

932447

凌 智 敏

# 漏电开关

## 及其应用



水利电力出版社



# 漏电开关及其应用

凌 智 敏

水利电力出版社

**漏电开关及其应用**

**凌智敏**

\*

**水利电力出版社出版、发行**

(北京三里河路6号)

**各地新华书店经售**

**水利电力出版社印刷厂印刷**

\*

**787×1092毫米 32开本 6.25印张 136千字**

**1991年7月第一版 1991年7月北京第一次印刷**

**印数0001—5360册**

**ISBN 7-120-01334-3/TM·375**

**定价3.90元**

## 前 言

随着电气化步伐加快，各类电气设备得到广泛的应用，电气安全问题愈来愈被人们重视，采用漏电开关（俗称漏电保护器、漏电断路器）是目前常用的重要安全措施之一。

漏电开关是一种新发展起来的保护电器，它不仅可用来防止人身触电事故，还可以避免因电气设备漏电造成的火灾危险。国外早在20年代就开始对其进行研制，经过30多年的摸索、研究和实践，直到60年代才走上实用化的道路。实践证明，漏电开关是世界上60年代以来，在低压电器方面取得明显技术突破的一个领域。由于漏电开关在安全用电方面已取得了明显实效，世界各国都在加速发展，并制订了有关规程及法令，对其应用也做了强制性规定。

我国对漏电开关的研制起步较晚，而生产出符合IEC有关标准的产品是在70年代末。为了提高安全用电水平，防止触电及电气火灾事故，在我国加速发展漏电开关具有十分重要的意义。

以往，为了防止触电，通常采用保护接地或保护接零系统，即TT或TN系统。这类系统有何不安全因素及缺陷？漏电开关的基本原理是什么？它的发展过程是怎样的？它与TT及TN系统有何关系？它的接线有何特点；是如何用于各类电气工程？在使用与维护中应注意什么？国内有哪些产品可供工程实际使用等等，都可在本书中找到详尽的叙述。

笔者期望通过本书，为进一步提高我国的安全用电水平作出努力，并希望电气工程设计人员及电气工作者在正确掌

7A1207/68

握及合理选用安全用电措施时能避免失误有所帮助。

本书参阅了国内外有关文献，并收集工程实例进行编写。在写作过程中承蒙王厚余、章长东两位高级工程师指导和帮助，并由王厚余同志进行全书审稿，特此表示感谢。

周福瑞高级工程师对本书的撰写给予了极大的关注和帮助，他英年早逝，未能见到本书的出版，实为憾事。现谨以本书奉献给他，以寄托我无限的哀思和无法言喻的怀念。

敬请读者对书中缺点错误予以批评指正。

凌智敏

1990年9月

## 内 容 提 要

本书从工程实际出发,针对我国现有的低压电网保护措施不足乃至缺陷,分8章叙述了漏电开关的选用和设置场所,漏电开关在 $TT$ 系统(保护接地系统)、 $TN$ 系统(保护接零系统)中的应用,工程设计与应用,漏电开关的安装与维护以及国内有关产品介绍。

本书是一本实用性强、内容通俗易懂、资料丰富的科技读物。可供从事电气工程设计、安装与运行管理的技术人员及从事电气安全工作的技术人员参考。

# 目 录

## 前言

## 第一章 概 述

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 1-1 提高安全用电水平迫在眉睫 .....    | 1  |
| 1-2 电气灾害——触电事故及电气火灾 ..... | 3  |
| 1-3 电流是危及人体生命的直接因素 .....  | 9  |
| 1-4 人体电阻与安全电压 .....       | 18 |
| 1-5 低压配电系统的接地方式 .....     | 27 |
| 1-6 低压配电系统的防触电措施 .....    | 31 |
| 1-7 TT系统的特点及存在的问题 .....   | 34 |
| 1-8 TN系统的特点及存在的问题 .....   | 38 |

## 第二章 漏电保护方式——电流型漏电开关

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 2-1 1928年提出漏电保护专利 .....                | 46 |
| 2-2 漏电开关的发展及应用简况 .....                 | 52 |
| 2-3 名称、标准与规程 .....                     | 55 |
| 2-4 国家标准《漏电电流动作保护电器》GB6829—86 简介 ..... | 62 |

## 第三章 漏电开关的选用和设置场所

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 3-1 漏电开关的分类 .....        | 65 |
| 3-2 电磁式与电子式漏电开关的比较 ..... | 69 |
| 3-3 漏电开关的选用 .....        | 70 |
| 3-4 漏电开关的设置场所 .....      | 77 |
| 3-5 漏电开关的接线法则 .....      | 79 |

## 第四章 漏电开关在TT系统中的应用

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 4-1 接地仍是最基本的安全用电措施 .....  | 81 |
| 4-2 建筑物与接地系统 .....        | 83 |
| 4-3 漏电开关在TT系统中的典型接线 ..... | 94 |

## 第五章 漏电开关在TN系统中的应用

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 5-1 TN系统宜装设漏电开关 .....     | 98  |
| 5-2 N线、PE线和PEN线 .....     | 102 |
| 5-3 重复接地 .....            | 105 |
| 5-4 漏电开关在TN系统中的典型接线 ..... | 112 |

## 第六章 工程设计与应用

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 6-1 触电伤亡实例 .....  | 121 |
| 6-2 工程设计与应用 ..... | 126 |

## 第七章 漏电开关的安装、维护与检查

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 7-1 漏电开关的安装 .....     | 150 |
| 7-2 漏电开关维护与检查 .....   | 151 |
| 7-3 漏电开关动作的原因分析 ..... | 155 |

## 第八章 国产漏电开关

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| 8-1 我国漏电开关的发展概况 .....                    | 159 |
| 8-2 集成电路电子式漏电开关 .....                    | 171 |
| 8-3 纯电磁式漏电开关 .....                       | 179 |
| 8-4 具有防止相线零线错接功能的JDLK-DA系列漏电<br>开关 ..... | 182 |
| 8-5 国内独具脉动直流动作特性的DZL24-20型漏电开关 .....     | 185 |
| 附表 部分国产漏电开关产品性能介绍 .....                  | 188 |

# 第一章 概 述

## 1-1 提高安全用电水平迫在眉睫

电作为能源，得到了广泛的应用。电气化给人类带来了巨大的物质文明。

然而，电不仅是“祸”之源，而且使用不当也是“祸”之根。

随着用电设备的增加和普及，人们触电的可能性与日俱增。因电气设备使用不当或线路漏电造成的电气火灾，时有发生。因此，提高安全用电水平，减少以至杜绝电气灾害的发生，已十分迫切和重要。

通常，安全用电是衡量一个国家用电水平高低的重要标志之一，世界各国是以用电量和发生人身触电死亡事故数的相对比值来衡量安全用电水平的高低。目前，用电水平较高的国家每耗电20亿kW·h，触电死亡1人，安全用电水平较低的国家，每耗电1亿kW·h，触电死亡1人。而我国的安全用电水平还要低一些，如1987年全国平均每耗电1亿kW·h，触电死亡3人。

按用电人口统计，安全用电水平较高的国家，每百万用电人口每年触电死亡人数约为0.5~1人，我国每年触电死亡人数大大超过这个数字，据不完全统计，每年有数千人死于触电事故，要改变这一落后状态，尚需进行长期的努力。

据有关资料介绍，触电伤亡事故大部分发生在380/220V低压电网中，从北京、天津等地的统计资料知道，城市和工业触电死亡事故发生在6kV及以上高压系统的约占事故总数

的30%，发生在380/220V低压电网的为70%，而发生在农村380/220V低压电网触电死亡事故的比例则高达80%以上，见表1-1。

表 1-1 我国农村高、低压触电死亡人数比例

| 年 份  | 死 亡 人 数 比 例 (%) |            |
|------|-----------------|------------|
|      | 6kV及以上电网        | 380/220V电网 |
| 1974 | 9.2             | 90.8       |
| 1978 | 12.5            | 87.5       |
| 1981 | 17.8            | 82.2       |

低压触电死亡人数多的原因可以理解为：因用电的人绝大部分不会去接触高压电气设备，而在工作、生活中所接触的或者操作频繁的则是低压电气设备，因此低压触电的可能性大。

此外，由于漏电和接地故障所造成的电气火灾事故，也十分严重。如上海市在1976~1980年的5年中，发生电气火灾1157起，死亡26人，伤139人，而且电气火灾事故在全市火灾事故中所占的比例逐年上升，平均每年递增3%。

为了防止上述电气灾害的发生，从根本上来说，应从改进设备的构造入手，按照有关规范、技术标准进行设计，其次正确使用与维护用电设备。但在实际工作中很难完全做到，特别在家用电器迅速普及的今天，家庭用电涉及千家万户，使用者为多缺乏安全用电知识的人们，仅靠上述措施仍难以杜绝电气灾害的发生。因此，在用途极为广泛的低压配电系统中，实施各种防触电及漏电措施，以提高安全用电水平十分必要。

## 1-2 电气灾害——触电事故及电气火灾

### 一、触电概念

一说到电气灾害，人们首先想到的就是“触电”。

何谓“触电”呢？

最为直观的解释是指人触摸了“电”。

从根本上说，触电应是指电流流过人体时所发生的生理作用。这种生理作用随着通过人体电流的大小、电流路径以及通电时间长短不同而有所变化。

流过人体的电流在安培级和毫安级之间变化时，人体生理作用变化的差异也很大，或者说触电人的感受各不相同。

表1-2示出了在不考虑通电时间的情况下，电流持续流

表 1-2 人触电时的生理反应

| 触电电流类别 | 触电人体的生理反应                              | 电 流 大 小<br>(工频，有效值) |
|--------|----------------------------------------|---------------------|
| 最小感知电流 | 人感受到触电的刺激                              | 1~2mA               |
| 痛苦电流   | 感觉痛苦，但仍能自我克制                           | 2~8mA               |
| 自由电流   | 这是触电的人体靠本身的力量能安全摆脱的最大允许电流，它让人感到难以忍受的痛苦 | 8~15mA              |
| 不自由电流  | 人受到电击，靠本身的力量不能脱离电源，这时，人的肌肉剧烈地收缩        | 15~50mA             |
| 心室颤动电流 | 这种电流通过人体，会使人体心脏停止跳动，即使脱离电源，人在数分钟内也可能死亡 | 50~100mA            |

过人体时，人体生理作用的不同反应。

在日常生活中，有的人一说到“触电”，大有“谈虎色变”之举，而另一些人自特有过一、二次触电的经验，又因这些触电未构成伤亡事故，从而低估了触电的危险性。其实因种种因素的组合，即使某一次触电事故未导致死亡，但在相同条件下的另一次触电，就不见得能够幸免遇难。

## 二、触电事故的特点

为了防止触电事故的发生，有必要了解及认识触电事故的特点。

触电事故不同于一般的伤亡事故，它有如下特点。

(1) 在生活中，电是既看不见、嗅不着、更听不到的。因此，人在触电之前是感觉不到电的。

(2) 毫安级的小电流也会导致人体触电伤亡。

不论是成人或小孩，几乎每天都会或多或少地接触到各类电气设备或家用电器，虽说这些电气回路流过的电流仅为百分之几或千分之几安培，然而一旦该电气回路损坏漏电，就会使接触它的人致残、致死。可以说，人是一种对电非常敏感的动物。

(3) 人体触电时，电流流过人体内的哪一部分，从外观上是看不出来的，但电流流通过程对触电人的伤亡程度起很大的作用。一般认为当电流流过人体的心脏和肺部时，造成的危险最大。

(4) 触电是发生在一瞬间的事，往往猝不及防。所以，为了防止触电造成的严重后果，电源开关必须在触电的 $0.01\sim 1s$ 的时间内切断电路，使人从触电的危险里摆脱出来。

(5) 即使触电造成的危害不致丧命，但若随之以诸如人体坠落等二次灾害事故，其后果就不堪设想。

(6) 因触电引起的死亡几率高于其它事故引起的死亡率。

我国尚无此方面的记载及比较资料，以下是日本公布的数据。

1976~1980年日本因触电造成死亡的人数占触电死伤人总数的22.2%，而交通事故死亡率为1.1%，工伤事故死亡率为0.9%。

(7) 触电事故中，低压触电事故占70%~80%，且多集中在7、8、9三个月间发生。据不完全统计，7、8、9三个月发生的触电死亡事故数约为全年发生的触电死亡数的60%左右。这是因为7~9月份气候高温多湿，人的肌肉裸露在外的部分较其它月份多些，并且人因出汗较多，皮肤潮湿，人体电阻也较小的缘故。

在农村，7~9月份正是农村用电高峰季节，临时用电设备较多，临时架设线路亦多，而且人们忙于生产，只顾用电，往往忽视安全用电，因此触电事故必然增加。据北京供电局统计资料，1985年7~9月份北京地区农村发生的触电死亡事故占全年的81%。

(8) 电气设备正常运行时，由于其金属外壳带电位，人触及后亦会发生触电事故。

建国后，我国许多城镇均采用三相四线制保护接零措施，即TN-C系统<sup>●</sup>。这时，用电设备外壳与兼具中性线和保护线功能的导体（即PEN线）相连。正常运行时，由于不平衡负荷电流及三次谐波电流，使得PEN线正常工作时也带电位。因此在正常运行时，用电设备的金属外壳电位不

---

● TN-C系统见本章1-5节中说明。

为零，而且距电源端愈远，电位愈高，往往可高达几十伏，这时人一旦触及，无疑也会发生触电事故。

### 三、触电事故的分类

触电事故可分为直接接触触电事故和间接接触触电事故两类。

直接接触触电事故是指直接接触到电气设备正常带电部分的触电事故。当人体直接碰触用电设备的其中一相时，电流经人体流入大地，这种直接触电称为单相触电。人体同时接触带电设备或线路中的两相导体，电流从一相导体通过人体流入另一相导体，这种直接触电称为两相触电。显然两相触电最为危险，在低压电网中，人体接触的电压为380V，两相触电时流入人体的电流达200mA以上，这样大的电流通过人体时间不足0.2s就会致人死亡。

与直接接触触电事故相对应的是间接接触触电事故。它是指电气设备及线路绝缘降低或绝缘破损、老化时，其内部带电部分会向不带电的金属部分“漏电”，当人接触到在正常情况下不带电，仅在事故情况才会带电的设备金属外壳时所发生的触电事故。由此可知，如果电气设备绝缘正常，是不会发生这种事故的。

从近年来的触电死亡事故统计数据来看，在家用电器使用日趋增多的情况下，间接触电事故所占比例正在上升。导致间接触电的原因见图1-1。

日本劳动省产业安全研究所提供了昭和43年到昭和53年（即1968~1978年）10年间日本的触电死亡事故统计的图表资料（见图1-2），在同一图上还同时给出了该10年内日本漏电开关生产的台数。可以明显看出，触电死亡事故的减少与强制性装设漏电开关的状况有关。

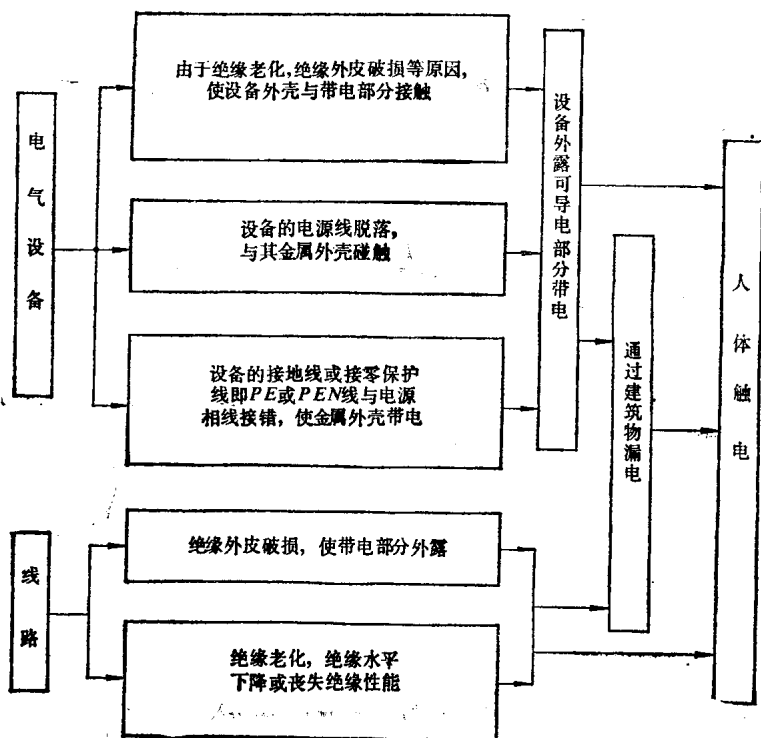


图 1-1 导致间接触电的原因

#### 四、电气灾害的另一种形式——电气火灾

电能通过电气设备及线路作为火源而引起的火灾，总称电气火灾。这是一种给人民生命财产带来极大威胁和损失的电气灾害，它的危害性并不亚于触电灾害。

近年来,我国火灾发生率有上升的趋势。1986年全国火灾次数达38764次,死亡人数共2685人,经济损失计3.24亿元。在不同的火灾起因中,电气火灾占15%。因此,重视安

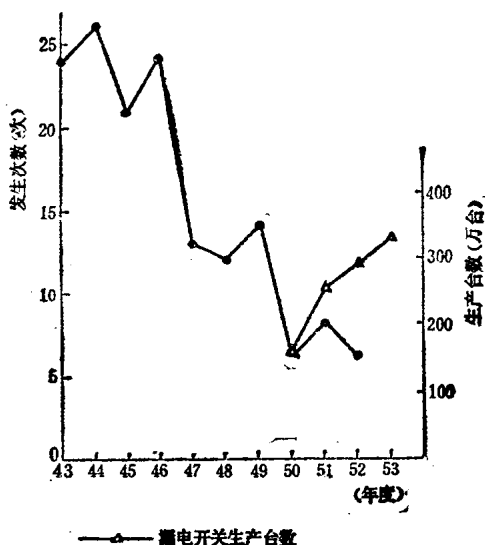


图 1-2 触电死亡事故次数和漏电开关产量的逐年变化 (日本)

全用电，加强电气设备管理，消除电气火灾隐患对保障四化建设，安定人民生活具有极为重要的意义。

电气设备和电力线路过载是造成电气火灾的常见原因。常用的电气设备有电热、电动机、开关及连接设备等。电热设备引起火灾，是因其辐射过量的热，并引燃可燃物质所致。电动机设备过载，或发生短路，或绝缘降低，均会产生大量的热而引起火灾。至于开关及连接设备往往由于在开闭电路时产生火花，引起发热，导体安装螺丝松弛打火产生高温，以及过负荷等原因而导致火灾发生。

电力线路通常采用铜芯和铝芯电线，它们的熔点各为 $1083^{\circ}\text{C}$ 及 $668^{\circ}\text{C}$ ，而电线外皮绝缘材料的熔点远低于铜、铝

线材的熔点。当采用聚氯乙烯塑料（即俗称的PVC）为电线外皮绝缘材料时，其熔化点仅为120℃。如果线路过载超过其允许值时，会使绝缘外皮熔化，导致芯线间的短路，产生电弧，形成高温引起火灾。即使线路过载，其温度虽不足以使绝缘熔化，但也会因线路长期过热而使绝缘老化，降低绝缘性能，最终也能发展成为短路事故，导致火灾的发生。

电气设备绝缘被破坏，或电力线路遭钉子等碰打造成绝缘外皮损伤时，在某些情况下也会酿成漏电火灾。

引起漏电火灾的原因，是接地故障电流。如果能早期检测出接地故障，在火灾形成之前，自动地或人为地切断接地故障电流是十分必要的。

工业发达的国家多用漏电开关（漏电断路器）来防止漏电火灾。考虑到对其它设备的影响，发生接地故障时不一定要切断电源，通常是采用漏电火灾警报器，对可能发生的火灾危险进行报警。

### 1-3 电流是危及人体生命的直接因素

#### 一、电流是危及人体生命的直接因素

为了解触电时，电流对人体的作用与影响，有必要知道人体心脏功能。

心脏是存在于体内，且为我们终生工作的奇妙的泵。简单地说，心脏的功能是维持人体的血液循环。

人的心脏所起的作用，恰似一台与双回路相通、周而复始地工作的循环泵。其中一条回路与肺相连，通过肺使血液得到充分的氧气。另一条回路与人的器官系统相通，将含有丰富氧气的血液输送到各器官。