

高等学校教学用书

矿山电工学

(采矿工程专业)

郭 玉 赖昌千 王志宏 编

煤炭工业出版社

高等学校教学用书

矿 山 电 工 学

(采矿工程专业)

郭 玉 赖昌干 王志宏 编

煤炭工业出版社



B 183951

内 容 提 要

本书阐述了有关煤矿电气化的内容。包括有煤矿井下供电的安全技术；矿井供电系统及设备；矿用隔爆磁力起动器及采、运机械的控制系统；综合机械化工作面的供电与控制；采区供电计算、主要电气设备的选择及保护装置的整定；电价计算、节电措施及主要电气化指标等。

本书作为煤炭高等院校采矿工程专业的教材，也可供煤矿有关技术人员参考。

责任编辑：胡 玉 雁

高 等 学 校 教 学 用 书

矿 山 电 工 学

(采矿工程专业)

郭 玉 赖昌干 王志宏 编

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外大街16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 $9^{1/3}$ 插页 1

字数 219千字 印数1—22,120

1984年12月第1版 1984年12月第1次印刷

书号15035-2677 定价1.45元

前 言

本书是煤炭高等院校采煤工程专业用的教材。原稿在1980年内部发行试用。1982年7月，煤矿电气工程教材编审委员会专门进行了讨论，决定了修编意见。据此，重新进行改编。

本书分为六章。第一、第四章由山东矿业学院赖昌干编写，第二、第六章由焦作矿业学院郭玉编写，第三、第五章由中国矿业学院王志宏编写。全书由郭玉和赖昌干负责编稿。

本书力图联系我国煤炭工业生产实际，正确贯彻煤炭生产方针、政策与规程，也适当地介绍了一些对于我们有用的国外先进技术与先进经验。

由于编者水平所限，编写时间仓促，书中内容可能有错误或不妥之处，欢迎读者批评指正。

编 者

1983年10月

目 录

前 言

第一章 煤矿井下供电的安全技术	1
第一节 触电的危险性及其预防方法	1
一、触电的危险性	1
二、触电的预防方法	2
第二节 井下供电的变压器中性点禁止接地的分析	3
一、变压器中性点接地的供电系统	3
二、变压器中性点绝缘的供电系统	3
第三节 井下电气设备的保护接地	7
一、保护接地的作用	7
二、井下保护接地系统	9
第四节 矿用隔爆检漏继电器	11
一、JY82型检漏继电器	11
二、JL82型隔爆检漏继电器	15
三、JJKB30型隔爆检漏继电器	19
第五节 电火灾产生的原因及预防方法	23
一、电火灾产生的原因	23
二、预防电火灾的方法	23
三、电火灾的扑灭方法	24
第六节 电火花引起瓦斯、煤尘爆炸的条件及其预防方法	24
一、瓦斯、煤尘爆炸的条件	24
二、瓦斯、煤尘爆炸的预防方法	24
第七节 矿用电气设备的分类、构造特点及使用范围	24
一、矿用电气设备的类型及结构特点	24
二、矿用电气设备的使用范围	27
复习题	28
第二章 矿井供电系统及设备	29
第一节 煤矿企业对供电的要求、用电户分类及电压等级	29
一、对供电的要求	29
二、用电户分类	29
三、电压等级	30
第二节 煤矿企业供电电源及矿井供电系统	30
一、供电电源	30
二、深井供电系统	32
三、浅井供电系统	32
第三节 矿用低压隔爆开关	33
一、矿用低压隔爆自动开关	33
二、矿用低压隔爆手动开关(手动起动机)	35

第四节 高压断路器、隔离开关与负荷开关	36
一、油断路器	36
二、真空断路器	37
三、六氟化硫(SF ₆)断路器	38
四、高压隔离开关	38
五、高压隔爆负荷开关	39
第五节 井下高压配电箱	40
一、矿用隔爆型高压配电箱	40
二、矿用一般型高压配电箱	41
第六节 矿用变压器	42
一、KSJ ₂ 型矿用动力变压器	42
二、KSG型矿用照明变压器	44
第七节 矿用电缆	44
一、铠装电缆	44
二、橡套电缆	46
三、塑料电缆	47
四、矿用电缆的敷设方法	48
第八节 矿井变电所及工作面配电点	48
一、矿井地面变电所位置的选择	48
二、井下中央变电所	49
三、采区变电所与移动变电站(车)	50
四、工作面配电点	52
五、采区供电系统的拟制原则	52
复习题	53
第三章 矿用隔爆磁力起动器和采、运机械的控制系统	55
第一节 接触器和熔断器	55
一、交流接触器	55
二、熔断器	56
第二节 控制线路图的绘制原则	58
第三节 QC83系列隔爆磁力起动器	60
一、QC83-80型磁力起动器	60
二、QC83-60N型可逆磁力起动器	62
三、QC83-120型和QC83-225型磁力起动器	63
第四节 隔爆兼安全火花型磁力起动器	64
一、QC810-60型磁力起动器	64
二、DQBH-660/200型磁力起动器	65
第五节 电钻综合保护装置	66
第六节 MLQ ₁ -80型采煤机组的控制	68
第七节 采煤机组与工作面运输机的联合控制	70
复习题	70
第四章 综合机械化工作面的供电、电气设备及控制	71
第一节 综机采面的生产特点及对供电的要求	71
第二节 综机采面的机电设备布置及供电系统	72

第三节 PBL-6型高压防爆配电装置	74
一、结构特点	74
二、漏电监视保护	74
三、过流保护	78
第四节 KSGZY型隔爆移动变电站	80
一、KSGZY型移动变电站的结构原理及技术数据	80
二、DZKD型千伏级自动开关	82
第五节 QCKB30型千伏磁力起动器	85
一、结构特点及技术数据	85
二、工作原理	86
第六节 MLS ₃ -170S型采煤机的电气设备 & 电气控制系统	96
一、MLS ₃ -170S型采煤机的电气设备	96
二、控制系统组成及其作用	98
三、控制原理	99
第七节 采煤机的恒功率自动调节	101
第八节 采煤机的电气故障及检查	103
复习题	104
第五章 采区供电计算及主要电气设备的选择	105
第一节 采区变压器的选择	105
第二节 采区低压电缆的选择	107
一、确定电缆的型号	107
二、确定电缆的长度	107
三、确定电缆的芯线数目	108
四、确定电缆的主芯线截面	109
第三节 采区低压电网短路电流的计算	116
一、解析法	116
二、图表法	118
第四节 采区低压电器的选择	128
第五节 采区低压电网保护装置的整定计算	129
一、熔断器熔件的选择	130
二、过电流继电器的整定计算	131
三、过热—过流继电器的整定计算	131
第六节 千伏级供电电网计算	133
第七节 高压短路电流的计算及高压设备的选择	134
一、采区高压短路电流的计算	134
二、高压配电箱的选择	134
复习题	135
第六章 节电措施及电气化指标	136
第一节 功率因数	136
一、功率因数的意义	136
二、低功率因数的后果	136
三、提高功率因数的主要方法	137
第二节 电费计算法	139

第三节 节电措施	140
第四节 主要电气化指标	141
复习题	143
主要参考资料	144

第一章 煤矿井下供电的安全技术

本章主要讨论煤矿井下供电的安全技术。基本内容是：触电的危险及其预防方法；火花引起瓦斯、煤尘爆炸的危险及其预防方法；矿井电气设备的工作条件；矿用电气设备的分类及应用范围等。着重讨论预防触电危险的主要措施，即向井下供电的变压器中性点禁止接地、保护接地和漏电保护。

第一节 触电的危险性及其预防方法

一、触电的危险性

人身接触带电导体或因绝缘损坏而带电的设备外壳，都可能造成触电事故。触电对人体组织的破坏作用是很复杂的。一般对人体的伤害大致可分为电击和电伤两种情况。电击是指触电后电流通过人体，在热化学和电解作用下，使呼吸器官、心脏和神经系统受到损伤和破坏，多数情况下，电击可以使人致死，所以是最危险的。电伤是指由于强电流瞬间通过人身某一局部，或电弧烧伤人体，造成对人体外表器官的破坏，当烧伤面积不大时，不致于有生命危险。

触电对人体的危害是由许多因素决定的，但流经人身电流的大小和时间是起决定作用的因素。

通过人身的电流值及其对人身组织的危害程度如表1-1所示。由表可知，通过人身的电流，交流在15~20毫安以下，直流在50毫安以下，一般对人体伤害较轻，如果人体长期通过工频交流30~50毫安就有生命危险。超过上述电流数值，则对人的生命是绝对危险的。

表 1-1 通过人身的电流及其对人身组织的危害程度

电 流 (毫安)	危 害 程 度	
	交 流 (50~60周/秒)	直 流
0.6~1.5	开始有感觉	没有感觉
2~3	手指振动厉害	没有感觉
3~7	手抽筋	痒、感觉发热
3~10	手指、手关节痛的厉害，虽能脱离导体，但较困难	发热加重
30~25	手迅速麻痹，不能脱离导体，痛的厉害，呼吸困难	发热加重，手筋肉稍有收缩
50~80	呼吸麻痹，开始心跳	手筋肉收缩，呼吸困难
90~100	呼吸麻痹，持续三秒以上心脏麻痹，以至停止跳动	呼吸麻痹

流经人身电流的大小与人身电阻有密切的关系。人身电阻主要是人体表面皮肤层（角质层）的电阻。它的数值变动幅度很大，随人的皮肤状况（有无损伤、潮湿程度等）、触电时间长短、触电电压大小等因素而变动。当皮肤完整而干燥时，人身电阻可达10~100千欧；当皮肤角质层由于潮湿或被破坏时，人身电阻便降低到最低，约1000欧左右。由于煤矿井下特别潮湿，因此可认为皮肤角质层已失去绝缘作用，人身电阻大为降低。所以在研究触电对人身危害时，都取1000欧作为人身电阻的计算值。

流经人身电流的大小和作用于人身电压的高低也有关系。作用于人身的电压越高，则通过人身的电流越大，也就越危险。

触电对人的伤害程度与电流作用于人身的时间也有密切的关系。即使是比较小的电流，若流经人体的时间过久，也会造成伤亡事故。这是因为随着电流在人体内持续时间的增加，人体发热出汗，人身电阻会逐渐减少，而电流随之逐渐增大的缘故。反之，即使流经人身的电流较大，若能在很短的时间内脱离接触，也不致造成生命危险。有的国家认为，通过人身的电流与时间的乘积的安全值为30毫安·秒。触电电流的最大允许值 I_{Δ} 与作用时间的关系如表1-2所示。表中同时列出了相应于这些电流的人身电阻 R_r 的计算值和加在人身上的接触电压 U_0 值。

表 1-2 触电电流的最大允许值与作用的时间的关系

指 标	t (秒)					
	0.2	0.5	0.7	1	30	30秒以上
I_{Δ} (mA)	250	100	75	65	6	1
R_r (Ω)	700	1000	1065	1150	3000	6000
U_0 (V)	175	100	80	75	18	6

触电对人身的危害还与电流的频率、电流流经人体的途径以及人的体质等因素有关。

我国目前采用触电电流与时间乘积的安全允许值为30毫安·秒，触电电流的安全允许值为30毫安。

二、触电的预防方法

由于矿井的特殊情况，触电的可能性很大。因此，必须采取有效措施，预防触电事故的发生。

从实践中总结出来的预防触电的方法主要有以下几点：

- 1) 井下变压器及向井下供电的变压器或发电机中性点禁止接地；
- 2) 井下电气设备采用保护接地；
- 3) 井下电网采用漏电保护装置；
- 4) 把带电裸导线安装在一定的高度，避免人身接触的可能。例如对井下运输巷道中敷设的电机车架空导线，《煤矿安全规程》规定：在大巷中，自轨道平面至架空导线的高度不得小于2米；在井底车场，其高度不得小于2.2米；
- 5) 将各种矿井用电气设备、电缆接头等都封闭在坚固的外壳内。电气设备的外壳与盖子间设有闭锁装置：保证不合上盖子便不能接通电源；接通电源后，便不能打开盖子；
- 6) 加强电动工具把手的绝缘。手持式电钻等电动工具的把手在正常时本来是不带电的，但当带电部分的绝缘损坏时，把手便可能带电而引起触电事故。所以必须在把手上再加上一层绝缘套，以防触电；
- 7) 对于接触机会非常多的电气设备，采用较低的额定电压。例如手持式电钻、照明设备及信号装置等的额定电压不得超过127伏；井下各种电气控制回路的额定电压不得超过36伏。

第二节 井下供电的变压器中性点禁止接地的分析

井下变压器中性点是否接地，是影响触电危险程度的因素之一，也是影响井下电火灾与瓦斯、煤尘爆炸危险的因素之一。

一、变压器中性点接地的供电系统

1. 人触及一相带电导体时

当人体触及电网的一相时（见图1-1），人体承受电网相电压。通过人体的电流，可根据欧姆定律求出。

$$I_r = \frac{U_{xa}}{R_r} = \frac{U_x}{\sqrt{3} R_r} \quad (1-1)$$

式中 U_{xa} ——电网相电压（伏）；

U_x ——电网线电压（伏）；

R_r ——人身电阻（欧）。

上式中忽略了中性点接地电阻和人体与大地的接触电阻。

若取人身电阻 $R_r = 1000$ 欧，对线电压为660伏的供电系统，当人触及一相带电导线时，通过人身的电流为：

$$I_r = \frac{660}{\sqrt{3} \times 1000} = 0.38 \text{ 安} = 380 \text{ 毫安}$$

对线电压为380伏的供电系统：

$$I_r = \frac{380}{\sqrt{3} \times 1000} = 0.22 \text{ 安} = 220 \text{ 毫安}$$

可见，无论是380伏供电系统还是660伏供电系统，当变压器中性点接地，人触及带电导体一相时，通过人体的电流都远远超过30毫安，所以是绝对危险的。

2. 电网一相接地

由图1-2可见，在变压器中性点接地的供电系统中，电网一相接地即为单相短路，短路点将产生一个大电弧，足以引起瓦斯、煤尘爆炸。

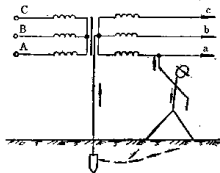


图 1-1 变压器中性点接地系统中人触及电网一相

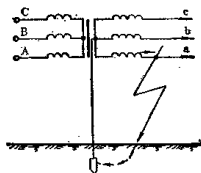


图 1-2 变压器中性点接地系统中电网一相接地

二、变压器中性点绝缘的供电系统

在变压器中性点绝缘的供电系统中，若人体触及一相带电导体时，则通过人身的电流

的途径是从电网一相经过人身入地，再经过其他两相线路对地绝缘分布电阻 r 和对地分布电容 C 回到其它两相，如图1-3所示。电网对地电容的大小主要决定于两路的总长度。当网络的总长度较短时，则对地电容可以忽略不计；若线路总长度较长时，则不能忽略。

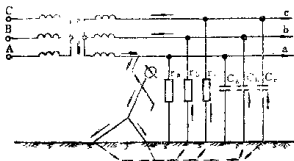


图 1-3 变压器中性点绝缘系统中人触及电网一相

1. 忽略电网对地电容

这时人身触电电流仅经过其它两相对地绝缘电阻而成通路，如图1-4a所示。

1) 在正常状态下，电源电压 $\dot{U}_a$ 、 $\dot{U}_b$ 和 $\dot{U}_c$ 是对称的，即：

$$U_a = U_b = U_c = U_{\text{相}}$$

$$\dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c = 0$$

同时，各相对地的绝缘电阻值也是相等的，即，

$$r_a = r_b = r_c = r$$

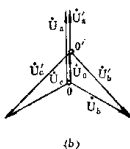
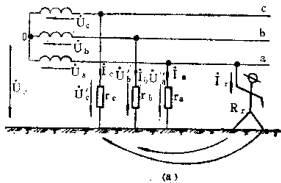


图 1-4 忽略电网对地电容时的人身触电回路

a—电路图；b—电压向量图

绝缘电阻 r_a 、 r_b 、 r_c 相当于一个假想的星形负载，在上述条件下，这个假想负载是对称的，其中性点为地。在未发生人身触电或单相接地时，每相绝缘电阻中流过的电流 $\dot{I}_a$ 、 $\dot{I}_b$ 和 $\dot{I}_c$ 也是对称的，即：

$$I_a = I_b = I_c$$

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$$

同时有下列关系：

$$\dot{U}_a = \dot{I}_a r_a; \quad \dot{U}_b = \dot{I}_b r_b; \quad \dot{U}_c = \dot{I}_c r_c$$

可见，这时各相对地电压与电源相电压相等，也是对称的。因而，假想负载的中性点与变压器中性点之间没有电位差。也就是说，变压器中性点对地电压 $\dot{U}_0$ 为零，即：

$$\dot{U}_0 = 0$$

2) 当人触及一相时：例如触及 a 相导体时，便有电流通过人身。该电流是经过其它两相的绝缘电阻 r_b 和 r_c 形成通路；而 a 相的绝缘电阻 r_a 与人身电阻 R_f 并联，结果使 a 相对地电阻变为：

$$r_a' = \frac{R_f \cdot r_a}{R_f + r_a}$$

这就破坏了上述假想负载的对称性，于是电网对地电压和电流将发生新的变化，假想负载的中性点与变压器中性点间便出现了电位差，即：

$$\dot{U}_0 \neq 0$$

在电压向量图中（图1-4b），可看到假想负载中性点由“0”移到“0'”点，00'即为 $\dot{U}_0$ 。因而a相对地电压便由 $\dot{U}_a$ 值降低到 $\dot{U}_a'$ ，其余两相对地电压则增高到 $\dot{U}_b'$ 和 $\dot{U}_c'$ 。它们之间的关系式为：

$$\dot{U}_a' = \dot{U}_a - \dot{U}_0; \quad \dot{U}_b' = \dot{U}_b - \dot{U}_0; \quad \dot{U}_c' = \dot{U}_c - \dot{U}_0$$

显然，各相对地（即0'点）的电压便不再对称了。但电源线电压仍保持对称，故对负载运行并无影响。

由于各相对地电压不等，各相绝缘电阻中流过的电流也就不同，变成为：

$$\begin{aligned} \dot{I}_a' &= \frac{\dot{U}_a'}{r_a} = \frac{\dot{U}_a - \dot{U}_0}{r_a} \\ \dot{I}_b' &= \frac{\dot{U}_b'}{r_b} = \frac{\dot{U}_b - \dot{U}_0}{r_b} \\ \dot{I}_c' &= \frac{\dot{U}_c'}{r_c} = \frac{\dot{U}_c - \dot{U}_0}{r_c} \end{aligned}$$

同时，人身触电电流 $\dot{I}_r$ 为：

$$\dot{I}_r = \frac{\dot{U}_a'}{R_r} = \frac{\dot{U}_a - \dot{U}_0}{R_r}$$

根据基尔霍夫第一定律，有：

$$\begin{aligned} \dot{I}_a' + \dot{I}_b' + \dot{I}_c' + \dot{I}_r' &= 0 \\ \frac{\dot{U}_a - \dot{U}_0}{r_a} + \frac{\dot{U}_b - \dot{U}_0}{r_b} + \frac{\dot{U}_c - \dot{U}_0}{r_c} + \frac{\dot{U}_a - \dot{U}_0}{R_r} &= 0 \end{aligned}$$

当 $r_a = r_b = r_c = r$ 时，上式变为：

$$\frac{\dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c}{r} - \frac{3\dot{U}_0}{r} + \frac{\dot{U}_a}{R_r} - \frac{\dot{U}_0}{R_r} = 0$$

所以

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_a \cdot r}{3R_r + r}$$

人身触电电流 $\dot{I}_r$ 为：

$$\dot{I}_r = \frac{\dot{U}_a - \dot{U}_0}{R_r} = \frac{3\dot{U}_a}{3R_r + r} \quad (1-2)$$

取绝对值

$$I_r = \frac{3U_a}{3R_r + r} = \frac{\sqrt{3}U_x}{3R_r + r} \quad (1-3)$$

设人身电阻 $R_r = 1000$ 欧，电网每相对地绝缘电阻为35000欧，电网线电压为660伏时，则通过人身的电流为：

$$I_r = \frac{3U_{x_a}}{3R_r + r} = \frac{3 \times 660 / \sqrt{3}}{3 \times 1000 + 35000} = 0.03 \text{安} = 30 \text{毫安}$$

2. 考虑电网对地电容

当电网总长度大于一公里时, 网路对地电容不能忽略, 这时人触及电网一相带电导体时的电路见图1-3。电网对地分布电容、三相对地绝缘分布电阻和a相人身电阻也以大地为中点, 组成三相不对称星形负载, 不过此时的负载已不再是纯电阻, 而是一个容性阻抗了。将此容性阻抗取代式(1-2)中的 r 并整理, 可求出通过人身的电流为:

$$I_r = \frac{U_{xa}}{R_r \cdot \sqrt{1 + \frac{r(r+6R)}{9R_r^2(1+r^2\omega^2C^2)}}} \quad (1-4)$$

式中 ω ——交流电的角频率, $\omega = 2\pi f$;

f ——交流电的频率。

设电网每相对地电容 $C = 0.5$ 微法, 每相对地绝缘电阻 $r = 35000$ 欧, 人身电阻 $R_r = 1000$ 欧, 电网线电压 $U_x = 660$ 伏, 即可用式(1-4)算出通过人身的电流。

$$I_r = \frac{660/\sqrt{3}}{1000 \sqrt{1 + \frac{35000(35000 + 6 \times 1000)}{9(1000)^2(1 + (35000)^2(2 \times 3.14 \times 50)^2(0.5 \times 10^{-6})^2}}}}$$

$$= 154 \text{ 毫安} \gg 30 \text{ 毫安}$$

可见, 由于电网对地电容的影响, 使通过人身的触电电流有较大的增加。通过上面的分析可以看出, 变压器中性点绝缘的供电系统比中性点接地的供电系统, 在人触及一相带电导体时, 通过人身的电流要小得多。同时, 在中性点绝缘的供电系统中, 当发生一相接地时, 入地电流也很小, 从而引燃瓦斯、煤尘的可能性大大减少。这些就是井下变压器禁止中性点接地的原因。

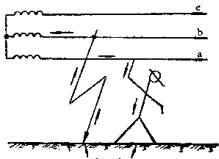


图 1-5 中性点绝缘系统中, 电网一相接地人触及另一相

然而, 变压器中性点绝缘的供电系统也存在一些缺点, 例如, 当电网一相接地时, 往往不易发觉, 如果没有漏电指示, 一相接地可能长期存在。在此情况下, 如人站在地上又触及另一相带电导体, 则人身跨接于电网线电压 (见图1-5), 这时通过人身的触电电流较之变压器中性点接地的供电系统还要大0.73倍, 这是非常危险的。

由式(1-3)可见, 在中性点绝缘的供电系统中, 若不考虑网路对地电容, 那么人身触电电流仅决定于网路的绝缘电阻, 且随着绝缘电阻的升高而下降。但实际上, 电网对地电容是不可忽略的, 由式(1-4)可见, 由于电网对地电容的影响, 人身触电电流增高了。在电网对地电容较大的情况下, 如果单纯强调提高网路对地绝缘电阻, 其结果不但不能减少通过人身的触电电流, 而且还会使通过人身的电流增加。例如, 在井下660伏电网中, 若每相对地绝缘电阻 $r = 35000$ 欧, 电容 $C = 0.5 \times 10^{-6}$ 法时, 可由式(1-4)求得人身触电电流值 $I_r = 154$ 毫安。在此条件下, 若将绝缘电阻提高到无限大, 即 $r = \infty$, 式(1-4)变为:

$$I_r = \frac{3U_{xa} \cdot \omega C}{\sqrt{1 + 9R_r^2 \omega^2 C^2}} \quad (1-5)$$

将上述数据代入, 则得:

$$I_r = \frac{3 \times (660/\sqrt{3}) \times 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.5 \times 10^{-6}}{\sqrt{1 + 9 \times (1000)^2 \times (2 \times 3.14 \times 50)^2 \times (0.5 \times 10^{-6})^2}} = 162 \text{ 毫安} > 154 \text{ 毫安}$$

所以，这时只有设法补偿电容电流，才是行之有效的办法。

为了弥补变压器中性点绝缘的供电系统中存在的上述问题，井下电网必须装设漏电保护装置。

井下供电系统中，中性点的工作方式包括：中性点直接接地、中性点经低阻抗接地、中性点经高阻抗接地和中性点不接地等四种。我国、苏联、西德等国采用中性点不接地系统；其它国家，如英国采用中性点经高电阻接地的系统或其它类型的接地系统。我们主要介绍我国《煤矿安全规程》为什么规定采用中性点不接地系统。但这并不意味着井下采用中性点不接地系统是最好的或唯一的中性点工作方式。

第三节 井下电气设备的保护接地

一、保护接地的作用

保护接地，就是用导体把电气设备中所有正常不带电、当绝缘损坏时可能带电的外露金属部分（电机、变压器、电器、测量仪表的金属外壳、配电装置的金属构件、电缆终端盒与接线盒的金属外壳等），和埋在地下下的接地极连接起来。它是预防人身触电的一项极其重要的措施。

保护接地的作用如图1-6。图1-6a是没有装保护接地时的情况。当电气设备内部绝缘损坏而使一相带电体碰壳时，若人接触此外壳，则电流经过人体入地，再经其它两相对地绝缘电阻回到电源。当电网对地绝缘电阻较低时，则通过人体的电流将达到危险值。同时，碰壳处出现的漏电流也可能引起瓦斯、煤尘爆炸。

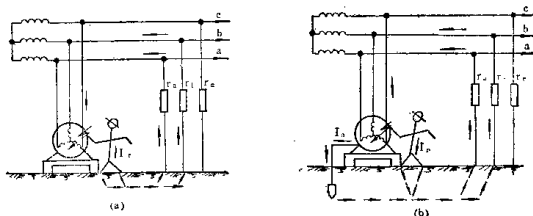


图 1-6 保护接地的作用

a—没有保护接地；b—有保护接地

图1-6b是有保护接地时的情况。这时，当电气设备内部绝缘损坏而使一相带电体碰壳时，若人接触外壳，电流将通过人身电阻与接地装置的接地电阻形成的并联电路入地，再通过其它两相对地绝缘电阻回到电源。由于接地装置的分流作用，通过人身电流就大大减少。通过人身的电流与通过接地极的电流有如下关系：

$$\frac{I_d}{I_r} = \frac{R_r}{R_d}$$

所以通过人身的电流为：

$$I_r = I_d \frac{R_d}{R_r} \quad (1-6)$$

式中 R_d ——接地极的接地电阻（欧）；

I_d ——流过接地极的电流（安）。

可见接地电阻 R_d 愈小，则通过人身的电流 I_r 愈小，电流大部分由接地极入地。所以，只要将接地电阻的数值控制在规程规定范围之内，就可使通过人身的电流小到安全值以内。

另外，由于装设了保护接地装置，碰壳处的漏电电流大部分将经接地装置入地。即使设备外壳与大地接触不良而产生火花，但由于接地装置的分流作用，大大减小了电火花的能量，从而减少了引起瓦斯、煤尘爆炸的可能性。

当电气设备单相碰壳，接地电流 I_d 经接地极入地以后，便向四面八方流散开来，形成地中电流。由于距接地极越近的地方，电流通过土壤的导电面积越小；距接地极越远的地方，导电面积越大。假若我们在电流扩散的方向上选同样长一段长度，就可以看出：距接地极越近的地方，该段土壤的电阻越大；越远的地方，该段电阻越小。离接地极20米以外的地方，土壤电阻很小，差不多等于零。电流通过电阻是要产生压降的，因此距接地极越近的地方，在土壤中单位长度上的电压降越大；距接地极越远的地方，单位长度上的电压降也就越小。在20米以外的土壤中，几乎没有电压降，因而认为该处的电位为零，这就是我们所说的电气上的“地”。接地回路中任何一点对“地”的电位差称为对地电压。接地极附近土壤中的电位分布曲线如图1-7所示。

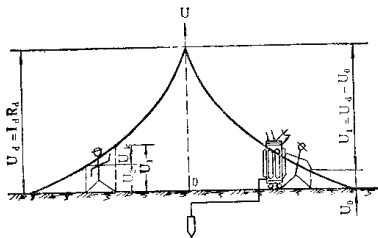


图 1-7 接地极周围土壤电位分布及接触电压、跨步电压

接地极的对地电压与经接地体流入地中的接地电流之比称为接地极的流散电阻；电气设备接地部分的对地电压与接地电流之比称为接地装置的接地电阻，它等于接地线的电阻与接地极的流散电阻之和。一般因为接地线的电阻甚小，可略去不计，故可认为接地电阻等于流散电阻。

当人接触到意外带电的金属外壳时,则人体接触部分的电位与站立点之间的电位差就是人们所说的接触电压 U_j 。由图1-7可知,接触电压 U_j 的最大值可达电气设备的对地电压 U_d 。接触电压一般不应超过40伏。

在距离接地极20米以内,地面上将呈现出不同的电位分布(图1-7)。当人的两脚站在这种带有不同电位的地面时,两脚间的电位差称跨步电压 U_k 。在计算时,一般取步距为0.8米,即取0.8米间的电位差为跨步电压。由图1-7可知,距接地极越近,跨步电压越大,反之越小。

二、井下保护接地系统

井下各种电气设备装设了单独的保护接地装置,并不能完全消除触电的危险。如图1-8所示的系统中,电动机 D_1 和 D_2 均装设了单独的保护接地装置。当电动机 D_1 的一相绝缘击穿(例如a相),使其外壳带电;如电网没有绝缘监视或绝缘监视失灵,这一接地故障将长期存在下去。若电动机 D_2 的另一相(如b相)绝缘击穿碰壳,达时电网就发生了两相对地短路,短路电流如图1-8中箭头所示。如果这一短路电流不足以使过流保护装置动作,这一故障将长期存在下去,这时电气设备外壳将带有危险的电压。两电动机外壳对地电压的大小,与两电动机的接地电阻成正比。若电动机 D_1 和 D_2 的接地电阻大小相等,则两电动机外壳对地电压相等,为电网电压的一半,即380伏电网对地电压为190伏;660伏电网对地电压为330伏。可见,这时如人触及该电动机外壳时,是非常危险的。

为了提高保护接地的安全性和可靠性,通常利用供电的高、低压铠装电缆的金属外皮(铅包和金属铠装层)和橡胶套(塑料)电缆的接地芯线或屏蔽护套,把分布在井底车场、运输大巷、采区变电所以及工作面配电点的电气设备(36伏以上)的金属外壳在电气上连接起来,这样就使各处理设的接地极(或称局部接地极)也并联起来,形成一个井下保护接地系统(或称总接地网)。这样做不仅降低了接地电阻,而且也防止了不同电气设备的不同相同时碰壳(接地)所带来的危险,因为这时两相短路电流主要通过接地网流通,如图1-9所示。因而提高了两相短路电流的数值,保证过流保护装置可靠动作。

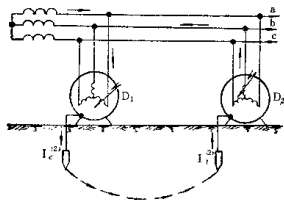


图 1-8 具有单独保护接地时,两相对地短路

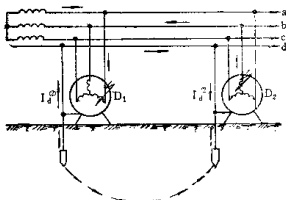


图 1-9 接成接地网后两相对地短路

图1-10为井下保护接地系统示意图。由图可知,井下保护接地系统由主接地极、局部接地极、接地母线、辅助接地母线、接地导线和连接导线等组成。

设置在井底主、副水仓或集水井内的接地极称为主接地极。主接地极要用面积不小于0.75平方米,厚度不小于5毫米的钢板做成。如矿井水为酸性时,应视其腐蚀性情况适当