

低压电气装置的安全指南

——《低压电气装置的设计安装和检验》读书笔记

关象石

(北京市气象局 北京 100089)

引言

2003年6月,王厚余老师的新著《低压电气装置的设计安装和检验》正式出版。电力出版社介绍作者是“著名电气安全技术专家,国际电工委员会(IEC/TC64)中国归口委员会及全国建筑物电气装置标准化委员会顾问,致力于电气安全和国际电工标准宣传推广工作。踏遍祖国28个省市,为提高我国电气安全技术水平做出卓越贡献”。王老师1925年9月生于湖北武汉,现年78岁。1949年从上海交大毕业后,参加了国防工业建设,转业后一直在中国航空工业规划设计院工作。他是国家强制性标准《供配电系统设计规范》GB 50059-95、《低压配电设计规范》GB 50054-95的主要起草人,2002年主持审核国家建筑标准设计图集《等电位联结安装》02D501-2。王老师除在报刊上发表大量论文外,还参加了《工业与民用配电设计手册》、《21世纪建筑电气设计手册》等专著的编写,其中《对电气火灾主要隐患的分析和对策建议》被收录进《2000年减轻自然灾害白皮书》而在全国人民代表大会上分发,可以称得上“著作等身”,“老而弥坚”。

学习王老师的新著,使我进一步了解到低压电气装置安全与防雷技术的关系。我认为:1. 电气安全可分为人身安全(电击引起的伤亡事故)和财产损失(电气火灾、电气设备损坏及系统停顿、工作不正常等间接损失),而雷击是电气事故的起因之一;2. 避雷装置检测和防雷工程的设计施工大多与低压电气相关;3. 电涌保护器(SPD)是低压电气设备,属IEC/TC64标准IEC60364(建筑物电气装置)中第5部分(电气设备的选择和安装)的第53章(开关设备和控制设备)中的第534节(电涌保护器)。因此,从事防雷专业应对低压电气装置,特别是低压电气装置的安全有深入的了解。

马宏达和刘继老师多次呼吁“学习防雷的基本功”,对此我是十分赞同和深有体会的。我个人从事防雷工作,是一个先学防雷专业知识,后补基础知识,而后提高防雷技术水平的学习过程。我深深认识到缺乏这些基础知识,一是有难于胜任的问题,二是有难于识别真伪的问题。因此愿将自己不成熟的学习笔记刊出,以期抛砖引玉。

1 “前言”部分

“电气安全”的“前言”中主要讲了电气灾害和技术标准两方面的内容。书中指出:“电气灾害已成为影响我国社会安定和经济发展的一个必须认真对待的问题”。电气灾害主要指人身安全(电击)和财产安全(火灾、设备损坏和工作不正常),“以相同耗用电量相比较,我国电击死亡的人数是发达

国家的几十倍,甚至上百倍;又如进入 20 世纪 90 年代后,我国电气火灾每年发生的次数几乎接近全部火灾发生总数的 30%,而发达国家这一数值不过百分之几。”众所周知的北京隆福大厦,哈尔滨白天鹅宾馆等特大火灾均属电气火灾。

究其原因,作者认为:“不少事故是由电气产品质量低劣和使用管理不善引起的,但相当多的事故是因电气装置的设计、安装和检验不当造成的。”而这个“不当”的根是我国有关低压装置规范“对用户低压装置的人身和财产安全则不甚重视,规定的内容也欠完善。……由于安全水平不高,我国有关低压电气装置规范在国际上鲜少被采用,以至回归祖国的香港对它也不予认可。”

既然查出了主要原因,作者又指出解决问题的办法“我国为抑制和降低多年居高不下的电气灾害,并为适应加入 WTO 后的机遇和挑战,在低压电气装置的设计、安装、检验中也必须采用 IEC60364 等标准”。针对一些在采用国际标准(简称“采标”)问题上的不同认识,作者尖锐地指出:“电气事故的发生是不理会国情的差异的,例如人体接触 50V 以上的电压可能电击致死,电弧电火花可引燃可燃物质而引发火灾,外国如此,中国也不例外。……低压电气装置的设计、安装及检验与 IEC 标准的接轨,应像发达国家那样从以人为本的基本要求出发,等同或等效采用国际标准,并以其为共同遵守的准则,而不仅仅是向它靠拢。所谓‘靠拢’就是允许偏离,但如何偏离和偏离多少却没有规定和约束。这恐怕是我国一些低压电气规范安全水平不高又互相矛盾的重要原因之一。”关于“以人为本”的问题,王老师曾以《民用建筑电气设计规范》中第 14.8 条“澡盆和淋浴盆的安全保护要求,仅限于三级及以上的旅(宾)馆、高级住宅和公寓……”为例批评道:“难道三星级以下的宾馆住客和一般民用住宅的住户就不需要安全保护吗?”我认为王老师在“采标”问题的认识上无疑是正确的,一方面要坚持采用国际标准,另一方面要从我国的实际情况出发,认真研究和找出一些与国际标准的差异,对国际标准进行适当的修订。书中指出:“等同和等效采用国际标准并不排除某些例外,……又如我国有些地区电压偏差还较大,不能按国际标准选用某些防护电气的技术参数,这是完全允许的,但必须说明未按国际标准执行的原因,以避免误导。”王老师的观点既符合以人为本的科学发展观,也符合我国标准化工作“积极采用国际标准和国外先进标准”的基本国策。有人矢口否认国际标准的客观存在,认为“但看过 IEC 的出版物的都知道,这是抄自欧洲国家制定的防雷规范,没有可供科学家公认的科学实验,纯属个别学者的一种科学假说。”“国人中有些人热衷于宣传推行某些外国集团制定的防雷规范,力图全部转化为国标,从而为推销洋货铺平道路,这是欠妥的,遭到许多爱国学者们的批评,”^[1]把坚持采用国际标准的人斥为“卖国者”而自我标榜为“爱国学者。”与王老师的观点相比,可谓泾渭分明。

2. 基础理论部分

2.1 电气灾害的起因

2.1.1 电击伤亡

2.1.1.1 电击伤亡的定义,电流和电压

书中对电流通过人体时的效应做了如下定义:“当人体同时触及不同电位的导电部分时,电位差使电流流经人体,称之为电接触。”当“电流小时于人体无害,用于诊断和治病的某些医疗电气设

备，……这种电接触称为微电接触。”“如通过人体的电流较大，持续时间过长，则可使人体受到伤害甚至死亡，这种电接触称作电击”这里说的电击主要是指电压不大于 1000V，频率不大于 100Hz 的交流电流的电接触。此外尚存在着高电压造成的破坏性伤害，它是指在雷击和高压触电事故发生时，有安培级以上的大电流流经人体时产生的热效应、化学效应和机械效应所引起的伤害。当然，直流电流也会流过人体，试验证明，直流电流对人的危险性要比交流电流小的多，大约仅为 50Hz 交流电流的 25% 左右。这是因为直流电流通过人体的有机组织时，只引起电解现象，因极化而削弱了电流的作用。对低压（1000V 以下）50Hz 的交流电流而言，人体有三个主要效应阈值：1）感觉阈值：0.5mA
2）摆脱阈值：10mA，主要指“当人用手持带电导体时，如流过手掌的电流超过此值，手掌肌肉的反应将是不依人意地紧握带电导体而不是摆脱带电导体，……如不能摆脱带电导体，在较大电流长时间作用下人体将遭受伤害甚至死亡。人体其他部件接触带电导体时可瞬间摆脱带电导体，不存在电击致死危险。”因此“手持式设备（如手电钻）或移动式设备（例如落地灯）比固定式设备具有更大的电击致死的危险性。”必须在相应时间内切断电源，“这也正是要求在接用手持式、移动式设备的插座回路上装用瞬态 RCD 的原由。”3）心室纤维性颤动阈值：30mA，“电流通过人体时引起的心室纤维性颤动是电击致死的主要原因。”IEC60479 标准根据测试得出“导致心室纤颤的 15~100Hz 交流电流 I_b 与通电时间 t 的关系曲线”，“从曲线 L 可知，只要 I_b 小于 30mA，人体就不致因发生心室纤颤而电击致死。据此国际上将防电击的高灵敏剩余电流动作保护器（以下简称 RCD）的额定动作电流值取为 30mA。”

依据欧姆定律“电流 I_b 因施加于人体阻抗 Z_t 上的接触电压而产生。接触电压越大， I_b 也越大。在设计电气装置时计算 I_b 很困难，而计算接触电压比较方便。为此 IEC 又提出在干燥和潮湿环境条件下相应的预期接触电压 U_t ——时间曲线”。试验证明人体阻抗 Z_t 与人的年龄、性别、体重、皮肤干湿程度有关，并且随接触电压的增大而减小，为方便计算 Z_t 取平均值。由此得出“在干燥条件下当 U_t 不大于 50V 时，人体接触此电压不致发生心室纤颤，……IEC 将干燥环境条件下特低电压设备的额定电压定为 48V（我国现仍沿用过去的 36V）。在潮湿环境条件下，……大于 25V 的 U_t 即可导致引起心室纤颤的 30mA 以上的接触电流 I_b ，据此 IEC 将潮湿环境条件下的 U_t 值规定为 25V，而特低电压设备的额定电压则规定为 24V。在水下或特别潮湿环境条件下，例如在浴室或游泳池等场所内，由于皮肤湿透，特低电压设备的额定电压 IEC 规定仅 12V 或 6V。”近年来上海、青岛和北京多次发生喷水池或冲浪浴盆内电击伤亡事故，除等电位联结措施不力外，未按规定选用特低电压设备是事故发生的主要原因。

2.1.1.2 直接接触和间接接触电击

书中的第四章到第七章介绍了直接接触和间接接触电击的防护，“人身电击有直接接触电击和间接接触电击之分。”“直接接触电击（direct contact）指人或动物与带电部分直接接触引起的电击，例如人在检修电气线路时没有切断电源，人手接触破损的插座，灯头而引起的电击。”而“间接接触电击（indirect contact）指电气设备的外露导电部分因绝缘损坏而带故障电压，这时人或动物接触此外露导电部分而遭受的电击。例如人挪动因绝缘破损，相线线芯碰金属支柱的落地灯时遭受的电击。”

应该说明的是：“带电部分”和“外露导电部分”的不同定义。“带电部分”是指电气设备正常工作时便带有电流的相线和中性线。而“外露导电部分 (exposed conductive part) 是电气设备日常使用中可能被触及的导电部分。它正常情况下不带电压，但在基本绝缘损坏发生接地故障时可能带电压，例如用电器具的金属外壳、敷设线路用的钢管、金属梯架、托盘槽盒等。”外露导电部分带电压常称为“漏电”，也称为“对地闪络”。在实际发生的电击事故中，由于电气设备在结构上不会让人直接接触带电部分，直接接触电击事故很少；相反，因人随时可能接触外露导电部分，所以间接接触电击事故发生的可能性要大的多。此外，因漏电引起的跨步电压触电事故属于间接接触电击事故。

2.1.2 电气火灾

“火灾的酿成必须具备起火源、可燃物和氧气三个条件。如果电气装置设计安装不当，往往在建筑物中因电的原因而形成起火源。电起火源通常以异常高温、电弧（电火花）的形式出现，其发生又是复杂而多样的，一般可归纳为短路、连接不良和电气装置安装不当三类起因。”王老师在这里点出了燃烧三要素：火源，可燃物和助燃物，三者缺一不可。

2.1.2.1 短路起火

短路又称接地故障 (earth fault)，是指“由于回路带电导体与地（包括大地、与地连接的外露导电部分和装置外导电部分）导通，或对地绝缘变得小于规定值而引起的故障。”发生短路主要有两个原因：“一是受机械损伤，线芯外露接触不同电位导体而短路，”“二是电气线路因过热、水浸、长霉、阳光辐射等作用而导致绝缘水平下降，在电气外因触发下，例如受雷电瞬态过电压或电网暂态过电压的冲击，耐压强度过低的绝缘被击穿而短路。”关于引起线路“过热”的热源可能是距线路过近的暖气管道、高温的炉子等外部热源，也可能是由于电气线路过载（过负荷）引起的温升过高的内部热源。

短路起火有金属性短路起火和电弧性短路起火两种：

——金属性短路起火：短路时在两个不同电位的导体接触时，大的短路电流“通过接触电阻而产生高温，使接触点金属熔化”，熔化时可能会出现金属熔化成团而收缩造成脱离，也可能将两触点熔焊牢，此时，其阻抗很小，所以短路电流能达到电气线路额定载流量的几百倍至几千倍！此时回路上的短路防护电器应迅速动作，但“如果短路防护电器失效拒动（例如熔断器误被铜丝或铁丝替代、断路器失效拒动），短路状态将持续，当线芯温度超过 355°C 时……pvc 绝缘分解出的氯化氢将因剧烈氧化而燃烧，这时沿线路全长线芯烧红，pvc 绝缘也自然而形成一条‘火龙’，……酿成火灾的危险极大。”

——电弧性短路起火：书中介绍“如将两电极接触后再拉开建立了电弧，则维持此 10mm 长的电弧只需 20V 的电压。”……也就是说只要先接触，之后又分开，很可能产生局部温度很高的电弧而成为起火源。按电弧发生的不同部分可分为带电导体间的电弧、带电导体与地之间的电弧和绝缘表面的爬电。

1) 带电导体间的电弧性短路起火：前边讲到短路起火时指出有两种可能，其一是两导体（如相线与中性线）接触时因短路电流产生的高温，使接触点金属熔化，之后金属熔化成团收缩而脱离接触的过程，在这种情况下可能建立电弧。“又如线路绝缘水平严重下降，雷电产生的瞬态过电压或电网

故障产生的暂态过电压都可能击穿劣化的线路绝缘而建立电弧。”“电弧性短路的起火危险远大于上述金属性短路的起火危险。”

2) 接地故障电弧起火：由于“接地故障发生的几率远大于带电导体间的短路”，所以“接地故障电弧引起的火灾远多于带电导体间的电弧火灾”。这是因为“在电气线路施工中，穿钢管拉电线时带电导体绝缘外皮之间并无因相对运动而产生的摩擦，但带电导体绝缘外皮与钢管间的摩擦却使绝缘磨损或受损。另外，发生雷击时地面上出现瞬变电磁场，它对电气线路将感应瞬态过电压”，此时“芯线上感应的瞬态过电压是基本相同的，而电缆梯架则因接地而为地电压”，所以，芯线对地的电位差较大。从磨损和电位差大两方面分析，接地故障电弧起火率自然偏高。

3) 爬电起火：爬电是指电弧“不是建立在空气间隙中的电弧，而是出现在设备绝缘表面上的电弧。”“例如电源插头的绝缘表面上的一个或多个相线插脚和 PE 线插脚，它们之间的绝缘表面可能发生爬电。”

作者跋：《低压电气装置的设计安装和检验》一书共 23 章，目录如下：

一、电流通过人体时的效应；二、供电系统的接地；三、带电导体系统和接地系统的分类；四、直接接触电击防护；五、间接接触电击防护与电气设备按防间接接触电击措施的分类；六、用自动切断电源和连接 PE 线接地的防间接接触电击措施；七、不用自动切断电源和连接 PE 线接地的防间接接触电击措施；八、过电流及过电流防护电器；九、过载防护；十、短路防护；十一、电气火灾的防范；十二、暂态工频过电压的防护；十三、瞬态雷电脉冲过电压的防护；十四、信息技术（IT）设备的抗干扰；十五、“断零”烧坏设备事故的防范；十六、电气隔离和四极开关的应用；十七、IT 系统在应急电源中的应用；十八、隔离变压器和特低电压的应用；十九、剩余电流动作保护器（RCD）的应用；二十、接地装置的设置；二十一、PE 线，PEN 线和等电位联结线的选用和敷设要求；二十二、低压电气装置的检验；二十三、特殊场所和特殊电气装置的电气安全要求。

该书由《中国电力出版社》出版、需购者可在各地电力书店购买，也可与本文作者联系购书。

参 考 文 献：

- [1] 虞昊，“21 世纪中国防雷事业面临的困惑”，《防雷世界》 2003.5
- [2] 川濑太郎，《接地技术与接地系统》，科学出版社， 2001.8
- [3] 李家贤、纪贤宝，《剩余电流保护系统及运行管理》，中国水利水电出版社， 2002.2
- [4] 陈家斌，《接地技术与接地装置》，中国电力出版社， 2002.4