

对弧闪风险评估计算及预防方法的讨论

周天天

北京新亚盛创电气技术有限公司, 北京 100192

[摘要] 据欧美国国家每年对电气事故的统计, 电弧事故占 70%, 这其中造成永久伤害 20% 以上。成千上万的工作人员面临着电弧事故的潜在危害, 可能引起严重甚至致命的后果, 并且由于对此危害的疏忽而导致 2 度、3 度烧伤事故正在不断增加。近年来, 我国对电弧事故造成的人员伤害、经济损失、社会影响越来越重视, 加快弧闪风险评估工作的执行, 加大防护装备的投入, 正在逐步推进安全管控的落实。文章阐述了弧闪评估的意义和必要性, 对弧闪的成因及危害和分析计算方法进行了介绍, 并对预防方法进行讨论, 增强电气作业人员的安全意识, 进而提升电气操作的安全度。

[关键词] 弧闪危害; 风险评估; 防护装备; 电气安全

DOI: 10.33142/hst.v4i3.4079

中图分类号: X9;TU7

文献标识码: A

Discussion on Risk Assessment Calculation and Prevention Method of Arc Flashover

ZHOU Tiantian

Beijing Xinya Shengchuang Electrical Technology Co., Ltd., Beijing, 100192, China

Abstract: According to the annual statistics of electrical accidents in European and American countries, electric arc accidents account for 70%, of which more than 20% of permanent injuries are caused. Thousands of workers are faced with the potential hazards of arc accidents, which may cause serious or even fatal consequences, and the number of second and third degree burn accidents is increasing due to the negligence of this hazard. In recent years, more and more attention has been paid to the personal injury, economic loss and social impact caused by arc accidents in China. The implementation of arc flashover risk assessment has been accelerated, the investment in protective equipment has been increased, and the implementation of safety control has been gradually promoted. This paper expounds the significance and necessity of arc flashover assessment, introduces the causes and hazards of arc flashover and the analysis and calculation methods, and discusses the prevention methods, so as to enhance the safety awareness of electrical operators and improve the safety degree of electrical operation.

Keywords: arc flash hazard; risk assessment; protective equipment; electrical safety

引言

电力行业不仅是关系到国家经济安全的战略大问题, 而且与人们日常生活、社会稳定密切相关, 更是世界各国经济发展战略中的优先发展重点。确保安全生产、运行是电力行业的首要任务, 而保证人身安全更是电力行业的重中之重。在过去的十几年, 有关电弧的特性、危害越来越被关注, 对预防电弧危害的需求也越来越迫切。因此, 弧闪风险评估尤为必要, 对于企业的安全生产运行起着非常重要的作用, 能够避免不必要的安全事故, 提高企业的生产效率和经济效益, 是一项作用重大、意义深远的工作。

1 弧闪风险评估的必要性

1.1 弧闪的定义与成因

弧闪是一种击穿现象。当电流流过两个或多个分隔的导体表面时, 会产生游离的电子, 电离子穿过空气, 形成电弧, 迅速聚集并释放巨大热量和超强光的现象叫做弧闪。

在电力的发电、传输、配送及使用过程中可能因电路接触不良, 绝缘老化、接地不良, 设计错误或安装不妥, 开关质量问题, 线路、设备布局不规范或缺少必要的维护和保养, 人体或其他物体意外接触到带电体等因素, 造成闪络或短路, 发生瞬间火焰或电弧闪络, 导致工作人员身体受到严重伤害。

1.2 弧闪的现象及危害

电弧闪络这种超高温放电现象, 释放的巨大能量能使温度达到太阳表面温度的 4 倍, 严重威胁人员安全。电弧闪络发生的现象如图所示:

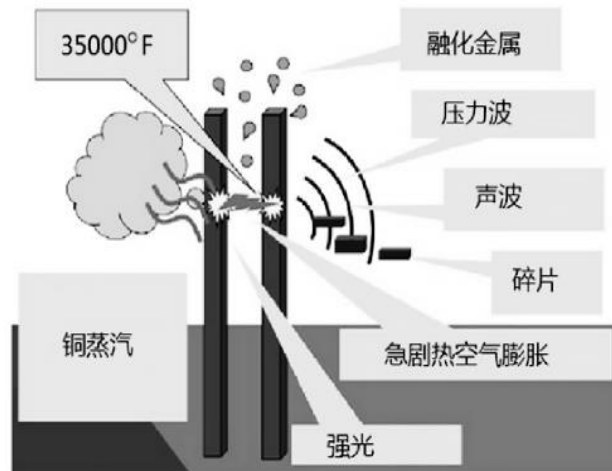


图1 弧闪的组成部分

短时间内聚集并释放巨大能量，包括电流、超高温、冲击波、超强光等。巨大能量的释放可能衍生有毒有害气体、爆炸、爆燃等。电弧闪络是瞬间发生的、不可预测、无法测量更不能控制的不稳定放电现象，它对电弧界面内的设备造成不可逆的损坏，导致电力设施停用，甚至影响整个系统的稳定状态，在各个方面产生不利影响。

从安全生产管理来看，电弧闪络对运行人员及操作工人的危害首当其冲是有可能误碰带电设备造成触电伤害甚至身亡。短时间内熔化工具，使外衣起火燃烧，高热能足以熔化成纤维材料制成的内衣造成灼伤。引发持续性火灾，使电弧界面附近的电力设备燃烧甚至爆炸。巨大能量向外爆发时，产生压力波伴有巨大声响，损坏人的听力。压力波也可能使某些松动的零件被抛射出来，形成机械类伤害。电弧燃烧产生的有毒有害气体（一氧化碳等），对呼吸道造成伤害。电弧产生的高强度光也会导致视力受损。

2 弧闪分析计算方法

2.1 弧闪分析的相关标准

目前，针对弧闪分析研究的通用标准是 IEEE 1584 与 NFPA 70E：

IEEE 1584-2018 (Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations) 美国电气和电子工程师协会的《弧闪危险计算执行指南》提出了电弧入射能量及弧闪保护边界的计算方法，进而指出电力设备或电弧界面附近工作人员可能遭受的弧闪危害的风险程度，明确未穿戴个人防护装备（PPE）的工作人员与可能出现电弧点必须保持的距离。

NFPA 70E-2018 (Standard for Electrical Safety in the Workplace) 美国消防协会的《工作场所的电气安全标准》详述了安全操作规程，含有电弧入射能量的计算公式，以此确定弧闪保护边界（该边界距离须由专业人员计算）。在该边界以内作业时，要求穿戴个人防护用品，NFPA 70E 以列表的形式规定不同电压环境下应穿戴的防护用品，并强调尽量不要带电作业。

2.2 弧闪评估计算的步骤

完整的弧闪评估计算过程，其主要内容包含但不限于：分析电气架构，确定电力系统运行方式，收集电源端和设备端的特性参数，搭建系统模型，确定金属性故障电流及电弧电流，明确保护装置特性和故障清除时间，根据实际情况选取工作距离，计算电弧入射能量，计算弧闪保护边界，明确相应等级的个人防护装备（PPE），出具弧闪警告标签。

(1) 计算入射能

入射能量：发生电弧闪络事故时，人员所在位置接收到的电弧释放的能量，通常以每平方厘米的热量来表示，单位 J/cm^2 ($1cal/cm^2=4.1841J/cm^2$)，基本公式如下：

$$E = 4.184C_f E_n \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610^x}{D^x}\right) \quad (1)$$

式中： C_f 是计算系数（1kV 以上取值 1.0，1kV 以下取值 1.5）； E_n 是典型事故入射能量， J/cm^2 ； t 是电弧持续时间，s； D 是潜在的电弧源到人之间的距离，mm； x 是距离指数。

将电弧持续 0.2 秒、距离电弧源 610mm 的情况视为典型事故，其入射能可按该式进行计算

$\lg E_n = K_1 + K_2 + 1.0811 \lg I_a + 0.0011G$, 式中: K_1 是计算系数 (开放结构取值 0.792, 封闭结构取值 0.555); K_2 是计算系数 (接地系统取值 0.113, 不接地或高阻抗接地系统取值 0); I_a 是电弧电流, kA; G 是导体间隙, mm。

(2) 计算弧闪保护边界

弧闪保护边界: 发生电弧闪络时, 未穿戴个人防护装备的人员可能遭受二级烧伤的距离。如果确有必要进入该边界以内工作, 则必须具备相应资质并穿着相应的 PPE。弧闪保护边界的基本公式如下:

$$D_B = [4.184 C_r E_n \left(\frac{t}{0.2}\right) \left(\frac{610^x}{E_B}\right)^{\frac{1}{x}}] \quad (2)$$

式中: C_r 是计算系数 (1kV 以上取值 1.0, 1kV 以下取值 1.5); E_n 是典型事故入射能量; t 是电弧持续时间, s; E_B 是保护边界处的入射能量, J/cm²; x 是距离指数。

(3) 出具弧闪警告标签

NFPA 70 标准要求在完成电弧闪络风险评估之后, 应制作弧闪警告标签并贴在电气设备的醒目位置, 便于工作人员清楚了解该设备潜在的弧闪危害风险程度。NFPA 70E 标准 130.5(D) 条款要求警告标签的信息包含但不限于: 设备标称电压、弧闪保护界限、电弧入射能量、工作距离或标准中 130.7 条中规定的个人防护装备 (PPE) 等级。下图是 400V 用电设备的弧闪警告标签:

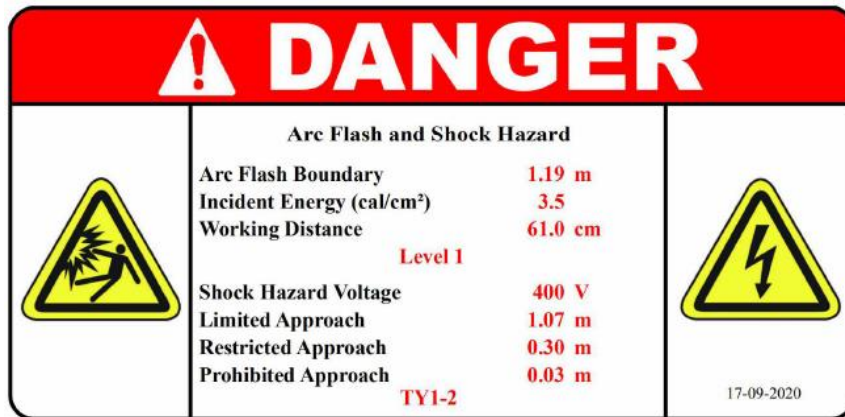


图2 弧闪警告标签

3 弧闪预防措施的讨论

IEEE 1584 标准要求确保设备断电以及安全的电气工作条件, 尽量避免带电工作。如果由于作业限制, 无法实施断电, 则需采取以下措施:

3.1 选择合适的个人防护装备

根据 IEEE 1584 标准计算出电弧入射能量和弧闪保护边界, 结合 NFPA 70E 标准要求穿戴相应的个人防护装备 (PPE), 并注意 PPE 的维护保养。有效阻隔弧闪释放的高热能, 降低伤害程度, 提供更多的逃离时间, 进而避免人体可能受到的电弧危害。进入电气现场必备的 PPE: 护目镜或防护面罩、纯棉工作服、防滑手套、安全鞋、上锁/挂牌工具, 美国职业安全与健康管理局 (OSHA) 规定: “雇主必须建立安全程序, 按程序将适当的上锁/挂牌装置安装于能量隔离装置, 并使机器或设备停止运转, 以防意外供给能量、起动或储存能量的释放, 从而防止伤害员工”。

3.2 规范化操作

严格规范的电气工程设计和设备采购, 制定严格的操作规程, 组织安全知识技能培训、提高安全意识, 配置合适的安全工具, 定期进行设备维护检修, 减少人员在具有潜在弧闪发生区域出现的可能性 (如远程操作), 制定应急安全预案等。

3.3 采用弧光保护装置

弧光保护装置, 通过检测电弧发出的亮光 (或者亮光和电流双重判断) 并快速跳闸及时消除电弧, 能有效限制弧闪造成的损害, 得以广泛应用。在电弧排放阶段开始时就启动断路器跳闸信号, 切断供给燃弧点的短路电流, 响应时间一般为 5~10 毫秒, 故障电弧释放的能量显著降低, 从而大幅度降低电弧闪络对电力设备及操作人员的伤害。

4 结语

工作人员安全操作和电力设备良好运行, 不仅涉及人身安全保障性问题, 也关乎企业的前途和命运, 是企业发展的永恒主题。在各个行业的电气领域, 针对电力系统的弧闪风险评估及预防, 一直备受关注。本文提出了弧闪风险评估的必要性, 并基于 IEEE 1584 和 NFPA 70E 标准要求提供了弧闪风险评估的计算方法, 列举了相应的预防措施。除了自觉穿戴个人防护装备, 更需警钟长鸣, 坚持“安全第一、预防为主”的基本方针, 不断提高工作人员的安全意识, 提高操作规范性, 遵守运行制度、管理体系的要求。定期维护检修电力设备, 及时更换老化或疑似有问题的设施。落实安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防, 切实提高电气工作安全水平。

[参考文献]

- [1]Edward A McConnell Jr. IEEE 1584-2018 changes offer a robust upgrade[J]. Plant Engineering,2019,73(2).
- [2]Anonymous. NFPA-70E®-2018 Standard for Electrical Safety for Employee Workplaces®[J]. ISHN,2019,53(1).
- [3]马桂,曾雁鸿,项雅丽.何才夫电气设备应用场所的安全要求 第 2 部分:在断电状态下操作的安全措施[J].设备管理与维修,2011(07):71-74.
- [4]张建成.工厂弧闪危险分析和个人防护——解读 IEEE Std 1584—2002《弧闪危害计算执行指南》[J].电气技术,2015(10):100-103.
- [5]李霁光.电弧闪络的危害及其防护措施[J].石油化工自动化,2013,49(3):65-67.
- [6]黎海添.运行人员配置防电弧产品的合理性分析[J].电力安全技术,2013,15(7):62-64.

作者简介:周天天,(1983.6-),女,本科,项目经理,工程师,三峡大学,主要从事电力系统分析方面的计算和研究。