

分支回路电气火灾的预防性检测

任长宁 (美国理想工业中国有限公司北京代表处, 北京市 100738)

Preventive Detection of Electrical Fire in Branch Circuit

Ren Changning (IDEAL INDUSTRIES, Inc. Beijing Office, Beijing 100738, China)

Abstract Through the analysis of the major causes of electrical fires in branch circuit, i. e., circuit overload, poor connections and harmonics, combined with electrical fireproofing codes at home and abroad, and the specific circumstances of the processes, apparatus and inspection instruments used in practical engineering, the recommendations have been put forward in construction, acceptance, repair and maintenance of the branch circuit, emphasizing the use of appropriate preventive detection equipments to improve power utilization security.

Key words Electrical fireproofing Metallic short-circuit Arc short-circuit Grounding fault Poor connection Wire connector Detecting appliance

摘要 通过对分支回路的线路过负荷、连接不良和谐波等电气火灾主要成因的分析, 结合国内外电气防火规范, 以及实际工程中使用的工艺、装置及检验仪表的具体情况, 对分支回路的施工、验收、维修、维护提出建议, 强调借助适当的预防性检测器具, 提高用电安全性。

关键词 电气防火 金属性短路 电弧性短路 接地故障 连接不良 导线连接器 检测器具

公安部消防局发布的全国电气火灾统计数据 (见表 1, 数据来源于公安部消防局主办的中国消防在线网站: <http://119.china.com.cn>) 显示, 近年来我国建筑电气火灾持续多发, 是建筑火灾的最主要原因。

相比之下, 根据美国消防协会 (NFPA) 和美国消费类产品安全委员会 (CPSC) 的统计, 在美国约 9% 的火灾和 7% 的死亡是因用电造成的; 日本电气

表 1 电气火灾统计数据

Tab. 1 Statistical data of the electrical fire

统计年份	全国火灾总数 / 万起	电气火灾比例	备注
2010 年 1~9 月	8.7	29.8%	居首位
2009 年	12.7	30.5%	居首位
2008 年	13.3	30.1%	居首位
2007 年	15.9	28.8%	居首位
2006 年	22.2	26.1%	居首位
2005 年	14.3	21.9%	居第二位

火灾只占火灾总数的 2%~3%。

造成这种状况的原因, 有技术层面的问题, 也有管理和体制的问题。相比我国, 发达国家更重视用设计、安装和管理手段来消除电气系统的火灾隐患。如美国 NEC 规范^[3] 中涉及电气防火的条款, 都是由美国消防协会 (NFPA) 制订的; 对电气火灾隐患的检查, 设有独立于施工和用户的第三方检测机构, 其检测报告是业主使用和保险公司承保火险的重要依据。

本文通过对建筑电气火灾成因的分析, 结合国内外工程中使用的工艺、装置及检测仪表的具体情况, 为分支回路的施工、验收、维修、维护提出一些建议, 在预防电气火灾方面为用户提供快速查明故障、消除安全隐患的手段。

1 燃烧的条件

在燃烧三角形——火源、可燃物、氧气中, 缺少任意一个条件, 燃烧便不能进行。线路过负荷、连接不良和谐波产生的高热就是火源。通过热成像或红外线测温技术, 能快速准确地发现电气线路中的高热

作者信息

任长宁, 男, 美国理想工业中国有限公司北京代表处, 高级工程师, IEC TC64 工作组成员, 国际铜业协会 (中国) 会员、综合布线工作组成员。

点(见图1)。DB 11/065-2000《北京市电气防火检测技术规范》第3.3条规定:“电气防火检测应在电气设备和线路经过1h以上时间的有载运行,进入正常热稳定工作状态其温度变化率小于1℃/h后进行。”

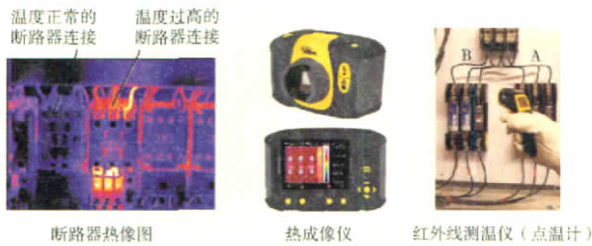


图1 使用热成像仪和红外线测温仪检测电气线路高热点
Fig. 1 Using the thermal imager and infrared thermometer to detect high hot spots of electrical circuit

但温升只是表象,消除电气火灾隐患必须深入分析其成因,并采取相应措施,才能消除隐患。线路过负荷、连接不良和谐波是电气火灾的主要成因,下面将逐一进行分析。

2 线路过负荷与防范

短路是最严重的过负荷,50%以上的电气火灾都是由短路引起的。短路分为金属性短路和电弧性短路。安装过负荷和剩余电流动作保护电器,是防止短路危害蔓延的有效方法。

2.1 电气绝缘强度的检测

GB 50303-2002《建筑电气工程施工质量验收规范》中规定,设备进场、安装、工序交接时,都要对电器、装置、线间、线对地的绝缘电阻进行测试,灯具的绝缘电阻值不小于2MΩ(第3.2.10条);开关、插座绝缘电阻值不小于5MΩ(第3.2.11条);低压

电线和电缆、线间和线对地间的绝缘电阻值必须大于0.5MΩ(第18.1.2条)。GB 50150-2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》中还明确了测试仪的电压等级,100~500V的电气设备或回路,采用500V 100MΩ及以上兆欧表测试(第1.0.10条)。图2是两款数字式绝缘强度测试仪,比传统手摇式仪表操作更简单,测试更精确。

2.2 短路的防范

单纯的绝缘强度测试只能解决线路或设备“一时一处”是否安全的问题,无法“时时监测”,因此需要在线路上安装保护装置。

2.2.1 金属性短路的防范

正确使用质量可靠的过负荷保护装置,如:熔断器、断路器等,能有效防止线路过负荷引起的火灾。

2.2.2 接地故障的防范

PE线断线或接触不良通常不能被及时发现(因为设备仍能照常运行),在此隐患下,若发生相线碰外壳接地故障时,不仅有电击危险,还可能出打火或电弧,进而导致火灾。由于接地故障电流量级在几mA到几百mA,不能依赖过负荷保护装置进行防范,而必须采用剩余电流动作保护电器RCD(国外称:接地故障断路器GFCI)进行保护。发达国家的用户进线如未设置RCD,当地供电公司将不予接电;IEC 1200-53 1994-10中593.3条要求采用两级或三级RCD装置,防止因漏电引起的电气火灾与人身触电事故^[15];我国国家标准GB 50045-95《高层民用建筑设计防火规范(2005年版)》9.5节中原则性地规定了对“漏电火灾报警系统”的要求,但不是强制性条款。

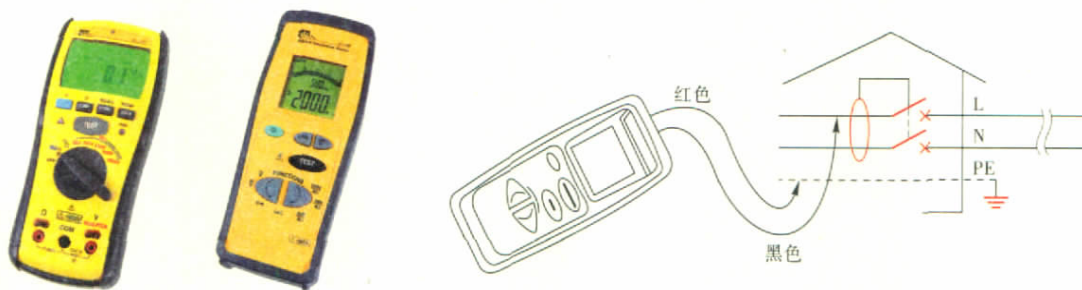


图2 两款数字式绝缘强度测试仪及实际应用示意图
Fig. 2 Schematic diagram of two types of digital insulation strength tester and practical application

2.2.3 带电导体间电弧的防范

RCD 不能对带电导体（相线、中性线）间电弧性短路起保护作用。美国上世纪 90 年代开始使用电弧故障断路器（AFCI, Arc Fault Circuit Interrupter），见图 3。AFCI 的安装与 RCD 相同，但触发条件不同，它通过监测电弧特有波形、持续时间、频率，实现对下游线路的长期监测与保护。

美国 1999 版 NEC 规范第 210.12B 条中最早提及此类装置^[1]；2002 版 NEC 中规定，卧室中所有单相（120 V）15 A 及 20 A 回路都要安装 AFCI；2008 版中进一步要求，在住宅所有（120 V）15 A 及 20 A 回路都要安装此类装置^[3]。遗憾的是，我国的工程规范中还没有类似规定。

2.3 对保护装置的检测

无论 RCD（GFCI）还是 AFCI，都有疲劳、老化、失灵的可能。据统计，15% 的 RCD 不能被正常触发。因此，UL（Underwriters Laboratories）认证机构要求每月对 RCD 进行一次检查；GB 50254-96《电气装置安装工程低压电器施工及验收规范》5.0.2.4 条规定：“电流型漏电保护器安装后，除应检查接线无误外，还应通过实验按钮检查其动作性能，并应满足要求”；GB 13955-2005《剩余电流动作保护装置安装和运行》7.3 条规定：“用于手持式电动工具和移动式电气设备和不连续使用的剩余电流保护装置，应在每次使用前进行试验。”但仅凭保护装置上的测试按钮对其进行功能验证，存在以下两点不足：

- a. 装置没有显示功能，不能提供触发电流和响应时间，是否满足要求，不得而知；
- b. 装置本身能触发，不代表远离配电箱的远端

插座或用电器处发生故障时也能可靠触发。例如：保护装置与用电器间的线路有高阻点，接地故障信号无法被保护装置检测到，此时即使装置本身正常也不能起到保护作用。

解决方法是在用电器（或插座）处“现场测试”。图 4 所示仪表，能在安装有 RCD/AFCI 配电盘的下游线路（插座）上模拟接地故障或电弧性短路故障，验证保护装置能否可靠触发，并显示断电响应时间。



图 4 交流分支回路分析仪
Fig. 4 AC branch circuit analyzer

3 电气连接不良与防范

电气连接分为“固定连接”和“活动连接”。前者指设备端子与线路之间、线路与线路之间的永久连接；后者指两开关触头之间、插头与插座间的连接。连接处的接触电阻所产生的高温、电火花可能成为电气火灾的火源，有过负荷时，情况更甚。

3.1 细导线的电气连接

JGJ 16-2008《民用建筑电气设计规范》表 7.4.2 规定：固定敷设的电缆和绝缘电线，电力和照明线路，铜导线最小截面积为 1.5 mm²；铝导线最小截面积为 2.5 mm²。GB 50096-1999《住宅设计规范》（2003 年版）6.5.2 条规定：“分支回路截面不应小于 2.5 mm²。”可见，接续细导线是民用建筑电气工程

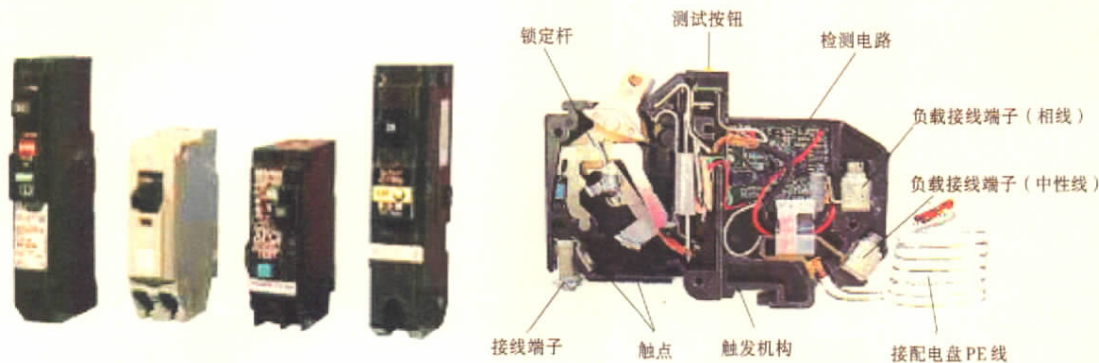


图 3 几款电弧故障断路器（AFCI）及其内部结构
Fig. 3 Several types of arc fault circuit interrupter（AFCI）and its internal structure

中最常见的施工环节。

但是 GB 50168 - 2006 《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》主要侧重高压 (6 kV 以上) 电缆的施工与验收; 《建筑电气工程施工质量验收规范》中仅是针对导线与端子或设备的连接规范, 而针对导线与导线, 尤其细导线 (2.5 mm² 及以下) 的接续, 没有明确规定。规范的缺失, 使导线接续成为最容易出现问题的环节。

我们不妨借鉴国外规范中的导线接续方法, 以美国 NEC 规范为例, 其 110.14 条 B 款 (绞接) 是这样规定的: 导线的绞接或连接应使用特定连接装置, 或采用可熔的金属或合金进行铜焊、电焊或锡焊。用锡焊绞接时, 应首先在无焊情况下进行可靠的机械或电气绞接或连接, 然后再进行锡焊。应把所有的绞接接头与连接接头, 以及导体端头, 用和导线相同的绝缘, 或专用的绝缘器件将其包覆。安装在直接包覆导线上的接线器或绞接接线器都应列入此类用途。

该规范实际提出了两种导线连接方式: 特定连接装置或绞接后焊接。

3.1.1 绞接 + 焊接

这种连接方式的优点是: 连接可靠, 机械与电气强度都有保证。缺点是:

- a. 导线绞接后必须焊接, 但在实际施工中容易被忽视或因施工条件限制无法实施, 简单绞接无法保证连接质量;
- b. 不适用于不易焊接的铝线对接;
- c. 需要焊接工具, 操作不便。

3.1.2 特定连接装置

我国用户可能对 NEC 中提到的“导线连接器”较陌生, 但在欧美国家, 导线连接器已被使用近 90 年了。由于早期制造材料是陶瓷, 所以当时又称其为“陶瓷连接器” (见图 5)^[2], 后来业内都把此类部件叫做“接线帽”, 其名称源自美国 IDEAL 公司 1939 年注册的“WIRE-NUT®”“导线连接器” (见图 6) 商标。

UL 认证机构根据 NEC 规定, 专门制定了 UL 486C Splicing Wire Connectors (接线用导线连接器) 条款^[4], 明确了此类连接器适用的线径范围、导线种类、导线材质、耐压等级。使用导线连接器除实现导线可靠的电气连接外, 还有以下优点:

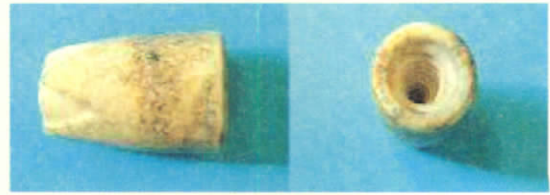


图 5 早期的陶瓷连接器
Fig. 5 Early ceramic connector



图 6 导线连接器的使用与结构示意图
Fig. 6 Schematic diagram for the use and structure of wire connector

- a. 无需焊接;
- b. 安装过程中导线自然完成绞接, 连接、绝缘一次完成;
- c. 徒手操作, 无需安装工具;
- d. 需要时连接器可方便地拆下, 检查接点情况, 连接器本身也可反复使用;
- e. 特殊设计的连接器能防水、防潮、防腐蚀。

由于导线连接器在安全性、适应性、可靠性等方面的优点, 所以发达国家的电工在细导线接续工作中已很少单独使用绝缘胶带了。

3.2 活动电气连接

开关、插座是最常见的活动连接, 由内部金属簧片形成的活动电气连接部件, 通过材料和制造工艺保证触点接触面积与压力。活动连接处接触电阻过大就会造成高温和打火 (见图 7), 两侧接线的绝缘层还会因高温老化, 引起短路。

3.3 电气连接质量的检查

电气连接大多是隐蔽工程, 简单目检很难发现问题。GB 50052 - 2009 《供配电系统设计规范》5.0.4 条规定: 正常运行情况下, 用电设备端子处电压偏差允许值在 +5% ~ -10% 之间。“带载压降”超标说明: 要么线路负荷超标, 要么线路中存在故障点。

图 8 所示仪表就是一款能仿真 5 A、8 A、10 A 负载, 实现快速测量线路压降的工具 (避免使用大功率假负载), 使测量工作变得简单、快速、安全、有效。



图 7 因接触电阻和过负荷造成的线路烧毁故障实例
Fig. 7 Fault example of the circuit burning due to contact resistance and overload



图 8 交流电路分析仪
Fig. 8 AC circuit analyzer

除测量压降，预估线路带载能力外，此仪表还能实现：

- a. 带电测试相线、N 线、PE 线阻抗，精确定位高阻点位置；
- b. 依据《建筑电气工程施工质量验收规范》中的强制性条款 22.1.2 条，快速鉴别插座

接线方式（“左零、右火、中间地”）是否正确；

c. 测量电压峰值和有效值，评估“波形系数”，衡量谐波情况；

d. 现场测试 RCD 性能——触发与响应时间，操作简单。

4 谐波检测

非线性负载产生谐波，使功率因数下降和线路过负荷，成为电气火灾隐患。谐波含量越高，功率因数越低，线损越大。

GB 50054-95《低压配电设计规范》第 2.2.6 条规定：在三相四线配电系统中，中性线的允许载流量不应小于线路中最大不平衡负荷电流，且应计入谐波电流的影响。这是因为，如果供电系统含有 3 及 3 的倍数次谐波电流，它们将在中性线上叠加^[1]，可能造成中性线过负荷。

GB/T 14549-93《电能质量 公用电网谐波》规定，低压系统的电压总谐波畸变率 THD_u 不应超过 5%。但是，由于谐波影响易被忽视，维护人员在遇

到谐波造成的过负荷时，往往误认为保护装置容量小，而更换更大容量的保护装置，给电气火灾埋下了隐患。图 9 所示仪表能检测到 2~50 次谐波，并能记录各种电参数进行深入分析。



图 9 电能分析仪
Fig. 9 Electric energy analyzer

5 结论

“先其未然谓之防，发而止之谓之救，行而责之谓之诫。防为上，救次之，诫为下”。及时、快速、成功地发现和扑救电气火灾固然重要，但无论损失大小都是亡羊补牢。严格按照国家现行规范，借鉴发达国家的先进经验，正确选择和使用预防性的电气防火检测器具，不断完善施工、验收、维护和维修手段，实现防火患于未燃！

参考文献

[1] 王厚余，编著. 低压电气装置的设计安装和检验 [M]. 第 2 版. 北京：中国电力出版社，2007：79-94.
[2] David A. Dini P. E. Some History of Residential Wiring Practices in the U. S. [M]. Underwriters Laboratories

Inc. , 1998: 13 - 16.

[3] National Fire Protection Association. NEC 2008 National Electrical Code [S], 2008.

[4] Underwriters Laboratories Inc. , UL 486C UL Standard for Safety for Splicing Wire Connectors [S]. Fourth Edition, 2000.

[5] 中国建筑东北设计研究院, 主编. JGJ 16 - 2008 民用建筑电气设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.

[6] 浙江省开元安装集团有限公司. GB 50303 - 2002 建筑电气工程施工质量验收规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2002.

[7] 国网北京电力建设研究院, 主编. GB 50150 - 2006 电气装置安装工程电气设备交接试验标准 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.

[8] 北京供电局, 上海电器科学研究所, 起草. GB 13955 - 2005 剩余电流动作保护装置安装和运行 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

[9] 电力部电力建设研究所. GB 50254 - 96 电气装置安装工程低压电器施工及验收规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1996.

[10] 中国电力企业联合会国网北京电力建设研究院, 主编. GB 50168 - 2006 电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.

[11] 中机中电设计研究院. GB 50054 - 95 低压配电设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2005.

[12] 中国联合工程公司. GB 50052 - 2009 供配电系统设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.

[13] 能源部电力司, 负责起草. GB/T 14549 - 93 电能质量 公用电网谐波 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.

[14] 北京消防协会, 组织起草. DB 11 / 065 - 2010 电气防火检测技术规范 [S], 2010.

[15] 公安部四川消防科学研究所. GB 50045 - 95 高层民用建筑设计防火规范 (2005年版) [S]. 北京: 中国计划出版社, 2005.

[16] 中国建筑技术研究院. GB 50096 - 1999. 住宅设计规范 (2003年版) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.

2010-06-01 来稿

2010-12-27 修回

科技节能环保 雷士电工让更多人共享激情亚运

广州亚运主媒体中心位于广州亚运城内, 总建筑面积7万多m², 是广州亚运会新闻采访和发布中心。亚运会赛事期间, 作为最重要的媒体服务阵地, 整个亚洲乃至全世界的体育记者聚集于此。

广州亚运主媒体中心开关插座工程项目的成功实施, 是雷士电工和“雷士广东运营中心”团队辛勤劳动的成果, 也是对雷士电工产品品质、品牌实力与影响力、市场信誉的认可。



亚运主媒体中心外景

广州亚运主媒体中心开关插座工程项目中, 雷士电工充分运用了低碳设计及节能技术, 提供了一站式的照明控制解决方案。根据主媒体中心的特点, 利用电子技术将照明系统中的各种设备连接到一起, 使多个灯具和设备形成联动, 加上合理的回路分割, 使各功能区域的灯光回路可独立控制, 具有性能稳定、安装简单、操作便利、节能环保等特性。采用无级调光技术, 根据照度适时调光, 实现节约用电, 为亚运工程的节能、环保提供了保证。

作为有社会责任感的企业, 雷士电工一直非常重视节能环保, 并积极投身其中。雷士电工将发展科技节能环保产品作为企业战略的核心, 研发并掌控科技节能控制电器的核心技术, 实现光源、电器及灯具的最佳匹配。雷士电工积极推广经济舒适、安全可靠、生态环保的电工产品, 为全球的节能减排和环境保护尽微薄之力, 为消费者打造环保、低碳、自然的健康生活。

图文均由惠州雷士光电科技有限公司 提供