

爆燃与电弧风险控制

1. 生产安全风险

2. 风险控制优先层级及PPE配备

3. GE公司PPE配备的基本流程

4. PPE风险矩阵

4.1 PPE选用示例：阻燃服 GB 8965.1-2020阻燃防护服

4.2 PPE选用示例：阻燃服 GB 39800-2020个体防护装备配备规范（石油、化工、天然气）

4.3 PPE选用示例：阻燃服 GB 11651-2008 个体防护装备选用规范

5. PPE配发矩阵

5.1 电弧闪络事故

5.2 电弧闪络成因

5.3 电弧闪络危害

5.4 电弧闪络危害控制法规要求

5.5 电弧防护服国家标准

5.6 电弧防护服行业标准

5.7 电弧防护服试验

5.8 电弧闪络危害分析评估

5.9 电弧防护服的选用与保管

致谢

1. 生产安全风险

安全风险：人员、设备的毁伤、环境破坏，来自于能量的意外释放。制造业中的能量源包括不需要：

- 一次和二次能量源
 - 电动
 - 气动
 - 液压
 - 机械势能、动能
 - 热力、火灾、爆炸
 - 气体
 - 水
 - 蒸汽
 - 化学药品/冷冻剂
 - 放射物
 - 有磁性的
- 存储能量源
- 旋转（能导致机器或设备运动的机械运动）：调速轮、圆形刀片等
 - 重力（切断能源时将会运动的悬挂物或悬挂件）：钢模、机头、升降机等
 - 机械能源（能导致机器或设备运动的存储机械能源）：压缩的或拉伸的弹簧等
 - 热力能源（超过140华氏（60° C）或低于41华氏（5° C））：烤炉、沸水、冷却器等、火灾、爆炸
 - 电源（存储电力）：电池、电容等
 - 液压能源（剩余压力）：存储器、管道、汽缸等
 - 气动（剩余压力）：存储柜或补偿水柜,管道等
 - 气体（剩余压力）：管道、桶等
 - 水（剩余的或存储的压力）：管道、桶等
 - 蒸汽（剩余的压力）：管道、锅炉等
 - 化学药品/冷却剂（剩余的或存储的压力）：管道、桶、容器等

2. 风险控制优先层级及PPE配备



- 在工作中，不可避免会接触到部分外溢的能量（如高温源附近的热辐射），除了上述工程、管理手段外，企业应为员工配备适宜的个体防护装备，防止能量对人体造成的毁伤。

为员工配备PPE的法理依据：

2021《安全生产法》

- 第四十五条 **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。**
- 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；

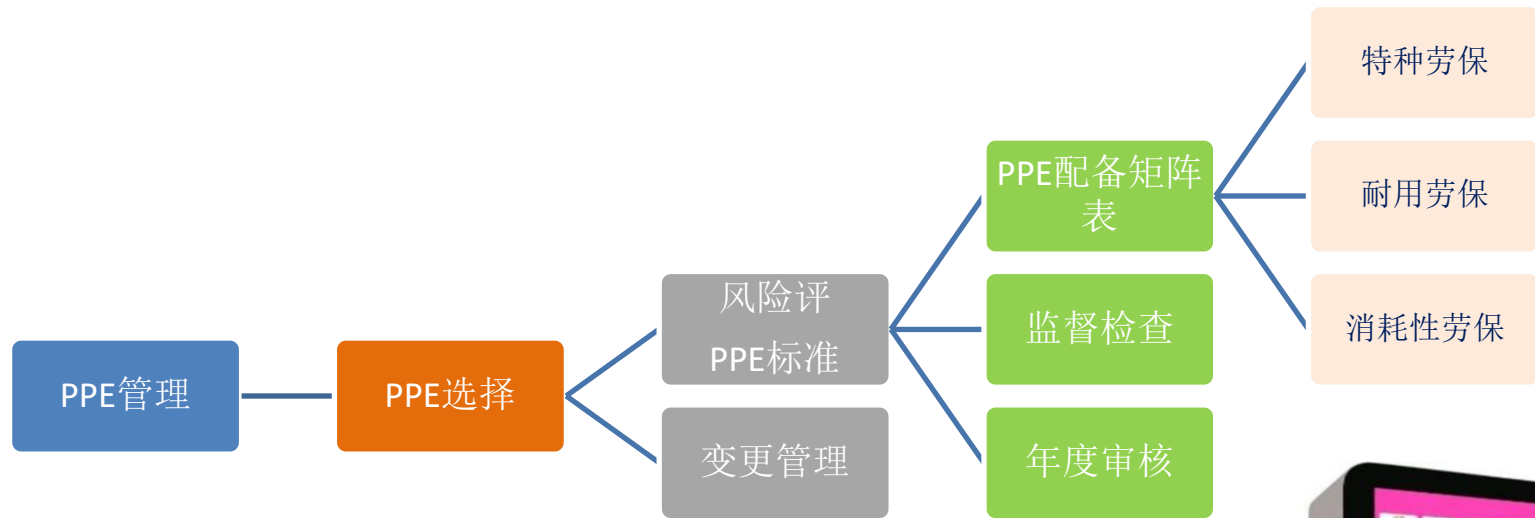
❑ 2021年6月10日全国人大批准

❑ 2021年9月1日正式实施

❑ 安全生产工作应当以人为本，坚持人民至上、生命至上，把保护人民生命安全摆在首位，树牢安全发展理念，坚持安全第一、预防为主、综合治理的方针，从源头上防范化解重大安全风险。












3. GE公司PPE配备的基本流程



劳保用品自动发放机

4.0 PPE风险矩阵

PPE风险评估 20210608												
											编制:	2021/6/8
#	作业类型	PPE图示										
		风险/使用场所	头部受外力伤害, 和/或触电、电弧灼烫伤	对眼睛有伤害的各种场所	噪声超过80dB场所	可能暴露于对人体有害的气体、气溶胶、烟尘的场所	具有粉尘的作业场所	高处坠落危险	化学/病菌伤害全身	手部物理(刺/割/戳/触电/灼烫)、化学(酸碱)、生物(叮咬等)伤害	砸伤、刺戳伤、触电、烫伤、腐蚀等伤害脚部	灰尘对产品的污染在阴暗处不易发现的不利处
		检查	自检	自检	自检	FT气密测试 自检	自检	自检 内部定检(每6月)	自检	绝缘手套: 外部送检(每6月)	自检	
1	高处作业	AIS/GIS车间 厂务	安全帽					全身型安全带		纱线/帆布手套	劳保鞋	工作服
2	起重作业	AIS/GIS车间 厂务	安全帽							纱线/帆布手套	劳保鞋	工作服
3	厂务电工 AIS高压试验 电工	厂务 AIS高压测试	安全帽							绝缘手套	绝缘鞋/靴	棉质工作服或防电弧服
4	GIS电工 耐压测试									绝缘手套	绝缘鞋	棉质工作服
5	化粪池内受限空间作业	厂务		护目镜		防毒面具				耐酸碱手套	防砸防刺穿防滑安全鞋	工作服

4.1 PPE选用示例： 阻燃服 GB 8965.1-2020阻燃防护服

体表温度/°C	作用目标	特点/热效应
5730	人体	热致气化
530	人体	产生热致燃烧
400-300	组织	产生热致碳化
100	皮肤	产生热致沸腾。100°C以前主要是由热效应引起变性。当温度高到时，大多数组织中水分子开始沸腾汽化，由于相变蒸汽的体积迅速膨胀，出现气泡，但为皮肤所阻，蒸汽的压力越来越大，以致最终引起组织的机械破裂和热分解，蒸汽冲破皮肤喷出，随之喷射出一些组织碎片，形成汽化现象
>80	DNA	DNA的耐热比蛋白质强。
70	酶	酶的活性会完全丧失，从而影响体内代谢，大部分酶系统受到破坏
60	蛋白质	蛋白质变性：蛋白质和胶蛋白发生变性而导致组织的凝结和细胞的坏死，产生永久性变性，造成对正常组织细胞的破坏，甚至导致不可逆变化和损坏，相应在宏观上可见组织变暗。
60		热波进入组织的深度为热组织损伤深度
60-55	皮肤	产生热致凝固
58	皮肤	灼伤阈
<50	酶	酶活性明显减弱，导致细胞固定，而且细胞的某些修复机制也被损坏

6.4 火灾

6.4.1 池火灾(Pool Fire)

6.4.2 喷射火(Jet Fire)

6.4.3 火球和爆燃

6.4.4 蒸汽云火灾VCF (Vapor Cloud Fire)

6.4.5 蒸汽云爆炸VCE (Vapor Cloud Explosion)

6.4.6 沸腾液体扩展蒸气爆炸(BLEVE)

6.4.7 原油和重质石油产品沸溢和喷溅

6.4.8 固体火灾



摘自：许学兵. 能量毁伤定量分析原理及应用. 北京，化学工业出版社，2021.12

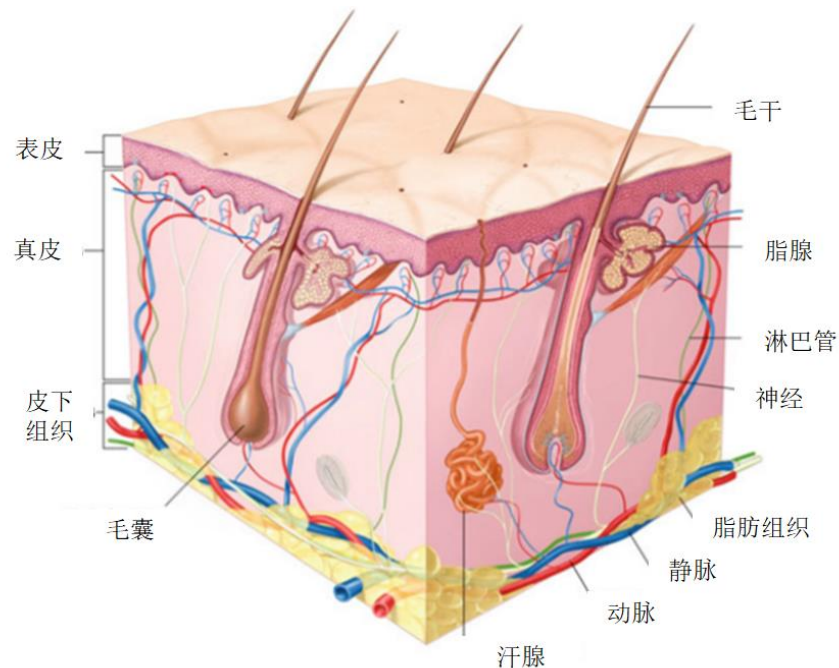
4.1 PPE选用示例：阻燃服 GB 8965.1-2020阻燃防

烧伤分为闪光烧伤和火焰烧伤，系根据人员对火焰和热辐射的易损性分类。闪光烧伤通常发生人体未受衣服遮蔽的小面积部位上；火焰烧伤则能在身体的大部分区域出现，因为衣服也起火燃烧。闪光烧伤的程度随受热能的多少和热能传递的速率而异。

热辐射对皮肤的烧灼伤，按严重程度可分为I~III度烧伤，I度烧伤皮肤变红，II度起泡，II度烧伤的真皮和皮下组织。

裸露皮肤的灼伤程度直接与辐照量和辐射能量的传递速率有关。

服装能反射和吸收大部分热辐射能量，所以可保护皮肤免遭闪光烧伤。但在一定辐量条件下，服装发热或被点燃，将会增加向皮肤传递热量，造成比裸露皮肤更严重的烧伤。



高温火焰是工业领域中的主要伤害

热伤害-爆炸	29.45%
热伤害-火灾	11.34%
热伤害-电弧	0.79%

据美国统计，每年由于着装不当导致的烧伤有7000多起。



阻燃服级别:

图 1 阻燃服图形符号标志

4.1 PPE选用示例： 阻燃服 GB 8965.1-2020阻燃防护服

- ❑ 最新版阻燃服国家强制性标准、
- ❑ 2020年正式发布，2021年正式实施
- ❑ 新版标准首次参考美标引入加入轰然试验项目，要求II、III度烧灼伤面积不得大于50%，将提升阻燃面料的客户端使用安全性

ICS 13.340.10
C 73



中华人民共和国国家标准

GB 8965.1—2020
代替 GB 8965.1—2009

5.1.1.1 阻燃性

A 级和 B 级阻燃服所用材料的阻燃性能,在洗涤前和经过 6.2 规定的洗涤程序洗涤后,都应符合表 1 的要求。

表 1 面料阻燃性能项目和指标

测试项目	防护等级	指 标
热防护性能值(TPP) kW · s/m ²	A 级	皮肤直接测试:≥126
	B 级	皮肤与服装间有空隙:≥250
续燃时间 s	A 级	≤2
	B 级	≤2
阴燃时间 s	A 级	≤2
	B 级	≤4
损毁长度 mm	A 级	≤50
	B 级	≤100
熔融、滴落		无

防护服装 阻燃服

Protective clothing—Flame retardant protective clothing

阻燃服 flame retardant protective clothing

在接触火焰及炽热物体后,在一定时间内能阻止本身被点燃、有焰燃烧和无焰燃烧的防护服。

2020-07-23 发布

2021-08-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会



中华人民共和国国家标准

GB 39800.2—2020

4.2 PPE选用示例：阻燃服. GB 39800-2020个体防护装备配备规范（石油、化工、天然气）

- ❑ 最新版个体防护装备国家强制性标准、
- ❑ 2020年正式发布，2022年正式实施
- ❑ 规定了石油、化工、天然气行业用人单位个体防护装备配备的总体要求、危害因素的辨识和评估及个体防护装备的配备。

表 1 主要的作业类别、可能造成的事故或伤害类型以及适用的个体防护装备

序号	作业类别	说明	可能造成的事故或伤害	适用的个体防护装备	作业举例
1	易燃易爆场所作业	作业场所存在甲、乙类易燃易爆物质并可能引起燃烧、爆炸	火灾、爆炸等	TB-01 安全帽 TB-02 防静电工作帽 HX-05 自给开路式压缩空气呼吸器 HX-06 自吸过滤式防毒面具 HX-08 自吸过滤式防颗粒物呼吸器 YM-04 职业眼面部防护具 ZB-01 安全鞋 FZ-02 防静电服 FZ-07 化学防护服 Z-12 阻燃服 SF-03 防化学品手套 SF-04 防静电手套	接触具有爆炸、可燃危险性质化学品、可燃性粉尘的作业。化学品分类参见 GB 13690

个体防护装备配备规范 第 2 部分：石油、化工、天然气

Specification for the provision of personal protective equipment—
Part 2: Oil, chemical and gas industry

2020-12-24 发布

2022-01-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

4.3 PPE选用示例：阻燃服 GB 11651-2008 个体防护装备选用规范

B53	阻燃防护服	用于作业人员从事有明火、散发火花、在熔融金属附近操作有辐射热和对流热的场合和在有易燃物质并有着火危险的场所穿用，在接触火焰及炽热物体后，一定时间内能阻止本身被点燃、有焰燃烧和阴燃
-----	-------	---

6. 选用 6.1 根据作业类别可以或建议佩戴的个体防护装备，见表3.

编号	类别名称	可以使用的防护用品	建议使用的防护用品
A12	易燃易爆场所作业	B23 防静电手套 B35 防静电鞋 B52 化学品防护服 B53 阻燃防护服 B54 防静电服 B66 棉布工作服	B05 防尘口罩（防颗粒物呼吸器） B06 防毒面具 B47 防尘服

5. PPE配发矩阵

PPE配发矩阵										
Updated: Jan 06,2020			Prepared by :				Approved by :			
Key Area or Station 关键作业区域或工位	Foot Protection 足部防护	Hand Protection 手部防护				Eye Protection 眼部防护	Respiration Protection 呼吸防护	Listening Protection 听力防护	Head Protection 头部防护	Body Protection 躯干保护
	Safety Shoes 安全鞋/月	Cotton Gloves 纱线手套/日	Portable Rubber Gloves 一次性橡胶手套/0.5日	Heat Resistance Gloves 防高温手套/视情	Insulation Gloves 绝缘手套/视情	Safety Glasses 安全眼镜/6月	VOC Protection Respirator防VOC口罩/日	Earplugs 耳塞/视情	Safety Helmet 安全帽/2.5年	AR Set 电弧防护服全套/视情
10-Material Unloading 来料卸货作业	X	X							X	
10*-Material Unpacking 来料拆包作业	X	X								
20-Stack Uploading 物料上架作业	X	X							X	
30-HV Operation 高压电工作业	X	X			X	X		X		X
40-Chemical Warehouse 化学品仓库	X		X			X	X		X	
50-IQC-Reception Area IQC-收料区	X	X								

5.1 电弧闪络事故



185 例电弧烧灼伤害事故分析, 1976-2020

许学兵¹, 章光², 刘迪辉³, 张磊⁴, 陈亚⁵

(1, 2 武汉理工大学, 湖北武汉, 430070; 3 湖南大学, 湖南长沙, 410082, 4 上海淮宁企业管理咨询有限公司, 上海, 2014002; 5 通用电气传感与检测(常州)有限公司, 江苏常州, 213164;)

摘要: 电弧闪络危害分析、评估、控制, 已有 30 余年的历史, 但全球而言对电弧事故报告的系统分析还不多见。本文采用描述分析法和推断分析法, 对从公开出版物收集整理的 185 起电弧伤害事故进行回顾性分析, 为电气设备设计制造单位、使用单位、相关专业研究人员提供有益的信息: 归纳总结电弧闪络事故频发的行业、地点、涉事电气设备、电压等级、作业活动, 电弧闪络事故伤害人群、人数、伤害部位、烧灼伤严重程度, 以及造成电弧闪络事故的直接原因。本文还给出了电弧闪络事故报告分类的建议。

- ❖ 在美国, 每日约有 5~10 起电弧爆炸事故, 平均每年有 4000 起非致残电气事故, 3600 起电气致残事故, 其中逾 2000 起为电弧烧灼事故, 而在法国电弧事故占 77%。
- ❖ 笔者收集的 185 起电弧闪络事故, 发生在电力、煤矿、化学工业、一般工业、矿业、建筑、钢铁行业, 占比 62.8%。除电力企业外, 电弧闪络在煤矿、一般工业、工地、化工厂、实验站、钢厂、矿山、医院、公路、砖瓦厂、钻油平台、酒店等地, 均有发生。
- ❖ 主要涉事设备如断路器、隔离开关、母排、刀闸、接触器、电缆、熔断器等。
- ❖ 收录的 185 起电弧事故中 89 起给出了电压等级, 其中: 1kV 占比 41%; 1.1kV~10kV, 38%; 10.1~35kV, 10%; >35kV, 11%。
- ❖ 电气检修、安装、查障、试验、电气设备故障发生的电弧事故占了绝大多数。
- ❖ 电气专业人员(如变电站高压电工、线缆工、电气巡检维修人员、抄表工、试验电工)受电弧闪络伤害占比高达 86.5%, 非专业电气人员伤害仅占 10.3%, 其他 3.2%。
- ❖ 电弧闪络爆炸导致热力烧灼伤和非热力伤害(冲击波超压打击、脉冲噪声、高速飞散物打击、高温金属熔滴、有毒气体、强光、火灾爆炸等)。电弧热力烧灼伤为主要伤害源。其伤害部位: 手部、面部、手臂、腿(含小腿)、上身), III度、II度烧伤各占有烧灼伤分类记录的 45%, I度烧灼伤占 10%。

5.2 电弧闪络成因

1) 击穿电弧

两电极距离过近，电流通过（击穿）某些绝缘介质（如空气）所产生的瞬间火花即电弧。正常情况下，空气介电常数为 3kV/mm 。例子：

- 雷雨天气时云层间的雷电（先导放电、主放电、余辉放电。主放电温度 $15000\sim 20000^\circ\text{C}$ ， $200\sim 300\text{kA}$ ， $0.5\sim 10\mu\text{s}$ ）。直击雷过电压，感应雷过电压。
- 电气连接不良，触头松动，内部金属导体断裂、腐蚀氧化、连接损坏。（固体电介质击穿场强高达 $200\sim 300\text{kV/mm}$ ，空气 3kV/mm ，变压器油 $12\sim 200\text{kV/mm}$ ；热击穿场强 $1\sim 10\text{kV/mm}$ 。固体击穿分电击穿、热击穿、电化学（如臭氧、氮氧化物）击穿）。

绝缘老化导致击穿（绝缘老化影响因素如电、热、光、机械力、高能辐射等物理因素；氧气、臭氧、盐雾、酸、碱、潮湿等化学元素；微生物、霉菌等生物因素，导致热老化、电老化、机械应力老化和综合性环境老化。

2) 触头分合电弧

任何机械式开关装置（除半导体开关设备、二极管、晶体管、超导体或类似无触点设备外），其电路电压不低于 $10\sim 20\text{V}$ ，电流不小于 $80\sim 100\text{mA}$ ，在开关电器、手车断路器分/合瞬间，动、静触头无限接近时，触头间形成非常大的电场，触头内电子在强电场作用下发生电离，动、静触头之间构成回路进而产生电弧。

3) 短路电弧

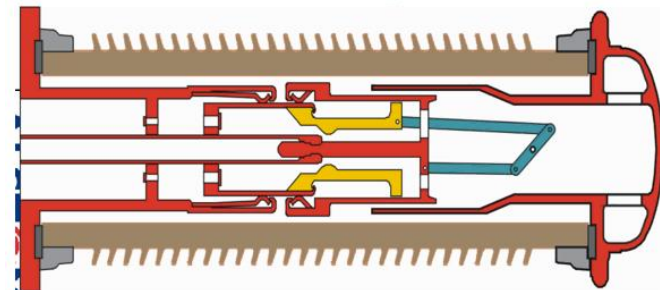
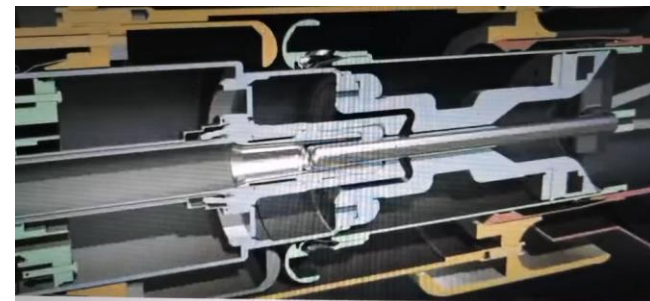
产生于电弧电流流过带电导体之间并与负载并联，多为导体绝缘破损，金属物件等造成的相对地、相间短路、相与结构物之间短路引起。

典型例子：验电时表针同时碰触A、B相发生相间短路；带电作业，未有效绝缘屏护，金属工具坠落使A、B、C三相搭接造成三相金属性短路。

避免带电作业，执行LOTO，遵循良好电气安全实践！



雷电视频 1~5km高度雷云带负电，5~12壳门雷雨带正电，云中电荷密集中心场强 $25\sim 30\text{kV/cm}$ ，引发雷电



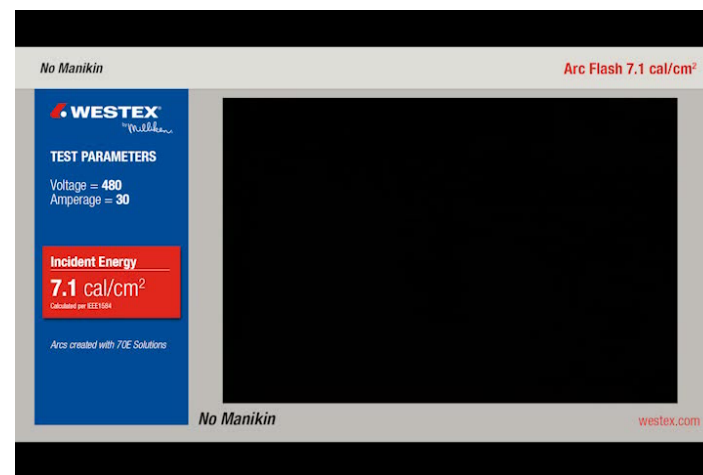
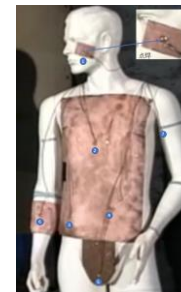
5.3 电弧闪络危害

#	毁伤效应	电弧闪络毁伤具体表现
1	热效应	低压系统中电弧燃烧温度高达3000~5000°C，中压系统高达19000°C，为太阳表面温度的4倍，可熔融地球上任何物质，对工作距离内、电弧闪络危害界限内的人员造成II、III度灼烫伤。高温致衣物燃烧，尤其是化纤衣服燃烧后的熔滴，使人体灼烫伤严重性进一步加剧。
2	机械效应	因高温致空气膨胀，柜内气体压力骤升250kPa，易引起柜体超压爆炸。空气压缩产生的冲击波达9.77N/cm ² ，对电弧邻近人员产生严重机械打击伤害。 高速气流将人体掀起、抛下造成摔伤，邻居建筑物因冲击波超压坍塌致邻近人员砸伤、挤压伤害，致柜内固定元器件振动松脱。因高温熔融的设备边角残片高速飞散造成打击伤害。
3	弧光效应	电弧光光强可达9000Lux，是人眼感受到的最大光强的30倍，可致人暂时甚至永久性失明，而强烈的可见光、红外线、紫外线光谱还可毁损重要眼组织如角膜、视网膜。
4	声能毁伤效应	电弧闪络爆炸的巨响，声压级达到165dB，远超人体承受的脉冲噪声阈值140dB，对未加听力保护的人可致耳膜破裂。
5	其他效应	高达1000°C的炽热熔融金属微粒，进入呼吸道造成吸入性伤害。金属熔融液滴的喷射速度超过444m/s（1600km/h），其高温可引燃工人衣物造成烧灼伤。 金属材料、橡胶、塑料等绝缘材料燃烧产生100+种有毒气体（如一氧化碳、氯化氢、氰化氢、铝/铜蒸汽），吸入可致人中毒。

中低压三相交流短路电弧闪络试验方法设计

许学兵¹，章光²，唐圣学³，刘迪辉⁴

(1, 2 武汉理工大学, 湖北武汉, 430070; 3 湖北工业大学, 天津, 300131; 4 湖南大学, 湖南长沙, 410082)



5.4 电弧闪络危害控制法规要求

美国

1981年美国工程师拉尔夫李撰写的一份报告《另一个电气危害：电弧闪络爆炸伤害》掀起了美国对电击伤害之外的电弧危害的研究热潮。

- 1991年，美国职业健康安全总署OSHA要求将电弧闪络纳入电弧危害评估内容
- 1994年，OSHA 29CFR 1910.269电力发电、输电、配电法规强制要求进行电弧保护
- 2000年美国消防协会发布NFPA 70E，详细规定了电弧危害评估、电弧计算与分类，电弧PPE标准。当前版本：NFPA70E-2018
- 2002 美国电气电子工程师协会IEEE发布电弧计算指南，包括电弧闪络危害界限，入射能量。当前版本：IEEE1584-2018 IEEE电弧闪络危害计算指南
- 2005美国国家电气规程NEC (NFPA 70-2005)规定，具有潜在电弧闪络风险的设备上应张贴电弧闪络危害标签。
- 2007 NESC-2007国家电气安全法规，规定自2009-1-1日七，雇主应确保开展了电弧闪络危害分析，电弧标签张贴，配备基于电弧入射能量的电弧PPE，关于在开展由潜在电弧危害的电气操作/维修活动中，应与设备保持尽可能远的距离。
- 2017和2018，NFPA70E和IEEE158发表发布2018最新版本。

中国

2004年GB19517-2004《国家电气设备安全技术规范》要求采取措施防止电弧等电能和非电能作用造成的危险。

GB/T22696.2-2008《电气设备的安全 风险评估和风险降低 第2部分 风险分析和风险评价》4.3.4.2 d)6)，要求防止电弧引起的危险。

GB/T24612-2009《电气设备应用场所的安全要求第1部分：总则》明确规定应开展电弧危害分析并在有电弧危害场所使用防电弧PPE，以避免操作人员受到电弧伤害。但就如何开展电弧危害的计算、评估，上述标准未给出方法或流程。

时间	立法、标准制定历程
1986	GB 6441-1986《企业职工伤亡事故分类标准》1986年5月31日发布，1987年2月1日生效，第2条“事故类别”包含触电，但没有纳入电弧伤害，也没有电弧烧伤、电弧非热力伤害，以及带负荷分闸等不安全电气作业行为。
2004	GB 19517-2004《国家电气设备安全技术规范》（当前为2009年版），2.2.5条：应采取适当的措施，防止电气设备自身或旁邻设备产生的高温、电弧...等电能和非电能的间接作用所造成的危险。
2008	GB/T 22696.2-2008《电气设备的安全 风险评估和风险降低 第2部分 风险分析和风险评价》，2008年12月31日发布，2009年11月1日生效。4.3.4.1“潜在危险源”，明确电气设备有“热效应危险（如灼伤、着火等）”；4.3.4.2“设计和制造危险”中d)运行危险6)“防止电弧引起的危险”。
2009	GB/T 24612-2009《电气设备应用场所的安全要求第1部分：总则》，于2010年5月1日实施。本标准主要参照NFPA70的110、120章节编写，8.2.1.2要求：“为了保护操作人员免受电弧的损伤，应进行电弧风险分析。上述分析应确定“电弧保护范围”，以及在“电弧保护范围”的工作人员所使用人体保护装置”。
2010	DL/T 320-2010《个人电弧防护用品通用技术要求》，标准规定了电气作业场所个人电弧防护用品的技术要求、试验方法、选用方法、质量检验规则、使用维护、标志、使用说明、储存及运输等。适用于电力行业个人电弧防护用品的生产、验收和使用。标准所附的电弧计算公式，等效采用IEEE1584-2002的电弧计算方法，并给出了示例。
2019	DL/T 320-2019，为DL/T 320-2010的最新版。

5.5 电弧防护服国家标准 GB 11651-2008 个体防护装备选用规范

		碰到电弧爆炸或火焰的状况下，服装面料纤维会膨胀变厚，关闭布面的空隙，将人体与热隔绝并增加能源防护屏障，以致将伤害程度减至最低。
B65	防电弧服	

6. 选用 6.1 根据作业类别可以或建议佩戴的个体防护装备，见表3.

编号	类别名称	可以使用的防护用品	建议使用的防护用品
A10	高压带电作业 	B02 安全帽(带电绝缘性能) B31 绝缘手套 B42 绝缘鞋 B64 绝缘服	B10 防冲击护目镜 B63 带电作业屏蔽服 B65 防电弧服

5.6 电弧防护服行业标准

DL / T 320 — 2019

ICS 13.340
C 78

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL / T 320 — 2019
代替 DL / T 320 — 2010

个人电弧防护用品通用技术要求

1 范围

本标准规定了电气作业场所个人电弧防护用品的技术要求、试验方法、选配方法、质量检验规则、使用维护以及标志、使用说明、储存及运输等。

本标准适用于电力行业个人电弧防护用品的生产、验收和使用。

3.3

电弧烧伤 arc burn

电流通过空气介质或电路短路时产生强大的弧光，在其致伤距离内对人体形成的复合烧伤。包括电弧闪光造成的热烧伤及电流击穿进入人体时的电烧伤。烧伤严重程度的分级参见附录A。本标准适用于防止热烧伤。

3.4

电弧防护 arc protection

当发生电弧时，通过阻隔入射的电弧危害能量，降低电弧对人体可能的伤害，使残余能量不足以对人体产生II度及以上烧伤的防护。

3.5

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

表征为入射到电弧防护材料的能量有 50%的可能性导致热能透过材料刚刚引起II度烧伤的能量值（根据斯托尔曲线判断）。当外界入射能量小于该值时，材料能有效阻隔和减少透过的能量，避免引起人体II度及以上的烧伤。

3.6

破裂阈值 breakopen threshold energy

E_{br}

表征为入射到单层或多层电弧防护面料的能量有 50%的可能性导致面料破裂的能量值。电弧防护性能测试时，电弧防护面料上产生的破洞总面积超过 160 mm^2 或单个长度大于 25 mm 的破洞为破裂，对多层电弧防护面料，破洞应贯穿全部各层面料。

个人电弧防护用品通用技术要求

Performance requirements of personal arc protective equipment

2019-06-04发布

2019-10-01实施

国家能源局 发布

4.6. 电弧防护服行业标准

4.1.1.1 电弧防护性能

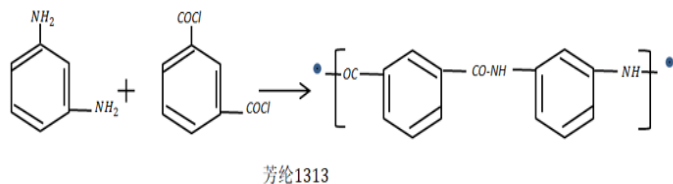
单层或多层个人电弧防护面料（简称面料）的电弧防护性能应按 5.1 试验，单位面积质量应按 GB/T 4669—2008 中的方法 3 测定。面料应同时达到表 1 中电弧防护性能 ATPV、 E_{bt} 和单位面积质量的要求。防护级别为 1 级和 2 级的个人电弧防护用品，其面料或外层面料单位面积质量应达到表 1 的要求；防护级别为 3 级和 4 级的个人电弧防护用品，若采用多层面料组合，则其外层面料单位面积质量应达到表 1 中 1 级和 2 级的要求，面料组合单位面积质量应分别达到表 1 中 3 级和 4 级的要求。

表 1 面料防护级别、ATPV 和 E_{bt} 及单位面积质量要求

防护级别	ATPV J/cm ²	E_{bt} J/cm ²	单位面积质量 g/m ²
1 级	25.1 < ATPV ≤ 33.5	54.4 < E_{bt} ≤ 75.3	≤ 200
2 级	33.5 < ATPV ≤ 104.7	75.3 < E_{bt} ≤ 104.7	≤ 290
3 级	104.7 < ATPV ≤ 167.4	104.7 < E_{bt} ≤ 167.4	≤ 600
4 级	ATPV > 167.4	E_{bt} > 167.4	≤ 600

注 1：表中的单位面积质量为洗涤前的测定值。
注 2：J/cm² 英制单位换算参见附录 B。

聚芳香酰胺类属于尼龙纤维家族，是芳香族聚酰胺亚胺基合成纤维，由至少 85% 的聚芳香酰胺（-CONH）链到 2 个芳香族环上，具有很高的阻燃性能，高温时产烟量极小，热稳定性良好。防电弧阻燃服的原料采用间位芳纶（如杜邦公司 1960 年研制，1967 年商用的 Normax Delta 系列，美利肯，帝人 Teijin 的 Conex、Apyeil (Unitika)、俄罗斯的 Femilon 纤维，以及我国山东、广东也生产）与 FR-VISOCOSE 混纺。间位芳纶是芳香族聚酰胺纤维中的一大品种—聚间苯二甲酰间苯二胺纤维，即 93% 间位芳纶 1313（m-ARF），由间苯二甲酰氯（ICI）和间苯二胺（MPD）缩聚而成。



间位芳纶（芳纶 1313）面料不仅阻燃，且遇热发生膨胀，厚度随之增加，在人体与热源之间形成保护屏障。间位芳纶特点包括耐热、尺寸稳定性和高纤维强度：

4.1.1.2 阻燃性能

防护面料应具备下列阻燃性能：

- 垂直燃烧性能。单层或多层面料每层垂直燃烧性能应按 GB/T 5455 规定的方法进行测试，测试过程中面料不应出现熔融和熔滴现象，损毁长度不应大于 100 mm，续燃时间不应大于 2 s。
- 阻燃耐久性能。单层或多层面料每层阻燃耐久性能应按 GB/T 17595 规定的洗涤方法（温度为 40℃）洗涤 100 次，然后按 GB/T 5455 规定的方法进行测试，测试过程中面料不应出现熔融和熔滴现象，损毁长度不应大于 100 mm，续燃时间不应大于 2 s。

温度/°C	耐热性	尺寸稳定性	纤维强度
100~200	连续使用不出现热分解、无熔融，	保持其物理机械性能	在此温度下工作 20000h，其强度仍能保持原来的 90%
250		热收缩率：1%	
< 300		热收缩率：5%~6%	
260			连续工作 1000h，强度仍能维持 65%
275	二级转变温度		
300			可使用一周，仍保持原强度 65%~70%
375	开始伴随着热降解		
400~430	热分解		
> 400	内部的高强度纤维自动迅速膨胀，表面纤维织物碳化，并通过形成坚韧的焦炭层，提供连贯的热防护层以支撑表面，维持其保护特性，焦炭的形成确保纤维有低燃烧性，因此防电弧服组织密度加大并变厚，借此延缓和保护了内层纤维的碳化速度，从而表现出热防御能力，在人体皮肤之外形成有效的隔热屏障，抵御额定的电弧入射能量，并在火焰从面料上撤除后自动熄灭		

芳纶 1313 的 LOI 值 28%~31%。

阻燃服包括面料、纱线、纽扣、绝缘层、拉链等，全部都应具备相应的阻燃（FR）等级。防电弧服必须阻燃、阻火、不熔融。间位芳纶制作的阻燃服，广泛用作高温防护服、防电弧服、消防服、军服、高温过滤材料、工业耐高温零部件、工程纸等。

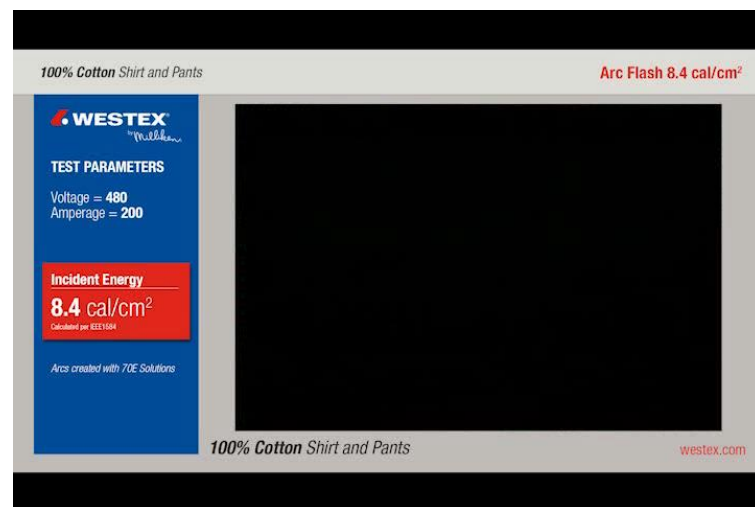
5.7. 电弧防护服试验

- IEC 61482-1-2-2014 Standard Live working - Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc - Part 1-2 Test methods - Method 2 Determination IEC 61482-1-1-2018
- IEC61482-1-1-2019 Live working - Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc - Part 1-1 Test methods- Method 1 Determination of the arc rating
- ASTM F2178-2017测定电弧额定值用标准试验方法和面部防护用品的标准规范
- ASTM F2676-2009防止电弧危害的电弧保护毯防护性能确定的标准试验方法
- ASTM F2522-2017测定带电线路工具或齿条上用于防电弧伤害的护罩的防护性能的标准试验方法
- ASTM F1959 F1959M-2014e1(红线版)测定服装材料电弧度的标准试验方法
- **ASTM F1959 F1959M-2006ae1 测定服装材料电弧热值的标准试验**
- ASTM F1958 - F 1958M – 12 Standard Test Method for Determining the Ignitability of Non-flame-Resistant Materials for Clothing by Electric Arc Exposure Method Using Mannequins



山东省质检院完成国内首次防电弧面料检测试验，“闪火与电弧危害的防护及面料、阻燃服技术论坛”举办

<https://new.qq.com/omn/20211030/20211030A081WC00.html>



5.8. 电弧防护服的选用与保管

防电弧 PPE 配置一览表*

美国	防护级别	1	2	3	4	5
	J/cm ²	5 < ~ ≤ 16.8	16.8 < ~ ≤ 33.5	33.5 < ~ ≤ 104.7	104.7 < ~ ≤ 167.4	167.4 < ~ ≤ 250
	cal/cm ²	1.2 < ~ ≤ 4	4 < ~ ≤ 8	8 < ~ ≤ 25	25 < ~ ≤ 40	40 < ~ ≤ 60
中国	防护级别	1	2	3	4	5
	J/cm ²	5 < ~ ≤ 16.8	25.1 < ~ ≤ 33.5	33.5 < ~ ≤ 104.7	104.7 < ~ ≤ 167.4	ATPV > 167.4
	cal/cm ²	1.2 < ~ ≤ 4	6 < ~ ≤ 8	8 < ~ ≤ 25	25 < ~ ≤ 40	ATPV > 40
1	电工安全帽	√	√	√	√	√
2	电弧防护面罩	√	√	√	√	√
3	电弧防护头罩	√	√	√	√	√
4	耳塞	√	√	√	√	√
5	巴拉克拉克围脖	√	√	√	√	√
6	电弧防护服	√	√	√	√	√
7	电弧防护手套**	√	√	√	√	√
	皮绝缘手套	√	√	√	√	√
8	电弧防护鞋罩	√	√	√	√	√
	金属饰件	×	×	×	×	×



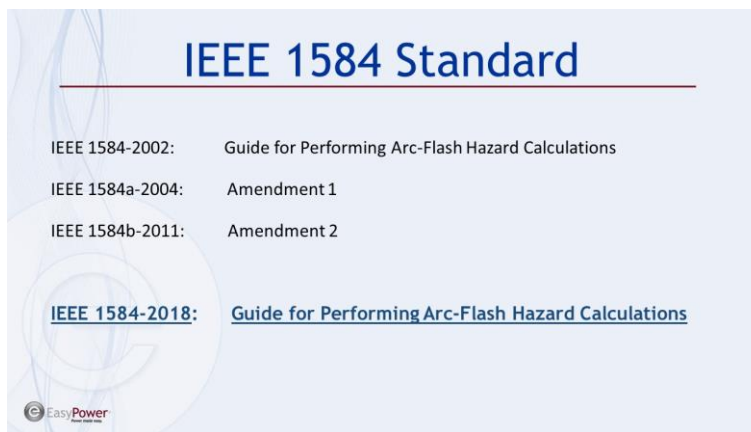
防电弧PPE选用、保管注意事项

- (1) 抵御超过 40cal/cm² 的防护服市面上有购，但电弧保护距离以内的人无一避免地会受到巨大的冲击波能量的伤害，故严禁在 > 40cal/cm² 入射能量的带电作业（比如带电倒闸操作），只能在切断负荷及上级电源并确认无电压后的电气安全条件下方可进行。
- (2) 对于熄弧时间 ≥ 1s 的，在电弧保护界限处的电弧入射能量可以由 1.2cal/cm² 提高到 1.5cal/cm² 即 6.24J/cm²。
- (3) 在有防电弧要求时，无论内衣、外衣，均严禁穿着化纤（如面料为醋酸、尼龙、聚酯、聚丙烯、氨纶等）衣物，以免因熔融黏附皮肤而进一步加剧热伤害。
- (4) 防电弧PPE应有防电弧入射能量标签（安全眼镜、耳塞、鞋除外），使用前应仔细检查核对。
- (5) 防电弧服破碎会引燃可燃不熔融的内衣，故不得使用有破洞的防电弧服。
- (6) 防电弧PPE应覆盖住身体所有部位及可燃的衣物鞋帽。
- (7) 防电弧服穿戴时应保持“三紧”：袖口、领口、下摆均应扣紧。
- (8) 应保存在阴凉、干燥、清洁柜内，防鼠咬虫蛀，使用寿命按制造厂家说明。

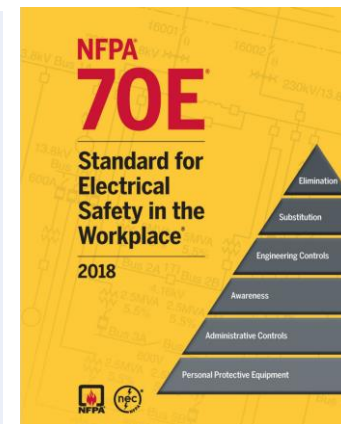
4.9. 电弧闪络危害分析评估

电弧闪络风险预防包括但不限于:

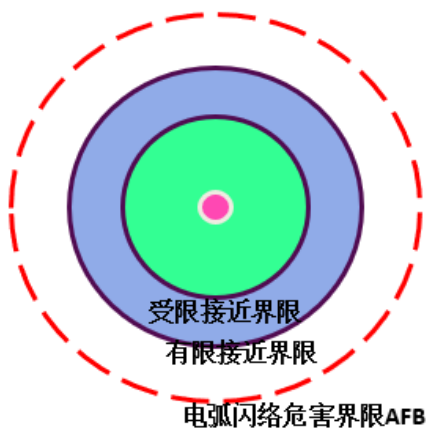
1. 培训/实操考核/授权
2. 合格人员计算电弧确定入射能量
**Incident Energy/电弧危害界限
AFB/PPE类别并张贴电弧标签**
3. 选择正确的电气保护
4. 保持电气系统完好性
5. LOTO上锁挂牌并接地
6. 保持在电弧危害界限AFB之外
7. 穿戴正确的防电弧PPE
8. 正确的电气安全实践



《电弧闪光危害计算指南》



《工作场所电气安全标准》



电弧闪络危害界限:

指未穿戴电弧PPE的人员需与电弧源保持的不会受 $\geq 1.2\text{cal/cm}^2$ 入射热能辐射的安全距离,通常在此距离的外沿设置隔离路障防止误入。

WARNING 警告

Arc Flash and Shock Hazard (电弧和电击危害)
Appropriate PPE Required (要求穿戴恰当的PPE)

23.5	3 Phase Fault Current(kA) (三相故障电流-千安)
455mm	Work Distance (作业距离)
5.1	cal/cm ² Flash Hazard at 455mm (在作业距离455mm的电弧能量)
2029mm	Flash Hazard Boundary (电弧危害界限)
2	PPE Level (危险等级) Arc-rated shirt and arc-rated pants or arc-rated coverall (防电弧衬衣和防电弧裤子或者防电弧连体工作服)
10.0	kV Shock Hazard when cover is removed (保护盖拆除后触电危险电压-千伏)
1500mm	Limited Approach (有限接近界限)
700mm	Restricted Approach (受限接近界限)- Class 2 Voltage Gloves(2级耐压手套)

Equipment Name (设备名称): GP5柜
Protective Device (保护装置): 高压受总继电保护

1. 生产安全风险
2. 风险控制优先层级及PPE配备
3. GE公司PPE配备的基本流程
4. PPE风险矩阵
 - 4.1 PPE选用示例：阻燃服 GB 8965.1-2020阻燃防护服
 - 4.2 PPE选用示例：阻燃服 GB 39800-2020个体防护装备配备规范（石油、化工、天然气）
 - 4.3 PPE选用示例：阻燃服 GB 11651-2008 个体防护装备选用规范
5. PPE配发矩阵
 - 5.1 电弧闪络事故
 - 5.2 电弧闪络成因
 - 5.3 电弧闪络危害
 - 5.4 电弧闪络危害控制法规要求
 - 5.5 电弧防护服国家标准
 - 5.6 电弧防护服行业标准
 - 5.7 电弧防护服试验
 - 5.8 电弧闪络危害分析评估
 - 5.9 电弧防护服的选用与保管

THANK
YOU!