

电气安全工程学



北京经济学院劳动保护系编

应用出现的漏电保护装置，又为防止触电事故及其他事故提供了新的途径。另一方面是随着新技术的应用出现了一些新的电气安全问题。例如，电磁场安全问题、静电安全问题都是随着某些新技术的广泛应用而提到日程上来的。正因为电气安全工程是一门处在发展之中的学科，所以，有些内容至今还不够成熟，还有待今后实践、研究和总结。

不论是流电还是静电，不论是交流电还是直流电，不论是高压还是低压，不论是强电还是弱电，不论是工业用电还是农业用电，不论是大企业还是小企业，也不论是生产用电还是生活用电，都会遇到电气安全问题。这就是说，电气的对象不是单一的对象，加之在一些不用电的场合也有电气安全问题，还要考虑用电气作为手段解决其他安全问题，从而导致了电气安全工程的庞杂性和综合性。使得这门学科同很多学术领域，包括技术管理在内都有很密切的关系。

本书分为五篇：第一篇是电气安全管理篇，包括第一章到第四章，主要介绍电气安全管理措施和其他共同性的问题；第二篇是电气安全技术篇，包括第五章到第十二章，主要介绍通用的电气安全技术方法；第三篇是电气设备安全运行篇，包括第十三章到第十七章，主要介绍与人身安全关系密切的设备安全问题；第四篇是特殊防护技术篇，包括第十八章到二十一章，主要介绍电磁场、雷电、静电、电气火灾和爆炸等安全问题；第五篇是电气安全装置篇，包括第二十二章和第二十三章，主要介绍防止触电的及其他用途的安全装置。

本书用作北京经济学院劳动保护系安全技术专业电气安全课程的专业教材，并可供从事电气工作的技术人员、工人、技术管理人员和安全工作人员参考之用。

本书第一篇由杨有启等同志编写，第二篇和第三篇由杨有启、蒋世秀编写，第四篇和第五篇由杨有启编写。由于编者水平不高、收集资料有限，书中错误和不当之处一定很多，亟盼读者批评指正。

编 者

1980年12月

01829 125

TM92
11
3

目 录

第一篇 电气安全管理

第一章 电气事故统计和分析	(1)
1 电气事故的种类	(1)
2 触电事故统计和调查	(2)
3 触电事故分析	(3)
4 触电事故的规律	(6)
5 电气设备上触电事故的分析	(7)
第二章 电气安全措施	(8)
1 通用技术措施和组织措施	(8)
1-1 通用技术措施	(8)
1-2 通用组织措施	(9)
2 电气安全工作的基本要求	(11)
2-1 电气值班工作	(11)
2-2 电气设备的巡视	(12)
2-3 电气设备的倒闸操作	(12)
2-4 高压设备上工作的安全措施分类	(13)
3 保证安全的组织措施	(13)
3-1 工作票制度	(14)
3-2 工作许可制度	(15)
3-3 工作监护制度	(16)
3-4 工作间断、转移和终结制度	(16)
4 保证安全的技术措施	(17)
4-1 停 电	(17)
4-2 验 电	(18)
4-3 装设接地线	(18)
4-4 悬挂标示牌和装设遮栏	(18)
5 带电作业	(19)
5-1 用绝缘操作杆工作	(19)
5-2 等电位工作	(20)
5-3 带电水冲洗	(21)
5-4 低压带电工作	(22)



A 826481

6 各类电气设备上的安全工作	(22)
6-1 高压电动机	(22)
6-2 低压配电装置	(22)
6-3 二次回路	(23)
6-4 电气试验	(23)
6-5 电力电缆	(25)
6-6 配电变压器	(25)
6-7 架空线路	(25)
第三章 电流对人体的作用	(26)
1 触电事故种类	(26)
2 电流对人体的作用	(27)
3 安全电压	(33)
第四章 触电急救	(35)
1 脱离电源	(35)
2 现场急救方法	(36)
3 急救用药要求	(38)

第二篇 电气安全技术

第五章 绝 缘	(39)
1 绝缘的破坏	(39)
2 绝缘指标和测定	(39)
2-1 指标和测定	(39)
2-2 耐压试验	(42)
2-3 泄漏电流测定	(44)
2-4 介质损失角测定	(45)
第六章 屏护和间距	(47)
1 屏 护	(47)
2 间 距	(48)
2-1 线路安全距离	(48)
2-2 变配电设备安全距离	(54)
2-3 用电设备安全距离	(55)
2-4 检修安全距离	(55)
第七章 电网安全性分析	(56)
1 电网分类及电网对地运行情况	(56)
2 不接地电网	(57)
2-1 简单不接地电网	(57)
2-2 三相不接地电网	(61)
3 接地电网	(64)

3-1 简单接地电网	(64)
3-2 三相接地电网	(66)
4 接地电网和不接地电网的比较	(68)
第八章 接 地	(69)
1 接地的基本概念	(69)
2 保护接地原理和应用范围	(72)
2-1 保护接地原理	(72)
2-2 保护接地应用范围	(74)
3 接地电阻的确定	(75)
3-1 低压电气设备的保护接地电阻	(75)
3-2 高压电气设备的保护接地电阻	(75)
3-3 发电厂和变电所的接地电阻	(75)
3-4 电力线路的接地电阻	(76)
3-5 高土壤电阻率地区的接地电阻	(77)
4 绝缘监视	(81)
5 高压窜入低压的防护	(82)
第九章 保护接零	(83)
1 保护接零原理和应用范围	(83)
2 工作接地	(85)
3 重复接地	(86)
4 接零线路的要求	(91)
5 保护接零与保护接地的配合	(91)
第十章 接地和接零计算	(92)
1 接地电阻计算	(92)
1-1 土壤电阻率	(92)
1-2 人工接地体的流散电阻	(94)
1-3 自然接地体的流散电阻	(100)
2 保护接零计算	(101)
2-1 单相短路电流	(102)
2-2 保护装置动作电流的确定	(108)
2-3 接零线路允许长度	(112)
第十一章 接地、接零装置及其测量	(114)
1 自然接地体和人工接地体	(114)
2 接地线和接零线	(115)
3 接地、接零装置的安全要求	(116)
4 接地电阻测量	(119)
5 相零回路测量	(122)
第十二章 电工安全用具	(124)
1 绝缘安全用具	(125)

2 携带式电压和电流指示器	(126)
3 登高作业安全用具	(127)
4 临时接地线、遮栏和标示牌	(129)
5 安全用具的使用和试验	(130)

第三篇 电气设备安全运行

第十三章 配电装置安全要求	(133)
1 变压器	(134)
1-1 变压器的结构和主要附件	(134)
1-2 变压器的安全要求	(137)
2 高压开关	(138)
2-1 油开关	(138)
2-2 隔离开关	(139)
2-3 负荷开关	(140)
2-4 跌落式保险器	(140)
3 互感器	(141)
3-1 电压互感器	(141)
3-2 电流互感器	(142)
4 电力电容器	(143)
5 配电装置	(144)
第十四章 电气线路的安全要求	(145)
1 架空线路	(145)
2 电缆	(147)
3 车间配线	(147)
第十五章 用电设备的安全要求	(149)
1 工作环境对电气设备的要求	(149)
2 电动机	(150)
3 保护电器	(152)
3-1 熔断器	(152)
3-2 热继电器	(153)
3-3 电磁式继电器	(154)
4 开关电器	(156)
4-1 闸刀开关	(156)
4-2 自动开关	(158)
4-3 减压启动器	(159)
4-4 插座	(160)
4-5 转换开关	(161)
4-6 变阻器	(161)

4-7 控制器	(126)
4-8 磁力启动器	(163)
第十六章 单相设备安全运行	(164)
1 单相设备的特点	(164)
2 单相设备配电	(164)
3 照明设备安全运行	(166)
4 携带式设备安全运行	(167)
第十七章 专用电气设备安全要求	(169)
1 电热设备	(169)
1-1 电焊	(169)
1-2 电炉	(171)
2 电化学设备	(173)
3 起重机电气设备	(173)
3-1 主要电气设备及其安全要求	(174)
3-2 保护电器及保护方式	(176)
3-3 起重机电气线路及安全要求	(178)
3-4 电气故障分析和处理	(182)

第四篇 特殊防护技术

第十八章 电磁场安全	(186)
1 高频技术的应用和分类	(186)
1-1 高频技术的应用	(186)
1-2 高频电磁场分类	(187)
2 电磁场理论基础	(188)
2-1 电磁场的物理概念	(188)
2-2 电磁场的基本关系	(190)
2-3 电磁场传播	(191)
2-4 电磁场能量	(195)
3 电磁场对人体的作用	(196)
3-1 电磁场对人体的伤害	(196)
3-2 影响伤害程度的因素	(197)
3-3 电磁场安全标准参考值	(197)
4 电磁场防护措施	(198)
4-1 电场屏蔽和磁场屏蔽原理	(198)
4-2 屏蔽体	(200)
4-3 高频接地	(201)
第十九章 电气防火和防爆	(201)
1 燃烧和爆炸	(202)

1-1	燃烧过程	(202)
1-2	爆炸过程	(204)
1-3	爆炸温度和压力	(205)
1-4	危险物品种类	(207)
1-5	危险物品的性能参数	(208)
1-6	危险场所分类	(216)
2	电气火灾和爆炸的原因	(218)
2-1	危险温度	(218)
2-2	电火花和电弧	(220)
3	防火防爆措施	(221)
3-1	选用电气设备	(221)
3-2	保持防火间距	(226)
3-3	保持电气设备正常运行	(227)
3-4	通风	(230)
3-5	接地	(231)
3-6	其他防火防爆措施	(231)
4	电气灭火常识	(232)
4-1	触电危险和断电	(232)
4-2	带电灭火安全要求	(232)
4-3	充油设备灭火要求	(234)
第二十章	防雷	(234)
1	概述	(234)
1-1	雷电形成及种类	(234)
1-2	雷电参数及测量	(235)
1-3	雷电的危害	(239)
1-4	建筑物和构筑物分类	(239)
2	防雷装置	(240)
2-1	接闪器	(241)
2-2	避雷器	(245)
2-3	放电记录器	(249)
2-4	引下线	(250)
2-5	接地装置	(251)
2-6	电离防雷装置	(253)
2-7	防雷装置检查	(253)
3	防雷措施	(254)
3-1	直击雷防护措施	(254)
3-2	雷电感应防护措施	(257)
3-3	雷电侵入波防护措施	(257)
第二十一章	静电安全	(262)

1 静电的产生	(262)
1-1 接触电位差和双电荷层	(262)
1-2 固体起电	(263)
1-3 粉体起电	(264)
1-4 液体起电	(265)
1-5 蒸汽和气体起电	(269)
1-6 容易产生和积累静电的工艺过程	(269)
2 静电的消失	(269)
2-1 静电中和	(270)
2-2 静电泄漏	(271)
3 静电的特点	(276)
3-1 静电电压高	(276)
3-2 静电能量不大	(277)
3-3 绝缘体上静电泄漏很慢	(277)
3-4 静电感应	(277)
3-5 尖端放电	(278)
3-6 静电屏蔽	(278)
4 静电的危害	(279)
4-1 爆炸和火灾	(279)
4-2 电击	(279)
4-3 妨碍生产	(280)
5 静电安全防护	(281)
5-1 接地	(281)
5-2 增湿	(283)
5-3 抗静电剂	(283)
5-4 静电中和器	(284)
5-5 工艺控制	(289)
6 静电测量	(291)
6-1 静电电压的测量	(291)
6-2 静电电量的测量	(296)
6-3 静电泄漏电流的测量	(297)
6-4 静电放电电量的测量	(298)
6-5 时间常数的测量	(299)
6-6 电阻和电阻率的测量	(299)
6-7 电容和介电常数的测量	(301)

第五篇 电气安全装置

第二十二章 漏电保护装置	(303)
--------------------	-------

1 漏电保护装置的原理、分类和参数选择	(303)
2 电压型漏电保护装置	(306)
3 零序电流型漏电保护装置	(306)
4 泄漏电流型漏电保护装置	(312)
5 中性线接地保护装置	(313)
第二十三章 联锁装置和信号装置	(314)
1 防止触电事故的联锁装置	(314)
2 排除电路故障的联锁装置	(315)
3 执行安全程序的联锁装置	(318)
4 防止非电事故的联锁装置	(320)
5 信号和报警装置	(322)

第一篇 电气安全管理

电气安全工作是一项综合性的工作，有工程技术的一面，也有组织管理的一面。工程技术和组织管理相辅相成，有着十分密切的联系。电气安全管理的内容很多，而且部门不同管理方式也不同，不能一一介绍。本篇仅就电气事故统计和分析、各种有代表性的电气安全措施、电流对人体的作用和触电急救等几方面带有共同性质的内容予以介绍。

第一章 电气事故统计和分析

弄清有哪些种类的电气事故，科学地分析电气事故，找出电气事故的规律，对于防止电气事故，做好电气安全工作，是十分重要的。由于电具有看不见、听不见、嗅不着的特点，亦即具有比较抽象的特点，以致电气事故往往带有某种程度的神秘性，使人一下子难以理解。例如，物体打击能使人受伤，甚至使人致命，但都是很容易理解的；但是，一根很细的电线能使人电击致死、静电火花能引起爆炸之类的电气事故，与前者比较起来难理解得多。正因为如此，加之电气事故在整个工伤事故中又占有相当的比例，必须认真对待和科学分析电气事故。

1 电气事故的种类

从劳动保护的角度看，电气事故主要包括电流伤害事故、电磁场伤害事故、雷电事故、静电事故和某些电路故障。

a. 电流伤害事故

电流伤害事故即触电事故，说得准确一些，应是人体触及电流所发生的事故。在高压触电事故中，往往不是人体触及带电体，而是接近带电体至一定程度时，其间击穿放电造成的。

电流通过人体内部的触电叫做电击；电流的热效应、化学效应和机械效应对人体的局部伤害叫做电伤。电伤也属于触电事故，但与电击比较起来，严重程度要低一些。

b. 电磁场伤害事故

人体在电磁场作用下、吸收辐射能量，会受到不同程度的伤害。

高频电磁场对人体的主要伤害是引起中枢神经系统功能失调，主要表现为神经衰弱症候群，如头痛、头晕、乏力、睡眠失调，记忆力减退等；高频电磁场还对心血管系统的正常工作有一定影响。电磁场对人体的伤害主要是功能性改变，一般具有可复性特征。

c. 雷电事故

雷击是一种自然灾害。雷击除可能毁坏建筑设施和伤及人、畜外，在火灾危险和爆炸危

险场所，还可能造成火灾和爆炸。电气设备应有完善的防雷措施，建筑物和构筑物也应根据具体情况采取适当的防雷措施。

d. 静电事故

静电事故是指生产过程中产生的有害静电酿成的事故。由于静电放电引起现场爆炸性混合物发生爆炸是静电最严重的危害。石油行业、化工行业、橡胶行业等行业的静电事故较多。除引起爆炸的危险外，静电还会给人一定程度的电击，还会妨碍生产。

c. 电路故障

电路故障本身属于设备事故，但有些设备事故总是和人身事故联系在一起的，例如，电线短路可能引起火灾、油开关爆炸可能伴随有重大人身事故等等，因此，某些电路故障应当属于电气安全范围所研究的电气事故。

应当指出，触电事故是电气事故的一种，但并不是唯一的电气事故；同时，触电事故又是电气事故中最为常见的一种事故，这一点也是应当予以肯定的。还有一点应当指出，即在人身事故和设备事故中，前者应当作为重点。例如，三相电动机缺一相运行是电动机被烧坏的主要原因，是常见的设备事故，但这种事故和人身安全没有太直接的联系，因此，不作为重点；而电动机漏电事故，虽然一般不会损坏设备，但对人身安全有很大的威胁，故作为研究的重点。

2 触电事故统计和调查

触电事故的统计，通常用触电伤亡人数或以每消耗亿度电触电伤亡人数来计算。由于不同国家间安全用电水平的差距，这个数字相差很大，安全用电水平高的国家每消耗20亿度电触电死亡1人，安全用电水平低的国家每消耗1亿度电就触电死亡1人，相差20倍。

在避免触电事故的全面的措施和方法中，首先应当进行的是对触电事故作一技术性的分析和统计，这一工作在科学与实际上都具有重要意义。触电事故的原始记载，不但可以使我们了解工业企业或其他用电场所实际状况下触电的情况和原因，而且使我们了解电流对于人体组织的作用，了解电气设备在设计上、构造上、装置上及使用方法上的缺点，作为我们研究触电起因的主要依据。因此，如果能将工农业上各种触电事故的情况及其详细的起因加以整理和汇编，那么对于我们寻求消灭触电事故的正确方法是有帮助的。对于有一定数量的各种类型的触电事故作深入的和全面的分析后，我们拟定的预防措施就比较切合实际。

然而，根据从事这方面工作部门的实际情况，很多触电事故报告与记载往往很不完整，这样就无法进行彻底的分析，从而使我们不能得到有实际价值的结论。因此要强调事故统计和分析对安全技术工作的重要性，要求事故报告准确、真实、详尽地反映事故经过的一切细节，而且应附有必要的简图或照片，只有这样，才有可能分析出真实原因和作出正确结论并采取有效的措施。我们在查考触电事故时，不但要仔细研究发生事故当时当地一切情况，并且应当注意报告中所叙述的事实的真实性，包括基本情况 and 所有细节。

在事故统计和分析时，对每一触电事件，包括未遂事故在内，均应仔细调查和分析，因为即使事件的结果并不严重，但这已提出了警告，在该企业的电气设备方面，存在有某种未可意料的危险和不安全因素。应当考虑到可能引起触电的任一情况，而不应祇观察表面，因为即使表面看来情况相当良好，但仔细研究之后，就可以发现设备装置或规章制度方面的漏洞，它可能发展成为很严重的程度、甚至造成触电死亡事故。

各基层企业事故发生后应当进行详细调查，调查的目的是查明事故发生的情况和原因，以及进一步采取适当措施以防止今后重复发生。调查工作应在事故发生后立即进行，在事故报告未填写完成前，对发生触电事故的现场，除了把受害人移去以外，严格禁止任何更动。事故报告的格式由劳动部门制定，对规定的项目应当写得很具体和详细，例如发生事故的时间、地点、发生事故的电气设备情况、包括事故前和事故后的设备状况、生产环境、周围空气和地面以及其他有关的辅助情况都要填写清楚。尤其要记载清楚事故发生的详细经过，包括触电者在触电前、触电时、触电后的情况，触电的部位和伤势，救护的经过等等。然后根据这些已知情况推断造成事故的具体原因或称直接原因，所违反哪些运行技术规程和安全工作规程。最后根据整个分析对事故责任和处理方法提出意见，同时提出今后防止类似事故的措施等等。

各级劳动部门应当根据事故报告，进行综合技术性的分析，把基层企业对触电事故技术分析的结果，按规定项目加以整理并计算出百分比，例如发生事故的部门、企业；发生事故的电压分类；触电者的年令、职业、工种；触电的类别即电击、灼伤、机械损伤等；造成触电的原因如违反规程、设备不良等。这些从实际中得来的统计资料，正是改进电气设备设计制造和运行管理安全问题的最好材料。

3 触电事故分析

为了做好电气安全工作，防止触电事故，必须从现场实践中取得可靠的资料。一方面是从成功的经验中总结优秀的技术方法和管理方式；另一方面是对触电事故进行认真的分析，以提供可靠的依据。本节即选择有代表性的触电事故统计资料，予以介绍和分析。

a. 国内触电事故资料和分析

国内部分省市前几年触电死亡1594人的统计资料按事故原因列入表1—1。现按事故发生次数的多少顺序排列，简单叙述如下：

表1—1 触电事故统计表 (人)

触 电 原 因	合 计	高 压	低 压	触 电 原 因	合 计	高 压	低 压
触电死亡总数	1594	199	1395	设备不合格	965	83	882
缺乏电气安全知识	1370	183	1187	维修不善	730	0	730
违反操作规程	1158	163	995	偶然因素	35	2	33

注：因为事故原因多为二个或二个以上的原因，故按原因累计的人数大于总数。

(1) 缺乏电气安全知识：高压方面有带电拉高压隔离开关，上高压电杆掏鸟巢等。低压方面有架空线折断后不停电用手去拾火线；黑夜带电接线手摸带电体；用手摸破损的胶盖刀闸；儿童在水泵电动机外壳上玩耍；玩弄带电导线等等。

(2) 违反操作规程：高压方面有带电拉隔离开关或跌落式保险器；在高低压共杆架设的线路电杆上检修低压线或广播线；在高压线路下修造房屋接触高压线；剪修高压线附近树木接触高压线等。低压方面有带电换电杆架线路；带电拉临时照明线；带电修电动工具、换行灯变压器、搬动用电设备；火线误接在电动工具外壳上；用湿手拧灯泡；竖井管碰到架空线等。

(3) 设备不合格：高压方面有高压架空线架设高度离房屋建筑距离不符合规程规定安全距离要求；高压线和附近树木距离太近；高低压交叉线路低压线误架设在高压线上面；电力线路与广播线共杆且线距太近；二线一地系统缺乏安全措施等。低压方面有用电设备进出线未包扎好，裸露在外；自制台灯、收音机漏电碰壳；矮杆架空线被拖拉机、大车撞断；人体触及缠树架设的低压线；不合格的临时线、地爬线路等等。

(4) 维修不善：大风刮断的低压线路和刮倒电杆未及时处理；胶盖刀闸胶木盖破损长期不修理；瓷瓶破裂后火线与拉线长期相碰；水泵电动机接线破损使外壳长期带电；三用扩音机漏电使广播线带220伏电压等等。

(5) 偶然因素：大风刮断电力线路落到人体等。

从以上分析可以看出，除了偶然因素构成的35人触电死亡事故外，其余1559人，即占97%以上的触电死亡事故是可以避免的。为了避免这些触电事故，应当加强电气安全的学习和教育，应当贯彻和执行安全操作规程及其他电气规程，应当采用合格的电气设备，应当经常保持电气设备安全运行，随着现代化事业的发展，还应当采用新技术、新工艺、新材料研制和生产安全性能更好的电气设备等。

上述资料中低压触电死亡的1395人按所发生线段的统计列入表1—2。

表1—2 低 压 触 电 事 故 统 计 表

线 段	人 数	百分数 (%)	线 段	人 数	百分数 (%)
合 计	1395	100	照 明	261	18.7
总 干 线	18	1.3	其他用电设备	24	1.7
分 支 线 路	713	51.1	其 他	55	4.0
动 力 设 备	324	23.2	—	—	—

触电事故发生在变压器出口的总干线的较少，而发生在分支线（包括分支线和接户线）上触电事故就得多得多，占整个触电死亡人数的一半以上。这主要是因为分支线路长，布线范围广，群众接触机会多，乱拉乱扯、风刮断线也多。其次是因为离开开关的距离较远，在检修或接线时贪图方便而带电操作，因此成为触电事故的重点线段。发生触电事故的另一重点线段是线路末端，即用电设备上，包括动力设备和照明设备以及家庭电器如收音机、扩音机、电熨斗、电烙铁等，占总触电死亡人数的40%以上。这是因为群众在使用电动机、电扇、电动喷雾器、收音机、扩音机、电熨斗、电烙铁等电气设备缺乏电气安全知识，或者触及漏电的外壳；再就是接线端、灯头、照明灯线乱拉乱接，触及裸露的带电体，造成触电事故。

国外将电击分为直接电击和间接电击。所谓直接电击是指人体直接接触及正常运行的带电体所发生的电击；所谓间接电击是指电气设备发生事故，人体触及意外带电体所发生的电击。因此，直接电击也叫正常情况下的电击；间接电击也叫故障情况下的电击。上述低压触电死亡的1395人中，属于直接电击的670人，占48%；属于间接电击的725人，占52%。具体地说，前者发生在修理线路时触及火线、触及闸刀、触及电机及其他电气设备的带电端以及触及照明灯头裸露带电部分等情况；后者发生在大风刮断架空线或接户线搭在金属物体上、电力线折断搭落在广播线上、火线和电杆拉线搭连以及电动机碰壳等情况。直接电击和间接

电击都占有相当的比例，考虑安全措施时应将两者兼顾到。

上述低压触电死亡的1395人按事故发生月份统计列入表1—3。由表可知，六至九月触电事故最集中，在这四个月的时间，触电死亡1046人占全年触电死亡人数的75%；一季度和四季度触电事故较少，这两个季度触电死亡仅167人，只占全年触电死亡人数的12%。电气安全检查工作应当安排在事故发生率高的月份之前，最好安排在春季；通过检查，消除不安全因素。

表1—3 低压触电事故按月份统计表

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
人 数	11	25	35	85	97	160	475	284	127	60	24	12

b. 国外触电事故统计和分析

国外触电事故的统计也能说明上面的结论，但因各国技术水平不同，用电条件不同，有些非主要方面略有出入。

某国家触电死亡231人按触电电压的统计列入表1—4。由表可知，低压触电事故计168人，占总人数的73%，这同我国触电事故的统计是一致的。低压触电死亡的168人中，166人死于200~250伏电压，2人死于415伏电压。该国低压配电系统为415/240伏三相制，415伏是线电压，这说明两相触电事故极少，绝大部分触电死亡事故都是单相触电造成的。

表1—4 触电事故按电压统计表

电 压	合 计	200—250伏	415 伏	6.6 千伏	19千伏	其 他
人 数	231	166	2	29	3	31

200~250伏触电死亡的166人按年龄统计列入表1—5。由表可知，20~29岁及其上、下的范围内，死亡人数最多。

表1—5 触电事故按年龄统计表

年 龄	合 计	10以下	10~19	20~29	30~39	40~49	50~59	60~69	70~79	80以上	未 知
人 数	166	14	30	30	18	21	15	14	11	5	8

上述触电死亡的231人按电流途径的统计列入表1—5。很明显，从手臂到下肢的触电

表1—5 触电事故按电流途径统计表

电 流 途 径	250 伏以上	200~250伏	合 计	百分数 (%)
合 计	65	166	231	100
手 臂 到 下 肢	48	128	176	76.2
头 部 到 身 躯 或 肢 体	7	5	12	5.2
浴 盆	0	20	20	8.7
其 他	5	7	12	5.2
未 知	5	6	11	4.7

事故最多，占全部事故的76.2%。从手臂到下肢的途径是电流经胸腔引起心室颤动使人致命的。此外，资料说明有20人死于浴盆，其主要原因是人体浸入水中，人体电阻降低，使得触电危险性大大增加；就其途径来看，也应该是通过胸腔导致死亡的。

该事故统计还说明，在低压触电事故中，电流经大地成回路的触电事故占绝大多数。

有的国外触电事故统计资料指出，由于受害者本人过失、由于其他人的过失以及由于操作方法错误所造成的触电事故占绝大多数。如某国家1298起触电死亡事故中，由上述三种原因引起的即占992起，占76%之多。

4 触电事故的规律

根据前节分析，可得出触电事故有如下规律：

(1) 触电事故季节性明显：国内外统计资料表明，一年之中二、三季事故较多，六至九月最集中。主要因为：夏秋两季天气潮湿、多雨，降低了电气设备的绝缘性能；夏秋两季人体多汗，皮肤电阻降低，易导电；夏秋两季炎热，多不穿戴工作服和绝缘护具；夏秋两季正值农忙季节，农村用电量增加，触电事故增多。

(2) 低压触电多于高压触电：国内外统计资料都表明低压触电事故远多于高压触电事故。主要因为：低压设备多，低压电网广，与人接触机会多；低压设备简陋，管理不严，思想麻痹；群众缺少电气安全知识。这就是说，应当把防止触电工作的重点放在低压方面。

(3) 农村触电事故多于城市：据部分省市统计资料表明，农村触电事故为城市的六倍。主要因为：农村用电条件差，设备简陋就简，技术水平低，管理不严，电气安全知识缺乏。

(4) 青年人和中年人触电事故多：其一方面的原因是这些人多是主要操作者，即多是接触电气设备工作的人；另一方面的原因是这些人大多数有几年的工龄，不如当初小心谨慎，且经验还不足，安全知识也比较欠缺等。

(5) 单相触电事故多：国内外统计资料表明，单相触电占触电事故的70%以上。防止触电的技术措施应着重考虑单相触电的危险。

(6) “事故点”多数发生在电气联结部位：大量统计材料表明，电气事故点多数发生在分支线、接户线、地爬线、接线端、压接头、焊接头、电线接头、电缆头、灯头、插头、插座、控制器、开闭器、接触器、熔断器等处短路、接地、闪络、漏电。

(7) 事故多数是二个以上因素构成：根据统计资料表明，90%以上的事故是由于二个以上原因引起的。构成事故的四个主要因素是：缺乏电气安全知识；违反操作规程；设备不合格；维修不善。根据统计，仅一个原因的不到8%，二个原因的35%，三个原因的38%，四个原因的20%。应当指出的是，由操作者本人过失造成的触电事故是比较多的。

(8) 触电事故与生产部门性质有关：冶金、矿业、建筑、机械等行业由于有潮湿、高温、现场混乱、移动式设备和携带式设备多、或现场金属设备多等不利因素存在，触电事故较多。

触电事故往往发生得很突然，而且往往在极短的时间内造成严重的后果，死亡率较高；但触电事故有一些规律。掌握这些规律对于安排和进行安全检查、对于考虑和实施安全技术措施、以及对于安排其他的电气安全工作有很大意义。不过，触电事故的规律也不是一成不变的东西，在一定情况下，规律也会发生一定的变化。例如。低压触电事故多于高压触电事

故这一条在一般情况下是成立的，但对于电工操作人员来说，往往有相反的情况，即高压触电事故多于低压触电事故。又如，据国外统计，由于在低压系统推广了漏电保护装置，使得低压触电事故大大降低，以至低压触电事故与高压触电事故的比例有了一定的变化。因此，应当在实践中不断分析和总结触电事故的规律，以为做好电气安全工作提供可靠的依据。

5 电气设备上触电事故的分析

根据电气设备的各种类别，从下列方法进行分析，我们可以得到电气事故发生的具体情况。

(1) 配电设备：这类触电事故主要发生在高压设备上。事故的发生大都是由于进行工作时，没有办理工作票、操作票和实行监护制度（二票一制），没有切除电压就清扫绝缘子、检查隔离开关、检查油开关并加油、安装或拆除电气设备等。安全工作规程规定：工作前停电、验电、装设接地线、悬挂标示牌和装设遮栏等。如不严格执行规程，则很难避免事故。此类事故往往是严重违反安全工作规程造成的。

(2) 架空线路：这方面的触电事故如导线折断碰到人体；人体意外接触到损伤绝缘的导线；上杆工作没有用腰带和脚扣，发生高空摔下；建筑工人在屋顶工作误触 220 伏电线；砌墙时抓住身旁电线而触电；携带金属杆架碰到有电部分；通讯线路上搭有 220 伏电力线造成电讯工人触电；吊车臂杆碰触导电部分而触电等等。在架空线发生的触电事故有各种不同情况，但是只要认真执行安全工作规程，做好安全措施，例如上杆应用安全带和脚扣、电讯工人作业前应先验电、建筑场地周围可能接触到的导线应作好临时性防护措施、线路下面不能用金属长杆、构架等等，则这方面的触电事故是可以避免的。

(3) 电缆：因为接触电缆而发生的触电事故主要是：电缆绝缘受损或击穿；在带电压下拆装迁移；电缆头发生击穿等。如果是由于电缆的绝缘被击穿而引起触电事故，只要将电缆外壳接地就可以免除。这些在安全规程里都有规定。

(4) 闸刀开关：这类触电事故主要是敞露的闸刀开关；电磁启动器没有护壳；带电修理这类设备；设备外壳没有接地等。这些缺陷的存在都是属于违反安全规程要求的。

(5) 配电盘：这类触电事故主要有：制造和结构上有缺点；屏前后有电部分容易碰触等。这主要应改进配电盘制造和设计，要能满足防潮、防尘、防火、防爆和防触电的要求。

(6) 熔断器：这类事故是由于在电压下裸手更换熔断丝、修理熔断器。针对这种情况，更换低压熔断丝时，规定要戴绝缘手套和使用绝缘钳。

(7) 照明设备：这方面触电事故往往发生在更换灯泡、修理灯头时；金属灯座意外呈现电压；挂灯装设高度不够；灯罩或护网意外带电等。防止这类事故要求在更换或修理照明设备拉开隔离开关，使用绝缘工具，注意安装质量。

(8) 携带式照明灯（行灯）：我国规定采用 36 伏和 12 伏作为行灯安全电压。使用行灯触电事故主要是违反上述规定，将 110 伏或 220 伏电压使用在行灯上，尤其是在锅炉、金属筒、横烟道、房屋钢结构、盐栈、铸造工场使用高于安全电压的行灯，发生触电事故。

(9) 电钻：这类事故主要是：电钻的外壳没有接地；插座连接上没有接地（零）触头，导线中没有专用一股接地（零）导线；接地（零）线误接在火线上；使用具有接地（零）导线的电钻工作时，误触开关有电部分等。防止这类触电事故要求电钻外壳安全接地（零）和正确接线。