

厂矿安全用电

杨明义 主编

机械工业出版社

前 言

厂矿的安全用电包括人身安全和设备安全。为确保安全用电和减少电气事故，我们组织编写了本书。

现代厂矿企业，几乎无一不是利用电能来从事生产。随着电气技术的发展，人们使用和接触电气设施的条件也日益广泛。如果不懂安全用电知识，就会遭受触电导致丧失生命的危险，同时还会因设备损坏、供电中断而使国家财产受到严重损失。

建国以来，我国工业战线的安全用电水平有了很大提高，但与工业先进国家相比，尚有很大的差距。据统计，我国每年因触电而死亡的人数，仅次于交通事故，若按用电量计算，平均为1人/0.35亿度。这个数字是相当惊人的。此外，设备事故也相当严重，诸如电动机烧毁、电容器爆炸、电缆头击穿等等，在一些厂矿企业中，更是屡见不鲜。因此提高厂矿安全用电水平，减少电气事故发生，是一项十分重要的工作。

为了防止发生电气事故，厂矿企业一般都制定了有关电气安全的规程和制度。但是，运行经验表明，即使是很有经验的人员，如果没有必要的理论知识和对设备情况的充分了解，只是机械地执行规程制度，则既不能使安全用电得到保障，更不能做到防患于未然。

目前一些介绍用电安全的书籍，其研究内容，大多以人身安全为主，设备安全为辅，所探讨的对象，又往往侧重于

农村用电，而适用于工矿企业的这一类论著并不多见。因此，全面系统地介绍有关厂矿企业的安全用电理论，是颇为必要的。

为了帮助厂矿电工人员更好地理解、掌握有关安全规程的内容和要求，并能在实践中加以应用，则正是编者所希望的。

厂矿安全用电是一个涉及多方面内容的课题。通过对各种电气事故的调查分析，用电安全与否与工程设计、设备选择、安装施工、检修试验，运行维护以及电工人员的理论水平等因素，有着极为密切的关系。其内容浩繁，难以在一本书中一一述及。为了实用，本书着重论述的是运行维护方面的内容，但对个别设备的选择以及施工安装时的注意事项，也做了简单介绍。

全书共分十二章，其内容基本上是从人身安全与设备安全两个方面论述了厂矿电气安全问题。除带有共性的如防雷、接地与接零等内容之外，其它章节都以设备分类为序，单独予以叙述。由于其中有许多问题是互相关连、互相影响的，因此，在叙述层次上就不可能将界限划得十分明确，故每章既有它的独立性，也有其连贯性。

本书在编写过程中，蒙青岛市电机工程学会和青岛市机械工程学会给予大力支持并组织了部分大中企业中有丰富经验的电气工程师对稿件进行了评议，编者深表感谢。因编者水平所限，书中难免还有缺点和错误之处，望广大读者批评指正。

参加本书编写工作的有：戚新培、余承卓、王堪、柳楠湖、杨明义等同志，全书由杨明义同志统稿。

编者 1983年8月

目 录

第一章 用电人身安全	1
第一节 触电事故的种类和特点	1
一、触电事故的种类	1
二、触电事故的特点	4
三、触电对人体的伤害	5
第二节 影响触电危险程度的因素	6
一、电流的种类和频率	7
二、电流的大小	7
三、触电时间的长短	8
四、电流通过的途径	8
五、人体电阻的高低	9
第三节 防止触电的安全措施	9
一、停电工作中的防触电措施	10
二、带电工作中的防触电措施	11
三、移动式电器具的安全使用	12
第四节 触电急救	14
一、触电后的临床表现	14
二、现场急救	15
第二章 保护接地和接零	19
第一节 几个基本概念	19
一、接地装置	19
二、电气设备上的“地”和对地电压	19
三、散流电阻与接地电阻	19
四、接触电压	20
五、跨步电压	20

六、大接地短路电流电 网	20
七、小接地短路电流电 网	20
八、工作接 地	21
九、保护接 地	21
十、保护接 零	21
第二节 接地和接零的作用	21
一、保护接地的作用	21
二、保护接零的作用	22
三、工作接地的目的	24
第三节 接地和接零的要求	25
一、哪些设备应接地和接 零	25
二、对接零装置的要求	25
三、接地电阻的规定	27
第四节 接地装置的安 装	28
一、接地体的安 装	28
二、接地线的安 装	29
三、接地装置的连 接	30
第五节 接地电阻的测 量	30
一、电流—电压表 法	31
二、接地电阻测试仪 器法	31
三、测量接地电阻时应注意的事 项	32
第六节 接地装置的运 行	32
第三章 电气设备的绝缘试 验	34
第一节 绝缘试验的基本方 法	35
一、绝缘电阻的测 量	35
二、泄漏电流的测试及直流耐压试 验	37
三、介质损失角正切的测 量	42
四、工频交流耐压试 验	46
五、绝缘油的电气试 验	48

第二节 变压器试验.....	50
一、绝缘电阻和吸收比的试验.....	50
二、泄漏电流试验.....	53
三、介质损失角正切测量.....	54
四、绝缘油试验.....	55
五、交流耐压试验.....	55
第三节 高压设备试验.....	57
一、油断路器.....	57
二、避雷器试验.....	62
三、移相电容器.....	64
四、互感器.....	65
第四节 交流电动机的试验.....	66
一、测量绝缘电阻和吸收比.....	66
二、测量直流电阻.....	67
三、交流耐压试验.....	68
第四章 防雷保护.....	69
第一节 防雷及防雷装置概述.....	69
一、雷电及大气过电压.....	69
二、避雷器.....	70
三、避雷针和避雷线.....	72
四、放电记录器.....	73
五、用避雷针、避雷线防雷.....	74
第二节 厂矿用电设备的过电压保护.....	84
一、进线保护.....	84
二、35千伏变电所的过电压保护.....	86
三、变压器中性点的保护.....	88
四、配电变压器的保护.....	89
五、3~10千伏及低压配电设备的保护.....	90
六、控制回路的保护.....	92

第五章 电气设备保护的配置与整定	97
第一节 概述	97
第二节 线路保护	98
一、熔断器保护	98
二、厂矿输配电线路的继电保护装置	102
第三节 变压器保护	107
一、变压器的熔断器保护	108
二、变压器的电流速断保护	109
三、变压器的过电流保护	111
四、变压器的差动保护	116
五、变压器的瓦斯保护	118
六、变压器的过负荷保护	120
七、主变压器保护动作后的判断和处理	121
第四节 电动机保护	124
一、3~6千伏高压电动机保护	125
二、380伏低压电动机保护	131
三、同步电动机保护	133
第五节 厂矿自备小型发电机保护	138
一、电压为0.3千伏的小型发电机保护	138
二、电压为400伏的小型发电机保护	142
第六节 小接地电流电网的接地保护	143
一、中性点不接地电网的单相接地故障	143
二、小接地电流电网的接地保护	146
三、接地故障的处理	150
第七节 二次设备的检验与运行	151
一、二次设备及回路的检验	152
二、继电保护装置及二次回路的运行维护	158
第六章 自动装置与二次回路	161
第一节 自动重合闸装置	161

一、自动重合闸的分类	162
二、电气式三相一次重合闸的动作原理	162
三、对 ZCH 的要求	164
四、ZCH 与继电保护装置的配合	165
第二节 备用电源自动投入装置	166
一、对 BZT 装置的基本要求	167
二、几种 BZT 装置的典型接线及动作原理	168
三、BZT 装置的运行注意事项	173
第三节 二次回路	174
一、断路器的控制回路	174
二、信号装置	176
三、电气测量仪表	181
第四节 电流互感器的电气特性	183
一、电流互感器的变比与极性	183
二、电流互感器的误差及减小误差的措施	184
三、电流互感器的开路运行	186
第五节 电压互感器的电气特性	187
一、电压互感器的电气特性	187
二、电压互感器的误差及减小误差的措施	188
三、电压互感器的保护	189
第六节 互感器的运行维护与事故处理	190
一、电流互感器的运行与维护	191
二、电流互感器的异常运行与事故处理	191
三、电压互感器的运行与维护	192
四、电压互感器的异常运行与事故处理	193
第七章 电气线路	195
第一节 概述	195
第二节 架空线路	197
一、架空线路的结构和敷设	198

二、架空线路的运行和维护	201
三、架空线路的测量试验	203
四、架空线路季节性事故的预防	205
第三节 电缆线路	210
一、电缆线路的结构和敷设	210
二、电缆线路的运行和维护	214
三、电缆线路的绝缘试验	217
四、电缆线路的事故预防	220
第八章 变压器	224
第一节 变压器的允许运行方式	224
一、允许温升和温度	224
二、变压器允许电压变化范围及调压	226
第二节 变压器的负荷能力	228
一、变压器的正常过负荷能力	229
二、变压器的事事故过负荷	231
第三节 变压器并联运行	232
一、变压器为什么要并联运行	232
二、变压器并联运行的条件	233
第四节 变压器运行中的维护与检查	236
一、正常检查项目	237
二、特殊检查项目	238
第五节 变压器故障的主要原因及防止	239
一、绝缘老化	240
二、绝缘油的劣化	241
三、过电压引起的故障	243
四、套管损坏	245
五、引线及绝缘故障	246
六、磁路故障	246
七、分接开关故障	247

第六节 变压器事故分析与处理	248
一、变压器内部异音	248
二、变压器保护动作	250
三、变压器油位过高或过低	253
四、变压器油枕或防爆管喷油	253
五、变压器油质变坏或油温突然升高	254
六、变压器失火	254
第九章 电动机	257
第一节 电动机的运行与维护	257
一、电动机的运行	257
二、电动机的运行监视与维护	265
第二节 电动机的主要故障与处理	268
一、三相异步电动机的故障与处理方法	268
二、同步电动机的故障与处理方法	274
三、直流电动机的故障与处理方法	275
第十章 操作电源	281
第一节 交流操作电源	281
一、全交流操作电源	281
二、交流整流操作电源	285
第二节 蓄电池直流电源	288
一、小型变配电站蓄电池直流系统典型接线及工作原理	288
二、厂矿企业大中型降压变电所的蓄电池直流系统及工作 原理	290
第三节 蓄电池组的运行与维护	292
一、蓄电池组的正常运行	292
二、蓄电池的日常检查与维护	295
三、蓄电池的故障与处理	297
四、充电及浮充电设备的运行与维护	297
第四节 硅整流电容储能装置	299

一、硅整流电容储能装置的典型接线	299
二、工作原理	299
第五节 电容储能装置的运行维护	302
一、电容器储能装置的正常运行	302
二、电容器储能装置的检查	303
三、停电时电容器的测试	303
四、电容储能装置的故障处理	304
第六节 复式整流装置	305
一、复式整流典型接线	305
二、工作原理	305
第七节 复式整流装置的运行与维护	308
一、复式整流装置的正常运行及注意事项	308
二、复式整流装置的停电检查	310
三、复式整流装置的故障处理	311
第八节 直流系统绝缘监察	311
一、绝缘监察装置的典型接线	312
二、工作原理	313
三、直流接地的故障处理及注意事项	314
第十一章 并联电容补偿装置	316
第一节 概述	316
第二节 移相电容器的补偿方式与容量选择	317
一、补偿方式	317
二、容量选择	319
三、结线方式	321
第三节 电容补偿装置的运行特性	327
一、补偿装置内的电场能	327
二、运行装置的断开	328
三、装置的投入	333
四、高次谐波对电容器运行的影响	336

五、并联电容器补偿装置对交流电机的影响	340
第四节 并联电容补偿装置的保护	342
一、系统异常情况下的保护	343
二、装置内部故障及不正常状况下的保护	344
三、电容器组的接地保护	347
四、成套电容器柜的保护	347
第五节 电容补偿装置的运行与维护	348
一、装置的安装	348
二、装置的运行与维护	349
三、装置的操作与事故处理	351
四、移相电容器的防爆与防火	353
第十二章 电气设备的倒闸操作	355
第一节 操作概述	355
一、操作的主要内容	355
二、倒闸操作制度	355
第二节 电气设备的倒闸操作	356
一、开关的操作	356
二、刀闸的操作	358
三、母线的操作	359
四、线路的操作	360
五、变压器的操作	361
六、环网的并解列操作	361
七、发电机的并解列操作	362
附录	366
一、本书采用的主要符号说明	366
二、电焊机、漏电开关及触电保安器的安全使用	368
三、架空线路、电缆及绝缘子常用参数表	375
四、判断变压器油故障性质的三比值法	379

第一章 用电人身安全

用电人身安全,是厂矿电气安全技术中的一项重要内容。

随着生产技术的发展,电能在厂矿企业中得到了越来越广泛的应用,人们接触电气设备的机会也随之增多。如果没有安全用电知识,就很容易发生触电事故,以至影响生产,危及生命。因此,研究触电事故的起因及预防措施,对于确保厂矿的安全用电,是十分必要的。

第一节 触电事故的种类和特点

一、触电事故的种类

触电事故的发生多数是由于人直接碰到了带电体,或者接触到因绝缘损坏而漏电的设备,或者是站在发生接地故障点的周围。

(一) 人直接与带电体相接触

根据触电时碰到带电导体的相数,可以分为单相触电和两相触电。

1. 中性点接地系统的单相触电

厂矿中广为应用的380/220伏低压网路,均为中性点接地系统。在这种系统中,当处于地电位的人体碰触一相导线时,人体所承受的电压是相线对地的电压,即相电压。如图1-1所示。

此时通过人体的电流,决定于人体与带电体的接触电阻,人体电阻、鞋子的电阻、身体(鞋子)和地面接触处

的电阻，以及中性点接地电阻的大小。根据事故统计分析，碰到200伏以上的相电压，多数有死亡的危险。

2. 中性点不接地系统的单相触电

一般10千伏、35千伏高压网路为中性点不接地系统。当人体立在地面上，接触到中性点不接地系统的一相导线时，由于导线与大地之间存在分布电容，所以电流经过人体和另外两相的对地电容形成回路。这个电流，虽是电容电流，但也足以危及人身安全，因此也是危险的，如图1-2所示。

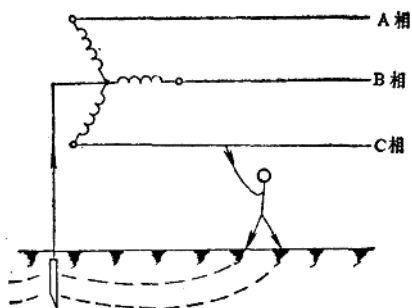


图1-1 中性点接地系统的单相触电

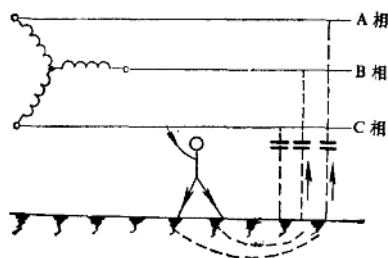


图1-2 中性点不接地系统的单相触电

在中性点不接地系统中，如果存在一相接地故障，而又未被检查出来，这样就临时变成了一相接地的三相系统。此时，人体接触到不接地的任何一相导线，作用在人体上的电压是线电压，这种形式的触电如同两相触电，是非常危险的。为了防止这种触

电事故的发生，在中性点不接地系统中最好装有经常监视绝缘的装置。

3. 两相触电

两相触电是最危险的触电。当人体同时接触同一系统的两相导线时，则加到人体上的电压为线电压，它比相电压大 $\sqrt{3}$ 倍，电流将全部通过人体而短路，如图1-3所示。

两相触电大多是在带电工作时发生的，并且各相带电体间的距离越近，两相触电越容易发生。

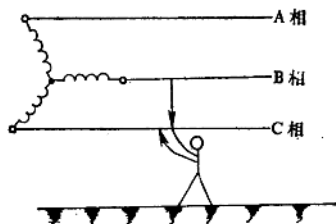


图1-3 两相触电

(二) 与绝缘损坏的电气设备接触

根据触电事故的记录，大部分的事故是由于设备绝缘损坏而引起的。在正常情况下，电气设备的金属外壳是不带电的。但有时因绝缘损坏而漏电时，接触这些外壳，就会发生触电危险。触电情况和接触带电导体一样。

(三) 与带电体的距离小于安全距离

上述触电事故，均为与带电设备直接接触而发生的。实际上，当人体与带电体的空气间隙小于最小安全距离时，虽未与带电体相接触，也有可能发生触电事故。这是因为空气间隙的绝缘强度是有一定限度的，当绝缘强度小于电场强度时，空气将被击穿。此时人体常为电弧电流所损伤。因此，安全规程中对不同电压等级的电气设备，都规定了最小允许安全距离。

(四) 跨步电压触电

这类事故多发生在故障设备的接地点附近，如架空线断裂落在地面上，或在雷击时避雷针接地极附近，由于接地电流或雷击放电电流通过，在接地点周围地面上分布着电压。当人走进这一区域时，将因跨步电压的作用而发生严重的触电事故，见图1-4。

人受到跨步电压 ΔU 作用时，电流从一只脚，经过腿、胯部流到另一只脚。虽然电流没有通过人体的全部和重要器官，但当跨步电压较高时，就会发生双脚抽筋而倒在地上，这时就有可能使电流通过

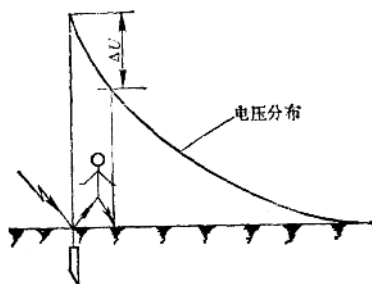


图1-4 雷击时跨步电压触电

人体的重要器官而造成严重后果。为此，安全工作规程要求人们在户外不要走进距断线落地点 8 米以内的地段，在户内不要走近 4 米以内的地段。若必须接近时，一定要穿绝缘靴。

二、触电事故的特点

由于触电事故的发生都很突然，并在相当短的时间内对人体造成严重损伤，故死亡率较高。根据事故统计，触电事故有如下特点：

(一) 具有明显的季节性

一年中，春、冬两季触电事故较少，夏、秋两季，特别是七、八、九三个月，触电事故较多。这主要是因为在这段时间内，气候炎热，多雷雨，空气湿度大，降低了电气设备的绝缘性能，同时，人体也因多汗而使皮肤电阻变小，加之衣

着单薄、身体裸露部分较多，所以增加了触电的可能性。

（二） 低压触电多于高压触电

厂矿企业的触电事故，大多发生在低压工频电气设备上。据统计，此类电源所引起的事故占总数的80%以上。由于低压设备远较高压设备应用得广泛，人们接触的机会多，而且有些人对于低压电气设备有麻痹大意的思想，所以设备一旦有缺陷，就很容易发生触电事故。

（三） 与用电环境有密切关系

在气温高，湿度大（湿度经常超过80%）或在生产过程中产生大量导电灰尘（如磨煤、拉丝等车间）以及腐蚀性气体的用电环境（如酸洗、镀锡、印染等车间），触电事故是很容易发生的。因此，根据生产环境的不同，对电气装置的安装、运行、维护等，应有不同的安全要求。

（四） 与工作人员的电气安全技术水平有关

人们熟悉电气知识的程度不同，触电的机遇也不同。一般来说，新工人、非专职电工人员的触电事故所占的比重较大。

三、触电对人体的伤害

所谓触电，就是电流通过人体而产生不同伤害的结果。人体是导电的，当有电流通过时，人体的细胞组织将受到电流的热效应、机械效应和化学效应的作用而遭致破坏。依照人体所受伤害的不同，触电可分为电击和电伤两类。

（一） 电击

触电死亡事故，大都是由电击所造成的。电击是触电的人直接接触了带电体，电流通过人体，使肌肉发生抽筋现象。如果不能立刻脱离电源，电流将使人体的神经中枢受到伤害，最后便会引起呼吸困难、心脏麻痹，以致死亡。