

美国电气火灾防控经验之借鉴

任长宁¹, 谢 炜²

(1. 美国理想工业中国有限公司北京代表处, 北京 100028; 2. 苏州广厦建筑设计院, 江苏 苏州 215006)

摘 要:美国发电与用电量均居世界首位, 但电气火灾占各类火灾的比例不到 8%。回顾美国从电气火灾高发到被有效抑制的历史, 说明防控电气火灾是需要多部门协同合作、全民参与的一项系统工程, 为解决我国的电气火灾防控工作中面临的类似问题提供借鉴。

关键词:电气防火; 电气标准; NEC; AFCI

中图分类号:X946, TU998.1 **文献标志码:**B

文章编号:1009-0029(2012)12-1345-04

美国 2007 年用电量 4.4 万亿 kWh, 比中国(约 3.26 万亿 kWh)与俄罗斯(1.016 万亿 kWh)的总和还多, 但其电气火灾却相对较少。据美国消防局国家火灾数据中心 1989—2007 年的统计, 美国电气火灾占火灾成因比例均不超过 8%, 如表 1 所示。

表 1 美国电气火灾发生率统计

统计时段	1989—1998	1992—2001	1995—2004	2003—2007
电气火灾所占比例	8%	6%	4%	7%

1 美国火灾防控历史与现状

1.1 美国电气火灾也曾相当严重

20 世纪 50—70 年代, 是美国经济高速发展期, 也是火灾高发期。美国火灾防控委员会(CFPC)在其 1973 年提交总统的报告《燃烧中的美国》中称: 每年因火灾造成的经济损失达 110 亿美元, 死亡 1.2 万人, 受伤 30 万人, 百万人死亡率几乎是加拿大的 2 倍(57.1:29.7)。

报告显示, 在 1971 年查明原因的火灾中, 电气火灾与加热烹饪起火并列第 1 位(各占 16%), 而电气火灾造成的经济损失达 12%, 居第 1 位; 当时美国建筑物火灾占所有火灾的 95%; 造成的财产损失占总损失的 85%, 造成死亡人数占 2/3。毋庸置疑, 电气火灾, 尤其是建筑物内的电气火灾的防控, 是当时美国政府的工作重点。

1.2 美国火灾防控目标与途径

经过对美国近 20 年的火灾统计与分析, CFPC 于 1973 年提出的火灾防控目标是: 以每年 5% 的幅度减少火灾损失, 14 年后将损失降为 55 亿美元; 在下一代美国人中减少火灾死伤 50%。CFPC 有针对性地向国会提出了 90 项建议, 主要包括 4 个方面:

(1) 全民防火教育。火灾 50% 源于人的行为和疏忽, 50% 源于设备故障与环境。教育国民如何及时发现和正确应对火灾事故, 能避免很多伤害与损失。数据显示: 如果每年投入 960 万美元用于防火教育, 就能避免约

4 000 万美元的财产损失。在火灾防控措施中, CFPC 将公众教育列为最高优先级问题, 提出: 相关部门不应只关注救火和救人, 而应对公众进行更多的防火教育; 提高消防人员技能不仅可减少消防人员的伤亡, 还能使其成为对他人进行防火教育的带头人。

(2) 完善防火标准。美国消防协会(NFPA)为以下火灾防控提供了技术标准: 建筑物的防火设计与措施; 材料安全认证, 实现有效阻燃并避免材料受热后释放有毒有害气体; 安装火灾预警和自动喷淋系统, 提升建筑物防火能力; 研发对抗火灾最新技术。

(3) 成立美国消防局。CFPC 的报告促成国会于 1974 年通过法案, 成立美国消防局(USFA)、建立火灾数据系统, 对所有火灾问题提供持续监管, 负责完成以下任务: 建立全国火灾数据系统, 负责相关调查与活动; 监督火灾调查, 协助交换信息, 激励研发新技术; 为国家审批各级政府的防火培训计划, 改善消防装备, 提高消防人员培训水平; 建立国家消防学会(NFA), 为消防部门提供高级培训, 协助完成各级培训; 负责全体国民的消防教育。

(4) 多部门协同共管抑制火情。CFPC 指出, 完成火灾防控目标必须有相关部门的配合与支持, 如: 消费类产品质量安全委员会在产品使用前, 对其防火有效性进行认真分析和评估, 建立档案, 并在产品标签上明确火灾风险等级; 住房与城市发展部负责协助完成政府资助和负有保险责任建筑的检验与警示, 并提供贷款利息保护; 健康、教育与福利部负责扩充烧伤医疗设施; 国家健康研究院负责燃烧与烟气研究; 农业部负责乡村防火; 国家标准化局研究工程技术的课题。

同时提出应让火灾服务组织、保险业、消防器材制造商等非政府部门也参与到政府消防管理部门中, 制定相关政策和标准。

1.3 美国火灾防控成效

《燃烧中的美国》发表 14 年后, 1987 年 USFA 发表了《重访燃烧中的美国》, 其中: 当初(1973 年)CFPC 提交的 90 项建议中, 有 79 项在不同程度上得以实现, 其结果是: 1975—1985 年 10 年间, 美国火灾数量下降了 20%, 年均火灾死亡人数下降了 23%。到 1989 年, 又公布统计数据: 美国火灾死亡人数已从 1971 年 1.2 万人/a 降至 6.2 千人/a; 美国火灾受伤人数已从 1971 年的 30 万人/a 降至 10 万人/a。

另据 NFPA 报告, 自 1977 至 2010 年火灾数量下降

了 59%(见图 1);死亡人数下降了 71%(见图 2);因火灾造成的财产损失(考虑通货膨胀影响)下降了 31%(见图 3)。相比之下,电气火灾下降了近 200%。可见,美国的火灾防控,尤其电气火灾治理是卓有成效的。

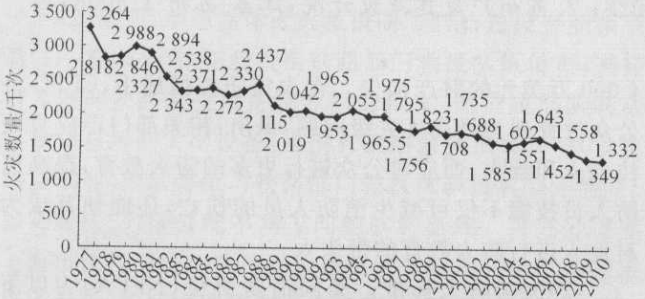


图 1 1977—2010 年火灾次数

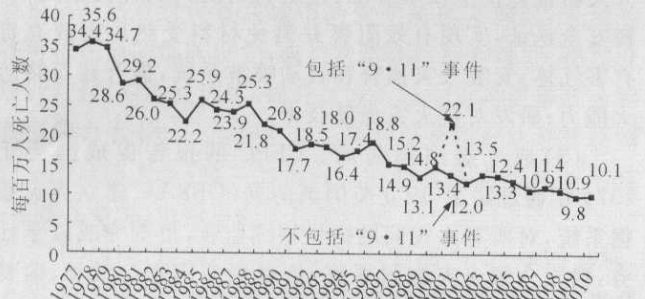


图 2 1977—2010 年火灾死亡人数

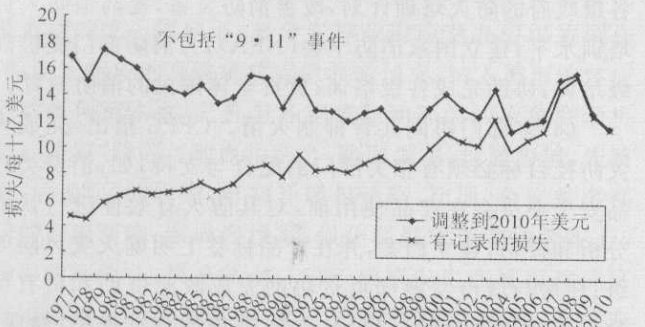


图 3 1977—2010 年火灾造成的直接财产损失

2 美国电气火灾防控经验

美国近 40 年的经验说明:火灾防控是一项涉及全体国民、跨部门、跨行业,需长期投入人、财、物的系统工程,各环节必须协同配合,实现有效监管,才能得到满意结果。仅就建筑电气火灾防控而论,技术层面上的措施与方法,对我国火灾防控工作有极大的借鉴作用。

2.1 NFPA70 NEC《国家电气标准》的作用

美国电气火灾防控成效显著的原因之一是长期、严格、有效地贯彻执行电气工程标准。美国第一版 NFPA 70 NEC《国家电气标准》,是在 1897 年正式出版的。自 1911 年起,每隔 2~3 a,NFPA 负责对其修订 1 次,目前执行的是 NEC 2011 版,对建筑电气的工程建设各个环节,与用电安全有关的每个方面均有细致、明确的规定。

NEC 中的规定已经被实践与时间证明,对用电安全,尤其对电气防火,是必要和有效的。实现了这部标准

第 90.1 条款中阐述的宗旨:“本标准目的,是为人员与财产免于因用电而产生的危险,提供实用的安全保障。”不仅世界许多国家在制定其本国标准时会参照和采纳 NEC,而且保险公司也会参考。

2.2 电气工程设计

2.2.1 合理设计功率裕量

据统计,线路故障是美国住宅电气火灾的最主要原因,比例高达 46.8%。线路故障中最常见的是过载。为防止线路过载,NEC 2011 第 240 条明确规定了建筑物内分支电路所使用细导体的线径和允许载流量,例如:15 A 回路使用 AWG14 号线(约 2.1 mm²)铜线;20 A 回路使用 AWG12 号线(约 3.3 mm²)铜线。

调查显示,美国 20 年前的建筑线路仍能满足当前家庭用电量。对于超过 30 a 的线路,电气安全检查部门会建议用户重新更换配电线路。

2.2.2 严格规定插座数量

据统计,插座造成的住宅电气火灾比例为 11.3%,排除产品质量因素,一个插座上引出过多设备,会直接导致线路过载和火灾危险。在美国,接线板被认为只能临时使用,不能长期使用。建筑物中布置足够多的插座,是避免使用插线板、减少故障最有效和最直接的方法。

NEC 对插座的数量规定,随家用电器和用电量的增加,经历了从无到有、从少到多的发展过程,如表 2 所示。

表 2 NEC 对墙壁插座安装要求的演进

NEC 版本	对插座安装数量与间距的要求
1933	只提出建议不强制要求数量,插座间距一般超过 4.6 m
1937	强制规定插座间距为 3.0 m
1956	每 3.7 m 设置 1 个墙壁插座
1959 至今	沿墙角脚线水平测量,墙壁上任意点到插座距离不超过 1.8 m

2.3 保护电器与线缆材料

2.3.1 使用 GFCI

NEC 中称为“接地故障断路器(GFCI)”的保护装置其功能与 IEC 标准中的“剩余电流保护装置(RCD)”相同,40 年来 NEC 对此类装置在电路中的安装要求不断增加,如表 3 所示。

表 3 NEC 对 GFCI 安装要求的演进

NEC 版本	对 GFCI 的要求
1968	首次要求在游泳池水下照明电路中必须安装 GFCI
1971	增加“靠近游泳池的插座”要求
1973	增加“户外插座”要求
1975	增加“浴室插座”要求
1981	增加“淋浴和浴缸的供电电路”要求
1987	增加“靠近厨房水槽的插座”要求
2005	增加“靠近洗衣设施的插座”要求

据 UL 统计,自引入 GFCI 后 25 年内,尽管美国用电

量增加了1倍,电击身亡事故降低了50%。显然因接地故障造成的电气火灾也在一定程度上得到了控制。

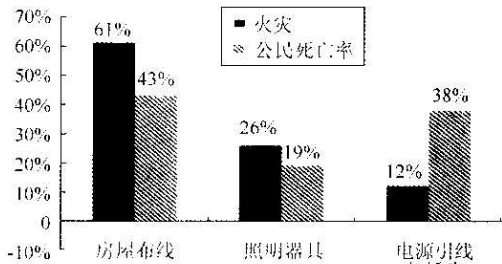
2.3.2 使用 AFCI

单相电路中,如果带电导体之间发生“并联型电弧”,或载流导体断裂时出现“串联型电弧”,则 GFCI 因检测不到剩余电流而不能脱扣断电。为防范分支电路中的电弧故障,电弧故障断路器(AFCI)应运而生。自1997年 NEC 编写组建议在标准中增加 AFCI 相关的条款后,随着标准的修订,具体安装要求不断增加,如表4所示。

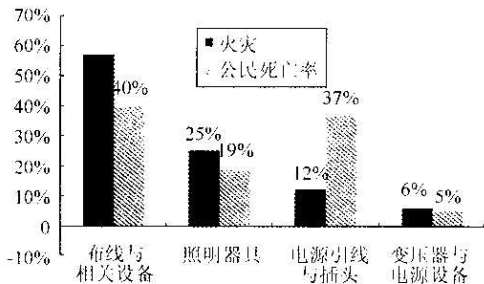
表4 NEC 对 AFCI 安装要求的演进

NEC 版本	对 GFCI 的要求
1999	引入“分支/馈电型”AFCI,规定:由 AFCI 保护 15 A 及 20 A 卧室插座回路(2002 年 1 月生效)
2002	将 AFCI 的保护范围由卧室插座回路扩展到整个卧室配电回路
2005	引入“组合型”AFCI(2008 年 1 月生效)
2008	AFCI 保护范围由卧室配电回路扩展至家庭活动室、起居室、会客室、阅览室、小隔间、阳光房、娱乐室等的配电线路
2011	用带有 AFCI 保护功能的插座进行更换

数据显示,2007 年住宅配电线路火灾较 2003—2006 年平均值降低了8%,人员死亡降低了6%。而插座引起的火灾及人员死亡比例并没有明显变化,如图4所示。



(a)2003—2006 年



(b)2003—2007 年

图4 住宅电气火灾主要原因

笔者认为,上述统计说明2011版之前的NEC中并未规定使用“插座型”与“便携型”AFCI有关,尽管不能将火灾事故下降完全归于使用了AFCI,但2003—2007年正好与NEC不断要求扩大AFCI使用范围的规定相对应,在一定程度上说明了AFCI的作用。

2.3.3 更换铝线

20世纪70—80年代,美国建筑电气工程多采用铝

线,而且导线绝缘层耐温等级也较低。在改造和新建工程中采用铜线,减少了材料氧化和电气连接问题。工程中尽量避免铜铝混接,以避免电化学腐蚀导致的高阻连接,降低发热和火灾风险。

2.3.4 分支线路中使用铠装电缆

柔性铠装电缆早在1903版NEC中就被规定为标准线材,30年代至今在建筑中被广泛使用,它提高了线缆的机械强度,并能有效防止动物破坏导线绝缘。即使内部导体出现过载、短路、电弧等故障,铠装层能在相当程度上起到隔离作用,从而降低火灾风险。

2.4 线缆敷设与连接

2.4.1 金属管布线

与铠装电缆类似,金属管布线在电气防火方面有明显优势,而且较铠装电缆扩容更方便。吸取了1871年特大火灾教训,芝加哥尤其注意火灾防控。就电气火灾而言,据统计:芝加哥住宅电气火灾仅是全美同期同类火灾的1/2~1/3(见图5),电气防火专家将此归结于:地方标准要求建筑物一律使用金属管布线,在NEC规定的13种布线方式中,虽然金属管布线造价增加,但与降低火灾损失相比是微不足道的。

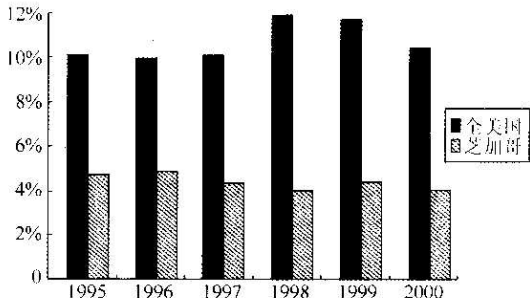


图5 1995—2000 年全美国与芝加哥住宅电气火灾统计

2.4.2 严格要求细导线连接工艺

导线连接处是电气线路最薄弱环节,容易因接触不良和绝缘破坏导致发热、火花、电弧、接地故障等故障。NEC第110.14条规定: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焊接。

尽管标准中详细规定了焊接导线的方法,但实际工程中美国自20世纪初期就已开始告别“锡与火”,而采用特定连接装置:导线连接器。

2.4.3 控制灯具的安装工艺

据统计,23.5%的美国住宅电气火灾由照明设备引起。为防火灾隐患,NEC第410.116条规定:内嵌式灯具要与可燃材料至少间隔1.27cm安装;内嵌灯具防护罩上方7.62cm以内不得有隔热保温材料。

2.5 电气工程质量控制

2.5.1 产品质量认证

电气产品的安全认证,是实现电气工程安全的第一道关口。USFA要求,电气工程中使用的线路材料、灯

具、保护装置及各种用电器等,都必须通过消费者产品安全委员会的质量认证。“UL 保险商实验室”就是美国对电气产品安全进行独立测试与认证的机构,并参与制定相关电气及产品安全技术标准。检查 UL 标记,已成为美国电气质检的一项任务。

2.5.2 安装质量检验

以检验分支线路安装质量为例,导致电气火灾的线路过载、线路高阻点,都会呈现出线路电压降异常。NEC 第 210.19 条 A 款的 FPN 4 规定:“为加热和照明或两类组合负载供电的分支线路,其最远电源插座处电压降不超过 3%,所有供电线路与分支线路最远端插座处电压降之和,不超过 5%”。换言之,凡电压降超过此指标的线路,都意味着有火灾危险。

在检验插座回路电压降时,美国电工一般通过专用仪表,逐一在墙壁插座处直接测量得到结果,避免了使用大功率假负载和现场计算带来的不便,方便、准确、快捷。

2.5.3 工程验收与定期检查

以住宅检验为例,NPFA 编制了 NPFA 73《已有住宅电气检查标准》。房屋买、卖、装修,尤其针对购买二手住宅,业主会被要求请专业人员检查电气系统以确保安全。美国国家住宅检查人员认证协会(NACHI)负责委派专业人员,对民居包括内部电气工程进行验收和检查。“一般要求”检查包括:配电线路及安装、配电盘(箱)及过流保护装置、用电电气设备、开关与插座,以及临时插线板的使用。“电器与特殊装置”检查包括:GFCI、烟雾探测器、各类用电器状态、AFCI。

2.6 民众安全用电与防火教育

专业人员验收和定期检查仅是防控电气火灾的基本要求,依靠普通民众正确用电和日常观察才能做到避免事故和及时发现隐患。住宅交付使用后,当地消防部门会教育并提醒用户正确用电:不要过载;不要在一个插座上连接多个电器;不要将电器引线压在地毯下或穿过门缝;不要永久和过多使用插线板;不要使用未经安全认证的电器产品;不要拖拽电源线将插头从插座中拔下;不要使用损坏的电源线;不要将可燃物靠近灯具。并提醒用户如果遇到以下情况,需马上通知有经验的电工或专业人员进行维修,以免故障恶化和引起火灾:使用电器时有电麻感觉;保护电器频繁跳闸;插座或开关温度升高;有塑料烧焦的异味;插座打火或外壳变色;灯光闪烁或变暗;使用某电器时,计算机或电视屏幕出现失真;GFCI/AFCI 动作。

3 美国对未来电气火灾防控的准备

2008 年 11 月 17 日,由美国防火调查基金会(FPRF)主办,130 位消防专家在华盛顿召开了一个名为“消防与安全:为未来 25 年做准备”的会议,针对未来的人口压

力、城市发展、新材料与新技术、节能技术等方面的挑战与机会,讨论火灾防控问题。其中涉及建筑电气火灾防控的问题主要有:城市建筑密度和城乡结合部快速发展;旧建筑电气系统如何安全满足新能源的使用;新型保温隔热材料对电气系统防火的影响;节能电器与电气系统的安全。

防火专家们对未来火灾防控提出了各种解决方案,但在一个问题上观点是一致的,即:技术固然重要,但更重要的是加强公众的防火教育和防火意识,各部门协同应对未来火灾防控的挑战。

4 结束语

中国正在和即将面对与美国火灾防控过程中相同或类似问题,学习美国在电气火灾防控方面的经验,避免重蹈失败覆辙,少走不必要弯路,运用“拿来主义”取“他山之石”,无疑对我国电气防火具有重要借鉴意义。

参考文献:

- [1] U. S. Fire Administration. America burning, the report of the national commission on fire prevention and control[R]. 1973.
- [2] U. S. Fire Administration. America Burning revisited [R]. 1987.
- [3] National Fire Protection Association Fire Analysis and Research Division. Trends and patterns of U. S. fire losses in 2010[R]. 2011.
- [4] National Fire Protection Association. NEC 2011. National electrical code[S].
- [5] Department of Homeland Security, U. S. Fire Administration National Fire Data Center. Residential building electrical fires[J]. TFRS, 2008, 8(2).
- [6] David A Dini. Residential electrical system aging research project technical report[R]. 2008.
- [7] John R Hall. Home electrical fires[R]. 2009.
- [8] John R Hall. Home electrical fires[R]. 2010.
- [9] Timothy Arendt. Fire safety options in design and code practices to minimize fire problems due to aged electrical wiring systems[R]. 2006.
- [10] National Fire Protection Association. Electrical inspection code for existing dwellings[S]. 2000.
- [12] The Fire Protection Research Foundation. A white paper report for the fire protection research foundation “Next 25 years conference”[R]. 2008.

Learn from the experiences of electrical fire prevention and control in USA

REN Chang-ning¹, XIE Wei²

(1. Ideal Industries, Inc. Beijing office, Beijing 100028, China; 2. Shuzhou Guangsha architecture designing company, Jiangsu Suzhou 215006, China)

Abstract: The generating and using capacity of electric in USA is