



低压电气装置

的设计安装和检验

中国航空工业规划设计研究院 王厚余 编著

- 著名电气专家力作
- 深入浅出阐述建筑电气国际标准内涵及其应用要点
- 简洁实用介绍低压电气安全理论及事故防范措施
- 低压电气工作者必备安全用书



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

低压电气装置 的设计安装和检验

中国航空工业规划设计研究院 王厚余 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内容提要

为适应低压电气装置减灾和我国加入世贸组织后的低压电气装置设计、安装、检验工作与国际电工标准接轨的需要,本书依照国际电工委员会第64技术委员会出版的低压电气装置标准和发达国家的标准、资料,对低压电气安全的基本理论、电气事故的起因及其防范措施进行了较详尽的阐述。对低压装置的接地、等电位联结、电气隔离、特低电压、剩余电流动作保护器等电气安全措施的应用,以及对电击、电气火灾、谐波电流、暂态和瞬态过电压、电磁干扰等电气灾害的危害和防范作了深入浅出、通俗易懂的介绍。本书还对国际电工标准有关低压电气装置的检验要求和一些电气危险性大的特殊场所电气事故的防范措施分别进行了阐述。

本书可供低压电气装置设计、安装、检验、管理人员使用,也可供有关专业院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

低压电气装置的设计安装和检验/王厚余编著. —北京:中国电力出版社, 2003

ISBN 7-5083-1463-8

I. 低… II. 王… III. ①低压电器-电气设备-设计
②低压电器-电气设备-安装 ③低压电器-电气设备-检验
IV. TM52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 023739 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003年6月第一版 2003年6月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 32开本 9.125印张 198千字

印数 0001—5000册 定价 16.00元

版权专有 翻印必究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

目 录

电气装置设计、安装和检验的最基本要求是保证人身安全和财产安全。如果不能保证安全，电气装置的功能就无价值可言。人身安全主要指防人身遭受电击引起的伤亡事故；财产安全主要指防电气火灾、电气设备损坏和工作不正常引起的经济损失。电气不安全导致的灾害在我国是相当严重的，例如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已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。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。

绝大多数电气事故发生在 1000V 以下的低压电气装置内。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。由于历史上的原因，我国的电气安全技术以至有关的电气规范受前苏联《电气装置安装规程》影响颇深。该规程系前苏联电站部主编，其侧重点为电力网络的安全，也即发电机、变压器、线路等电网元件的安全，而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。师承前苏联电气规程的我国低压电气装置的有关规范难免存在同样的问题。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。

为消除贸易壁垒，许多发达国家在产品和工程设计中都采用国际标准。在低压电气工程承包中就是采用国际电工委员会第 64 技术委员会（即 IEC/TC64）编制的 IEC60364《电气装置和防电击》标准和其相关标准。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 IEC 60364 等标准。

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。电气事故往往是人命关天的灾祸，所以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。这恐怕就是我国一些低压电气规范水平不高又互相矛盾的重要原因之一。

等同和等效采用国际标准并不排除某些例外，例如我国有些地区电压偏差还较大，因此不能按国际标准选用某些防护电器的技术参数。这是完全允许的，但必须说明未按国际标准执行的原由，以避免误导。

减少我国低压电气装置事故的关键在广大电气技术人员掌握和运用 IEC/TC 64 标准熟练程度，以及等同或等效采用 IEC/TC 64 标准的我国标准的制订水平。但 IEC 标准言简意赅，只规定安全要求，未附有条文解释和编制意图，而有些译文又过于直译，艰涩难懂，这都在一定程度上影响了该标准在我国的推广应用。为此需我国电气人员共同努力，对它

进行学习、研究和交流切磋，以冀正确理解和执行。笔者有幸参加 IEC/TC64 归口工作 20 余年，略窥门径，不敢藏拙，爰就低压电气装置有关安全的一些问题结合对 IEC/TC64 标准的肤浅理解撰写此书，供有志研究该标准的电气同行参考，也冀为宣传推广 IEC/TC64 标准，减少我国低压电气灾害尽绵薄之力。限于作者的水平，所陈不尽正确，希关心我国电气安全工作的专家、学者不吝批评指正。

本书承黄妙庆教授级高工全文审稿，提出许多宝贵意见，并承 IEC/TC64 中国归口委员会和国际铜业协会（中国）北京代表处提供有关信息资料，充实丰富了本书内容，谨表示衷心的感谢。

中国航空工业规划设计研究院 **王厚余**

2002 年 11 月

目 录

前 言

| | |
|---------------------------------|----|
| 第一章 电流通过人体时的效应 | 1 |
| 第一节 几个有关电气安全的电流效应阈值 | 1 |
| 第二节 不同潮湿环境条件下的不同接触电压限值 | 3 |
| 第三节 电流通过人体的效应与防护电器选用的关系 | 5 |
| 第二章 供电系统的接地 | 6 |
| 第一节 供电系统的两个接地 | 6 |
| 第二节 系统接地的作用 | 7 |
| 第三节 保护接地的作用 | 8 |
| 第四节 10/0.4kV 配电变电所内的两个接地 | 8 |
| 第三章 带电导体系统和接地系统的分类 | 10 |
| 第一节 带电导体系统分类 | 10 |
| 第二节 接地系统分类 | 12 |
| 第三节 对各类接地系统的评述 | 15 |
| 第四章 直接接触电击的防护 | 19 |
| 第一节 带电部分的绝缘覆盖 | 19 |
| 第二节 遮栏或外护物 | 19 |
| 第三节 阻挡物 | 20 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 第四节 | 带电部分置于伸臂范围以外的布置 | 21 |
| 第五节 | 装有 30mA RCD 的后备措施 | 22 |
| 第五章 | 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 | 23 |
| 第一节 | 0 类设备 | 24 |
| 第二节 | I 类设备 | 25 |
| 第三节 | II 类设备 | 25 |
| 第四节 | III 类设备 | 26 |
| 第六章 | 用自动切断电源和连接 PE 线接地的防间接接触电击措施 | 28 |
| 第一节 | 自动切断电源措施的几个基本要求 | 28 |
| 第二节 | 总等电位联结 | 29 |
| 第三节 | 辅助等电位联结和局部等电位联结 | 33 |
| 第四节 | TN 系统内自动切断电源的防电击措施 | 35 |
| 第五节 | TT 系统内自动切断电源的防电击措施 | 50 |
| 第六节 | IT 系统内自动切断电源的防电击措施 | 54 |
| 第七章 | 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 | 62 |
| 第一节 | 采用 II 类设备 | 62 |
| 第二节 | 设置绝缘场所 | 63 |
| 第三节 | 采用保护隔离 | 63 |
| 第四节 | 设置不接地的局部等电位联结和采用特低电压供电 | 64 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 第八章 过电流及过电流防护电器 | 66 |
| 第一节 两种不同后果的过电流 | 66 |
| 第二节 过电流防护电器的选用 | 67 |
| 第九章 过载防护 | 70 |
| 第一节 过载防护应满足的条件 | 70 |
| 第二节 并联导体的过载防护 | 74 |
| 第三节 谐波电流引起的回路过载及其防护 | 75 |
| 第四节 过载防护电器的安装位置 | 83 |
| 第五节 过载防护电器的免装 | 84 |
| 第十章 短路防护 | 86 |
| 第一节 短路防护应满足的条件 | 86 |
| 第二节 干线短路防护电器能保护的分支回路的长度范围 | 88 |
| 第三节 短路防护越级跳闸的防范 | 89 |
| 第四节 短路防护电器的免装 | 91 |
| 第十一章 电气火灾的防范 | 92 |
| 第一节 短路起火 | 92 |
| 第二节 连接不良起火 | 105 |
| 第三节 电气装置布置安装不当起火 | 110 |
| 第十二章 暂态工频过电压的防护 | 112 |
| 第一节 10kV 不接地系统接地故障引起的过电压 | 113 |
| 第二节 10kV 经小电阻接地系统接地故障引起的过电压 | 114 |
| 第三节 TN 系统内的人身电击危险 | 116 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 第四节 | 防范 TN 系统内人身电击事故的措施 | 117 |
| 第五节 | TT 系统内的绝缘击穿危险 | 119 |
| 第六节 | 防范 TT 系统内绝缘击穿事故的措施 | 120 |
| 第七节 | 变电所与低压电气装置处于同一建筑物内时 不存在暂态过电压引起的电气事故危险 | 122 |
| 第八节 | 10kV 变电所高压侧接地故障过电压 危害防范的简要概括 | 124 |
| 第十三章 | 瞬态雷电脉冲过电压的防护 | 125 |
| 第一节 | 装设防沿电源线路进入的雷电脉冲 过电压防护电器的条件 | 126 |
| 第二节 | 电气设备按耐雷电脉冲过电压水平的分级 | 127 |
| 第三节 | SPD 的选用和安装 | 129 |
| 第四节 | SPD 与 RCD 安装位置的协调 | 134 |
| 第十四章 | 信息技术 (IT) 设备的抗干扰 | 135 |
| 第一节 | IT 设备的抗干扰措施 | 136 |
| 第二节 | IT 设备的接地和等电位联结 | 140 |
| 第三节 | IT 设备接地方式推荐的三种范例 | 141 |
| 第十五章 | “断零”烧坏设备事故的防范 | 145 |
| 第一节 | “断零”的危害 | 145 |
| 第二节 | “断零”烧坏设备事故的防范 | 147 |
| 第十六章 | 电气隔离和四极开关的应用 | 150 |
| 第一节 | 三根相线断电后中性线带电压的原因 | 151 |
| 第二节 | 中性线上增加开关易招致“断零”烧设备的危险 .. | 152 |

| | | |
|-------------|-------------------------|------------|
| 第三节 | 单电源不同类型接地系统对开关极数的不同要求 | 153 |
| 第四节 | 配电变电所内一般不需装用四极开关 | 155 |
| 第五节 | 负荷端双电源转换开关对开关极数的要求 | 156 |
| 第六节 | 对四极开关作用的一些误解 | 159 |
| 第七节 | 对隔离电器的性能要求 | 160 |
| 第十七章 | IT 系统在应急电源中的应用 | 162 |
| 第一节 | 备用电源和应急电源 | 162 |
| 第二节 | 应急电源中 IT 系统的应用 | 163 |
| 第十八章 | 隔离变压器和特低电压的应用 | 166 |
| 第一节 | 隔离变压器在防间接接触电击中的应用 | 166 |
| 第二节 | 特低电压在防间接接触电击和直接接触电压中的应用 | 168 |
| 第十九章 | RCD 的应用 | 171 |
| 第一节 | RCD 作用的有限性 | 172 |
| 第二节 | 电源扰动对 RCD 动作可靠性的影响 | 175 |
| 第三节 | RCD 应与接地或等电位联结结合应用 | 176 |
| 第四节 | 固定式设备的电源回路上不必要装用 RCD | 177 |
| 第五节 | $I_{\Delta n}$ 值的确定 | 178 |
| 第六节 | I_n 值的确定 | 179 |
| 第七节 | RCD 的接线 | 180 |
| 第八节 | RCD 极数的确定 | 182 |
| 第九节 | 电源端大额定电流 RCD 的设置 | 184 |

| | |
|---|-----|
| 第二十章 接地装置的设置 | 188 |
| 第一节 接地装置的组成 | 188 |
| 第二节 对接地装置的设置要求 | 188 |
| 第二十一章 PE线、PEN线和等电位联结线的 选用和敷设要求 | 192 |
| 第一节 PE线和PEN线的最小允许截面 | 192 |
| 第二节 通过大正常泄漏电流的PE线的提高机械强度 措施 | 195 |
| 第三节 PE线的代用体 | 196 |
| 第四节 PE线和PEN线的敷设要求 | 196 |
| 第五节 联结线截面的确定 | 197 |
| 第六节 低压电气装置工频等电位联结实施中一些 具体问题的探讨 | 199 |
| 第七节 地面等电位对地下金属部分密度的要求 | 201 |
| 第八节 中性线、PE线、PEN线和联结线的区别 | 202 |
| 第二十二章 低压电气装置的检验 | 204 |
| 第一节 目察 | 204 |
| 第二节 检测 | 206 |
| 第二十三章 特殊场所和特殊电气装置的电气安全 要求 | 218 |
| 第一节 浴室 | 219 |
| 第二节 游泳池 | 226 |
| 第三节 喷水池 | 228 |

| | | |
|------|--------------------|-----|
| 第四节 | 桑拿浴室 | 231 |
| 第五节 | 施工场地 | 233 |
| 第六节 | 农畜房屋 | 238 |
| 第七节 | 狭窄的导电场所 | 240 |
| 第八节 | 有大量信息技术设备的电气装置 | 242 |
| 第九节 | 医院 | 246 |
| 第十节 | 临时性的展览会、陈列厅和集贸市场 | 257 |
| 第十一节 | 家具 | 260 |
| 第十二节 | 户外照明装置 | 261 |
| 附录 A | 名词说明 | 264 |
| 附录 B | IP 防护等级的编码分级 | 273 |
| 附录 C | IEC 对某些外界环境影响条件的分类 | 275 |

电流通过人体时的效应

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。视电流的大小和持续时间的长短，它对人体有不同的效应。电流小时于人体无害，如用于诊断和治病的某些医疗电气设备，接触人体时，通过微量电流还对人体有益，这种电接触被称作微电接触。如通过人体的电流较大，持续时间过长，则可使人受到伤害甚至死亡，这种电接触被称作电击。电击危及人身，因此电专业人员应了解电流通过人体的效应，才能采取有效的防范措施，避免发生电击事故。

第一节 几个有关电气安全的 电流效应阈值

IEC 60479《电流通过人体时的效应》标准根据测试结果规定电压不大于1000V，频率不大于100Hz的交流电流通过人体时有以下几个主要的效应阈值：

感觉阈值——人体能感觉出的最小电流值，一般为0.5mA，此值与电流通过的持续时间长短无关。

摆脱阈值——当人用手持握带电导体时，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，从而使电流得以持续通过人体。导致此效应的最小电流称作摆脱阈值，此值因人而异，IEC 取其平均值为 10mA。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。人体其他部位接触带电导体时可瞬即摆脱带电导体，不存在电击致死的危险，但可能引起二次伤害，例如因电击自高处坠地而招致伤亡。

心室纤维性颤动阈值——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，引起心室纤维性颤动的最小电流，称为心室纤维性颤动阈值（以下简称心室纤颤）。此阈值与通电时间长短有关，也与人体条件、心脏功能状况、电流在人体内通过的路径等有关，但与人的性别、肤色、种族无关。IEC 60479 标准测试得出的导致心室纤颤的 15~100Hz 交流电流 I_b 与通电时间 t 的关系曲线如图 1-1 曲线 c 所示。

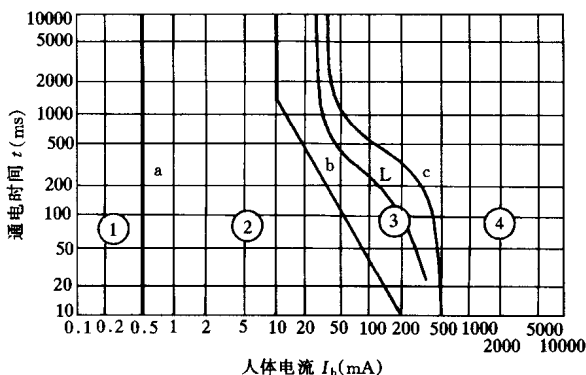
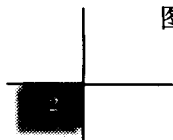


图 1-1 交流电流通过人体时的效应

图中各区域的含义：



①区一直线 a 左侧的区域，通常无感觉；

②区一直线 a 与折线 b 之间的区域，有电的感觉，但无病理反应；

③区一折线 b 至曲线 c 之间的区域，通常无器官损伤，可能出现肌肉收缩、呼吸困难、心房纤颤、无心室纤颤的短暂心脏停跳，此等病理反应随电流和时间的增大而加剧；

④区一曲线 c 右侧的区域，除出现③区的病理反应外，还出现导致死亡的心室纤颤以及心脏停跳、呼吸停止、严重烧伤等反应，它随电流和时间的增大而加剧。

从图 1-1 可知，如电击电流和其持续时间在④区内，人体就有死亡危险。但在制定电气安全措施时，尚需为其他一些外界影响条件留出一些裕量，通常以③区内离曲线 c 一段距离的曲线 L 作为人体是否安全的界限，如图 1-1 所示。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度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。

第二节 不同潮湿环境条件下的 不同接触电压限值

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 L1 和 L2，如图 1-2 所示。应该说明，图 1-2 曲线 L1 和 L2 非自图 1-1 曲线 L 按欧姆定理推算求得，因人体阻抗是随接触电压的增大而减小的，故此曲线也系测试求得。还需说明，在防电击的计算

中求出的是预期接触电压 U_i ，对于从手到足的电击电流通路而言，它是施加于人体、鞋袜、地面等阻抗之和上的电压，故人体实际接触电压常小于预期接触电压 U_i 。但在诸如赤足和导电地面之类的情况下，鞋袜和地面电阻可不计，这时实际接触电压即为预期接触电压，故预期接触电压为最大的接触电压。为确保电气安全和简化计算，在实际应用中接触电压都采用预期接触电压 U_i 。

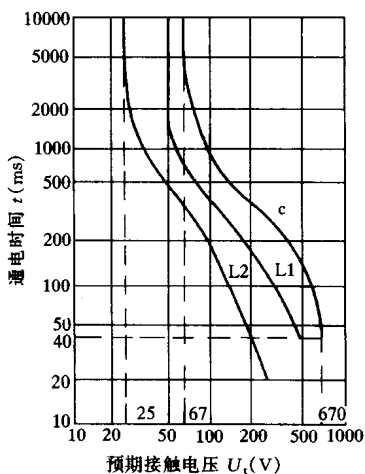


图 1-2 干燥和潮湿条件下预期接触电压 U_i 和允许最大持续时间 t 的关系曲线

据此 IEC 将潮湿环境条件下的 U_L 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 规定仅为 12V 或 6V。

需要注意，尽管不同潮湿环境条件下的接触电压限值各

由图 1-2 可知，在干燥条件下当 U_i 不大于 50V 时，人体接触此电压不致发生心室纤颤，所以在干燥环境条件下将预期接触电压限值 U_L 取为 50V。据此，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，例如在施工场地、农场等处，由于人体皮肤阻抗降低，大于 25V 的 U_i 即可导致引起心室纤颤的 30mA 以上的接触电流 I_b ，