200-16800 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ）。现场验证应在这三个范围内进行，并符合表A.8中的要求。热通量的总体范围覆盖了Stoll和Greene使用的热通量范围。如需插值，请考虑该关系的高度非线性，或使用假人烧伤伤害预测计算机代码计算暴露持续时间。

此现场验证至少应每年进行一次。应保存验证的永久记录。如果验证结果超出表A.8中的推荐值，应查明原因并进行纠正。

表A.8 假人传感器-烧伤伤害预测-现场校准参数

吸收热通量 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)	推荐的持续加热时间 (s)	Ω 值等于1.0时所需时间的取值范围 (s)
3800	45	35.4-43.2
3900	45	34.2-41.8
4000	45	33.0-40.4
4100	40	32.0-39.2

吸收热通量 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)	推荐的持续加热时间 (s)	Ω 值等于1.0时所需时间的取值范围 (s)
4200	40	31.1–38.0
7600	20	14.2–17.4
7800	20	13.7–16.7
8000	20	13.2–16.2
8200	20	12.8–15.6
8400	20	12.4–15.2
15200	10	5.5–6.7
15600	10	5.2–6.4
16000	10	5.0–6.2
16400	10	4.9–5.9
16800	10	4.7–5.7

注：表A.8中的参数覆盖了Stoll和Greene在实验中使用的吸收热通量范围。表A.8中理出的时间值表示在连续加热下烧伤预测时间，因此与Stoll和Greene在A.4.3和表A.7中所呈现的实验平均值有所不同。Stoll和Greene使用了恒定强度的固定时长暴露方式，在皮肤冷却后才出现伤害。在产生细胞损伤和皮肤起泡（二度烧伤伤害）方面，重要的是细胞在44℃的总时间。本文中加热是连续进行的，因此二度烧伤伤害的发生时间会晚于Stoll和Greene使用的暴露时间，因为没有冷却期，最终 Ω 值将大于1.0。

参 考 文 献

- [1] ISO 17492 Clothing for protection against heat and flame—Determination of heat transmission on exposure to both flame and radiant heat
- [2] ASTM F 2700-08 Standard test method for unsteady-state heat transfer evaluation of flame resisitant materials for clothing with continuous heating
- [3] ASTM F 2703-21 Standard Test Method for Unsteady-State Heat Transfer Evaluation of Flame-Resistant Materials for Clothing with Burn Injury Prediction
- [4] NFPA 2112-2023 Standard on Flame-Resistant Clothing for Protection of Industrial Personnel Against Short-Duration Thermal Exposures from Fire
-

**《防护服 热防护和假人火焰轰
燃防护性能测试方法》
(征求意见稿)
编制说明**

标准编制组

一、工作简况

（一）任务来源

按照《安全生产标准优化评估工作方案》（以下简称《工作方案》），全国个体防护装备标准化技术委员会防护服装分技术委员会（以下简称防护服装分技术委员会）在应急管理部政策法规司、全国个体防护装备标准化技术委员会（以下简称个体防护标委会）的指导下，组织对归口的标准及标准计划项目进行了全面梳理评估及复审，形成了评估结论及工作报告，其中明确将 GB/T 23467-2009《用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法》、GB/T 38302-2019《防护服装 热防护性能测试方法》整合修订为推荐性国家标准。

本文件由应急管理部提出，由全国个体防护装备标准化技术委员会归口管理，委托全国个体防护装备标准化技术委员会防护服装分技术委员会负责执行具体执行，中科国联劳动防护技术研究院（北京）有限公司负责牵头编制，计划任务号：20251360-T-450。

（二）协作单位

军事科学院系统工程研究院军需工程技术研究所、泰和新材集团股份有限公司、杜邦（中国）研发管理有限公司、北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所、祐力（中国）投资有限公司等。

（三）主要工作过程

1. 2024 年 8 月，起草组召开了线上工作会议，总结了前期的预研和申报工作，全面布置了起草后期工作内容及计划安排。明确了工作的基本程序和时间节点，包括：国内外文献调研-实地调研-形成标准草案稿-研讨征求意见-形成送审稿-标准审定-报批等阶段。讨论确定标准的技术框架，开展标准草稿（工作组讨论稿）的组内征求意见，收集反馈意见 16 条，并提交修改完善草稿。

2. 2024 年 9 月，起草组组织内部讨论，对比国内外技术指标，进一步对标准草稿（工作组讨论稿）进行修改完善，完成标准草稿第一版修改定稿。

3. 2024 年 10 月，起草组从修订前国家标准实施过程反馈、部分关键技术要求适用性的角度对标准草稿第一版修改定稿进一步征集修改意见。

4. 2024 年 11 月，起草组征求了测试验证试验意见，开展用户调研，听取用户意见。

5. 2025 年 1 月，对草案进行修改，并形成征求意见稿。

（四）起草人、起草人所在单位及其所做工作

杨文芬，中科国联劳动防护技术研究院（北京）有限公司，负责标准编制总体方案制定和标准修订等工作；

.....

二、标准编制原则和主要技术内容

论据

（一）标准编制原则

1. 先进性原则

起草组根据原版 GB/T 23467-2009《用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法》、GB/T 38302-2019《防护服装 热防护性能测试方法》的实施反馈及标准涉及、引用的其他国家或行业标准最新情况、国内外相关标准和参考文献更新情况，对测试方法中的各要素进行适当修订、合并、调整，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：标准化文件的结构和起草规则》的规定进行编写，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

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
1	3	术语和定义	术语和定义	GB/T 3291	纺织 纺织材料性能和试验术语	术语
2	3	术语和定义	术语和定义	GB/T 13640	劳动防护服 号型	术语
3	5.2	测试方法	测试方法	GB/T 6529	纺织品 调湿和试验用标准大气	调湿和测试用标准大气
4	5.4.2	测试方法	测试方法	GB/T 1335.1	服装号型 男子	样品尺寸
5	5.4.2	测试方法	测试方法	GB/T 1335.2	服装号型 女子	样品尺寸
6	5.4.2	测试方法	测试方法	GB/T 8629	纺织品 试验用家庭洗涤和干燥程序	洗烫条件

2. 主要技术要求的依据及理由

（1）技术要求项目的确定

本标准将 GB/T 23467-2009《用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法》、GB/T 38302-2019《防护服装 热防护性能测试方法》整合修订为推荐性国家标准进行了整合，并参考目前国际、国外标准的最新，确定了主要技术要求项目，具体如下：

热防护性能测试：原理、试验人员的健康和安全、设备和材料、试样制备和调湿、校准和维护保养、测试步骤、结果计算；

用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法：原理、测试装置、安全操作、测试样品、测试方法前样品的要求、测试设备、测试过程、测试报告。

（2）技术要求指标的确定

根据《国家标准管理办法》及 GB/T 1.1-2020 等规范、标准的原则，根据国家标准的起草要求，对标准全文进行梳理和重新起草；根据原版 GB/T 23467-2009《用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法》、GB/T 38302-2019《防护服装 热防护性能测试方法》的实施反馈及标准涉及、引用的其他国家或行业标准最新情况、国际、国外标准和参考文献更新情况，对测试方法中的各要素进行适当修订、合并、调整。

（3）标准主要内容的确定

1) 标准关系

本标准是防护服装标准中的方法标准，是阻燃和热防护服的关键测试方法，是 GB 8965.1《防护服装 阻燃服》、GB 8965.2《防护服装 焊接服》、GB 8965.3《防护服装 熔融金属飞溅防护服》、GB 8965.4《防护服装 防静电服》、GB 38453《防护服装 隔热服》等防护服装强制性国家标准实施的关键支撑。

2) 标准主要内容

本标准包括范围、规范性引用文件、术语和定义、热防护性能测试方法、用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法共 5 章和附录 A 共 1 个附录。

① 范围

本标准规定了热防护材料的热防护性能值（以下简称为“TPP”）、热防护性能评估（以下简称为“TPE”）的测试方法和用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法。其中，热防护性能值（TPP）和热防护性能评估（TPE）测试方法包括：原理、实验室人员健康与安全、设备和材料、试样的制备和调湿、校准和维护保养、测试步骤、结果计算、测试报告；用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法包括：原理、测试装置、安全操作、测试样品、测试准备、测试过程、测试报告。

本标准中，热防护性能值（TPP）和热防护性能评估（TPE）测试适用于单层或多层材料的热防护性能测试，应用于暴露在对流及辐射热危害的从业人员的热防护材料的评估；用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法适用于防护服阻燃性能的测试与评价。

本标准不适用于非阻燃及遇高温易熔融、滴落等材料及非阻燃服装的测试。

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标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 6529 纺织品 调湿和试验用标准大气（ISO 139:2005, MOD）

GB/T 1335.1 服装号型 男子

GB/T 1335.2 服装号型 女子

GB/T 3291 纺织 纺织材料性能和试验术语

GB/T 8629 纺织品 试验用家庭洗涤和干燥程序

GB/T 13640 劳动防护服 号型

③术语与定义

为了方便理解和执行标准，本标准规定了热防护性能值、热防护性能评估、Stoll 曲线等术语与定义。

④热防护性能测试方法

主要包括：

试验人员的健康和安全、设备和材料（总体布置、燃烧气源、气体流量计、热源、铜量热传感器的构造、试样夹持架、隔热遮板、数据采集分析系统）、试样制备和调湿（取样、调湿和测试用标准大气、测试条件）、校准和维护保养（校准、维护保养）、测试步骤（热防护性能值测试、热防护性能评估测试）、结果计算（Stoll 曲线的公式、传感器的向响应计算方式、热防护性能值（TPP）的计算方式、热防护性能评估（TPE）的计算方式）、测试报告。

⑤用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法

主要包括：

原理、测试装置（仪器化假人、假人传感器、数据采集系统、计算机软件程序、燃烧室、燃料及输送系统、图像采集系统、安全检查单）、安全操作、测试样品（样品分类、实验室抽样、洗烫、预处理、标准参考服装设计）、测试前样品的要求、测试设备（仪器准备、传感器校准、燃烧火焰的校准）、测试过程（服装穿着、记录测试信息、确认安全操作条件、点燃引导火焰、开启图像采集系统、燃烧测试服装、服装燃烧现象评价、准备下一次燃烧测试、传感器检查、测试余下的样品、测试报告）

⑥附录 A（资料性）

皮肤烧伤预测计算要求和测试案例。

（三）新旧标准技术内容变化的依据和理由（修订标准需填写）

根据《国家标准管理办法》及 GB/T 1.1-2020 等规范、标准的原则，根据国家标准的起草要求，对标准全文进行梳理和重新起草；根据原版 GB/T 23467-2009《用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试方法》、GB/T 38302-2019《防护服装 热防护性能测试方法》的实施反馈及标准涉及、引用的其他国家或行业标准最新情况、参考文献更新情况，对测试方法中的各要素进行适当修订、合并、调整、新增（对称性、如数据采集系统、计算机软件程序、假人热防护因子、传递能量、数据剪切规则等条款或条款中的部分技术要求和表达）。

三、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

本标准的制定过程中，参考了 ISO 17492《防护服装火焰和辐射热防护性能的测试方法》、ASTM F2700《阻燃服材料在持续加热状态下动态的传热性评估的标准测试方法》和 ASTM F2703《阻燃服材料在预计烧伤率状态下动态的传热性评估的标准测试方法》等国际、国外标准。其中假人火焰轰燃防护性能测试方法修改采用 ISO 13506-1:2024《Protective clothing against heat and flame Part 1: Test method for complete garments — Measurement of transferred energy using an instrumented manikin》，ISO 13506-2:2024《Protective clothing against heat and flame — Part 2: Skin burn injury prediction — Calculation requirements and test cases》。

（二）与国际、国外同类标准水平的对比情况

为保护面临火焰和热伤害风险的作业人员生命安全健康，我国制定了 GB 8965.1-2020《防护服装 阻燃服》、GB 8965.2-2022《防护服装 焊接服》、GB 8965.3-2022《防护服装 熔融金属飞溅防护服》、GB 8965.4《防护服装 防电弧服》系列火焰和热伤害防护服装强制性国家标准，在 GB 39800《个体防护装备配备规范》系列强制性国家标准中，规定了阻燃及热防护服的配备要求。美国制定了 NFPA 2112《用于保护作业人员免受短时火焰及闪火暴露伤害的阻燃服装》、国际标准化组织和欧盟制定发布了 EN ISO 11612《火焰及热防护服技术要求》、EN ISO 11611《焊接及相关工艺使用的防护服》等防护服装标准，并在各自的国家和地区通过法规引用的方式强制配备。为了支撑上述关键防护用品标准的实施、使用和监督，美国、欧洲等国家和地区及国际标准化组织均编制发布了阻燃和热防护服关键技术指标的测试方法标准，包括：ISO 17492《防护服装火焰和辐射热防护性能的测试方法》、ISO 13506《使用假人模型对成品服装火焰轰燃防护性能的测试方法》、ASTM F2700《阻燃服材料在持续加热状态下动态的传热性评估的标准测试方法》和 ASTM F2703《阻燃服材料在预计烧伤率状态下动态的传热性评估的标准测试方法》。

本标准整合修订已有 GB/T 23467-2009《用假人评估轰燃条件下服装阻燃性能的测试

方法》、GB/T 38302-2019《防护服装 热防护性能测试方法》，并参考国际国外标准的最新技术动向进行适当调整，技术指标处于相同水平。

（三）与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

无。

四、与现行有关法律、法规和其他标准的关系

本标准是阻燃和热防护服的测试方法标准，是《中华人民共和国安全生产法》等法律法规和阻燃和热防护服装等强制性产品标准实施的支撑。本标准与现行有关法规、标准和其他标准协调，无矛盾、无冲突。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

六、标准性质建议

本标准是阻燃和热防护服的测试方法标准，是《中华人民共和国安全生产法》等法律法规和阻燃和热防护服装等强制性产品标准实施的支撑，建议本标准性质为推荐性。

七、标准实施日期的建议及依据

（一）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

本标准是阻燃和热防护服的测试方法标准，目前我国国内已具备按照标准进行测试的基础和技术能力，本标准的修订，不会给行业带来过多的额外成本和负担，建议修订标准发布后 12 个月实施。

（二）实施标准可能产生的社会影响等

本标准是阻燃和热防护服的测试方法标准，本标准修订后的发布和实施，将更加有力支撑《中华人民共和国安全生产法》等法律法规和阻燃和热防护服装等强制性产品标准的实施，并促进相关行业健康发展。

八、实施标准的有关政策措施

无。

九、废止现行有关标准的建议

建议本标准整合修订完成后，废止原版标准 GB/T 23467-2009《用假人评估轰燃条件

下服装阻燃性能的测试方法》、GB/T 38302-2019《防护服装 热防护性能测试方法》。

十、涉及专利的有关说明

无。

十一、标准所涉及的产品、过程和服务目录

本标准文件主要涉及阻燃和热防护服类产品，如阻燃服、焊接服、熔融金属飞溅防护服、防电弧服、隔热服等。

十二、其他应予以说明的事项

无。