

浅谈电弧故障探测装置与应用

波官勇^{1*} 虞胜财¹ 罗雷²

(1. 巨邦电气有限公司, 浙江 325600;
2. 绵阳和瑞电子有限公司, 四川 621000)

摘要: 故障电弧检测技术无疑是电气防火领域一项突破性新技术。随着社会的发展, 电气安全日益凸现, 在上世纪的 60-70 年代, 我们的电气安全只是使用简单的保险丝来控制, 随着科技的发展使得我们今天有条件使用 MCU 来检测和控制电气安全, 本文就有关故障电弧标准情况, 相应介绍一种类型的电弧故障探测装置及其应用。

关键词: 故障电弧; 故障电弧探测装置; 网络; AFDD; AFCI; RF; WIFI;

Arc fault detection devices and applications

Bo Guan-yong¹ Yu Sheng-cai¹ Luo Lei²

(1. Jubang Electric Co.,Ltd. Zhejiang Post Code:325600;
2. Mian Yang Herui Electronics Co.,Ltd. Sichuan Post Code:621000)

Abstract: Arc fault detection technology is a breakthrough new technology in the field of electrical fire. With the development of society, the electrical safety has become more foregrounding, in the 60-70 years of the last century, our electrical safety just using a simple fuse to control, with the development of science and technology, we have condition to use MCU to detect and control the electrical safety. In this paper expatiate arc fault standard case, the corresponding describes a type of arc fault detection device and its applications.

Keywords: Arc fault; Arcing fault detectors; Network; AFDD; AFCI; RF; WIFI

1 引言

对于电气火灾事故, 终究以“光与热”现象出现。“电弧”即以“光”的现象展现“从弧光至燃烧”, 如短路、接触不良、漏电、故障电弧导致的火灾。所以检测故障电弧属于对造成电气火灾事故的危险信号实质的一种判断。

本文基于现阶段两个均在审批阶段的标准: 消防电子产品标准 GB14287.4《电弧故障探测装置》与低压电器产品行业标准 JB/T XXXX《电弧故障检测装置 (AFDD) 的一般要求》两个标准比较, 结合 AFD&AFDD 产品未来发展之预见对其应用的探讨。并希望两个标准的发布实施对未来我国民众用电安全提供更强的保障。

2 关于电气系统中的故障电弧

电弧是一种气体游离放电现象, 也是一种等离子体。电弧中的电流从微观上看是电子及正离子在电场作用下移动的结果, 其中电子的移动构成电流的主要部分。

根据电弧产生的机理, 电弧可以分为 2 类: 好弧 (插拔电器时产生的弧等) 和坏弧 (故障电弧)。故障电弧主要是由于电线等电气绝缘老化、破损、空气潮湿等引起的气体击穿或者电气连接松动原因造成的。故障电弧根据电弧电流的强度, 可以分为高水平电弧和低水平电弧。故障电弧根据弧产生的位置又可分为 3 类: 串型电弧、对地电弧以及并型电弧 (见图 1)。

* 作者简介: 波官勇, 男, 工程师, 巨邦电气有限公司, 主要从事低压电器产品研发工作。Email: sage_bo@163.com

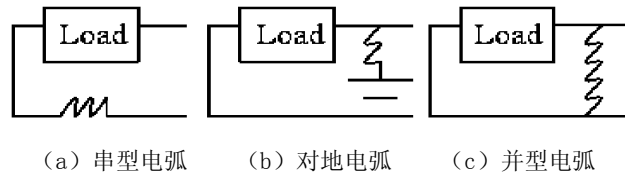


图 1 故障电弧分类

电弧的特点是温度很高，电流相对很小，持续时间短，一旦出现击穿点则会频繁出现。电弧放电时，会产生大量的热，能引燃周围的易燃易爆品，造成火灾甚至爆炸。比如，《中国火灾统计年鉴》显示，因电气原因引发的火灾在各类火灾中高居榜首，约有 30% 的火灾是由住宅电气线路老化或配置不合理造成的，并正以平均每年 1% 的速度持续上升，6.6% 的人在使用插座板时曾有被电击的经历；美国联邦航空管理局（FAA）指出电气故障是无数商业飞机事故的主要问题；军方也认为电气故障是造成安全问题和飞机不能准时起飞的重要原因。在引起这些事故的电气原因中，电弧故障是主要的原因之一，而传统的熔断器和电子断路器不能满足电弧故障检测这个要求。这是因为目前的断路器主要以检测过载电流情况为主设计，即以“热保护”（ I^2Rt ）为设计，而由图 2 可以发现，低水平电弧的电流很小，甚至小于额定电流，因此“以热保护”设计的断路器不会动作；而高水平电弧的电流虽然较大，但是故障电弧其燃弧持续时间往往不足以使传统断路器达到保护动作条件，而不能做出立即保护动作导致引发火灾事故。

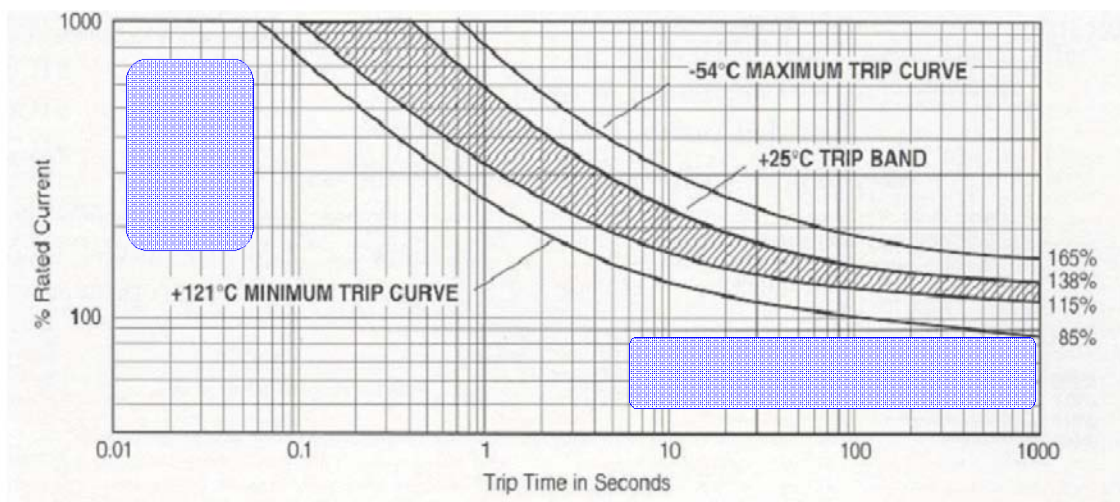


图 2 故障电弧电流特性图

3 关于标准

3.1 国外标准与国内标准情况

在美国，根据 CPSC (Consumer Product Safety Commission 美国消费品安全委员会) 1998 年的统计，每年由于配电线路老化引起电弧造成的火灾有超过 40000 起，造成直接经济损失 16.8 亿美元。

美国州消防署署长全国协会 (简称 NASFM) 在后来的电气火灾原因调查报告也是指向“故障电弧”占电气火灾的 83%。

所以，为了有效减少电气火灾，美国电气规范 (NEC2002) 210-12(A)(B) 要求在新建建筑和老建筑的卧室安装这种 AFCI 断路器和 AFCI 墙插座，所有的空调要安装 AFCI 插座。因为安装后作用明显，所以 NEC2008 增加 AFCI 的使用范围，(210-12(B)) 几乎分支电路都要求安装故障电弧断路器 AFCI。

美国国家消防协会（NFPA）在 2003 年对安装 AFCI 的经济情况做出了结论：AFCI 可以防范大约 75%—80% 的电气线路火灾，NFPA 估算全美住家装设 AFCI 包含 20 年的老房子（每住家平均用 175 美元成本），所花费的成本与未装设时预估会发生火灾的伤亡和财产损失相比较，总计整个社会（全美约二百万家庭）在 AFCI 寿命期（20—30 年）内可以节省几乎双倍投入成本的好处，也就是可以给国家节省双倍的资金，并带来巨大的社会效益。

UL1699 是美国用于规范 AFCI 产品标准，UL 1699 发展于上世纪 90 年代，用以识别由过电流产生的电弧而造成的家庭火灾。传统的断路器可以对过电流提供保护，然而研究发现在没有过电流发生的情况下由小电流引起的故障电弧也有足够的能量引发打火而引起火灾。现在 UL1699 可用于规范 AFCI 技术在普通断路器、墙式安装插座、以及插头线 AFCI（cord AFCI）的应用。

国际标准方面，2007 年 IEC 开始研究此技术，2009 年正式确定此产品为电弧故障检测装置（AFDD），开始起草相应的国际标准建议书，并预先发布了 AFDD 的国际标准号 IEC 62606。

在国内，早在七八十年代，我国电气行业中就有一些工程技术人员对故障电弧危害具有一定认识，但由于当时技术条件限制及对危害认识的不足未能开展相关研究工作。进入九十年代不少业内人士关注美国相关故障电弧技术及产品的发展，直至 2000 年初国内才有少数技术人员开展实质性研究工作。2010 年全国低压电器标准化委员会（SAC/TC189）其项目组开始对 AFDD 进行研究和相关试验，同时持续进行国际标准的跟踪和研究。2013 年低压电器标准化委员会将《电弧故障保护电器（AFDD）一般要求》纳入年内国家标准制修订计划项目。如今“故障电弧探测装置”已成为消防产业及低压电器行业关注的焦点技术之一。经过国家相关部门多年努力，现阶段两个均在审批阶段的标准：消防电子产品标准 GB14287.4《电弧故障探测装置》与压电器产品行业标准 JB/T XXXX《电弧故障检测装置（AFDD）的一般要求》预计年内都有望发布实施。

3.2 国内消防标准与行标的一般区别与融合特征

3.2.1 一般区别

GB14287 相关标准由公安部提出，由全国消防标准化技术委员会火灾探测和报警分技术委员会（SAC/TC113/SC6）归口；JB/T XXXX-XXXX《电弧故障检测装置（AFDD）的一般要求》由中国电器工业协会提出，由全国低压电器标准化技术委员会（SAC/TC189）归口。

标准简称的区别：所属于消防标准 GB14287.4《电弧故障探测装置》简称为“AFD（Arcing Fault Detectors）”；低压电器产品标准中《电弧故障检测装置》简称为 AFDD（Arc Fault Detection Device）。

标准应用范围的区别：GB14287.4 归属于消防产品标准，即“电气火灾监控系统 第四部分：故障电弧探测装置”，该标准适用于民用建筑中 10kV 及其以下电气线路中安装使用的故障电弧探测装置（AFD）；行标“AFDD”适用于家用和类似用途的交流电路的电弧故障检测装置。

标准对产品功能要求的区别：GB14287.4 中“AFD”以实现探测故障电弧报警为主要目的；行业标准“AFDD”以检测电弧故障并可立即断开保护电路为主要目的。其主要细节区别如下：对于 GB14287.4“AFD”中从对故障电弧报警功能的要求来看其作为电气火灾监控探测器的一种类型显而易见，例如标准中对报警功能明确提出：

- 被探测线路内若在 1s 内发生 11 个及其以上半周期的故障电弧，探测器应在 30s 内发出声、光报警信号和控制信号，声光报警信号应能保持，直至手动清除。
- 探测器应设有一组控制输出，在检测到电弧故障时，控制输出应在 1 s 内动作。
- 探测器在误报警试验过程中，不应发出报警和控制信号。
- 探测器在负载抑制性试验过程中，探测器应在 30s 内发出报警和控制信号。

在《电弧故障检测装置（AFDD）的一般要求》中从结构类型分类可见“AFDD”以检测电弧故障并可立即断开保护电路为主要目的应用。例如在其范围提出：

AFDD 由制造商指定：

- 作为在规定的条件下能断开被保护电路的带有断开机构的单一装置；
- 或作为一种与保护电器组合在一起的单一装置；
- 或作为独立单元，与已声明的保护电器 (CB 或 RCCB或 RCBO) 现场组装的AFDD。

整体式的保护装置应是符合 GB 10963.1 的 CB 或符合 GB 16916.1、GB 16917.1、GB 22794 的 RCD。

可以预见“AFD”在未来应用中更多依据建筑设计规范中对消防安全要求的考虑，需采用“AFD”。与此同时随着“AFDD”技术的成熟化，未来该产品势必与漏电断路器一样在我国被普及应用。简而言之，消防标准中“AFD”要求比行业标应用要求更明确。

3.2.2 融合特征

无论是消防的“AFD”还是行业标准“AFDD”均是针对故障电弧的保护装置。两个标准均相应参考 UL1699《电弧故障断路器 (AFCI)》中有关试验方法。消防的“AFD”产品与“AFDD”本身具有融合的特征，只是在针对采用符合的标准相应要求上有所区别。在《电弧故障检测装置 (AFDD) 的一般要求》章节“4 分类：4.4 选择性 AFDD”指出“选择性 AFDD 是一种在某些条件下不会脱扣，而允许其下端 AFDD 脱扣的 AFDD。”同时在其章节“4 分类：4.1 根据结构类型分：4.1.3 由符合附录 D 的 AFD 单元与符合一个或多个标准 GB 10963.1、GB 16916.1、GB 16917.1、GB 22794 的相关保护电器现场组装的 AFDD。”其中所述的 AFD 单元这里指的是电弧故障检测单元 (arc fault detection unit) 是 AFDD 的一部分，确保检测和辨别危险的接地电弧故障、并弧故障和串弧故障的功能；并驱动开关电器动作以断开电路。相比较 GB14287.4 中要求探测器 (AFD) 应在规定时间内发出声、光报警信号和控制信号，声光报警信号应能保持，直至手动清除。可见 GB14287.4 “AFD”以监控报警为主要目的，对是否驱动开关电器动作以断开电路未作明确要求，而行标“AFDD”以检测断电为主要目的，对是否提供报警功能未作要求。

3. 产品应用

随着人们对故障电弧认识的加深，使得相当一部分人意识到对故障电弧的防范已刻不容缓，建议加快推广使用故障电弧保护装置，例如在古建筑群、古村落、商业老街、风景区、博物馆等重要建筑物作为防火安全优先考虑产品。未来随着故障电弧检测技术的进一步发展与应用不断扩大，随之该类产品消费的价格水平能够惠及我国千家万户满足普通家庭安全用电需求。

巨邦电气有限公司作为消防电气及低压电器产品研发与制造企业，参与了行业标准会议及探讨，并在行业内率先推出电弧故障检测装置，包括电弧故障探测器、电弧故障断路器及监控系统方案，产品如下：

(1) 电弧故障探测器 (AFD)

GTF 系列电弧故障检测装置 (见图 3)，产品符合 GB14287.2 及 GB14287.4 标准。

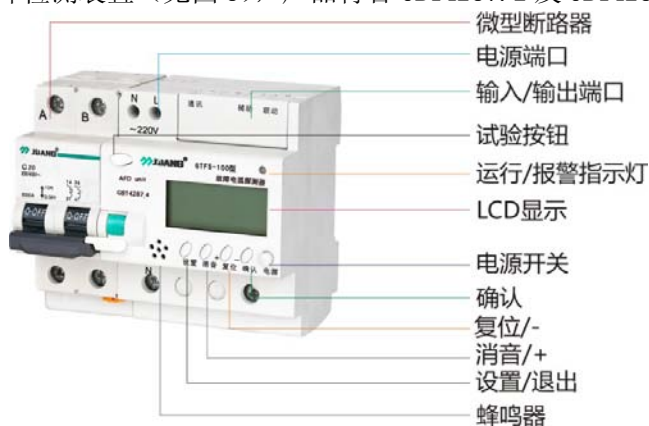


图 3 GTF 系列 AFD 产品图

该产品由 AFD 单元结合小型断路器设计，能对低压配电分支线路中可能由电弧、漏电及过流三大导致电气事故隐患进行报警防范与保护。产品具有 LCD 实时数据显示、漏电报警值可设

置、可选择限流功能、无线组网及电能计量管理功能。产品可作为支路总保护使用。

(2) 电弧故障断路器 (AFCI)

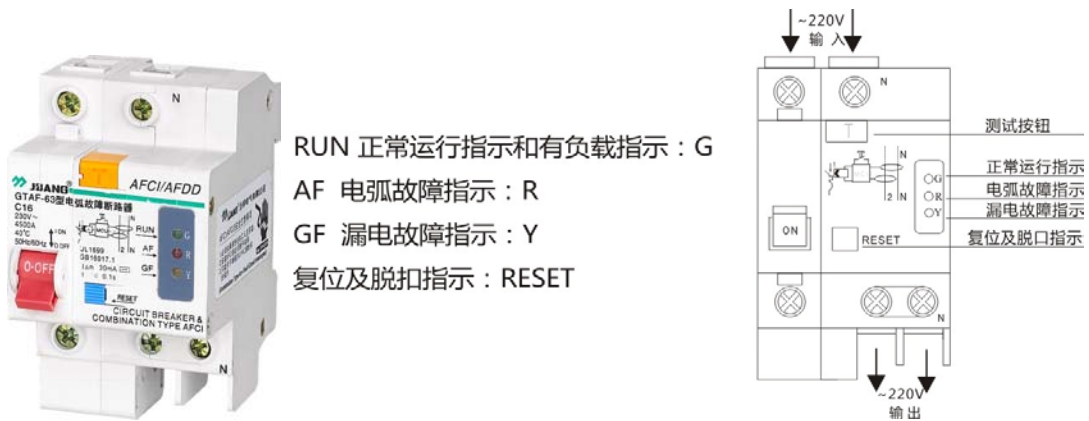


图 4 GTAF01 系列单级 AFCI 产品图

GTAFO1 型 AFCI 产品（见图 4），最大应用额定电流 32A 及以下，能及时切断负载供电线路中产生短路、过载、电弧及漏电故障电源。产品具有 LED 状态指示、故障记忆、负载(>2A 时)LED 指示功能、漏电警示功能、能够实现无线组网及电能管理功能。产品符合 GB16917.1 及 AFDD 行业标准。

(3) 监控系统

- 1) 采用 RF 无线网络的 AFD 火灾隐患监控系统；
- 2) WIFI +LCD 室内电气监测系统；
- 3) 智能化网络系统平台。

采用在原有具备短路、过载、漏电等保护功能基础上增加具有故障电弧防护功能的保护电器或装置无疑使得在终端电气火灾事故防御上增设了又一道屏蔽防护网。

4 结束语

在民用、工业、交通等领域内都一定程度的存在着电弧威胁。由于电弧的能量大，对设备、人员的危害很大，但是目前的熔断器、断路器等保护装置只能对过流、短路等情况进行检测和保护，不能起到对电弧检测和保护的作。因此，电弧检测和保护的需很迫切，意义非常大，既有社会效益，也有经济效益，而且其应用的领域非常广泛。

目前，国内有几所高校在开展对故障电弧的研究，同时只有少数几家企业在电弧保护方面取得了一些成果，随着人们对电弧故障危害的认识及行业应用推广的加深，在家庭用电以及航空航天领域的电弧保护还有待进一步发展。

参考文献

- [1] 电气火灾监控系统 第 4 部分: 故障电弧探测装置[S] .
- [2] 电弧故障检测装置 (AFDD) 的一般要求[S] .
- [3] 赵长征. 电气火灾防治与调查技术[C] . 2012.
- [4] 尹天文. 智能电网为低压电器发展带来新机遇[J]. 低压电器, 2010, (2) .
- [5] Douglas.Hansen. (U. S. A) AFCIs Come Of Age.
- [6] 曾元超. (台湾) 防范住家电气火灾新技术